



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Διδακτορική Διατριβή

«Μεθοδολογία και Ψηφιακό περιβάλλον ολοκληρωμένης
διαχείρισης δεδομένων στην κλίμακα ιστορικών κτιρίων και
συνόλων»

Τσιλιμαντού Ελισάβετ

Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ, MSc

Επιβλέπουσα: Καθ. Αντωνία Μοροπούλου

Αθήνα, Ιούλιος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

A. Μοροπούλου, Καθηγήτρια ΕΜΠ (επιβλέπουσα)

X. Ιωαννίδης, Καθηγητής ΕΜΠ

A. Δουλάμης, Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

Επταμελής Εξεταστικής Επιτροπή

A. Μοροπούλου, Καθηγήτρια ΕΜΠ (επιβλέπουσα)

X. Ιωαννίδης, Καθηγητής ΕΜΠ

A. Δουλάμης, Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

M. Μπεάζη - Κατσιώτη, Ομ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

K. Καραδήμας, Καθηγητής ΕΜΠ

X. Μουζάκη, Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

Δ. Κυριαζής, Αν. Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς

«Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από την Ανωτάτη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα. (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202)».

*Αφιερωμένο στο Θεοδωρή,
που φωτίζει τις σκέψεις και τις επιθυμίες μου στην κοινή μας ζωή.*

Πρόλογος

Η παρούσα διατριβή ανατέθηκε από τη Σχολή Χημικών Μηχανικών, του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με επιβλέπουσα την καθ. Αντωνία Μοροπούλου, καθηγήτρια ΕΜΠ με στόχο την ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου διεπιστημονικής τεκμηρίωσης που περιλαμβάνει τη γεωμετρική τεκμηρίωση ως το βασικό υπόβαθρο για την ολοκληρωμένη διαχείριση των αποτελεσμάτων και ιδιαίτερα τη διαχείριση δεδομένων δομικών υλικών και φθορών μέσα από ένα τρισδιάστατο ψηφιακό περιβάλλον. Η μεθοδολογία αυτή αφορά σε μνημεία, ιστορικά κτήρια και σύνολα και η εφαρμογή σε δισδιάστατο περιβάλλον Συστημάτων Χωρικής Απεικόνισης (ΣΧΑ), Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) και τρισδιάστατου Μοντέλου Κτιριακών Πληροφοριών (ΜΚΠ) για την ολοκληρωμένη διαχείριση και αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η εκπόνηση της διατριβής αυτής υποστηρίχθηκε από το Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, της Σχολής Χημικών Μηχανικών, καθώς και από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών.

Περιπτώσεις μελέτης της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι ο Αρχαίος Ναός του Πύθιου Απόλλωνα στην Ακρόπολη της Ρόδου, ο βυζαντινός ναός της Μονής Καισαριανής, το νεοκλασικό ιστορικό κτήριο της Βίλλας Κλωναρίδη στην Αθήνα και ο αρχαιολογικός χώρος της Ακρόπολης του Ερημόκαστρου στη Ρόδο. Η μελέτη της Μονής Καισαριανής έγινε στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «Θαλής-ΕΜΠ SEISMO: Αντισεισμική Προστασία Μνημείων και Ιστορικών Κατασκευών», με επιστημονικά υπεύθυνο τον Καθ. Κ. Σπυράκο, στο πλαίσιο των ερευνητικών εργασιών ευθύνης του Εργαστηρίου Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών υπό την επιστημονική ευθύνη της Καθ. Α. Μοροπούλου. Η μελέτη του Αρχαίου Ναού του Πύθιου Απόλλωνα έγινε στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «Τρισδιάστατη τεκμηρίωση της υφιστάμενης κατάστασης του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου και των εναλλακτικών προτάσεων για την αποκατάσταση του», με επιστημονικά υπεύθυνο τον Καθ. Χ. Ιωαννίδη, στο πλαίσιο μιας διεπιστημονικής προσπάθειας συντήρησης του Ναού, με τη συνεργασία μέσω τριών συναφών προγραμμάτων των Σχολών Χημικών Μηχανικών, Πολιτικών Μηχανικών και Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ, με τη συνολική επιστημονική ευθύνη της Καθηγήτριας κ. Α. Μοροπούλου. Η μελέτη της Βίλλας Κλωναρίδη έγινε καταρχάς στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «Ολοκληρωμένο Πρόγραμμα Διαγνωστικής έρευνας και στρατηγικός σχεδιασμός υλικών και επεμβάσεων συντήρησης στη Βίλλα Κλωναρίδου και οικία Δουρούτη του Δήμου Αθηναίων» με τη συμμετοχή των Σχολών Χημικών Μηχανικών, Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Πολιτικών Μηχανικών και Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του ΕΜΠ. Η μελέτη της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου έγινε καταρχάς στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «Διαγνωστική μελέτη και πρόταση αποκατάστασης και προστασίας της Ακρόπολης του Σαραντάπηχου και του Ερημοκάστρου Καλλιθέας Ρόδου». Η Βίλλα Κλωναρίδη και η Ακρόπολη του Ερημοκάστρου της Ρόδου αποτέλεσαν υποδειγματικές μελέτες περιπτώσεων για την ανάπτυξη διαδικτυακής πλατφόρμας η οποία επιβεβαιώθηκε στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος «INCEPTION - Καινοτόμος διεπιστημονική προσέγγιση για τη σημασιολογική τρισδιάστατη μοντελοποίηση της ευρωπαϊκής πολιτιστικής κληρονομιάς», με τη συμμετοχή των Σχολών Χημικών Μηχανικών

και Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ, με επιστημονικά υπεύθυνη την Καθ. Α. Μοροπούλου για το ΕΜΠ και ευρωπαϊκό συντονιστή τον καθ. Roberto Di Giulio του Πανεπιστημίου της Ferrara, Ιταλία.

Η διεξαγωγή μια διδακτορικής διατριβής αποτελεί μία διαδικασία που απαιτεί αρκετό χρόνο και ενέργεια παράλληλα όμως είναι και μία εποικοδομητική εμπειρία που φωτίζει διάφορα ερευνητικά μονοπάτια στην πορεία υλοποίησής της. Η ολοκλήρωσή της αποτέλεσε τον καρπό μιας πολυετούς πορείας, με την παράλληλη συνδρομή και υποστήριξη πολλών ανθρώπων στους οποίους θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της διατριβής μου Καθ. Α. Μοροπούλου, καθηγήτρια της Σχολής Χημικών Μηχανικών, για την ανάθεση της πολυεπίπεδης αυτής διδακτορικής διατριβής, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αλλά και την επιστημονική της καθοδήγηση με κρίσιμες παρεμβάσεις σε όλη την πορεία εξέλιξης της. Ακόμη την ευχαριστώ θερμά που με εισήγαγε σε θέματα που σχετίζονται με την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς, της διεπιστημονικότητας αλλά και στην καθοριστική συνδρομή του κλάδου των μηχανικών προς την κατεύθυνση αυτή. Η ευρεία γνώση της πάνω στο διεπιστημονικό αυτό αντικείμενο καθώς και ο σφαιρικός τρόπος σκέψης της, αποτέλεσαν οδηγό καθ' όλη την πορεία της διατριβής αυτής ενώ άλλαξαν και διαφώτισαν τον δικό μου τρόπο σκέψης.

Ευχαριστώ ιδιαιτέρως τον Καθ. Χ. Ιωαννίδη, καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, για την άψογη συνεργασία, τη σταθερή και πολύτιμη υποστήριξη που μου παρείχε απλόχερα, τις χρήσιμες συμβουλές και επισημάνσεις και εν γένει την ουσιαστική συμβολή σε όλο το αντικείμενο της γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Με βοήθησε να ενστερνιστώ τη δυναμική του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού μέσα στο πλαίσιο της διεπιστημονικότητας.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επικ. Καθ. Α. Δουλάμη, επίκουρο καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, για τη συνεργασία, την ενθάρρυνση, την προθυμία του και τις επιστημονικές του συμβουλές κυρίως σε θέματα οντολογιών και σημασιολογίας στην πολιτιστική κληρονομιά.

Θερμές ευχαριστίες σε κάθε ένα ξεχωριστά από τα μέλη της επταμελούς εξεταστικής μου επιτροπής για την πρόθυμη συμμετοχή τους στην κρίση της διατριβής αυτής. Στον Καθ. Κ. Καραδήμα, καθηγητή της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών για τη συνεργασία και τις επιστημονικές του συμβουλές ιδιαίτερα σε θέματα που άπτονται στην αρχιτεκτονική προσέγγιση αλλά και στη μοντελοποίηση αρχαιολογικών χώρων. Στον Αν. Καθ. Χ. Μουζάκη για την εξαιρετική συνεργασία μας και τις πολύτιμες συμβουλές του σχετικά με τη δομοστατική προσέγγιση. Στην ομότιμη Καθ. Μ. Μπεάζη – Κατσιώτη για τις πολύτιμες συμβουλές της όσον αφορά στα δομικά υλικά. Στον Αν. Καθ. Δ. Κυριαζή για τις πολύτιμες συμβουλές του και την εξαιρετική συνεργασία, όσον αφορά στην ανάπτυξη της πλατφόρμας.

Αισθάνομαι την ανάγκη να υπογραμμίσω την εξαιρετική συνεργασία και τις επιστημονικές συμβουλές του αείμνηστου καθ. Ι. Σαγιά, σε θέματα που άπτονται της διαχείρισης δεδομένων μέσω ΓΣΠ, στην πρώτη προσέγγιση της διδακτορικής διατριβής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την ΕΔΙΠ του τομέα Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Δρ. Κατερίνα Δελέγκου για την άψογη συνεργασία και την ουσιαστική συμβολή στη διδακτορική αυτή διατριβή, μέσω των επιστημονικών μας συζητήσεων και συμβουλών. Επίσης ιδιαίτερα ευχαριστώ τον ΕΔΙΠ του τομέα Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Δρ. Κυριάκο Λαμπρόπουλο, για την εξαιρετική συνεργασία, τις χρήσιμες συμβουλές και την υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Δρ. Νάσια Κιούση για τη συνεργασία καθώς και τις πολύτιμες συμβουλές στα πρωτόκολλα τεκμηρίωσης, όπως επίσης και τις Δρ. Μαρία Καρόγλου και Δρ. Ρίτσα Κωνσταντή. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την ΕΔΙΠ του τομέα Φωτογραμμετρίας MSc Σοφία Σοιλέ για τη συνεργασία τόσο στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής όσο και σε άλλα ερευνητικά έργα, για τη συμβολή της στην διεξαγωγή και επεξεργασία μετρήσεων για τη διδακτορική διατριβή καθώς και για τις πολύτιμες επιστημονικές συζητήσεις και συμβουλές της σε θέματα φωτογραμμετρικών τεχνικών. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την ΕΔΙΠ του τομέα Φωτογραμμετρίας MSc Σέβη Ταπεινάκη, για τη συνεργασία καθώς και για τη συμβολή της στη διεξαγωγή και επεξεργασία μετρήσεων για τη διδακτορική διατριβή. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την Αντωνία Λαμπροπούλου για τη στήριξή της, τις συμβουλές της καθώς και για την εμπειρία και τις γνώσεις που μου χάρισε μέσα από τη συνεργασία μας σε πολλές εκπαιδευτικές εκδηλώσεις και ιδιαίτερα στη διοργάνωση του 'INCEPTION course'.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στη φίλη και συνάδελφο Δρ. Μαίρη Αποστολοπούλου, για τη συνεργασία όλα αυτά τα χρόνια, της κοινής ενασχόλησης μας σε πληθώρα ερευνητικών προγραμμάτων. Αποτέλεσε το δίαυλο επικοινωνίας μεταξύ των επιστημών μας και μέσα από τις συζητήσεις μας μου έδινε ώθηση για περαιτέρω ερευνητικές αναλύσεις και για την ολοκλήρωση της διατριβής αυτής. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Υ.Δ. Βασιλή Κεραμίδα για τη συνεργασία μας καθώς και την Υ.Δ. Κατερίνα Κολαϊτη για τη συνεργασία και τη στήριξή της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τον MSc Φώτη Μπουρεξή για τη συνεργασία μας στο ερευνητικό προγράμματος Ναού του Πύθιου Απόλλωνα και για τη συμβολή του στη διεξαγωγή μετρήσεων για τη διδακτορική διατριβή. Επίσης ευχαριστώ πολύ την Ελευθερία Τριάντου για τη συμβολή της στη διεξαγωγή μετρήσεων για τη διδακτορική διατριβή.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους μεταπτυχιακούς φοιτητές με τους οποίους συνεργάστηκα κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διδακτορικής αυτής διατριβής. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Υ.Δ. Στάθη Αδαμόπουλο, τη Μαριτέ Ιωάννου, τη Γεωργία Μουργή, τον Γιάννη Αθηναίο Νικητάκο, την Αθηνά Πούλου και τον Βαγγέλη Μπούρμιο που στήριξα επιστημονικά και με τους οποίους συνεργάστηκα άψογα και δημιουργικά σε θέματα που σχετίζονται με την παρούσα διδακτορική διατριβή. Τους ευχαριστώ για την ουσιαστική συνεργασία και προσφορά τους.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Δρ. Μαρία Δανιήλ, Διευθύντρια της Γενικής Διεύθυνσης Τεχνικών Υπηρεσιών και Έργων του Δήμου Αθηναίων, για τη συνεργασία, για την παροχή της μελέτης αποτύπωσης και αποκατάστασης που είχε εκπονήσει η ίδια καθώς και πλούσιο υλικό σε σχέση με τη Βίλλα Κλωναρίδη. Επίσης ευχαριστώ για τη συνεργασία όλες τις υπηρεσίες του Δήμου Αθηναίων που χρειάστηκε να προσεγγίσουμε για την διεξαγωγή μετρήσεων στη Βίλλα Κλωναρίδη.

Ευχαριστώ την Έφορο Αρχαιοτήτων Δωδεκανήσου κ. Μάνια Μιχαηλίδου για τη συνεργασία στο πλαίσιο του προγράμματος INCEPTION για τον καθαρισμό στα τείχη της Ακρόπολης του Ερμηοκάστρου, χωρίς τον οποίο δεν θα ήταν εφικτή η αποτύπωσή του.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω και στον κ. Γρηγόρη Λουτρίδη και τον κ. Γιάννη Ψαλτάκη για τη συνεργασία και την προσφορά του εξοπλισμού σαρωτή laser GeosLAM ZEB-REVO.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω από καρδιάς τον Καθ. Ρωμύλο Κορακίτη, καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών και επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, για τον καθοριστικό ρόλο που έπαιξε στη διαμόρφωση της επιλογής μου να συνεχίσω την έρευνα, για τις πολύ σημαντικές και ουσιαστικές συμβουλές τόσο επιστημονικά όσο και σε προσωπικό επίπεδο και που θα έχω πάντα στο μυαλό μου, και επίσης γιατί η πόρτα του γραφείου του ήταν πάντα ανοιχτή για εμένα όλα αυτά τα χρόνια από το 2005 μέχρι και σήμερα, δεκαπέντε χρόνια μετά.

Σε προσωπικό επίπεδο θα ήθελα να ευχαριστήσω την παιδική μου φίλη Αγγελική Παπούτση για τις συμβουλές της, τη στήριξή της, την ενέργεια που αφιέρωσε και την αγάπη της όλα αυτά τα χρόνια. Ευχαριστώ ακόμη θερμά την αγαπημένη φίλη και συνάδελφο Κατερίνα Καλέντζη για την υποστήριξη της και την αγάπη της.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένειά μου, τους γονείς μου Κώστα και Νικολέτα, οι οποίοι αποτελούν το πρότυπό μου ως προς τη θεώρηση της ζωής, για την αγάπη τους και τη στήριξη της επιθυμίας μου να ασχοληθώ με την έρευνα και την αδερφή μου Ειρήνη για την αγάπη και τις παραινέσεις της να γίνομαι καλύτερη, να προσπαθώ κάθε μέρα και να μην τα παρατάω ποτέ.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω το συνάδελφο, σύζυγο και συνοδοιπόρο της ζωής μου Θοδωρή, ο οποίος με ενθάρρυνε, με στήριζε και μου έδινε κουράγιο κατά τη διάρκεια του πονήματος αυτού. Χωρίς την υποστήριξή του και την κατανόησή του σε σχέση με τις προτεραιότητες που επέβαλε αυτή η προσπάθεια, δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί αυτό το ταξίδι. Για το κοινό μας ταξίδι στην επιστήμη της τεκμηρίωσης μέσα από το πρίσμα του Αγρονόμου και Τοπογράφου μηχανικού.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσης διδακτορικής διατριβής είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας ολοκληρωμένης διαχείρισης δεδομένων, στην κλίμακα ιστορικών κτιρίων και συνόλων, σε ενιαίο ψηφιακό περιβάλλον. Για τον σκοπό αυτό, αξιοποιούνται δεδομένα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης σε τέσσερα χαρακτηριστικά μνημεία και σχεδιάζεται η ολοκληρωμένη διαχείρισή τους σε διαφορετικά ψηφιακά περιβάλλοντα.

Συγκεκριμένα, μέσα από τη μελέτη δύο περιπτώσεων, ενός αρχαίου ναού, του Πύθιου Απόλλωνα και ενός βυζαντινού μνημείου, της Μονής Καισαριανής, επιχειρείται η διαχείριση δεδομένων της διεπιστημονικής τεκμηρίωσης σε δισδιάστατο περιβάλλον Χωρικών Συστημάτων Απεικόνισης (ΧΣΑ) και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) και καταγράφονται τα προβλήματα που προκύπτουν. Παράλληλα, στην περίπτωση του αρχαίου ναού, επιχειρείται η διαχείριση δεδομένων σε περιβάλλον τρισδιάστατης απεικόνισης με την εισαγωγή δεδομένων υλικών αποκατάστασης. Βάσει των κενών που προκύπτουν από την τεκμηρίωση σε δύο διαστάσεις, κρίνεται αναγκαία η μετάβαση σε ένα σύστημα τριών διαστάσεων, ούτως ώστε να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο ψηφιακό περιβάλλον.

Με σκοπό τη διερεύνηση των δυνατοτήτων τρισδιάστατου ψηφιακού περιβάλλοντος στην ολοκληρωμένη διαχείριση δεδομένων, και την πλήρη ανάπτυξη της μεθοδολογικής προσέγγισης, πραγματοποιείται η τρισδιάστατη τεκμηρίωση δύο διαφορετικών περιπτώσεων μελέτης, ενός νεοκλασικού ιστορικού κτηρίου, της Βίλλας Κλωναρίδη, και ενός αρχαιολογικού χώρου, της Ακρόπολης του Ερμηοκάστρου, με παράλληλη καταγραφή των δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης για τα μνημεία αυτά. Στο πλαίσιο αυτό, υλοποιείται παραμετρική μοντελοποίηση των δυο αυτών περιπτώσεων μελέτης, ενώ λαμβάνονται ως υπόβαθρο τα ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα της διεπιστημονικής τεκμηρίωσης, σε σχέση με τα ιστορικά δεδομένα, τα δεδομένα που προέκυψαν από την αρχιτεκτονική διερεύνηση, τα δεδομένα των δομικών υλικών και της φθοράς που αυτά παρουσιάζουν, καθώς και τα δεδομένα δομικής ανάλυσης. Με τον τρόπο αυτόν, και σε ένα σαφές μεθοδολογικό πλαίσιο, προσδιορίζεται το κατάλληλο ψηφιακό περιβάλλον (ΜΚΠ) για τη βέλτιστη διαχείριση, ανά περίπτωση μελέτης, η οποία μπορεί να υποβοηθήσει την αξιολόγηση όλων των διαθέσιμων δεδομένων και την αποτίμηση της κατάστασης διατήρησης, εν τω συνόλω.

Στην παρούσα εργασία, ως τελικό στάδιο της μεθοδολογίας που αναπτύσσεται, παρουσιάζεται η ολοκληρωμένη διαχείριση των τρισδιάστατων παραμετροποιημένων μοντέλων μέσα σε ψηφιακή διαδικτυακή πλατφόρμα διαχείρισης διεπιστημονικών δεδομένων που επιτρέπει παράλληλα τον εμπλουτισμό των μνημείων μελέτης με σημασιολογικά δεδομένα και μεταδεδομένα.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αναδεικνύει την ανάγκη διαχείρισης όλων των διαθέσιμων δεδομένων σε ένα ολοκληρωμένο και ταυτόχρονα δυναμικό ψηφιακό περιβάλλον, ώστε να αξιοποιούνται όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες για την επίτευξη, όχι μόνο επί μέρους στόχων (πχ αποτίμηση υπάρχουσας κατάστασης διατήρησης), αλλά και για μια συνολική θεώρηση του κτηρίου/μνημείου/ιστορικού συνόλου πολιτιστικής κληρονομιάς. Η πρωτότυπη μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύσσεται συμβάλει προς αυτήν την κατεύθυνση με

καινοτομία, καθώς μέσα από ένα δυναμικό τρισδιάστατο περιβάλλον, δεδομένα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης μπορούν να συνδυάζονται και να αποδίδονται είτε αποσπασματικά είτε εν τω συνόλω, εμπλουτίζοντας συνεχώς με νέα δεδομένα το ψηφιακό μοντέλο και επιτρέποντας αφενός την πλήρη αξιοποίηση των δεδομένων και αφετέρου τη συνεχή παρακολούθηση του κτηρίου/μνημείου/ιστορικού συνόλου, μια διαδικασία προαπαιτούμενη για την αειφόρο διατήρηση και προστασία του.

Abstract

The purpose of this doctoral dissertation is to develop an integrated data management methodology, at the scale of historic buildings and complexes, in a digital environment. For this purpose, interdisciplinary documentation data are utilized in four characteristic monuments and their integrated management is planned in different digital environments.

Specifically, through the study of two cases, an ancient temple, the Pythian Apollo in Rhodes Island and a Byzantine monument, the Monastery of Kaisariani, attempts are made to manage interdisciplinary documentation data in a two-dimensional environment of Spatial Information Systems - Computer Aided Design (CAD) and Geographical Information Systems (GIS), and the problems that arise are recorded. At the same time, in the case of the ancient temple, data management is attempted in a 3D display environment with the introduction of restoration building materials data. Based on the gaps arising from the two-dimensional documentation, it is deemed necessary to upgrade to a three-dimensional system, in order to create a more complete and integrated digital environment.

In order to explore the potential of a 3D digital environment in integrated data management, and to fully develop the methodological approach, 3D documentation of two different case studies is carried out, a neoclassical historic building, Villa Klonaridi, and an archaeological site, Acropolis of Erimokastro in Rhodes, while in parallel recording of interdisciplinary documentation data for these monuments is being held. In this context, parametric modeling of these two study cases is implemented, in relation to the historical data, the data obtained from the architectural investigation, the data of the building materials characterization, as well as the structural analysis data, while qualitative and quantitative results of the interdisciplinary documentation are obtained. In this way, and in a clear methodological framework, the appropriate digital Building Information Modeling environment, for optimal management, is identified, on a case-by-case basis, and can further assist towards the evaluation of all available data and the assessment of the monuments' state of preservation as a whole.

In this study, as a final stage of the developed methodology, the integrated management of the three-dimensional parameterized models, within a digital internet platform, for interdisciplinary data management is accomplished. Moreover, the enrichment of the study monuments with semantic data and metadata is obtained.

This dissertation highlights the need to manage all available data in an integrated, and at the same time, dynamic digital environment, in order to utilize all available information, to achieve, not only individual objectives (e.g. assessment of preservation state), but also an overall validation of the building / monument / historical ensemble of cultural heritage.

The novel methodological approach, presented in this study, contributes to this direction of innovation, since through a dynamic 3D environment, interdisciplinary documentation data can be combined and rendered either as an element, or as a whole, constantly enriching the digital model with new data and allowing full utilization of all the multilateral data. In addition,

the continuous monitoring of the building / monument / historical ensemble, a prerequisite for its sustainable preservation and protection, is achieved.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	i
Περίληψη	v
Abstract	vii
Περιεχόμενα	ix
Μέρος I. Γενικό Θεωρητικό	1
1. Περί Τεκμηρίωσης Μνημείων, Ιστορικών Κτηρίων και Συνόλων	1
1.1. Προστασία Ιστορικών κτηρίων και συνόλων: Δεδομένα – Διεπιστημονική προσέγγιση	1
1.2 Φθορά, Παθολογία, Ανάγκη Αποκατάστασης	3
1.3 Μεθοδολογία Ολοκληρωμένης Διάγνωσης, Σχεδιασμού και Αποτίμησης	4
1.3.1 Προμελέτη – Προκαταρτική Μελέτη	4
1.3.2. Διαγνωστική Μελέτη	6
1.3.3 Μελέτη - Σχεδιασμός και πιλοτικές επεμβάσεις	7
1.3.4 Αποτίμηση – Παρακολούθηση του μνημείου	8
Μέρος II. Ειδικό Θεωρητικό	9
2.1. Γεωμετρική Τεκμηρίωση	9
2.1.1 Περί γεωμετρικής τεκμηρίωσης	9
2.1.2 Τεχνικές γεωμετρικής τεκμηρίωσης	13
2.1.2.1 Τρισδιάστατη Σάρωση με λέιζερ	13
2.1.2.2 Φωτογραμμετρικές τεχνικές	18
2.1.2.3 Συστήματα SLAM	22
2.1.2.5 Συνδυασμός των τεχνικών για την τεκμηρίωση της πολιτιστικής κληρονομιάς	23
2.2 Αξίες και προσέγγιση τεκμηρίωσης της πολιτιστικής κληρονομιάς	25
2.2.1 Αξίες και προσέγγιση τεκμηρίωσης	25
2.2.2 Σημείοντα Πολιτιστικής Κληρονομιάς	28
2.2.3 Πρωτόκολλα τεκμηρίωσης στην Πολιτιστική Κληρονομιά	29
2.3 Πλατφόρμες διαχείρισης δεδομένων	33
2.3.1 Διεπιστημονική προσέγγιση	34
2.3.2 Συστήματα χωρικής απεικόνισης CAD	37
2.3.3 Συστήματα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών ΓΣΠ - GIS	37
2.3.4 Μοντέλα Κτιριακών Πληροφοριών ΜΚΠ - BIM	38
2.3.4.1 Τοπολογικές σχέσεις	39
2.3.4.2 Πρότυπο IFC	39
2.3.4.3 Λογισμικά BIM	40
2.3.4.4 Πλατφόρμες HBIM	40
2.3.4.5 LOD/ Επίπεδα Ανάπτυξης	41
2.3.4.6 Οντολογία - Σημασιολογία	44
2.3.4.7 Πρακτικές ανάπτυξης HBIM	45
2.3.5 Προσέγγιση διεπιστημονικής τεκμηρίωσης - Διεπιστημονική Συνεργασία Χημικών Μηχανικών και Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ	49

Μέρος III. Σχεδιασμός Εφαρμογών - Μελέτες Περιπτώσεων	55
3.1. Μονή Καισαριανής	58
Πρόλογος	58
Εισαγωγή	58
3.1.1 Δεδομένα Διεπιστημονικής τεκμηρίωσης: Γεωμετρικά, Δομικών υλικών, Αρχιτεκτονικά, Ιστορικά - Σχεδιασμός.	59
Μνημείο Εφαρμογής: Ιερά Μονή Καισαριανής	59
3.1.1.1. Ιστορικές φάσεις του Συγκροτήματος και του καθολικού της Καισαριανής - Παλαιότερες Επεμβάσεις	60
3.1.1.2 Γεωμετρική τεκμηρίωση του μνημείου	65
3.1.1.3 Αρχιτεκτονική τεκμηρίωση του μνημείου	66
3.1.1.4 Διαγνωστική μελέτη δομικών υλικών και διάγνωσης της φθοράς	68
3.1.2 Αποτελέσματα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης - Προϊόντα	69
3.1.2.1 Δεδομένα Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης	69
3.1.2.2 Δεδομένα Αρχιτεκτονικής Τεκμηρίωσης	70
3.1.2.3 Αποτελέσματα χαρακτηρισμού δομικών υλικών και διάγνωσης της φθοράς	71
3.1.3. Διαχείριση δεδομένων σε δισδιάστατο περιβάλλον ΧΣΠ (CAD)	71
3.1.4. Μεθοδολογική προσέγγιση - Μερικά συμπεράσματα	81
3.2. Ναός Πυθίου Απόλλωνα	90
Πρόλογος	90
Εισαγωγή	90
3.2.1 Δεδομένα Διεπιστημονικής τεκμηρίωσης: Γεωμετρικά, Ιστορικά, Αρχιτεκτονικά, Δομικών υλικών, Δομοστατικά - Σχεδιασμός	92
Μνημείο Εφαρμογή: Ναός του Πύθιου Απόλλωνος στην Ακρόπολη της Ρόδου	93
3.2.1.1 Ιστορικά στοιχεία και κατασκευαστικές φάσεις του μνημείου	94
3.2.1.2 Αρχιτεκτονικά στοιχεία	95
3.2.1.3 Γεωμετρική τεκμηρίωση	95
3.2.1.4 Διαγνωστική Μελέτη Δομικών Υλικών και Φθοράς	99
3.2.1.5 Σεισμική Απόκριση μνημείου	99
3.2.2. Αποτελέσματα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης - Προϊόντα	103
3.2.2.1 Δεδομένα Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης	103
3.2.2.2 Δεδομένα χαρακτηρισμού δομικών υλικών και διάγνωσης της φθοράς	105
3.2.2.3 Συσχέτιση αποτελεσμάτων μη καταστρεπτικών τεχνικών και δεδομένων γεωμετρικής τεκμηρίωσης	106
3.2.3 Διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης σε δισδιάστατο περιβάλλον ΓΣΠ	109
3.2.4. Διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης στο μοντέλο αποκατάστασης σε τρισδιάστατο περιβάλλον 3d max	112
3.2.4.1 Μεθοδολογία ανάπτυξης μοντέλου αποκατάστασης	112
3.2.5. Μεθοδολογική προσέγγιση - Μερικά συμπεράσματα	117

3.3. Βίλλα Κλωναρίδη	123
Πρόλογος	123
Εισαγωγή	123
3.3.1. Δεδομένα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης: Γεωμετρικά, Δομικών υλικών, Αρχιτεκτονικά, Ιστορικά, Δομοστατικά - Σχεδιασμός	125
Ιστορικό κτήριο εφαρμογής: Βίλλα Κλωναρίδη	125
3.3.1.1 Ιστορικά στοιχεία και κατασκευαστικές φάσεις του ιστορικού κτηρίου	126
3.3.1.2 Αρχιτεκτονικά στοιχεία	127
3.3.1.3 Γεωμετρική τεκμηρίωση	128
3.3.1.4 Διαγνωστική Μελέτη Δομικών Υλικών και Φθοράς	132
3.3.1.5 Δομοστατική μελέτη Ιστορικού κτηρίου	133
3.3.2. Αποτελέσματα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης - Προϊόντα	133
3.3.2.1 Δεδομένα Αρχιτεκτονικής Τεκμηρίωσης - Ιστορικά δεδομένα	133
3.3.2.2 Δεδομένα Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης	134
3.3.2.3 Δεδομένα χαρακτηρισμού δομικών υλικών και διάγνωσης της φθοράς	139
3.3.2.4 Δεδομένα Δομοστατικής Ανάλυσης	143
3.3.2.5 Συσχέτιση αποτελεσμάτων μη καταστρεπτικών τεχνικών και δεδομένων γεωμετρικής τεκμηρίωσης και διαχείριση αυτών σε τρισδιάστατο περιβάλλον	144
3.3.3 Διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης σε δισδιάστατο περιβάλλον ΓΣΠ	147
3.3.4. Διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης σε τρισδιάστατο Μοντέλο Κτηριακών Πληροφοριών ΜΚΠ (BIM)	152
3.3.4.1 Ανάπτυξη ΜΚΠ της Βίλλας Κλωναρίδη	153
3.3.4.2 Τρισδιάστατο μοντέλο ΜΚΠ (HBIM) με ενσωματωμένα αποτελέσματα από 2δ ΣΓΠ	160
3.3.4.3 Εξαγωγή μερικών συμπερασμάτων	165
3.3.5. Μεθοδολογική προσέγγιση - Μερικά συμπεράσματα	166
3.4. Ακρόπολη Ερημοκάστρου	176
Πρόλογος	176
Εισαγωγή	176
3.4.1. Δεδομένα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης: Ιστορική, Γεωμετρική, Δομικών υλικών - Σχεδιασμός	177
Ο αρχαιολογικός χώρος της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου στη Ρόδο	177
3.4.1.1 Ιστορικά και αρχιτεκτονικά στοιχεία	178
3.4.1.2 Γεωμετρική τεκμηρίωση	180
3.4.1.3 Διαγνωστική Μελέτη Δομικών Υλικών και Φθοράς	181
3.4.2. Αποτελέσματα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης - Προϊόντα	181
3.4.2.1 Δεδομένα Ιστορικής και αρχιτεκτονικής διερεύνησης	181
3.4.2.2 Δεδομένα Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης	182
3.4.2.3 Δεδομένα χαρακτηρισμού δομικών υλικών και διάγνωσης της φθοράς	186
3.4.2.4 Συσχέτιση αποτελεσμάτων μη καταστρεπτικών τεχνικών και δεδομένων γεωμετρικής τεκμηρίωσης και διαχείριση αυτών σε τρισδιάστατο περιβάλλον	188

3.4.3 Διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης σε δισδιάστατο περιβάλλον ΓΣΠ _____	188
3.4.4. Διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης σε περιβάλλον Μοντέλου Κτιριακών Πληροφοριών _____	194
3.4.5 Μεθοδολογική προσέγγιση για την ανάπτυξη μοντέλου κτηριακών πληροφοριών για τον αρχαιολογικό χώρο – Μερικά Συμπεράσματα _____	195
4. Προσέγγιση διαχείρισης μοντέλων BIM σε διαδικτυακή πλατφόρμα _	206
4.1 Καταγραφή των σημασιολογικών χαρακτηριστικών και των αξιών και ενσωμάτωση τους σε περιβάλλον ΜΚΠ _____	206
4.2 Οντολογία - Σημασιολογία _____	207
4.2.1 Οντολογίες που περιλαμβάνονται στη διεπιστημονική τεκμηρίωση _____	207
4.2.1 Βίλλα Κλωναρίδη _____	208
4.2.2 Ακρόπολη του Ερημοκάστρου _____	213
4.3 Διαδικτυακή Πλατφόρμα INCEPTION _____	215
4.4 Διαχείριση περιπτώσεων μελέτης στην πλατφόρμα INCEPTION _____	222
4.4.1 Βίλλα Κλωναρίδη _____	222
4.5. Μερικά συμπεράσματα _____	229
5. Τελικά συμπεράσματα - Προοπτικές _____	231
5.1 Τελικά συμπεράσματα _____	231
Δημοσιεύσεις που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της Διδακτορικής Διατριβής _____	246
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ _____	251
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ _____	257

Μέρος Ι. Γενικό Θεωρητικό

1. Περί Τεκμηρίωσης Μνημείων, Ιστορικών Κτηρίων και Συνόλων

1.1. Προστασία Ιστορικών κτηρίων και συνόλων: Δεδομένα – Διεπιστημονική προσέγγιση

Ο κλάδος της συντήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς αναπτύχθηκε ταχύτατα χάρη σε διεθνείς συνεργασίες και δικτύωση. Αυτό καταδεικνύεται από τη συνεχή αναθεώρηση διεθνών εγγράφων, συστάσεων και οδηγιών περί διατήρησης πολιτιστικής κληρονομιάς από το 1964 και μέχρι τις μέρες μας, γεγονός το οποίο ενίσχυσε την εδραίωση της έννοιας της πολιτιστικής κληρονομιάς στη συλλογική αντίληψη. Ο όρος “πολιτιστική κληρονομιά” χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στη Σύμβαση της Χάγης για την Προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς στην Περίπτωση Ένοπλων Συρράξεων (1954), όπου η ανάγκη για την προστασία των μνημείων και εν γένει της πολιτιστικής κληρονομιάς έγινε επιτακτική, αφού σχεδόν το πενήντα τοις εκατό της πολιτιστικής κληρονομιάς (π.χ. Βαρσοβία, Δρέσδη) είχε καταστραφεί λόγω του Β΄ Παγκόσμιου Πολέμου και συνειδητοποιήθηκε ότι χάθηκε ένα σημαντικό κομμάτι της ιστορίας και του πολιτισμού^{1,2}.

Στο Χάρτη της Βενετίας³ ή Διεθνή Χάρτη για τη Συντήρηση και Αποκατάσταση των Μνημείων και Τοποθεσιών, το 1964 ο οποίος λειτουργεί συμπληρωματικά προς τον Χάρτη της Αθήνας⁴ που συντάχθηκε το 1931 και αποτελεί το θεμέλιο της μνημειακής κληρονομιάς, οι ιστορικοί χώροι, τα σύνολα και τα μνημεία αναφέρονται ως μονάδες ιστορικής, αρχαιολογικής και αισθητικής ή καλλιτεχνική αξίας^{3,5}. Ακολούθησαν και άλλα διεθνή κείμενα όπως είναι η Διακήρυξη του Άμστερνταμ το 1975, η Σύσταση της Ναϊρόμπι το 1976 και η Σύμβαση της Γρανάδας το 1985. Παράλληλα, τα έγγραφα ICOMOS που ακολούθησαν αναφέρονται στους ιστορικούς κήπους (Χάρτης Φλωρεντίας, 1982) και στα δομημένα περιβάλλοντα (Χάρτης Άπλτον 1983) που περιλαμβάνουν στοιχεία μεμονωμένων κτηρίων ή και ολόκληρες δομημένες περιοχές. Η Χάρτα της Ουάσινγκτον ή Χάρτα των ιστορικών πόλεων, το 1987 πραγματεύεται ιστορικές πόλεις και αστικές περιοχές οριοθετώντας ένα γενικό πλαίσιο προστασίας, ενώ ο Χάρτης της Λωζάνης που ακολουθεί το 1990 επικεντρώνεται στην αρχαιολογική κληρονομιά. Λίγα χρόνια αργότερα, το κείμενο της Νάρα του 1994⁶ εισάγει την έννοια της αυθεντικότητας ως αρχή αξιολόγησης των στοιχείων πολιτιστικής κληρονομιάς, αναγνωρίζοντας την πολυσχιδή φύση της κληρονομιάς. Μια σειρά εγγράφων που συντάχθηκαν στο Μεξικό το 1999 εστιάζουν σε ιστορικές ξύλινες δομές και διαλέκτους ως

¹ Χ.Θ. Μπούρα., Σημειώσεις μαθήματος: Αποκαταστάσεις των μνημείων Ι (κεφάλαια Ι έως Χ), Ε.Μ.Π. Σπουδαστήριο ιστορίας της αρχιτεκτονικής, Αθήνα 1983

² Δ. Ζήβας, Σημειώσεις του μαθήματος ‘Θεωρία και Ιστορία των Αποκαταστάσεων – Ανάλυση του Χάρτη του Άμστερνταμ και της σύμβασης της Γρανάδας. Διεθνείς Οδηγίες και Διακηρύξεις’, ΔΠΜΣ ‘Προστασία Μνημείων’, Σχολή Αρχιτεκτόνων Ε.Μ.Π., 2011

³ The Venice Charter: International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites. ICOMOS 1964. Source: http://icomos.org/charters/venice_e.pdf.

⁴ The Athens Charter for the Restoration of Historic Monuments. International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments. 1931 Athens. Source: <http://icomos.org/en/charters-and-texts/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/167-the-athens-charter-for-the-restoration-of-historic-monument>.

⁵ Mebratu, D. 1998. Sustainability and Sustainable Development: Historical and Conceptual Review. Environmental Impact Assessment Review 18, 6: 493–520.

⁶ <https://www.icomos.org/charters/nara-e.pdf>

κομμάτι της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ο χάρτης της Κρακοβίας (2000) χαρακτηρίζει το μνημείο ως φορέα αξιών και σαφώς καθορισμένη οντότητα. Στις αρχές του 21ου αιώνα, το έγγραφο της Ζιμπάμπουε το 2003 επανεστιάζει στην αρχιτεκτονική κληρονομιά ενώ το Συνέδριο του Συμβουλίου της Ευρώπης που έλαβε χώρα στη Φλωρεντία το 2003, αφιερώνονται στο πολιτιστικό τοπίο. Το 2008, η ICOMOS υιοθέτησε την Διακήρυξη του Κεμπέκ για τη διατήρηση της ατμόσφαιρας που αποπνέει κάθε τόπος.

Η σύμβαση Φάρο, υπό την εποπτεία του Συμβουλίου της Ευρώπης, που διεξήχθη το 2005, συνδέει με καινοτόμο τρόπο την κοινή πολιτιστική κληρονομιά της Ευρώπης με τα ανθρώπινα δικαιώματα και τις θεμελιώδεις ελευθερίες. Μετέπειτα, το 2011 στο Παρίσι, η ICOMOS υιοθέτησε μια σειρά εγγράφων με συστάσεις περί συντήρησης βιομηχανικής κληρονομιάς, δομών, περιοχών και τοπίων όπως και ιστορικών πόλεων και αστικών περιοχών. Η αξιολόγηση της πολιτιστικής κληρονομιάς βασίζεται σε ορισμούς που αναφέρονται στα μέρη πολιτιστικού ενδιαφέροντος (Χάρτης Μπούρα 1991), στα μέρη πολιτιστικής σπουδαιότητας (Χάρτης του Μεξικό, 1991), στην ατμόσφαιρα που αποπνέει κάθε τοποθεσία (Χάρτης Κεμπέκ, 2008) και στα μέρη πολιτιστικού ενδιαφέροντος (Χάρτης Νέας Ζηλανδίας, 2010).

Εκτός από τις διεθνείς πρακτικές και χάρτες, στην Ελλάδα ιδιαίτερη σημασία φέρει ο Νόμος 3028/2002 περί Προστασίας των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, όπου ορίζονται και έννοιες σχετικές με ζώνες προστασίας και την πρόσβαση σε μνημεία, αρχαιολογικούς χώρους και σύνολα.

Στο πλαίσιο των προαναφερθέντων χαρτών, νόμων και συμβάσεων, συμπεραίνεται ότι η σημασία της τεκμηρίωσης (γεωμετρικής, αρχιτεκτονικής, ιστορικής, ή δομοστατικής) είναι αναγνωρισμένη και θεωρείται ως το υπόβαθρο ανάλυσης της υπάρχουσας κατάστασης, της καταγραφής αλλά και του σχεδιασμού μελλοντικών σωστικών ή άλλου τύπου επεμβάσεων. Κρίσιμη εξίσου είναι η συνεργασία όλων των επιστημών και τεχνικών που μπορούν να συνεισφέρουν στη μελέτη, καταγραφή, προστασία και διάσωση της πολιτιστικής κληρονομιάς ακολουθώντας κατευθυντήριες γραμμές και προδιαγραφές τεκμηρίωσης^{7, 8, 9, 10, 11}

Εν κατακλείδι, πολιτιστική κληρονομιά αποτελεί το σύνολο των φυσικών αντικειμένων και των άυλων χαρακτηριστικών μιας ομάδας ή μιας κοινωνίας που κληρονομούνται από τις προηγούμενες γενιές, διατηρούνται στο παρόν και συντηρούνται προς όφελος των μελλοντικών γενεών. Το Διεθνές Συμβούλιο Μνημείων και Τοποθεσιών (International Council of Monuments and Sites -ICOMOS) έδωσε τον ορισμό ως μνημείο: «Κάθε ακίνητο, κτισμένο ή όχι, το οποίο διακρίνεται για το αρχαιολογικό, ιστορικό, αισθητικό ή το εθνογραφικό του

⁷ Πατιάς, Π., 2006. Φωτογραμμετρία και τεκμηρίωση αρχαιολογικών χώρων και ευρημάτων.

⁸ Μοροπούλου, Α., 2004. Επεξεργασίες ΤΕΕ σχετικά με την ολοκληρωμένη συντήρηση και αποκατάσταση της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς. Ημερίδα ISCARSAH/ ICOMOS, Αθήνα: ΥΠΠΟ.

⁹ Μαλλούχου – Tufano, Φ., 2016. Προστασία και Διαχείριση Μνημείων. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/6466>.

¹⁰ Letellier, R., Schmid, W., LeBlanc, F., 2007. Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places: Guiding Principles, J. Paul Getty Trust.

¹¹ Boochs, F., Bentkowska-Kafel, A., Degrigny, C., Hauta-Kasari, M., Rizvic, S. and Trémeau, A., 2013. Towards optimal spectral and spatial documentation of Cultural Heritage. COSCH—an interdisciplinary action in the COST framework. In Proc. of the XXIV International CIPA Symposium, pp.109-113.

ενδιαφέρον». Στον ορισμό περιλαμβάνονται τα ακίνητα αγαθά που θεωρούνται διατηρητέα λόγω της φύσεως ή του προορισμού τους καθώς και τα κινητά που βρίσκονται μέσα στα μνημεία¹. Παράγοντας διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι η πεποίθηση στους σύγχρονους ανθρώπους ότι αποτελεί στοιχείο της ταυτότητάς τους και επομένως είναι άξιο διατήρησης και διάδοσής της στις μελλοντικές γενιές.

1.2 Φθορά, Παθολογία, Ανάγκη Αποκατάστασης

Σημαντικό κομμάτι της τεκμηρίωσης αποτελεί η εξεύρεση των φαινομένων φθοράς που επιδρούν στα μνημεία και τα δομικά τους υλικά και οι μηχανισμοί φθοράς που λαμβάνουν χώρα. Τα δεδομένα αυτά λειτουργούν υποστηρικτικά και στον σχεδιασμό υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης, ώστε να διασφαλιστεί η μακροζωία του μνημείου ή της ιστορικής κατασκευής¹². Η φθορά αφορά στην απομείωση των ιδιοτήτων (φυσικών, χημικών, μηχανικών κ.α.) και των χαρακτηριστικών (ορυκτολογικών, υφής κ.α.), της συνοχής, των διαστάσεων και της αισθητικής ενός υλικού¹³.

Γενικώς, τα φαινόμενα φθοράς κατατάσσονται ως ακολούθως:

- Μηχανική ή φυσική φθορά: Αφορά σε μηχανική χαλάρωση των δομών και διαχωρισμό των συστατικών του υλικού λόγω θλιπτικών, εφελκυστικών ή διατμητικών τάσεων, αναπτυσσόμενων δυνάμεων εντός του υλικού λόγω ανισοτροπίας ή διαδικασιών που σχετίζονται με την παρουσία διαλυτών αλάτων και των κύκλων ύγρانشης-ψύξης. Παράδειγμα φυσικής φθοράς είναι η απολέπιση λίθου λόγω δράσης αλάτων.
- Χημική φθορά: Περιλαμβάνει τις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο υλικό υπό την επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων ή λόγω θερμοδυναμικής αστάθειας ορισμένων συστατικών του υλικού. Παράδειγμα χημικής φθοράς είναι η επίδραση της όξινη βροχής σε δομικά υλικά.
- Βιολογική φθορά: Αφορά στην επίδραση διαφόρων οργανισμών στα υλικά και σχετίζεται με τις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες φθοράς.

Εκδηλώνονται είτε στις διεπιφάνειες υλικών/περιβάλλοντος είτε στις διεπιφάνειες υλικών/υλικών και είναι συνάρτηση ενδογενών και εξωγενών παραγόντων.

Η τεκμηρίωση της φθοράς είναι εξέχουσας σημασίας, καθώς αποτελεί προαπαιτούμενο για την προστασία ενός μνημείου ή μιας ιστορικής κατασκευής και μόνο γνωρίζοντας τον μηχανισμό της φθοράς αυτή είναι δυνατή.

Για τη μελέτη της φθοράς των δομικών υλικών και ιδιαίτερα για την κατηγοριοποίηση και τον προσδιορισμό ενδογενών και εξωγενών παραμέτρων που ρυθμίζουν την επιδεκτικότητα των ιστορικών δομικών υλικών στη φθορά, θα πρέπει να γίνεται (i) μακροσκοπικός έλεγχος της φθοράς, (ii) να αναγνωρίζεται η τυπολογία των φαινομένων φθοράς που είναι σε εξέλιξη (ή που έχουν λάβει χώρα), (iii) να αποσαφηνίζονται οι μηχανισμοί φθοράς (π.χ.

¹² Α. Μοροπούλου. (2013). Παραδοτέο 3.1.1 Ανάπτυξη γνωσιολογικής Βάσης Δεδομένων. ΘΑΛΗΣ-ΕΜΠ: Αειφορία και Συμβατότητα Προηγμένων Υλικών και Τεχνολογιών για την Προστασία Μνημείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς: Ανάπτυξη Κριτηρίων & Μεθοδολογιών Ελέγχου.

¹³ Α. Μοροπούλου, Διδακτικές σημειώσεις του μαθήματος 'Φαινόμενα και μηχανισμοί της φθοράς', ΔΠΜΣ 'Προστασία Μνημείων', Σχολή Αρχιτεκτόνων Ε.Μ.Π., 2011

φυσικές/μηχανικές διεργασίες, φυσικοχημικές ή χημικές και βιολογικές διεργασίες), (iv) να καταγράφονται οι εξωγενείς παράγοντες φθοράς (π.χ. χαρακτηριστικά κλίματος) και τέλος (v) να καταγράφονται οι ενδογενείς παράγοντες φθοράς (π.χ. τύπος υλικού, μηχανική κύκλου ζωής του υλικού, κ.ο.κ.).

Για την ανάλυση των βλαβών ενός δομικού συνόλου, θα πρέπει (i) να αποσαφηνιστεί το είδος της κατασκευής, (ii) να καταγραφούν τα εσωτερικά αίτια βλάβης (π.χ. θέση βλάβης, μορφολογία βλάβης, σε περίπτωση ρωγμής το πάχος της, κ.ο.κ.), (iii) τα εξωτερικά αίτια της βλάβης (π.χ. θέση μέλους που παρουσιάζει βλάβη).

Τα στοιχεία αυτά θα πρέπει να τεκμηριώνονται με ακρίβεια ώστε να διευκολυνθεί η διαδικασία της διάγνωσης και του σχεδιασμού επεμβάσεων συντήρησης, αποκατάστασης και προστασίας. Η διασύνδεση αυτών των δεδομένων με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός δομήματος μπορεί να διευκολύνει την ερμηνεία εμφάνισής τους και να διασφαλίζει τις έγκαιρες ενέργειες για την προστασία ενός μνημειακού συνόλου¹⁴.

1.3 Μεθοδολογία Ολοκληρωμένης Διάγνωσης, Σχεδιασμού και Αποτίμησης

Μέσα στο πλαίσιο της προστασίας μνημείων, όπως διαμορφώνεται από το διεθνές και εθνικό νομοθετικό πλαίσιο, τις διεθνείς και εθνικές οδηγίες, από τις σύγχρονες τάσεις, και από τη γνώση που έχει προκύψει μετά από δεκαετίες ασύμβατων επεμβάσεων λόγω ανεπαρκούς και μη συστηματικής τεκμηρίωσης, διάγνωσης και ελέγχου, προκύπτει η ανάγκη για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας βασισμένη σε διεπιστημονική τεκμηρίωση για τη λήψη αποφάσεων σε περιπτώσεις επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης. Θα πρέπει να βασίζεται στην συστηματική συλλογή, επεξεργασία και διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης, για την ολοκληρωμένη γνώση του μνημείου καθώς και τις πιθανές μεταβολές που μπορεί να προκύπτουν με τη μεταβολή του χρόνου. Θα πρέπει επίσης να συνυπολογιστούν και οι πιθανές εργασίες αποκαταστάσεων και επεμβάσεων που εμπλουτίζουν τις πληροφορίες για το μνημείο και επηρεάζουν τη λήψη αποφάσεων, μέσα σε ένα πλαίσιο προτύπου συστήματος υποστήριξης λήψης αποφάσεων¹⁵.

Σε αυτή την κατεύθυνση έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες τα τελευταία χρόνια για τη χάραξη μιας κοινής στρατηγικής και κατευθύνσεων. Κυριότερη αποτελεί η σχετική εισήγηση του ΤΕΕ παρουσιάστηκε το 2005, με στόχο τη «Σύνταξη προδιαγραφών της Διαγνωστικής Μελέτης σε διεπιστημονική βάση για έκδοση υπουργικής απόφασης σε σχέση με την υλοποίηση του Ν. 3028 (Άρθρο 40, παρ. 4) του ΥΠΠΟ για την Προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς»²⁶. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τρία στάδια, την προκαταρκτική μελέτη, τη διαγνωστική μελέτη και την ολοκληρωμένη μελέτη επεμβάσεων.

1.3.1 Προμελέτη – Προκαταρκτική Μελέτη

Αποτελεί την πρώτη προσέγγιση του μνημείου όπου και περιλαμβάνει την ιστορική και γεωμετρική τεκμηρίωση, την αρχιτεκτονική αποτύπωση και κατασκευαστική ανάλυση, την καταγραφή του δομικού συστήματος και μία πρώτη αναγνώριση και χαρτογράφηση των

¹⁴ Κιούση Α. 2016. "Πρότυπη μεθοδολογία τεκμηρίωσης υλικών και επεμβάσεων συντήρησης με έμφαση στην ταυτότητα της ευρωπαϊκής πολιτιστικής κληρονομιάς" Διδακτορική διατριβή, Επιβλέπουσα Καθ. Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ

¹⁵ Kioussi, A. et al. (2013) Integrated documentation protocols enabling decision making in cultural heritage protection, *Journal of Cultural Heritage* 14S (2013) e141-e146

δομικών υλικών, φθορών και προγενέστερων επεμβάσεων συντήρησης. Ακόμη στο στάδιο αυτό γίνεται καταγραφή των περιβαλλοντικών και μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής που βρίσκεται το μνημείο¹⁶.

Πιο συγκεκριμένα, η **ιστορική τεκμηρίωση** αφορά στην καταγραφή της ιστορίας του μνημείου, δηλαδή τις φάσεις εξέλιξης και διαμόρφωσης του στο πέρασμα των χρόνων και στη συλλογή και καταγραφή ιστορικών αρχείων (ιστορικά αρχεία και έγγραφα, φωτογραφίες, παλαιότερους χάρτες κλπ). Επίσης αφορά στις προηγούμενες επεμβάσεις που καταγράφηκαν στο μνημείο.

Η **γεωμετρική τεκμηρίωση** μνημείων αποτελεί τη διαδικασία λήψης, επεξεργασίας, αρχειοθέτησης και παρουσίασης των στοιχείων για τον καθορισμό της θέσης και της υπάρχουσας μορφής, σχήματος και μεγέθους ενός μνημείου στον τρισδιάστατο χώρο σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή¹⁷. Οι βασικές αρχές της γεωμετρικής τεκμηρίωσης αφορούν στην καταγραφή του μνημείου εφαρμόζοντας μεθόδους και τεχνικές μη επεμβατικές και μη επαφής, για την παραγωγή εικονιστικών προϊόντων (σχέδια, εικόνες, τρισδιάστατα μοντέλα) σε διάφορες κλίμακες που συνήθως έχουν μετρητικές ιδιότητες. Σημαντική είναι η ακρίβεια και η κλίμακα απόδοσης των προϊόντων αυτών, κάτι που συνήθως καθορίζεται πριν από τη διαδικασία της τεκμηρίωσης και εξαρτάται από το αντικείμενο προς αποτύπωση και το σκοπό της μελέτης^{18,19}.

Η **αρχιτεκτονική τεκμηρίωση**, αφορά στην παραγωγή αρχιτεκτονικών σχεδίων (όψεις, κατόψεις, τομές, κατασκευαστικές λεπτομέρειες και προοπτικές απεικονίσεις) ενώ διερευνά τον τρόπο δόμησης του μνημείου, τις πιθανές οικοδομικές φάσεις και γίνεται μια ταξινόμηση σε σχέση με τα δομικά υλικά που απαρτίζουν το μνημείο. Η προσέγγιση στην τεκμηρίωση εξαρτάται από το είδος του μνημείου καθώς και το σκοπό της μελέτης.

Η **μελέτη της δομικής κατάστασης** του μνημείου, αφορά στο δομοστατικό έλεγχο, τη μελέτη στατικότητας και την καταγραφή των φθορών και βλαβών. Επίσης αφορά στην καταγραφή των διαστάσεων των φερόντων και μη στοιχείων και της γεωμετρίας τους²⁰. Συνήθως τα αποτελέσματα του δομοστατικού ελέγχου εξάγονται μέσα από υπολογιστικές τεχνικές.

Στο στάδιο της προμελέτης η **αναγνώριση των δομικών υλικών και των φθορών** προκύπτει από τον οπτικό έλεγχο του μνημείου, τόσο σε ευρύτερες περιοχές που παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στα είδη των δομικών υλικών, αλλά και σε πιο εστιασμένες περιοχές, που

¹⁶ Moropoulou, A., Chandakas, B., Togkalidou, T., Karoglou, M. and Padouvas, E., 2003. A new methodology for quality control and monitoring of historic buildings: A tool for lifetime engineering. In Symposium Proceedings, 2nd International symposium, ILCDES Integrated Life-time Engineering of Buildings and Civil Infrastructures, Kuopio, Finland, pp.269-274.

¹⁷ UNESCO, 1981. Advice and Suggestions on the furtherance of Optimum Practice in Architectural Photogrammetry Surveys, prepared by CIPA of the ICOMOS.

¹⁸ Georgopoulos, A., 2016. 3D GEO: An alternative approach. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, pp.99-106.

¹⁹ Ioannidis, C. and Georgopoulos, A., 2007. Innovative Techniques for the acquisition and processing of Multisource data for the Geometric Documentation of Monuments. International Journal of Architectural Computing, 5(2), pp.179-197.

²⁰ Binda, L., 2004. The importance of investigation for the diagnosis of historic buildings: application at different scales (centers and single buildings). In Proc. of the IV International Conference on Structural Analysis on Historical Constructions (SAHC), pp.10-13.

αφορούν συνήθως διαφοροποιήσεις στην επιφανειακή μορφολογία των υλικών. Χαρτογράφηση αυτών των δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω των Συστημάτων χωρικής απεικόνισης (CAD) ή Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS)^{21,22}.

1.3.2. Διαγνωστική Μελέτη

Η διαγνωστική μελέτη αποτελεί τη μελέτη που συνδυάζει τα αποτελέσματα της διεπιστημονικής τεκμηρίωσης ενός μνημείου εν είδει ολοκληρωμένης μελέτης που περιλαμβάνει εκτός από τα δεδομένα της καταγραφής της υπάρχουσας κατάστασης και την καταγραφή της παθολογίας του μνημείου και μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την υπάρχουσα κατάσταση διατήρησης του. Καταγράφονται και εξάγονται συμπεράσματα (ποιοτικά και ποσοτικά) σε σχέση με τη φθορά λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των δομικών υλικών που απαρτίζουν το μνημείο (*Εικόνα 1*).

Η **αρχιτεκτονική μελέτη** περιλαμβάνει εκτός από τα προϊόντα του προηγούμενου σταδίου, σχέδια που περιλαμβάνουν μορφολογικά και τεχνικά ζητήματα, δεδομένα σχετικά με την οργάνωση του χώρου καθώς και τη σύνταξη ενός πρωταρχικού προϋπολογισμού για τη δαπάνη των εργασιών αποκατάστασης. Η **δομοστατική μελέτη** περιλαμβάνει την αποτίμηση της ικανότητας του δομικού συστήματος του μνημείου σε φορτίσεις και καταπονήσεις (μέσω υπολογιστικών τεχνικών). Όσον αφορά τα **δομικά υλικά**, στο στάδιο αυτό, πραγματοποιείται ο χαρακτηρισμός τους, η διερεύνηση της προέλευσής τους και των πρώτων υλών τους. Περιλαμβάνει επίσης την **αποτίμηση των φθορών** και των προηγούμενων επεμβάσεων ενώ γίνεται και η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών φορτίων που επιδρούν στο μνημείο. Η αποτίμηση βασίζεται σε επί τόπου εφαρμογή τεχνικών μη καταστροφικού ελέγχου²³ και λήψη δειγμάτων από επιλεγμένες περιοχές για ανάλυση μέσω ενόργανων μεθόδων^{24,25}.

Οι μη καταστρεπτικές τεχνικές περιλαμβάνουν την ψηφιακή επεξεργασία εικόνας (DIP), τη μικροσκοπία οπτικών ινών (FOM), την υπερηχοσκόπηση (US), την υπέρυθη θερμογραφία (IRT), την κρουσιμέτρηση, το γεωραντάρ (GPR) καθώς και τη μέτρηση της επιφανειακής σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας. Οι ενόργανες τεχνικές περιλαμβάνουν την περίθλαση ακτίνων Χ (XRD), την υπέρυθη φασματοσκοπία μετασχηματισμού Φουριέ (FTIR), την οπτική πολωτική μικροσκοπία (OM), την φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων Χ (XRF), την ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωση (SEM)- και μικροανάλυση διασποράς ενέργειας ακτίνων Χ

²¹ Fitzner B., Heinrichs K., Kownatzki R., Classification and mapping of weathering forms, in Proc. of the 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, vol. 2, 15-18 June, Lisbon, 1992, p. 957-968.

²² Α. Μοροπούλου, Αικ. Θ. Δελέγκου, Μ. Γεραβέλη, Σ. Μιχαήλ, Α. Μπακόλας, "Στρατηγικός Σχεδιασμός Συμβατών Υλικών και Επεμβάσεων Συντήρησης. Η Περίπτωση του Μεγάρου Μελά και του πρώην Ξενοδοχείου Excelsior στην Αθήνα", 2ο Εθνικό Συνέδριο: Ήπιες Επεμβάσεις για την Προστασία Ιστορικών Κατασκευών, εκδ. επιμέλεια Κ. Τρακοσοπούλου, Μ. Δούση, Ν.Κ. Χατζητρύφων, 1ος τόμος, σελ. 341 - 352, Θεσσαλονίκη, 2004.

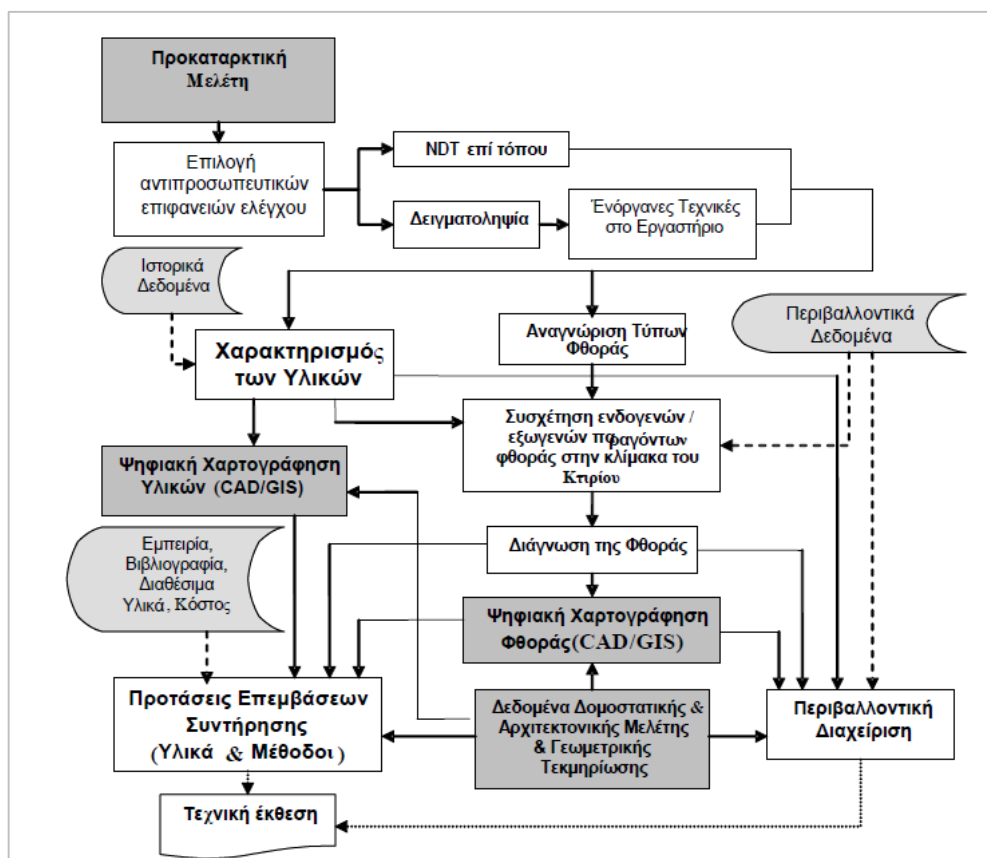
²³ Moropoulou, A., Labropoulos, K.C., Delegou, E.T., Karoglou, M. and Bakolas, A., 2013. Non-destructive techniques as a tool for the protection of built cultural heritage. Construction and Building Materials, 48, pp.1222-1239.

²⁴ Moropoulou, A., Kouli, M., Tsiourva, T., Kourteli, C. and Papisotiriou, D., 1997. Macro-and micro-non-destructive tests for environmental impact assessment on architectural surfaces. In Materials Research Society Proceedings (462) pp.343-349. Cambridge University Press

²⁵ Moropoulou, A., Bakolas, A. and Bisbikou, K., 1995. Characterization of ancient, byzantine and later historic mortars by thermal and X-ray diffraction techniques. Thermochimica Acta, 269, pp.779-795.

(EDXMA), τη θερμοβαρυμετρία (TG) και διαφορική θερμική ανάλυση (DTA), την υδατοαπορρόφηση, την ποροσιμετρία υδραργύρου (MIP) κ.α.

Μετά την ολοκλήρωση των επί μέρους εργασιών, στο στάδιο αυτό, είναι απαραίτητο να συσχετιστούν τα αποτελέσματα της διεπιστημονικής τεκμηρίωσης. Η μελέτη αποκατάστασης ενός μνημείου απαιτεί μία διεπιστημονική προσέγγιση και τη συνεργασία μεταξύ των ειδικοτήτων που σχετίζονται με την πολιτιστική κληρονομιά, για να σχεδιαστεί και υλοποιηθεί η συντήρηση και αποκατάσταση του μνημείου.



Εικόνα 1: Σχηματικό διάγραμμα μεθοδολογίας Διαγνωστικής μελέτης²⁶

1.3.3 Μελέτη - Σχεδιασμός και πιλοτικές επεμβάσεις

Περιλαμβάνει τις μελέτες αρχιτεκτονικής, δομοστατικής και σχεδιασμού υλικών ή και άλλες μελέτες εάν χρειαστεί, που σχετίζονται με την αποκατάσταση του μνημείου. Πιο συγκεκριμένα, η αρχιτεκτονική μελέτη σχετίζεται με τη νέα χρήση και η δομοστατική με την δομική ενίσχυση του μνημείου ώστε να ανταποκρίνεται στη νέα αυτή χρήση. Η επιλογή και ο σχεδιασμός των δομικών υλικών και επεμβάσεων συντήρησης ανταποκρίνονται στην αναβάθμιση του μνημείου, με υλικά συμβατά και επιτελεστικά, ενώ στο πλαίσιο αυτό, εντάσσεται και η μελέτη πιλοτικών εφαρμογών επί τόπου στο μνημείο για την διασφάλιση

²⁶ Αγγελακοπούλου, Ε., Αθανασιάδου, Α., Γεωργόπουλος, Α., Γεωργουσόπουλος, Γ., Δελέγκου, Α., Καλογεράς, Ν., Σβολόπουλος, Δ., Χρονόπουλος, Μ., 2005. Ολοκληρωμένη Διαγνωστική Μελέτη. Εισήγ. ΟΕ ΤΕΕ, Επιστημονικές Ημερίδες για την Προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς Προβλήματα Φθοράς και Παθολογίας Μνημείων: Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης και Αποκατάστασης ΙΙ.

των τεχνικών προδιαγραφών των υλικών, των τεχνικών καθώς και των μεθόδων εφαρμογής τους²⁶.

1.3.4 Αποτίμηση – Παρακολούθηση του μνημείου

Το στάδιο αυτό της **αποτίμησης των εργασιών** συντήρησης και αποκατάστασης του μνημείου, επιτυγχάνεται μέσω της παρακολούθησης του μνημείου. Συνήθως επιτυγχάνεται με τη χρήση μη καταστρεπτικών και μη επεμβατικών τεχνικών. Αφορούν στην αποτίμηση των δομικών υλικών αποκατάστασης με χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών και στη μελέτη της μορφολογίας του μνημείου που επιτυγχάνεται μέσω μακροσκοπικών παρατηρήσεων και της γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Η χρήση των χωρικών συστημάτων απεικόνισης ή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για τη συστηματική **παρακολούθηση του μνημείου**, όπου τα νέα δεδομένα θα ενσωματώνονται στο σύστημα και θα γίνεται συσχέτιση με τα προγενέστερα. Επίσης, τα τελευταία χρόνια η παρακολούθηση εργασιών αποκατάστασης ενός μνημείου, επιτυγχάνεται μέσω συστημάτων παρακολούθησης με χρήση αισθητήρων^{27,28,29}.

²⁷ Agbota, H.; Mitchell, J.E.; Odlyha, M.; Strlič, M. Remote Assessment of Cultural Heritage Environments with Wireless Sensor Array Networks. *Sensors* 2014, 14, 8779-8793.

²⁸ M. C. Rodriguez-Sanchez, S. Borromeo and J. A. Hernández-Tamames, "Wireless Sensor Networks for Conservation and Monitoring Cultural Assets," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 11, no. 6, pp. 1382-1389, June 2011, doi: 10.1109/JSEN.2010.2093882.

²⁹ Moropoulou, A., Karoglou, M., Agapakis, I., Mouzakis, C., Asimakopoulos, S., Pantazis, G., & Lambrou, E. (2019). Structural health monitoring of the Holy Aedicule in Jerusalem. *Structural Control and Health Monitoring*, 26(9), e2387.

Μέρος II. Ειδικό Θεωρητικό

2.1. Γεωμετρική Τεκμηρίωση

2.1.1 Περί γεωμετρικής τεκμηρίωσης

Η γεωμετρική τεκμηρίωση των μνημείων είναι η διαδικασία λήψης, επεξεργασίας, αρχειοθέτησης και παρουσίασης των στοιχείων για τον καθορισμό της θέσης και της υπάρχουσας μορφής, σχήματος και μεγέθους ενός μνημείου στον τρισδιάστατο χώρο σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή³⁰. Στόχος της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, είναι η καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης των μνημείων και η παραγωγή σχεδίων και άλλων προϊόντων που θα αποτελέσουν αξιόπιστο υπόβαθρο για τους μελετητές της πολιτιστικής κληρονομιάς³¹.

Γενικά, οι σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ της ανθρωπότητας με την πάροδο των αιώνων, τα επιτεύγματα του παρελθόντος καθώς και νέες ανακαλύψεις, θεωρούνται ως στοιχεία πολιτιστικής κληρονομιάς. Δυστυχώς μεγάλο κομμάτι αυτής, ιδιαίτερα τα προηγούμενα χρόνια που δεν υπήρχε καθορισμένο πλαίσιο προστασίας αυτής, έχει απολεσθεί. Εάν, η ανθρωπότητα δεν προστατεύσει την πολιτιστική κληρονομιά, ο αφανισμός αρχαιολογικών και ιστορικών στοιχείων μπορεί να πραγματοποιηθεί και συνεπώς θα χαθούν για πάντα μαρτυρίες ανθρώπινης δημιουργίας και γνώση που μορφοποιούν το μέλλον του πλανήτη και της θέσης μας σε αυτόν. Παρ' όλο που η έως τώρα απώλεια πολιτιστικής κληρονομιάς είναι μη-αναστρέψιμη, μπορεί στις περισσότερες των περιπτώσεων να αποφευχθεί ή να επιβραδυνθεί. Η αποτελεσματική προστασία βασίζεται τόσο στην επιστημονική τεκμηρίωση, στην κατανόηση των θεμάτων που σχετίζονται με την πολιτιστική κληρονομιά, την ορθή εκτίμηση και εν συνεχεία επιβολή των απαραίτητων μέτρων με στόχο την ελαχιστοποίηση των φθορών, των βλαβών ή και της απώλειας στοιχείων της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η **τεκμηρίωση** στο πεδίο των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς, ερμηνεύεται ως μια συνεχή διαδικασία συλλογής, καταγραφής, αρχειοθέτησης και συστηματικής ανάκτησης και ανάλυσης αξιόπιστων δεδομένων, με τη δημιουργία κατάλληλης στρατηγικής τεκμηρίωσης μνημείων, εναρμονισμένη και πάντα σύμφωνη με τα υφιστάμενα πρότυπα και προδιαγραφές. Τα κριτήρια, οι δείκτες και τα πρωτόκολλα που περιέχονται στη μεθοδολογία της τεκμηρίωσης, ενθαρρύνει τη συμβατότητα και επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών σε εθνικό και διεθνές επίπεδο.

Ακόμη, οι παράγοντες που δρουν πάνω σε ένα ιστορικό μνημείο και το επιβαρύνουν είναι αρκετοί. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι οι καταστροφές, που οφείλονται σε φυσικά αίτια είτε σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, η φθορά με την πάροδο του χρόνου και η εγκατάλειψη. Αυτό έχει αφυπνίσει τους αρμόδιους για την προστασία των μνημείων οργανισμούς, σχετικά με την επιτακτικότητα για έκδοση κατευθυντήριων γραμμών και προδιαγραφών τεκμηρίωσης για σκοπούς διαχείρισης, αποτίμησης, αποκατάστασης και συντήρησης,

³⁰ Γεωργόπουλος Α. 2008-2009. Φωτογραμμετρία I - εισαγωγή στην φωτογραμμετρία. Διαλέξεις μαθήματος 5^{ου} εξαμήνου, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα

³¹ Τοκμακίδης, Κ. (2004). Αποτυπώσεις Μνημείων (για το 7ο εξάμηνο).

προώθησης, ευαισθητοποίησης, αρχειοθέτησης, δημοσίευσης και έρευνας³². Στο πλαίσιο αυτό, η ανάγκη για γεωμετρική τεκμηρίωση των ιστορικών μνημείων, καθίσταται επιτακτική.

Η υπογράμμιση της σημασίας της **γεωμετρικής τεκμηρίωσης** των ιστορικών μνημείων έχει αποτυπωθεί σε πλείστες διεθνείς συμφωνίες και διακηρύξεις όπως ο Χάρτης των Αθηνών (1931), η Συμφωνία της Χάγης (1954), ο Χάρτης της Βενετίας (1964), η Διακήρυξη του Άμστερνταμ (1975), η Σύμβαση της Γρανάδας (1985) κ.α.

Με την πάροδο των χρόνων, έχουν σχηματιστεί αρκετοί οργανισμοί που έχουν ως στόχο την μελέτη, την προστασία και την συντήρηση των ιστορικών μνημείων. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι το ICOMOS (International Council for Monuments and Sites), η Διεθνής Επιτροπή για την Αρχιτεκτονική Φωτογραμμετρία CIPA (International Committee for Architectural Photogrammetry), η Διεθνής Ένωση Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης ISPRS (International Society for Photogrammetry & Remote Sensing), το ICOM (International Council for Museums), το ICCROM (International Centre for the Conservation and Restoration of Monuments) και η UIA (International Union of Architects). Αρκετές φορές υπάρχει συνεργασία των φορέων αυτών με οργανισμούς και υπηρεσίες εθνικής εμβέλειας με γνώμονα την προσπάθεια προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς. Το ICOMOS και η ISPRS, το 1969 δημιούργησαν την CIPA έχοντας ως κύριο σκοπό την μεταλαμπάδευση της τεχνογνωσίας που υπάρχει στο πεδίο των επιστημών της μέτρησης και της αποτύπωσης του χώρου σε κλάδους της καταγραφής, τεκμηρίωσης και συντήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η αποστολή της CIPA είναι δηλαδή, να ενθαρρύνει την ανάπτυξη αρχών και πρακτικών για την καταγραφή και διαχείριση πληροφορίας για όλες τις πτυχές της πολιτιστικής κληρονομιάς και να προωθήσει την ανάπτυξη/ βελτίωση εξειδικευμένων εργαλείων και τεχνικών διερεύνησης για την υποστήριξη αυτών των δραστηριοτήτων³³ [<http://cipa.icomos.org>].

Οι **διεθνείς οδηγίες** θέτουν πληθώρα απαιτήσεων για την γεωμετρική τεκμηρίωση. Οι απαιτήσεις αυτές υπαγορεύουν σημαντικούς τεχνικούς περιορισμούς αλλά και αυστηρές προδιαγραφές που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την φάση του σχεδιασμού αλλά και κατά την συλλογή της πρωτογενούς πληροφορίας. Οι προδιαγραφές αυτές έχουν να κάνουν κατά κύριο λόγο με την καταγραφή της τετραδιάστατης πληροφορίας, την τήρηση των ψηφιακών αρχείων, την ασφαλή και με ορθολογικό τρόπο διαχείριση της πληροφορίας καθώς και την οπτικοποίηση της³². Οι αρχές που διέπουν την αποτύπωση των μνημείων αναλύονται από τους D' Ayala and Smars³⁴ και είναι: η αντικειμενικότητα, η κατανόηση του αντικειμένου, η συνέχεια, ο βέλτιστος συνδυασμός των μεθόδων μέτρησης, η πληρότητα και η ύπαρξη πληροφορίας για την ποιότητα των δεδομένων.

Για την καταγραφή και αναπαράσταση της μορφολογίας, των δομικών υλικών και της κατάστασης διατήρησης ενός μνημείου, η διεπιστημονική προσέγγιση επίσης είναι απαραίτητη. Τα αποτελέσματα αυτής οδηγούν σε εργασίες για άρτια αποκατάσταση,

³² Πατιάς, Π., 2006. Φωτογραμμετρία και τεκμηρίωση αρχαιολογικών χώρων και ευρημάτων.

³³ <http://cipa.icomos.org>

³⁴ D' Ayala, D. and Smars, P., 2003. Minimum requirement for metric use of non-metric photographic documentation. University of Bath Report.

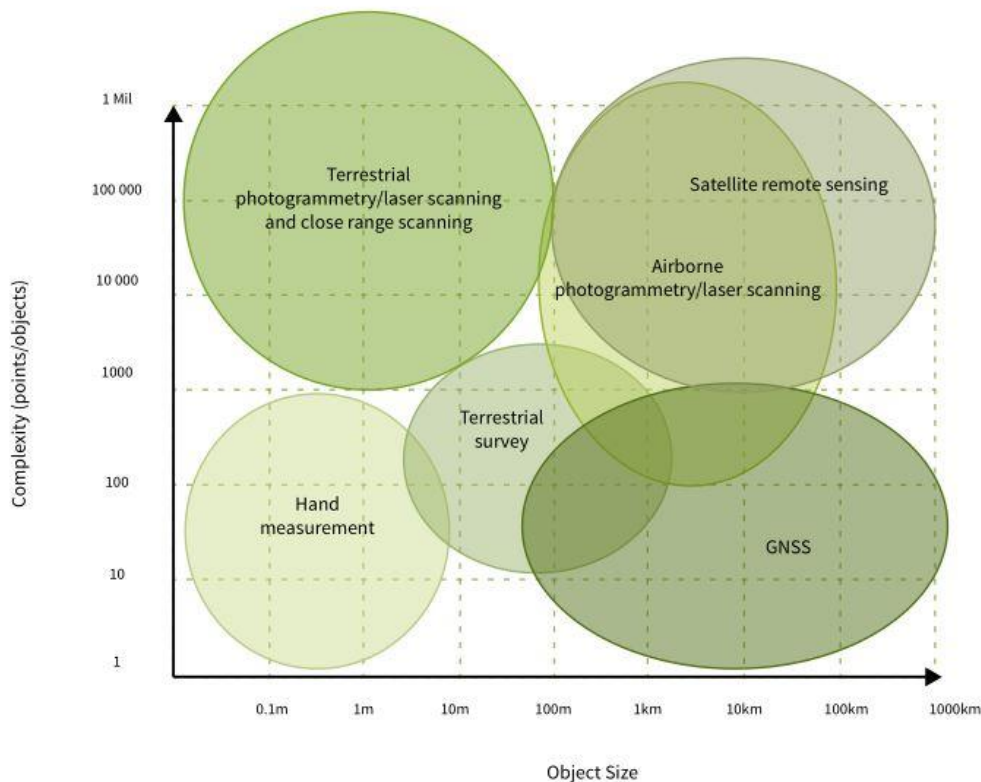
διατήρηση ή και βελτίωση της δομής του μνημείου και ακολούθως στην βέλτιστη χρήση αυτού. Αυταπόδεικτα, η πλήρης καταγραφή δεν αντιμετωπίζει μόνο το πρόβλημα της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης ενός μνημείου αλλά στηρίζει όλες τις παραμέτρους της διαχείρισης ψηφιακού περιεχομένου, της αναπαράστασης και αναπαραγωγής. Ποικίλες πτυχές της καταγραφής της διαγνωστικής μελέτης (περί δομικών υλικών και φθοράς), της ανθεκτικότητας της κατασκευής και αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης της όπως και της διαχείρισης ψηφιακού περιεχομένου μπορούν να επιτευχθούν μέσω της τρισδιάστατης μοντελοποίησης ενός μνημείου.

Ακόμη ένας σημαντικός παράγοντας στην τρισδιάστατη τεκμηρίωση είναι η χρήση των τρισδιάστατων μοντέλων σε μελέτες που σχετίζονται με τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ένα τρισδιάστατο μοντέλο δύναται να αλλάξει / τροποποιηθεί με την πάροδο του χρόνου από π.χ. περιβαλλοντικοί παράγοντες, φορτία κ.α. Καθίσταται επομένως ζωτικής σημασίας, η απαίτηση για χρήση τους σε εργασίες συντήρησης και προστασίας δομημάτων πολιτιστικής κληρονομιάς και η καταγραφή της μεταβολής του μνημείου στο χρόνο μέσα από το τρισδιάστατο μοντέλο. Επιπλέον, οφείλεται να ακολουθείται μεθοδολογία βασισμένη σε πρωτόκολλα τεκμηρίωσης ώστε να διασφαλίζεται η ολοκληρωμένη και συνεχής τεκμηρίωση των πολιτιστικών αγαθών και των διαδικασιών ελέγχου της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Εντός του περιγραφόμενου πλαισίου, μία διεπιστημονική προσέγγιση, λαμβάνοντας υπόψη τα πλεονεκτήματα και τα παραγόμενα προϊόντα της κάθε μεθόδου που εφαρμόζονται σε ένα μνημείο, δύναται να συσχετιστεί με τη διαδικασία της τρισδιάστατης μοντελοποίησης, βελτιώνοντας ταυτόχρονα την ανάλυση και την ακρίβεια και μειώνοντας το αντίστοιχο κόστος.

Η τρισδιάστατη γεωμετρική τεκμηρίωση ενός κτίσματος πολιτιστικής κληρονομιάς ενέχει μια δυναμική που αξίζει να τονιστεί και να ερευνηθεί στη συγκεκριμένη διατριβή. Η συστηματική χρήση τρισδιάστατης τεκμηρίωσης για τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι μία προσέγγιση που δυστυχώς δεν εφαρμόζεται ακόμη καθολικά. Αυτό οφείλεται σε αρκετούς λόγους όπως είναι ο χρόνος που απαιτείται για την τρισδιάστατη τεκμηρίωση καθώς και ο οικονομικός προϋπολογισμός για τις ενέργειες αυτές, η ακρίβεια των προϊόντων, η πολυπλοκότητα του αντικειμένου προς αποτύπωση, η ενσωμάτωση των μεταδεδομένων και των σημασιολογικών οντοτήτων στο τρισδιάστατο μοντέλο, η σύνδεση του μοντέλου με πληροφορίες όπως εικόνες, δεδομένα δομοστατικής ανάλυσης, δομικών υλικών, εκθέσεων αποκατάστασης και τέλος η δημιουργία ψηφιακού αρχιαικού υλικού σε αναγνωρισμένα πρότυπα.

Υπάρχει πληθώρα τεχνικών που παράγουν τρισδιάστατες πληροφορίες. Ένας τρόπος ταξινόμησης αυτών είναι μέσω της κλίμακας απόδοσης στην οποία θα χρησιμοποιηθούν (και σχετίζεται με το **μέγεθος** του αντικειμένου που θα αποτυπωθεί), καθώς και του συνόλου των μετρήσεων που θα διεξαχθούν (που σχετίζεται με την **πολυπλοκότητα** του αντικειμένου) (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Τεχνικές τρισδιάστατης αποτύπωσης βάσει της κλίμακας και του μεγέθους του αντικειμένου (Bohler, CIPA symposium 2001, Potsdam) ³⁵

Ενώ οι μετρήσεις με το χέρι μπορούν να παρουσιάσουν τις διαστάσεις και θέση των αντικειμένων και τόπων περιορισμένης έκτασης, δεν δύναται να γίνει το ίδιο με μεγάλο μέγεθος αντικείμενα και εκτενής τοποθεσίες. Εξάλλου η συλλογή ενός μεγάλου αριθμού μετρήσεων - πιθανώς και άνω των 1.000 - είναι μια διαδικασία αρκετά χρονοβόρα. Η εγγύς φωτογραμμετρία και η επίγεια σάρωση λέιζερ παρέχουν μεγαλύτερο αριθμό μετρήσεων για αντικείμενα με παρόμοια μεγέθη και επομένως κρίνονται καταλληλότερες ως μέθοδοι αποτύπωση πολύπλοκων αντικειμένων. Η φωτογραμμετρία και η σάρωση λέιζερ μπορούν να διεκπεραιωθούν και δια αέρος καλύπτοντας πολύ μεγαλύτερες επιφάνειες. Ενώ τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GNSS) μπορούν να αποτυπώσουν επιφάνειες παρόμοιου μεγέθους - όπως το πολύ δημοφιλές Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης - το πλήθος των σημείων που δύναται να συλλέξουν είναι περιορισμένο εν συγκρίσει με τις εναέριες ή ακόμη και τις διαστημικές τεχνικές.

Σε κάθε περίπτωση, δεν συνιστάται οι μεθοδολογίες αποτύπωσης να χρησιμοποιούνται μεμονωμένα. Για παράδειγμα τα GNSS χρησιμοποιούνται συχνά στον έλεγχο της εναέριας φωτογραμμετρίας ενώ η επίγεια σάρωση λέιζερ συχνά βασίζεται στο έλεγχο που παρέχεται από την τοπογραφική αποτύπωση, με έναν γεωδαιτικό σταθμό. Ακόμη, η σάρωση λέιζερ - εναέρια ή επίγεια - διεκπεραιώνει τάχιστα πολλαπλές τρισδιάστατες μετρήσεις ενώ οι

³⁵ Jones, D.M. (ed.), 3D Laser Scanning for Heritage. Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture. English Heritage Publishing, Swindon, 2011.

φωτογραμμετρικές τεχνικές αποδίδουν καλύτερα την υφή και το χρώμα ενός αντικειμένου. Στη συγκεκριμένη διατριβή, εξετάζεται η χρήση αρκετών από αυτές τις τεχνικές, συνδυαστικά, προσδιορίζοντας το στόχο και τα αποτελέσματα (προϊόντα) που απαιτούνται για περαιτέρω διερεύνηση σε ψηφιακό περιβάλλον διαχείρισης δεδομένων δύο και τριών διαστάσεων.

2.1.2 Τεχνικές γεωμετρικής τεκμηρίωσης

Στις μέρες μας, χρησιμοποιείται πληθώρα μεθόδων τρισδιάστατης τεκμηρίωσης. Μερικές από αυτές είναι οι Φωτογραμμετρικές τεχνικές, η Σάρωση δομημένου φωτός, η Σάρωση λέιζερ και η Σάρωση με χρήση του συστήματος SLAM.

2.1.2.1 Τρισδιάστατη Σάρωση με λέιζερ

Με την χρήση του όρου laser scanning αποδίδονται τεχνικές με τις οποίες γίνεται η πλήρης σάρωση μιας επιφάνειας με τεχνολογίες laser. Τα πρωτογενή δεδομένα που συλλέγονται αξιοποιούνται στην παραγωγή δισδιάστατων σχεδίων ή τρισδιάστατων μοντέλων. Το συγκριτικό πλεονέκτημα του laser scanning είναι ότι καταγράφεται ένας μεγάλος όγκος σημείων, ανάλογα με το είδος της μέτρησης (π.χ. 50-100 σημεία ανά τ.μ. για εναέρια laser ή εκατομμύρια σημεία ανά sec για επίγεια laser), σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα αλλά ταυτόχρονα με υψηλή ακρίβεια.

Τα συστήματα laser χρησιμοποιούνται εδώ και δεκαετίες σε πολλές βιομηχανίες με τα πρώτα πρότυπα όργανα να εμφανίζονται στα τέλη της δεκαετίας του 1980. Η τρισδιάστατη σάρωση εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στη βιομηχανία της Αρχιτεκτονικής, Μηχανικής και Κατασκευών τη δεκαετία του 1990 όταν εμφανίστηκαν για πρώτη φορά τα ολοκληρωμένα εμπορικά συστήματα για τρισδιάστατη σάρωση κι έκτοτε η εξέλιξή τους είναι ραγδαία. Οι πιο εξελιγμένοι σύγχρονοι επίγειοι σαρωτές laser διακρίνονται από κάποια γενικά χαρακτηριστικά και στηρίζονται σε μια αυτοτελή ιδέα. Τοποθετώντας το σαρωτή σε επιλεγμένη θέση, μια ακτίνα λέιζερ διατρέχει την επιφάνεια που θα ψηφιοποιηθεί (εξωτερική και/ή εσωτερική) σύμφωνα με μια προκαθορισμένη γεωμετρική ανάλυση και καθορισμένου χώρου^{36,37,38,39}. Η παροχή τροφοδοσίας, η αποθήκευση δεδομένων και ο πίνακας ελέγχου έχουν ενσωματωθεί στο σύστημα ώστε να αποφεύγονται περαιτέρω εξοπλισμοί και καλώδια σύνδεσης κατά τη διάρκεια λειτουργίας. Το οριζόντιο οπτικό πεδίο προσαρμόζεται σε έως 360° και το κατακόρυφο οπτικό πεδίο κυμαίνεται μεταξύ 270° και 320°. Η εμβέλεια κυμαίνεται μεταξύ 30, εκατοντάδων μέτρων, ακόμη και χιλιομέτρων και η ταχύτητα σάρωσης πλέον έχει ήδη ξεπεράσει το 1 Mpoints/sec.

Σαρωτές λέιζερ μεσαίας και μεγάλης εμβέλειας λειτουργούν είτε ως εναλλακτική επιλογή είτε συμπληρωματικά με τις παραδοσιακές μεθόδους μέτρησης όπως η Τοπογραφία και η

³⁶ Bryan, P.; Blake, B.; Bedford, J. (Ed. Andrews, D.) (2009): "Metric Survey Specifications for Cultural Heritage". Published by English Heritage. <https://www.historicengland.org.uk/images-books/publications/metric-survey-specification/>

³⁷ Stylianidis, E.; Patias, P.; Santana Quintero, M. (Eds.) (2011): "CIPA Heritage Documentation: Best Practices and Applications". The ICOMOS & ISPRS Committee for Documentation of Cultural Heritage, Volume XXXVIII-5/C19, Series 1, 2007 & 2009.

³⁸ Dias, P., Matos, M., & Santos, V. (2006). 3D reconstruction of real world scenes using a low-cost 3D range scanner. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 21(7), 486-497.

³⁹ Heritage, E. (2007). *Conservation Principles Policies and Guidance: For the Sustainable Management of the Historic Environment*. English Heritage.

Φωτογραμμετρία^{40,41,42,43}. Στην γεωμετρική τεκμηρίωση έχουν βρει ευρεία εφαρμογή τρία είδη σαρωτών^{44,45}. Η κατηγοριοποίησή τους γίνεται ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιούν: η τεχνική της διαφοράς φάσης "Phase Shift / Comparison" (PS)⁴⁶, ο υπολογισμός του χρόνου μετάβασης και επαναφοράς του σήματος "Time of Flight" (TOF)^{47,48} και η τεχνική του τριγωνισμού "triangulation"⁴⁶ (Εικόνα 3). Διαφοροποιούνται ως προς την εμβέλεια και την ακρίβειά τους (Πίνακας 1).

α. Οι σαρωτές time-of-light, όπου ο υπολογισμός της απόστασης από το αντικείμενο γίνεται με την μέτρηση της διαφοράς χρόνου μεταξύ του εκπεμπόμενου και του ανακλώμενου σήματος. Είναι πιο αργοί στις μετρήσεις λόγω μεγάλης μάζας του οργάνου, έχουν μεγάλη εμβέλεια (1χλμ) και σχετικά χαμηλή ακρίβεια (μερικά χιλιοστά).

β. Οι σαρωτές phase comparison (phase – shift/phase difference), όπου ο υπολογισμός της απόστασης από το αντικείμενο γίνεται μετρώντας την διαφορά φάσης μεταξύ του εκπεμπόμενου και ανακλώμενου παλμού. Διακρίνονται για την υψηλή ταχύτητα σάρωσης και την υψηλότερη ακρίβεια (1-2 χιλιοστά) αλλά έχουν περιορισμένη εμβέλεια (70 μέτρα)

γ. Οι σαρωτές triangulation αποτελούνται από μία συσκευή εκπομπής, που στέλνει έναν παλμό λέιζερ προς το αντικείμενο υπό γωνία, από τη μία μεριά μίας μηχανικής βάσης, και μία κάμερα CCD, που αναγνωρίζει το σημείο όπου πέφτει η ακτίνα πάνω στο αντικείμενο, στην άλλη άκρη της βάσης. Ο προσδιορισμός της θέσης του στοιχείου ανάκλασης της επιφάνειας υπολογίζεται από το προκύπτον τρίγωνο. Τα όργανα αυτά χρησιμοποιούνται για την τεκμηρίωση μικρών αντικειμένων. Η εμβέλεια τους κυμαίνεται από 0,60μ έως μερικά μέτρα (π.χ. 5 μ.) όπου πετυχαίνουν πολύ υψηλές ακρίβειες (50 – 250 μm).

⁴⁰ S. Lisinger (2005). "3D Laser" versus "Stereo Photogrammetry" for documentation and diagnosis of buildings and monuments (pro and contra). CIPA 2005 XX International Symposium, 26 September – 01 October, 2005, Torino, Italy.

⁴¹ K. Lambersa, H. Eisenbeiss, M. Sauerbier, D. Kupferschmidt, T. Gaisecker, S. Sotoodeh, T. Hanusch (2007). Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the Late Intermediate Period site of Pinchango Alto, Palpa, Peru. *Journal of Archaeological Science*. Volume 34, Issue 10, October 2007, Pages 1702–1712.

⁴² Breuckmann, B. 2014 (25). Years of High Definition 3D Scanning: History. State of Art, Outlook.

⁴³ C.G. Serna, R. Pillay, and A. Tremeau (2015). Data Fusion of Objects using Techniques such as Laser Scanning, Structured Light and Photogrammetry for Cultural Heritage Applications. In *Computational Color Imaging*, Publisher: Springer International Publishing, Editors: Trémeau, Alain and Schettini, Raimondo and Tominaga, Shoji, pp.208-224.

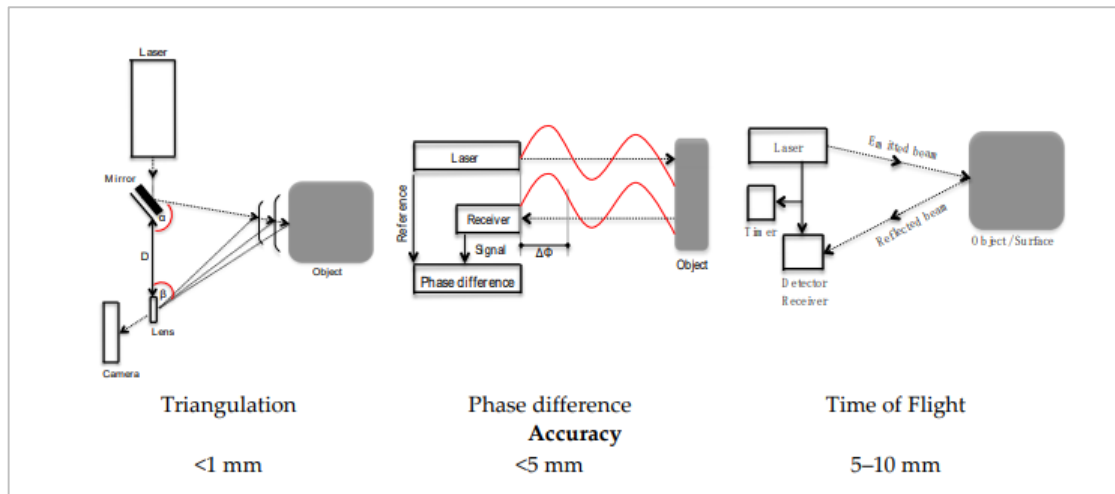
⁴⁴ Boehler, W., & Marbs, A. (2002). 3D scanning instruments. *Proceedings of the CIPA WG*, 6(9).

⁴⁵ Ιωαννίδης, Χ. (2014) Τρισδιάστατη Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, ΣΑΤΜ ΕΜΠ

⁴⁶ Boardman, C., & Bryan, P. (2018). *3D laser scanning for heritage: Advice and guidance on the use of laser scanning in archaeology and architecture*. Historic England. <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/3d-laser-scanning-heritage/heag155-3d-laser-scanning/>

⁴⁷ G. Bradshaw (1999). *Non-Contact Surface Geometry Measurement Techniques*. Trinity College, Dublin, 1998/1999

⁴⁸ G. Sansoni, M. Trebeschi, F. Docchio, State-of-The-Art and Applications of 3D Imaging Sensors in Industry, Cultural Heritage, Medicine, and Criminal Investigation, *Sensors* 2009, 9, 568-601



Εικόνα 3: Γραφική περιγραφή των μεθόδων τρισδιάστατης σάρωσης με λέιζερ

Πίνακας 1: Είδη σαρωτών, εμβέλεια, συνήθης χρήση και ακρίβειες ⁴⁶

Scanning System		Usage	Typical Accuracies (mm)	Typical Range (m)
Triangulation	Rotation stage	Small objects taken to scanner. Replica production	0.05	0.1 - 1
	Arm mounted	Small objects. Lab or field. Replica production	0.05	0.1 - 3
	Tripod mounted	Small objects in the field. Replica production	0.1 - 1	0.1 - 2.5
	Close range handheld	Small objects. Lab. Replica production	0.03 - 1	0.2 - 0.3
	Mobile (handheld, backpack)	Awkward locations eg building interiors, caves	0.03 - 30	0.3 - 20
Pulse (TOF)	Terrestrial	Building exteriors/interiors. Drawings, analysis, 3D models	1 - 6	0.5 - 1000
	Mobile (vehicle)	Streetscapes, highways, railways. Drawings, analysis, 3D models	10 - 50	10 - 200
	UAS	Building roofscapes, archaeological sites. Mapping and 3D models	20 - 200	10 - 125
	Aerial	Large site prospecting and mapping	50 - 300	100 - 3500
Phase	Terrestrial	Building exteriors/interiors. Drawing, analysis, 3D models	2 - 10	1 - 300

Ο ορθός σχεδιασμός της τρισδιάστατης καταγραφής με επίγειους σαρωτές προϋποθέτει πολύ καλή μελέτη της περιοχής. Γίνεται επιλογή των βέλτιστων θέσεων σάρωσης καθώς και των βέλτιστων θέσεων στόχων σάρωσης με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του αριθμού στάσεων. Επίσης επιδιώκεται η μέγιστη κάλυψη καθώς και η μέγιστη ακρίβεια. Ανάλογα με

τη μέθοδο προσαρμογής των νεφών σημείων από τις επιμέρους σαρώσεις, πρέπει να τοποθετούνται τουλάχιστον τρεις σωστά κατανεμημένοι κατά xyz στόχοι ανά σάρωση⁴⁹.

Οι τιμές μέτρησης που προκύπτουν από επίγειους σαρωτές λέιζερ δηλώνουν τη θέση και το χρώμα και την ένταση κάθε σημείου στο νέφος. Οι μονάδες XYZ είναι οι καρτεσιανές συντεταγμένες της μέτρησης εντός του συστήματος αναφοράς. Αυτό επιτυγχάνεται κατόπιν σύγκρισης του φωτός που εκπέμπεται και του φωτός που επιστρέφει και κατόπιν προσδιορισμού της θέσης του αντικειμένου-στόχου σε σχέση με τη θέση του οργάνου σάρωσης. Η θέση αυτή υπολογίζεται από τη μέτρηση της γωνίας του οργάνου σάρωσης (μεταξύ κεφαλής σάρωσης και κατόπτρου) - (άμεσα με τη χρήση time-of-flight σαρωτή ή έμμεσα με τη χρήση phase - difference σαρωτή).

Ο σαρωτής επίσης καταγράφει μια ποσότητα ενέργειας που επιστρέφει από την επιφάνεια (αναπαρίσταται ως τιμή έντασης) και καταδεικνύει χαρακτηριστικά της επιφάνειας-στόχου (ιδιότητα ανάκλασης), το βεληνεκές του σαρωτή (απώλεια κατά τη μετάβαση δια μέσου αέρα/σκόνης/ομίχλης) και τη γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας λέιζερ επί της επιφάνειας. Ως γνωστόν κάποιες επιφάνειες απορροφούν (όπως το νερό και οι μαύρες επιφάνειες) και άλλες ανακλούν (όπως το ανοξειδωτο ασάλι) τη δέσμη φωτός. Επίσης, οι περισσότεροι σαρωτές έχουν την ιδιότητα με τη χρήση κάμερας να προσδιορίζουν το χρωματισμό του κάθε σημείου (κόκκινο, πράσινο, μπλε) και να τον αναπαριστούν στην ευρέως χρησιμοποιούμενη κλίμακα τιμών RGB. Επίσης, κάποιες συσκευές έχουν τη δυνατότητα να συλλάβουν τιμές θερμοκρασίας επιφανειών μέσω εξωτερικών υπέρυθρων αισθητήρων. Οι τιμές αυτές αποθηκεύονται κανονικά ως ξεχωριστά RGB δεδομένα (ως αποτελέσματα γραφικής ανάλυσης) ή ως ξεχωριστός άβακας (ως απόλυτες τιμές) σε εξωτερικά TIFF αρχεία. Τέλος, οι πιο εξελιγμένοι σαρωτές λέιζερ έχουν εισάγει τα χαρακτηριστικά της επεξεργασίας, ελέγχου και αξιολόγησης στο πεδίο σε πραγματικό χρόνο. Αυτό αποτελεί καινοτομία στο χώρο της σάρωσης laser⁵⁰ εφόσον πλέον η οπτικοποίηση, η διαχείριση, ο έλεγχος αξιολόγησης και το φιλτράρισμα δύνανται να διεξαχθούν σε πραγματικό χρόνο⁵¹.

Εφαρμογή στην πολιτιστική κληρονομιά

Οι τεχνολογίες τρισδιάστατης σάρωσης με laser, συλλέγουν τρισδιάστατα σημεία. Τα ψηφιακά αρχεία που δημιουργούνται, αποτελούν εξαιρετικά πολύτιμο εργαλείο στο πεδίο της πολιτιστικής κληρονομιάς και είναι ιδιαίτερος σημαντικά για τη γνώση, την κατανόηση, την προστασία και τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Μέσω της γεωμετρικής τεκμηρίωσης δεν εξασφαλίζονται μόνο οι γεωμετρικές πτυχές αλλά και ποικίλα δεδομένα για τη βελτίωση της τεκμηρίωσης όπως πληροφορίες σχετικές με την συντήρηση, τη διάγνωση, τους ελέγχους και της εργασίες αποκατάστασης, για την καταγραφή, την αποτίμηση και τη ανάδειξη της πολιτιστικής κληρονομιάς. Το τρισδιάστατο μοντέλο που προκύπτει αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο βαθμό ακρίβειας, ορθότητας αναλόγως των

⁴⁹ Barber, D., Mills, J., and Bryan, P., 2003. Towards a standard specification for terrestrial laser scanning of cultural heritage. In Proc. of the XXth ISPRS Congress on Geo-Imagery Bridging Continents, 35(B5).

⁵⁰ <https://www.zf-laser.com/Blue-Workflow.3dscanning.0.html?&L=1&%26L=1>

⁵¹ Ogawa, T., & Hori, Y. (2019). COMPARISON WITH ACCURACY OF TERRESTRIAL LASER SCANNER BY USING POINT CLOUD ALIGNED WITH SHAPE MATCHING AND BEST FITTING METHODS. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.

προδιαγραφών των εργαλείων που χρησιμοποιούνται, της πολυπλοκότητας της διαδικασίας απόκτησης δεδομένων, του είδους του αντικειμένου προς αποτύπωση κ.α.. Τέλος, τα προϊόντα γεωμετρικής τεκμηρίωσης καθιστούν τη βάση σχετικά με τη διαχείριση δεδομένων άλλων επιστημών (π.χ. αρχιτεκτονική), ενώ μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για τη δόμηση πληροφοριών σχετικά με τη γεωμετρία, την υφή, των χαρακτηριστικών των δομικών υλικών και την κατάσταση διατήρησής τους κ.α.

Μέχρι πρόσφατα οι τεχνολογίες TOF και PS σε σχέση με τη γενική τους χρήση για την τεκμηρίωση της πολιτιστικής κληρονομιάς δεν μπορούσαν να συγκριθούν με τους ίδιους όρους. Επίσης, χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια οι δύο αυτές τεχνολογίες. Από τη μία, οι σαρωτές shift-phase (PS) είναι εξαιρετικά γρήγοροι, προσφέρουν πολύ ακριβή αποτελέσματα και κρίνονται κατάλληλοι για μέτρηση αντικειμένων σε μέση απόσταση, από την άλλη, η μέθοδος time-of-flight (TOF) διατηρεί υψηλή ακρίβεια για τα αποκτηθέντα μακρινά σημεία. Κατόπιν σύγκλισης των λειτουργιών και εφαρμογών των δύο μεθόδων, γίνεται αντιληπτό πως η τεχνολογία PS έχει βελτιωθεί όσον αφορά τη μείωση θορύβων και η TOF έχει βελτιώσει τους χρόνους της κρατώντας την ακρίβειά της όπως φαίνεται στο BUILTWORLDS (2016). Συμπερασματικά και οι δύο τεχνολογίες ενδείκνυνται για πιστή ψηφιοποίηση της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Οι διαφορετικές μέθοδοι τρισδιάστατης σάρωσης με λέιζερ αφορούν σε αποτύπωση διαφόρων τεκμηρίων πολιτιστικής κληρονομιάς. Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται οι τύποι, η συνήθης χρήση καθώς και οι τυπικές ακρίβειες που επιτυγχάνονται.

Table 1 Laser scanning techniques used in cultural heritage management activities

scanning system	use	typical accuracy / operating range
rotation stage	<ul style="list-style-type: none"> scanning small objects (that can be removed from site) to produce data suitable for a replica of the object to be made 	50 microns / 0.1m–1m
triangulation-based artefact scanners	arm mounted <ul style="list-style-type: none"> scanning small objects and small surfaces can be performed on site if required can be used to produce a replica 	50 microns / 0.1m–1m
	mirror/prism <ul style="list-style-type: none"> scanning small object surface areas <i>in situ</i> can be used to produce a replica 	sub-mm / 0.1m–25m
terrestrial time-of-flight laser scanners	<ul style="list-style-type: none"> to survey building façades and interiors, resulting in line drawings (with supporting data) and surface models 	3–6mm at ranges up to several hundred metres
terrestrial phase-comparison laser scanners	<ul style="list-style-type: none"> to survey building façades and interiors resulting in line drawings (with supporting data) and surface models – particularly where rapid data acquisition and high point density are required 	c 5mm at ranges up to 50–100m
airborne laser scanning	<ul style="list-style-type: none"> to map and prospect landscapes (including in forested areas) 	0.05m+ (depending on the parameters of the survey) / 100m–3500m
mobile mapping	<ul style="list-style-type: none"> to survey highways and railways for city models to monitor coastal erosion 	10–50mm / 100–200m

(adapted from Barber, DM, Dallas, RWA and Mills, JP 2006 'Laser scanning for architectural conservation', *J Archit Conserv* 12, 35–52)

Εικόνα 4: Τεχνικές σάρωσης με laser που χρησιμοποιούνται στη διαχείριση εργασιών που σχετίζονται με την πολιτιστική κληρονομιά (Jones, D.M., 2011) ⁵²

Τα συστήματα σάρωσης αποτυπώνουν μία πολύ μεγάλη περιοχή του αντικειμένου, ενώ παρουσιάζονται προβλήματα ανάκλασης σε κάποιες επιφάνειες συγκεκριμένων δομικών υλικών, όπως είναι π.χ. μαρμάρινες και επιχρυσωμένες επιφάνειες. Τα προϊόντα της

⁵² Jones, D.M. (ed.), 3D Laser Scanning for Heritage. Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture. English Heritage Publishing, Swindon, 2011.

σάρωσης laser, χρησιμοποιείται όλο και πιο συχνά στην παραγωγή δισδιάστατων σχεδίων σε μορφή όψεων, τομών, κατόψεων και εν γένει σχεδίων - ιδιαιτέρως όπου υπάρχει διαθέσιμη απεικόνιση.

Η σάρωση λέιζερ δεν αποτελεί πανάκεια, όμως, για την ομαλή απόδοση όλων των εργασιών καταγραφής. Ανάλογα με το περιβάλλον και το αντικείμενο εργασίας, θα πρέπει να γίνεται η αντίστοιχη επιλογή τεκμηρίωσης. Η επιλογή της μεθόδου που χρησιμοποιείται, εξαρτάται από το αντικείμενο μελέτης, την εμπειρία του χρήστη, την περιοχή, τον προϋπολογισμό του έργου, καθώς και το διαθέσιμο χρόνο για την αποτύπωση⁵³. Η σάρωση και η επεξεργασία των παραγόμενων δεδομένων, λόγω του μεγάλου όγκου, καθυστερούν χρονικά την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Η αποτύπωση με σαρωτές laser, επίσης, δεν είναι τόσο ευέλικτη όσο μέσω φωτογραμμετρικών τεχνικών, καθώς η σάρωση ενός αντικειμένου απαιτεί χρόνο ενώ η κάμερα συλλαμβάνει τη σκηνή στιγμιαία⁵⁴. Η συνήθης πρακτική είναι η συσχέτιση των αποτελεσμάτων των τεχνικών αυτών, για το βέλτιστο αποτέλεσμα^{55,56,57,58,59}.

2.1.2.2 Φωτογραμμετρικές τεχνικές

Τα γεωμετρικά μοντέλα και οι πληροφορίες σχετικά με την υφή, επιτρέπουν την παραγωγή τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων που είναι εξαιρετικά χρήσιμα στην καταγραφή, τη διατήρηση, την αποκατάσταση, τη διάχυση και την εξάπλωση της πολιτισμικής κληρονομιάς^{60,61,62}. Η φωτογραμμετρία χρησιμοποιεί τις ακτίνες του φωτός παθητικά. Το φως σε αυτή την περίπτωση μπορεί να είναι φυσικό φως του περιβάλλοντος ή τεχνητή πηγή φωτός, που ανακλάται στην επιφάνεια του αντικειμένου και συλλαμβάνεται από την φωτογραφική μηχανή. Η φωτογραμμετρία μπορεί να ταξινομηθεί βάσει της θέσης της φωτογραφικής μηχανής κατά τη διάρκεια της φωτογράφισης, σε εναέρια Φωτογραμμετρία και σε εγγύς

⁵³ Lambers, K., & Remondino, F. (2008). Optical 3D measurement techniques in archaeology: recent developments and applications. In *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)* (pp. 27-35).

⁵⁴ Moon, D., Chung, S., Kwon, S., Seo, J., & Shin, J. (2019). Comparison and utilization of point cloud generated from photogrammetry and laser scanning: 3D world model for smart heavy equipment planning. *Automation in Construction*, 98, 322-331.

⁵⁵ Janowski, A., Nagrodzka-Godycka, K., Szulwic, J., & Ziolkowski, P. (2016). Remote sensing and photogrammetry techniques in diagnostics of concrete structures. *Computers and Concrete*, 18(3), 405-420.

⁵⁶ Balsa-Barreiro, J., & Fritsch, D. (2018). Generation of visually aesthetic and detailed 3D models of historical cities by using laser scanning and digital photogrammetry. *Digital applications in archaeology and cultural heritage*, 8, 57-64.

⁵⁷ Kuçak, R. A., Kiliç, F., & Kisa, A. (2016). Analysis of terrestrial laser scanning and photogrammetry data for documentation of historical artifacts. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 155.

⁵⁸ Davis, A., Belton, D., Helmholtz, P., Bourke, P., & McDonald, J. (2017). Pilbara rock art: laser scanning, photogrammetry and 3D photographic reconstruction as heritage management tools. *Heritage Science*, 5(1), 25

⁵⁹ Klapa, P., Mitka, B., & Zygmunt, M. (2017, December). Application of integrated photogrammetric and terrestrial laser scanning data to cultural heritage surveying. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 95, No. 3, p. 032007). IOP Publishing.

⁶⁰ Union, I. (2014). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. *A new skills agenda for Europe*. Brussels.

⁶¹ Bustillo, A., Alaguero, M., Miguel, I., Saiz, J. M., & Iglesias, L. S. (2015). A flexible platform for the creation of 3D semi-immersive environments to teach Cultural Heritage. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(4), 248-259.

⁶² Strategy, E. E. (2015). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.

Φωτογραμμετρία. Επίσης οι τεχνικές φωτογραμμετρικής αποτύπωσης μπορεί να είναι μονοεικονικές, διεικονικές, πολυεικονικές.

Μονοεικονικές τεχνικές

Αφορά σε εξαγωγή πληροφορίας (δισδιάστατης) από μία εικόνα. Η φωτογραμμετρική **αναγωγή** είναι η διαδικασία κατά την οποία σημεία που βρίσκονται σε ένα επίπεδο προβάλλονται μέσω προβολικού μετασχηματισμού σε ένα άλλο επίπεδο, με την προϋπόθεση ότι είναι γνωστή η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στα δύο αυτά επίπεδα. Ισοδυναμεί με τον μετασχηματισμό της κεντρικής προβολής σε ορθή. Η σχέση μεταξύ των δύο επιπέδων προσδιορίζεται με τη γνώση των συντεταγμένων τουλάχιστον τεσσάρων σημείων του ίδιου επιπέδου. Με την τεχνική αυτή, είναι δυνατή η εξάλειψη των παραμορφώσεων που προκύπτουν από την κλίση της μηχανής. Μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε επίπεδες επιφάνειες. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις είναι γνωστό το σχήμα και οι ιδιομορφίες ενός αντικείμενου μέσω του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας του και ενδιαφέρουν οι λεπτομέρειες της επιφανείας του, όπως η υφή, μοτίβα κ.α. Σε αυτήν την περίπτωση η καταλληλότερη τεχνική είναι η παραγωγή **ορθοεικόνας**.

Διεικονικές τεχνικές

Όταν η γεωμετρία του αντικείμενου είναι άγνωστη, η ανασύσταση της από μια μόνο εικόνα του είναι αδύνατη. Σε αυτήν την περίπτωση χρειάζονται δύο τουλάχιστον εικόνες ώστε με ταυτόχρονη παρατήρηση του στερεο-ζεύγους να δημιουργηθεί μια στερεοσκοπική αντίληψη του αντικείμενου⁶³. Στην αναλυτική φωτογραμμετρία, η λογική που ακολουθείται είναι κάθε περιοχή του αντικείμενου να φαίνεται σε δύο τουλάχιστον εικόνες (να υπάρχει τομή τουλάχιστον δύο ακτινών) με ικανοποιητική γωνία θέασης. Το πλήθος των μετρήσεων και όλο το εύρος των αγνώστων παραμέτρων υπολογίζονται με τη στατιστική μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων⁶⁴. Στην ψηφιακή φωτογραμμετρία, η λογική που ακολουθείται είναι η αναζήτηση αντίστοιχων σε δύο εικόνες, στοιχειωδών περιοχών με βάση μετρήσεις τιμών των φωτεινών πυκνοτήτων. Η διαδικασία αυτή που ονομάζεται συσχέτιση, επιτυγχάνεται θεωρώντας στην πρώτη εικόνα μία μικρή περιοχή (pixel), της οποίας το κέντρο είναι ένα εικονοστοιχείο, και αναζητώντας στη δεύτερη το αντίστοιχο εικονοστοιχείο. Οι προσανατολισμοί γίνονται με παρόμοιο τρόπο και στις δυο περιπτώσεις, δηλαδή γίνονται τα βήματα του εσωτερικού, σχετικού και απόλυτου προσανατολισμού. Η αναλυτική επίλυση για τα στοιχεία του Σχετικού Προσανατολισμού επιτυγχάνεται με τη χρήση της εξίσωσης της παράλλαξης ή με την χρήση της εξίσωσης συνεπιτεδότητας ως εξίσωσης παρατήρησης. Σε φωτογραμμετρικό σύστημα, ο σχετικός προσανατολισμός επιτυγχάνεται με την αλληλοτομία των ομόλογων ακτίνων ή – ισοδύναμα – με την εξάλειψη της γ-παράλλαξης ενώ στα ψηφιακά φωτογραμμετρικά συστήματα πραγματοποιείται με αναλυτικό τρόπο, αφού έχουν μετρηθεί (εμμέσως με την εξάλειψή τους) οι κατά γ παράλλαξεις (ή ισοδύναμα οι 4 εικονοσυντεταγμένες) σε πέντε τουλάχιστον σημεία του επικαλυπτομένου για να αποκατασταθεί το σχήμα του αντικείμενου και να διασφαλιστεί η στερεοσκοπική αντίληψη. Στην συνέχεια ο απόλυτος προσανατολισμός περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της

⁶³ Soile, S., Verykokou, S. and Ioannidis, C., 2015. Stereo-orthoimage as a GIS tool for reliable restitution of Cultural Monuments. International Journal of Heritage in the Digital Era, 4(3-4), pp.275-293

⁶⁴ Kraus, K. and Waldhäusl, P., 1986. Photogrammetrie: Band 1: Grundlagen und Standardverfahren. Dümmler.

κατάλληλης κλίμακας και τον προσδιορισμό της θέσης του αντικειμένου, μεταφέροντας το στο γεωδαιτικό σύστημα.

Πολυεικονικές τεχνικές

Η 3d καταγραφή είναι πλέον μια κοινή πρακτική για την αποθήκευση και τη διαχείριση της πληροφορίας στον τομέα αυτό. Με την βοήθεια των λύσεων υπολογιστικού υλικού αλλά και λογισμικού, που υπάρχουν διαθέσιμα στην αγορά, παράγονται υψηλής ποιότητας αποτελέσματα⁶⁵. Μετά από μια σχεδόν δεκαετία όπου οι σαρωτές κυριάρχησαν ως ο κύριος τρόπος παραγωγής πυκνών νεφών σημείων για την τρισδιάστατη αναπαράσταση της πολιτιστικής κληρονομιάς, εμφανίστηκαν νέες αυτοματοποιημένες τεχνικές μοντελοποίησης με εικόνες κάνοντας χρήση της επιστήμης της όρασης των υπολογιστών. Οι τεχνικές αυτές αποδεικνύονται ιδιαίτερα χρήσιμες στην αποτύπωση σύνθετων παραστάσεων και αντικειμένων με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η ανάπτυξη των τεχνικών αυτών πραγματοποιήθηκαν λόγω του συνδυασμού σημαντικών εξελίξεων στο διαθέσιμο υπολογιστικό υλικό και στην ανάπτυξη αλγορίθμων, όπως οι μέθοδοι 'Structure from Motion' (SfM), οι διάφοροι καινοτόμοι αλγόριθμοι πυκνής συνταύτισης εικόνων και οι μέθοδοι 3D μοντελοποίησης με υφή⁶⁶. Οι πολυεικονικές τεχνικές (MVS) εντοπίζουν ομόλογα σημεία του αντικειμένου από διαφορετικές οπτικές γωνίες ώστε να μπορέσουν να δημιουργήσουν ένα πυκνό νέφος σημείων στο χώρο. Επίσης, η μεγάλη διαφορά και η καινοτομία των MVS είναι ότι δεν χρειάζονται προσεγγιστικές τιμές των αγνώστων (π.χ. παραμέτρων προσανατολισμού). Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν ακριβή 3D μοντέλα με την ταυτόχρονη ταύτιση χαρακτηριστικών σε κάθε εικόνα και με την εύρεση της θέσης και του προσανατολισμού όλων των εικόνων.

Structure from Motion

Οι μέθοδοι SfM βασίζονται σε επικαλυπτόμενες εικόνες που έχουν ληφθεί από πολλαπλές θέσεις. Ως συγκριτικό πλεονέκτημα έχουν το χαμηλό κόστος του εξοπλισμού, απαιτούν μειωμένη ειδίκευση και μειωμένη επίβλεψη κατά την συλλογή των εικόνων. Η ειδοποιός διαφορά της μεθόδου αυτής από τις παραδοσιακές προσεγγίσεις είναι στο ότι η γεωμετρία της φωτομηχανής και ο προσανατολισμός της υπολογίζονται αυτόματα, ενώ χαρακτηρίζεται από την ανάγκη για μεγάλα ποσοστά επικαλύψεων, για την πλήρη κάλυψη του αντικειμένου. Η γενική μεθοδολογία της μεθόδου SfM, σύμφωνα με την περιγραφή των ^{67,68,69} περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα. Λαμβάνονται πολλαπλές όψεις του αντικείμενου με μια ψηφιακή φωτομηχανή από πολλές και διαφορετικές θέσεις. Είναι σε θέση να βαθμονομήσει την φωτομηχανή και να την τοποθετήσει με ακρίβεια στην επιθυμητή θέση και τον

⁶⁵ Koutsoudis, A., Vidmar, B., Ioannakis, G., Arnaoutoglou, F., Pavlidis, G., & Chamzas, C. (2014). Multi-image 3D reconstruction data evaluation. *Journal of Cultural Heritage*, 15(1), 73-79.

⁶⁶ Remondino, F., Spera, M.G., Nocerino, E., Menna, F. and Nex, F., 2014. State of the art in high density image matching. *The Photogrammetric Record*, 29(146), pp.144-166.

⁶⁷ James, M.R. and Robson, S., 2012. Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 117(F3), pp.1-17.

⁶⁸ Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M.J. and Reynolds, J.M., 2012. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, pp.300-314.

⁶⁹ Fonstad, M.A., Dietrich, J.T., Courville, B.C., Jensen, J.L. and Carbonneau, P.E., 2013. Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(4), pp.421-430

προσανατολισμό τη στιγμή της λήψης. Κατόπιν γίνεται η λεπτομερής σύγκριση κάθε ζεύγους φωτογραφιών σημείο-σημείο. Τα σημεία αυτά συγκρίνονται ώσπου να βρεθεί η βέλτιστη αντιστοιχία. Στην συνέχεια εφαρμόζεται ένας μετασχηματισμός χαρακτηριστικών αμετάβλητης κλίμακας (SIFT) και εντοπίζονται αριθμός κοινών σημείων στις εικόνες. Γίνεται χρήση μιας αραιής προσαρμογής κατά δέσμες για τον μετασχηματισμό των μετρημένων εικονοσυντεταγμένων σε τρισδιάστατα σημεία. Ως αποτέλεσμα του μετασχηματισμού λαμβάνονται οι θέσεις των χαρακτηριστικών σημείων που σχηματίζουν ένα αραιό νέφος στο ίδιο τρισδιάστατο σύστημα. Με την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας, η ήδη υπολογισμένη θέση και οι πληροφορίες προσανατολισμού χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί η θέση του κάθε σημείου στον τρισδιάστατο χώρο. Το αποτέλεσμα είναι ένα πυκνό νέφος τρισδιάστατων σημείων. Η επιφάνεια που σαρώνεται πρέπει να έχει υφή - εννοώντας να μην είναι κενή και να διακρίνεται από κάποιο τυχαίο μοτίβο (μη λείες επιφάνειες ή και άλλα ορατά χαρακτηριστικά). Τέλος ακολουθεί πύκνωση του αραιού νέφους σημείων με χρήση MVS τεχνικών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω της ευκολίας με την οποία μπορεί να υπολογιστεί η παραμόρφωση των αισθητήρων όλες οι εμπορικές ψηφιακές φωτομηχανές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την συλλογή χρήσιμων δεδομένων. Οι περισσότερες πλατφόρμες SfM είναι πλήρως αυτοματοποιημένες γεγονός που αποτελεί πλεονέκτημα αλλά ταυτόχρονα και μειονέκτημα της μεθόδου. Πλεονέκτημα διότι η επίβλεψη δεν είναι αναγκαία κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου αλλά και μειονέκτημα διότι ενώ παρέχονται στοιχεία για τον έλεγχο της ακρίβειας και ποιότητας των αποτελεσμάτων-προϊόντων, ο χρήστης πρέπει να έχει τις γνώσεις για να τα ερμηνεύσει και να παρέμβει στη διαδικασία επίλυσης και σε περίπτωση ανάγκης βελτίωσης των αποτελεσμάτων δεν υπάρχει έλεγχος ποιότητας των δεδομένων από τον χρήστη.

Αφού γίνει η παραγωγή του πυκνού νέφους σημείων ακολουθεί το στάδιο της μοντελοποίησης. Πραγματοποιείται φιλτράρισμα των τρισδιάστατων σημείων για την μείωση του θορύβου και ακολουθεί η ένωση τους κατά την διαδικασία του τριγωνισμού μέσω μιας ειδικής μεθοδολογίας όπως η μέθοδος τριγωνισμού Delauney. Το σύνολο των τριγώνων που πλέον αποτελούν το τρισδιάστατο μοντέλο αποκαλείται και δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων, ή TIN (Triangulated Irregular Network) ή πλέγμα.

Στις περιπτώσεις που οι συνθήκες λήψης δεν είναι οι ιδανικές υπάρχει υψηλή πιθανότητα εμφάνισης κενών ή θορύβου στο πλέγμα. Οι σκιές, τα περιττά ή κινητά αντικείμενα δύνανται να επιδράσουν στο τελικό αποτέλεσμα, ανάλογα φυσικά με τις παραμέτρους της εκάστοτε εργασίας, όπως ο αριθμός των εικόνων, η γεωμετρία λήψης⁷⁰.

Η φωτουφή για τα μοντέλα μπορεί να παραχθεί μέσω της πολυεικονικής διαχείρισης με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος δεν εξασφαλίζει υψηλή ακρίβεια λόγω του γεγονότος ότι η υφή προκύπτει από τις ραδιομετρικές τιμές που έχουν αποδοθεί στα σημεία που απαρτίζουν το νέφος σημείων. Κατά την μετατροπή των σημείων αυτών σε επιφάνειες αποδίδεται η ραδιομετρική τιμή που είναι προσεγγιστική παρεμβολή των τιμών των γειτονικών σημείων.

⁷⁰ Ioannidis, C. and Georgopoulos, A., 2007. Innovative Techniques for the acquisition and processing of Multisource data for the Geometric Documentation of Monuments. International Journal of Architectural Computing, 5(2), pp.179-197.

Ραδιομετρικά ακριβέστερο αποτέλεσμα μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση της δεύτερης μεθόδου κατά την οποία η τρισδιάστατη επιφάνεια μετασχηματίζεται σε επίπεδη εικόνα, που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση της πληροφορίας υψής. Από τη στιγμή που δημιουργείται ένας χάρτης UV, προστίθεται χρώμα πάνω σε αυτόν και στη συνέχεια προβάλλεται πάλι στο τρισδιάστατο μοντέλο. Το τελικό αποτέλεσμα με υψή εξαρτάται από την ανάλυση των εικόνων, την πολυπλοκότητα της επιφάνειας, καθώς και την ποιότητα των αρχικών δεδομένων⁷¹.

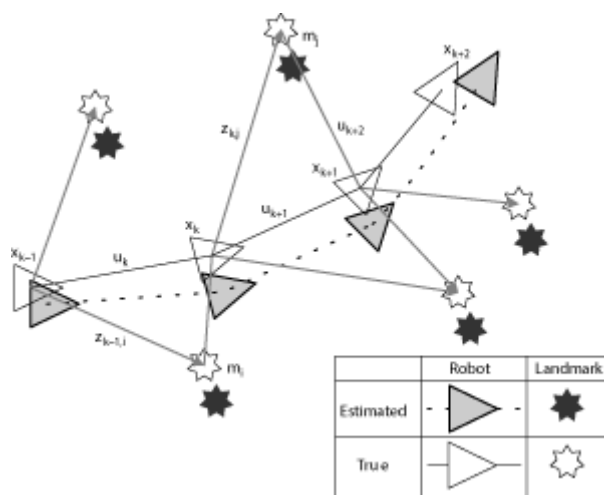
2.1.2.3 Συστήματα SLAM

Τα τελευταία χρόνια όπως αναφέρεται από τους Taketomi et al.⁷² έχει αυξηθεί αρκετά η χρήση των μεθόδων SLAM σε διάφορες εφαρμογές όπως στον τομέα της επαυξημένης πραγματικότητας, στην ρομποτική κ.α. Ο όρος SLAM, (Simultaneous Localization and Mapping), αναφέρεται σε αλγόριθμους που κάνουν χαρτογράφηση ενός άγνωστου χώρου, μέσω ενός αισθητήρα (ρομπότ) με ταυτόχρονο εντοπισμό της θέσης του αισθητήρα, μέσα στο χάρτη που έχει δημιουργηθεί. Για την εφαρμογή του συστήματος SLAM μπορεί να γίνει χρήση πολλών διαφορετικών αισθητηρίων ενώ ένα από τα πιο συνηθισμένα αποτελούν οι σαρωτές laser. Οι μέθοδοι SLAM, έχουν ως στόχο την κατασκευή ενός χάρτη περιβάλλοντος, μέσα στον οποίο κινείται ο σαρωτής, διορθώνοντας σε πραγματικό χρόνο τη θέση και τον προσανατολισμό του. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, καθώς το σύστημα SLAM κινείται, ανακατασκευάζει τη δομή του χώρου στον οποίο βρίσκεται με τη χρήση αισθητήρων laser, αδρανειακών αισθητήρων ή GPS. Ο αισθητήρας laser έχει οπτικό πεδίο 360°. Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιεί επίσης μόνο οπτικές πληροφορίες, δηλαδή να συλλέγει τα δεδομένα του μόνο με τη χρήση καμερών (VSLAM).

Τα βήματα που ακολουθεί η μέθοδος είναι να δημιουργεί ένα σύστημα συντεταγμένων αρχικά μέσω του οποίου εντοπίζει τη θέση του σαρωτή, κατόπιν, εντοπίζει χαρακτηριστικά σημεία μέσα στο χώρο που κινείται, και δημιουργεί ένα μοντέλο της περιοχής σάρωσης. Κατά τη διάρκεια της κίνησης το σύστημα καταγράφει αυτόματα την πορεία του, και εν συνεχεία, η πληροφορία αυτή καταγράφεται στο χάρτη με τα νέφη σημείων που έχουν δημιουργηθεί. Η συσκευή laser, σε αντίθεση με τους επίγειους σαρωτές λέιζερ, δεν παραμένει ακίνητη κατά τη διάρκεια της σάρωσης και δε χρειάζεται να έχει ορίζοντα προς τον ουρανό για να χρησιμοποιεί το δορυφορικό σύστημα GPS.

⁷¹ Stathopoulou, E.K., Valanis, A., Lerma, J.L. and Georgopoulos, A., 2011. High and low resolution textured models of complex architectural surfaces. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(5), 77-81.

⁷² Taketomi, T., Uchiyama, H., & Ikeda, S. (2017). Visual SLAM algorithms: a survey from 2010 to 2016. *IPSI Transactions on Computer Vision and Applications*, 9(1), 16.



Εικόνα 5: Θέσεις ρομπότ (αισθητήρα) και χαρακτηριστικών σημείων κατά τη διαδικασία μετρήσεων με τη μέθοδο SLAM⁷³

Καθώς η τεχνολογία SLAM δεν απαιτεί τη χρήση GPS, η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επεξεργασία δεδομένων τόσο από εσωτερικούς χώρους όσο και για εξωτερικούς.

2.1.2.5 Συνδυασμός των τεχνικών για την τεκμηρίωση της πολιτιστικής κληρονομιάς

Η τεκμηρίωση της πολιτιστικής κληρονομιάς με ακρίβεια και υψηλή ανάλυση εξακολουθεί να ενέχει προκλήσεις. Μολονότι υπάρχουν αρκετές μέθοδοι συλλογής, η μεμονωμένη και αποσπασματική τρισδιάστατη μοντελοποίηση που διεξάγεται χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της εκάστοτε τεχνολογίας όπως και τα προαπαιτούμενα του εκάστοτε πεδίου εφαρμογής (π.χ ιστορικό κτήριο, αρχαιολογικός χώρος, επιφάνειες με ιδιαιτερότητες, χαμηλής vs υψηλής ανάλυσης τρισδιάστατη μοντελοποίηση, μεγάλων vs μικρών διαστάσεων μοντέλα) οδηγεί στη δημιουργία αποσπασματικής τεκμηρίωσης και μη ολοκληρωμένης. Για την τεκμηρίωση περίπλοκων σχημάτων προτιμάται η χρήση τρισδιάστατων σαρωτών λέιζερ (ενεργοί αισθητήρες) με παράλληλη εφαρμογή τεχνικών φωτογραμμετρίας όπως αναφέρεται στο Lisinger⁴⁰ και Martín Lerones et al.⁷⁴.

Η σάρωση με λέιζερ και η φωτογραμμετρική τεχνική (λήψη εικόνων), δύνανται να διεξαχθούν ανά πάσα στιγμή κατά τη διάρκεια μιας εργασίας. Μπορεί να καταγράψουν ένα κτίσμα πολιτιστικής κληρονομιάς πριν από επεμβάσεις συντήρησης, να καταγράψουν ένα συγκεκριμένο στοιχείο λεπτομέρειας ή χαρακτηριστικό, μια ολόκληρη δομή ή ακόμη και ένα μνημείο που έχει υποστεί μη-αναστρέψιμες φθορές - όπως συμβαίνει σε αρχαιολογικές ανασκαφές ή σε απειλούμενες τοποθεσίες - μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της δομής και της κατάστασης διατήρησης ενός μνημείου, να συμβάλλουν στη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων κ.α. Πρέπει να αναφερθεί όμως πως κάθε μία τεχνική μόνη της μπορεί να μην καταφέρει να εκτελέσει όλες αυτές τις πτυχές αποτύπωσης χωρίς

⁷³ Durrant-Whyte, H., & Bailey, T. (2006). Simultaneous localization and mapping: part I. *IEEE robotics & automation magazine*, 13(2), 99-110.

⁷⁴ Lerones, P. M., Fernández, J. L., Gil, Á. M., Gómez-García-Bermejo, J., & Casanova, E. Z. (2010). A practical approach to making accurate 3D layouts of interesting cultural heritage sites through digital models. *Journal of Cultural Heritage*, 11(1), 1-9.

συνοδευτικές διεργασίες. Δόκιμος επομένως κρίνεται ο συνδυασμός των μεθόδων που θα πλαισιώνουν την τεκμηρίωση του αντικειμένου. Επίσης, για τη διεκπεραίωση των προαναφερθέντων εργασιών όπως και για την ερμηνεία και κατανόηση των δεδομένων απαιτούνται επί τόπια σχέδια, διαθέσιμοι χάρτες και άλλες αποτυπώσεις μετρήσεων⁷⁵.

Δεδομένου επίσης του αυξανόμενου ενδιαφέροντος για εικονική απεικόνιση και μη καταστροφική και μη-επεμβατική τεκμηρίωση σε πολλαπλές κλίμακες των δομημάτων πολιτιστικής κληρονομιάς, αξίζει να επισημανθεί ότι i) αρκετές τρισδιάστατες μελέτες που περιλαμβάνουν ενεργούς αισθητήρες (laser scanner) έχουν υψηλό κόστος, η επεξεργασία των δεδομένων είναι χρονοβόρα και απαιτείται ειδικό λογισμικό και εξοπλισμός ii) οι μελέτες αποτύπωσης που διεκπεραιώνονται με ψηφιακή κάμερα απαιτούν εμπειρία κατά τη λήψη των πρωτογενών δεδομένων, ειδικό λογισμικό και εξειδικευμένη εργασία γραφείου iii) καινούριοι αισθητήρες που δύνανται να λάβουν δεδομένα εντός συγκεκριμένης εμβέλειας του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (IR, UV, etc.) μπορούν να παρέχουν συγκεκριμένες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση συντήρησης ή να εντοπίσουν λεπτομέρειες που δεν γίνονται αντιληπτές δια γυμνού οφθαλμού.

Υπάρχει πλέον στη διάθεσή των ερευνητών, ποικιλία τεχνικών που συντελούν στη μοντελοποίηση στοιχείων πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές για ψηφιοποίηση ιστορικών κτηρίων, τοπίων, αρχαιολογικών ευρημάτων και άλλων σημαντικών αρχαίων ανακαλύψεων, περιλαμβάνουν ένα συνδυασμό δύο τουλάχιστον διαφορετικών τεχνικών αποτύπωσης. Η πολυπλοκότητα κάποιων δομών και η έλλειψη μιας αποκλειστικής τεχνικής που θα επιφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε όλα τα επίπεδα, επιτάσσει το συνδυασμό μεθόδων και τεχνικών^{76,77, 78,79, 80}.

Συμπερασματικά, η συλλογή των δεδομένων που πραγματοποιείται κατά τη διαδικασία τεκμηρίωσης που δημιουργεί τρισδιάστατα Μοντέλα Πολιτιστικής Κληρονομιάς περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται για να διευκολύνει την επιστημονική κοινότητα, αλλά και το κοινό (επισκέπτες, δημιουργικές βιομηχανίες) ασχέτως της τοποθεσίας του υπό μελέτη μνημείου (απομακρυσμένη πρόσβαση από διάφορες πλατφόρμες, δίκτυα και προτιμήσεις χρήστη). Η αξιολόγηση του μοντέλου αυτού καταδεικνύει επίσης την επιλογή του χρήστη και την επιλογή μεθοδολογιών λήψης τρισδιάστατων δεδομένων που αφορούν τα χαρακτηριστικά των επιφανειών (υλικές και γεωμετρικές ιδιότητες) και τις ανάγκες των χρηστών. Τέλος, ο σημασιολογικός εμπλουτισμός

⁷⁵Randall, T. (ed.), Client Guide to 3D Scanning and Data Capture. BIM Task Group, London, 2013.

⁷⁶ Doulamis, A., Doulamis, N., Protopapadakis, E., Voulodimos, A., & Ioannides, M. (2018). 4D modelling in cultural heritage. In *Advances in Digital Cultural Heritage* (pp. 174-196). Springer, Cham.

⁷⁷ Maltezos, E., Doulamis, A., Doulamis, N., & Ioannidis, C. (2018). Building extraction from LiDAR data applying deep convolutional neural networks. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 16(1), 155-159.

⁷⁸ Makantasis, K., Doulamis, A., Doulamis, N., & Ioannides, M. (2016). In the wild image retrieval and clustering for 3D cultural heritage landmarks reconstruction. *Multimedia Tools and Applications*, 75(7), 3593-3629.

⁷⁹ Maltezos, E., Doulamis, N., Doulamis, A., & Ioannidis, C. (2017). Deep convolutional neural networks for building extraction from orthoimages and dense image matching point clouds. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(4), 042620.

⁸⁰ Protopapadakis, E., Voulodimos, A., Doulamis, A., Doulamis, N., & Stathaki, T. (2019). Automatic crack detection for tunnel inspection using deep learning and heuristic image post-processing. *Applied Intelligence*, 49(7), 2793-2806.

του τρισδιάστατου μοντέλου που συνίσταται σε υψηλού επιπέδου γραφικά/εικονιστικά μεταδεδομένα, συμβάλλει στη διαχείριση της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης συνολικά.

2.2 Αξίες και προσέγγιση τεκμηρίωσης της πολιτιστικής κληρονομιάς

2.2.1 Αξίες και προσέγγιση τεκμηρίωσης

Η αποδοτική βιώσιμη διαχείριση φυσικών πόρων συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας όσον αφορά την ορθή χρήση και το χωροταξικό σχεδιασμό, η διαχείριση των κλιματολογικών επιπτώσεων και των μεταβολών του όπως και η πρόληψη αρνητικών συνεπειών που απορρέουν από την ανθρώπινη δραστηριότητα, σχετίζονται στενά και συνδράμουν στην προστασία του περιβάλλοντος και τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η διατήρηση της φυσικής κληρονομιάς που αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της προστασίας του περιβάλλοντος (UNESCO Convention 1972) όπως συχνά προκύπτει σε τοποθεσίες με κάστρα, σχετίζεται άμεσα με πολιτιστικά τοπία και προστατευόμενες περιοχές που φιλοξενούν μνημεία πολιτιστικής και φυσικής κληρονομιάς όπως πάρκα, κήπους και μνημεία σε φυσικό χώρο. Επίσης, και σύμφωνα με τον ορισμό που αποδόθηκε κατά τη διάρκεια του Συνεδρίου της Γρανάδα (ETS No121, 03/10/1985) του οποίου κύριος στόχος ήταν η ενίσχυση και προώθηση πολιτικών που θα προνοούν για τη διαφύλαξη και βελτίωση της ευρωπαϊκής πολιτιστικής κληρονομιάς, ο βιώσιμος χωροταξικός σχεδιασμός και η ανάπτυξη οφείλουν να προστατεύουν το περιβάλλον και την πολιτιστική κληρονομιά. Συμπερασματικά, τα οφέλη που απορρέουν από την αποκατάσταση κτισμάτων πολιτιστικής κληρονομιάς, είναι όχι μόνο οικονομικά αλλά και περιβαλλοντικά κάτι που γίνεται εμφανές κατόπιν σύγκρισης με την κατασκευή νεόκτιστων.

Από τα μέσα έως τα τέλη του 20ου αιώνα ξεκινούν προσπάθειες για κοινή δράση από τους τομείς της πολιτιστικής κληρονομιάς και των επιστημονικών πεδίων που δραστηριοποιούνται στις φυσικές και τεχνικές επιστήμες. Ενισχύεται ο ρόλος της επιστήμης (κατόπιν εφαρμογής των συμπερασμάτων του Stern Report ⁸¹ και καθιερώνεται η αντίληψη που θεωρεί τα κτίσματα πολιτιστικής κληρονομιάς, κομμάτι του πολιτιστικού περιβάλλοντος. Τονίζεται επίσης το γεγονός ότι αυτά, εκτίθενται σε κινδύνους που απορρέουν από την θέση τους στο εκάστοτε φυσικό περιβάλλον και από φυσικές καταστροφές που σχετίζονται με την αλλαγή του κλίματος.

Μία ακόμη απόρροια των συνεδρίων, των διακηρύξεων και των συστάσεων από πλευράς παγκόσμιων οργανισμών, ιδιαιτέρως των UNESCO, ICOMOS, και του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου αποτελεί η “διεθνοποίηση” της διατήρησης. Από το 1964 και μέχρι σήμερα διεθνή έγγραφα, συστάσεις και οδηγίες περί διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς συμβάλλουν στη διεύρυνση της εν λόγω έννοιας. Ο επιστημονικός κλάδος της διατήρησης

⁸¹ Stern, N., & Stern, N. H. (2007). *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge University Press.

επεκτείνεται διαρκώς σε νέα πεδία, εναρμονισμένος με τις κοινωνικές εξελίξεις και προσαρμοσμένος αρμονικά στο μοντέλο βιώσιμης ανάπτυξης⁸².

Η καθιέρωση και εν συνεχεία η εφαρμογή της διατήρησης ως αυτοτελές επιστημονικό πεδίο (Το πρώτο τεύχος του πρώτου διεθνούς επιστημονικού περιοδικού στο πεδίο, *Studies in Conservation* δημοσιεύθηκε το 1952) έχει συμβάλει στην αύξηση του αριθμού επιστημονικών κειμένων που αναλύουν και τεκμηριώνουν την εφαρμογή προσεγγίσεων και μεθόδων που παραδοσιακά ανήκουν σε έτερα επιστημονικά πεδία, στον τομέα της διατήρησης πολιτιστικής κληρονομιάς. Η σχετικά πρόσφατη εισαγωγή τεχνολογιών πληροφορικής στο εν λόγω πεδίο, επιφέρει ριζική αναδόμηση των προς εφαρμογή προσεγγίσεων. Μια ολοκληρωμένη και ολιστική διαχείριση των κτισμάτων πολιτιστικής κληρονομιάς και των μνημείων, οφείλει πλέον να συνδυάζει την υλική (διατήρηση υλικών, δομές) και την άυλη διάσταση (σπουδαιότητα) των συγκεκριμένων δομημάτων^{83,84,85, 86}.

Μεταξύ των θεμελιωδών παραμέτρων της διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς, βρίσκονται οι πτυχές δόμησης που σχετίζονται με άμεσες φυσικές παρεμβάσεις στα εν λόγω κτίσματα. Ως αδιάσπαστο κομμάτι των συγκεκριμένων παρεμβάσεων εκλαμβάνεται και η προληπτική διατήρηση καθ' ότι είτε διαφυλάσσει μια μονάδα από φυσική φθορά είτε αυξάνει την αντοχή στην επίδραση του περιβάλλοντος και του ανθρώπινου παράγοντα. Η προληπτική διατήρηση συμβάλλει επίσης στη μείωση του κόστους συντήρησης, περιορίζει τους κινδύνους και γενικά ενισχύει την ανθεκτικότητα της εκάστοτε μονάδας πολιτιστικής κληρονομιάς.

Εφόσον η υπάρχουσα κατάσταση διατήρησης μιας μονάδας πολιτιστικής κληρονομιάς εξαρτάται κατά πολύ από τις προαναφερθείσες επιδράσεις του περιβάλλοντος και του ανθρώπινου παράγοντα, η τακτική επιθεώρηση των κτηρίων και η συντήρησή τους αποτελούν απαραίτητες προϋποθέσεις για την συντήρηση των δομικών υλικών και τη δομική ακεραιότητα κάθε μονάδας³. Η βασισμένη σε λεπτομερείς εργασίες αποτύπωσης απογραφή κτιρίων αποτελεί το θεμελιώδη λίθο του σχεδιασμού τακτικής προληπτικής συντήρησης⁸⁷. Από τον κατάλογο απογραφής αντλούνται τα σχετικά δεδομένα και η τεκμηρίωση αυτών. Δεδομένα αποτύπωσης συλλέγονται, αποθηκεύονται και παρουσιάζονται με ποικίλες μεθόδους. Οι οδηγίες για τη διεξαγωγή ερευνών περί συνθηκών που διέπουν τα κτίσματα που αποτελούν πολιτιστική κληρονομιά έχουν προκύψει από εθνικούς και ευρωπαϊκούς κανονισμούς, νόρμες και πρότυπα.

⁸² Mebratu, D. (1998). Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review. *Environmental impact assessment review*, 18(6), 493-520

⁸³ Feilden, B. M., & Jokilehto, J. (2003). Guidelines for the management of World Heritage sites.

⁸⁴ Smith, L. (2004). *Archaeological theory and the politics of cultural heritage*. Routledge.

⁸⁵ Appelbaum, B 2007, *Conservation Treatment Methodology*, Elsevier, Oxford.

⁸⁶ Doulamis, N., Doulamis, A., Ioannidis, C., Klein, M., & Ioannides, M. (2017). Modelling of static and moving objects: digitizing tangible and intangible cultural heritage. In *Mixed reality and gamification for cultural heritage* (pp. 567-589). Springer, Cham.

⁸⁷ Klemisch, J. (2012). A strategic approach to restoring vulnerable ancient buildings. *Construction Research and Innovation*, 3(1), 16-19.

Ελάχιστες είναι οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις που συλλέγουν, τεκμηριώνουν και παρουσιάζουν πληροφορίες περί αντικειμένων και συνδυάζουν υλικές και άυλες πτυχές της πολιτιστικής κληρονομιάς⁸⁵. Αντλώντας στοιχεία από μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί, που ενσωματώνουν δεδομένα που έχουν αποκτηθεί μέσω της επιστημονικής και επαγγελματικής εργασίας ειδικών σε φυσικά, τεχνικά, κοινωνιολογικά και ανθρωπιστικά επιστημονικά πεδία, δύναται να υλοποιηθεί η τεκμηρίωση δομημάτων πολιτιστικής κληρονομιάς⁸⁸. Επομένως για το στρατηγικό σχεδιασμό διαχείρισης, προστασίας και συντήρησης των μονάδων πολιτιστικής κληρονομιάς καθώς και για την αξιολόγηση αυτών ανά πάσα δεδομένη στιγμή, η συγκρότηση διεπιστημονικών βάσεων δεδομένων θεωρείται επιβεβλημένη.

Ο σκοπός της συγκρότησης βάσεων δεδομένων είναι για την ταυτοποίηση και διαφύλαξη των δομημάτων που μεταξύ άλλων φέρουν, ιστορικές, καλλιτεχνικές-ιστορικές και αισθητικές αξίες. Ως γνωστόν, η εν λόγω αξιολόγηση αποτελεί ποικιλόμορφο και περίπλοκο πεδίο δραστηριοτήτων. Με την πάροδο των χρόνων, οι μέθοδοι αξιολόγησης και τα κριτήρια για τον καθορισμό αξιών διαφοροποιούνται^{89,90,91}. Βασικό παράγοντα στην ταυτοποίηση των κτισμάτων πολιτιστικής κληρονομιάς αποτελούν οι αξίες οι οποίες περιλαμβάνονται στα περισσότερα διεθνή έγγραφα των UNESCO, ICOMOS, και του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου και τα οποία από τις αρχές του 20ου αιώνα και κυρίως μετά τη λήξη του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου σηματοδότησαν την ανάπτυξη της θεωρίας για συντήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς^{92,93}. Ενώ οι αξίες ορίζουν την πολιτιστική κληρονομιά, η αξιολόγηση της θεωρείται καταλύτης για τον καθορισμό της σπουδαιότητας της.

Όσον αφορά την οικονομική διάσταση του θέματος, η διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς και μνημείων, ιδιαιτέρως των “ακούσιων μνημείων” σύμφωνα με τον Riegl⁹² δεν αιτιολογείται πλέον αποκλειστικά λόγω της ιστορικής ή καλλιτεχνικής σπουδαιότητας της αλλά αυταπόδεικτα και λόγω του οικονομικού οφέλους. Σειρά επιχειρημάτων που απορρέουν από την προστασία του περιβάλλοντος, την τοπική ανάπτυξη, την προσέλκυση κοινού, τη διευκόλυνση πρόσβασης, την ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων, κ.α στηρίζουν τη διατήρηση των μονάδων πολιτιστικής κληρονομιάς⁹⁴.

⁸⁸ Pokotylo, D., & Mason, A. (2010). Archaeological Heritage Resource Protection in Canada: The Legislative Basis. *Cultural heritage management, A global perspective*, 48-69.

⁸⁹ Price, N. C. (1996). *Historical and philosophical issues in the conservation of cultural heritage* (Vol. 1). Getty Publications.

⁹⁰ De la Torre, M. (Ed.). (2002). *Assessing the values of cultural heritage*. Getty conservation institute.

⁹¹ Battaini-Dragoni, G., & Merkle, K. (2008). The Council of Europe and the follow-up of the UNESCO Convention at European level. *Economia della cultura*, 18(3), 355-366.

⁹² Riegl, A. (1903). *Der moderne Denkmalkultus: sein Wesen und seine Entstehung*. W. Braumüller.

⁹³ Dupagne, A., & Teller, J. (2004). Cultural tourism: a threat or an opportunity for the urban heritage conservation? The Picture European RD fp6 project. In *Preservation and World Heritage Cities: integration by rehabilitation* (pp. p-62).

⁹⁴ Rajčić, V., & Žarnić, R. (2016). Risk and Resilience of Cultural Heritage Assets. In *Proceedings of the International Conference SBE16 Malta (Sustainable Built Environment)* (p. 325).

2.2.2 Σημαίνοντα Πολιτιστικής Κληρονομιάς

Ο προσδιορισμός των αξιών της πολιτιστικής κληρονομιάς, στο πέρασμα των χρόνων, συντάχθηκε και αποδόθηκε σε διαδοχικά βήματα⁹⁵. Αρχικά, απαραίτητη και σημαντική ήταν η ταυτοποίηση αυτών. Στη βάση των αξιών συγκαταλέγονται η βαθιά γνώση του αντικειμένου έρευνας, οι περιγραφικές και μετρήσιμες ιδιότητες, ο καθολικός και τοπικός ορισμός αναλόγως του περιβάλλοντος και της τοποθεσίας και τελευταία η ταξινόμηση της πολιτιστικής κληρονομιάς σε γενική και εξειδικευμένη αναλόγως του είδους. Η συγκριτική ανάλυση αποτελεί το επόμενο βήμα, ακολουθεί η σημασιολογική συσχέτιση και τέλος η απόδοση του ορισμού.

Πιο συγκεκριμένα, η γεωχωρική και γεωμετρική θέση σχετίζεται με τη γεωγραφική θέση, το πολιτιστικό τοπίο και τη γεωμετρία του δομήματος. Το σχήμα του κτηρίου προσδιορίζει τη γεωμετρία της μονάδας πολιτιστικής κληρονομιάς και περιλαμβάνει προϊόντα σχεδιαστικά, εγκάρσιες τομές, προσόψεις, αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες κ.α. Επίσης η εκτίμηση κινδύνων στην πολιτιστική κληρονομιά, συμβάλλει στο να προσδιοριστεί η δυναμική των αρνητικών επιπτώσεων στις μονάδες πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι επιπτώσεις αυτές συνήθως προέρχονται είτε από φυσικά αίτια (ορατά εις βάθος χρόνου ή άμεσα) είτε από τον ανθρώπινο παράγοντα (σκόπιμα ή ακούσια). Επίσης, καθ' ότι μετρήσιμα μπορούν να υπολογιστούν ή να προσδιοριστούν έμμεσα, εκτιμώντας τις συνέπειες.

Επιπρόσθετα, το σημαίνον σε σχέση με την διατήρηση είναι μια κατάσταση κατά την οποία η μονάδα πολιτιστικής κληρονομιάς έχει συντηρηθεί επιδεχόμενη τακτική συντήρηση και παρεμβάσεις και προσδιορίζεται από την υπάρχουσα κατάσταση διατήρησης των δομικών υλικών και της δομής της. Ακολούθως, η κατάσταση διατήρησης των δομικών υλικών περιγράφεται από τα χαρακτηριστικά αυτών, το επίπεδο φθοράς και βλαβών και αξιολογείται από την ταυτοποίηση των συνθηκών που επέφεραν τη βλάβη. Την ίδια στιγμή, η δομική αξιολόγηση που συνυπολογίζει το επίπεδο φθοράς των υλικών και τις βλάβες στα δομικά στοιχεία και συστατικά μέρη, προσδιορίζει τη δομική κατάσταση διατήρησης. Τέλος, η αξιολόγηση της επίδρασης μιας τακτικής συντήρησης και παρεμβάσεων (εργασίες προ-παρέμβασης, προστασία, έργα αποκατάστασης) συνιστούν δεδομένα σχετικά με την εκτίμηση της δομικής τρωτότητας και υπάρχουσας κατάστασης της κατασκευής.

Συνεχίζοντας με το ιστορικό σημαίνον, τονίζεται πως ενσωματώνει στοιχεία του παρελθόντος και απεικονίζει την εξέλιξη της ιστορικής σπουδαιότητας. Το αρχαιολογικό σημαίνον από την άλλη, βασισμένο σε αρχαιολογικά ευρήματα και στη σπουδαιότητά τους ως μάρτυρες της προαναφερθείσας εξέλιξης, καθορίζει την αξία της πολιτιστικής κληρονομιάς. Περιλαμβάνει ακόμη και προσδιορισμό της αρχαιολογικής δυναμικής του χώρου (ένας αρχαιολογικός χώρος που δεν έχει εκσκαφτεί ακόμη συγκαταλέγεται στο αισθητικό σημαίνον που συχνά αναφέρεται και ως καλλιτεχνική αξία, προσδιορίζει τα καλλιτεχνικά χαρακτηριστικά όπως ιδέα, σχήμα, χρώμα κ.λπ.

⁹⁵ Vodopivec, B., Selih, J., & Zarnic, R. (2015). Interdisciplinary determination of architectural heritage restoration priorities on the case of castles. *ANNALES-ANALI ZA ISTRSKE IN MEDITERANSKE STUDIJE-SERIES HISTORIA ET SOCIOLOGIA*, 25(1), 1-18.

Επίσης, το περιβαλλοντικό σημαίνει συμβαδίζει με τη βιωσιμότητα, ιδιαιτέρως όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος (αποκατάσταση και προστασία του τοπίου, κ.α) και τη σχέση μεταξύ πολιτιστικής κληρονομιάς και περιβάλλον/χώρος (ενσωμάτωση της κληρονομιάς στο χώρο, τη διάδραση της φυσικής και πολιτιστικής κληρονομιάς, θέτοντας την αποκατάσταση της κληρονομιάς ως κομμάτι του χωροταξικού σχεδιασμού).

Ενισχύοντας την κοινωνική συνοχή και δημιουργώντας αίσθημα κοινότητας (ταυτότητα), το κοινωνικό σημαίνει ορίζει τα χαρακτηριστικά της πολιτιστικής κληρονομιάς ενώ τέλος το οικονομικό σημαίνει καθορίζει την οικονομική της αξία είτε με χρηματοοικονομικά κριτήρια είτε με άλλες μεθόδους.

2.2.3 Πρωτόκολλα τεκμηρίωσης στην Πολιτιστική Κληρονομιά

Για να προοδεύσει μεθοδολογικά και τεχνολογικά η καταγραφή δεδομένων και για να αναπτυχθούν επαρκώς τα διεπιστημονικά πρότυπα, καθίσταται αναγκαία η αξιολόγηση και βελτιστοποίηση των απαιτούμενων εργαλείων. Εφόσον κάθε στοιχείο πολιτιστικής κληρονομιάς είναι μοναδικό και απαιτεί μελέτη, ανάλυση και εξατομικευμένη διερεύνηση σύμφωνη με τα χαρακτηριστικά του και το σκοπό της μελέτης και της τεκμηρίωσης, η εφαρμοσμένη μεθοδολογία μαζί με τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας και το στοιχείο της μοναδικότητας, συνυπολογίζει και τα διαφορετικά εργαλεία και συσκευές, τους βαθμούς ακριβείας, τα επίπεδα λεπτομερειών, κ.α. Κατά το σχεδιασμό και την υλοποίηση της αποτύπωσης στοιχείων πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως και κατά τη διάρκεια της διαχείρισης, αποθήκευσης και αρχειοθέτησης των δεδομένων, πρέπει να ακολουθούνται συγκεκριμένες οδηγίες.

Η μεθοδολογία που υιοθετήθηκε μέσα σε αυτή τη διατριβή, αποτελεί εξέλιξη της έρευνας του Ε.Μ.Π. μέσα από εθνικά και ευρωπαϊκά προγράμματα. Πιο συγκεκριμένα, η μεθοδολογία που υιοθετήθηκε εξελίσσει το πρωτόκολλο που προτάθηκε στο FP7 Coordinated Action EU CHIC (European Cultural Heritage Identity Card, www.eu-chic.eu) και σε δεύτερο επίπεδο η μεθοδολογία περιλαμβάνει τα πρωτόκολλα τεκμηρίωσης συμπεριλαμβανομένων και κατευθυντηρίων γραμμών που προτάθηκε από το Ε.Μ.Π¹⁰⁵.

Στο πλαίσιο αυτό, στην Εικόνα 6 τα δεδομένα χωρίζονται σε δύο αυτόνομα πεδία. Το πρώτο πεδίο περιγράφει τη φύση και τα χαρακτηριστικά του στοιχείου πολιτιστικής κληρονομιάς ως αυτά εκφράζονται από τα σημαίνοντα. Κάθε στοιχείο πολιτιστικής κληρονομιάς έχει τα ατομικά του σημαίνοντα που περιέχονται σε κάθε είδους τεκμηρίωση.

Απαιτούνται επίσης προπαρασκευαστικές, επιτόπιες και μετα-επεξεργαστικές διεργασίες για τη βέλτιστη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων. Τα απαιτούμενα βήματα συγκεντρώνονται σε τρεις αλληλένδετες κατηγορίες ενεργειών. Οι προπαρασκευαστικές ενέργειες πρέπει να συμβαδίζουν με την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων όπως και με τη διαβάθμιση και επιλογή των πιο βασικών πληροφοριών. Θα πρέπει ακόμη να σχετίζονται με τη συλλογή, μελέτη, σύνδεση και συσχέτιση των διαθέσιμων σε κάθε περίπτωση πληροφοριών. Τέλος οφείλουν να συντονίζονται με τις απαιτήσεις που θέτονται ανά κατηγορία χρήστη (ανάλογα την ειδικότητα επιστήμης). Τα σημαίνοντα κάθε στοιχείου πολιτιστικής κληρονομιάς αποτελούν μαζί με τα υπόλοιπα συλλεχθέντα δεδομένα, την ολοκληρωμένη τεκμηρίωσή του.

Οι επιτόπιες διεργασίες περιλαμβάνουν τη συλλογή δεδομένων μέσω διαφόρων μεθόδων και τεχνικών. Τα δεδομένα που λαμβάνονται σε αυτό το στάδιο συνοδεύονται από μεταδεδομένα (τα οποία ιχνηλατούνται και επαληθεύονται). Η συλλογή των δεδομένων διενεργείται βάσει των συγκεκριμένων αναγκών, της τεχνογνωσίας και της εξειδίκευσης κάθε χρήστη καθώς και όλων των εμπλεκόμενων φορέων. Στο διάγραμμα της Εικόνα 6 απεικονίζονται οι πολυεπίπεδες πληροφορίες, που πρέπει να περιλαμβάνονται σε κάθε τεκμηρίωση δομημάτων πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι πολυεπίπεδες αυτές πληροφορίες προκύπτουν από επιτόπιες έρευνες και από την εξέταση και τεκμηρίωση των διαθέσιμων ανά περίπτωση δεδομένων (Εικόνα 6).

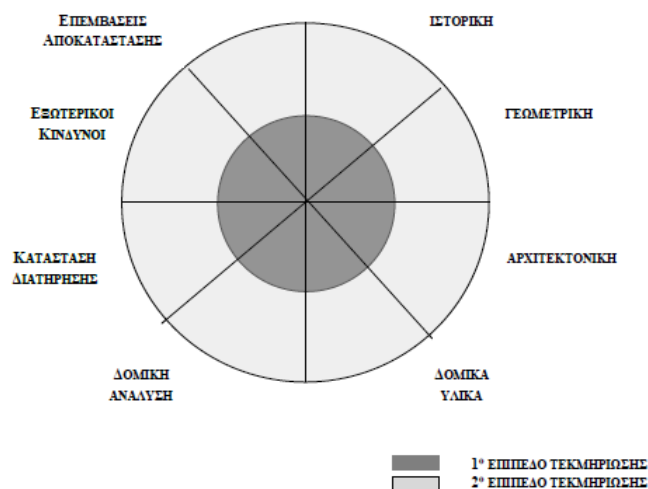


Εικόνα 6: Σημαινόντα στοιχεία δεδομένων καταγραφής των δομημάτων της πολιτιστικής κληρονομιάς⁹⁶

Ακόμη τα επίπεδα ταξινόμησης της πληροφορίας για την τεκμηρίωση των δομημάτων πολιτιστικής κληρονομιάς, παρουσιάζονται στη Εικόνα 7, ενώ τα πρωτόκολλα τεκμηρίωσης που εφαρμόζονται στην πολιτιστική κληρονομιά παρουσιάζονται στην Εικόνα 8. Ακόμη, η ταξινόμηση των πρωτοκόλλων με τις επιμέρους παραμέτρους τους παρουσιάζονται στον

⁹⁶ Deliverable 5.1 “Use case definition responding to stakeholder’s requirements”. Task 5.1 Team (WP Leader VBC) INCEPTION EU Project

Πίνακας 2^{97,98,99, 100, 101,102}. Στην παρούσα διατριβή η συλλογή, επεξεργασία καθώς και η ταξινόμηση των δεδομένων ακολούθησε τα παρουσιαζόμενα πρωτόκολλα τεκμηρίωσης.



Εικόνα 7: Επίπεδα ταξινόμησης της πληροφορίας για την Ολοκληρωμένη Τεκμηρίωση¹⁰⁵

⁹⁷ A. Kioussi, M. Karoglou, A. Bakolas, A. Moropoulou, “Integrated Documentation Protocols enabling Decision Making in Cultural Heritage Protection”, *Journal of Cultural Heritage*, 14S (2013) 141-146.

⁹⁸ A. Kioussi, K. Labropoulos, M. Karoglou, A. Moropoulou, R.Zarnic, “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* (2011), 178 – 184

⁹⁹ A. Kioussi, K. Labropoulos, M. Karoglou, A. Moropoulou, R.Zarnic, “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* (2011), 178 – 184

¹⁰⁰ A. Moropoulou, B. Chandakas, T. Togkalidou, M. Karoglou, E. Padouvas, A new methodology for quality control and monitoring of historic buildings: A tool for lifetime engineering, *Symposium Proceedings, 2nd International symposium, ILCDES Integrated Life-time Engineering of Buildings and Civil Infrastructures*, Kuopio, Finland, pp. 269-274, 2003

¹⁰¹ Kioussi, A., Skordaki, N., Karoglou, M., Bakolas, A., Moropoulou, A., 2013b, Documentation based on standards for non-destructive control and materials characterization through a diagnostic study for the protection of Cultural Heritage, In: 5th International Conference on NDT, Athens, Greece, In Press.

¹⁰² Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C.: Investigation Procedures for the diagnosis of the historic masonries. *Construction and Building Materials* 14, 199–233 (2000)



Εικόνα 8: Πρωτόκολλα τεκμηρίωσης που εφαρμόζονται στην πολιτιστική κληρονομιά^{103, 104}

¹⁰³ Deliverable 1.3 “Knowledge Management and Collaboration Method”. Task 1.1 Team (WP Leader UL) INCEPTION EU Project.

¹⁰⁴ Moropoulou, A. Kioussi, M. Karoglou, A. Bakolas, G. Georgousopoulos, M. Chronopoulos, “Innovative protocols for integrated diagnostics on historic materials and structures, in: V. Radonjanin”, K. Crews (Eds.), 397- 399, Proceedings of Structural Faults + Repair-2012, Edinburgh, 3rd–5th July, 2012, CD proceedings.

Πίνακας 2: Κατηγορίες Ταξινόμησης και επί μέρους Παράμετροι του δευτέρου επιπέδου τεκμηρίωσης¹⁰⁵

Κατηγορίες Ταξινόμησης	Παράμετροι Τεκμηρίωσης
I. Ιστορική	I.1 Ιστορία του μνημείου
	I.2 Αξίες
	I.3 Εμπλεκόμενα πρόσωπα/φορείς
	I.4 Μαρτυρίες
	I.5 Βιβλιογραφία
	I.6 Χρήσεις
	I.7 Απεκονίσεις
II. Γεωμετρική	II.1 Τοποθεσία
	II.2 Μορφολογία
	II.3 Σχήμα
	II.4 Μέγεθος
	II.5 Κτηματολόγιο
III. Αρχιτεκτονική	III.1 Ταυτοποίηση γενικής τυπολογίας
	III.2 Ταυτοποίηση αρχιτεκτονικής τυπολογίας
	III.3 Απεκονίσεις
IV. Δομικά Υλικά	IV.1 Ταυτότητα δομικού υλικού
	IV.2 Ορυκτολογικός-Πετρογραφικός Χαρακτηρισμός
	IV.3 Φυσικοχημικός Χαρακτηρισμός
	IV.4 Κύκλος Ζωής Υλικών και Τεχνοοικονομικά
V. Δομική Ανάλυση	V.1 Τεκμηρίωση του Φέροντος οργανισμού – Δομικό Σύστημα
	V.2 Μέθοδοι για την τεκμηρίωση Δομικού Μέλους
	V.3 Υλικά Κατασκευής και κατανομή τους στο κτήριο
	V.4 Προηγούμενες Επεμβάσεις στο Δομικό Μέλος
	V.5 Εκτίμηση Δομικής Κατάστασης Δομικού Μέλους
	V.6 Εκτίμηση Δομικής Κατάστασης Κατασκευής
VI. Κατάσταση Διατήρησης	VI.1 Μακροσκοπικές Παρατηρήσεις
	VI.2 Αξιολόγηση Κατάστασης Διατήρησης των Δομικών Υλικών
	VI.3 Αξιολόγηση Κατάστασης Διατήρησης της Δομής
	VI.4 Απεκονίσεις
VII. Εξωτερικοί Κίνδυνοι	VII.1 Κλιματολογικοί
	VII.2 Υδρολογικοί
	VII.3 Γεωλογικοί /Γεωμορφολογικοί
	VII.4 Βιολογικοί
	VII.5 Ανθρωπογενείς
	VII.6 Κοινωνικοί
	VII.7 Οικονομικοί
VIII. Επεμβάσεις Αποκατάστασης	VIII.1 Γενικές Πληροφορίες Επέμβασης
	VIII.2 Προ καταργασίας υλικό
	VIII.3 Υλικά επέμβασης
	VIII.4 Αποτίμηση καταργασμένων υλικών
	VIII.5 Συνολική αποτίμηση επέμβασης
	VIII.6 Απεκονίσεις

2.3 Πλατφόρμες διαχείρισης δεδομένων

Για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς, η ορθή απεικόνιση, η ταξινόμηση και η διαχείριση της παθολογίας ενός μνημείου, αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για τον έλεγχο της προόδου της φθοράς καθώς και για την βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των επεμβάσεων συντήρησης. Στο πλαίσιο της προστασίας της δομημένης πολιτιστικής κληρονομιάς, πρακτικά ζητήματα και ανάγκες προκύπτουν, όσον αφορά στην ολοκληρωμένη τεκμηρίωση, μελέτη και διαχείριση των δομημάτων αυτών καθώς και στη διαχείριση των δεδομένων που λαμβάνονται κατόπιν εφαρμογής ασύμβατων επεμβάσεων συντήρησης. Απώτερος στόχος είναι η ολοκληρωμένη προσέγγιση μέσω της διεπιστημονικής μελέτης. Επομένως η ορθή διαχείριση των δεδομένων θεωρείται κρίσιμη και ειδικά στην περίπτωση των αρχαίων

¹⁰⁵ Κιούση, Α. (2016). «Πρότυπη Μεθοδολογία Τεκμηρίωσης Υλικών και Επεμβάσεων Συντήρησης με Έμφαση στην ταυτότητα της ευρωπαϊκής πολιτιστικής κληρονομιάς» Διδακτορική διατριβή. Σχολή Χημικών Μηχανικών. (Επιβλέπουσα Καθ. Α. Μοροπούλου)

δομημάτων, η λεπτομερής αυτοψία και οπτική παρατήρηση θεωρείται αναγκαία, καθώς ορισμένοι παράγοντες είναι κρίσιμο να καταγραφούν.

Η επιστημονική κοινότητα έχει αρχίσει να εξετάζει τη χρήση διαφόρων μεθόδων για τη διεπιστημονική τεκμηρίωση δεδομένων και εν συνεχεία τη διαχείριση των πολυεπίπεδων, πολυφασματικών και διεπιστημονικών πληροφοριών. Ακόμη, η ακαδημαϊκή κοινότητα, υιοθετεί τις μεθόδους αυτές, ειδικά όσον αφορά στην έρευνα των κατασκευαστικών φάσεων ενός μνημείου, στον εντοπισμό παραμορφώσεων καθώς και σε προγενέστερες εργασίες συντήρησης και αποκατάστασης, με σκοπό την ενσωμάτωση, οπτικοποίηση και προβολή των πληροφοριών αυτών σε διάφορες ψηφιακές πλατφόρμες. Η τάση αυτή έγκειται στην δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων μέσα από τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) ή Μοντέλα Κτιριακών Πληροφοριών (ΜΚΠ), ενσωματώνοντας πληροφορίες (από τις διάφορες ειδικότητες που συμπράττουν για την τεκμηρίωση ενός μνημείου), ανάλογα με το στόχο της κάθε μελέτης; είτε πρόκειται για τεκμηρίωση, οπτικοποίηση, διάχυση αποτελεσμάτων, αποκατάσταση κλπ.

2. 3.1 Διεπιστημονική προσέγγιση

Στο πεδίο της προστασίας μνημείων έχει ανακύψει η αυξανόμενη ανάγκη για τεκμηρίωση και οπτικοποίηση ιστορικών κτηρίων που αποτελούν κομμάτι πολιτιστικής κληρονομιάς ιδιαίτερα αναφορικά με την παθολογία τους και την κατάσταση διατήρησής τους. Τα τελευταία χρόνια, η ερευνητική κοινότητα χρησιμοποιεί πλατφόρμες ICT (Πληροφορικής και Επικοινωνιών) ως εργαλεία που εξυπηρετούν αυτό το σκοπό και πολύπλευρες προσπάθειες γίνονται προς αυτή την κατεύθυνση^{106,107}. Επίσης, η ενσωμάτωση δεδομένων διεπιστημονικών ερευνών συνδυαστικά με την υλοποίηση τρισδιάστατων μοντέλων ιστορικών κατασκευών και περίπλοκων μνημείων, περιλαμβάνεται στις διαδικασίες που εφαρμόζονται για να αξιολογηθεί και διαγνωστεί η κατάσταση διατήρησης των ιστορικών κτηρίων. Επιπλέον, αναφορικά με τη δομική τεκμηρίωση ενός ιστορικού κτηρίου και την επιμέρους ανάλυση των στοιχείων του, έχει σημειωθεί πρόοδος στην ενσωμάτωση

¹⁰⁶ Diara F., and F. Rinaudo. "OPEN SOURCE HBIM FOR CULTURAL HERITAGE: A PROJECT PROPOSAL." ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2 (2018): 303–309. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-303-2018>

¹⁰⁷ Banfi, F., M. Previtali, C. Stanga, and R. Brumana. "A LAYERED-WEB INTERFACE BASED ON HBIM AND 360Deg; PANORAMAS FOR HISTORICAL, MATERIAL AND GEOMETRIC ANALYSIS." ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2/W9 (2019): 73–80. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-73-2019>

δεδομένων εντός ενός μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων (Finite element model –FEM) ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη αξιολόγηση^{108,109,110,111,112,113,114}.

Επιπρόσθετα, πληροφορίες σχετικά με τα δομικά υλικά και τη φθορά τους συντάσσουν ένα σύνολο δεδομένων που κρίνεται απαραίτητο να σχετίζεται με κάθε δόμημα πολιτιστικής κληρονομιάς, δεδομένου ότι η κατάσταση διατήρησης κάθε μνημείου εξαρτάται κυρίως από την διατήρηση των υλικών κατασκευής του. Τέλος, η ανάγκη για εξεύρεση ή δημιουργία ενός ολοκληρωμένου περιβάλλοντος όπου οι πληροφορίες δύνανται να προβληθούν και να συσχετιστούν με συγκεκριμένα στοιχεία ενός κτίσματος πολιτιστικής κληρονομιάς ή ακόμη και με την συνολική οντότητα αυτού, είναι έντονη και επιβάλλεται να ικανοποιηθεί μέσω μιας ολιστικής προσέγγισης που θα αποτιμά και θα «κατανοεί» την έννοια της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η γεωμετρική τεκμηρίωση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα βήματα προς την πλήρη και ολοκληρωμένη τεκμηρίωση ενός ιστορικού κτηρίου, διατίθενται πολλά εργαλεία για τη απόκτηση όλων των αναγκαίων πληροφοριών. Τα τελευταία χρόνια, η πιο κοινή πρακτική για την απόκτηση ενός τρισδιάστατου μοντέλου είναι η εφαρμογή φωτογραμμετρικών τεχνικών ενώ συνήθως πρακτική θεωρείται και ο συνδυασμός της Ψηφιακής Φωτογραμμετρίας με τη σάρωση με laser^{115,116}. Πιο συγκεκριμένα, ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων της σάρωσης με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις υψηλής ανάλυσης εικόνες των δομικών υλικών και ακολούθως των πληροφοριών σε σχέση με τη

¹⁰⁸ Asteris, P.G., Moropoulou, A., Skentou, A.D., Apostolopoulou, M., Mohebkhah, A., Cavaleri, L., Rodrigues, H., Varum, H. (2019). Stochastic vulnerability assessment of masonry structures: Concepts, modeling and restoration Aspects, *Appl. Sci.*, 9(2), 243

¹⁰⁹ Barbieri G., L. Biolzi, M. Bocciarelli, L. Fregonese, and A. Frigeri. "Assessing the Seismic Vulnerability of a Historical Building." *Engineering Structures* 57 (December 2013): 523–535. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.09.045>.

¹¹⁰ Bitelli, G., C. Balletti, R. Brumana, L. Barazzetti, M. G. D'Urso, F. Rinaudo, and G. Tucci. "METRIC DOCUMENTATION OF CULTURAL HERITAGE: RESEARCH DIRECTIONS FROM THE ITALIAN GAMHER PROJECT." *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2/W5 (2017)*: 83–90. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-83-2017>.

¹¹¹ Asteris, P.G.; Plevris, V. *Handbook of Research on Seismic Assessment and Rehabilitation of Historic Structures*; IGI Global: Hershey, PA, USA, 2015; pp. 1–867

¹¹² Chiabrando F., A. Di Lolli, G. Patrucco, A. Spanò, G. Sammartano, and L. Teppati Losè. "MULTITEMPORAL 3D MODELLING FOR CULTURAL HERITAGE EMERGENCY DURING SEISMIC EVENTS: DAMAGE ASSESSMENT OF S. AGOSTINO CHURCH IN AMATRICE (RI)." *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-5/W1 (2017)*: 69–76. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-69-2017>.

¹¹³ Asteris, P.G., Douvika, M.G., Apostolopoulou, M., Moropoulou, A. (2017). Seismic and Restoration Assessment of Monumental Masonry Structures. *Materials* 2017, 10, 895

¹¹⁴ Fregonese, Luigi, Gaia Barbieri, Luigi Biolzi, Massimiliano Bocciarelli, Aronne Frigeri, and Laura Taffurelli. "Surveying and Monitoring for Vulnerability Assessment of an Ancient Building." *Sensors* 13, no. 8 (2013): 9747–73. <https://doi.org/10.3390/s130809747>

¹¹⁵ Georgopoulos, Andreas. "Data Acquisition for the Geometric Documentation of Cultural Heritage." In *Mixed Reality and Gamification for Cultural Heritage*, edited by Marinos Ioannides, Nadia Magnenat-Thalmann, and George Papagiannakis, pp. 29–73. Cham: Springer International Publishing (2017). https://doi.org/10.1007/978-3-319-49607-8_2.

¹¹⁶ Ioannidis, C. and Georgopoulos, A.: Innovative Techniques for the Acquisition and Processing of Multisource Data for the Geometric Documentation of Monuments. *International Journal of Architectural Computing* 5(2), pp. 179-198 (2007).

φθορά τους, οδηγεί στη δημιουργία ενός τρισδιάστατου ανακατασκευασμένου γεωμετρικού μοντέλου με υφή^{117,118,119,120,121,122}.

Η προηγμένη τεχνολογία του τρισδιάστατου σαρωτή και της φωτογραμμετρίας έχουν καταστήσει την απόκτηση και παρουσίαση των χωρικών δεδομένων μια λιγότερο χρονοβόρα διαδικασία. Συνήθως τα προϊόντα αυτών (τρειςδιάστατα μοντέλα, νέφη σημείων και δισδιάστατα σχέδια), λειτουργούν ως υπόβαθρο για την ανάπτυξη μοντέλων πεπερασμένων στοιχείων και επίσης συμβάλλουν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων περί άμεσων επεμβάσεων συντήρησης αποκατάστασης^{111,113,114}.

Ένα ακόμη βήμα προς την διεπιστημονική τεκμηρίωση αποτελεί η συλλογή ιστορικών και αρχιτεκτονικών δεδομένων που μπορούν να συμβάλλουν στη εκτίμηση της δομικής κατάστασης ενός ιστορικού κτηρίου. Αρχαία παλαιότερων εργασιών αποκατάστασης καθώς και η γνώση που αποκτάται μέσα από τις ολοκληρωμένες παρεμβάσεις αποκατάστασης, αποτελούν πολύ σημαντικά δεδομένα σε περιπτώσεις ιστορικών κτηρίων, των οποίων η διατήρηση συνδέεται με τη δομική μορφολογία και παθολογία. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, μπορεί να αποκτηθούν τα δεδομένα που αφορούν στο χαρακτηρισμό των δομικών υλικών και στη διαγνωστική μελέτη της φθοράς μέσα από το συνδυασμό εφαρμογής επιτόπου μη-καταστρεπτικών τεχνικών (non-destructive techniques - NDTs) και εργαστηριακών αναλύσεων κατόπιν δειγματοληψίας. Πιο συγκεκριμένα, μέσω των NDTs, πληροφορίες που αφορούν τα δομικά χαρακτηριστικά ενός κτηρίου όπως είναι ο τρόπος δόμησης της κατασκευής, η μορφολογία, το πάχος τοιχοποιίας, καθώς και πιθανές δομικές μεταβολές που οφείλονται στην πάροδο του χρόνου ή σε παρελθοντικές μη-συμβατές παρεμβάσεις, ρωγμές ή και απώλειες δομικών υλικών, μπορούν να αποκτηθούν και καταγραφούν^{123,124}. Κρίσιμη είναι επίσης η ενσωμάτωση δεδομένων δομικών υλικών σε μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων για τον έλεγχο της δομικής απόκρισης ώστε να επιλεχθούν τα κατάλληλα συμβατά υλικά αποκατάστασης που θα χρησιμοποιηθούν σε πιθανές επεμβάσεις συντήρησης.

¹¹⁷ Letellier, R.; Schmid, W.; LeBlanc, F. Recording, Documentation & Information Management for the Conservation of Heritage Places; Guiding Principles, J. Paul Getty Trust; Los Angeles, CA 2007.

¹¹⁸ Salonia, P.; Negri, A. Historical buildings and their decay: Data recording, analysing and transferring in an ITC environment. ISPRS Arch. 2003, 34, 302–306

¹¹⁹ Meroño, J.E.; Perea, A.J.; Aguilera, M.J.; Laguna, A.M. Recognition of materials and damage on historical buildings using digital image classification. S. Afr. J. Sci. 2015, 111, 1–9, doi:10.17159/sajs.2015/20140001.

¹²⁰ Guidi, G.; Remondino, F. 3D modeling from real data. In Modeling and Simulation in Engineering; Alexandru, C., Ed.; InTech Publisher: Rijeka, Croatia, 2012; pp. 69–102, ISBN 978-953-51-0012-6, doi:10.5772/30323.

¹²¹ Kersten, T.P.; Lindstaedt, M. Image-based low-cost systems for automatic 3D recording and modelling of archaeological finds and objects. In EuroMed 2012: Progress in Cultural Heritage Preservation; Ioannides, M., Fritsch, D., Leissner, J., Davies, R., Remondino, F., Caffo, R., Eds.; LNCS; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2012; Volume 7616, pp. 1–10, doi:10.1007/978-3-642-34234-9_1.

¹²² Remondino, F. Photogrammetry—Basic Theory. In 3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage—Theory and Best Practices; Remondino, F.; Campana, S., Eds.; Archaeopress BAR Publication Series 2598; Gordon House: Oxford, England, 2014; pp. 63–72, ISBN 9781407312309.

¹²³ Moropoulou, A.; Delegou, E.T.; Avdelidis, N.P.; Athanasiadou, A. Integrated diagnostics using advanced in situ measuring technology. In Proceedings of the 10th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Lyon, France, 17–20 April 2005; pp. 1116–1123

¹²⁴ 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. Constr. Build. Mater. 2013, 48, 1222–1239.

Η χρήση των προϊόντων της τρισδιάστατης γεωμετρικής τεκμηρίωσης από φωτογραμμετρικές τεχνικές έχει καθιερωθεί, ως υπόβαθρο για την ανάπτυξη των θεματικών χαρτών σε περιβάλλον ΓΣΠ (GIS)^{125,126}. Επίσης, το πεδίο διαχείρισης δεδομένων πολιτιστικών πληροφοριών μέσω ΓΣΠ, έχει ακόμη πολλές ανεξερεύνητες δυνατότητες και δυναμική ιδιαίτερα σε περιπτώσεις διαχείρισης δεδομένων που αφορούν σε τρεις διαστάσεις^{127,128,129,130,131}. Μέσα σε αυτό το σύστημα πληροφοριών, μπορεί να αναπτυχθεί μια πολύπλευρη βάση δεδομένων που ενσωματώνει ιστορικά, αρχιτεκτονικά, γεωμετρικά και δομικά δεδομένα. Η ανάπτυξη θεματικών χαρτών όπου περιλαμβάνονται όλα τα στοιχεία της βάσης δεδομένων σε ενιαίο χωρικό σύστημα, μπορεί να βοηθήσει στον έλεγχο του κύκλου ζωής του υπό εξέταση ιστορικού κτηρίου και μνημείου καθώς και στη βιωσιμότητά του^{125,127}.

2.3.2 Συστήματα χωρικής απεικόνισης CAD

Τα συστήματα CAD Computer Aided Design, ξεκίνησαν ως γραφικά συστήματα για την υποστήριξη και απεικόνιση σχεδιαστικών εργασιών. Οι σύγχρονες εκδόσεις του λογισμικού CAD αξιοποιεί ειδικά εργαλεία (σύνθετες ακρώνυμο Map), τα οποία επιτρέπουν τη σύνδεσή, καθώς και τη διαχείριση των στοιχείων βάσεων δεδομένων¹³².

2.3.3 Συστήματα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών ΓΣΠ - GIS

Τα ΓΣΠ αποτελούν συστήματα που ενσωματώνουν και συσχετίζουν περιγραφικά και ποσοτικά δεδομένα ενώ παρέχουν ευέλικτα εργαλεία για τη διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης. Αποτελούν ένα σημαντικό, δυναμικό, διεπιστημονικό εργαλείο λήψης αποφάσεων και σχεδιασμού, αφού μπορούν να ενσωματώσουν και να διαχειριστούν δεδομένα από διαφορετικές πηγές και από διαφορετικές ειδικότητες

¹²⁵ Adamopoulos, E., E. Tsilimantou, V. Keramidas, M. Apostolopoulou, M. Karoglou, S. Tapinaki, C. Ioannidis, A. Georgopoulos, and A. Moropoulou. "MULTI-SENSOR DOCUMENTATION OF METRIC AND QUALITATIVE INFORMATION OF HISTORIC STONE STRUCTURES." *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences IV-2/W2* (2017): 1–8. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W2-1-2017>.

¹²⁶ Delegou, E.T.; Tsilimantou, E.; Oikonomopoulou, E.; Sayas, J.; Ioannidis, C.; Moropoulou, A. Mapping of building materials and consevation interventions using GIS: The case of Sarantapicho Acropolis and Erimokastro Acropolis in Rhodes. *Int. J. Herit. Digit. Era* 2013, 2, 631–653.

¹²⁷ Günay, S. "GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS AS A TOOL FOR 3D VISUALIZATION OF LOST ARCHITECTURAL HERITAGE." *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences IV-2/W6* (2019): 69–75. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W6-69-2019>

¹²⁸ Del Curto, D., A. Garzulino, F. Allegretti, and S. Mazza. "GIS or BIM? A comparison applied to the conservation management plan of a 20th century architectural Heritage." *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2/W15* (2019): 365–72. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-365-2019>.

¹²⁹ Saygi, G., G. Agugiario, M. Hamamcioğlu-Turan, and F. Remondino. "EVALUATION OF GIS AND BIM ROLES FOR THE INFORMATION MANAGEMENT OF HISTORICAL BUILDINGS." *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences II-5/W1* (2013): 283–88. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W1-283-2013>.

¹³⁰ Baik, A., R. Yaagoubi, and J. Boehm. "Integration of Jeddah Historical BIM and 3D GIS for Documentation and Restoration of Historical Monument." *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-5/W7* (2015): 29–34. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-29-2015>

¹³¹ Dore, C., and M. Murphy. "Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for Recording and Managing Cultural Heritage Sites." In *2012 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, 369–376. Milan, Italy: IEEE, 2012. <https://doi.org/10.1109/VSMM.2012.6365947>.

¹³² Δεδούσης, Β., Γιαννατσής, Ι., Κανελλίδης, Β. 2015. Συστήματα CAD. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/4500>.

μελετητών. Κατά τη δόμηση ενός ΓΣΠ, αρχικά, περιλαμβάνεται η σχεδίαση του υποβάθρου, της θέσης (γεωχωρικά) των χωρικών οντοτήτων που εξετάζονται, και εν συνεχεία, πραγματοποιείται η περαιτέρω επεξεργασία τους, με τη δημιουργία τοπολογιών και τη διασύνδεση των οντοτήτων με επιπλέον στοιχεία, περιγραφικά, (μη χωρικά), που συνήθως βρίσκονται σε κάποια βάση δεδομένων. Όσον αφορά στην ανάλυση, τα ΓΣΠ βασίζονται στη λογική της οργάνωσης της πληροφορίας σε επίπεδα. Κάθε επίπεδο περιέχει συγκεκριμένη κατηγορία δεδομένων, ενώ δημιουργούνται από το σύστημα, χωρικές σχέσεις ανάμεσα στα χαρακτηριστικά που το απαρτίζουν. Συνολικά, ένα ΓΣΠ οργανώνεται σε μια σειρά βημάτων που το καθένα κτίζεται πάνω στο προηγούμενο: αρχικά γίνεται η εισαγωγή της χωρικής πληροφορίας, κατόπιν η επεξεργασία και η δόμηση των τοπολογιών, παράλληλα σχεδιάζεται η βάση δεδομένων. Στη συνέχεια, γίνεται η εισαγωγή της πληροφορίας διαφόρων χαρακτηριστικών, η διαχείριση και η ανάλυση των πληροφοριών και τέλος η παρουσίαση των αποτελεσμάτων ανάλυσης. Κατά την εισαγωγή των χωρικών δεδομένων, η διαδικασία της δόμησης της τοπολογίας, είναι ιδιαίτερα σημαντική και είναι αναγκαία για τη δημιουργία των χωρικών σχέσεων μεταξύ των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενός θεματικού επιπέδου¹³³. Στη συνέχεια μπορεί να γίνει η εκτέλεση ερωτημάτων μέσα στο σύστημα, με σκοπό να πραγματοποιηθεί περαιτέρω ανάλυση του μνημείου.

2.3.4 Μοντέλα Κτιριακών Πληροφοριών ΜΚΠ - BIM

Τα μοντέλα BIM θεωρούνται πλατφόρμες πληροφοριών και περιλαμβάνουν βιβλιοθήκες παραμετρικών αντικειμένων, με συγκεκριμένες κλάσεις και παραμέτρους¹³⁴ καθώς και παραμετρικές βάσεις δεδομένων. Η βάση δεδομένων των πρότυπων μοντέλων, περιέχει για κάθε αντικείμενο τις γεωμετρικές παραμέτρους του (μέγεθος, πλάτος, όγκο, κ.α.), τις φυσικές παραμέτρους του (μάζα, δεδομένα δομικών υλικών, κλπ) και άλλες παραμέτρους όπως όνομα, κωδικό, κ.α.

Σχετικά με την ανάπτυξη ενός ΜΚΠ, αρχικά, η σχεδίαση και ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου μοντέλου μέσω BIM διαφέρει από τον παραδοσιακό τρόπο τρισδιάστατης σχεδίασης. Ένα τρισδιάστατο μοντέλο που έχει αναπτυχθεί μέσω BIM, αποτελεί ένα μοντέλο στερεών σωμάτων. Το BIM βασίζεται στον αντικειμενοστραφή σχεδιασμό όπως αυτός εξελίχθηκε με την πάροδο των χρόνων για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου (σχεδιασμός μέσα από αναπαράσταση ορίων/ακμών - Boundary representation approach/ B-ger (γεωμετρία και τοπολογική συνοχή) και χρήση της κατασκευαστικής γεωμετρίας των στερεών σωμάτων - Constructive Solid Geometry¹³⁵ (συνθέσεις απλών στοιχείων και χρήση τελεστών της boolean άλγεβρας)). Ο τύπος (B-ger) χρησιμοποιείται στα τρισδιάστατα ΣΓΠ. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, αναπτύσσονται ψηφιακές αναπαραστάσεις των οντοτήτων των δομικών αντικειμένων ενός κτίσματος. Φέρουν επεξεργάσιμα χαρακτηριστικά, σημασιολογικά

¹³³ Κουτσόπουλος, Κ., 2003. Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

¹³⁴ Volkov, A. & Kuzina, O., 2016. Complementary Assets in the Methodology of Implementation Unified Information Model of the City Environment Project Life Cycle. *Procedia Engineering*, 153, pp.838–843. doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.252

¹³⁵ Hughes John F. , Van Dam Andries, Mcguire Morgan, Sklar David F., Foley James D., Feiner Steven K., Akeley Kurt. *Computer Graphics Principles and Practice*. 2014. 3.

χαρακτηριστικά καθώς και ιδιότητες. Τα αντικείμενα περιέχουν όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες για τη γραφική τους απεικόνιση, οι οποίες είναι οργανωμένες σε κλάσεις. Με τον ορισμό κάθε αντικειμένου, ορίζεται και η κλάση του. Επίσης, τα δεδομένα είναι διασυνδεδεμένα με τέτοιο τρόπο ώστε όταν πραγματοποιούνται αλλαγές στις ιδιότητες (παραμέτρους και γνωρίσματα) ενός επιμέρους στοιχείου, να πραγματοποιούνται αλλαγές στο ίδιο το αντικείμενο. Με κάθε αλλαγή που πραγματοποιείται σε ένα από τα αντικείμενα του μοντέλου επίσης ενημερώνονται αυτόματα και τα υπόλοιπα.

2.3.4.1 Τοπολογικές σχέσεις

Σε σχέση με την τοπολογία, αυτή είναι πολύ βασική στη δόμηση και διαχείριση ενός μοντέλου BIM. Ανάμεσα στα παραμετρικά αντικείμενα που συνθέτουν ένα BIM, υπάρχουν κανόνες που σχετίζονται με τις τοπολογικές σχέσεις (πχ. θέση παράθυρου σε σχέση με τον τοίχο). Οι οντότητες που απαρτίζουν ένα τρισδιάστατο μοντέλο, ο τρόπος σύνδεσής τους και εν γένει οι σχέσεις τους καθορίζεται από μία σειρά κανόνων και δεσμεύσεων που πρέπει να διατηρούνται είτε αφορούν σε γεωμετρικές είτε σημασιολογικές.

2.3.1.2 Πρότυπο IFC

Οι πληροφορίες που εσωκλείονται μέσα σε κάθε αντικείμενο, είναι διαχειρίσιμες μέσα στο λογισμικό BIM. Σύμφωνα με τη φιλοσοφία του όμως, στόχος της εφαρμογής BIM είναι να απευθύνεται σε μία πληθώρα ειδικοτήτων και να επιτυγχάνεται η διαλειτουργικότητα στον τομέα των κατασκευών, δεδομένου ότι υπάρχουν πολλά είδη λογισμικών.

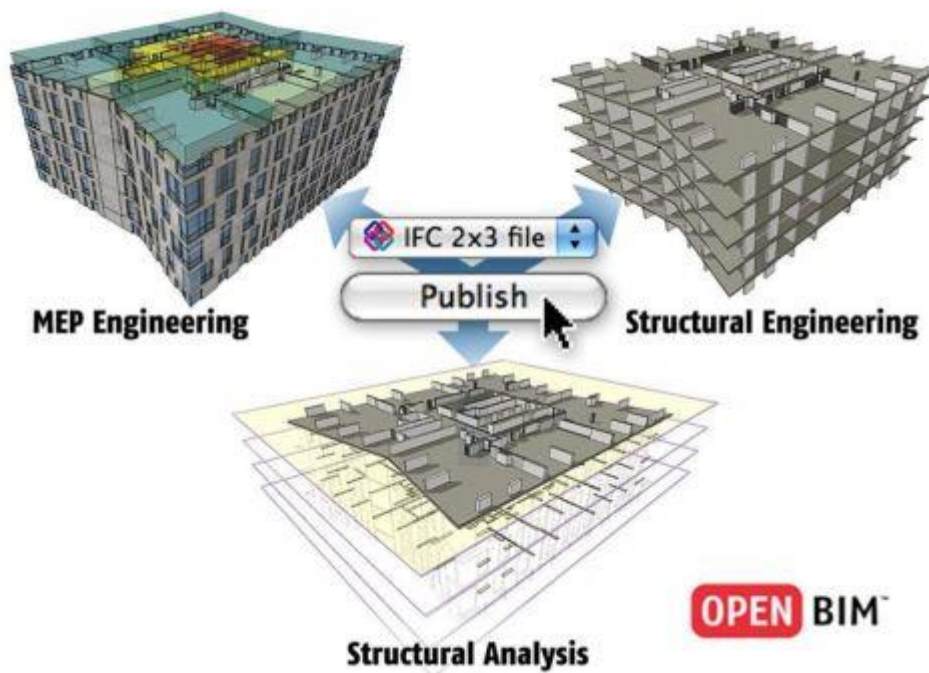
Για να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά το ζήτημα της διαλειτουργικότητας, έπρεπε να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στη δημιουργία διεθνώς αποδεκτών προτύπων και πρωτόκολλων για τα μοντέλα BIM, τα οποία να είναι ευρέως αποδεκτά.

Το 1994, από την IAI/BuildingSMART (προγενέστερη γνωστή ως Ένωση εταιρειών, με την επωνυμία «Διεθνής Συμμαχία για τη Διαλειτουργικότητα» (International Alliance for Interoperability, IAI), δημιουργήθηκε το πρότυπο IFC (Industry Foundation Classes) αρχείο αντικειμενοστραφούς μορφής που περιλαμβάνει γεωμετρικά χαρακτηριστικά οντοτήτων αλλά και τις παραμέτρους τους, για τον τομέα της κατασκευαστικής εξέλιξης ενός έργου¹³⁶. Το 1995 μετατράπηκε σε ελεύθερο και ανοικτό πρότυπο που επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών, ανεξάρτητα του λογισμικού που χρησιμοποιούσε κάθε ειδικότητα, καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής μιας κατασκευής, ενώ έχουν γίνει πολλές αναβαθμίσεις και ενημερώσεις του IFC, μερικές από αυτές προκειμένου να επιτρέπεται η ανταλλαγή δεδομένων μέσω του Διαδικτύου, όπως το πρότυπο ifcXML (eXtensive Markup Language).

Η έκδοση IFC 151 και IFC 20LF (Long Form) ήταν πολύ δημοφιλής στην ακαδημαϊκή κοινότητα. Με τη πάροδο των ετών, προστίθενται στο πρότυπο νέες δυνατότητες αποθήκευσης πληροφοριών, για το σχεδιασμό, τις λεπτομέρειες κλπ. Το 2006 η έκδοση IFC 2x3 χρησιμοποιήθηκε ευρέως για πραγματικές κατασκευές και μέχρι και σήμερα εξακολουθεί να θεωρείται πολύ δημοφιλής. Η πιο πρόσφατη έκδοση IFC4 προσφέρει ακόμη περισσότερες δυνατότητες με νέες κλάσεις κατηγοριοποίησης αντικειμένων, ενώ έχει δυνατότητες διασύνδεσης με τα ΓΣΠ. Το πρότυπο περιλαμβάνει πλέον πάνω από 700 κλάσεις και είναι ικανό να αναπαριστά ένα πολύ μεγάλο όγκο πληροφοριών, συμπεριλαμβανοντας και

¹³⁶ Laakso M, Kiviniemi A (2012) The IFC standard - a review of history, development, and standardization, Journal of Information Technology in Construction (ITcon), Vol. 17, pg. 134 - 161, <http://www.itcon.org/2012/9>.

δεδομένα πολιτιστικής κληρονομιάς. Κάθε αντικείμενο που δημιουργείται σε περιβάλλον BIM, μπορεί να εξαχθεί ως μοντέλο IFC που περιγράφεται από τις παραμέτρους: τύπος αντικειμένου (object type), συνδεδεμένη γεωμετρία (associated geometry), σχέσεις (relations), και ιδιότητες (properties)¹³⁷.



Εικόνα 9: Η συναρμογή των διαφορετικών μελετών σε ένα ενιαίο μοντέλο BIM¹³⁸

2.3.4.3 Λογισμικά BIM

Υπάρχουν πολλά λογισμικά που έχουν αναπτυχθεί για τη δημιουργία BIM μοντέλων (Revit Autodesk, Archicad Graphisoft, Bentley Architecture, CADSoft Envisioneer κ.α.). Το πιο διαδεδομένο είναι το REVIT της εταιρείας Autodesk. Αναπτύχθηκε το 2002 και έκτοτε νέες εκδόσεις του REVIT αναπτύσσονται κάθε χρόνο, ενσωματώνοντας νέα εργαλεία για τη βελτιστοποίηση των δυνατοτήτων του. Σε σχέση με τη δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων, στο λογισμικό Revit, τα παραμετρικά αντικείμενα οργανώνονται σε δομές, που αποκαλούνται και οικογένειες (families). Κάθε οντότητα που ανήκει στην ίδια οικογένεια διέπεται από κάποιους κανόνες που σχετίζονται με τη σχέση τους με άλλα αντικείμενα που ανήκουν στην ίδια οικογένεια καθώς και σε σχέση με άλλες. Οι οικογένειες δημιουργούνται μέσω της παραμετροποίησης, και μπορούν να περιέχουν διαφορετικούς τύπους (family type). Ο χρήστης μπορεί να επέμβει σε κάθε οικογένεια, και γραφικά καθώς επίσης μπορεί να εμπλουτίσει τα αντικείμενα με νέα σημασιολογικά χαρακτηριστικά.

2.3.4.4 Πλατφόρμες HBIM

Αρχικά οι πλατφόρμες BIM δημιουργήθηκαν για το σχεδιασμό, την παρουσίαση, τη διαχείριση αλλά και την παρακολούθηση νέων κτισμάτων και όχι για υφιστάμενα

¹³⁷ Ιωάννου, Μ.Τ., 2016. Ανάπτυξη Building Information Model για τη διαγνωστική μελέτη του εσωτερικού χώρου της Βίλλας Κλωναρίδη. Μεταπτυχιακή εργασία, ΔΠΜΣ 'Προστασία Μνημείων', ΕΜΠ, Αθήνα.

¹³⁸ www.graphisoft.com

κτίσματα¹³⁹ όπου τα δομικά στοιχεία εντάσσονται συνήθως σε ‘κανονικά’ σχήματα και απλές λεπτομέρειες^{140,141}. Επιπλέον, στην περίπτωση νέων κτηρίων, αναπτύσσονται σημασιολογικές πληροφορίες μέσα από τις υπάρχουσες βιβλιοθήκες των παραμετρικών στοιχείων ενώ στις περιπτώσεις των υφιστάμενων κτηρίων επιβάλλεται να γίνουν τροποποιήσεις.

Σε περιπτώσεις τεκμηρίωσης μιας υφιστάμενης δομής μέσω BIM, δεδομένα που σχετίζονται με τη γεωμετρική του τεκμηρίωση είναι απαραίτητα, και πιο συγκεκριμένα, τα αρχιτεκτονικά ή/και γεωμετρικά δεδομένα. Εντός του πλαισίου αυτού, η ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου μοντέλου σε BIM, που να βασίζεται στα αποτελέσματα των τεχνικών σάρωσης με laser, είναι ουσιαστική, λόγω της πολύ υψηλής ανάλυσης των δεδομένων που αποδίδουν την πραγματική γεωμετρική διάσταση του υφιστάμενου κτίσματος. Πάραυτα είναι μια πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία καθ’ όσον περιλαμβάνει μεγάλο όγκο δεδομένων υψηλής ανάλυσης και συχνά εμπεριέχει πολύπλοκα τρισδιάστατα αντικείμενα που πρέπει να μοντελοποιηθούν. Στο πεδίο έρευνας σχετικά με το περιβάλλον BIM, καταβάλλονται προσπάθειες στον τομέα της αυτοματοποίησης, για να επιλυθούν τα συγκεκριμένα προβλήματα, ιδιαίτερα δε εφόσον συνδέεται άμεσα με τη μείωση κόστους και χρόνου.

Η συσχέτιση επιπρόσθετα με μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς χαρακτηρίζεται από εξαιρετική πολυπλοκότητα στο συγκεκριμένο πεδίο^{142,143}. Ένα BIM μοντέλο δεν περιλαμβάνει μόνο τη γεωμετρική πληροφορία, αλλά εμπεριέχει και σημασιολογική πληροφορία, μέσω της παραμετροποίησης^{143,144}. Τα παραμετρικά αντικείμενα από ένα HBIM μοντέλο είναι αντικείμενα που μπορούν να τροποποιηθούν και να αναβαθμιστούν στην περίπτωση που η κατάσταση διατήρησης ενός μνημείου αλλάξει¹⁴⁵.

Επομένως, εκτός από τα δεδομένα γεωμετρίας και τοπολογίας που λαμβάνονται υπόψη στην παραμετρική μοντελοποίηση, σημαντικά είναι και τα σημασιολογικά δεδομένα. Η σύνδεση των σημασιολογικών χαρακτηριστικών με τα στοιχεία του.

2.3.4.5 LOD/ Επίπεδα Ανάπτυξης

Το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Αρχιτεκτόνων δημοσίευσε και κατοχύρωσε τον όρο “Επίπεδα Ανάπτυξης” στην AIA E202-2008: Building Information Modelling Protocol Exhibit (Έκθεση

¹³⁹ Eastman, C., Tiecholz, P., Sacks, R., και Liston, K. (2008) BIM Handbook, A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA

¹⁴⁰ Logothetis S, Delinasiou A, Stylianidis E.: Building Information Modelling for cultural heritage: a review. ISPRS Annals Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci. 2, (5)/W3, pp. 177–183. (2015).

¹⁴¹ Volk R, Stengel J, Schultmann F.: Building Information Modelling (BIM) for existing buildings—literature review and future needs. Journal of Automation in Construction 38 109–127 (2014).

¹⁴² Brumana R, Oreni D, Raimondi A, Georgopoulos A, Bregianni A.: From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage: the case study of St. Maria in Scaria d’Intelvi. In: Proceedings of the DigitalHeritage 2013—federating the 19th Int’l VSMM, 10th Eurographics GCH, and 2nd UNESCO Memory of the World Conferences, Plus Special Sessions from CAA, Arqueologica IEEE, pp. 497–504 (2013).

¹⁴³ Utica, G., L. Pintji, L. Guzzoni, S. Bonelli, and A. Brizzolari. “INTEGRATING LASER SCANNER AND BIM FOR CONSERVATION AND REUSE: ‘THE LYRIC THEATRE OF MILAN.’” ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences IV-5/W1 (2017): 77–82. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-5-W1-77-2017>

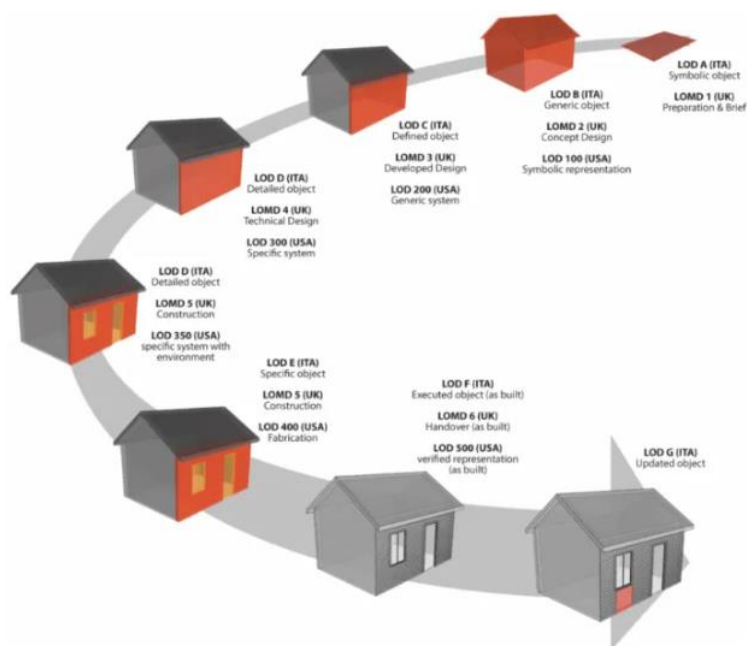
¹⁴⁴ Chiabrando F., Turco M. Lo., Rinaudo F.: Modeling the decay in an HBIM starting from 3D point clouds. A followed approach for Cultural Heritage Knowledge. ISPRS Archives Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci. vol 2 W5, pp. 605–612 (2017).

¹⁴⁵ Oreni, D., Brumana, R., Della Torre, S., Banfi, F., Previtali, M.: Survey turned into HBIM: The restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L’Aquila). ISPRS Annals Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci., 2, pp. 267–273 (2014)

περί Πρωτοκόλλου Πληροφοριών Μοντελοποίησης Κτιρίων) που δημοσιεύτηκε το 2008. Έκτοτε ο όρος Επίπεδα Ανάπτυξης αποτελεί ορόσημο για τη μελέτη της γεωμετρίας των στοιχείων και των συνοδευτικών πληροφοριών αυτών. Κάποια χρόνια αργότερα, το 2013, δημοσιεύτηκαν από το BIM Forum οι προδιαγραφές Επιπέδου Ανάπτυξης που βασίζονταν σε πρωτόκολλα του Αμερικάνικου Ινστιτούτου Αρχιτεκτόνων τα οποία εξελίχθηκαν σε σημεία αναφοράς για έγγραφα και οδηγίες χρήσης του BIM σε πολλές χώρες μεταξύ των οποίων η Γερμανία, η Γαλλία, η Αυστραλία, ο Καναδάς, η Κίνα, η Σιγκαπούρη και η Ταϊβάν. Η εκκίνηση της ανάπτυξης των προδιαγραφών Επιπέδου Ανάπτυξης τοποθετείται χρονικά το 2011 οπότε και το BIM Forum δημιούργησε μια ομάδα εργασίας με μέλη που προέρχονταν από τους τομείς σχεδιασμού και κατασκευών σημαντικών επιστημονικών κλάδων. Η ομάδα αυτή αρχικά ερμήνευσε τους βασικούς ορισμούς του Αμερικάνικου Ινστιτούτου Αρχιτεκτόνων για κάθε σύστημα δόμησης και έπειτα συγκέντρωσε περιπτώσεις μελέτης για να δώσει μορφή στις ερμηνείες.

Από τη στιγμή που η χρήση της BIM επεκτάθηκε πέραν του αρχικού πεδίου εφαρμογής της, η εν λόγω ομάδα αποφάνθηκε πως δεν ήταν εφικτό πια να διαχειριστεί όλες τις εφαρμογές της. Οι ορισμοί αναπτύχθηκαν αρχικά για να συνδράμουν στη γεωμετρία μοντέλων στοιχείων και στις τρεις συνηθέστερες εφαρμογές της- ποσότητα απορρόφησης, τρισδιάστατο συντονισμό και τρισδιάστατο σχεδιασμό και έλεγχο. Η αίσθηση ήταν πως με αυτή την προσέγγιση, οι ερμηνείες θα επαρκούσαν για να στηρίξουν και άλλες εφαρμογές.

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, το Επίπεδο Ανάπτυξης είναι γνωστό και ως “Επίπεδο Λεπτομερειών”. Ο όρος εισήχθη το 2009 από την AEC (UK) και περιλαμβάνονταν στο Πρωτόκολλο BIM ως Επίπεδο Λεπτομέρειας/Βαθμού εντός της Μεθοδολογίας Ανάπτυξης Μοντέλου. Το 2013, οι PAS 1192-2 Προδιαγραφές για διαχείριση πληροφοριών της βασικής φάσης/φάση παράδοσης των κατασκευαστικών εργασιών που μοντελοποιεί πληροφορίες κτιρίων (έχει πλέον αντικατασταθεί πια από το BS EN ISO 19650) εισήγαγε το “Επίπεδο Ορισμού” ως ένα νέο σύστημα ταξινόμησης με 7 επίπεδα (1-7) που περιλαμβάνουν και τις δύο πτυχές του - το “Επίπεδο Λεπτομέρειας Μοντέλου” (LOD) και το “Επίπεδο Πληροφοριών Μοντέλου” (LOI) (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Επίπεδα Πληροφοριών - Επίπεδα εμπιστοσύνης (<https://rebim.io/level-of-detail-or-development-lod-in-bim/>)

Πιο συγκεκριμένα τα επίπεδα πληροφοριών κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες όπου δίνεται η επεξήγησή τους.

LOD 100: Βασικό γεωμετρικό μοντέλο του κτηρίου όπου κάθε στοιχείο του μοντέλου αναπαρίσταται γραφικά με ενδεικτικές διαστάσεις. Απουσιάζουν τεχνικές ή κατασκευαστικές λεπτομέρειες των κατασκευαστικών στοιχείων.

LOD 200: Γραφική αναπαράσταση των κατασκευαστικών στοιχείων με καθορισμό των δομικών και λειτουργικών μερών του κτηρίου (τοιχοποιίες ανοίγματα, φέροντας οργανισμός του κτηρίου). Μετρητικές πληροφορίες σχετικά με τις ποσότητες, το μέγεθος, το σχήμα, τη θέση και τον όγκο μπορούν να εξαχθούν κατά προσέγγιση. Το μοντέλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό της μελέτης του έργου.

LOD 300: Κάθε στοιχείο αναπαρίσταται ως συγκεκριμένο σύστημα, ομάδα αντικειμένων η αντικείμενο. Στο μοντέλο μπορούν να μετρηθούν απευθείας πληροφορίες σχετικά με ποσοτικά στοιχεία, μεγέθη, μορφολογία, θέση και προσανατολισμό. Επίσης μπορούν να επισυνάπτονται και πληροφορίες για τα κατασκευαστικά στοιχεία.

LOD 350: Το επίπεδο ανάπτυξης εντάσσεται συνήθως στο προηγούμενο επίπεδο (LOD300) και αφορά σε γραφική αναπαράσταση συγκεκριμένου συστήματος, αντικειμένου ή συνόλου αντικειμένων όπου είναι εφικτή η ακριβής μέτρηση ποσοτικών στοιχείων ενώ παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο διασύνδεσης κάθε στοιχείου με άλλο σύστημα δομικών στοιχείων ή άλλα συστήματα.

LOD 400: Συνήθως στο επίπεδο αυτό περιλαμβάνονται συγκεκριμένα δομικά και λειτουργικά μέρη με ακριβείς διαστάσεις, μέγεθος, σχήμα, θέση κλπ, και δίνονται ακριβείς πληροφορίες λεπτομερειών κατασκευής ή εγκατάστασης κάθε στοιχείου (ακρίβεια 2-3 mm).

LOD 500: Το μοντέλο αποτελεί ακριβή αποτύπωση και πιστή αναπαράσταση κάθε πραγματικού στοιχείου του δομήματος. Θεωρείται το επίπεδο as-built, δηλαδή το μοντέλο στο οποίο έχουν ενσωματωθεί όλες οι τροποποιήσεις ή διαφοροποιήσεις σε ένα δόμημα μέχρι την παράδοση του έργου καταγραφής. Σχετίζεται με την επιβεβαίωση των ενεργειών που έχουν πραγματοποιηθεί και έχουν τροποποιήσει το δόμημα.

LOD 500+: Αναφέρεται σε επίπεδο πληροφoρίας όπου κάθε εργασία αποτυπώνεται σε πραγματικό χρόνο. Το μοντέλο εμπλουτίζεται συνεχώς και ενσωματώνει όλες τις τροποποιήσεις που υφίσταται.

Στις περιπτώσεις της πολιτιστικής κληρονομιάς, το επίπεδο as-built, δεν μπορεί να θεωρηθεί δόκιμος όρος, μιας και στα μνημεία, η επίδραση διαφόρων παραγόντων οδηγεί σε διαφοροποιήσεις αυτού ως προς την αρχική του κατάσταση (as-built) επομένως θα ήταν σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί και ο όρος as-is BIM που αφορά στο ίδιο επίπεδο ανάλυσης, και αναφέρεται στην δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου σε δεδομένη χρονική περίοδο.

2.3.4.6 Οντολογία - Σημασιολογία

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο, η λέξη «οντολογία» χρησιμοποιείται με διαφορετικές έννοιες σε διαφορετικές κοινότητες¹⁴⁶. Μία οντολογία, αποτελεί ένα σύνολο από δεδομένα που διέπονται από σημασιολογικό περιεχόμενο και αποτελείται από κλάσεις, στις οποίες ταξινομούνται τα σημασιολογικά περιεχόμενά της. Διακρίνεται συνήθως ανάμεσα στην έννοια της λέξης (σημασιολογικά) και στην υπολογιστική έννοια, όπου στην επιστήμη των υπολογιστών, η σημασιολογία αναφέρεται στην επίσημη έννοια και ερμηνεία που έχει δοθεί σε συντακτικές δομές, όπως οι γλώσσες προγραμματισμού ή συμβολικές δομές δεδομένων^{147,105}. Όπως έχει ήδη ειπωθεί, τα σημασιολογικά δεδομένα σχετίζονται με την γεωμετρία και την τοπολογία ενός παραμετρικού αντικειμένου. Για την ανάλυση και διαχείριση των αντικειμένων μέσα στο σύστημα BIM, είναι απαραίτητη η σύνδεση αυτών των οντοτήτων με τα σημασιολογικά χαρακτηριστικά που περιλαμβάνουν. Τα σημασιολογικά χαρακτηριστικά ταξινομούνται σε κλάσεις και αφορούν σε πληροφορίες που σχετίζονται με τα δομικά υλικά, τον τύπο, τις διαστάσεις, τις μηχανικές αντοχές αλλά κ.α.

Άκρως σημαντική είναι η καθιέρωση ορθών κανόνων σημασιολογίας καθώς αποτελεί θεμέλιο της δόμησης της εφαρμογής HBIM. Μια στροφή προς τον “πυρήνα” των θεμάτων που προσφέρονται, ήτοι της σημασιολογίας των λέξεων, θα αποδώσει ψηφιακό περιεχόμενο που θα ενσωματώνει ετερογενείς σε ποσότητα και ποιότητα πληροφορίες. Ο στόχος

¹⁴⁶ N. Guarino, D. Oberle, S. Staab, What Is an Ontology?, Handbook on Ontologies, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2009), 1-17

¹⁴⁷ E. Hyvönen, Publishing and using cultural heritage linked data on the semantic web, Synthesis Lectures on the Semantic Web: Theory and Technology 2.1 (2012), 1-159.

επομένως είναι να σχηματιστεί ένα εννοιολογικό μοντέλο με επιμέρους παράγοντες-κλειδιά από τη μία και τους συσχετισμούς αυτών από την άλλη.

2.3.4.7 Πρακτικές ανάπτυξης HBIM

Η αυξανόμενη ανάγκη για αποθήκευση και ανταλλαγή πληροφοριών έχει ωθήσει τους ερευνητές να πειραματιστούν με διαφορετικές προσεγγίσεις προς τη δημιουργία και λειτουργία του HBIM. Με το BIM έχουν ήδη καταπιαστεί ειδικοί από τα πεδία της τεκμηρίωσης και συντήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ως εκ του αποτελέσματος, έχουν προκύψει νέες οπτικές ως προς τη μοντελοποίηση.

Ένα HBIM δύναται είτε να χρησιμοποιήσει το BIM για να ανα-δημιουργήσει “νέα” στοιχεία πολιτιστικής κληρονομιάς σύμφωνα με την ιστορική τεκμηρίωση είτε να χρησιμοποιήσει το BIM με την έννοια του “as is” για να χαρτογραφήσει στο HBIM τρισδιάστατα αντικείμενα πάνω σε πραγματικό μοντέλο επιφάνειας. Το HBIM δεν είναι μια απλή εικονική αναπαράσταση και γεωμετρική αναδόμηση ενός στοιχείου. Αντιθέτως, τα επιμέρους στοιχεία του έχουν αναδυθεί σε αντικείμενα που συνοδεύονται από πλούσιες πληροφορίες που περιλαμβάνουν ποσοτικές, ποιοτικές και σημασιολογικές περιγραφές.

Επιπλέον, οι πλατφόρμες BIM στηρίζουν τα τρισδιάστατα νέφη σημείων που απεικονίζουν την επιφάνεια. Κατά συνέπεια η ανάπτυξη και διαχείριση υπαρχουσών δομών διέπονται από μια νέα αντίληψη περί του “as is” BIM ενώ η μοντελοποίηση από νέφη σημείων σε περιβάλλον HBIM έχει εξελίξει τη διαδικασία scan-to-BIM.

Τα δομικά στοιχεία δημιουργούνται μέσω χρήσης των υπαρχουσών προτύπων BIM Industry Foundation Classes (IFC) και παραμετρικών δομών, αφότου τα νέφη σημείων έχουν εισαχθεί στο λογισμικό BIM. Στην περίπτωση των εν λόγω μοντέλων πληροφοριών, η αναπαράσταση ενός ιστορικού κτηρίου δεν αποτελεί μόνο γεωμετρική αναπαράσταση της πραγματικότητας αλλά εμπλουτίζεται από σημασιολογικές, παραμετρικές και σχεσιακές περιγραφές των στοιχείων του.

Ως γνωστόν τα νέφη σημείων καταγράφουν τα γεωμετρικά, χρωματικά και υλικά χαρακτηριστικά ενός δομήματος. Η διάθεση πληροφοριών σχετικών με τα χωρικά και σημασιολογικά χαρακτηριστικά των αρχιτεκτονικών μοντέλων αποτελεί προϋπόθεση για τη δημιουργία γεωμετρικών, αρχιτεκτονικών και παραμετρικών μοντέλων.

Αυτό αποτελεί αντίστροφη μηχανική προσέγγιση κατά την οποία κατόπιν ταυτοποίησης της περιοχής, η ανάγνωση και κατάτμηση των νεφών σημείων αποτελεί το πρώτο βήμα στην αναγνώριση ορίων επιφάνειας που διευκολύνουν τη μοντελοποίηση. Οι διαδικασίες είναι χειροκίνητες, ημι-αυτόματες ή πλήρως αυτόματες. Η ακαδημαϊκή έρευνα αλλά και η εμπειρία των τελευταίων ετών αποφαίνονται πως έχουν σημειωθεί άλματα στην αυτοματοποίηση της διαδικασίας μοντελοποίησης νεφών σημείων. Οι αλγόριθμοι και το λογισμικό διευκολύνουν την κατάτμηση και την αυτόματη μοντελοποίηση νεφών σημείων που περιγράφουν επίπεδες επιφάνειες και στοιχειώδεις γεωμετρίες. Δυστυχώς οι προσπάθειες να εφαρμοστούν τα προαναφερθέντα σε γεωμετρίες περίπλοκων και ασύμμετρων δομημάτων παράγουν λανθασμένα αποτελέσματα. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας BIM σε στοιχεία αρχιτεκτονικής κληρονομιάς καθίσταται δυνατή χάρη στην εξέλιξη των τεχνολογιών και στις πτυχές του θεωρητικού υπόβαθρου που τη συνοδεύει.

Αρκετές έρευνες έχουν συνδέσει νέφη σημείων με το λογισμικό BIM για να πετύχουν εικονική μοντελοποίηση στοιχείων πολιτιστικής κληρονομιάς.

Μία προσέγγιση για ακριβή μοντελοποίηση των υπό μελέτη κτηρίων παρουσιάζεται από τον Murphy et al.¹⁴⁸. Βιβλιογραφικές μελέτες που αναπαριστούν τις αναλογίες, τους κανόνες και τα μοτίβα των στοιχείων χρησιμοποιούνται για τα ανοίγματα και τις τομές. Οι ενέργειες όμως αυτές δεν ακολουθούν λογική σειρά κι έτσι δυσχεραίνεται η ακριβής μοντελοποίηση αρχιτεκτονικών στοιχείων. Στην εργασία των Dore and Murphy¹⁴⁹ προτείνονται οδηγίες, κανόνες και αλγόριθμοι οι οποίοι όμως περιορίζονται σε μια μεθοδολογία που εφαρμόζεται σε μια συγκεκριμένη αρχιτεκτονική περίοδο ενώ τα προγράμματα που λειτουργούν βάσει BIM και δημιουργούν τρισδιάστατα μοντέλα, αποσκοπούν στην δημιουργία και ανάπτυξη βιβλιοθήκης HBIM ευρέος φάσματος.

Οι Oreni et al. και οι Baik et al.^{150,151,152} συστήνουν βήματα για την δημιουργία μιας βιβλιοθήκης που θα εμπεριέχει ιστορικά κτίρια ανακατασκευασμένα από νέφη σημείων. Αναγνωρίζεται η αδυναμία των προγραμμάτων BIM να μοντελοποιήσουν περίπλοκες και ασύμμετρες επιφάνειες και για αυτές τις περιπτώσεις προτείνεται η χρήση των λογισμικών Rhinoceros 3D ή Bentley. Τα συμπαγή αντικείμενα εισάγονται στο λογισμικό BIM όπου κάθε στοιχείο δύναται να εμπλουτιστεί με παραμετρικές πληροφορίες σχετικές με τα υλικά δόμησης, την κατάσταση συντήρησης, κ.α και να αναπτυχθεί κατ' αυτό τον τρόπο η βιβλιοθήκη HBIM.

Ο Quattrini et al.¹⁵³ προχωρά στον προσδιορισμό των προς μοντελοποίηση συστατικών αναλόγως της τυπολογίας, της ιεραρχίας και των υλικών τους. Κάθε στοιχείο μοντελοποιείται απευθείας πάνω στο νέφος χωρίς ανοίγματα ή τομές. Για να σημειωθούν οι αποστάσεις εντός νέφους σημείων σχεδιάζονται γραμμές αναφοράς. Οι ομαλές επιφάνειες μοντελοποιούνται με εργαλεία λογισμικού Revit ενώ οι πολύπλοκες με λογισμικό B-Rep τα αποτελέσματα του οποίου εισάγονται μετέπειτα στο Revit. Δεν δίνονται πληροφορίες σχετικά με τις δομικές παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση στοιχείων.

¹⁴⁸ Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2011). Historic building information modelling-adding intelligence to laser and image based surveys. *ISPAr*, 3816, 1-7.

¹⁴⁹ Dore, C., & Murphy, M. (2012, September). Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites. In *2012 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia* (pp. 369-376). IEEE.

¹⁵⁰ Oreni, D. (2013, June). From 3D content models to HBIM for conservation and management of built heritage. In *International Conference on Computational Science and Its Applications* (pp. 344-357). Springer, Berlin, Heidelberg.

¹⁵¹ Oreni, D., Brumana, R., Banfi, F., Bertola, L., Barazzetti, L., Cuca, B., ... & Roncoroni, F. (2014, November). Beyond crude 3D models: from point clouds to historical building information modeling via NURBS. In *Euro-Mediterranean Conference* (pp. 166-175). Springer, Cham.

¹⁵² Baik, A., Alitany, A., Boehm, J., & Robson, S. (2014, May). Jeddah Historical Building Information Modelling" JHBIM"-Object Library. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS).

¹⁵³ Quattrini, R., Malinverni, E. S., Clini, P., Nespeca, R., & Orlietti, E. (2015). FROM TLS TO HBIM. HIGH QUALITY SEMANTICALLY-AWARE 3D MODELING OF COMPLEX ARCHITECTURE. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.

Ο Barazzetti et al.¹⁵⁴ διεκπεραιώνει τη μοντελοποίηση απλών επιφανειών με τη χρήση εργαλείων και συμπαγή αντικειμένων του λογισμικού Revit όπως στύλους, τοιχώματα, παράθυρα, κ.α. Έπειτα το πρόσθετο "NURBS" αναλαμβάνει την αναπαράσταση περίπλοκων ή οργανικών επιφανειών και τις μετατρέπει σε συμπαγή στοιχεία.

Από το 2007 και μέχρι σήμερα έχουν σχεδιαστεί και εφαρμοστεί HBIM με ενθαρρυντικά αποτελέσματα αποδεικνύοντας την αποδοτικότητα και προσαρμοστικότητα της εν λόγω προσέγγισης. Από το συνδυασμό ψηφιακής αποτύπωσης και παραμετρικής αναδόμησης της υπάρχουσας ιστορικής δομής, προκύπτει ένα πλήρες σύστημα πληροφόρησης που εξυπηρετεί την τεκμηρίωση, την ερμηνεία, τη διαχείριση, την αξιοποίηση, την αποκατάσταση και την προστασία¹⁵⁵. Η διάθεση των δεδομένων που απορρέουν από ένα μνημείο σε εικονικό περιβάλλον μοντελοποίησης BIM αποτελεί πρόκληση αλλά και ευκαιρία για εξελίξεις στο πεδίο.

Συνοψίζοντας, οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει η διαχείριση τρισδιάστατων ψηφιακών δεδομένων προς τη δημιουργία HBIM επικεντρώνονται σε δύο σημεία. Αρχικά, στην αξιοποίηση των ποσοτικών δεδομένων μέσω των συστημάτων γεωμετρικής τεκμηρίωσης και έπειτα στην αυτόματη ταξινόμηση των κύριων χαρακτηριστικών (ιδιαίτερως στα νέφη σημείων, μια όχι τόσο καινούρια θεώρηση^{156,157}).

Τα πολυπληθή ποσοτικά δεδομένα που λαμβάνονται αποθηκεύονται άτακτα και σε σύντομο χρονικό διάστημα θεωρούνται ξεπερασμένα. Χωρίς οργάνωση δεν επιτυγχάνεται ορθή τεκμηρίωση ούτε αναδύονται τα ποιοτικά δεδομένα. Στην περίπτωση της ενσωμάτωσης του HBIM αποκτώνται περισσότερα ποιοτικά δεδομένα μέσω εφαρμογής, επαλήθευσης και ελέγχου.

Συνήθως τα αρχιτεκτονικά στοιχεία των κτιριακών μονάδων πολιτιστικής κληρονομιάς είναι καλά διατηρημένα επομένως και η κατηγοριοποίηση των αντικειμένων αρκετά απλή διαδικασία. Αντίθετα, τα στοιχεία αρχαιολογικής κληρονομιάς είναι συνήθως σε πολύ κακή κατάσταση διατήρησης, εν μέρει μόνο ορατά ή εκτενώς αποκατεστημένα αλλά και τροποποιημένα σε σχέση με την αρχική τους μορφή. Επίσης, πολύ λίγα ιστορικά δεδομένα συνοδεύουν τις τεχνικές δόμησης και τα αρχιτεκτονικά μοτίβα των εν λόγω στοιχείων και συνήθως τα μόνα διαθέσιμα "ιστορικά" δεδομένα που μας παρέχονται είναι οι αναφορές από αρχαιολογικές εκσκαφές και η σχετική τους τεκμηρίωση.

Στο αρχαιολογικό πεδίο είναι αρκετά δύσκολο να δημιουργηθούν βιβλιοθήκες πρότυπα από αντικείμενα, αρχιτεκτονικά στοιχεία και τοιχοποιίες. Στα κτίσματα αρχαιολογικού ενδιαφέροντος μόνο τα θεμέλια είναι συνήθως ορατά, οι επιφάνειες στην πλειοψηφία τους

¹⁵⁴ Barazzetti, L. U. I. G. I., Banfi, F. A. B. R. I. Z. I. O., Brumana, R. A. F. F. A. E. L. L. A., & Previtali, M. A. T. T. I. A. (2015). Creation of parametric BIM objects from point clouds using NURBS. *The Photogrammetric Record*, 30(152), 339-362.

¹⁵⁵ López, F. J., Leronés, P. M., Llamas, J., Gómez-García-Bermejo, J., & Zalama, E. (2018). A review of heritage building information modeling (H-BIM). *Multimodal Technologies and Interaction*, 2(2), 21.

¹⁵⁶ M. Garland and P. Heckbert, "Simplification Using Quadric Error Metrics", *Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 97)*, vol. 32, ACM Press, New York, 1997, pp. 209-216.

¹⁵⁷ J. Rossignac and P. Borrel, "Multi-Resolution 3D Approximations for Rendering Complex Scenes", *Geometric Modeling in Computer Graphics*, Springer-Verlag, Berlin, 1993, pp. 455- 465.

ασύμμετρες και το υπόλοιπο ορατό κομμάτι αβέβαιου σχήματος και δόμησης. Τα κύρια αρχιτεκτονικά στοιχεία ενός μνημείου αναπαριστώνται μόνο εικονικά.

Αυτοί είναι πιθανότατα και οι λόγοι που έχουν εξεταστεί ελάχιστα οικήματα αρχαιολογικών χώρων^{158,20,159,160,161}. Οι περισσότερες από τις παρατεθείσες περιπτώσεις αποτελούν εικονικές αποκαταστάσεις. Μόνο στην περίπτωση του Historic England 2017 εφαρμόστηκε BIM για εργασίες πρόληψης και στο Bosco et al.¹⁶¹ το BIM εφαρμόστηκε για να αξιολογηθεί τι έχει απολέσει δομικά ο αρχαιολογικός χώρος και να εκτιμηθεί η υφιστάμενη κατάσταση του ώστε να προχωρήσει η τρισδιάστατη αποκατάσταση. Οι προαναφερθείσες περιπτώσεις υπογραμμίζουν πως η εικονική αποκατάσταση αποτελεί πρόκληση καθώς δεν έχουν αναπτυχθεί οι κατάλληλοι αλγόριθμοι ώστε με ημι-αυτόματες ή αυτόματες διαδικασίες μοντελοποίησης να αναδύονται από τις σαρώσεις τα αντικείμενα που χρειάζονται για την αναδόμηση ενός αρχαίου μνημείου.

Σε γενικές γραμμές οι πηγές επιστημονικής βιβλιογραφίας συμφωνούν πως το HBIM είναι ένα εργαλείο που ευνοεί το σχεδιασμό και διαχείριση εργασιών συντήρησης και αποκατάστασης ειδικά μέσω της δυνατότητας του να διασυνδέεται με πολυ-επιστημονικές ομάδες παρ' όλο που η έλλειψη αλγόριθμων ικανών να αυτοματοποιήσουν την εικονική μοντελοποίηση από νέφη σημείων, καθιστά τη μοντελοποίηση παραμετρικών στοιχείων εξαιρετικά χρονοβόρα διαδικασία^{162,163,155}. Κάποιες επιστημονικές ομάδες ερευνούν το ενδεχόμενο ενσωμάτωσης της Οντολογίας και του BIM με την ιδιότητά τους ως εργαλεία σημασιολογικής αναπαράστασης του υπάρχοντος αντικειμένου. Η Οντολογία από τη μία εξετάζει το ρητό καθορισμό μιας έννοιας και το BIM από την άλλη, την ψηφιακή αναπαράσταση του αντικειμένου επί του οποίου είναι δυνατό να επισυναπτούν μη-γραφικές πληροφορίες¹⁶⁴. Κάποιες άλλες επιστημονικές ομάδες διερευνούν το πιο ιδιαίτερο

¹⁵⁸ Achille, C., Lombardini, N. and Tommasi, C., 2015. BIM and cultural heritage: compatibility tests in an archaeological site. In: L. Mahdjoubi, C. A. Brebbia, R. Laing (Eds.), *Building Information Modelling (BIM) in Design, Construction and Operations*. Southampton, WIT Press, pp. 593-604.

¹⁵⁹ Scianna, A., Serlorenzi, M., Gristina, S., Filippi, M. and Paliaga, S., 2015. Sperimentazione di tecniche BIM sull'archeologia romana: il caso delle strutture rinvenute all'interno della cripta della chiesa dei SS. Sergio e Bacco in Roma. In: *Archeologia e Calcolatori*, supp. 7, pp. 199-212.

¹⁶⁰ Trizio, I., Savini, F. and Giannangeli, A., 2018. The Building Information Modelling for the documentation of an archaeological site. In: *Proceedings of 2018 IEEE International Workshop on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (MetroArchaeo 2018)*, Cassino, Italy, October 22-24, 2018, pp. 199-205.

¹⁶¹ Bosco, A., D'Andrea, A., Nuzzolo, M., and Zanfagna, P.: A BIM APPROACH FOR THE ANALYSIS OF AN ARCHAEOLOGICAL MONUMENT, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W9, 165-172, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-165-2019>, 2019.

¹⁶² Brumana, R., Della Torre, S., Oreni, D., Cantini, L., Previtali, M., Barazzetti, L. and Banfi, F. 2018a. SCAN to HBIM-Post Earthquake Preservation: Informative Model as Sentinel at the Crossroads of Present, Past, and Future. In Ioannides M. et al. (Eds.), *EuroMed 2018*, LNCS 11196, pp. 39-51.

¹⁶³ Pocobelli, D.P., Boehm, J., Bryan, P., Still, J. and Grau-Bové, J. 2018. BIM for heritage science: a review. *Heritage Science*, Vol 6(1), pp. 6-30.

¹⁶⁴ Acierno, M., Cursi, S., Simeone, D., & Fiorani, D. (2017). Architectural heritage knowledge modelling: An ontology-based framework for conservation process. *Journal of Cultural Heritage*, 24, 124-133.

χαρακτηριστικό του BIM, δηλαδή την δυνατότητά του να συνδέει τρισδιάστατα δεδομένα με μεταδεδομένα ή και άλλους τρόπους ενσωμάτωσης αυτών στα μοντέλα¹⁶⁵.

Μια ακόμη σημαντική παράμετρος της μεθόδου είναι ο τρόπος συλλογής γραφικών και χρωσταξικών δεδομένων. Οι σαρωτές λέιζερ παρέχουν ένα νέφος σημείων που καταδεικνύει τα ορατά σημεία (εσωτερικά και εξωτερικά) των επιφανειών ενός κτηρίου. Από την άλλη, οι πληροφορίες που απορρέουν από μη-καταστρεπτικές δοκιμές ρίχνουν φως στο υπόστρωμα της επιφάνειας ενός στοιχείου και στην στρωματογραφία του. Στο Napolitano et al.¹⁶⁶ περιγράφεται ο συνδυασμός φωτογραμμετρίας, σάρωσης λέιζερ και μοντελοποίησης στοιχείων ως μέσο εντοπισμού των αιτιών βλάβης ενός τμήματος τοιχοποιίας. Σε πειραματικές δοκιμές αλλά και σε περιπτώσεις μελέτης τοιχοποιίας η συγκεκριμένη εργασία υπέδειξε πως ο συνδυασμός τεκμηρίωσης και αριθμητικών μεθόδων μπορεί να διαφοροποιήσει τα μοτίβα ρωγμών που προξενούνται από καθίζηση. Η τεκμηρίωση των φθορών και βλαβών περιορίζεται σε αλλαγές στις ορατές περιοχές των υλικών ή στις γεωμετρικές ιδιότητες ενός συστήματος δόμησης όπως είναι οι διαφοροποιήσεις στα όρια, στις συνδέσεις και σε άλλα στοιχεία.

Φυσικά, σε έναν αρχαιολογικό χώρο δεν γίνεται πάντα αντιληπτή δια γυμνού οφθαλμού η έκταση της φθοράς και των βλαβών. Για το λόγο αυτό και προκειμένου να διερευνηθεί το υπόστρωμα αλλά και για να λαμβάνεται πληρέστερη αξιολόγηση, είναι επιτακτική η ανάγκη να ενσωματωθούν επιπρόσθετες μέθοδοι όπως η θερμογραφία υπερέυθρου και το γεωραντάρ με μεθόδους τεκμηρίωσης όπως η φωτογραμμετρία και η σάρωση λέιζερ.

2.3.5 Προσέγγιση διεπιστημονικής τεκμηρίωσης - Διεπιστημονική Συνεργασία Χημικών Μηχανικών και Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ

Από τη συνεργασία και τη διεπιστημονική τεκμηρίωση των εργαστηρίων της Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών και του Εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών έχουν εξαχθεί αρκετά ερευνητικά έργα σχετικά με τη διαχείριση δεδομένων σε ψηφιακό περιβάλλον.

Ήδη από το 1997 ξεκίνησε η διεπιστημονική προσέγγιση για την αποτίμηση των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Μέσα από μια σειρά ερευνητικών προγραμμάτων, ξεκίνησε να χρησιμοποιείται η γεωμετρική τεκμηρίωση ως

¹⁶⁵ Pocobelli, D. P., Boehm, J., Bryan, P., Still, J., & Grau-Bové, J. (2018). BIM for heritage science: a review. *Heritage Science*, 6(1), 30.

¹⁶⁶ Napolitano, R., Liu, Z., Sun, C., & Glisic, B. (2019). Combination of image-based documentation and augmented reality for structural health monitoring and building pathology. *Frontiers in Built Environment*, 5, 50

το υπόβαθρο και κρίσιμο περιβάλλον διαχείρισης δεδομένων υλικών και φθοράς. Αρχικό ερευνητικό πρόγραμμα αποτέλεσε μελέτη στα τείχη της πόλης της Ρόδου^{167,168,169,170}.

Εν συνεχεία, η διεπιστημονική συνεργασία προχώρησε μέσα από τη μελέτη ιστορικών κτηρίων της Αθήνας (2001 – 2004), όπου η χρήση χωρικών συστημάτων απεικόνισης απέδωσε θεματικούς χάρτες σε CAD και εν συνεχεία GIS και παράγαγε ποσοτικά και ποιοτικά αποτελέσματα^{171,172,173,174,175,176}. Ένα ακόμη ερευνητικό πεδίο εφαρμογής GIS αποτέλεσαν οι δύο Ακροπόλεις της Ρόδου (2009 – 2010), όπου έγινε χρήση GIS σε δεδομένα όψεων με ενσωματωμένα δεδομένα υλικών.

Η πρώτη ολοκληρωμένη ερευνητική δράση, αξιοποιώντας δεδομένα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης, ήταν η μελέτη δύο νεοκλασικών κτηρίων στην Αθήνα, της Βίλλας Κλωναρίδη και κτηρίου Δουρούτη (2012- 2013) ενώ παράλληλα πραγματοποιήθηκε το πρόγραμμα Θαλής ΑΕΙΣ όπου μελετήθηκαν, εξετάστηκαν και ορίστηκαν οι έννοιες που αφορούν στις

¹⁶⁷ Moropoulou, A., Kouli, M., Kourteli, Ch., Papasotiriou, D., Theoulakis, P., Tsiourva, Th., Achilleopoulos, N., Karakantas, Ch., Romanos, A., Tokatlidou, K., Koliadis, Th., Zarifis, N., Van Grieken, R., Delalieux, F., Silva, B., Molina, E., Vicente, M.A., Vicente, S., Macri, F., Zezza, F., “Techniques and methodology for the preservation and environmental management of historic complexes - The case of the Medieval City of Rhodes”, 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) pp. 603-634.

¹⁶⁸ Moropoulou, A., Kourteli, Ch., Achilleopoulos, N., “Environmental management and preservation of the medieval fortifications of the City of Rhodes”, International Conference Secular Medieval Architecture in the Balkans, 1300-1500, and its Preservation, AIMOS - Society for the Study of Medieval Architecture in the Balkans and its Preservation, and Organization for the Cultural Capital of Europe - Thessaloniki '97, 3- 5 November (1997), book of abstracts

¹⁶⁹ Moropoulou, A., Kouli, M., Kourteli, Ch., Theoulakis, P. & Avdelidis, N.P. 2001. Integrated methodology for measuring and monitoring salt decay in the Medieval City of Rhodes porous stone. Journal of. Mediterranean Archaeology & Archaeometry 1(1): 57-68.

¹⁷⁰ A. Μοροπούλου, Μ. Κουλή, Θ. Τσιούρβα, Π. Μιχαηλίδης, Ν. Αχιλλεόπουλος, Κ. Λαμπρόπουλος, Α. Λαμπροπούλου, Π. Μούνδουλας, Χ. Καρακαντάς, Δ. Παπασωτηρίου, Β. Τσαντήλα, Χ. Κόκκινος, Β. Κορμπάκη, Α. Ρωμανός, Κ. Τοκατλίδου, “Αποτίμηση - χαρτογράφηση της φθοράς του τείχους της Μεσαιωνικής Πόλης της Ρόδου - Επιπτώσεις από την κατασκευή των υπογείων δικτύων, σχεδιασμός και υλοποίηση στρατηγικών επεμβάσεων”, Τελική Τεχνική Έκθεση, Επιστημονικά Υπεύθυνη: Καθ. Α. Μοροπούλου, Ιούλιος 1997

¹⁷¹ Δελέγκου, Α. 2011, «Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και στρατηγικός σχεδιασμός επεμβάσεων καθαρισμού σε μαρμαρίνες επιφάνειες μνημείων», προς εξέταση Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Επιβλέπουσα: Καθ. ΕΜΠ Α. Μοροπούλου

¹⁷² Α. Μοροπούλου, Αικ. Θ. Δελέγκου, Μ. Γεραβέλη, Σ. Μιχαήλ, Α. Μπακόλας, “Στρατηγικός Σχεδιασμός Συμβατών Υλικών και Επεμβάσεων Συντήρησης. Η Περίπτωση του Μεγάρου Μελά και του πρώην Ξενοδοχείου Excelsior στην Αθήνα”, 2ο Εθνικό Συνέδριο: Ήπιες Επεμβάσεις για την Προστασία Ιστορικών Κατασκευών, εκδ. επιμέλεια Κ. Τρακοσοπούλου, Μ. Δούση, Ν.Κ. Χατζητρύφων, 1ος τόμος, σελ. 341 - 352, Θεσσαλονίκη, 2004.

¹⁷³ Γεραβέλη Μισέλ: «Σχεδιασμός και προγραμματισμός υλικών και επεμβάσεων συντήρησης στις όψεις ιστορικών κτιρίων στην Αθήνα και στον Πειραιά», Μεταπτυχιακή Εργασία, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, Β' Κατεύθυνση Υλικά & Επεμβάσεις Συντήρησης, Επιβλέπουσα: Καθ. Α. Μοροπούλου, ΕΜΠ, 2003

¹⁷⁴ Στέλλα Μιχαήλ: «Διαχείριση και προγραμματισμός επεμβάσεων συντήρησης όψεων ιστορικών κτιρίων της Εθνικής Τράπεζας της Ελλάδος σε Αθήνα και Πειραιά», Μεταπτυχιακή Εργασία, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, Β' Κατεύθυνση Υλικά & Επεμβάσεις Συντήρησης, Επιβλέπουσα: Καθ. Α. Μοροπούλου, ΕΜΠ, 2001

¹⁷⁵ Α. Μοροπούλου, Α. Μπακόλας, Αικ. Θ. Δελέγκου, Ν.Π. Αβδελίδης, Α. Κωνσταντή, Μ. Καρόγλου, Π. Μούνδουλας, Σ. Μιχαήλ, Μ. Αγγέλη, Ε. Φωτονιάτα, Μ. Βιδάλης, «Σχεδιασμός και προγραμματισμός των υλικών και επεμβάσεων της συντήρησης των όψεων των ιστορικών κτιρίων της Εθνικής Τράπεζας της Ελλάδος», Τελική Τεχνική Έκθεση για τα Ιστορικά Κτίρια επί της πλατείας Ομονοίας, Μέγαρο Μελά, επί της οδού Εθνικής Αντιστάσεως στον Πειραιά, Ιούλιος 2002

¹⁷⁶ Moropoulou, E.T. Delegou, J. Giannelos, M. Geraveli, K. Tsigakou, “Data bases for the assessment diagnosis and maintenance of buildings facades”, 10th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Lyon (2005), Proceedings in CD-Rom

οντότητες και τα σημασιολογικά δεδομένα στην πολιτιστική κληρονομιά και έγινε καταγραφή μέσα από πρωτόκολλα τεκμηρίωσης.

Στην ίδια κατεύθυνση ολοκληρωμένης τεκμηρίωσης, διερευνήθηκε η διαχείριση δεδομένων διαγνωστικής μελέτης, μέσω της δημιουργίας θεματικών χαρτών, αξιοποιώντας μία νέα τεχνική σε σχέση με τη γεωμετρική τεκμηρίωση στο Καθολικό της Μονής Καισαριανής, στο πλαίσιο του προγράμματος ΘΑΛΗΣ ΕΜΠ SEISMO (2015). Επόμενο βήμα ήταν η διαχείριση δεδομένων σε τρισδιάστατο περιβάλλον πληροφοριών μέσα από διεπιστημονικό πρόγραμμα τεκμηρίωσης για την Αρχαίο ναό του Πύθιου Απόλλωνα (2017-2018).

Συνολικά, στην πάροδο αυτών των ετών, πραγματοποιήθηκαν ποικίλες εφαρμογές σε δισδιάστατο περιβάλλον, στο πλαίσιο ερευνητικών προγραμμάτων, καθώς και μέσα από μεταπτυχιακές εργασίες στο πλαίσιο του Διατμηματικού προγράμματος «Προστασία μνημείων».

Από την επισκόπηση της υπάρχουσας τεχνογνωσίας και των εφαρμογών που αναφέρθηκαν, διαπιστώνονται κενά ως προς την ολοκληρωμένη διαχείριση και καταγραφή των αποτελεσμάτων, τα οποία η παρούσα διδακτορική διατριβή αρχικά καταγράφει και αναδεικνύει και εν συνεχεία αντιμετωπίζει μέσω ανάπτυξης νέων τεχνικών, προσεγγίσεων και εργαλείων.

Συγκεκριμένα, αναδεικνύεται η ανάγκη για διαχείριση δεδομένων μέσα σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον, όπου τα δεδομένα υλικών θα μπορούν να αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι για την ολοκληρωμένη τεκμηρίωση ενός μνημείου, ενώ τα δεδομένα από την γεωμετρική τεκμηρίωση θα αποτελούν το υπόβαθρο, αλλά ταυτόχρονα και το μέσο για την οπτικοποίηση και τη διαχείριση των δεδομένων αυτών. Αυτό μπορεί να επιτρέψει τη χρήση ψηφιακών περιβαλλόντων (όπως είναι το BIM) για την ανάλυση ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων, καθώς και για την αποτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης διατήρησης και τον σχεδιασμό κατάλληλων επεμβάσεων συντήρησης και προστασίας.

Παράλληλα, βρίσκονται υπό εξέλιξη σημαντικά ερευνητικά προγράμματα τα οποία αναδεικνύουν τη σημασία του θέματος που διαχειρίζεται η παρούσα διδακτορική διατριβή και υπογραμμίζουν την κεντρική θέση που λαμβάνει σήμερα η διερεύνηση ψηφιακών περιβαλλόντων για τη διαχείριση των διεπιστημονικών δεδομένων της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το έργο της αποκατάστασης του Παναγίου Τάφου. Το 2015, ο Μακαριότατος Πατριάρχης Ιεροσολύμων, Θεόφιλος III, προσκάλεσε την διεπιστημονική ομάδα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, που αποτελείτο από τέσσερα εργαστήρια, με επικεφαλής την Καθηγήτρια της Σχολής Χημικών Μηχανικών Α. Μοροπούλου, να διεξαγάγει μελέτη με σκοπό τη διάγνωση των παραγόντων φθοράς,

καθώς και την αποτίμηση της κατάστασης διατήρησης του Ιερού Κουβουκλίου^{177, 178, 179}. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής, αποτίμησαν την κατάσταση διατήρησης του μνημείου ως κρίσιμη, ανέδειξαν την ανάγκη για άμεσες εργασίες αποκατάστασης, ώστε να διασφαλιστεί η δομική του ακεραιότητα και επέτρεψαν την επιλογή συμβατών και επιτελεστικών υλικών και τεχνικών αποκατάστασης.

Το 2016, μετά από μια ιστορική συμφωνία μεταξύ των τριών Χριστιανικών Κοινοτήτων, υλοποιήθηκε το έργο αποκατάστασης του Ιερού Κουβουκλίου, «Ολοκληρωμένο Πρόγραμμα Διαγνωστικής Έρευνας και Στρατηγικός Σχεδιασμός Υλικών και Επεμβάσεων Συντήρησης και Αποκατάστασης του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στον Πανιέρο Ναό της Αναστάσεως στα Ιεροσόλυμα», υπό την επιστημονική εποπτεία της διεπιστημονικής ομάδας του ΕΜΠ, με επικεφαλή την Καθ. Α. Μοροπούλου. Οι εργασίες αποκατάστασης ολοκληρώθηκαν στις 22 Μαρτίου 2017^{180,181}. Η Διεπιστημονική Ομάδα του ΕΜΠ, αποτελούνταν από τον Καθ. Ε. Κορρέ, από τη Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, τον Καθ. Α. Γεωργόπουλο από τη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, την Καθ. Α. Μοροπούλου από τη Σχολή Χημικών Μηχανικών, τον Καθ. Κ. Σπυράκο από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών και τον Αν. Καθ. Χ. Μουζάκη, ως Αναπληρωτή Υπεύθυνο Εργοταξίου, από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών.

Η κατασκευαστική πολυπλοκότητα του μνημείου και η έλλειψη επαρκών επιστημονικών δεδομένων, δεδομένου ότι η προηγούμενη αποκατάσταση είχε λάβει χώρα δυο αιώνες νωρίτερα, και η τελευταία επέμβαση στη δομή του μνημείου, είχε πραγματοποιηθεί την περίοδο της Βρετανικής Αρμοστείας, είχε ως συνέπεια την ελλιπή τεκμηρίωση του μνημείου σε σχέση με τη εσωτερική του δομή^{182,183,184}. Πρότερα της μελέτης, δεν ήταν γνωστό αν παρέμεναν ενσωματωμένα στο δόμημα εναπομένοντα τμήματα του Ιερού Βράχου, δηλαδή του αυθεντικού λαξευμένου ταφικού θαλάμου, ή αν υπήρχε εσωτερική τοιχοποιία μεταξύ των εξωτερικών και εσωτερικών ορθομαρμαρώσεων.

¹⁷⁷ Lavvas G. (2009). The Holy Church of the Resurrection in Jerusalem. The Academy of Athens, Athens, Greece

¹⁷⁸ Moropoulou, A., Korres, E., Georgopoulos, A., Spyarakos, C., Mouzakis, C., Lambrou, E., Pantazis, G., Kavvadas, M., Marinos, P., Moropoulos, N., Zafeiris, V., Lampropoulos, K., Apostolopoulou, M., Maniatakis, C.A., Agapakis, M., Agapakis, J., Fragkiadoulakis, A.: Faithful Rehabilitation. Civil Engineering – ASCE 87(10), 54-61 & 78-78 (2017).

¹⁷⁹ Moropoulou, A., Georgopoulos, A., Korres, M., Bakolas, A., Labropoulos, K.C., Agrafiotis, P., Delegou, E.T., Moundoulas, P., Apostolopoulou, M., Lambrou, E., Pantazis, G., Kotoula, L., Papadaki, A., Alexakis, Emm. (2017). Five-Dimensional (5D) Modelling of the Holy Aedicule of the Church of the Holy Sepulchre Through an Innovative and Interdisciplinary Approach. In: M. Ioannides, N. Magnenat-Thalmann, G. Papagiannakis (Eds.), Mixed Reality and Gamification for Cultural Heritage (247-270). Springer International Publishing, Cham

¹⁸⁰ Moropoulou, A., Korres, E., Georgopoulos, A., Spyarakos, C., Mouzakis, C. (2017) Presentation upon completion of the Holy Sepulchre's Holy Edicule Rehabilitation, National Technical University of Athens. ISBN: 978-618-82196-4-9.

¹⁸¹ Moropoulou, A., Korres, Emm, Georgopoulos, A., Spyarakos, C., Mouzakis, Ch., Lampropoulos, K.C., Apostolopoulou M., Delegou, E.T., Alexakis, Emm. The rehabilitation of the Holy Aedicule, in: XXXIII Convegno Internazionale e Scienza e Beni Culturali, Le Nuove Frontiere del Restauro: Trasferimenti, Contaminazioni, Ibridazioni, Bressanone, 27–30 Giugno 2017, Arcadia Ricerche Editore, 2017, pp. 1–16.

¹⁸² Μητροπούλος, Θ. Γ. (2009). Ο πανιέρος ναός της Αναστάσεως Ιεροσολύμων: Τό εργο του Κάλφα Κομνηνου. Θεσσαλονίκη: Ευρωπαϊκό Κέντρο Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Μνημείων.

¹⁸³ Pringle D. (2010), "The Churches of the Crusader Kingdom of Jerusalem. A Corpus. Volume III, The City of Jerusalem. Cambridge University Press, Cambridge

¹⁸⁴ Biddle, M. (1999). The tomb of Christ. Gloucestershire: Sutton.

Η καινοτόμα διεπιστημονική προσέγγιση μελέτης του μνημείου, από όλα τα συνεργαζόμενα εργαστήρια, στο στάδιο της μελέτης, αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια του έργου αποκατάστασης, αποδείχθηκε κρίσιμη, καθώς όχι μόνο επέτρεψε την πλήρη τεκμηρίωση του σημαντικού αυτού δομήματος, αλλά αποτέλεσε και τη βάση για την επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων κατά τη διάρκεια του έργου¹⁸⁵.

Η ομάδα του ΕΜΠ έκανε χρήση τεχνικών όπως η θερμογραφία υπερύθρου, η μικροσκοπία οπτικών ινών, το γεωραντάρ, η υπερηχοσκόπηση, η σάρωση με ψηφιακό σαρωτή laser, η σάρωση με επίγειο σαρωτή laser, η λήψη φωτογραφιών, αξιοποιώντας τεχνικές μη καταστρεπτικές και μη παρεμβατικές. Παράλληλα ελήφθησαν δείγματα με σκοπό τον χαρακτηρισμό και τη διάγνωση της φθοράς του μνημείου¹⁸⁶, ενώ καταγράφηκαν όλα τα υλικά αποκατάστασης που εφαρμόστηκαν, καθώς και η ποσότητα και η θέση εφαρμογής τους.

Συνοπτικά τα στάδια του έργου περιελάμβαναν:

- Την αποσυναρμολόγηση και απομάκρυνση των λίθινων μελών των ορθομαρμαρώσεων στις περιοχές των φατνωμάτων,
- Την απομάκρυνση αποσαθρωμένων και ασύμβατων κονιαμάτων από την τοιχοποιία που αποκαλύφθηκε,
- Την αρμολόγηση της εσωτερικής τοιχοποιίας με κονίαμα αποκατάστασης,
- Την επισκευή και μερική ανακατασκευή περιοχών της τοιχοποιίας,
- Την ενεμάτωση μέχρι ύψους 3m,
- Την ανάταξη και αγκύρωση εξωτερικών πεσσών,
- Την επανατοποθέτηση των εξωτερικών ορθομαρμαρώσεων,
- Την ανάταξη και αγκύρωση των μπαλούστρων,
- Την ενεμάτωση της ανώτερης ζώνης του δομήματος και της οροφής,
- Την ανάταξη και αγκύρωση των εσωτερικών μαρμάρων,
- Επεμβάσεις συντήρησης του κρεμμυδόσχημου τρούλου (Onion Dome), του θόλου του Παρεκκλησίου του Αγγέλου και του θόλου του ταφικού θαλάμου,
- Την εφαρμογή τελικού κονιάματος μεταξύ των λίθινων μελών των ορθομαρμαρώσεων,
- Επεμβάσεις καθαρισμού και προστασίας των εσωτερικών και εξωτερικών αρχιτεκτονικών επιφανειών, καθώς και άλλων διακοσμητικών στοιχείων.

Ο ρόλος της γεωμετρικής τεκμηρίωσης ήταν κρίσιμος, καθώς επέτρεψε την τεκμηρίωση του δομήματος, αλλά και των δομικών στρωμάτων στα διάφορα στάδια του έργου. Η σύζευξη της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, των αποτελεσμάτων των μη καταστρεπτικών τεχνικών στην κλίμακα του μνημείου και των χαρακτηριστικών των υλικών διαμέσου αναλυτικών τεχνικών

¹⁸⁵ Alexakis, E., Delegou, E. T., Lampropoulos, K. C., Apostolopoulou, M., Ntoutsis, I., Moropoulou, A. (2018). NDT as a monitoring tool of the works progress and the assessment of materials and rehabilitation interventions at the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre. *Construction and Building Materials*, 189, 512-526

¹⁸⁶ Apostolopoulou, M., Delegou, E. T., Alexakis, E., Kalofonou, M., Lampropoulos, K. C., Aggelakopoulou, E., Bakolas, A., Moropoulou, A. (2018). Study of the historical mortars of the Holy Aedicule as a basis for the design, application and assessment of repair mortars: A multispectral approach applied on the Holy Aedicule. *Construction and Building Materials*, 181, 618-637.

στο εργαστήριο, είχε σαν αποτέλεσμα την πλήρη τεκμηρίωση του μνημείου και των δομικών του στρωμάτων, ενώ επέτρεψε και την δημιουργία ενός πολύ-επίπεδου μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων^{187,188,185,189}. Το πολύ-επίπεδο μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων ενσωμάτωσε όλα τα γεωμετρικά δεδομένα, αλλά και τα χαρακτηριστικά των υλικών. Η ανάλυση του πολύ-επίπεδου μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων, στο πέρας του έργου αποκατάστασης ανέδειξε την εξασφάλιση της δομικής ακεραιότητας του μνημείου, λαμβάνοντας υπόψη τα πραγματικά δεδομένα και αποτελεί καινοτόμα προσέγγιση στο πεδίο της προστασίας μνημείων¹⁷⁸, ενώ η διαχείριση και σύζευξη πολύ-επιστημονικών δεδομένων μέσω πλατφόρμας¹⁹⁰ μπορεί να αποτελέσει εργαλείο διαχείρισης, μελέτης, παρακολούθησης και αποτίμησης και σε σύγχρονες κατασκευές και υποδομές¹⁹¹.

¹⁸⁷ Lampropoulos, K. C., Moropoulou, A., Korres, M. (2017). Ground penetrating radar prospection of the construction phases of the Holy Aedicula of the Holy Sepulchre in correlation with architectural analysis. *Construction and Building Materials*, 155, 307-322.

¹⁸⁸ Georgopoulos, A., Ioannidis, C., Soile, S., Tapeinaki, S., Chliverou, R., Tsilimantou, E., Lampropoulos, K. & Moropoulou, A. (2018, October). "The role of digital geometric documentation for the rehabilitation of the Tomb of Christ". In 2018 3rd Digital Heritage International Congress (DigitalHERITAGE) held jointly with 2018 24th International Conference on Virtual Systems & Multimedia (VSMM 2018) (pp. 1-8). IEEE.

¹⁸⁹ Agrafiotis, P., Lampropoulos, K., Georgopoulos, A., Moropoulou, A. 2017. 3D Modelling the Invisible using Ground Penetrating Radar. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2-W3, 33-37, TC II & CIPA 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures 1–3 March 2017, Nafplio, Greece Editor(s): D. Aguilera, A. Georgopoulos, T. Kersten, F. Remondino, and E. Stathopoulou, doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-33-2017.

¹⁹⁰ Alexakis E., Kapassa E., Touloupou M., Kyriazis D., Georgopoulos A., Moropoulou A. (2019) Innovative Methodology for Personalized 3D Representation and Big Data Management in Cultural Heritage. In: Moropoulou A., Korres M., Georgopoulos A., Spyarakos C., Mouzakis C. (eds) *Transdisciplinary Multispectral Modeling and Cooperation for the Preservation of Cultural Heritage. TMM_CH 2018. Communications in Computer and Information Science*, vol 961. Springer, Cham

¹⁹¹ Moropoulou, A., Lampropoulos, K., Apostolopoulou, M., Tsilimantou, E. (2019). Novel, Sustainable Preservation of Modern and Historic Buildings and Infrastructure. *The Paradigm of the Holy Aedicule's Rehabilitation. International Journal of Architectural Heritage*, 1-21

Μέρος III. Σχεδιασμός Εφαρμογών - Μελέτες Περιπτώσεων

Μέσα από τα παραπάνω παραδείγματα διαχείρισης δεδομένων και μετά την μακροχρόνια συνεργασία των εργαστηρίων της Σχολής Χημικών Μηχανικών και της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, προέκυψε η ανάγκη να αξιοποιηθεί η υπάρχουσα γνώση, της διεπιστημονικής ομάδας καθώς και να γίνει πλήρης διερεύνηση των κενών που προκύπτουν από τις εφαρμογές.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, αναπτύσσεται μια **μεθοδολογία ολοκληρωμένης διαχείρισης δεδομένων**, στην κλίμακα ιστορικών κτιρίων και συνόλων, σε ολοκληρωμένο ψηφιακό περιβάλλον.

Για την ανάπτυξη του δισδιάστατου και τρισδιάστατου ψηφιακού περιβάλλοντος αντίστοιχα, γίνεται χρήση διαφορετικών τεχνικών γεωμετρικής τεκμηρίωσης καθώς επίσης και για την διαχείριση των προϊόντων τους σε δύο και τρεις διαστάσεις αντίστοιχα. Οι επιμέρους μεθοδολογίες που παρουσιάζονται στην παρούσα διδακτορική διατριβή, υλοποιούνται μέσα από τις τεχνικές γεωμετρικής τεκμηρίωσης, οι οποίες για πρώτη φορά επιχειρείται να αποτελέσουν τη βάση για ένα ενιαίο ψηφιακό περιβάλλον, για την ολοκληρωμένη τεκμηρίωση και διαχείριση ενός μνημείου.

Με τα προϊόντα τρισδιάστατης γεωμετρικής τεκμηρίωσης, υλοποιείται η ενσωμάτωση των δεδομένων, αρχιτεκτονικής και δομοστατικής τεκμηρίωσης. Ωστόσο, δεν αρκεί μια τρισδιάστατη απεικόνιση της γεωμετρίας ενός μνημείου, ακόμα και εάν μπορεί να γίνει σε αυτό, η ανάρτηση των δεδομένων τεκμηρίωσης για να δημιουργηθεί μία ολοκληρωμένη τεκμηρίωση. Είναι κρίσιμο λοιπόν να υπάρχει ο σημαντικός πυλώνας του σημασιολογικού εμπλουτισμού με μία οντολογική δομή, σε μία ενιαία πλατφόρμα. Το τρισδιάστατο επομένως μοντέλο της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, μπορεί να αποτελέσει το υπόβαθρο στην ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας και ενός ψηφιακού περιβάλλοντος για την ολοκληρωμένη διαχείρισης δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης στην κλίμακα μνημείων, ιστορικών κατασκευών και συνόλων. Αυτή είναι και η πρόκληση που αντιμετωπίστηκε κατά την εκπόνηση της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Για το λόγο αυτό και προκειμένου να αναπτυχθεί η προτεινόμενη μεθοδολογία, χρησιμοποιούνται μελέτες περιπτώσεων με σκοπό τη διερεύνηση και τον έλεγχο των δυνατοτήτων των δισδιάστατων και τρισδιάστατων ψηφιακών περιβαλλόντων.

Τα βήματα σχεδιασμού της διδακτορικής διατριβής αναλύονται ως εξής:

Μέσα από τη διαχείριση δεδομένων τεσσάρων επιλεγμένων χαρακτηριστικών μνημείων σε **δισδιάστατο (2D CAD και 2D GIS)** και **τρειςδιάστατο περιβάλλον (3D 3ds MAX και ΜΚΠ BIM)**, καταγράφονται τα προβλήματα και τα κενά που προκύπτουν. Στη συνέχεια σχεδιάζεται και υλοποιείται μία μεθοδολογία διαχείρισης δεδομένων σε **τρειςδιάστατο διαδικτυακό περιβάλλον** με σκοπό να θεραπεύσει τα προβλήματα που έχουν καταγραφεί και να καλύψει τα κενά που προέκυψαν από την έρευνα που προηγήθηκε, με την εφαρμογή σε δύο από τα χαρακτηριστικά μνημεία. Ο σχεδιασμός πραγματοποιείται μέσα από μια ολοκληρωμένη θεώρηση και συσχέτιση των δεδομένων, παρακολούθηση του μνημείου, καθώς επίσης με την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την κατάσταση

διατήρησης και προστασίας αυτού. Τέλος, η επικύρωση της μεθοδολογικής προσέγγισης επιτυγχάνεται μέσα από την ανάπτυξη μιας διαδικτυακής πλατφόρμας στο πλαίσιο ενός ευρωπαϊκού προγράμματος. Πιο συγκεκριμένα,

I) Στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής, επιλέχθηκαν **τέσσερα χαρακτηριστικά μνημεία**, ένας αρχαίος ναός, ένα βυζαντινό μνημείο, ένας αρχαιολογικός χώρος και ένα νεοκλασικό ιστορικό κτήριο.

Μέσα από τη μελέτη ενός αρχαίου ναού, του Πύθιου Απόλλωνα και ενός βυζαντινού ναού, της Μονής Καισαριανής, σχεδιάζεται και υλοποιείται η διαχείριση δεδομένων σε **δισδιάστατο περιβάλλον**.

Τα αποτελέσματα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, χρησιμοποιούνται για περαιτέρω συσχέτιση με δεδομένα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης που αφορά σε ιστορική, αρχιτεκτονική, δομοσταστική, καθώς και αποτελέσματα χαρακτηρισμού δομικών υλικών και φθοράς σε **Χωρικά Συστήματα Απεικόνισης (ΧΣΑ)** και **Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών**. Εν συνεχεία, καταγράφονται τα προϊόντα που προκύπτουν καθώς και τα κενά. Παράλληλα, στην περίπτωση του αρχαίου Ναού, επιχειρείται η διαχείριση δεδομένων σε περιβάλλον τρισδιάστατης απεικόνισης με την εισαγωγή δεδομένων υλικών αποκατάστασης. Βάσει των κενών που προκύπτουν από την τεκμηρίωση σε δύο διαστάσεις, κρίνεται αναγκαία η μετάβαση σε ένα σύστημα τριών διαστάσεων, ούτως ώστε να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο ψηφιακό περιβάλλον.

II) Με σκοπό τη διερεύνηση των δυνατοτήτων τρισδιάστατου ψηφιακού περιβάλλοντος στην ολοκληρωμένη διαχείριση δεδομένων, και την πλήρη ανάπτυξη της μεθοδολογικής προσέγγισης, πραγματοποιείται η τρισδιάστατη τεκμηρίωση δύο διαφορετικών περιπτώσεων μελέτης, ενός νεοκλασικού ιστορικού κτηρίου, της Βίλλας Κλωναρίδη, και ενός αρχαιολογικού χώρου, της Ακρόπολης του Ερμηόκαστρου στη Ρόδο.

Τα αποτελέσματα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, χρησιμοποιούνται για περαιτέρω συσχέτιση με δεδομένα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης και αφορούν σε ιστορικά δεδομένα, αρχιτεκτονικής διερεύνησης, δεδομένα δομικών υλικών και της φθοράς που παρουσιάζουν καθώς και σε δεδομένα δομοστατικής ανάλυσης για το νεοκλασικό ιστορικό κτήριο, αρχικά σε **δισδιάστατο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών** και εν συνεχεία σε **τρειςδιάστατο σύστημα Μοντελοποίησης Κτιριακών Πληροφοριών (ΜΚΠ – BIM)**. Ειδικότερα στην περίπτωση του αρχαιολογικού χώρου, η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε, είναι πρωτότυπη μιας και το τρισδιάστατο περιβάλλον ΜΚΠ, δεν έχει σχεδιαστεί για την ανάπτυξη και τη διαχείριση δομικών στοιχείων αρχαιολογικών χώρων. Ακόμα περισσότερο ως προς την εισαγωγή της πληροφορίας του δομικού υλικού κατασκευής κατά τη δόμηση του τρισδιάστατου μοντέλου εντός του περιβάλλοντος ΜΚΠ. Καταγράφονται τα προϊόντα που προκύπτουν καθώς και τα κενά.

Μέσα από ένα σαφές μεθοδολογικό πλαίσιο που αναπτύσσεται και περιγράφεται στην παρούσα διατριβή, υλοποιείται η παραμετρική μοντελοποίηση των δυο αυτών μνημείων, ενώ λαμβάνονται ως υπόβαθρο τα ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα της διεπιστημονικής τεκμηρίωσης, (ιστορικά αποτελέσματα, αρχιτεκτονικά αποτελέσματα,

αποτελέσματα δομικών υλικών και φθοράς, δομοστατικά αποτελέσματα). Τέλος αξιολογούνται οι δυνατότητες που παρέχει το περιβάλλον αυτό, σε σχέση με τη διαχείριση και ενσωμάτωση δεδομένων και εξάγονται συμπεράσματα για την κατάσταση διατήρησης του μνημείου, εν τω συνόλω αλλά και αποσπασματικά, ανά δομικό στοιχείο.

III) Παράλληλα, στην παρούσα διατριβή, διερευνάται και υλοποιείται η διασύνδεση επιλεγμένων προϊόντων που προέκυψαν, από τη διαχείριση του Νεοκλασικού ιστορικού κτηρίου σε δισδιάστατο ΓΣΠ, μέσα σε τρισδιάστατο περιβάλλον ΜΚΠ, με σκοπό τον εμπλουτισμό του μοντέλου με πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση διατήρησης. Από την υλοποίηση αυτή, εξάγονται ποσοτικά συμπεράσματα ως προς την κατάσταση διατήρησης του μνημείου, καθώς και συμπεράσματα σχετικά με διαχείριση του ΜΚΠ σε περιπτώσεις επεμβάσεων συντήρησης, ενώ παράλληλα εμπλουτίζεται σημασιολογικά το μοντέλο με στοιχεία δομικά υλικών αποκατάστασης.

IV) Στην παρούσα εργασία, ως τελικό στάδιο της μεθοδολογίας που αναπτύσσεται, σχεδιάζεται και υλοποιείται η ολοκληρωμένη διαχείριση των επιλεγμένων τρισδιάστατων παραμετροποιημένων μοντέλων μέσα σε **ψηφιακή διαδικτυακή πλατφόρμα** διαχείρισης διεπιστημονικών δεδομένων που επιτρέπει παράλληλα τον εμπλουτισμό των μνημείων μελέτης με σημασιολογικά δεδομένα και μεταδεδομένα. Η επικύρωση της προτεινόμενης μεθοδολογίας στην παρούσα διδακτορική, επιτυγχάνεται μέσα από τη συμμετοχή και τη συνδρομή στην ανάπτυξη ψηφιακής διαδικτυακής πλατφόρμας δεδομένων στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος INCEPTION.

3.1. Μονή Καισαριανής

Πρόλογος

Στο κεφάλαιο αυτό, επιχειρείται η διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης, μέσα από τη χρήση δισδιάστατης πλατφόρμας χωρικών συστημάτων απεικόνισης (CAD). Τα δεδομένα περιλαμβάνουν την ιστορική, αρχιτεκτονική και γεωμετρική τεκμηρίωση καθώς επίσης και τα αποτελέσματα χαρακτηρισμού των δομικών υλικών και τη διάγνωση της φθοράς. Μέσω ενός δισδιάστατου σχεδιαστικού προγράμματος χωρικής απεικόνισης, επιχειρείται η οπτικοποίηση των δεδομένων αυτών, η συσχέτιση, η ταξινόμηση και η διαχείριση τους καθώς και η εξαγωγή συμπερασμάτων (ποιοτικά και ποσοτικά) σε σχέση με την κατάσταση διατήρησης του μνημείου υπό εξέταση. Το μνημείο που εξετάζεται είναι το Καθολικό της Ιεράς Μονής Καισαριανής, στην Αθήνα.

Εισαγωγή

Στην παρούσα μελέτη εξετάζεται μια διεπιστημονική προσέγγιση ξεκινώντας από την τεκμηρίωση δεδομένων διεπιστημονικών μελετών που περιλαμβάνουν την αρχιτεκτονική, ιστορική, γεωμετρική καθώς και τη μελέτη υλικών του Καθολικού της Ιεράς Μονής Καισαριανής. Στη συνέχεια, η μελέτη των συσχετίσεων και της συνδιαχείρισης αυτών των δεδομένων, προσφέρει ως αποτέλεσμα την ποιοτική καταρχάς εκτίμηση της παθολογίας του μνημείου και εν γένει της υπάρχουσας κατάστασης διατήρησης του. Ποσοτικά δεδομένα αντλούνται από τη χρήση των συστημάτων απεικόνισης CAD, μέσα από τους παραγόμενους δισδιάστατους θεματικούς χάρτες¹⁹². Επομένως, η αποτίμηση της φθοράς των υλικών καθώς και η παθολογία των τοιχοποιιών του μνημείου μπορεί να αποτυπωθεί χωρικά. Η προσέγγιση αυτή, μέσω του δισδιάστατου συστήματος απεικόνισης αποτελεί το πρώτο βήμα προς μια ολοκληρωμένη διαχείριση δεδομένων, όπου η γεωμετρική τεκμηρίωση αν και ως παραγόμενο προϊόν αρχικά δίνεται σε τρεις διαστάσεις, η αξιοποίηση του επιτυγχάνεται μέσω των επιμέρους δισδιάστατων προϊόντων των ορθοφωτογραφιών των όψεων. Ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται για το καθολικό της Καισαριανής καθώς και ένα διάγραμμα με τα επιμέρους αποτελέσματα που προκύπτουν με τη διαχείριση των γεωμετρικών προϊόντων δύο διαστάσεων. Τέλος συμπεράσματα προκύπτουν σε σχέση με τα αποτελέσματα αλλά και τα κενά που προκύπτουν από τη διαχείριση δεδομένων στο δισδιάστατο ψηφιακό περιβάλλον.

Τα δεδομένα για τη διερεύνηση αυτή έχουν ληφθεί από το πρόγραμμα “SEISMO - Αντισεισμική Προστασία Μνημείων και Ιστορικών Κατασκευών” – Θαλής. Πιο συγκεκριμένα, έχουν ληφθεί δεδομένα και αποτελέσματα από τη δράση 7 του «Πακέτου Εργασίας ΠΕ7: Διαγνωστική επί τόπου έρευνα των υλικών και χαρακτηρισμός των δομικών υλικών στο εργαστήριο», όπως υλοποιήθηκαν από το εργαστήριο Μελέτης και Τεχνικής των Υλικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών¹⁹³. Επίσης το τρισδιάστατο μοντέλο του

¹⁹² 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. *Constr. Build. Mater.* **2013**, *48*, 1222–1239.

¹⁹³ Moropoulou, A.; Apostolopoulou, P.; Moundoulas, M.; Karoglou, E.; Delegou, K.; Lampropoulos, M.; Gritsopoulou, A. Bakolas.: The combination of NDTs for the diagnostic study of historical buildings: The case study of Kaisariani Monastery. In COMPDYN 2015 5th ECCOMAS Thematic Conference on Computational

Καθολικού με χρήση επίγειου σαρωτή laser, παραχωρήθηκε από το εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών στο πλαίσιο του ίδιου προγράμματος και τα προϊόντα γεωμετρικής τεκμηρίωσης, όπως οι δισδιάστατοι χάρτες, προέρχονται από τη μεταπτυχιακή εργασία της Μουργή Γ., του μεταπτυχιακού προγράμματος «Προστασία Μνημείων – Υλικά και επεμβάσεις Συντήρησης».

3.1.1 Δεδομένα Διεπιστημονικής τεκμηρίωσης: Γεωμετρικά, Δομικών υλικών, Αρχιτεκτονικά, Ιστορικά – Σχεδιασμός.

Πρωταρχικό στάδιο για την διαδικασία που εξετάζεται στο μνημείο αυτό, είναι οι επιτόπου παρατηρήσεις και μετρήσεις. Μέσα από τη διερεύνηση των δεδομένων όπως προκύπτουν από τα αποτελέσματα μη καταστρεπτικού ελέγχου, δίνεται ιδιαίτερη σημασία στις θέσεις που καθορίστηκαν για την εφαρμογή αυτών, μιας και στις περιπτώσεις αυτές οι περιοχές επιλέγονται ώστε να καλύπτουν όσο το δυνατό όλα τα υλικά, όλες τις φάσεις κατασκευής και όλες τις μορφές φθοράς. Επίσης βασική είναι η συσχέτιση των διαφόρων μορφών φθοράς με άλλους παράγοντες όπως η θέση, το μικροκλίμα, το άμεσο περιβάλλον του μνημείου για τον έλεγχο υγρασίας, την παρουσία ρύπων στην ατμόσφαιρα, την ύπαρξη υπόγειων υδάτων κ.α.

Όσον αφορά στη διαχείριση του μνημείου ως προς την τεκμηρίωση, αυτή πραγματοποιείται ανά όψη, όπου και αναλύονται και συσχετίζονται τα ιστορικά στοιχεία, οι αρχιτεκτονικές φάσεις, η γεωμετρία και ο προσανατολισμός του μνημείου καθώς και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των μακροσκοπικών παρατηρήσεων και των αποτελεσμάτων του μη καταστρεφτικού ελέγχου και των αποτελεσμάτων των ενόργανων τεχνικών. Παρουσιάζεται επίσης μία πρώτη προσέγγιση, όσον αφορά στην τεκμηρίωση δεδομένων για την εσωτερική δομή του μνημείου, της διαστρωμάτωσης του εσωτερικού του, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των μη καταστρεπτικών τεχνικών. Το Σύστημα Χωρικής Απεικόνισης που χρησιμοποιείται είναι ένα λογισμικό, ευρέως διαδεδομένο, το 3D CAD Map 2015, της εταιρείας Autodesk®.

Μνημείο Εφαρμογής: Ιερά Μονή Καισαριανής

Το επιλεγμένο μνημείο για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι το Καθολικό της Ιεράς Μονής Καισαριανής. Το καθολικό της Ιεράς Μονής Καισαριανής αποτελεί ένα μνημείο με πλούσια ιστορική και αρχιτεκτονική βιβλιογραφία (Εικόνα 11). Το καθολικό έχει αναλυθεί από διάφορους μελετητές στο πέρασμα της ιστορίας, πάραυτα ορισμένα σημεία παραμένουν αδιευκρίνιστα. Πιο συγκεκριμένα, στοιχεία που αφορούν στην ιστορική, αρχιτεκτονική και γεωμετρική περιγραφή του μνημείου συνεισφέρουν στην ανάλυση και ταξινόμηση των δομικών υλικών καθώς και στην παθολογία του, με στόχο την ολοκληρωμένη μελέτη του μνημείου καθώς και την δομοστατική ανάλυση του μνημείου.

Ακόμη, στις μελέτες αυτές έμφαση δίνεται και στην καταγραφή και ταξινόμηση επεμβάσεων που έχουν πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια της μακραίωνης ιστορίας του

μνημείου, διαχωρίζοντας και με αυτό τον τρόπο τα δομικά υλικά του μνημείου, σε ιστορικά δομικά υλικά και σε δομικά υλικά αποκατάστασης. Δυστυχώς η συνήθης πρακτική των προηγούμενων ετών ήταν να πραγματοποιούνται επεμβάσεις χωρίς να καταγράφονται και χωρίς να έχει προηγηθεί έρευνα όσον αφορά στα ιστορικά υλικά, με αποτέλεσμα πληθώρα επεμβάσεων να μην είναι καταγεγραμμένες όπως επίσης προκαλούν και μεταβολή στην κατάσταση διατήρησης της κατασκευής.



Εικόνα 11: Καθολικό της Ιεράς Μονής Καισαριανής, Δυτική Όψη, όπου διακρίνεται και το παρεκκλήσι του Αγίου Αντωνίου

3.1.1.1. Ιστορικές φάσεις του Συγκροτήματος και του καθολικού της Καισαριανής – Παλαιότερες Επεμβάσεις

Το Συγκρότημα του Μοναστηριού

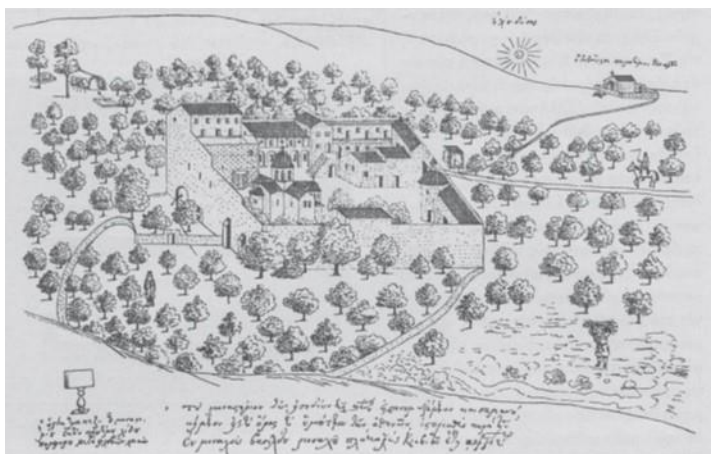
Η πρώτη φάση του συγκροτήματος του μοναστηριού τοποθετείται στην μεσοβυζαντινή περίοδο, 11^ο – 12^ο αιώνα, με τη γενική διάταξη των επιμέρους κτισμάτων να σώζεται, μετά και από τις ανακατασκευές κατά την περίοδο των Οθωμανών. Το καθολικό αποτελεί μαζί με το λουτρόνα αυτούσιο κτίσμα της μεσοβυζαντινής περιόδου. Ο βυζαντινός Λουτρόνας αποτελεί μάλιστα ένα από τα ελάχιστα δείγματα του είδους στον ελλαδικό χώρο. Ήταν καλυμμένος με μεταγενέστερες κατασκευές και αποκαλύφθηκε κατά τις αναστηλωτικές επεμβάσεις του 1950 στη Μονή¹⁹⁴. Λείψανα βυζαντινών φάσεων των δομημάτων του συγκροτήματος σώζονται στον περίβολο και τα κελιά της νότιας πτέρυγας, ενώ σε μεγάλο βαθμό τα κτίσματα αυτά είναι ανακατασκευασμένα την περίοδο της τουρκοκρατίας¹⁹⁵, όπως και η τράπεζα του μοναστηριού. Ύστερα από ερείπωση της Μονής για μεγάλο χρονικό διάστημα, τα κτίσματα αποκαταστάθηκαν, με αρκετή πιστότητα σύμφωνα με ιστορικό

¹⁹⁴ Χαρκιολάκης Νικόλαος, "Τα μοναστήρια του Υμηττού", 7 Ημέρες, 28 Σεπτεμβρίου 1997 - (Αρχικά ο λουτρόνας ήταν ελεύθερος στο χώρο, και κατά τη φραγκοκρατία ενσωματώθηκε με τα κελιά και τον περίβολο με δύο επιμήκεις θολωτές κατασκευές).

¹⁹⁵ ΔΑΒΜΜ ΥΠ.ΠΟ, "Μελέτη στερέωσης και αποκατάστασης πτερύγων κελιών και συγκροτήματος τράπεζας Ι. Μονής Καισαριανής Υμηττού", Ν. Χαρκιολάκης – Ν. Σαλέμη – Ιφ. Παπαδοπούλου, Αθήνα, Δεκέμβριος 2003.

αρχείο παλιών απεικονίσεων, ιδιαίτερα εκείνων του Ρώσου μοναχού Barksij, του έτους 1745 (Εικόνα 12).

Στο σύνολό του, το συγκρότημα είναι περιτειχισμένο με ψηλό περίβολο, και η πρόσβαση σε αυτό γίνεται μέσα από δύο πύλες στα ανατολικά και δυτικά, που συνδέονται με πλακόστρωτο δρόμο. Τα κτίσματα είναι τοποθετημένα περιμετρικά του περιβόλου, σύμφωνα με την τυπική δομή της μοναστηριακής αρχιτεκτονικής. Τα κελιά διατάσσονται στην νότια και νοτιοδυτική πλευρά σε δύο επίπεδα, ενώ παρεμβάλλεται ανάμεσά τους ο πύργος των Μπενιζέλων. Στο μέσο του περιβόλου και επάνω στον άξονα που ορίζεται από ανατολή – δύση και ενώνει τις δύο πύλες, βρίσκεται το Καθολικό του Συγκροτήματος.



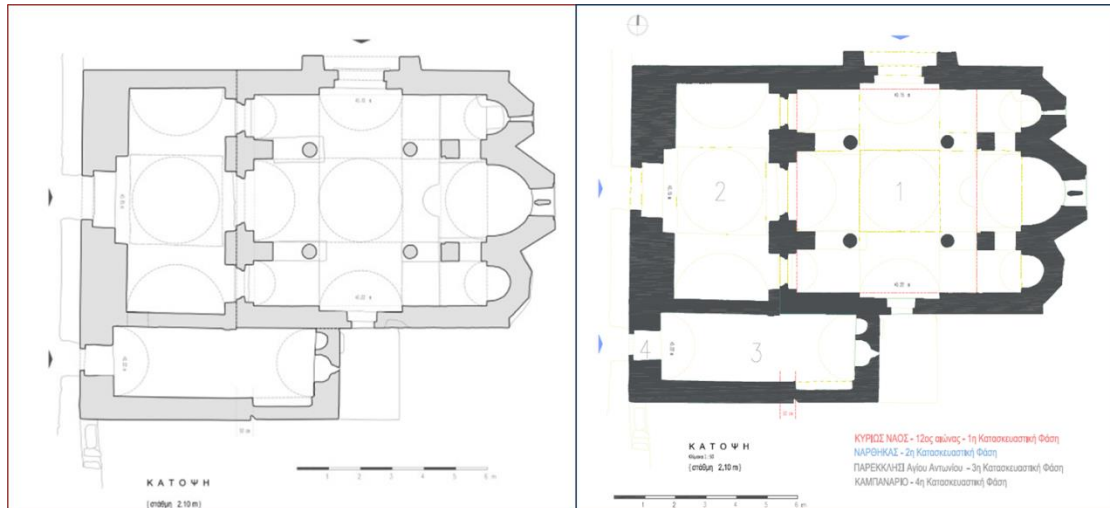
Εικόνα 12. Σκαρίφημα του Συγκροτήματος της Μονής Καισαριανής, έτους 1745

Το Καθολικό της Καισαριανής

Το Καθολικό της Καισαριανής, αποτελεί ένα ξεχωριστό, για την αρχιτεκτονική και καλλιτεχνική του σύνθεση, μεσοβυζαντινό αθηναϊκό μνημείο (Εικόνα 11). Ανοικοδομήθηκε σύμφωνα με τον συνήθη τύπο του σύνθετου τετρακίونيου σταυροειδούς εγγεγραμμένου με τρούλο ναού (Εικόνα 13), χωρίς νάρθηκα, στα τέλη του 11ου με αρχές του 12ου αιώνων. Συνολικά καταγράφονται τρεις καταγεγραμμένες προσθήκες (Εικόνα 13). Πρώτη προσθήκη αποτελεί ο τριμερής νάρθηκας, την μεταβυζαντινή περίοδο (17ο αι.), που όμως για τον ακριβή χρόνο κατασκευής του δεν υπάρχουν στοιχεία. Σε παραστάδα στην είσοδο υπάρχει η εγχάρακτη ενθύμηση του έτους 1680. Η προσθήκη του μονόχωρου καμαροσκέπαστου παρεκκλησίου του Αγίου Αντωνίου, στη νότια πλευρά του καθολικού, είναι μεταγενέστερη του νάρθηκα. Ωστόσο, ο ακριβής χρόνος ανοικοδόμησής του είναι άγνωστος. Τέλος το επίπεδο δώροφο κωδωνοστάσιο της πρόσοψης αποτελεί προσθήκη νεότερων χρόνων και χρονολογείται στον 19ο αι.¹⁹⁶. Το παλαιότερο σχέδιο που απεικονίζεται το καμπαναριού είναι στην αποτύπωση του αρχιτέκτονα I. Dell, το 1889. Στα σχέδια του Ρώσου περιηγητή Barskij το 1745, δεν απεικονίζεται, δεν υπάρχει βεβαιότητα ως προς την μη ύπαρξη, μιας και η νοτιοδυτική όψη δεν ήταν ορατή στα σχέδια του. Στα σχέδια απεικονίζεται ο νάρθηκας, προσκολλημένος στο δυτικό τείχος του καθολικού, το οποίο έχει σχεδιαστεί σε σχήμα σταυρού και όχι σύμφωνα με τον τύπο του. Τέλος, παρά τις πολλές παρεμβάσεις και

¹⁹⁶ Stygofski (1902).

μετά από μακροχρόνια ερείπωση, τα κτίσματα της μονής, συμπεριλαμβανόμενου και του καθολικού, αποκαταστάθηκαν με αρκετή πιστότητα σύμφωνα με παλιές απεικονίσεις (π.χ. Barksij, 1745).



Εικόνα 13. Κάτοψη Καθολικού Καισαριανής¹⁹⁷(αριστερά); Κάτοψη Καθολικού με τις ιστορικές κατασκευαστικές φάσεις (δεξιά)

Ιστορικά στοιχεία της Μονής και του Καθολικού

Η ύπαρξη αρχαίου ιερού στη θέση της μονής εικάζεται, λόγω των πολυάριθμων μη ταυτοποιημένων ανάγλυφων μαρμάρινων και λίθινων μελών που βρίσκονται διάσπαρτα στον περίβολο της μονής αλλά και στην ευρύτερη περιοχή¹⁹⁸, καθώς και στα ευρήματα των ανασκαφικών εργασιών που πραγματοποιήθηκαν τη δεκαετία του '50 από τον Χατζιδάκη και αποκάλυψαν τα θεμέλια προγενέστερου κτίσματος, στην ανατολική πλευρά του καθολικού. Οι κυριότερες ιστορικές φάσεις του Καθολικού, που καθόρισαν την παρούσα κατάσταση διατήρησής του δίνονται στη συνέχεια.

- ❖ 11^{ος} – 12^{ος} αι.: Ανοικοδόμηση του Καθολικού. Πρόκειται για την περίοδο που ακμάζει ο κοινοβιακός μοναχισμός και η μονή βρίσκεται σε άνθηση¹⁹⁹.
- ❖ 1458: Έντονη οικοδομική δραστηριότητα της μονής με εκτεταμένες ανοικοδομήσεις, την περίοδο του Μωάμεθ Β' του Πορθητή²⁰⁰.
- ❖ 1667: Η μονή ανθεί (και απαρτίζεται από πολύ μεγάλο αριθμό καλογέρων)²⁰¹.
- ❖ 1682: Πραγματοποιείται η τοιχογράφιση του νάρθηκα με δαπάνες της οικογένειας Μπενιζέλων.

¹⁹⁷ Μουρηγή, Γ. (2015). Σχεδιασμός και διαχείριση δεδομένων διαγνωστικής μελέτης στην κλίμακα του μνημείου του Καθολικού της Μονής Καισαριανής. (Συνεπιβλέποντα μέλη ΔΕΠ: Ομότ. Καθ. Ε. Κορρές, Καθ. Χ. Ιωαννίδης, Καθ. Α. Μοροπούλου). σελ. 23

¹⁹⁸ Ιερό της Δήμητρος, Τελεστήριο. Χατζιδάκης, 1950

¹⁹⁹ Μπούρας Χαράλαμπος, Βυζαντινή και Μεταβυζαντινή Αρχιτεκτονική στην Ελλάδα, σ. 87

²⁰⁰ Καμπούρογλου 1892, Ορλάνδος 1933, σ.160

²⁰¹ Πάλλης Γ. (2007). Τοπογραφία του αθηναϊκού πεδίου κατά την μεταβυζαντινή περίοδο: οικισμοί, οδικό δίκτυο και μνημεία (Διδακτορική διατριβή). Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Σχολή Φιλοσοφική. Τμήμα Ιστορίας και Αρχαιολογίας).

- ❖ 1745: Παλαιότερη γνωστή αποτύπωση του συγκροτήματος, συμπεριλαμβανομένου του Καθολικού. (Ο Ρώσος περιηγητής Barskij έκανε ένα λεπτομερές σχέδιο του συγκροτήματος, το οποίο αποτελεί και την παλαιότερη γνωστή αποτύπωση του μοναστηριακού συγκροτήματος στην οποία βασίστηκε η εκτεταμένη αναστήλωση του 1950).
- ❖ 1833: Το μοναστήρι, μετά από μια περίοδο ένδειας και παρακμής, διαλύεται μετά από σχετικό νόμο της Αντιβασιλείας, επομένως το Καθολικό δεν επιτελεί πλέον ως μέρος του μοναστηριού.
- ❖ 1921: Η Μονή κηρύσσεται αρχαιολογικός χώρος υπό την δικαιοδοσία της Αρχαιολογικής Εταιρείας¹⁹⁷ και σε αυτή συμπεριλαμβάνεται και το Καθολικό.
- ❖ 1993: Κήρυξη του Καθολικού ως μνημείο.

Παλαιότερες επεμβάσεις

Όπως έχει προαναφερθεί, το καθολικό της μονής Καισαριανής, έχει υποστεί διάφορες επεμβάσεις με το πέρασμα των αιώνων, με προσθήκες ή/ και συμπληρώσεις. Τεκμηριωμένες και επαρκώς καταγεγραμμένες επεμβάσεις είναι πολύ λίγες και αφορούν κυρίως σε αυτές που πραγματοποιήθηκαν ύστερα από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα και ιδιαίτερα μετά την κήρυξη του καθολικού ως μνημείο το έτος 1993. Οι κυριότερες πηγές για τις επεμβάσεις προέρχονται από τα έγγραφα που είναι καταχωρημένα στο αρχείο της Α' Εφορείας Βυζαντινών Αρχαιοτήτων καθώς και της Διεύθυνσης Αναστήλωσης Βυζαντινών Μνημείων και αφορούν κυρίως το Καθολικό.

Κατά τη διάρκεια της Τουρκοκρατίας, (αρχές του 18^{ου} αιώνα), πραγματοποιείται η τοιχογράφηση του κυρίως ναού. Μαζί με κάποιες ακόμα επεμβάσεις την περίοδο αυτή, οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι το καθολικό υπέστη μία συνολική ανακαίνιση στο εσωτερικό του. Στη συνέχεια, έως τα τέλη του 19^{ου} αιώνα, η δυτική όψη του νάρθηκα και του παρεκκλησίου είχε επιχρισθεί, όπως αποδεικνύεται από την αποτύπωση του Dell (1889). Από το 1917 έως το 1938 πραγματοποιούνται εργασίες στερέωσης στη μονή, η κατασκευή αντηρίδων καθώς και η επισκευή και συντήρηση των στεγών (1934)²⁰² του Νάρθηκα, του Αγίου Αντωνίου καθώς και άλλες εργασίες. Το 1949-50, πραγματοποιούνται κατεδαφίσεις και ανασκαφές στη μονή καθώς και η ανασκαφή και αποκάλυψη της ανατολικής όψης του Ναού και η διαμόρφωση της πλατείας με αναλημματικούς τοίχους²⁰³ (Εικόνα 14).

Τη δεκαετία του 1950, πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη επέμβαση στη μονή, που χρηματοδοτήθηκε από τη Φιλοδοσική Ένωση Αθηνών και έγινε ταυτόχρονα και αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος του μοναστηριακού συγκροτήματος. Οι επεμβάσεις αφορούσαν κυρίως την αποκατάσταση των κτισμάτων της μονής πέραν του Καθολικού και διαμόρφωση του αύλειου χώρου της. Στο Καθολικό, συγκεκριμένα, έγιναν εργασίες συντήρησης της στέγης (αντικατάσταση σπασμένων κεραμιδιών), συντήρηση των τοιχογραφιών (σταθεροποίηση των τοιχογραφιών, απομάκρυνση

²⁰² Αρχείο Α' ΕΒΑ

²⁰³ Μελέτη ΔΑΒΜ, 2003, ΥΠ.ΠΟ, "Μελέτη στερέωσης και αποκατάστασης πτερυγών κελιών και συγκροτήματος τράπεζας Ι. Μονής Καισαριανής Υμηττού", Ν. Χαρκιολάκης – Ν. Σαλέμη – Ιφ. Παπαδοπούλου, Αθήνα, Δεκέμβριος 2003.

νεότερων επεμβάσεων προς αποκάλυψη αυθεντικών χρωματισμών, αποκατάσταση επιλεγμένων στοιχείων των τοιχογραφιών²⁰⁴, απομάκρυνση προγενέστερων αυθαίρετων επεμβάσεων και επιχρισμάτων που κάλυπταν τις τοιχογραφίες) καθώς και εργασίες εφαρμογής επιχρίσματος όπου υπήρχαν κενά ή ανεπίχριστη τοιχοποιία. Επίσης πραγματοποιήθηκαν εργασίες στο τέμπλο του ναού (επανασύνθεση)²⁰⁴, στην κόγχη του Ιερού (ζώνη σκυροδέματος στους τοίχους του θεμελίου για προστασία από ανερχόμενη υγρασία) και στα ανοίγματα και πιο συγκεκριμένα στη βόρεια θύρα (όπου αποκαταστάθηκε το θύρωμα και το υπέρθυρο) και στο παράθυρο του ιερού (αντικαταστάθηκε το πλαίσιο). Τέλος έγινε η καθαίρεση ενός πρόχειρου στεγάστρου πάνω από το παράθυρο της νότιας όψης, που είχε τοποθετηθεί για να προστατεύσει τις τοιχογραφίες της τοιχοποιίας που αλλοιωνόταν με ραγδαίο ρυθμό καθώς και η αποτοίχιση αυτών με εν συνεχεία έκθεσή τους στη Τράπεζα της μονής.

Το 1965 και το 1980 πραγματοποιήθηκε καθαρισμός και στερέωση των τοιχογραφιών του Καθολικού και του Νάρθηκα αντίστοιχα. Το 1981, ο μεγάλος σεισμός προκάλεσε αρκετές και σοβαρές ζημιές σε αρκετά τμήματα του μοναστηριακού συγκροτήματος καθώς και του ναού. Πριν ολοκληρωθούν οι εργασίες αποκατάστασης έγινε νέος σεισμός, το 1999, με αποτέλεσμα να προχωρήσει του υπουργείο πολιτισμού σε σχέδιο ολοκληρωμένης προστασίας της μονής. Ειδικότερα στο ναό είχε διαπιστωθεί αποκόλληση εκ νέου της πρόχειρα κατασκευασμένης γωνίας του Αγ. Αντωνίου.

Το 2002 - 2003 πραγματοποιήθηκε συντήρηση των τοιχογραφιών του Αγ. Αντωνίου, ενώ έγινε στεγάνωση του νότιου και ανατολικού τοίχου του παρεκκλησίου όπου καθαιρέθηκαν αρμολογήματα, αντικαταστάθηκαν με συμβατά, σφραγίστηκε ο ανοιχτός αρμός επαφής μεταξύ νότιου και ανατολικού τοίχου του παρεκκλησίου και με την τοιχοποιία του καθολικού²⁰⁵ (Εικόνα 14). Το 2011 έγιναν αρμολογήματα, στερέωση τοιχογραφιών, ενέματα σε ρωγμές και αποκατάσταση ξύλινων στοιχείων στο παρεκκλήσι του Αγίου Αντωνίου.

²⁰⁴ Argyropoulou Kaity, Mount Hymettus and the Kaisariani Monastery, Athens 1962

²⁰⁵ Αρχείο Ά ΕΒΑ



Εικόνα 14: Χαρακτηριστικές εικόνες από όλες τις όψεις του ναού όπου διακρίνονται οι διαφορετικοί τρόποι δόμησης καθώς και οι διάφορες εργασίες συντήρησης που πραγματοποιήθηκαν στο μνημείο.

3.1.1.2 Γεωμετρική τεκμηρίωση του μνημείου

Η γεωμετρική τεκμηρίωση του μνημείου, αποσκοπεί πρωταρχικά στη δημιουργία ενός τεκμηρίου, ως που δηλώνει την υπάρχουσα κατάσταση του μνημείου, τη δεδομένη στιγμή στο χρόνο, όπου αποτυπώνονται όλα τα γεωμετρικά στοιχεία του. Επίσης με τη χρήση φωτογραμμετρικών τεχνικών, περιλαμβάνονται και πληροφορίες που με δεδομένα υψών των όψεων του μνημείου.

Όσον αφορά τη γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού είχε πραγματοποιηθεί από το εργαστήριο Φωτογραμμετρίας στο πλαίσιο του προγράμματος Seismo μέσω επίγειου τρισδιάστατου σαρωτή laser. Το τρισδιάστατο νέφος σημείων που είχε προκύψει από την εφαρμογή του επίγειου τρισδιάστατου σαρωτή laser, χρησιμοποιήθηκε σε δύο φάσεις. Αρχικά, το τρισδιάστατο νέφος σημείων χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή αρχιτεκτονικών σχεδίων, χαρακτηριστικών τομών (οριζόντιων και καθέτων) του Καθολικού. Επίσης το τρισδιάστατο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για να αντληθούν οι απαραίτητες πληροφορίες για την γεωαναφορά του τρισδιάστατου μοντέλου που προέκυψε από φωτογραμμετρικές τεχνικές, που αναλύονται στη συνέχεια, λόγω αδυναμίας χρήσης επί τόπου τοπογραφικών μετρήσεων.

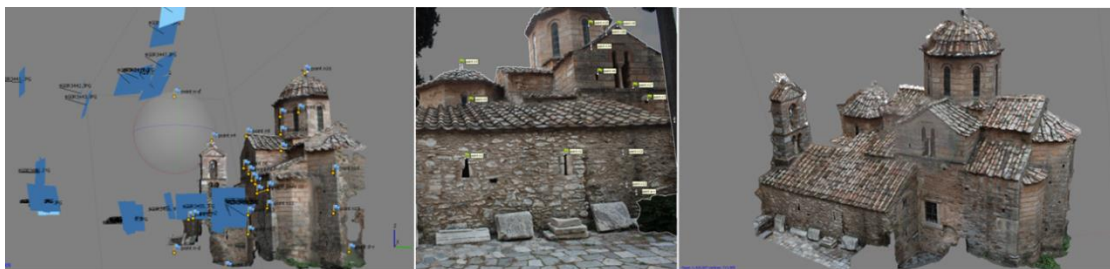
Το τρισδιάστατο μοντέλο του Καθολικού με υψή, υλοποιήθηκε μέσω των τεχνικών της πολυεικονικής μεθόδου (MVS) Structure-from-Motion (SfM). Συνδυάζει την εφαρμογή αλγορίθμων φωτογραμμετρικών και όραση υπολογιστών για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων, κάνοντας χρήση μεγάλου αριθμού εικόνων του μνημείου, οι οποίες έχουν ληφθεί από διαφορετικές γωνίες και διαφορετικές θέσεις.

Το παραγόμενο τρισδιάστατο μοντέλο του Καθολικού, με χρήση αυτής της μεθόδου, παρέχει πληροφορίες που αποδίδουν τις σύνθετες γεωμετρικές οντότητες του μνημείου

καθώς επίσης ραδιομετρικές πληροφορίες για την υφή του μνημείου, απαραίτητες για τη δημιουργία θεματικών χαρτών όψεων. Για τη γεωμετρική τεκμηρίωση με σαρωτή laser είχε χρησιμοποιηθεί ο επίγειος σαρωτής laser Leica scan Station2, ενώ για τη φωτογραμμετρική τεκμηρίωση χρησιμοποιήθηκε η ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Canon Eos 1Ds Mark III με αισθητήρα πλήρους καρέ (36 mm x 24 mm) και φακό σταθερής εστιακής απόστασης 24mm, καθώς επίσης η ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Nikon D70 με αισθητήρα (23.7 mm x 15.6 mm) με 6.1 megapixel ωφέλιμα εικονοστοιχεία και φακό σταθερής εστιακής απόστασης 18mm, εξοπλισμός του εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας.

Για την πολυεικονική φωτογραμμετρική μέθοδο, ελήφθησαν μία σειρά φωτογραφιών, για να αποτυπωθούν όλες οι απαραίτητες λεπτομέρειες του μνημείου (εξωτερικές όψεις πιο συγκεκριμένα). Σε κάποιες περιπτώσεις, η παρουσία εμποδίων, όπως η παρουσία τριών κορμών δέντρων που βρισκόταν σχεδόν σε επαφή με την δυτική όψη, ή η πολύ μικρή απόσταση του περιμετρικού τοίχου της Μονής με τη βόρεια όψη, δημιούργησε δυσκολίες κατά τη διαδικασία συλλογής των φωτογραφικών δεδομένων. Στην περίπτωση της βόρειας όψης ειδικά, η λήψη των φωτογραφιών, πραγματοποιήθηκε από μια απόσταση μικρότερη του 1.5 μέτρου, με αποτέλεσμα πληροφορίες από τα υψηλότερα σημεία της όψης αυτής να μην αποτυπωθούν. Συνολικά, 150 φωτογραφίες συλλέχθηκαν, από διάφορες θέσεις και γωνίες λήψης, για τη δημιουργία του τρισδιάστατου πολυεικονικού μοντέλου. Το παραγόμενο τρισδιάστατο νέφος σημείων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Photoscan Agisoft®.

Στη συνέχεια, ο συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων (αποτύπωση με σαρωτή laser και πολυεικονική μέθοδος) έδωσε ως προϊόντα γεωμετρικής τεκμηρίωσης, υψηλής ακρίβειας τρισδιάστατα νέφη σημείων μαζί με την πληροφορία της υφής για τις εξωτερικές όψεις των τοιχοποιιών του Ναού (Εικόνα 15). Τα αποτελέσματα από την γεωμετρική τεκμηρίωση με υφή στις όψεις του μνημείου, ήταν απαραίτητα για τη δημιουργία θεματικών χαρτών, όπου θα εμπεριέχονταν πληροφορίες σχετικά με τα δομικά υλικά του μνημείου καθώς και τις φθορές του.



Εικόνα 15: Στιγμιότυπα δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου με υφή μέσα από κατάλληλο λογισμικό της νότιας όψης καθολικού

3.1.1.3 Αρχιτεκτονική τεκμηρίωση του μνημείου

Βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με προγενέστερες αρχιτεκτονικές εργασίες πραγματοποιήθηκε, για να γίνει η συλλογή όλων των πληροφοριών σχετικά με την αρχιτεκτονική ανάλυση του μνημείου. Ταυτόχρονα με την αποτύπωση, και την λεπτομερή και διεξοδική έρευνα, επιπρόσθετη έρευνα πραγματοποιήθηκε σχετικά με προγενέστερα

καταγεγραμμένες αποκλίσεις και παραμορφώσεις, αναλύσεις σε σχέση με πιθανές αλλοιώσεις ως προς την κατάσταση διατήρησης, παλαιότερα αρχιτεκτονικά σχέδια όψεων, τομών και κατόψεων, απαραίτητα για τη διερεύνηση των κατασκευαστικών φάσεων καθώς και της μορφολογίας του μνημείου.

Στην Αρχιτεκτονική τεκμηρίωση, περιλαμβάνεται η διερεύνηση των κατασκευαστικών φάσεων του ναού. Έχει ήδη προηγηθεί από την ιστορική τεκμηρίωση, ότι ο ναός έχει τρεις κύριες κατασκευαστικές φάσεις και αυτές είναι εμφανείς, χωρίς ωστόσο να είναι τεκμηριωμένη η ακριβής χρονολόγησή τους. Το κωδωνοστάσιο θα μπορούσε να θεωρηθεί ως τέταρτη κατασκευαστική φάση, μιας και είναι μεταγενέστερη προσθήκη.

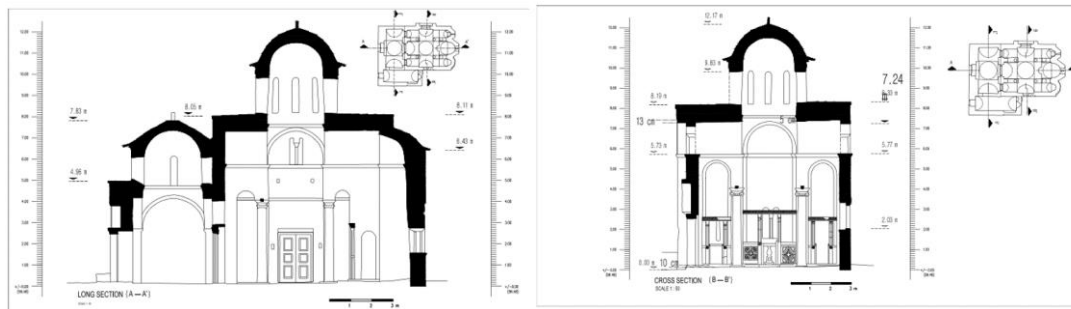
Το καθολικό θεωρείται τυπικό δείγμα "ελλαδικής σχολής" της μεσοβυζαντινής ναοδομίας και ακολουθεί τον τύπο του σύνθετου τετρακίονιου σταυροειδή εγγεγραμμένου ναού. Μορφολογικά χαρακτηρίζεται ως "αυστηρό"²⁰⁶. Ο κυρίως ναός, (1^η κατασκευαστική φάση) είναι κατασκευασμένος με πλινθοπερίκλειστη τοιχοποιία, από λαξευτούς λίθους, κυρίως στην ανατολική όψη, και ημιλάξευτους λίθους με ατελή πλινθοπερίκλειστη τοιχοποιία και σε κάποιες περιοχές αργολιθοδομή στις υπόλοιπες τοιχοποιίες του. Ο νάρθηκας που αποτελεί, επόμενη κατασκευαστική φάση είναι χτισμένος με αργολιθοδομή με μία εντοιχισμένη μαρμάρινη πλάκα στη δυτική όψη, βυζαντινής τέχνης. Στη νότια πλευρά του νάρθηκα εφάπτεται το παρεκκλήσι του Αγίου Αντωνίου, χτισμένο με αργολιθοδομή ενώ υπάρχουν διάσπαρτα εντοιχισμένα μαρμάρινα μέλη. Στο παρεκκλήσι, υπάρχει η τοιχογραφία της Θεοτόκου, (14^{ος} αιώνας), κάτι που καθιστά πιθανή την ύπαρξη κάποιου προγενέστερου κτίσματος στη θέση που είναι σήμερα το παρεκκλήσι και να επεκτεινόταν ανατολικά στο νότιο τείχος του κυρίως ναού. Τέλος, το καμπαναριό είναι χτισμένο από αργολιθοδομή, με εντοιχισμένο μαρμάρινο μέλος²⁰⁷.

Για την αρχιτεκτονική τεκμηρίωση του ναού, δεδομένα από το τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε από την γεωμετρική τεκμηρίωση ελήφθησαν. Πιο συγκεκριμένα, το τρισδιάστατο νέφος σημείων, εισήχθη στο λογισμικό 3D CAD Map 2015, της Autodesk, χωρίς να χάσει δεδομένα σχετικά με την ανάλυση και τη γεωαναφορά του. Για τη δημιουργία αρχιτεκτονικών τομών και για τη διαδικασία κατάτμησης του νέφους σημείων το λογισμικό διαχείρισης τρισδιάστατων νεφών Geomagic Studio® χρησιμοποιήθηκε.

Στο σύνολό της, η αρχιτεκτονική τεκμηρίωση του μνημείου αποτελεί ένα πολύ βασικό βήμα για την ολοκληρωμένη τεκμηρίωση του, καθώς περιλαμβάνει πληροφορίες που σχετίζονται με τα κατασκευαστικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά του, ενώ ταυτόχρονα ενσωματώνει πληροφορίες σχετικά με τις αναλογικές σχέσεις που προκύπτουν ανάλογα με το είδος του μνημείου και πιο συγκεκριμένα του ναού¹⁹⁷. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, επειδή είναι ουσιώδες να αποτυπώνονται πληροφορίες σε αρχιτεκτονικά σχέδια όπως προκύπτουν μετά από διεπιστημονική διερεύνηση και σύμπραξη διαφόρων προϊόντων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης, τα αρχιτεκτονικά σχέδια που παρουσιάζονται είναι αυτά που αποτυπώνουν τις τέσσερις όψεις του μνημείου.

²⁰⁶ Megaw A. H. S. 1910-2006, The chronology of some Middle Byzantine churches, London : British School at Annual of the British School at Athens vol. 32 p. 90-130, Athens 1934 p.32

²⁰⁷ Stygofski (1902)



Εικόνα 16: Προϊόντα Αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης²¹²¹⁹⁷

3.1.1.4 Διαγνωστική μελέτη δομικών υλικών και διάγνωσης της φθοράς

Τα δεδομένα για τη μελέτη καθώς και τα αποτελέσματα της Διαγνωστικής Μελέτης, πραγματοποιήθηκαν από το εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών. Στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος SEISMO: Αντισεισμική Προστασία Μνημείων και Ιστορικών Κατασκευών, πραγματοποιήθηκε εφαρμογή μη καταστρεπτικών τεχνικών για την αποτίμηση των δομικών υλικών και της φθοράς που παρουσιάζουν. Πιο συγκεκριμένα, για την καταγραφή και ανάλυση της τοιχοποιίας, οι μη καταστρεπτικές και μη επεμβατικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η Μικροσκοπία Οπτικών Ινών, η Θερμογραφία Υπερύθρου και το Γεωραντάρ, σε επιλεγμένες περιοχές στην εξωτερική και εσωτερική τοιχοποιία του Καθολικού.

Στη συγκεκριμένη εργασία το μικροσκόπιο οπτικών ινών I-score –Moritex εφαρμόστηκε σε διάφορες μεγεθύνσεις ((x30, x50 and x120) σε επιλεγμένες περιοχές. Η θερμοκάμερα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η θερμογραφική συσκευή ThermoCAM B200 της Flir Systems, με ανιχνευτή ευαίσθητο σε μήκος κύματος 7,5 – 13 μm και φακό FOL18. Για τις μετρήσεις με γεωραντάρ, χρησιμοποιήθηκε το σύστημα γεωραντάρ (GPR) MALA Geoscience ProEx, με κεραία συχνότητας 1,6 GHz. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με το λογισμικό επεξεργασίας δεδομένων MALA Geoscience Rad Explorer v.1.41. Επίσης, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, καταγράφηκαν και οι περιβαλλοντικές συνθήκες, υγρασίας και θερμοκρασίας.

Οι τεχνικές αυτές εφαρμόστηκαν για την εκτίμηση της μορφολογίας των δομικών λίθων και φθορών, για την εκτίμηση της επιφανειακής θερμοκρασιακής διαφοροποίησης στο υπέρυθρο φάσμα στις επιλεγμένες περιοχές και επίσης για την αποτίμηση του τρόπου δόμησης των τοιχοποιιών καθώς και τον εντοπισμό πιθανής ασυνέχειας στη δομή της τοιχοποιίας. Επίσης, μπορεί να γίνει αποτίμηση παλαιότερων επεμβάσεων συντήρησης, και έλεγχος ασυμβατότητας μεταξύ των δομικών υλικών. Ακόμη, έγινε εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής με τη μέθοδο της κρουσιμετρίας (Schmidt hammer test)²⁰⁸.

²⁰⁸ Moropoulou A., Apostolopoulou, P. Moundoulas, M. Karoglou, E. Delegou, K. Lampropoulos, M. Gritsopoulou, A. Bakolas.: The combination of NDTs for the diagnostic study of historical buildings: The case study of Kaisariani Monastery. In COMPDYN 2015 5th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Crete Island, pp. 2321-2336. Greece (2015).

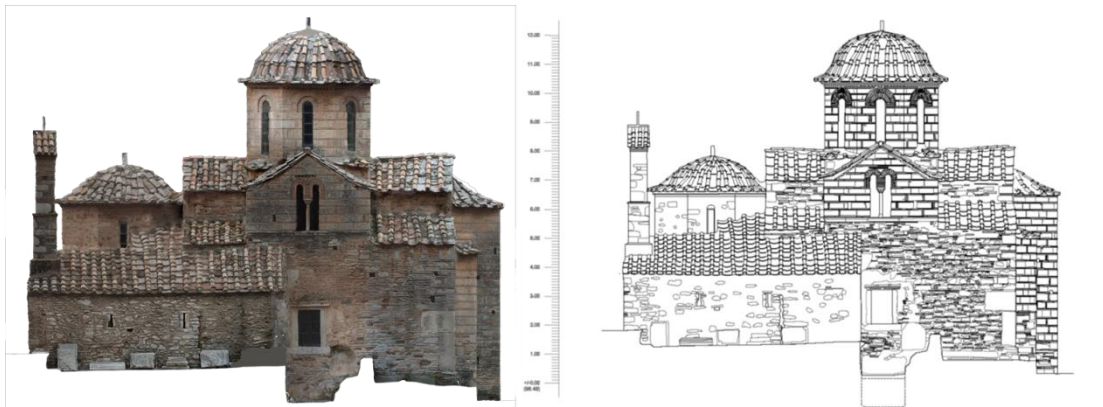
3.1.2 Αποτελέσματα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης - Προϊόντα

Η διαχείριση των δεδομένων που προέκυψαν από τη διεπιστημονική τεκμηρίωση, μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από τη χρήση Συστημάτων Χωρικής Απεικόνισης ή CAD (computer aided design). Η δισδιάστατη αυτή πλατφόρμα συνήθως αποτελεί τη βάση για την εξαγωγή προϊόντων γεωμετρικής τεκμηρίωσης και αρχιτεκτονικής (χάρτες όψεων κατόψεων, τομών). Η διαχείριση δεδομένων όπως τα αποτελέσματα του μη καταστροφικού ελέγχου καθώς και η ανάπτυξη θεματικών χαρτών δεδομένων που έχουν προκύψει από το χαρακτηρισμό των δομικών υλικών και των φθορών, παρουσιάζεται σε αυτή την ενότητα.

3.1.2.1 Δεδομένα Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης

Η ανάπτυξη των ορθοφωτογραφιών για κάθε όψη του ναού με μέγεθος εικονοστοιχείου 2mm ήταν προαπαιτούμενο για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών και τη διαχείριση των δεδομένων. Αρχικά, για κάθε όψη, οι επεξεργασίες των μετρήσεων έγινε ξεχωριστά. Πραγματοποιήθηκε ο ταυτόχρονος προσδιορισμός εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων κάθε όψης και η δημιουργία αραιού νέφους σημείων με εφαρμογή της μεθόδου Structure from Motion (SfM). Οι θέσεις των εικόνων και η γεωμετρία κάθε όψης του μνημείου υπολογίστηκαν μέσω αυτόματου εντοπισμού κοινών χαρακτηριστικών σημείων (σημείων σύνδεσης) αλληλεπικαλυπτόμενων εικόνων (η εξαγωγή των χαρακτηριστικών σημείων έγινε μέσω αλγορίθμου, παραλλαγμένου του αλγορίθμου SURF που αποτελεί εξέλιξη του αλγορίθμου SHIFT). Προϋπόθεση είναι η λήψη εικόνων με μεγάλη επικάλυψη. Στη συνέχεια, έγινε η πύκνωση του νέφους των σημείων που έχουν εξαχθεί, μέσα από την εφαρμογή αλγορίθμων όρασης υπολογιστών, για να προκύψει ένα ιδιαίτερα πυκνό νέφος σημείων, που καλύπτει όλα τα τμήματα κάθε όψης. Κατόπιν, μπορούσε να υλοποιηθεί η παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου κάθε όψης του μνημείου και να εμπλουτιστεί με υφή.

Όλες οι όψεις γεωαναφέρθηκαν ως προς ενιαίο σύστημα αναφοράς και δημιουργήθηκε το ενιαίο τρισδιάστατο μοντέλο του καθολικού (εξωτερική όψη) με υφή. Στη συνέχεια, υλοποιήθηκαν οι ορθοφωτογραφίες για κάθε όψη του ναού. Η ακρίβεια των παραγόμενων προϊόντων κυμαίνονταν από 1-1,7 cm¹⁹⁷. Στο σύνολο, τέσσερις ορθοφωτογραφίες παράχθηκαν και αποτέλεσαν τα εικονιστικά σχέδια των όψεων για την εν συνεχεία ψηφιοποίηση μετά την εισαγωγή τους στο σύστημα CAD, για την εξαγωγή των γραμμικών σχεδίων των όψεων (Εικόνα 17).



Εικόνα 17: Ορθοφωτογραφία νότιας όψης (εικονιστικό προϊόν); Γραμμικό σχέδιο δυτικής όψης¹⁹⁷

3.1.2.2 Δεδομένα Αρχιτεκτονικής Τεκμηρίωσης

Από τα προϊόντα της αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης, πληροφορίες σε σχέση με τις διαστάσεις του ναού έχουν αποκτηθεί. Από τα παραγόμενα σχέδια που υλοποιήθηκαν, μετά την εξαγωγή των απαιτούμενων πληροφοριών από το τρισδιάστατο νέφος σημείων του μνημείου, υπό μορφή τομών πάχους $\approx 2\text{cm}$ (για κλίμακα απόδοσης των σχεδίων 1:50), εισαγωγή εν συνεχεία μέσα σε δισδιάστατο περιβάλλον CAD και ψηφιοποίηση, προκύπτει ότι οι εξωτερικές διαστάσεις του Κυρίου Ναού είναι $9,47 \times 8,12 \text{ m}$, και οι διαστάσεις του βασικού ορθογωνίου της κάτοψης $6,65 \times 5,88 \text{ m}$ ¹⁹⁷. Ο ναός επεκτείνεται δυτικά κατά $5,43 \text{ m}$, όπου έχει προστεθεί ο Νάρθηκας, και προς το νότο κατά $2,92 \text{ m}$ όπου έχει προστεθεί το παρεκκλήσι του Αγίου Αντωνίου. Το πάχος της τοιχοποιίας κάθε όψης υπολογίζεται. Στη νότια πλευρά, το πάχος είναι 70 cm , στη βόρεια 75cm και 80 στις κόγχες της πρόθεσης και του ιερού και στη δυτική πλευρά το πάχος δεν ξεπερνά τα 60cm . Στην περίπτωση του νάρθηκα, το πάχος των τοιχοποιιών του δεν είναι ίδιο, με διαφοροποιήσεις που κυμαίνονται από 30 cm στην ανατολική πλευρά έως και $1,46 \text{ m}$ στη δυτική. Αντίστοιχα, στο παρεκκλήσι του Αγίου Αντωνίου, υπάρχει διαφοροποίηση στο πάχος των τοιχοποιιών, 70 cm και $1,00 \text{ m}$ στη δυτική. Ακόμη, η στάθμη του εδάφους στο ναό, διαφοροποιείται. Νότια του παρεκκλησίου είναι κατά $1,34\text{m}$ ψηλότερα από τη βορινή ($1,10 \text{ m}$ από το έδαφος του παρεκκλησίου)^{209,197} και στη βόρεια πλευρά του νάρθηκα, το έδαφος εξωτερικά είναι υπερυψωμένο κατά 66 cm . Στο σύνολο παράχθηκαν τρεις κατακόρυφες τομές (δύο άξονες συμμετρίας του κυρίου ναού και ένα επίπεδο τομής του νάρθηκα και του παρεκκλησίου) και μία οριζόντια, στη στάθμη $+2.10 \text{ m}$.

Τέλος, μέσα από τη γεωμετρική τεκμηρίωση και τη δημιουργία ορθοφωτογραφιών από τις φωτογραμμετρικές τεχνικές, υλοποιείται ένα υπόβαθρο, πάνω στο οποίο μπορούν να αναπτυχθούν θεματικοί χάρτες σε δισδιάστατο περιβάλλον που να περιλαμβάνουν όλα τα αποτελέσματα της διεπιστημονικής τεκμηρίωσης που προηγήθηκε. Οι θεματικοί χάρτες που αναπτύχθηκαν ήταν θεματικοί χάρτες δομικών υλικών, θεματικοί χάρτες

²⁰⁹ Η στάθμη αυτή καθιερώθηκε τη δεκαετία του '50, όταν σε επέμβαση αποκατάστασης της μονής, πραγματοποιήθηκαν αποχωματώσεις και διαμορφώθηκε ο πλακόστρωτος διάδρομος της μονής. – Argyropoulos 1962

φθορών, θεματικοί χάρτες κατασκευαστικών φάσεων και προγενέστερων επεμβάσεων για όλες τις όψεις του μνημείου.

3.1.2.3 Αποτελέσματα χαρακτηρισμού δομικών υλικών και διάγνωσης της φθοράς

Στο καθολικό συναντώνται αρκετά είδη δομικών υλικών. Το βασικό δομικό υλικό του κυρίως ναού που συναντάται είναι ο πωρόλιθος, με τον κογχυλιάτη λίθο να υπερτερεί. Ακόμη παρατηρούνται συμπαγείς ασβεστόλιθοι, ερυθροί, πράσινοι, γκρίζοι πωρόλιθοι και σχιστόλιθοι διαφόρων διαστάσεων που χρησιμοποιούνται ως γέμισμα στην τοιχοποιία. Οι οπτόπλινθοι του κυρίως ναού διακρίνονται σε κίτρινους και κόκκινους ενώ διατηρείται το ιστορικό κονίαμα σε μεγάλο βαθμό εκτός από τις περιοχές που έχουν πραγματοποιηθεί επεμβάσεις αποκατάστασης, όπου στην αποκατάσταση του 50' παρατηρείται κονίαμα μπεζ χρώματος, ενώ σε κάποιες ατεκμηρίωτες επεμβάσεις, είναι τσιμεντιτικής σύστασης. Επίσης, επιχρίσματα προηγούμενων επεμβάσεων παρατηρούνται στην βόρεια και στη νότια όψη, με τα τελευταία να αποτελούσαν πιθανά υπόστρωμα τοιχογράφησης. Στο Νάρθηκα, οι λίθοι είναι κυρίως γκρίζοι συμπαγείς ασβεστόλιθοι, ελάχιστοι πωρόλιθοι, ενώ παρατηρούνται και αρκετοί σχιστόλιθοι. Στο νάρθηκα εντοπίζονται διάφορα κονιάματα συμπλήρωσης εκτός από το αυθεντικό. Στη βόρεια διακρίνονται τέσσερις στρώσεις κονιαμάτων ενώ στη δυτική απαντώνται ασύμβατα κονιάματα συμπλήρωσης. Η δυτική όψη επίσης είναι εξολοκλήρου επιχρισμένη μετά από πρόσφατη επέμβαση, με χρωματικές στρώσεις, που έχουν όμως αποκολληθεί. Στο παρεκκλήσι του Αγίου Αντωνίου, εντοπίζονται κυρίως γκρίζοι συμπαγείς ασβεστόλιθοι, αρκετοί σχιστόλιθοι και ελάχιστοι πωρόλιθοι. Στο παρεκκλήσι είναι εμφανές κονίαμα αρμολογήματος, ενώ σε πολύ λίγα σημεία διακρίνεται το αυθεντικό. Οι κυριότεροι τύποι φθοράς που εντοπίζονται είναι η βιολογική (βρύα, λειχήνες, μαύρη βιοδιάβρωση), η απώλεια δομικού υλικού, που προέρχεται από φυσικούς και μηχανικούς παράγοντες, οι επικαθήσεις, οι ασύμβατες επεμβάσεις καθώς και οι μηχανικές φθορές (ρωγμές, ρηγματώσεις).

3.1.3. Διαχείριση δεδομένων σε δισδιάστατο περιβάλλον ΧΣΠ (CAD)

Η θέση και ο προσανατολισμός κάθε τμήματος του μνημείου αποτελούν πολύ σημαντικά δεδομένα που σχετίζονται με την κατάσταση διατήρησης του μνημείου, συναρτήσε των δομικών υλικών που το απαρτίζουν. Ακόμη, η κατασκευαστικές – ιστορικές φάσεις του μνημείου διαφοροποιούνται ως προς τα δομικά υλικά και τους παρουσιαζόμενους τύπους φθοράς, καθώς και οι προγενέστερες επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν στο μνημείο. Εκτός από τη γεινίαση των διαφόρων δομικών υλικών με διαφορετικούς παράγοντες φθοράς, η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών είναι ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που πρέπει να καταγράφεται και να αποτυπώνεται σε ένα χάρτη.

Στην περίπτωση του Καθολικού της Καισαριανής παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στους λίθους της τοιχοποιίας της πρώτης κατασκευαστικής φάσης, γεγονός που

οφείλεται στον διαφορετικό βαθμό και τύπο φθοράς, λόγω διαφορετικής έκθεσης των περιοχών στους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Διαφοροποιούνται και οι τύποι δομικών υλικών ανάλογα με την περίοδο κατασκευής των τοιχοποιιών, κάτι που τεκμηριώνεται από τη χρήση θερμογραφίας υπερύθρου και μικροσκοπίας οπτικών ινών. Επίσης η διαχείριση των δεδομένων αυτών μέσω δισδιάστατων ή τρισδιάστατων συστημάτων συνεισφέρει καταλυτικά στην εκτίμηση τόσο στο επίπεδο της κατασκευής ανά όψη καθώς επίσης και συνολικά προσφέροντας μία ολοκληρωμένη εποπτεία του δομήματος.

Διαχείριση Ιστορικών δεδομένων

Η διαχείριση των δεδομένων ιστορικής τεκμηρίωσης μέσα από τη δημιουργία θεματικών χαρτών, οδήγησε στην ανάπτυξη θεματικών χαρτών των κατασκευαστικών φάσεων του μνημείου. Η διαχείριση ακόμη των καταγεγραμμένων επεμβάσεων συντήρησης στο πέρασμα των χρόνων για το Ναό, αποτυπώθηκαν μέσα από τη δημιουργία θεματικών χαρτών στο δισδιάστατο περιβάλλον. Μέσα από την ανάπτυξη των θεματικών αυτών χαρτών, εξάγονται αρκετά συμπεράσματα σε σχέση με τις περιοχές που πραγματοποιήθηκαν οι περισσότερες επεμβάσεις.

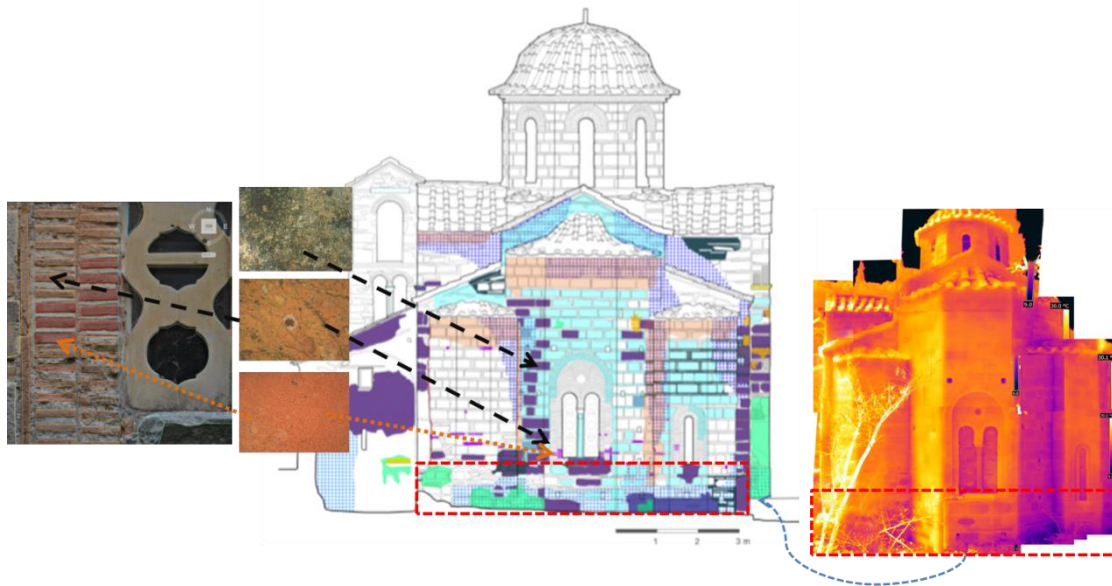
Πιο συγκεκριμένα, ο κυρίως ναός, διατηρεί τα αυθεντικά δομικά υλικά εκτός από πολύ συγκεκριμένες περιοχές γύρω από την είσοδο της βόρειας όψης και των δύο παραθύρων της ανατολικής όψης, όπου έλαβαν χώρα εργασίες συντήρησης μη καταγεγραμμένες. Αντίθετα, στη δυτική και στη νότια όψη, παλαιότερες επεμβάσεις συντήρησης καταγράφονται στους θεματικούς χάρτες, όπου ειδικά στη δυτική όψη, οι επεμβάσεις συντήρησης, καλύπτουν σχεδόν ολόκληρη την επιφάνεια της τοιχοποιίας με εμφανή χρήση επιχρίσματος αποκατάστασης (Εικόνα 18).



Εικόνα 18: Θεματικός Χάρτης όψεων με τις Ιστορικές Φάσεις και τις καταγεγραμμένες επεμβάσεις του μνημείου¹⁹⁷

Ανατολική όψη

Στο καθολικό της Καισαριανής, η κατάσταση διατήρησης της ανατολικής όψης παρουσιάζει διάφορους τύπους παθολογίας σε μικρό εύρος ενώ επικεντρώνεται κυρίως στο κάτω μέρος της τοιχοποιίας που είναι εμφανής η ανερχόμενη υγρασία. Αποτελεί την όψη όπου υπερτερεί το πλινθοπερίκλειστο σύστημα δόμησης. Διαφοροποιήσεις που ανιχνεύονται μέσα από τη χρήση μη καταστροφικών τεχνικών και πιο συγκεκριμένα τη θερμογραφία υπερύθρου²¹¹, καταγράφουν μη τεκμηριωμένη επέμβαση αποκατάστασης στους οπτόπλινθους του εξωτερικού τόξου του παραθύρου του κεντρικού τυμπάνου της όψης, καθώς επίσης παρατηρούνται οπτόπλινθοι με έντονο κόκκινο χρώμα, νεότερης επέμβασης αποκατάστασης (Εικόνα 19).



Εικόνα 19: Διαχείριση δεδομένων δομικών υλικών στο θεματικό χάρτη υλικών της ανατολικής όψης

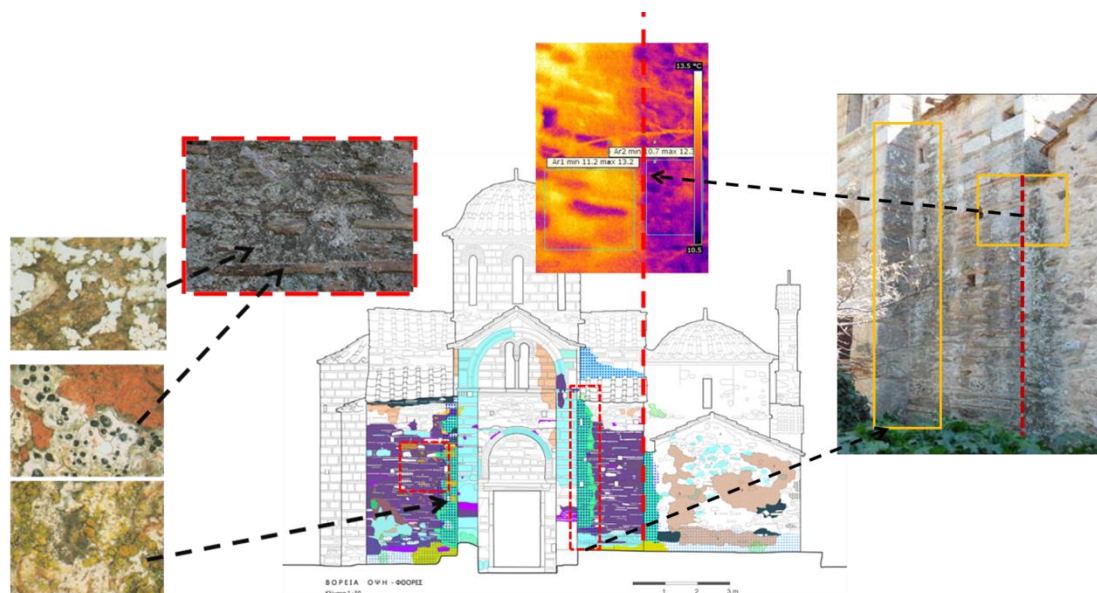
Βόρεια όψη

Μέσα από μακροσκοπικό έλεγχο, παρατηρείται ότι υπάρχει διαφορετική δομή της τοιχοποιίας στο καθολικό από την τοιχοποιία του νάρθηκα, γεγονός που επιβεβαιώνει και το διαφορετικό χρόνο δόμησης, που ανάγεται στην περίοδο της Τουρκοκρατίας.

Στην βόρεια όψη του καθολικού, η στάθμη του εδάφους εξωτερικά βρίσκεται περίπου 55 cm πάνω από τη στάθμη του πατώματος του εσωτερικού του καθολικού, γεγονός που ευνοεί την τριχοειδή αναρρίχηση της υγρασίας από το έδαφος. Η ανερχόμενη υγρασία, σε συνδυασμό με τον προσανατολισμό και την σκίαση λόγω γειτνίασης με τον υψηλό περίβολο της μονής, ευνοούν την ανάπτυξη βιοδιάβρωσης, η οποία στις χαμηλότερες ζώνες είναι εντονότατη και παρατηρείται ακόμα και μακροσκοπικά, με την παρουσία διαφόρων βιολογικών παραγόντων όπως βρύα και λειχήνες που συμβάλουν στην συγκέντρωση υψηλού ποσοστού υγρασίας και επίσης στην εμφάνιση χαμηλών θερμοκρασιών. Στις θέσεις της βόρειας τοιχοποιίας όπου υπάρχει απορροή των ομβρίων υδάτων από την στέγη, παρατηρείται έντονη ανάπτυξη βιοδιάβρωσης και μακροσκοπικά οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν πράσινο χρωματισμό. Ειδικότερα στην βόρεια όψη, η μεγαλύτερη συγκέντρωση επιφανειακών φθορών συγκεντρώνεται στον τοίχο του καθολικού, όπου παρουσιάζονται περιοχές κατερχόμενης υγρασίας αλλά και ανερχόμενης υγρασίας, στην περιοχή που έρχεται σε επαφή με το έδαφος²¹⁰. Η φθορά στην περιοχή αυτή είναι αρκετά έντονη, γεγονός που αποτυπώνεται και στα αποτελέσματα από τις μη καταστροφικές τεχνικές όπως είναι η μικροσκοπία οπτικών ινών, η θερμογραφία υπερύθρου καθώς και το γεωραντάρ (Εικόνα 20).

Επίσης, στη βόρεια όψη είναι εμφανής και η σύνδεση του καθολικού με το νάρθηκα, που αποτελεί μεταγενέστερη προσθήκη. Μεταξύ των δύο τοιχοποιιών παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις. Διακρίνεται και σημαντική θερμοκρασιακή ανισοτροπία μεταξύ του τοίχου του καθολικού και του νάρθηκα (Εικόνα 20). Αυτό οφείλεται στην χρήση

διαφορετικών δομικών υλικών κατά την κατασκευή, στην διαφοροποίηση του τρόπου δόμησης μεταξύ των δυο τοιχοποιιών, καθώς και στα έντονα προβλήματα υγρασίας που αντιμετωπίζει η τοιχοποιία του νάρθηκα λόγω κατερχόμενης υγρασίας από την στέγη. Ακριβώς στην θέση αυτή της τοιχοποιίας έχει διαμορφωθεί λούκι για την απορροή των ομβρίων υδάτων από την στέγη. Η εμφανής μακροσκοπικά ανάπτυξη έντονης βιοδιάβρωσης υποδεικνύει αυξημένη συγκέντρωση υγρασίας στη ζώνη απορροής.

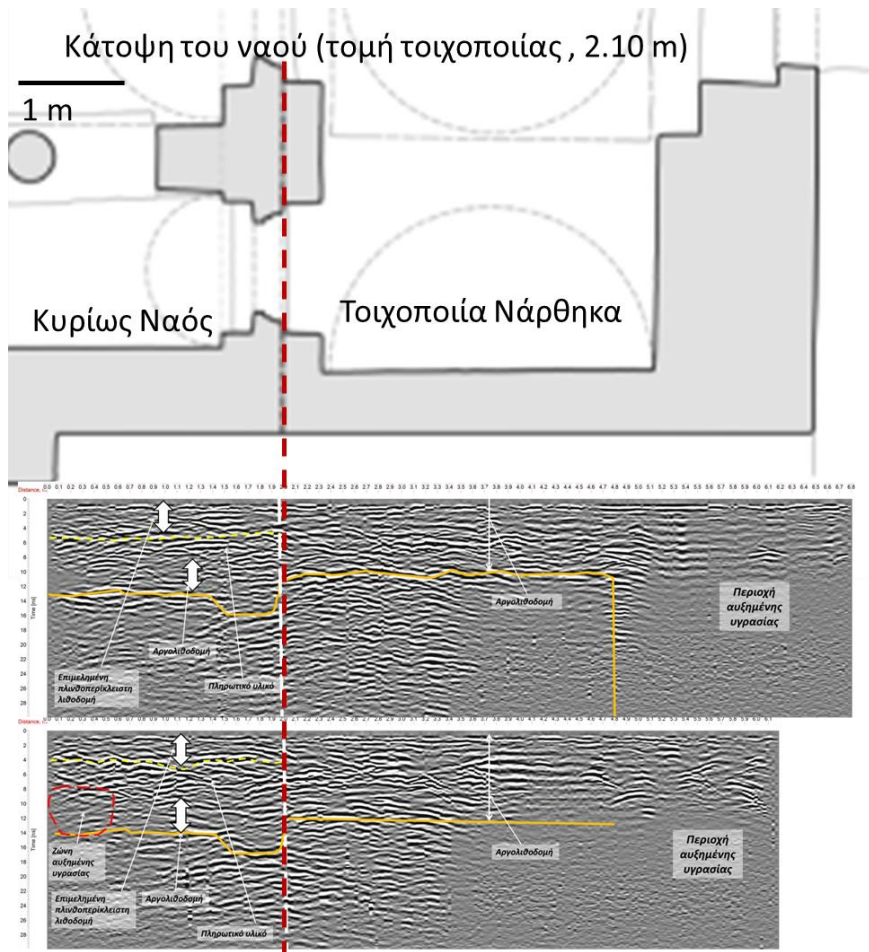


Εικόνα 20: Διαχείριση αποτελεσμάτων Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών και Θερμογραφίας Υπερύθρου στο θεματικό χάρτη φθορών της βόρειας όψης

Όσον αφορά στη διάγνωση και αναγνώριση της μορφής της τοιχοποιίας, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το γεωραντάρ καθιστούν τη μέθοδο αυτή σημαντικότερη, και συμπληρώνει μέσω του μη καταστρεπτικού ελέγχου, αποτελέσματα και δεδομένα που έχουν προκύψει από την ιστορική καθώς και την αρχιτεκτονική τεκμηρίωση του μνημείου. Πιο συγκεκριμένα, μέσα από τα αποτελέσματα του γεωραντάρ μπορεί να γίνει επικύρωση των αποτελεσμάτων της γεωμετρικής τεκμηρίωσης (πάχος τοιχοποιίας), καθώς και αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης (τρόπος δόμησης κλπ).

Στη βόρεια όψη, τα αποτελέσματα του γεωραντάρ, δείχνουν με σαφήνεια τη διαφοροποίηση του τρόπου δόμησης στο καθολικό και στο νάρθηκα. Παρατηρείται η ύπαρξη ανερχόμενης καθώς και συσσωρευόμενης υγρασίας στη βορειοδυτική όψη, που τεκμηριώνεται και από μακροσκοπικές παρατηρήσεις καθώς και από τα αποτελέσματα των υπολοίπων τεχνικών μη καταστρεφτικού ελέγχου. Στην περιοχή του βόρειου τοίχου του νάρθηκα, είναι εμφανής η παρουσία πληθώρας κονιαμάτων συμπλήρωσης, τα οποία, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα του γεωραντάρ καθώς και της θερμογραφίας υπερύθρου, δεν είναι συμβατά με τα αυθεντικά υλικά και προκαλούν προβλήματα παραμένουσας υγρασία στο βάθος της τοιχοποιίας. Ιδιαίτερα στη μεσαία στρώση της τοιχοποιίας παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση υγρασίας, από τα

αποτελέσματα του γεωραντάρ²¹⁰. Η υψηλή αυτή συγκέντρωση υγρασίας σε συνδυασμό με την αύξηση θερμοκρασίας, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της θερμογραφίας υπερύθρου, στο δυτικό άκρο της τοιχοποιίας, οφείλεται σε κονίαμα συμπλήρωσης που έχει εφαρμοσθεί τοπικά στην συγκεκριμένη περιοχή και το οποίο εμποδίζει τη σωστή διαπνοή της τοιχοποιίας (Εικόνα 21).



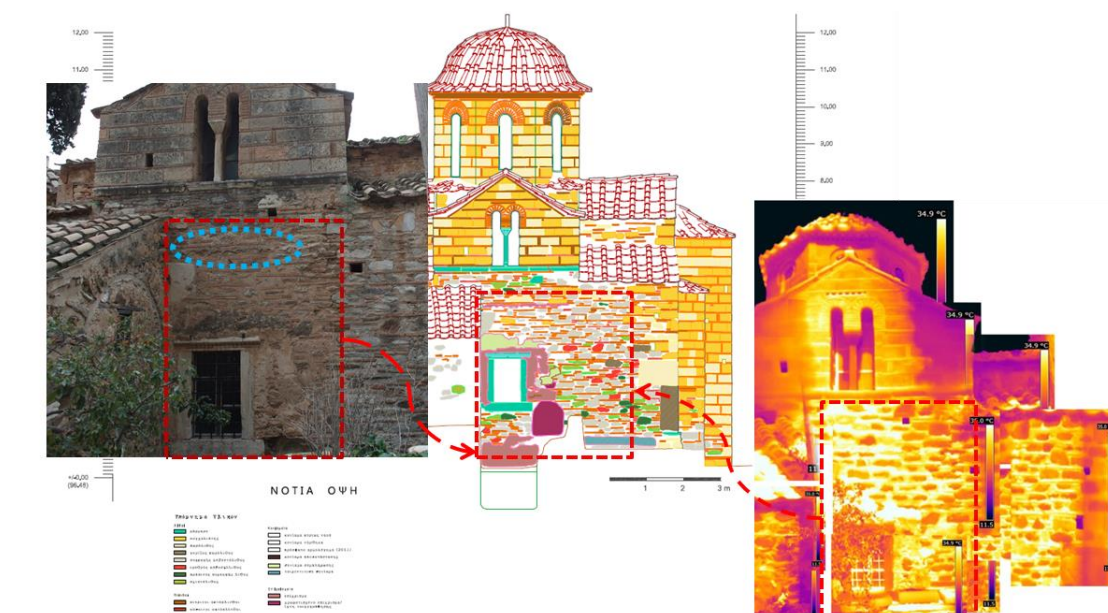
Εικόνα 21: Αποτελέσματα διασκόπησης με γεωραντάρ στην τοιχοποιία του Νάρθηκα, όπου παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση υγρασίας

Νότια Όψη

Στην νότια όψη, στην τοιχοποιία που αποτελεί τμήμα του κυρίως ναού, παρατηρείται επίσης το πλινθοπερίκλειστο σύστημα δομής με κύριο δομικό υλικό κογχυλιάτες λίθους, στο άνω μέρος της νότιας κεραίας, ενώ χαμηλότερα, στην τοιχοποιία έχει εφαρμοσθεί απλούστερη μορφή πλινθοπερίκλειστης τοιχοποιίας. Επίσης καταγράφονται δύο

²¹⁰ Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, ΕΜΠ, Ερευνητικό πρόγραμμα SEISMO: Αντισεισμική Προστασία Μνημείων και Ιστορικών Κατασκευών, "Διαγνωστική επί τόπου έρευνα των υλικών και χαρακτηρισμός των δομικών υλικών στο εργαστήριο: Χαρτογράφηση υλικών και φθοράς και μηχανικών αντοχών", επιμέλεια: Μοροπούλου Α., Μπακόλας Α., Μούνδουλας Π., Αποστολοπούλου Μ., Ιούλιος 2014

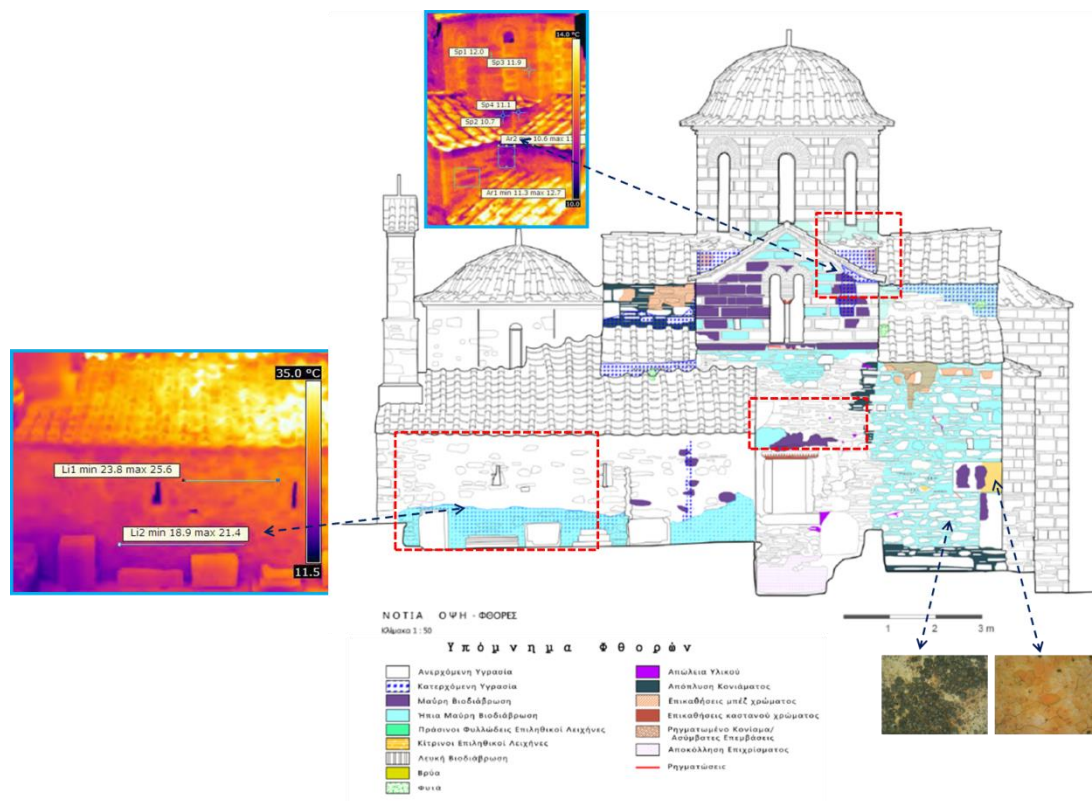
πωρόλιθοι στη νοτιοανατολική γωνία του ναού. Το παρεκκλήσιο του Αγ. Αντωνίου εφάπτεται στη νότια πλευρά του καθολικού και αποτελεί προσθήκη σε μεταγενέστερη φάση από το νάρθηκα. Από τα αποτελέσματα, προκύπτει ότι πιθανά, παλαιότερα προεκτεινόταν προς τα ανατολικά κατά 2,60 m περίπου και η περιοχή αυτή να αποτελούσε την πρόθεση του παρεκκλησίου, ενώ κατόπιν μετατοπίστηκε ο ανατολικός τοίχος στη θέση που βρίσκεται σήμερα. Στη περιοχή αυτή, παρατηρείται πορτοκαλί χρωματισμός ο οποίος οφείλεται στο επίχρισμα με το οποίο ήταν καλυμμένη κατά την φάση που αποτελούσε εσωτερικό τοίχο. Επίσης, στην ίδια περιοχή παρατηρούνται υπολείμματα από κεραμίδια της παλαιότερης στέγης του παρεκκλησίου (Εικόνα 22).



Εικόνα 22: Εξαγωγή συμπερασμάτων από τη διαχείριση δεδομένων στο θεματικό χάρτη υλικών της νότια όψης, σε δισδιάστατο περιβάλλον

Στην περιοχή παρατηρείται διαφοροποίηση έντονη, κυρίως χρωματική, που όμως δεν συνοδεύεται από ρωγμή ή διαφοροποίηση της δομής της τοιχοποιίας. Μέσα από τα αποτελέσματα των μη καταστρεπτικών τεχνικών προκύπτει ότι η διαφοροποίηση που εμφανίζεται οφείλεται μόνο στο τελικό αρμολόγημα και είναι καθαρά επιφανειακή μέχρι βάθους 10 cm. Σε μεγαλύτερο των 10 cm βάθος τοιχοποιίας, η δόμηση εμφανίζεται ως συνεχής σε όλο της το μήκος της τοιχοποιίας (Εικόνα 22)²¹¹. Στο παρεκκλήσιο παρουσιάζονται έντονα προβλήματα λόγω ανερχόμενης και κατερχόμενης υγρασίας. Παρατηρείται επίσης πλήθος επεμβάσεων που πιθανά έχουν γίνει κατά καιρούς προς αποκατάσταση των προβλημάτων υγρασίας. Το αρκετά μεγάλο πρόβλημα ανερχόμενης υγρασίας, πιθανά δημιουργείται λόγω της διαφοράς στάθμης μεταξύ του δαπέδου του παρεκκλησίου και του κεντρικού διαδρόμου της μονής. Επίσης, δίπλα στον ανατολικό τοίχο του παρεκκλησίου, υπάρχει φρεάτιο, για την απορροή των ομβρίων υδάτων²¹⁰.

²¹¹ Γριτσοπούλου, Μ (2013). Επί τόπου μη καταστρεπτικός έλεγχος των τοιχοποιιών του Καθολικού της Μονής Καισαριανής για τον σχεδιασμό της αντισεισμικής προστασίας του μνημείου. Μεταπτυχιακή εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων». (επιβλέπουσα: Καθ. Α. Μοροπούλου).

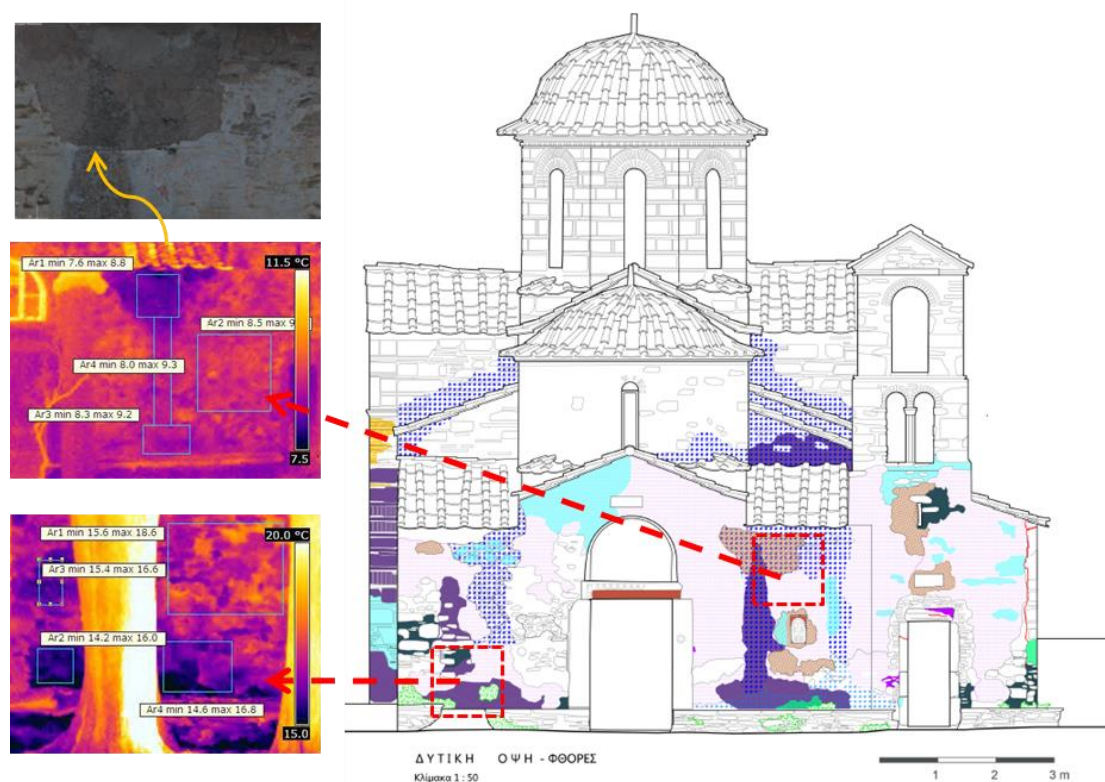


Εικόνα 23: Διαχείριση αποτελεσμάτων Θερμογραφίας Υπερύθρου και Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών στο θεματικό χάρτη φθορών της νότιας όψης

Επίσης, το επίχρισμα πάνω από το παράθυρο στο παρεκκλήσιο, παρουσιάζει αρκετά αυξημένες θερμοκρασίες, σε σχέση με τα άλλα κονιάματα και επιχρίσματα της τοιχοποιίας. Η διαφοροποίησή του είναι εμφανής και μακροσκοπικά, ενώ στο σημείο αυτό η τοιχοποιία εμφανίζει προεξοχή, η οποία οφείλεται πιθανότατα στο ότι στην θέση αυτή εδραζόταν η καμάρα του παρεκκλησίου όταν αυτό προεκτεινόταν ως εκεί (Εικόνα 23). Συνολικά στη νότια όψη παρατηρείται, από τα αποτελέσματα της θερμογραφίας υπερύθρου, υψηλότερη μέση θερμοκρασία σε σχέση με τις υπόλοιπες όψεις του καθολικού^{210,211}.

Δυτική Όψη

Σε όλη τη Δυτική όψη του καθολικού και του παρεκκλησίου, στην κατώτερη ζώνη της, παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση υγρασίας, που οφείλεται στην ανερχόμενη υγρασία, λόγω του εδάφους, καθώς επίσης και στην ύπαρξη πεζουλιού που διατρέχει την δυτική τοιχοποιία, στο οποίο γίνεται συλλογή όμβριων υδάτων. Ακόμη, σε περιοχές σε όλη την τοιχοποιία του νάρθηκα καθώς και στο παρεκκλήσι, παρατηρείται κατερχόμενη υγρασία από τη στέγη, δημιουργώντας έντονο πρόβλημα, λόγω της απορροής των όμβριων υδάτων. Τέλος, η δυτική τοιχοποιία του παρεκκλησίου παρουσιάζεται αποκολλημένη από τη νότια τοιχοποιία του (Εικόνα 24).

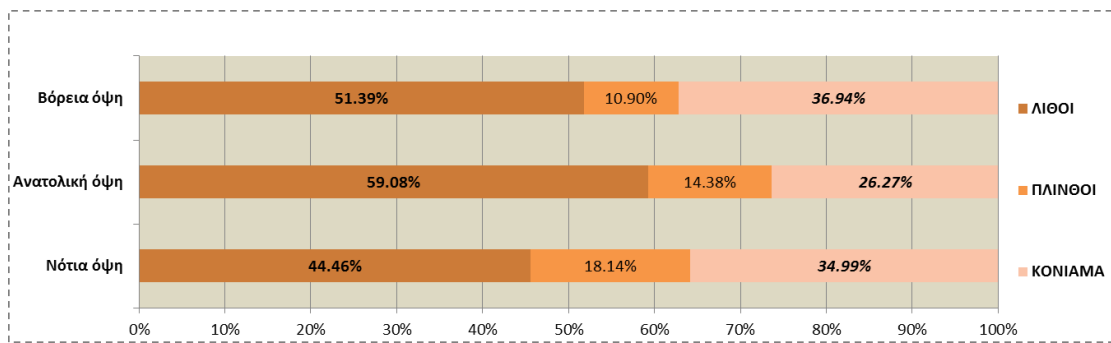


Εικόνα 24: Διαχείριση δεδομένων Θερμογραφήματος Υπερύθρου στο θεματικό χάρτη φθορών στη δυτική όψη

Οι τοίχοι του νάρθηκα, καθώς και του παρεκκλησίου του Αγίου Αντωνίου είναι κατασκευασμένοι από αργολιθοδομή, ενώ σε πολλά σημεία διατηρούνται παλαιά φθαρμένα επιχρίσματα, τα οποία είναι σε πολύ κακή κατάσταση διατήρησης. Παράλληλα, είναι εμφανής η ύπαρξη ποικίλων κονιαμάτων συμπλήρωσης σε αυτήν την όψη. Η αυξημένη συγκέντρωση υγρασίας στην δυτική όψη, εντείνει την ανάπτυξη βιοδιάβρωσης, που παρατηρείται στην περιοχή πάνω από το πεζούλι, και αυτή, με τη σειρά της, αυξάνει την συγκέντρωση υγρασίας (Εικόνα 24). Ακόμη, στο νοτιοδυτικό χαμηλότερο τμήμα της τοιχοποιίας του παρεκκλησίου, ο υπερυψωμένος σε περίπου 1.00 m, κεντρικός διάδρομος της μονής, προκαλεί προβλήματα υγρασίας στην τοιχοποιία και ιδιαίτερα στην νοτιοδυτική γωνία^{210,211}.

Ποσοτικά δεδομένα

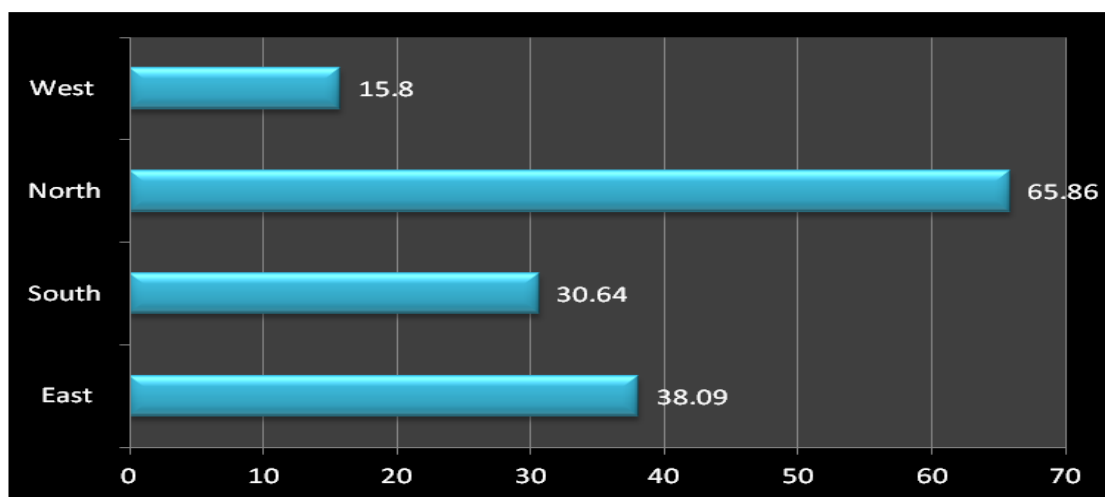
Μέσα από τη διεπιστημονική αυτή προσέγγιση, μπορούν να εξαχθούν ποιοτικά και ποσοτικά συμπεράσματα και πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση διατήρησης του μνημείου. Πέρα από την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της διεπιστημονικής μελέτης σε θεματικούς χάρτες, ποσοτικά δεδομένα μπορούν να αντληθούν, για περαιτέρω διερεύνηση. Πιο συγκεκριμένα, από τους θεματικούς χάρτες υλικών για κάθε όψη του μνημείου, πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο δόμησης μπορούν να εξαχθούν.



Εικόνα 25: Διάγραμμα ποσοστών αναλογίας λίθων, πλίνθων και κονιάματος ανά όψη

Ο τρόπος δόμησης κάθε όψης καταγράφεται μέσα από τους θεματικούς χάρτες υλικών, επικυρώνοντας την αρχιτεκτονική και ιστορική διερεύνηση, την κατασκευαστική φάση που ανήκουν καθώς και την ύπαρξη παλαιότερων επεμβάσεων συντήρησης. Στην Ανατολική όψη, είναι σαφές, ότι το ποσοστό των λίθων υπερτερεί σε σχέση με αυτό του κονιάματος, συγκριτικά με τις άλλες όψεις που παρουσιάζονται στο διάγραμμα, αντιπροσωπεύοντας το αυστηρό πλινθοπερίκλειστο σύστημα που ακολουθεί (Εικόνα 25). Επίσης, στην όψη αυτή απουσιάζουν σχεδόν επεμβάσεις συντήρησης και το σύστημα δόμησης της πρώτης κατασκευαστικής φάσης παραμένει σχεδόν αναλλοίωτο.

Από την δημιουργία θεματικών χαρτών δομικών υλικών και φθορών, χρήσιμα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν για την κατάσταση διατήρησης του μνημείου καθώς και σχετικά ποια όψη του μνημείου καταπονείται περισσότερο από περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η βιολογική διάβρωση αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες φθοράς για το Καθολικό της Μονής Καισαριανής. Από τους θεματικούς χάρτες φθορών όλων των όψεων, δημιουργήθηκε ένα συγκριτικό διάγραμμα, με σκοπό την ποσοτικοποίηση των παραγόντων φθοράς που επιδρούν σε κάθε όψη του μνημείου και να συσχετιστούν με τις περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής, που επιδρούν ως μηχανισμός φθοράς για το μνημείο (Εικόνα 26). Η βόρεια όψη παρουσιάζει υψηλότερα ποσοστά βιοδιάβρωσης σε σχέση με τις άλλες όψεις του μνημείου, που συνάδει με το γεγονός ότι ο προσανατολισμός της επιδρά στον παράγοντα ανάπτυξης βιοδιάβρωσης.



Εικόνα 26: Διάγραμμα ποσοστών (%) βιοδιάβρωσης ανά όψη²¹²

Η προσέγγιση αυτή, που αφορά στην ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων, παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, ειδικά όσον αφορά στο σχεδιασμό και την εφαρμογή επεμβάσεων συντήρησης. Ακριβέστεροι υπολογισμοί στις ποσότητες των υλικών αποκατάστασης μπορούν να επιτευχθούν, όπως τα κονιάματα αποκατάστασης, υλικά για εργασίες καθαρισμού κ.α.

3.1.4. Μεθοδολογική προσέγγιση - Μερικά συμπεράσματα Μεθοδολογική Προσέγγιση

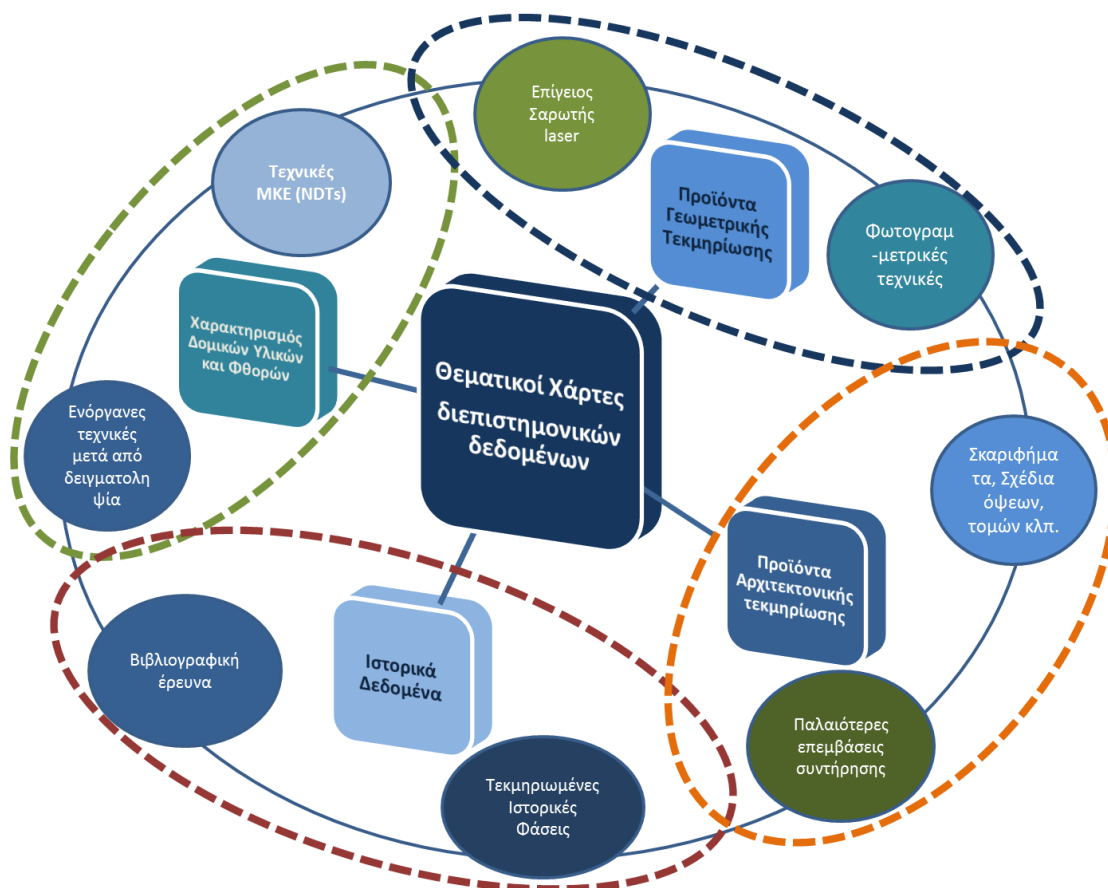
Η μεθοδολογική προσέγγιση περιγράφεται και αναλύεται μέσα από τη διάρθρωση του κεφαλαίου αυτού, όπου περιλαμβάνεται ένας μεγάλος όγκος πληροφοριών που έχουν προκύψει από διεπιστημονική έρευνα. Οι πληροφορίες αυτές, αφού συγκεντρωθούν και ταξινομηθούν, στη συνέχεια συσχετίζονται, ενσωματώνονται και οπτικοποιούνται μέσα σε θεματικούς χάρτες. Τους τέσσερις πυλώνες στην προσέγγιση αυτή, αποτελούν, η ιστορική τεκμηρίωση, η αρχιτεκτονική, η γεωμετρική, καθώς και ο χαρακτηρισμός των δομικών υλικών και η διάγνωση της φθοράς (Εικόνα 27). Και οι τέσσερις πυλώνες συνεισφέρουν στη δημιουργία των θεματικών χαρτών καθώς συσχετίζονται και συνδέονται μεταξύ τους για εξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με την κατάσταση διατήρησης του μνημείου. Η χρήση των Χωρικών Συστημάτων Απεικόνισης, όπως είναι τα συστήματα CAD, επιτρέπουν τη διαχείριση των δεδομένων αυτών από μία πληθώρα επιστημόνων καθώς αποτελεί ένα αρκετά διαδεδομένο λογισμικό και πολύ εύκολο στη χρήση.

²¹² Delegou, E. T., Mourgj, G., Tsilimantou, E., Ioannidis, C., & Moropoulou, A. (2019). A Multidisciplinary Approach for Historic Buildings Diagnosis: The Case Study of the Kaisariani Monastery. *Heritage*, 2(2), 1211-1232.



Εικόνα 27: Μεθοδολογική προσέγγιση σε δισδιάστατο περιβάλλον CAD, με τέσσερις πυλώνες δεδομένων

Σε σχέση με τους τέσσερις αυτούς βασικούς πυλώνες στην τεκμηρίωση ενός μνημείου, η κατάσταση διατήρησης σε ότι αφορά την παθολογία των δομικών υλικών αποτυπώνεται σαφώς μέσα από την προσέγγιση αυτή καθώς η παθολογία συσχετίζεται με τα δεδομένα που προκύπτουν από την γεωμετρική και αρχιτεκτονική τεκμηρίωση. Οι παλαιότερες επεμβάσεις συντήρησης απεικονίζονται στους θεματικούς χάρτες, και συσχετίζονται χωρικά με τις ιστορικές κατασκευαστικές φάσεις του μνημείου. Κάθε μία από τις μεθόδους τεκμηρίωσης συνεισφέρει ισοδύναμα στο διάγραμμα που απεικονίζεται στην Εικόνα 28, για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών διεπιστημονικής προσέγγισης. Η αειφορία της κατασκευής επομένως μπορεί να επιτευχθεί ιδιαίτερα σε ότι αφορά το σχεδιασμό των επεμβάσεων συντήρησης.



Εικόνα 28: Διάγραμμα μεθοδολογικής προσέγγισης ενσωματώνοντας δεδομένα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης²¹²

Μέσα από την προσέγγιση αυτή, ορίζονται συγκεκριμένα βήματα εργασιών με στόχο τελικά την προστασία του μνημείου. Η καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης του αποτελεί ένα από τα πρώτα και κρίσιμης σημασίας στάδια. Στην περίπτωση του Καθολικού της Καισαριανής, η διαδικασία αυτή, ήταν ιδιαίτερα δύσκολη ως προς την υλοποίησή του, μιας και το Υπουργείο Πολιτισμού, ήταν πολύ περιοριστικό όσον αφορά στη λήψη των απαραίτητων δειγμάτων για το χαρακτηρισμό των δομικών υλικών, εξαιτίας της σπουδαιότητας του μνημείου. Επομένως, η ανεύρεση των ιστορικών στοιχείων ήταν εξαιρετικά κρίσιμη για τον καθορισμό και την αποτίμηση των ιστορικών κατασκευαστικών φάσεων του μνημείου καθώς επίσης και για την καταγραφή παλαιότερων εργασιών επεμβάσεων συντήρησης.

Ακόμη, μέσα από τη γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού, πληροφορίες σχετικά με το σύστημα δόμησης, συμπεριλαμβανομένων και των διαστάσεων των δομικών υλικών (πλάτος και μήκος) στις εξωτερικές όψεις, αποκτώνται. Μέσω της παραγωγής σχεδίων κατόψεων και τομών του ναού, αποκτώνται πληροφορίες σχετικά με τις κατασκευαστικές διαστάσεις των τοιχοποιιών που επικυρώνουν τις ιστορικές κατασκευαστικές φάσεις του μνημείου. Ακόμη, μέσα από τη συσχέτιση δεδομένων αρχιτεκτονικής και γεωμετρικής τεκμηρίωσης, διαφοροποιήσεις σχετικά με αποκλίσεις και παραμορφώσεις του δομήματος καταγράφονται. Πληροφορίες σχετικά με την παθολογία του μνημείου σε θέματα

εξωτερικών παραγόντων φθοράς, αποτυπώνονται και τονίζονται μέσα από τους θεματικούς χάρτες, όπου ενσωματώνονται δεδομένα αρχιτεκτονικής και γεωμετρικής τεκμηρίωσης καθώς και δεδομένα δομικών υλικών.

Μέσα από αυτή τη διερεύνηση, η μεθοδολογική αυτή προσέγγιση, απευθύνεται σε ένα διεπιστημονικό κύκλο επιστημόνων αλλά και σε άλλα ενδιαφερόμενα μέρη, όπου μέσα από τη ανάπτυξη και χρήση θεματικών χαρτών σε δισδιάστατο περιβάλλον χωρικής απεικόνισης, πληροφορίες που αφορούν σε κατασκευαστικές φάσεις, στα δομικά υλικά και στις επεμβάσεις συντήρησης όπως ακόμα και στη συσχέτιση και διαχείριση πληροφοριών διεπιστημονικής τεκμηρίωσης, μπορούν να αποκτηθούν και να συνεισφέρουν και στο σχεδιασμό επεμβάσεων συντήρησης, εάν και όταν χρειαστεί. Απώτερος στόχος κάθε ειδικότητας που ασχολείται με τα μνημεία έχει ως γνώμονα την προστασία του. Επομένως, αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί, ακολουθώντας και ολοκληρώνοντας κάθε φορά, κάποια στάδια που οδηγούν στο στόχο αυτό (Εικόνα 29).



Εικόνα 29: Διάγραμμα που απεικονίζει τα στάδια καταγραφής και διαχείρισης προς την αιεφόρο προστασία ενός μνημείου

Επιπλέον, η παρούσα μεθοδολογία, μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς με στόχο να διερευνηθεί και να καταγραφεί η κατάσταση διατήρησής τους, καθώς και να διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων για την αιεφόρο προστασία τους. Δεδομένου ότι κάθε ειδικότητα μπορεί να μελετά το μνημείο από την επιστήμη της^{213,214}, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το δισδιάστατο σύστημα χωρικής απεικόνισης, μπορούν να αποτελέσουν δεδομένα εισόδου για κάθε νέα μελέτη που προκύπτει για το μνημείο.

Μερικά συμπεράσματα

Πληροφορίες σχετικά με το σύστημα δόμησης αποτυπώνονται και αποδίδονται σε σχέδια, μετά τη γεωμετρική τεκμηρίωση των επιμέρους στοιχείων του Ναού. Η γεωμετρία και το μέγεθος (πλάτος και μήκος) των δομικών υλικών τεκμηριώνεται και μπορεί να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό δομικών υλικών αποκατάστασης. Μέσα από την παραγωγή χαρτών, πληροφορίες σχετικά με την κατασκευαστική γεωμετρία των

²¹³ Eppich Rand , CIPA, Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places, Illustrated Examples, Getty 2007

²¹⁴ Fitzner B, Heinrichs K., Weathering Forms and Rock Characteristics of Historical Monuments Carved from Bedrocks in Petra/Jordan, Science, Technology and European Cultural Heritage, Elsevier, 1991

τοιχοποιιών αποκτώνται και επικυρώνουν τις ιστορικές κατασκευαστικές φάσεις του μνημείου.

Επίσης, τα προϊόντα γεωμετρικής τεκμηρίωσης παρέχουν την πλήρη χωρική διάσταση του μνημείου προς διερεύνηση. Οι πληροφορίες αυτές, μαζί με πληροφορίες που αφορούν σε διαφοροποιήσεις των δομικών στοιχείων του μνημείου, όπως είναι οι ρηγματώσεις ή οι παραμορφώσεις, μπορούν να ληφθούν υπόψη στη δομοστατική μελέτη για τη σεισμική απόκριση του μνημείου μέσω ποιοτικής ανάλυσης των περιοχών που εντοπίζονται οι ρηγματώσεις ή παραμορφώσεις αυτές.



Εικόνα 30: Διάγραμμα που απεικονίζει συσχέτιση των αποτελεσμάτων για διαφορετικά είδη μελετών

Επίσης, οι δισδιάστατοι χάρτες που αναπτύχθηκαν, μπορούν να ληφθούν (κατά περίπτωση) ως δεδομένα εισόδου σε άλλες μελέτες όπως π.χ. μελέτη αρχιτεκτονικής αποκατάστασης, στο σχεδιασμό επεμβάσεων συντήρησης, στην επιλογή συμβατών υλικών καθώς επίσης και σε μια μελέτη δομικής τρωτότητας του ναού (Εικόνα 30). Είτε λαμβάνοντας ως δεδομένα τα δισδιάστατα εικονιστικά προϊόντα, είτε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά, είτε τη σχετική θέση (χωρικά) των δεδομένων, είτε τέλος αξιοποιώντας τα ποσοτικά αποτελέσματα.

Στην Εικόνα 31 επικυρώνεται το μεθοδολογικό πλαίσιο που έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια, όπου αν και τα δεδομένα εισόδου μπορεί να διαφέρουν κατά περίπτωση εξέτασης μνημείου, η γεωμετρική τεκμηρίωση είναι αναγκαία για να αποδοθεί τα μέγιστο εύρος των δεδομένων σε δύο διαστάσεις.

Η δισδιάστατη πλατφόρμα χωρικής απεικόνισης, αν και διαθέτει τη δυνατότητα διασύνδεσης και διαχείρισης βάσεων δεδομένων, ο όγκος των στοιχείων της βάσης δεδομένων, καθώς και οι τρόποι-μέσα διαχείρισης της βάσης αυτής, είναι περιορισμένες

εμβέλειας αν συγκριθούν με τις λειτουργικές δυνατότητες άλλων πλατφορμών όπως αυτή των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Πάραυτα, η απόδοση των πληροφοριών, των διαφόρων επιστημονικών ειδικοτήτων, στο δισδιάστατο αυτό περιβάλλον, δίνει ένα μεγάλο εύρος πληροφοριών για την κατάσταση διατήρησης του μνημείου υπό μελέτη. Πρόκειται για ένα σύστημα που χρησιμοποιείται από πλήθος ειδικοτήτων που ασχολούνται με την πολιτιστική κληρονομιά, επομένως είναι οικείο στη χρήση, ενώ παράλληλα πρόκειται για μία πλατφόρμα της οποίας τα προϊόντα, που από πλευράς διαλειτουργικότητας είναι ανοιχτά (αρχεία τύπου .dxf). Αυτό σημαίνει, ότι τα δεδομένα από ένα τέτοιο σύστημα, μπορεί να ενσωματωθούν από άλλα λογισμικά (π.χ. εξειδικευμένων εργασιών), χωρίς να χάνεται το σύνολο των πληροφοριών που έχουν καταγραφεί και αποθηκευτεί στο σύστημα χωρικής απεικόνισης. Επομένως, τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί για το μνημείο, διατηρούνται στο ακέραιο, με ενσωματωμένες επιπλέον ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες.

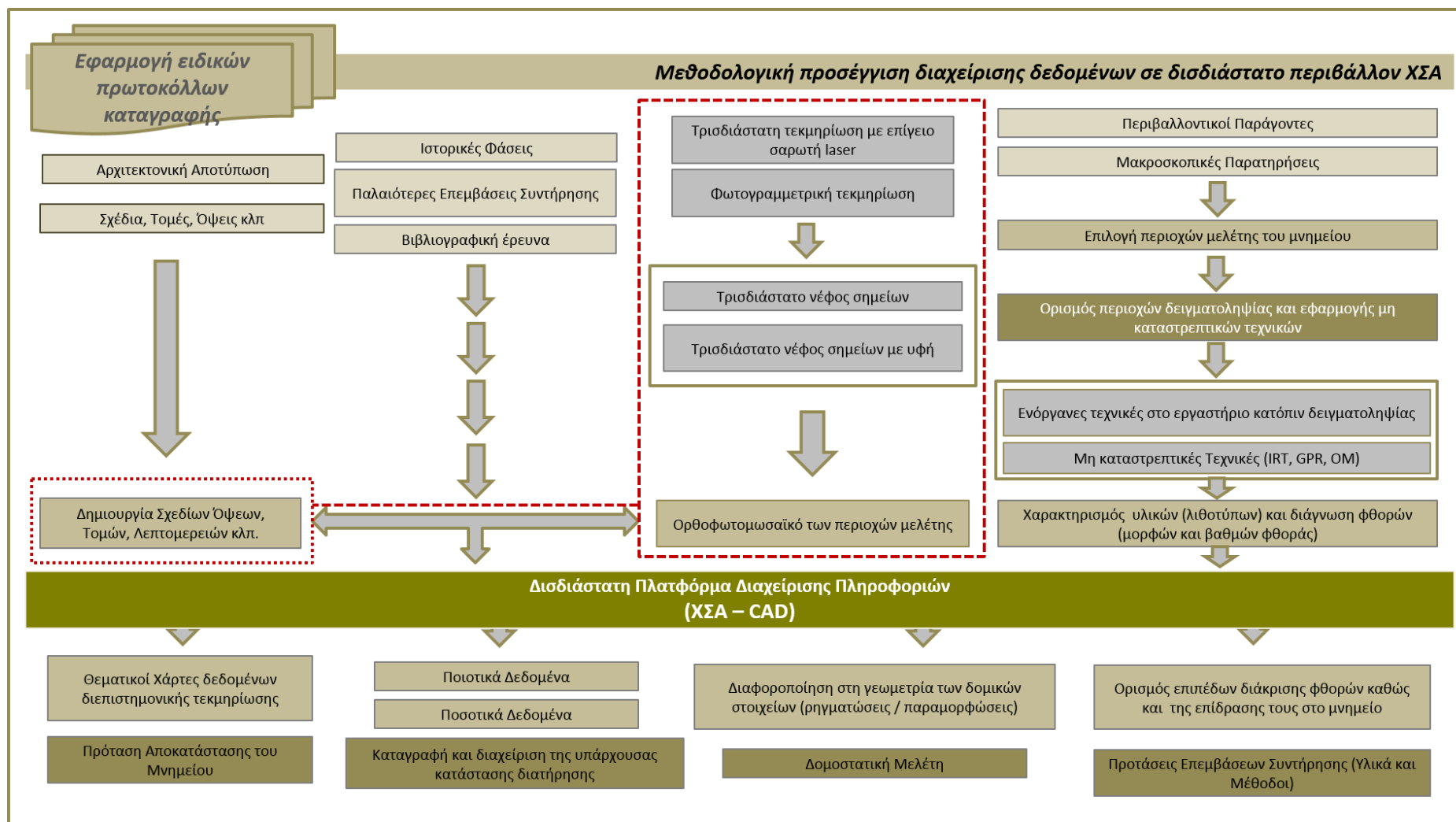
Ακόμη, μέσω της εμβαδομέτρησης κάθε επιπέδου πληροφοριών που καταγράφεται στο σύστημα, μπορεί να γίνει σύγκριση των χρησιμοποιηθέντων δομικών υλικών και ανά όψη και ανά κατασκευαστική φάση, των εμφανιζόμενων τύπων φθοράς και να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την κατάσταση διατήρησής του μνημείου και συνολικά αλλά και πιο συγκεντρωμένα σε περιοχές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον, ενώ για τις προτεινόμενες επεμβάσεις συντήρησης, καθίσταται εφικτό, να γίνει ποσοτικοποίηση και ακόμη και κοστολόγηση.

Η χρήση χωρικών συστημάτων απεικόνισης παρέχει ακόμη τη δυνατότητα παρακολούθησης της κατάστασης διατήρησης του μνημείου, μέσω περιοδικής καταγραφής των περιοχών εμφάνισης συγκεκριμένων τύπων φθοράς που μπορεί να επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την κατάσταση διατήρησης του μνημείου και βοηθά στην έγκαιρη λήψη αποφάσεων για την προστασία του μνημείου. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα καταγραφής και παρακολούθησης των επεμβάσεων συντήρησης που μπορεί να εφαρμοσθούν σε ένα μνημείο και βοηθούν στην εκτίμηση της συμβατότητάς τους.

Η μεθοδολογία αυτή αφορά και σε ποσοτικά δεδομένα (περιορισμένα σε επίπεδο δύο διαστάσεων και εμβαδού), ως μια πρώτη προσέγγιση σε μελέτες και εργασίες που αφορούν στο σχεδιασμό και την εφαρμογή επεμβάσεων συντήρησης. Ακριβέστεροι υπολογισμοί στις ποσότητες των υλικών αποκατάστασης μπορούν να καθορίσουν το βέλτιστο σχεδιασμό επεμβάσεων για ένα μνημείο, με τρόπο διαχειρίσιμο, που ανταποκρίνεται σε πραγματικά δεδομένα. Τέλος, η διαχείριση σε CAD περιβάλλον αποτελεί επιπλέον ένα μέσο που οπτικοποιεί τα δεδομένα διεπιστημονικών αναλύσεων όπως είναι τα δομικά υλικά ή οι φθορές ενός μνημείου, για μετέπειτα εισαγωγή σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) ή ακόμη και σε περιβάλλον Μοντέλου Κτιριακών Πληροφοριών (ΜΚΠ).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η μεθοδολογική προσέγγιση που εφαρμόστηκε στο παρόν μνημείο, αποτελεί το πρώτο βήμα σε μία ευρύτερη μεθοδολογία, όπου δεν λαμβάνονται μόνο υπόψη οι πληροφορίες που προέρχονται από ένα δισδιάστατο σύστημα, αλλά

εκτείνεται σε τρεις διαστάσεις για μια ολοκληρωμένη διαχείριση δεδομένων, όπου στοιχεία, ποιοτικά αλλά και ποσοτικά θα μπορούν να εξαχθούν.



Εικόνα 31: Μεθοδολογικό Διάγραμμα διαχείρισης δεδομένων σε Δισδιάστατο περιβάλλον

3.2. Ναός Πυθίου Απόλλωνα

Πρόλογος

Στο παρόν κεφάλαιο, αναλύεται μία προσέγγιση διαχείρισης δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης, μέσα από τη χρήση δισδιάστατων γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών καθώς και τρισδιάστατων συστημάτων μοντελοποίησης. Περιλαμβάνονται δεδομένα ιστορικής και αρχιτεκτονικής διερεύνησης, δεδομένα γεωμετρικής τεκμηρίωσης, αποτελέσματα της μελέτης των δομικών υλικών και της διάγνωσης της φθοράς καθώς επίσης και αποτελέσματα της δομικής τρωτότητας του μνημείου. Η οπτικοποίηση των δεδομένων αυτών μέσω μιας δισδιάστατης πλατφόρμας γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών, η ταξινόμηση τους, η διαχείριση καθώς και η εξαγωγή συμπερασμάτων (ποσοτικών και ποιοτικών) για την κατάσταση διατήρησης του μνημείου, παρουσιάζονται. Η διαχείριση πληροφοριών μέσω μιας τρισδιάστατης πλατφόρμας μοντελοποίησης, διερευνάται επίσης, όπου λαμβάνονται ως δεδομένα, τα αποτελέσματα της μελέτης της σεισμικής απόκρισης του μνημείου καθώς και τα αποτελέσματα από τη διερεύνηση εναλλακτικών προτάσεων υλικών και επεμβάσεων συντήρησης. Το μνημείο που εξετάζεται είναι ο Ναός του Πυθίου Απόλλωνα στη Ρόδο.

Εισαγωγή

Ένας αρχαίος ναός συνήθως υφίσταται πολλές αλλοιώσεις στο χρόνο και συνεπώς η ανάγκη αποκατάστασής του είναι αναγκαία. Γήρανση επέρχεται στη δομή ενός αρχαίου ναού, εξαιτίας της έκθεσής του σε εναλλαγές περιβαλλοντικών συνθηκών επί μακρόν, καθώς επίσης και εξαιτίας της έκθεσής του σε ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως είναι οι καταστροφές και οι βανδαλισμοί, ακόμα και οι ασύμβατες επεμβάσεις συντήρησης κάνοντας χρήση ασύμβατων υλικών αποκατάστασης, που τελικά δυσχεραίνουν την κατάσταση διατήρησης των αρχαίων ναών. Παραμορφώσεις της δομής, απώλεια αυθεντικού υλικού, ρωγμές και αποκλίσεις στα δομικά στοιχεία ενός ναού (κίονες), αποτελούν ορισμένες από τις πιο συνηθισμένες φθορές που μπορεί να παρατηρήσει κανείς σε ένα αρχαίο ναό.

Για την εκτίμηση της κατάστασης διατήρησης ενός αρχαίου ναού, η γεωμετρική τεκμηρίωση προσφέρει μια πληθώρα δεδομένων προς αυτή την κατεύθυνση, παρόλα αυτά, είναι κρίσιμο να υπάρχουν δεδομένα και από άλλες επιστήμες. Οι μη καταστρεπτικές τεχνικές αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης διατήρησης ενός μνημείου εν γένει και ιδιαίτερα ενός αρχαίου ναού, μιας και η δειγματοληψία σχεδόν ποτέ

δεν επιτρέπεται, λόγω της σπουδαιότητας των μνημείων αυτών^{215,216,217,218,219,220}. Η συσχέτιση των γεωμετρικών δεδομένων με τα αποτελέσματα από τις μη καταστρεπτικές τεχνικές μπορούν να αξιοποιηθούν επίσης στην διαγνωστική μελέτη.

Στο παρόν κεφάλαιο, μια διεπιστημονική διερεύνηση υλοποιείται σε μία δισδιάστατη πλατφόρμα Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Η συγκεκριμένη προσέγγιση, αποτελεί βασικό βήμα για το σχεδιασμό και την εφαρμογή συμβατών επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης, ειδικά για αρχαίους ναούς, που σκοπός είναι η αειφόρος προστασία του μνημείου.

Ακόμη, στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται, η διαχείριση δεδομένων για τις προτάσεις αποκατάστασης ενός ναού, μέσα από μία διεπιστημονική διερεύνηση, όπου υλοποιείται η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων αυτών σε μία τρισδιάστατη πλατφόρμα απεικόνισης. Τα δεδομένα προέρχονται από τα αποτελέσματα της ανάλυσης της σεισμικής απόκρισης ενός ναού, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία του μνημείου, τα δομικά υλικά που το απαρτίζουν και τις εναλλακτικές προτάσεις υλικών και επεμβάσεων αποκατάστασης του. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύσσεται το μοντέλο του αποκατεστημένου μνημείου σε τρισδιάστατο περιβάλλον πληροφοριών, ενσωματώνοντας τα αποτελέσματα της μελέτης των δομικών υλικών αποκατάστασης, διατηρώντας τη γεωμετρία της κατασκευής, και διατηρώντας επίσης όλα τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του μνημείου που αποφασίστηκαν μέσα από το σχεδιασμό των προτάσεων αποκατάστασης. Ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν μέσα από το τρισδιάστατο αυτό περιβάλλον, σχετικά με τα δομικά υλικά αποκατάστασης, ενισχύοντας ακόμη περισσότερο την δυνατότητα επίτευξης των προτάσεων αποκατάστασης καθώς υπεισέρχεται και η εκτίμηση του κόστους ως ένας ακόμη παράγοντας.

Τα δεδομένα για την ολοκληρωμένη αυτή διερεύνηση έχουν ληφθεί από μια διεπιστημονική προσπάθεια με συνεργασία μέσω τριών συναφών προγραμμάτων των Σχολών Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Πολιτικών Μηχανικών και Χημικών Μηχανικών με τίτλο «Τρισδιάστατη τεκμηρίωση της υφιστάμενης κατάστασης του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην αρχαία ακρόπολη της Ρόδου και των εναλλακτικών προτάσεων για την αποκατάσταση του», «Ανάλυση σεισμικής συμπεριφοράς και διερεύνηση εναλλακτικών προτάσεων δομητικής αποκατάστασης του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην αρχαία Ακρόπολη της

²¹⁵ 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: pp.1222-1239 (2013)

²¹⁶ Moropoulou, A.; Avdelidis, N.P.; Karoglou, M.; Delegou, E.T.; Alexakis, E.; Keramidas, V. Multispectral Applications of Infrared Thermography in the Diagnosis and Protection of Built Cultural Heritage. *Appl. Sci.* 2018, 8, 284

²¹⁷ Glisic, B., Inaudi, D.: *Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring*. JohnWiley& Sons: Hoboken, NJ, USA, (2008).

²¹⁸ Agrafiotis, P., Lampropoulos, K., Georgopoulos, A., Moropoulou, A.: 3d Modelling the Invisible Using Ground Penetrating Radar, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W3, 33-37, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-33-2017>, (2017).

²¹⁹ Lekkas, E.: Observations on the action of geologically induced hazards in the ancient town of Rhodes, In *Proceedings of 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean*, Technical Chamber of Greece, Athens, Greece (1997).

²²⁰ Moropoulou, A. I., & Labropoulos, K. C. (2015). Non-destructive testing for assessing structural damage and interventions effectiveness for built cultural heritage protection. In *Handbook of Research on Seismic Assessment and Rehabilitation of Historic Structures* (pp. 448-499). IGI Global.

Ρόδου» και «Υλοποίηση προγράμματος διαγνωστικής έρευνας της υφιστάμενης κατάστασης του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου και διερεύνηση εναλλακτικών προτάσεων υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης» αντίστοιχα στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «Προστασία και ανάδειξη αρχαίας ακρόπολης Ρόδου» σε συνεργασία με την Εφορεία Αρχαιοτήτων Δωδεκανήσου. Ακόμη, εκπονήθηκαν δύο μεταπτυχιακές εργασίες στο πλαίσιο του προγράμματος «Προστασία Μνημείων – Υλικά και επεμβάσεις Συντήρησης» και τα προϊόντα δισδιάστατης και τρισδιάστατης τεκμηρίωσης ενός επιλεγμένου κίονα καθώς και τα προϊόντα δισδιάστατων χαρτών σε περιβάλλον ΓΣΠ προέρχονται από τη μεταπτυχιακή εργασία του Αδαμόπουλου Ε., ενώ τα αποτελέσματα των μη καταστρεπτικών τεχνικών και του χαρακτηρισμού των δομικών υλικών και της διάγνωσης της φθοράς από τη μεταπτυχιακή εργασία του Κεραμίδα Β. Επίσης, τα αρχιτεκτονικά σχέδια που χρησιμοποιήθηκαν για να αντληθούν πληροφορίες ήταν από το διδακτορικό της αρχαιολόγου Dr. Elisa Fain «Comportamento e durabilità delle “strutture miste” in area archeologica. Il Tempio di Apollo Pizio all’ Acropoli di Rodi», από το Τμήμα Αρχιτεκτονικής και Πολεοδομίας του Πολυτεχνείου του Μιλάνο. Επίσης ιστορικά και αρχιτεκτονικά στοιχεία παραχωρήθηκαν από την Εφορεία Αρχαιοτήτων Δωδεκανήσου.

3.2.1 Δεδομένα Διεπιστημονικής τεκμηρίωσης: Γεωμετρικά, Ιστορικά, Αρχιτεκτονικά, Δομικών υλικών, Δομοστατικά - Σχεδιασμός

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης μέσα από συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών, γνωστών ως συστήματα GIS. Στην προσέγγιση αυτή, επιχειρείται η καταγραφή, συσχέτιση και διαχείριση των δεδομένων μέσα από μία δισδιάστατη πλατφόρμα (ΓΣΠ). Πιο συγκεκριμένα, η διαχείριση των δεδομένων υλοποιείται για έναν από τους τέσσερις κίονες που απαρτίζουν το μνημείο μελέτης (μεμονωμένος πολυσπόνδυλος). Στη μεθοδολογική αυτή προσέγγιση που αφορά σε διαχείριση μέσω δισδιάστατου περιβάλλοντος ΣΓΠ, λαμβάνονται υπόψη τα αποτελέσματα από την ιστορική και αρχιτεκτονική διερεύνηση, τα αποτελέσματα της διαγνωστικής μελέτης για το χαρακτηρισμό των δομικών υλικών και τη διάγνωση της φθοράς καθώς και η γεωμετρική τεκμηρίωση του κίονα, τα προϊόντα της οποίας αποτελούν όπως και στην περίπτωση του Καθολικού της Καισαριανής (κεφ. 3.1), το υπόβαθρο για τη διαχείριση όλων των δεδομένων που ενσωματώνονται μέσα στα ΓΣΠ.

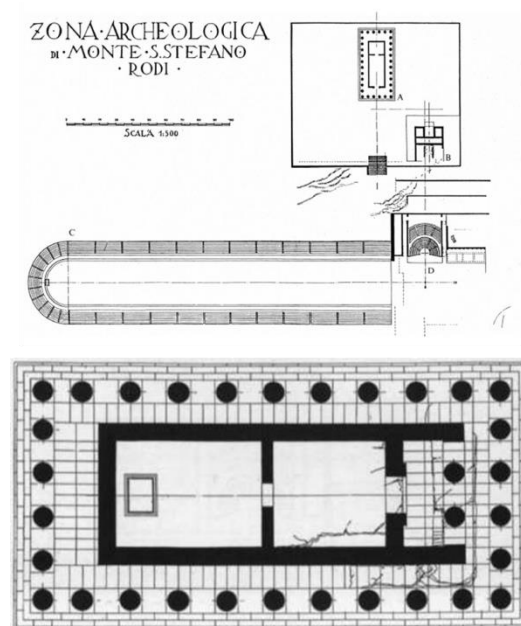
Επίσης, παρουσιάζεται μια προσέγγιση συσχέτισης δεδομένων γεωμετρικής τεκμηρίωσης, και μη καταστρεπτικών τεχνικών, για την ανεύρεση πληροφοριών όσον αφορά την εσωτερική δομή του μνημείου που μελετάται και εν συνεχεία, την ενσωμάτωση των δεδομένων αυτών σε μία τρισδιάστατη πλατφόρμα. Στα δεδομένα που ενσωματώνονται στο τρισδιάστατο περιβάλλον, λαμβάνονται υπόψη και οι προτάσεις των συμβατών υλικών αποκατάστασης.

Μνημείο Εφαρμογή: Ναός του Πύθιου Απόλλωνος στην Ακρόπολη της Ρόδου

Ο Ναός του Απόλλωνος βρισκόταν εντός της Ακροπόλεως της Παλαιάς πόλης της Ρόδου. Δυστυχώς σήμερα, μόνο ένα πολύ μικρό τμήμα του ναού παραμένει στη θέση αυτή (Εικόνα 32). Δωρικού ρυθμού, ήταν κατασκευασμένος από τοπικό πωρόλιθο και εδραζόταν στη δυτική πλευρά της Ακρόπολης, επάνω σε βράχο πάχους περίπου 3.5 m. Ο προσανατολισμός του ναού ήταν προς την Ανατολή (Α-Δ) και σύμφωνα με επιγραφικά ευρήματα, θεωρείται ότι είχε διαστάσεις 20.05 x 37.70 m (από τους μεγαλύτερους αρχαίους ναούς της Ελλάδος). Αποτελούνταν από 6 κίονες στην κατά πλάτος πλευρά του (Α-Δ) και από 11 κίονες στην κατά μήκος πλευρά του (Β-Ν) (Εικόνα 33). Ακόμη, το ύψος κάθε κίονα θεωρείτο ότι ήταν 11.52 m. Οι σειρές κίωνων θεμελιώνονταν από μεγάλες τετραγωνισμένες πλάκες και η κρηπίδα αποτελείτο από τρεις αναβαθμούς και το στυλοβάτη. Στο κέντρο του ναού επίσης υπάρχει τεχνητά διαμορφωμένος βράχος από πωρόλιθο.



Εικόνα 32: (α) Ναός του Πύθιου Απόλλωνα, Δυτική όψη; (β) Άποψη του Ναού με τον τεχνητά διαμορφωμένο βράχο από πωρόλιθο



Εικόνα 33: (πάνω) Αρχαιολογική ζώνη, Λόφος του Monte Smith (1938), (ASAIA, Fondo Paolini, PD 220) από το Livadiotti and Rocco, 1996; (κάτω) Κάτοψη του Ναού του Πύθιου Απόλλωνα - Απόδοση της αρχικής μορφής” (1938), (ASAIA, Fondo Paolini, PD 220) από το Livadiotti and Rocco, 1996.

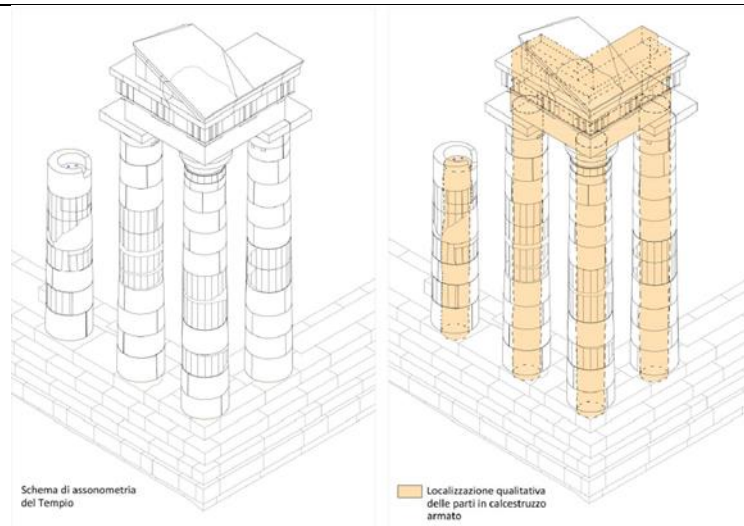
3.2.1.1 Ιστορικά στοιχεία και κατασκευαστικές φάσεις του μνημείου

Με το πέρασμα των αιώνων, ο ναός έχει υποστεί αρκετές παρεμβάσεις. Από την κατασκευή του τον 3^ο αιώνα π.Χ. και έπειτα, αρκετές καταστροφές επέφεραν την κατάρρευση του. Κατά τη διάρκεια της Ιταλικής κατοχής, πραγματοποιήθηκαν ανασκαφές στην Ακρόπολη της Ρόδου, από την Ιταλική Αρχαιολογική Σχολή. Την περίοδο 1912-1936, κατά τη διάρκεια ανασκαφών, μόνο λίγα τμήματα του ναού αποκαλύφθηκαν, (λίγα τμήματα της ανωδομής πεσμένα μέσα στην τάφρο θεμελίωσης).

Ένα μεγάλο πρόγραμμα αναστηλωτικών εργασιών υλοποιήθηκε το 1938 με επικεφαλής τον αρχιτέκτονα Mario Paolini, και αποτελεί μία επέμβαση που καθορίζει τη σημερινή υπόσταση του ναού. Μετά την ανακάλυψη της βάσης που εδραζόταν ο ναός και την ανεύρεση κάποιων τμημάτων του μνημείου, ακολούθησε η αναστήλωση της βορειοανατολικής γωνίας του Ναού του Πύθιου Απόλλωνα. Συνολικά τέσσερις κίονες και μέρος του θριγκού αναστηλώθηκαν²²¹. Για την αναστήλωση του ναού, εφαρμόστηκε το μικτό σύστημα δόμησης, όπου ο πυρήνας των κίωνων ήταν κατασκευασμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα και οι συμπληρώσεις ή ο μανδύας, ήταν κατασκευασμένος από αυθεντικά ή μη λίθινα μέρη. Οι αυθεντικοί λίθοι διατρήθηκαν και ανασκάφθηκαν ώστε να περιβάλουν τον πυρήνα οπλισμένου σκυροδέματος (Εικόνα 34). Για διευκόλυνση στη μεταφορά τους κατά τη διαδικασία των αναστηλωτικών εργασιών, γινόταν τεμαχισμός των λίθων σε δύο η περισσότερα κομμάτια και δημιουργούνταν πλευρικές σπές. Κατά τη διάρκεια της αναστήλωσης, ένας νέος τύπος λίθου (αδιευκρίνιστης προέλευσης) χρησιμοποιήθηκε ως λίθος αποκατάστασης και τοποθετήθηκε κατά στρώσεις στις περιοχές που δεν υπήρχε αυθεντικός λίθος. Ακόμη, τσιμεντιτικά επιχρίσματα, και σκυροδέματα χρησιμοποιήθηκαν για την ένωση των θραυσμάτων των αυθεντικών λίθων που είχαν ανασκαφεί με τους λίθους αποκατάστασης και μεταλλικοί σύνδεσμοι και οπλισμός χρησιμοποιήθηκαν για ενίσχυση της λίθινης κατασκευής. Οι σύνδεσμοι συγκολλούνταν με τσιμεντοκονία. Ακόμη, στα τσιμεντιτικά επιχρίσματα και στα σκυροδέματα είχε προστεθεί χρωστικές ουσίες για να ελαχιστοποιηθεί η χρωματική διαφοροποίηση από τα αυθεντικά υλικά.

Το 1946 η ελληνική Αρχαιολογική Υπηρεσία ξεκίνησε ανασκαφές και συντηρήσεις στο χώρο του ναού, που είχε υποστεί πολλές ζημιές από τους βομβαρδισμούς του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου και το 1996 ξεκίνησε πρόγραμμα αναστηλωτικών εργασιών στον ναό. Τα τελευταία χρόνια, μεταλλικό ικρίωμα έχει τοποθετηθεί από το Υπουργείο Πολιτισμού για την προστασία του μνημείου (Εικόνα 32).

²²¹Fain, E.: Comportamento e durabilitadelle «strutturemiste» in area archeolica. Il Tempio Di Apollo Pizio D Rodi, Phd thesis, Politecnico di Milano, Italy (2015).



Εικόνα 34: Αξονομετρικό σχέδιο που απεικονίζονται οι θέσεις των επεμβάσεων με οπλισμένο σκυρόδεμα²²¹

3.2.1.2 Αρχιτεκτονικά στοιχεία

Τα αρχιτεκτονικά στοιχεία του ναού, απαρτίζουν τα μέρη που αποκαλύφθηκαν από τις ανασκαφικές εργασίες. Συνολικά εμφανές είναι μόνο το 1/3 της δομής. Όσον αφορά τη θεμελίωση του ναού, αυτή εδραζόταν απευθείας σε φυσικό βράχο, και δύο τρεις στρώσεις λίθων κάτω από την ευθυντηρία. Εσωτερικά του μνημείου, διατηρείται ακόμη ένα τμήμα του βράχου θεμελίωσης του σηκού. Κατά τη διάρκεια της αναστήλωσης, η κατώτατη στάθμη έδρασης δεν παρέμεινε ίδια. Η κρηπίδα βρίσκεται επί της θεμελίωσης, και η κατώτερη βαθμίδα της έχει το ρόλο ευθυντηρίας. Στην κάτω ζώνη έχει διαμορφωθεί, αύλακας συλλογής ομβρίων. Ο στυλοβάτης, απαρτίζεται από πλήθος μικρών σε διαστάσεις λίθους αδιευκρίνιστης προέλευσης. Οι κίονες έχουν αναστηλωθεί σύμφωνα με το μικτό σύστημα δόμησης, όπου περιλαμβάνονται και αυθεντικά μέλη σπονδύλων και παρατηρήθηκε ότι οι ραβδώσεις των κίωνων εμφανίζουν πολλές ακανονισίες. Τα κιονόκρανα έχει τρεις ιμάντες απλής τριγωνικής διατομής στο ευθύγραμμο υποτραχήλιο²²². Όσον αφορά στο θριγκό, τα επιστύλια δεν περιλαμβάνουν κανένα αυθεντικό θραύσμα, ενώ η ζωφόρος περιλαμβάνει μεγάλο σχεδόν ακέραιο μέλος, με δύο τρίγλυφα και μία μετώπη που βρέθηκε την περίοδο των ανασκαφικών εργασιών. Από τα κιονόκρανα μόνο ένα αποτελεί ιστορικό. Το γείσο περιλαμβάνει προμόχθους με σταγόνες και οδούς με ελάχιστα σωζόμενα ίχνη των αυθεντικών σταγόνων. Η βόρεια όψη, έχει ανακατασκευαστεί με συνεχείς σταγόνες χωρίς να διακόπτονται. Το αέτωμα αναστηλώθηκε με κάποια διαφοροποίηση σε σχέση με το ιστορικό, και το τύμπανο του τοποθετήθηκε στο ίδιο μέτωπο με τα γείσα.

3.2.1.3 Γεωμετρική τεκμηρίωση

Τα αποτελέσματα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης πραγματοποιήθηκαν από το εργαστήριο Φωτογραμμετρίας στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «Προστασία και ανάδειξη αρχαίας ακρόπολης Ρόδου». Οι εργασίες αφορούν στη γεωμετρική τεκμηρίωση και

²²² Αδαμόπουλος, Ε. (2017). Γεωμετρική τεκμηρίωση στο πλαίσιο ολοκληρωμένης διαγνωστικής μελέτης του αρχαίου ναού του Πυθίου Απόλλωνος στη Ρόδο. Μεταπτυχιακή εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων». (Συνεπιβλέποντα μέλη ΔΕΠ: Καθ. Α. Γεωργόπουλος, Καθ. Χ. Ιωαννίδης, Καθ. Α. Μοροπούλου).

παραγωγή τοπογραφικών προϊόντων για το σύνολο του μνημείου, στη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου με φωτοϋφή υψηλής ανάλυσης για τους κίονες καθώς και στη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του μνημείου ως σύνολο και στην παραγωγή τρισδιάστατων προϊόντων πιθανών προτάσεων σχετικά με την αποκατάστασή του (Εικόνα 35).

Πιο συγκεκριμένα, η τρισδιάστατη γεωμετρική τεκμηρίωση της υφιστάμενης κατάστασης του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα πραγματοποιήθηκε σε δύο χρονικές περιόδους όπως ορίζονταν στο πρόγραμμα με τη Εφορεία Αρχαιοτήτων Δωδεκανήσου. Η τεκμηρίωση υλοποιείται με τη συνδυασμένη χρήση τοπογραφικών, φωτογραμμετρικών τεχνικών και σαρώσεων με επίγειο σαρωτή laser, λόγω της πολυπλοκότητας του μνημείου, με την ύπαρξη υψηλών στοιχείων με σημαντικές λεπτομέρειες και φθορές (κίονες) και στοιχείων λεπτομερειών σε χαμηλό ύψος ή επί του εδάφους (βράχος, κρηπίδα κ.α.), που επιτείνεται από την ύπαρξη πυκνού δικτύου σκαλωσιών, που καλύπτουν όλο το ύψος των υψηλών στοιχείων του μνημείου και βρίσκονται σε μικρή απόσταση από αυτά. Συγκεκριμένα, οι τεχνικές που εφαρμόστηκαν περιλαμβάνουν τοπογραφικές μετρήσεις, σαρώσεις με επίγειο σαρωτή laser και πολυεικονική φωτογραμμετρική μέθοδο. Στην πρώτη φάση του προγράμματος, πραγματοποιήθηκαν τοπογραφικές μετρήσεις, τρισδιάστατη σάρωση του ναού και χρήση πολυεικονικής φωτογραμμετρικής μεθόδου σε έναν επιλεγμένο κίονα για να γίνει ανάπτυξη στη συνέχεια του συστήματος ΓΣΠ. Τη δεύτερη χρονική περίοδο, πραγματοποιήθηκαν τοπογραφικές μετρήσεις και εφαρμογή φωτογραμμετρικών τεχνικών για το σύνολο του ναού.

Αρχικά, ιδρύθηκε δίκτυο πολυγωνομετρικό με τέσσερις (4) στάσεις, περιμετρικά του μνημείου. Οι τοπογραφικές εργασίες έγιναν με χρήση γεωδαιτικού σταθμού (Total Station) TOPCON GPT-3000. Επιλέχθηκαν οι θέσεις των στάσεων λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος και το σχήμα του μνημείου και με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η πλήρης κάλυψη του αντικειμένου προς αποτύπωση, να υπάρχει αμοιβαία ορατότητα κάθε στάσης από τουλάχιστον δύο άλλες και να εδράζεται σωστά ο γεωδαιτικός σταθμός ως προς την κλίση του εδάφους²²². Το μέγεθος του δικτύου ήταν περιλάμβανε πλευρά μέγιστου μήκους περίπου 77 m και ελάχιστου περίπου 37 m.

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις χαρακτηριστικών σημείων του μνημείου, μετρήσεις προσημασμένων στόχων για τις επίγειες σαρώσεις με laser και μετρήσεις προσημασμένων φωτοσταθερών σημείων, που τοποθετήθηκαν σε όλες τις επιφάνειες του επιλεγμένου κίονα για την εφαρμογή της φωτογραμμετρικής διαδικασίας. Με το γεωδαιτικό σταθμό, μετρήθηκαν και σημεία που υλοποιούν οριζόντιες τομές στο μέσο περίπου κάθε σπόνδυλου των κίωνων και σημεία που υλοποιούν κατακόρυφες τομές στο μέσο περίπου κάθε σπόνδυλου με διεύθυνση ανατολή – δύση. Για τη σάρωση του μνημείου, επιλέχθηκε ο σαρωτή laser ScanStation2 της Leica. Πραγματοποιήθηκαν σαρώσεις από τρεις διαφορετικές θέσεις του επίγειου σαρωτή. Οι διαδοχικές σαρώσεις πραγματοποιήθηκαν ώστε να έχουν επαρκή επικάλυψη μεταξύ τους για την μέγιστη καταγραφή του μνημείου. Η πυκνότητα σάρωσης ορίστηκε να είναι 3 mm στα 20 m, από όλες τις θέσεις του σαρωτή και η τελική πυκνότητα του νέφους κυμαινόταν μεταξύ 3 mm και 4 mm (ανάλογα με την απόσταση κάθε τμήματος του μνημείου από τον σαρωτή και της επικάλυψης κάθε σάρωσης). Η συνένωση - γεωαναφορά των επί μέρους νεφών σημείων πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Cyclone της Leica και οι τεχνικές που εφαρμόστηκαν για τη συνένωση - γεωαναφορά σε ενιαίο αρχείο ήταν οι target-to-target registration και target-to-total station registration.

Η τρισδιάστατη τεκμηρίωση με φωτογραμμετρικές μεθόδους έγινε σε ένα κίονα, στο μερικώς ανακατασκευασμένο τμήμα του ναού. Οι διαστάσεις του είναι 7.43m σε ύψος με διάμετρο βάσης 1.78 m και διάμετρο στο ανώτερο τμήμα του 1.50 m. Για τη λήψη εικόνων επιλέχθηκε η ψηφιακή μηχανή Canon EOS-1Ds Mark III, ένα φακό Canon EF, όπου ανάλογα με το αντικείμενο προς αποτύπωση επιλέχθηκε σταθερό εστιακό μήκος 16 mm (για τις γενικές εικόνες) και σταθερό εστιακό μήκος 35 mm (για τις εικόνες λεπτομερειών). Η διαδικασία της συλλογής των στοιχείων, έγινε με δεδομένο ότι η μέθοδος που επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί για την τρισδιάστατη φωτορεαλιστική απεικόνιση του κίονα ήταν η SfM (Structure from Motion). Συνολικά ελήφθησαν 640 εικόνες για τη δημιουργία του τρισδιάστατου πολυεικονικού μοντέλου. Οι αποστάσεις για τις λήψεις ήταν περίπου 1-1.5 m στα τμήματα των σπονδύλων και 3-3.5 m στην κορυφή του κίονα. Το παραγόμενο τρισδιάστατο νέφος σημείων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Photoscan Agisoft®.

Στη συνέχεια, ο συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων (γεωδαιτική αποτύπωση, αποτύπωση με σαρωτή laser και πολυεικονική μέθοδος) έδωσε ως προϊόντα γεωμετρικής τεκμηρίωσης, υψηλής ακρίβειας τρισδιάστατα νέφη σημείων για το σύνολο του ναού και τρισδιάστατα νέφη σημείων μαζί με την πληροφορία της υψής για τον κίονα που είχε επιλεγεί. Για το σύνολο του ναού παράχθηκαν δισδιάστατα προϊόντα (τοπογραφικά σχέδια όψεων του ναού και σχέδια τομών οριζόντιων και κατακόρυφων). Επίσης, από τα αποτελέσματα από την γεωμετρική τεκμηρίωση με υψή στις όψεις του επιλεγμένου κίονα, παράχθηκαν ορθοεικόνοες για κάθε όψη του κίονα, κάτι που ήταν απαραίτητο για τη δημιουργία θεματικών χαρτών σε επόμενο βήμα σε περιβάλλον ΓΣΠ, όπου θα εμπεριέχονταν πληροφορίες σχετικά με τα αποτελέσματα από το χαρακτηρισμό των δομικών υλικών του καθώς και την παθολογία του.

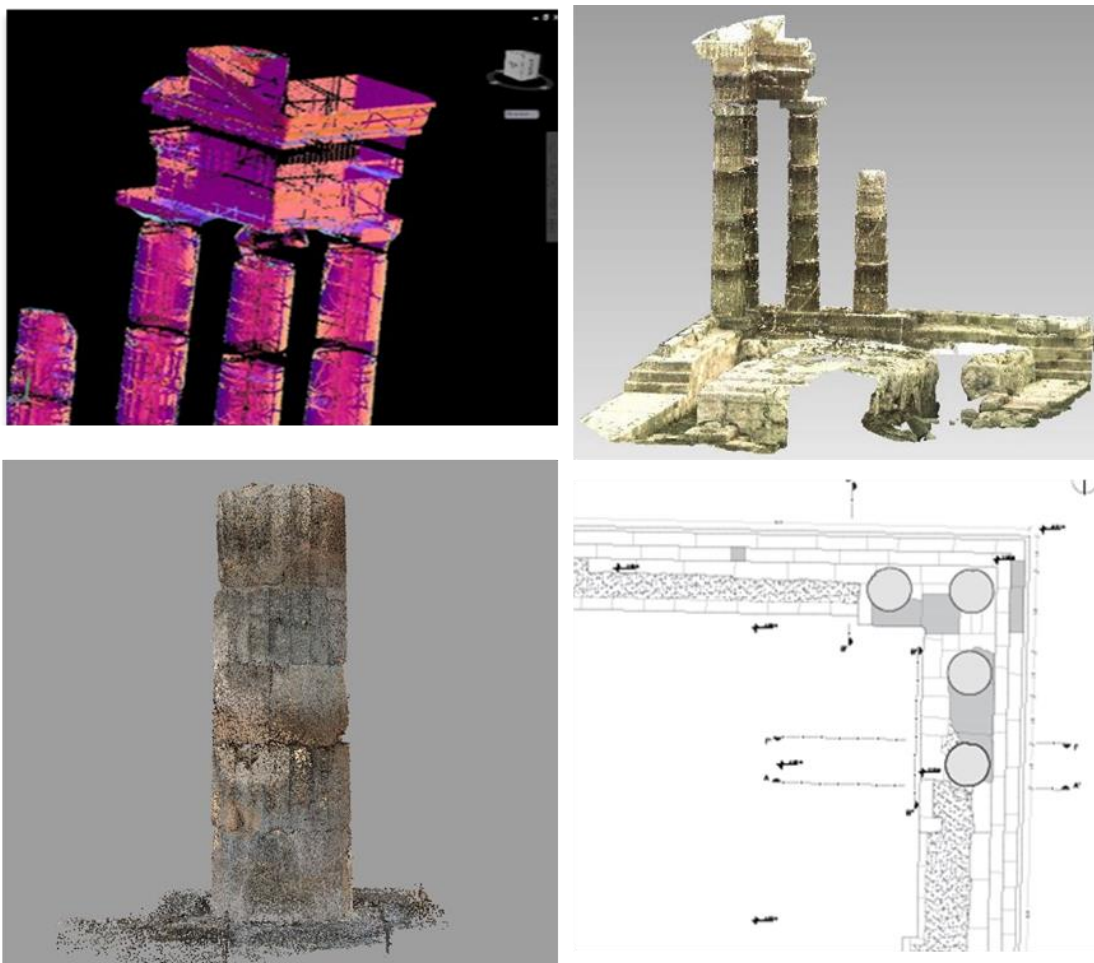
Για την αποφυγή παραμορφώσεων στην κλίμακα οριζοντιογραφικής απεικόνισης του μνημείου στο σύστημα ΕΓΣΑ 87, που είναι αυξημένες λόγω της θέσης του μνημείου ως προς την αφετηρία του συστήματος αναφοράς, η γεωμετρική τεκμηρίωση και απεικόνιση του μνημείου έγινε σε δύο βήματα. Αρχικά η επίλυση του δικτύου έγινε σε τοπικό σύστημα συντεταγμένων. Τα αποτελέσματα των επιμέρους μετρήσεων, αποδόθηκαν στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων. Στη συνέχεια, έγινε η ένταξη του τοπικού συστήματος συντεταγμένων στο κρατικό σύστημα ΕΓΣΑ 87, μέσω της εφαρμογής των ελάχιστων δεσμεύσεων, δηλαδή με χρήση μιας στάσης του πολυγωνομετρικού δικτύου (π.χ. Σ1) για μετάθεση και της διεύθυνσης του άξονα Χ για στροφή μεταξύ των δύο συστημάτων. Έτσι, αφενός το μνημείο γεωαναφέρεται ως προς το κρατικό σύστημα ΕΓΣΑ 87, αφετέρου δεν εφαρμόζεται στην απεικόνιση του μνημείου η κλίμακα του ΕΓΣΑ 87 ώστε να απεικονίζονται χωρίς 'παραμόρφωση' οι διαστάσεις του.

Στη δεύτερη φάση μετρήσεων²²³, οι τοπογραφικές μετρήσεις έγιναν με χρήση γεωδαιτικού σταθμού (Total Station) TOPCON GPT-3000 και περιλαμβάνουν την ίδρυση πολυγωνομετρικού δικτύου περιμετρικά και στο εσωτερικού του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα, που αποτελείται από επτά (7) στάσεις. Πραγματοποιήθηκε η μέτρηση χαρακτηριστικών σημείων του μνημείου και η μέτρηση προσημασμένων φωτοσταθερών

²²³ Τεχνική έκθεση ερευνητικού προγράμματος «Τρισδιάστατη τεκμηρίωση της υφιστάμενης κατάστασης του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην αρχαία ακρόπολη της Ρόδου και των εναλλακτικών προτάσεων για την αποκατάσταση του»

σημείων, που τοποθετήθηκαν σε όλες τις επιφάνειες του μνημείου, για την εφαρμογή της φωτογραμμετρικής διαδικασίας. Η φωτογραφική κάλυψη του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα έγινε με συνδυασμό επίγειων και εναέριων λήψεων. Συγκεκριμένα, ελήφθησαν επίγειες εικόνες με την SLR φωτομηχανή Canon EOS-1D Mark III, μεγέθους αισθητήρα 28.7 x 18.7 mm, ανάλυσης 10 Μpixels (3888 x 2592 pixels), με χρήση φακού 24 mm. Η φωτογράφιση των διαφόρων τμημάτων του μνημείου έγινε από κοντινή απόσταση (για τους κίονες χρησιμοποιήθηκαν τα 'πατώματα' μεταξύ των σκαλωσιών) και ελήφθησαν συνολικά 4.968 εικόνες με μεγάλη επικάλυψη και με ποικίλες γωνίες λήψης. Για τις εναέριες λήψεις, έγινε χρήση του UAV Phantom 4 Pro σε πολύ χαμηλό ύψος πτήσης, 5-7 m από τις επιφάνειες του μνημείου. Ελήφθησαν συνολικά 1.495 εικόνες από αέρος, που κάλυπταν όλη την επιφάνεια του Ναού.

Για την παραγωγή του πλήρους τρισδιάστατου μοντέλου με υφή του μνημείου, εφαρμόστηκε η πολυεικονική (MVS) μέθοδος Structure-from-Motion (SfM) που συνδυάζει την εφαρμογή αλγορίθμων φωτογραμμετρικών και όρασης υπολογιστών για τη δημιουργία 3D μοντέλων με χρήση μεγάλου αριθμού εικόνων του μνημείου υπό εξέταση, οι οποίες έχουν ληφθεί από διαφορετικές οπτικές γωνίες και από διαφορετικές θέσεις, με στόχο την



Εικόνα 35: Διαδικασία Γεωμετρικής τεκμηρίωσης; Τρισδιάστατο νέφος σημείων επίγειων σαρώσεων (πάνω); αραίο νέφος σημείων από φωτογραμμετρικές τεχνικές στον επιλεγμένο κίονα στο μερικώς ανακατασκευασμένο τμήμα του ναού; δισδιάστατο γραμμικό σχέδιο οψοτομής του ναού²²²

3.2.1.4 Διαγνωστική Μελέτη Δομικών Υλικών και Φθοράς

Η Διαγνωστική Μελέτη πραγματοποιήθηκε από το εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «Προστασία και ανάδειξη αρχαίας Ακρόπολης Ρόδου». Αρχικά πραγματοποιήθηκαν μακροσκοπικές παρατηρήσεις για την επιλογή των κατάλληλων περιοχών εφαρμογής των μη καταστρεπτικών τεχνικών. Πιο συγκεκριμένα, για την καταγραφή και την ανάλυση του μνημείου, οι μη καταστρεπτικές και μη επεμβατικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για την αναγνώριση των τύπων φθοράς, η Θερμογραφία Υπερύθρου για να τον εντοπισμό φθορών και τον έλεγχο των επιφανειακών θερμοκρασιακών διαφοροποιήσεων, η κρουσιμέτρηση για τον υπολογισμό της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής των δομικών λίθων και το Γεωραντάρ για την εκτίμηση της εσωτερικής δομής των κίωνων. Παράλληλα με τις μετρήσεις πραγματοποιήθηκε και μέτρηση της υγρασίας των κίωνων καθ' ύψος και η μέτρηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

Για την καταγραφή των δομικών υλικών και τη διάγνωση της φθοράς, εφαρμόστηκε το μικροσκόπιο οπτικών ινών I-score –Moritex σε διάφορες μεγεθύνσεις (x30, x50, x120) σε αντιπροσωπευτικές περιοχές. Η θερμοκάμερα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η θερμογραφική συσκευή ThermoCAM B200 της Flir Systems, με ανιχνευτή ευαίσθητο σε μήκος κύματος 7,5 – 13 μm και φακό 25° FOL18 για τις λήψεις από μικρή απόσταση και ένα 15° φακό για λήψεις από μεγάλες αποστάσεις²²⁴. Χρησιμοποιήθηκε ακόμη ένα φορητό θερμογρόμετρο (Flir, μοντέλο MR77) για τη βαθμονόμηση των ενδείξεων θερμοκρασίας της κάμερας υπέρυθρης ακτινοβολίας αλλά και για την αξιολόγηση των διακυμάνσεων της υγρασίας των υλικών με το ύψος. Το σύστημα γεωραντάρ (GPR) MALA Geoscience ProEx, με κεραία συχνότητας 1,6 GHz και 2,3 GHz, χρησιμοποιήθηκε για σαρώσεις. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με το λογισμικό επεξεργασίας δεδομένων MALA Geoscience Rad Explorer v.1.41. Επίσης, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, καταγράφηκαν και οι περιβαλλοντικές συνθήκες, υγρασίας και θερμοκρασίας. Οι τεχνικές αυτές εφαρμόστηκαν για την εκτίμηση της μορφολογίας των δομικών λίθων που απαρτίζουν το μνημείο και των φθορών, για την εκτίμηση της επιφανειακής θερμοκρασιακής διαφοροποίησης στο υπέρυθρο φάσμα σε επιλεγμένες περιοχές και επίσης για την αποτίμηση του τρόπου δόμησης των κίωνων μετά την αναστήλωση του Ραολίνι. Επίσης, μπορεί να γίνει αποτίμηση των παλαιότερων επεμβάσεων συντήρησης, και έλεγχος ασυμβατότητας μεταξύ των δομικών υλικών (αυθεντικών και αποκατάστασης).

3.2.1.5 Σεισμική Απόκριση μνημείου

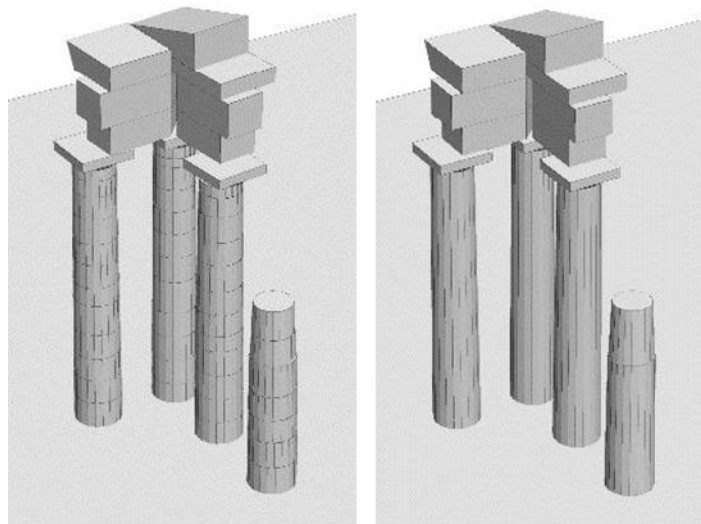
Τα αποτελέσματα για τη Σεισμική Απόκριση του μνημείου, πραγματοποιήθηκαν από το εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας, στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος

²²⁴ Κεραμίδας, Β. (2017) Διαγνωστική μελέτη του Ναού του Πυθίου Απόλλωνος στη Ρόδο. Πρόταση υλικών στερέωσης και αποκατάστασης. Μεταπτυχιακή εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων». (επιβλέπουσα: Καθ. Α. Μοροπούλου).

«Προστασία και ανάδειξη αρχαίας ακρόπολης Ρόδου». Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις της σεισμικής απόκρισης του μνημείου και αφορούν σε δύο φάσεις, στην υπάρχουσα κατάσταση διατήρησης του μνημείου και σε αναλύσεις που αφορούν σε αποκατεστημένο μνημείο.

Για το Ναό του Πυθίου Απόλλωνα, οι αναλύσεις της σεισμικής απόκρισης που αφορούν στην υπάρχουσα κατάσταση διατήρησης του μνημείου, βασίστηκαν σε προσομοίωμα, το οποίο κατασκευάστηκε σύμφωνα με τα δισδιάστατα σχέδια του μνημείου που προέκυψαν από την γεωμετρική τεκμηρίωση, απλοποιημένης όμως γεωμετρίας. Περιλαμβάνει τα βασικά στοιχεία για τη θέση και τις διαστάσεις των δομικών μελών, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη, οι βλάβες. Έγιναν επιλύσεις για δύο περιπτώσεις (Εικόνα 36): (i) πολυσπόνδουλους κίονες, για τους οποίους λήφθηκαν υπόψη οι σπόνδυλοι κάθε κίονα, χωρίς οποιαδήποτε σύνδεση μεταξύ τους και (ii) μονολιθικούς κίονες, στους οποίους οι σπόνδυλοι των κίωνων θεωρήθηκαν μονολιθικά συνδεδεμένοι μεταξύ τους λόγω του εσωτερικού πυρήνα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Επίσης όλες οι επιλύσεις έγιναν με τη Μέθοδο των Διακριτών Στοιχείων και συγκεκριμένα με χρήση του προγράμματος 3DEC²²⁵.

Ακόμη, εκτελέστηκαν αναλύσεις σεισμικής τρωτότητας στο ναού, με την εισαγωγή λεπτομερέστερης μοντελοποίησης του μερικώς ανακατασκευασμένου κίονα. Η δεύτερη σειρά αναλύσεων, έγινε πειραματικά με την θεώρηση ότι στην πρόταση αποκατάστασης, θα επιλεγθεί να διατηρηθούν όλα τα λίθινα τμήματα του κίονα (ιστορικά και αποκατάστασης), που θα συγκολλούνται με συμβατά κονιάματα και οπλισμό τιτανίου²²²

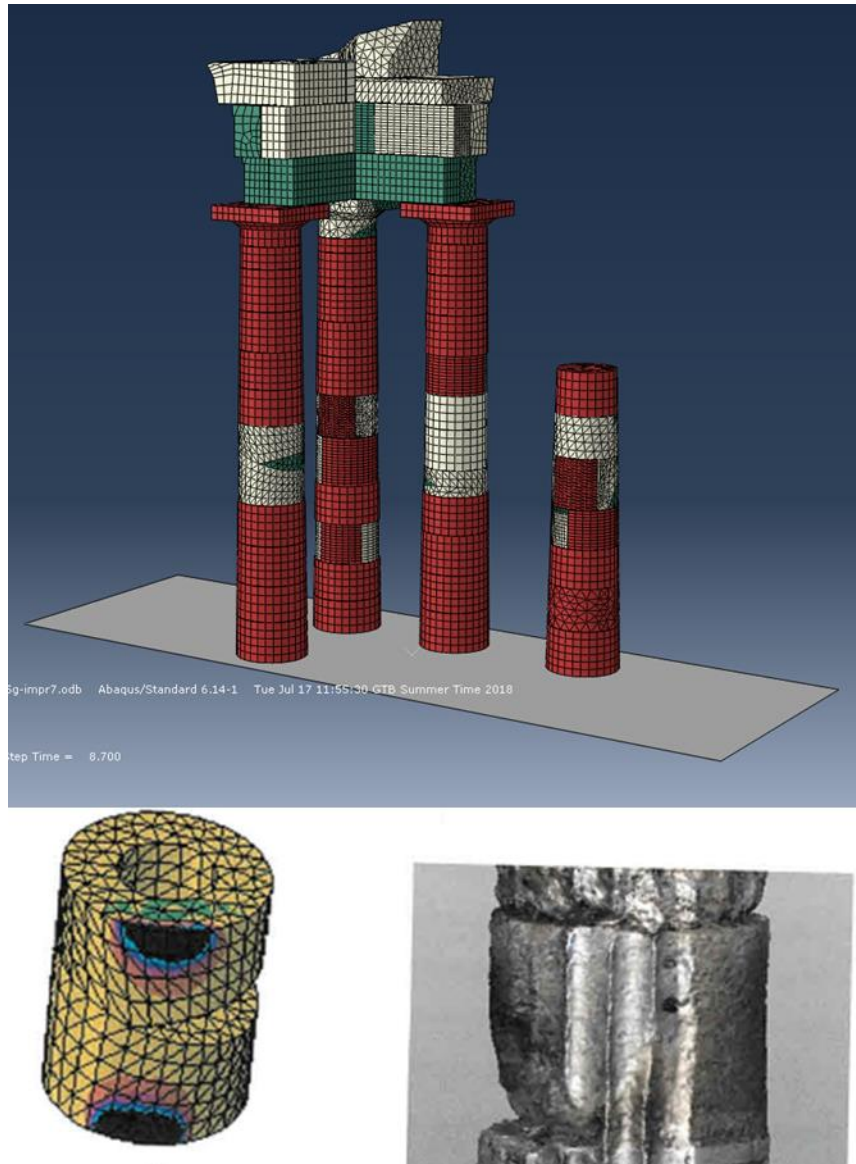


Εικόνα 36: Αριθμητικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις: (α) πολυσπόνδυλοι κίονες, (β) μονολιθικοί κίονες²²²

Όσον αφορά στις αναλύσεις του αποκατεστημένου μνημείου, η μοντελοποίηση βασίστηκε στο τρισδιάστατο μοντέλο της γεωμετρικής τεκμηρίωσης του ναού. Το κατάλληλα αραιωμένο τρισδιάστατο νέφος σημείων του ναού, έχοντας διατηρήσει όλες οι λεπτομέρειες,

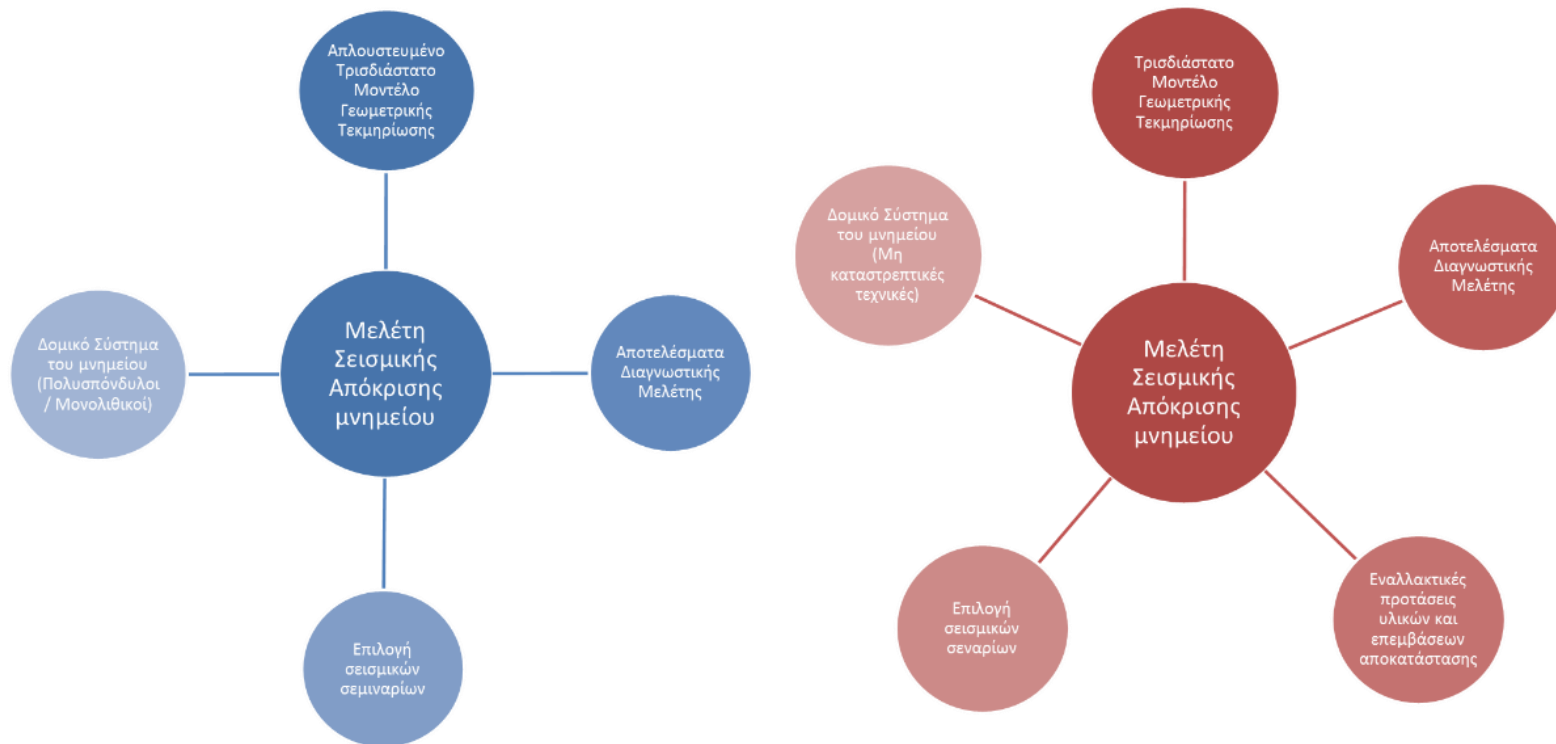
²²⁵ Τεχνική έκθεση ερευνητικού προγράμματος «Ανάλυση σεισμικής συμπεριφοράς και διερεύνηση εναλλακτικών προτάσεων δομητικής αποκατάστασης του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου»

δόθηκε από το εργαστήριο της φωτογραμμετρίας. Η μοντελοποίηση του αποκατεστημένου μοντέλου πραγματοποιήθηκε σε κατάλληλο λογισμικό όπου ήταν εφικτή η παραμετροποίηση των πεπερασμένων στοιχείων για την εν συνεχεία ανάλυση της σεισμικής απόκρισης του αποκατεστημένου μοντέλου (Εικόνα 37).



Εικόνα 37: Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων αποκατεστημένου μοντέλου του ναού; συσχέτιση αποτελεσμάτων σεισμικής απόκρισης αποκατεστημένου σπονδύλου (περιοχές υπέρβασης θλιπτικής αντοχής λόγω διατμητικής καταπόνησης που δηλώνουν ότι θα συμβεί απότμηση της ακμής του σπονδύλου; υφιστάμενες αποτμήσεις ακμών σε αρχαίους σπονδύλους του μνημείου (γεωμετρική τεκμηρίωση)²²⁵

Τα δεδομένα εισαγωγής για κάθε μία από τις αναλύσεις σεισμικής απόκρισης του μνημείου αποτυπώνονται σε δύο διαγράμματα. Είναι εμφανές ότι ιδιαίτερα στην δεύτερη προσέγγιση, η ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση του μνημείου αποτελεί ένα κρίσιμο υπολογιστικό παράγοντα ως προς την μοντελοποίηση του μνημείου, όσο γίνεται με ενσωμάτωση πραγματικών μετρήσιμων δεδομένων, και κυρίως στην περίπτωση των ιστορικών μελών του μνημείου της αρχικής φάσης κατασκευής (Εικόνα 38).



Εικόνα 38: Δεδομένα εισόδου για τη μελέτη σεισμικής απόκρισης μνημείου (α) υπάρχουσας κατάστασης και (β) αποκατεστημένο μοντέλο

3.2.2. Αποτελέσματα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης – Προϊόντα

3.2.2.1 Δεδομένα Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης

Η δημιουργία της τρισδιάστατης επιφάνειας της υφιστάμενης κατάστασης του μνημείου έγινε με συνδυασμό των νέφων των σημείων που είχαν προκύψει από τις επίγειες σαρώσεις laser και από την πυκνή συνταύτιση των εικόνων, με χρήση του λογισμικού Geomagic. Πιο συγκεκριμένα, για την δημιουργία του πλήρους τρισδιάστατου μοντέλου με υφή του μνημείου, από τις φωτογραμμετρικές τεχνικές, εφαρμόστηκε η πολυεικονική (MVS) μέθοδος Structure-from-Motion (SfM).

Η μέθοδος αυτή, συνδυάζει την εφαρμογή αλγορίθμων φωτογραμμετρικών και όρασης υπολογιστών για τη δημιουργία 3D μοντέλων με χρήση μεγάλου αριθμού εικόνων ενός αντικειμένου, οι οποίες έχουν ληφθεί από διαφορετικές οπτικές γωνίες και από διαφορετικές θέσεις, με στόχο την τρισδιάστατη ανακατασκευή του. Οι εικόνες μπορεί να ληφθούν με μία ή περισσότερες φωτομηχανές, γνωστού ή άγνωστου εσωτερικού προσανατολισμού. Η διαδικασία που εφαρμόστηκε, περιλαμβάνει 3 βήματα.

1. Ταυτόχρονος προσδιορισμός του εσωτερικού και σχετικού προσανατολισμού των εικόνων (με όρους συμβατικής φωτογραμμετρίας) και δημιουργία αραιού νέφους σημείων, με εφαρμογή της μεθόδου Structure from Motion (SfM). Οι θέσεις των εικόνων και η γεωμετρία του αντικειμένου υπολογίζονται μέσω αυτόματου εντοπισμού κοινών χαρακτηριστικών σημείων (σημείων σύνδεσης) αλληλεπικαλυπτόμενων εικόνων. Για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών σημείων χρησιμοποιείται κάποια παραλλαγή του αλγορίθμου SURF, που αποτελεί εξέλιξη του πιο αργού αλγορίθμου SIFT. Για κάθε σημείο προκύπτει ένα τοπικός δείκτης (descriptor) ο οποίος βασίζεται στη 'γειτονιά' κάθε σημείου. Για τον προσδιορισμό εσφαλμένων ομολογιών και τη βελτίωση του επιπέδου επιτυχίας της μεθόδου, εφαρμόζεται ο επαναληπτικός αλγόριθμος RANSAC, ενώ προϋποτίθεται η ύπαρξη μεγάλων επικαλύψεων μεταξύ των εικόνων.

2. Πύκνωση του νέφους σημείων, μέσω διαδικασίας πυκνής συνταύτισης εικόνας. Εφαρμόζονται αλγόριθμοι της όρασης υπολογιστών (Semi-Global Matching, Mutual Information, κ.α.) για τον υπολογισμό των 3D συντεταγμένων χώρου για κάθε pixel εικόνας και όχι μόνο των χαρακτηριστικών σημείων. Έτσι, προκύπτει ένα ιδιαίτερα πυκνό νέφος σημείων, που καλύπτει όλα τα τμήματα του αντικειμένου που απεικονίζονται σε τουλάχιστον τρεις εικόνες.

3. Παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου του μνημείου ως συνεχής επιφάνεια, με τη μορφή τριγώνων (TIN).

Σε επόμενο στάδιο αποδόθηκε υφή στην τρισδιάστατη επιφάνεια (*Εικόνα 39*), με χρήση του λογισμικού Agisoft PhotoScan μέσω των ήδη προσανατολισμένων (από τη διαδικασία του SfM) εικόνων. Για τη σωστή απόδοση της υφής έγινε κατάλληλη, χειροκίνητη, επιλογή των (τμημάτων των) εικόνων που απέδιδαν γεωμετρικά και ραδιομετρικά καλύτερα κάθε περιοχή του τρισδιάστατου μοντέλου.



Εικόνα 39: Βορειοανατολική άποψη από το τρισδιάστατο μοντέλο υφιστάμενης κατάστασης του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα²²³

Το τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας του 3D μοντέλου περιελάμβανε την εξαγωγή ορθοεικόνων στο λογισμικό Agisoft PhotoScan, με προβολή του 3D μοντέλου σε οριζόμενο (για κάθε ορθοεικόνα) επίπεδο. Έτσι, προέκυψαν τα σχέδια της από αέρος κάτοψης, των όψεων, των κατακόρυφων και οριζόντιων τομών του μνημείου. Η τελική διαμόρφωση των σχεδίων έγινε στο λογισμικό AutoCAD (Εικόνα 40).



Εικόνα 40: Ανατολική όψη του ναού. Εικονιστικό προϊόν γεωμετρικής τεκμηρίωσης²²³

Τα αποτελέσματα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης με υφή των όψεων του μνημείου ήταν απαραίτητα για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών του επιλεγμένου κίονα μέσω ΓΣΠ (για τη διαχείριση πληροφοριών από την διαγνωστική μελέτη), ενώ το τρισδιάστατο μοντέλο ήταν απαραίτητο για τις αναλύσεις σεισμικής απόκρισης του μνημείου.

3.2.2.2 Δεδομένα χαρακτηρισμού δομικών υλικών και διάγνωσης της φθοράς

Στο σύνολο του ο ναός, αποτελείται από δομικά υλικά διαφορετικών ιστορικών φάσεων (αυθεντικά, ιταλικής αναστήλωσης, νεότερων επεμβάσεων), διαφορετικής προέλευσης και έχοντας διαφορετικά φυσικοχημικά και μηχανικά χαρακτηριστικά. Για να ολοκληρωθεί ο χαρακτηρισμός των δομικών υλικών που συνιστούν το μνημείο, προηγήθηκε βιβλιογραφική έρευνα καθώς και μακροσκοπικές παρατηρήσεις όπου έγινε μια αρχική ταξινόμηση των δομικών υλικών. Στη συνέχεια, η ταξινόμηση αυτή επικυρώθηκε βάσει των αποτελεσμάτων των μη καταστρεπτικών τεχνικών και ενόργανων εργαστηριακών τεχνικών κατόπιν δειγματοληψίας. Η τελική ταξινόμησή τους έγινε βάσει των φυσικοχημικών και μηχανικών ιδιοτήτων τους.

Τα δομικά υλικά του μνημείου αποτελούν κυρίως ασβεστόλιθοι (ασβεστώδεις κογχυλιάτες λίθοι, εύθρυπτοι). Ο αυθεντικός λίθος είναι ένας τοπικός συμπαγής υπόλευκος ασβεστόλιθος. Η αυθεντική αρχιτεκτονική επιφάνεια (όπου σώζεται), είναι από ασβεστοκονίαμα. Τα κονιάματα που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενες επεμβάσεις είναι τσιμεντιτικά και έχουν χρησιμοποιηθεί για τη συμπλήρωση της δομικής γεωμετρίας των μελών του μνημείου. Επίσης, το σκυρόδεμα που τοποθετήθηκε στον πυρήνα των κίωνων, είναι ορατό σε αρκετές περιοχές, ενώ τα δομικά υλικά που το περιβάλλουν στις περιοχές αυτές έχουν κατακερματιστεί. Η χρήση του σκυροδέματος, επιτείνει το ρυθμό φθοράς των λίθων, φέρει μεγάλη ποσότητα διαλυτών αλάτων που στη συνέχεια εισάγονται στους λίθους. Ακόμη, η μηχανική στήριξη των λίθων (αυθεντικού και ιταλικής αναστήλωσης), έγινε με χρήση τσιμεντοκονιάματος και με μεταλλικούς συνδέσμους. Οι σύνδεσμοι αυτοί έχουν οξειδωθεί και διογκωθεί με αποτέλεσμα την ανάπτυξη μηχανικών τάσεων στους λίθους και την επιπρόσθετη φθορά τους. Τέλος, για την στήριξη του επιστυλίου, χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικά πλέγματα, τα οποία αφού οξειδώθηκαν και διογκώθηκαν, προκάλεσαν ρηγματώσεις στην αυθεντική αρχιτεκτονική επιφάνεια.

Συνολικά, δεν παρατηρείται η ίδια αναλογία αυθεντικού λίθου και υλικών αποκατάστασης σε όλους τους κίονες. Ο αυθεντικός λίθος είναι σε καλύτερη κατάσταση από τον λίθο αποκατάστασης, ο οποίος εμφανίζεται αποσαθρωμένος και ρηγματωμένος. Ακόμη, σε όλους τους λίθους των σπονδύλων παρατηρούνται κάθετες και οριζόντιες ρωγμές.

Όσον αφορά στους λίθους των αναβαθμών, παρατηρούνται έντονες ρηγματώσεις στις ακμές τους ενώ σε όλες τους λίθους εμφανίζεται έντονη βιοδιάβρωση. Η ύπαρξη του μηχανισμού τριχοειδούς αναρρίχησης της υγρασίας από τους αναβαθμούς του ναού στους κίονες, ο οποίος επιταχύνει την αποσάθρωση των σπονδύλων που εδράζονται στη βάση κάθε κίονα και επιταχύνει πιθανή μηχανική αστάθεια των κίωνων, επιβεβαιώνεται μέσα από τα αποτελέσματα λήψης θερμογραφημάτων στην περιοχή αυτή. Πιο συγκεκριμένα, από τα αποτελέσματα των λήψεων θερμογραφημάτων σε όλους τους κίονες, διαπιστώνεται θερμική ασυμβατότητα των δομικών υλικών. Ο λίθος αποκατάστασης παρουσιάζει υψηλότερη θερμοκρασία από τον αυθεντικό. Περιοχές με παρουσία σκυροδέματος, παρουσιάζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες. Αυτή η ανισότροπη κατανομή θερμικής ενέργειας στο σύνολο των κίωνων, η οποία ενισχύεται από τη σκίαση της σκαλωσιάς, προκαλεί επιπρόσθετες φθορές μέσω της ανάπτυξης μηχανικών τάσεων και μπορεί να οδηγήσουν σε αστοχίες²²⁴.

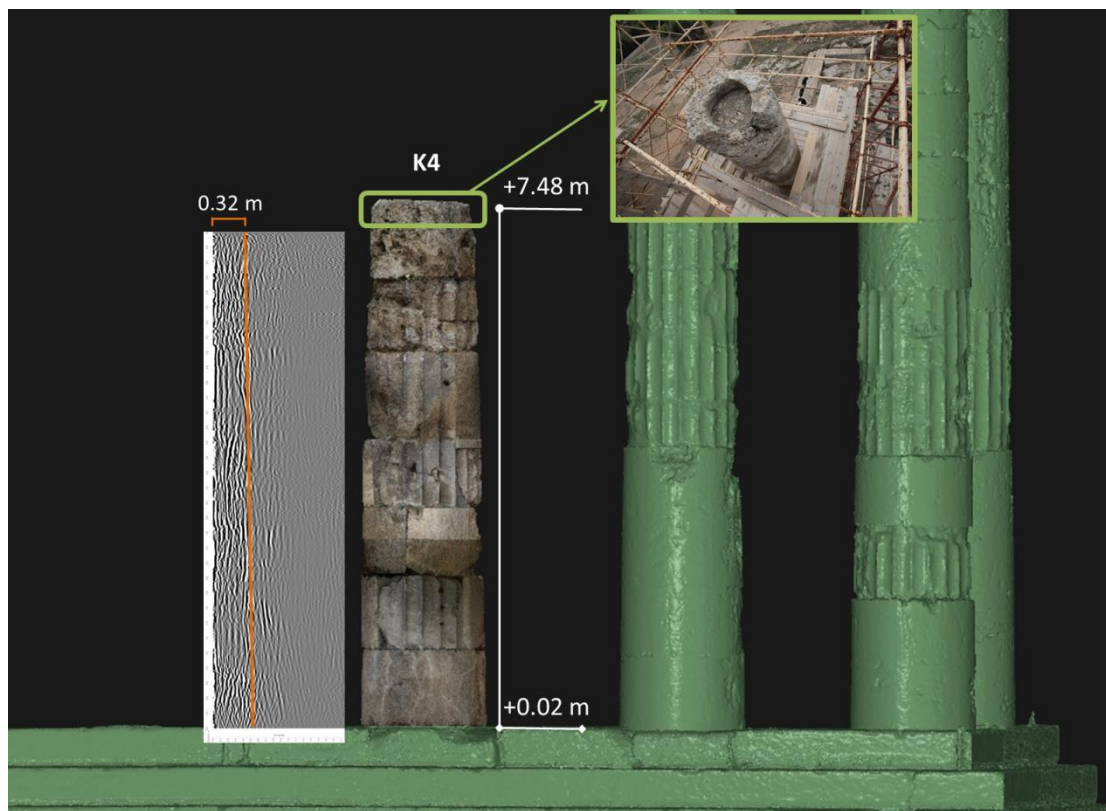
3.2.2.3 Συσχέτιση αποτελεσμάτων μη καταστρεπτικών τεχνικών και δεδομένων γεωμετρικής τεκμηρίωσης

Είναι γνωστό ότι τα φαινόμενα φθοράς εκδηλώνονται στη διεπιφάνεια των δομικών υλικών όπως επίσης και μεταξύ των υλικών με το περιβάλλον. Τόσο σε επίπεδο μακροκλίμακας όσο και σε μικροκλίμακα, για τα επίπεδα μελέτης της φθοράς, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη δεδομένα όπως είναι τα αποτελέσματα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, που περιλαμβάνουν τη θέση και τον προσανατολισμό κάθε δομικού στοιχείου στο χώρο. Πιο συγκεκριμένα, μέσα από τη διαχείριση των αποτελεσμάτων των μη καταστροφικών τεχνικών και των προϊόντων της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, ποιοτικά αλλά και ποσοτικά δεδομένα μπορούν να προκύψουν και να οδηγήσουν σε ασφαλή συμπεράσματα σε σχέση με στην εκτίμηση της υπάρχουσας κατάσταση διατήρησης του

μνημείου. Μέσα από τη συσχέτιση των αποτελεσμάτων των μη καταστρεπτικών τεχνικών με τα αποτελέσματα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, μπορεί να καταγραφεί η θέση και ο προσανατολισμός των δομικών υλικών που απαρτίζουν το μνημείο. Χρήσιμα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από τις πληροφορίες αυτές, κατά τη διάρκεια της διαγνωστικής μελέτης, τα οποία και λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό των επεμβάσεων συντήρησης, έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η αειφορία της κατασκευής.

Στην περίπτωση του ναού του Απόλλωνα, οι επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την αναστήλωση του, ήταν πολύ εκτεταμένες. Εκτός από τον ιστορικό λίθο, χρησιμοποιήθηκε λίθος αποκατάστασης, για να ολοκληρωθούν δομικά οι σπόνδυλοι και να τοποθετηθεί ο θριγκός και το αέτωμα (στους τρεις από τους τέσσερις κίονες). Η χρήση διαφορετικών υλικών στις επεμβάσεις που έχουν γίνει στο μνημείο, διαφορετικών φυσικοχημικών και μηχανικών χαρακτηριστικών, έχει προκαλέσει ανισοτροπία στη δομή του μνημείου, καθιστώντας το ευάλωτο σε αρκετούς μηχανικούς φθοράς, τόσο εξωγενείς όσο και ενδογενείς.

Για την εκτίμηση της μορφολογίας και στους τέσσερις κίονες του ναού, εφαρμόστηκε η μη καταστρεπτική τεχνική του γεωραντάρ. Για τον κίονα που είναι μερικώς ανακατασκευασμένος, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι το μέσο πάχος αυθεντικού υλικού σε όλους τους σπονδύλους παραμένει ίδιο και είναι περίπου 0.32m. Συνολικά υλοποιήθηκαν 7 κατακόρυφες σαρώσεις και το αποτέλεσμα υποδεικνύει ότι σε όλους τους κίονες, το μέσο πάχος των δομικών υλικών που αποτελούν το μανδύα στη δομή κάθε κίονα, είναι 0.32 m (*Εικόνα 41*). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διασκόπηση με γεωραντάρ, στη συνέχεια συσχετίστηκαν με δεδομένα που είχαν προκύψει από την ιστορική και αρχιτεκτονική μελέτη του μνημείου και επιβεβαίωσαν την ιστορική τεκμηρίωση σε σχέση με την αναστήλωση που είχε πραγματοποιηθεί από την Ιταλική Αρχαιολογική Σχολή. Είναι φανερό, ότι κατά τη διάρκεια των αναστηλωτικών εργασιών, οι αρχαίοι σπόνδυλοι απολαξέυτηκαν εσωτερικά και διαμορφώθηκε πυρήνας για να υλοποιηθεί η χύτευση σκυροδέματος στον εσωτερικό πυρήνα όλων των κίωνων.



Εικόνα 41: Αποτελέσματα σαρώσεων με γεωραντάρ, που υποδεικνύουν το μέσο πάχος όλων των λαξευμένων εσωτερικά λίθινων σπονδύλων

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η συσχέτιση των αποτελεσμάτων της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών, στην περίπτωση του αυθεντικού λίθου και του λίθου αποκατάστασης, που είναι εκτεθειμένοι και οι δύο στους ίδιους εξωγενείς παράγοντες (ίδιος προσανατολισμός, ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες - διεύθυνση του άνεμος κλπ). Στην Εικόνα 42, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών, σε δύο επιλεγμένους δομικούς λίθους (αυθεντικό και αποκατάστασης), στον μερικώς ανακατασκευασμένο κίονα, με προσανατολισμό ανατολικά. Παρατηρείται ότι ο αυθεντικός λίθος βρίσκεται σε πολύ κακή κατάσταση διατήρησης. Πρόκειται για λίθο χρώματος σκούρο πορτοκαλί, που δεν παρουσιάζει καμία συνεκτικότητα και εμφανίζεται αποσαθρωμένος. Εξωτερικά εμφανίζει μία πιο σκούρα απόχρωση και είναι εμφανής η βιοδιάβρωση με πράσινο χρώμα. Επίσης παρατηρούνται μικρορηγματώσεις και οπές. Όσον αφορά στο λίθο αποκατάστασης, πρόκειται για λίθο ίδιας απόχρωσης (σκούρος πορτοκαλί) με τον αυθεντικό. Εν αντιθέσει με τον αυθεντικό λίθο, εμφανίζεται συμπαγής και συνεκτικός. Εξωτερικά εμφανίζει και αυτός μια πιο σκούρα απόχρωση και είναι εμφανής η βιοδιάβρωση με μαύρο χρώμα. Επίσης και σε αυτό το λίθο παρατηρούνται μικρορηγματώσεις και οπές.

Από τα αποτελέσματα, προκύπτει ότι οι δύο λίθοι δεν βρίσκονται στην ίδια κατάσταση διατήρησης. Πάραυτα, εμφανίζουν τον ίδιο τύπο φθοράς (βιοδιάβρωση) και έχουν αποκτήσει και οι δύο μία σκούρα απόχρωση. Φαίνεται επίσης, ότι ενώ υπάρχει διαφοροποίηση στη μικροδομή κάθε λίθου, εμφανίζουν και οι δύο μικρορηγματώσεις και οπές.



Εικόνα 42: Συσχέτιση αποτελεσμάτων Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών σε επιλεγμένους δομικούς λίθους στον μερικώς ανακατασκευασμένο κίονα στην ανατολική όψη; Αυθεντικός λίθος (30x) και λίθος αποκατάστασης (120 x).

3.2.3 Διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης σε δισδιάστατο περιβάλλον ΓΣΠ

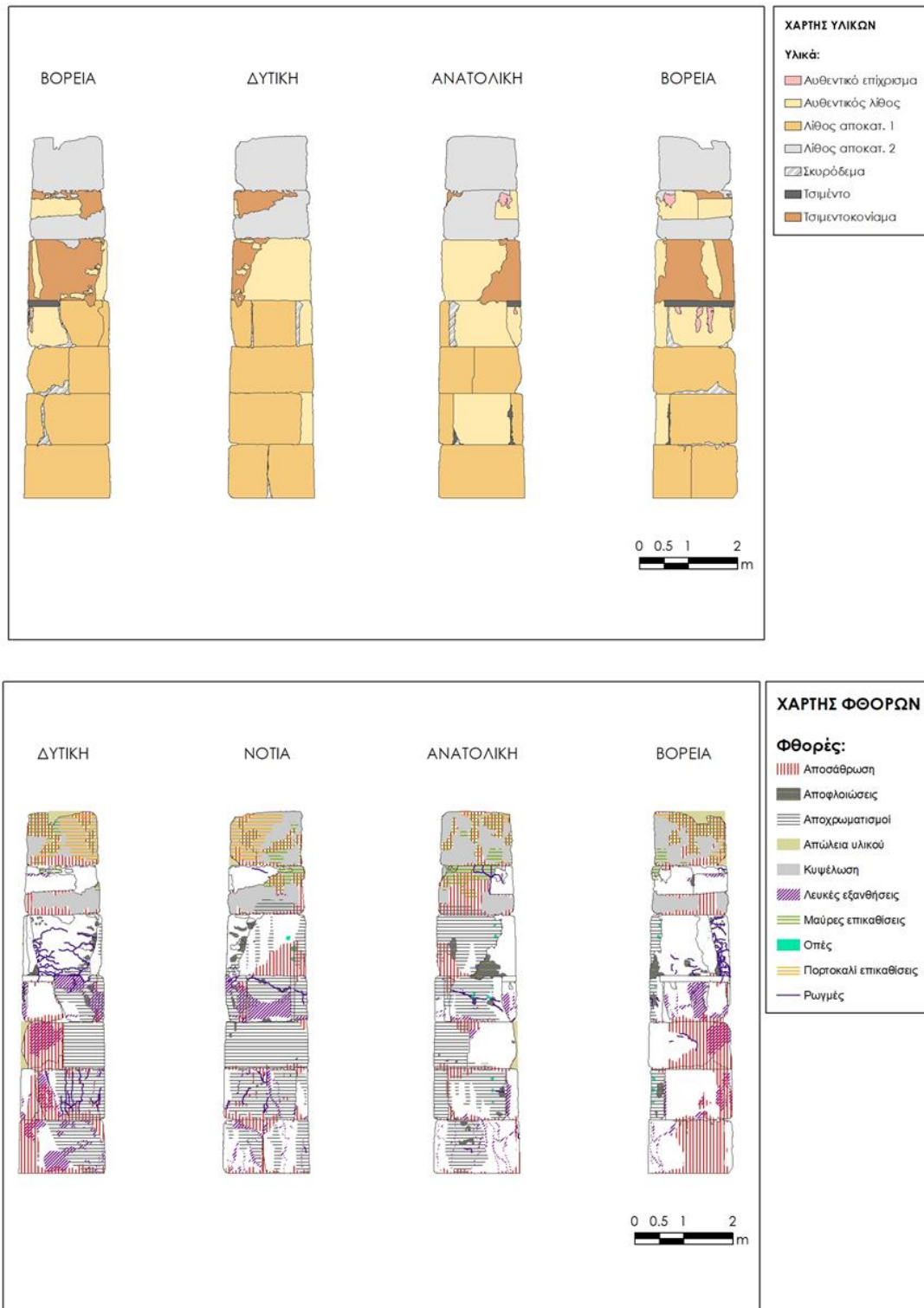
Στην παρούσα ενότητα, αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε με σκοπό το σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός συστήματος ΓΣΠ (δισδιάστατο), για τη διαχείριση, οπτικοποίηση, ταξινόμηση και συσχέτιση της διεπιστημονικής πληροφορίας που προέκυψε από την τεκμηρίωση και τη διαγνωστική διερεύνηση.

Η ανάπτυξη του ΣΓΠ για τον επιλεγμένο κίονα, αφορούσε στο λογικό σχεδιασμό της γεωβάσης δεδομένων, τη συγκέντρωση και την οργάνωση των διεπιστημονικών δεδομένων, τον φυσικό σχεδιασμό-υλοποίηση και την ενημέρωση των δομών, ενώ ακολούθησε η διαχείριση και ανάλυση των δεδομένων που είχαν εισαχθεί στο σύστημα. Για τον λογικό σχεδιασμό της γεωβάσης, θεωρήθηκε, ότι η διεπιστημονική τεκμηρίωση και η ολοκληρωμένη διάγνωση πραγματοποιήθηκαν πιλοτικά για ένα μεμονωμένο κίονα (μερικώς ανακατασκευασμένο τμήμα του ναού). Το εννοιολογικό-λογικό διάγραμμα σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο που περιέγραφε το μνημείο σε επιμέρους τμήματα εφαρμογής της διεπιστημονικής διερεύνησης. Το λογικό μοντέλο της γεωβάσης θα αποτελούταν από τέσσερα επίπεδα. Από το γενικό στο πιο ειδικό, αυτά θα περιλάμβαναν: το μνημείο, τα τμήματα του μνημείου που ενδιαφέρει η πιλοτική μελέτη, τους τύπους των ενσωματωμένων δεδομένων (με άλλα λόγια, τους τύπους των αποτελεσμάτων της διεπιστημονικής

τεκμηρίωσης), και τελικά τις κατηγορίες των χωρικών οντοτήτων που αντιστοιχούν σε κάθε έναν από τους τύπους τεκμηρίωσης.

Τα διεπιστημονικά δεδομένα περιλάμβαναν δεδομένα αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης (κυρίως γραμμικές χωρικές οντότητες), δεδομένα γεωμετρικής τεκμηρίωσης (ορθοεικόνες και ψηφιοποιημένες χωρικές οντότητες), περιβαλλοντικά δεδομένα που αφορούσαν σε πληροφορίες αφ' ενός κλιματικές και αφ' ετέρου μικροκλιματικές και δεδομένα της διαγνωστικής μελέτης, που αφορούσαν στα αποτελέσματα των μη καταστρεπτικών και των ενόργανων εργαστηριακών τεχνικών²²⁴ που εφαρμόστηκαν στα δείγματα για τον χαρακτηρισμό των υλικών (δεδομένα ορυκτολογικά, μικροδομής, φυσικοχημικά, χρωματογραφικά και διαλυτών αλάτων). Η υλοποίηση έγινε στο λογισμικό ArcGIS 10.5 και ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του λογικού διαγράμματος, στο ArcCatalog 10.5 του ArcGIS.

Δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων που περιλάμβανε όλα τα διεπιστημονικά αποτελέσματα. Θεματικοί χάρτες συντέθηκαν και αφορούσαν στις οικοδομικές φάσεις του μνημείου, στα δομικά υλικά, στους τύπους φθοράς, στην ένταση της φθοράς, στα θερμο-υγρομετρικά δεδομένα και στις μηχανικές αντοχές του μνημείου (Εικόνα 43). Ακόμη, υπολογίστηκαν, ποσοστά επί του συνόλου, σε σχέση με την παθολογία που παρουσίαζε ο κίονας, κατανεμημένο ανά όψη (ανατολική, δυτική, βόρεια, νότια). Έγινε υπολογισμός της συνολικής επιφάνειας όπου εμφανίζουν φθορές τα δομικά υλικά, δηλαδή όπου υπάρχουν αποκολλήσεις υλικού και των επιφανειών όπου η αρχική αρχιτεκτονική επιφάνεια, ανεξαρτήτως οικοδομικής φάσης, δεν έχει υποστεί απομείωση. Στο περιβάλλον ΓΣΠ, δημιουργήθηκαν θεματικά επίπεδα των πληροφοριών αυτών και συντέθηκαν θεματικοί χάρτες. Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα για την απομείωση του αυθεντικού υλικού κατανεμημένο ανά όψη ήταν 39.9% στη δυτική όψη, 34.1% στη νότια όψη, 33.8% στην ανατολική όψη και 42.9% στην βόρεια όψη αντίστοιχα²²². Μικρότερες τιμές αντιστοιχούσαν επομένως στα νότια και ανατολικά. Επομένως, εκτός από τη διαχείριση μέσω μιας βάσης δεδομένων όλων των αποτελεσμάτων και οπτικοποίηση αυτών σε δισδιάστατους θεματικούς χάρτες, επιπλέον δεδομένα που προκύπτουν από τη διασύνδεση και τη συσχέτιση αυτών μέσα από το περιβάλλον ΓΣΠ, οπτικοποιούνται μέσω των εργαλείων που παρέχει και αναλύονται για εξαγωγή σχετικών συμπερασμάτων.



Εικόνα 43: Θεματικός χάρτης Δομικών Υλικών και Θεματικός χάρτης Φθορών για το Ναό του Πύθιου Απόλλωνα²²²

3.2.4. Διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης στο μοντέλο αποκατάστασης σε τρισδιάστατο περιβάλλον 3d max

Στο παρόν κεφάλαιο διερευνάται επίσης η δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του ναού του Πυθίου Απόλλωνα, για να αποτελέσει το υπόβαθρο που θα οπτικοποιούνται οι εναλλακτικές προτάσεις αποκατάστασής του. Για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου του αναστηλωμένου ναού, έγιναν αρκετά «σενάρια» αποκατάστασης του, χωρίς όμως να διαφοροποιείται η γεωμετρία και η τρισδιάστατη απεικόνισή του. Η τελική διαμόρφωση του τρισδιάστατου μοντέλου του αποκατεστημένου Ναού επιλέχθηκε να συνάδει με το γεωμετρικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε από το Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, στη διαδικασία των αναλύσεων σεισμικής απόκρισης του μνημείου. Το τρισδιάστατο ψηφιακό περιβάλλον που αναπτύχθηκε το μοντέλο ήταν το 3dMAX της Autodesk.

Εξετάζεται λοιπόν, η διαχείριση των δεδομένων που προέρχονται από τις εναλλακτικές προτάσεις αποκατάστασης του μνημείου, όπου υλοποιείται, η οπτικοποίηση των δεδομένων αυτών σε μία τρισδιάστατη πλατφόρμα απεικόνισης. Τα δεδομένα προέρχονται από τα αποτελέσματα της ανάλυσης της σεισμικής απόκρισης του ναού, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία του μνημείου, τα ιστορικά δομικά υλικά που το απαρτίζουν και τις εναλλακτικές προτάσεις υλικών και επεμβάσεων αποκατάστασης του. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύσσεται το μοντέλο του αποκατεστημένου μνημείου σε τρισδιάστατο περιβάλλον πληροφοριών, ενσωματώνοντας τα αποτελέσματα των προτάσεων των δομικών υλικών αποκατάστασης, διατηρώντας τη γεωμετρία της κατασκευής, και διατηρώντας επίσης όλα τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του μνημείου που αποφασίστηκαν μέσα από το σχεδιασμό των προτάσεων αποκατάστασης.

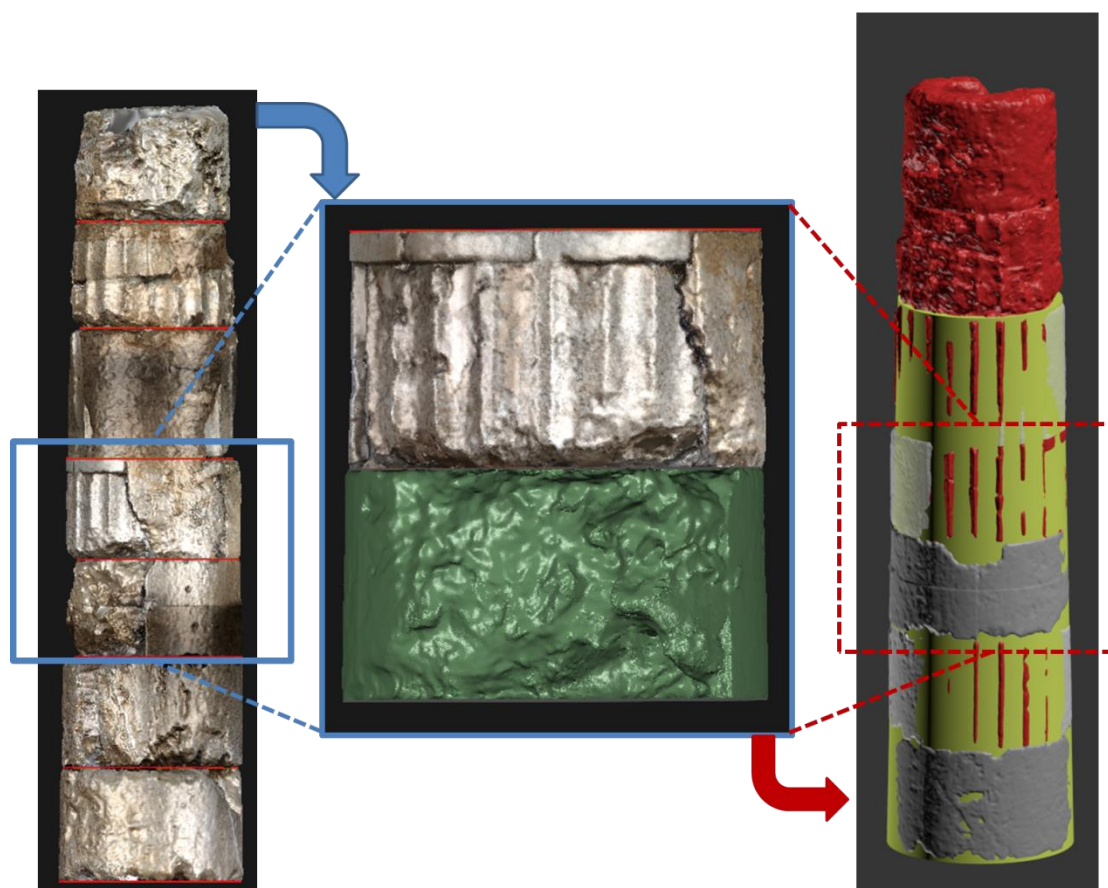
Ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν μέσα από το τρισδιάστατο αυτό περιβάλλον, σχετικά με τα δομικά υλικά αποκατάστασης, ενισχύοντας ακόμη περισσότερο την δυνατότητα επίτευξης των προτάσεων αποκατάστασης καθότι υπεισέρχεται και η εκτίμηση του κόστους ως ένας ακόμη παράγοντας.

3.2.4.1 Μεθοδολογία ανάπτυξης μοντέλου αποκατάστασης

Το τρισδιάστατο μοντέλο της υφιστάμενης κατάστασης του μνημείου, όπως πρόέκυψε κατόπιν φωτογραμμετρικών και γεωδαιτικών τεχνικών, ορίστηκε ως υπόβαθρο για την περαιτέρω ανάλυση και γεωμετρική διαμόρφωση του αποκατεστημένου τρισδιάστατου μοντέλου. Αρχικά επιλέχθηκε να διατηρηθεί στο μέγιστο βαθμό η γεωμετρία του αποτυπωμένου ναού καθώς και το σύστημα δόμησής του καθότι στο τρισδιάστατο μοντέλο της υφιστάμενης κατάστασης του ναού αποτυπώνεται η χωρική πληροφορία όλων των αρχαίων λίθων του μνημείου. Κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας, έγινε ο διαχωρισμός σε διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας του αρχαίου λίθου, του λίθου Ιταλικής αποκατάστασης καθώς και των τσιμεντιτικών κονιαμάτων αρμών και σκυροδετημάτων (Εικόνα 44).

Η γεωμετρική διαμόρφωση του αποκατεστημένου μνημείου βασίστηκε στις παρακάτω παραδοχές, όπως προέκυψαν από τα αποτελέσματα της σεισμικής απόκρισης του μνημείου:

- ❖ Στους σπονδύλους όπου υπάρχει τμήμα αρχαίου λίθου γίνεται συμπλήρωση των τμημάτων που λείπουν με νέο φυσικό λίθο. Στη συμπλήρωση συμπεριλαμβάνεται και η κεντρική οπή που είχε διανοιχθεί κατά την Ιταλική αναστήλωση και είχε συμπληρωθεί με οπλισμένο σκυρόδεμα. Στην διεπιφάνεια αρχαίου λίθου με νέο φυσικό εφαρμόζεται κονίαμα ώστε οι νέοι σπόνδυλοι να προκύψουν ενιαίοι.
- ❖ Στους σπονδύλους όπου παρατηρείται μεγαλύτερο ποσοστό αρχαίου λίθου και συμπλήρωμα με κονίαμα και σκυρόδεμα Ιταλικής αποκατάστασης, εφαρμόζεται κονίαμα αποκατάστασης στη διεπιφάνεια των αρχαίων λίθων και τεχνητός λίθος από κονίαμα αποκατάστασης στην κεντρική οπή όπου είχε διανοιχθεί κατά την Ιταλική αναστήλωση.
- ❖ Στους σπονδύλους όπου το υλικό δόμησης αποτελεί λίθος Ιταλικής αποκατάστασης, κατασκευάζονται ενιαίοι με νέο φυσικό λίθο.
- ❖ Στο κιονόκρανο του κίονα K2 (γωνιακό κίονα), που αποτελείται από αρχαίο λίθο, εφαρμόζεται συμπλήρωση των τμημάτων που έχουν αποκολληθεί καθώς και της κεντρικής οπής με νέο λίθο από κονίαμα. Επίσης τοποθετούνται κατακόρυφα βλήτρα, που όμως δεν είναι ορατά στο τρισδιάστατο μοντέλο αποκατάστασης.
- ❖ Στο θριγκό παραμένουν τα δομικά μέλη που είναι κατασκευασμένα με αρχαίο λίθο και ενσωματώνονται με νέες δοκούς κατασκευασμένες εξολοκλήρου από τεχνητό λίθο από κονίαμα όπου απαιτείται και κυρίως στο επιστήλιο.
- ❖ Στα διακριτά δομικά μέλη των κίωνων και του θριγκού τοποθετούνται σύνδεσμοι από τιτάνιο και κατακόρυφα βλήτρα, που όμως δεν είναι ορατά στο τρισδιάστατο μοντέλο αποκατάστασης.



Εικόνα 44: Διαχείριση τρισδιάστατου μοντέλου για την υλοποίηση της τρισδιάστατης αναπαράστασης του αποκατεστημένου μοντέλου

Στη συνέχεια, για τη διαμόρφωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των δομικών υλικών αποκατάστασης, ελήφθησαν υπόψη η γεωμετρία των κίωνων καθώς και οι προτάσεις αποκατάστασης του μνημείου, που ορίζουν και τη μορφολογία του αποκατεστημένου ναού. Ακόμη, λαμβάνονται υπόψη, από τη διαγνωστική έρευνα της υφιστάμενης κατάστασης του ναού, οι προτάσεις σχετικά με τη χρήση συμβατών και επιτελεστικών υλικών αποκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, από τα αποτελέσματα της διαγνωστικής μελέτης προέκυψαν οι εξής προτάσεις:

- ❖ Αφαίρεση των υπαρχόντων τσιμεντιτικών κονιαμάτων συμπλήρωσης, καθώς προκαλούν και εντείνουν τα φαινόμενα φθοράς λόγω ασυμβατότητας φυσικοχημικών, μηχανικών χαρακτηριστικών και χαρακτηριστικών μικροδομής. Επιπροσθέτως, είναι ασύμβατα από αισθητικής απόψεως, όπως δείχνει η ανάλυση των χρωματικών παραμέτρων που μετρήθηκαν.
- ❖ Χρήση συμβατού κονιάματος αποκατάστασης, για τη μηχανική ενίσχυση των κίωνων και την προσαρμογή νέων τμημάτων λίθων.
- ❖ Χρήση τιτανίου για τη στατική ενίσχυση των κίωνων.
- ❖ Χρήση ενεμάτων για την αποκατάσταση της συνοχής της μάζας των λίθων.

Οι παραδοχές πάνω στις οποίες βασίστηκε το μοντέλο αποτυπώνονται στο τελικό μοντέλο με τη δημιουργία διαφορετικών χρωματικών επιπέδων, για να είναι ευδιάκριτος ο διαχωρισμός των δομικών υλικών. Πιο συγκεκριμένα, ο ιστορικός, αρχαίος λίθος δίνεται με μπεζ χρώμα, ο νέος λίθος αποκατάστασης με λευκό χρώμα και τα κονιάματα αποκατάστασης με καφέ χρώμα (*Εικόνα 45, Εικόνα 46*). Τα κονιάμα αρμού και το κονιάμα συμπλήρωσης δίνονται με γκρι χρώμα.

Μέσα από την τρισδιάστατη πλατφόρμα, πληροφορίες που σχετίζονται με τις διαστάσεις, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά κάθε υλικού και τη σχετική θέση στο μνημείο, αποτυπώνονται και τα επιμέρους μέλη μπορούν να εξαχθούν για περαιτέρω ανάλυση, μιας και κάθε ένα αποτελεί ξεχωριστό επίπεδο πληροφορίας. Πληροφορίες που σχετίζονται με την πρόταση αποκατάστασης καθώς και την επιλογή των δομικών υλικών αποκατάστασης συμπεριλαμβάνονται και τεκμηριώνονται μέσα στο τρισδιάστατο αυτό περιβάλλον.



Εικόνα 45: Βορειοδυτική άποψη από το τρισδιάστατο μοντέλο της πρότασης αποκατάστασης των κίωνων του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα, με διατήρηση του Αρχαίου Λίθου (μπεζ χρώμα) και συμπλήρωση με λίθο αποκατάστασης (λευκό χρώμα) καθώς και με κονίαμα αποκατάστασης (κονίαμα)²²³



Εικόνα 46: Βορειοανατολική άποψη από το τρισδιάστατο μοντέλο της πρότασης αποκατάστασης των κίωνων του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα²²³

3.2.5. Μεθοδολογική προσέγγιση - Μερικά συμπεράσματα

Μεθοδολογική Προσέγγιση

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκε η διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης, μέσω δισδιάστατης πλατφόρμας Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Η συγκεκριμένη προσέγγιση, η διαχείριση δηλαδή δεδομένων στο δισδιάστατο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), αποτελεί το επόμενο βήμα, σε σχέση με την διαχείριση των δεδομένων αυτών μέσω συστημάτων χωρικής απεικόνισης, τόσο για την τεκμηρίωση του μνημείου, όσο και για το σχεδιασμό και την εφαρμογή συμβατών επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης, ειδικά για αρχαίους ναούς, που σκοπός είναι η αειφόρος προστασία του μνημείου, αξιοποιώντας όλες τις δυνατότητες που προσφέρονται από ένα σύστημα όπως είναι τα ΓΣΠ.

Ακόμη, στο κεφάλαιο αυτό εξετάστηκε και υλοποιήθηκε η διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης, μέσω τρισδιάστατης πλατφόρμας απεικόνισης και αφορούν σε αποκατεστημένο μοντέλο του ναού, όπου οι προτάσεις επεμβάσεων, καθώς και τα αποτελέσματα της μελέτης της σεισμικής απόκρισης του μνημείου ενσωματώνονται σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο, από όπου τόσο ποιοτικά συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν αλλά και να γίνει ανάλυση ως προς τα ποσοτικά δεδομένα των δομικών υλικών αποκατάστασης. Τα δεδομένα προέρχονται από τα αποτελέσματα της ανάλυσης της σεισμικής απόκρισης ενός ναού, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία του μνημείου, τα δομικά υλικά που το απαρτίζουν και τις εναλλακτικές προτάσεις υλικών και επεμβάσεων αποκατάστασης του.

Μερικά Συμπεράσματα

Η υλοποίηση ενός μεθοδολογικού πλαισίου, σε δισδιάστατο περιβάλλον, μέσω της αξιοποίησης των δυνατοτήτων των ΓΣΠ, για την μελέτη της υπάρχουσας κατάστασης ενός αρχαίου ναού, καθώς και η υλοποίηση ενός μεθοδολογικού πλαισίου σε τρισδιάστατο περιβάλλον, για την οπτικοποίηση, διαχείριση και εξαγωγή ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων ως προς τις προτάσεις αποκατάστασης παρουσιάζονται μέσα από εφαρμογή σε ένα αρχαίο ναό.

Όσον αφορά στη διαχείριση δεδομένων σε δισδιάστατη πλατφόρμα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, αυτή επιτυγχάνεται μέσα από την εφαρμογή σε ένα μεμονωμένο κίονα. Πληροφορίες αντλήθηκαν και καταγράφηκαν σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση διατήρησης του επιλεγμένου κίονα ενώ επιτεύχθηκε συσχέτιση της παθολογίας του κίονα με εξωγενείς και ενδογενείς παράγοντες.

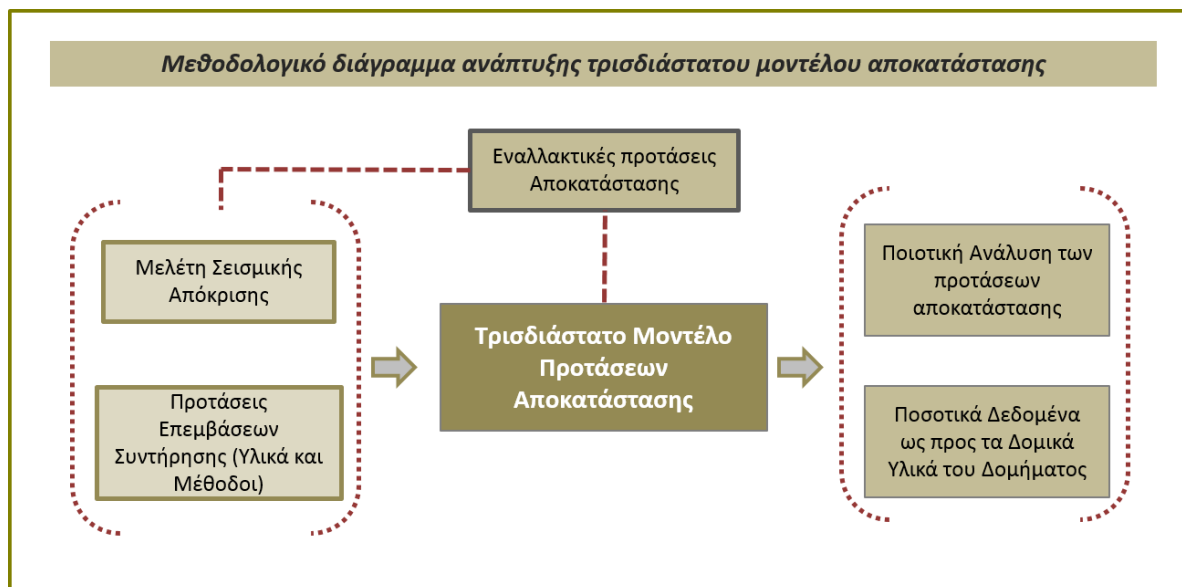
Τα διεπιστημονικά δεδομένα μπορούν να εισαχθούν και να συσχετισθούν σε ένα ενιαίο σύστημα με κοινή χωρική αναφορά. Επίσης τα ΓΣΠ ενσωματώνουν και συσχετίζουν περιγραφικά και ποσοτικά δεδομένα και παρέχουν ευέλικτα εργαλεία που επιτρέπουν την οπτικοποίηση των πληροφοριών αυτών σε δύο διαστάσεις (2D). Η απεικόνιση των δομικών υλικών, μέσω θεματικών χαρτών, παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τον τρόπο δόμησης καθώς και τις κατασκευαστικές φάσεις του μνημείου.

Μέσα από την τρισδιάστατη πλατφόρμα, πληροφορίες που σχετίζονται με τις διαστάσεις, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά κάθε δομικού υλικού, καθώς και η σχετική θέση που θα έχουν στο μνημείο, οπτικοποιούνται και παρουσιάζονται. Τα επιμέρους μέλη του αποκατεστημένου μοντέλου, μπορούν να εξαχθούν για περαιτέρω ανάλυση και διαχείριση σε περιβάλλον τρισδιάστατης απεικόνισης. Αυτό είναι εφικτό, καθώς κατά την ανάπτυξη του μοντέλου, κάθε τμήμα, κάθε μέλους του ναού δημιουργήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτελεί ξεχωριστή οντότητα, διατηρώντας τις πληροφορίες του θεματικού επιπέδου που ανήκει (π.χ. λίθος αποκατάστασης, κονίαμα αποκατάστασης, κονίαμα συμπλήρωσης). Πληροφορίες που σχετίζονται με την πρόταση αποκατάστασης, καθώς και την επιλογή των δομικών υλικών αποκατάστασης συμπεριλαμβάνονται και τεκμηριώνονται μέσα στο τρισδιάστατο αυτό περιβάλλον.

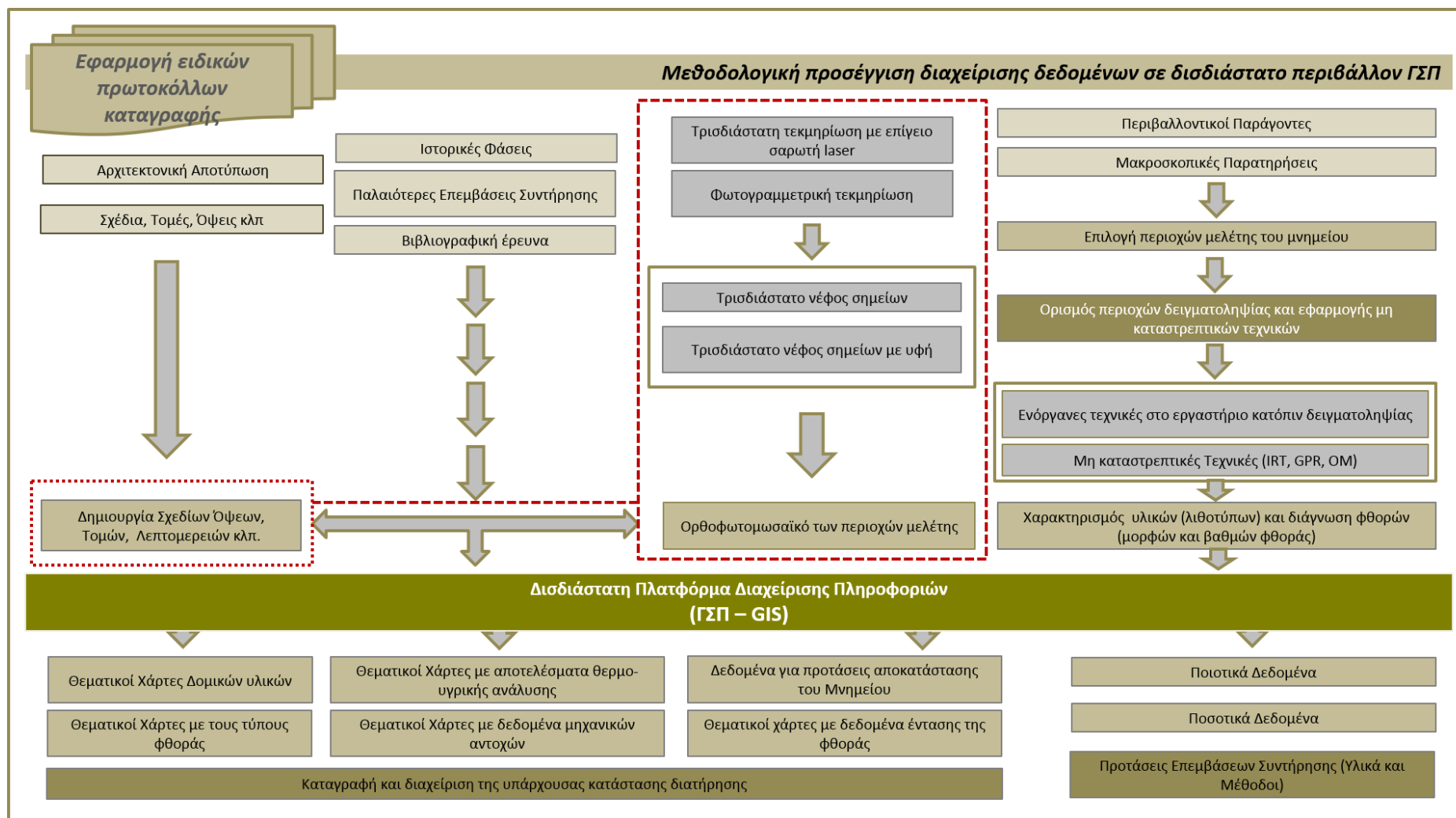
Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η μεθοδολογική προσέγγιση που εφαρμόστηκε στο παρόν μνημείο, αποτελεί το δεύτερο και τρίτο βήμα σε μία ευρύτερη μεθοδολογία, όπου δεν λαμβάνονται υπόψη μόνο οι πληροφορίες που προέρχονται από ένα δισδιάστατο

σύστημα, ούτε τα δεδομένα που σχετίζονται με χωρικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά σε μία τρισδιάστατη πλατφόρμα απεικόνισης, αλλά εκτείνεται σε ένα σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης δεδομένων όπου μέσα από μία τρισδιάστατη πλατφόρμα τα δεδομένα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης μπορούν να ενσωματωθούν μέσα σε ένα παραμετρικό μοντέλο πληροφοριών, λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα της διεπιστημονικής μελέτης (ιστορικά στοιχεία, μελέτη παθολογίας, πολυπλοκότητα της κατασκευής) με κοινή χωρική αναφορά και αποτέλεσμα της ολοκληρωμένης και λεπτομερούς τρισδιάστατης γεωμετρικής τεκμηρίωσης.

Συνολικά τρία μεθοδολογικά διαγράμματα υλοποιήθηκαν στο παρόν κεφάλαιο και αφορούν στη διαχείριση δεδομένων σε δισδιάστατο περιβάλλον ΓΣΠ και σε τρισδιάστατο μοντέλο διαχείρισης δεδομένων, όπου αποτυπώνεται η διαδικασία ανάπτυξης τρισδιάστατου μοντέλου λαμβάνοντας υπόψη τις προτάσεις επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης.

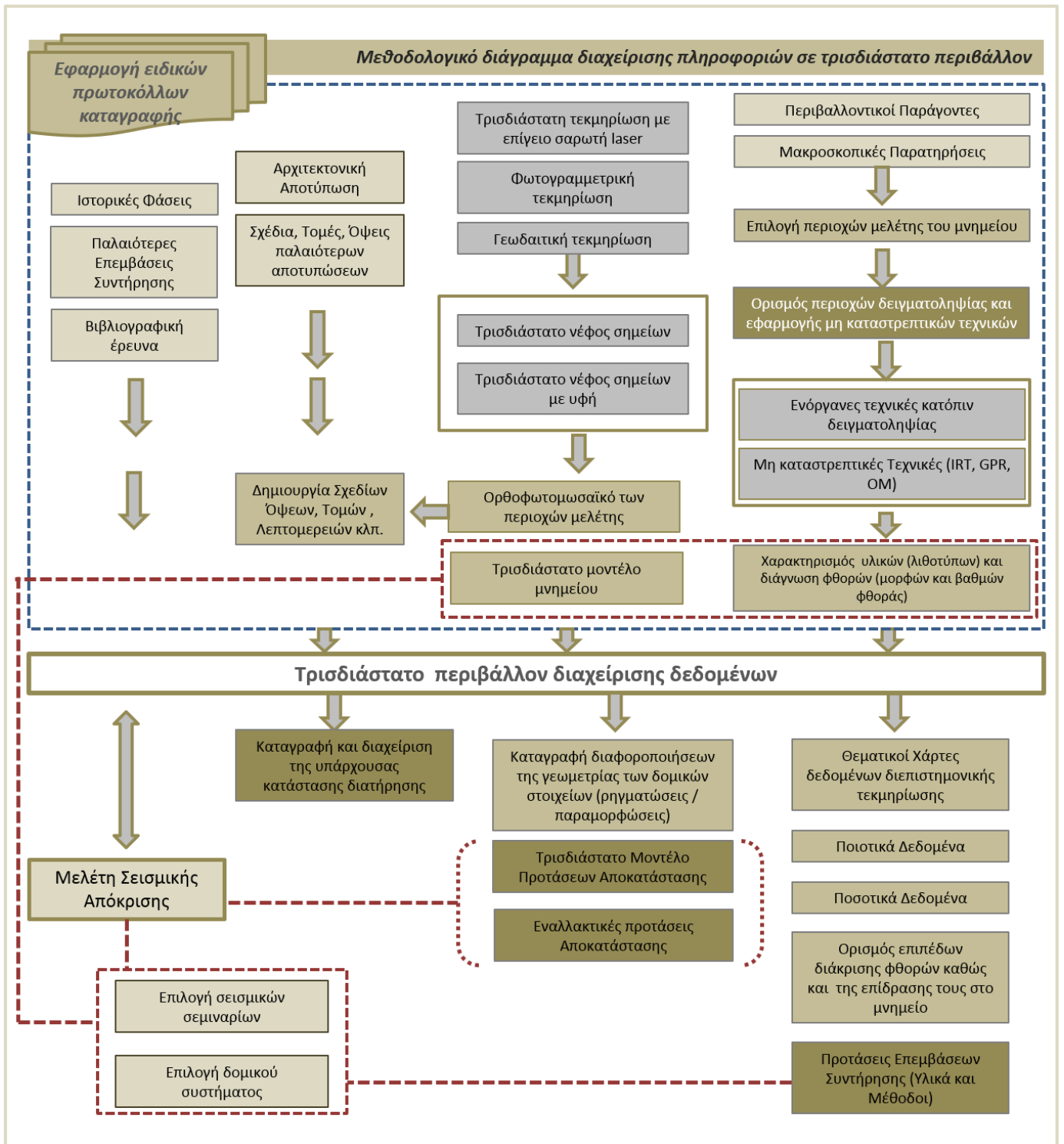


Εικόνα 47: Διάγραμμα μεθοδολογικής προσέγγισης για την ανάπτυξη τρισδιάστατου μοντέλου αποκατάστασης



Εικόνα 48: Μεθοδολογικό διάγραμμα διαχείρισης δεδομένων σε δισδιάστατο περιβάλλον ΓΣΠ

Μεθοδολογία και Ψηφιακό περιβάλλον Ολοκληρωμένης Διαχείρισης δεδομένων στην κλίμακα Ιστορικών Κτηρίων και Συνόλων



Εικόνα 49: Μεθοδολογικό Διάγραμμα διαχείρισης δεδομένων σε τρισδιάστατο περιβάλλον

3.3. Βίλλα Κλωναρίδη

Πρόλογος

Στο κεφάλαιο αυτό, επιχειρείται η διαχείριση δεδομένων που προέρχονται από την τεκμηρίωση ενός ιστορικού κτηρίου σε δισδιάστατο περιβάλλον ΓΣΠ και αντίστοιχα σε τρισδιάστατο περιβάλλον ΜΚΠ (για την αναπαράσταση της υπάρχουσας κατάστασης του ιστορικού κτηρίου και για να συσχετιστούν δεδομένα ιστορικής, αρχιτεκτονικής και γεωμετρικής τεκμηρίωσης με τα δεδομένα των αποτελεσμάτων της διαγνωστικής μελέτης των υλικών σε δισδιάστατο και τρισδιάστατο περιβάλλον αντίστοιχα.

Επιχειρείται ακόμη μια προσέγγιση διαχείρισης των αποτελεσμάτων ανάλυσης του ιστορικού κτηρίου που έχουν προκύψει από τη διαχείριση στο δισδιάστατο περιβάλλον ΓΣΠ (οι θεματικοί χάρτες που έχουν αναπτυχθεί, και λαμβάνονται ως δεδομένα εισόδου στο τρισδιάστατο περιβάλλον ΜΚΠ), με στόχο την εξαγωγή πολύτιμων πληροφοριών σχετικά με την αποτίμηση της κατάστασης διατήρησης του ιστορικού κτηρίου. Ακόμη μέσα από το περιβάλλον ΜΚΠ, επιχειρείται μια προσέγγιση απόδοσης στο τρισδιάστατο μοντέλο των αποτελεσμάτων των προτάσεων αποκατάστασης του ιστορικού κτηρίου και πιο συγκεκριμένα κονιάματος συμπλήρωσης σε ρωγμές, συμπεριλαμβάνοντας ποιοτικές (χαρακτηριστικά του κονιάματος) και ποσοτικές (ποσότητα σε όγκο) πληροφορίες.

Εισαγωγή

Σε ένα HBIM εκτός από τα ιστορικά στοιχεία, είναι απαραίτητο να συμπεριλαμβάνονται και πληροφορίες σε σχέση με τα δομικά στοιχεία της κατασκευής για να κατανοηθεί πλήρως η δομή ενός ιστορικού δομήματος. Επίσης τα παραμετρικά αντικείμενα ενός HBIM μπορεί να τροποποιηθούν και να αναβαθμιστούν ώστε να αντλούνται πληροφορίες σε σχέση με την κατάσταση διατήρησης των δομικών υλικών, που αντικατοπτρίζουν την κατάσταση διατήρησης στο σύνολο ενός ιστορικού κτηρίου.

Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες από την επιστημονική κοινότητα αναφορικά με την εξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με την εκτίμηση της κατάστασης διατήρησης ενός μνημείου μέσα από τα HBIM, όμως ακόμη αποτελεί ένα πεδίο υπό διερεύνηση. Αφού αποκτηθούν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, ακολουθεί η ανάπτυξη του μοντέλου και η επεξεργασία των δεδομένων μέσα σε πλατφόρμα ICT (Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνίας). Η επιλογή των δεδομένων εισόδου συνήθως διαμορφώνεται από τον εκάστοτε ειδικό. Το πρόβλημα που ενέχει η διαδικασία αυτή, επικεντρώνεται στο ότι διαμορφώνει HBIM μοντέλα, που εξαρτώνται από την εμπειρία και την πρόσβαση σε δεδομένα του ειδικού.

Στο κεφάλαιο αυτό, επιχειρείται μια προσέγγιση για την παρουσίαση της κατάστασης διατήρησης ενός μνημείου μέσω δύο συστημάτων πληροφοριών, GIS και BIM, η οποία ενσωματώνει ιστορικά, αρχιτεκτονικά, γεωμετρικά και δομοστατικά δεδομένα. Τα δεδομένα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης συσχετίζονται και στα δύο ψηφιακά περιβάλλοντα, και πολύτιμες πληροφορίες εξάγονται αναφορικά με την εκτίμηση και διάγνωση της κατάστασης διατήρησης του ιστορικού κτηρίου.

Επιπλέον, κατά τη διαμόρφωση του HBIM, λαμβάνοντας ως δεδομένα τα αποτελέσματα της γεωμετρικής και αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης (σε ορισμένες περιπτώσεις). Πέραν των ιστορικών πληροφοριών, ενσωματώνονται δεδομένα σχετικά με τη δομική μορφολογία των επί μέρους στοιχείων, καθώς και δεδομένα διάγνωσης φθοράς. Στη συνέχεια συσχετίζονται τα προϊόντα δισδιάστατης τεκμηρίωσης που σχετίζονται με φθορά του κτηρίου από το GIS με το HBIM. Μέσω της παρουσίασης και της διεργασίας ανάλυσης των ρωγμών ως ξεχωριστές οντότητες εντός του HBIM, μπορεί να γίνει εκτίμηση της δομικής φθοράς του κτηρίου σε περιβάλλον τριών διαστάσεων και κατ' αυτό τον τρόπο εξάγονται χρήσιμες πληροφορίες περί αξιολόγησης της δομικής τρωτότητας του κτηρίου.

Συνεπώς προληπτικές ενέργειες και επεμβάσεις συντήρησης μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να ελαχιστοποιηθεί η εξέλιξη φθοράς και κατά συνέπεια το κόστος της μελλοντικής αποκατάστασης. Ο απώτερος στόχος είναι η παράταση της διάρκειας ζωής του μνημείου που θα συμβάλλει στη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς προς όφελος των μελλοντικών γενεών.

Ως μελέτη περίπτωσης που θα επιδείξει και αποδείξει τη διεπιστημονικότητα, τη διαλειτουργικότητα, και τη βιωσιμότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας, επιλέχθηκε η Βίλλα Κλωναρίδη, ένα ιστορικό κτήριο του 19ου αιώνα στην Αθήνα. Η εφαρμογή της προτεινόμενης προσέγγισης ενσωματώνει πληροφορίες που προκύπτουν από όλες τις κατασκευαστικές φάσεις του κτηρίου και τους μηχανισμούς φθοράς που το επηρεάζουν έντονα. Κατά το σχεδιασμό και την διεκπεραίωση της γεωμετρικής αποτύπωσης του ιστορικού κτηρίου αλλά και κατά τη διάρκεια της διαχείρισης, αποθήκευσης και αρχειοθέτησης των υπόλοιπων δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης, ακολουθήθηκε συγκεκριμένη μεθοδολογία. Η μεθοδολογία που υιοθετήθηκε εξελίσσει το πρωτόκολλο που προτάθηκε στο FP7 Coordinated Action EU CHIC (European Cultural Heritage Identity Card, www.eu-chic.eu), με μία σειρά πρωτοκόλλων που αναπτύχθηκαν στο ΕΜΠ, συνολικά σε δύο επίπεδα τεκμηρίωσης.

Δεδομένα για την ολοκληρωμένη αυτή διερεύνηση έχουν ληφθεί από της διεπιστημονική προσπάθεια με τη συνεργασία τεσσάρων εργαστηρίων, της Σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών (επιστημονικά υπεύθυνος καθ. Χ. Ιωαννίδης), Πολιτικών Μηχανικών (επιστημονικά υπεύθυνη καθ. Ε. Βιντζηλαίου), Αρχιτεκτόνων Μηχανικών (επιστημονικά υπεύθυνη καθ. Ε. Εφessίου) και Χημικών Μηχανικών (επιστημονικά υπεύθυνη καθ. Α. Μοροπούλου), στο πλαίσιο του προγράμματος με τίτλο «Ολοκληρωμένο Πρόγραμμα Διαγνωστικής έρευνας και στρατηγικός σχεδιασμός υλικών και επεμβάσεων συντήρησης στη Βίλλα Κλωναρίδου και οικία Δουρούτη του Δήμου Αθηναίων», σε συνεργασία με το Δήμο Αθηναίων. Επίσης, η εργασία αυτή στηρίχτηκε και στην μελέτη, για την Βίλλα Κλωναρίδη, της Δρ. Αρχιτέκτονα Μαρίας Δανιήλ, προϊσταμένης τμήματος μελετών Διεύθυνσης Κτηριακών Έργων του Δήμου Αθηναίων, την περίοδο υλοποίησης του προγράμματος και περιλαμβάνει Τεχνική Έκθεση, σχέδια, λοιπό επιστημονικό υλικό. Ακόμη, μεταπτυχιακές εργασίες εκπονήθηκαν στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος «Προστασία Μνημείων – Υλικά και επεμβάσεις Συντήρησης». Τα δεδομένα αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης προέρχονται από τη μεταπτυχιακή εργασία της Πούλου Α., τα αποτελέσματα των μη καταστρεπτικών τεχνικών και του χαρακτηρισμού των δομικών υλικών και της διάγνωσης της φθοράς από τη μεταπτυχιακή εργασία του Μπούρμπου Ε., τα προϊόντα

δισδιάστατης αποτύπωσης σε περιβάλλον ΓΣΠ προέρχονται από τη μεταπτυχιακή εργασία του Νικητάκου Ι. ενώ τα προϊόντα δομοστατικής ανάλυσης προέρχονται από τη μεταπτυχιακή εργασία του Μουγιάκου Ε.. Τέλος προϊόντα τρισδιάστατης απεικόνισης προέρχονται από τη μεταπτυχιακή εργασία της Ιωάννου Μ.

3.3.1. Δεδομένα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης: Γεωμετρικά, Δομικών υλικών, Αρχιτεκτονικά, Ιστορικά, Δομοστατικά - Σχεδιασμός

Ιστορικό κτήριο εφαρμογής: Βίλλα Κλωναρίδη

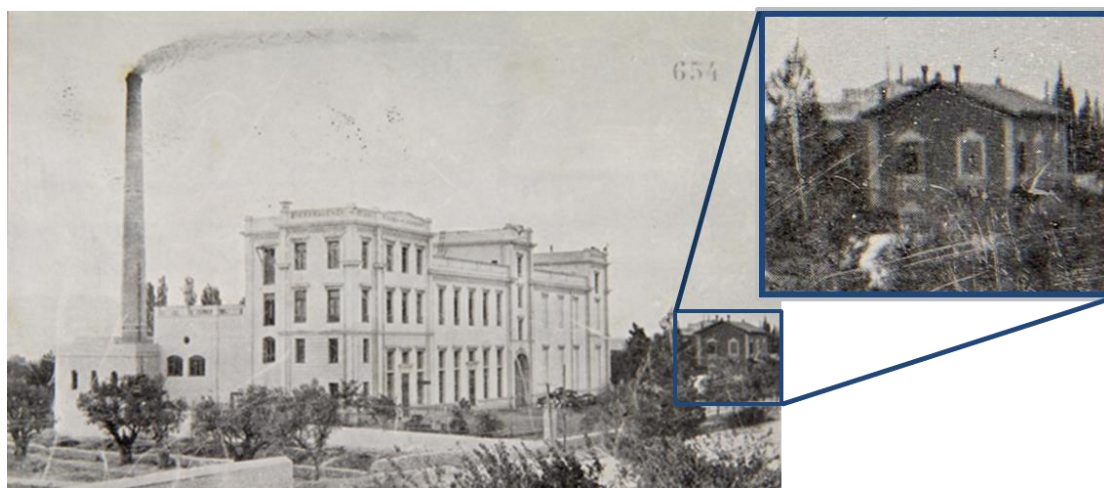
Η Βίλα Κλωναρίδη, ένα δώροφο λιθόκτιστο κτήριο, αποτελεί ένα από τα ιστορικά κτήρια στην Αθήνα, που μαρτυρά την εποχή κατασκευής του (Εικόνα 50). Χαρακτηρισμένο από το Υπουργείο Πολιτισμού ως νεότερο μνημείο το 1994, αποτελεί χαρακτηριστικό δείγμα προαστιακής έπαυλης. Οικοδομήθηκε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, στο οικόπεδο που ιδρύθηκε η μονάδα “Ζυθοποιίας-Παγοποιίας Μ & Ε Κλωναρίδης” Ο.Ε. Η Βίλλα επιλέχθηκε για να κατοική η οικογένεια του εργοστασιάρχη, και παρέμεινε ως κατοικία της οικογένειας μέχρι το 2000, οπότε και σταμάτησε να διαμένει εκεί η τελευταία απόγονος της οικογένειας, κ. Τζούλια Κλωναρίδη. Τα τελευταία χρόνια είχε ήδη περιέλθει στην ιδιοκτησία του Δήμου Αθηναίων. Έως και σήμερα, η Βίλλα παραμένει σφραγισμένη (δύο δεκαετίες), με αποτέλεσμα να θεωρείται επιβεβλημένη η συντήρησή του. Ενώ βρισκόταν σε κακή κατάσταση διατήρησης, οι φθορές που παρατηρήθηκαν λόγω της γήρανσης των υλικών, της χρόνιας ανεπαρκούς συντήρησης αλλά και των σεισμικών καταπονήσεων, μέσα από μία μελέτη που διενεργήθηκε από ΕΜΠ στην οποία συμμετείχαν τέσσερις σχολές, είχαν εκτιμηθεί ως αναστρέψιμες, και αντιμετωπίσιμες μετά και από την εκπόνηση ειδικής στατικής μελέτης αποκατάστασης. Δυστυχώς στις αρχές Μαΐου 2020 ξέσπασε φωτιά και κατέστρεψε ένα μεγάλο τμήμα του μνημείου (κατάρρευση της στέγης και κάποιων τμημάτων των τοιχοποιιών).



Εικόνα 50: Βίλα Κλωναρίδη, Ανατολική και Βόρεια Όψη του ιστορικού κτηρίου

3.3.1.1 Ιστορικά στοιχεία και κατασκευαστικές φάσεις του ιστορικού κτηρίου

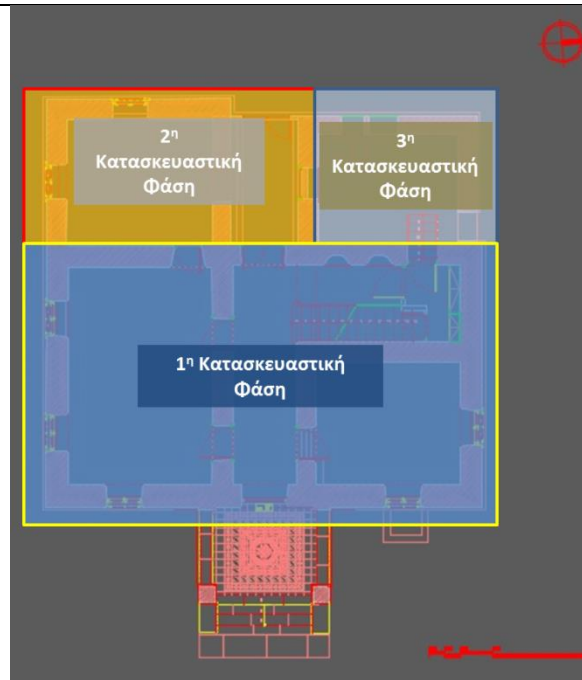
Η Βίλλα οικοδομήθηκε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, στο οικόπεδο που ιδρύθηκε η μονάδα “Ζυθοποιίας-Παγοποιίας Μ & Ε Κλωναρίδης” Ο.Ε., το 1903. Επιλέχθηκε ως κατοικία από την οικογένεια του εργοστασιάρχη Κλωναρίδη. Λόγω του μεγάλου ανταγωνισμού με την ανταγωνίστρια εταιρεία με τη ζυθοποιία “Καρόλου Φιξ”, η εταιρεία άρχισε να παρακμάζει το 1908 και το 1912 οδηγήθηκε στην πτώχευση και εξαγορά από την ανταγωνίστρια εταιρεία. Ωστόσο, όταν παραδόθηκε το εργοστάσιο, δόθηκε άδεια στην οικογένεια Κλωναρίδη να συνεχίζει να διαμένει στη Βίλλα (Εικόνα 51). Το 1983, στο πλαίσιο του Ρυθμιστικού Σχεδίου της Αθήνας, εκπονήθηκε μελέτη για τη δημιουργία κοινόχρηστου χώρου πρασίνου στην περιοχή του εργοστασίου, ενώ το 1984 το ακίνητο πέρασε στην Εθνική Τράπεζα για ρύθμιση χρεών. Το 1989, το δημοτικό συμβούλιο του Δήμου Αθηναίων αποφάσισε να προχωρήσει στο χαρακτηρισμό του συγκροτήματος ως χώρου προς απαλλοτρίωση. Το 1994, τα κτήρια του εργοστασίου και της οικείας χαρακτηρίστηκαν ως διατηρητέα από το Υπουργείο Πολιτισμού (ΦΕΚ 421Β/6-6-1994). Παρόλο αυτά, το 2000, πραγματοποιήθηκε κατεδάφιση του εργοστασίου²²⁶. Η Βίλλα Κλωναρίδη αποτελεί το τελευταίο εναπομένον κτήριο του συγκροτήματος Ζυθοποιίας-Παγοποιίας Μ & Ε Κλωναρίδης.



Εικόνα 51: Φωτογραφικό Αρχείο Μουσείου Μπενάκη. Περί το 1903

Σύμφωνα με τα ιστορικά στοιχεία, η Βίλλα Κλωναρίδη φέρει τέσσερις κατασκευαστικές φάσεις. Η πρώτη, περιλαμβάνει το ορθογώνιο κτήριο που στεγάζεται με δίρριχτη στέγη, μαζί με το πρόπυλο που βρίσκεται στην ανατολική όψη του κτηρίου. Εν συνεχεία, προστέθηκε η δεύτερη, που περιλαμβάνει όλο το τμήμα του διαδρόμου καθ' ύψος και τα νοτιοδυτικά δωμάτια, που στεγάζονται με επίπεδο δώμα. Η τρίτη φάση, προστέθηκε βορειοδυτικά και στεγάζεται με τετράρριχτη στέγη (Εικόνα 52). Η τελευταία προσθήκη, περιλαμβάνει την ενδιάμεση στάθμη, (αυτή του ισογείου και του μεσοπατώματος) που κατασκευάστηκε στο βορειοδυτικό άκρο του κτηρίου. Κατά την τέταρτη προσθήκη, που δεν αποτυπώνεται στην κάτοψη, η δυτική είσοδος φράχτηκε και το πάτωμα που ήταν στη στάθμη του ισογείου αποξηλώθηκε. Πάνω από το μεσοπάτωμα είναι ο πρώτος όροφος της τρίτης φάσης.

²²⁶ Τεχνική Έκθεση κ. Μαρίας Δανιήλ, Αρχιτέκτων Μηχανικός, Προϊστάμενη Τμήματος Μελετών Δ/σης Κτηριακών Έργων του Δήμου Αθηναίων, Ιούλιος 2009



Εικόνα 52: Κάτοψη με τις κύριες κατασκευαστικές φάσεις του ιστορικού κτηρίου

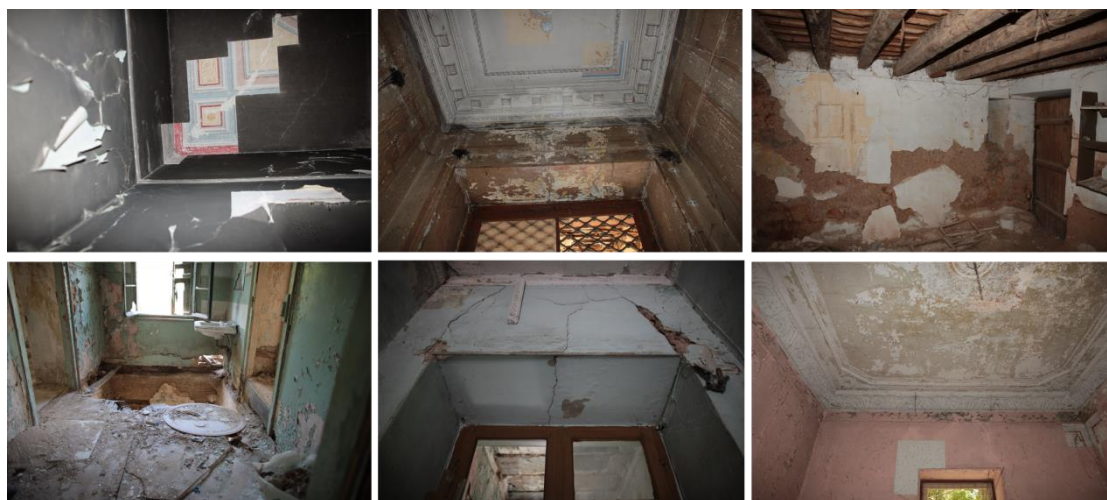
3.3.1.2 Αρχιτεκτονικά στοιχεία

Το κτήριο είναι δώροφο, λιθόκτιστο, με υπερυψωμένο υπόγειο σε ορισμένα τμήματά του. Στεγάζεται με κεραμοσκεπή σε δύο τμήματά του και με βατό δώμα στο τρίτο. Όλες οι κεραμοσκεπές φέρουν βυζαντινού τύπου κεραμίδια. Κάτω από τη στέγη έχουν κατασκευαστεί γείσα, που έχουν διαμορφωθεί από οπτόπλινθους σε οδοντωτή διάταξη, και διακρίνονται και στο ενδιάμεσο των ορόφων, καθορίζοντας τη στάθμη του πρώτου ορόφου. Ο γενικός χρωματισμός του κτηρίου εμφανίζεται σήμερα σε βαθυκόκκινη απόχρωση με λευκά πλαίσια και λευκή γραμμή στην απομίμηση της οπτοπλινθοδομής, ενώ τα στηθαία και το πρόπυλο σε απόχρωση της ώχρας, όπως και οι νεότερες επιχρωματίσεις που εμφανίζονται σε διάφορα σημεία. Τα ζωγραφισμένα πλαίσια των όψεων, επιχρισμένα με το χρώμα της ώχρας, εντοπίζονται στην πρώτη κατασκευαστική φάση και στην νοτιοδυτική επέκταση, τονίζουν τη μορφή των όγκων και απομιμούν τη διάταξη των γωνιόλιθων. Τα πλαίσια των παραθύρων, και αυτά σε επίχρισμα στο χρώμα της ώχρας, είναι σε ζωγραφική απομίμηση διάταξης γωνιόλιθων, με το κλειδί να προεξέχει, εκτός από τα παράθυρα της πρόσοψης του ισογείου, που φέρουν ίχνη από τοξωτή ζωγραφική διαμόρφωση, πιθανώς από μεταγενέστερη φάση, αφού εμφανίζονται σε επίχρισμα στο χρώμα της ώχρας και όχι στο παλαιότερο βαθυκόκκινο^{226,227}.

Δομικά, η πρώτη οικοδομική φάση, περιλαμβάνει τοιχοποιίες από αργολιθοδομή ενώ τα υπέρθυρα και οι ποδιές των ανοιγμάτων, τα τόξα, η ανωδομή και η σύνδεση του κυρίως κτίσματος με το πρόπυλο είναι κατασκευασμένα από οπτόπλινθους. Επίσης, παρατηρείται έντονη χρήση οπτοπλίνθων στο κεντρικό τμήμα της δυτικής όψης. Στην αργολιθοδομή

²²⁷ Πούλου, Α. (2013). «Αρχιτεκτονική τεκμηρίωση και ανάλυση του ιστορικού κτιρίου της Βίλας Κλωναρίδη στα Πατήσια Αθηνών. Αρχιτεκτονική πρόταση επανάχρησης». Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ “Προστασία Μνημείων”. (Επιβλέπουσα Καθ. Ε. Εφεσίου).

παρατηρούνται ρωγμές κυρίως στα υπέρθυρα και στις τοιχοποιίες που είναι διαχωριστικές φάσεων. Στη δυτική όψη, τόσο από την εσωτερική όσο και από την εξωτερική πλευρά, η τοιχοποιία είναι σε πολύ κακή κατάσταση, λόγω ρωγμών και έντονης χρήσης ευτελών υλικών. Έχει παρατηρηθεί επίσης η προσπάθεια στερέωσης της δυτικής τοιχοποιίας με τοπική χρήση τσιμεντοκονιάς. Επιπλέον οικοδομικά προβλήματα παρατηρούνται στα πατώματα. Τα πατώματα της Βίλλας είναι δύο ειδών. Το είδος που απαντάται στο μεγαλύτερο μέρος της κατασκευής είναι ξύλινου φέροντα οργανισμού, πάνω στο οποίο καρφώνονται σανίδες. Το δεύτερο είδος που έχει χρησιμοποιηθεί στο μεσοπάτωμα και το δώμα αποτελείται από μεταλλικούς φορείς και σχιστολιθικές πλάκες που πληρούνται με χώμα. Στον χώρο πάνω από το μεσοπάτωμα εντοπίζεται σύνθετο πάτωμα αποτελούμενο από ξύλινα και μεταλλικά στοιχεία. Το σοβαρό πρόβλημα κατερχόμενης υγρασίας από το δώμα, λόγω της ανεπαρκούς μόνωσης, σε συνδυασμό με την εγκατάλειψη του κτηρίου, έφερε ως αποτέλεσμα τη σήψη πολλών ξύλινων στοιχείων των πατωμάτων και τη διάβρωση των σιδηροδοκών που χρησιμοποιήθηκαν μεταγενέστερα²²⁸. Αποδίδεται ως αιτία για την κατάρρευση του διαδρόμου ανάμεσα στο βορειοδυτικό και νοτιοανατολικό δωμάτιο του πρώτου ορόφου²²⁹ (Εικόνα 53).



Εικόνα 53: Στιγμιότυπα της εσωτερικής διακόσμησης και της κατάστασης διατήρησης της Βίλλας Κλωναρίδη

3.3.1.3 Γεωμετρική τεκμηρίωση

Η τρισδιάστατη γεωμετρική τεκμηρίωση της υφιστάμενης κατάστασης της Βίλλας Κλωναρίδη, πραγματοποιήθηκε σε διάφορες χρονικές περιόδους. Η τεκμηρίωση υλοποιείται με τη συνδυασμένη χρήση τοπογραφικών, φωτογραμμετρικών τεχνικών και σαρώσεων με επίγειο σαρωτή laser. Συγκεκριμένα, οι τεχνικές που εφαρμόστηκαν περιλαμβάνουν τοπογραφικές μετρήσεις, σαρώσεις με επίγειο σαρωτή laser, σαρώσεις με σαρωτή laser GeoSLAM και πολυεικονική φωτογραμμετρική μέθοδο. Πιο συγκεκριμένα, έγινε χρήση

²²⁸ Μπούρμπος, Ε. (2013). Χαρακτηρισμός και Διάγνωση της Φθοράς των Δομικών Υλικών του Ιστορικού Κτηρίου της Βίλλας Κλωναρίδη στα Πατήσια Αθηνών, με Χρήση μη Καταστρεπτικών και Αναλυτικών Τεχνικών. Προτάσεις Συμβατών Υλικών και Επεμβάσεων Συντήρησης. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ “Προστασία Μνημείων”. (Επιβλέπουσα: Καθ. Α. Μοροπούλου).

²²⁹ Ιωάννου, Τ. Μ. (2016). Ανάπτυξη Building Information Modelling για τη διαγνωστική μελέτη του εσωτερικού χώρου της Βίλλας Κλωναρίδη. ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων». (Συνεπιβλέποντα μέλη ΔΕΠ: Καθ. Χ. Ιωαννίδης, Καθ. Α. Μοροπούλου).

επίγειων τοπογραφικών μετρήσεων, με χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού και δεκτών GPS, τρισδιάστατη σάρωση με επίγειο σαρωτή laser, των τεσσάρων όψεων του κτηρίου και τμημάτων του εσωτερικού του καθώς και φωτογραμμετρικές αποδόσεις, αναγωγές (των επίπεδων επιφανειών) και δημιουργία ορθοφωτογραφιών, στις τέσσερις όψεις του κτηρίου, τις τοιχογραφίες του διαδρόμου του ισογείου και της οροφωγραφίας του νοτιοανατολικού δωματίου του ισογείου. Ακόμη, έγινε χρήση της πολυεικονικής φωτογραμμετρικής μεθόδου στη στέγη και στο εσωτερικό του κτηρίου. Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε σκανάρισμα στο εσωτερικό του κτηρίου, με το σαρωτή laser GeoSLAM ZEB-REVO. Η ακρίβειά που επιτυγχάνεται μέσα από τη σάρωση, είναι της τάξης των 2-3cm ενώ η ταχύτητα σάρωσης είναι 43200 σημεία/δευτερόλεπτο. Η μέγιστη εμβέλεια που έχει φτάνει έως 30m (15-20m σε εξωτερικούς χώρους). Ο σαρωτής GeoSLAM χρησιμοποιεί τους αλγορίθμους Simultaneous Localisation & Mapping (SLAM), οι οποίοι επεξεργάζονται τα δεδομένα των μετρήσεων μαζί με τα δεδομένα θέσης του και εφαρμόζουν ρουτίνες αναγνώρισης χαρακτηριστικών για να εκτελέσουν το cloud-to-cloud registration, αυτόματα και με υψηλό επίπεδο ακρίβειας, στα δεδομένα των μετρήσεων^{230,231}. Η δημιουργία των ορθοφωτογραφιών, στις τέσσερις όψεις του κτηρίου πραγματοποιήθηκε για να αποτελέσουν υπόβαθρο για τη μελέτη των εξωτερικών όψεων του κτηρίου μέσω το δισδιάστατου συστήματος ΓΣΠ²³².

Αρχικά, ιδρύθηκε πολυγωνομετρικό δίκτυο με εικοσιοκτώ (28) στάσεις, περιμετρικά του μνημείου και εσωτερικά σε όλα τα επίπεδα (Εικόνα 54). Οι τοπογραφικές εργασίες έγιναν με χρήση γεωδαιτικού σταθμού (Total Station) TOPCON GPT-3003, ενώ μετρήσεις έγιναν με τη μέθοδο της Ειδικής Τριγωνομετρικής Υψομετρίας (Ε.Τ.Υ.) για τον ακριβή προσδιορισμό των υψομέτρων του ιστορικού κτηρίου λαμβάνοντας ως αφετηρία το reper 'P911' που βρέθηκε σε πολύ κοντινή απόσταση. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις χαρακτηριστικών σημείων του μνημείου, μετρήσεις προσημασμένων στόχων για τις επίγειες σαρώσεις με laser και μετρήσεις προσημασμένων φωτοσταθερών σημείων, για την εφαρμογή της φωτογραμμετρικής διαδικασίας.

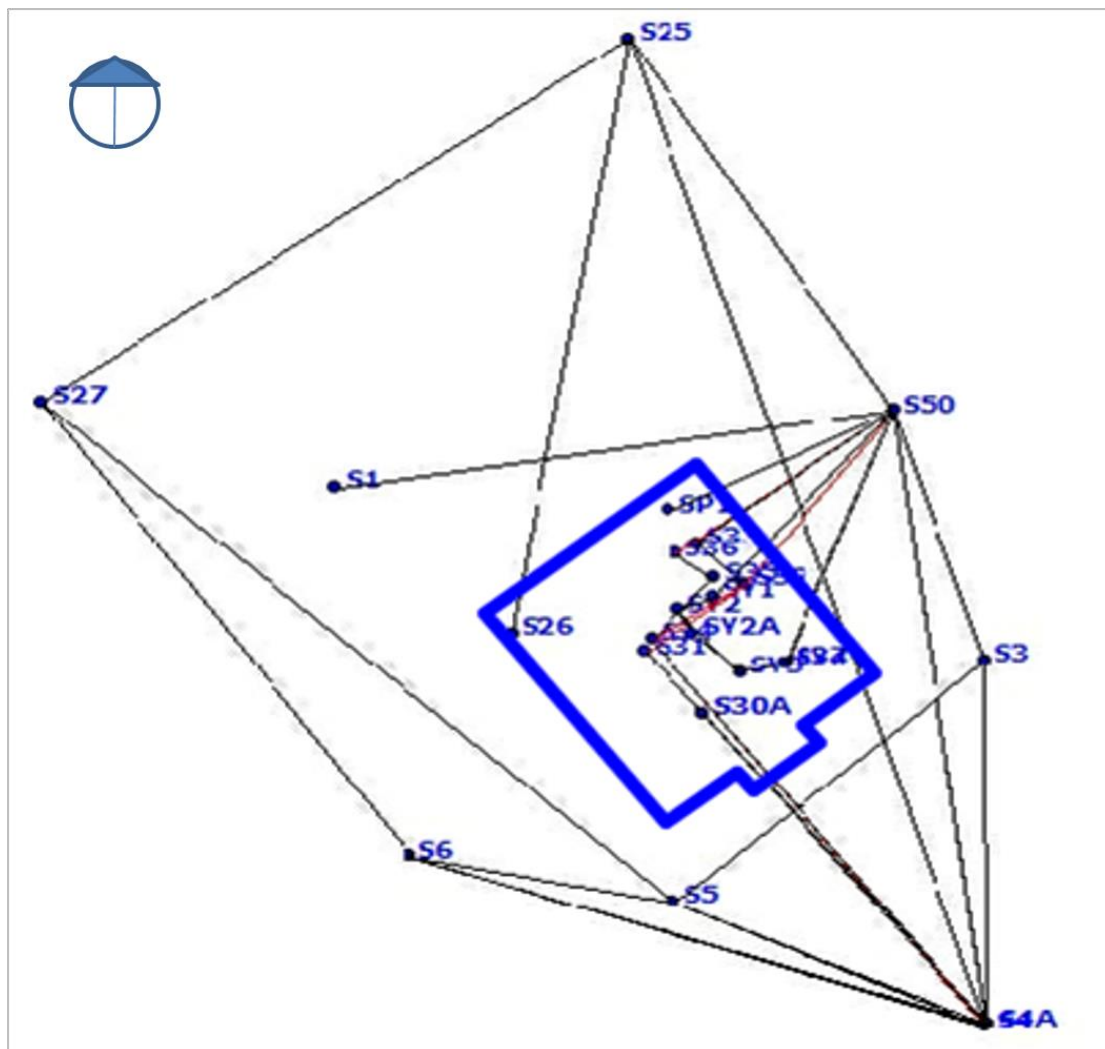
Για την αποφυγή παραμορφώσεων στην κλίμακα οριζοντιογραφικής απεικόνισης του μνημείου στο σύστημα ΕΓΣΑ 87, που είναι αυξημένες λόγω της θέσης του μνημείου ως προς την αφετηρία του συστήματος αναφοράς, η γεωμετρική τεκμηρίωση και απεικόνιση του μνημείου έγινε σε δύο βήματα. Αρχικά η επίλυση του δικτύου έγινε σε τοπικό σύστημα συντεταγμένων. Τα αποτελέσματα των επιμέρους μετρήσεων, αποδόθηκαν στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων. Στη συνέχεια, έγινε η ένταξη του τοπικού συστήματος συντεταγμένων στο κρατικό σύστημα ΕΓΣΑ 87, μέσω της εφαρμογής των ελάχιστων δεσμεύσεων, δηλαδή με χρήση μιας στάσης του πολυγωνομετρικού δικτύου για μετάθεση και της διεύθυνσης του άξονα X για στροφή μεταξύ των δύο συστημάτων. Έτσι, αφενός το

²³⁰ Vanneschi, C., Eyre, M., Francioni, M., & Coggan, J. (2017). The use of remote sensing techniques for monitoring and characterization of slope instability. *Procedia Engineering*, 191, 150-157.

²³¹ Nocerino, E., Menna, F., Remondino, F., Toschi, I., & Rodríguez-González, P. (2017, June). Investigation of indoor and outdoor performance of two portable mobile mapping systems. In *Videometrics, Range Imaging, and Applications XIV* (Vol. 10332, p. 103320I). International Society for Optics and Photonics.

²³² Νικητάκος, Ι. (2013). Η Συμβολή Μεθόδων Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης και Διαχείρισης στη Διαγνωστική Μελέτη της Βίλλας Κλωναρίδη. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ "Προστασία Μνημείων". (Συνεπιβλέποντα μέλη ΔΕΠ: Καθ. Ε. Καθ. Α. Μοροπούλου, Αν. Καθ. Χ. Ιωαννίδης)

μνημείο γεωαναφέρεται ως προς το κρατικό σύστημα ΕΓΣΑ 87, αφετέρου δεν εφαρμόζεται στην απεικόνιση του μνημείου η κλίμακα του ΕΓΣΑ 87 ώστε να απεικονίζονται χωρίς 'παραμόρφωση' οι διαστάσεις του. Η γεωαναφορά και ένταξη στο σύστημα ΕΓΣΑ 87 έγιναν με τους δέκτες GPS GNSS NR2 Altus.

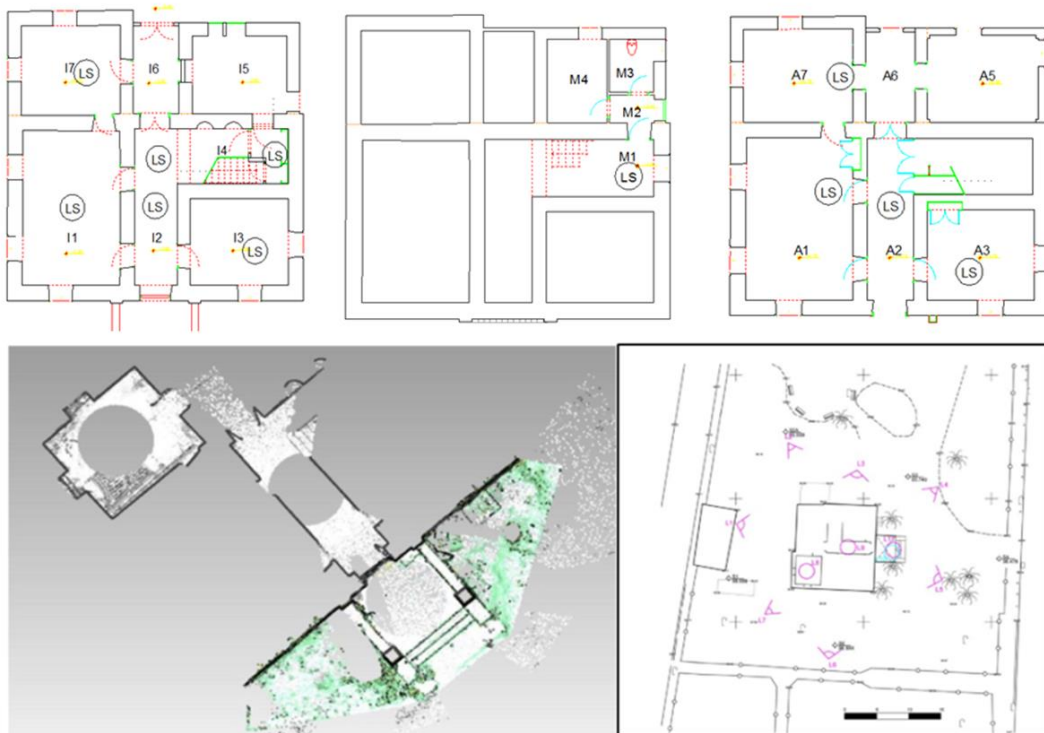


Εικόνα 54: Τοπογραφικό δίκτυο για την αποτύπωση της Βίλλας Κλωναρίδη²³³

Για τη σάρωση του μνημείου, επιλέχθηκε ο επίγειος σαρωτή laser ScanStation2 της Leica. Πραγματοποιήθηκαν σαρώσεις από επτά (7) διαφορετικές θέσεις του επίγειου σαρωτή εξωτερικά, και δέκα (10) στο εσωτερικό του ιστορικού κτηρίου (Εικόνα 55). Η συνένωση - γεωαναφορά των επί μέρους νεφών σημείων πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Cyclone της Leica και οι τεχνικές που εφαρμόστηκαν για τη συνένωση - γεωαναφορά σε ενιαίο αρχείο ήταν οι target-to-target registration και target-to-total station registration με τελική πυκνότητα νέφους 7 mm. Λόγω της αδυναμίας της σάρωσης σε όλα τα δωμάτια στο εσωτερικό του κτηρίου, πραγματοποιήθηκαν σαρώσεις με τον σαρωτή laser GeoSLAM. Η σάρωση όλων των δωματίων του εσωτερικού του κτηρίου καθώς και της εξωτερικής όψης

²³³ Tsilimantou, E., Delegou, E., Ioannidis, C., & Moropoulou, A. (2016, August). Geoinformation techniques for the 3D visualisation of historic buildings and representation of a building's pathology. In *Fourth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2016)* (Vol. 9688, p. 968810). International Society for Optics and Photonics.

του κτηρίου, έγινε με το σαρωτή laser GeoSLAM ZEB-REVO και εν συνεχεία, πραγματοποιήθηκε συνένωση και γεωαναφορά μεταξύ του νέφους από τον επίγειο σαρωτή και τον φορητό σαρωτή. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι το νέφος που προέκυψε από τον επίγειο σαρωτή έχει μεγαλύτερη ακρίβεια επομένως αυτό θεωρήθηκε το νέφος «αναφοράς». Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 2 σαρώσεις για τις εξωτερικές όψεις και έξι για όλους τους εσωτερικούς χώρους του κτηρίου. Η ακρίβεια βάσει των προδιαγραφών είναι 2-3 cm.



Εικόνα 55: Θέσεις του επίγειο σαρωτή laser στο εσωτερικό της Βίλλας Κλωναρίδη καθώς και σε επιλεγμένες θέσεις περιμετρικά

Οι φωτογραμμετρικές τεχνικές πραγματοποιήθηκαν με τη βαθμονομημένη φωτομηχανή Canon Mark III και φακούς 25 & 50 mm, στις τέσσερις εξωτερικές όψεις του κτηρίου και στους εσωτερικούς χώρους με σημαντικές αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες και γύψινες οροφές. Εφαρμόστηκαν μονοεικονικές (αναγωγή και ορθοφωτογραφία) και διεικονικές (στην ανατολική όψη) φωτογραμμετρικές διαδικασίες, με τελικά προϊόντα τα ορθο-φωτομωσαϊκά των όψεων 232. Επίσης εφαρμόστηκε η μέθοδος SfM (Structure from Motion) για την τρισδιάστατη φωτορεαλιστική απεικόνιση των εσωτερικών δωματίων της Βίλλας Κλωναρίδη, της στέγης καθώς και των εξωτερικών όψεων. Οι φωτογραμμετρικές τεχνικές για την περίπτωση της στέγης πραγματοποιήθηκαν με τη φωτομηχανή Canon Eos 1Ds Mark III με φακό 24mm²⁹ και στις υψηλότερες περιοχές των εξωτερικών όψεων συμπεριλαμβανομένης της στέγης έγινε χρήση του Dji Phantom 3 Professional UAV. Συνολικά ελήφθησαν πάνω από 1350 φωτογραφίες για τη δημιουργία του τρισδιάστατου πολυεικονικού μοντέλου. Για τη στέγη ελήφθησαν 594 εικόνες. Το παραγόμενο τρισδιάστατο νέφος σημείων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Metashape Agisoft®.

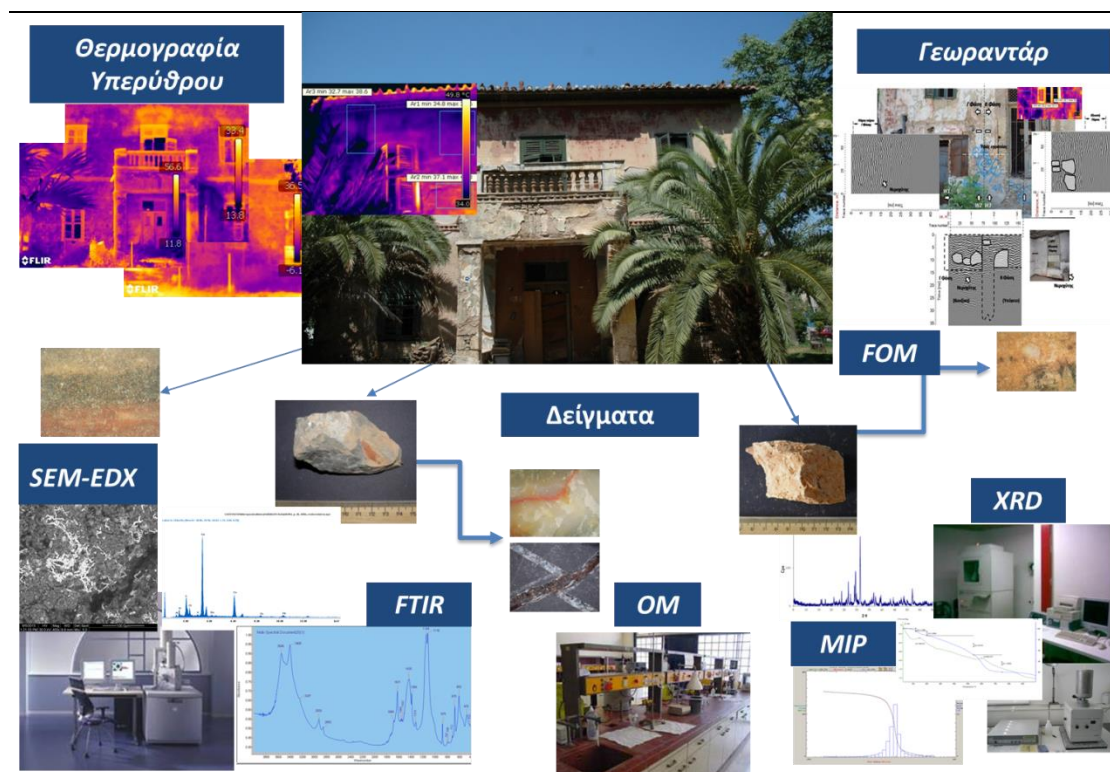
Η ακρίβεια των διαφόρων σημείων ελέγχου στο εσωτερικό και εξωτερικό του κτηρίου κάλυψε τις απαιτήσεις που ορίστηκαν για τα προϊόντα τοπογραφικών σχεδίων σε κλίμακα 1/50 και για επιλεγμένα σχέδια και ορθοεικόνες σε κλίμακα 1/25. Επίσης το τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε από ενσωμάτωση των διαφόρων τεχνικών, καλύπτει τις απαιτήσεις σε ακρίβεια για την εν συνεχεία εισαγωγή του σε τρισδιάστατο περιβάλλον BIM. Επιπλέον, στο τρισδιάστατο μοντέλο, ενσωματώθηκε και η υφή για τις περιοχές που υπήρχε η πληροφορία από τα προϊόντα των φωτογραμμετρικών τεχνικών.

3.3.1.4 Διαγνωστική Μελέτη Δομικών Υλικών και Φθοράς

Αρχικά πραγματοποιήθηκαν μακροσκοπικές παρατηρήσεις για την επιλογή των κατάλληλων περιοχών εφαρμογής των μη καταστρεπτικών τεχνικών. Πιο συγκεκριμένα, για την καταγραφή και την ανάλυση του ιστορικού κτηρίου, οι μη καταστρεπτικές και μη επεμβατικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η Μικροσκοπία Οπτικών Ινών για την αναγνώριση των τύπων φθοράς, η Θερμογραφία Υπερύθρου για να τον εντοπισμό φθορών και τον έλεγχο των επιφανειακών θερμοκρασιακών διαφοροποιήσεων, το Γεωραντάρ για την διαστρωμάτωση της τοιχοποιίας και η υπερηχοσκόπηση. Παράλληλα με τις μετρήσεις πραγματοποιήθηκε και μέτρηση της υγρασίας και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Για την καταγραφή των δομικών υλικών και τη διάγνωση της φθοράς, εφαρμόστηκε το μικροσκόπιο οπτικών ινών I-scope –Moritex σε διάφορες μεγεθύνσεις (x30, x50, x120) σε αντιπροσωπευτικές περιοχές. Η θερμοκάμερα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η θερμογραφική συσκευή ThermoCAM B200 της Flir Systems. Χρησιμοποιήθηκε ακόμη ένα φορητό θερμογρόμετρο για τη βαθμονόμηση των ενδείξεων θερμοκρασίας της κάμερας υπέρυθρης ακτινοβολίας. Το σύστημα γεωραντάρ (GPR) MALA Geoscience ProEx, με κεραία συχνότητας 1,6 GHz και 2,3 GHz, χρησιμοποιήθηκε για τις σαρώσεις. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με το λογισμικό επεξεργασίας δεδομένων MALA Geoscience Rad Explorer v.1.41. Για την υπερηχοσκόπηση χρησιμοποιήθηκε το US, PUNDIT 6228. Επίσης, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, καταγράφηκαν και οι περιβαλλοντικές συνθήκες, υγρασίας και θερμοκρασίας²³⁴.

Όσον αφορά στις τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν, κατόπιν λήψης χαρακτηριστικών δειγμάτων από το εσωτερικό και το εξωτερικό της Βίλλας Κλωναρίδη, για την εξέταση αυτών στο εργαστήριο, αυτές ήταν το Οπτική Μικροσκοπία (OM), η Περίθλαση Ακτίνων Χ (XRD), η Διαφορική Θερμική & Θερμοβαρυμετρική Ανάλυση (DTA/Tg), η Ποροσιμετρία υδραργύρου (MIP), ο προσδιορισμός ολικών υδατοδιαλυτών αλάτων (TSS%), βάσει του “Dosaggio dei sali solubili, Normal 13/83”, η Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης με Μικροανάλυση Ακτίνων Χ, (SEM-EDX), και η Φασματοσκοπία Υπερύθρου με Μετασχηματισμό Fourier^{228,234} (Εικόνα 56)

²³⁴ Τεύχος 4. «Χαρακτηρισμός και Διάγνωση της Φθοράς των Δομικών Υλικών του Ιστορικού Κτιρίου της Βίλλας Κλωναρίδη στα Πατήσια Αθηνών. Χαρτογράφηση Δομικών Υλικών και Φθοράς στην Κλίμακα της Κατασκευής. Προτάσεις Συμβατών Υλικών και Επεμβάσεων Συντήρησης και Αποκατάστασης» στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος του ΕΜΠ «Ολοκληρωμένο Πρόγραμμα Διαγνωστικής έρευνας και στρατηγικός σχεδιασμός υλικών και επεμβάσεων συντήρησης στη Βίλλα Κλωναρίδου και οικία Δουρούτη του Δήμου Αθηναίων».



Εικόνα 56: Χαρακτηρισμός των δομικών υλικών και της φθοράς; τεχνικές μη καταστρεπτικού ελέγχου και αναλυτικές μετρήσεις

3.3.1.5 Δομοστατική μελέτη Ιστορικού κτηρίου

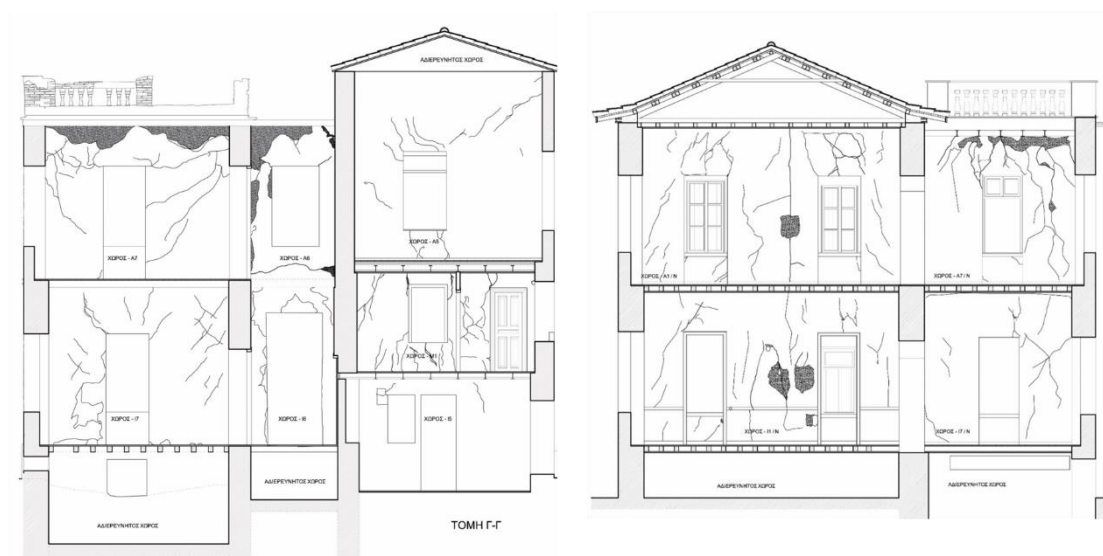
Όσον αφορά στη δομοστατική μελέτη του ιστορικού κτηρίου, πραγματοποιήθηκε στατική και δυναμική ανάλυση της επάρκειας της Βίλλας Κλωναρίδη με χρήση πεπερασμένων στοιχείων. Η ανάλυση που έγινε ήταν γραμμική ελαστική και χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SAP2000 της εταιρείας CSI. Για το μοντέλο προσομοίωσης, απλοποιητικές παραδοχές, εμπειρικοί τύποι καθώς και τα εργαστηριακά αποτελέσματα για τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών χρησιμοποιήθηκαν για να εισαχθούν ως δεδομένα²³⁵.

3.3.2. Αποτελέσματα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης - Προϊόντα

3.3.2.1 Δεδομένα Αρχιτεκτονικής Τεκμηρίωσης – Ιστορικά δεδομένα

Στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης, παράλληλα με τη συλλογή ιστορικών δεδομένων, αναπτύχθηκαν όλα τα προϊόντα για το νεοκλασικό κτήριο, μετά την συλλογή όλων των απαιτούμενων στοιχείων. Όψεις, κατόψεις, τομές καθώς και σχέδια λεπτομερειών, παράχθηκαν (Εικόνα 57).

²³⁵ Τεύχος 3. «Διαγνωστική έρευνα και στρατηγικός σχεδιασμός υλικών και Επεμβάσεων συντήρησης στη Βίλλα Κλωναρίδη. Προτάσεις Συμβατών Υλικών και Επεμβάσεων Συντήρησης και Αποκατάστασης» στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος του ΕΜΠ «Ολοκληρωμένο Πρόγραμμα Διαγνωστικής έρευνας και στρατηγικός σχεδιασμός υλικών και επεμβάσεων συντήρησης στη Βίλλα Κλωναρίδου και οικία Δουρούτη του Δήμου Αθηναίων».



Εικόνα 57: Σχέδια τομών, αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης

3.3.2.2 Δεδομένα Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης

Η δημιουργία της τρισδιάστατης επιφάνειας της υφιστάμενης κατάστασης του ιστορικού κτηρίου, έγινε με συνδυασμό των νεφών των σημείων που είχαν προκύψει από τις επίγειες σαρώσεις laser και από την πυκνή συνταύτιση των εικόνων, με χρήση του λογισμικού Geomagic. Πιο συγκεκριμένα, για την δημιουργία του πλήρους τρισδιάστατου μοντέλου με υφή του μνημείου, από τις φωτογραμμετρικές τεχνικές, εφαρμόστηκε η πολυεικονική (MVS) μέθοδος Structure-from-Motion (SfM). Η μέθοδος αυτή, συνδυάζει την εφαρμογή αλγορίθμων φωτογραμμετρικών και όρασης υπολογιστών για τη δημιουργία 3D μοντέλων με χρήση μεγάλου αριθμού εικόνων, οι οποίες έχουν ληφθεί από διαφορετικές οπτικές γωνίες και από διαφορετικές θέσεις, με στόχο την τρισδιάστατη ανακατασκευή του. Αρχικά πραγματοποιήθηκε ο ταυτόχρονος προσδιορισμός του εσωτερικού και σχετικού προσανατολισμού των εικόνων και η δημιουργία αραιού νέφους σημείων, με εφαρμογή της μεθόδου Structure from Motion (SfM). Υπολογίστηκαν οι θέσεις των εικόνων και η γεωμετρία των αντικειμένων. Εφαρμόστηκαν ο αλγόριθμος SURF, που αποτελεί εξέλιξη του πιο αργού αλγορίθμου SIFT και ο επαναληπτικός αλγόριθμος RANSAC, ενώ προϋπόθεση είναι να υπάρχουν μεγάλες επικαλύψεις μεταξύ των εικόνων. Στη συνέχεια έγινε η πύκνωση του νέφους σημείων, μέσω διαδικασίας πυκνής συνταύτισης εικόνας. Εφαρμόστηκαν αλγόριθμοι της όρασης υπολογιστών (Semi-Global Matching, Mutual Information, κ.α.) για τον υπολογισμό των 3D συντεταγμένων χώρου για κάθε pixel εικόνας και προέκυψε ένα ιδιαίτερα πυκνό νέφος σημείων, που καλύπτει όλα τα τμήματα του αντικειμένου που απεικονίζονται σε τουλάχιστον τρεις εικόνες (Εικόνα 58). Στο τέλος πραγματοποιήθηκε η παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου του μνημείου ως συνεχής επιφάνεια, με τη μορφή τριγώνων (TIN) (Εικόνα 59α).

Αντίστοιχα, τα νέφη σημείων από το σαρωτή laser GeoSLAM ZEB-REVO, συνενώθηκαν, ενώ πραγματοποιήθηκε η γwanaφορά τους βάσει του μοντέλου που προέκυψε από τις σαρώσεις laser (Εικόνα 60).



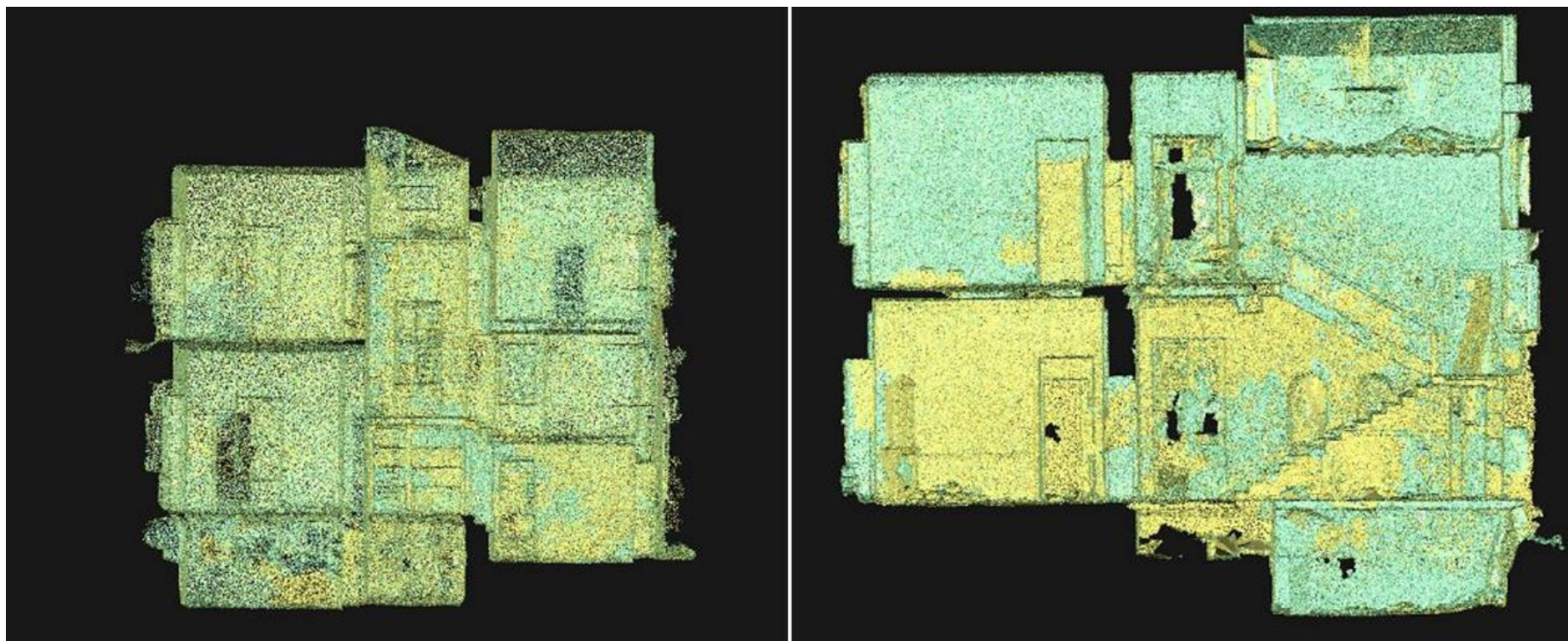
Εικόνα 58: Στιγμιότυπο από χαρακτηριστικές περιοχές στο εσωτερικό της Βίλλας; Πυκνό νέφος σημείων με υφή

Σε επόμενο στάδιο αποδόθηκε υφή στην τρισδιάστατη επιφάνεια (Εικόνα 596), με χρήση του λογισμικού Metashape PhotoScan μέσω των ήδη προσανατολισμένων (από τη διαδικασία του SfM) εικόνων. Για τη σωστή απόδοση της υφής έγινε κατάλληλη, χειροκίνητη, επιλογή των (τμημάτων των) εικόνων που απέδιδαν γεωμετρικά και ραδιομετρικά καλύτερα κάθε περιοχή του τρισδιάστατου μοντέλου.



Εικόνα 59: Τρισδιάστατο μοντέλο Βίλλας Κλωναρίδη με τη μορφή τριγώνων (α) και τρισδιάστατο μοντέλο με υφή (β)

Τα αποτελέσματα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης με υφή των όψεων του μνημείου ήταν απαραίτητα για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών των εξωτερικών όψεων του ιστορικού κτηρίου μέσω ΓΣΠ (για τη διαχείριση πληροφοριών από την διαγνωστική μελέτη), ενώ το τρισδιάστατο μοντέλο (το νέφος σημείων) ήταν απαραίτητο για τις υλοποίηση του τρισδιάστατου ΜΚΠ (Εικόνα 61).



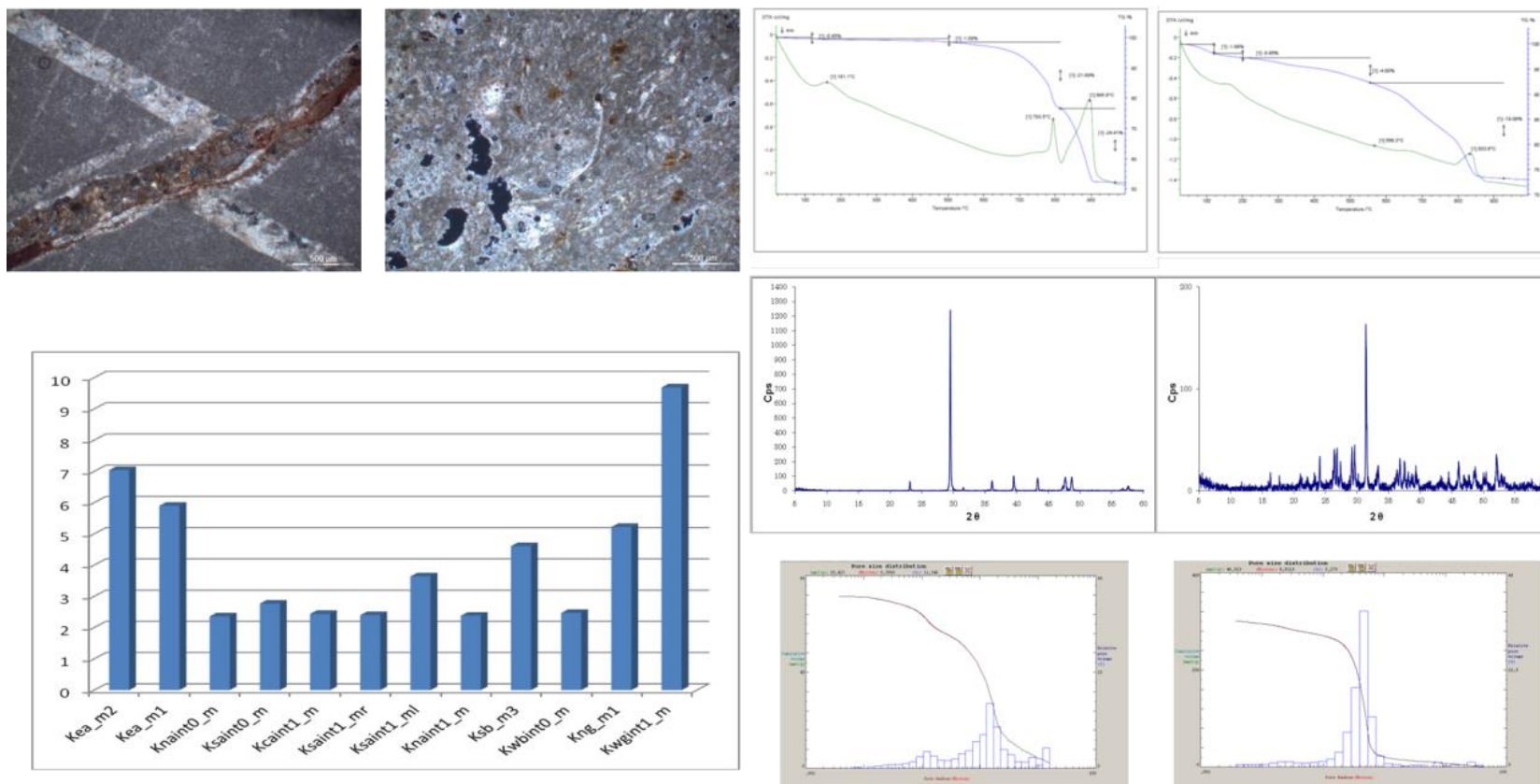
Εικόνα 60: Τομές τρισδιάστατου νέφους σημείων της Βίλλας Κλωναρίδη, όπου διακρίνονται οι χώροι στο εσωτερικό, καθώς και χαρακτηριστικές λεπτομέρειες όπως η κύρια σκάλα του κτηρίου, όπως προέκυψαν από την αποτύπωση με το GeoSLAM.



Εικόνα 61: Τομή τρισδιάστατου μοντέλου της Βίλλας Κλωναρίδη με υφή, όπου διακρίνονται οι χώροι στο εσωτερικό, καθώς και χαρακτηριστικές λεπτομέρειες όπως η κύρια σκάλα του κτηρίου

3.3.2.3 Δεδομένα χαρακτηρισμού δομικών υλικών και διάγνωσης της φθοράς

Από τα αποτελέσματα των ενόργανων τεχνικών και σε συνδυασμό με τις μη καταστρεπτικές τεχνικές προέκυψαν τα εξής. Ο γκρίζος συμπαγής ασβεστόλιθος παρατηρείται σε όλες τις οικοδομικές φάσεις του κτηρίου. Επιπλέον, στην πρώτη φάση, χρησιμοποιείται υπόλευκος συμπαγής ασβεστόλιθος και υποκίτρινος πορώδης ασβεστόλιθος. Στη δεύτερη, παρατηρούνται δύο τύποι υπόλευκων πωρόλιθων, ενώ στην τρίτη δύο τύποι υπόλευκων πωρόλιθων. Επίσης εμφανίζουν διαφορές και οι οπτόπλινθοι που χρησιμοποιήθηκαν και στις τρεις κατασκευαστικές φάσεις. Στην πρώτη φάση οι οπτόπλινθοι εμφανίζονται πορτοκαλοκόκκινοι και πορτοκαλοκίτρινοι, όπως και στη δεύτερη, ενώ στην τρίτη είναι ανοικτού κίτρινου χρωματισμού. Ασβεστοπηλοκονιάματα απαντώνται σε όλο το κτήριο, διαφορετικής σύστασης ανά οικοδομική φάση, κυρίως ως προς την πρώτη ύλη²³⁴.



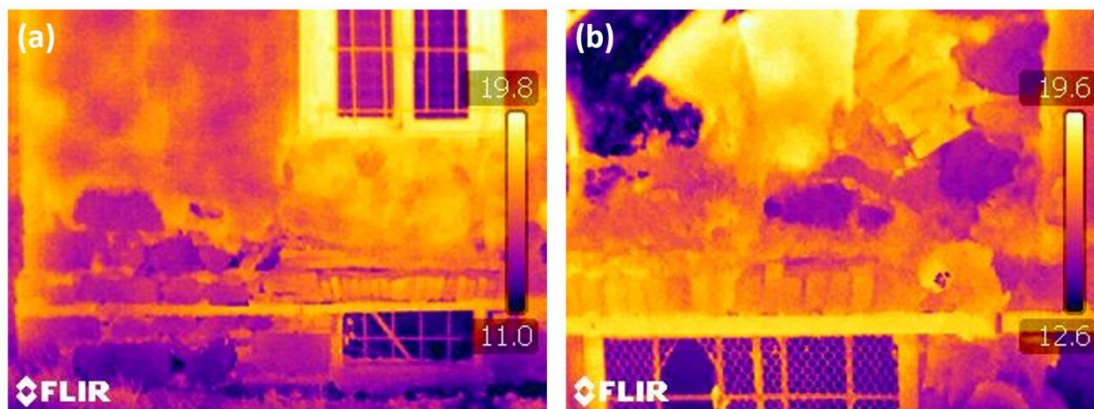
Εικόνα 62: Αποτελέσματα ενόργανων μετρήσεων για το χαρακτηρισμό των δομικών υλικών και της φθοράς (αποτελέσματα OM για λίθο όπου διακρίνονται οι διακλάσεις σε δείγμα της 1ης Κ. Φ. (αριστερά πάνω); αποτελέσματα Tg-DTA σε δείγμα λίθου 2ης Κ.Φ. και κονιάματος 2ης Κ. Φ. αντίστοιχα (δεξιά πάνω); αποτελέσματα XRD σε δείγμα λίθου 1ης Κ. Φ. και οπτόπλινθου 1ης επίσης Κ. Φ. (δεξιά μέση); Αποτελέσματα μικροδομής με ποροσιμετρία υδραργύρου για λίθο της 1ης Κ.Φ. καθώς και για οπτόπλινθο από το εσωτερικό του κτηρίου (δεξιά κάτω); Ολικά διαλυτά άλατα των κονιαμάτων του κτηρίου (αριστερά κάτω)²³⁴.

Συνολικά το κτήριο βρίσκεται σε πολύ κακή κατάσταση διατήρησης. Όσον αφορά τις φθορές, η χρωματική επίστρωση των εξωτερικών όψεων είναι σε πολύ κακή κατάσταση διατήρησης, καθώς το μεγαλύτερο μέρος έχει αποκολληθεί. Παρουσιάζονται πολλές ρηγματώσεις στη χρωματική επίστρωση, και εντοπίζονται πολλές αντίστοιχες αποφλοιώσεις στο εσωτερικό του κτηρίου. Η δράση των διαλυτών αλάτων αποτελεί το κυριότερο πρόβλημα των δομικών υλικών με παρουσία υψηλής συγκέντρωσης χλωριόντων κυρίως στα κονιάματα της δεύτερης και τρίτης κατασκευαστικής φάσης (Εικόνα 62). Ρηγματώσεις επίσης παρουσιάζονται στις περιοχές που διαφοροποιείται η κατασκευαστική φάση στο μνημείο.

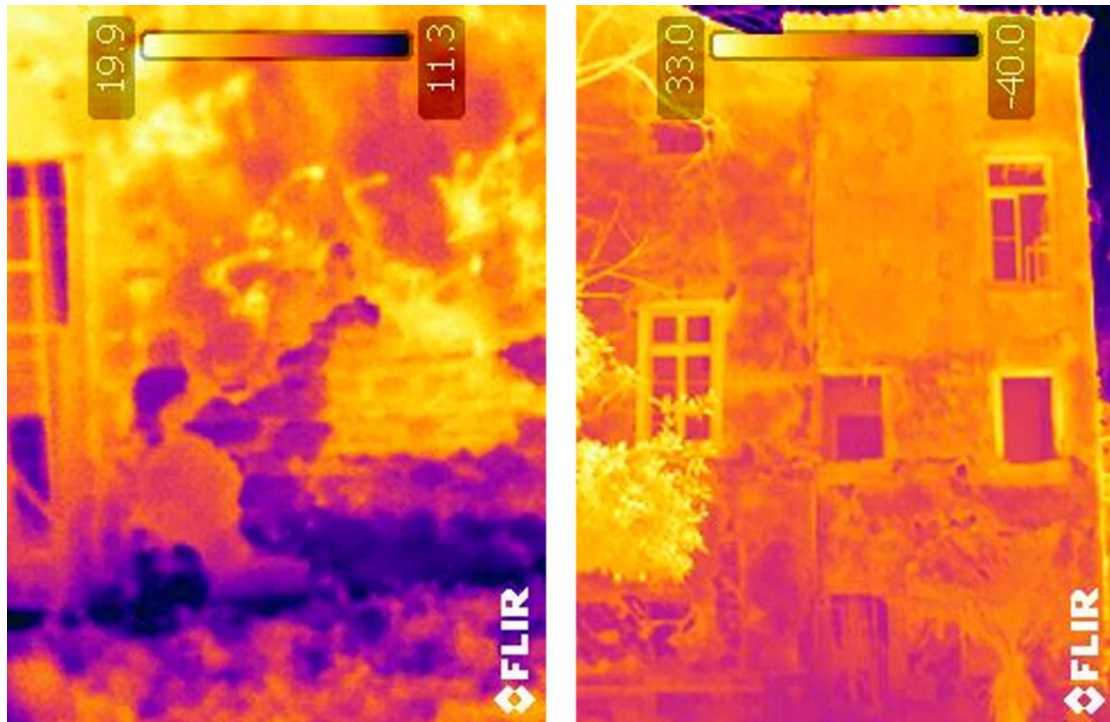
Μορφολογικά, διακρίνονται τρεις διαφορετικές οικοδομικές φάσεις. Μετά από εφαρμογή γεωραντάρ, διαπιστώθηκε τριστηρωτή αργολιθοδομή και στις τρεις οικοδομικές φάσεις. Στο ισόγειο της πρώτης φάσης, το πάχος της τοιχοποιίας εκτιμάται ως 70 cm. Στον πρώτο όροφο της πρώτης φάσης, το πάχος της τοιχοποιίας εκτιμάται ως ελαφρά μικρότερο, από 65 έως 67 cm. Στη δεύτερη οικοδομική φάση, το πάχος της τοιχοποιίας εκτιμάται ως 60 cm, και στην τρίτη οικοδομική φάση, ως 65 cm. Παρατηρείται επίσης η χρήση οπτοπλίνθων στις ποδιές των παραθύρων, με πάχος 40 cm²³⁴.

Επιτόπου εφαρμογή μη καταστρεπτικών τεχνικών πραγματοποιήθηκαν για τη διάγνωση της υφιστάμενης κατάστασης διατήρησης του κτηρίου. Εικόνες από την εφαρμογή της θερμογραφίας υπερύθρου, έδειξε μορφολογικές διαφοροποιήσεις λόγω των διαφορετικών τύπων φθοράς και έντασης αυτής. Τα αποτελέσματα στις προσόψεις του ιστορικού κτηρίου έδειξε διακυμάνσεις ανάλογα με την κατασκευαστική φάση και λόγω διαφοροποιήσεων στη δόμηση της τοιχοποιίας (Εικόνα 63, Εικόνα 64, Εικόνα 65).

Διακυμάνσεις παρατηρήθηκαν μεταξύ της τοιχοποιίας της πρώτης και τρίτης κατασκευαστικής φάσης, όπως επίσης και στο χαμηλό τμήμα του κτηρίου όπου η αποκόλληση του ασβεστοκονιάματος αποκάλυψε την εσωτερική δομή. Παρατηρήθηκε ακόμη διαφορετική θερμική αγωγιμότητα η οποία υποδεικνύει διαφοροποιήσεις των δομικών υλικών και διαφορετική επιρρέπεια στη φθορά. Εικόνες από τη μικροσκοπία οπτικών ινών αποκάλυψαν διάφορα είδη φθοράς στα υπό διερεύνηση δομικά υλικά και στις αρχιτεκτονικές και καλλιτεχνικές επιφάνειες. Πραγματοποιήθηκε εφαρμογή της μικροσκοπίας οπτικών ινών σε διαφορετικά είδη λίθων πλίνθων και κονιαμάτων για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την κατάσταση διατήρησης τους (Εικόνα 66).



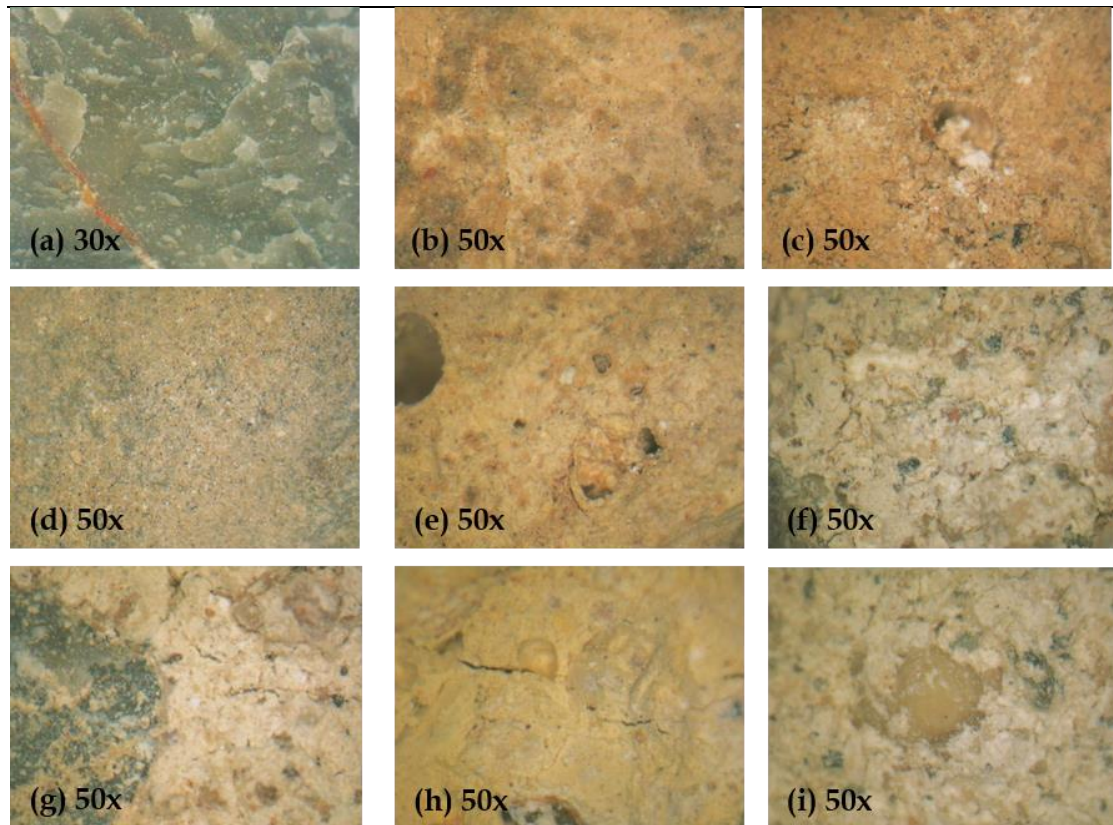
Εικόνα 63: Θερμογραφία Υπερύθρου στη βόρεια όψη. Παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στον τρόπο δόμησης (η ποδιά του παραθύρου είναι κατασκευασμένη από οπτόπλινθους ενώ θερμοκρασιακή διαφοροποίηση παρατηρείται λόγω των διαφορετικών δομικών υλικών



Εικόνα 64: Αποτελέσματα θερμογραφίας υπερύθρου στη βόρεια όψη όπου παρατηρείται ανερχόμενη υγρασία στην κάτω πλευρά στην τοιχοποιία της τρίτης κατασκευαστικής φάσης ενώ παρατηρείται διαφορετική θερμοκρασία στις τοιχοποιίες μεταξύ της πρώτης και τρίτης κατασκευαστικής φάσης.



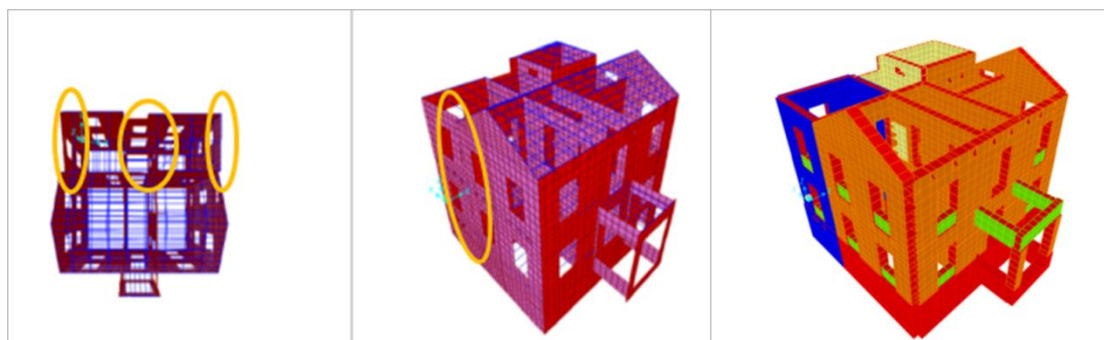
Εικόνα 65: Θερμογραφία Υπερύθρου στην Ανατολική όψη της Βίλλας Κλωναρίδη



Εικόνα 66: Εικόνες Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών επιλεγμένων λίθων, οπτόπλινθων και κονιαμάτων²³⁴.

3.3.2.4 Δεδομένα Δομοστατικής Ανάλυσης

Η κατάσταση διατήρησης της δομικής κατασκευής είναι σε πολύ κακή κατάσταση. Η απουσία επεμβάσεων συντήρησης, καθώς και η καταπόνηση από προγενέστερες σεισμικές δράσεις, έχουν αναπτυχθεί σημαντικές βλάβες στο φέροντα οργανισμό. Παρατηρούνται μία σειρά από βλάβες, από μικρές εφελκυστικές ρωγμές έως και διαμπερείς ρωγμές με αποδιοργάνωση της τοιχοποιίας που οφείλονται σε σεισμική δράση. Ακόμη, παρατηρείται σε πολλές περιοχές απώλεια του συνδετικού κονιάματος, καθώς λόγω της απουσίας επιχρίσματος έχει προκληθεί σημαντική φθορά σε αρκετά τμήματα των εξωτερικών επιφανειών, κυρίως στη βόρεια και δυτική όψη. Διαγώνιες ρωγμές λόγω της σεισμικής δράσης εμφανίζονται στις γωνίες των υπερθύρων. Στις ενώσεις των τοιχοποιιών που κατασκευάστηκαν σε διαφορετικές φάσεις, λόγω της μη μονολιθικής σύνδεσής τους, υπάρχουν αποκολλήσεις. Επίσης στις τοιχοποιίες της τρίτης κατασκευαστικής φάσης, η οπτοπλινθοδομή εμφανίζει διαμπερείς διαγώνιες ρωγμές που αποδίδονται στον ασθενή τρόπο δόμησης και τοποθέτησης των οπτόπλινθων.



Εικόνα 67: Μετατοπίσεις κατά τη διάρκεια φόρτισης; Γενική άποψη του κτιρίου όπου διακρίνονται οι διαφορετικές φάσεις κατασκευής της Βίλλας Κλωναρίδη

3.3.2.5 Συσχέτιση αποτελεσμάτων μη καταστρεπτικών τεχνικών και δεδομένων γεωμετρικής τεκμηρίωσης και διαχείριση αυτών σε τρισδιάστατο περιβάλλον

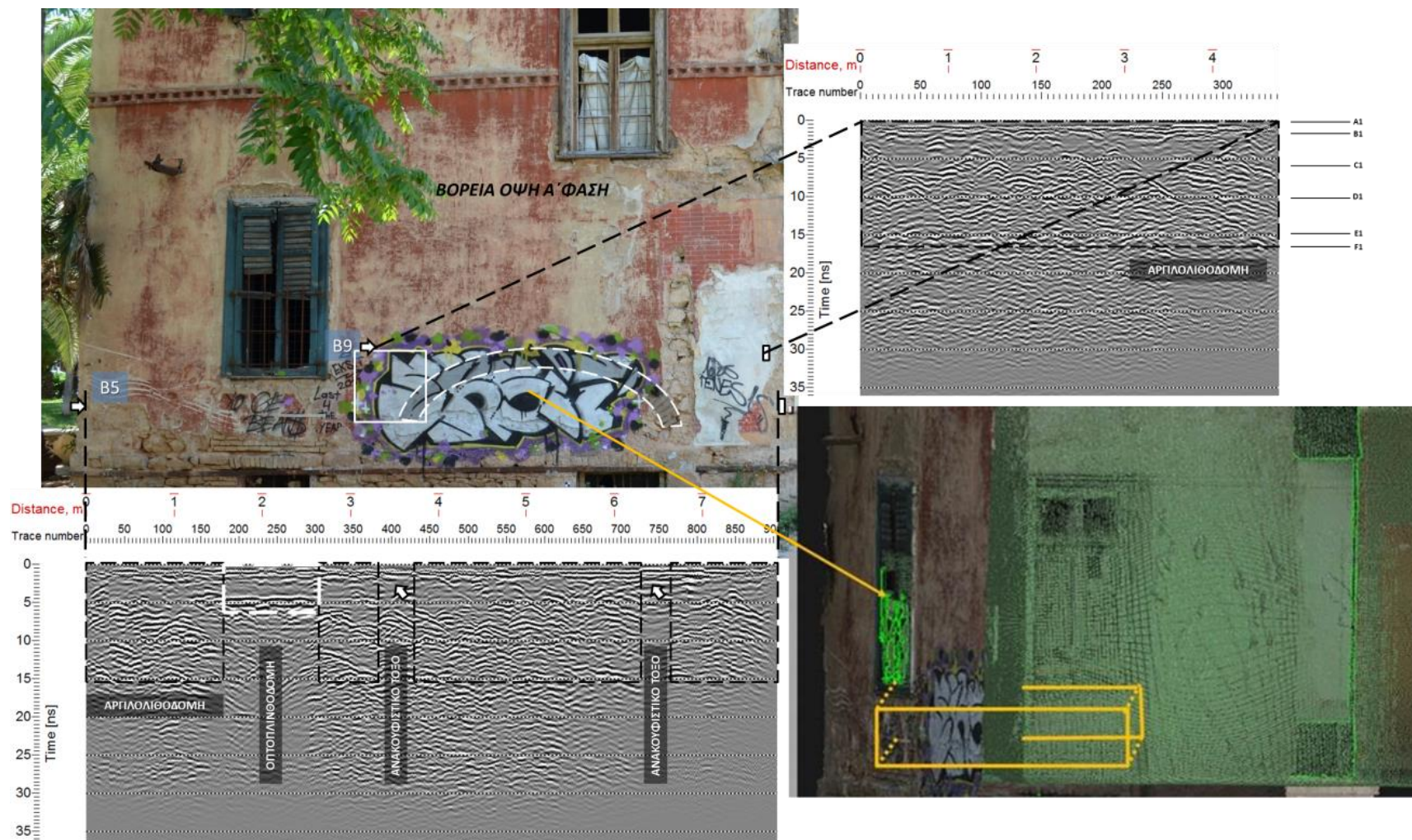
Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις μη καταστρεπτικές τεχνικές περιλαμβάνουν διαγραμματικά καθώς και εικονιστικά προϊόντα. Τα δεδομένα αυτά, μπορούν να συσχετιστούν με τα αποτελέσματα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης (νέφος σημείων) και να εξαχθούν συμπεράσματα σε τρισδιάστατο περιβάλλον διαχείρισης δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, η εκτίμηση της παθολογίας της τοιχοποιίας μπορεί να επιτευχθεί και μέσα από τη διαχείριση δεδομένων αισθητήρων εκτός του RGB.

Στην προκειμένη περίπτωση επιχειρείται η διαχείριση των αποτελεσμάτων της θερμογραφίας υπερύθρου ως υφή σε μία όψη του τρισδιάστατου νέφους σημείων (Εικόνα 68). Με μία πρώτη προσέγγιση, δεδομένα ποιοτικού χαρακτήρα μπορούν να εξαχθούν για την κατάσταση διατήρησης του μνημείου. Παράλληλα, το τρισδιάστατο μοντέλο φέρει ποσοτικά δεδομένα.

Επομένως, μέσα σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον διαχείρισης δεδομένων, μπορούν να τεκμηριωθούν οι περιοχές εκτεταμένης φθοράς και ποσοτικά δεδομένα να εξαχθούν επίσης (π.χ απώλεια αυθεντικού υλικού, αποκόλληση ασβεστοκονιάματος, κ.α). Ακόμη, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα του γεωραντάρ, είναι εφικτή η εκτίμηση της μορφολογίας της τοιχοποιίας και της διαστρωμάτωσης όλων των τοιχοποιιών που μελετήθηκαν (Εικόνα 69). Τα αποτελέσματα αυτά, μπορούν να ώστε να ενσωματωθούν ως ιδιότητες του αντικειμένου και να προωθηθεί κατ' αυτό τον τρόπο η ανάπτυξη και σημασιολογικός εμπλουτισμός του τρισδιάστατου HBIM, λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα αυτά.



Εικόνα 68: Διαχείριση αποτελεσμάτων θερμογραφίας υπερύθρου ως υφή στο τρισδιάστατο μοντέλο και πιο συγκεκριμένα στη βόρεια όψη του ιστορικού κτηρίου



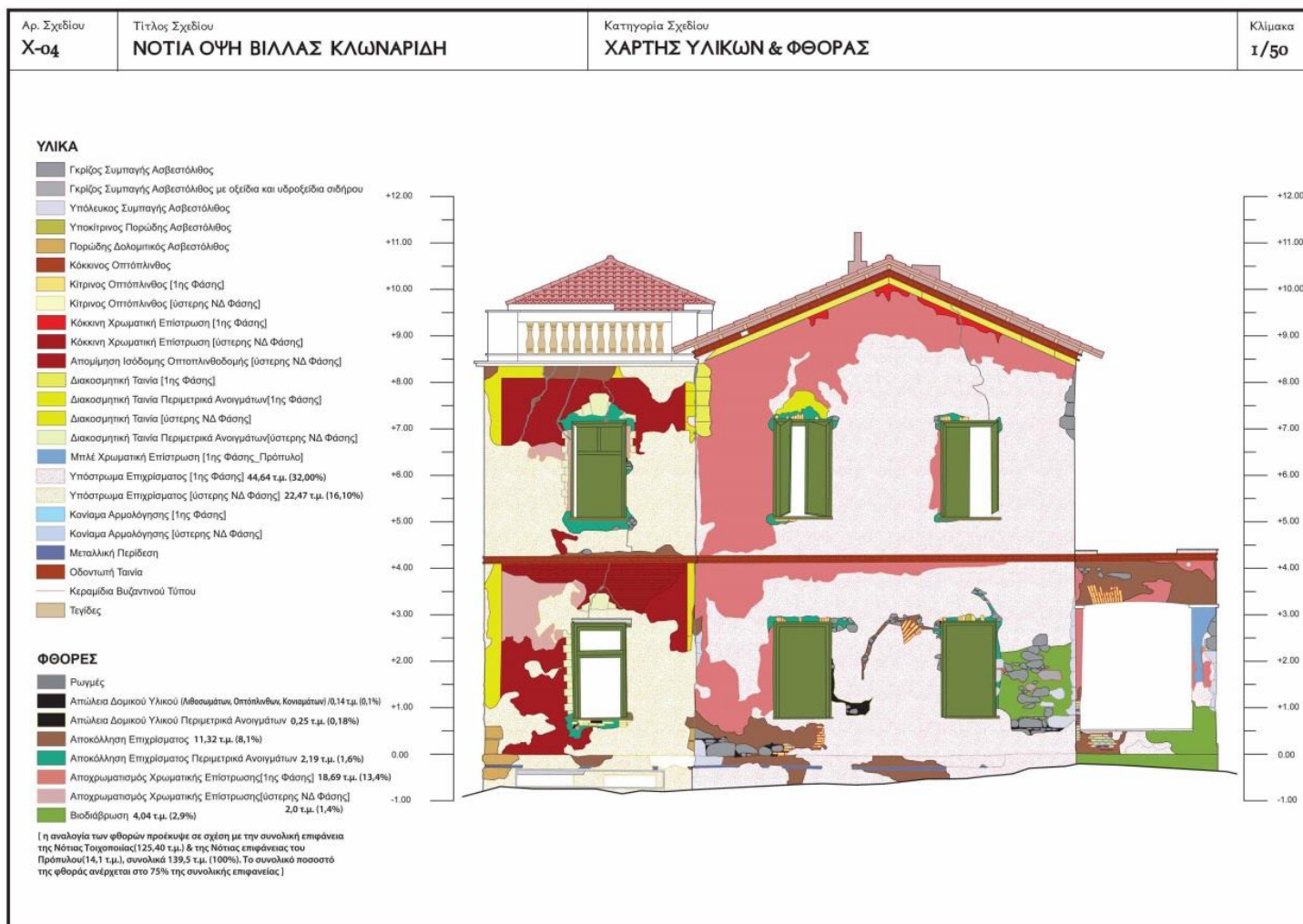
Εικόνα 69: Αποτελέσματα μετρήσεων γεωραντάρ που υποδεικνύουν τη μορφολογία και τη διαστρωμάτωση της τοιχοποιίας υπό διερεύνηση.

3.3.3 Διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης σε δισδιάστατο περιβάλλον ΓΣΠ

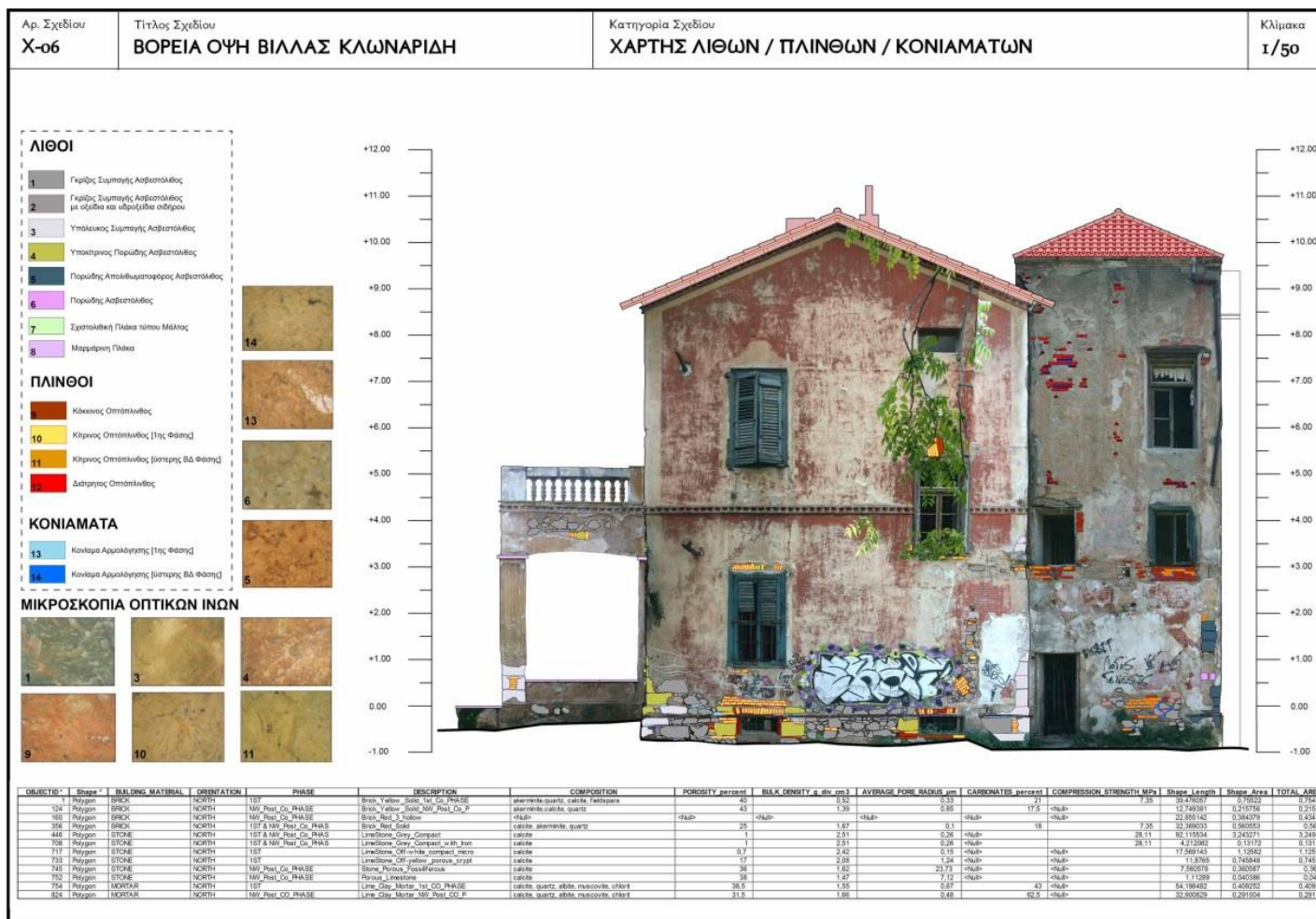
Στην παρούσα ενότητα, αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε με σκοπό το σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός συστήματος ΓΣΠ (δισδιάστατο), για τη διαχείριση, οπτικοποίηση, ταξινόμηση και συσχέτιση της διεπιστημονικής πληροφορίας που προέκυψε από την τεκμηρίωση και τη διαγνωστική μελέτη.

Τα διεπιστημονικά δεδομένα περιλάμβαναν δεδομένα αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης (κυρίως γραμμικές χωρικές οντότητες), δεδομένα γεωμετρικής τεκμηρίωσης (ορθοεικόνες και ψηφιοποιημένες χωρικές οντότητες), δεδομένα της διαγνωστικής μελέτης, που αφορούσαν στα αποτελέσματα των μη καταστρεπτικών και των ενόργανων εργαστηριακών τεχνικών που εφαρμόστηκαν στα δείγματα για τον χαρακτηρισμό των υλικών (δεδομένα ορυκτολογικά, μικροδομής, φυσικοχημικά και διαλυτών αλάτων), καθώς και δεδομένα της δομοστατικής μελέτης. Η υλοποίηση έγινε στο λογισμικό ArcGIS 10 και ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του λογικού διαγράμματος, στο ArcCatalog 10 του ArcGIS ενώ επικαιροποίηση του συστήματος έγινε μέσω του ArcGIS 10.5.1.

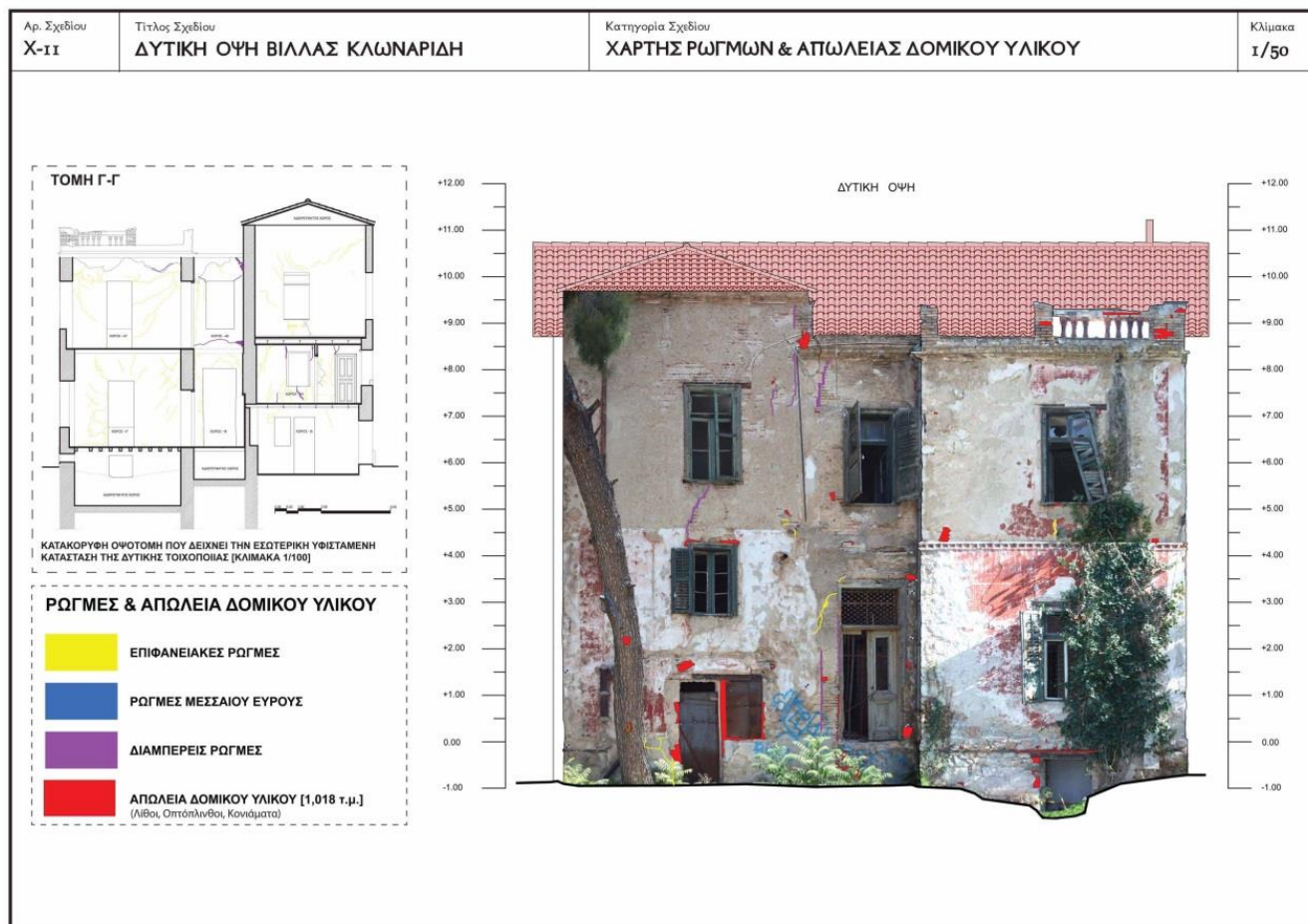
Η βάση δεδομένων διαρθρώθηκε όπως ακριβώς διαρθρώνεται ένα κτήριο, στο περιβάλλον το οποίο βρίσκεται, και πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον τρόπο που διαρθρώνεται η Βίλλα Κλωναρίδη όπως είναι ο τρόπος δόμησης του κτηρίου, τα δομικά του στοιχεία και λεπτομέρειες, ο προσανατολισμός του, οι κατασκευαστικές του φάσεις και ο διαχωρισμός του σε επίπεδα, σύμφωνα με την γεωμετρική του τεκμηρίωση και με τη δυσδιάστατη λογική απεικόνισης ενός αντικειμένου σε Κατόψεις, Όψεις, Τομές. Σχεδιάστηκε ένα εννοιολογικό-λογικό διάγραμμα, το οποίο περιέγραφε όλο το κτήριο χωρικά χωρισμένο ανά όγκους εξωτερικούς (όψεις) και εσωτερικούς (δωμάτια)²³². Η διάρθρωση κάθε χώρου ήταν ανάλογη με τον προσανατολισμό του, τις οικοδομικές του φάσεις, τα δομικά του σύνολα (τοιχοποιία, στέγη, πρόπυλο, ανοίγματα εξωτερικά και δάπεδο, ταβάνι, τοιχοποιία, ανοίγματα εσωτερικά) και τα δομικά του στοιχεία (υλικά, φθορές, μορφολογικά χαρακτηριστικά, χαρακτηριστικές λεπτομέρειες). Θεματικοί χάρτες συντέθηκαν και αφορούσαν στα δομικά υλικά του μνημείου, στους τύπους και στην ένταση της φθοράς (Εικόνα 70, Εικόνα 71, Εικόνα 72). Ακόμη, υπολογίστηκαν, ποσοστά επί του συνόλου, σε σχέση με την παθολογία του μνημείου, κατανεμημένο ανά όψη (ανατολική, δυτική, βόρεια, νότια). Έγινε υπολογισμός της συνολικής επιφάνειας όπου εμφανίζουν φθορές τα δομικά υλικά και επιπλέον συντέθηκαν θεματικοί χάρτες επεμβάσεων συντήρησης



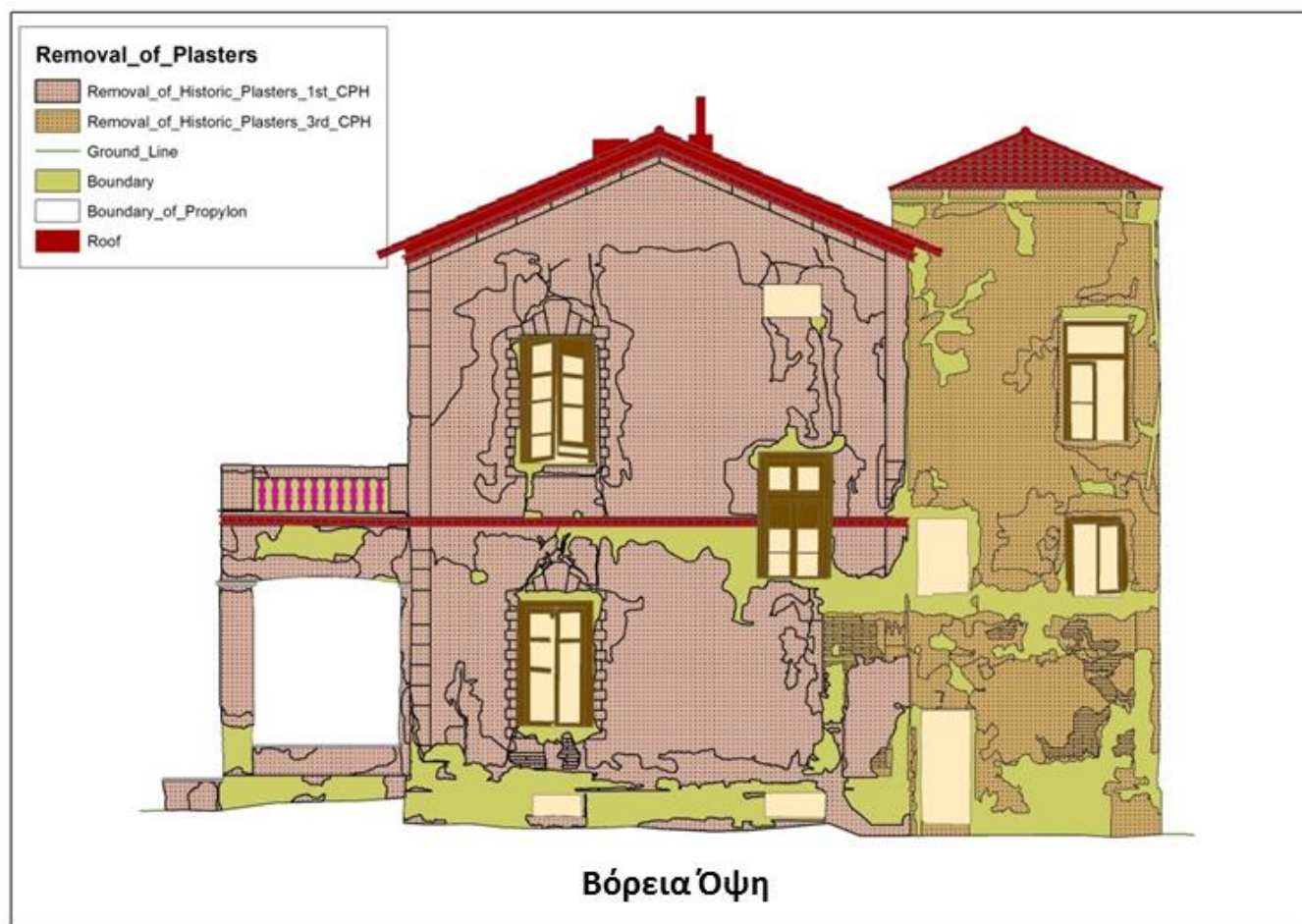
Εικόνα 70: Θεματικός χάρτης υλικών και φθοράς στη νότια όψη της Βίλλας Κλωναρίδη²³²



Εικόνα 71: Θεματικός χάρτης δομικών υλικών; λίθων, πλίνθων, κονιαμάτων στη βόρεια όψη²³²



Εικόνα 72: Θεματικός χάρτης ρωγμών και απώλειας δομικού υλικού στη δυτική όψη²³²



Εικόνα 73: Θεματικός χάρτης αποξήλωσης επιχρισμάτων και χρωματικής επίστρωσης

3.3.4. Διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης σε τρισδιάστατο Μοντέλο Κτηριακών Πληροφοριών ΜΚΠ (BIM)

Το τρισδιάστατο μοντέλο κτηριακών πληροφοριών δημιουργήθηκε, χρησιμοποιώντας ως δεδομένα εισόδου τα αποτελέσματα της αρχιτεκτονικής και της γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Το λογισμικό Revit Autodesk επιλέχθηκε για τη διαμόρφωση του μοντέλου, καθώς καλύπτει τις ανάγκες για την απόδοση των στοιχείων που απαρτίζουν το ιστορικό κτήριο. Στο περιβάλλον αυτό, τα εργαλεία μοντελοποίησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν με προκατασκευασμένα στέρεα αντικείμενα ή με εισαχθέντα γεωμετρικά μοντέλα.

Πριν από τη ανάπτυξη του γραφικού μοντέλου (τρειςδιάστατο μοντέλο BIM) προηγήθηκε η σημασιολογική διερεύνηση του ιστορικού κτηρίου ούτως ώστε να γίνει η πλήρης καταγραφή όλων των στοιχείων που απαρτίζουν το μνημείο. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκε το μοντέλο, λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες του λογισμικού όσον αφορά στην ταξινόμηση των δεδομένων και την δημιουργία των δομικών στοιχείων. Προσοχή δόθηκε ώστε να αποτυπωθούν τόσο οι γραφικές πληροφορίες του ιστορικού κτηρίου, καθώς και οι μη-γραφικές. Για την ανάπτυξη του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν συστήματα οικογενειών για τους τοίχους, τα δάπεδα, τις οροφές και τις στέγες και δημιουργήθηκαν παραμετρικά μοντέλα αυτών με τις συγκεκριμένες διαστάσεις και ιδιότητες κάθε στοιχείου, ανάλογα με τα αποτελέσματα που είχαν προκύψει από τη διεπιστημονική τεκμηρίωση. Δεδομένα όπως το ύψος και το πλάτος διαφοροποιήθηκαν ανά είδος δομικού στοιχείου και αποθηκεύτηκαν ως διαφορετικός τύπος οικογένειας. Εκτός αυτού, παραμετροποίηση και στις ιδιότητες που φέρει κάθε οικογένεια, οδήγησε και σε δημιουργία διαφορετικών στιγμιτύπων του κάθε τύπου οικογένειας.

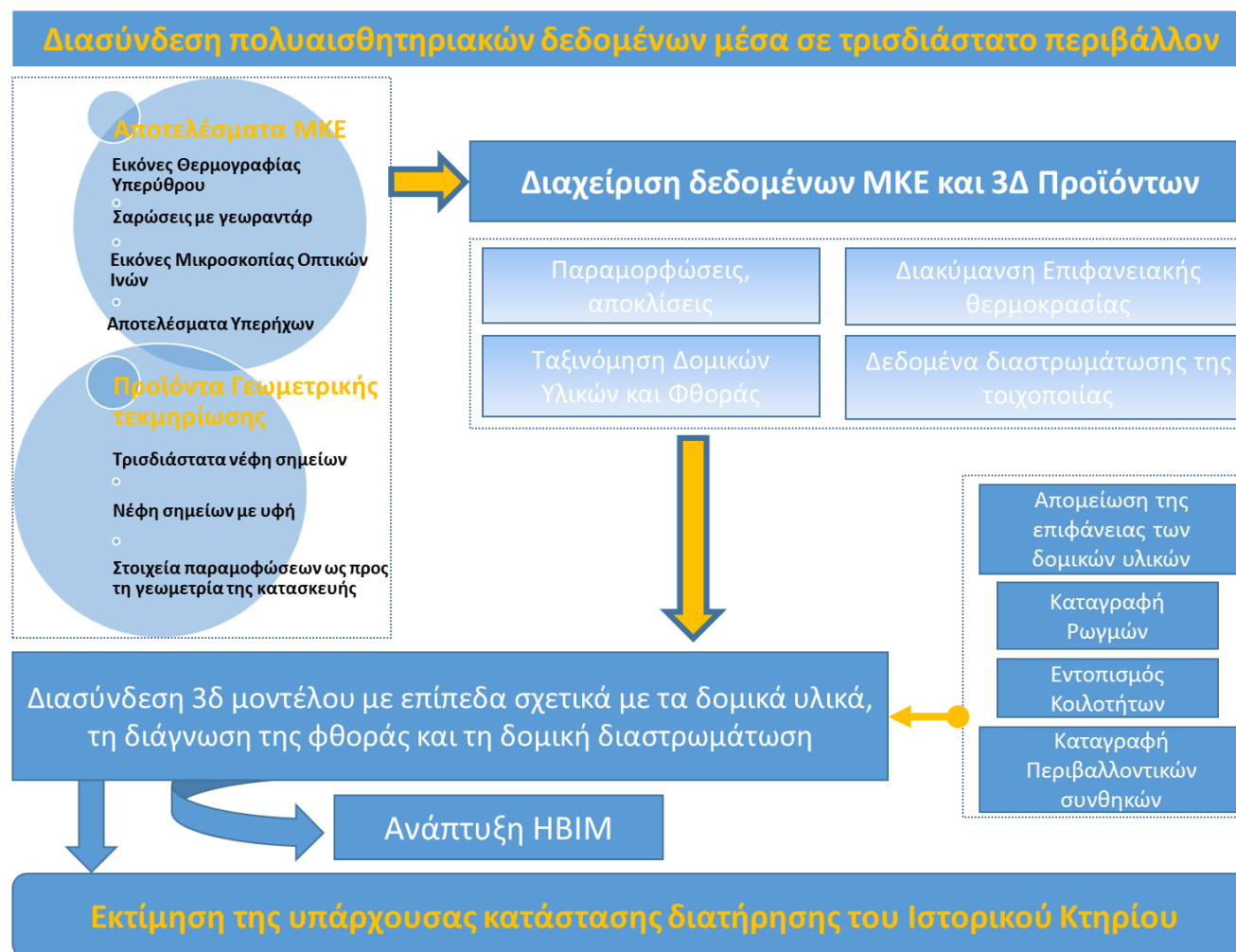
Στο HBIM μοντέλο της Βίλλας Κλωναρίδη, (H-BIM λόγω της προσθήκης των στοιχείων εκείνων που χαρακτηρίζουν ένα ιστορικό κτήριο, όπως είναι οι κατασκευαστικές φάσεις που περιλαμβάνονται ως περιγραφικές ιδιότητες σε κάθε στοιχείο κ.α.) ένα ή περισσότερα αντίγραφα κάθε τύπου οικογένειας δομικών στοιχείων συνυπάρχουν, όπου κάθε οικογένεια τροποποιείται παραμετρικά σε στιγμιότυπα και περιλαμβάνει πληροφορίες ιδιοτήτων (π.χ. δομικά υλικά) για κάθε οντότητα ξεχωριστά, ή τροποποιείται βάσει των ιδιοτήτων για όλα τα αντίγραφα και αυτά ανήκουν συνεπώς στον ίδιο τύπο (τοιχοποιίες ίδιας κατασκευαστικής φάσης και μεγέθους). Επίσης όλα τα επί τόπου δομημένα στοιχεία που υλοποιήθηκαν έχοντας ως οδηγό τα αποτελέσματα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης (νέφος σημείων) με τη βοήθεια οριζοντιογραφικών και υψομετρικών σταθμών.

Πιο συγκεκριμένα, στο μοντέλο που υλοποιήθηκε, κάθε δομικό στοιχείο του ιστορικού κτηρίου αποτυπώθηκε. Επίσης, οι ιδιότητες κάποιων υλικών (όπως ξύλινα πατώματα, κ.α) αντλήθηκαν από την υπάρχουσα βιβλιοθήκη των παραμετρικών αντικειμένων και ενσωματώθηκαν στα συστήματα οικογενειών. Παρ' όλα αυτά η οντολογία των περισσότερων στοιχείων του ιστορικού κτηρίου διαμορφώθηκε μέσα από την ενσωμάτωση πληροφοριών σχετικών με τη ανάλυση της διεπιστημονικής τεκμηρίωσης, από την συσχέτιση με τα ιστορικά στοιχεία, από πληροφορίες δομοστατικής ανάλυσης και του χαρακτηρισμού των δομικών υλικών. Επιπλέον, σημασιολογικές πληροφορίες ενσωματώθηκαν, που σχετίζονται με φυσικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά όπως είναι το είδος των δομικών υλικών, πληροφορίες σε σχέση με την διαστρωμάτωση των δομικών στοιχείων κ.α.

3.3.4.1 Ανάπτυξη ΜΚΠ της Βίλλας Κλωναρίδη

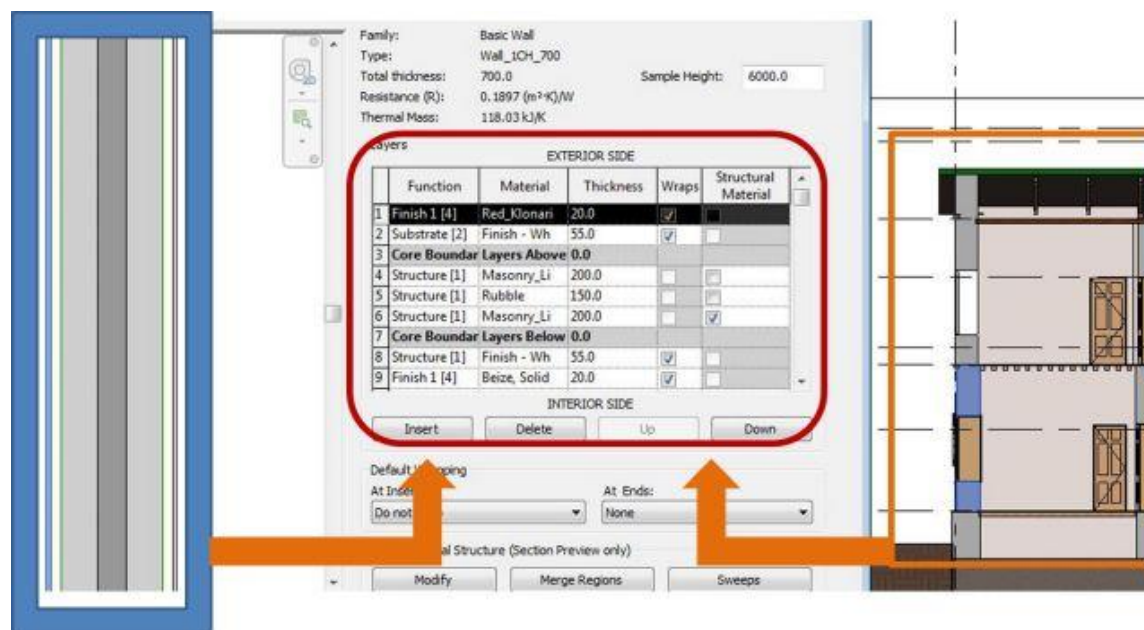
Ένα μεθοδολογικό πλαίσιο που θα ενσωματώνει τα δεδομένα που προκύπτουν από τη διεπιστημονική τεκμηρίωση και θα παρέχει πληροφορίες για την κατάσταση διατήρησης του ιστορικού κτηρίου και την εκτίμηση της δομικής του τρωτότητας, μπορεί να αποδειχθεί πολύτιμο εργαλείο στη δημιουργία ενός HBIM.

Μέσα από τη διαδικασία που παρουσιάζεται στην Εικόνα 74, τα προϊόντα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης διασυνδέονται με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των δομικών υλικών μέσα σε περιβάλλον HBIM, και ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες μπορούν να εξαχθούν. Για την ανάπτυξη του HBIM του ιστορικού κτηρίου, η παρουσιαζόμενη διαδικασία ακολουθήθηκε.



Εικόνα 74: Διασύνδεση Πολυαισθητηριακών δεδομένων ΜΚΕ και 3D Προϊόντων για την ανάπτυξη HBIM

Επίσης, κατά το στάδιο της ανάπτυξης του HBIM του ιστορικού κτηρίου, χρησιμοποιήθηκαν οι πληροφορίες που απορρέουν από την μελέτη σχετικά με την κατάσταση διατήρησης του. Κάθε δομικό στοιχείο απέκτησε μορφολογικά και τυπολογικά χαρακτηριστικά και εμπλουτίστηκε σημασιολογικά με πληροφορίες σε σχέση με το είδος των δομικών υλικών που το απαρτίζουν, μέσα από παραμετροποίηση των ιδιοτήτων των τυποποιημένων δομικών υλικών που αναφέρονται στην ίδια οικογένεια (Εικόνα 75, Εικόνα 76, Εικόνα 77). Στην Εικόνα 75 παρουσιάζονται πληροφορίες σχετικά με τη διαστρωμάτωση των τοιχοποιιών και τον εμπλουτισμό αυτών με πληροφορίες σχετικά με τα δομικά υλικά που τις απαρτίζουν.

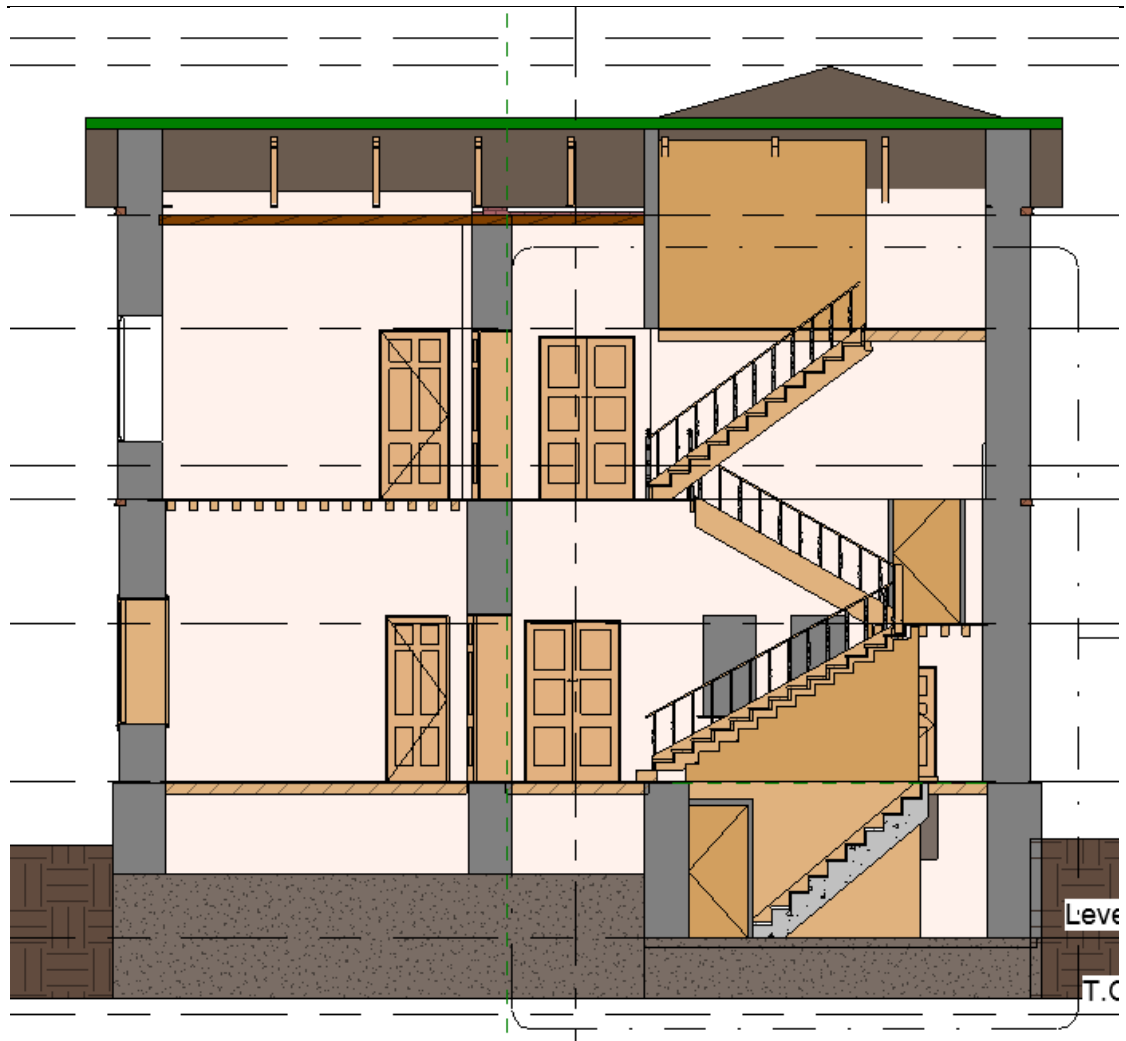


Εικόνα 75: Στιγμιότυπο δημιουργίας Δομικού στοιχείου της τοιχοποιίας της πρώτης κατασκευαστικής φάσης, ενσωματώνοντας δεδομένα για τη διαστρωμάτωση που έχουν προκύψει από τα αποτελέσματα του γεωραντάρ καθώς και πληροφοριών σε σχέση με τον τύπο των δομικών υλικών²³⁶

²³⁶ Tsilimantou, E., Delegou, E. T., Nikitakos, I. A., Ioannidis, C., & Moropoulou, A. (2020). GIS and BIM as Integrated Digital Environments for Modeling and Monitoring of Historic Buildings. *Applied Sciences*, 10(3), 1078.



Εικόνα 76: Κατά πλάτος τομή της Βίλλας Κλωναρίδη όπου πληροφορίες που σχετίζονται με τον τρόπο δόμησης των τοιχοποιιών είναι εμφανή



Εικόνα 77: Κατά μήκος τομή της Βίλλας Κλωναρίδη

Η διαδικασία εφαρμόστηκε σε κάθε στοιχείο που αναπτύχθηκε εντός του περιβάλλοντος HBIM και προέκυψε ένα τρισδιάστατο HBIM του ιστορικού κτηρίου σημασιολογικά εμπλουτισμένο (Εικόνα 78, Εικόνα 79)



Εικόνα 78: Τρισδιάστατο μοντέλο BIM με ενσωματωμένες πληροφορίες σχετικά με τις εσωτερικές σκάλες, τις εσωτερικές πόρτες, τα δάπεδα κλπ.



Εικόνα 79: Τρισδιάστατο μοντέλο BIM Βίλλας Κλωναρίδη²³⁶

3.3.4.2 Τρισδιάστατο μοντέλο ΜΚΠ (HBIM) με ενσωματωμένα αποτελέσματα από 2D ΣΓΠ

Ο σημασιολογικός εμπλουτισμός του HBIM του ιστορικού κτηρίου μεταφράζεται σε ενσωμάτωση πληροφοριών σχετικά με τις κατηγορίες “συστατικά μέρη τοιχοποιίας”, “σκάλες”, “παράθυρα”, “στέγη” και “πόρτες” και στοχεύει επομένως σε πολλές περιπτώσεις πολύτιμων κτηριακών μονάδων πολιτιστικής κληρονομιάς στην περιοχή της Μεσογείου.

Στην περίπτωση της Βίλλας Κλωναρίδη, οι πληροφορίες που προκύπτουν από τη διαγνωστική μελέτη σε σχέση με τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, τα είδη τοιχοποιίας, τα αποτελέσματα της ιστορικής τεκμηρίωσης και τη δομοστατική ανάλυση - συνδέονται και εμπλουτίζουν σημασιολογικά το μοντέλο. Επίσης, οι πληροφορίες που προκύπτουν από την ανάλυση των δομικών υλικών όπως και η κατανομή τους στους θεματικούς χάρτες GIS, συνδέονται και ενσωματώνονται στο περιβάλλον HBIM, ενδυναμώνοντας τον σημασιολογικό εμπλουτισμό και εισάγοντας μια καινοτόμο προσέγγιση στην ανάλυση πληροφοριών των δομικών υλικών και της φθοράς χρησιμοποιώντας εργαλεία που παρέχονται από το λογισμικό Revit.

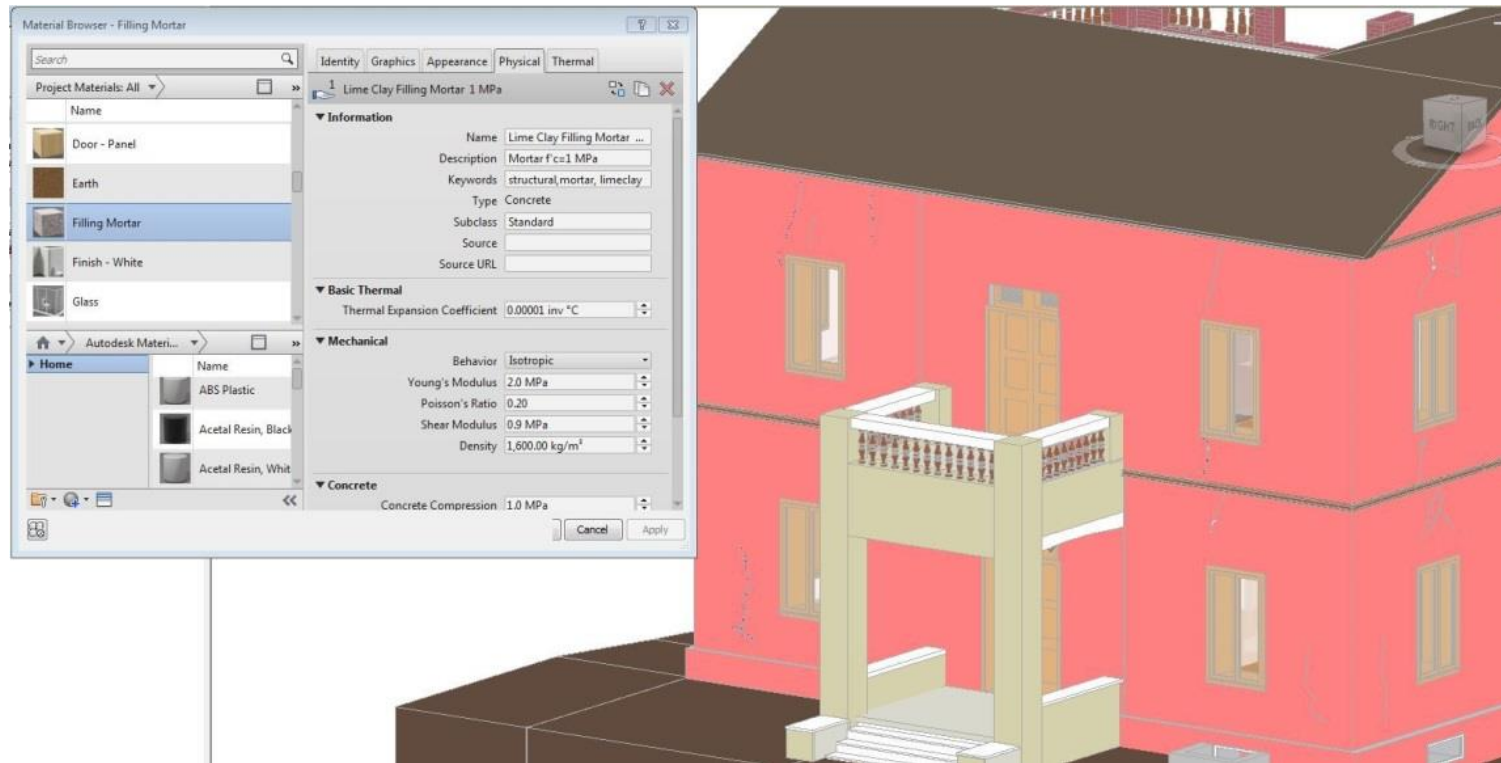
Στην Εικόνα 80, απεικονίζεται η ενσωμάτωση της απεικόνισης των τύπων φθοράς και πιο συγκεκριμένα των ρωγμών καθώς και την ταξινόμηση αυτών, όπως αναπτύχθηκε μέσα από τα εργαλεία του GIS, εντός του περιβάλλοντος HBIM. Στο αναβαθμισμένο HBIM, οι ρωγμές έχουν ταξινομηθεί ανάλογα με τον τύπο τους (επιφανειακές, μεσαίου μεγέθους και διαμπερείς), εμπλουτίζοντας όχι μόνο με ποιοτικό τρόπο το μοντέλο, αλλά και μέσω της ποσοτικοποίησης δεδομένων αυτών που επηρεάζουν τη δομική ακεραιότητα και στατικότητα του κτηρίου. Βάσει αυτών των πολύτιμων πληροφοριών οι παρεμβάσεις αποκατάστασης δύνανται να ελεγχθούν ποιοτικά αλλά και ακόμα να ποσοτικοποιηθούν οι εργασίες αποκατάστασης και να γίνει έλεγχος ως προς τη συμβατότητα και επιτελεστικότητά τους. Μέσα από αυτή τη προσέγγιση, επιτυγχάνεται η αποτελεσματική και βιώσιμη συντήρηση του κτηρίου.



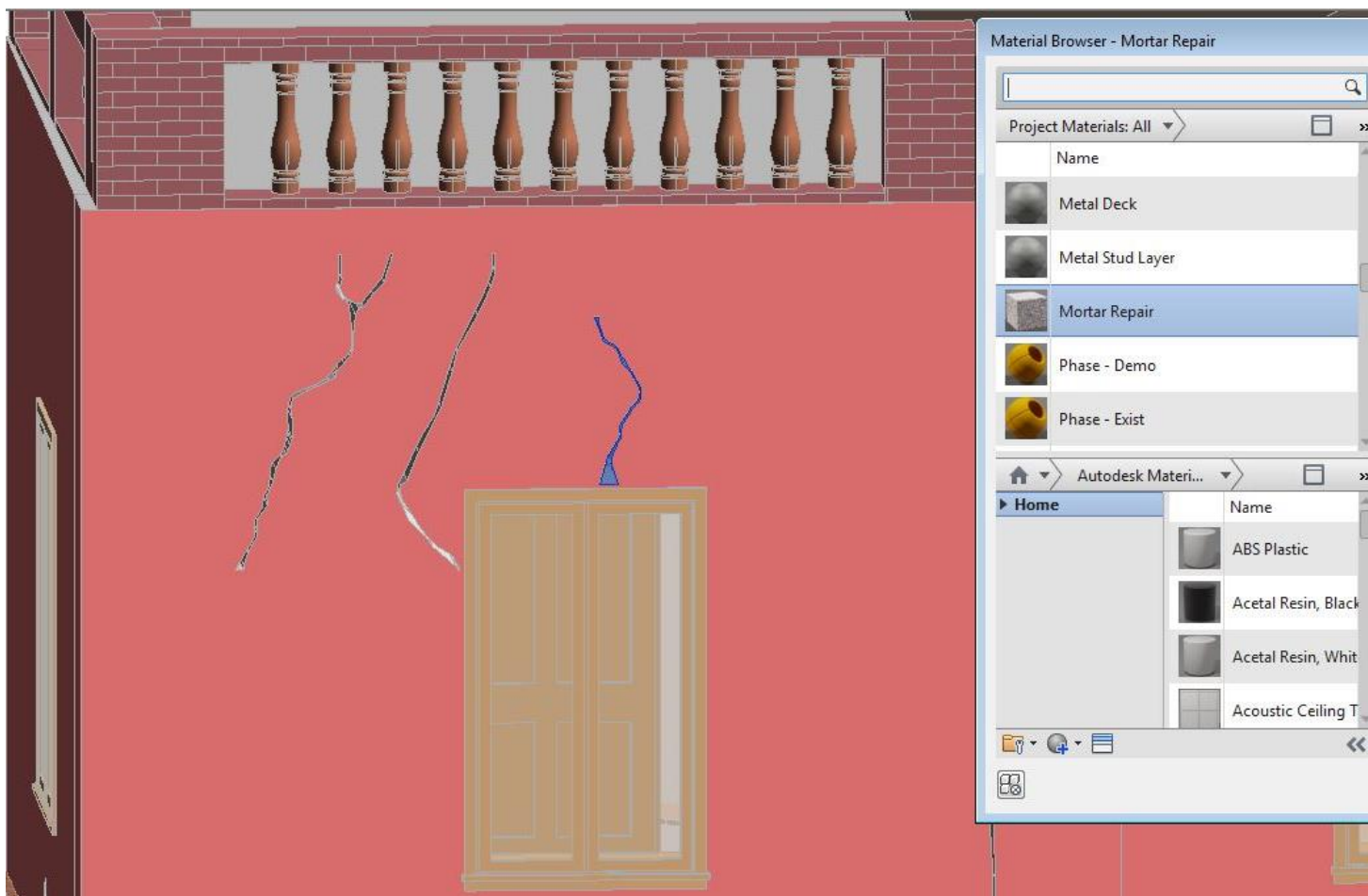
Εικόνα 80: Τρισδιάστατο μοντέλο HBIM με ενσωματωμένα δεδομένα φθοράς (ρωγμές) που προέρχονται από τη 2D πλατφόρμα ΓΣΠ²³⁶

Τα στοιχεία των ρωγμών που έχουν προκύψει από τη δράση των μηχανισμών φθοράς, ενσωματώθηκαν στο HBIM ως κενά (επί τόπου δομημένα στοιχεία). Πληροφορίες μπορούν να αντληθούν από τα γεωγραφικά δεδομένα σε σχέση με ποια στοιχεία της τοιχοποιίας περιλαμβάνουν τον τύπο αυτό της φθοράς. Οι πληροφορίες όμως αυτές που εμπεριέχονται στο σύστημα BIM μπορούν να τροποποιηθούν και από αυτά τα στοιχεία να αντληθούν ποσοτικές πληροφορίες εφόσον το κενό μετατραπεί σε στοιχείο που περιλαμβάνει ιδιότητες. Το είδος του δομικού υλικού μπορεί να εισαχθεί μόλις η ρωγμή μετατραπεί σε συμπαγές στοιχείο. Εντός του πλαισίου αυτού τα σχέδια αποκατάστασης που περιγράφονται μόνο σε μελέτες και αναφορές και διεξάγονται αποκλειστικά επιτόπου, μπορούν πλέον να ενσωματωθούν στο σύστημα HBIM εισάγοντας έτσι πληροφορίες σχετικά με συμβατά υλικά αποκατάστασης (*Εικόνα 81, Εικόνα 82*).

Δημιουργείται υλικό πλήρωσης από αργιλοασβεστολιθικό κονίαμα με αντοχή σε θλίψη ίση με 1MPa (ως τύπος υλικού στο HBIM) το οποίο περιλαμβάνει όλα τα μορφολογικά και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, σύμφωνα με τη μελέτη. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται συμβατές και επιτελεστικές επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης, παρέχοντας ποιοτικές αλλά και ποσοτικές πληροφορίες για τις εργασίες της αποκατάστασης καθώς επίσης και για την και επαρκή τεκμηρίωση των εργασιών αυτής.



Εικόνα 81: Στιγμιότυπο εμπλουτισμού των δομικών στοιχείων του ιστορικού κτηρίου σε περίπτωση επεμβάσεων αποκατάστασης (συμπλήρωση των περιοχών των ρωγμών με συμβατό κονίαμα αποκατάστασης); Εισαγωγή δεδομένων φυσικοχημικών χαρακτηριστικών (μηχανικές αντοχές) του κονιάματος αποκατάστασης²³⁶

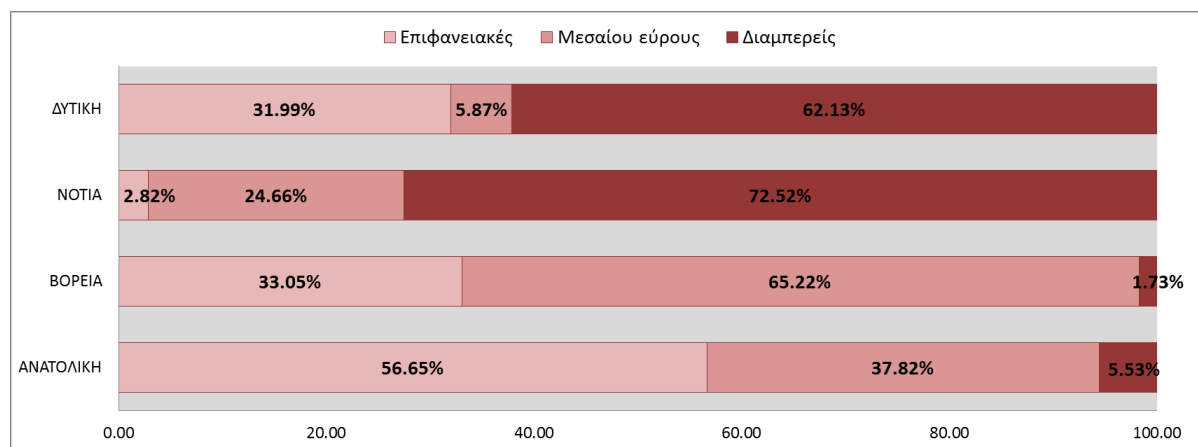


Εικόνα 82: Στιγμιότυπο εμπλουτισμού των δομικών στοιχείων του ιστορικού κτηρίου με συμπλήρωση των περιοχών των διαμπερών ρωγμών με συμβατό κονίαμα αποκατάστασης

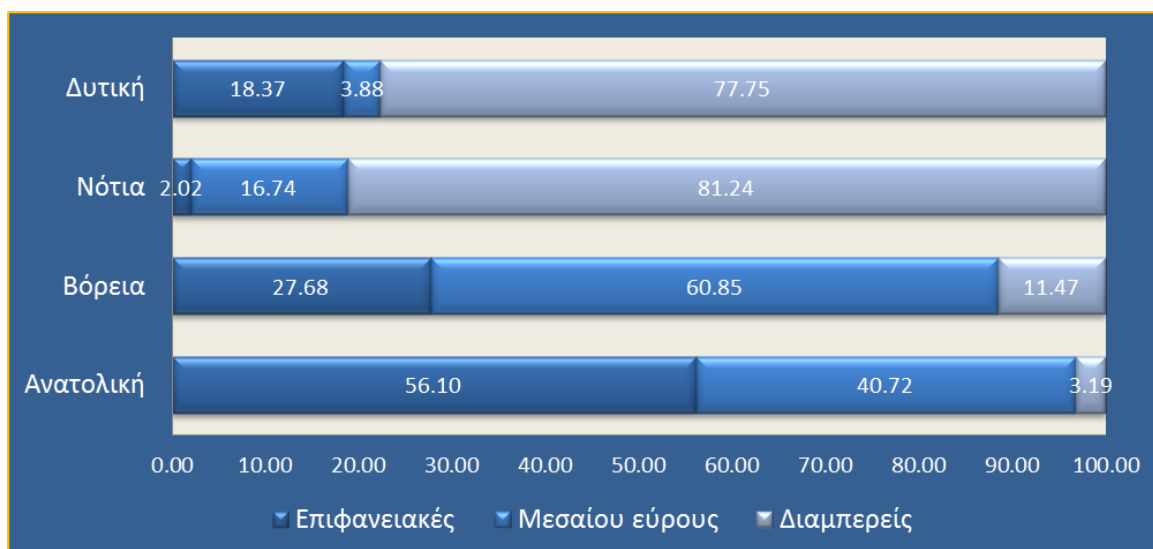
3.3.4.3 Εξαγωγή μερικών συμπερασμάτων

Ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα απεικονίστηκαν και παρουσιάστηκαν μέσω δισδιάστατης και τρισδιάστατης τεκμηρίωσης του χαρακτηρισμού των φθορών και των βλαβών μέσα από το περιβάλλον GIS και BIM. Αναπτύχθηκαν επίσης θεματικοί χάρτες που απεικονίζουν πληροφορίες σχετικά με το βαθμό και την έκταση των ρωγμών και σχετικά με την αποκόλληση των δομικών υλικών, καθώς επίσης και την κατανομή αυτών στο κτήριο. Πληροφορίες σε σχέση με περιβαλλοντικές παραμέτρους (προσανατολισμός) αλλά και σε σχέση με τις κατασκευαστικές φάσεις του ιστορικού κτηρίου καταγράφονται και ενσωματώνονται.

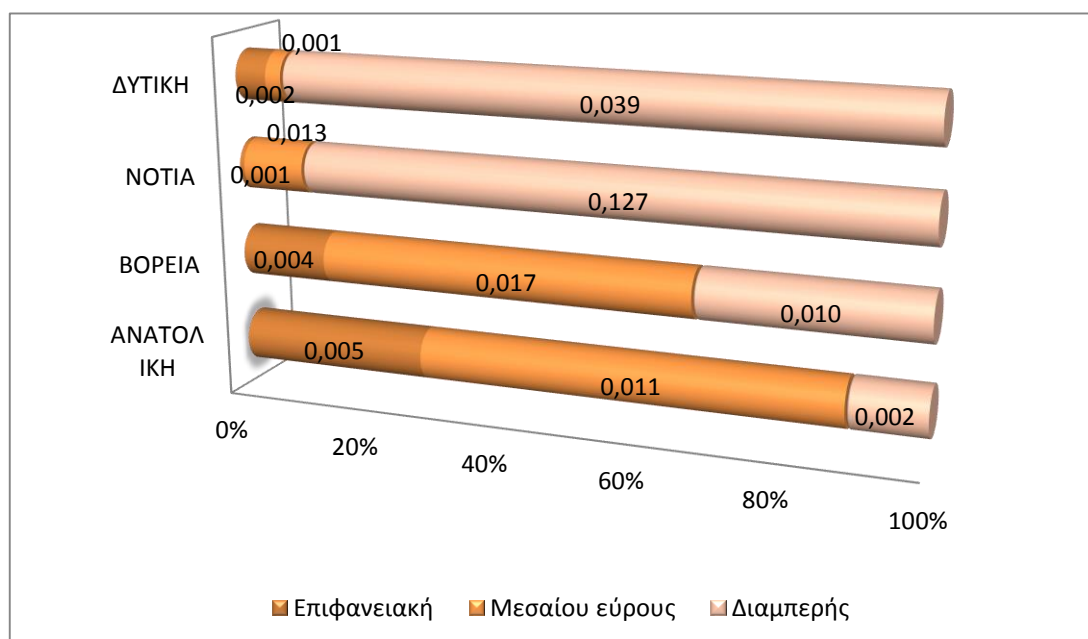
Πιο συγκεκριμένα, στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 83) εμφανίζονται οι παράγοντες φθοράς που επικρατούν στη δομή του κτηρίου και επιτείνουν την ανάπτυξη νέων ρωγμών και απώλειας δομικού υλικού όπως αυτοί προκύπτουν από τη δισδιάστατη ανάλυση μέσω GIS. Υψηλά ποσοστά ως προς το μήκος των ρωγμών παρατηρούνται κυρίως στη δυτική και νότια όψη, με 62% και 72% σε διαμπερείς ρωγμές αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψη τα ποσοστά αυτά, οδηγείται κάποιος στο συμπέρασμα πως οι μετ' έπειτα επεκτάσεις του ιστορικού αυτού κτηρίου ήταν χαμηλότερης ποιότητας δομικά συγκριτικά με την ποιότητα της αρχικής του κατασκευής. Επιπρόσθετα, η επιφανειακή φθορά στην ανατολική όψη που αποκαλύπτεται μέσα από την εμφάνιση τριχοειδών επιφανειακών ρωγμών, ενισχύει το συμπέρασμα περί συμπαγούς δομής κατά την πρώτη κατασκευαστική φάση. Παρατηρείται μια ελαφριά διαφοροποίηση ως προς την ποσοτικοποίηση της επιφάνειας που καταλαμβάνει η κάθε ρωγμή (Εικόνα 84), υποδηλώνοντας πως το εύρος της κάθε διαμπερούς ρωγμής είναι μεγαλύτερο από το μήκος τους και από αυτό το γεγονός αντλούνται ποιοτικές πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση διατήρησης της κατασκευής. Παράλληλα ποσοτικά δεδομένα σε σχέση με το δομικό υλικό αποκατάστασης, μέσω της διαχείρισης σε τρισδιάστατο περιβάλλον BIM, παρέχει πληροφορίες σε σχέση με τον όγκο που θα καταλάβει το υλικό αποκατάστασης (Εικόνα 85), σε όλες τις όψεις του ιστορικού κτηρίου, προσφέροντας πολύτιμα δεδομένα, σε μία πιθανή διεκπεραίωση εργασιών συντήρησης και αποκατάστασης.



Εικόνα 83: Διάγραμμα που απεικονίζει το ποσοστό (%) σε σχέση με το μήκος κάθε τύπου ρωγμής (m) για όλες τις όψεις του ιστορικού κτηρίου



Εικόνα 84: Διάγραμμα που απεικονίζει το ποσοστό (%) σε σχέση με την επιφάνεια που καλύπτει κάθε τύπου ρωγμής (m²) για όλες τις όψεις του ιστορικού κτηρίου



Εικόνα 85: Διάγραμμα που απεικονίζει το ποσοστό (%) σε σχέση με τον όγκο που καταλαμβάνει κάθε τύπου ρωγμής (m³) με το υλικό πλήρωσης, για όλες τις όψεις του ιστορικού κτηρίου

3.3.5. Μεθοδολογική προσέγγιση – Μερικά συμπεράσματα

Μεθοδολογική προσέγγιση για τη διαχείριση και ενσωμάτωση δεδομένων μέσα σε δισδιάστατο περιβάλλον ΓΣΠ

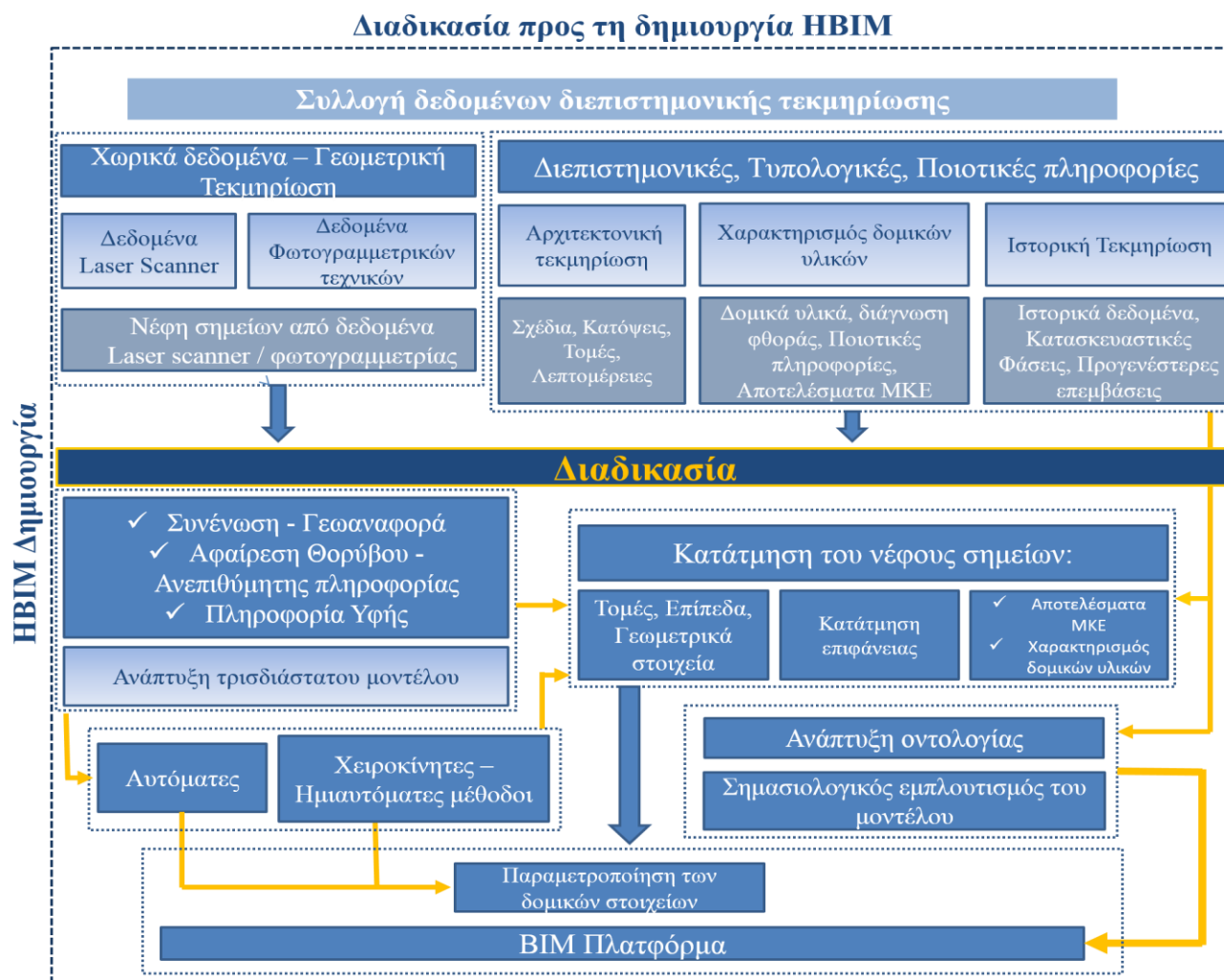
Όσον αφορά στη διαχείριση δεδομένων σε δισδιάστατη πλατφόρμα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, αυτή επιτυγχάνεται μέσα από την εφαρμογή σε όλες τις εξωτερικές όψεις του ιστορικού κτηρίου (Εικόνα 89). Πληροφορίες αντλήθηκαν και

καταγράφηκαν σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση διατήρησης του κτηρίου, μιας και πληροφορίες που σχετίζονται με τις φθορές και την παθολογία των όψεων και κα επέκταση του ιστορικού κτηρίου με εξωγενείς και ενδογενείς παράγοντες, αποτυπώνονται και οπτικοποιούνται. Τα διαφορετικά δεδομένα εισάγονται και συσχετίζονται σε ένα ενιαίο σύστημα με κοινή χωρική αναφορά. Επίσης τα ΓΣΠ ενσωματώνουν και συσχετίζουν περιγραφικά και ποσοτικά δεδομένα και παρέχουν ευέλικτα εργαλεία που επιτρέπουν την οπτικοποίηση των πληροφοριών αυτών σε δύο διαστάσεις (2D). Η απεικόνιση των δομικών υλικών, μέσω θεματικών χαρτών, παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τον τρόπο δόμησης καθώς και τις κατασκευαστικές φάσεις του ιστορικού κτηρίου.

Μεθοδολογική προσέγγιση για τη διαχείριση και ενσωμάτωση δεδομένων μέσα σε τρισδιάστατο Ιστορικό ΜΚΠ (HBIM)

Ένα μεθοδολογικό πλαίσιο που θα ενσωματώνει δεδομένα που έχουν διαμορφωθεί από τη διεπιστημονική τεκμηρίωση και παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την υπάρχουσα κατάσταση διατήρησης και την εκτίμηση της δομικής κατάστασης της τοιχοποιίας ενός ιστορικού κτηρίου, θα μπορούσε να αποδειχθεί πολύτιμο εργαλείο για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου ιστορικού ΜΚΠ (HBIM).

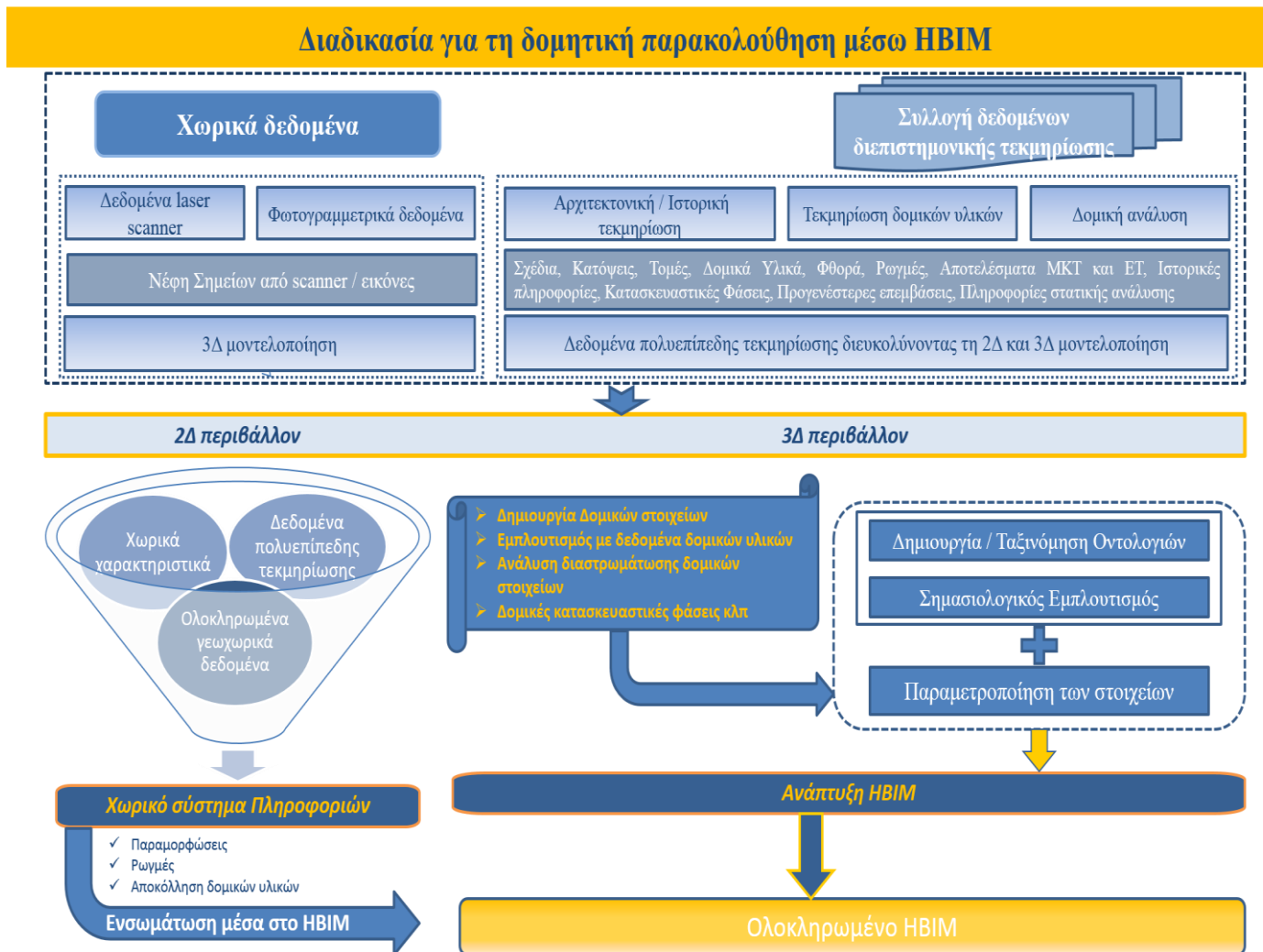
Αρχικά, μέσα σε αυτό το πλαίσιο, τα αποτελέσματα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, συνδυάζονται με τα αποτελέσματα της ανάλυσης και χαρακτηρισμού των δομικών υλικών σε δισδιάστατο περιβάλλον. Εν συνεχεία οι ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες προβάλλονται σε μοντέλο HBIM το οποίο έχει προκύψει από δεδομένα αρχιτεκτονικής και γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Στην Εικόνα 86, παρουσιάζεται μια σχηματική αναπαράσταση της μεθοδολογικής προσέγγισης για την υλοποίηση ενός HBIM μοντέλου



Εικόνα 86: Διάγραμμα μεθοδολογικής προσέγγισης για τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου HBIM ιστορικού κτηρίου

Μεθοδολογική προσέγγιση διασύνδεσης και ενσωμάτωσης πληροφοριών από το 2δ ΓΣΠ στο 3δ ΜΚΠ (HBIM)

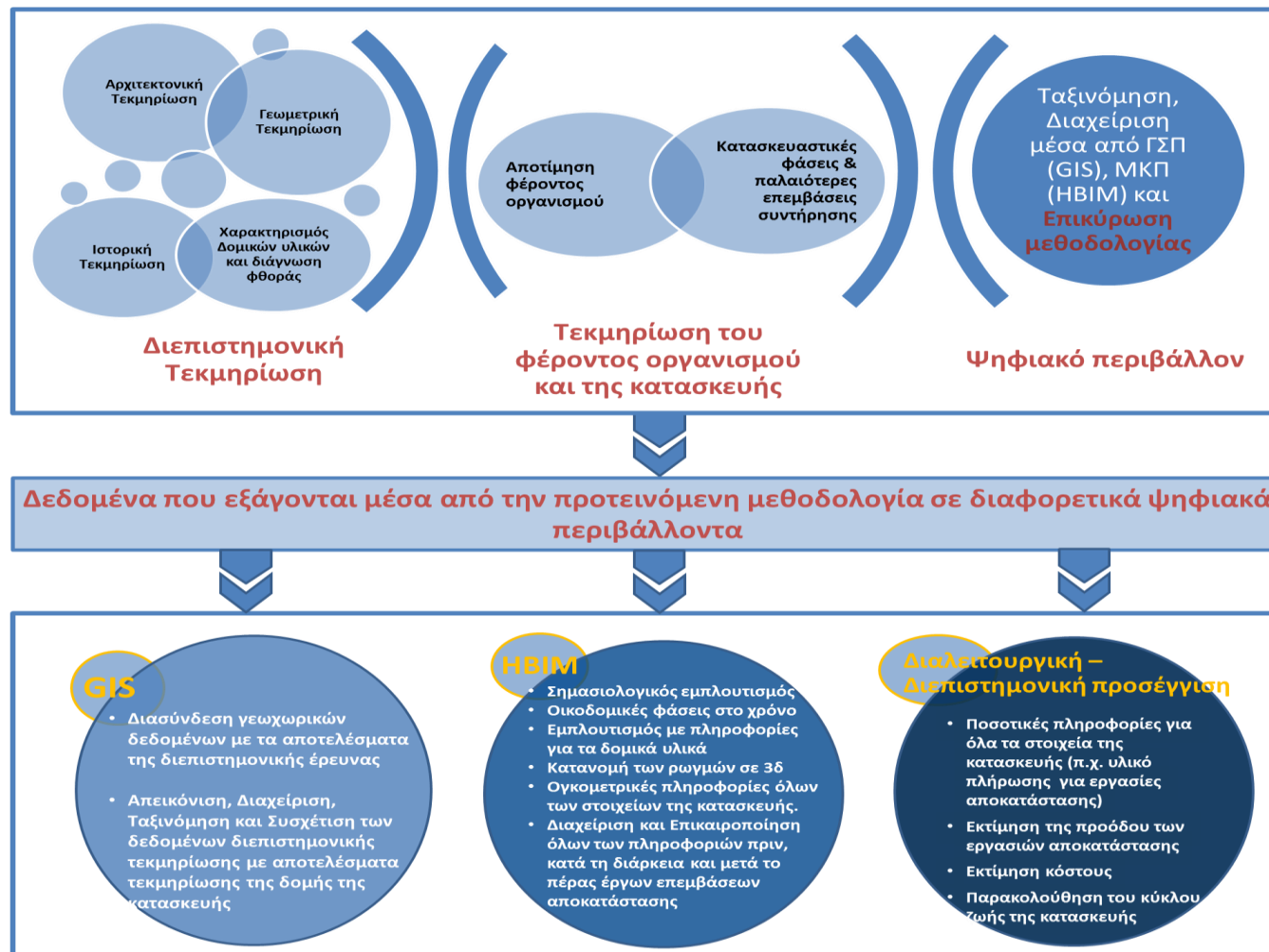
Η προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση ενσωματώνει δεδομένα που προκύπτουν από τη διεπιστημονική τεκμηρίωση και παρέχει πληροφορίες σχετικά με την υπάρχουσα κατάσταση διατήρησης και τη στατική επάρκεια των τοιχοποιιών ενός ιστορικού κτηρίου και θα μπορούσε να αποδειχθεί πολύτιμο εργαλείο στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου HBIM. Η μεθοδολογική προσέγγιση για τη διαμόρφωση ενός HBIM που περιλαμβάνει διεπιστημονικά, γεωμετρικά και μη-γεωμετρικά δεδομένα παρουσιάζεται στην Εικόνα 87. Μέσω της διαδικασίας αυτής, τα προϊόντα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης συνδυάζονται με τα αποτελέσματα της ανάλυσης και χαρακτηρισμού των δομικών υλικών, ενσωματώνοντας πληροφορίες που άπτονται της δομοστατικής μελέτης και των ιστορικών φάσεων κατασκευής με τα γεωχωρικά χαρακτηριστικά που προκύπτουν από ένα δισδιάστατο περιβάλλον GIS και καταλήγουν σε ένα HBIM, όπου οι ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες, εμπλουτίζουν σημασιολογικά πλέον το ιστορικό κτήριο, ταξινομούνται και προβάλλονται.



Εικόνα 87: Μεθοδολογικό διάγραμμα διασύνδεσης και ενσωμάτωσης πληροφοριών από το 2D ΓΣΠ στο 3D BIM

Στην Εικόνα 87, παρουσιάζεται το διάγραμμα που απεικονίζει τα πεδία των πληροφοριών που συνδράμουν στον έλεγχο μιας ιστορικής δομής. Η ενσωμάτωση των δεδομένων των πλατφορμών διαχείρισης δεδομένων GIS και BIM που χρησιμοποιούνται για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς αποδεικνύεται ουσιώδης. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη δισδιάστατη απεικόνιση της υπάρχουσας κατάστασης διατήρησης και η κατανομή χωρικά της φθοράς στο ιστορικό κτήριο, όπως οι αυξανόμενες αποκολλήσεις των δομικών υλικών λόγω υγρασίας καθώς και οι ρωγμές και παραμορφώσεις, χαρτογραφούνται και αναλύονται μέσα από τη δισδιάστατη πλατφόρμα GIS. Κατόπιν μπορεί να ακολουθήσει στο ίδιο περιβάλλον ο σχεδιασμός των επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης.

Όσον αφορά στην πλατφόρμα HBIM, οι διαμπερείς ρωγμές μιας τοιχοποιίας που εντοπίζονται κυρίως στην διεπιφάνεια των διαφόρων φάσεων κατασκευής προβάλλονται και καταχωρούνται ως στοιχεία εμπλουτίζοντας έτσι το μοντέλο. Καθ' όσον τα διάφορα είδη υλικών πλήρωσης που εφαρμόζονται στις εργασίες αποκατάστασης μπορούν να συμπεριληφθούν στο περιβάλλον HBIM, η συγκεκριμένη διαδικασία αποδεικνύεται πολύτιμη ως προς τη διεκπεραίωση εργασιών συντήρησης και αποκατάστασης. Εφόσον η διαλειτουργικότητα είναι βασικό πλεονέκτημα του περιβάλλοντος HBIM, σχεδιαστές, μηχανικοί και αρχιτέκτονες έχουν τη δυνατότητα να καταχωρούν δεδομένα κατά τη διάρκεια εργασιών αποκατάστασης, στοχεύοντας στη βέλτιστη εκτέλεση, σε αναπροσαρμογές και στην έγκαιρη διορθωτική παρέμβαση εάν χρειαστεί

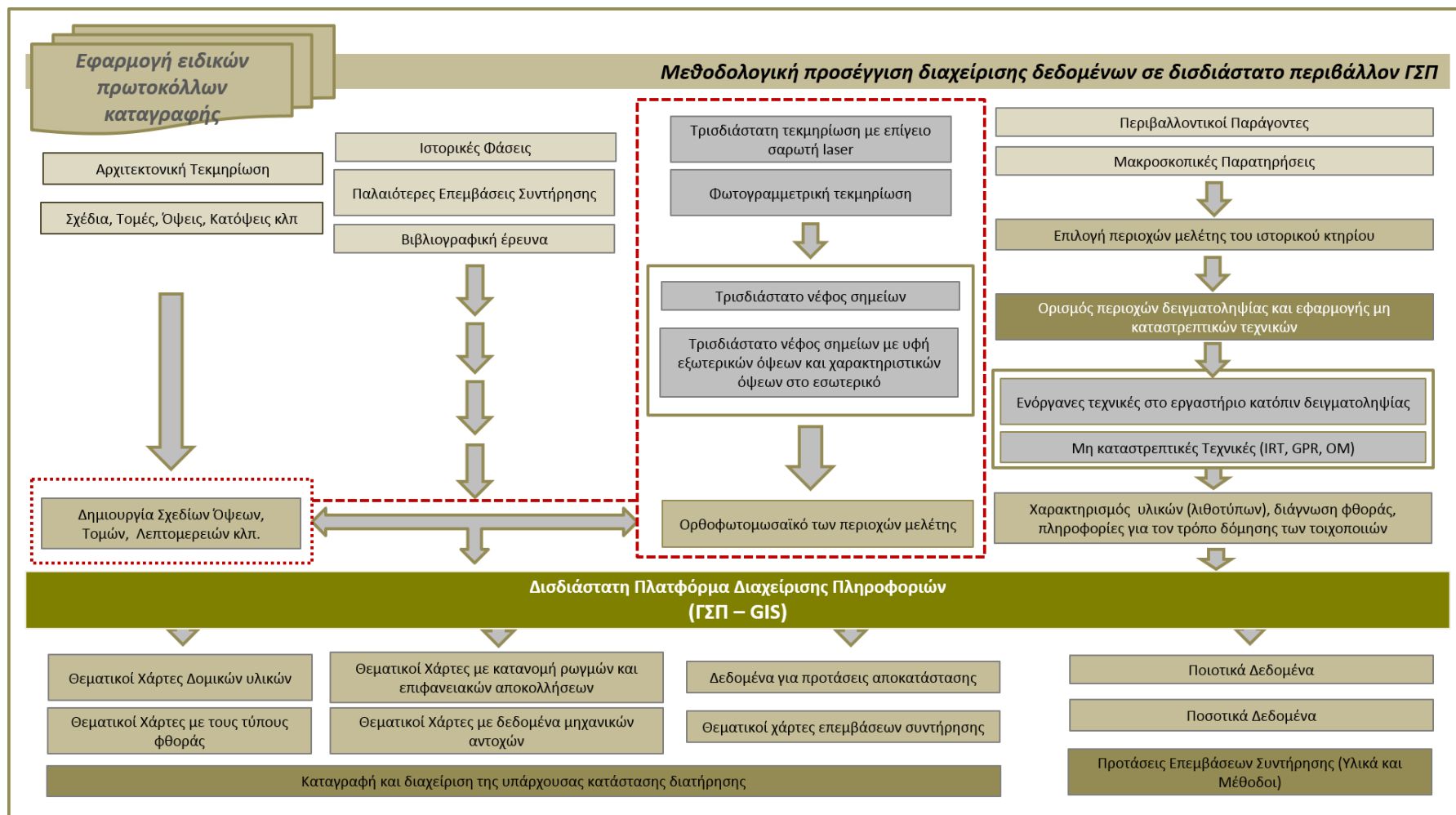


Εικόνα 88: Σχηματική παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε σχέση με την παρακολούθηση της κατασκευής, μέσα από διάφορα ψηφιακά περιβάλλοντα, όπου εφαρμόζεται η μεθοδολογική προσέγγιση

Μερικά Συμπεράσματα

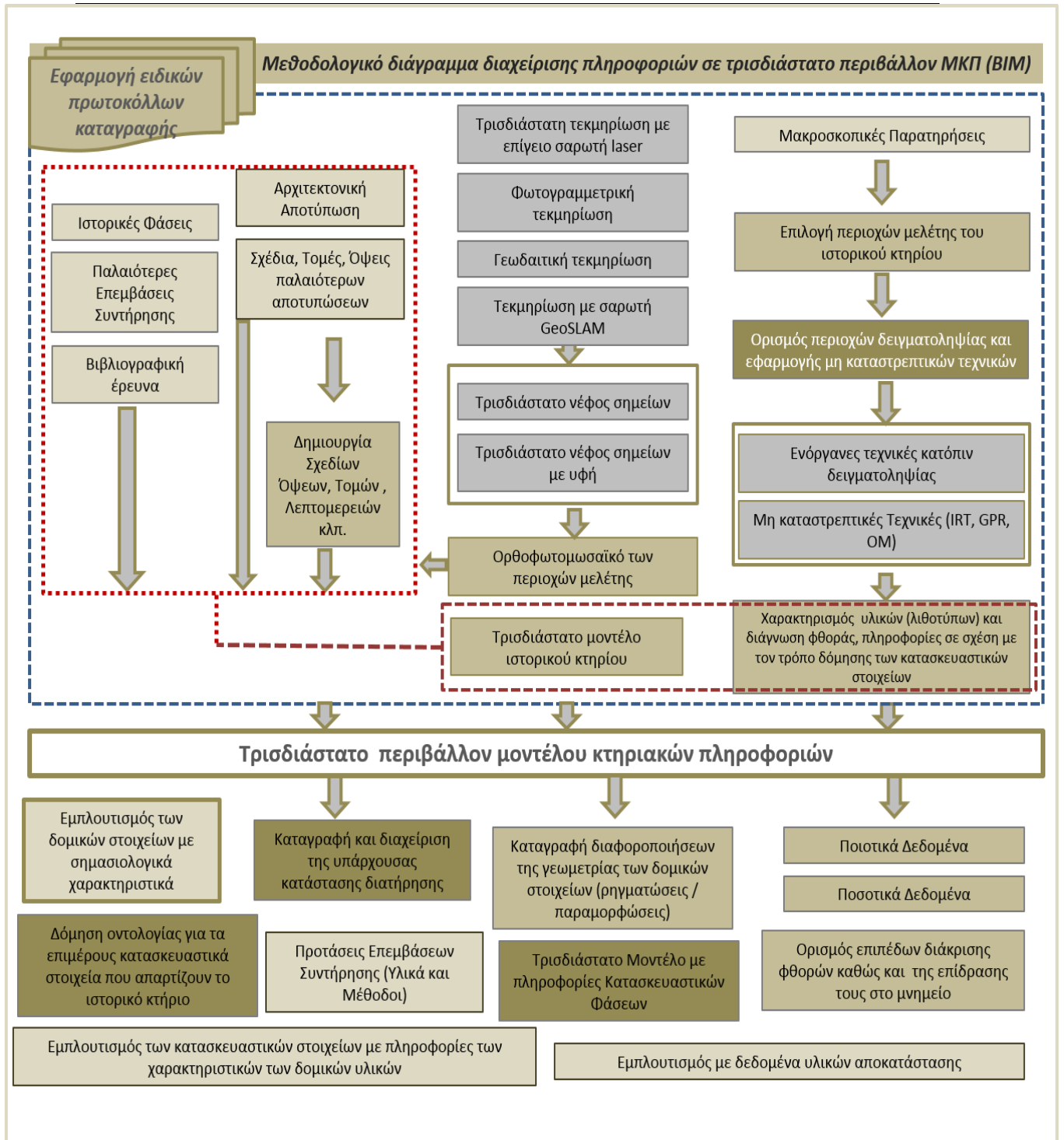
Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρήθηκε η διαχείριση δεδομένων σε δισδιάστατο περιβάλλον ΓΣΠ και σε τρισδιάστατο περιβάλλον ΜΚΠ (BIM). Η χρήση επί μέρους αλλά και συνδυαστικά των ψηφιακών αυτών περιβαλλόντων είχε ως στόχο την εκτίμηση της κατάστασης διατήρησης του ιστορικού κτηρίου της Βίλλας Κλωναρίδη. Ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες αντλήθηκαν από τη λεπτομερή επεξεργασία των αποτελεσμάτων της διεπιστημονικής διαγνωστικής μελέτης, και μια πρώτη προσέγγιση ως προς την κατάσταση διατήρησης του κτηρίου επιτεύχθηκε. Αυτή η γνώση μπορεί να συμβάλει στη λήψη αποφάσεων σχετικά με την επιλογή των κατάλληλων υλικών αποκατάστασης και εργασιών συντήρησης.

Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται και εφαρμόζεται στη μελέτη περίπτωσης του ιστορικού κτηρίου επιδεικνύει ότι εντός ενός συστήματος πληροφοριών, φαινόμενα φθοράς μπορούν να απεικονιστούν, να ταξινομηθούν και να αξιολογηθούν, αξιοποιώντας πληροφορίες σχετικά με την ιστορική διαδρομή της κατασκευής. Αποδεικνύεται πως η ενσωμάτωση διεπιστημονικών δεδομένων ενός κτηρίου πολιτιστικής κληρονομιάς εντός συστημάτων GIS και HBIM, υποστηρίζει τη διάγνωση των ακριβών και πραγματικών αιτιών φθοράς, αντλώντας πληροφορίες από τις βάσεις δεδομένων που περιέχουν όλες τις ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες σε δισδιάστατο και τρισδιάστατο περιβάλλον αντίστοιχα. Η αναπαράσταση της μορφολογίας, των γεωμετρικών χαρακτηριστικών καθώς και των κατασκευαστικών φάσεων ενός ιστορικού κτηρίου, μέσα από ένα ψηφιακό περιβάλλον HBIM, προσφέρει μια ολιστική προσέγγιση, που σηματοδοτεί πώς από ένα σύστημα που περιλαμβάνει αποσπασματικές πληροφορίες, εξελίσσεται σε ένα συγκροτημένο, πολύπλευρο και διεπιστημονικό σύστημα πληροφοριών το οποίο είναι σε θέση να επιτύχει τη βιώσιμη παρακολούθηση του μνημείου ενώ μπορούν να εφαρμοσθούν εργασίες αποκατάστασης με παράλληλη ελαχιστοποίηση των κινδύνων που ανέκυπταν στο παρελθόν (Εικόνα 88). Συμπερασματικά, η ολοκληρωμένη προσέγγιση, παραμένει ανοιχτή, μιας και το ζητούμενο είναι η παρακολούθηση του μνημείου στο χρόνο με ταυτόχρονη αναπροσαρμογή και εμπλουτισμό του κτιριακού μοντέλου με νέες πληροφορίες.



Εικόνα 89: Μεθοδολογικό διάγραμμα διαχείρισης δεδομένων σε δισδιάστατο περιβάλλον ΓΣΠ

Μεθοδολογία και Ψηφιακό περιβάλλον Ολοκληρωμένης Διαχείρισης δεδομένων στην κλίμακα Ιστορικών Κτηρίων και Συνόλων



Εικόνα 90: Μεθοδολογικό διάγραμμα διαχείρισης δεδομένων σε τρισδιάστατο περιβάλλον ΜΚΠ

3.4. Ακρόπολη Ερημοκάστρου

Πρόλογος

Στο κεφάλαιο αυτό, επιχειρείται η διαχείριση δεδομένων που προέρχονται από την τεκμηρίωση ενός αρχαιολογικού χώρου σε δισδιάστατο περιβάλλον ΓΣΠ και αντίστοιχα σε τρισδιάστατο περιβάλλον ΜΚΠ (BIM) (για την αναπαράσταση του αρχαιολογικού χώρου και για να συσχετιστούν δεδομένα ιστορική και γεωμετρικής τεκμηρίωσης με τα δεδομένα από τα αποτελέσματα της διαγνωστικής μελέτης των υλικών σε δισδιάστατο και τρισδιάστατο περιβάλλον αντίστοιχα.

Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται μία μεθοδολογία διαχείρισης δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης αρχικά σε δισδιάστατο περιβάλλον ΓΣΠ για ένα αρχαιολογικό χώρο. Ακόμη, λαμβάνει χώρα η δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του αρχαιολογικού χώρου σε περιβάλλον ΜΚΠ (BIM). Η προσέγγιση αυτή αποτελεί ένα θέμα ιδιαίτερα δύσκολο αλλά ταυτόχρονα και εξαιρετικά σημαντικό, δεδομένου ότι γίνεται προσπάθεια μοντελοποίησης ενός αρχαιολογικού χώρου που περιλαμβάνει στοιχεία (λίθοι) που δεν εμφανίζουν κάποια κανονική δομή ως προς τη γεωμετρία τους και εν συνεχεία επιδιώκεται η διαχείριση των αποτελεσμάτων της διεπιστημονικής μελέτης στο τρισδιάστατο αυτό περιβάλλον με στόχο την εξαγωγή κρίσιμων συμπερασμάτων σε σχέση με την κατάσταση διατήρησής του αρχαιολογικού χώρου.

Στο πλαίσιο της καταγραφής της δομημένης πολιτιστικής κληρονομιάς, έχει παρατηρηθεί η αυξανόμενη ανάγκη για την καταγραφή των ιστορικών λίθινων δομημάτων. Μια περαιτέρω σημαντική πτυχή στο πεδίο της διατήρησης των μνημείων του παρελθόντος και της ιστορικής πολιτιστικής κληρονομιάς είναι η τεκμηρίωση των αρχαιολογικών χώρων. Η αναγκαιότητα όμως για ολοκληρωμένη διαχείριση των ιστορικών αυτών χώρων, κατασκευασμένα συνήθως από λίθινα στοιχεία, δημιουργεί πρακτικές ανάγκες ειδικά αν ληφθούν υπόψη οι μεταβολές και τροποποιήσεις στις οποίες υπόκεινται οι χώροι αυτοί με την πάροδο του χρόνου.

Πιο συγκεκριμένα, η γεωμετρική τεκμηρίωση θεωρείται εξαιρετικά σημαντική ως το πρώτο βήμα για την ολοκληρωμένη τεκμηρίωση, λόγω του ότι συμβάλλει στον ακριβή προσδιορισμό της θέσης του αρχαιολογικού χώρου κατά τη αρχική φάση δημιουργίας του καθώς και στον προσδιορισμό της σημερινής μορφής του. Στην τεκμηρίωση αυτή μπορούν να διερευνηθούν, αποτυπωθούν και συμπεριληφθούν επίσης τροποποιήσεις που έχουν επέλθει στο δόμημα με την πάροδο του χρόνου. Αποτελεί κοινή λογική, πως το πέρασμα του χρόνου αφήνει το στίγμα του στους αρχαιολογικούς χώρους, δημιουργώντας διαφοροποιήσεις σε σχέση με την αρχική κατάσταση. Επέρχεται η γήρανση των δομικών υλικών των μερών του αρχαιολογικού χώρου (πχ. τείχη), είτε λόγω των περιβαλλοντικών παραγόντων είτε λόγω ανθρώπινου παράγοντα (τροποποιήσεις, καταστροφές και βανδαλισμοί). Ως γνωστόν, πλήθος αρχαιολογικών χώρων έχουν λεηλατηθεί ώστε οι δομικοί τους λίθοι να επαναχρησιμοποιηθούν ως υλικά σε άλλες κατασκευές. Η γεωμετρική τεκμηρίωση συμβάλλει συνεπώς και στην αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης ενός αρχαιολογικού χώρου λαμβάνοντας υπόψη τυχόν παραμορφώσεις και τροποποιήσεις εν συγκρίσει με την παρελθοντική μορφή αλλά και το αρχικό μέγεθος του.

Στο παρόν κεφάλαιο ο αρχαιολογικός χώρος που θα διερευνηθεί είναι η Ακρόπολη του Ερημοκάστρου στη Ρόδο. Τα δεδομένα για την ολοκληρωμένη αυτή διερεύνηση έχουν ληφθεί από το Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών της σχολής Χημικών Μηχανικών, στο πλαίσιο του προγράμματος με τίτλο «Διαγνωστική μελέτη και πρόταση αποκατάστασης και προστασίας της Ακρόπολης του Σαραντάπηχου και του Ερημοκάστρου Καλλιθέας Ρόδου», σε συνεργασία με το Δήμο Καλλιθέας, Ρόδου. Ακόμη, μεταπτυχιακές εργασίες εκπονήθηκαν στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος «Προστασία Μνημείων – Υλικά και επεμβάσεις Συντήρησης». Τα δεδομένα ιστορικής τεκμηρίωσης για την παρούσα μελέτη προέρχονται από τη μεταπτυχιακή εργασία της Γιαννέζη Χ., τα αποτελέσματα των μη καταστρεπτικών τεχνικών και του χαρακτηρισμού των δομικών υλικών και της διάγνωσης της φθοράς από τη μεταπτυχιακή εργασία της Ξινοπούλου Ε., τα προϊόντα δισδιάστατης αποτύπωσης σε περιβάλλον ΓΣΠ προέρχονται από τη μεταπτυχιακή εργασία της Τσιλιμαντού Ε. και τα δεδομένα αρχιτεκτονικής διερεύνησης από τη μεταπτυχιακή εργασία της Μποσμή Ε.

3.4.1. Δεδομένα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης: Ιστορική, Γεωμετρική, Δομικών υλικών – Σχεδιασμός

Ο αρχαιολογικός χώρος της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου στη Ρόδο

Ανάμεσα στον κόλπο του Ψαλιδόκαμπου και του Αφάντου στη Ρόδο, βρίσκεται το ύψωμα που δεσπόζει η Ακρόπολη του Ερημοκάστρου (Εικόνα 91). Η Ακρόπολη εκτείνεται σε μήκος περίπου 200μ και πλάτος 100μ. Η κάτοψή του Ερημοκάστρου σχηματίζει σκαληνό τρίγωνο με κατεύθυνση ΒΑ προς ΒΔ., ενώ το υψηλότερο σημείο του βρίσκεται ΒΑ. Το ύψωμα είναι προσανατολισμένο παράλληλα προς τη θάλασσα. Στην κορυφή του σχηματίζεται επίπεδη περιοχή, στην οποία εντοπίζονται ίχνη αρχαίας ακροπόλεως. Ανατολικά, βραχώδης, απότομη και δύσβατη πλαγιά, χωρίζει το ύψωμα από τη θάλασσα. Δυτικά, προς το εσωτερικό του νησιού, εκτείνεται η πεδιάδα του Ψαλιδόκαμπου.

Διάφορα τμήματα της ακρόπολης σώζονται μέχρι σήμερα, με ευδιάκριτα τα τμήματα της πύλης (Εικόνα 92), του οχυρωματικού τείχους και μιας διάταξης πύργου, από τους τρεις συνολικά που διατηρούνται πάνω στο τείχος. Παρόλο που αυτά είναι αποσπασματικά, η νοητή σύνδεση και συνέχεια των επιμέρους αυτών τμημάτων του αρχιτεκτονικού συνόλου

είναι προφανής. Το δομικό υλικό είναι ως επί το πλείστον γκρίζος ασβεστόλιθος, ενώ συναντάται και υπόλευκος ασβεστόλιθος.



Εικόνα 91: Θέση της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου στη Ρόδο²³⁷



Εικόνα 92: Άποψη από τα Τείχη της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου; Νοτιοδυτικά και Βορειοδυτικά

3.4.1.1 Ιστορικά και αρχιτεκτονικά στοιχεία

Το οχυρωματικό τείχος της Ακρόπολης είναι κατασκευασμένο βάσει του πολυγωνικού και κυκλώπειου συστήματος. Το ύψος του κυμαίνεται από 2 έως 4μ, ανάλογα με τη μορφολογία του εδάφους, και το πάχος του είναι 1,70-2,00μ. Περιμετρικά διαγράφονται τα ίχνη 3 πύργων, τα οποία είναι και τα μόνα κατασκευαστικά ίχνη στην ακρόπολη. Οι πύργοι είναι περίπου τετράγωνης κάτοψης, αλλά η θεμελίωση ορισμένων ακολουθεί την πορεία του

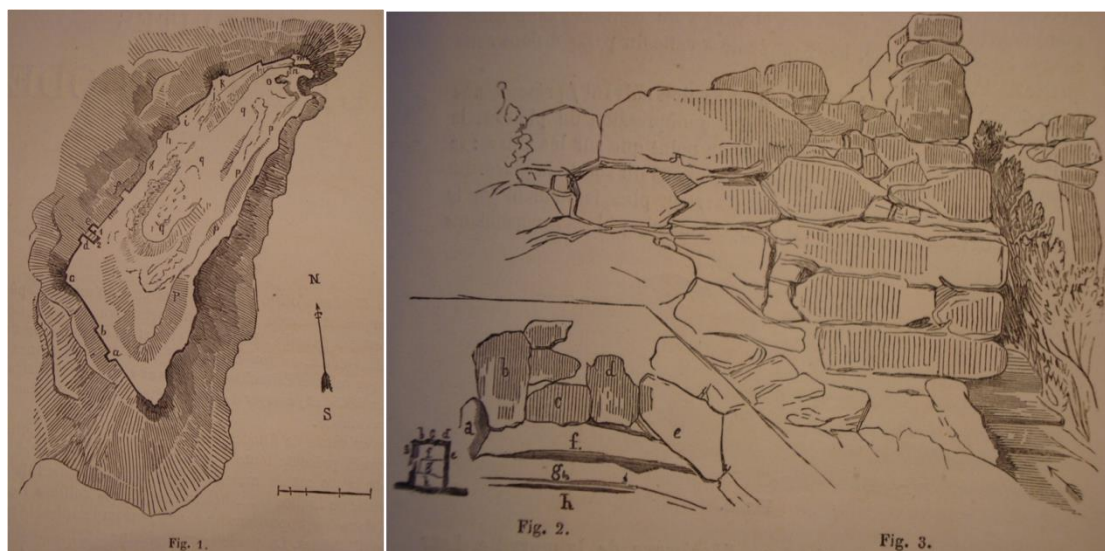
²³⁷ Μποσμή, Ε. (2009). «Η συμβολή στη μελέτη προστασίας των κυκλώπειων τειχών στην ανάδειξη των Ακροπόλεων Ερημοκάστρου και Σαραντάπηχου στη Ρόδο» Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ “Προστασία Μνημείων”. (Συνεπιβλέποντα μέλη ΔΕΠ: Καθ. Α. “Μοροπούλου, Ομοτ. Καθ. Π. Τουλιάτος).

τείχους μόνο στο εξωτερικό μέτωπο, ενώ σε άλλους η θεμελίωση εκμεταλλεύεται τις προεξοχές του βράχου. Οι πύργοι, σε συνδυασμό με τη θέση του οχυρού, προσφέρουν καθαρή θέα προς όλες τις κατευθύνσεις: προς το εσωτερικό της πεδιάδας, κυρίως προς την Λίνδο, προς τον κόλπο της Αφάντου, αλλά και προς τα πιο απομακρυσμένα προς νότια υψώματα και κόλπους του νησιού.

Αρχικά η περιγραφή του αρχαιολογικού χώρου είχε πραγματοποιηθεί από τον Guerin το 1856. Πληροφορίες σχετικά με τη θέση της Ακρόπολης επάνω στο λόφο, την έλλειψη τείχους στην ανατολική πλευρά καθώς και για το μέγεθος των τειχών (2m) καταγράφονται. Επίσης πληροφορίες δίνονται και για τον τρόπο δόμησης του τείχους, με λίθινα στοιχεία, διαφορών διαστάσεων τοποθετημένοι ο ένας πάνω από τον άλλο, με ορθογώνια και πολυγωνικά σχήματα. Χαρακτηριστικά τη δόμηση του τείχους την ονομάζει «κυκλώπεια» λόγω του πρωτόγονου αυτού τρόπου κατασκευής, ο οποίος, κατά αυτόν, θα μπορούσε να αποδοθεί μόνο σε μια τέτοια εξαιρετικά απομακρυσμένη χρονική περίοδο²³⁸. Επίσης βάσει του ονόματος της περιοχής θεωρεί ότι ο αρχαιολογικός χώρος εγκαταλείφτηκε μετά από την περίοδο ίδρυσης και χρήσης του και η ονομασία αυτή του αποδόθηκε στα μετέπειτα χρόνια²³⁸.

Μια ακόμη περιγραφή του αρχαιολογικού χώρου είχε πραγματοποιηθεί από το Γάλλο αρχαιολόγο Ch. Tissot, που μάλιστα δημοσίευσε και ένα άρθρο σχετικά σε ένα από τα σπουδαιότερα αρχαιολογικά περιοδικά που εκδίδεται ακόμα και σήμερα (Εικόνα 93). Το 1862, ο Ch. Tissot ερευνά τον αρχαιολογικό χώρο, συμπληρώνει πληροφορίες για το Ερημόκαστρο. Ο ίδιος υποστηρίζει ότι *πουθενά αλλού στο νησί δεν έχει συναντήσει ανάλογη κατασκευή*. Η έρευνά του τοποθετεί τον αρχαιολογικό χώρο *‘ανάμεσα στα απότομα υψώματα της ανατολικής πλευράς του νησιού μαζί με το βραχώδες ύψωμα της Λίνδου’* και προσπαθεί να το συνδέσει με το λόφο που εδράζεται η ακρόπολη των Αθηνών. Σύμφωνα με τα λεγόμενά του, *το Ερημόκαστρο μοιάζει να σηκώνεται πάνω σε διαδοχικούς ορόφους, σχηματίζοντας χώρο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για αμυντικούς σκοπούς*²³⁸. Στην ανατολική του πλευρά το υψόμετρο ξεπερνά τα 200 m. Ο αρχαιολογικός χώρος αποτελείται από δύο οχυρωμένες πλευρές προς την εσωτερική πλευρά του με ύψος από 2 έως 4 μέτρα. Διακρίνεται η ύπαρξη πύργων και προμαχώνων 9 (περίπου 15 στο σύνολο της οχυρωματικής πλευράς). Μαζί με τους πύργους, οι προμαχώνες περιβάλλουν την πύλη της Ακρόπολης. Η πύλη εισόδου εντοπίζεται στα νοτιοδυτικά του τείχους, με κατεύθυνση ΝΔ προς ΒΑ και αποτελεί τη μοναδική πρόσβαση στο οχυρωμένο ύψωμα.

²³⁸ Γιαννέζη, Χ. (2009) «Ιστορική και αρχαιολογική τεκμηρίωση Ακρόπολης Ερημοκάστρου και Ιαλύσιας Ακρόπολης Σαραντάπηχου στη Ρόδο». Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ “Προστασία Μνημείων”. (Επιβλέπουσα Καθ. Α. Μοροπούλου)



Εικόνα 93: Δεδομένα ιστορικής τεκμηρίωσης; Αρχική Κάτοψη του Ερημοκάστρου (αριστερά) και Σχεδιαστική Αποτύπωση της πύλης του Ερημοκάστρου με την κάτοψη της εισόδου (πηγή: Tissot, 1868)

3.4.1.2 Γεωμετρική τεκμηρίωση

Στην περίπτωση του αρχαιολογικού χώρου του Ερημοκάστρου εφαρμόστηκε λεπτομερής γεωμετρική τεκμηρίωση όπου πραγματοποιήθηκε ένας συνδυασμός μετρήσεων πεδίου και φωτογραμμετρικών τεχνικών. Η γεωμετρική τεκμηρίωση διεξήχθη σε δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους.

Κατά την πρώτη επίσκεψη στο χώρο παρατηρήθηκε πως πλούσια φυτική βλάστηση είχε καλύψει μεγάλο μέρος των τειχών ης Ακρόπολης. Δέντρα και φυτά «αγκάλιαζαν» το μνημείο, καλύπτοντας αρκετά μέρη του κάτι εμπόδιζε την πλήρη γεωμετρική τεκμηρίωση και απεικόνιση του αρχαιολογικού χώρου ως σύνολο. Η διαδικασία τεκμηρίωσης περιλάμβανε τη χρήση μηχανής πλήρους καρέ εγκατεστημένη σε οκτακόπτερο drone για αποτύπωση μέσω φωτογραμμετρικών τεχνικών. Οι εναέριες εικόνες ελήφθησαν με ψηφιακή κάμερα Canon Eos 6D πλήρους καρέ CMOS με ανάλυση 20.2 MP (5472 × 3648 pixels) και φακό 35mm. Επίσης εφαρμόστηκαν τεχνικές εγγύς φωτογραμμετρίας με την ίδια μηχανή και φακό 24mm.

Κατά τη δεύτερη επίσκεψη, η Εφορεία Αρχαιοτήτων της Ρόδου προχώρησε σε αφαίρεση της βλάστησης που κάλυπτε τον αρχαιολογικό χώρο και τα δομικά στοιχεία του αποκαλύφθηκαν, για να διεξαχθεί η τεκμηρίωση. Χρησιμοποιώντας την ψηφιακή κάμερα Canon Eos 5D Mark III πλήρους καρέ CMOS με ανάλυση 22.3 MP (5760 × 3840 pixels) και φακό 24mm, ελήφθησαν ψηφιακές φωτογραφίες για την ολοκληρωμένη κάλυψη του αρχαιολογικού χώρου. Το UAV DJI Phantom 4 Pro χρησιμοποιήθηκε για την εναέρια ψηφιακή φωτογράφιση των τειχών, της εισόδου και των πύργων που διαμορφώνουν τον αρχαιολογικό χώρο, με τη λήψη των εικόνων σε πολύ χαμηλό ύψος πτήσης (5-6 m). Για την γεωαναφορά και ένταξη του αρχαιολογικού χώρου στο κρατικό σύστημα ΕΓΣΑ 87, τοποθετήθηκαν κωδικοποιημένοι χάρτινοι στόχοι, σε επιλεγμένα σημεία σε όλο το μήκος του αρχαιολογικού χώρου, οι οποίοι μετρήθηκαν με GPS. Για τις μετρήσεις πεδίου και τη γεωαναφορά του χώρου χρησιμοποιήθηκε ο δέκτης GPS Altus NR2 GNSS. Συνολικά ελήφθησαν πάνω από 4500

φωτογραφίες και αποτυπώθηκαν 85 προσημασμένοι στόχοι. Μετά τη συλλογή όλων των απαραίτητων δεδομένων και την επεξεργασία ακολούθησε η διαδικασία δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου με υφή για τον αρχαιολογικό χώρο της Ακρόπολης του Ερμηοκάστρου.

Το τρισδιάστατο μοντέλο του αρχαιολογικού χώρου με υφή, υλοποιήθηκε μέσω των των τεχνικών της πολυεικονικής μεθόδου (MVS) Structure-from-Motion (SfM). Το παραγόμενο τρισδιάστατο νέφος σημείων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Metashape Agisoft®. Η ακρίβεια των διαφόρων σημείων ελέγχου στο σύνολο του αρχαιολογικού χώρου κάλυψε τις απαιτήσεις που ορίστηκαν για τα προϊόντα τοπογραφικών σχεδίων σε κλίμακα 1/200 καθώς επίσης και για επιλεγμένα σχέδια και ορθοεικόνες σε κλίμακα 1/100. Επίσης το τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε, καλύπτει τις απαιτήσεις σε ακρίβεια για την εν συνεχεία εισαγωγή του σε τρισδιάστατο περιβάλλον BIM.

3.4.1.3 Διαγνωστική Μελέτη Δομικών Υλικών και Φθοράς

Η διεξαγωγή μετρήσεων μη καταστρεπτικού ελέγχου (NDT) είχε προηγηθεί της γεωμετρικής τεκμηρίωσης και ο χαρακτηρισμός των δομικών υλικών και της φθοράς είχε επιτευχθεί. Οι μη καταστρεπτικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μετρήσεις Υπερήχων (US) [PUNDIT 6 ultrasonic tester με 54kHz μετατροπέα], η Ψηφιακή Μικροσκοπία (DM) [i-score–Moritex σε διάφορες μεγεθύνσεις], το γεωραντάρ (GPR) [GSSI SIR-2000 με κεραία 1500 MHz] και η Υπέρυθρη Θερμογραφία (IR-Thermo). Κατά τη συλλογή των δεδομένων, η θερμοκρασία και η υγρασία καταγράφηκαν με το θερμο-υγρόμετρο FLIR MR77 για να γίνει βαθμονόμηση των οργάνων καθώς και να αντληθούν συμπεράσματα σχετικά με την περιεκτικότητα σε υγρασία των δομικών υλικών του αρχαιολογικού χώρου²³⁹. Επίσης είχε πραγματοποιηθεί δειγματοληψία σε επιλεγμένες θέσεις και εν συνεχεία μετρήσεις με αναλυτικές τεχνικές για το χαρακτηρισμό των δομικών υλικών. Κατά τη δεύτερη επίσκεψη στον αρχαιολογικό χώρο, έγινε η εφαρμογή της μη καταστρεπτικής τεχνικής της Υπέρυθρης Θερμογραφίας [ThermaCAM B200 της Flir Systems].

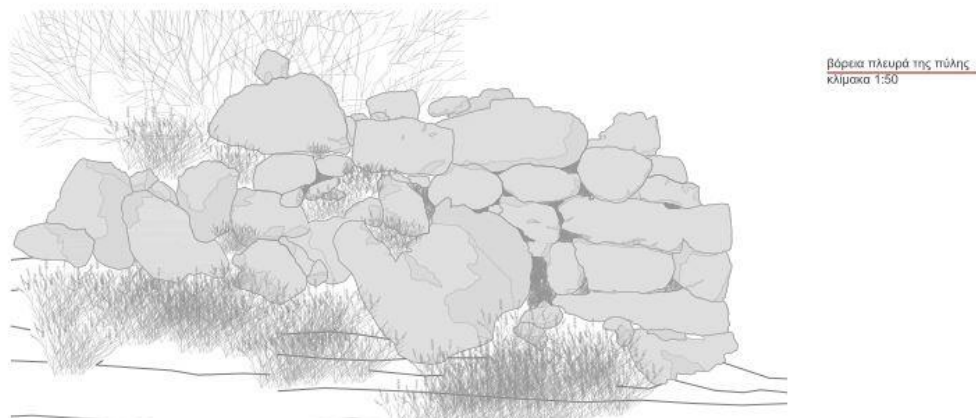
3.4.2. Αποτελέσματα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης - Προϊόντα

3.4.2.1 Δεδομένα Ιστορικής και αρχιτεκτονικής διερεύνησης

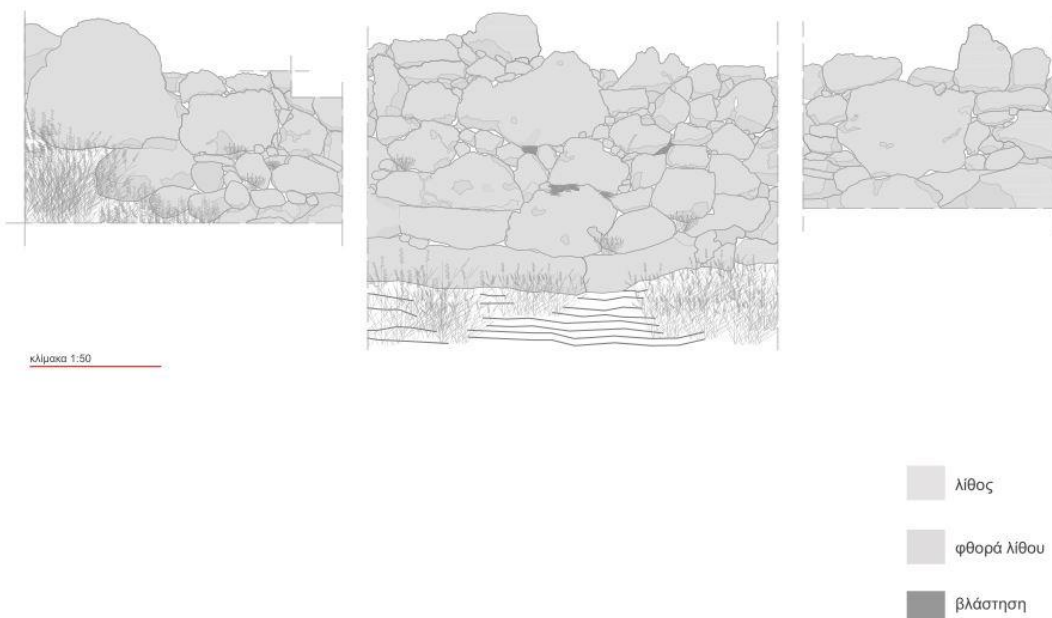
Διάφορα τμήματα του αρχαιολογικού χώρου σώζονται μέχρι σήμερα, με ευδιάκριτα τα τμήματα της πύλης, του οχυρωματικού τείχους, και στις δύο πλευρές του και μιας διάταξης από τους τρεις συνολικά πύργους, που διατηρούνται. Αν και αποσπασματικά κομμάτια, η νοητή σύνδεση και συνέχεια των επιμέρους αυτών κομματιών του αρχιτεκτονικού συνόλου είναι προφανής²³⁷. Το δομικό υλικό είναι και εδώ γκρίζος ασβεστόλιθος. Το οχυρωματικό τείχος είναι κατασκευασμένο κατά το πολυγωνικό και κυκλώπειο σύστημα. Η μνημειώδης είσοδος διατηρείται ικανοποιητικά, καθώς οι δύο πλευρικοί τοίχοι που την πλαισιώνουν σώζονται σε πολύ καλή κατάσταση σε αρκετά μεγάλο ποσοστό του αρχικού της ύψους. Το

²³⁹ Ξυνοπούλου, Ε. (2009). «Χαρακτηρισμός των υλικών και διάγνωση της φθοράς τους στις ακροπόλεις Σαραντάπηχου και Ερμηοκάστρου στη Ρόδο». Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων». (Επιβλέπουσα Καθ. Α. Μοροπούλου)

τείχος κατά μήκος της πλευρά της πύλης αναπτύσσεται χωρίς να διακόπτεται σε αρκετά μεγάλο μήκος, από τμήματα που να έχουν καταρρεύσει.



Εικόνα 94: Αρχιτεκτονική αποτύπωση τμημάτων της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου (πύλη)²³⁷



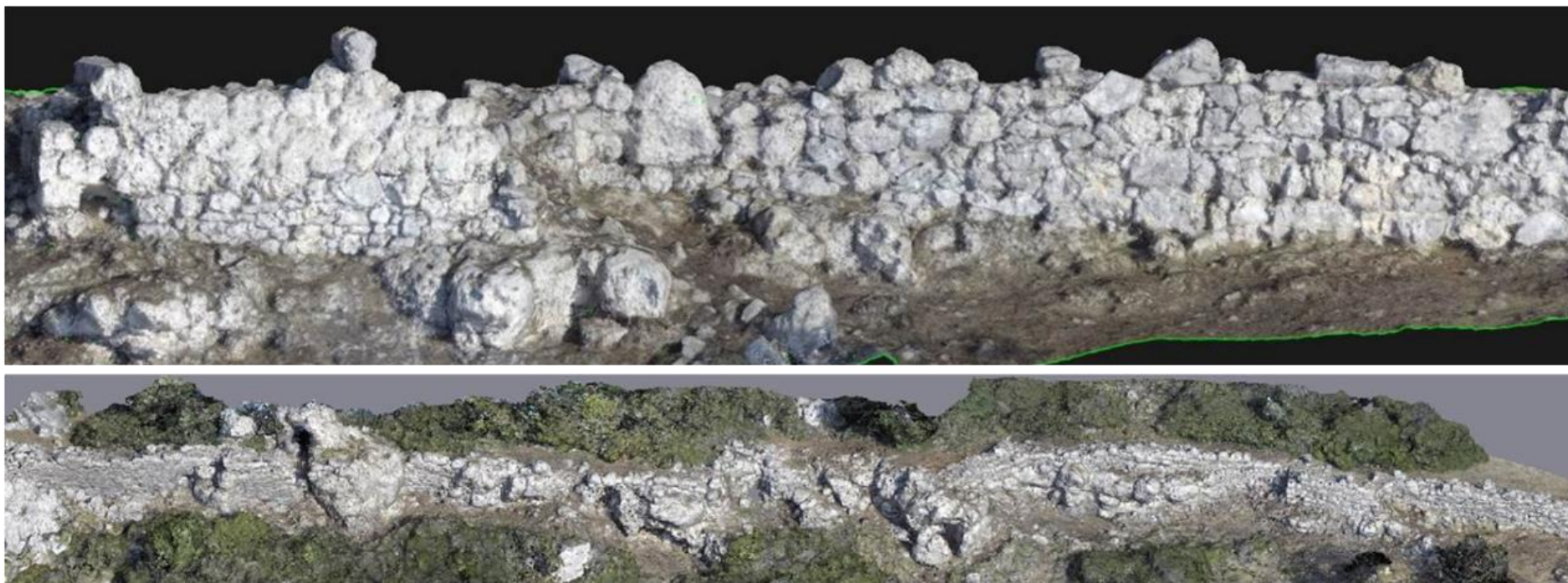
Εικόνα 95: Αρχιτεκτονική αποτύπωση τμημάτων της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου (οχυρωματικό τείχος)²³⁷

3.4.2.2 Δεδομένα Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης

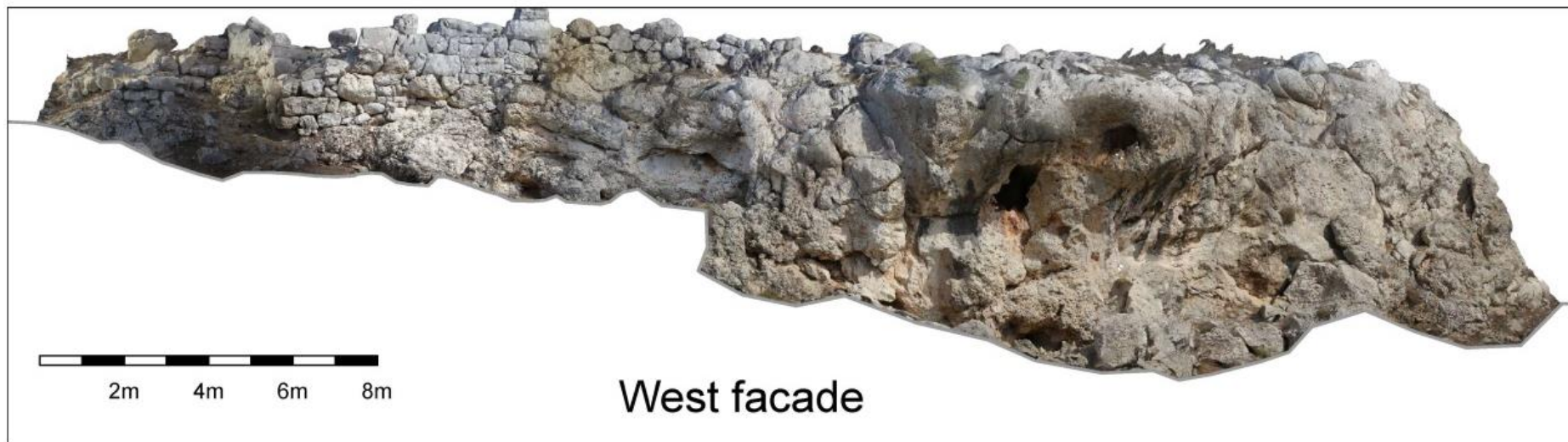
Για την δημιουργία του πλήρους τρισδιάστατου μοντέλου με υφή του αρχαιολογικού χώρου, από τις φωτογραμμετρικές τεχνικές, εφαρμόστηκε η πολυεικονική (MVS) μέθοδος Structure-from-Motion (SfM). Μέσα από την εφαρμογή φωτογραμμετρικών αλγορίθμων και όρασης υπολογιστών για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων, έγινε χρήση του μεγάλου αριθμού εικόνων του αρχαιολογικού χώρου, οι οποίες είχαν ληφθεί από διαφορετικές γωνίες και θέσεις. Το παραγόμενο τρισδιάστατο μοντέλο, με τη χρήση αυτής της μεθόδου, παρέχει πληροφορίες που αποδίδουν τις σύνθετες γεωμετρικές οντότητες των λίθων που απαρτίζουν τον αρχαιολογικό χώρο καθώς επίσης και ραδιομετρικές πληροφορίες σε σχέση με την υφή του.

Πιο συγκεκριμένα, η επεξεργασία των δεδομένων χωρίστηκε σε δύο μέρη. Το πρώτο αφορούσε τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά την πρώτη επίσκεψη στον αρχαιολογικό χώρο και το άλλο τη δεύτερη επίσκεψη. Κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας των φωτογραφιών από την επίσκεψη, αν και είχαν εξαρχής υλοποιηθεί μάσκες, στις περιοχές που υπήρχε έντονη βλάστηση, δεν κατέστη δυνατό το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο να τεκμηριώνει τη μορφολογία των τειχών του αρχαιολογικού χώρου. Επομένως δεν θα εξυπηρετούσε για την ανάπτυξη του τρισδιάστατου μοντέλου μέσα σε περιβάλλον BIM. Στη δεύτερη επίσκεψη, η πυκνή βλάστηση είχε απομακρυνθεί και η αποτύπωση μπορούσε να πραγματοποιηθεί.

Τα δεδομένα που αντλήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία του βόρειου και του δυτικού τείχους του αρχαιολογικού χώρου, ενώ ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε κατά τη συλλογή των δεδομένων, στην είσοδο του χώρου. Οι φωτογραφίες εξετάστηκαν, αξιολογήθηκαν και αποκλείστηκαν όσες ήταν θολές και χαμηλής ποιότητας. Στις φωτογραφίες όπου απεικονίζονταν βλάστηση ή περιοχές με ουρανό εφαρμόστηκαν μάσκες. Για την τρισδιάστατη φωτορεαλιστική απεικόνιση των τειχών και της εισόδου του αρχαιολογικού χώρου, εφαρμόστηκε η μέθοδος SfM (Structure from Motion) (Εικόνα 96). Επίσης, από τα αποτελέσματα από την γεωμετρική τεκμηρίωση με υφή στα τείχη του αρχαιολογικού χώρου, παράχθηκαν ορθοεικόνες για επιλεγμένες περιοχές ενδιαφέροντος (Εικόνα 97). Για την γεωαναφορά του αρχαιολογικού χώρου, χρησιμοποιήθηκαν οι κωδικοποιημένοι χάρτινοι στόχοι, που αποτέλεσαν τα σημεία αναφοράς αλλά και ελέγχου για να επιτευχθεί η κλίμακα και η γεωαναφορά του τρισδιάστατου νέφους σημείων και επομένως έγινε η ένταξη του συστήματος συντεταγμένων της Ακρόπολης στο κρατικό σύστημα ΕΓΣΑ 87.



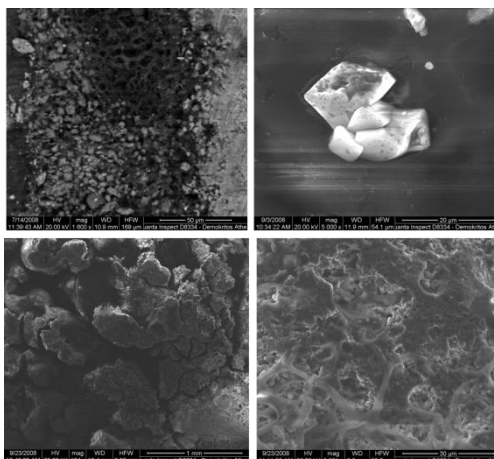
Εικόνα 96: Τρισδιάστατο μοντέλο τμήματος τείχους της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου με υφή; Τρισδιάστατο νέφος σημείων του βορειοδυτικού τείχους της Ακρόπολης



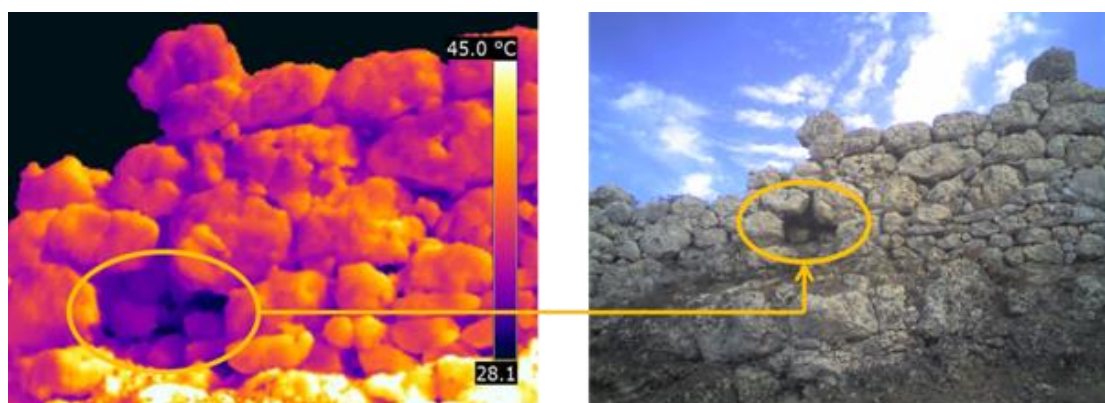
Εικόνα 97: Ορθοφωτογραφία δυτικής όψης τμήματος του τείχους της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου

3.4.2.3 Δεδομένα χαρακτηρισμού δομικών υλικών και διάγνωσης της φθοράς

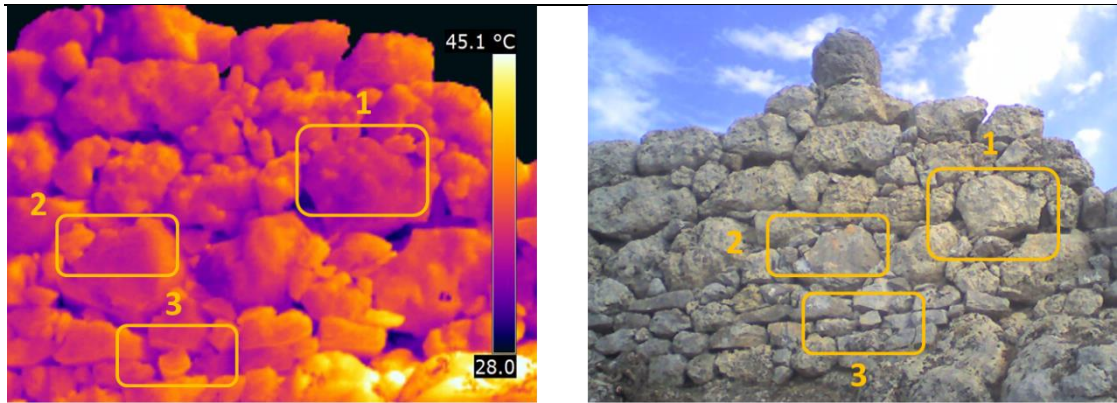
Από το χαρακτηρισμό των δομικών υλικών της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου, προκύπτει ότι αποτελείται κυρίως από γκριζο συμπαγή ασβεστόλιθο με πολύ χαμηλό πορώδες (~1%) και φαιοκάστανα εγκλείσματα, πυριτικής κυρίως σύστασης με παρουσία αργιλίου, μικρών ποσοτήτων μαγνησίου και σιδήρου και πορώδες ~0,5%. Συναντάται ακόμη σε μικρό βαθμό υπόλευκος απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος με αργιλοπυριτικές προσμίξεις και πορώδες ~6%. Η εκτεταμένη βιολογική φθορά αποδίδεται κυρίως α) στην εκτεταμένη εξάπλωση κρουστωδών επιλιθικών λειχήνων με γκριζόλευκες και πορτοκαλο-καφετί αποχρώσεις, β) στην εκτεταμένη εξάπλωση μυκήτων που προσδίδουν την κυρίαρχη γκριζόμαυρη απόχρωση, και σε πιο περιορισμένη έκταση, μαύρο χρώμα στις επιφάνειες των λίθων και γ) στην ανάπτυξη βιοδιάβρωσης και μικρορρηγματώσεων (Εικόνα 98). Σημειώνεται η παρουσία ρωγμών, οπών και κοιλοτήτων που ευθύνονται για την απώλεια αυθεντικού δομικού υλικού. Επίσης παρουσιάζονται εκτεταμένες επιφανειακές ρηγματώσεις λόγω της εξάπλωσης των μυκήτων που διεισδύουν κάθετα στην κύρια μάζα του λίθου. Συνολικά, παρατηρούνται ρηγματώσεις και διάκενα στους λίθους των τειχών της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου.



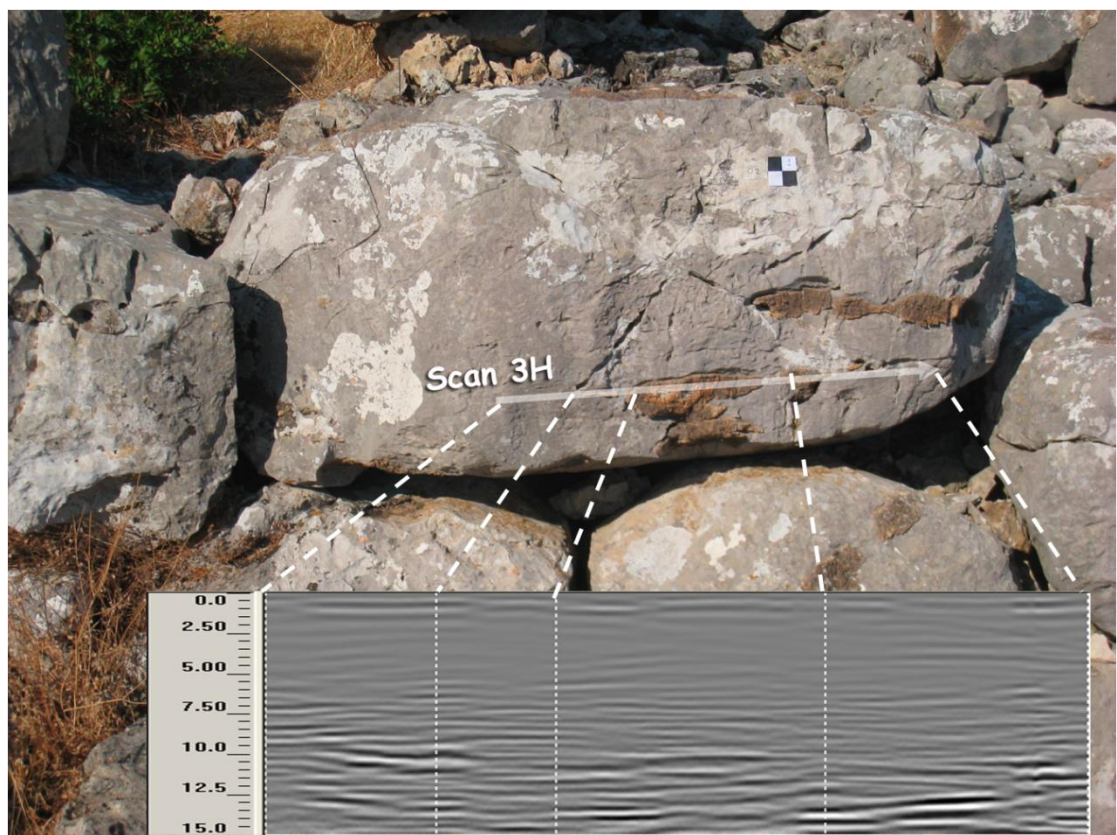
Εικόνα 98: Εικόνες από το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης, που καταγράφονται τα είδη φθοράς των λίθων²³⁹



Εικόνα 99: Θερμογραφία Υπερύθρου σε επιλεγμένες περιοχές του τείχους



Εικόνα 100: Εφαρμογή Θερμογραφίας υπερύθρου σε επιλεγμένα τμήματα του τείχους όπου παρατηρούνται φαινόμενα φθοράς



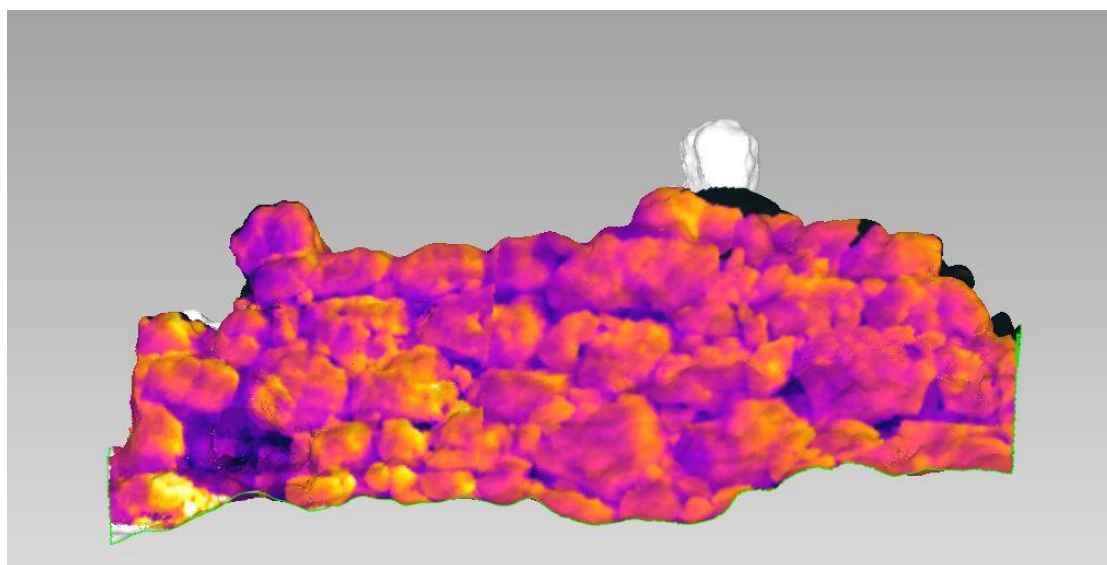
Εικόνα 101: Αποτέλεσμα από γεωραντάρ σε επιλεγμένους λίθους στην Είσοδο της Ακρόπολης²³⁹

Πολύτιμες πληροφορίες αναφορικά με την κατάσταση διατήρησης του μνημείου αντλήθηκαν από τις NDT μετρήσεις που διεξήχθησαν (Εικόνα 99, Εικόνα 100). Η ψηφιακή μικροσκοπία αποκάλυψε πλούσια ποικιλία από παράγοντες που ευνοούν τη βιοαποσύνθεση και βιοδιάσπαση των λίθων. Τα αποτελέσματα της υπερηχοσκόπησης αποκάλυψαν ταχύτητες υπερήχων μεγάλων αποκλίσεων επαληθεύοντας κατ' αυτό τον τρόπο την υποψία ύπαρξης λίθων διαφορετικών γεωλογικών προελεύσεων. Σε επιλεγμένες περιοχές του αρχαιολογικού τόπου διεξήχθησαν σαρώσεις GPR που επικεντρώνονταν σε λίθους που εμφάνιζαν ρωγμές και παραμορφώσεις. Τα αποτελέσματα της σάρωσης GPR έδειξαν πως τελικά οι ρωγμές

στην όψη των λίθων, αν και αρχικά θεωρήθηκαν επιφανειακές, τελικά επεκτείνονται στο βάθος των λίθων (Εικόνα 101).

3.4.2.4 Συσχέτιση αποτελεσμάτων μη καταστρεπτικών τεχνικών και δεδομένων γεωμετρικής τεκμηρίωσης και διαχείριση αυτών σε τρισδιάστατο περιβάλλον

Οι εικόνες υπέρυθρης θερμογραφίας, συνδυαστικά με τα προϊόντα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης δύνανται να συνεισφέρουν στην απεικόνιση της κατάστασης διατήρησης του αρχαιολογικού χώρου. Αξιοποιήθηκαν εικόνες από το τείχος, και χρησιμοποιήθηκαν ως υφή πάνω στο τρισδιάστατο μοντέλο. Η συσχέτιση των δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης, επετεύχθη χάρη στην επεξεργασία του τρισδιάστατου μοντέλου με υφή εντός του λογισμικού τρισδιάστατης απεικόνισης και επεξεργασίας Geomagic Wrap. Μέσα σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον διαχείρισης δεδομένων, μπορούν να τεκμηριωθούν οι περιοχές εκτεταμένης φθοράς (Εικόνα 102). Μέσα από αυτή τη συσχέτιση, δεδομένα ποιοτικού χαρακτήρα μπορούν να εξαχθούν για την κατάσταση διατήρησης του μνημείου.



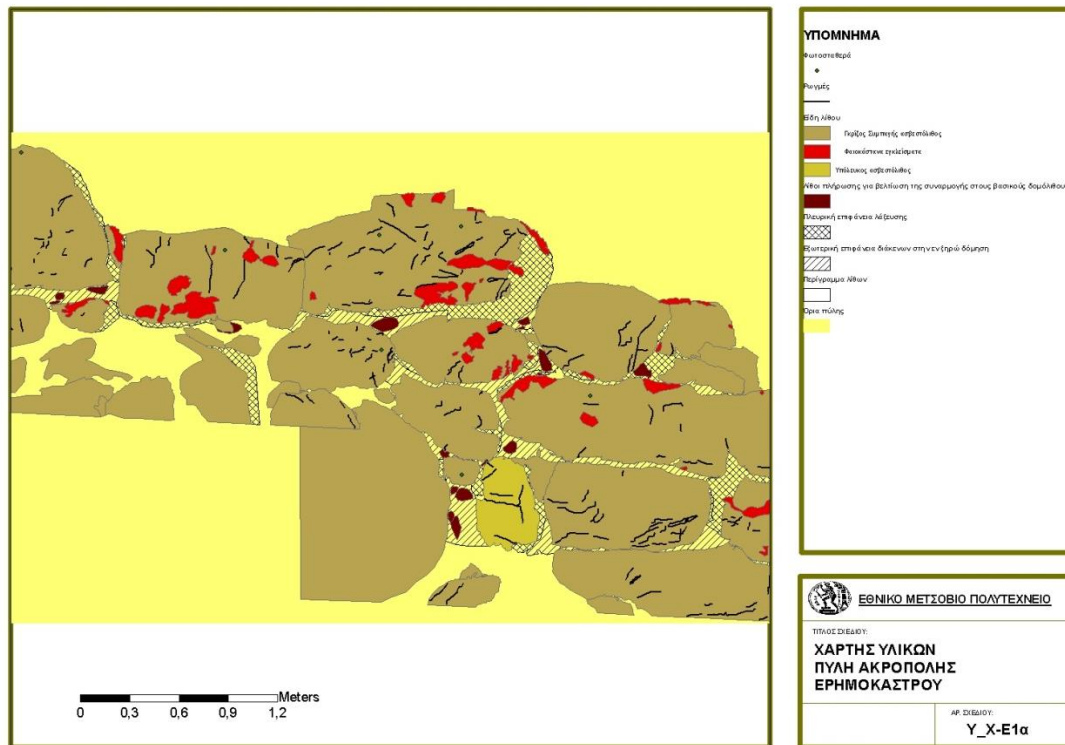
Εικόνα 102: Τρισδιάστατο μοντέλο με υφή που προέρχεται από εφαρμογή θερμογραφίας υπέρυθρου στο τείχος

3.4.3 Διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης σε δισδιάστατο περιβάλλον ΓΣΠ

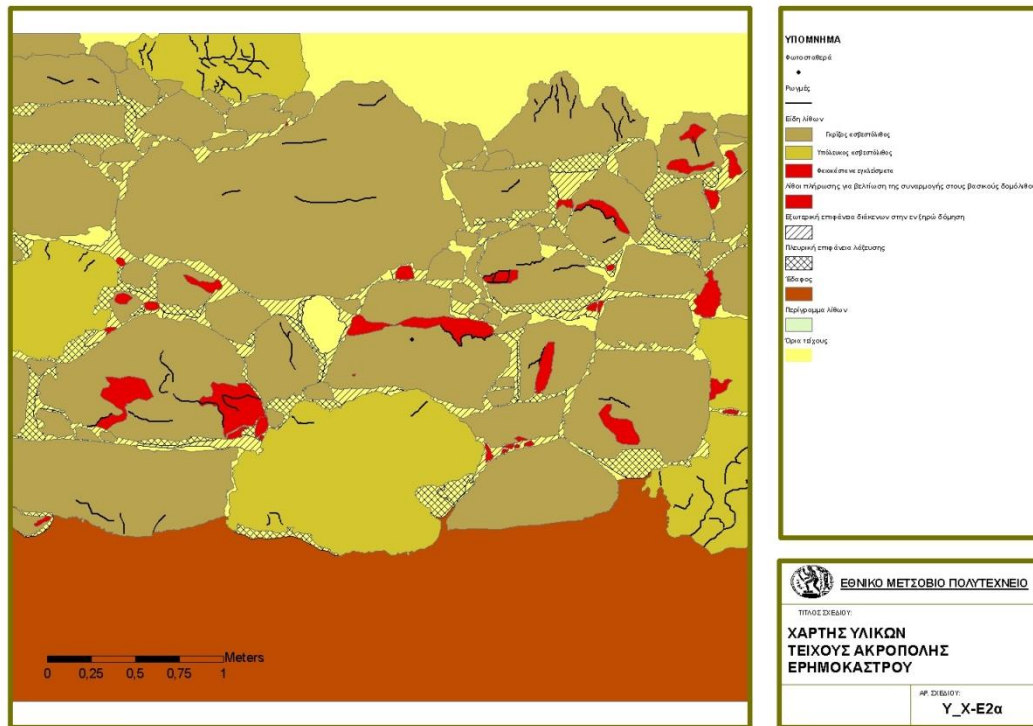
Τα δεδομένα διεπιστημονικής τεκμηρίωσης για το συγκεκριμένο αρχαιολογικό χώρο περιλάμβαναν δεδομένα γεωμετρικής τεκμηρίωσης και δεδομένα της διαγνωστικής μελέτης, που αφορούσαν στα αποτελέσματα των μη καταστρεπτικών και των ενόργανων εργαστηριακών τεχνικών που εφαρμόστηκαν στα δείγματα για τον χαρακτηρισμό των υλικών.

Η υλοποίηση έγινε στο λογισμικό ArcGIS 9.1. Θεματικοί χάρτες δομικών υλικών, φθοράς (Εικόνα 103, Εικόνα 104, Εικόνα 105, Εικόνα 106) καθώς και επεμβάσεων συντήρησης αναπτύχθηκαν σε αντιπροσωπευτικές περιοχές του αρχαιολογικού χώρου. Η κατάσταση διατήρησης των επιλεγμένων τμημάτων του αρχαιολογικού χώρου αποτυπώνονται μέσω των θεματικών

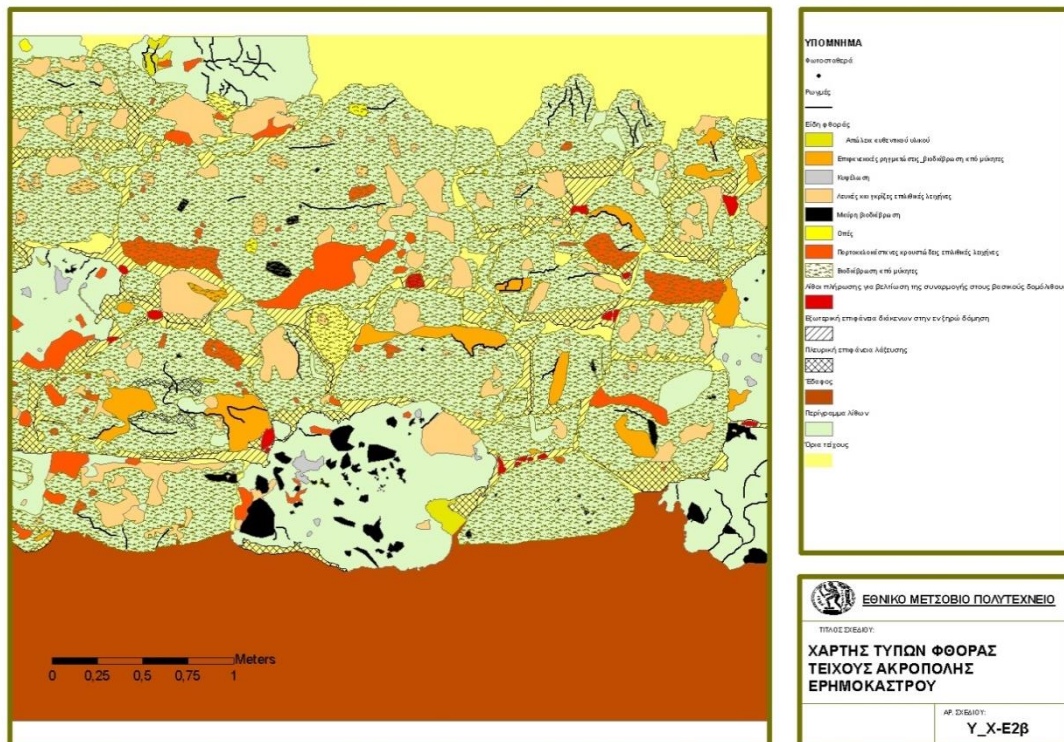
χαρτών φθοράς, ενώ μέσα από την υλοποίηση των θεματικών χαρτών επεμβάσεων συντήρησης, ποιοτικά αλλά και ποσοτικά δεδομένα μπορούν να εξαχθούν από την ανάλυση μέσω των ΓΣΠ. Η δημιουργία των θεματικών χαρτών επεμβάσεων συντήρησης, προκύπτουν μετά τη διερεύνηση των επιφανειών που κάθε τύπος φθοράς επικρατεί και μέσα από τα εργαλεία του ΓΣΠ, συσχετίζονται και εμπλουτίζουν τις χωρικές οντότητες με δεδομένα επεμβάσεων συντήρησης (Εικόνα 107, Εικόνα 108). Στο σύνολο της, η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθείται παρατίθεται στο μεθοδολογικό διάγραμμα στην Εικόνα 109.



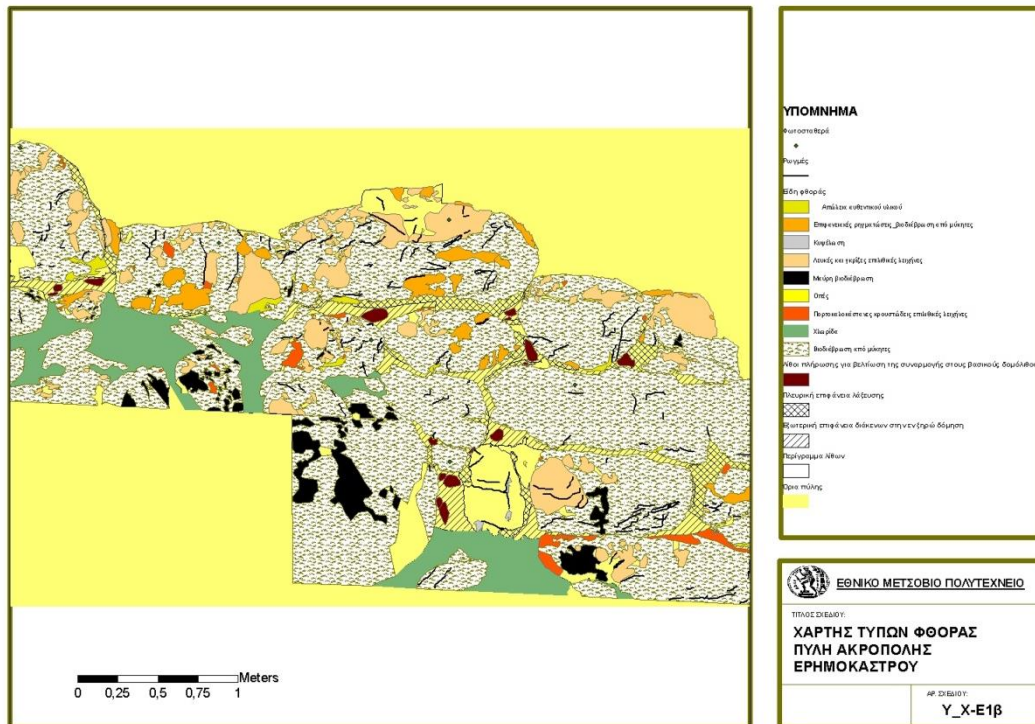
Εικόνα 103: Θεματικός χάρτης υλικών στην Πύλη της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου



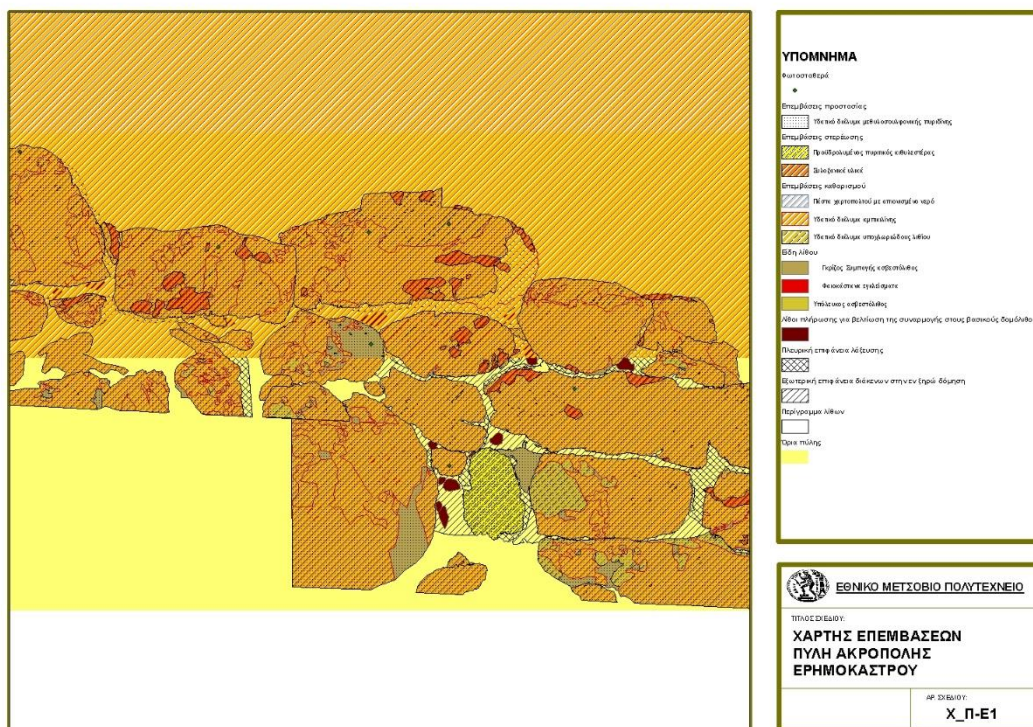
Εικόνα 104: Θεματικός χάρτης υλικών σε επιλεγμένο τμήμα τείχους της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου



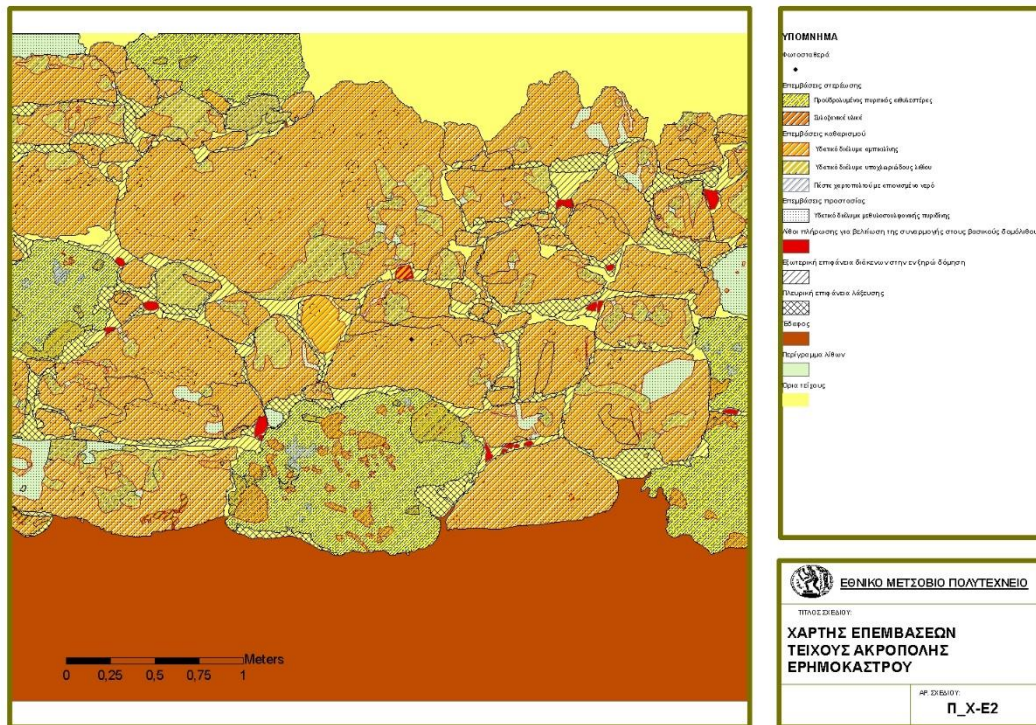
Εικόνα 105: Θεματικός χάρτης φθορών σε επιλεγμένο τμήμα τείχους της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου



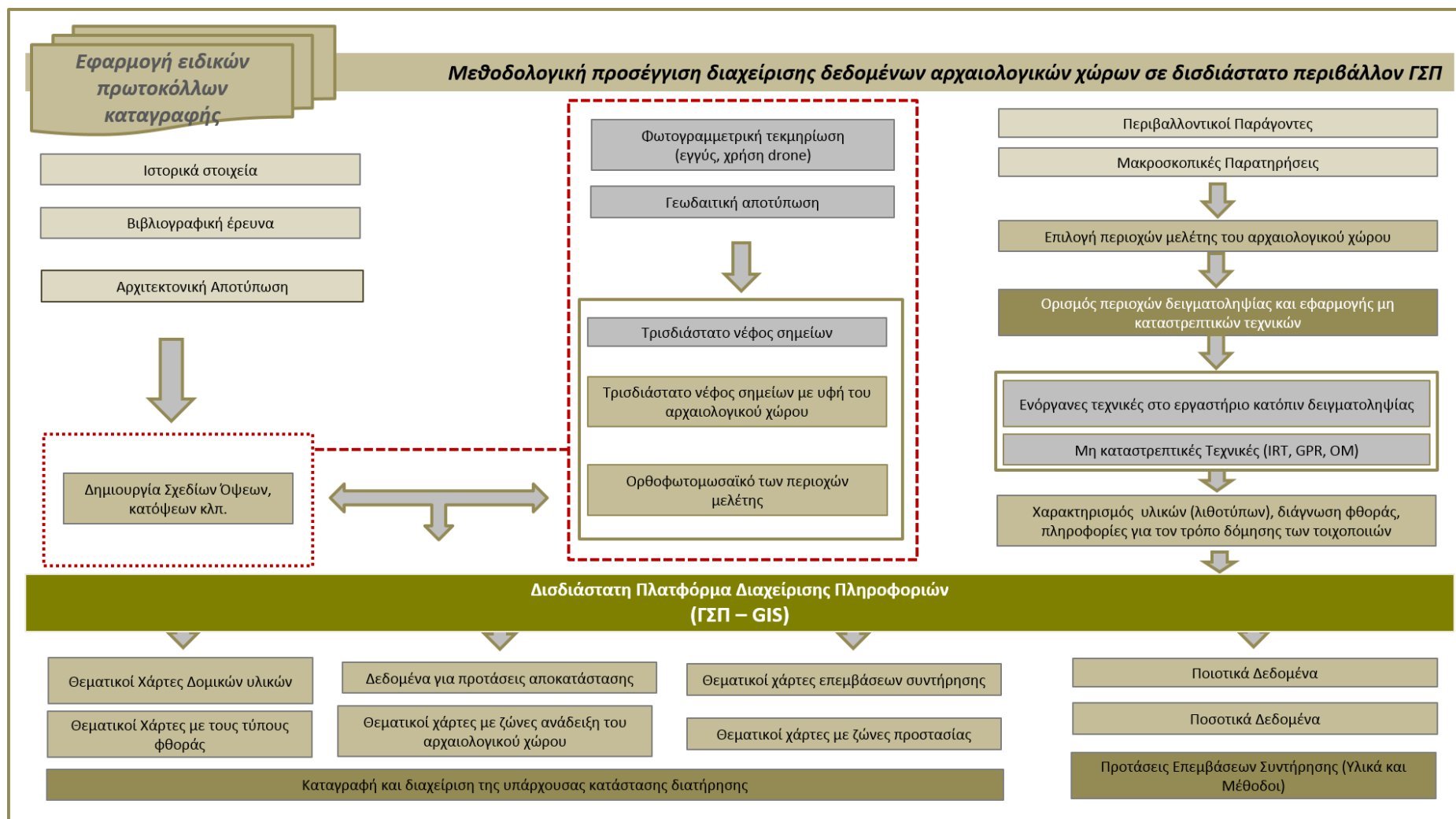
Εικόνα 106: Θεματικός χάρτης φθορών στην Πύλη της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου



Εικόνα 107: Θεματικός χάρτης επεμβάσεων συντήρησης στην Πύλη της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου



Εικόνα 108: Θεματικός χάρτης επεμβάσεων συντήρησης σε επιλεγμένο τμήμα τείχους της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου



Εικόνα 109: Μεθοδολογικό διάγραμμα διαχείρισης δεδομένων σε δισδιάστατο περιβάλλον ΓΣΠ

3.4.4. Διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης σε περιβάλλον Μοντέλου Κτιριακών Πληροφοριών

Ένα Μοντέλο Κτιριακών Πληροφοριών αποτελεί εξορισμού ένα εργαλείο σχεδιασμού, απεικόνισης, παραγωγής και μακροπρόθεσμης διαχείρισης μιας κτιριακής κατασκευής. Επινοήθηκε αρχικά για να συνεισφέρει στη διαδικασία σχεδιασμού νέων κτηρίων. Ωστόσο, οι εξελίξεις και η διεύρυνση του πεδίου της πολιτιστικής κληρονομιάς, και συγκεκριμένα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, οδήγησε στην ανάπτυξη νέων εφαρμογών και την εμφάνιση των Μοντέλων Πληροφοριών Ιστορικών Κτηρίων, αλλιώς HBIM (Historic Building Information Model).

Ακόμη, τα Μοντέλα Κτιριακών Πληροφοριών εν γένει, περιλαμβάνουν παραμετρικές βιβλιοθήκες για να περιγραφούν τα δομικά στοιχεία κάθε κατασκευής. Οι διαθέσιμες παραμετρικές βιβλιοθήκες αλλά και τα οικοδομικά υλικά στοχεύουν κυρίως σε νέα κτήρια, επομένως δεν παρέχεται μεγάλο φάσμα κατάλληλων επιλογών για την τεκμηρίωση μιας ιστορικής κατασκευής (παραδοσιακά υλικά, νεοκλασική τυπολογία). Ειδικά στην περίπτωση αρχαιολογικού χώρου που αποτελείται από δομικά στοιχεία με πολύπλοκα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, η εισαγωγή δεδομένων με ακανόνιστα χωρική κατανομή σε ένα BIM αποτελεί μεγάλη πρόκληση μιας και κάτι τέτοιο μέχρι στιγμής δεν υποστηρίζεται.

Διερευνήθηκαν επομένως πιθανοί τρόποι μοντελοποίησης των επί μέρους τμημάτων του αρχαιολογικού χώρου, είτε διαχωρίζοντάς τον σε οντότητες –πληροφοριών (τείχη, είσοδος) είτε μέσω της ανάλυσης του σε δομικά στοιχεία, θεωρώντας κάθε δομόλιθο ως μια ξεχωριστή οντότητα. Σκοπός ήταν η διερεύνηση των δυνατοτήτων του BIM στην περίπτωση του αρχαιολογικού χώρου για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την κατάσταση διατήρησής του.

Το λογισμικό Revit Autodesk 2018 επιλέχθηκε και σε αυτή την περίπτωση για τη διαμόρφωση του μοντέλου καθώς υποστηρίζει την είσοδο σε τρισδιάστατα νέφη σημείων που απεικονίζουν επιφάνεια και στην περίπτωση της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου το νέφος σημείων αποτελούσε το προϊόν της γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Στο περιβάλλον αυτό βέβαια επιβάλλεται να ειπωθεί ότι τα εργαλεία μοντελοποίησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν με προκατασκευασμένα στέρεα αντικείμενα ή με εισαχθέντα γεωμετρικά μοντέλα.

Πριν από τη ανάπτυξη του γραφικού μοντέλου (τρισδιάστατο μοντέλο BIM) προηγήθηκε η σημασιολογική διερεύνηση του αρχαιολογικού χώρου ούτως ώστε να γίνει η καταγραφή όλων των στοιχείων που απαρτίζουν το μνημείο. Στη συνέχεια, επιλέχθηκε να γίνει η ανάπτυξη του μοντέλου, αναλύοντας τον αρχαιολογικό χώρο και θεωρώντας κάθε δομόλιθο του ως μια ξεχωριστή οντότητα. Για την ανάπτυξη του μοντέλου δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν συστήματα οικογενειών καθώς αυτές αφορούν σε υπάρχουσες αρχιτεκτονικές δομές κτηρίων. Δεν καθίσταται χρησιμοποιηθούν ούτε οικογένειες προς φόρτωση από την παραμετρική βιβλιοθήκη του λογισμικού. Η δόμηση του παραμετρικού μοντέλου επιλέχθηκε να γίνει μέσα από τη δημιουργία επί τόπου οικογενειών, που χτίζονται επιτόπου μέσα στο τρισδιάστατο περιβάλλον με τα ήδη υπάρχοντα εργαλεία. Κάθε δομόλιθος μοντελοποιείται ξεχωριστά έχοντας ως οδηγό τα αποτελέσματα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης (νέφος σημείων) με τη βοήθεια οριζοντιογραφικών και υψομετρικών σταθμών.

Η οντολογία των στοιχείων διαμορφώθηκε μέσα από την ενσωμάτωση πληροφοριών από τη διεπιστημονική τεκμηρίωση και πιο συγκεκριμένα με ιστορικά στοιχεία και αποτελέσματα χαρακτηρισμού των δομικών υλικών.

3.4.5 Μεθοδολογική προσέγγιση για την ανάπτυξη μοντέλου κτηριακών πληροφοριών για τον αρχαιολογικό χώρο – Μερικά Συμπεράσματα

Μεθοδολογική προσέγγιση

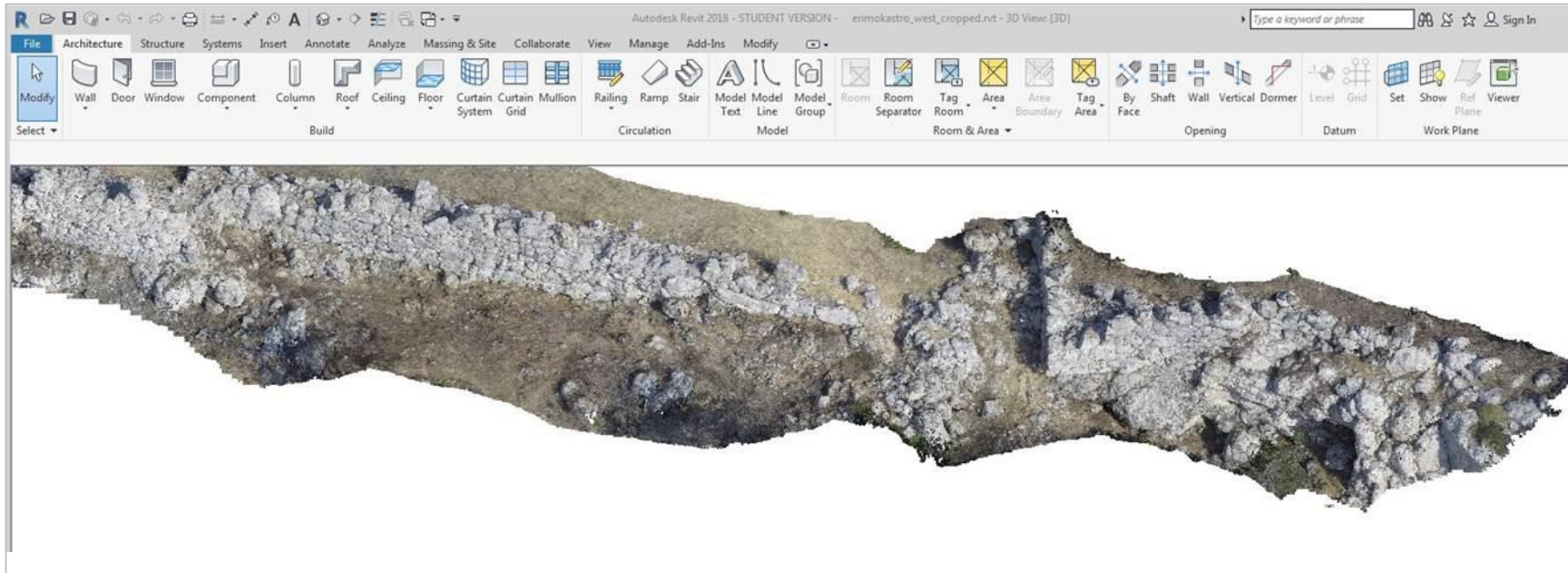
Ένα μεθοδολογικό πλαίσιο που θα ενσωματώνει τα δεδομένα που προκύπτουν από τη διεπιστημονική τεκμηρίωση (Εικόνα 110) και θα παρέχει πληροφορίες για την κατάσταση διατήρησης του αρχαιολογικού χώρου μπορεί να αποδειχθεί πολύτιμο εργαλείο μέσα από τη δημιουργία ενός HBIM.



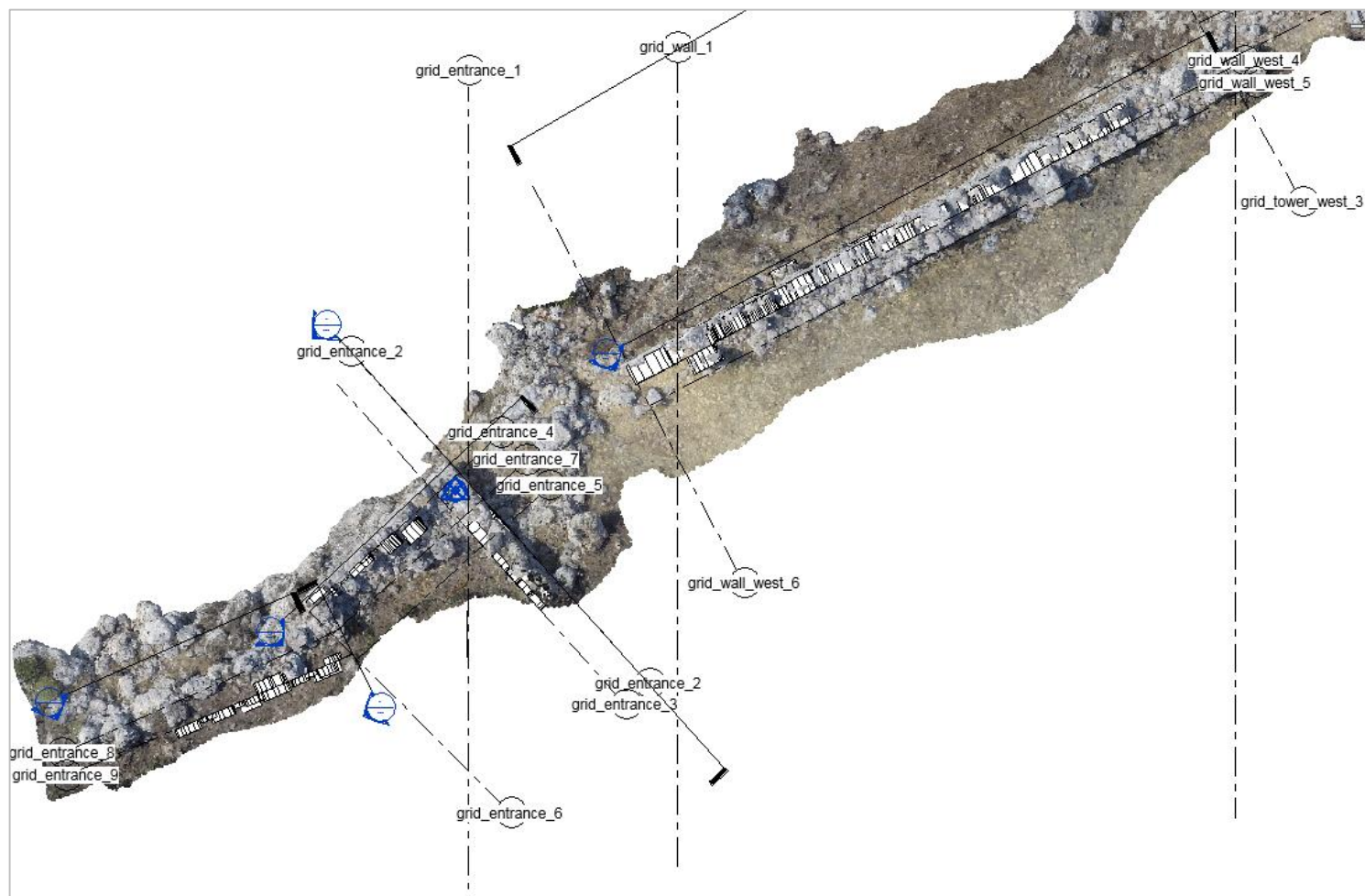
Εικόνα 110: Μεθοδολογική προσέγγιση διαχείρισης αρχαιολογικών χώρων σε περιβάλλον ΜΚΠ (BIM)

Το τρισδιάστατο νέφος σημείων, εισάγεται απευθείας στο Μοντέλο Κτηριακών Πληροφοριών (Εικόνα 111). Για τη μοντελοποίηση των δομολίθων, σχεδιάζονται βοηθητικά επίπεδα και τομές και κάθε στοιχείο που αποτελεί το τείχος του αρχαιολογικού χώρου μοντελοποιείται (Εικόνα 112). Στη συνέχεια δημιουργούνται νέες χωρικές οντότητες μιας και οι διαθέσιμες παραμετρικές βιβλιοθήκες δεν διαθέτουν κάποια οντότητα που να μπορεί να παραμετροποιηθεί και να υλοποιήσει τα δομικά στοιχεία του αρχαιολογικού χώρου (Εικόνα 113, Εικόνα 114, Εικόνα 115, Εικόνα 116, Εικόνα 117).

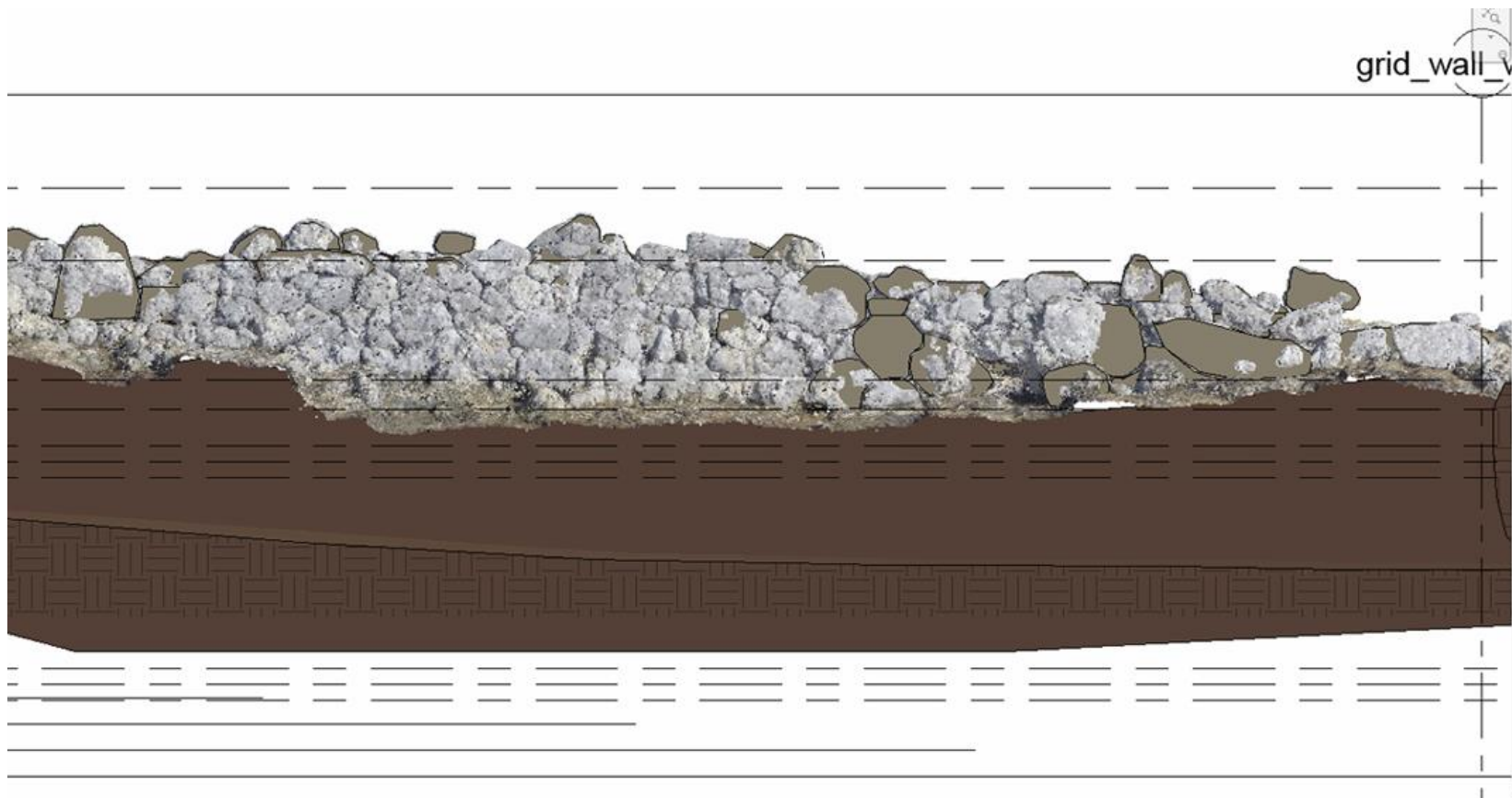
Κάθε δομικό στοιχείο απέκτησε μορφολογικά και τυπολογικά χαρακτηριστικά και εμπλουτίστηκε σημασιολογικά με πληροφορίες σε σχέση με το είδος των δομικών υλικών που το απαρτίζουν. Σημειώνεται επίσης ότι δεν είναι γνωστός ο ακριβής τρόπος δόμησης ως προς το εσωτερικό του τείχους του αρχαιολογικού χώρου, μιας και δεν έχουν γίνει ανασκαφικές εργασίες και η επιφάνεια του εδάφους από την εσωτερική πλευρά της Ακρόπολης καλύπτει σχεδόν ολόκληρο το τείχος.



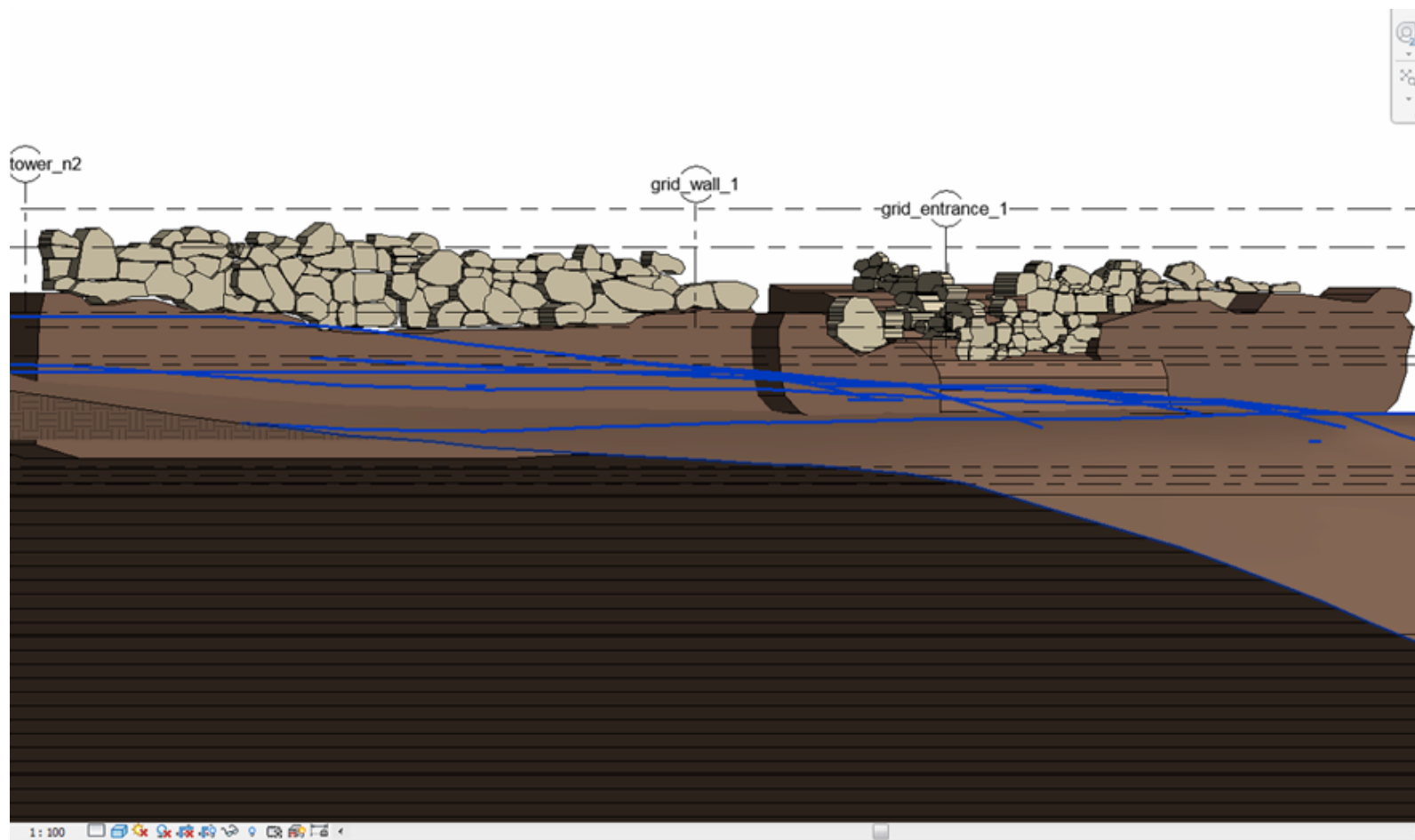
Εικόνα 111: Εισαγωγή νέφους σημείων στο Μοντέλο Κτηριακών Πληροφοριών



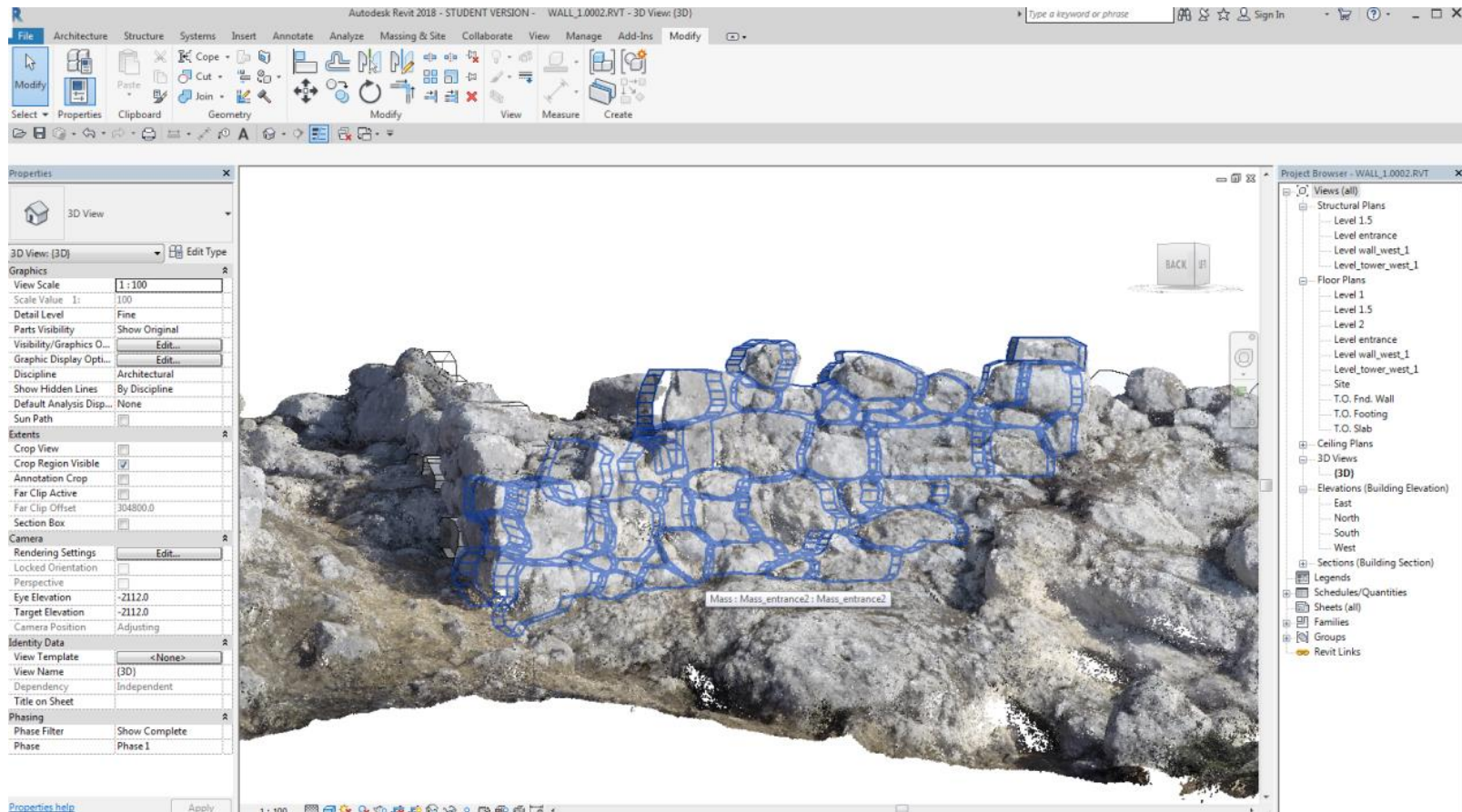
Εικόνα 112: Δημιουργία επιπέδων και τομών για τη μοντελοποίηση των δομολίθων



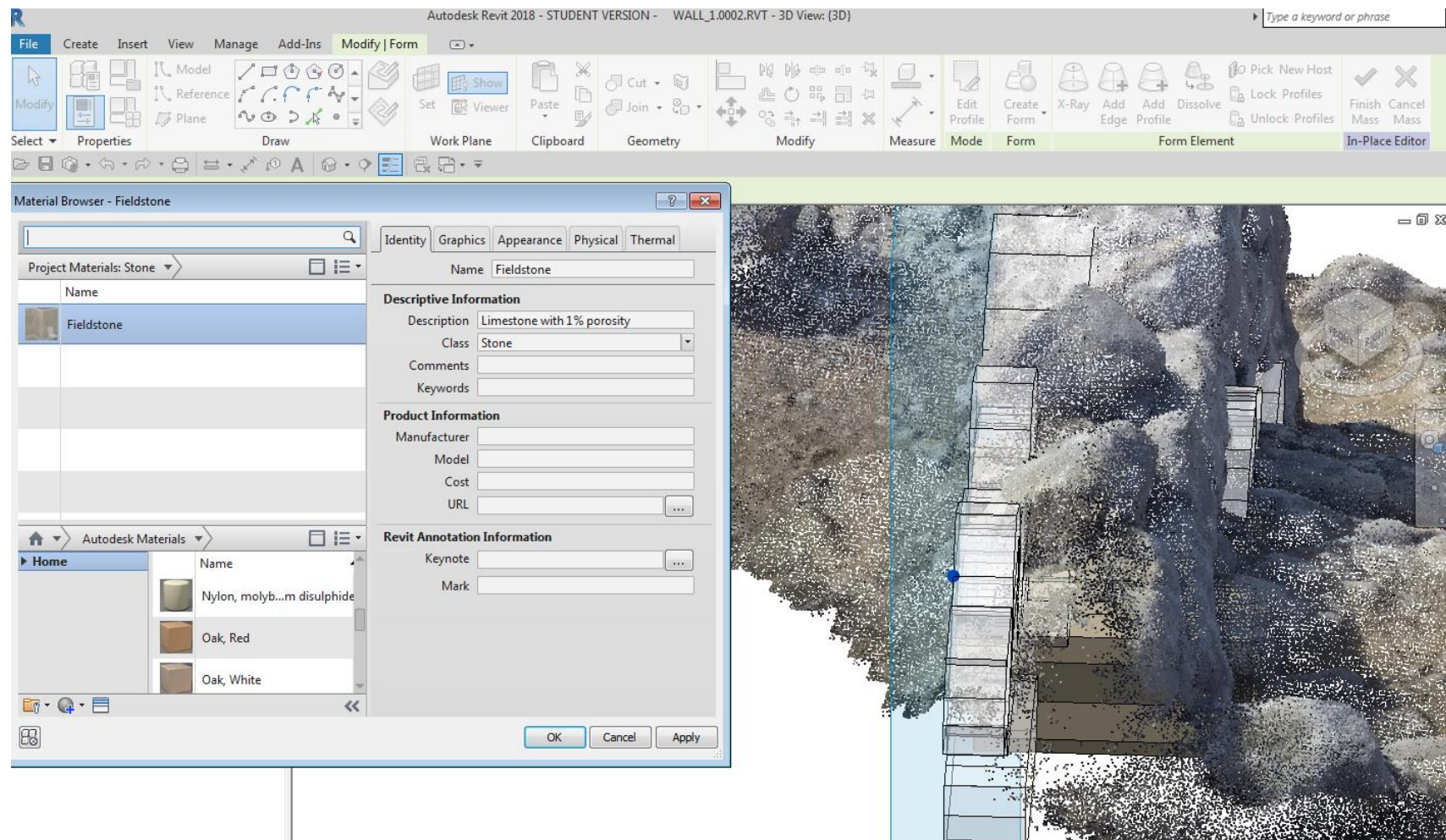
Εικόνα 113: Διαδικασία μοντελοποίησης του βόρειου τείχους



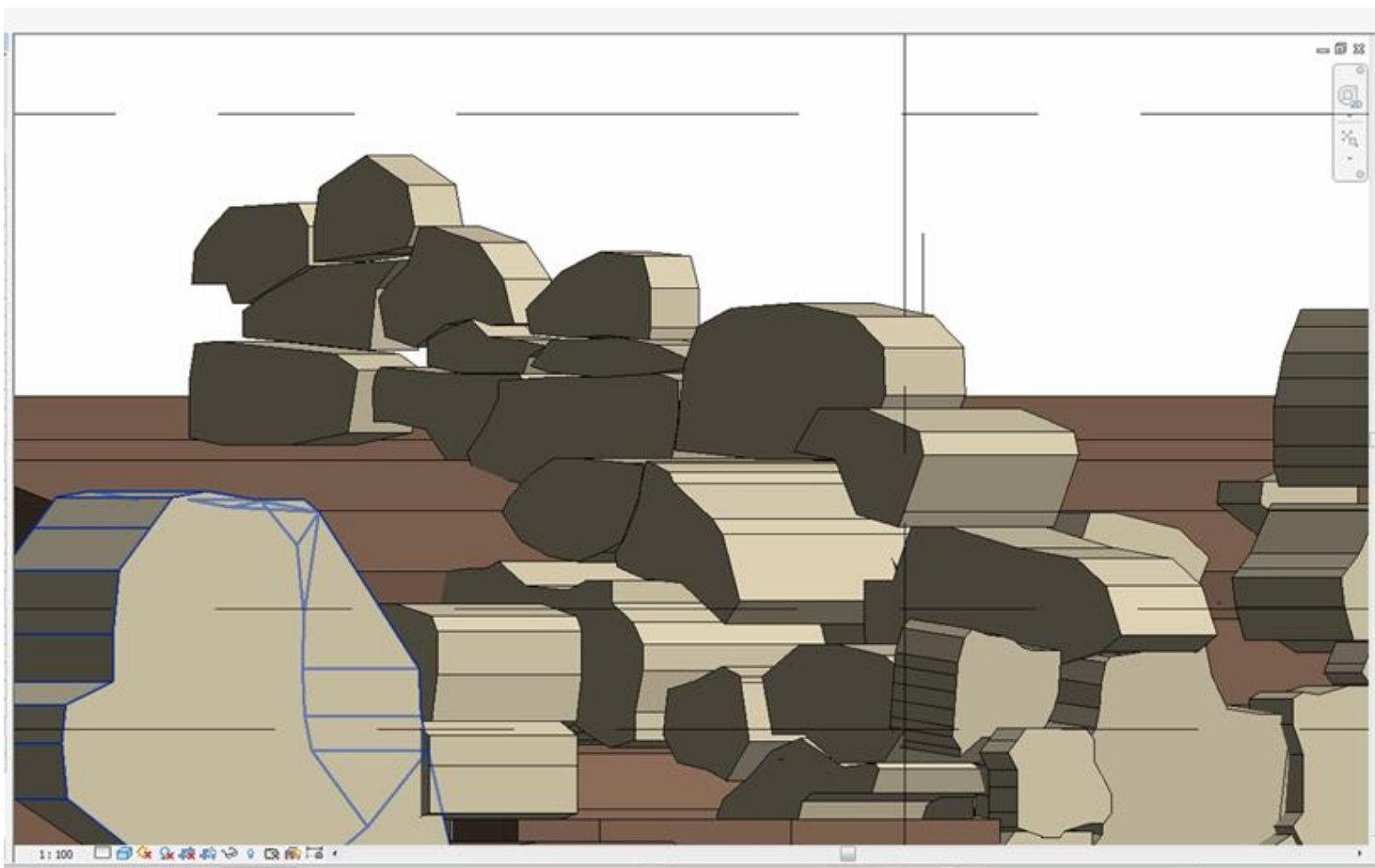
Εικόνα 114: Διαδικασία μοντελοποίησης τμήματος του τείχους και της πύλης της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου



Εικόνα 115: Στιγμιότυπο μοντελοποίησης των δομικών στοιχείων της πύλης



Εικόνα 116: Εμπλουτισμός με δεδομένα δομικών υλικών για κάθε δομόλιθο

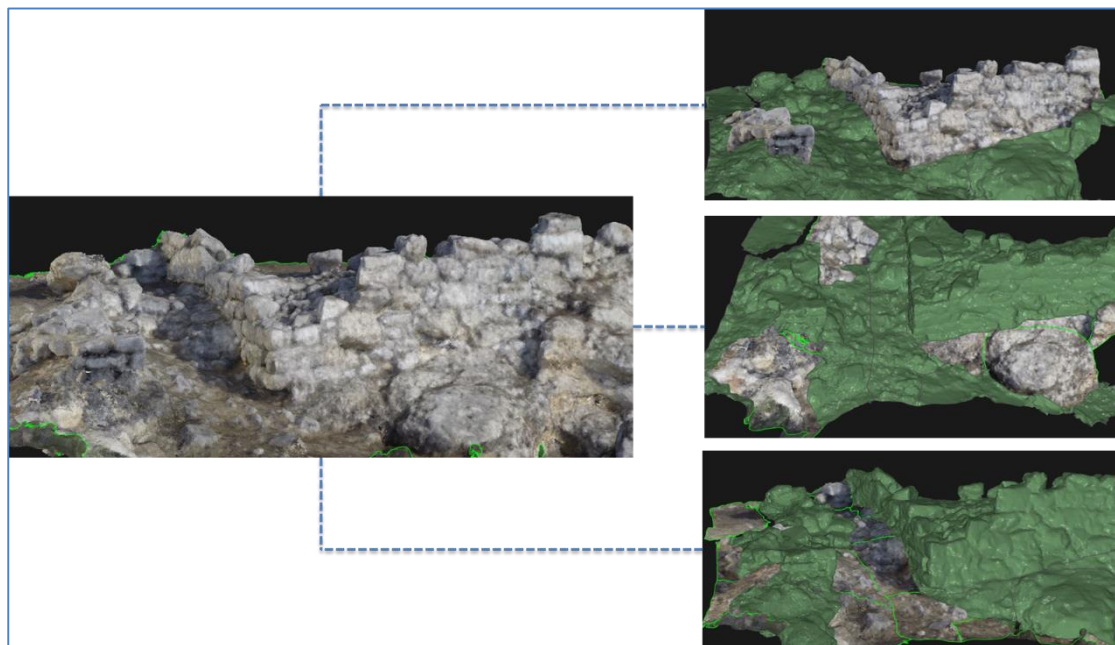


Εικόνα 117: Στιγμιότυπο από το περιβάλλον BIM κατά τη διαδικασία δημιουργίας των οντοτήτων της πύλης του αρχαιολογικού χώρου

Μερικά συμπεράσματα

Όπως έχει ήδη ειπωθεί, η διαδικασία ανάπτυξης τρισδιάστατου μοντέλου του αρχαιολογικού χώρου μέσω BIM συστημάτων είναι μία εξαιρετικά δύσκολη διεργασία, μιας και τα BIM δεν αναπτύχθηκαν για μοντελοποίηση δεδομένων ακανόνιστου όγκου και διαστάσεων. Στην περίπτωση της Ακρόπολης του Ερμηκάστρου, παρουσιάστηκε μια μεθοδολογική προσέγγιση ανάπτυξης σε περιβάλλον Revit Autodesk.

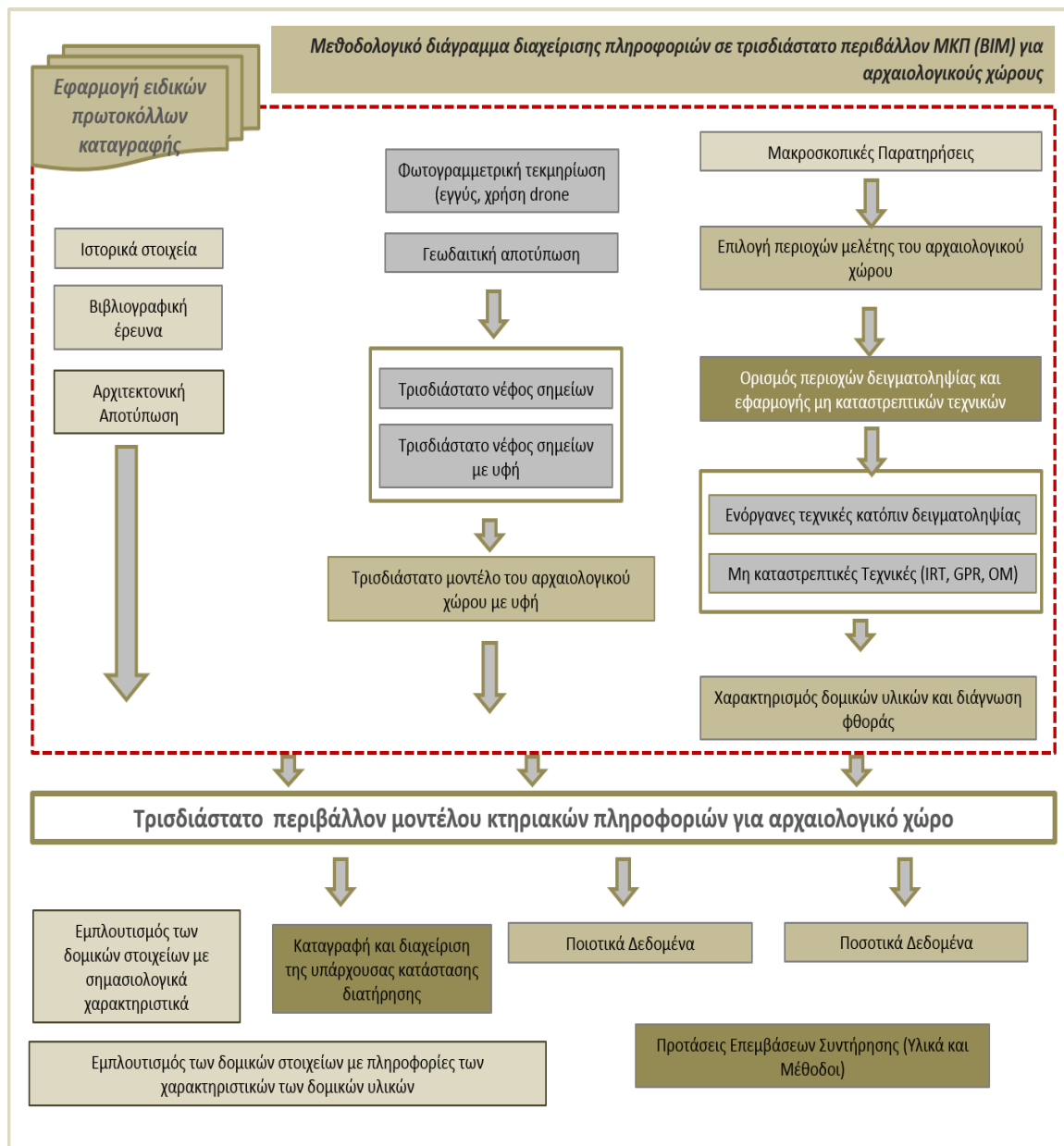
Καταρχάς, πρέπει να καταγραφεί, ότι για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου του αρχαιολογικού χώρου, διερευνήθηκαν δύο κατευθύνσεις. Στην πρώτη περίπτωση, το τρισδιάστατο νέφος σημείων ταξινομήθηκε σε τρεις κατηγορίες, «τείχη της Ακρόπολης», «αποσπασμένοι λίθοι» και «έδαφος» (Εικόνα 118). Το τρισδιάστατο νέφος κατακερματίστηκε στις τρεις αυτές κατηγορίες, και εν συνεχεία, έγινε προσπάθεια εισαγωγής των δεδομένων, ξεχωριστά σε περιβάλλον ΜΚΠ (Bentley Architecture). Ως δεδομένα εισόδου επιλέχθηκε το τρισδιάστατο νέφος σημείων, καθώς επίσης και το τρισδιάστατο μοντέλο κάθε κατηγορίας για να διερευνηθεί ποιο προϊόν θα μπορούσε να διατηρήσει τις χωρικές του ιδιότητες. Μετά την εισαγωγή των δεδομένων σε περιβάλλον ΜΚΠ, θα γινόταν προσπάθεια μετασχηματισμού του μοντέλου για να επιτραπεί η διαχείριση του από το σύστημα. Δυστυχώς κατά την εισαγωγή των τρισδιάστατων μοντέλων δεν κατέστη δυνατό να διατηρηθούν τα χωρικά και σημασιολογικά χαρακτηριστικά τους ούτε και η τοπολογική σχέση που διέθεταν τα δεδομένα μεταξύ τους.



Εικόνα 118: Ταξινόμηση και κατακερματισμός σε τρεις κατηγορίες οντοτήτων

Η δεύτερη προσέγγιση ήταν και αυτή που ακολουθήθηκε, για τη δημιουργία του μοντέλου του αρχαιολογικού χώρου μέσω BIM (Εικόνα 119). Προκύπτει επομένως, ότι η μεθοδολογία που παρουσιάζεται και εφαρμόζεται στη μελέτη του αρχαιολογικού χώρου επιδεικνύει ότι

εντός ενός συστήματος πληροφοριών, δεδομένα δομικών υλικών των δομολιθών του, μπορούν να απεικονιστούν και να ταξινομηθούν παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο δόμησης του αρχαιολογικού χώρου. Επίσης, η συλλογή διεπιστημονικών δεδομένων για περίπλοκες δομές ιστορικής και πολιτιστικής αξίας καθότι είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, μπορεί να οπτικοποιηθεί σε ένα βαθμό, μέσω ενός τρισδιάστατου περιβάλλοντος απεικόνισης και διαχείρισης δεδομένων. Συμπερασματικά, μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, παραμένει ανοιχτή, μιας και το ζητούμενο είναι η παρακολούθηση του μνημείου στο χρόνο με ταυτόχρονη αναπροσαρμογή και εμπλουτισμό του κτιριακού μοντέλου με νέες πληροφορίες.



Εικόνα 119: Μεθοδολογικό διάγραμμα διαχείρισης δεδομένων αρχαιολογικού χώρου σε τρισδιάστατο περιβάλλον ΜΚΠ

4. Προσέγγιση διαχείρισης μοντέλων BIM σε διαδικτυακή πλατφόρμα

4.1 Καταγραφή των σημασιολογικών χαρακτηριστικών και των αξιών και ενσωμάτωση τους σε περιβάλλον ΜΚΠ

Στο σύνολο των τεσσάρων περιπτώσεων μελέτης, το νεοκλασικό κτήριο της Βίλλας Κλωναρίδη αποτελεί την περίπτωση, που περιλαμβάνει τα περισσότερα σε όγκο και είδος δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης. Επίσης, ο αρχαιολογικός χώρος της Ακρόπολης του Ερμηκόαστρου αποτελεί έναν περιτειχισμένο χώρο, που η διαχείριση δεδομένων σε ΜΚΠ αποτελεί μία πρόκληση. Για την ολοκληρωμένη διαχείριση των μοντέλων HBIM, επομένως, είναι απαραίτητο να ακολουθούνται μία σειρά βημάτων προς μια ολιστική προσέγγιση.

Η συλλογή δεδομένων πολιτιστικής κληρονομιάς που θεωρούνται **μη-γραφικές ή σημασιολογικές πληροφορίες** αποτελεί το πρώτο βήμα. Στο δεύτερο βήμα αναλύονται τα δεδομένα αυτά και οργανώνονται καταλλήλως ώστε να ενταχθούν σε περιβάλλον BIM (για παράδειγμα στο REVIT). Τέλος, τα δεδομένα εισάγονται και αποθηκεύονται σε περιβάλλον BIM και ξεκινά η ακριβής και παραμετρική **μοντελοποίηση** των αρχιτεκτονικών συστατικών μερών.

Όπως έχει ήδη διατυπωθεί, κάθε στοιχείο πολιτιστικής κληρονομιάς είναι μοναδικό και χρήζει εξατομικευμένης διερεύνησης, ανάλυσης και αποτύπωσης σύμφωνα με τα ποικίλα διαφορετικά χαρακτηριστικά και τους σκοπούς της εκάστοτε αποτύπωσης και τεκμηρίωσης. Επομένως, η βέλτιστη δυνατή επιλογή ως προς τη λήψη δεδομένων τρισδιάστατης τεκμηρίωσης εξαρτάται από μία σειρά κριτηρίων, που σχετίζονται με τις ιδιότητες του προς αποτύπωση ιστορικού κτηρίου, μνημείου ή αρχαιολογικού χώρου.

Το πρώτο βήμα για την ταυτοποίηση και ανάλυση των χαρακτηριστικών εξαρτάται από το είδος της αποτύπωσης και κατ' επέκταση τεκμηρίωσης (Αρχιτεκτονική, Δομική, Ασφάλεια, Οικοδομική, Πολυμέσα, Αρχαιολογική, Επείγουσες περιπτώσεις), από τον σκοπό αυτών αλλά και από την αναγνώριση και εκτίμηση των προαπαιτούμενων για κάθε εργασία (στοχοθέτηση, χρόνος, κόστος, επίπεδο λεπτομέρειας).

Το δεύτερο βήμα είναι η κατά περίπτωση ανάλυση που επικεντρώνεται στα ακόλουθα χαρακτηριστικά: στη φύση του προς αποτύπωση αντικειμένου, στη διαδικασία, στο περιβάλλον, στο είδος, τη μέθοδο και τα προϊόντα της αποτύπωσης. Ακόμη, κάθε μνημείο, ιστορικό κτήριο ή σύνολο ταξινομείται σε μία από τις τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με το σκοπό τεκμηρίωσής του:

- Κατανόηση και Αξιολόγηση του Στοιχείου Πολιτιστικής Κληρονομιάς,
- Εξέλιξη του μνημείου στο χρόνο – (Time machine),
- Αποκάλυψη των αξιών των στοιχείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, Άυλη συσχέτιση πληροφοριών,
- Διατήρηση, αποκατάσταση και διαχείριση του στοιχείου Πολιτιστικής Κληρονομιάς.

Ειδικότερα στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται όλες οι κατηγορίες πολιτιστικής κληρονομιάς. Η ταξινόμηση σε κάποια από τις άλλες κατηγορίες καθώς και η αξιοποίηση μπορεί να επιτευχθεί μέσω της αποτελεσματικής συλλογής δεδομένων για την ανάπτυξη σημασιολογικά εμπλουτισμένων τρισδιάστατων μοντέλων.

Συνολικά, οι αξίες που πρεσβεύει κάθε μνημείο πολιτιστικής κληρονομιάς, θα πρέπει να καταγράφονται και να διατηρούνται μέσα σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα.

4.2 Οντολογία - Σημασιολογία

4.2.1 Οντολογίες που περιλαμβάνονται στη διεπιστημονική τεκμηρίωση

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ως πρώτο βήμα κρίνεται απαραίτητη η απόκτηση πληροφοριών σε σχέση με τα δεδομένα των μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς, της βέλτιστης αξιοποίησης αυτών, των τεχνολογιών λήψης των δεδομένων αυτών καθώς και των τεχνικών επεξεργασίας. Αναγκαία είναι επίσης η υλοποίηση να πραγματοποιηθεί βάσει κανόνων. Αφότου συλλέχθηκαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία σχετικά με την τεκμηρίωση κάθε μίας μελέτης περίπτωσης, αναπτύχθηκε το γραφικό μοντέλο (τρειςδιάστατο μοντέλο BIM) ενώ προηγήθηκε η σημασιολογική διερεύνηση και της Βίλλας Κλωναρίδη αλλά και της Ακρόπολης του Ερμηοκάστρου (Κεφ 3.3 και 3.4). Πρέπει να τονιστεί ότι μέσα από την καταγραφή των σημειώντων επιτεύχθηκε η αποτύπωση όλων των περιγραφικών οντοτήτων, των αξιών και των τυπολογικών χαρακτηριστικών και επίσης καθορίστηκε και ο τρόπος σύνδεσης τους με τις γραφικές οντότητες.

Οι εργασίες της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε σε σχέση με τη **σημασιολογική διερεύνηση** των μνημείων, πραγματοποιήθηκαν ως εξής:

- Διερεύνηση Βιβλιογραφίας
- Κύριες αναφορές: επιλέγονται από τη βιβλιογραφία τα πιο σημαντικά κείμενα που πραγματεύονται τη σχέση μεταξύ αρχιτεκτονικών στοιχείων του κτηρίου, του σχήματος και της ονοματολογίας.
- Ανάλυση: τα επιλεγμένα κείμενα αναλύονται αφαιρώντας τις ονομασίες αρχιτεκτονικών στοιχείων και διατηρώντας την ιεραρχία τους (στενή και ευρεία) όσο αυτό επιτρέπεται. Όπου καθίσταται δυνατό, ονομασίες μπορούν να εισαχθούν και να εμπλουτιστούν από την ίδια τεχνογνωσία.
- Καταγραφή και ταξινόμηση ονομασιών: Οι ονομασίες που έχουν επιλεγεί πρέπει να οργανωθούν σε πίνακα σε σειρές και στήλες για να αποτυπωθεί η μεταξύ τους σχέση ιεραρχίας.
- Αντιστοίχιση του λεξιλογίου Getty: πραγματοποιείται αντιστοίχιση των εννοιών που είναι καταγεγραμμένες στο λεξιλόγιο και εντοπίζονται πιθανές ελλείψεις. Η έρευνα των αποτελεσμάτων από την πλατφόρμα του λεξιλογίου Getty επιστρέφει ένα αρχείο τύπου .xlsx (the_aat_architectural_element.xlsx) και περιέχει μόνο τα στοιχεία που σχετίζονται με το ιστορικό κτήριο και με τον αρχαιολογικό χώρο.

Άκρως σημαντική είναι η καθιέρωση ορθών κανόνων σημασιολογίας καθώς αποτελεί θεμέλιο της δόμησης της εφαρμογής HBIM. Μια στροφή προς τον “πυρήνα” των θεμάτων

που προσφέρονται, ήτοι της σημασιολογίας των λέξεων, θα αποδώσει ψηφιακό περιεχόμενο που θα ενσωματώνει ετερογενείς σε ποσότητα και ποιότητα πληροφορίες. Ο στόχος επομένως ήταν να σχηματιστεί ένα εννοιολογικό μοντέλο με επιμέρους παράγοντες-κλειδιά από τη μία και τους συσχετισμούς αυτών από την άλλη.

4.2.1 Βίλλα Κλωναρίδη

Ο σημασιολογικός εμπλουτισμός ιστορικών κτηρίων εντός της τρισδιάστατης πλατφόρμας, καταπιάνεται με διάφορες περιπτώσεις μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς ενσωματώνοντας πληροφορίες σχετικά με το “σύστημα δόμησης”, “συστατικά τοιχοποιίας”, “σκάλες”, “στέγες” και “πόρτες”. Η καταγραφή των δεδομένων γραφικών και μη, του ιστορικού κτηρίου της Βίλλας Κλωναρίδη περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.1 της παρούσας διατριβής. Αρχικά στον Πίνακα 3, καταγράφονται τα επίπεδα λεπτομερειών στα οποία μπορούν να αναλυθούν τα δομικά στοιχεία της Βίλλας Κλωναρίδη βάσει της διεπιστημονικής τεκμηρίωσης για το μνημείο αυτό. Αντίστοιχα δίνεται ο Πίνακας 4, όπου έχουν καταγραφεί οι όροι, οι κωδικοί και το επίπεδο ανάλυσης σύμφωνα με το λεξικό Getty, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τα δομικά στοιχεία του ιστορικού κτηρίου της Βίλλας Κλωναρίδη. Είναι εμφανές ότι δεν μπορεί να γίνει απόλυτη αντιστοίχιση ανάμεσα στα αποτελέσματα από το Getty, όσων αφορά στους καταγεγραμμένους όρους, και το επίπεδο ανάλυσης για τη Βίλλα Κλωναρίδη. Επομένως, κατά την ανάπτυξη του HBIM μοντέλου του ιστορικού κτηρίου, επιχειρείται η διασύνδεση και ο εμπλουτισμός των σημασιολογικών οντοτήτων που έχουν καταγραφεί και με την κωδικοποίηση του λεξικού Getty με σκοπό την αναβάθμιση εννοιολογικά του HBIM.

Πίνακας 3: Επίπεδα λεπτομερειών ανάλυσης σε σχέση με τα δομικά στοιχεία της Βίλλας Κλωναρίδη²⁴⁰

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6	Level 7	
3D Heritage Building	structure (structural elements)	<structures by location or context>	building materials	mortar			
				stones			
				bricks			
				plaster			
				colouring			
				metallic elements			
				ceramic elements			
				decay patterns	cracks		
	column components	column components					
	roof	exterior roof components	roof components	roof frame components	rafters		
		roof frame components	balusters (railing components)	hip roof	clay roof tiles		
		chimney stacks		gable roof			
		beams (structural elements)		balcony			
	ceilings	beam ceilings					
	gypsum architectural decoration						
stairs	<stairs by form>	geometrical stairs					
		half landing stairs					

²⁴⁰ Deliverable 5.8 ‘EL Demonstration Case user-oriented applications and validation results’. Work Package 5 Team, (WP leader VBC – main author NTUA) INCEPTION EU project

	floor components	floor components	straight stairs			
	wall components	<walls and wall components>	walls	<walls by location or context>	nonbearing walls	interior wall components
			wall components		bearing walls	<façades and façade components>
					decorative wall components	
					exterior walls	
					interior walls	
	window components	<window frames and window frame components>	window frames		basement windows	double-hung windows
			window components		window frames	casement windows
	doorway components	<doors and door components>	doorframes	doorcases	double doors	<doors by form>
			doors		doorframe components	

Πίνακας 4: Σύνδεσμοι του λεξικού Getty σχετικά με τα επιλεγμένα δομικά στοιχεία της Βίλλας Κλωναρίδη που αφορούν σε ιστορικό κτήριο²⁴⁰

Names	AAT dictionary URL	Query depth level
structures (structural elements)	http://vocab.getty.edu/aat/300000992	2
column components	http://vocab.getty.edu/aat/300001650	2
roof components	http://vocab.getty.edu/aat/300002212	2
wall components	http://vocab.getty.edu/aat/300002573	2
ceilings	http://vocab.getty.edu/aat/300002031	2
floor components	http://vocab.getty.edu/aat/300002077	2

stairs	http://vocab.getty.edu/aat/300003228	2
<structures by location or context>	http://vocab.getty.edu/aat/300001954	3
<columns and column components>	http://vocab.getty.edu/aat/300052248	3
beams (structural elements)	http://vocab.getty.edu/aat/300001497	3
<walls and wall components>	http://vocab.getty.edu/aat/300052367	3
exterior roof components	http://vocab.getty.edu/aat/300002213	3
roof frame components	http://vocab.getty.edu/aat/300002382	3
beam ceilings	http://vocab.getty.edu/aat/300002035	3
floor components	http://vocab.getty.edu/aat/300002077	3
<doors and door components>	http://vocab.getty.edu/aat/300052371	3
<window frames and window frame components>	http://vocab.getty.edu/aat/300076167	3
<stairs by form>	http://vocab.getty.edu/aat/300003230	3
roof components	http://vocab.getty.edu/aat/300002212	4
walls	http://vocab.getty.edu/aat/300002469	4
wall components	http://vocab.getty.edu/aat/300002573	4
window components	http://vocab.getty.edu/aat/300003087	4
doorframes	http://vocab.getty.edu/aat/300002785	4
doors	http://vocab.getty.edu/aat/300002803	4
window frames	http://vocab.getty.edu/aat/300003118	4
balusters (railing components)	http://vocab.getty.edu/aat/300003287	4
geometrical stairs	http://vocab.getty.edu/aat/300003271	4
straight stairs	http://vocab.getty.edu/aat/300003256	4
roof frame components	http://vocab.getty.edu/aat/300002382	5
<walls by location or context>	http://vocab.getty.edu/aat/300002522	5
doorcases	http://vocab.getty.edu/aat/300375046	5
rafters	http://vocab.getty.edu/aat/300002424	6
bearing walls	http://vocab.getty.edu/aat/300002557	6
nonbearing walls	http://vocab.getty.edu/aat/300002562	6
exterior walls	http://vocab.getty.edu/aat/300002523	6
interior walls	http://vocab.getty.edu/aat/300002535	6
decorative wall components	http://vocab.getty.edu/aat/300165509	6
doorframe components	http://vocab.getty.edu/aat/300002791	6
basement windows	http://vocab.getty.edu/aat/300069482	6

window frames	http://vocab.getty.edu/aat/300003118	6
double doors	http://vocab.getty.edu/aat/300002806	6
<façades and façade components>	http://vocab.getty.edu/aat/300104722	7
interior wall components	http://vocab.getty.edu/aat/300002680	7
<doors by form>	http://vocab.getty.edu/aat/300002805	7
casement windows	http://vocab.getty.edu/aat/300002998	7
double-hung windows	http://vocab.getty.edu/aat/300003071	7

Το HBIM της Βίλας Κλωναρίδη περιλαμβάνει σημαντικά αρχιτεκτονικά της στοιχεία και είναι εμπλουτισμένο με ιστορικά στοιχεία εν είδη ονοματολογίας σύμφωνα με το Λεξιλόγιο Getty (AAT). Για τα συστατικά μέρη των τοιχοποιιών, χρησιμοποιήθηκε ο όρος **δομικά μέρη τοιχοποιίας** (<τοιχοί και συστατικά μέρη τοιχοποιίας> που περιλαμβάνει τα δομικά στοιχεία). Ο όρος δομικά μέρη (ιεραρχική ονομασία) με κωδικό ID: 300002573, χρησιμοποιήθηκε για να χαρακτηρίσει τις εξωτερικές τοιχοποιίες ενώ τα εσωτερικά ονομάστηκαν **δομικά μέρη εσωτερικών τοιχοποιιών** (<συστατικά μέρη τοιχοποιίας κατά μορφή ή λειτουργία> δομικά στοιχεία τοιχοποιίας, Συστατικά μέρη (ιεραρχική ονομασία) με κωδικό ID: 300002680) για να υπάρξει ευκρινής διάκριση μεταξύ εξωτερικών και εσωτερικών τοιχοποιιών. Η πολυπλοκότητα που προκύπτει από τις διάφορες κατασκευαστικές φάσεις του μνημείου καθιστά τη διάκριση αυτή απαραίτητη καθώς ένας τοίχος μπορεί να αποτελούσε τμήμα της εξωτερικής τοιχοποιίας στην πρώτη κατασκευαστική φάση, ενώ στη συνέχεια να αποτέλεσε τμήμα εσωτερικής τοιχοποιίας. Όσον αφορά τα κιγκλιδώματα του κτηρίου, υιοθετήθηκε ο όρος κιγκλιδώματα (διάταξη κιγκλιδωμάτων) (<μπαλουστρα και διατάξεις κιγκλιδωμάτων>, <μπαλούστρες, κιγκλιδώματα και τα συστατικά τους μέρη>, Συστατικά μέρη (ιεραρχική ονομασία) με κωδικό ID: 300003287. Τέλος, οι σκάλες, η οροφή, οι δοκοί, οι πόρτες, τα πατώματα, οι στέγες και τα παράθυρα εμπλουτίστηκαν σημασιολογικά με την ιστορική ονοματολογία του Λεξιλογίου Getty (AAT).

4.2.2 Ακρόπολη του Ερημοκάστρου

Ο σημασιολογικός εμπλουτισμός, σε διάφορες περιπτώσεις αρχαιολογικών χώρων, στη Μεσόγειο και στην Κεντρική Ευρώπη, ενσωματώνει πληροφορίες που σχετίζονται με κατηγορίες οχυρωματικών τειχών, πύργων, και πυλών εισόδου σε μνημεία αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Επιπρόσθετα, πληροφορίες που αντλούνται από τη μελέτη για την κατάσταση διατήρησης και την ιστορική τεκμηρίωση ενός αρχαιολογικού χώρου μπορούν να συνδεθούν με το τρισδιάστατο μοντέλο BIM.

Η καταγραφή των δεδομένων γραφικών και μη, του αρχαιολογικού χώρου της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.2 της παρούσας διατριβής. Στον Πίνακα 5, καταγράφονται τα επίπεδα λεπτομερειών στα οποία μπορεί να αναλυθούν τα δομικά στοιχεία του Αρχαιολογικού χώρου. Αντίστοιχα, δίνεται ο Πίνακας 6 όπου έχουν καταγραφεί οι όροι, οι κωδικοί και το επίπεδο ανάλυσης σύμφωνα με το λεξικό Getty, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τα δομικά στοιχεία της Ακρόπολης. Και σε αυτή την περίπτωση είναι εμφανές, ότι δεν μπορεί να γίνει απόλυτη αντιστοίχιση ανάμεσα στα αποτελέσματα από το Getty, όσον αφορά στους καταγεγραμμένους όρους, και το επίπεδο ανάλυσης για τον αρχαιολογικό χώρο. Επομένως, κατά την ανάπτυξη του HBIM μοντέλου του αρχαιολογικού χώρου, επιχειρείται η διασύνδεση και ο εμπλουτισμός των σημασιολογικών οντοτήτων που έχουν καταγραφεί και με την κωδικοποίηση του λεξικού Getty με σκοπό την αναβάθμιση εννοιολογικά του HBIM.

Πίνακας 5: Επίπεδα λεπτομερειών ανάλυσης των δομικών στοιχείων του Αρχαιολογικού χώρου²⁴⁰.

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6	Level 7
Acropolis	structure (structural elements)	<structures by location or context>				
	<bastions and bastion components>					
	cavaliers (fortification elements)					
	<defensive walls and defensive wall components>	defensive walls	banquettes (defensive wall components)	<walls by location or context>		
	fortification openings	defensive wall components	Building materials	Stone Slabs		
			Decay Patterns	Cracks		
				Loss of Building Material		

Πίνακας 6: Σύνδεσμοι του λεξικού Getty σχετικά με τα επιλεγμένα δομικά στοιχεία της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου²⁴⁰

Names	AAT dictionary URL	Query depth level
structures (structural elements)	http://vocab.getty.edu/aat/300000992	2
<bastions and bastion components>	http://vocab.getty.edu/aat/300100130	2
cavaliers (fortification elements)	http://vocab.getty.edu/aat/300003703	2
<defensive walls and defensive wall components>	http://vocab.getty.edu/aat/300079573	2
fortification openings	http://vocab.getty.edu/aat/300069410	2
<structures by location or context>	http://vocab.getty.edu/aat/300001954	3
defensive walls	http://vocab.getty.edu/aat/300002485	3
defensive wall components	http://vocab.getty.edu/aat/300002493	3
banquettes (defensive wall components)	http://vocab.getty.edu/aat/300002507	4
<walls by location or context>	http://vocab.getty.edu/aat/300002522	5

Ο εμπλουτισμός και η σημασιολογική ταξινόμηση του μοντέλου BIM της Ακρόπολης του Ερμηόκαστρου διεξήχθησαν σύμφωνα με το Λεξιλόγιο Getty (AAT). Αναφορικά με τα αρχιτεκτονικά στοιχεία της Ακρόπολης, η συλλογή συμπεριλάμβανε πληροφορίες ταξινόμησης όπως Δόμηση εν ξηρώ (δόμηση τείχους) (<τείχη βάσει μορφολογίας>, τείχη δομικά μέρη (ιεραρχική ονομασία) με κωδικό ID: 300070971 και σύνδεσμο στο: <http://vocab.getty.edu/page/aat/300070971>). Τα τείχη της Ακρόπολης του Ερμηόκαστρου είναι κατασκευασμένα χωρίς ασβεστοκονίαμα, αρκετά σύνηθες στη Μεσόγειο. Ακόμη μια σημασιολογική ταξινόμηση σύμφωνα με το Λεξιλόγιο Getty που συνδέθηκε με το μοντέλο BIM αφορά σε οχυρωματικό σκοπό για τα τείχη της οχύρωσης της Ακρόπολης. Συλλέχθηκαν πληροφορίες σχετικά με τις οχυρώσεις (<μεμονωμένες τείχη ανάλογα με το ρόλο που επιτελούν>, ... Δομημένο Περιβάλλον (ιεραρχική ονομασία) ... Δομικά μέρη (ιεραρχική ονομασία) με κωδικό ID: 300006888 και σύνδεσμο στο: <http://vocab.getty.edu/page/aat/300006888>. Η επιλογή αυτή έγινε αναφορικά με τους πύργους της Ακρόπολης, οι οποίοι λειτουργούν ως αμυντικά οχυρωματικά τείχη και θα μπορούσαν επίσης να εμπλουτιστούν με τον όρο “πολεμίστρες” αλλά αποφεύχθηκε η χρήση του όρου καθότι ταυτίζεται παραδοσιακά με τα μεσαιωνικά κάστρα.

4.3 Διαδικτυακή Πλατφόρμα INCEPTION

Το ευρωπαϊκό πρόγραμμα INCEPTION με τίτλο– ‘Καινοτόμος διεπιστημονική προσέγγιση για τη σημασιολογική τρισδιάστατη μοντελοποίηση της ευρωπαϊκής πολιτιστικής κληρονομιάς’^{241,242}, πραγματεύεται την καινοτόμο μοντελοποίηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, μέσω μιας ολοκληρωμένης διεπιστημονικής προσέγγισης που περιλαμβάνει την ιστορική, αρχιτεκτονική, γεωμετρική και δομική τεκμηρίωση, τη διαγνωστική μελέτη, την πρόταση επανάχρησης, στη διάσταση των υλικών και επεμβάσεων προστασίας, για τη δομημένη πολιτιστική κληρονομιά.

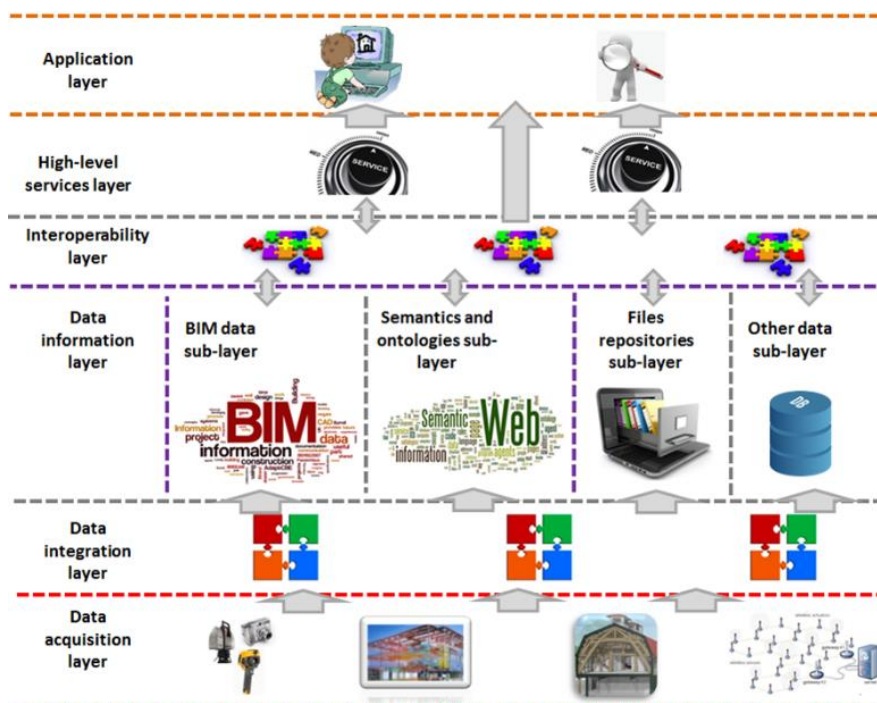
Το πρόγραμμα διήρκησε από το Μάιο του 2015 έως και τον Ιούνιο του 2019, και είχε τρεις στόχους. Ο πρώτος στόχος ήταν η δημιουργία μιας συνολικής θεώρησης της πολυποίκιλης ευρωπαϊκής πολιτιστικής ταυτότητας μέσα από τη σύμπραξη διεπιστημονικών, τεχνολογικών φορέων. Ο δεύτερος στόχος ήταν η ανάπτυξη οικονομικά αποδοτικών διαδικασιών για την επί τόπου τρισδιάστατη τεκμηρίωση και ανακατασκευή της δομημάτων πολιτιστικής κληρονομιάς και ιστορικών χώρων. Τρίτος στόχος ήταν η ανάπτυξη μιας ανοιχτών προδιαγραφών σημασιολογικής διαδικτυακής πλατφόρμας για την πρόσβαση, επεξεργασία και διαμοιρασμό τρισδιάστατων μοντέλων πληροφοριών. Η συνεισφορά της Ευρωπαϊκής αυτής δράσης στην πολιτιστική κληρονομιά μπορεί να θεωρηθεί ως η υλοποίηση της καινοτόμου ολοκληρωμένης διεπιστημονικής μεθοδολογικής προσέγγισης ‘Inception

²⁴¹ INCEPTION ‘Inclusive Cultural Heritage in Europe through 3D semantic modelling’ EU Project. European Union’s Horizon 2020. No. 665220. INCEPTION Official Website: <https://www.inception-project.eu/en>

²⁴² European Commission. 2018. Horizon 2020 cultural heritage and European identities – List of projects 2014-2017. Directorate-General for Research and Innovation Open and inclusive Societies. Accessed May 19, 2020. https://ec.europa.eu/research/social-sciences/pdf/project_synopses/cultural_heritage_projects.pdf.

Protocol²⁴³ και η δημιουργία της πλατφόρμας 'Inception Platform' και εργαλείων για ολοκληρωμένα και διεπιστημονικά τρισδιάστατα κτιριακά μοντέλα πληροφοριών πολιτιστικής κληρονομιάς HBIM, ώστε να είναι προσβάσιμα από όλους τους ενδιαφερόμενους χρήστες, σε συμβατότητα με υπάρχουσες και νέες τεχνολογίες.

Το ΕΜΠ, και πιο συγκεκριμένα οι Σχολές Χημικών Μηχανικών και Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, συμμετείχε στην ανάπτυξη και υλοποίηση του προγράμματος αυτού. Επίσης, η μεθοδολογική προσέγγιση της παρούσας διδακτορικής διατριβής, ειδικά σε θέματα διαχείρισης δεδομένων δομικών υλικών συνέβαλε σε πολύ μεγάλο βαθμό, στην ανάπτυξη της μεθοδολογικής προσέγγισης που εφαρμόστηκε στο ευρωπαϊκό αυτό πρόγραμμα. Μέσα από την υλοποίηση της πλατφόρμας και τη διαχείριση των δύο επιλεγμένων μνημείων, επικυρώθηκε η προτεινόμενη μεθοδολογία και μπορεί να ακολουθηθεί και από άλλα μνημεία.



Εικόνα 120: Η ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική του προγράμματος INCEPTION (προσέγγιση)²⁴⁴

Πιο συγκεκριμένα, μέσα από την πλατφόρμα INCEPTION, εμπλουτίζονται, με σημασιολογικά δεδομένα, τρισδιάστατα μοντέλα BIM ενώ παράλληλα δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη, να έχει πρόσβαση στα μεταδεδομένα ενός μοντέλου ή και σε άλλα τρισδιάστατα μοντέλα πολιτιστικής κληρονομιάς. Επιτρέπεται επίσης η πρόσβαση σε πολλαπλούς χρήστες, σε

²⁴³ R. Di Giulio, F. Maietti, E. Piaia, M. Medici, F. Ferrari, and B. Turillazzi. INTEGRATED DATA CAPTURING REQUIREMENTS FOR 3D SEMANTIC MODELLING OF CULTURAL HERITAGE: THE INCEPTION PROTOCOL. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W3, 251–257, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-251-2017>, 2017

²⁴⁴ Deliverable 4.1 “Development of INCEPTION standard for Heritage BIM models”. Task 4.1 Team (WP Leader RDF) INCEPTION EU project

πληροφορίες και λειτουργίες της πλατφόρμας ή και σε δεδομένα αναλόγως της κατηγορίας χρήστη (ακαδημαϊκός, μελετητής, τεχνικός, πολίτης κλπ).

Βάσει της αρχιτεκτονικής της, το κύριο στοιχείο εισόδου στην πλατφόρμα είναι το μοντέλο BIM ενός δομήματος πολιτιστικής κληρονομιάς (ιστορικό κτήριο, μνημείο, αρχαιολογικό χώρο).

Στο πλαίσιο της ανάπτυξης της πλατφόρμας INCEPTION, μία πολυεπίπεδη και διαλειτουργική οντολογία αναπτύχθηκε για τη συλλογή και αποθήκευση νέων πληροφοριών που αφορούν σε στοιχεία πολιτιστικής κληρονομιάς τα οποία συνδέονται με το μοντέλο HBIM αντιστοιχίζοντας τα αρχιτεκτονικά στοιχεία με τα κατάλληλα δομικά ή διακοσμητικά στοιχεία του δομήματος πολιτιστικής κληρονομιάς. Στη συνέχεια, η HBIM οντολογία επεκτάθηκε για να συνδέσει δεδομένα τεκμηρίωσης με το τρισδιάστατο μοντέλο ή με μεμονωμένα στοιχεία του μοντέλου που προσδιορίζονται μέσα από το γραφικό περιβάλλον της πλατφόρμας.

Η επέκταση της οντολογίας HBIM και η σύνδεση με το τρισδιάστατο μοντέλο, επέτρεψε την επανα-χαρτογράφηση των αρχιτεκτονικών στοιχείων του τρισδιάστατου μοντέλου, μέσω της μετατροπής του ifc μοντέλου σε ifcOWL οντολογία (ανοιχτό πρότυπο για μοντελοποίηση BIM σε σημασιολογική γλώσσα δικτύου) και την ενσωμάτωση τους με επιλεγμένα εξειδικευμένα αρχιτεκτονικά στοιχεία του τομέα Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Οι περιπτώσεις της Βίλλας Κλωναρίδη και της Ακρόπολης του Ερημόκαστρου ενσωματώνουν γεωμετρικά και σημασιολογικά δεδομένα και δημιουργήθηκαν βάσει των κανόνων του πρωτοκόλλου τεκμηρίωσης δεδομένων (Data acquisition Protocol) και ακολούθησαν τη μεθοδολογία της διδακτορικής διατριβής. Τα μοντέλα έπειτα εισάγονται στην πλατφόρμα ως αρχεία IFC. Οι σημασιολογικές πληροφορίες (και οι γεωμετρικές και τα μεταδεδομένα) εξάγονται από το αρχείο και το μοντέλο σημασιολογικών δεδομένων Resource Description Framework (RDF) triples κωδικοποιείται ως αρχείο TTL. Το αρχείο αυτό (TTL) αποθηκεύεται σε ένα ειδικό διακομιστή (Apache Fuseki SPARQL server).

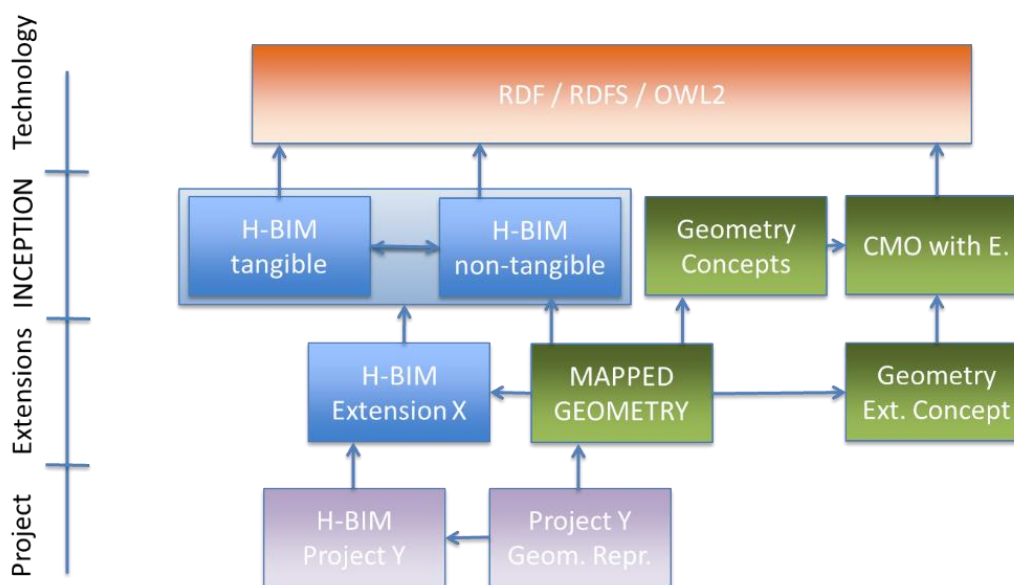
Επιπλέον, τα μοντέλα της πλατφόρμας δύνανται να εμπλουτιστούν με νέα σημασιολογικά μεταδεδομένα και επισυναπτόμενα αρχεία (εικόνες, εικόνες θερμογραφίας υπερύθρου, διαγράμματα, τρισδιάστατα μοντέλα με συγκεκριμένες λεπτομέρειες, βίντεο, κ.α.) που σχετίζονται με το μνημείο πολιτιστικής κληρονομιάς. Ο χώρος αποθήκευσης (cloud storage) φιλοξενεί όλα τα αρχεία και δεδομένα που αποτελούν συμπληρωματικά στοιχεία για τα δεδομένα των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς όπως για παράδειγμα αρχεία τύπου CAD, ιστορικά έγγραφα, εικόνες, κ.α., που μπορούν να αναβαθμίσουν το επίπεδο των παρεχόμενων πληροφοριών. Στις περιπτώσεις της Βίλλας Κλωναρίδη και της Ακρόπολης του Ερημόκαστρου όλες οι σχετικές πληροφορίες έχουν συνδεθεί με το τρισδιάστατο μοντέλο ή με συγκεκριμένα στοιχεία του μοντέλου.

Ακόμη, εξαιτίας της αδυναμίας του βασικού BIM να καλύπτει την περίπλοκη ορολογία των ιστορικών κτηρίων, η ταξινόμηση των οντοτήτων των δομικών χαρακτηριστικών, ενσωματώνονται με ένα συγκεκριμένο λεξιλόγιο, καλύπτοντας τα κενά στους σύγχρονους ορισμούς για το BIM, δημιουργώντας μία πρώτη ιεραρχική ταξινόμηση για ιστορικά κτήρια πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε, σε σχέση με την επιλογή της κατάλληλης ορολογίας, περιέλαβε την εξέταση κλασικών αρχιτεκτονικών πηγών, οι οποίες είναι σύμφωνες με τις ανάγκες μιας ολοκληρωμένης τεκμηρίωσης και βασίζεται στη λογική ότι η 'ταξινόμηση των μνημείων' αποτελεί τη βάση για την κατανόηση της προσέγγισης των 'ορισμών'. Το συμπέρασμα αυτό αποτέλεσε το σημείο εκκίνησης για την ταξινόμηση βάσει της διαδικτυακής σημασιολογικής γλώσσας (Semantic Web language) ώστε να επιτευχθεί η σύζευξη των ορολογιών με την οντολογία H-BIM.

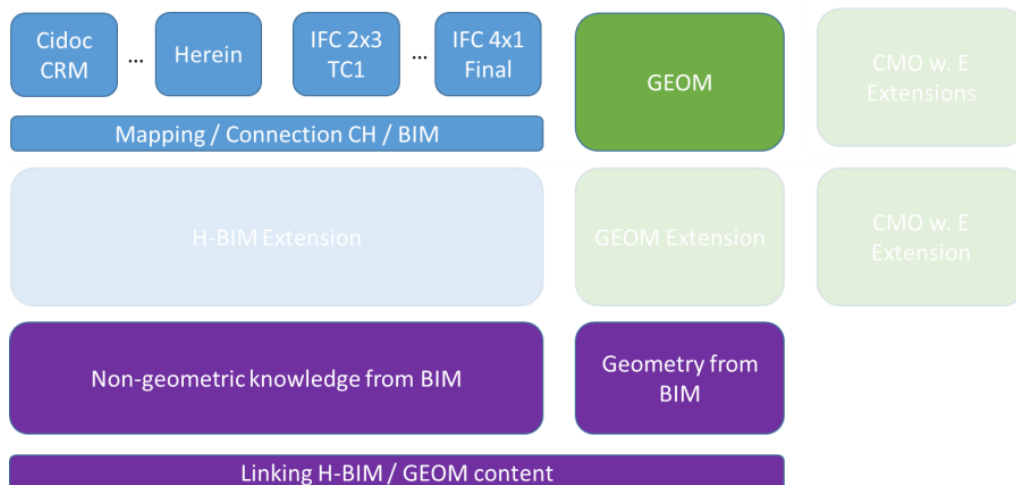
Η διαδικασία ενσωμάτωσης του εν λόγω λεξιλογίου ακολούθησε την προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω, ξεκινώντας από τις ανάγκες των μνημείων (Βίλλα Κλωναρίδη και Ακρόπολη του Ερμηόκαστρου) και εν συνεχεία ελέγχοντας την ορολογία με τον κατάλογο Getty AAT, που αποτελεί μία από τις πιο περιεκτικές πηγές αρχιτεκτονικών όρων²⁴⁵. Το λεξιλόγιο Getty (AAT - Art & Architecture Thesaurus, TGN - Getty Thesaurus of Geographic Names, and ULAN - Union List of Artist Names) περιέχει δομημένη ορολογία για την τέχνη, την αρχιτεκτονική, των διακοσμητικών στοιχείων, του αρχαιολογικού υλικού, τη συντήρηση και για στοιχεία βιβλιογραφίας. Η έκδοση των λεξιλογίων Getty βασίζεται στο σύστημα SKOS (Simple Knowledge Organization System) με αποτέλεσμα να παρέχεται προσβασιμότητα και επανάχρηση των περιεχομένων τους.

Συμπερασματικά, το μεθοδολογικό διάγραμμα της αρχιτεκτονικής της πλατφόρμας, ξεκινά με κάποιες προϋποθέσεις – (ήτοι το είδος των δεδομένων, πληροφορίες και θέματα οπτικοποίησης, που μπορεί να συλλεχθούν και να διαχειριστούν μέσα σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο σύμφωνα με το είδος και τις ανάγκες του χρήστη).



Εικόνα 121: Διάγραμμα Αρχιτεκτονικής της οντολογίας στην πλατφόρμα INCEPTION (Σχέδιο Peter Bonsma)²⁴⁶

²⁴⁵ F J López et al 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 364 012100



Εικόνα 122: Διάγραμμα λεπτομερούς ανάλυσης της αρχιτεκτονικής της σημασιολογίας στην πλατφόρμα INCEPTION²⁴⁶

Στην κατεύθυνση αυτή, μέσα από την πλατφόρμα του INCEPTION, παρουσιάζεται ο ολοκληρωμένος τρόπος συλλογής και διαχείρισης δεδομένων, με τον εν συνεχεία σημασιολογικό εμπλουτισμό μέσω της τρισδιάστατης μοντελοποίησης σε περιβάλλον HBIM, και τελικά την ανάπτυξη και ενίσχυση ενός ολοκληρωμένου μοντέλου και επικυρώνει τη μεθοδολογική προσέγγιση που παρουσιάζεται στην παρούσα διδακτορική.

Το HBIM αποτελεί τον δυνατότερο κρίκο που συνδέει την συνεχώς αναπτυσσόμενη τεχνολογία του BIM με τη σύγχρονη διαχείριση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Μέσω της διαδικτυακής σημασιολογικής γλώσσας, που βασίζεται στην οντολογία του HBIM, καθιστά το HBIM ως ανοιχτό πρότυπο.

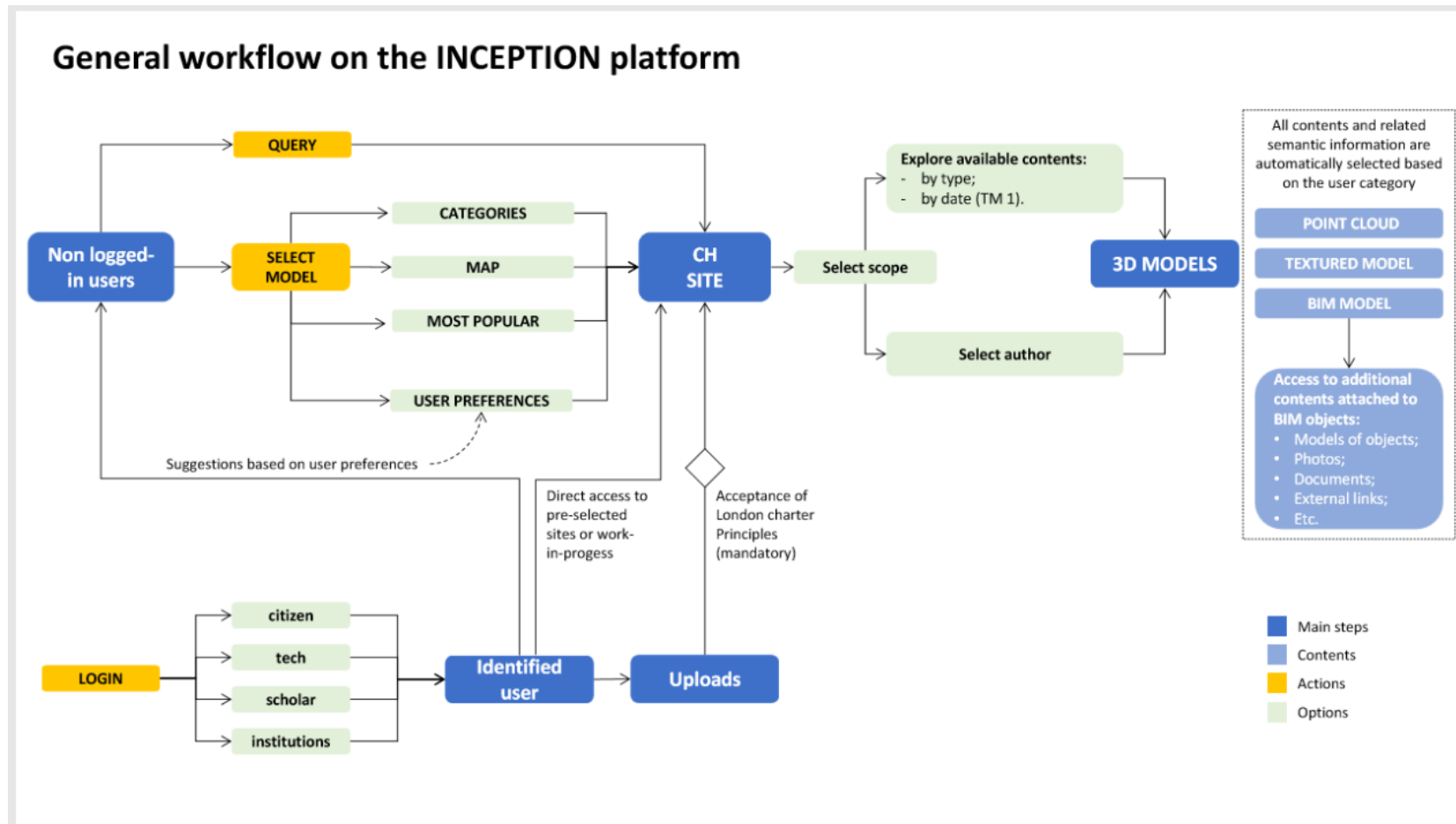
Η οντολογία HBIM 'κληρονομεί' το κομμάτι 'BIM' από το πρότυπο IFC και ifcOWL όπου το μοντέλο HBIM αναπτύχθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε η σημασιολογική μη-γεωμετρική γνώση και η σημασιολογική γεωμετρική γνώση να είναι διακριτές μεν αλλά να συνδέονται. Επίσης 'κληρονομεί' τη γνώση για την Πολιτιστική Κληρονομιά από τις υπάρχουσες οντολογίες και σύγχρονες δομές/ταξινομήσεις.

Τέλος η διαδικτυακή πλατφόρμα απευθύνεται σε πληθώρα χρηστών, οι οποίοι ταξινομούνται σε κατηγορίες ανάλογα με τις ανάγκες τους αλλά και το είδος που αντιπροσωπεύουν είτε αφορά την ακαδημαϊκή κοινότητα, τον επαγγελματικό κλάδο, τους πολίτες αλλά και φορείς που σχετίζονται με την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Σε σχέση με τους χρήστες της πλατφόρμας, αυτοί έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες με τη χρήση οποιουδήποτε συμβατού προγράμματος περιήγησης και μπορούν να κάνουν ερωτήματα στη βάση δεδομένων χρησιμοποιώντας λέξεις-κλειδιά μέσω μιας εύχρηστης μεθόδου αναζήτησης. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα αναζήτησης αναδύονται στο γραφικό περιβάλλον της πλατφόρμας, όπως για παράδειγμα μία λίστα με μοντέλα HBIM που

²⁴⁶ Peter Bonsma et al 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 364 012041

ικανοποιούν ένα κριτήριο που τέθηκε, περιγραφές, ιστορικές πληροφορίες, τη γεωγραφική τους θέση κ.α.

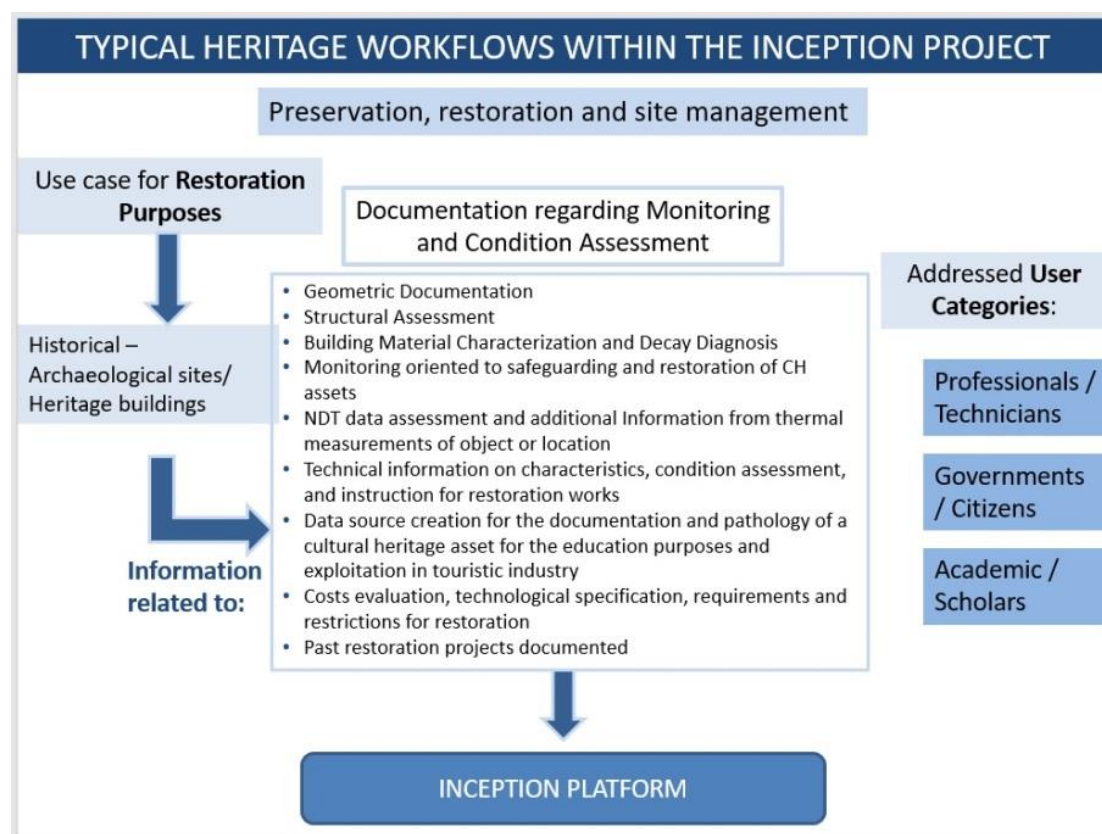


Εικόνα 123: Γενικό διάγραμμα ροής της διαδικτυακής πλατφόρμας INCEPTION

4.4 Διαχείριση περιπτώσεων μελέτης στην πλατφόρμα INCEPTION

4.4.1 Βίλλα Κλωναρίδη

Εντός της πλατφόρμας, η καταγραφή των σημασιολογικών οντοτήτων κατά την ανάπτυξη του τρισδιάστατου μοντέλου, καταγράφεται και παρουσιάζεται, με την επιλογή ενός στοιχείου του ιστορικού κτηρίου. Σε επίπεδο ανάλυσης, η διασύνδεση αυτή, ενδυναμώνει την έννοια της διαλειτουργικότητας στον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς. Όσον αφορά στο σκοπό τεκμηρίωσης και διαχείρισης της Βίλλας Κλωναρίδη, το διάγραμμα ροής παρουσιάζεται στην Εικόνα 124, ώστε να αποτυπώνονται όλες οι πληροφορίες που θα ενσωματώνονται σε ένα μνημείο πολιτιστικής κληρονομιάς.



Εικόνα 124: Διάγραμμα ροής με σκοπό τη Διατήρηση, Αποκατάσταση και Διαχείριση της Βίλλας Κλωναρίδη²⁴⁷

Επίσης, για τη Βίλλα Κλωναρίδη, οι πληροφορίες που αντλούνται από τη μελέτη της κατάσταση διατήρησης - συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών περί δομικών υλικών, είδη τοιχοποιίας, καθώς και της ιστορικής τεκμηρίωσης και δομικής ανάλυσης - συνδέονται εντός της πλατφόρμας INCEPTION κι εμπλουτίζουν το μοντέλο. Η ανάλυση των πληροφοριών περί δομικών υλικών καθώς και η κατανομή τους σε θεματικούς χάρτες συνδέονται με το μοντέλο HBIM εμπλουτίζοντάς το σημασιολογικά δημιουργώντας έτσι μια καινοτόμα σημασιολογική προσέγγιση προς τα δομικά υλικά και την ανάλυση φθοράς (Εικόνα 125).

²⁴⁷ Deliverable 5.1 "Use case definition responding to stakeholder's requirements ".Work Package 5 Team, (WP leader VBC – Main Author NTUA) INCEPTION EU project



Εικόνα 125: Διαχείριση τρισδιάστατου μοντέλου μέσα στο ψηφιακό περιβάλλον της πλατφόρμας, όπου διακρίνονται οι οντολογίες και τα επίπεδα σημασιολογικών εννοιών που είναι ενσωματωμένα σε κάθε δομικό στοιχείο του ιστορικού κτηρίου²⁴⁸

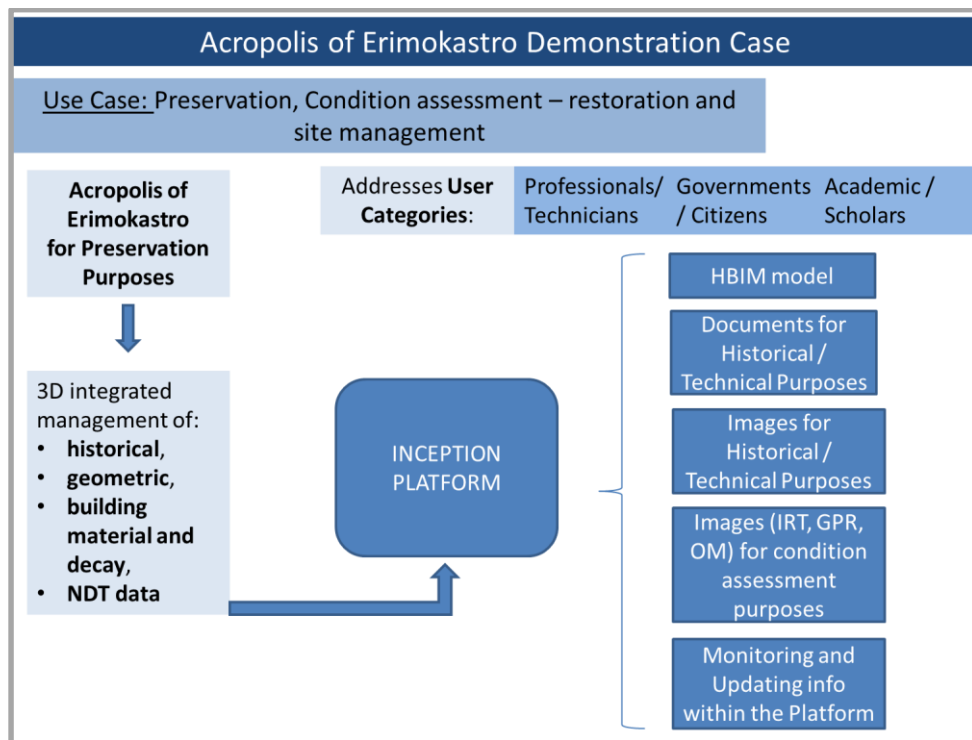
²⁴⁸ <http://www.inceptionbim.eu/platform>

The screenshot displays the INCEPTION web application interface. At the top, there is a dark blue navigation bar with the INCEPTION logo, 'Upload/Edit', 'About', 'Categories', and 'Models' menus, a search bar, and 'Sign Up' and 'Login' buttons. The main content area is titled 'Klonaridi' and 'century 1'. On the left, there is a sidebar with a search box 'Find an attachment', filter options for '3D BIM Model (Scientific)' and 'Image Files', and user information for 'INCEPTION Core Team'. The central part of the interface shows a 3D BIM model of a red building with a brown roof. To the right of the model is a legend with a list of BIM elements: IfcBeam, IfcBuildingElementProxy, IfcColumn, IfcDoor, IfcMember, IfcRailing, IfcRoof, IfcSlab, IfcStair, and IfcStairFlight. Below the model is a search bar 'Search in the model' and buttons for 'Download' and 'Attachments'. At the bottom, there is a section titled 'Klonaridi' with tags for 'Heritage-building', 'villa-klonaridi', 'historio-building', 'monument', and '19th-century'. A paragraph of text describes Villa Klonaridi as a late 19th-century mansion in Athens, declared a listed heritage building in 1994. Below the text is a grid of thumbnails for 'Architectural Documentation', 'Analytical Techniques', and 'Building Material Analysis'.

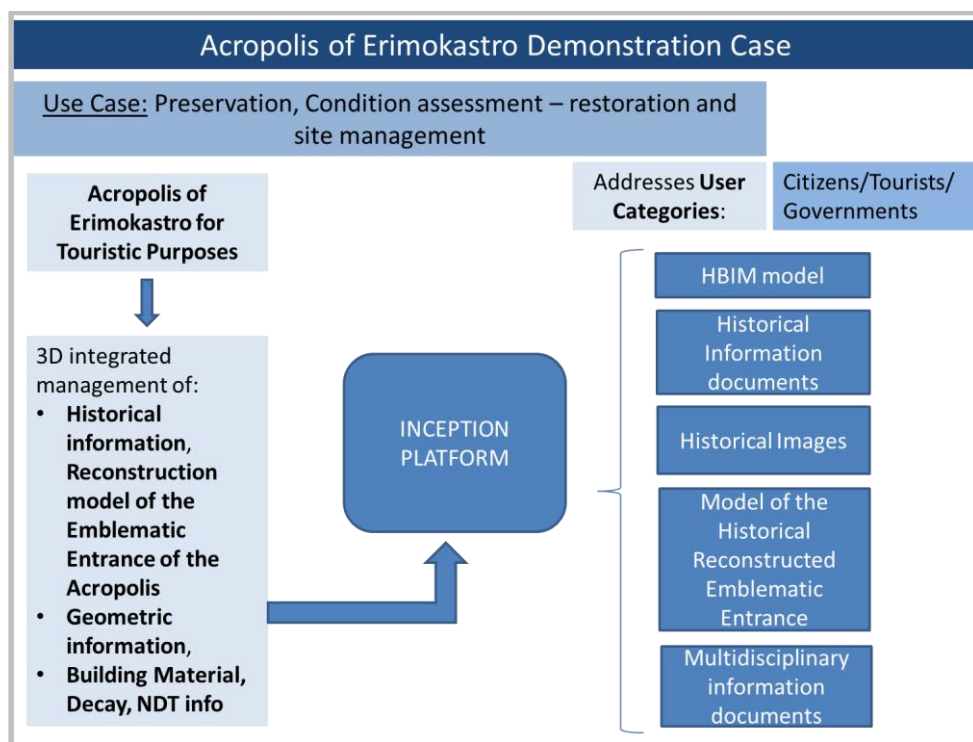
Εικόνα 126: Παρουσίαση της Βίλλας Κλωναρίδη μέσα από την πλατφόρμα του INCEPTION, όπου εμφανίζονται τα στοιχεία με τα οποία έγινε ο σημασιολογικός εμπλουτισμός του ιστορικού κτηρίου²⁴⁸

4.4.2 Ακρόπολη του Ερημοκάστρου

Ο σκοπός της τεκμηρίωσης της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου εντάσσεται στην κατηγορία της Διατήρησης, αποκατάστασης και διαχείρισης του αρχαιολογικού χώρου, ενώ απευθύνεται σε δύο διαφορετικές κατηγορίες χρηστών και αφορούν σε διαφορετικές πληροφορίες που μπορούν να αντληθούν μέσα από την πλατφόρμα. Επομένως δύο διαγράμματα ροής αναπτύχθηκαν.

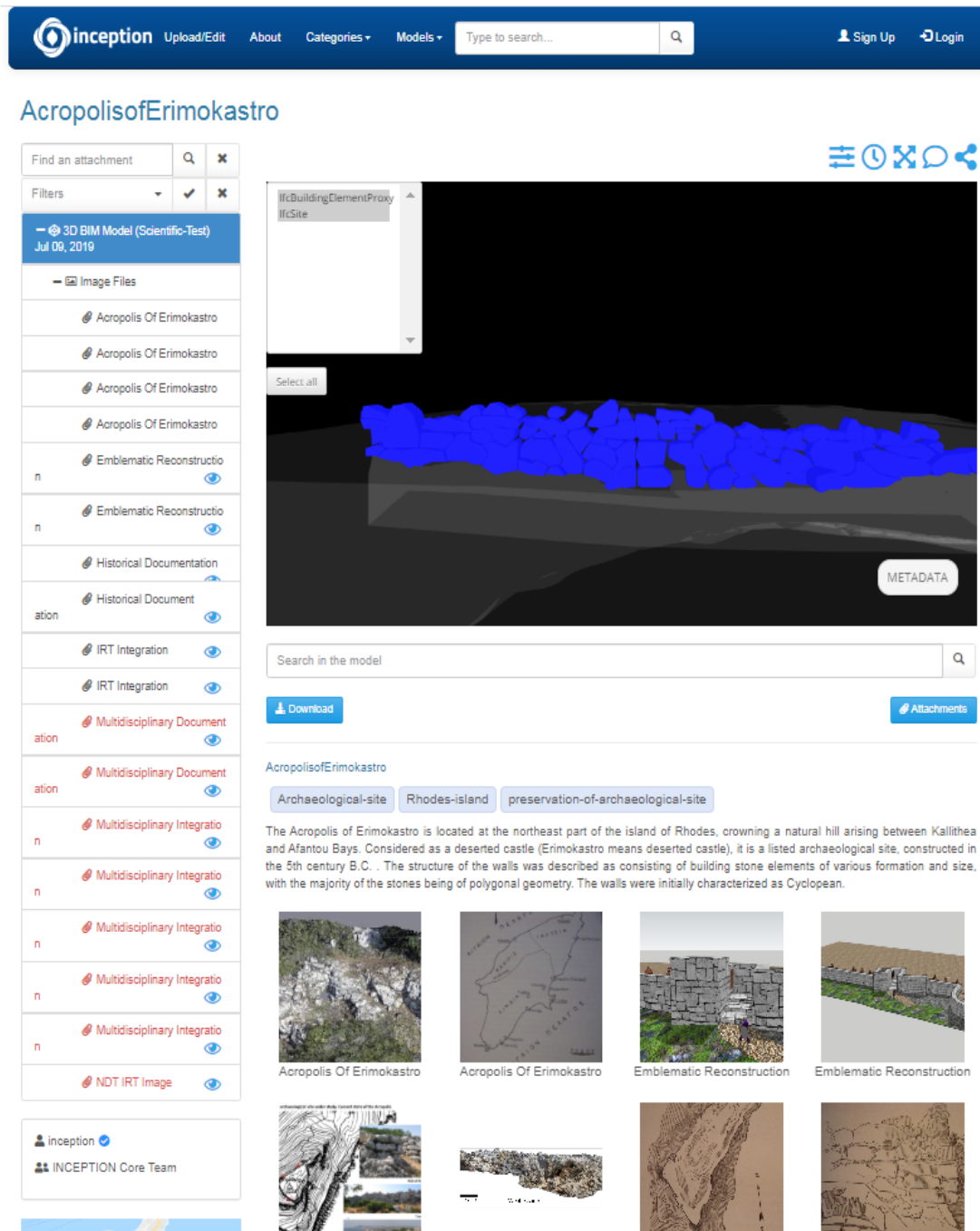


Εικόνα 127: Διάγραμμα ροής που απευθύνεται σε ειδικούς στον τομέα της τεκμηρίωσης, διαχείρισης και προβολής αρχαιολογικών χώρων²⁴⁷



Εικόνα 128: Διάγραμμα ροής που απευθύνεται στο ευρύ κοινό²⁴⁷

Στην περίπτωση της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου, οι πληροφορίες που αντλούνται από την ιστορική τεκμηρίωση της, εικόνες και σχέδια του 19ου και 20ου αιώνα καθώς και δεδομένα περί δομικών υλικών και φθορών συσχετίζονται και συνδέονται μέσα στην πλατφόρμα του INCEPTION, εμπλουτίζοντας το μοντέλο. Εικόνες από τη θερμογραφία Υπερύθρου, εικόνες ψηφιακής μικροσκοπίας και διαγράμματα γεωραντάρ συνδέονται με τα τείχη και την είσοδο του αρχαιολογικού χώρου. Εικόνες που έχουν προκύψει από την ενσωμάτωση της πληροφορίας της υφής των θερμογραφήματων με επιλεγμένες όψεις των τειχών συνδέονται επίσης εντός της πλατφόρμας (Εικόνα 128, Εικόνα 129).



Εικόνα 129: Παρουσίαση της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου μέσα από την πλατφόρμα του INCEPTION, όπου εμφανίζονται τα στοιχεία με τα οποία έγινε ο σημασιολογικός εμπλουτισμός του αρχαιολογικού χώρου²⁴⁸.

The screenshot displays the INCEPTION web application interface. At the top, there is a dark blue navigation bar containing the INCEPTION logo, a search bar with the placeholder text 'Type to search...', and links for 'Sign Up' and 'Login'. Below the navigation bar, the page title 'Acropolis of Erimokastro' is prominently displayed. On the left side, there is a sidebar with a search box 'Find an attachment' and a 'Filters' section. The filters section shows a selected filter for '3D BIM Model (Scientific-Test)' dated 'Jul 09, 2019'. Below this, a list of attachments is shown, including 'Acropolis Of Erimokastro' and 'Emblematic Reconstruction'. The main content area features a 3D BIM model of the Acropolis of Erimokastro, which is rendered in blue. To the right of the model, there is a search bar 'Search in the model' and buttons for 'Download' and 'Attachments'. Below the model, there is a section for 'Acropolis of Erimokastro' with tags for 'Archaeological-site', 'Rhodes-Island', and 'preservation-of-archaeological-site'. A text description follows, stating: 'The Acropolis of Erimokastro is located at the northeast part of the island of Rhodes, crowning a natural hill arising between Kallithea and Afentou Bays. Considered as a deserted castle (Erimokastro means deserted castle), it is a listed archaeological site, constructed in the 5th century B.C. The structure of the walls was described as consisting of building stone elements of various formation and size, with the majority of the stones being of polygonal geometry. The walls were initially characterized as Cyclopean.' Below the text, there is a grid of thumbnail images. The first two columns show 'IRT Integration' and 'Multidisciplinary Documentation' respectively. The last two columns show 'Multidisciplinary Integration'. At the bottom left, there is a map of Rhodes Island with a red pin indicating the location of the Acropolis of Erimokastro. Below the map, there is a button labeled 'Sparql Endpoint'.

Εικόνα 130: Παρουσίαση της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου μέσα από την πλατφόρμα του INCEPTION, όπου εμφανίζονται τα στοιχεία με τα οποία έγινε ο σημασιολογικός εμπλουτισμός του αρχαιολογικού χώρου.

4.5. Μερικά συμπεράσματα

Μέσα από την ανάπτυξη της διαδικτυακής πλατφόρμας INCEPTION, καταδεικνύεται η ανάγκη για ολοκληρωμένη τεκμηρίωση και διαχείριση των δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης των κτισμάτων πολιτιστικής κληρονομιάς με ένα συλλογικό τρόπο.

Η διαχείριση των αποτελεσμάτων του χαρακτηρισμού των δομικών υλικών και των φθορών κρίνεται καθοριστική για την καταγραφή και συσχέτιση των δεδομένων των δομικών υλικών με το γεωμετρικό στοιχείο καθαυτό που απαρτίζει ένα μνημείο. Ο εμπλουτισμός επιτυγχάνεται αρχικά μέσα από την πλατφόρμα HBIM, όπου σημασιολογικά γίνεται κατά τη δόμηση των στοιχείων του τρισδιάστατου μοντέλου, και εν συνεχεία μέσα από την πλατφόρμα του INCEPTION, όπου συνδέονται και επιπλέον αποτελέσματα και μεταδεδομένα που σχετίζονται με το χαρακτηρισμό των δομικών υλικών.

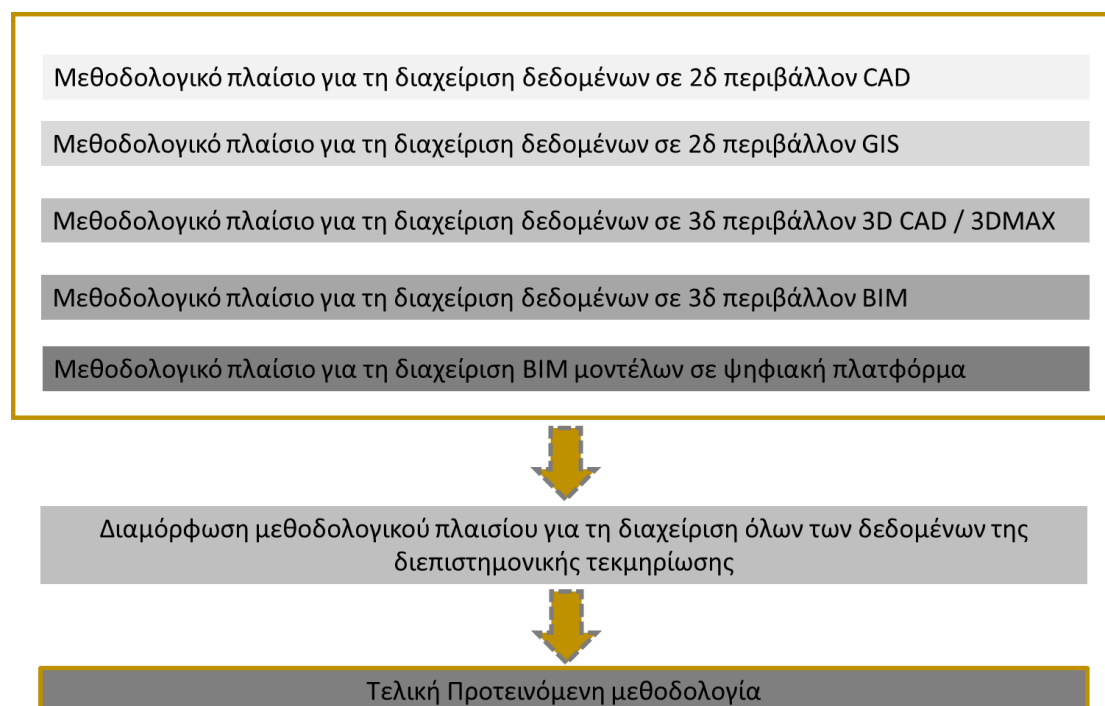
Μέσα από την πλατφόρμα διαχείρισης δεδομένων, ολοκληρώνεται η παρούσα διδακτορική διατριβή, μιας και επιτυγχάνεται η ολοκληρωμένη διαχείριση δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης για διαφορετικά δομήματα πολιτιστικής κληρονομιάς. Η διαχείριση των τρισδιάστατων μοντέλων κτιριακών πληροφοριών με ταυτόχρονο εμπλουτισμό με νέα δεδομένα και σύνδεση κάθε επιμέρους στοιχείου με πληροφορίες που σχετίζονται με αυτά, επιτυγχάνεται μέσα από την πλατφόρμα που παρουσιάζεται.

Τέλος πραγματοποιείται η ταυτοποίηση σημασιολογικών εννοιών για τα δεδομένα των δομικών υλικών (semantic enrichment through getty vocabulary) που υπάρχουν και στα δύο μνημεία. Πρέπει να επισημανθεί ωστόσο, ότι διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν ακόμα ελλείψεις σε σχέση με τις σημασιολογικές έννοιες όσον αφορά στα δομικά υλικά. Η ανάπτυξη νέων σημασιολογικών οντοτήτων που θα περιλαμβάνουν τα διάφορα είδη ιστορικών δομικών υλικών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις του ελληνικού πολιτιστικού πλούτου, θα βοηθούσε σημαντικά στον εμπλουτισμό των δομημάτων και στη λήψη απόφασης σε σχέση με την επιλογή συμβατών και επιτελεστικών υλικών σε επεμβάσεις συντήρησης.

5. Τελικά συμπεράσματα - Προοπτικές

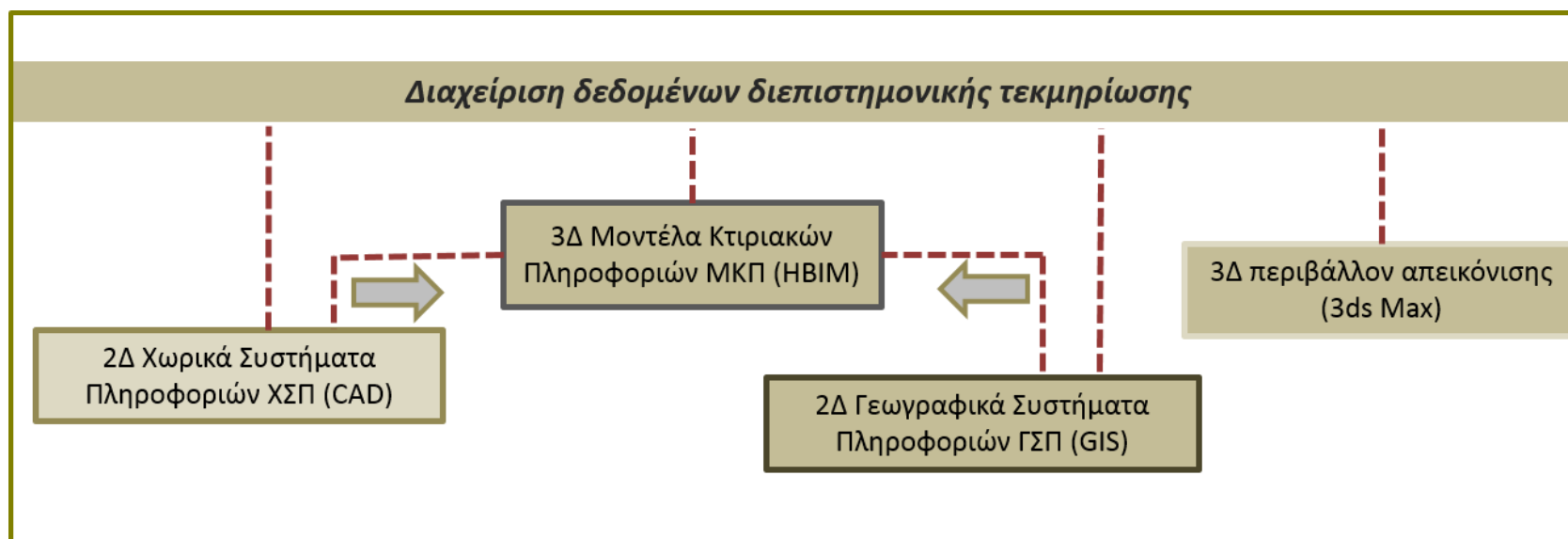
5.1 Τελικά συμπεράσματα

Στην παρούσα διατριβή διερευνήθηκαν οι δυνατότητες διαχείρισης και απεικόνισης των ψηφιακών περιβαλλόντων 2D ΧΣΠ (CAD), 2D ΓΣΠ (GIS), 3D ΣΑ (3ds MAX), 3D ΜΚΠ(BIM) και η διαχείριση ΜΚΠ μέσω ψηφιακής διαδικτυακής πλατφόρμας (INCEPTION platform), σε σχέση με την αιεφόρο προστασία των μνημείων, ιστορικών κτηρίων και συνόλων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία, παρουσιάζεται σε επιμέρους διαγράμματα προσέγγισης (Εικόνα 131), μιας και κάθε ψηφιακό περιβάλλον μπορεί να διερευνηθεί και χρησιμοποιηθεί, μέσα από κατάλληλα δεδομένα εισόδου.



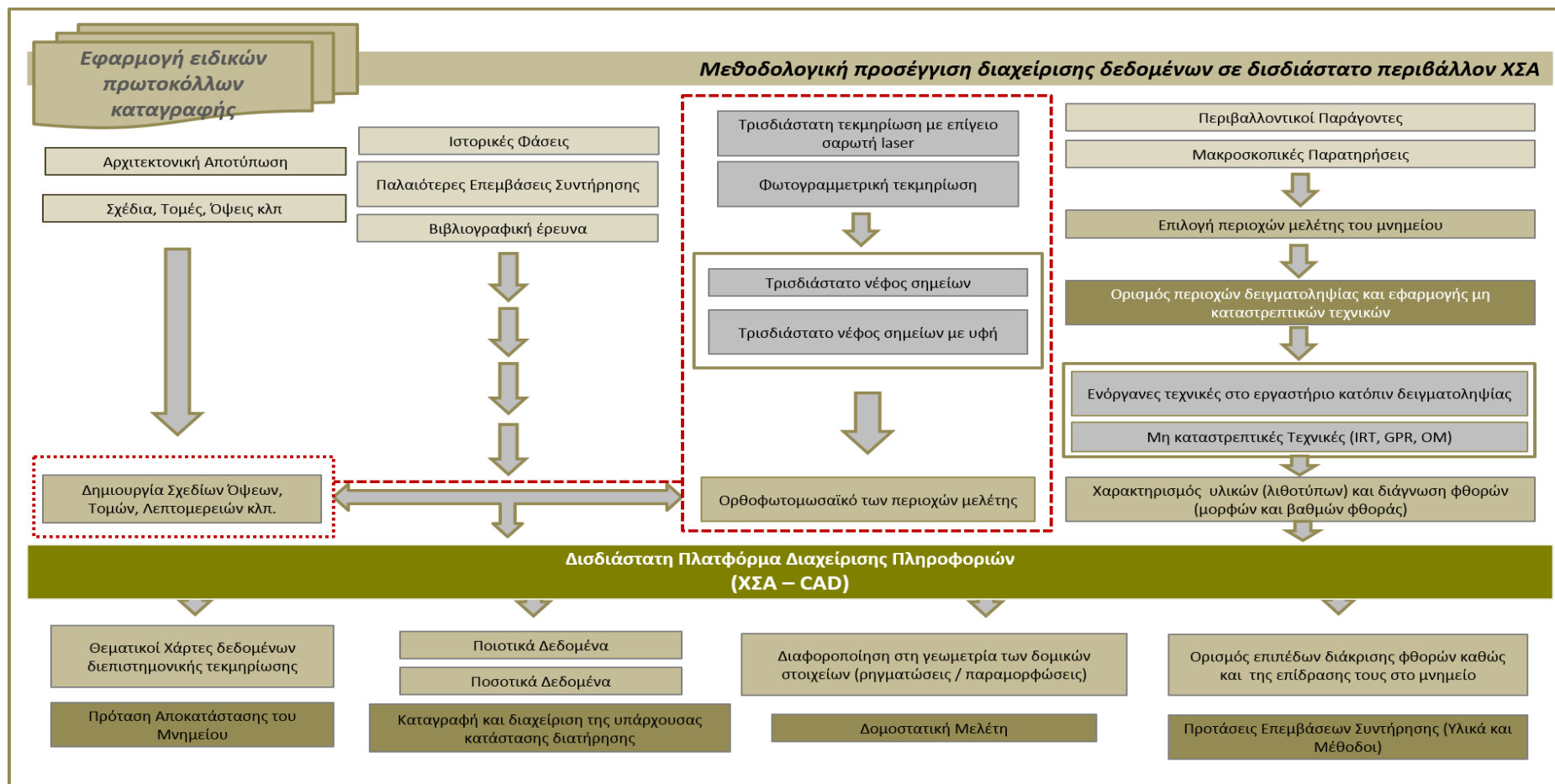
Εικόνα 131: Στάδια διερεύνησης της προτεινόμενης μεθοδολογίας

Διαπιστώθηκε η ισχυρή αλληλεπίδραση των συστημάτων η οποία μπορεί ανάλογα με την περίπτωση εξέτασης και τα ζητούμενα μελέτης, να οδηγήσει σε διαχείριση των δεδομένων τεκμηρίωσης είτε σε 2d είτε σε 3d περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, ανάλογα με τα προϊόντα και τις προδιαγραφές της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, (π.χ. κλίμακα, επίπεδο λεπτομέρειας, χρήση μοντέλου κλπ), είναι εφικτή η επιλογή του κατάλληλου ψηφιακού περιβάλλοντος για τη διαχείριση των διαφόρων δεδομένων, όπως ιστορικής, αρχιτεκτονικής, δομικών υλικών, δομοστατικής τεκμηρίωσης (Εικόνα 132).



Εικόνα 132: Επιμέρους ψηφιακά περιβάλλοντα διαχείρισης πληροφοριών που εξετάστηκαν και συσχέτιση αυτών

Επομένως στη μελέτη περίπτωσης της Μονής Καισαριανής, η χρήση του ψηφιακού περιβάλλοντος χωρικής απεικόνισης CAD, παρέχει ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα σε σχέση με την κατάσταση διατήρησης του μνημείου που αφορούν την επιφάνεια του μνημείου και οπτικοποιούνται σε δύο διαστάσεις. Ποιοτικά δεδομένα (κυρίως) προκύπτουν από τους θεματικούς χάρτες ιστορικών φάσεων, δομικών υλικών και φθοράς, που αφορούν σε επιφανειακές πληροφορίες, παρέχοντας όμως άμεση και γρήγορη συσχέτιση ποιοτικών δεδομένων για την κατάσταση διατήρησης του μνημείου. Τα δεδομένα εισόδου καθώς και τα γεωμετρικά προϊόντα που απαιτήθηκαν παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 133).

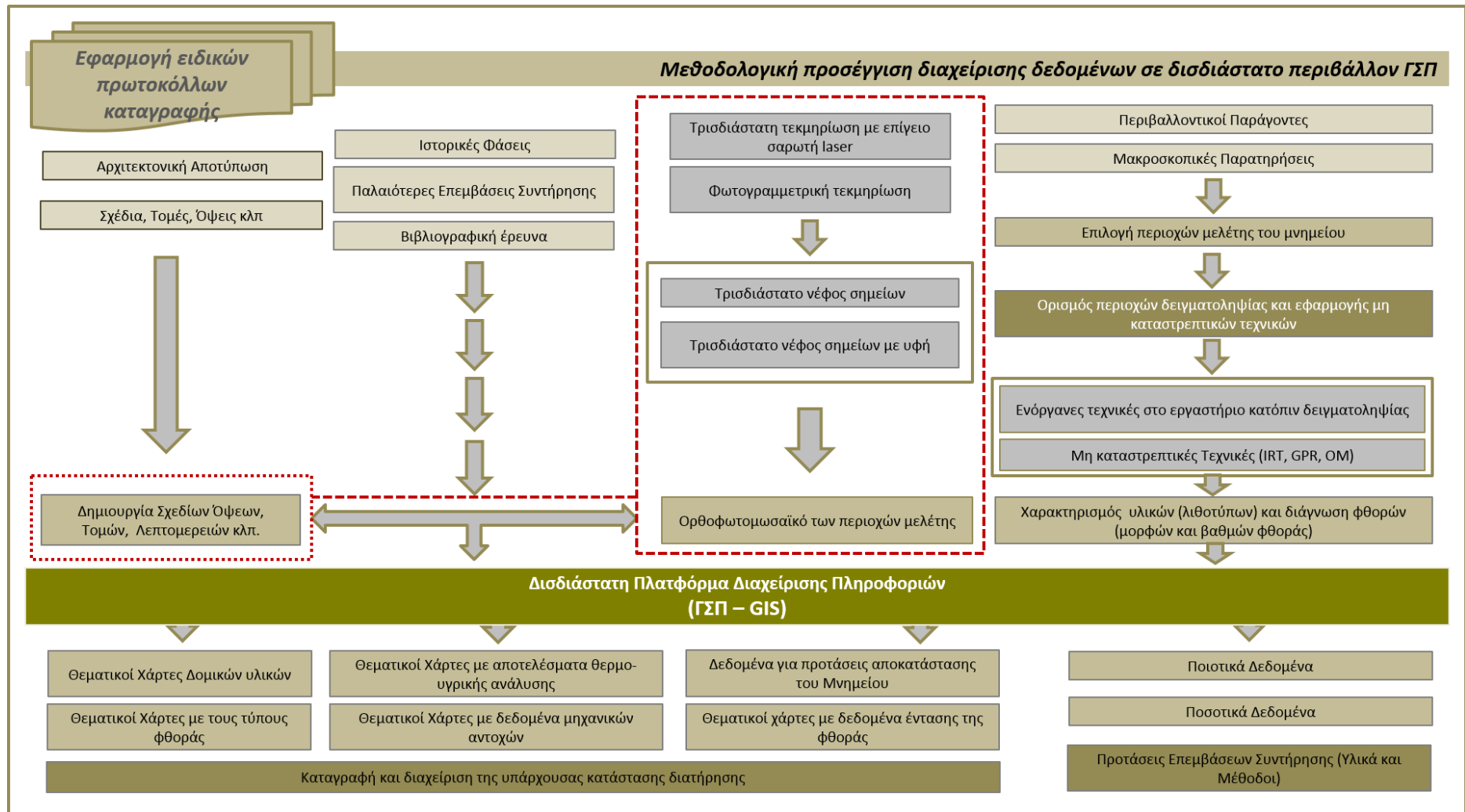


Εικόνα 133: Μεθοδολογικό διάγραμμα διαχείρισης δεδομένων σε 2D ΧΣΑ (CAD)

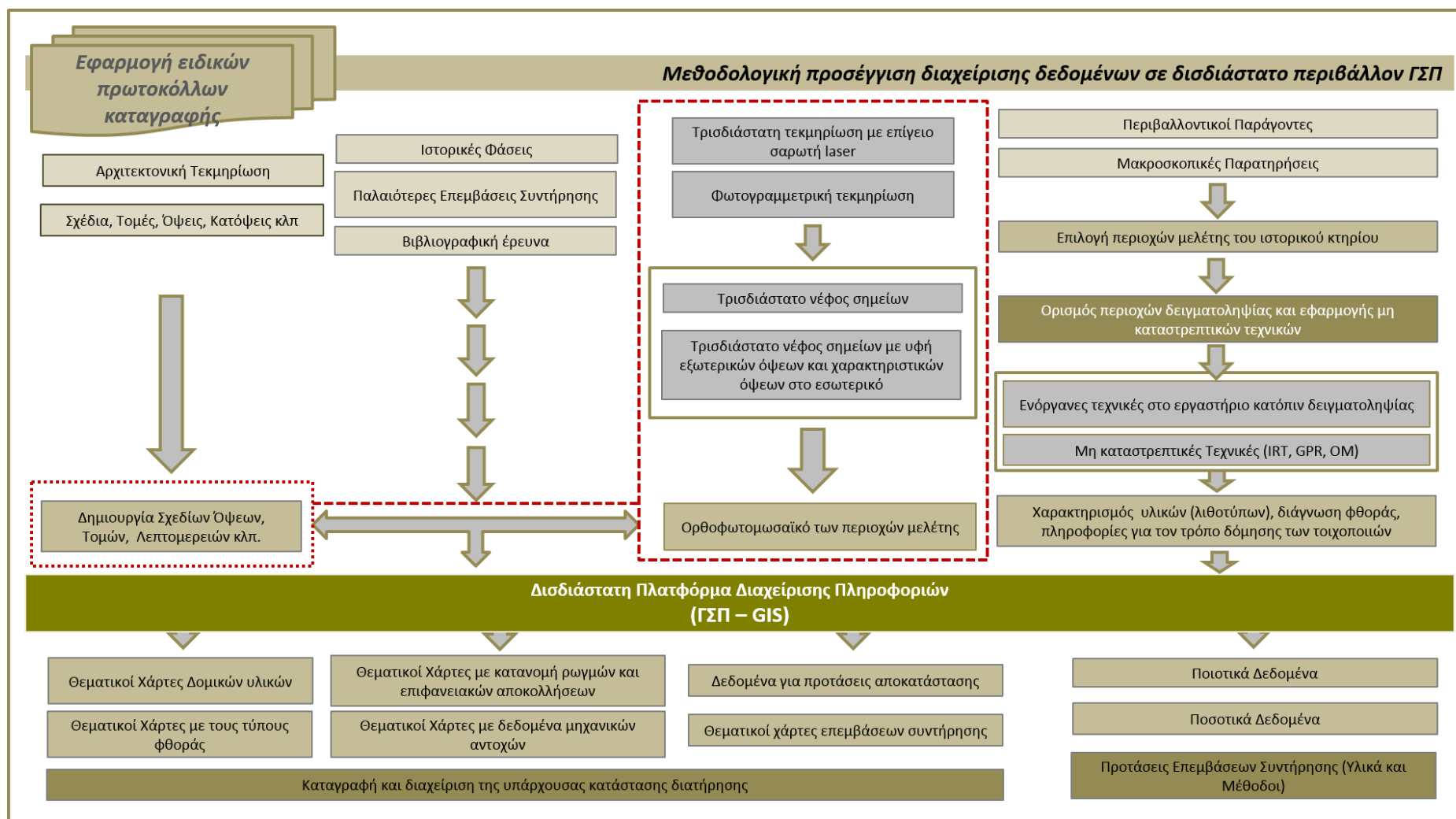
Όσον αφορά το ψηφιακό περιβάλλον ΓΣΠ (GIS) η δυνατότητα δημιουργίας ευρείας βάσης δεδομένων που περιλαμβάνει ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα σε δύο διαστάσεις αποτελεί μία πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση. Η παρούσα μεθοδολογική προσέγγιση εφαρμόστηκε σε τρεις περιπτώσεις μελέτης, στον ναό του Πύθιου Απόλλωνα, σε ένα μεμονωμένο κίονα, στον αρχαιολογικό χώρο της ακρόπολης του Ερημοκάστρου σε δύο επιλεγμένες περιοχές, στην είσοδο και σε ένα τμήμα του τείχους, καθώς και στη Βίλλα Κλωναρίδη, στις εξωτερικές όψεις του ιστορικού κτηρίου.

Το ψηφιακό αυτό περιβάλλον προσφέρει δυνατότητες διαχείρισης περιγραφικών και γεωχωρικών δεδομένων της διεπιστημονικής μελέτης. Πραγματοποιείται οπτικοποίηση των δεδομένων μέσω θεματικών χαρτών δομικών υλικών, θεματικούς χάρτες φθορών, θεματικούς χάρτες συντήρησης και αποκατάστασης, θεματικούς χάρτες διαχείρισης θερμοκρασιών αποτελεσμάτων κλπ. Επίσης σε διδιάστατο περιβάλλον γίνεται συσχέτιση των γεωμετρικών δεδομένων με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά ενώ μπορεί να γίνει εξαγωγή μεταδεδομένων και εν συνεχεία εμπλουτισμός αυτών στην υπάρχουσα βάση δεδομένων, αναβαθμίζοντας με πληροφορίες το ψηφιακό περιβάλλον.

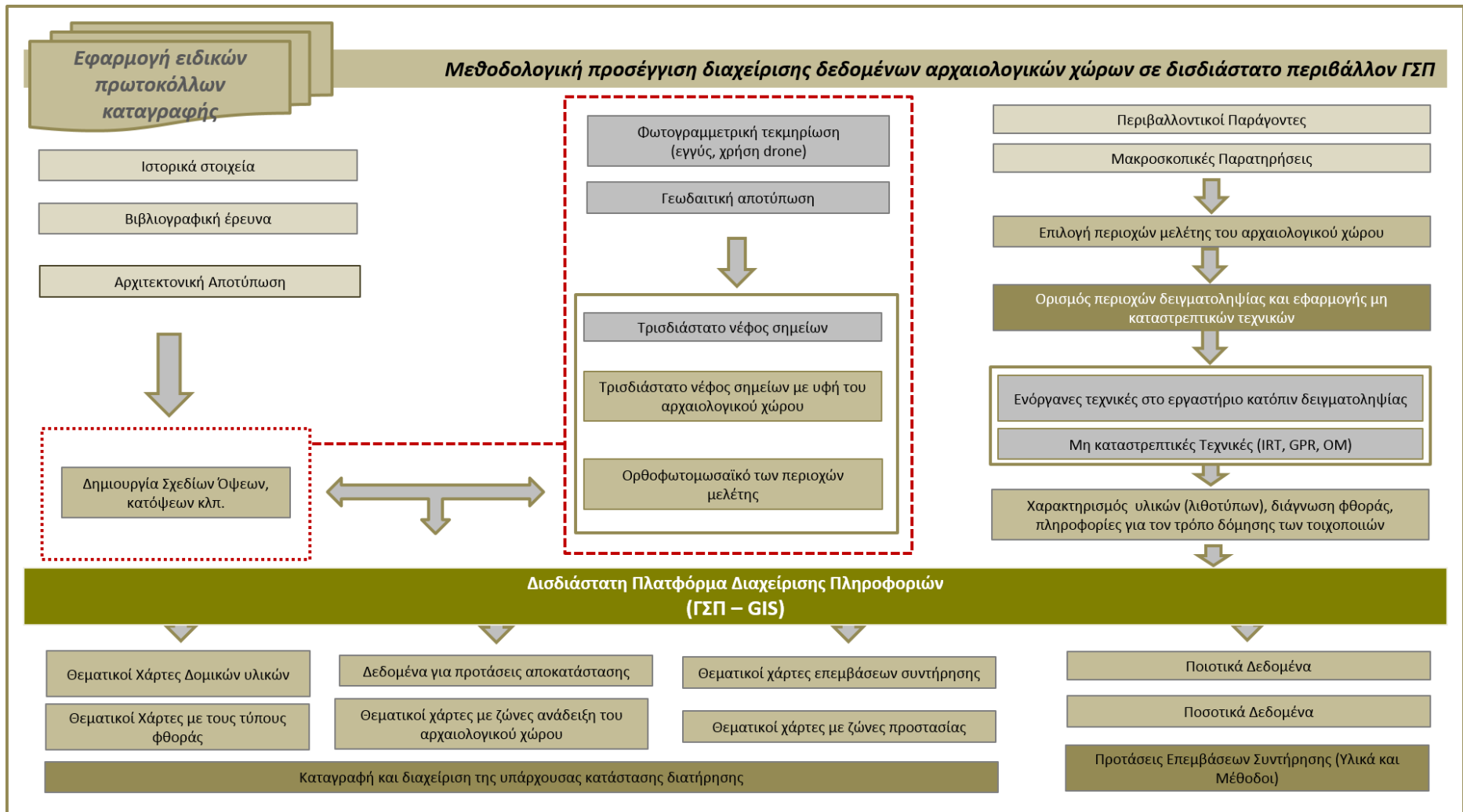
Οι πληροφορίες αντλούνται και καταγράφονται σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση των δομημάτων, ενώ συσχετίσεις με την παθολογία από εξωγενείς και ενδογενείς παράγοντες επιτυγχάνονται και καταγράφονται. Επίσης, πολύ σημαντικό στοιχείο αποτελεί η εισαγωγή και συσχέτιση σε ένα ενιαίο σύστημα με κοινή χωρική αναφορά όλων των δεδομένων διεπιστημονικής τεκμηρίωσης. Τα δεδομένα εισόδου καθώς και τα γεωμετρικά προϊόντα που απαιτήθηκαν παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα, διαχωρίζοντας τις περιπτώσεις μνημείων με το ιστορικό κτήριο ([Εικόνα 134](#),[Εικόνα 135](#),[Εικόνα 136](#)).



Εικόνα 134: Μεθοδολογικό διάγραμμα διαχείρισης δεδομένων μνημείων σε 2D ΓΣΠ (GIS)

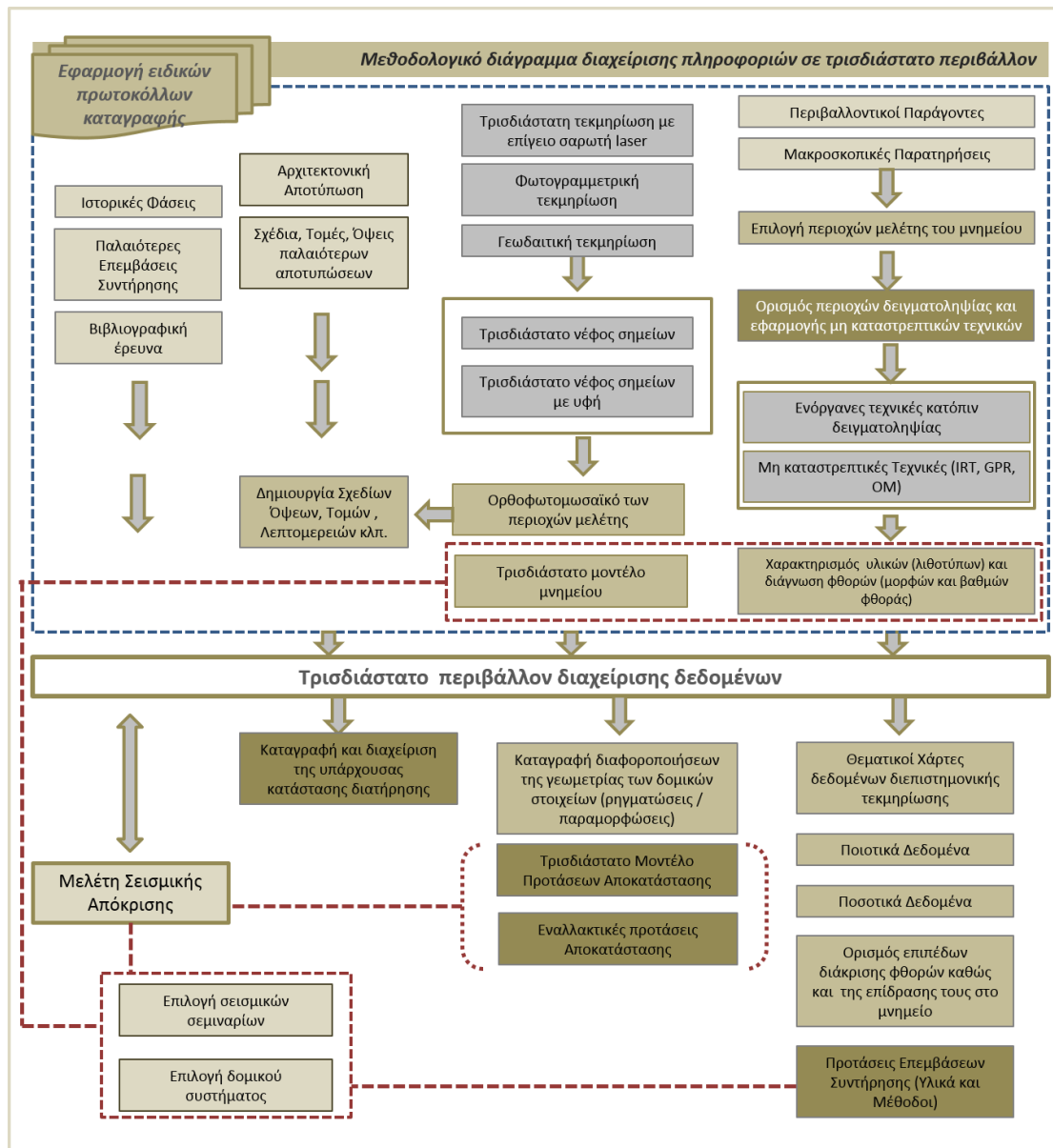


Εικόνα 135: Μεθοδολογικό διάγραμμα διαχείρισης δεδομένων ιστορικών κτηρίων σε 2D ΓΣΠ (GIS)



Εικόνα 136: Μεθοδολογικό διάγραμμα διαχείρισης δεδομένων αρχαιολογικών χώρων σε 2D ΓΣΠ (GIS)

Μέσω του τρισδιάστατου περιβάλλοντος απεικόνισης πληροφοριών, (3ds MAX), τα δεδομένα γεωμετρικής τεκμηρίωσης ενσωματώνονται με τα δεδομένα αποκατάστασης του μνημείου. Η παρούσα μεθοδολογική προσέγγιση εφαρμόστηκε στον ναό του Πύθιου Απόλλωνα. Τα δεδομένα σχετικά με την αποκατάσταση του μνημείου προέρχονται από τη διεπιστημονική τεκμηρίωση των δομικών υλικών και των αποτελεσμάτων της δομικής κατάστασης του μνημείου. Τα δεδομένα εισόδου καθώς και τα γεωμετρικά προϊόντα που απαιτήθηκαν παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 137)



Εικόνα 137: Μεθοδολογικό διάγραμμα διαχείρισης δεδομένων μνημείων σε 3D Περιβάλλον Απεικόνισης Πληροφοριών (3ds MAX)

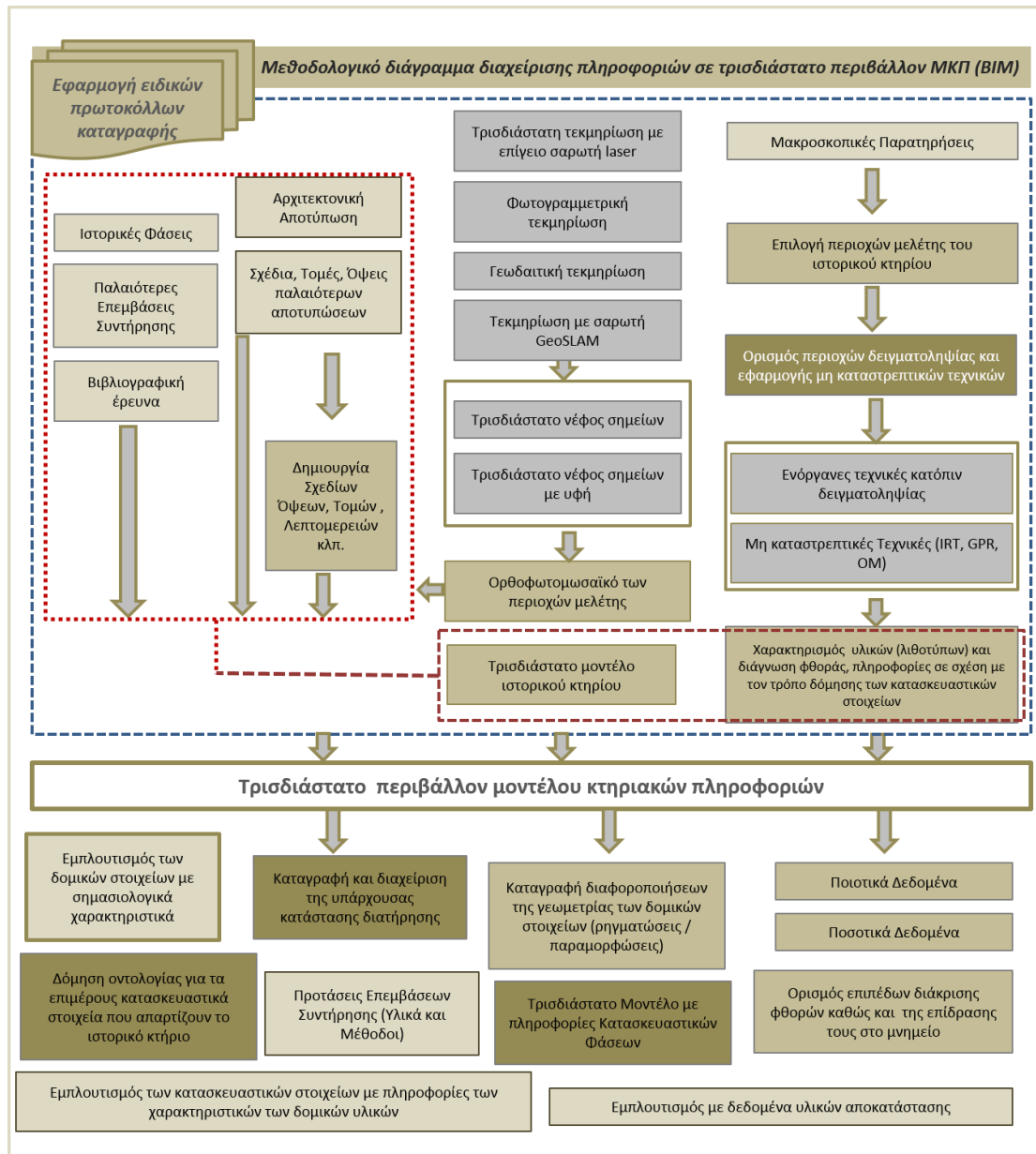
Όσον αφορά στα ΜΚΠ, το παραγόμενο τρισδιάστατο μοντέλο, προέρχεται από δεδομένα γεωμετρικής και αρχιτεκτονικής τεκμηρίωσης, ενώ συνεισφέρουν δεδομένα ιστορικών – κατασκευαστικών φάσεων καθώς και κατασκευαστικά και δομικά δεδομένα. Η ενσωμάτωση αυτή επιτυγχάνεται μέσα σε περιβάλλον τρισδιάστατου ΜΚΠ, λαμβάνοντας υπόψη τα πρωτόκολλα τεκμηρίωσης, καθώς και δεδομένα που φέρουν σημασιολογικές πληροφορίες.

Η παρούσα μεθοδολογική προσέγγιση εφαρμόστηκε σε δύο περιπτώσεις μελέτης, στον αρχαιολογικό χώρο της ακρόπολης του Ερημοκάστρου, καθώς και στη Βίλλα Κλωναρίδη.

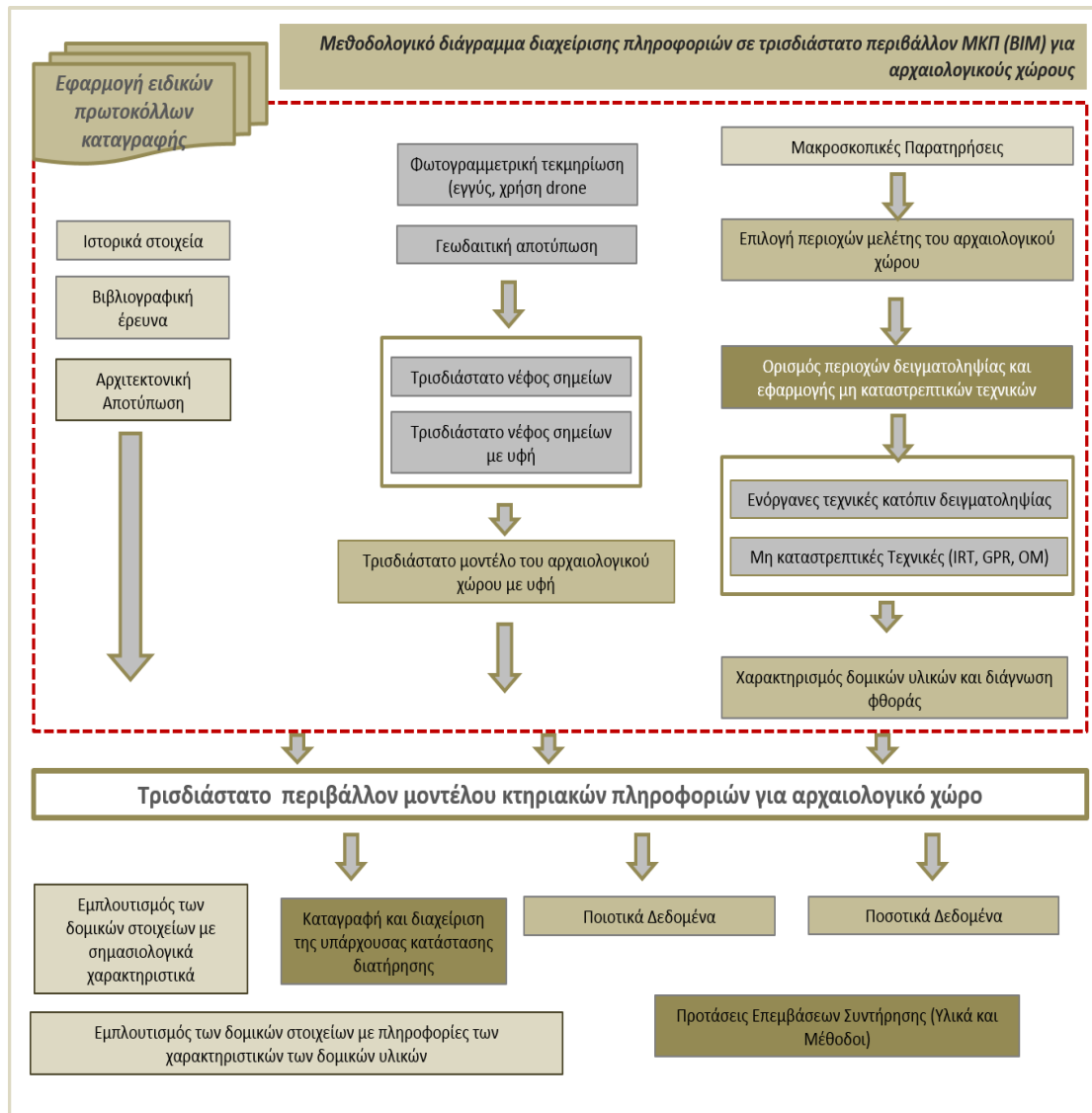
Ως αποτέλεσμα, προκύπτει ένα τρισδιάστατο μοντέλο, που φέρει όλες τις πληροφορίες που αναφέρθηκαν, καθιστώντας την ποσοτική ανάλυση των επιμέρους δεδομένων εφικτή. Τα δεδομένα δομικών υλικών καθώς και πληροφορίες σε σχέση με τον τρόπο δόμησης των τοιχοποιιών (στην περίπτωση της Βίλλας Κλωναρίδη) και στα τείχη (στην περίπτωση της Ακρόπολης του Ερημοκάστρου), ενσωματώνονται μέσα στο περιβάλλον αυτό και συνδέονται με τα επιμέρους δομικά στοιχεία.

Μία ακόμη καινοτομία της παρούσας διατριβής είναι η ενσωμάτωση δεδομένων δομικών υλικών αποκατάστασης μέσα σε τρισδιάστατο ΜΚΠ, παρέχοντας δεδομένα ποσοτικά, αλλά και ποιοτικά, σε σχέση με τα χαρακτηριστικά των δομικών υλικών αποκατάστασης και την ποσότητα σε όγκο που θα χρειαστεί σε περίπτωση υλοποίησης των εργασιών συντήρησης. Υλοποιήθηκε παραμετροποίηση της υπάρχουσας βιβλιοθήκης του ψηφιακού περιβάλλοντος BIM, και έγινε αναβάθμιση της, με δεδομένα υλικών αποκατάστασης. Η προσέγγιση αυτή, υλοποιήθηκε για το ιστορικό κτήριο της Βίλλας Κλωναρίδη.

Τα δεδομένα εισόδου καθώς και τα γεωμετρικά προϊόντα που απαιτήθηκαν παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα (*Εικόνα 138*, *Εικόνα 139*), διαχωρίζοντας τις περιπτώσεις του αρχαιολογικού χώρου με το ιστορικό κτήριο.



Εικόνα 138: Μεθοδολογικό διάγραμμα διαχείρισης δεδομένων ιστορικών κτηρίων σε 3D ΜΚΠ (HBIM)

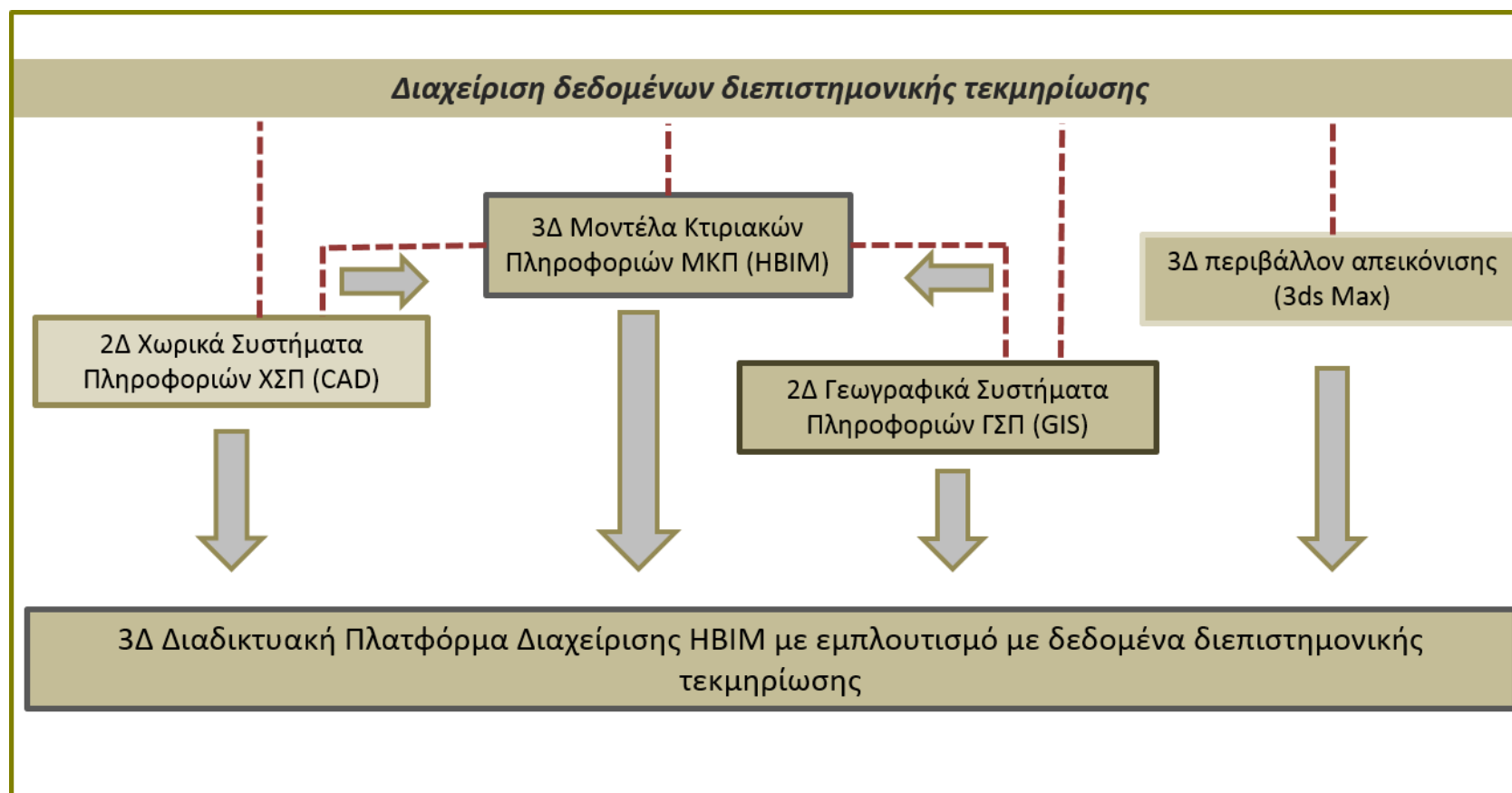


Εικόνα 139: Μεθοδολογικό διάγραμμα διαχείρισης δεδομένων αρχαιολογικών χώρων σε 3D ΜΚΠ (HBIM)

Τέλος, μία ακόμη ουσιαστική καινοτομία της διδακτορικής διατριβής, έγκειται στο σχεδιασμό και την υλοποίηση των αναπτυχθέντων μοντέλων κτηριακών πληροφοριών των δύο επιλεγμένων μνημείων, μέσω μιας μεθοδολογίας για την ολοκληρωμένη διαχείριση αυτών, καθώς και στην ενεργό και ουσιαστική συνδρομή, μέσω της συμμετοχής του ΕΜΠ στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα Inception, στο σχεδιασμό και την υλοποίηση της διαδικτυακής τρισδιάστατης πλατφόρμας. Μέσα από την διαδικτυακή πλατφόρμα, επικυρώθηκε και η μεθοδολογία της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Ακόμη, μέσα από τη διαδικτυακή πλατφόρμα διαχείρισης δεδομένων (INCEPTION platform), μπορούν να διερευνηθούν όλα τα δεδομένα που είναι ενσωματωμένα μέσα στο μοντέλο, στο σύνολό του αλλά και επιμέρους σε κάθε στοιχείο που το αποτελεί, περιλαμβάνοντας σημασιολογικά δεδομένα και μεταδεδομένα. Μέσω της πλατφόρμας, τέλος ο σημασιολογικός εμπλουτισμός επιτυγχάνεται, και το μνημείο, ιστορικό κτήριο ή αρχαιολογικός χώρος, μπορεί να διαμορφώνεται και να εμπλουτίζεται μέσα στο χρόνο.

Επομένως, τα ψηφιακά μοντέλα HBIM, που περιλαμβάνουν γεωχωρικές, περιγραφικές και σημασιολογικές πληροφορίες μπορούν να ενσωματωθούν μέσα στην ψηφιακή πλατφόρμα. Επίσης, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα 2δ περιβάλλοντα που μελετήθηκαν, μπορούν να εισαχθούν ως πληροφορίες και μεταδεδομένα και να συνδεθούν με το μνημείο υπό διερεύνηση ή με οποιοδήποτε επιμέρους δομικό στοιχείο (Εικόνα 140).



Εικόνα 140: Συσχέτιση διαφόρων ψηφιακών περιβαλλόντων με τη διαδικτυακή πλατφόρμα διαχείρισης δεδομένων

5.2 Προοπτικές

Η τρισδιάστατη γεωμετρική τεκμηρίωση των ιστορικών κατασκευών είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα της διεπιστημονικής μεθοδολογίας τεκμηρίωσης και διάγνωσης, που στόχο έχουν τις εργασίες συντήρησης και αποκατάστασης και απώτερο στόχο την αειφόρο προστασία τους. Προκειμένου να αξιοποιηθούν στο έπακρο τα αποτελέσματα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, κρίθηκε αναγκαία η χρήση νέων μεθοδολογιών για την τρισδιάστατη αναδόμηση / μοντελοποίηση σε ιστορικά κτήρια και μνημεία.

Ένα τρισδιάστατο ΓΣΠ, θα αποτελούσε ιδανικό μοντέλο ενιαίας διεπιστημονικής διαχείρισης δεδομένων ιστορικών συνόλων και αρχαιολογικών χώρων, όμως σε επίπεδο δομήματος, που σημασία έχει η αρχιτεκτονική, δομοστατική διάσταση και τα δομικά υλικά που το υλοποιούν, η ανάπτυξη επιτυγχάνεται μέσω ενός ΜΚΠ. Επομένως στην πλατφόρμα διαχείρισης δεδομένων, ο εμπλουτισμός που επιδιώκεται πραγματοποιείται μέσα σε ΜΚΠ. Μία προοπτική, επομένως, θα ήταν η ανάπτυξη μοντέλων σε Χωρικά Συστήματα Πληροφοριών με διερεύνηση ως προς τη δυνατότητα ενσωμάτωσης με ένα ΜΚΠ, σε ένα ενιαίο σύστημα, όπου θα απεικονίζονται οι χωρικές, σημασιολογικές και τοπολογικές σχέσεις.

Σε αντίθεση με την παραδοσιακή τρισδιάστατη προσέγγιση που καταπιάνεται με την εικονική αναπαράσταση ενός μνημείου, το BIM φέρνει κοντά τις δυναμικές τεχνικές τρισδιάστατης μοντελοποίησης και την ταξινόμηση κάθε στοιχείου δημιουργώντας κατ' αυτό τον τρόπο ένα «διαφανές» αλλά ταυτόχρονα σαφές αρχαιολογικό μοντέλο. Από αυτή την άποψη η εφαρμογή του BIM στην αρχαιολογική έρευνα αποτελεί μεγαλύτερη πρόκληση απ' ότι σε έρευνες που αφορούν σε ιστορικά κτήρια και μνημεία. Σε μία προοπτική διαχείρισης δομημάτων πολιτιστικής κληρονομιάς μέσω της πλατφόρμας BIM, ο τομέας της αρχαιολογικής έρευνας, αποτελεί μία πολύ μεγάλη πρόκληση. Η δημιουργία επομένως μοντέλου HBIM με τη διαδικασία scan-to-BIM θα μπορέσει να αποτελέσει μία νέα προοπτική, ειδικότερα για τον αρχαιολογικό χώρο της Ακρόπολης του Ερμηοκάστρου, για να υλοποιηθεί το ολοκληρωμένο μοντέλο.

Επί του παρόντος τα πιο σημαντικά εμπόδια στην ευρεία αποδοχή του BIM από τους κύκλους της αρχαιολογίας είναι η έλλειψη αυτόματων ή ημι-αυτόματων διαδικασιών που θα μετατρέψουν τα νέφη σημείων/πλέγματα σε αντικείμενα όπως επίσης και η έλλειψη πρότυπων βιβλιοθηκών. Η διερεύνηση ημιαυτόματων και αυτόματων διαδικασιών, αποτελεί επίσης μία προοπτική.

Αναφορικά με το μέλλον της μεθόδου scan-to-BIM θα μπορούσαν να προβλεφθούν τρεις κύριες πιθανές κατευθύνσεις προς τις οποίες μπορούν να κινηθούν οι μελλοντικές έρευνες. Αρχικά θα πρέπει να αναγνωρίζονται και να καταγράφονται οι απαιτήσεις σε πληροφορίες για τα BIM συστήματα και παράλληλα πρέπει αν διερευνηθεί η σχέση (κυρίως ποσοτική) ανάμεσα στην ακρίβεια του τρισδιάστατου μοντέλου ή της ποιότητας του νέφους σημείων ως προς την αξιοπιστία του τελικού μοντέλου BIM σύμφωνα με την επιδιωκόμενο σκοπό ανάπτυξής του.

Επίσης πολύ βασικό θα ήταν οι τεχνικές τρισδιάστατης μοντελοποίησης As-is BIM, να βελτιώσουν την ακρίβειά τους, και να γίνουν πιο εφαρμόσιμες και αυτοματοποιημένες.

Εξίσου ενδιαφέρον θα ήταν να μελετηθούν και να δοκιμαστούν νέες προσεγγίσεις μοντελοποίησης σε κτίσματα πολιτιστικής κληρονομιά διαφορετικών εποχών δόμησης και διαφορετικών τυπολογιών από αυτά που εξετάζονται στην παρούσα διατριβή.

Ακόμη μία σημαντική παράμετρος είναι η εμβάθυνση ως προς τη δημιουργία παραμετρικών μοντέλων, ιδιαίτερα όσον αφορά σε οικογένειες θυρών και παραθύρων ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες των κτηρίων πολιτιστικής κληρονομιάς.

Σήμερα από τις βιβλιοθήκες λείπουν στοιχεία για το HBIM. Η ύπαρξη παραμετρικών οικογενειών που θα προσαρμόζονται άμεσα σε περιπτώσεις, θα δώσει ισχυρή ώθηση σε ολόκληρη τη δημιουργία.

Δημοσιεύσεις που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της Διδακτορικής Διατριβής

Δημοσιεύσεις σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά με κριτές

- Tsilimantou, E., Delegou, E.T., Nikitakos, I.A., Ioannidis, C., Moropoulou, A. (2020). «GIS and BIM as Integrated Digital Environments for Modeling and Monitoring of Historic Buildings». Applied Sciences, 10(3), 1078.
- Antonia Moropoulou, Kyriakos Lampropoulos, Maria Apostolopoulou & Elisavet Tsilimantou. (2019). «Novel, Sustainable Preservation of Modern and Historic Buildings and Infrastructure. The Paradigm of the Holy Aedicule's Rehabilitation», International Journal of Architectural Heritage, DOI: 10.1080/15583058.2019.1690076
- Delegou, E. T., Mourgis, G., Tsilimantou, E., Ioannidis, C., & Moropoulou, A. (2019). "A Multidisciplinary Approach for Historic Buildings Diagnosis: The Case Study of the Kaisariani Monastery". Heritage, 2(2), 1211-1232
- E. T. Delegou, E. Tsilimantou, E. Oikonomopoulou, J. Sayas, C. Ioannidis, A. Moropoulou, "Mapping of Building Materials and Conservation Interventions Using GIS: The case of Sarantapicho Acropolis and Erimokastro Acropolis in Rhodes", (2013), International Journal of Heritage on Digital Heritage (IJHDE), Edition 8, vol 2, n.4

Δημοσιεύσεις σε περιοδικές εκδόσεις με κριτές

- Bakolas, A., Delegou, E. T., Ksynopoulou, E., Tsilimantou, E., Labropoulos, K. C., Oikonomopoulou, E., Sayas, J. & Moropoulou, A., "An Integrated Diagnostic study of the building materials of the Walls at the lalysos Acropolis (Sarantapichos), Rhodes", Scienza e Beni Culturali XXIX 2014 Publ. Arcadia Ricerche Editore Padova.
- Tsilimantou, E., Delegou, T., E., 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, pp 735-746.
- Delegou, E.T., Labropoulos, K.C., Ksynopoulou, E., Tsilimantou, E., Oikonomopoulou, E., Sayas, J., Bakolas, A., Moropoulou, A., "Diagnostic strategies for planning of conservation interventions at the Acropolis of Erimokastro, Rhodes", 28 Convegno Internazionale Scienza e Beni Culturali XXV 2012 Publ. Arcadia Ricerche Editore Padova.

Δημοσιεύσεις σε Πρακτικά Διεθνών Συνεδρίων με Πλήρη Ανάπτυξη, Μετά από Κρίση

- Tsilimantou, E., Delegou, T., E., Bourexis, F., Tapeinaki, S., Soile, S., Ioannidis, C. & Moropoulou, A. (2019). Combination of Geometric Documentation and Infrared Thermography Results for Preservation Purposes in Archaeological Sites. In *Nondestructive Evaluation and Monitoring Technologies, Documentation, Diagnosis and Preservation of Cultural Heritage*, Editors Ahmad Osman and Antonia Moropoulou. (pp. 234-248). Springer, Cham.

- Soile, S., Tsilimantou, E., Keramidas, V., Karoglou, M., Bourexis, F., Adamopoulos, E., ... & Pikoula, M. (2019). Multidisciplinary Documentation: Combination of NDTs with geometric documentation for the diagnostic study of Ancient Temples-The case of the Pythian Apollo Temple in Rhodes. In *Nondestructive Evaluation and Monitoring Technologies, Documentation, Diagnosis and Preservation of Cultural Heritage*, Editors Ahmad Osman and Antonia Moropoulou. (pp. 17-36). Springer, Cham.
- Georgopoulos, A., Ioannidis, C., Soile, S., Tapeinaki, S., Chliverou, R., Tsilimantou, E., Lampropoulos, K. & Moropoulou, A. (2018, October). "The role of digital geometric documentation for the rehabilitation of the Tomb of Christ". In 2018 3rd Digital Heritage International Congress (DigitalHERITAGE) held jointly with 2018 24th International Conference on Virtual Systems & Multimedia (VSMM 2018) (pp. 1-8). IEEE.
- E. Tsilimantou, E.T. Delegou, K. Lampropoulos, M. Karoglou, E. Bourbos, A. Moropoulou (2018). "Multisensor Fusion of NDTs with Geometric Documentation for the Assessment of Historic Buildings Preservation State". International Symposium on Structural Health Monitoring and Nondestructive Testing 4-5 October 2018, Saarbruecken, Germany, NDT.net, ISSN 1435-4934, (2018) <http://www.ndt.net/?id=23536>
- E. Adamopoulos, E. Tsilimantou, V. Keramidas, M. Apostolopoulou, M. Karoglou, S. Tapinaki, C. Ioannidis, A. Georgopoulos, and A. Moropoulou "Multi-sensor Documentation of metric and Qualitative Information of Historic Stone Structures". ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., IV-2/W2, 1-8. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W2-I-201>, (2017)
- E. Tsilimantou, E. Oikonomopoulou, E. Delegou, C. Ioannidis, J. Sagias and A. Moropoulou, "The contribution of GIS for the sustainable protection of monuments: the case of Erimokastro and Sarantapixo Acropolis in Rhodes, Greece", (2016), SBE16 Malta International Conference, 16-18 March 2016
- Tsilimantou, E., Delegou, E., Ioannidis, C., & Moropoulou, A. (2016, August). Geoinformation techniques for the 3D visualisation of historic buildings and representation of a building's pathology. In *Fourth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2016)* (Vol. 9688, p. 968810). International Society for Optics and Photonics.
- E. Tsilimantou, I.A. Nikitakos, E.T. Delegou, S. Soile, S. Tapinaki, C. Ioannidis, A. Moropoulou, "Integrated process of documentation using Geographical Information System: the case of the historic building of Villa Klonaridi, Athens Greece", (2014), In Proc. of the 9th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin- MONUBASIN9, Ankara, Turkey.
- E. Tsilimantou, I.A. Nikitakos, E.T. Delegou, S. Soile, S. Tapinaki, C. Ioannidis, A. Moropoulou, "GIS Modelling for the Integrated Documentation of The Historic Building of Villa Klonaridi in Athens, Greece", (2013), 6th International Conference of Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin, 22-25 October, Athens

Μέλος στη συμβουλευτική επιτροπή των κάτωθι μεταπτυχιακών εργασιών

- Μιχάλαρος, Χ. (2020). *Χαρακτηρισμός των δομικών υλικών και διάγνωση της φθοράς του καθολικού της Ιεράς Μονής Παναγίας Βαρνάκοβας: προτάσεις συμβατών υλικών αποκατάστασης*. Μεταπτυχιακή εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων». (Επιβλέπουσα: Καθ. Α. Μοροπούλου).
- Μπλέτσας Υφαντής, Γ. (2020). *Αποτύπωση και διερεύνηση με μη καταστροφικό έλεγχο των δομικών συστημάτων της Ιεράς Μονής Κοιμήσεως της Θεοτόκου Βαρνακόβης στο Ευπάλιο Δωρίδος και προσομοιώματα με τρισδιάστατα στοιχεία*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων». (Συνεπιβλέποντα μέλη ΔΕΠ: Αν. Καθ. Χ. Μουζάκης, Καθ. Α. Μοροπούλου).
- Μενεγάκη, Ε. (2020). *Ταξινόμηση, αναγνώριση και κατάταξη ιστορικών κτιρίων της Μεσαιωνικής Πόλης της Ρόδου βάσει πολλαπλών κριτηρίων, και διαχείριση των δεδομένων σε ολοκληρωμένα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών*. Μεταπτυχιακή εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων». (Συνεπιβλέποντα μέλη ΔΕΠ: Ομότ. Καθ. Σ. Αυγερινού, Ομότ. Καθ. Ε. Μαϊστρου, Καθ. Χ. Ιωαννίδης, Καθ. Α. Μοροπούλου).
- Ζαργκλή, Α. (2017). *Αρχιτεκτονική τεκμηρίωση της εσωτερικής λιθοδομής σε διαδραστική σχέση με την ολοκληρωμένη μελέτη προστασίας του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στα Ιεροσόλυμα*. Μεταπτυχιακή εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων». (Επιβλέπουσα: Καθ. Α. Μοροπούλου).
- Αδαμόπουλος, Ε. (2017). *Γεωμετρική τεκμηρίωση στο πλαίσιο ολοκληρωμένης διαγνωστικής μελέτης του αρχαίου ναού του Πυθίου Απόλλωνος στη Ρόδο*. Μεταπτυχιακή εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων». (Συνεπιβλέποντα μέλη ΔΕΠ: Καθ. Α. Γεωργόπουλος, Καθ. Χ. Ιωαννίδης, Καθ. Α. Μοροπούλου).
- Ιωάννου, Τ. Μ. (2016). *Ανάπτυξη Building Information Modelling για τη διαγνωστική μελέτη του εσωτερικού χώρου της Βίλλας Κλωναρίδη*. ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων». (Συνεπιβλέποντα μέλη ΔΕΠ: Καθ. Χ. Ιωαννίδης, Καθ. Α. Μοροπούλου).
- Γκερέκος, Χ. (2016). *Χαρτογράφηση των δομικών υλικών και της φθοράς και στρατηγικός σχεδιασμός των υλικών και επεμβάσεων συντήρησης στο Ναό του Ηφαιστού*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων». (Συνεπιβλέποντα μέλη ΔΕΠ: Καθ. Χ. Ιωαννίδης, Καθ. Α. Μοροπούλου).
- Μουργή, Γ. (2015). *Σχεδιασμός και διαχείριση δεδομένων διαγνωστικής μελέτης στην κλίμακα του μνημείου του Καθολικού της Μονής Καισαριανής*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων». (Συνεπιβλέποντα μέλη ΔΕΠ: Ομότ. Καθ. Ε. Κορρές, Καθ. Χ. Ιωαννίδης, Καθ. Α. Μοροπούλου).
- Νικητάκος, Ι. (2013). *Η Συμβολή Μεθόδων Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης και Διαχείρισης στη Διαγνωστική Μελέτη της Βίλλας Κλωναρίδη*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ “Προστασία Μνημείων”. (Συνεπιβλέποντα μέλη ΔΕΠ: Καθ. Ε. Καθ. Α. Μοροπούλου, Αν. Καθ. Χ. Ιωαννίδης)
- Μπούρμπος, Ε. (2013). *Χαρακτηρισμός και Διάγνωση της Φθοράς των Δομικών Υλικών του Ιστορικού Κτηρίου της Βίλλας Κλωναρίδη στα Πατήσια Αθηνών, με Χρήση μη Καταστρεπτικών και Αναλυτικών Τεχνικών. Προτάσεις Συμβατών Υλικών και Επεμβάσεων*

Συντήρησης. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ “Προστασία Μνημείων”. (Επιβλέπουσα: Καθ. Α. Μοροπούλου).

- Κάβουρα, Μ. (2013). “Αρχιτεκτονική τεκμηρίωση και ανάλυση του ιστορικού κτιρίου της Οικίας Δουρούτη στο Μεταξουργείο Αθηνών. Αρχιτεκτονική πρόταση επανάχρησης”. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ “Προστασία Μνημείων”. (Επιβλέπουσα Καθ. Ε. Εφεσίου).
- Πούλου, Α. (2013). «Αρχιτεκτονική τεκμηρίωση και ανάλυση του ιστορικού κτιρίου της Βίλας Κλωναρίδη στα Πατήσια Αθηνών. Αρχιτεκτονική πρόταση επανάχρησης». Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ “Προστασία Μνημείων”. (Επιβλέπουσα Καθ. Ε. Εφεσίου).
- Σαΐντ Α.-Χ. (2013). «Χαρακτηρισμός και διάγνωση της φθοράς των δομικών υλικών του ιστορικού κτιρίου της Οικίας Δουρούτη στο Μεταξουργείο Αθηνών, με χρήση μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών. Προτάσεις συμβατών υλικών και επεμβάσεων συντήρησης». Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). ΔΠΜΣ “Προστασία Μνημείων”. (Επιβλέπουσα Καθ. Α. Μοροπούλου).

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	7
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ (BOHLER, CIRA SYMPOSIUM 2001, ROTSDAM)	12
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ ΜΕ ΛΕΙΖΕΡ	15
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΑΡΩΣΗΣ ΜΕ LASER ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ (JONES, D.M., 2011)	17
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΘΕΣΕΙΣ ΡΟΜΠΟΤ (ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ) ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SLAM	23
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΣΗΜΑΙΝΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΩΝ ΔΟΜΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ	30
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ	31
ΕΙΚΟΝΑ 8: ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΖΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ,	32
ΕΙΚΟΝΑ 9: Η ΣΥΝΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΕΝΙΑΙΟ ΜΟΝΤΕΛΟ BIM	40
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΕΠΙΠΕΔΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ - ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ (HTTPS://REBIM.IO/LEVEL-OF-DETAIL-OR-DEVELOPMENT-LOD-IN-BIM/)	43
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΚΑΘΟΛΙΚΟ ΤΗΣ ΙΕΡΑΣ ΜΟΝΗΣ ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ, ΔΥΤΙΚΗ Όψη, ΟΠΟΥ ΔΙΑΚΡΙΝΕΤΑΙ ΚΑΙ ΤΟ ΠΑΡΕΚΚΛΗΣΙ ΤΟΥ ΑΓΙΟΥ ΑΝΤΩΝΙΟΥ	60
ΕΙΚΟΝΑ 12. ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΤΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ, ΕΤΟΥΣ 1745	61
ΕΙΚΟΝΑ 13. ΚΑΤΟΨΗ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ(ΑΡΙΣΤΕΡΑ); ΚΑΤΟΨΗ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΦΑΣΕΙΣ (ΔΕΞΙΑ)	62
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΠΟ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΟΨΕΙΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΟΠΟΥ ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΟΜΗΣΗΣ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΟΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ ΜΝΗΜΕΙΟ.	65
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΥΦΗ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΗΣ ΝΟΤΙΑΣ ΟΨΗΣ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ	66
ΕΙΚΟΝΑ 16: ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ	68
ΕΙΚΟΝΑ 17: ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΝΟΤΙΑΣ ΟΨΗΣ (ΕΙΚΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΪΟΝ); ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΟΨΗΣ	70
ΕΙΚΟΝΑ 18: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΟΨΕΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΝΗΜΕΙΟΥ	73
ΕΙΚΟΝΑ 19: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΟ ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΧΑΡΤΗ ΥΛΙΚΩΝ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΟΨΗΣ	74
ΕΙΚΟΝΑ 20: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΣΤΟ ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΧΑΡΤΗ ΦΘΟΡΩΝ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΟΨΗΣ	75
ΕΙΚΟΝΑ 21: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ ΜΕ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ ΣΤΗΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΤΟΥ ΝΑΡΘΗΚΑ, ΟΠΟΥ ΠΑΡΑΤΗΡΕΙΤΑΙ ΑΥΞΗΜΕΝΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ	76
ΕΙΚΟΝΑ 22: ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΧΑΡΤΗ ΥΛΙΚΩΝ ΤΗΣ ΝΟΤΙΑ ΟΨΗΣ, ΣΕ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	77
ΕΙΚΟΝΑ 23: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΣΤΟ ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΧΑΡΤΗ ΦΘΟΡΩΝ ΤΗΣ ΝΟΤΙΑΣ ΟΨΗΣ	78
ΕΙΚΟΝΑ 24: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΣΤΟ ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΧΑΡΤΗ ΦΘΟΡΩΝ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	79
ΕΙΚΟΝΑ 25: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ ΛΙΘΩΝ, ΠΛΙΝΘΩΝ ΚΑΙ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ ΑΝΑ ΟΨΗ	80
ΕΙΚΟΝΑ 26: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΩΝ (%) ΒΙΟΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΑΝΑ ΟΨΗ	81

ΕΙΚΟΝΑ 27: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΕ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ CAD, ΜΕ ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΠΥΛΩΝΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	82
ΕΙΚΟΝΑ 28: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΕΝΣΩΜΑΤΩΝΟΝΤΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ	83
ΕΙΚΟΝΑ 29: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΥ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΕΙ ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΟ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΝΟΣ ΜΝΗΜΕΙΟΥ	84
ΕΙΚΟΝΑ 30: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΥ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΕΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΙΔΗ ΜΕΛΕΤΩΝ	85
ΕΙΚΟΝΑ 31: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	88
ΕΙΚΟΝΑ 32: (Α) ΝΑΟΣ ΤΟΥ ΠΥΘΙΟΥ ΑΠΟΛΛΩΝΑ, ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ; (Β) ΆΠΟΨΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΜΕ ΤΟΝ ΤΕΧΝΗΤΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΒΡΑΧΟ ΑΠΟ ΠΩΡΟΛΙΘΟ	93
ΕΙΚΟΝΑ 33: (ΠΑΝΩ) ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΗ ΖΩΝΗ, ΛΟΦΟΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕ SMITH (1938), (ΑΣΑΙΑ, FONDO RAOLINI, PD 220) ΑΠΟ ΤΟ LIVADIOTTI AND ROCCO, 1996; (ΚΑΤΩ) ΚΑΤΟΨΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΤΟΥ ΠΥΘΙΟΥ ΑΠΟΛΛΩΝΑ - ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ” (1938), (ΑΣΑΙΑ, FONDO RAOLINI, PD 220) ΑΠΟ ΤΟ LIVADIOTTI AND ROCCO, 1996.	93
ΕΙΚΟΝΑ 34: ΑΞΟΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΠΟΥ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΟΝΤΑΙ ΟΙ ΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΜΕ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	95
ΕΙΚΟΝΑ 35: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ; ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ (ΠΑΝΩ); ΑΡΑΙΟ ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΤΟΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟ ΚΙΟΝΑ ΣΤΟ ΜΕΡΙΚΩΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΝΑΟΥ; ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΟΨΟΤΟΜΗΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ	98
ΕΙΚΟΝΑ 36: ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ: (Α) ΠΟΛΥΣΠΟΝΔΥΛΟΙ ΚΙΟΝΕΣ, (Β) ΜΟΝΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΙΟΝΕΣ	100
ΕΙΚΟΝΑ 37: ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΟΥ ΝΑΟΥ; ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΑΠΟΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΟΥ ΣΠΟΝΔΥΛΟΥ (ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΛΟΓΩ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΠΟΥ ΔΗΛΩΝΟΥΝ ΟΤΙ ΘΑ ΣΥΜΒΕΙ ΑΠΟΤΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΜΗΣ ΤΟΥ ΣΠΟΝΔΥΛΟΥ; ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΟΤΜΗΣΕΙΣ ΑΚΜΩΝ ΣΕ ΑΡΧΑΙΟΥΣ ΣΠΟΝΔΥΛΟΥΣ ΤΟΥ ΜΝΗΜΕΙΟΥ (ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ)	101
ΕΙΚΟΝΑ 38: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΜΝΗΜΕΙΟΥ (Α) ΥΠΑΡΧΟΥΣΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ (Β) ΑΠΟΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	102
ΕΙΚΟΝΑ 39: ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΑΠΟΨΗ ΑΠΟ ΤΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΤΟΥ ΠΥΘΙΟΥ ΑΠΟΛΛΩΝΑ	104
ΕΙΚΟΝΑ 40: ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ. ΕΙΚΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΪΟΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ	105
ΕΙΚΟΝΑ 41: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΑΡΩΣΕΩΝ ΜΕ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ, ΠΟΥ ΥΠΟΔΕΙΚΝΟΥΝ ΤΟ ΜΕΣΟ ΠΑΧΟΣ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΛΑΞΕΥΜΕΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΛΙΘΙΝΩΝ ΣΠΟΝΔΥΛΩΝ	108
ΕΙΚΟΝΑ 42: ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟΥΣ ΔΟΜΙΚΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ ΣΤΟΝ ΜΕΡΙΚΩΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟ ΚΙΟΝΑ ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ; ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΣ ΛΙΘΟΣ (30X) ΚΑΙ ΛΙΘΟΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (120 X).	109
ΕΙΚΟΝΑ 43: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΦΘΟΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΝΑΟ ΤΟΥ ΠΥΘΙΟΥ ΑΠΟΛΛΩΝΑ	111
ΕΙΚΟΝΑ 44: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΠΟΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	114
ΕΙΚΟΝΑ 45: ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗ ΑΠΟΨΗ ΑΠΟ ΤΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΠΡΟΤΑΣΗΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΚΙΟΝΩΝ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΤΟΥ ΠΥΘΙΟΥ ΑΠΟΛΛΩΝΑ, ΜΕ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΡΧΑΙΟΥ ΛΙΘΟΥ (ΜΠΕΖ ΧΡΩΜΑ) ΚΑΙ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΜΕ ΛΙΘΟ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (ΛΕΥΚΟ ΧΡΩΜΑ) ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΜΕ ΚΟΝΙΑΜΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (ΚΟΝΙΑΜΑ)	116

ΕΙΚΟΝΑ 46: ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΑΠΟΨΗ ΑΠΟ ΤΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΠΡΟΤΑΣΗΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΚΙΟΝΩΝ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΤΟΥ ΠΥΘΙΟΥ ΑΠΟΛΛΩΝΑ	117
ΕΙΚΟΝΑ 47: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	119
ΕΙΚΟΝΑ 48: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΣΠ	120
ΕΙΚΟΝΑ 49: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	121
ΕΙΚΟΝΑ 50: ΒΙΛΑ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ, ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΚΑΙ ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ	125
ΕΙΚΟΝΑ 51: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ ΜΟΥΣΕΙΟΥ ΜΠΕΝΑΚΗ. ΠΕΡΙ ΤΟ 1903	126
ΕΙΚΟΝΑ 52: ΚΑΤΟΨΗ ΜΕ ΤΙΣ ΚΥΡΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΦΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ	127
ΕΙΚΟΝΑ 53: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΑ ΤΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΔΙΑΚΟΣΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΒΙΛΛΑΣ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ	128
ΕΙΚΟΝΑ 54: ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΒΙΛΛΑΣ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ	130
ΕΙΚΟΝΑ 55: ΘΕΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LASER ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΗΣ ΒΙΛΛΑΣ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ	131
ΕΙΚΟΝΑ 56: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ; ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	133
ΕΙΚΟΝΑ 57: ΣΧΕΔΙΑ ΤΟΜΩΝ, ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ	134
ΕΙΚΟΝΑ 58: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΑΠΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΗΣ ΒΙΛΛΑΣ; ΠΥΚΝΟ ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕ ΥΦΗ	135
ΕΙΚΟΝΑ 59: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΙΛΛΑΣ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ ΜΕ ΤΗ ΜΟΡΦΗ ΤΡΙΓΩΝΩΝ (Α) ΚΑΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕ ΥΦΗ (Β)	136
ΕΙΚΟΝΑ 60: ΤΟΜΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΒΙΛΛΑΣ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ, ΟΠΟΥ ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΧΩΡΟΙ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ, ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΟΠΩΣ Η ΚΥΡΙΑ ΣΚΑΛΑ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ, ΟΠΩΣ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΤΟ GEOSLAM.	137
ΕΙΚΟΝΑ 61: ΤΟΜΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΒΙΛΛΑΣ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ ΜΕ ΥΦΗ, ΟΠΟΥ ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΧΩΡΟΙ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ, ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΟΠΩΣ Η ΚΥΡΙΑ ΣΚΑΛΑ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ	138
ΕΙΚΟΝΑ 62: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΟΡΓΑΝΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ (ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΜ ΓΙΑ ΛΙΘΟ ΟΠΟΥ ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΔΙΑΚΛΑΣΕΙΣ ΣΕ ΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ 1 ^{ΗΞ} Κ. Φ. (ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΠΑΝΩ); ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ TG-DTA ΣΕ ΔΕΙΓΜΑ ΛΙΘΟΥ 2 ^{ΗΞ} Κ.Φ. ΚΑΙ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ 2 ^{ΗΞ} Κ. Φ. ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ (ΔΕΞΙΑ ΠΑΝΩ); ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧRD ΣΕ ΔΕΙΓΜΑ ΛΙΘΟΥ 1 ^{ΗΞ} Κ. Φ. ΚΑΙ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΥ 1 ^{ΗΞ} ΕΠΙΣΗΣ Κ. Φ. (ΔΕΞΙΑ ΜΕΣΗ); ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΙΚΡΟΔΟΜΗΣ ΜΕ ΠΟΡΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ ΓΙΑ ΛΙΘΟ ΤΗΣ 1 ^{ΗΞ} Κ.Φ. ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΓΙΑ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟ ΑΠΟ ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ (ΔΕΞΙΑ ΚΑΤΩ); ΟΛΙΚΑ ΔΙΑΛΥΤΑ ΑΛΑΤΑ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΚΑΤΩ).	140
ΕΙΚΟΝΑ 63: ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ. ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΝΤΑΙ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΔΟΜΗΣΗΣ (Η ΠΟΔΙΑ ΤΟΥ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ ΕΙΝΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΥΣ ΕΝΩ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΤΗΡΕΙΤΑΙ ΛΟΓΩ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	142
ΕΙΚΟΝΑ 64: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ ΟΠΟΥ ΠΑΡΑΤΗΡΕΙΤΑΙ ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΩ ΠΛΕΥΡΑ ΣΤΗΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΤΗΣ ΤΡΙΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΦΑΣΗΣ ΕΝΩ ΠΑΡΑΤΗΡΕΙΤΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΙΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΚΑΙ ΤΡΙΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΦΑΣΗΣ.	142
ΕΙΚΟΝΑ 65: ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ ΤΗΣ ΒΙΛΛΑΣ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ	142
ΕΙΚΟΝΑ 66: ΕΙΚΟΝΕΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΛΙΘΩΝ, ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΩΝ ΚΑΙ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	143

ΕΙΚΟΝΑ 67: ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ; ΓΕΝΙΚΗ ΑΠΟΨΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΟΠΟΥ ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΗΣ ΒΙΛΛΑΣ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ	144
ΕΙΚΟΝΑ 68: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΩΣ ΥΦΗ ΣΤΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΙ ΠΙΟ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΑ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ	145
ΕΙΚΟΝΑ 69: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ ΠΟΥ ΥΠΟΔΕΙΚΝΟΥΝ ΤΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ ΥΠΟ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ.	146
ΕΙΚΟΝΑ 70: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΘΟΡΑΣ ΣΤΗ ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ ΤΗΣ ΒΙΛΛΑΣ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ	148
ΕΙΚΟΝΑ 71: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ; ΛΙΘΩΝ, ΠΛΙΝΘΩΝ, ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	149
ΕΙΚΟΝΑ 72: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΡΩΓΜΩΝ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΔΟΜΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	150
ΕΙΚΟΝΑ 73: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΟΞΗΛΩΣΗΣ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ	151
ΕΙΚΟΝΑ 74: ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΠΟΛΥΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΚΕ ΚΑΙ 3Δ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΗΒΙΜ	154
ΕΙΚΟΝΑ 75: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΔΟΜΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΦΑΣΗΣ, ΕΝΣΩΜΑΤΩΝΟΝΤΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΠΡΟΚΥΨΕΙ ΑΠΟ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	155
ΕΙΚΟΝΑ 76: ΚΑΤΑ ΠΛΑΤΟΣ ΤΟΜΗ ΤΗΣ ΒΙΛΛΑΣ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ ΟΠΟΥ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΔΟΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΩΝ ΕΙΝΑΙ ΕΜΦΑΝΗ	156
ΕΙΚΟΝΑ 77: ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΜΗ ΤΗΣ ΒΙΛΛΑΣ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ	157
ΕΙΚΟΝΑ 78: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΙΜ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΙΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΣΚΑΛΕΣ, ΤΙΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΟΡΤΕΣ, ΤΑ ΔΑΠΕΔΑ ΚΛΠ.	158
ΕΙΚΟΝΑ 79: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΙΜ ΒΙΛΛΑΣ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ	159
ΕΙΚΟΝΑ 80: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΗΒΙΜ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΦΘΟΡΑΣ (ΡΩΓΜΕΣ) ΠΟΥ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ 2Δ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΓΣΠ	161
ΕΙΚΟΝΑ 81: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΩΝ ΡΩΓΜΩΝ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΟ ΚΟΝΙΑΜΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ); ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ (ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ) ΤΟΥ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ²³⁶	163
ΕΙΚΟΝΑ 82: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΩΝ ΔΙΑΜΠΕΡΩΝ ΡΩΓΜΩΝ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΟ ΚΟΝΙΑΜΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	164
ΕΙΚΟΝΑ 83: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΥ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΕΙ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ (%) ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΘΕ ΤΥΠΟΥ ΡΩΓΜΗΣ (M) ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΟΨΕΙΣ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ	165
ΕΙΚΟΝΑ 84: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΥ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΕΙ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ (%) ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΟΥ ΚΑΛΥΠΤΕΙ ΚΑΘΕ ΤΥΠΟΥ ΡΩΓΜΗΣ (M ²) ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΟΨΕΙΣ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ	166
ΕΙΚΟΝΑ 85: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΥ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΕΙ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ (%) ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΟΓΚΟ ΠΟΥ ΚΑΤΑΛΑΜΒΑΝΕΙ ΚΑΘΕ ΤΥΠΟΥ ΡΩΓΜΗΣ (M ³) ΜΕ ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ, ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΟΨΕΙΣ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ	166
ΕΙΚΟΝΑ 86: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΗΒΙΜ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ	168
ΕΙΚΟΝΑ 87: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟ 2Δ ΓΣΠ ΣΤΟ 3Δ ΒΙΜ	170
ΕΙΚΟΝΑ 88: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ, ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ, ΟΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΖΕΤΑΙ Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	172
ΕΙΚΟΝΑ 89: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΣΠ	174

ΕΙΚΟΝΑ 90: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΚΠ	175
ΕΙΚΟΝΑ 91: ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ ΣΤΗ ΡΟΔΟ	178
ΕΙΚΟΝΑ 92: ΆΠΟΨΗ ΑΠΟ ΤΑ ΤΕΙΧΗ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ; ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΑ ΚΑΙ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΑ	178
ΕΙΚΟΝΑ 93: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ; ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΟΨΗ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΠΥΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΟΨΗ ΤΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ (ΠΗΓΗ: TISSOT, 1868)	180
ΕΙΚΟΝΑ 94: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ (ΠΥΛΗ)	182
ΕΙΚΟΝΑ 95: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ (ΟΧΥΡΩΜΑΤΙΚΟ ΤΕΙΧΟΣ)	182
ΕΙΚΟΝΑ 96: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΕΙΧΟΥΣ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ ΜΕ ΥΦΗ; ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟΥ ΤΕΙΧΟΥΣ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ	184
ΕΙΚΟΝΑ 97: ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΟΨΗΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΤΕΙΧΟΥΣ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ	185
ΕΙΚΟΝΑ 98: ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ ΣΑΡΩΣΗΣ, ΠΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΤΑ ΕΙΔΗ ΦΘΟΡΑΣ ΤΩΝ ΛΙΘΩΝ	186
ΕΙΚΟΝΑ 99: ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΤΕΙΧΟΥΣ	186
ΕΙΚΟΝΑ 100: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΤΕΙΧΟΥΣ ΟΠΟΥ ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΝΤΑΙ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΦΘΟΡΑΣ	187
ΕΙΚΟΝΑ 101: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΠΟ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ	187
ΕΙΚΟΝΑ 102: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕ ΥΦΗ ΠΟΥ ΠΡΟΕΡΧΕΤΑΙ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΣΤΟ ΤΕΙΧΟΣ	188
ΕΙΚΟΝΑ 103: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΠΥΛΗ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ	189
ΕΙΚΟΝΑ 104: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟ ΤΜΗΜΑ ΤΕΙΧΟΥΣ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ	190
ΕΙΚΟΝΑ 105: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΦΘΟΡΩΝ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟ ΤΜΗΜΑ ΤΕΙΧΟΥΣ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ	190
ΕΙΚΟΝΑ 106: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΦΘΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΠΥΛΗ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ	191
ΕΙΚΟΝΑ 107: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΥΛΗ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ	191
ΕΙΚΟΝΑ 108: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟ ΤΜΗΜΑ ΤΕΙΧΟΥΣ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ	192
ΕΙΚΟΝΑ 109: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΣΠ	193
ΕΙΚΟΝΑ 110: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΚΠ (BIM)	195
ΕΙΚΟΝΑ 111: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΤΗΡΙΑΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	196
ΕΙΚΟΝΑ 112: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΚΑΙ ΤΟΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΔΟΜΟΛΙΘΩΝ	197
ΕΙΚΟΝΑ 113: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΤΕΙΧΟΥΣ	198
ΕΙΚΟΝΑ 114: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΤΕΙΧΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΥΛΗΣ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ	199
ΕΙΚΟΝΑ 115: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΥΛΗΣ	200
ΕΙΚΟΝΑ 116: ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΔΟΜΟΛΙΘΟ	201
ΕΙΚΟΝΑ 117: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ BIM ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΠΥΛΗΣ ΤΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	202

ΕΙΚΟΝΑ 118: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ	203
ΕΙΚΟΝΑ 119: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΣΕ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΚΠ	204
ΕΙΚΟΝΑ 120: Η ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ INSERTION (ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ)	216
ΕΙΚΟΝΑ 121: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΗΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ INSERTION (ΣΧΕΔΙΟ PETER BONSMΑ)	218
ΕΙΚΟΝΑ 122: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΕΠΤΟΜΕΡΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΗΣ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ INSERTION	219
ΕΙΚΟΝΑ 123: ΓΕΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ INSERTION	221
ΕΙΚΟΝΑ 124: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ, ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΒΙΛΛΑΣ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ	222
ΕΙΚΟΝΑ 125: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ, ΟΠΟΥ ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΟΝΤΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΑ ΣΕ ΚΑΘΕ ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ	223
ΕΙΚΟΝΑ 126: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΒΙΛΛΑΣ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΤΟΥ INSERTION, ΟΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΕΓΙΝΕ Ο ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ	224
ΕΙΚΟΝΑ 127: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΟΥ ΑΠΕΥΘΥΝΕΤΑΙ ΣΕ ΕΙΔΙΚΟΥΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ, ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΟΛΗΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ	225
ΕΙΚΟΝΑ 128: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΟΥ ΑΠΕΥΘΥΝΕΤΑΙ ΣΤΟ ΕΥΡΥ ΚΟΙΝΟ	226
ΕΙΚΟΝΑ 129: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΤΟΥ INSERTION, ΟΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΕΓΙΝΕ Ο ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	227
ΕΙΚΟΝΑ 130: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΤΟΥ INSERTION, ΟΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΕΓΙΝΕ Ο ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ.	228
ΕΙΚΟΝΑ 131: ΣΤΑΔΙΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	231
ΕΙΚΟΝΑ 132: ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΨΗΦΙΑΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΥΤΩΝ	232
ΕΙΚΟΝΑ 133: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ 2Δ ΧΣΑ (CAD)	233
ΕΙΚΟΝΑ 134: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΣΕ 2Δ ΓΣΠ (GIS)	235
ΕΙΚΟΝΑ 135: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ ΣΕ 2Δ ΓΣΠ (GIS)	236
ΕΙΚΟΝΑ 136: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΣΕ 2Δ ΓΣΠ (GIS)	237
ΕΙΚΟΝΑ 137: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΣΕ 3Δ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (3DS MAX)	238
ΕΙΚΟΝΑ 138: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ ΣΕ 3Δ ΜΚΠ (HBIM)	240
ΕΙΚΟΝΑ 139: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΣΕ 3Δ ΜΚΠ (HBIM)	241
ΕΙΚΟΝΑ 140: ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	243

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΕΙΔΗ ΣΑΡΩΤΩΝ, ΕΜΒΕΛΕΙΑ, ΣΥΝΗΘΗΣ ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΚΡΙΒΕΙΕΣ	15
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ	33
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΕΠΙΠΕΔΑ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΒΙΛΛΑΣ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ	209
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ ΤΟΥ ΛΕΞΙΚΟΥ GETTY ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΒΙΛΛΑΣ ΚΛΩΝΑΡΙΔΗ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΣΕ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΚΤΗΡΙΟ	210
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΕΠΙΠΕΔΑ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	214
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ ΤΟΥ ΛΕΞΙΚΟΥ GETTY ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΕΡΗΜΟΚΑΣΤΡΟΥ	214