

Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία:

Κοντουδάκη Ανδριάννα,

Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός-
Μηχανικός Γεωπληροφορικής

ΕΜΠ, ΔΠΜΣ: : Προστασία Μνημείων

Β' Κατεύθυνση: Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων στην περιοχή της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην
Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Συνεπιβλέποντες:

Ομ. Καθ. Α. Γεωργόπουλος (ΑΤΜ-ΜΓ) κ'

Ομ. Καθ. Α. Μοροπούλου (ΧΜ)

Επιτροπή επίβλεψης και υποστήριξης:

ΕΔΙΠ Σ. Ταπεινάκη (ΑΤΜ-ΜΓ),

ΕΔΙΠ Κ. Δελέγκου (ΧΜ) κ'

Επ. Καθ. Κ. Λαμπρόπουλος (ΧΜ)



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Δ.Π.Μ.Σ. «ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ»
Β' ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: «ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία με θέμα:

**ΟΛΙΣΤΙΚΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ, ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΘΩΡΩΝ.
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΟΔΟΜΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ ΤΟΥ
ΠΑΝΤΑΙΝΟΥ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΑΓΟΡΑ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ.**

Κοντουδάκη Ανδριάννα, Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός- Μηχανικός
Γεωπληροφορικής, Ε.Μ.Π.

Επιτροπή Επίβλεψης

- Ανδρέας Γεωργόπουλος, Ομ. Καθ. Σχ. ΑΤΜ-ΜΓ (Συνεπιβλέπων)
- Αντωνία Μοροπούλου, Ομ. Καθ. Σχ. ΧΜ ΕΜΠ (Συνεπιβλέπουσα)
- Σεβαστή Ταπεινάκη, ΕΔΙΠ Σχ. ΑΤΜ-ΜΓ ΕΜΠ
- Αικατερίνη Δελέγκου, ΕΔΙΠ Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- Κυριάκος Λαμπρόπουλος, Επ. Καθ. Σχ. ΧΜ ΕΜΠ

Επιτροπή Εξέτασης

- Ανδρέας Γεωργόπουλος, Ομ. Καθ. Σχ. ΑΤΜ-ΜΓ
- Αντωνία Μοροπούλου, Ομ. Καθ. Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- Αστέριος Μπακόλας, Καθ. Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- Αικατερίνη Δελέγκου, ΕΔΙΠ Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- Κυριάκος Λαμπρόπουλος, Επ. Καθ. Σχ. ΧΜ ΕΜΠ

ΕΜΠ, Οκτώβριος 2024

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Ανδρέα Γεωργόπουλο για την πολύτιμη στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια σύνθεσης της εργασίας. Ο τρόπος διδασκαλίας του στο πλαίσιο των μαθημάτων Φωτογραμμετρίας και Αποτυπώσεων Μνημείων, υπήρξε ο κύριος λόγος στην επιλογή αυτής της κατεύθυνσης και του μεταπτυχιακού προγράμματος. Τον ευχαριστώ για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του όλα αυτά τα χρόνια, καθώς είναι πάντα διαθέσιμος να προσφέρει την εμπειρία, τις γνώσεις και τις συμβουλές του.

Ακόμη, ευχαριστώ την επιβλέπουσα Ομ. Καθ. κα Μοροπούλου για τις παρατηρήσεις της που συνέβαλαν στη βελτίωση της παρούσας εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τις: κα Σέβη Ταπεινάκη ΕΔΙΠ της σχολής ΑΤΜ-ΜΓ και κα Κατερίνα Δελέγκου ΕΔΙΠ της σχολής ΧΜ για την έμπρακτη βοήθεια τους και τις συμβουλές τους όλο το διάστημα εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Αρχαιολόγο της Εφορίας Αρχαιοτήτων Πόλης Αθηνών (ΕΦΑΠΑ), κα Κ. Τσόγκα, που μου επέτρεπε καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής αυτής εργασίας και ανά πάσα στιγμή την πρόσβαση στο αρχείο και στα ημερολόγια της ΕΦΑΠΑ. Ενώ, παράλληλα με κατεύθυνε στη βιβλιογραφία για τα ιστορικά στοιχεία του μνημείου. Καθώς, ευχαριστώ και τον υποψήφιο διδάκτορα της ΣΑΤΜ-ΜΓ, Θεωρή Μπέτσα, που συμμετείχε στην συλλογή των τοπογραφικών δεδομένων.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για την αμέριστη υποστήριξη που μου προσφέρει, καθώς και τους φίλους μου που είναι συνεχώς δίπλα μου.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	1
Παράρτημα Εικόνων, Πινάκων και Διαγραμμάτων.....	4
Περίληψη	9
Abstract.....	10
1.Εισαγωγή.....	11
1.1 Στόχος εργασίας.....	11
1.2 Η βιβλιοθήκη του Πανταίνου	11
2.Γενικό Θεωρητικό	16
2.1 Διεθνείς συμβάσεις για προστασία πολιτιστικής κληρονομιάς, Διεπιστημονικότητα και Μεθοδολογία Διαγνωστικής Μελέτης	16
2.1.1 Διεθνείς συμβάσεις	16
2.1.2 Διεπιστημονικότητα.....	18
2.1.3 Διαγνωστική Μελέτη	20
2.2 Γεωμετρική τεκμηρίωση και διαχείριση μνημείων	24
2.2.1 Γεωμετρική τεκμηρίωση και μέθοδοι.....	24
2.3 Λίθοι-Πλίνθοι- Κονιάματα	27
2.3.1 Λίθοι.....	27
2.3.2 Πλίνθοι.....	32
2.3.3 Κονιάματα.....	34
2.4 Κύριοι τύποι φθοράς	36
2.4.1 Φαινόμενα φθορών.....	36
2.4.2 Προσέγγιση της μελέτης της φθοράς	37
2.5 Μη καταστρεπτικός έλεγχος.....	45
2.6 CAD, GIS και BIM.....	51
2.6.1 Διαχείριση μέσω Computer-Aided Design	51
2.6.2 Διαχείριση μέσω ΣΓΠ	52
2.6.3 BIM και HBIM.....	54
3. Ειδικό Θεωρητικό.....	55
3.1 Η θερμογραφία ως υφή σε 3d μοντέλα (παραδείγματα- προβλήματα).....	55
3.1.1 Ακρόπολη του Ερημοκάστρου - Ρόδος.....	55
3.1.2 Τρισδιάστατη Θερμική Χαρτογράφηση από εικόνες Θερμογραφίας Υπερύθρου με εφαρμογή στην Πολιτιστική Κληρονομιά.....	55
3.2 Εφαρμογές της χαρτογράφηση δομικών υλικών και φθορών των μνημείων	57
3.2.1 Γεωμετρική τεκμηρίωση στο πλαίσιο ολοκληρωμένης διαγνωστικής μελέτης του αρχαίου ναού του Πυθίου Απόλλωνος στη Ρόδο	58

3.3 VR και άλλες εφαρμογές.....	60
3.4 Προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης κι αποκατάστασης στην Βιβλιοθήκη του Πανταίνου	61
4.Μεθοδολογική Προσέγγιση- Πειραματικό μέρος	65
4.1 Συλλογή Δεδομένων	65
4.1.1 Συλλογή Τοπογραφικών δεδομένων	65
4.1.2 Συλλογή δεδομένων Μη καταστρεπτικού Ελέγχου.....	69
4.2.Επεξεργασία.....	71
4.2.1 Επεξεργασία τοπογραφικών μετρήσεων.....	71
4.2.3 Επεξεργασία φωτογραμμετρικών δεδομένων	73
4.2.4 Επεξεργασία θερμογραφημάτων	77
4.2.5 Διαλογή εικόνων ψηφιακού μικροσκοπίου	80
4.2.6 Χαρτογράφηση δομικών υλικών και φθορών	81
4.3 ΣΓΠ.....	85
4.3.1 Το λογισμικό ανοικτής πρόσβασης Qgis και δυνατότητες	85
4.3.2 Συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων – Δομικά στοιχεία	86
4.3.3 Δυνατότητες ανάλυσης.....	90
5.Παρουσίαση- Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	92
5.1 Παρουσίαση και αξιολόγηση τοπογραφικών προϊόντων	92
5.1.1 Παρουσίαση και αξιολόγηση τρισδιάστατου μοντέλου	92
5.1.2 Παρουσίαση και αξιολόγηση ορθοφωτογραφιών	93
5.2 Παρουσίαση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων ΜΚΕ	94
5.2.1 Παρουσίαση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων ψηφιακού μικροσκοπίου	94
5.2.2 Παρουσίαση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων IRT	124
5.3 Παρουσίαση και αξιολόγηση 3d μοντέλου με υφή θερμογραφημάτων	133
5.4 Παρουσίαση και αξιολόγηση θεματικού χάρτη των δομικών υλικών στο GIS	136
5.5 Παρουσίαση και αξιολόγηση θεματικού χάρτη των φθορών στο GIS.....	137
5.6 Διαχείριση δεδομένων δομικών υλικών κι φθορών στο GIS	139
5.6.1 Ποσοστιαία διαγράμματα πίτας.....	139
5.6.2 Εικόνες Digital Microscopy (DM) στο QGIS.....	147
5.6.3 Queries SQL σε περιβάλλον QGIS.....	149
6. Συμπεράσματα- Προτάσεις	154
7.Βιβλιογραφία.....	157
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	161

Παράρτημα Εικόνων, Πινάκων και Διαγραμμάτων

1.Εισαγωγή

Εικόνα 1.1: (α): Κάτοψη αρχαιολογικού χώρου Αρχαίας Αγοράς (Πηγή: Χάρτης Αρχαίας Αγοράς - Θ-ink (th-ink.eu)), (β): Προοπτική Βιβλιοθήκης του Πανταίνου το 1975 από αεροφωτογραφία (Πηγή: Hesperia, Agora Image: 2000.03.0015)	12
Εικόνα 1.2(α): Αφιερωμένη επιγραφή που αναφέρεται στην δωρεά της Βιβλιοθήκης, (β): επιγραφή με κανονισμούς της Βιβλιοθήκης. (Πηγή: Hesperia).....	12
Εικόνα 1.3: Κάτοψη της Βιβλιοθήκη του Πανταίνου.(πηγή: Αμερικανική Σχολή Κλασικών Σπουδών στην Αθήνα)	13
Εικόνα 1.4: Η Πλατεία οδός και η νότια στοά από δυσμάς (2ος αι.μ.Χ.). Σε πρώτη άποψη, η τοξωτή πύλη στο ΝΑ άκρο της Στοάς Αττάλου από όπου ξεκινούσε η μαρμαροστρωμένη οδός. Στο βάθος η πύλη της Αθηνάς Αρχηγέτιδος και το κλιμακοστάσιο. (Πηγή: Hesperia)	14
Εικόνα 1.5: Άποψη από τα δυτικά της στοάς, στο βάθος διακρίνεται η Πύλη της Αθηνάς Αρχηγέτιδος. (Πηγή: Camp, ο οδηγός της Αρχαίας Αγοράς).....	14
Εικόνα 1.6: Αναπαράσταση της παρόδιας στοάς στην νότια παρυφή της μαρμαροστρωμένης οδού από την προσθήκη δεύτερου ορόφου, κατά τον 5ο αι..(Πηγή: Hesperia, κωδικός: 2008.20.0060)	15
Εικόνα 1.7: Άνω: Κάτοψη του Υ/Ρ οικοδομήματος (5ος αι.μ.Χ.) στη στάθμη του ισογείου. Κάτω: Κάτοψη τμήματος της Πλατείας οδού, της παρόδιας νότιας στοάς και των υπογείων δωματίων του Υ/Ρ οικοδομήματος. Σημειωμένοι με κόκκινο βέλος τα τοιχία ενδιαφέροντος. (Πηγή: Hesperia).....	15

2.Γενικό Θεωρητικό

Εικόνα 2.1: Στάδια Υλοποίησης της Προκαταρκτικής μελέτης των υλικών (Πηγή: «Σύνταξη προδιαγραφών της Διαγνωστικής Μελέτης σε διεπιστημονική βάση για έκδοση υπουργικής απόφασης για την υλοποίηση του Ν.3028 του ΥΠΠΟ για την Προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς», (2004 - 2005), Εισήγηση ΟΕ ΤΕΕ)	21
Εικόνα 2.2: Στάδια υλοποίησης της διαγνωστικής μελέτης των υλικών(Πηγή: «Σύνταξη προδιαγραφών της Διαγνωστικής Μελέτης σε διεπιστημονική βάση για έκδοση υπουργικής απόφασης για την υλοποίηση του Ν.3028 του ΥΠΠΟ για την Προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς», (2004 - 2005), Εισήγηση ΟΕ ΤΕΕ)	23
Εικόνα 2.3: Πετρολογικός κύκλος (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ, Χρήστος Παπατρέχας “Περί λίθων”).	28
Εικόνα 2.4: Γρανίτης ένα πυριγενές πέτρωμα (Πηγή: Εκρηξιγενές πέτρωμα - Βικιπαίδεια (wikipedia.org))	29
Εικόνα 2.5: Κροκαλοπαγής λίθος, ιζηματογενές πέτρωμα (Πηγή: Κροκαλοπαγές πέτρωμα - Βικιπαίδεια (wikipedia.org)).....	29
Εικόνα 2.6: Γνεύσιος, μεταμορφοσιγενές πέτρωμα (Πηγή: Gnejs12 - Γνεύσιος - Βικιπαίδεια (wikipedia.org)) .	30
Εικόνα 2.7: Πάνω ωμόπλινθοι, κάτω οπτόπλινθοι, (Πηγή:Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β’ Κατεύθυνση Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου ΕΔΙΠ Κυριάκος Λαμπρόπουλος)	33
Εικόνα 2.8: Η διάλυση του στρώματος του γύψου στην επιφάνεια του πεντελικού μαρμάρου απαλείφει τις λεπτομέρειες από το πρόσωπο και τις πτυχές του χιτώνα των Καρυάτιδων. (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β’ Κατεύθυνση, Καθ. Α. Μοροπούλου)	38
Εικόνα 2.9: Όξινη ανθρακική κρούστα (α): τοιχοποιία, (β):μηχανισμός κατάρρευσης, (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β’ Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου)	39
Εικόνα 2.10: Κρυστάλλωση αλάτων- Μεσαιωνική πόλη της Ρόδου, (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β’ Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου).	40
Εικόνα 2.11:Μηχανισμός κατάρρευσης τοιχοποιιών, (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β’ Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου)	40
Εικόνα 2.12: Τοιχοποιία από Μεσαιωνικές οχυρώσεις Ρόδου, (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β’ Κατεύθυνση, Συντήρησης Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου)	41

Εικόνα 2.13: Τοιχοποιία που παρουσιάζει απώλεια υλικού λόγω χρήσης ασύμβατων υλικών, (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου) ..	41
Εικόνα 2.14: Ρηγμάτωση μαρμάρου εξαιτίας της διάβρωσης συνδέσμου στον Παρθενώνα [Σκουλικίδης Θ.], (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου).....	42
Εικόνα 2.15: Βιολογική φθορά, (Πηγή: Φθορές - ΥΣΜΑ (ysma.gr))	43
Εικόνα 2.16: Μηχανισμός ανάπτυξης κρυστάλλων, (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου)	45
Εικόνα 2.17: Ενετικές Οχυρώσεις Ηρακλείου(α) Θερμογραφία υπερύθρου τοίχου (β), (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου)	47
Εικόνα 2.18: Λήψη δεδομένων με FOM, (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου)	48
Εικόνα 2.19: Ενετικές οχυρώσεις Ηρακλείου(α), ύστερα από ψηφιακή επεξεργασία(β), (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου)	49
Εικόνα 2.20: Χρήση γεωραντάρ(α), Τυπική απεικόνιση δυσδιάστατης τομής υπεδάφους, με χρήση του λογισμικού Ground Vision και του γεωραντάρ RAMAC/GPR (πηγή: προσωπικό αρχείο, Διδακτικές Σημειώσεις, Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση.).....	50

3.Ειδικό Θεωρητικό

Εικόνα 3.1: Τρισδιάστατο μοντέλο με υφή που προέρχεται από εφαρμογή θερμογραφίας υπερύθρου στο τείχος,(Πηγή: Ε. Τσιλιμαντού, 2020,Διδακτορική Διατριβή)	55
Εικόνα 3.2: Θερμικά ορθοφωτο-μωσαϊκά της πρόσοψης (α) και επικάλυψη στο μωσαϊκό οπτικού πεδίου RGB (β)—που παράγονται με την προτεινόμενη ροή εργασίας (επάνω), που παράγονται χρησιμοποιώντας εικόνες τόσο από θερμικούς όσο και από οπτικούς αισθητήρες της θερμοκάμερας.....	56
Εικόνα 3.3: Διαδικασία Χαρτογράφησης Φθορών. (Πηγή Ε. Adamopoulos, et all, 2017)	58
Εικόνα 3.4: Θεματικός χάρτης Δομικών Υλικών και φθορών ανατολικής πρόσοψης Βίλλας Κλωναρίδη (Πηγή: Tsilimantou, E., et all, 2020)	59
Εικόνα 3.5: Άνακατασκευή Βιβλιοθήκης Πανταίνου για χρήση της σε εφαρμογή Εικονικής Πραγματικότητας (Πηγή: Ν. Τεντώμα, 2024, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Leuven)	60
Εικόνα 3.6: Τοιχοποιία πριν(α), Τοιχοποιία μετά(β) (Πηγή: ημερολόγιο 2013 ΕΦΑΠΑ)	62
Εικόνα 3.7: (ΤΧ2), Πριν τις στερεωτικές εργασίες Νοεμβρίου 2013(α), μετά (β) (Πηγή: ημερολόγιο 2013 ΕΦΑΠΑ).....	62
Εικόνα 3.8: (ΤΧ3), Πριν τις στερεωτικές εργασίες Νοεμβρίου 2013(α), μετά (β),(γ) (Πηγή: ημερολόγιο 2013 ΕΦΑΠΑ).....	62
Εικόνα 3 9: Ο νότιος τοίχος του κλιμακοστασίου έτος:2014(α), 2020(β), (Πηγή: αρχείο ΕΦΑΠΑ).....	63

4. Μεθοδολογική Προσέγγιση- Πειραματικό μέρος

Εικόνα 4.1: Διαθέσιμος εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για λήψη τοπογραφικών και φωτογραμμετρικών δεδομένων.....	67
Εικόνα 4.2: Ψηφιακό μικροσκόπιο Dinolight	70
Εικόνα 4.3: Κάμερα Θερμογραφίας Υπερύθρου FLIR T640.....	70
Εικόνα 4.4: Αραιό νέφος.....	74
Εικόνα 4.5: Φωτοσταθερά με στόχους metashape (αριστερά), και μεταλλικούς (δεξιά)	75
Εικόνα 4.6: Πυκνό 3D νέφος σημείων.....	76
Εικόνα 4.7: Καθορισμός επιπέδου προβολής όψης.....	77
Εικόνα 4.8: Θερμογράφημα χωρίς επεξεργασία.....	78

Εικόνα 4.9: Χάρτης υφής του ΤΧ1, όπως προκύπτει από τα θερμογραφήματα (α), Τρισδιάστατο μοντέλο ΤΧ1 με υφή(β).....	79
Εικόνα 4.10: Χάρτης υφής των ΤΧ2-ΤΧ3, όπως προκύπτει από τα θερμογραφήματα (α), Τρισδιάστατο μοντέλο ΤΧ2-ΤΧ3 με υφή(β).....	79
Εικόνα 4.11: Σκαρφηγηματα και κωδικοποίηση δομικών υλικών.....	80
Εικόνα 4.12: Χαρτογράφηση δομικών υλικών και φθορών σε περιβάλλον AutoCAD.....	81
Εικόνα 4.13: Παραδείγματα Βιοδιάβρωσης, Λειχηνών(α), Βρύων(β), Μυκήτων(γ).....	82
Εικόνα 4.14: Παραδείγματα Μαύρης Βιοδιάβρωσης (α), σε συνδιασμό με Βιοβελονισμό (β), σε συνδιασμό με απώλεια λίθου (γ).....	83
Εικόνα 4.15: Παράδειγμα ρωγμής, περιοχή ΤΧ1 λίθος 2	83
Εικόνα 4.16: Παράδειγμα κρούστας, περιοχή ΤΧ2 λίθος 8	84
Εικόνα 4.18: Παράδειγμα απώλειας πλίνθου (περιοχή ΤΧ3 λίθος 13)(α), Παράδειγμα απώλειας ιστορικού κονιάματος (περιοχή ΤΧ3)(β)	85
Εικόνα 4.19: Διάγραμμα οντοτήτων- συσχετίσεων. (Πηγή: Λ. Τσούλος, 2008, Ψηφιακή Χαρτογραφία)	87
Εικόνα 4.20: Attribute Table για τις Φθορές.....	89

5.Παρουσίαση- Συζήτηση αποτελεσμάτων

Εικόνα 5.1: Τρισδιάστατο μοντέλου οικοδομημάτων της περιοχής της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου.....	92
Εικόνα 5.2: Υφή τρισδιάστατου μοντέλου	93
Εικόνα 5.3: Ορθοφωτογραφία Βόρειας όψης του νότιου τοίχου του κλιμακοστασίου και των δωματίων 6-7-8	93
Εικόνα 5.4: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 1 και εικόνες DM	94
Εικόνα 5.5: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 2 και εικόνες DM	95
Εικόνα 5.6: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 3 και εικόνες DM	95
Εικόνα 5.7: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 4 και εικόνες DM	96
Εικόνα 5.8: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 5 και εικόνες DM	96
Εικόνα 5.9: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 6 και εικόνες DM	97
Εικόνα 5.10: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 7 και εικόνες DM	97
Εικόνα 5.11: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 8 και εικόνες DM	98
Εικόνα 5.12: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 9 και εικόνες DM	99
Εικόνα 5.13: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 10 και εικόνες DM	99
Εικόνα 5.14: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 11 και εικόνες DM	100
Εικόνα 5.15: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 12 και εικόνες DM	101
Εικόνα 5.16: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 16 και εικόνες DM	101
Εικόνα 5.17: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 17 και εικόνες DM	102
Εικόνα 5.18: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, πλίνθοι 13 και εικόνες DM	102
Εικόνα 5.19: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 1 και εικόνες DM	103
Εικόνα 5.20: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 2 και εικόνες DM	104
Εικόνα 5.21: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 3 και εικόνες DM	104
Εικόνα 5.22: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 6 και εικόνες DM	105
Εικόνα 5.23: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 7 και εικόνες DM	106
Εικόνα 5.24: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 81 και εικόνες DM	106
Εικόνα 5.25: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 9 και εικόνες DM	107
Εικόνα 5.26: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 10 και εικόνες DM	107
Εικόνα 5.27: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 11 και εικόνες DM	108
Εικόνα 5.28: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 15 και εικόνες DM	108
Εικόνα 5.29: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 17 και εικόνες DM	109
Εικόνα 5.30: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 20 και εικόνες DM	109

Εικόνα 5.31: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 2, λίθο 22 και εικόνες DM	110
Εικόνα 5.32: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 2, πλίνθοι 14 και εικόνες DM	110
Εικόνα 5.33: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 2, πλίνθοι 24 και εικόνες DM	111
Εικόνα 5.34: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 2, πλίνθοι 25 και εικόνες DM	111
Εικόνα 5.35: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 2, πλίνθοι 27-28 και εικόνες DM	112
Εικόνα 5.36: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 2, ιστορικό κονίαμα 1 και εικόνες DM	112
Εικόνα 5.37: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 2, ιστορικό κονίαμα 31-32 και εικόνες DM	113
Εικόνα 5.38: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 2, κονίαμα αποκατάστασης 2-35 και εικόνες DM	113
Εικόνα 5.39: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 2, κονίαμα αποκατάστασης 36 και εικόνες DM	114
Εικόνα 5.40: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, λίθο 5 και εικόνες DM	114
Εικόνα 5.41: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, λίθο 6 και εικόνες DM	115
Εικόνα 5.42: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, λίθο 7 και εικόνες DM	115
Εικόνα 5.43: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, λίθο 8 και εικόνες DM	116
Εικόνα 5.44: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, λίθο 10 και εικόνες DM	117
Εικόνα 5.45: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, λίθο 12 και εικόνες DM	117
Εικόνα 5.46: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, λίθο 13 και εικόνες DM	118
Εικόνα 5.47: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, λίθο 16 και εικόνες DM	118
Εικόνα 5.48: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, λίθο 21 και εικόνες DM	119
Εικόνα 5.49: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, λίθο 24 και εικόνες DM	119
Εικόνα 5.50: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, ιστορικό κονίαμα 1 και εικόνες DM	120
Εικόνα 5.51: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, ιστορικό κονίαμα 2 και εικόνες DM	120
Εικόνα 5.52: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, ιστορικό κονίαμα 3 και εικόνες DM	121
Εικόνα 5.53: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, ιστορικό κονίαμα 4 και εικόνες DM	121
Εικόνα 5.54: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, ιστορικό κονίαμα 5 και εικόνες DM	122
Εικόνα 5.55: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, ιστορικό κονίαμα 5 και εικόνες DM	122
Εικόνα 5.56: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, πλίνθοι 1-3 και εικόνες DM	123
Εικόνα 5.57: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, κονίαμα αποκατάστασης 1-2 και εικόνες DM	123
Εικόνα 5.58: Μακροσκοπική φωτογραφία TX1	125
Εικόνα 5.59: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR8617, RGB εικόνα FLIR8618	125
Εικόνα 5.60: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR8623, RGB εικόνα FLIR8624	126
Εικόνα 5.61: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR8637, RGB εικόνα FLIR8638	126
Εικόνα 5.62: Μακροσκοπική φωτογραφία TX2	127
Εικόνα 5. 63: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR8473, RGB εικόνα FLIR8474	127
Εικόνα 5.64: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR8495, RGB εικόνα FLIR8496	128
Εικόνα 5.65: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR8497, RGB εικόνα FLIR8498	129
Εικόνα 5.66: Μακροσκοπική φωτογραφία TX3	130
Εικόνα 5.67: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR8545, RGB εικόνα FLIR8546	130
Εικόνα 5.68: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR8569, RGB εικόνα FLIR8570	131
Εικόνα 5.69: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR 8525, RGB εικόνα FLIR8526	131
Εικόνα 5.70: Ισόθερμες εικόνες Θερμογραφίας Υπερύθρου για τον TX1, για το θερμοκρασιακό διάστημα 26,3-31 °C	132
Εικόνα 5.71: Ισόθερμες εικόνες Θερμογραφίας Υπερύθρου του TX2 για το θερμοκρασιακό διάστημα 26,3-31 °C	132
Εικόνα 5. 72: Ισόθερμες εικόνες Θερμογραφίας Υπερύθρου του TX3 για το θερμοκρασιακό διάστημα 26,3-31 °C	133
Εικόνα 5.74: Τρισδιάστατο μοντέλο με υφή Θερμογραφίας Υπερύθρου	134
Εικόνα 5.75: Υφή Θερμογραφίας Υπερύθρου στον TX1	135
Εικόνα 5.76: Υφή Θερμογραφίας Υπερύθρου στους TX2-TX3	135

Εικόνα 5.77 (α): Δομικά υλικά του νότιου τοίχου του κλιμακοστασίου και των προσόψεων των δωματίων 6-7-8, της Πλατείας Οδού	136
Εικόνα 5.78 (β): Δομικά υλικά του νότιου τοίχου του κλιμακοστασίου και των προσόψεων των δωματίων 6-7-8, της Πλατείας Οδού	137
Εικόνα 5.79 (γ): Φθορές του νότιου τοίχου του κλιμακοστασίου και των προσόψεων των δωματίων 6-7-8, της Πλατείας Οδού	139
Εικόνα 5.80: Εικόνες DM στο περιβάλλον του QGIS	148
Εικόνα 5.81: Εικόνες DM στο περιβάλλον του QGIS	148
Εικόνα 5.82: Εμφάνιση layer "Απώλεια λίθου" μέσω SQL	149
Εικόνα 5.83: Ερωτήματα (queries) σχετικά με την απώλεια λίθου στο σύνολο των τοιχοποιιών, αλλά και μεμονωμένα	149
Εικόνα 5.84: Ερωτήματα (queries) σχετικά με την απώλεια κονιάματος στο σύνολο των τοιχοποιιών, αλλά και μεμονωμένα	150
Εικόνα 5.85: Ερωτήματα (queries) σχετικά με τους κροκαλοπαγείς λίθους	150
Εικόνα 5.86: Ερωτήματα (queries) σχετικά με τους κροκαλοπαγείς λίθους	151
Εικόνα 5.87: Ερωτήματα (queries) σχετικά με την φθορά βιοδιάβρωση- βρύα	151
Εικόνα 5.88: Ερωτήματα (queries) σχετικά με της ρωγμές	152
Εικόνα 5.89: Ερώτημα (query) σχετικά με το διαβρωμένο κονίαμα (αποσαθρωμένο και απώλεια κονιάματος)	152
Εικόνα 5.90: Ερωτήματα σχετικά με το σύνολο της φθοράς της κρούστας	153

Πίνακες

<i>Πίνακας 1: Πετρώματα και σκληρότητα στην κλίμακα Mohs (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις: Δομικά Υλικά (Λίθοι, Μάρμαρα), Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση – Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης Καθ. Α. Μοροπούλου).....</i>	32
Πίνακας 2: Ταξινόμηση φθορών σε επίπεδο μακροκλίμακας	38
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά θερμικής κάμερας, (Πηγή: FLIR T640 Specs (aaatesters.com))	70
Πίνακας 4: Στοιχεία οριζοντιογραφικής επίλυσης δικτύου	72
Πίνακας 5: Στοιχεία υψομετρικής επίλυσης δικτύου	73
Πίνακας 6: Συντεταγμένες στάσεων πολυγωνομετρικού δικτύου.....	73

Διαγράμματα

Διάγραμμα 1: Συνολικό Ποσοστιαίο Διάγραμμα πίτας Δομικών υλικών	140
Διάγραμμα 2: Ποσοστιαίο διάγραμμα πίτας κατηγοριών λίθων.....	140
Διάγραμμα 3: Ποσοστιαίο Διάγραμμα πίτας Δομικών υλικών TX1	141
Διάγραμμα 4: Ποσοστιαίο Διάγραμμα πίτας Δομικών υλικών TX2-TX3.....	141
Διάγραμμα 5: Ποσοστιαίο Διάγραμμα πίτας Φθορών για το σύνολο των τοιχίων	142
Διάγραμμα 6: Ποσοστιαίο Διάγραμμα πίτας φθορών για τον TX2.....	143
Διάγραμμα 7: Ποσοστιαίο Διάγραμμα πίτας φθορών για τον TX3.....	144
Διάγραμμα 8: Ποσοστιαίο Διάγραμμα πίτας φθορών για τους TX2-TX3	144
Διάγραμμα 9: Ποσοστιαίο Διάγραμμα Πίτας Τριχοειδούς Αναρρίχησης Υγρασίας	145
Διάγραμμα 10: Πίτα φθορών- υγιούς υλικού για τον Λίθο 5 του TX1 στο περιβάλλον του Qgis.....	146
Διάγραμμα 11: Πίτα φθορών- υγιούς υλικού για τον Λίθο 8 του TX2 στο περιβάλλον του Qgis.....	146
Διάγραμμα 12: Πίτα φθορών- υγιούς υλικού για τον Λίθο 13 του TX3 στο περιβάλλον του Qgis.....	147

Περίληψη

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας ήταν η ολιστική τρισδιάστατη γεωμετρική τεκμηρίωση δομικών υλικών και φθορών των οικοδομημάτων της περιοχής της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου που βρίσκεται στον Αρχαιολογικό Χώρο της Αρχαίας Αγοράς στην Αθήνα. Η μελέτη της γεωμετρικής τεκμηρίωσης πραγματοποιήθηκε από το εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της Σχ. ΑΤΜ-ΜΓ του ΕΜΠ με υπεύθυνο τον Ομ. Καθ. Α. Γεωργόπουλο, και ο Μη Καταστρεπτικός Έλεγχος των υλικών πραγματοποιήθηκε από το εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών της Σχ. ΧΜ του ΕΜΠ με υπεύθυνη την Ομ. Καθ. Α. Μοροπούλου. Παράλληλα, υλοποιήθηκε ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (ΣΓΠ), για την καταγραφή, διαχείριση, ανάλυση και οπτικοποίηση της ποιοτικής και ποσοτικής πληροφορίας που προέκυψε από τη διεπιστημονική μελέτη για το μνημείο.

Η γεωμετρική τεκμηρίωση για τη Βιβλιοθήκη του Πανταίνου πραγματοποιήθηκε με συνδυασμό κλασικών τοπογραφικών και φωτογραμμετρικών τεχνικών. Χρησιμοποιήθηκε κλασική τοπογραφία για την γεωαναφορά και τη μέτρηση των φωτοσταθερών σημείων, που αξιοποιήθηκαν στις φωτογραμμετρικές τεχνικές, οι οποίες παρέχουν έναν ικανοποιητικό βαθμό λεπτομέρειας σε πολύ λίγο χρόνο και με σχετικά μικρό κόστος. Έγινε τρισδιάστατη αναπαράσταση με υψηλής ανάλυσης φωτοϋφή για το μνημείο και δημιουργήθηκαν δισδιάστατα σχέδια που απεικόνιζαν ικανοποιητικά τα περιγράμματα των αρχιτεκτονικών μελών και βασικές λεπτομέρειες με ακρίβεια κάτω του 1,25 cm για την κλίμακα 1:50, που επιλέχθηκε.

Στο πλαίσιο του Μη Καταστρεπτικού Ελέγχου των υλικών εφαρμόστηκαν οι Μη Καταστρεπτικές Τεχνικές της Θερμογραφίας Υπερύθρου και της Ψηφιακής Μικροσκοπίας. Με τη χρήση της Θερμογραφίας Υπερύθρου διαπιστώθηκε η παρουσία τριχοειδούς αναρρίχησης υγρασίας καθώς και ότι η θερμοκρασιακή διαφοροποίηση ανάμεσα στα δομικά υλικά αποδίδεται κυρίως στους διαφορετικούς τύπους φθοράς που αυτά παρουσιάζουν. Βάσει των αποτελεσμάτων της Ψηφιακής Μικροσκοπίας, όπου παρατηρούνται χαρακτηριστικά της δομής και της μορφολογίας των δομικών υλικών, ταξινομήθηκαν οι λίθοι σε: Συμπαγείς, Κροκαλοπαγείς, Απολιθωματοφόρους και Αδροκρυσταλλικούς. Επιπλέον, ταξινομήθηκαν οι κύριοι τύποι φθοράς που είναι: Βιοδιάβρωση (Μαύρη Βιοδιάβρωση, Βιοδιάβρωση από βρύα και λειχήνες), Κρούστες και Επικαθήσεις χρώματος.

Για την παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου με φωτοϋφή Θερμογραφίας Υπερύθρου, εφαρμόστηκε η μέθοδος SfM. Η επένδυση του τρισδιάστατου μοντέλου με εικόνες από τη Θερμογραφία Υπερύθρου, έδωσε σαν αποτέλεσμα την ενσωμάτωση όλων των παραπάνω πληροφοριών, σχετικά με τα θερμοκρασιακά εύρη του κάθε δομικού υλικού και των φθορών, στο γεωαναφερμένο τρισδιάστατο μοντέλο της επιφάνειας.

Η ψηφιοποίηση έγινε με μεγάλη λεπτομέρεια, στο AutoCAD και ύστερα εισήχθη στο QGIS (λογισμικό ανοικτής πρόσβασης), για την δημιουργία ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών. Προέκυψαν οι θεματικοί χάρτες των δομικών υλικών και των φθορών που παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για τη δόμηση και τις κατασκευαστικές φάσεις του μνημείου, ενώ βοηθούν την αποτίμηση της επίδρασης ενδογενών και εξωγενών παραγόντων. Στην περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου, η γεωχωρική ανάλυση με βάση τα θεματικά επίπεδα και τα χαρακτηριστικά που αποδόθηκαν στα υλικά και στις φθορές στο ΣΓΠ, διαπιστώθηκε ότι από τους λίθους, που καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό των τοιχοποιιών (66%), ο συμπαγής δομολίθος συναντάται πιο συχνά με ποσοστό 64%, ενώ από τις φθορές συναντάται σε μεγαλύτερο ποσοστό η τριχοειδής αναρρίχηση υγρασίας (34%), και σε ποσοστό περίπου 13% η αποσάθρωση και η απώλεια τόσο του ιστορικού κονιάματος όσο και των δομολίθων.

Λέξεις κλειδιά: Γεωμετρική τεκμηρίωση, 3d μοντέλο με υφή, Θερμογραφία Υπερύθρου, Ψηφιακή Μικροσκοπία, διάγνωση υλικών και φθορών, θεματικοί Χάρτες.

Abstract

The objective of this master's thesis was the holistic three-dimensional geometric documentation of the structural materials and damages of the buildings in the area of the Library of Pantainos, located in the Archaeological Site of the Ancient Agora in Athens. The geometric documentation study was conducted by the Photogrammetry Laboratory of the School of Rural and Surveying Engineering (NTUA) under the supervision of Professor Emeritus A. Georgopoulos, while the Non-Destructive Testing (NDT) of materials was carried out by the Materials Science and Engineering Laboratory of the School of Chemical Engineering (NTUA) under the supervision of Professor Emeritus A. Moropoulou. At the same time, a Geographic Information System (GIS) was implemented to record, manage, analyze, and visualize the qualitative and quantitative information resulting from the interdisciplinary study of the monument.

The geometric documentation for the Library of Pantainos was conducted through a combination of traditional topographic and photogrammetric techniques. Classical surveying was used for georeferencing and measuring the photogrammetric control points, which were then utilized in the photogrammetric techniques, providing a satisfactory level of detail in a short time and at a relatively low cost. A three-dimensional representation with high-resolution photo texture was produced for the monument, and two-dimensional drawings were created, accurately depicting the outlines of the architectural elements and key details, with precision below 1.25 cm for the 1:50 scale chosen.

In the context of the Non-Destructive Testing of materials, the Non-Destructive Techniques of Infrared Thermography and Digital Microscopy were applied. The use of Infrared Thermography revealed the presence of capillary rising damp and that the temperature differentiation among the structural materials is primarily attributed to the various types of decay they exhibit. Based on the results of Digital Microscopy, which allowed observation of the structural characteristics and morphology of the building materials, Stones were classified into four categories: Compact, Conglomerate, Fossiliferous, and Coarse-Crystalline. Furthermore, the primary types of decay were categorized as follows: Biodeterioration (Black Biodeterioration, Biodeterioration from moss and lichens), Crusts, and Soil Deposits.

For the production of the 3D model with Infrared Thermography photo texture, the SfM method was applied. By overlaying the 3D model with images from Infrared Thermography, all the above information regarding the thermal ranges of each structural material and the damages was integrated into the georeferenced 3D model of the surface.

The digitization was carried out in detail in AutoCAD and subsequently imported into QGIS (open-source software) to create a Geographic Information System. Thematic maps of structural materials and damages were generated, providing valuable information about the monument's construction and its various construction phases, while also aiding in assessing the impact of endogenous and exogenous factors. In the case of the buildings of the Library of Pantainos, the geospatial analysis based on thematic layers and the characteristics assigned to materials and damages in the GIS revealed that among the stones, which make up the largest portion of the masonry (66%), compact masonry stone is the most prevalent, comprising 64%. Among the types of decay, capillary rising damp is the most frequent at 34%, followed by the deterioration and loss of both historic mortar and masonry stones at approximately 13%.

Keywords: Geometric documentation, 3D textured model, Infrared Thermography, Digital Microscopy, material and decay diagnosis, thematic maps.

1.Εισαγωγή

1.1 Στόχος εργασίας

Η διπλωματική αυτή έχει ως στόχο την ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση της γεωμετρίας, των δομικών υλικών και φθορών, καθώς και την δημιουργία μίας βάσης δεδομένων που περιέχει, χωρικών και περιγραφικών δεδομένων για δύο οικοδομήματα που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου, στην Αθηναϊκή Αγορά. Κατασκευασμένη γύρω στο 100 μ.Χ., η σημερινή μορφή της διαμορφώθηκε ύστερα από σχεδόν ολοκληρωτική κατεδάφιση από την επιδρομή των Ερούλων το 267μ.Χ.. και την ανακατασκευή υστερορωμαϊκών καταστημάτων. Η περιοχή πλέον αποτελείται από όσα κατάλοιπα τοίχων σώζονται και ανήκει στον αρχαιολογικό χώρο χωρίς να είναι προσβάσιμη στο κοινό.

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκαν τρία τοιχία, ο νότιος τοίχος του κλιμακοστασίου και δύο τοιχία που αποτελούσαν προσόψεις υστερορωμαϊκών καταστημάτων, τα οποία παρουσιάζουν μεγάλες φθορές και βλάβες (ρωγμές, έντονη βιοδιάβρωση και απόκλιση από την κατακόρυφο), με μια διεπιστημονική προσέγγιση και με σκοπό την γεωμετρική τους τεκμηρίωση, την εφαρμογή Μη καταστρεπτικού ελέγχου με τη χρήση των τεχνικών της IRT & DM. Αυτές οι μη καταστρεπτικές τεχνικές εφαρμόστηκαν αντίστοιχα για τη μελέτη της θερμοϋγκρικής συμπεριφοράς των δομικών υλικών, καθώς και για την ταξινόμηση των δομικών υλικών και των παρουσιαζόμενων τύπων φθοράς, βάσει της παρατηρούμενης υφής και μορφολογίας τους. Επιπλέον στόχος ήταν η επένδυση του τρισδιάστατου μοντέλου με υφή Θερμογραφίας Υπερύθρου και την διαμόρφωση μίας βάσης δεδομένων διαγνωστικών πληροφοριών, χωρικών και περιγραφικών, η οποία μπορεί να συμπληρώνεται σε μεταγενέστερες φάσεις και να συσχετίζει τις περιεχόμενες πληροφορίες για να παρέχει σύνθετα αποτελέσματα. Αναλυτικά η διεπιστημονική ομάδα αποτελούνταν από το εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, των ΧΜ του ΕΜΠ, με επιστημονικά υπεύθυνη την Ομ. Καθ. Α. Μοροπούλου και την ομάδα του Εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας, της ΑΤΜ-ΜΓ του ΕΜΠ, με επιστημονικά υπεύθυνο τον Ομ. Καθ. Α. Γεωργόπουλο.

Η γεωμετρική τεκμηρίωση πραγματοποιήθηκε από επιτόπου τοπογραφικές μετρήσεις και φωτογραμμετρικές λήψεις για την εφαρμογή φωτογραμμετρικών διαδικασιών και την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων αυτών ως υπόβαθρο για τη χαρτογράφηση των υλικών, της φθοράς, των μορφολογικών και αρχιτεκτονικών στοιχείων και άλλων χαρακτηριστικών λεπτομερειών σε διαφορετικά επίπεδα. Επίσης Μη Καταστρεπτικοί Έλεγχοι (Θερμογραφία Υπερύθρου (IRT) και Ψηφιακή Μικροσκοπία (DM)) εφαρμόστηκαν επί τόπου στις προσόψεις των τριών τοιχίων, με αποτέλεσμα τον χαρακτηρισμό των δομικών υλικών και τη διάγνωση φθορών.

Εν κατακλείδι, στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαγνωστικής μελέτης το έργο αυτό παρουσιάζει μια ολοκληρωμένη διαδικασία τεκμηρίωσης, γεωμετρικής και περιγραφικής, όσον αφορά τα δομικά υλικά, τις φθορές, και άλλες χαρακτηριστικές οντότητες των όψεων, αλλά και γενικότερα των συνολικότερων δεδομένων από τις ειδικές μελέτες που εκπόνησαν οι ειδικοί των Τοπογράφων και Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ, και εκπόνησης περαιτέρω αξιόπιστων και διεπιστημονικά τεκμηριωμένων αποτελεσμάτων, μέσω του ΣΓΠ, με σκοπό τη συμβολή στην μεταγενέστερη αποκατάσταση της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου.

1.2 Η βιβλιοθήκη του Πανταίνου

Η Αθήνα των κλασικών χρόνων υπήρξε το λίκνο του δυτικού πολιτισμού. Σε όλη τη διάρκεια της αρχαιότητας η πόλη κοσμήθηκε με σπουδαία δημόσια οικοδομήματα, η ανέγερση των οποίων χρηματοδοτήθηκε αρχικά από τους Αθηναίους και αργότερα από ηγεμόνες ελληνιστικών βασιλείων και Ρωμαίους αυτοκράτορες (Εικόνα 1.1). Η ιστορική πορεία της Αθήνας δεν αντικατοπτρίζεται

πουθενά με τόση πληρότητα όσο στην Αγορά, η οποία υπήρξε εμπορικό κέντρο και πυρήνας της δημόσιας ζωής της πόλης. Η Αγορά, μια μεγάλη ανοιχτή πλατεία πλαισιωμένη στις τέσσερις πλευρές της από δημόσια κτήρια, αποτελούσε από κάθε άποψη το κέντρο της πόλης. Τα κτήρια, τα μνημεία και τα κινητά αντικείμενα που έφερε στο φως η αρχαιολογική σκαπάνη αποκάλυψαν τον σημαντικό ρόλο που διαδραμάτισε η Αγορά σε όλους τους τομείς της δημόσιας ζωής (Camp M. John, 2013).



(α)

(β)

Εικόνα 1.1: (α): Κάτοψη αρχαιολογικού χώρου Αρχαίας Αγοράς (Πηγή: [Χάρτης Αρχαίας Αγοράς - Θ-ink \(th-ink.eu\)](#)), (β): Προοπτική Βιβλιοθήκης του Πανταίνου το 1975 από αεροφωτογραφία (Πηγή: [Hesperia, Agora Image: 2000.03.0015](#))

Στη νοτιοανατολική άκρη της Αρχαίας Αγοράς, νότια της Στοάς του Αττάλου ανάμεσα στο 98 και 102 μ.Χ. χτίστηκε η Βιβλιοθήκη του Πανταίνου. Η ταυτοποίηση της βασίστηκε σε δύο επιγραφές που βρέθηκαν κατά την ανασκαφή, η μία αναφερόταν στην δωρεά της Βιβλιοθήκης και η άλλη στους κανόνες της. Η πρώτη φαίνεται στην Εικόνα 1.2(α) και γράφει το εξής: «Στην Αθηνά Πολιάδα και στον Αυτοκράτορα Καίσαρα Σεβαστό Νέρβα Τραϊανό Γερμανικό και στην πόλη των Αθηναίων, ο ιερέας των Φιλοσόφων Μουσών Τίτος Φλάβιος Πάνταινος, γιος του Διαδόχου Φλαβίου Μενάνδρου, και τα παιδιά του Φλάβιος Μενάνδρος και Φλαβία Σεκουνδίλλη αφιέρωσαν, με δικά τους έξοδα, τις εσωτερικές στοές, το περιστύλιο, τη βιβλιοθήκη με τα βιβλία και όλο τον εξοπλισμό της.». Η δεύτερη διασώζει τον κανονισμό λειτουργίας της βιβλιοθήκης: «Κανένα βιβλίο δεν θα βγει από τη βιβλιοθήκη, σύμφωνα με τον όρκο που δώσαμε. (Η βιβλιοθήκη) θα είναι ανοιχτή από την πρώτη μέχρι την έκτη ώρα.» (Εικόνα 1.2(β)).



(α)



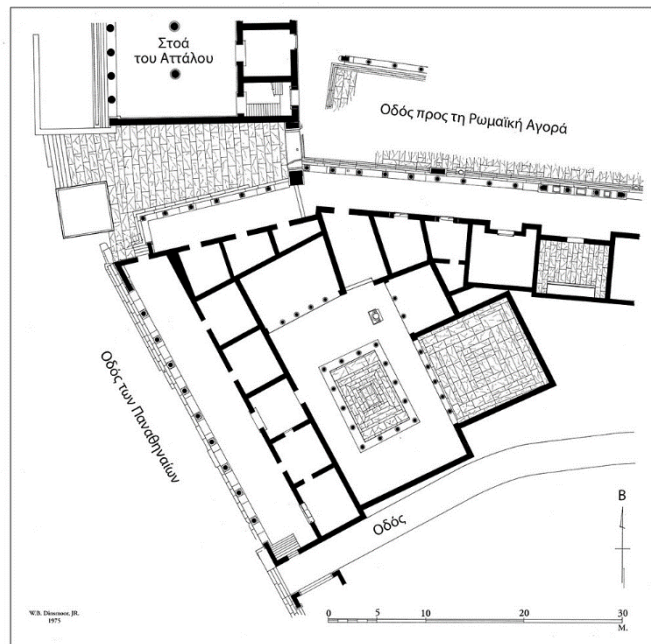
(β)

Εικόνα 1.2(α): Αφιερωμένη επιγραφή που αναφέρεται στην δωρεά της Βιβλιοθήκης, (β): επιγραφή με κανονισμούς της Βιβλιοθήκης. (Πηγή: [Hesperia](#))

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Το σχέδιο του κτηρίου (Εικόνα 1.3) παρουσιάζει πολύ ασυνήθιστη κάτοψη και δε μοιάζει με άλλες γνωστές σύγχρονες ρωμαϊκές βιβλιοθήκες (π.χ. των Θερμών και του φόρουμ του Τραϊανού). Το σχέδιο προέκυψε από την ανάγκη προσαρμογής σε ένα εξαιρετικά ακανόνιστο οικόπεδο, στα νότια της Στοάς του Αττάλου και ανατολικά της Παναθηναϊκής οδού. Ο πυρήνας του αποτελείται από δύο χώρους, μια μεγάλη υπαίθρια αυλή, με δάπεδο στρωμένο με μικρές ακανόνιστες ψηφίδες μαρμάρου βυθισμένες σε κονίαμα και ένα μεγάλο τετράγωνο δωμάτιο, που ανοιγόταν στα ανατολικά και του οποίου το δάπεδο ήταν στρωμένο με μαρμάρινες πλάκες. Σε μεταγενέστερη φάση προστέθηκε στην αυλή ένα περιστύλιο, το κεντρικό μέρος του οποίου επίσης ήταν στρωμένο με μαρμάρινες πλάκες.

Το επιστύλιο της βόρειας και της δυτικής πρόσοψης του κτηρίου στηριζόταν σε αρράβδωτους ιωνικούς κίονες από γαλάζιο μάρμαρο, ενώ η τοιχοποιία δεν ήταν ιδιαίτερα προσεγμένη. Γύρω από αυτούς τους δύο χώρους βρίσκονταν τρεις στοές, οι οποίες σχηματίζουν μεταξύ τους ακανόνιστες γωνίες. Η δυτική στοά ακολουθούσε το ανατολικό κρᾶσπεδο της οδού των Παναθηναίων. Η μικρή βόρεια στοά έβλεπε στο νότιο άκρο της Στοάς του Αττάλου και διατηρείται σε αρκετά καλή κατάσταση. Η μακρά ανατολική στοά ακολουθούσε τη νότια πλευρά της οδού που συνέδεε την Αγορά με τη Ρωμαϊκή Αγορά (διαδικτυακή πηγή: th-ink.eu).



Εικόνα 1.3: Κάτοψη της Βιβλιοθήκη του Πανταίνου. (πηγή: Αμερικανική Σχολή Κλασικών Σπουδών στην Αθήνα)

Όταν χτίστηκε η Βιβλιοθήκη του Πανταίνου, το κλιμακοστάσιο στο νότιο άκρο της στοάς και η εξέδρα που βρίσκονταν κάτω από αυτό κατεδαφίστηκαν, προκειμένου να επαναχαραχτεί ο δρόμος που κατευθυνόταν προς τη Ρωμαϊκή Αγορά. Στο ανατολικό πέρας της πλακόστρωτης αυτής περιοχής υπήρχε τοξωτή πύλη (Εικόνα 1.4), από την οποία διατηρείται το κατώφλι και το κάτω μέρος των πεσσών.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

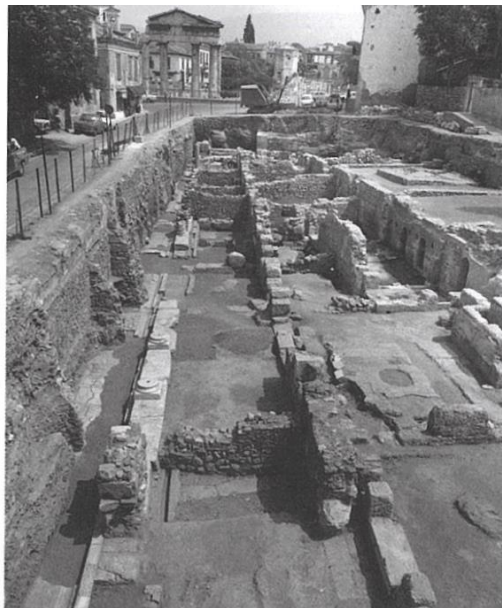


Εικόνα 1.4: Η Πλατεία οδός και η νότια στοά από δυσμίας (2ος αι. μ.Χ.). Σε πρώτη άποψη, η τοξωτή πύλη στο ΝΑ άκρο της Στοάς Αττάλου από όπου ξεκινούσε η μαρμαροστρωμένη οδός. Στο βάθος η πύλη της Αθηνάς Αρχηγέτιδος και το κλιμακοστάσιο. (Πηγή: *Hesperia*)

Από την τοξωτή πύλη στο νοτιοανατολικό άκρο της Στοάς του Αττάλου, ξεκινούσε η μαρμαροστρωμένη οδός που οδηγούσε κατευθείαν στην κύρια είσοδο της Αγοράς του Καίσαρα και του Αυγούστου, τη λεγόμενη Πύλη της Αθηνάς Αρχηγέτιδος (Εικόνα 1.4). Λίγο πριν την είσοδο της Αγοράς ωστόσο την πορεία της μαρμαροστρωμένης οδού, που κατευθύνονταν από ανατολή προς δύση, την διέκοπτε ένας δρόμος, ο οποίος έρχονταν από νότια. Αφού διέσχισε κανείς αυτόν τον δρόμο, ανέβαινε μία μνημειώδη κλίμακα για να φτάσει στο ψηλότερο επίπεδο, μπροστά στην Πύλη της Αθηνάς.

Το νότιο κράσπεδο της μαρμαροστρωμένης οδού, που έφτανε σε πλάτος τα 10μ. περίπου, όριζε μία ιωνική στοά της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου. Μπροστά από τα σκαλοπάτια υπήρχε μαρμάρινος αποχετευτικός αγωγός για την απομάκρυνση των όμβριων υδάτων. Η στοά της, ο στυλοβάτης και οι βάσεις μερικών κιόνων διατηρούνται στην αρχική τους θέση (Εικόνα 1.5), λειτουργούσε ως κοινή πρόσοψη 12 δωματίων, πολύ διαφορετικών μεταξύ τους ως προς το μέγεθος και το σχήμα. Αν και τα περισσότερα δωμάτια αναγνωρίζονται ως καταστήματα, υπάρχουν κάποια με ασυνήθιστα

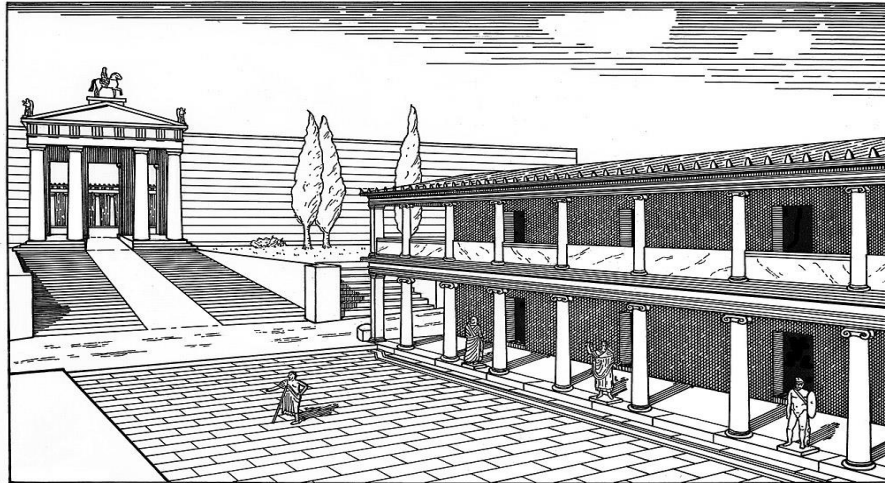
χαρακτηριστικά, που υποδηλώνουν άλλες χρήσεις. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το πέμπτο από τα δυτικά δωμάτια, που σύμφωνα με τα ευρήματα, είναι πολύ πιθανό να χρησιμοποιήθηκε ως ιερό για την αυτοκρατορική λατρεία. (Camp M. John, 2013).



Εικόνα 1.5: Άποψη από τα δυτικά της στοάς, στο βάθος διακρίνεται η Πύλη της Αθηνάς Αρχηγέτιδος. (Πηγή: *Camp, ο οδηγός της Αρχαίας Αγοράς*)

Η στοά και τα προκείμενα σε αυτήν δωμάτια υπέστησαν σοβαρές ζημιές από την επιδρομή των Ερούλων το 267μ.Χ., αλλά ανοικοδομήθηκαν σε μεγάλο βαθμό στις αρχές του 5^{ου} αιώνα (Εικόνα 1.6).

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 1.6: Αναπαράσταση της παρόδιας στοάς στην νότια παρυφή της μαρμαροστρωμένης οδού από την προσθήκη δεύτερου ορόφου, κατά τον 5ο αι..(Πηγή: Hesperia, κωδικός: 2008.20.0060)

Στο πλαίσιο αυτής της μελέτης επιλέχθηκαν για να εξεταστούν τα δομικά υλικά και οι φθορές τριών τοίχων που αποτελούν τμήματα της στοάς της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου. Στην Εικόνα 1.7 παρουσιάζονται οι τοίχοι που θα εξεταστούν στην παρούσα εργασία με τις ονομασίες που θα χρησιμοποιούνται από δω και στο εξής: TX1 για τον τοίχο του κλιμακοστασίου, TX2 για τον τοίχο μεταξύ των δωματίων 8 και 7 και TX3 για τον τοίχο μεταξύ των δωματίων 7 και 6. Η επιλογή έγινε με βάση την ασφαλή πρόσβαση, την κατάσταση διατήρησής τους, δηλαδή του επιπέδου φθοράς και της παθολογίας τους (π.χ. ρωγμές, υγρασία, αποσάθρωση υλικών), τα δομικά χαρακτηριστικά, καθώς επιλέχθηκε μία τοιχοποιία δομημένη εν ξηρώ, αποτελούμενη μόνο από λίθους, στην οποία δεν έχει γίνει καμία αποκατάσταση (TX1), και δύο τοιχοποιίες αποτελούμενες από λίθους, πλίνθους και κονιάματα, στις οποίες έχουν γίνει επεμβάσεις αποκατάστασης. Επιπλέον, επιλέχθηκαν βάση της λειτουργικής σημασίας τους, καθώς ο TX1 βρίσκεται πλησίον του κλιμακοστασίου που οδηγεί από την Αρχαία Αγορά στην Ρωμαϊκή Αγορά γίνεται σαφές πως αποτελούσε μία καλή δημόσια κατασκευή, αφού έχει μέχρι σήμερα ένα καλά διατηρημένο ισόδομο σύστημα. Ενώ, οι TX2 και TX3 φαίνεται να είναι επιχρισμένες τοιχοποιίες οικιών ή εμπορικών καταστημάτων, αποτελούμενες από αργολιθοδομές.

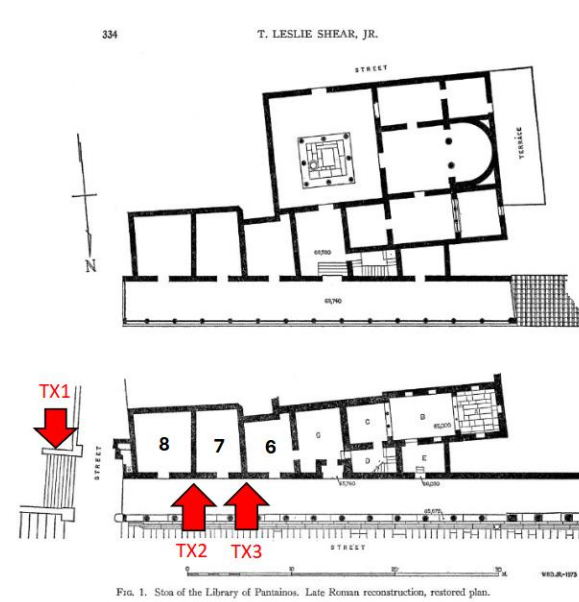


FIG. 1. Stoa of the Library of Pantainos. Late Roman reconstruction, restored plan.

Εικόνα 1.7: Άνω: Κάτοψη του Υ/Ρ οικοδομήματος (5ος αι.μ.Χ.) στη στάση του ισογείου. Κάτω: Κάτοψη τμήματος της Πλατείας οδού, της παρόδιας νότιας στοάς και των υπογείων δωματίων του Υ/Ρ οικοδομήματος. Σημειωμένοι με κόκκινο βέλος τα τοίχια ενδιαφέροντος. (Πηγή: Hesperia)

2.Γενικό Θεωρητικό

2.1 Διεθνείς συμβάσεις για προστασία πολιτιστικής κληρονομιάς, Διεπιστημονικότητα και Μεθοδολογία Διαγνωστικής Μελέτης

2.1.1 Διεθνείς συμβάσεις

Η σταδιακή εννοιολογική διεύρυνση του αντικειμένου της προστασίας, από το μεμονωμένο κτήριο/μνημείο στα πολιτιστικά αγαθά και την πολιτιστική κληρονομιά, όχι μόνον την απτή αλλά και την άυλη και ψηφιακή, αποτελεί ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των διεθνών κανονιστικών κειμένων του τέλους του 20ού και των αρχών του 21ου αιώνα. Ακόμα, το ζήτημα της μνημειακής αποκατάστασης ανέκυψε έντονα και μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Αφού, επικράτησε αβίαστα η άποψη της αποκατάστασης της ιστορικής φυσιογνωμίας των μεμονωμένων αρχιτεκτονημάτων, αλλά και των ευρύτερων βομβαρδισμένων τμημάτων των πόλεων. Έτσι, η έντονη αυτή δραστηριότητα και τα πρωτόγνωρα προβλήματα είχαν ως αποτέλεσμα την δημιουργία μίας σειράς συμβάσεων (Μαλλούχου Tufano, Φ., 2016). Οι πιο σημαντικές συμβάσεις που θα αναλυθούν παρακάτω είναι: ο Χάρτης των Αθηνών (1931) που ορίζει ως αντικείμενο προστασίας τα μνημεία «με ιστορικό, καλλιτεχνικό ή επιστημονικό ενδιαφέρον και το άμεσο περιβάλλον τους», η Χάρτη της Βενετίας (1964) που είναι ο πρώτος πραγματικά διεθνής (υπό την έννοια της συμμετοχής στην ψήφισή του και χωρών εκτός Ευρώπης) Χάρτης Αποκαταστάσεως Μνημείων και Τόπων, και η Διακήρυξη του Άμστερνταμ (1975), η οποία θεωρεί ως ζωτικής σημασίας τη διατήρηση της ευρωπαϊκής αρχιτεκτονικής κληρονομιάς, η οποία αρχίζει να περιλαμβάνει «ολόκληρες πόλεις ή χωριά ιστορικού ή πολιτιστικού ενδιαφέροντος».

Συνοπτικά στον “Χάρτη των Αθηνών” γίνεται αναφορά στην οριστική εγκατάλειψη του δόγματος της ολικής στυλιστικής αποκατάστασης, ενώ προσδίδεται κύριο βάρος στην τακτική συντήρηση των μνημείων και στην «αναστήλωση» (με κυριολεκτική έννοια του όρου) των αρχαίων ερειπίων. Υπογραμμίζεται, η ανάγκη διαφύλαξης του άμεσου περιβάλλοντος των μνημείων καθώς και της τελικής διαμόρφωσης των αρχαιολογικών χώρων. Επιπλέον, υιοθετούνται, αλλά με κριτικό πνεύμα, οι σύγχρονες τεχνολογίες για την επίλυση ειδικών προβλημάτων. Επίσης, υπογραμμίζεται η ανάγκη διεπιστημονικής συνεργασίας για την επισήμανση και την αντιμετώπιση των ποικίλων φαινομένων της κατάστασης διατήρησης των μνημείων, και προτείνει στις ανασκαφές και στις εργασίες διατήρησης, τη στενή συνεργασία μεταξύ αρχαιολόγου και αρχιτέκτονα. Τέλος, γίνεται αποδεκτή η χρησιμοποίηση σύγχρονων υλικών για τη στερέωση των μνημείων και κυρίως του οπλισμένου σκυροδέματος, με την προϋπόθεση όμως ότι τα υλικά αυτά θα βρίσκονται στο εσωτερικό των κατασκευών, ώστε να μην φαίνονται και να μην αλλοιώνουν την όψη τους. Τέλος, ενθαρρύνεται η διενέργεια ειδικών προγραμμάτων για την εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση των νέων στις έννοιες της προστασίας και της διαφύλαξης της πολιτιστικής κληρονομιάς (Μαλλούχου Tufano, Φ., 2016) (The Athens Charter, 1931).

Στο Διεθνές Συνέδριο των Αρχιτεκτόνων και των Τεχνικών των Ιστορικών Μνημείων της Βενετίας το Μάιο του 1964, διατυπώνεται ο νέος Διεθνής Χάρτης της Αποκατάστασης, γνωστός ως Χάρτα της Βενετίας (ICOMOS, 1965) και αποτελεί έως σήμερα το κύριο ισχύον διεθνώς πλαίσιο αρχών επέμβασης στα μνημεία. Στο κείμενο αυτό, κρίνονται έγκυρα τα άρθρα του Χάρτη των Αθηνών, αλλά επανεξετάζονται, διορθώνονται και επεκτείνονται. Το κείμενο του Χάρτη της Βενετίας αποτελεί σύνοψη της πείρας και των θεωρητικών απόψεων μεγάλου αριθμού ειδικών των αποκαταστάσεων, αποτέλεσμα της επιστημονικής θετικιστικής σκέψης της Ευρώπης. Οι βασικές αρχές και έννοιες του Χάρτη της Βενετίας έχουν ως εξής:

Ορίζεται η έννοια του ιστορικού μνημείου, που περιλαμβάνει όχι μόνο το μεμονωμένο αρχιτεκτόνημα αλλά επίσης την αστική και αγροτική τοποθεσία στην οποία βρίσκονται οι μαρτυρίες ενός ιδιαίτερου πολιτισμού, μίας σημαντικής εξέλιξης ή ενός ιστορικού γεγονότος. Επίσης, ορίζεται ότι η συντήρηση και αποκατάσταση των μνημείων πρέπει να προσφεύγει σε όλες τις επιστήμες και τις τεχνικές που μπορούν να συνεισφέρουν στην μελέτη και τη διαφύλαξη της πολιτιστικής κληρονομιάς, για αυτό και επιτάσσεται η τεκμηρίωση των έργων, να κατατίθεται σε δημόσια αρχεία προσιτά στους ερευνητές και δημοσίευση των επεμβάσεων μετά την ολοκλήρωσή τους. Διαπιστώνεται η σημασία της διαρκούς συντήρησης των μνημείων. Επισημαίνεται η ανάγκη διατήρησης της σχέσης του μνημείου με το περιβάλλον του. Επιπλέον, τονίζεται ότι η συντήρηση πρέπει να είναι προληπτική, συνεχής, αλλά και να προτιμώνται παραδοσιακά υλικά και τεχνικές. Επίσης, η αποκατάσταση πρέπει να διατηρεί και να αναδεικνύει τις αισθητικές και ιστορικές αξίες του μνημείου, να σταματά εκεί που ξεκινούν οι υποθέσεις, να τεκμηριώνεται ιστορικά και να φέρει την σφραγίδα του παρόντος. Ακόμα, αναγνωρίζεται η σημασία της εμπειρίας, της επιστημονικής συμβολής και της αξιοποίησης σύγχρονων τεχνικών στις αποκαταστάσεις. Επίσης, επισημαίνεται ότι η συμπλήρωση μελών πρέπει να είναι αρμονική με το όλο, αλλά και διακριτή στο θεατή. Πολύ σημαντική είναι η επικύρωση των οδηγιών της UNESCO για τις αρχαιολογικές ανασκαφές, και προτρέπει την προστασία των ερειπίων. Τέλος, σύμφωνα με το άρθρο 16, επιβάλλεται η τεκμηρίωση πριν από κάθε είδους επέμβαση και τονίζεται η σημασία που ακολουθεί κάθε επέμβαση (Μαλλούχου Tufano, Φ., 2016).

Μετά τον Χάρτη της Βενετίας ακολουθεί η έκδοση μιας πληθώρας κανονιστικών κειμένων σχετικά με το ζήτημα της μνημειακής προστασίας. Τα κείμενα αυτά, που είναι διαφόρων ποιότητων και βαρύτητας (εκτείνονται από οδηγίες/συστάσεις, αποφάσεις, διακηρύξεις έως χάρτες αρχών και συμβάσεις), εκδίδονται αλληπάλληλα σε διεθνές, εθνικό ακόμη και τοπικό επίπεδο, με ολοένα αυξανόμενο ρυθμό. Ένα από τα κείμενα αυτά, με διεθνή αναγνώριση και αποδοχή είναι η Διακήρυξη του Άμστερνταμ.

Στο Συμβούλιο της Ευρώπης, συντάχθηκε η Διακήρυξη του Άμστερνταμ (CoE, 1975) και διατυπώθηκε η έννοια της ολοκληρωμένης διατήρησης. Στη Διακήρυξη αυτή δίνεται έμφαση σε ορισμένες βασικές θεωρήσεις: α) τη σπουδαιότητα της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς της Ευρώπης που προσδίδει στους λαούς της τη συνείδηση της κοινής τους ιστορίας και κοινού μέλλοντος, β) το εύρος του μεγέθους των αντικειμένων της κληρονομιάς, γ) την κοινή ευθύνη για την προστασία θησαυρών της κληρονομιάς απέναντι στις φυσικές και ανθρωπογενείς καταστροφές, την εγκατάλειψη, τη φθορά, την άκριτη νέα οικοδόμηση, τη μόλυνση και την υπερβολική κίνηση, δ) τη συμπερίληψη της αρχιτεκτονικής συντήρησης ως σημαντικού στόχου του αστικού και περιφερειακού σχεδιασμού, ε) τη σημασία της αναβίωσης ιστορικών περιοχών για κοινωνικούς λόγους, στ) την ευθύνη των φορέων της τοπικής αυτοδιοίκησης και τη συμμετοχή των πολιτών, ζ) την ανάγκη για προσαρμογή των νομοθετικών και διοικητικών μέτρων, η) την ανάγκη για διάθεση των κατάλληλων μέσων χρηματοδότησης, θ) την ανάγκη για προώθηση της μεθοδολογίας και των τεχνικών της αποκατάστασης και αναστήλωσης, ι) την ανάγκη για κίνητρα, ια) την ανάγκη για υψηλή ποιότητα στα σύγχρονα κτήρια αφού αυτά θα αποτελέσουν την αρχιτεκτονική κληρονομιά του μέλλοντος (Διακήρυξη του Άμστερνταμ, 1975 icomos.org)

Η καινοτομία της διακήρυξης είναι ότι προτείνεται μία ολοκληρωμένη στρατηγική συντήρησης που καλύπτει τις ιστορικές πόλεις, τις παλιές γειτονιές, τις κωμοπόλεις και χωριά με παραδοσιακό χαρακτήρα, τα ιστορικά πάρκα και τους κήπους, όλα τα πολιτιστικής αξίας αρχιτεκτονήματα από το μεγαλύτερο στο πιο ταπεινό, εφαρμόζοντας τακτική μακροπρόθεσμης αντιμετώπισης. Δίνεται σημασία στη διατήρηση του περιβάλλοντος και της ιστορικής συνέχειας, της

κοινωνικής συνοχής και της ποικιλομορφίας του αστικού χώρου, την αποκατάσταση του υφιστάμενου κτηριακού αποθέματος (που όμως πρέπει να προσαρμοστεί στις σύγχρονες ανάγκες) και στη διατήρηση παραδοσιακών επαγγελμάτων/ τεχνικών.

Η θεαματική ανάπτυξη του πολιτιστικού τουρισμού και οι εκπληκτικές τεχνολογικές εξελίξεις τα τελευταία χρόνια οδήγησαν σε συζητήσεις για τη διερεύνηση, τη διατήρηση, την ερμηνεία και την παρουσίαση διαφόρων στοιχείων της Πολιτιστικής Κληρονομιάς χρησιμοποιώντας οπτικοποίηση μέσω υπολογιστή. Έτσι, υπήρξε σαφής ανάγκη για μια θεωρητική συζήτηση με την εξαγωγή τεχνικών κανόνων, που θα επιτρέψουν στους διαχειριστές Πολιτιστικής Κληρονομιάς να χρησιμοποιήσουν το καλύτερο που μπορεί να τους προσφέρει η νέα τεχνολογία. Συνεπώς, οπουδήποτε εφαρμόζεται οπτικοποίηση μέσω υπολογιστή για την έρευνα και τη διάδοση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς πρέπει να ακολουθείται η Χάρτα του Λονδίνου (The London Charter, 2006), η οποία καθιερώνει ένα σύνολο αρχών που διασφαλίζουν ότι η οπτικοποίηση της ψηφιακής κληρονομιάς είναι ακριβής και αυστηρή σε πνευματικούς και τεχνικούς κανόνες όσο είναι και οι καθιερωμένες μέθοδοι για την μελέτη της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ενώ, σύμφωνα με την Χάρτα της Σεβίλλης (The Principles of the Seville Charter, 2017), ο κύριος σκοπός της ψηφιακής Πολιτιστικής Κληρονομιάς θα είναι πάντα η εξυπηρέτηση της κοινωνίας στο σύνολό της και η συμβολή στην ανθρώπινη γνώση. Ωστόσο, δεν πρέπει να θεωρηθεί ότι η οπτικοποίηση μέσω υπολογιστή είναι πανάκεια για την αντιμετώπιση όλων των στόχων για την πολιτιστική κληρονομιά.

2.1.2 Διεπιστημονικότητα

Στο πεδίο της προστασίας μνημείων έχει ανακύψει η αυξανόμενη ανάγκη για τεκμηρίωση και οπτικοποίηση ιστορικών κτηρίων, καθώς ύστερα από την έγκριση του Χάρτη της Βενετίας (1964) είναι απαραίτητη η τεκμηρίωση του μνημείου, αναφορικά με την παθολογία και την κατάσταση διατήρησής του, πριν αλλά και ύστερα από κάθε επέμβαση. Τα τελευταία χρόνια, η ερευνητική κοινότητα χρησιμοποιεί τα GIS (Geographic Information Systems) που σχετίζονται με τη μελέτη, σχεδίαση, ανάπτυξη, υλοποίηση, και διαχείριση υπολογιστικών πληροφοριακών συστημάτων, ως εργαλεία που εξυπηρετούν αυτό το σκοπό της διατήρησης και γενικότερα της φροντίδας της πολιτιστικής κληρονομιάς και γίνονται πολύπλευρες προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση. 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.

Αυξανόμενη ανάγκη έχει ανακύψει, 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 γίνονται πολύπλευρες προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση. 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 δεδομένων εντός ενός μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων (Finite element model –FEM) ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη αξιολόγηση της στατικής επάρκειας.

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 για αυτήν 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. 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 φθορά τους, οδηγεί στη δημιουργία ενός τρισδιάστατου ανακατασκευασμένου γεωμετρικού μοντέλου με υφή.

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.

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. Αρχεία 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 Ελέγχων (non-destructive techniques - NDTs) και εργαστηριακών αναλύσεων κατόπιν δειγματοληψίας. Πιο συγκεκριμένα, μέσω των NDTs, μπορούν να καταγράφουν πληροφορίες που αφορούν στα 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. Κρίσιμη είναι επίσης η ενσωμάτωση δεδομένων δομικών υλικών σε μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων για τον έλεγχο της δομικής απόκρισης ώστε να επιλεγθούν τα κατάλληλα συμβατά υλικά αποκατάστασης που θα χρησιμοποιηθούν σε πιθανές επεμβάσεις συντήρησης.

Η χρήση των προϊόντων της τρισδιάστατης γεωμετρικής τεκμηρίωσης από φωτογραμμετρικές τεχνικές έχει καθιερωθεί, ως υπόβαθρο για την ανάπτυξη των θεματικών χαρτών

σε περιβάλλον ΣΓΠ (Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών). Επίσης, το πεδίο διαχείρισης δεδομένων πολιτιστικών πληροφοριών μέσω ΣΓΠ, έχει ακόμη πολλές ανεξερεύνητες δυνατότητες και δυναμική ιδιαίτερα σε περιπτώσεις διαχείρισης δεδομένων που αφορούν σε τρεις και περισσότερες διαστάσεις. 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 ενιαία χωρικά σύστημα, μπορεί να βοηθήσει στον έλεγχο του κύκλου ζωής του υπό εξέταση ιστορικού κτηρίου και μνημείου καθώς και στη βιωσιμότητά του.

Επιπλέον, πολλές δυνατότητες στον τομέα της διαφύλαξης της Πολιτιστικής Κληρονομιάς έχουν το BIM (Building Information Modeling) και το HBIM (Historic Building Information Modeling), τα οποία είναι τεχνολογίες που σχετίζονται με τον τομέα του κτηριακού σχεδιασμού και διαχείρισης. Το BIM είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται κυρίως σε νέα κτήρια και κατασκευές. Βασίζεται σε ένα ψηφιακό μοντέλο (ψηφιακό δίδυμο) του κτηρίου, το οποίο περιλαμβάνει πληροφορίες για τη γεωμετρία, τα υλικά, τις δομικές λεπτομέρειες και άλλες παραμέτρους. Το BIM περιλαμβάνει την πιο αποτελεσματική σχεδίαση, κατασκευή, συντήρηση, ανακαίνιση και διαχείριση των νέων κτηρίων με την αξιοποίηση των ψηφιακών πληροφοριών που περιέχει. Το HBIM είναι μια ειδική μορφή του BIM που επικεντρώνεται στη διαχείριση ιστορικών κτηρίων και πολιτιστικής κληρονομιάς. Αντίθετα με το BIM, το HBIM επιλύει μοναδικές προκλήσεις που προκύπτουν κατά τη διαχείριση των ιστορικών κτηρίων και για αυτό επιτρέπει τον αποτελεσματικότερο σχεδιασμό έργων συντήρησης και την προστασία της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς.

Συνολικά η διεπιστημονικότητα είναι σημαντική για την ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με την αποκατάσταση της πολιτιστικής κληρονομιάς και ο Τοπογράφος Μηχανικός συνεισφέρει σε αυτό με την εξειδίκευσή του στην συλλογή γεωχωρικών δεδομένων και στη χωρική ανάλυση.

2.1.3 Διαγνωστική Μελέτη

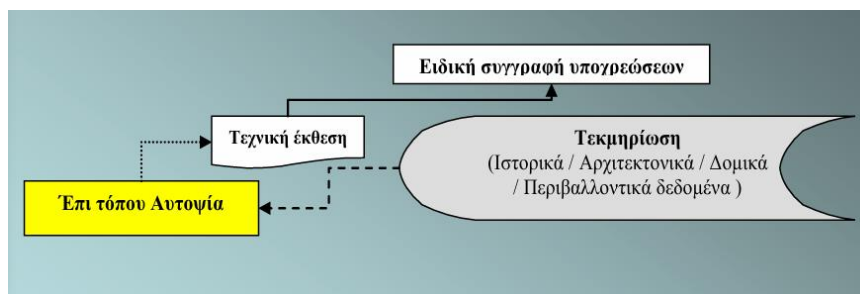
Ένα πρώτο βήμα για την αποτελεσματική προστασία ενός μνημείου πολιτιστικής κληρονομιάς, είναι η σύνταξη μιας ολοκληρωμένης διεπιστημονικής Διαγνωστικής Μελέτης των δομικών υλικών του και της φθοράς τους. Αποδεικνύεται, ότι ο σχεδιασμός και ο προγραμματισμός της διαγνωστικής μελέτης κάτω από συγκεκριμένα πρότυπα, μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της διάρκειας ζωής των κτηρίων. Είναι προφανές ότι υπάρχει μια αυξανόμενη ανάγκη για τον προσδιορισμό της αντοχής και της διάρκειας ζωής των ιστορικών κτηρίων. Η παρακολούθηση του κύκλου ζωής των υλικών (ιδιοτήτων, χαρακτηριστικών και κόστους) του ιστορικού κτηρίου πρέπει να είναι συνεχής και ολοκληρωμένη. Δυστυχώς, σε περιπτώσεις ιστορικών κτηρίων, που τα αυθεντικά υλικά και πολλές φορές παλαιότερα υλικά διατήρησης δεν μπορούν να αναπαραχθούν βιομηχανικά (όπως τα σύγχρονα) καθιστά τη διαδικασία ακόμη πιο περίπλοκη. Ως εκ τούτου, υπάρχει μεγάλη ανάγκη τα συλλεγόμενα δεδομένα σχετικά με τη λειτουργικότητα και τα κρίσιμα χαρακτηριστικά απόδοσης των ιστορικών δομικών υλικών να είναι συγκρίσιμα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο όταν ακολουθείται η ίδια μεθοδολογία μελέτης.

Ένα πρωτόκολλο διάγνωσης θα δώσει στην επιστημονική κοινότητα κοινά κριτήρια για τα βήματα και τις μεθόδους που απαιτούνται για τον χαρακτηρισμό των υλικών και τη διάγνωση της φθοράς, καθώς και για τη διαδικασία αξιολόγησης προηγούμενων υλικών διατήρησης και επεμβάσεων. Παράλληλα, το επίπεδο των υπηρεσιών από δημόσιους ή/και ιδιωτικούς φορείς που

αναλαμβάνουν τη διαχείριση συντήρησης ιστορικών κτηρίων θα διασφαλιστεί καλύτερα στο πλαίσιο ενός καλά οργανωμένου ολοκληρωμένου προγράμματος, το οποίο θα αναπτύξει τον σύγχρονο κοινωνικοοικονομικό ιστό εργασιών συντήρησης/αποκατάστασης. Οι επεμβάσεις οφείλουν να γίνονται σύμφωνα με τους διεθνείς κανόνες και οδηγίες που έχουν θεσπιστεί μέχρι τη στιγμή της μελέτης, να ελέγχονται οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν όσο και να διασφαλίζεται η αναστρεψιμότητά τους.

Η μεθοδολογία διαγνωστικής μελέτης στοχεύει στην διεπιστημονική προσέγγιση κατά τον χαρακτηρισμό των βλαβών, φθορών, και των μορφολογικών προβλημάτων των μνημείων. Της Διαγνωστικής μελέτης προηγείται η Προκαταρκτική Μελέτη, και έπεται η Ολοκληρωμένη Μελέτη Επεμβάσεων. Πρώτο στάδιο είναι η προκαταρκτική μελέτη που περιλαμβάνει την ιστορική και βιβλιογραφική τεκμηρίωση την οποία συνιστάται να αναλαμβάνουν Ιστορικοί και Αρχαιολόγοι, και είναι χρήσιμη για να διαθέτουν όλοι οι κλάδοι των μελετητών μια προκαταρκτική εικόνα του μνημείου. Έπεται η γεωμετρική τεκμηρίωση, που αναλαμβάνουν Αγρονόμοι και Τοπογράφοι Μηχανικοί και η αρχιτεκτονική αποτύπωση από Αρχιτέκτονες Μηχανικούς. Ακόμα, η κατασκευαστική ανάλυση, αναγνώριση και περιγραφή του δομικού συστήματος, την οποία αναλαμβάνουν Πολιτικοί Μηχανικοί και τέλος η χαρτογράφηση και αναγνώριση υλικών, φθορών και προηγούμενων επεμβάσεων, που μπορούν να αναλαμβάνουν Χημικοί Μηχανικοί, Μηχανικοί της Επιστήμης των Υλικών, καθώς και άλλοι εξειδικευμένοι μηχανικοί (Α. Μοροπούλου, Διδακτικές Σημειώσεις, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, 2023).

Γενικά, στο στάδιο της προκαταρκτικής μελέτης, γίνεται λήψη φωτογραφιών, σε αντιπροσωπευτικές θέσεις (χαρακτηριστικά δομικά μέλη, τεχνικές και μέθοδοι κατασκευής, φθορές-βλάβες, κλπ.), σκαριφήματα με στοιχεία για τα υλικά, τη δόμηση, την κατάσταση και τα προβλήματα, ώστε να σχηματιστεί μία πρώτη εικόνα για τις απαιτούμενες επεμβάσεις επισκευής ή και ενίσχυσης, ενδεχομένως, σε συνδυασμό με πρόσθετες ή ειδικές έρευνες. Ενώ παράλληλα, προσδιορίζονται και οι κατάλληλες εργασίες για την παρακολούθηση παραμορφώσεων και μικρομετακινήσεων.



Εικόνα 2.1: Στάδια Υλοποίησης της Προκαταρκτικής μελέτης των υλικών (Πηγή: «Σύνταξη προδιαγραφών της Διαγνωστικής Μελέτης σε διεπιστημονική βάση για έκδοση υπουργικής απόφασης για την υλοποίηση του Ν.3028 του ΥΠΠΟ για την Προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς», (2004 -2005), Εισήγηση ΟΕ ΤΕΕ)

Μετά την προκαταρκτική μελέτη ακολουθεί η διαγνωστική που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.1 και προσπαθεί να ενσωματώσει όλα τα απαραίτητα βήματα. Περιλαμβάνει τον χαρακτηρισμό των αρχιτεκτονικών/ μορφολογικών/ λειτουργικών προβλημάτων των δομημάτων που συνιστάται να αναλαμβάνουν Αρχιτέκτονες και την αποτίμηση της ικανότητας του δομικού συστήματος στις φορτίσεις και καταπονήσεις που συνιστάται να αναλαμβάνουν Πολιτικοί Μηχανικοί. Ύστερα, λαμβάνει χώρα η επιθεώρηση του κτηρίου, που συμπληρώνονται εγχειρίδια και λίστες ελέγχου από τους ειδικούς λαμβάνοντας υπόψη την κατάσταση διατήρησης του κτηρίου και την αναγκαιότητα εφαρμογής των επεμβάσεων διατήρησης. Αυτό γίνεται με επί τόπου μακροσκοπικές παρατηρήσεις και πρόχειρα σκαριφήματα – μια πρώτη καταγραφή της κατάστασης των υλικών, των φαινομένων

φθοράς και τυχόν επεμβάσεων που προϋπήρχαν. Με αυτήν υπόψιν, επιλέγονται οι αντιπροσωπευτικές επιφάνειες ελέγχου, στις οποίες θα λάβουν χώρα η εφαρμογή των μη καταστρεπτικών τεχνικών και η δειγματοληψία. Έτσι γίνεται παρακολούθηση και μέτρηση περιβαλλοντικών παραμέτρων, δηλαδή του μικροκλίματος (θερμοκρασία, υγρασία, βροχοπτώσεις, ταχύτητα/ συχνότητα ανέμων κ.ά), των ρύπων (στερεολύματα, υδρολύματα, αερολύματα), του εδάφους με χημικές αναλύσεις και παρακολούθηση ανερχόμενης υγρασίας και των αλάτων που τυχόν συναντώνται σε υγρή ή στερεή φάση. Έπειτα, ακολουθούν επί τόπου μη καταστρεπτικές μετρήσεις για τη χαρτογράφηση των υλικών και της φθοράς, ταυτοποίηση των δομικών υλικών και έρευνα για την προέλευσή τους με μελέτη δειγμάτων του μνημείου και αντίστοιχων λατομείων της περιοχής βάσει γεωλογικού χάρτη (πετρογραφική, ορυκτολογική, φυσική, χημική, φυσικοχημική, μηχανική).

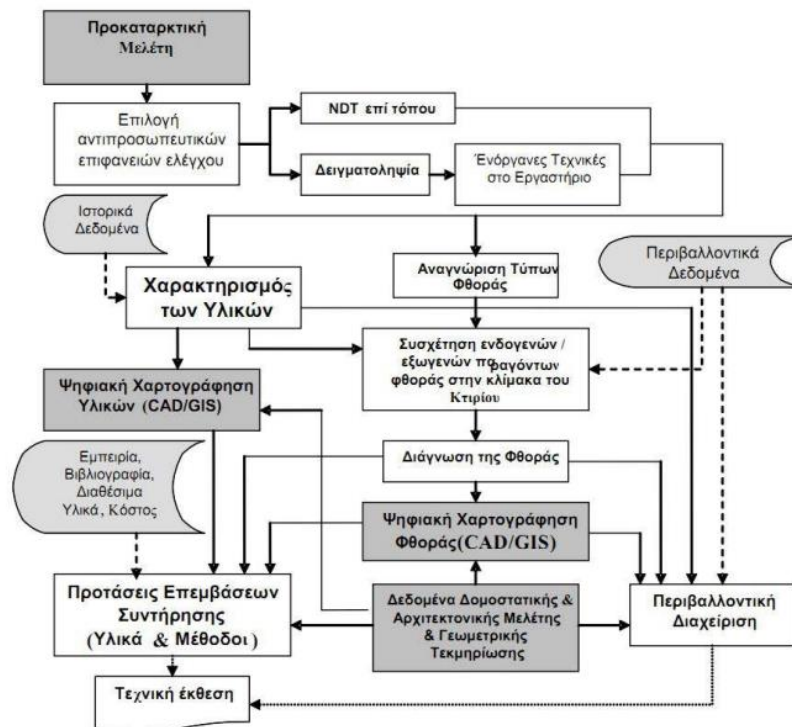
Η εφαρμογή μη καταστρεπτικών ελέγχων είναι απαραίτητη γιατί καθιστά εφικτή μια πιο περιορισμένη δειγματοληψία και ενίοτε βοηθά και στη λήψη πιο αντιπροσωπευτικών δειγμάτων. Η δειγματοληψία, όπου αυτή είναι αναπόφευκτη, θα πρέπει να γίνεται σε διάφορα ύψη και βάθη προκειμένου να διερευνηθούν όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και οι παρουσιαζόμενοι τύποι φθοράς. Τα δείγματα μεταφέρονται στο εργαστήριο και γίνεται μελέτη των φθαρμένων υλικών (ορυκτολογική, φυσική, φυσικοχημική, χημική, μηχανική), μελέτη των προϊόντων της φθοράς (ορυκτολογική, χημική), καθώς και σύγκριση αποτελεσμάτων υγιών και φθαρμένων υλικών με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων για: το είδος και το βαθμό διάβρωσης, την κατάσταση των προϊόντων διάβρωσης, τη φυσική κατάσταση της διαβρωμένης πέτρας και τα αντίστοιχα αίτια. Στη συνέχεια, γίνεται συσχέτιση ενδογενών και εξωγενών παραγόντων της φθοράς στο επίπεδο του μνημείου, δηλαδή των περιβαλλοντικών παραγόντων και των δεδομένων της φθοράς των υλικών με πολυκριτηριακή ανάλυση. Γίνεται ανάλυση σε κύριες συνιστώσες με δύο ομάδες μεταβλητών: Ενδογενείς & Εξωγενείς, και ανάλυση διάκρισης, ώστε να γίνει κατάλληλη ταξινόμηση δεδομένων. Τα περιβαλλοντικά δεδομένα, τα οποία έχουν συλλεχθεί σε συνδυασμό με το χαρακτηρισμό των υλικών, καθώς και την αναγνώριση των τύπων φθοράς τους δίνουν τη δυνατότητα της συσχέτισης των ενδογενών/εξωγενών παραγόντων φθοράς των υλικών στην κλίμακα του μνημείου. Η συσχέτιση αυτή είναι μεγάλης σημασίας στην προσπάθεια λήψης δεδομένων για τον κύκλο ζωής των δομικών υλικών και συνεπώς του εξεταζόμενου μνημείου (Μοροπούλου, Α., και συνεργάτες, 2004).

Έπειτα, με αξιολόγηση των εργαστηριακών δεδομένων και των δεδομένων από τα αποτελέσματα των επί τόπου μη καταστρεπτικών μετρήσεων, εξάγονται συμπεράσματα και εκτιμώνται τα αίτια και οι μηχανισμοί των φαινομένων της φθοράς. Ακόμα, λαμβάνει χώρα η παραμετρική ανάλυση ή προσομοίωση των φαινομένων στο εργαστήριο σε συνθήκες επιταχυνόμενης γήρανσης, με αυτόν τον τρόπο μελετώνται οι παράγοντες που επηρεάζουν τα φαινόμενα, προσομοιώνονται οι συνθήκες στο εργαστήριο και γίνονται δοκιμές επιταχυνόμενης γήρανσης (θάλαμος αλατονέφωσης, θάλαμος προσομοίωσης περιβαλλοντικών συνθηκών, κύκλοι εμβάπτισης- ξήρανσης κ.ά.) και επιβεβαιώνονται οι εκτιμήσεις για τα αίτια και τους μηχανισμούς της φθοράς. Μαζί με όλα τα παραπάνω, περιλαμβάνονται εξειδικευμένες μελέτες όπως περιβαλλοντικές, χωροταξικές, οι οποίες μπορούν να απαιτούνται κατά περίπτωση μνημείου, αλλά και τη συσχέτιση αστοχιών, φορτίσεων, φθορών και αρχιτεκτονικών αλλοιώσεων ως κοινό συμπέρασμα των επιμέρους μελετών, και το οποίο διατυπώνεται με την συνεργασία όλων των μελετητών.

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα που αφορά στην καταγραφή του χαρακτηρισμού των υλικών και στη διάγνωση φθοράς στην κτηριακή κλίμακα είναι η ψηφιακή χαρτογράφηση υλικών και φθοράς σε σχέδια με τη βοήθεια συστημάτων CAD (Computer Aided Design). Τα αρχιτεκτονικά σχέδια των

προσώπων κτηρίων στο CAD μπορούν να λειτουργήσουν ως ο βασικός χάρτης, που κάθε μοτίβο υλικού/αποσύνθεσης αντιπροσωπεύεται από διαφορετικό επίπεδο (layer) και εμφανίζεται με διαφορετικό χρώμα, ανάλογα με τα αποτελέσματα των τεχνικών NDT και οργάνων. Επομένως, τα υλικά/μοτίβα αποσύνθεσης των προσώπων μπορούν να εμφανιστούν στην οθόνη ταξινομημένα ανάλογα με την επιφανειακή τους μακρο/μικρομορφολογία και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά. Επιπλέον, η ψηφιακή χαρτογράφηση μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) το οποίο παρουσιάζει περισσότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με το CAD (πχ πιο εύκολος υπολογισμός της επιφάνειας κάθε στρώματος (m^2)). Το παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς είναι δυνατή η σύγκριση κάθε έκτασης σχεδίου αποσύνθεσης με τον προσανατολισμό των προσώπων του κτηρίου. Ένα ακόμα πλεονέκτημα του GIS σε σύγκριση με το CAD είναι η δυνατότητα δημιουργίας σχεσιακών βάσεων δεδομένων. Αυτή είναι η δυνατότητα διαχείρισης μιας πολυεπιστημονικής βάσης δεδομένων, η οποία θα περιλαμβάνει περιβαλλοντικά, λειτουργικά, υλικά και δομικά δεδομένα (Εισήγηση ΟΕ ΤΕΕ, 2004-2005), (Α. Μοροπούλου, et all, 2005).

Επιπλέον, μπορεί να επιτευχθεί ένας ολοκληρωμένος περιβαλλοντικός σχεδιασμός χρησιμοποιώντας ένα GIS με την ανάλυση όλων των σχετικών δεδομένων με στόχο την εξάλειψη των αρνητικών επιπτώσεων του φυσικού και τεχνητού (ανθρωπογενούς) περιβάλλοντος σε ιστορικά κτήρια και συγκροτήματα. Ο ολοκληρωμένος περιβαλλοντικός σχεδιασμός, ως ένα ακόμη αποτέλεσμα του πρωτοκόλλου διάγνωσης, εξυπηρετεί επίσης τον σκοπό της πρόληψης κατά των φθορών και της διατήρησης της επιθυμητής κατάστασης του ιστορικού τόπου. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι οι διαδικασίες που ενσωματώνουν το CAD και το GIS είναι μια διεπιστημονική εργασία και απαιτούν τη συνεργασία αρχιτεκτόνων, τοπογράφων μηχανικών, χημικών μηχανικών κ.λπ..



Εικόνα 2.2: Στάδια υλοποίησης της διαγνωστικής μελέτης των υλικών(Πηγή: «Σύνταξη προδιαγραφών της Διαγνωστικής Μελέτης σε διεπιστημονική βάση για έκδοση υπουργικής απόφασης για την υλοποίηση του Ν.3028 του ΥΠΠΟ για την Προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς», (2004 -2005), Εισήγηση ΟΕ ΤΕΕ)

Σε όλα τα παραπάνω στάδια, είναι αναγκαία η ανταλλαγή απόψεων μεταξύ των ειδικοτήτων που έχει ως στόχο την ενιαία διαχείριση δεδομένων στην κλίμακα του μνημείου και του περιβάλλοντός του. Η ηλεκτρονική καταγραφή και διαχείριση των διεπιστημονικών δεδομένων όλων των μελετών βοηθά, εκτός όλων των άλλων, στον στρατηγικό σχεδιασμό των επόμενων τακτικών επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης, ενώ στον τομέα των υλικών συμβάλλει στον έλεγχο (α) της ανθεκτικότητας στο χρόνο και (β) των χαρακτηριστικών απόδοσης των υλικών (ιστορικών και συντήρησης).

Τέλος, τη Διαγνωστική Μελέτη ακολουθεί η Ολοκληρωμένη Μελέτη Επεμβάσεων, η οποία περιλαμβάνει τις παρακάτω επιμέρους μελέτες:

- Ιστορική τεκμηρίωση: Ιστορία της κατασκευής και των επεμβάσεων των δομικών υλικών, απαραίτητα στοιχεία για την κατανόηση της συμπεριφοράς του μνημείου, ιστορία του μνημείου / συνόλου, μελέτη ιστορικών αρχείων και σύγκριση παλαιότερων φωτογραφιών που αναλαμβάνουν Αρχαιολόγοι,
- Μελέτη αρχιτεκτονικής-μορφολογικής αποκατάστασης ή / και προσαρμογής σε νέα χρήση, την οποία μπορούν να αναλαμβάνουν Αρχιτέκτονες,
- Μελέτη δομικής αποκατάστασης και ενίσχυσης του μνημείου, την οποία αναλαμβάνουν Πολιτικοί Μηχανικοί,
- Μελέτη Επιλογής και Σχεδιασμού Υλικών και Επεμβάσεων Συντήρησης, την οποία αναλαμβάνουν Χημικοί Μηχανικοί, Μηχανικοί της Επιστήμης των Υλικών καθώς και άλλοι εξειδικευμένοι μηχανικοί, ενδεχομένως και συντηρητές τέχνης,
- Γεωτεχνική μελέτη που συνιστάται να αναλαμβάνουν Πολιτικοί Μηχανικοί-Γεωτέχνες,
- Εξειδικευμένες μελέτες όπως περιβαλλοντικές, χωροταξίας, την προβολή και ανάδειξη μνημείων και συνόλων, διαχείριση του περιβάλλοντος για την προστασία, ανάδειξη, ανάπλαση μνημειακών συνόλων και χώρων (ΑΤΜ, αρχιτέκτονες τοπίου, πολεοδόμοι, χωροτάκτες, Μηχ. περιβάλλοντος κ.ά.), την αναπαράσταση μνημείων στην ιστορική διαδοχή των φάσεων ανάπτυξης και της χρήσης τους (μηχανικοί πληροφορικής, ιστορικοί και αρχιτέκτονες), οι οποίες μπορούν να απαιτούνται κατά περίπτωση μνημείου, ιστορικού κτηρίου.

Τελευταίο στάδιο της διαγνωστικής μελέτης των υλικών είναι η διατύπωση προτάσεων για τις επεμβάσεις συντήρησης, στο σχεδιασμό των οποίων θα συνυπολογίζει: τον χαρακτηρισμό των υλικών, τη διάγνωση της φθοράς -και των μηχανισμών της, των δεδομένων της δομοστατικής και της αρχιτεκτονικής μελέτης, την εμπειρία των μελετητών, την παγκόσμια βιβλιογραφία, τα διαθέσιμα υλικά, καθώς και το κόστος. Τα υλικά και οι μέθοδοι επέμβασης περιγράφονται με λεπτομέρεια στο πλαίσιο μιας μετέπειτα ολοκληρωμένης μελέτης εφαρμογής των επεμβάσεων.

2.2 Γεωμετρική τεκμηρίωση και διαχείριση μνημείων

2.2.1 Γεωμετρική τεκμηρίωση και μέθοδοι

Η γεωμετρική τεκμηρίωση ενός μνημείου, που θα πρέπει να θεωρείται ως αναπόσπαστο μέρος της ευρύτερης δράσης, της Ολοκληρωμένης Τεκμηρίωσης Πολιτιστικής Κληρονομιάς, μπορεί να οριστεί ως: (1) 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 στιγμή (Γεωργόπουλος Α., Διδακτικές

Σημειώσεις, 2020). (2) Η γεωμετρική τεκμηρίωση καταγράφει το παρόν των μνημείων όπως έχουν διαμορφωθεί με την πάροδο του χρόνου και αποτελεί το απαραίτητο υπόβαθρο για τη μελέτη του παρελθόντος τους, καθώς και τη διατήρησή τους για το μέλλον. Η γεωμετρική τεκμηρίωση ενός μνημείου αποτελείται από μια σειρά απαραίτητων μετρήσεων, από τις οποίες μπορούν να παραχθούν οπτικά προϊόντα, όπως διανυσματικά σχέδια, εικόνες raster και τρισδιάστατες απεικονίσεις σε μικρή ή μεγάλη κλίμακα. Αυτά τα προϊόντα έχουν συνήθως μετρικές ιδιότητες, ειδικά εκείνες που βρίσκονται σε κατάλληλες ορθογραφικές προβολές. Δύο πολύ σημαντικές ιδιότητες αυτών των προϊόντων είναι η κλίμακα και η ακρίβειά τους. Αυτά θα πρέπει να καθοριστούν προσεκτικά στην αρχή πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε ενέργεια στο μνημείο. Ανάλογα με τη χρήση του τελικού προϊόντος, η κλίμακα μπορεί να είναι μικρή (π.χ. 1:200 ή 1:100) ή μεγάλη (π.χ. 1:50, 1:20). Η ακρίβεια σχετίζεται άμεσα με τον παράγοντα κλίμακας και θα μπορούσε να οριστεί σύμφωνα με την ακόλουθη απλή σχέση (Georgoroulos, A., 2016, Georgoroulos, A., 2017):

Ακρίβεια σχεδίασης= 0,25mm *Συντελεστής κλίμακας

Η ανάγκη αποτύπωσης και ειδικότερα γεωμετρικής -αλλά όχι μόνο- τεκμηρίωσης των μνημείων δεν είναι νέα, αφού ήδη από το 1964 αναφέρεται ρητώς στο άρθρο 16 της Χάρτας της Βενετίας, κατά το οποίο: «Οι εργασίες συντήρησης, αποκατάστασης και ανασκαφής θα πρέπει να βασίζονται σε εξακριβωμένη τεκμηρίωση, δηλαδή σε αναλυτικές και κριτικές εκθέσεις, εικονογραφημένες με σχέδια και φωτογραφίες. Όλες οι φάσεις των εργασιών για την απάλειψη των νεότερων στοιχείων, τη στερέωση, την ανασύνθεση και την ένταξη νέων στοιχείων, καθώς και όλα τα τεχνικά και μορφολογικά στοιχεία, που θα εξακριβώνονται κατά τη διάρκεια των εργασιών, θα πρέπει να καταγράφονται λεπτομερειακά. Αυτή η τεκμηρίωση θα κατατίθεται στα αρχεία ενός δημόσιου ιδρύματος και θα είναι προσιτή στους ερευνητές. Συνιστάται η δημοσίευσή τους.».

Η γεωμετρική τεκμηρίωση θα πρέπει να διεξάγεται πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από ένα έργο διατήρησης και αποκατάστασης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Αυτό προκύπτει από τις Αρχές του ICOMOS για την καταγραφή μνημείων, ομάδων κτηρίων και τοποθεσιών, οι οποίες προσδιορίζουν τη συμβολή της τεκμηρίωσης στην κατανόηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, τις ξεχωριστές αξίες τους και την εξέλιξή τους στο χρόνο (ICOMOS, 1996). Ταυτόχρονα, η τεκμηρίωση παρέχει πληροφορίες για τη γεωμετρία και τα δομικά υλικά ενός κτηρίου, ενώ καταγράφει την κατάσταση διατήρησής του. Κατά συνέπεια, η τεκμηρίωση αντιπροσωπεύει έναν κρίσιμο παράγοντα που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη μελλοντική διάρκεια ζωής των κτηρίων πολιτιστικής κληρονομιάς.

Κάθε μνημείο περιγράφεται στον τρισδιάστατο χώρο από άπειρο αριθμό σημείων. Η γεωμετρική τεκμηρίωση καταγράφει τη θέση στο χώρο κατάλληλου υποσυνόλου αυτού του αριθμού σημείων. Επομένως η πιστότητα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης εξαρτάται τόσο από το πλήθος των επιλεγμένων να περιγράψουν και να αναπαραστήσουν το μνημείο σημείων, όσο και από την κατανομή τους και την επιλογή αυτή καθ' αυτή. Παράλληλα με την μετρητική πληροφορία, τα επιλεγόμενα σημεία μεταφέρουν και ποιοτική πληροφορία, η οποία επίσης καταγράφεται αναδεικνύοντας έτσι, εκτός από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τη μορφή, τη δομή και την υφή του αντικειμένου.

Η αναπαράσταση αυτών των σημείων γίνεται συνήθως με τη βοήθεια δισδιάστατων σχεδίων, τα οποία ουσιαστικώς αποτελούν προβολές των σημείων σε προσεκτικά επιλεγμένα οριζόντια ή κατακόρυφα επίπεδα. Στόχος των σχεδίων αυτών είναι να τεκμηριώσουν γεωμετρικά το μνημείο με αναμφισβήτητο τρόπο, ενώ παράλληλα διασφαλίζουν άμεση συσχέτιση των σημείων μεταξύ τους στο χώρο των τριών διαστάσεων. Ο προσδιορισμός της θέσης των σημείων στο χώρο οφείλει να

ακολουθεί συγκεκριμένους κανόνες ακρίβειας, δηλαδή αβεβαιότητας του τελικού αποτελέσματος, ώστε να μην επηρεάζεται σημαντικά το τελικό προϊόν.

Η γεωμετρική τεκμηρίωση εξασφαλίζει αποτελεσματικότητα και ακρίβεια, και συνδυάζεται με μειωμένο χρόνο που αφιερώνεται στο πεδίο. Αυτές οι μέθοδοι εισάγουν έναν νέο τρόπο επεξεργασίας, ανάλυσης και απεικόνισης αρχαιολογικών δεδομένων, καθιστώντας τα έτσι προσβάσιμα τόσο σε εξειδικευμένους μελετητές όσο και στο κοινό. Επίσης, πληρούν την απαίτηση για τεχνικές τεκμηρίωσης χωρίς επαφή και κατά συνέπεια ελαχιστοποιούν την πιθανή βλάβη στα αρχαιολογικά ευρήματα. Έτσι, η εφαρμογή της γεωμετρικής τεκμηρίωσης είναι απαραίτητη για την τεκμηρίωση της πολυπλοκότητας των αρχαιολογικών χώρων. Οι κυρίαρχες τεχνικές της ψηφιακής τεκμηρίωσης, εκτός από τη γεωδαισία, είναι η φωτογραμμετρία και η σάρωση με λέιζερ, που συλλέγουν ανάλογα δεδομένα βάσει φωτογραφιών και ακτινών λέιζερ. Λόγω της ιδιαιτερότητας της μορφής και των συνθηκών μέτρησης που σχετίζονται με τα αρχαιολογικά ευρήματα, απαιτείται η ενσωμάτωση πολλαπλών μεθόδων. Μια περιγραφή των κύριων τεχνικών ψηφιακής τεκμηρίωσης παρουσιάζεται παρακάτω:

➤ Φωτογραμμετρία

Αυτή η μέθοδος είναι μια τεχνική παθητικής μέτρησης που βασίζεται σε εικόνα, η οποία υλοποιεί συγκεκριμένους αλγόριθμους για τον υπολογισμό της τρισδιάστατης θέσης των σημείων που απεικονίζονται είτε με ζεύγη 2D στερεοσκοπικών ή ενός με πολλαπλές επικαλυπτόμενες ψηφιακές εικόνες. Επιπλέον, διευκολύνει την ακριβή καταγραφή του σχήματος, του μεγέθους, της θέσης, της υψής και των λεπτομερειών ενός αντικειμένου (Georgoroulos, A., 2017). Η φωτογραμμετρία αποτελεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την τεκμηρίωση τόσο μεμονωμένων αρχαιολογικών ευρημάτων όσο και ολόκληρων χώρων ανασκαφών. Κατά συνέπεια, ανάλογα με το μέγεθος του αντικειμένου, μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος είτε επίγεια σε κοντινή απόσταση είτε μακριά, από αέρος.

➤ Σάρωση με LASER: (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

Οι σαρωτές λέιζερ ή σαρωτές LiDAR (Light Detection and Ranging) είναι όργανα που «εκπέμπουν ακτινοβολία λέιζερ και ανιχνεύουν την ανάκλασή της» (Georgoroulos, A., 2017) από το αντικείμενο ενδιαφέροντος για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ σαρωτή και σημείων και κατά συνέπεια των συντεταγμένων τους, στον τρισδιάστατο χώρο. Ως εκ τούτου, θεωρούνται μια ενεργή μέθοδος τεκμηρίωσης, σε αντίθεση με τη Φωτογραμμετρία που είναι παθητική. Υπάρχουν τρεις διαφορετικές κατηγορίες επίγειων σαρωτών λέιζερ, ανάλογα με τη λειτουργία απόκτησης δεδομένων: σαρωτές παλμών, μετατόπισης φάσης και σαρωτές τριγωνισμού. Παρόμοια με τη φωτογραμμετρία, το μέγεθος της περιοχής μελέτης και η απαιτούμενη ακρίβεια και ανάλυση καθορίζουν τον τύπο του σαρωτή λέιζερ που θα χρησιμοποιηθεί. Συγκεκριμένα, η σάρωση μέτριας εμβέλειας εκτελείται από επίγειους σαρωτές λέιζερ (TLS) και η σάρωση κοντινής εμβέλειας από φορητούς σαρωτές λέιζερ.

➤ Γεωδαιτικές μετρήσεις

Η τοπογραφική αποτύπωση και οι γεωδαιτικές μετρήσεις πραγματοποιούνται από γεωδαιτικούς σταθμούς (total station). Οι γεωδαιτικοί σταθμοί μετρούν απευθείας γωνίες και αποστάσεις στον τρισδιάστατο χώρο και ύστερα υπολογίζεται η θέση των φυσικών σημείων. Παρά τον, συνήθως, εκτεταμένο αριθμό σημείων που απαιτούνται για μέτρηση, και την καθιστά μια χρονοβόρα διαδικασία, αυτή η μέθοδος προτιμάται λόγω της υψηλής ακρίβειάς που παρέχει (Georgoroulos, A., 2017). Κάθε φορά που ενσωματώνονται πολλαπλές τεχνικές τεκμηρίωσης, οι γεωδαιτικές μετρήσεις λειτουργούν ως αναφορά για τη συγκέντρωση όλων των δεδομένων απόκτησης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία «ενός δικτύου με καλά καθορισμένα σημεία». Ως εκ τούτου, η τοπογραφική αποτύπωση θα πρέπει να πραγματοποιείται στο αρχικό στάδιο της διαδικασίας τεκμηρίωσης, συνήθως ή ιδανικά πριν από τη φωτογραμμετρία και τη σάρωση με λέιζερ.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, η ψηφιακή τρισδιάστατη τεκμηρίωση των αρχαιολογικών αντικειμένων αποτελεί την προκαταρκτική βάση για την επόμενη παραγωγή προϊόντων. Ο συνδυασμός τόσο ποιοτικών όσο και ποσοτικών πληροφοριών οδηγεί σε ορθοφωτογραφίες και δισδιάστατα ψηφιακά αρχιτεκτονικά σχέδια, συμπεριλαμβανομένων κατόψεων, τομών και όψεων. Ωστόσο, οι καινοτόμες μέθοδοι γεωμετρικής τεκμηρίωσης που περιγράφονται παραπάνω παρέχουν χρήσιμα εναλλακτικά προϊόντα τεκμηρίωσης, τα οποία έχουν σταδιακά συμπληρώσει τα παραδοσιακά γραμμικά σχέδια. Αυτό σε καμία περίπτωση δεν σημαίνει ότι το εξειδικευμένο προσωπικό και η εργασία τους θα αντικατασταθούν ή θα καταστεί απαρχαιωμένη. Αντίθετα, αυτά τα σύγχρονα καινοτόμα προϊόντα θα συμβάλλουν στη μελέτη, στη διατήρηση και την αποκατάσταση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς με πιο αποτελεσματικό και σφαιρικό τρόπο. (Ioannidis, C. & Georgoroulos, A., 2007).

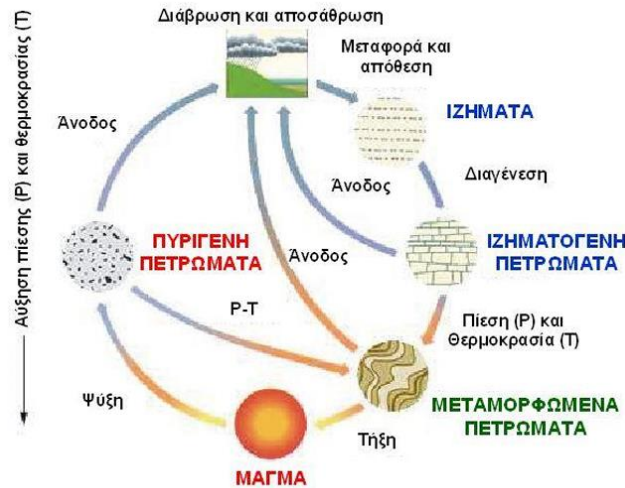
2.3 Λίθοι-Πλίνθοι- Κονιάματα

2.3.1 Λίθοι

Τα ορυκτά είναι τα φυσικά, ομογενή στερεά, τα οποία συνήθως σχηματίζονται με ανόργανες διαδικασίες, χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό ταξινομημένης ατομικής διατάξεως, και έχουν χημική σύσταση και φυσικές ιδιότητες, οι οποίες είτε είναι σταθερές είτε κυμαίνονται εντός ορισμένων ορίων. Επίσης, ως πέτρωμα λογίζεται το αθροίσματα των ορυκτών, τα οποία αποτελούνται από ένα ή περισσότερα ορυκτά είδη και έχουν λιγότερο ή περισσότερο σταθερή ορυκτολογική και χημική σύσταση, ώστε να διακρίνονται σαφώς μεταξύ τους. Ενώ, λίθος είναι το κατεργασμένο από τον άνθρωπο πέτρωμα.

Τα πετρώματα διαχωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες με βάση την γεωλογική διεργασία δημιουργούνται: Πυριγενή, Ιζηματογενή, Μεταμορφωμένα (Α. Μοροπούλου, Διδακτικές Σημειώσεις, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, 2022), (Χ. Παπατρέχας, Διδακτικές Σημειώσεις, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, 2022).

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
 Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 2.3: Πετρολογικός κύκλος (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ, Χρήστος Παπατρέχας “Περί λίθων”)

Τα χαρακτηριστικά των πετρωμάτων που είναι σημαντικά για τους μηχανικούς των υλικών και τους αρχιτέκτονες για την βέλτιστη επιλογή τους είναι τα ακόλουθα:

- Ορυκτολογική σύνθεση: Οι περισσότερες ιδιότητες των πετρωμάτων βασίζονται στις φυσικές και χημικές ιδιότητες των ορυκτών που τα απαρτίζουν.
- Ιστός / Υφή: Αναφέρονται στον τρόπο εμφάνισης των ορυκτών συστατικών μέσα στη μάζα του πετρώματος, στο βαθμό κρυστάλλωσης το μέγεθος και το σχήμα τους.
- Δομή της μάζας του πετρώματος: τα μακροχαρακτηριστικά, η σχιστότητα, οι πτυχές, κ.α.

Πυριγενή πετρώματα

Πυριγενή πετρώματα είναι τα πετρώματα τα οποία δημιουργούνται μετά από στερεοποίηση του μάγματος. Όταν η στερεοποίηση του μάγματος λαμβάνει χώρα αργά μέσα στον φλοιό σε βάθος, τα πετρώματα που δημιουργούνται ονομάζονται βαθυγενή ή πλουτωνίτες, και καθώς η κρυστάλλωση είναι βραδεία οδηγεί στην δημιουργία μέσο/χονδροκοκκων κρυστάλλων ορατών με γυμνό μάτι. Τέτοια πετρώματα είναι οι γρανίτες, οι διορίτες, οι συηνίτες, και οι γάββροι. Αντίθετα, συχνά όταν η στερεοποίηση λαμβάνει χώρα απότομα στην επιφάνεια του φλοιού της γης, τα πετρώματα που δημιουργούνται ονομάζονται ηφαιστίτες ή εκρηξιγενή. Λόγω της απότομης ανόδου του μάγματος στην επιφάνεια, η θερμοκρασία του πέφτει απότομα και σχηματίζονται υαλώδεις ή μικροκρυσταλλικές μάζες, πχ βασάλτης, ρυόλιθος. Τέλος, όταν η στερεοποίηση γίνεται σε μικρά βάθη, τα πετρώματα ονομάζονται υποηφαιστιακά, ενώ όταν το μάγμα εισχωρήσει μέσα σε μεγάλα ρήγματα ή ανοίγματα δημιουργούνται τα φλεβικά πετρώματα (Α. Μοροπούλου, Διδακτικές Σημειώσεις, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, 2022), (Χ. Παπατρέχας, Διδακτικές Σημειώσεις, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, 2022).

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 2.4: Γρανίτης ένα πυριγενές πέτρωμα (Πηγή: Εκρηξιγενές πέτρωμα - Βικιπαίδεια (wikipedia.org))

Ιζηματογενή πετρώματα

Τα ιζηματογενή πετρώματα σχηματίζονται από απόθεση ή καταβύθιση υλικών που βρίσκονται σε αιώρηση ή διάλυση μέσα σε ένα ρευστό μέσο (αέρας ή νερό) και τη μετέπειτα συγκόλληση των υλικών που αποτέθηκαν. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα, η διαστρωμάτωση υλικών και τα απολιθώματα που βρίσκονται μέσα στα ιζήματα.

Για να δημιουργηθούν τα πετρώματα αυτά πρώτα λαμβάνει χώρα η διάβρωση και αποσάθρωση, δηλαδή καταστρέφονται προϋπάρχοντα πετρώματα από φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες, Ύστερα, τα υλικά αποσάθρωσης μεταφέρονται με τον άνεμο και το νερό σε περιοχές απόθεσης οι οποίες μπορεί να είναι είτε κοντά είτε μακριά από την περιοχή παραγωγής των προϊόντων αποσάθρωσης, Στη συνέχεια τα υλικά που βρίσκονται σε αιώρηση ή διάλυση εναποτίθενται σε διαδοχικά στρώματα. Και τέλος, μετατρέπεται ένα χαλαρό ίζημα σε συμπαγές πέτρωμα με την βοήθεια της πίεσης των υπερκείμενων στρωμάτων και της φυσικής συνδετικής ύλης, αυτή η διαδικασία ονομάζεται διαγένεση (Α. Μοροπούλου, Διδακτικές Σημειώσεις, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, 2022), (Χ. Παπατρέχας, Διδακτικές Σημειώσεις, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, 2022).



Εικόνα 2.5: Κροκαλοπαγής λίθος, ιζηματογενές πέτρωμα (Πηγή: Κροκαλοπαγής πέτρωμα - Βικιπαίδεια (wikipedia.org))

Μεταμορφωμένα πετρώματα

Μεταμορφωμένα πετρώματα είναι τα πετρώματα τα οποία προκύπτουν από άλλα προϋπάρχοντα μετά από ιστολογικές, ορυκτολογικές και χημικές μεταβολές χωρίς όμως να υποστούν τήξη. Δηλαδή, τα πυριγενή και ιζηματογενή πετρώματα υπόκεινται σε αυξημένες πιέσεις και θερμοκρασίες, και στην δράση θερμών διαλυμάτων και αερίων όταν βρεθούν λόγω γεωλογικών

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

διεργασιών σε μεγάλα βάθη (π.χ. λόγω εναπόθεσης πάνω από αυτά νέων ιζηματογενών πετρωμάτων ή λόγω μετακινήσεων των γεωλογικών πλακών) και ανακρυσταλλώνονται σε πιο σταθερές ορυκτές φάσεις. Έτσι, αναπτύσσονται νέα ορυκτά που χημικά προσομοιάζουν το μητρικό υλικό αλλά είναι πιο σταθερά στις νέες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Η διαδικασία είναι αργή και συχνά λαμβάνουν χώρα αναδιπλώσεις (λόγω κίνησης των μαζών). Η θερμότητα που οφείλεται στην γειτνίαση με πυριγενείς μάζες, ή στη γεωθερμική δραστηριότητα, επιφέρει πλαστικότητα στα πετρώματα, επιτρέποντας την μοριακή διάχυση από το ένα στρώμα στο άλλο, διαδικασία που διαρκεί εκατομμύρια χρόνια.

Κυριότερα μεταμορφωμένα πετρώματα είναι: το μάρμαρο, που έχει προέλθει από την μεταμόρφωση του ασβεστόλιθου, ο γνεύσιος, ο σχιστόλιθος και ο σερπεντίτης (Α. Μοροπούλου, Διδακτικές Σημειώσεις, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, 2022), (Χ. Παπατρέχας, Διδακτικές Σημειώσεις, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, 2022).



Εικόνα 2.6: Γνεύσιος, μεταμορφοσιγενές πέτρωμα (Πηγή: Gnejs12 - Γνεύσιος - Βικιπαίδεια (wikipedia.org))

Ιδιότητες των λίθων

Πορώδες

Το πορώδες ενός υλικού είναι ο λόγος του όγκου των κενών ενός δείγματος, V_v , προς τον συνολικό όγκο του V , και εκφράζεται επί τοις εκατό ποσοστό.

$$V. n = (V_v/V) \cdot 100\%$$

Το πορώδες διακρίνεται σε ολικό και ανοικτό ή ενεργό πορώδες. Το πρώτο αναφέρεται στο σύνολο των πόρων ενώ στο δεύτερο μόνο στους πόρους που επιτρέπουν την διέλευση- κυκλοφορία του νερού.

Πυκνότητα

Πραγματική πυκνότητα είναι ο λόγος της μάζας ενός δείγματος προς τον πραγματικό όγκο του δείγματος (χωρίς τα κενά).

$$\rho = W/V_s, (\text{g/cm}^3)$$

Φαινόμενη πυκνότητα είναι ο λόγος της μάζας ενός δείγματος λίθου προς τον φαινόμενο όγκο του δείγματος (μαζί με τα κενά):

$$\rho_{app}=W/V_{app}, (g/cm^3)$$

Υδατοαπορροφητικότητα

Η υδαταπορροφητικότητα του λίθου εξαρτάται:

- από το πορώδες που παρουσιάζει, όσο πιο μεγάλο πορώδες έχει ο λίθος τόσο πιο μεγάλη απορροφητικότητα παρουσιάζει
- από την μορφή και το μέγεθος των πόρων που παρουσιάζει ο λίθος. Πόροι μεγάλοι και ευθύγραμμοι επιτρέπουν εύκολα την είσοδο του νερού. Αντίθετα πόροι πολύ μικρής διαμέτρου, με δαιδαλώδη διάταξη και κλειστοί πόροι (που δεν συγκοινωνούν μεταξύ τους) δυσχεραίνουν τον εμποτισμό των λίθων από το νερό.

Σημαντικό είναι πως οι λίθοι που παρουσιάζουν μικρή υδαταπορροφητικότητα παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στην διαβρωτική δράση του νερού (τριχοειδή αναρρίχηση, κυκλοφορία αλάτων, κρυστάλλωση κ.ά.).

Σκληρότητα

Σκληρότητα ονομάζεται η αντίσταση που παρουσιάζει ο λίθος στην χάραξη ή λείανση του. Η κλίμακα που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της σκληρότητας είναι η κλίμακα Mohs και διαμορφώνεται, για τα κύρια πετρώματα, όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακάκι:

Πέτρωμα	Σκληρότητα κλίμακα Mohs
Γρανίτες, γνεύσιοι	5,5-7,5
Βασάλτες	4,5-6,6
Αργιλικοί σχιστόλιθοι	1,5-3,5
Ψαμμίτες	1,5-7,5
Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα	2,5-3,5
Δολομίτες	2,5-4,5
Φυλλίτες	2,5-5,5

Χαλαζίτες	6,5-7,5
-----------	---------

Πίνακας 1: Πετρώματα και σκληρότητα στην κλίμακα Mohs (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις: Δομικά Υλικά (Λίθοι, Μάρμαρα), Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση – Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης Καθ. Α. Μοροπούλου)

Συντελεστής θερμικής διαστολής

Ο Συντελεστής θερμικής διαστολής εκφράζει την συμπεριφορά του λίθου κατά την θέρμανση και δίνεται από τον τύπο:

$$\alpha = (L_t - L_0) / L_0 \cdot t$$

όπου: L_t : μήκος σε θερμοκρασία t (°C) L_0 : μήκος σε θερμοκρασία 0 °C.

Μηχανικές αντοχές

Στα πετρώματα οι μηχανικές αντοχές που εξετάζονται είναι:

- Αντοχή σε εφελκυσμό: η εντατική κατάσταση κατά την οποία σε ένα σώμα ασκούνται δυνάμεις αντίθετης φοράς που τείνουν να το επιμηκύνουν.
- Αντοχή στην θλίψη η εντατική κατάσταση κατά την οποία σε ένα σώμα ασκούνται δυνάμεις αντίθετης φοράς που τείνουν να το συμπιέσουν .
- Αντοχή σε κρούση, που αφορά την ικανότητα ενός συστήματος να αντέξει την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων ή πιέσεων που προκαλούνται από κρούσεις, όπως συγκρούσεις, πτώσεις, ή άλλα σκληρά χτυπήματα.

2.3.2 Πλίνθοι

Οι πλίνθοι είναι κεραμικά, δηλαδή μη μεταλλικά ανόργανα στερεά με κρυσταλλική ή άμορφη δομή που παράγονται με θερμική κατεργασία και προκύπτουν από διάφορους συνδυασμούς μετάλλων, και αμέταλλων ή μη-μεταλλικών στερεών. Σε γενικές γραμμές είναι: ψαθυρά (δεν μπορούν να υποστούν πλαστική παραμόρφωση), πυρίμαχα (υψηλά σημεία τήξης), σκληρά, αντέχουν σε τριβή (τα προηγμένα κεραμικά), θερμομονωτικά (μικρή θερμική αγωγιμότητα), ηλεκτρικοί μονωτές (μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα), μη-μαγνητικά, χημικά σταθερά και δεν αντέχουν σε απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας. Ενώ, χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά και κατατάσσονται ανάλογα με την χρήση τους όπως παρακάτω:

1. Τεχνητοί δομικοί λίθοι, που είναι δομικά προϊόντα από κεραμικά υλικά, με πρισματικό ή πλακοειδές σχήμα και χρησιμοποιούνται όπου παλαιότερα χρησιμοποιούνταν οι ακατέργαστοι ή κατεργασμένοι φυσικοί λίθοι (π.χ. τοιχοποιίες). Ως τεχνητοί λίθοι μπορούν να θεωρηθούν για παράδειγμα οι ωμόπλινθοι και οπτόπλινθοι, τα κεραμίδια, οι κεραμικές πλάκες και τα πλακίδια, οι τσιμεντόλιθοι και κισσηρόλιθοι, τα πυρίμαχα λιθοσώματα και υαλότουβλα, κ.ά.

2. Κεραμικά προϊόντα για εγκαταστάσεις και μονώσεις, που περιλαμβάνουν τα τεχνητά κεραμικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις υδρεύσεως και αποχετεύσεως (π.χ. κεραμικοί σωλήνες) και προϊόντα που χρησιμοποιούνται για μόνωση ή διακοσμητικούς σκοπούς (π.χ. μονωτικές πλάκες, γύψινες διακοσμήσεις, κ.ά.).

Τα τεχνητά κεραμικά δομικά υλικά αναπτύχθηκαν για να καλύψουν την έλλειψη φυσικών λίθων (π.χ. πεδιάδες Αιγύπτου, Μεσοποταμία) αλλά και σε περιοχές όπου αν και υπήρχε αφθονία φυσικών λίθων η εξόρυξη και μεταφορά τους ήταν δύσκολη. Σε περιοχές με άφθονους φυσικούς λίθους, όπως η αρχαία Ελλάδα, η κεραμική αναπτύχθηκε μόνο για την κατασκευή οικιακών σκευών, δοχείων αποθηκείσεως τροφίμων, διακοσμητικών στοιχείων και λιγότερο ως δομικά στοιχεία (κυρίως κεραμίδια, σωλήνες ύδρευσης – αποχέτευσης). Με την περαιτέρω ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής κατά την Ρωμαϊκή και Βυζαντινή περίοδο, χρησιμοποιήθηκαν ευρέως πλίνθοι σε συνδυασμό με τα κονιάματα ως το κύριο δομικό υλικό [14].

Σύσταση, Δομή και Τεχνολογία παραγωγής ιστορικών κεραμικών υλικών

Τα κλασικά κεραμικά παρασκευάζονται από φυσικές πρώτες ύλες, συνήθως αργίλους, ασβέστη, άμμο κλπ. Η πρώτη κονία που χρησιμοποιήθηκε ήταν η πηλοκονία που είναι διαδεδομένη στη φύση και αναμιγνυόμενη με νερό και άμμο παρέχει πηλοκονίαμα.



Εικόνα 2.7: Πάνω ωμόπλινθοι, κάτω οπτόπλινθοι, (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου ΕΔΙΠ Κυριάκος Λαμπρόπουλος)

Όταν το πηλοκονίαμα μορφοποιηθεί (π.χ. πλίθες) και ξηραθεί στην ατμόσφαιρα, παράγονται οι ωμόπλινθοι. Ενώ, όταν το μορφοποιημένο πηλοκονίαμα ψηθεί σε φούρνο παράγονται οπτόπλινθοι και άλλα κεραμικά υλικά όπως κέραμοι, πυρίμαχα τούβλα κλπ.

Η διαδικασία παρασκευής ενός κλασικού, ιστορικού κεραμικού έχει ως εξής: Αρχικά, επιλέγεται ο πηλός, ανάλογα με τη χρήση του κεραμικού. Ύστερα καθαρίζεται και καθιζάνει ο πηλός, ανάλογα με την ποιότητα του αντικειμένου που πρόκειται να κατασκευαστεί. Στη συνέχεια αναμειγνύεται με άμμο ή τριμμένο ασβεστόλιθο, ανάλογα με τις επιθυμητές ιδιότητες του αντικειμένου. Διαμορφώνεται το αντικείμενο με τα χέρια, τον κεραμευτικό τροχό ή καλούπια. Και τέλος, λαμβάνει χώρα η όπτηση σε φούρνο με κατάλληλη ατμόσφαιρα και θερμοκρασία, ανάλογα με τις επιθυμητές ιδιότητες του αντικειμένου.

Οι οπτόπλινθοι (τούβλα) είναι τεχνητοί λίθοι από ψημένη άργιλο, σχήματος κυρίως πρισματικού. Το χρώμα τους εξαρτάται από την σύσταση της πρώτης ύλης και κυρίως από την περιεκτικότητα σε οξείδια του σιδήρου. Συνήθως, είναι κόκκινοι και διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: Συμπαγή, Διάτρητα και Ειδικά.

Οι συμπαγείς οπτόπλινθοι είναι συνήθως παραλληλεπίπεδου σχήματος. Συνήθως έχουν σε μία από τις μεγαλύτερες πλευρές τους μια αυλάκωση ή μια κοιλότητα για καλύτερη πρόσφυση στο κονίαμα. Η χρήση τους έχει περιοριστεί στην σύγχρονη αρχιτεκτονική ως κύριο δομικό στοιχείο καθώς έχουν αντικατασταθεί από το σπλισμένο σκυρόδεμα. Σε μικρό βαθμό χρησιμοποιούνται για διακόσμηση ή για αποκαταστάσεις παραδοσιακών ή ιστορικών κτηρίων. Τα διάτρητα τούβλα είναι

ελαφρύτερα από τα συμπαγή λόγω της ύπαρξης των οπών. Οι οπές αυτές, είναι ποικίλων διατομών και αριθμού και βρίσκονται, συνήθως, κατά μήκος του μεγαλύτερου τους άξονα. Τα διάτρητα τούβλα παρουσιάζουν ελαττωμένη μηχανική αντοχή και για αυτό δεν χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα. Χρησιμοποιούνται, όμως, πολύ για διαχωριστικούς λεπτούς τοίχους, όταν τα φέροντα στοιχεία έχουν κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα (Α. Μοροπούλου, Κ. Λαμπρόπουλος, Διδακτικές Σημειώσεις, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, 2022).

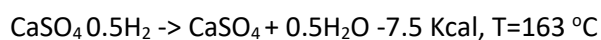
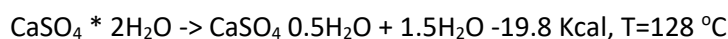
2.3.3 Κονιάματα

Τα κονιάματα είναι σύνθετα υλικά που αποτελούνται από: συνθετική κονία (αερική ή υδραυλική), αδρανή, πρόσθετα (οργανικά ή ανόργανα) και τέλος νερό. Η ανάμιξη των υλικών έχει ως σκοπό να προσδώσει στο φρέσκο κονίαμα καλή εργασιμότητα, καλή μηχανική και φυσική συμπεριφορά και μεγάλη αντοχή. Αναλόγως με την χρήση τους κατατάσσονται ως εξής:

- Κονιάματα αρμών: Συνδετικό υλικό των δομικών στοιχείων.
- Κονιάματα υποστρωμάτων: Υπόστρωμα πολλές φορές με την μορφή διαδοχικών στρωμάτων σε δάπεδα, ψηφιδωτά, μωσαϊκά, τοιχογραφίες.
- Επιχρίσματα: Μορφή επιστρώματος επιφανειών ή προστατευτικό στρώμα για διαβρωτικούς παράγοντες (βροχή, υγρασία) ή με διακοσμητικό χαρακτήρα.

Υπάρχουν οι αερικές κονίες που πήζουν και σκληρύνονται μόνο όταν έρχονται σε επαφή με τον αέρα (γύψος, αερική άσβεστος) και οι υδραυλικές κονίες που πήζουν και σκληρύνονται με την παρουσία νερού, με ή χωρίς την παρουσία αέρα και παραμένουν σκληρές ακόμα και κάτω από το νερό (υδραυλική άσβεστος, τσιμέντο) (Μοοροπούλου, et al, 2000, Διδακτικές Σημειώσεις, 2023, Μπακόλας).

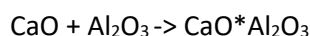
Αερικές κονίες είναι: ο γύψος και η αερική άσβεστος. Ο γύψος, το θειικό ασβέστιο, που εμφανίζεται είτε στην άνυδρη (CaSO_4), είτε στην διένυδρη μορφή του ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), που βρίσκεται με την μορφή ορυκτών στην φύση. Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την έψηση του $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ είναι:

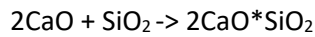


Με ανάμιξη του ανυδρίτη ή του ημιυδρίτη με 60-70 % κ.β. νερό παρατηρείται πήξη της κονίας.

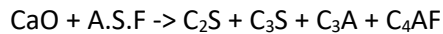
Ενώ, η αερική άσβεστος (CaO), που παράγεται με έψηση ασβεστολιθικών πετρωμάτων και συναντάται είτε καθαρή (CaCO_3), είτε δολομιτική ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) και ανάλογα με την μορφή του αρχικού πετρώματος προκύπτει διαφορετική ποιότητα ασβέστη.

Υδραυλικές κονίες είναι: η υδραυλική άσβεστος και το τσιμέντο. Η τεχνολογία όπτησης μαργαϊκών ασβεστολίθων έχει ως εξής: έψηση των αργιλικών ασβεστολίθων που αποτελούνται από ένα μίγμα ανθρακικού ασβεστίου και αργίλου (μάργες). Η θερμοκρασία έψησης περίπου 900-950 °C. Οι παρακάτω χημικές αντιδράσεις περιγράφουν το φαινόμενο που παρατηρείται κατά την έψηση των παραπάνω πετρωμάτων:





Για την παραγωγή τσιμέντου αρχικά εξορύσσονται οι πρώτες ύλες (ασβεστόλιθος και άργιλος), αλέθονται και παράγεται φαρίνα, ψήνονται σε υψικάμινο σε θερμοκρασίες 1400-1450 °C και παράγεται κλίνκερ:



Ύστερα αναμειγνύεται με διάφορα πρόσθετα (γύψος, ποζολάνες, ιπτάμενη τέφρα) και τέλος, αλέθεται και παράγεται λεπτόκοκκη σκόνη (τσιμέντο).

Κονιάματα με βάση το τσιμέντο: Κονιάματα τσιμέντου-ασβέστη που προσδίδει ιδιότητες όπως: πρόσφυση, στεγανότητα, πλαστικότητα, εργασιμότητα, μείωση πιθανότητας εμφάνισης εξανθημάτων, κ.τ.λ. και κονιάματα τσιμέντου-ποζολάνας για μείωση ποσοστού ελεύθερου $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Σήμερα παράγονται διάφορα είδη τσιμέντου όπως τσιμέντο υψηλών αντοχών, υψηλής συγκέντρωσης πυριτίου, λευκό τσιμέντο, ανθεκτικό στα θειικά κ.τ.λ (Μογορούλιου, et al, 1995).

Αδρανή

Υλικά σε κοκκώδη μορφή, που χρησιμοποιούνται ως filler στα κονιάματα. Για παραγωγή κονιάματος χρησιμοποιούνται κόκκοι με μέγεθος αδρανών <5 mm, ενώ με μικρότερα αδρανή παράγεται σκυρόδεμα.

Ανάλογα με την φύση των αδρανών κατατάσσονται σε: φυσικά αδρανή όπως πέτρες, βότσαλα, χαλίκια χωρίς επεξεργασία ή θραυσμένα, Βιομηχανικά αδρανή όπως διογκωμένη άργιλος, διογκωμένος περλίτης, βερμικουλίτης κ.τ.λ. και συνηθισμένα αδρανή:

- Άμμος(θαλασσινή-ανθρακικής σύστασης, ποταμίσια-χαλαζιακής σύστασης, λατομείου)
- Θραύσματα από ασβεστολιθικά πετρώματα, από γρανίτες, δολομίτες, χαλαζία κ.τ.λ.
- Θραύσματα κεραμικού. Δημιουργία ενυδατωμένων αργιλοπυριτικών προϊόντων του ασβεστίου με καλύτερη πρόσφυση και καλύτερες μηχανικές αντοχές.
- Κίσηρη. Παραγωγή ελαφρού κονιάματος, με μεγαλύτερη ελαστικότητα.

Πρόσθετα

Τα πρόσθετα χωρίζονται σε:

- Ποζολάνες- Ανόργανα, που είναι πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά, τα οποία από μόνα τους δεν παρουσιάζουν υδραυλικές ιδιότητες αλλά σε λεπτοαλεσμένη μορφή και με την παρουσία υγρασίας, αντιδρούν με το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ σε συνήθη θερμοκρασία και δημιουργούν ενώσεις που έχουν συνδυαστικές ιδιότητες.
 - Οι ποζολάνες με την σειρά τους χωρίζονται σε: Φυσικές: από πυροκλαστικά πετρώματα (ηφαιστειακής προέλευσης), υαλώδους μορφής, με περιεχόμενο ποσοστό ενεργού πυριτίου 45-60% όπως η Θηραϊκή γη, η Μηλαϊκή γη, οι ιταλικές ποζολάνες, διατομείς.

- Τεχνητές: στην αρχαιότητα ήταν λεπτά θραύσματα από κεραμικά, πλίνθους αγγεία, κ.τ.λ. και η δραστικότητα τους εξαρτάτο από την αρχική σύνθεση της αργίλου και την θερμοκρασία έψησης. Ενώ οι μοντέρνες τεχνητές ποζολάνες είναι ιπτάμενες τέφρες, σκωρίες υψικαμίνων, silica fume και ο μετακαολινίτης που προκύπτει από έψηση του καολινίτη.

- Οργανικά

Σε αυτή την περίπτωση προστίθενται ενώσεις οργανικής φύσης για την βελτίωση μιας σειράς ιδιοτήτων όπως εργασιμότητα, αύξηση μηχανικών αντοχών, ανθεκτικότητα στον πάγο κ.τ.λ.

2.4 Κύριοι τύποι φθοράς

2.4.1 Φαινόμενα φθορών

Η απειλή για την Πολιτιστική Κληρονομιά και ειδικότερα για τα δομικά υλικά λόγω της εντατικοποίησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, της αστικοποίησης, της βιομηχανίας και του τουρισμού. Οι Ευρωπαίοι συνδυάζουν τις προσπάθειές τους και τους πόρους τους για να προστατεύσουν την Πολιτιστική τους Κληρονομιά, η οποία, αν και επιβίωσε για αιώνες, τώρα υφίσταται μια ραγδαία υποβάθμιση, δύσκολα αναστρέψιμη. Η φύση των προβλημάτων και η προηγούμενη εμπειρία αποδεικνύουν ότι για την επίτευξη της διατήρησης του μνημείου, μελέτες του ιστορικού και πολιτιστικού τους πλαισίου, διαγνωστικές μελέτες (για την κατανόηση των αιτιών και μηχανισμών φθοράς), η περιβαλλοντική παρακολούθηση και εκτίμηση επιπτώσεων και η επιλογή των κατάλληλων μεθόδων και υλικών συντήρησης αποτελούν τη ζωτική, επιστημονική και τεχνική βάση για τις κατάλληλες παρεμβάσεις. Φθορά των δομικών υλικών είναι η απομείωση στο χρόνο των ιδιοτήτων (φυσικών, χημικών, μηχανικών) και των χαρακτηριστικών (ορυκτολογικών, υφής), της συνοχής, των διαστάσεων και της αισθητικής των υλικών, που οδηγεί στην αποσάθρωσή τους. Συναρτάται πάντα με τους ενδογενείς (υλικά) και τους εξωγενείς (περιβάλλον) παράγοντες. (Moropoulou, A., et al, 2000, Moropoulou, A., et al, 1997).

Τα φαινόμενα φθοράς κατατάσσονται γενικά 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 ύγρανσης 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. Παράδειγμα βιολογικής φθοράς είναι τα βρύα και οι λειχήνες.

Τα φαινόμενα φθοράς εκδηλώνονται στις διεπιφάνειες υλικών / περιβάλλοντος ή υλικών / υλικών και είναι συνάρτηση ενδογενών και εξωγενών παραγόντων (Α. Μοροπούλου, Διδακτικές Σημειώσεις, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, 2022).

Οι ενδογενείς παράγοντες φθοράς είναι:

- Είδος δομικών υλικών (πέτρες, κονιάματα, κεραμικά/ γυαλιά, μέταλλα, ξύλο), προηγμένα υλικά (πολυμερή, σκυρόδεμα, σωματιδιακά, ινώδη ή φυλλώδη σύνθετα)
- Ιδιότητες δομικών υλικών (ορυκτολογικές, φυσικές, φυσικοχημικές, χημικές, μηχανικές)
- Κατανομή μάζας (μακροδομή, μικροδομή)
- Προέλευση και απόληψη
- Τεχνικές και τεχνολογία παραγωγής- διαμόρφωσης- κατασκευής
- Ιστορία των δομικών υλικών στην κατασκευή (φάση αρχικής κατασκευής/ ανακατασκευής)
- Συμβατότητα μεταξύ των δομικών υλικών στην εγκατάσταση ή κατασκευή

Οι εξωγενείς παράγοντες που οδηγούν στην αποσάθρωση είναι:

Το είδος των περιβαλλοντικών παραγόντων και φορτίσεων.

- Γενικά χαρακτηριστικά κλίματος (κατανομή, προσανατολισμός, ένταση περιβαλλοντικών παραγόντων (TOC, H%, W)).
- Μικροκλίμα (προσανατολισμός, ιδιαίτερη θέση στο κτήριο, μέγεθος (κλίμακα), μορφολογία επιφάνειας, τρόπος προσβολής από τη βροχή).
- Ατμόσφαιρα (ρυπασμένη, θαλασσινή)
- Νερό (αερολύματα, βροχή, ανερχόμενη (τριχοειδής) υγρασία, συμπύκνωση, διαλύματα αλάτων)
- Βιολογικοί παράγοντες (μικροπανίδα, φυτά, πτηνά)
- Συνθήκες χρήσης (εξωτερικό περιβάλλον χωροταξικές, πολεοδομικές, κυκλοφοριακές ρυθμίσεις και μέτρα, δομικό περιβάλλον κατασκευής, εσωτερικό περιβάλλον, λειτουργικές συνθήκες εσωτερικού χώρου)
- Μηχανικές φορτίσεις (θερμοκρασιακές μεταβολές, διόγκωση μεταλλικών συνδέσμων, κρυστάλλωση αλάτων, παγετός, σεισμικές δονήσεις)

2.4.2 Προσέγγιση της μελέτης της φθοράς

Ο τρόπος θεώρησης της συμπεριφοράς των υλικών στο περιβάλλον δεν είναι γενικευμένος. Κάθε συγκεκριμένη περίπτωση πρέπει να μελετάται στην κατεύθυνση της αποκάλυψης του συγκεκριμένου μηχανισμού που επιδρά κάθε φορά. Η φθορά μελετάται σε δύο επίπεδα: στη Μακροκλίμακα, που αναφέρεται στο είδος και την μορφολογία της διάβρωσης και στη Μικροκλίμακα που αναφέρεται στην κινητική του φαινομένου (ταχύτητα διάβρωσης) και στην θερμοδυναμική του φαινομένου (πιθανότητα διάβρωσης) (Α. Μοροπούλου, Διδακτικές Σημειώσεις, ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων, 2022).

2.4.2.1 Μακροκλίμακα

Φαινόμενα φθοράς σε συνάρτηση με την παθολογία του μνημείου:

- Επιφανειακές κρούστες
- Κρυστάλλωση αλάτων

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

- Αποσάθρωση συνδετικών κονιαμάτων
- Ασύμβατα υλικά
- Φθορά και παθολογία από μηχανικούς παράγοντες
- Βιολογικοί παράγοντες

Ταξινόμηση φαινομένων φθοράς στο επίπεδο της μακροκλίμακας:

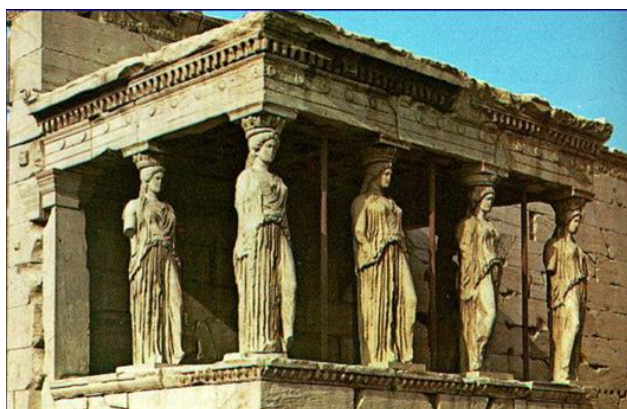
Δράσεις	Διεργασία φθοράς	Κύρια φαινόμενα φθοράς
Φυσικές	<ul style="list-style-type: none">• Κύκλοι ύγρυνσης ξήρανσης• Θερμικά σοκ• Επίδραση ανέμου	Απόσπαση κόκκων, διάβρωση εκτριβής, ρήξη συνέχειας, ρηγμάτωση, κ.ά.
Φυσικοχημικές	<ul style="list-style-type: none">• Κρυστάλλωση αλάτων• Ενουδάτωση• Θείωση εν ξηρώ	Εκλεκτική αποσάθρωση υλικών, διάρρηξη συνδετικών υλικών, κ.ά.
Χημικές και βιοχημικές	<ul style="list-style-type: none">• Υδρόλυση• Διάλυση• Οξειδωση• Θείωση, κ.α.	Χημική αποσύνθεση, διάλυση και εξαλλοίωση συνδετικών υλικών, σχηματισμός κρούστας, υποχώρηση μετώπων επιφάνειας

Πίνακας 2: Ταξινόμηση φθορών σε επίπεδο μακροκλίμακας

Επιφανειακές κρούστες

➤ Γυψοποίηση

Η γυψοποίηση αναφέρεται στον σχηματισμό γύψου, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, με προσβολή του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ή του CaCO_3 των λίθων από θειϊκό οξύ. Ο γύψος στην επιφάνεια της πέτρας είναι διαλυτός και με έκπλυση (π.χ. από την βροχή) αποκαλύπτει το υγιές, μη γυψοποιημένο στρώμα της πέτρας, δηλαδή επιτρέπει την εξέλιξη του φαινομένου σε βάθος. Αυτό έχει σαν γενικότερο αποτέλεσμα την σταδιακή απαλοιφή των λεπτομερειών της επιφάνειας της πέτρας.



Εικόνα 2.8: Η διάλυση του στρώματος του γύψου στην επιφάνεια του πεντελικού μαρμάρου απαλείφει τις λεπτομέρειες από το πρόσωπο και τις πτυχές του χιτώνα των Καρυάτιδων. (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Καθ. Α. Μοροπούλου)

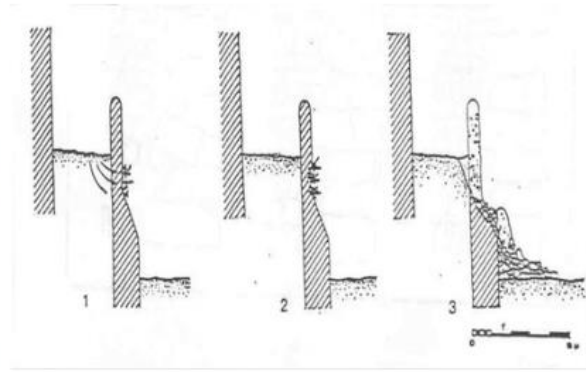
➤ Όξινη ανθρακική κρούστα

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Μετατροπή του ανθρακικού ασβεστίου CaCO_3 σε όξινο ανθρακικό ασβέστιο, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ το οποίο στην συνέχεια με την εξάτμιση του νερού μετατρέπεται σε ανακρυσταλλωμένο ανθρακικό ασβέστιο. Το στρώμα αυτό, θεωρείται ότι δεν έχει καλή συνοχή με το υποκείμενο ανθρακικό ασβέστιο (της κύριας μάζας της πέτρας) και οδηγεί σε χαλάρωση της κρούστας, που σε συνδιασμό με βιολογική δραστηριότητα, και την χαλάρωση των αρμών μπορεί να προκαλέσει τοπικές καταρρεύσεις σε τοιχοποιίες.



(α)



(β)

Εικόνα 2.9: Όξινη ανθρακική κρούστα (α): τοιχοποιία, (β): μηχανισμός κατάρρευσης, (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου)

➤ Κρυστάλλωση αλάτων

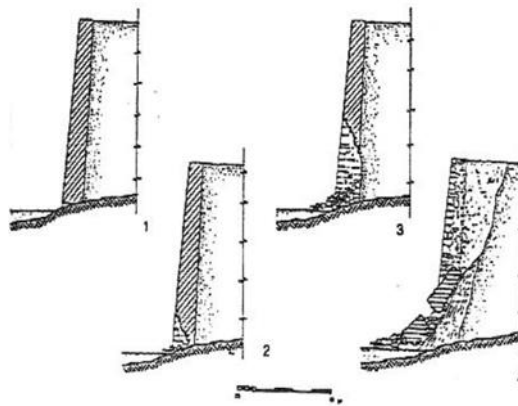
Η κρυστάλλωση αλάτων αναφέρεται στη μηχανική φθορά των πορωδών λίθων και δομικών υλικών, μέσω της ανάπτυξης μηχανικών τάσεων στο εσωτερικό των υλικών (πόρους) από κρυστάλλους αλάτων και διάρρηξη της συνέχειας του υλικού όταν οι τάσεις ξεπεράσουν την αντοχή του. Οι κύριες πηγές αλάτων σε τοιχοποιίες είναι η τριχοειδής αναρρίχηση (από το έδαφος), τα γειτονικά υλικά όπως το τσιμέντο, και συχνά το ίδιο το συνδετικό κονίαμα. Αν η εξάτμιση λάβει χώρα στο εσωτερικό της μάζας του υλικού, ο τύπος αυτός της φθοράς εμφανίζεται μακροσκοπικά με την μορφή της κυψέλωσης, δηλαδή την αποκόλληση τμήματος του διαρρηγμένου υλικού.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 2.10: Κρυστάλλωση αλάτων- Μεσαιωνική πόλη της Ρόδου, (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου).

➤ Αποσάθρωση συνδετικών κονιαμάτων



Εικόνα 2.11: Μηχανισμός κατάρρευσης τοιχοποιιών, (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου)

Μπορεί να οδηγήσει σε κατάρρευση της τοιχοποιίας σε συνδυασμό με πλάγιες ωθήσεις. Έμφαση δίνεται στο 1/3 του ύψους της τοιχοποιίας όπου εντοπίζεται το μέγιστο ποσοστό υγρασίας και άρα διαλυτών αλάτων.

- Ασύμβατα υλικά
- Τσιμεντιτικά κονιάματα αποκατάστασης

Σε εφαρμογές αποκατάστασης ιστορικών τοιχοποιιών, η μικρή τιμή πορώδους και η σχετικά πυκνή δομή των τσιμεντιτικών κονιαμάτων δυσκολεύει την "αναπνοή" της τοιχοποιίας, δηλαδή την μεταφορά της υγρασίας στους κύκλους ύγρανσης και ξήρανσης.

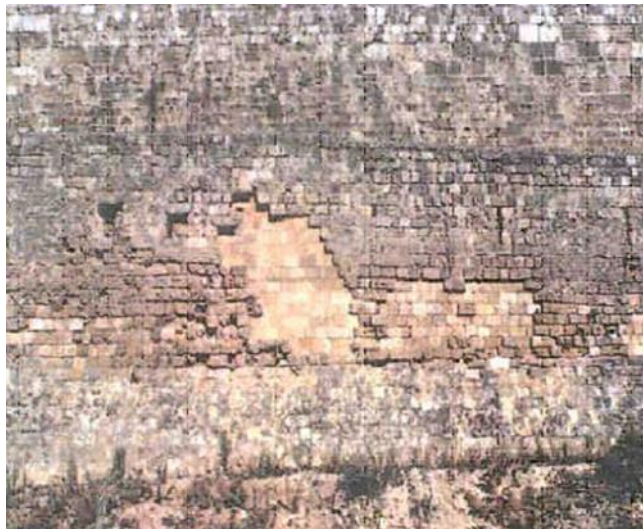
Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Τα τσιμεντιτικά κονιάματα είναι φορέας διαλυτών αλάτων. Ο εκλεκτικός προσανατολισμός των διαλυτών αλάτων στα γειτονικά ιστορικά δομικά υλικά και η κρυστάλλωση τους κατά τη φάση της εξάτμισης οδηγούν σε άσκηση πιέσεων κρυστάλλωσης.



Εικόνα 2.12: Τοιχοποιία από Μεσαιωνικές οχυρώσεις Ρόδου, (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Συντήρησης Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου)

- Χρήση υλικών με ασύμβατη μικροδομή



Εικόνα 2.13: Τοιχοποιία που παρουσιάζει απώλεια υλικού λόγω χρήσης ασύμβατων υλικών, (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου)

Η αντικατάσταση και συμπλήρωση φθαρμένων λιθοσωμάτων από συμπαγέστερους και μικρότερου πορώδους υγιείς λίθους, οδηγεί σε ένταση των φαινομένων φθοράς στη διεπιφάνεια παλαιού νέου υλικού.

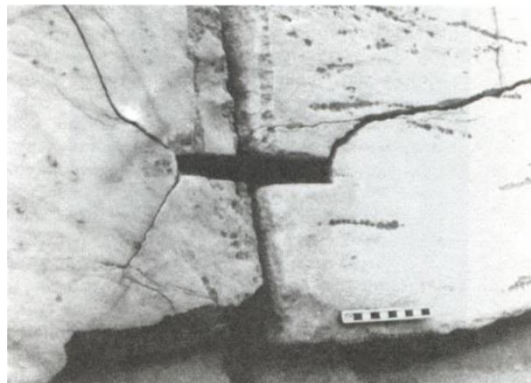
Φθορά και παθολογία από μηχανικούς παράγοντες

- Θερμοκρασιακές μεταβολές

Ακραίες θερμοκρασιακές μεταβολές (π.χ. μεταξύ μέρας και νύχτας) ή άνισες κατανομές θερμοκρασίας σε δομικά υλικά. Αλλά και, διαφορετικοί συντελεστές θερμικής διαστολής και θερμοχωρητικότητας των διαφόρων φάσεων και υλικών ενός συστήματος υλικών, προκαλούν σοβαρές φθορές στα ιστορικά κτήρια.

➤ Διόγκωση μεταλλικών συνδέσμων

Τα προϊόντα της οξείδωσης που δημιουργούνται στην επιφάνεια του μεταλλικού συνδέσμου αυξάνουν σημαντικά τον όγκο του συστήματος μέταλλο - προϊόντα διάβρωσης. Η διόγκωση αυτή προκαλεί την ανάπτυξη ισχυρότατων μηχανικών τάσεων που οδηγούν στη ρήξη του υλικού, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, όταν αυτές οι τάσεις υπερβούν την αντοχή του.



Εικόνα 2.14: Ρηγμάτωση μαρμάρου εξαιτίας της διάβρωσης συνδέσμου στον Παρθενώνα [Σκουλικίδης Θ.], (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου)

➤ Φθορά λόγω πάγου

Αναφέρεται στην ανάπτυξη μηχανικών τάσεων από τους κρυστάλλους πάγου στο εσωτερικό των υλικών που όταν υπερβούν την αντοχή του υλικού, οδηγούν σε αστοχία του, δηλαδή την ρηγμάτωση και αποσάθρωση. Η ένταση της φθοράς λόγω πάγου εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες στις οποίες εκτίθεται το υλικό, από την διαπερατότητα του υλικού σε υγρασία και από την μηχανική αντοχή του.

➤ Σεισμικές δονήσεις

Οι σεισμικές δονήσεις μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στα κτήρια ανάλογα με:

- το είδος των δυναμικών καταπονήσεων,
- την διάρκειά τους,
- την μέγιστη εφαρμοζόμενη καταπόνηση,
- τον τρόπο δόνησης (χαρακτηριστικά εδαφικών επιταχύνσεων),
- την πρότερη δομική κατάσταση του κτηρίου,
- την απόκριση του κτηρίου σε δυναμικές φορτίσεις

Σύμφωνα με τον Ευροκώδικα 8-ENV 1998 «Design provisions for earthquake resistance of structures» η δυναμική καταπόνηση των κτηρίων μπορεί να προκαλέσει βλάβες όταν οι συχνότητες αυτής κυμαίνονται μεταξύ 8-80Hz . Γενικά, βλάβες συνήθως παρουσιάζονται για μέγιστη ταχύτητα καταπόνησης μεγαλύτερη από 10mm/s.

Στα ιστορικά κτήρια, σε αντίθεση με τα νεότερα και σχεδιασμένα σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, κυριαρχεί ο παράγοντας των υφιστάμενων βλαβών και της φθοράς των υλικών. Κτήρια που έχουν υποστεί δομικές βλάβες είτε λόγω παρελθουσών σεισμικών δονήσεων είτε λόγω φθοράς των υλικών τους, θα υποστούν περαιτέρω ζημιές και ίσως πλήρη κατάρρευση σε μικρότερες τιμές δυναμικών επιταχύνσεων από αυτές που θα μπορούσαν να αντέξουν καινούρια, ισχυρά και κατάλληλα σχεδιασμένα κτήρια. Δηλαδή τα κτήρια που έχουν ήδη υποστεί μεγάλες βλάβες ή φθορές θα παρουσιάσουν μεγαλύτερη πιθανότητα υπέρβασης δεδομένου επιπέδου βλάβης που μπορεί να οδηγήσει σε μερική ή ολική κατάρρευση.

➤ Βιολογικοί παράγοντες

Η βιολογική διάβρωση μειώνει την αισθητική του υλικού, καθώς λαμβάνουν χώρα χημικές και φυσικές διεργασίες στην επιφάνεια των υλικών. Η βιολογική διάβρωση συναντάται ως: βακτήρια, άλγη, μύκητες ακτινομύκητες, λειχήνες, δέντρα και φυτά.



Εικόνα 2.15: Βιολογική φθορά, (Πηγή: Φθορές - ΥΣΜΑ (ysma.gr))

2.4.2.1 Μίκροκλιμακα

Η επίδραση του νερού και των αλάτων:

- Ο ρόλος του νερού
- Η μεταφορά του νερού σε πορώδη μέσα
- Κρυστάλλωση αλάτων
- Ο ρόλος του νερού

- Ο ρόλος του νερού

Ελέγχει τη μεταφορά, κρυστάλλωση, ανακρυστάλλωση και ενυδάτωση των αλάτων στα δομικά υλικά ενώ παράλληλα ευθύνεται για την ανάπτυξη ισχυρών οσμωτικών πιέσεων όταν υπάρχουν οι κατάλληλες προϋποθέσεις. Οι αέριοι ρύποι μεταφέρονται στο νερό με τη βροχή ή με συμπύκνωση για να σχηματίσουν όξινα διαλύματα ιδιαίτερα επικίνδυνα για τις πέτρες ανθρακικής σύστασης. Πολλές αντιδράσεις στην επιφάνεια και στο εσωτερικό της πέτρας μπορούν να λάβουν

χώρα μόνο παρουσία νερού (ιονεναλλακτική εξαλλοίωση ορυκτών, υδρόλυση κ.ά.). Οι δράσεις αυτές είναι κρίσιμες για τη διάβρωση των άργιλο-πυριτικών πετρωμάτων.

Μια μεγάλη κατηγορία διαβρωτικών φαινομένων ερμηνεύεται μέσω των κυκλικών μεταβολών της ατμοσφαιρικής υγρασίας, ιδιαίτερα παρουσία διαλυτών αλάτων. Επίσης, η θιξοτροπία και η διόγκωση του πλέγματος ορισμένων αργίλων είναι φαινόμενα που σχετίζονται με τις αλλαγές της ατμοσφαιρικής υγρασίας.

Το νερό προκαλεί μηχανική φθορά όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από 0°C, ένα φαινόμενο αρκετά περίπλοκο και ιδιαίτερα σοβαρό όσο αυξάνεται η συχνότητα της μετατροπής του από τη στερεή στην υγρή φάση και ανάποδα. Φθορά μπορεί να προκληθεί επίσης και από ισχυρές καταιγίδες και χαλαζοπτώσεις. Ενώ, το σύνολο σχεδόν των βιολογικών δράσεων συμβαίνει μόνο παρουσία υγρασίας.

➤ Η μεταφορά του νερού σε πορώδη μέσα

Η μεταφορά του νερού λαμβάνει χώρα τόσο οριζόντια (π.χ. μεταφορά υγρασίας από το εξωτερικό τοιχοποιίας στο εσωτερικό της), όσο και κατακόρυφα (π.χ. αναρρίχηση υγρασίας από το έδαφος). Το μέγιστο ύψος της τριχοειδούς αναρρίχησης είναι δύσκολο γιατί η τοιχοποιία είναι ένα ανομοιογενές σύστημα από διαφορετικά υλικά.

Η εξάτμιση του νερού κατά της διάρκεια της ανύψωσης οδηγεί σε μείωση του συνολικού ύψους, μέχρι σε ένα σημείο όπου η αναρρίχηση σταματά γιατί η εξάτμιση κυριαρχεί επί της αναρρίχησης, ακόμη και σε τοιχοποιίες με υψηλό περιεχόμενο υγρασίας.

➤ Κρυστάλλωση αλάτων

Η κρυστάλλωση των αλάτων είναι ο κυριότερος και πιθανά ο πιο καταστρεπτικός παράγοντας φθοράς για τα πορώδη υλικά. Επιδρά σε όλα τα πορώδη υλικά ανεξάρτητα από την χημική τους σύσταση και ενισχύει τους υπόλοιπους παράγοντες φθοράς. Συμβαίνει λόγω δημιουργίας υπέρκορων διαλυμάτων και καθίζησης αλάτων στο εσωτερικό της πέτρας κατά τη φάση της ξήρανσης. Τα σημεία της τοιχοποιίας εσωτερικά ή εξωτερικά όπου θα αναπτυχθούν κρύσταλλοι αλάτων εντοπίζονται σε συνάρτηση με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η πίεση κρυστάλλωσης που αναπτύσσεται, είναι πιθανό να οδηγήσει σε ρήξη των τοιχωμάτων πόρων όταν είναι μεγαλύτερη από τη θλιπτική αντοχή της πέτρας.

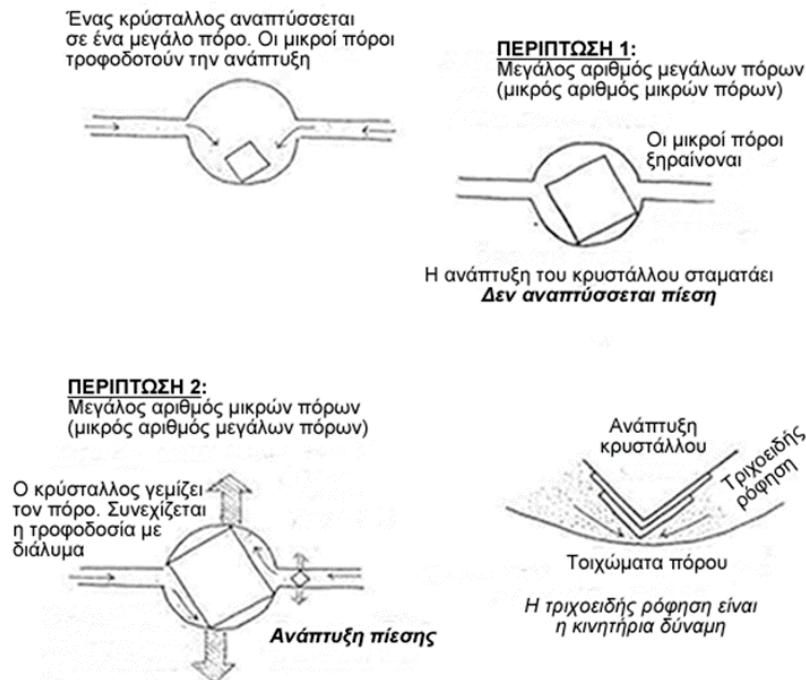
Εξανθήσεις αλάτων

Ανάπτυξη και απόθεση κρυστάλλων στην εξωτερική επιφάνεια του πορώδους υλικού [Ρυθμός μεταφοράς διαλύματος αλάτων προς το εξωτερικό > ρυθμός ξήρανσης]

Κρυπτο-εξανθήσεις αλάτων

Ανάπτυξη κρυστάλλων στο εσωτερικό (πόροι) του λίθου με απόθεση διαλύματος αλάτων μέσα στους πόρους [Ρυθμός μεταφοράς διαλύματος αλάτων προς το εξωτερικό < ρυθμός ξήρανσης]. Επικίνδυνη κατάσταση, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε ανάπτυξη πιέσεων, που εξαρτώνται από τον

τύπο των αλάτων, και το μέγεθος και κατανομή των πόρων. Η ανάπτυξη των κρυστάλλων συμβαίνει ως εξής: Γίνεται αρχικά, μεταφορά ιόντων στην επιφάνεια του κρυστάλλου, παράλληλα με διάφορες επιφανειακές αντιδράσεις (ρόφηση, επιφανειακή πυρήνωση, επιφανειακή διάχυση, αφυδάτωση, ιοντοανταλλαγή). Ύστερα, ενσωματώνονται τα ιόντα στο κρυσταλλικό πλέγμα και αναπτύσσεται ο κρύσταλλος.



Εικόνα 2.16: Μηχανισμός ανάπτυξης κρυστάλλων, (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου)

Η κρυστάλλωση προκαλεί πιέσεις στα τοιχώματα των πόρων. Όσο αναπτύσσονται οι κρύσταλλοι, προκαλούν πιέσεις στα τοιχώματα των πόρων. Όσο πιο υψηλός είναι ο λόγος λ =(μικροί πόροι/μεγάλοι πόροι) τόσο μεγαλύτερες πιέσεις αναπτύσσονται. Η ανάπτυξη τάσεων στα τοιχώματα των πόρων είναι ικανή να διαρρήξει τα τοιχώματα και να επιτρέψουν την περαιτέρω ανάπτυξη κρυστάλλων.

2.5 Μη καταστρεπτικός έλεγχος

Παρόλο που είναι διαθέσιμη ποικιλία τεχνικών ελέγχου, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τομέα της προστασίας της δομημένης πολιτιστικής κληρονομιάς, τα προβλήματα που συνδέονται με την προσβασιμότητα και τις μη αναστρέψιμες και καταστροφικές δειγματοληψίες σε μνημεία, δεν επιτρέπουν την εκτεταμένη χρήση των καταστρεπτικών μεθόδων ελέγχου. Για αυτό προτιμάται η χρήση Μη Καταστροφικών Τεχνικών (NDT's) που μπορούν να εφαρμοστούν στο πεδίο και δεν απαιτούν καταστροφική δειγματοληψία. Η εξέλιξη της τεχνολογίας στους αισθητήρες τους και το σχετικό λογισμικό ανάλυσης δεδομένων έχουν ενισχύσει τη χρήση τους και αποτελούν σήμερα απαραίτητο εργαλείο στον τομέα της προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς για τον χαρακτηρισμό των υλικών, την ανίχνευση της φθοράς και υποβάθμισής τους, την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων και την αξιολόγηση εφαρμογών συμβατών υλικών. Επιπλέον, μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τη στρωματογραφία υλικών, τοιχοποιιών και

επικαλυμμένων επιφανειών και παρέχουν τη δυνατότητα καταγραφής και επεξεργασίας οπτικών πληροφοριών και τη μετατροπή τους, βάσει φυσικοχημικών κριτηρίων σε δείκτες ποιότητας της επιφάνειας ή της φθοράς (Moropoulou, A., et al, 2013).

Οι μη καταστρεπτικοί έλεγχοι είναι εργαλεία που βοηθούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα για τη διάγνωση φθοράς, την αξιολόγηση πιλοτικών επεμβάσεων διατήρησης, ενώ παρέχουν και ουσιαστική επιστημονική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων σχετικά με την προστασία του μνημείου. Οι βασικότεροι μη καταστρεπτικοί έλεγχοι είναι οι κάτωθι:

- Υπερηχοσκόπηση
- Θερμογραφία Υπερύθρου [Infrared Thermography IRT]
- Μικροσκοπία Οπτικών Ινών [Fiber Optic Microscopy FOM]
- Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας [Digital Image Processing DIP]
- Γεωραντάρ [Ground Penetrating Radar GPR]
- Μικροκύματα
- Γαμμαγραφία

Αυτά τα αποτελέσματα NDT συνδέονται με το Computer-Aided Design (CAD) και τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) προκειμένου να υποστηριχθεί ο στρατηγικός σχεδιασμός των παρεμβάσεων διατήρησης σε κλίμακα μνημείων και η εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων για την προστασία, διαχείριση και αιεφόρο ανάπτυξη της δομημένης πολιτιστικής κληρονομιάς. Στο επόμενο εδάφιο γίνεται μία σύντομη ανάπτυξη και περιγραφή των προαναφερθέντων μη καταστρεπτικών ελέγχων (A. Moropoulou, et al, 2013, Moropoulou, et al, 2005, E. Alexakis, et al, 2018).

➤ Υπερηχοσκόπηση

Η ταχύτητα μετάδοσης υπερήχων αποτελεί καλή ένδειξη της φυσικομηχανικής συμπεριφοράς των λίθων. Ηχητικά κύματα υψηλής συχνότητας εισάγονται στην εξεταζόμενη επιφάνεια και ταξιδεύουν μέσω του υλικού με κάποια συνακόλουθη απώλεια ενέργειας (εξασθένηση) και αντανακλώνται σε μια διεπαφή που συναντάται. Η ανακλώμενη δέσμη στη συνέχεια ανιχνεύεται στην επιφάνεια και αναλύεται για να προσδιοριστεί η παρουσία και η θέση ελαττωμάτων ή ασυνεχειών. Χρησιμοποιείται συνήθως στους τομείς των μεταφορών και των κατασκευών, κυρίως για τον εντοπισμό ελαττωμάτων (ρωγμές, εγκλείσματα κ.λπ.) στα υλικά. Στον τομέα της προστασίας δομημένης πολιτιστικής κληρονομιάς, η υπερηχοσκόπηση μπορεί να παρέχει, μη καταστροφικά, τις ελαστικές ιδιότητες του ιστορικού υλικού, να αποτιμήσει το βάθος φθοράς του υλικού, αλλά και το βάθος διεύθυνσης κάποιου υλικού σπέρματος. Ωστόσο, συναντώνται πειραματικές δυσκολίες στις μετρήσεις στο πεδίο, καθώς εξετάζονται τραχείες επιφάνειες με απώλεια συνοχής, ξεπερασμένων ιστορικών υλικών, συχνά άγνωστης μικροδομής και σύνθεσης.

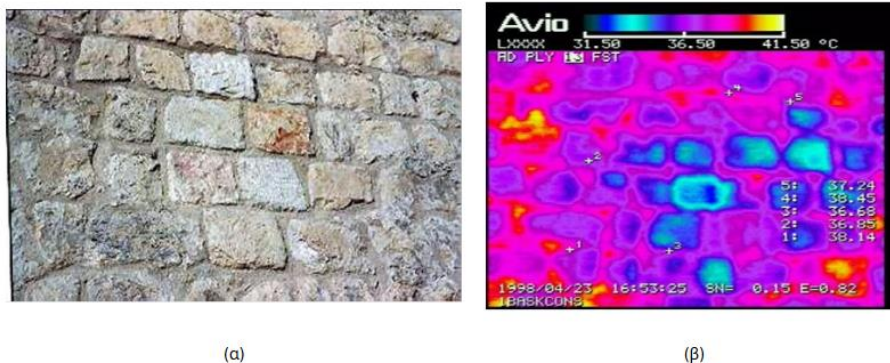
Για διαμήκη και εγκάρσια κύματα η ταχύτητα διάδοσης κύματος, c , δίνεται αντίστοιχα από:

$$c_{11}=v(E_{11}/\rho), c_{44}=v(E_{44}/\rho)$$

όπου E_{11} , E_{44} είναι οι ελαστικές σταθερές του υλικού που αντιστοιχούν σε διαμήκη ή εγκάρσια κίνηση ταλάντωσης.

➤ Θερμογραφία Υπερύθρου (Infrared Thermography IRT)

Η βασική αρχή της τεχνικής είναι ότι, εφόσον όλα τα αντικείμενα πάνω από την απόλυτο μηδενική θερμοκρασία (0 K) εκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία, είναι δυνατό να ανιχνευθούν και να χαρτογραφηθούν οι θερμικές διακυμάνσεις και να συσχετιστούν με παραλλαγές των ιδιοτήτων των υλικών, της μικροδομής και της μορφολογίας της επιφάνειας. Οι θερμικές διακυμάνσεις μετρούνται με τη βοήθεια υπέρυθρων καμερών που λειτουργούν στις μεσαίες (3–5 lm) και στις μεγάλες (7–14lm) ζώνες υπέρυθρων κυμάτων, που αντιστοιχούν σε δύο από τα υπέρυθρα παράθυρα υψηλής διαπερατότητας της ατμόσφαιρας, αυτές οι τιμές αντιστοιχούν σε μία χρωματική κλίμακα θερμοκρασίας και δημιουργείται μία έγχρωμη εικόνα. Στις έρευνες IRT στον τομέα της προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς χρησιμοποιείται είτε παθητική είτε ενεργή θερμογραφία. Η παθητική προσέγγιση χρησιμοποιείται συνήθως για την παρατήρηση αρχιτεκτονικών επιφανειών, όπου τα υπό διερεύνηση υλικά συνήθως εξετάζονται ως προς τα ποιοτικά μέσα (ανίχνευση ασυνεχειών/ διεπαφών, ελαττωμάτων, κενών κ.λπ.). Αντίθετα, όταν το αντικείμενο ενδιαφέροντος βρίσκεται σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον, και επομένως είναι δύσκολο να διαφοροποιηθεί από αυτό, χρησιμοποιείται ενεργή θερμογραφία, κατά την οποία χρησιμοποιείται μια πηγή ενέργειας για την παραγωγή θερμικής αντίθεσης (θέρμανση ή ψύξη) μεταξύ του αντικείμενου ενδιαφέροντος και του υποβάθρου. Σε αυτή την περίπτωση, είναι επίσης δυνατό να επιτευχθούν ποσοτικά αποτελέσματα, επειδή τα χαρακτηριστικά θέρμανσης ή ψύξης της πηγής διέγερσης καθορίζονται σε χρόνο και πλάτος (N.P Avdelidis, A Moropoulou, 2004).



Εικόνα 2.17: Ενετικές Οχυρώσεις Ηρακλείου(α) Θερμογραφία υπέρυθρου τοίχου (β) , (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου)

Ωστόσο, αυτός ο έλεγχος δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα ιστορικά δομικά υλικά. Για παράδειγμα, ένα υλικό με κενά ή πόρους, μειώνει τη θερμική αγωγιμότητα και την πυκνότητά του, αλλάζει η θερμική του διάχυση και έτσι επηρεάζεται η αγωγιμότητα της μεταφοράς θερμότητας μέσα στο υλικό. Επίσης, όταν το υλικό περιέχει υγρασία, οι οπτικές του ιδιότητες αλλοιώνονται, η πυκνότητα, η ειδική θερμοχωρητικότητα και η θερμική αγωγιμότητα επηρεάζονται επίσης και έτσι οποιοσδήποτε αλλαγές θερμοκρασίας είναι πολύ πιο αργές στην υγρή περιοχή. Επιπλέον, η γνώση της εκπομπής υλικών είναι ζωτικής σημασίας και πολλές μελέτες για την εκπομπή δομικών υλικών έχουν διεξαχθεί. Στην πράξη, το IRT είναι πολύ χρήσιμο στην διάγνωση των διαφορετικών κατασκευαστικών φάσεων , στην αξιολόγηση της απόδοσης διαφόρων επεμβάσεων συντήρησης (όπως εφαρμογή υλικών αποκατάστασης, καθαρισμός και στερέωση), επίσης στην αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησής του σε τοιχοποιίες (ανίχνευση υπολειμματικής υγρασίας) και μελέτη αρχιτεκτονικών επιφανειών καλλιτεχνικής αξίας (όπως τα ψηφιδωτά).

- Ψηφιακή Μικροσκοπία (DM)

Η ψηφιακή Μικροσκοπία (DM) είναι μία Μη Καταστρεπτική Τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πεδίο για την απόκτηση εικόνων μεγεθυμένου, ορατού φάσματος. Η μικροσκοπία οπτικών ινών λειτουργεί ως εξής: οι οπτικές επικοινωνίες χρησιμοποιούν φως αντί ηλεκτρικού ρεύματος ως φορέα των σημάτων και οπτικές ίνες αντί μεταλλικών αγωγών για τη μετάδοσή του. Το προς μετάδοση ηλεκτρικό σήμα (φωνή, εικόνα, δεδομένα κ.λ.π.) μετατρέπεται στο ένα άκρο της οπτικής ζεύξης σε ακολουθία ψηφιακών παλμών που διοχετεύονται στην οπτική ίνα. Στο άλλο άκρο της ζεύξης ανιχνεύονται οι παλμοί και μετατρέπονται στο αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα. Ενώ στην παραδοσιακή οπτική μικροσκοπία απαιτείται να τοποθετηθεί δείγμα στο μικροσκόπιο, με DM η εικόνα μπορεί να ληφθεί *in situ*. Ως αποτέλεσμα λαμβάνονται υψηλής ανάλυσης και μεγεθυνσης (έως και $\times 600$) εικόνες της επιφάνειας μπορούν να ληφθούν και να αποθηκευτούν ψηφιακά για περαιτέρω επεξεργασία (π.χ. DIP).

Στον τομέα της προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς, το DM χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό διαφορών στην υφή και τη σύνθεση των επιφανειών, για την ταξινόμηση υλικών (π.χ. ταξινομήσεις κονιαμάτων), για τη μελέτη των φαινομένων αποσύνθεσης (κυψέλωση, σκληρή ανθρακική κρούστα κ.λπ.), για τη διερεύνηση της μορφολογίας της επιφάνειας των υλικών, για τον εντοπισμό ελαττωμάτων σε ιστορικά δομικά υλικά, για χαρακτηρισμό υλικών, για αξιολόγηση παρεμβάσεων καθαρισμού και ασύμβατων παρεμβάσεων.



Εικόνα 2.18: Λήψη δεδομένων με FOM, (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου)

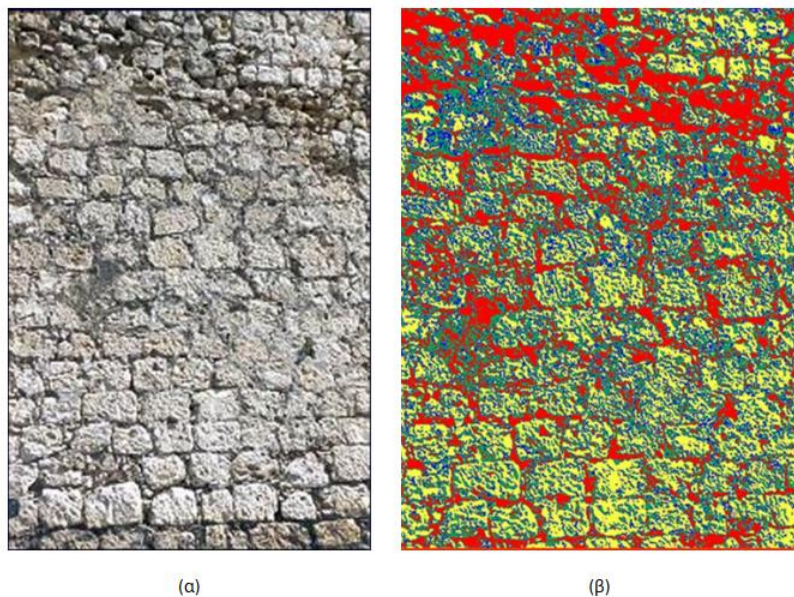
➤ Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας [Digital Image Processing DIP]

Σκοπός της Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας είναι η αναγνώριση των λιθοτύπων και των μορφών φθοράς με την απόδοση των διαφορετικών πληροφοριών με διαφορετικά χρώματα επί απλών φωτογραφιών και την επεξεργασία εικόνων με ψευδή χρώματα στην επιφάνεια και σε βάθος. Η μέθοδος λειτουργεί ως εξής: λόγω του διαφορετικού ποσοστού ανάκλασης και απορρόφησης του ορατού φάσματος (φωτός) από την εξεταζόμενη επιφάνεια ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται, μπορούν να διερευνηθούν οι διαδικασίες και οι μηχανισμοί της φθοράς των υλικών. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ποιότητα της εικόνας να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει σαφή διαχωρισμό των χαρακτηριστικών του υλικού διαμέσου των χρωματικών μεταβολών.

Κάθε επεξεργασία εικόνας μπορεί να θεωρηθεί ως μαθηματική επεξεργασία μιας συνάρτησης $f(x,y)$. Στην πραγματικότητα γίνεται επεξεργασία της συνάρτησης των x,y , με αποτέλεσμα ορισμένο αριθμό τιμών σε σχέση με δοθείσα κλίμακα του γκριζου. Κάθε σημείο, ή καλύτερα, κάθε στοιχείο εικόνας (picture element, pixel): συνεισφέρει, μέσω του διαφορετικού επιπέδου του γκριζου που αντιστοιχεί, στο σχηματισμό της ψηφιακής εικόνας. Η διαδικασία μεταωπής της αρχικής εικόνας σε μία νέα ψηφιακή εικόνα συνίσταται, κατ' αρχήν, στην απόδοση

τιμών στη συνάρτηση $f(x,y)$ σύμφωνα με μια τετραγωνική μήτρα και διαδοχικές ποσοτικοποιήσεις των χωρικών δειγμάτων κωδικοποιημένων σε δυαδικό σύστημα. Τα ανεξάρτητα χωρικά δείγματα (pixels) αντιπροσωπεύονται από μια ολοκληρωμένη τιμή η οποία δείχνει τη σχέση με μια κατάλληλη κλίμακα.

Η ανάλυση υφής από αυτή τη μέθοδο μπορεί να εξεταστεί συνδυαστικά δεδομένα μικροδομής και με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης. Η ικανότητα της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας να παρέχει λεπτομερή χαρτογράφηση υλικών για την αξιολόγηση της συμβατότητας των επεμβάσεων διατήρησης, παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.19, που παρατηρούνται ασύμβατα υλικά αποκατάστασης και απώλεια αυθεντικού υλικού.



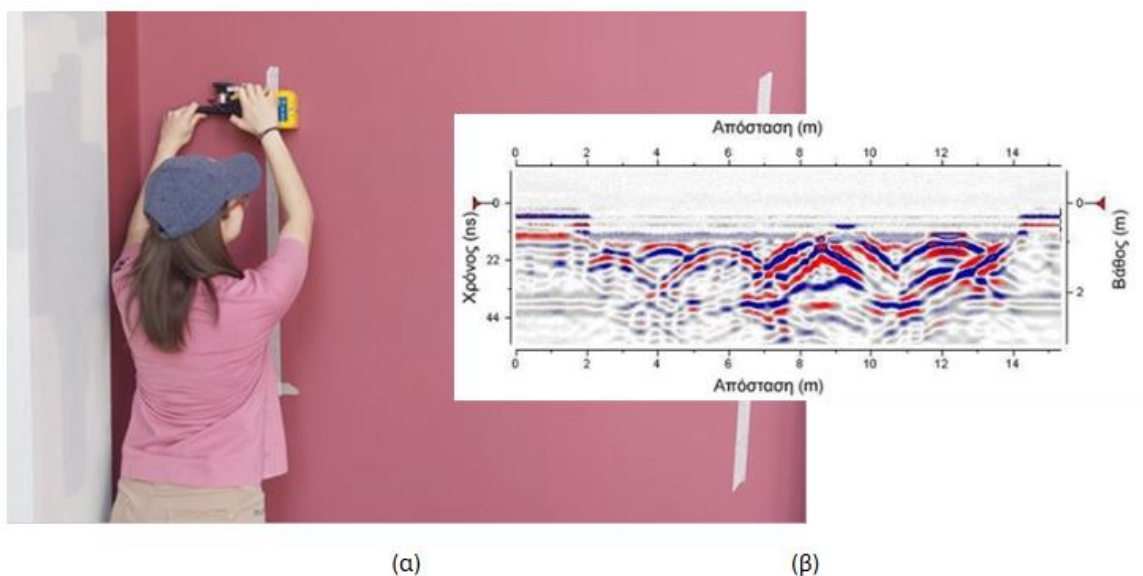
Εικόνα 2.19: Ενετικές οχρώσεις Ηρακλείου(α), ύστερα από ψηφιακή επεξεργασία(β), (Πηγή: Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου)

Αυτή η μέθοδος βοηθά στην αποτίμηση του πορώδους και του βαθμού φθοράς (εξάγονται ιστογράμματα ενεργειακού περιεχομένου των επιπέδων του γκρίζου βάσει του χρώματος των δομικών χαρακτηριστικών και του βαθμού φθοράς διαφόρων λιθοτύπων). Επιπλέον, χαρτογραφούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της φθοράς στις αρχιτεκτονικές επιφάνειες. Στο πρώτο βήμα της έρευνας αυτής, εξάγονται χαρακτηριστικές γενικές όψεις και λεπτομέρειες που αφορούν στους λιθότυπους και στη φθορά τους και αποτυπώνονται σε φωτογράμματα (φωτογράφιση υπό ορισμένες προϋποθέσεις φωτισμού και καθετότητας της εικόνας). Ακόμη, εντοπίζονται διαφορετικοί βαθμοί φθοράς από κυψέλωση, χαρτογραφούνται οι φθορές, αποτιμώνται μέθοδοι καθαρισμού και προστασίας αρχιτεκτονικών επιφανειών. Αποδίδονται με ψευδή χρώματα οι μεταβολές των χαρακτηριστικών της επιφάνειας πριν και μετά την εφαρμογή των μεθόδων συντήρησης. Αυτό επιτυγχάνεται διότι, οι ενεργειακές μεταβολές της εικόνας της επιφάνειας είναι ιδιαίτερα εμφανείς στην περίπτωση του καθαρισμού δεδομένου ότι η επιφάνεια που προκύπτει είναι τραχύτερη, αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη ενεργό επιφάνεια και συνεπώς είναι ενεργειακά αναβαθμισμένη. Έτσι, δεδομένου ότι η μικρότερη τροποποίηση της τραχύτητας της αρχικής επιφάνειας αποτελεί κριτήριο επιλογής, η ψηφιακή επεξεργασία, επιτρέπει την αποτίμηση των μεθόδων καθαρισμού που εφαρμόζονται.

➤ Γεωραντάρ (Ground Penetrating Radar GPR)

Το ραντάρ εδάφους (GPR) είναι μη καταστροφική τεχνική που χρησιμοποιεί παλμούς ραντάρ για την απεικόνιση της εξεταζόμενης επιφάνειας. Χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (συνήθως 100MHz με 2,6GHz για εφαρμογές δομημένης πολιτιστικής κληρονομιάς) ανιχνεύοντας τα ανακλώμενα σήματα από υποεπιφανειακές δομές καθώς ο παλμός διάχυσης συναντά όρια με διαφορετικές διηλεκτρικές σταθερές. Το GPR χρησιμοποιείται συνήθως στη γεωτεχνική (με κεραιές ακόμη χαμηλότερης συχνότητας) παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τη δομή των πετρωμάτων και των ιζημάτων του εδάφους, τη μεταφορά για τον προσδιορισμό της στρώσης των υποδομών σε οδικούς σιδηροδρόμους και στον κλάδο των Πολιτικών Μηχανικών για την παρουσίαση πληροφοριών σχετικά με το εσωτερικό των φερόντων στοιχείων κτηρίων και κατασκευών από σκυρόδεμα (π.χ. γέφυρες, σήραγγες κ.λπ.) ή για τον εντοπισμό και τη χαρτογράφηση κρυμμένων τοιχοποιιών. Στον τομέα της προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς, το GPR χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στην αρχαιολογία για την ανίχνευση θαμμένων κατασκευών –συνήθως σε συνδυασμό με άλλες γεωφυσικές μεθόδους για την αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης μνημείων και ιστορικών κατασκευών.

Πιο αναλυτικά το γεωραντάρ λειτουργεί ως εξής: χρησιμοποιεί υψηλής συχνότητας (100MHz με 2,6GHz), μικρής διάρκειας, ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς για αποκάλυψη πληροφοριών στο υπέδαφος. Το ηλεκτρομαγνητικό σήμα (παλμός) παράγεται από έναν πομπό και διοχετεύεται στο υπέδαφος με ταχύτητα που εξαρτάται κυρίως από τις ηλεκτρικές ιδιότητες του υλικού. Κατά την καθοδική διάχυση και όταν ο παλμός συναντήσει διεπιφάνεια υλικών με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες, μέρος της ενέργειας του παλμού ανακλάται ή διαχέεται πίσω στην επιφάνεια (όπου ανιχνεύεται και καταγράφεται από έναν δέκτη στην επιφάνεια του εδάφους) ενώ η υπολειπόμενη ενέργεια του παλμού διοχετεύεται σε βαθύτερα επίπεδα. Οι πολλαπλές ανακλάσεις αντιστοιχούν στις διάφορες διεπιφάνειες που συναντά ο παλμός μέχρι πλήρους εξασθένησής του.



Εικόνα 2.20: Χρήση γεωραντάρ(α), Τυπική απεικόνιση δυοδιάστατης τομής υπεδάφους, με χρήση του λογισμικού Ground Vision και του γεωραντάρ RAMAC/GPR (πηγή: προσωπικό αρχείο, Διδακτικές Σημειώσεις, Διδακτικές Σημειώσεις ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση.)

Το γεωραντάρ εξετάζει με μη καταστρεπτικό τρόπο τσιμέντο και οπλισμένο σκυρόδεμα, ανιχνεύει φθορές και ανομοιογένειες. Σε ιστορικά κτήρια αποκαλύπτει τις εσωτερικές δομές των τοιχοποιιών, ανιχνεύει ρηγματώσεις, αποκαλύπτει θεμελιώδη ιστορικά κτίσματα και υπολείμματα

διαφόρων κατασκευών στο υπέδαφος. Επίσης, χαρτογραφεί υπόγειες σωληνώσεις (ύδρευσης, φυσικού αερίου κ.ά.), εξετάζει οδοστρώματα, χαρτογραφεί ατέλειες και πάχη των υπό εξέταση αντικειμένων. Ακόμα, χαρτογραφεί βυθούς ποταμών και λιμνών, αποκαλύπτει υπόγεια νερά και υπόγειες κοιλότητες. Τέλος, βρίσκει χρήση και σε ορυχεία, αφού ανιχνεύει πετρώματα, κοιλότητες και άλλες ανομοιογένειες.

➤ Μικροκύματα

Τα μικροκύματα λειτουργούν με τη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ένα υλικό και την αποτίμηση διαφόρων παραμέτρων του υλικού (π.χ. αγωγιμότητα, διηλεκτρική σταθερά κ.α). Χρησιμοποιείται για στρωματογράφηση επιφανειών, υπολογισμό πάχους κάθε στρώματος και αναγνώριση υλικών.

➤ Γαμμαγραφία

Σκοπός της γαμμαγραφίας είναι η ανίχνευση μεταλλικών αντικειμένων (είδος και μέγεθος) που βρίσκονται σε μνημεία, γλυπτά και σύγχρονες κατασκευές. Η αρχή της μεθόδου της συνίσταται στο γεγονός ότι κάθε μέταλλο απορροφώντας ραδιενεργό ακτινοβολία διεγείρεται και στη συνέχεια εκπέμπει, σύμφωνα με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, ενέργεια. Το ποσό της απορροφούμενης ενέργειας είναι συνάρτηση του είδους του μετάλλου και των διαστάσεών του.

2.6 CAD, GIS και BIM

2.6.1 Διαχείριση μέσω Computer-Aided Design

Τα τελευταία χρόνια στον τομέα της AEC (Architecture/Engineering/Construction) (Αρχιτεκτονική, Μηχανική, Κατασκευή), ο τυπικός τρόπος αναπαράστασης ενός μοντέλου σε χαρτί με το χέρι, αντικαταστάθηκε από τη χρήση ψηφιακών και προηγμένων εργαλείων CAD, τα οποία ενίσχυσαν τη δημιουργία, τροποποίηση, ανάλυση και βελτιστοποίηση σχεδιαστικών μοντέλων (Garagnani and Manferdini, 2013). Τα συστήματα CAD εισήγαγαν την πληροφορική στη διαδικασία σχεδιασμού χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο λογισμικό προκειμένου να αναπαραστήσουν οποιοδήποτε αντικείμενο με γραφικά και να δημιουργήσουν βάσεις δεδομένων για την αποθήκευση των μοντέλων. Όλη η διαδικασία σχεδιασμού, από τον εντοπισμό του προβλήματος μέχρι την υλοποίηση, εκτελούνταν από τον χρήστη/σχεδιαστή, ωστόσο, το σύστημα CAD βοηθούσε τον χρήστη σε μια σειρά από δραστηριότητες. Ενδεικτικά, να δημιουργεί εύκολα και με ακρίβεια το γραφικό μοντέλο του αντικειμένου, να διαχειρίζεται σε σύντομο χρονικό διάστημα πολύπλοκη σχεδιαστική ανάλυση, να αποθηκεύει και να ανακαλεί το μοντέλο και να το τροποποιεί (Μοροπούλου, Α., και συνεργάτες, 2015) (S. Logothetis, et all, 2017).

Το Sketchpad θεωρείται το πρώτο λογισμικό CAD στον κόσμο, που χρονολογείται από το 1963 (Sutherland, 2003). Γράφτηκε από τον Ivan Sutherland κατά τη διάρκεια του διδακτορικού του για το οποίο έλαβε το βραβείο Turing το 1988, το «Νόμπελ Πληροφορικής».

Πολλά χρόνια αργότερα, τα πρώτα συστήματα CAD, εφάρμοζαν μόνο δισδιάστατη μοντελοποίηση και μπορούσαν να επεξεργάζονται αντικείμενα οντοτήτων ως γραφικά σύμβολα, που αντιπροσωπεύουν μόνο τις γεωμετρικές ιδιότητες κάθε στοιχείου (Ibrahim and Krawczyk, 2003). Σήμερα, η εξέλιξη στον τομέα της τεχνολογίας CAD αποκάλυψε την παραμετρική μοντελοποίηση που αντιπροσωπεύεται κυρίως από το BIM.

Η μοντελοποίηση πληροφοριών κτηρίου μπορεί να θεωρηθεί ως μια προηγμένη προσέγγιση CAD, η οποία επεκτείνει την ικανότητα της παραδοσιακής μεθοδολογίας σχεδιασμού εφαρμόζοντας και ορίζοντας έξυπνες σχέσεις μεταξύ των στοιχείων στο σχεδιασμένο μοντέλο (Garagnani και Manferdini, 2013). Τα μοντέλα BIM αντιμετωπίζουν την οντότητα αντικειμένου όχι μόνο ως γραφικό σύμβολο αλλά ως ολοκληρωμένη οντότητα που επιτρέπει τη συμπερίληψη διαφορετικών επιπέδων πληροφοριών (γεωμετρικών και μη γεωμετρικών) καθώς και επισημαίνοντας τις σχέσεις μεταξύ όλων των στοιχείων του μοντέλου (Czmocha and Pekala, 2014). Επιτρέποντας έτσι το BIM να θεωρηθεί ως η επόμενη γενιά των συστημάτων CAD.

Προς την ίδια κατεύθυνση και συνδυαστικά με τα προγράμματα CAD και BIM λειτουργούν και τα GIS (Geographic Information Systems), τα οποία περιλαμβάνουν λογισμικά, εργαλεία και διαδικασίες που έχουν αναπτυχθεί για να διευκολύνουν τη λήψη, έκδοση, διαχείριση, ανάλυση, μοντελοποίηση, αναπαράσταση, την έξοδο χωρικών και σημασιολογικών δεδομένων και περαιτέρω πληροφορίες του κάθε συστήματος (Ε. Τσιλιμαντού, 2020, Διδακτορική Διατριβή), (Moropoulou, A., et al, 2005).

2.6.2 Διαχείριση μέσω ΣΓΠ

Ως μέρος της τεκμηρίωσης ενός μνημείου είναι απαραίτητο να καθοριστούν τα διαφορετικά γνωστικά αντικείμενα και οι σχεσιακές βάσεις δεδομένων, να προσδιοριστούν οι αλληλεπιδράσεις προκειμένου να προωθηθεί μια διεπιστημονική δράση για την κατάσταση διατήρησης του ιστορικού κτηρίου. Αυτό γίνεται με τη συλλογή και καταγραφή δεδομένων που αναφέρονται στη γεωμετρία, τη δομή και τα υλικά, στη μελέτη των ιστορικών και αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών, καθώς και στην ανάλυση των παθολογιών της κατασκευής ως συνάρτηση των συστατικών υλικών. Ομοίως, όσον αφορά στις διαδοχικές φάσεις του ορισμού της παρέμβασης και της εκτέλεσής της, είναι απαραίτητο να διασφαλιστεί μια αυστηρή προσέγγιση στη γνώση και τη διαχείριση των δεδομένων (P. Salonia a, A. Negri, 2003), (Λύσανδρος Τσούλος, 2008).

Σε αυτό το στάδιο εισέρχεται η τεχνολογία των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographic Information Systems- GIS), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διάδοση του τεράστιου συνόλου πληροφοριών που παράγονται κατά τη διαδικασία απόκτησης γνώσης για την πολιτιστική κληρονομιά. Τα τελευταία χρόνια, η έρευνα αυτών των συστημάτων επικεντρώθηκε στη διαμόρφωση ενός συστήματος ικανού να συγχωνεύει πολύπλοκα και ετερογενή δεδομένα που προέρχονται από ετερογενείς πηγές μέσα σε ένα ειδικά σχεδιασμένο περιβάλλον GIS.

Η σημασία της οργανωμένης αποθήκευσης των χαρτογραφικών δεδομένων με σκοπό την αποτελεσματική πρόσβαση και ενημέρωσή τους, είναι προφανής, ιδιαίτερα όσο διευρύνεται το μέγεθος της περιοχής που καλύπτεται και αυξάνει ο αριθμός των χωρικών οντοτήτων που περιέχει. Η επιτυχία και η αποτελεσματικότητα του συστήματος, εξαρτάται από την ποιότητα - αξιοπιστία των στοιχείων της βάσης δεδομένων και τον τρόπο με τον οποίο έχει σχεδιαστεί. Η σχεδίαση της βάσης είναι αποτέλεσμα συστηματικής προσέγγισης του προβλήματος στα επίπεδα που αναπτύσσονται και αποτελεί υποχρεωτικό στάδιο, διότι σε διαφορετική περίπτωση (ελλιπούς σχεδιασμού) το αποτέλεσμα θα είναι δυσκίνητο, αντιπαραγωγικό και εν τέλει άχρηστο σύστημα.

Το GIS περιλαμβάνει λογισμικό, εργαλεία υλικού και μια σειρά διαδικασιών που έχουν αναπτυχθεί για να διευκολύνουν τη λήψη, έκδοση, διαχείριση, χειρισμό, ανάλυση, μοντελοποίηση, αναπαράσταση και την εξαγωγή χωρικών και σημασιολογικών δεδομένων, για την επίλυση κάθε τύπου σχεδιασμού, διαχείρισης, αποθήκευσης, και περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με το πρόβλημα.

Η τεχνολογία GIS διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό την απογραφή, την αξιολόγηση, τη διατήρηση και την τεκμηρίωση αρχαιολογικών χώρων και ιστορικών δομών. Καθώς η διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς γίνεται πιο ολιστική και οι ιστορικοί τόποι ενσωματώνονται σταθερά με τα γύρω τοπία, το GIS έχει αναγνωριστεί ως κρίσιμο συστατικό για την ανάπτυξη εικονικών ιστορικών συλλογών και αρχείων. Έχουμε δύο είδη βάσεων δεδομένων: αυτή που έχει τα γραφικά και γεωμετρικά δεδομένα και αυτή που έχει τα αλφαριθμητικά δεδομένα που σχετίζονται με τα γραφικά δεδομένα. Το πρώτο δημιουργείται από το φωτογραμμετρικό ψηφιακό σύστημα ή από άλλα γραφικά εξωτερικά αρχεία (όπως ψηφιοποιημένα σχέδια, ερασιτεχνικές φωτογραφίες κ.λπ.). Ο χειρισμός του δεύτερου θα γίνει με το DBMS ACCESS. Και οι δύο βάσεις δεδομένων συνδέονται και διαχειρίζονται μαζί από το λογισμικό GIS, δημιουργώντας το πληροφοριακό σύστημα.

Βασικό χαρακτηριστικό της βάσης δεδομένων είναι η **συνοχή** (consistency), που εξασφαλίζει ότι οι τιμές που αναφέρονται στην ίδια οντότητα δεν είναι αλληλοσυγκρουόμενες, όπως θα μπορούσε να συμβεί εάν μια τιμή ενημερωνόταν μόνο σε μια θέση της βάσης και όχι σε κάποια άλλη. Η συνοχή επιτυγχάνεται αποφεύγοντας την επανάληψη, η οποία είναι πιθανόν να παρουσιαστεί κατά τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων.

Επιθυμητά χαρακτηριστικά ενός συστήματος διαχείρισης μίας βάσης δεδομένων είναι πρώτα από όλα η συνοχή, που μπορεί να θεωρηθεί μέρος ενός άλλου χαρακτηριστικού που πρέπει να προσδιορίζει τη βάση δεδομένων, την **ακεραιότητα** (data integrity). Η ακεραιότητα αφορά την ορθότητα του περιεχομένου της βάσης. Γενικά ένα σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων δεν είναι σε θέση να "γνωρίζει" εάν οι τιμές των δεδομένων της είναι σωστές, αλλά μπορεί να διεξάγει συγκεκριμένους ελέγχους, όπως π.χ. για τιμές εκτός του πεδίου ορισμού των αντιστοίχων μεταβλητών.

Σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η **ασφάλεια** (security) της βάσης δεδομένων, η οποία έχει δύο συνιστώσες. Η πρώτη αφορά τον ορισμό του προσωπικού που θα είναι εξουσιοδοτημένο για την πραγματοποίηση αλλαγών, όπως εισαγωγή νέων δεδομένων και διαγραφή υπαρχόντων (φυσική, λογικά ασφάλεια). Η δεύτερη αφορά τον έλεγχο αυτών που μπορούν να ανακτούν πληροφορίες από τη βάση δεδομένων και από συγκεκριμένα τμήματά της. Το θέμα της ασφάλειας (φυσικής ή/και λογικής) επεκτείνεται ακόμα στην προστασία ενάντια σε τυχαία ή σκόπιμη απώλεια πληροφορίας.

Η **ανεξαρτησία των δεδομένων** (data independence) της βάσης αναφέρεται σε μια καλά σχεδιασμένη βάση δεδομένων όπου η πρόσβαση δεν εξαρτάται από τη φυσική δομή και τα περιεχόμενα της βάσης. Το χαρακτηριστικό αυτό δίνει τη δυνατότητα της προσθήκης νέων τύπων πληροφορίας που δεν είχαν προβλεφθεί κατά το σχεδιασμό της βάσης και τη δυνατότητα μεταβολής της δομής της. Εάν τα δεδομένα ήταν στενά συνδεδεμένα με τη δομή και την οργάνωση της βάσης, τέτοιου είδους αλλαγές θα είχαν αποτέλεσμα και ταυτόχρονα προϋπόθεση την τροποποίηση τους, ώστε να μπορούν να συνεργαστούν με την ανανεωμένη βάση δεδομένων (Λύσανδρος Τσούλος, 2008).

Με αυτόν τον τρόπο, τα αποτελέσματα τεκμηρίωσης ενός μνημείου μπορούν να ενσωματωθούν σε περιβάλλον GIS (Salonia & Negri, 2003, Tsilimantou, 2018). Με την ανάλυσή τους, είναι δυνατό να αξιολογηθούν προηγούμενες παρεμβάσεις, να εντοπιστούν η έκταση, οι αιτίες και οι μηχανισμοί των καιρικών συνθηκών και οι βλάβες και να βοηθηθεί η επιλογή συμβατών υλικών και τεχνικών για έργα προστασίας και αποκατάστασης (Delegou et al., 2011, Delegou et al., 2012). Βασικό χαρακτηριστικό των αλληλένδετων διεπιστημονικών δεδομένων είναι η χωρική συσχέτιση που επιτρέπει τεχνικές γεωπεξεργασίας. Αποτελεί μεγάλη πρόοδο στον τομέα της προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς η ενσωμάτωση και η αξιολόγηση πολλών μεθόδων τεκμηρίωσης της υφιστάμενης κατάστασης των ιστορικών κτηρίων της πολιτιστικής κληρονομιάς μέσω γεωγραφικών

πληροφοριακών συστημάτων (GIS). Οι τεχνικές μετρικής τρισδιάστατης τοπογραφίας Μη καταστροφικού/καταστρεπτικού ελέγχου και αξιολόγησης/αποτίμησης (NDT & E) διερευνώνται ως εργαλεία που μπορούν να υποστηρίξουν την πολυεπιστημονική τεκμηρίωση αλληλένδετων μετρητικών και ποιοτικών δεδομένων για τη διάγνωση προτύπων και αιτιών φθοράς. Αυτή η μέθοδος παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο που μπορεί να βοηθήσει στη λήψη αποφάσεων σχετικά με συμβατά υλικά και τεχνικές για εργασίες προστασίας και αποκατάστασης. Μπορεί να συμβάλει στη διάδοση μεταξύ της επιστημονικής κοινότητας και των πολιτών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποφυγή παρόμοιων ασυμβίβαστων παρεμβάσεων, την ευαισθητοποίηση των ανθρώπων και των επιστημόνων για τις πιέσεις και τις απειλές του μικροκλίματος (E. Adamopoulos, et all, 2017), (I. Suvegg, G. Vosselman, 2000, Moropoulou, A., et all, 2000).

2.6.3 BIM και HBIM

Σύμφωνα με τον Eastman (Eastman, 2011) ο όρος «Κτηριακό πληροφοριακό μοντέλο» και «Μοντελοποίηση κτηριακής πληροφορίας», όπως μεταφράζεται το ακρωνύμιο BIM, είναι μία από τις πιο υποσχόμενες εξελίξεις στον τομέα της Αρχιτεκτονικής, της Μηχανικής και των Κατασκευών (Architecture Engineering-Construction Industry). Εσφαλμένα το BIM θεωρείται ως ένα ειδικό λογισμικό πακέτο ή ένας τύπος 3D ψηφιακού μοντέλου. Το BIM είναι μία φιλοσοφία ολοκληρωμένου σχεδιασμού, που έχει κυριαρχήσει στον κλάδο των κατασκευών νέων κτηρίων. Περιλαμβάνει όλα τα στάδια της ζωής μίας κτηριακής εγκατάστασης, που ξεκινάει από τον προγραμματισμό του έργου, προχωράει στο στάδιο του σχεδιασμού και της κατασκευής και καταλήγει στο στάδιο της διαχείρισης και συντήρησης, το οποίο διαρκεί μέχρι το πέρας της λειτουργίας της. Κεντρικά σημεία του BIM είναι η ενσωμάτωση πληροφορίας στο μοντέλο του κτηρίου, ο διαμοιρασμός των πληροφοριών και η δυνατότητα συνεργασίας των εμπλεκόμενων σε ένα έργο. Αυτές είναι και οι βασικές του διαφορές του από το CAD (Computer-Aided Design) (Tsilimantou et al, 2020).

«Σε αντίθεση με τον κατασκευαστικό τομέα, όπου το BIM έχει εφαρμοστεί ευρέως για κάποια χρόνια σε διεθνές επίπεδο, με σχετικές δημοσιεύσεις και διαδικτυακό περιεχόμενο, το BIM για στοιχεία πολιτιστικής κληρονομιάς (ιστορικά κτήρια και τοποθεσίες) είναι ένα σχετικά νέο πεδίο ακαδημαϊκής έρευνας και φαίνεται λιγότερο δημοφιλές όσον αφορά την υιοθέτηση από επαγγελματίες στον χώρο της πολιτιστικής κληρονομιάς.» (S. Antonopoulou, 2017). Η Πολιτιστική και Αρχιτεκτονική κληρονομιά περιλαμβάνει το σύνολο των κτηριακών εγκαταστάσεων, μνημείων και ιστορικών τόπων, για τα οποία απαιτείται συνεχής μέριμνα, τακτικές εργασίες συντήρησης και παρακολούθηση της λειτουργίας τους, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις είναι αναγκαία η άμεση αποτύπωση, η τεκμηρίωση και η αποκατάστασή της. Το HBIM είναι ένα εργαλείο, που αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια και προσανατολίζεται στις ιδιαίτερες ανάγκες των υφιστάμενων ιστορικών κτηρίων. Για την ολοκληρωμένη ψηφιακή απεικόνιση ενός κτηρίου, όπως επιτάσσουν οι αρχές λειτουργίας του BIM, βασική προϋπόθεση είναι η συλλογή πληροφοριών σχετικών με την ιστορία του, την κατασκευαστική μέθοδο, τα υλικά και την παθολογία του. Ωστόσο, η ενσωμάτωση πληροφοριών στο μοντέλο HBIM συμβαδίζει με τις αρχές τεκμηρίωσης, συντήρησης, αποκατάστασης και επανάχρησης των ιστορικών κτηρίων, το δε BIM φαίνεται να είναι το κατάλληλο εργαλείο για την ικανοποίηση των σχετικών απαιτήσεων. Για να υιοθετηθεί πλήρως η ιδέα των BIM στα HBIM απαιτείται: α) η ποιότητα του μοντέλου να εκπροσωπεί την γεωμετρική περιπλοκότητα των στοιχείων του μοντέλου (ασυνήθιστοι θόλοι, τοίχοι που εκτρέπονται από την καθετότητα κλπ.) και β) η προσθήκη γενικότερης σημασιολογικής πληροφορίας σε βάση δεδομένων για: ιστορικά δομικά στοιχεία, υλικά, πληροφορίες σχετικές με κάθε κατασκευαστικό στοιχείο και αλλαγές καθ' όλη την διάρκεια της ζωής της ιστορικής κατασκευής.

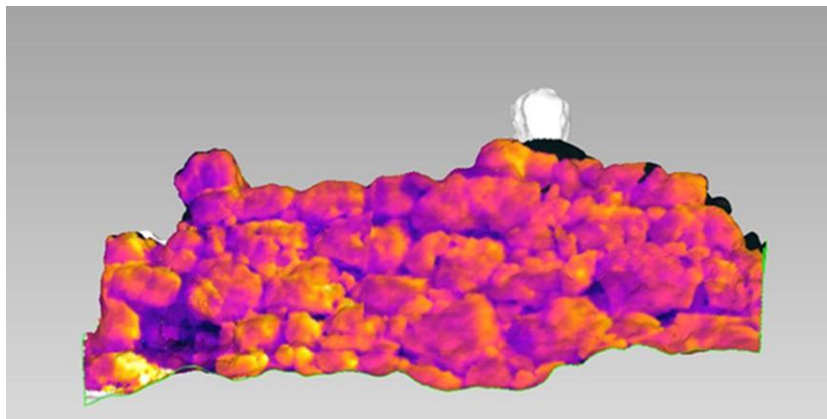
3. Ειδικό Θεωρητικό

3.1 Η Θερμογραφία ως υφή σε 3D μοντέλα (παραδείγματα- προβλήματα)

Σε όλα τα στάδια ενός έργου συντήρησης και αποκατάστασης επισημαίνεται η σημασία της εφαρμογής της Θερμογραφίας Υπερύθρου, από τη διάγνωση έως την αξιολόγηση των επεμβάσεων. Οι θερμικοί χάρτες ειφανειών, αξιολογούνται και αξιοποιούνται, με βάση τις απαιτήσεις, τις ιδιαίτερες ανάγκες και τις απαιτήσεις κάθε εφαρμογής. Επιπλέον, η Θερμογραφία Υπερύθρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την επιστημονική παρακολούθηση και την λήψη αποφάσεων κατά την εξέλιξη ενός έργου. Σήμερα αναδεικνύεται η αναγκαιότητα δημιουργίας αντίστοιχων θερμικών χαρτών αλλά με την επιπλέον πληροφορία της γεωαναφροάς στις υπό εξέταση περιοχές, ώστε να υποστηριχθεί ο στρατηγικός σχεδιασμός και η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς. (N.P Avdelidis, et all, 2004), (E. Tsilimantou, et all, 2019).

3.1.1 Ακρόπολη του Ερημοκάστρου - Ρόδος

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. Μέσα από αυτή τη συσχέτιση, δεδομένα ποιοτικού χαρακτήρα μπορούν να εξαχθούν για την κατάσταση διατήρησης του μνημείου (E. Tsilimantou, et all, 2020).



Εικόνα 3.1: Τρισδιάστατο μοντέλο με υφή που προέρχεται από εφαρμογή θερμογραφίας υπέρυθρου στο τείχος, (Πηγή: E. Τσιλιμαντού, 2020, Διδακτορική Διατριβή)

3.1.2 Τρισδιάστατη Θερμική Χαρτογράφηση από εικόνες Θερμογραφίας Υπερύθρου με εφαρμογή στην Πολιτιστική Κληρονομιά.

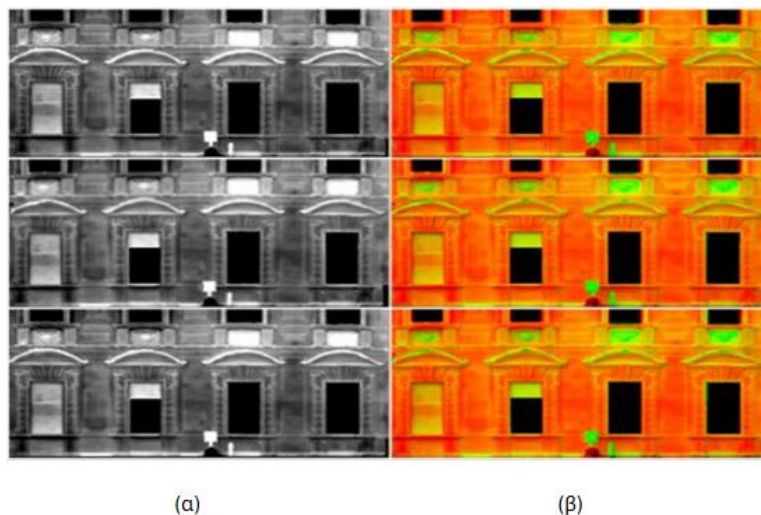
Η θερμική υπέρυθρη απεικόνιση είναι θεμελιώδης για τη μη καταστροφική διάγνωση της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς, καθώς δίνει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση διατήρησης του υπό εξέταση μνημείου. Ωστόσο, η χαμηλή χωρική ανάλυση των θερμικών αισθητήρων επιτρέπει την καταγραφή μόνο πολύ τοπικών φαινομένων. Ταυτόχρονα, οι θερμικές

εικόνες συλλέγονται συνήθως χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν η μετρητική πληροφορία, γεγονός που σημαίνει ότι δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις σε αυτές. Η συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζει την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων προτείνοντας μια ροή εργασιών για οικονομικά αποδοτική τρισδιάστατη θερμογραφική μοντελοποίηση με χρήση θερμικής κάμερας αλλά και συμβατικής κάμερας (E. Adamopoulos , M. Volinia , M. Giroto and F. Rinaudo, 2020).

Οι θερμικοί και οπτικοί αισθητήρες είναι βαθμονομημένοι χρησιμοποιώντας εξατομικευμένους στόχους χαμηλού κόστους. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι απαραίτητοι γεωμετρικοί μετασχηματισμοί μεταξύ μη παραμορφωμένων θερμικών υπέρυθρων και οπτικών εικόνων για να αντικαταστήσουν την φωτορεαλιστική υφή με θερμική.

Για τη χαρτογράφηση θερμοκρασίας, οι εικόνες RGB (red-green-blue) από τη θερμοκάμερα αντικαθίστανται με την ίδια ανάλυση χωρίς παραμορφώσεις από τις γεωμετρικά διορθωμένες εικόνες IRT (infrared thermography)- διατηρώντας τον εκτιμώμενο προσανατολισμό από το SfM - για να εφαρμοστεί με ακρίβεια η θερμική υφή. Η υφή εφαρμόζεται με έναν ορθο-φωτογραφικό προσαρμοστικό αλγόριθμο έτσι ώστε για κάθε τμήμα της επιφάνειας του μοντέλου να χρησιμοποιούνται μόνο οι πιο παράλληλες εικόνες για δημιουργία υφής, αποφεύγοντας τα εφέ κλίσης και σύγκλισης.

Κατά τη φάση αντιστοίχισης, μεταξύ εικόνων RGB και IRT, απαιτείται η επιλογή τουλάχιστον τεσσάρων φωτοσταθερών για την εκτίμηση των παραμέτρων μετασχηματισμού προκειμένου να προβληθούν σωστά τα θερμικά δεδομένα στην οπτική εικόνα. Σε περίπτωση έντονου αναγλύφου του αντικειμένου απαιτούνται περισσότερα φωτοσταθερά τοποθετημένα σε διαφορετικά υψόμετρα. Συμπεριλαμβάνοντας περισσότερα από τέσσερα φωτοσταθερά, υπολογίζεται το σφάλμα του μετασχηματισμού, που είναι περίπου ίσο με 1,5 pixel. (E. Adamopoulos, et all, 2020).



Εικόνα 3.2: Θερμικά ορθοφωτο-μωσαϊκά της πρόσοψης (α) και επικάλυψη στο μωσαϊκό οπτικού πεδίου RGB (β)—που παράγονται με την προτεινόμενη ροή εργασίας (επάνω), που παράγονται χρησιμοποιώντας εικόνες τόσο από θερμικούς όσο και από οπτικούς αισθητήρες της θερμοκάμερας

Η αξιολογούμενη μεθοδολογία, που βασίζεται σε ημι-χειροκίνητη αντιστοίχιση εικόνων, ψηφιοποίηση SfM και προσαρμοστική ορθοφωτο-χαρτογράφηση, όχι μόνο προσθέτει επιτυχώς μια χωρική διάσταση στα θερμογραφικά αποτελέσματα αλλά και μετρητικές ιδιότητες. Η ακρίβεια των μοντέλων 3D με θερμική υφή δεν επηρεάζεται από την ποιότητα των εικόνων IRT. Στην πραγματικότητα, εξαρτάται κυρίως από τις εικόνες RGB που συλλέγονται με την κάμερα υψηλής ανάλυσης, τη γεωμετρία του φωτογραμμετρικού συνόλου δεδομένων και τους αλγόριθμους που

εμπλέκονται στη διαδικασία. Τα μειονεκτήματα που προκαλούνται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των θερμικών αισθητήρων ξεπερνιούνται, παράγοντας τρισδιάστατα θερμογραφικά μοντέλα υψηλής ανάλυσης όπου μπορούν να πραγματοποιηθούν άμεσες μετρήσεις. Επιπλέον, η παραγωγή θερμικών ορθοφωτο-μωσαϊκών υψηλής ποιότητας με χωρική αναφορά μπορεί να χρησιμεύσει ως το σημείο εκκίνησης για περαιτέρω πειραματισμούς μέσω ποιοτικών αναλύσεων, οπτικών αναλύσεων, ενσωμάτωσης με ορθοφωτο-αποτελέσματα υψηλής ανάλυσης στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα που βοηθά στην ταξινόμηση των υλικών και της αποσύνθεσης. Η παραγόμενη μεθοδολογία είναι εύκολη, ακριβής και προσαρμόσιμη για διάφορες γεωμετρικές ιστορικών δομών. Μπορεί να εφαρμοστεί ακόμη και με τη συμμετοχή μόνο των ενσωματωμένων αισθητήρων μιας θερμικής κάμερας (με χαμηλότερη ακρίβεια) όταν δεν μπορούν να συλλεχθούν πρόσθετες εικόνες.

3.2 Εφαρμογές της χαρτογράφησης δομικών υλικών και φθορών των μνημείων

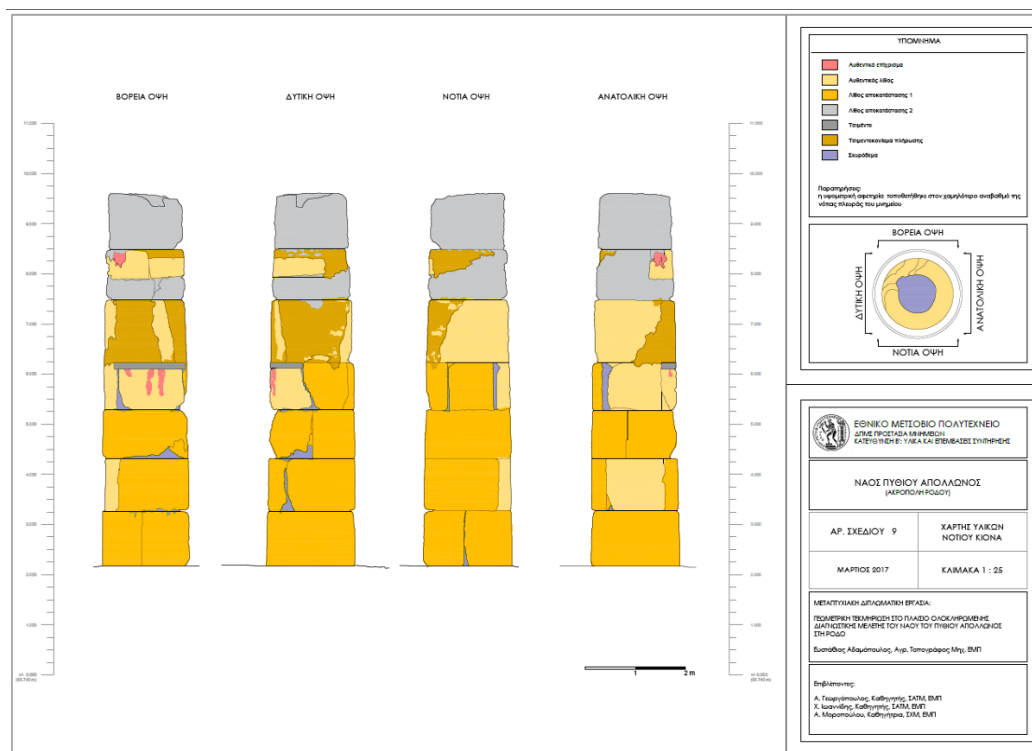
Οι περισσότεροι καταστατικοί χάρτες για την συντήρηση των μνημείων απαιτούν την πλήρη και συστηματική τεκμηριωτική καταγραφή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών τους όπως και των επεμβάσεων που έχουν υποστεί, πριν την οποιαδήποτε επέμβαση συντήρησης και αποκατάστασης. (Burra Charter 1999), (Venice Charter 1964). Η αναζήτηση τρόπων για την ολοκληρωμένη καταγραφή των χαρακτηριστικών των δομικών υλικών των μνημείων και την πλήρη τεκμηρίωση των φθορών τους αποτελεί ως εκ τούτου ένα πολύ σημαντικό και ενδιαφέρον πεδίο. Ειδικά οι λίθινες, που αποτελούν και το μεγαλύτερο ποσοστό των ιστορικών κατασκευών διαφοροποιούνται έντονα ως προς τα φυσικά χαρακτηριστικά τους, απαιτούν την ανάπτυξη ειδικής μεθοδολογίας καταγραφής των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των υλικών και αποτίμησης των φθορών τους (E. T. Delegou, et al, 2013).

Η χαρτογράφηση μνημείων αποτελεί ως τώρα τη μόνη μέθοδο τεκμηρίωσης και αποτίμησης με δυνατότητα να περιγράψει ακριβώς τη θέση, τον τύπο και το βαθμό φθοράς του κάθε λίθου σε μια όψη κτηρίου ή επιφάνεια, ενώ επιτρέπει την εύκολη σύγκριση και την επαναληψιμότητα λήψης δεδομένων. Διακρίνονται δύο τύποι χαρτογράφησης: η αποτύπωση υλικών (λιθοτύπων) και φθορών (μορφών και βαθμών φθοράς). Για τη διαδικασία χαρτογράφησης απαιτείται η ψηφιοποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του μνημείου και η εμφανής διάκριση όλων των περιοχών, η ποσοτικοποίηση και αξιολόγησή τους και η ενσωμάτωση των αποτελεσμάτων των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των υλικών του μνημείου, που έχουν ληφθεί από επί τόπου μελέτη, στους ψηφιακούς χάρτες μέσω οπτικών διαφοροποιήσεων.

Βασικά εργαλεία μέσω των οποίων πραγματοποιείται η χαρτογράφηση είναι τα Συστήματα Χωρικής Απεικόνισης (CAD) που έχουν εξαιρετικές σχεδιαστικές δυνατότητες (ταχύτητα και ακρίβεια σχεδίασης) με έμφαση στις διαδικασίες παρουσίασης και απεικόνισης. Με τη χρήση ειδικών εργαλείων που διαθέτουν επιτρέπεται η διασύνδεση χωρικών οντοτήτων με στοιχεία βάσεων δεδομένων. Διαθέτουν επίσης τη δυνατότητα διασύνδεσης με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, που συνήθως είναι το επόμενο στάδιο της ολοκληρωμένης Μελέτης. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) διαθέτουν επιπλέον δυνατότητες χωρικής ανάλυσης. Αποτελούν ένα σημαντικό, δυναμικό, πολυεπιστημονικό εργαλείο λήψης αποφάσεων και σχεδιασμού, αφού μπορούν να ενσωματώσουν και να διαχειριστούν δεδομένα από διαφορετικές πηγές και διαφορετικούς τομείς. Επιτρέπουν τη σύνθεση πολλών διαφορετικών θεματικών χαρτών και εύκολη διαχείριση και αξιολόγηση δεδομένων μέσω εμβαδομέτρησης ή διαδικασιών άλγεβρας boolean (Διδακτικές Σημειώσεις, ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση, Συντήρησης Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου).

3.2.1 Γεωμετρική τεκμηρίωση στο πλαίσιο ολοκληρωμένης διαγνωστικής μελέτης του αρχαίου ναού του Πυθίου Απόλλωνος στη Ρόδο

Σε αυτή την εργασία έγινε κατηγοριοποίηση και ψηφιοποίηση των υλικών όλων των οικοδομικών φάσεων και των μορφών φθοράς. Τα αποτελέσματα χρησίμεψαν τόσο για τη σχεδίαση θεματικών χαρτών, όσο και για τη δημιουργία των απαραίτητων χωρικών οντοτήτων, που αποτέλεσαν το βασικό υπόβαθρο της διαχείρισης και ανάλυσης μέσω του συστήματος των γεωγραφικών πληροφοριών. Προκειμένου για τη σχεδιαστική καταγραφή των υλικών και των φθορών σε περιβάλλον AutoCAD, έγινε αρχικά ο προσδιορισμός των διαφορετικών επιπέδων σχεδίασης ομοειδών πληροφοριών (Layers) που αντιστοιχούσαν στα διάφορα υλικά και τις ποικίλες μορφές φθοράς και γενικά στις οντότητες των θεματικών χαρτών (όπως περιγράμματα αρχιτεκτονικών μελών). Τα αντικείμενα ψηφιοποιήθηκαν είτε με τη χρήση κλειστών πολυγώνων που απέδιδαν τις αντίστοιχες περιοχές (polyline), είτε γραμμών που απέδιδαν γραμμικά στοιχεία (line). Η ψηφιοποίηση έγινε κυρίως με βάση τα χρώματα, τις υφές και τα μοτίβα εμφάνισης, δηλαδή, με βάση την οπτική παρατήρηση. Για τη σωστή ταυτοποίηση των υλικών, έγινε επιπλέον διερεύνηση των αποτελεσμάτων της αρχαιολογικής- ιστορικής τεκμηρίωσης και των χαρακτηρισμών των υλικών που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της Διαγνωστικής Μελέτης του Εργαστηρίου Υλικών της Σχολής ΧΜ ΕΜΠ. (Ε. Adamopoulos, et all, 2017).



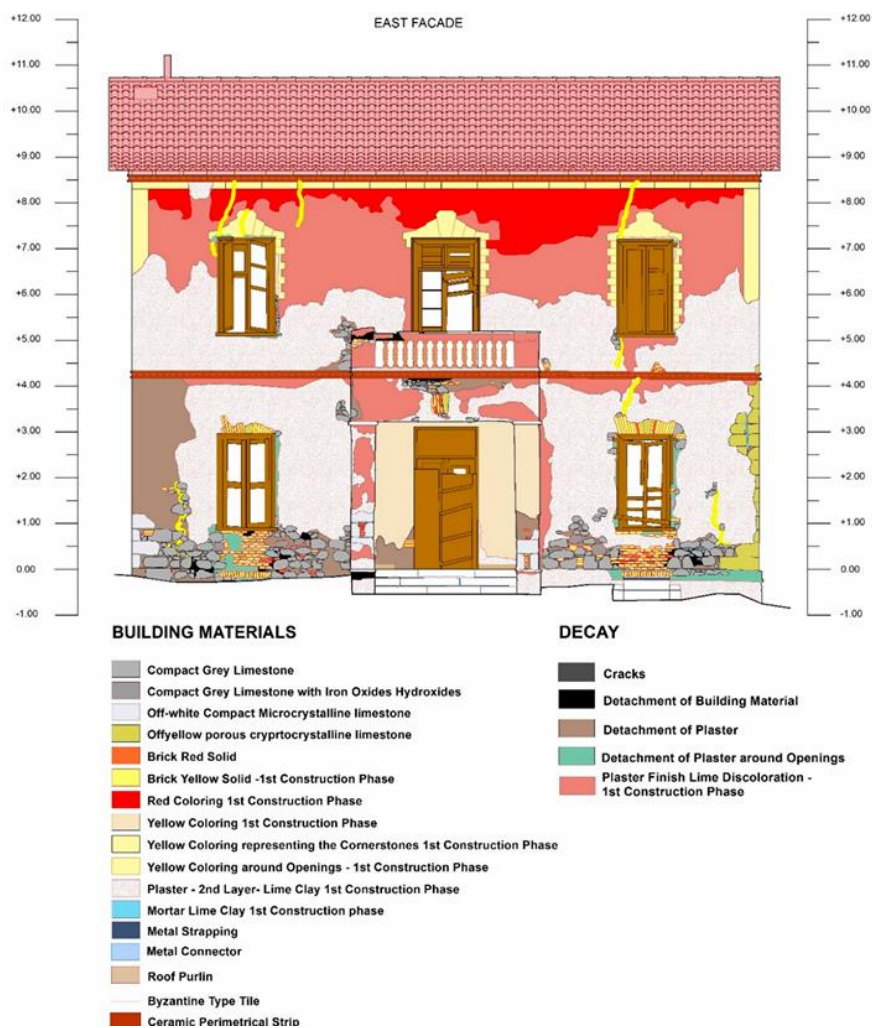
Εικόνα 3.3: Διαδικασία Χαρτογράφησης Φθορών. (Πηγή Ε. Adamopoulos, et all, 2017)

Ως αποτέλεσμα της χαρτογράφησης, δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες και έγινε στατιστική και γεωχωρική ανάλυση μέσω του συστήματος χωρικών πληροφοριών για το μνημείο. Και εξήχθησαν συμπεράσματα σχετικά με την θεματική απεικόνιση των δεδομένων που συλλέχθηκαν με μη καταστροφικές μεθόδους. Προέκυψε ότι αυτός ο τρόπος αναπαράστασης βοηθά στην ευκολότερη ερμηνεία των μετρητικών δεδομένων.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

3.2.2 Γεωμετρική τεκμηρίωση στο πλαίσιο ολοκληρωμένης διαγνωστικής μελέτης της Βίλλας Κλωνναρίδη

Η εξέταση δομικής ακεραιότητας ενός ιστορικού κτηρίου, ειδικά αυτών που παρουσιάζουν πολλές κατασκευαστικές φάσεις και επεμβάσεις αποκατάστασης, είναι περίπλοκες περιπτώσεις και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η μελέτη διεπιστημονικών πληροφοριών σχετικά με ιστορικά, αρχιτεκτονικά, δομικά υλικά και γεωμετρικά δεδομένα. Σε αυτή την εργασία περιγράφεται η επεξεργασία τέτοιων δεδομένων σε 2D και 3D πληροφοριακά συστήματα. Περιγράφεται μια μεθοδολογία, που περιλαμβάνει την απόκτηση, ταξινόμηση και διαχείριση διαφόρων πολυαισθητηριακών δεδομένων και εφαρμόζεται σε ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Επιπλέον, η διεπιστημονική διαδικασία τεκμηρίωσης με τοπογραφικά προϊόντα, δημιουργεί μοντέλα που εμπλουτίζονται με σημασιολογικά δεδομένα ιστορικής και πολιτιστικής σημασίας (HBIM), που σε συνδυασμό με πληροφορίες σχετικά με τις φάσεις κατασκευής, την παθολογία και την τρέχουσα κατάσταση διατήρησης του κτηρίου. Η αξιολόγηση της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας ολοκληρώνεται με ποιοτικό και ποσοτικό τρόπο, τόσο σε δισδιάστατο όσο και σε τρισδιάστατο περιβάλλον, παρέχοντας πληροφορίες για τη διευκόλυνση της στατικής αξιολόγησης του ιστορικού κτηρίου. Έτσι, στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η περιγραφόμενη μεθοδολογία, συνδυάζοντας τα πολυεπιστημονικά δεδομένα με την ανάπτυξη θεματικών χαρτών GIS και ενός HBIM.



Εικόνα 3.4: Θεματικός χάρτης Δομικών Υλικών και φθορών ανατολικής πρόσοψης Βίλλας Κλωνναρίδη (Πηγή: Tsilimantou, E., et al, 2020)

3.3 VR και άλλες εφαρμογές

Στον τομέα της Πολιτιστικής κληρονομιάς, είναι πλέον πολύ διαδεδομένη η εικονική πραγματικότητα (ΕΠ) (Virtual Reality). Οι πρώτοι πειραματισμοί με εφαρμογές ΕΠ στο χώρο του πολιτισμού, ξεκίνησαν στα τέλη της δεκαετίας του '80 και αρχές του '90. Σήμερα έχει γίνει εφικτό, το να προσφέρονται υπηρεσίες ψυχαγωγίας και εκπαίδευσης μέσα από εφαρμογές που επιτρέπουν στους επισκέπτες να αλληλοεπιδράσουν με τα εκθέματα των μουσείων ή τα ευρήματα μιας αρχαιολογικής ανασκαφής. Ιδιαίτερη ανταπόκριση βρίσκουν τέτοιες εφαρμογές σε αρχαιολογικούς χώρους που είναι απρόσιτοι για διάφορους λόγους. Ένας τέτοιος χώρος, μη επισκέψιμος στο ευρύ κοινό, είναι και το μνημείο ενδιαφέροντος αυτής της εργασίας, η Βιβλιοθήκη του Πανταίνου (N. Tentoma, Leuven, 2024). Γενικότερα, οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ICT) σε συνδυασμό με τη μεθοδολογία Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης προσφέρουν πολλές διαδραστικές δυνατότητες. Ο εκπαιδευτικός χαρακτήρας αυτών των εφαρμογών είναι εμφανής καθώς οι επισκέπτες/παίκτες μαθαίνουν μέσα από μια ζωντανή, ρεαλιστική και ελκυστική διαδικασία ενώ ταυτόχρονα έχουν την ευκαιρία να αλληλοεπιδράσουν με τα μνημεία και τα εκθέματα και να προωθήσουν τις γνώσεις τους με ευχάριστο τρόπο (Georgoroulos, A., et all, 2017).



Εικόνα 3.5: Ανακατασκευή Βιβλιοθήκης Πανταίνου για χρήση της σε εφαρμογή Εικονικής Πραγματικότητας (Πηγή: N. Τεντώμα, 2024, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Leuven)

Η διαδικασία ροής εργασιών αυτής της εικονικής ανακατασκευής αποτελείται από στρατηγικές από κάτω προς τα πάνω και από πάνω προς τα κάτω. Συγκεκριμένα, τα υπάρχοντα στοιχεία θεωρούνται ως από κάτω προς τα πάνω, ενώ οι συλλεγόμενες πηγές πληροφοριών ως από πάνω προς τα κάτω. Η ακολουθία των απαιτούμενων βημάτων που καταλήγουν σε μια εικονική ανακατασκευή παρουσιάζεται παρακάτω:

Ψηφιακή Γεωμετρική Τεκμηρίωση: Η αρχική φάση της κατανόησης και της μελέτης του χώρου είναι η «ακριβής τεκμηρίωση» της τρέχουσας κατάστασης διατήρησής του, όπως ορίζεται επίσης στο άρθρο 16 του Χάρτη της Βενετίας (Χάρτα της Βενετίας, 1964).

Συλλογή Πηγών Πληροφοριών: Το επόμενο βήμα είναι η ιστορική, αρχαιολογική και εικονογραφική έρευνα για τη συλλογή μεταδεδομένων σχετικά με τον εστιασμένο χώρο.

Επεξεργασία και Ερμηνεία Δεδομένων: Αναλύονται τόσο οι πρωτογενείς όσο και οι δευτερεύουσες πηγές προκειμένου να διατυπωθεί μια υπόθεση για την αρχική κατάσταση της τοποθεσίας. Τα αναπόφευκτα «κενά» της ανακατασκευαστικής πρότασης λόγω έλλειψης πληροφοριών αντιμετωπίζονται με συγκριτική διερεύνηση παρόμοιων περιπτώσεων (ίδια εποχή, αρχιτεκτονικό στυλ κ.λπ.) ή υποκειμενική ερμηνεία.

Δημιουργία της Τρισδιάστατης Εικονικής Ανακατασκευής: Η οπτική έξοδος του σταδίου επεξεργασίας και ερμηνείας δεδομένων είναι το τρισδιάστατο μοντέλο της εικονικής ανακατασκευής του ιστότοπου. Η συγκεκριμένη τρισδιάστατη απεικόνιση ενσωματώνει όλες τις προηγούμενες συλλεγμένες πηγές πληροφοριών, επομένως χαρακτηρίζεται ως το «πηγαίο μοντέλο».

Απεικόνιση της αυθεντικότητας: Το προηγούμενο βήμα είναι η μετατροπή του «μοντέλου που βασίζεται στην πηγή» σε «σημασιολογικό μοντέλο» προσθέτοντας επίπεδα που αφορούν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων και ερμηνείας. Αυτό το βήμα αντιστοιχεί στην απαιτούμενη πνευματική διαφάνεια των εικονικών ανακατασκευών. Είναι κρίσιμο να εξακριβωθεί η ιχνηλασιμότητα των εφαρμοζόμενων πηγών και ανάλυσης, εμφανίζοντας τα Επίπεδα Αυθεντικότητας.

Παρουσίαση: Έχουν αναπτυχθεί διάφορα ψηφιακά εργαλεία με στόχο την παρουσίαση της ψηφιακής κληρονομιάς, όπως «κινούμενα σχέδια γραφικών υπολογιστών, παιχνίδια, εικονική πραγματικότητα, επαυξημένη πραγματικότητα ή διαδικτυακές εφαρμογές». Η επιλεγμένη προσέγγιση για την παρουσίαση της εικονικής ανακατασκευής είναι θεμελιώδης τόσο για τη διαδικασία δημιουργίας της όσο και για την επικοινωνία του αποτελέσματος στο κοινό. Ενώ, οι γνωστικές τους πτυχές θα πρέπει να προσαρμόζονται ανάλογα με το κοινό ή να επαρκούν τόσο για την επιστημονική κοινότητα όσο και για μη επαγγελματίες θεατές, παρέχοντας παράλληλα μια καθηλωτική και ενημερωτική εμπειρία.

3.4 Προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης κι αποκατάστασης στην Βιβλιοθήκη του Πανταίνου

Πηγή αυτού του κεφαλαίου αποτελεί το αρχείο της Εφορείας Αρχαιοτήτων και το ημερολόγιο αποψιλώσεων και εργασιών αρχαιολογικού χώρου Αρχαίας Αγοράς Άρειου Πάγου 2013 (με αριθμό 81).

Μετά την κατάρρευση τμήματος του τοίχου κατά τις βροχοπτώσεις του Φεβρουαρίου του 2013, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.6, πραγματοποιήθηκε σωστική επέμβαση τον Αύγουστο του ιδίου έτους, κατά την οποίαν αποκαταστάθηκε η αρχική μορφή του τοίχου χρησιμοποιώντας ασβεστοσιμεντοκονίαμα και τους λίθους που είχαν καταπέσει. Στην επιφάνεια σύνδεσης της αρχαίας τοιχοποιίας με την περιοχή επέμβασης, τοποθετήθηκε φύλλο μολύβδου ως μέσο διάκρισης.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



(α)

(β)

Εικόνα 3.6: Τοιχοποιία πριν(α), Τοιχοποιία μετά(β) (Πηγή: ημερολόγιο 2013 ΕΦΑΠΑ)



(α)

(β)

Εικόνα 3.7: (ΤΧ2), Πριν τις στερεωτικές εργασίες Νοεμβρίου 2013(α), μετά (β) (Πηγή: ημερολόγιο 2013 ΕΦΑΠΑ)



(α)

(β)

(γ)

Εικόνα 3.8: (ΤΧ3), Πριν τις στερεωτικές εργασίες Νοεμβρίου 2013(α), μετά (β),(γ) (Πηγή: ημερολόγιο 2013 ΕΦΑΠΑ)

- Το κονίαμα που χρησιμοποιήθηκε στις στερεωτικές εργασίες προέκυψε μετά από αναλύσεις δειγμάτων που ελήφθησαν από το Τμήμα Τεχνικών Ερευνών Αναστήλωσης της Διεύθυνσης Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Μνημείων. Η σύνθεση που δόθηκε είναι εξής: 12% υδράσβεστος, 18% φυσική ποζολάνη, 50% άμμος ξανθή πυριτική κοκκομετρίας 0-4mm, 20% θραυσμένο κεραμίδι κοκκομετρίας 0-2mm και 2-4mm.
- Οι λίθοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κατά προτεραιότητα αυτοί που προέρχονταν από τον ίδιο τον τοίχο και βρισκόταν πεσμένοι γύρω του, και σε δεύτερη φάση λίθοι από την ευρύτερη περιοχή.
- Στις περισσότερες επεμβάσεις τοποθετήθηκε στενό φύλλο μολύβδου για το διαχωρισμό των νέων λιθοδομών από τις αρχαίες.
- Στη στέψη των τοίχων που δέχονται επεμβάσεις εφαρμόστηκε θυσιαζόμενο κονίαμα ίδιας σύστασης με αυτό των στερεωτικών εργασιών.
- Αναλογίες συνδετικού κονιάματος: 2 μέρη ποταμίσια άμμος, 1,5 μέρος ασβέστης, 1 μέρος λευκού τσιμέντου.

Τον Οκτώβριο του 2020 (09-10-2020) έγιναν προσπάθειες να τεθούν σε εφαρμογή επείγοντα σωστικά μέτρα για την αποφυγή της κατάρρευσης αρχαίου τοίχου του κλιμακοστασίου ανόδου στη στάθμη της πύλης της Αθηνάς Αρχηγέτιδος, στο ανατολικό όριο της Αρχαίας Αγοράς.



(α)



(β)

Εικόνα 3 9: Ο νότιος τοίχος του κλιμακοστασίου έτος:2014(α), 2020(β), (Πηγή: αρχείο ΕΦΑΓΠΑ)

Ο τοίχος που παρουσιάζει το δομικό πρόβλημα αποτελούσε το νότιο όριο-ανάλημμα της νότιας πτέρυγας της μνημειώδους κλίμακας (2^{ος}αι. μ.Χ.) και ως εκ τούτου ήταν ισχυρός, κατασκευασμένος από πωρολιθικές λιθοπλίνθους επιμελημένης λιθοξοϊκής τέχνης, δομημένες κατά το ισοδομικό σύστημα. Η δυτική στενή πλευρά, που ήταν ορατή από την οδό, δομείτο με σειρές μπατικών λίθων εναλλάξ με σειρές από δρομικούς λίθους.

Στη βορειοδυτική γωνία της περιοχής παρατηρείται τα τελευταία χρόνια μόνιμη συγκέντρωση υπογείων υδάτων που προέρχονται από τις πηγές της Ακρόπολης, η οποία οδηγεί στην σταδιακή διάβρωση του εδάφους θεμελίωσης στο δυτικό άκρο του τοίχου, όπου παρατηρούνται και τα συγκεντρωμένα ύδατα. Ως αποτέλεσμα, η δυτική παρειά του τοίχου υποχωρεί και έχει δημιουργηθεί κατακόρυφη ρωγμή στη βόρεια όψη του, της οποίας το εύρος αυξάνει με τα χρόνια.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Στους δύο άνω δόμους η ρωγμή διέρχεται καθέτως ανάμεσα στους αρμούς των δύο δυτικών εφαπτόμενων πωρολίθων, ενώ στον τρίτο από άνω δόμο η ρωγμή διασχίζει καθέτως τον δεύτερο από δυτικά πωρόλιθο. Η ρωγμή αυτή σήμερα έχει αυξηθεί επικίνδυνα και το δυτικό άκρο του τοίχου έχει αποκλίνει από την κατακόρυφο.

Παρόλο που στην περιοχή λειτουργεί μόνιμα μια αντλία που διοχετεύει τα νερά στο αποχετευτικό δίκτυο της πόλης, υπάρχει πάντα συγκέντρωση υδάτων, τα οποία συνεχίζουν να διαβρώνουν τα θεμέλια, παρά τις αλλεπάλληλες προσπάθειες του τεχνικού συνεργείου της Εφορείας να αντιμετωπίσει το πρόβλημα.

4. Μεθοδολογική Προσέγγιση- Πειραματικό μέρος

Το κεφάλαιο αυτό σκοπό έχει να εισαγάγει τον αναγνώστη στον πειραματικό σχεδιασμό που έλαβε χώρα στο εργαστήριο του Τομέα Επιστήμης και Τεχνικής Υλικών στην Σχολή Χημικών Μηχανικών και στο εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρ. & Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Παρακάτω περιγράφεται ενδελεχώς η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε, με βασικό αντικείμενο μελέτης και διερεύνησης τη γεωμετρική τεκμηρίωση και τη χαρτογράφηση των φθορών της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Συνοπτικά, τα στάδια υλοποίησης της εργασίας είναι:

- α) Βιβλιογραφική αναζήτηση επεμβάσεων
- β) Σύνταξη αρχιτεκτονικών σχεδίων της βόρειας όψης των οικοδομημάτων, με χρήση τοπογραφικών προϊόντων, σε κλίμακα 1:50
- γ) Φωτογραμμετρική επεξεργασία και σύνταξη όψεων σε κλίμακα 1:50
- δ) Επί τόπου παρατηρήσεις για τα δομικά υλικά και τις φθορές, και χρήση Μη Καταστρεπτικών Τεχνικών (Ψηφιακό Μικροσκόπιο, Θερμογραφία Υπερύθρου)
- ε) Επένδυση τρισδιάστατου μοντέλου με υφή Θερμογραφίας Υπερύθρου
- στ) Σύνταξη θεματικών χαρτών δομικών υλικών και φθοράς με βάση τα δεδομένα της διαγνωστικής μελέτης και τις επί τόπου παρατηρήσεις, χρησιμοποιώντας ορθοφωτογραφίες ως υπόβαθρο.
- ζ) Επί τόπου έλεγχος και συμπλήρωση των χαρτών
- η) Ποσοτική και συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων

4.1 Συλλογή Δεδομένων

Σε αυτήν την ενότητα, γίνεται αναφορά στον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε, στον προγραμματισμό της συλλογής δεδομένων και κατόπιν ανάλυση των εργασιών πεδίου, που στόχο είχαν τη συλλογή των αναγκαίων τοπογραφικών, φωτογραμμετρικών δεδομένων για την ολοκλήρωση της τρισδιάστατης γεωμετρικής τεκμηρίωσης, καθώς και τη συλλογή δεδομένων μη καταστροφικού ελέγχου για τη χαρτογράφηση των φθορών. Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2023, καθώς και τον Μάρτη και τον Απρίλη του 2024.

4.1.1 Συλλογή Τοπογραφικών δεδομένων

4.1.1.1 Αξιοποίηση προϋπαρχόντων σχεδίων- δεδομένων

Τα δεδομένα που διατέθηκαν για την διευκόλυνση της διεπιστημονικής μελέτης, ήταν αυτά που προϋπήρχαν στα αρχεία της Εφορίας Αρχαιοτήτων Πόλης Αθηνών (ΕΦΑΠΑ) καθώς και σχέδια από το αρχείο της Σχολής Αγρονόμων- Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής.

Από τα αρχεία της ΕΦΑΠΑ αντλήθηκαν παλιές φωτογραφίες που τεκμηριώνουν τη γεωμετρία των τοιχίων ενδιαφέροντος κατά την περίοδο των ανασκαφών, το ημερολόγιο του 2013 στο οποίο αναγράφονται λεπτομερώς όλες οι εργασίες που έλαβαν χώρα στο μνημείο και στην γύρω περιοχή ενδιαφέροντος, καθώς και οι επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης, με αναλύσεις κονιαμάτων από τη ΔΙΤΕΑ. Επιπλέον, διατέθηκε σχέδιο με Ορθοφωτογραφία της βόρειας όψης του ενός (ΤΧ1) εκ των τριών τοίχων ενδιαφέροντος που είχε παραχθεί κατά τη διαδικασία γεωμετρικής τεκμηρίωσης του κλιμακοστασίου της Πλατείας Οδού, τον Ιανουάριο 2022, από την ομάδα εργασίας φοιτητών της σχολής Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής. Τα παραπάνω στοιχεία βοήθησαν στην ευκολότερη ερμηνεία του ιστορικού κτηρίου, της θέσης των αυθεντικών υλικών και υλικών αποκατάστασης, τη συμπλήρωση λεπτομερειών, αλλά και στην λήψη λιγότερων δεδομένων για τη γεωμετρική τεκμηρίωση, αφού η ορθοφωτογραφία χρησιμοποιήθηκε αυτούσια.

4.1.1.2 Αναγνώριση αντικειμένου και προγραμματισμός λήψης νέων δεδομένων

Για τον καλύτερο προγραμματισμό των εργασιών της τρισδιάστατης γεωμετρικής τεκμηρίωσης και της χαρτογράφησης των φθορών του μνημείου, προηγήθηκε η αναγνώριση της ευρύτερης περιοχής μελέτης, ώστε να κατανοηθεί η γεωμετρία και η έκταση του αντικειμένου προς αποτύπωση. Η διαδικασία αυτή ήταν ουσιώδης, προκειμένου να γίνουν αντιληπτά το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά του μνημείου, η ιδιομορφία της κατασκευής του ναού, αλλά και η πολυπλοκότητά του ως αντικείμενο της αποτύπωσης, που οφειλόταν κυρίως στη επίδραση του χρόνου.

Η αναγνώριση του αντικειμένου αποτύπωσης και του περιβάλλοντα χώρου είναι καθοριστική για την επιλογή των κατάλληλων μεθόδων, του κατάλληλου εξοπλισμού και του προγραμματισμού των εργασιών συλλογής των πρωτογενών δεδομένων. Στη διαδικασία αυτήν, καταγράφονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του αντικειμένου, όπως βασικές διαστάσεις και μορφολογία σε αυτοσχέδιο υπαίθρου, ενώ σημαντική είναι η λήψη τεκμηριωτικών φωτογραφιών.

Εντοπίζονται οι ιδιομορφίες, ενώ παράλληλα γίνεται εξοικείωση με το αντικείμενο αλλά και εξακρίβωση της μορφής και της πολυπλοκότητας της κατασκευής του. Επιπλέον, γίνεται διερεύνηση της προσβασιμότητας περιμετρικά του κτηρίου αλλά και στο εσωτερικό αυτού, εφόσον πρόκειται να αποτυπωθεί, των μέτρων ασφαλείας, της ορατότητας των στάσεων, της μέγιστης απόστασης λήψης φωτογραφιών, των πιθανών αποκρύψεων αλλά και των εμποδίων που πιθανόν να υπάρχουν.

Επομένως, στο στάδιο αυτό, είναι δυνατή η οριστικοποίηση των προδιαγραφών, του είδους και του πλήθους των παραγώγων και γενικά των απαιτήσεων προκειμένου να ολοκληρωθεί η εργασία. Παράλληλα, εκτιμάται ο απαιτούμενος χρόνος αλλά και το κόστος εκτέλεσης της εργασίας.

Πιο συγκεκριμένα, κατά την αναγνώριση της βιβλιοθήκης του Πανταίνου, καθώς δεν υπήρχαν σχέδια της κατασκευής, έγινε χρήση αυτοσχεδίων υπαίθρου και φωτογραφική τεκμηρίωση. Οι ενέργειες αυτές, είναι σημαντικές, καθώς βοηθούν στην αντίληψη του χώρου, στον εντοπισμό και την ανάδειξη λεπτομερειών και στον συσχετισμό των επιμέρους χώρων του κτηρίου.

Σημαντικό ρόλο στην οργάνωση της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, αλλά και της λήψης δεδομένων με το ψηφιακό μικροσκόπιο είχε και η σύνταξη σκαριφημάτων, τόσο εκτυπωμένων εικόνων του μνημείου όσο και αυτοσχεδίων υπαίθρου. Πρώτο αυτοσχέδιο υπαίθρου που σχεδιάστηκε ήταν αυτό που εμφανίζονταν οι στάσεις του πολυγωνομετρικού δικτύου, ύστερα σχεδιάστηκε ένα ακόμα για τη θέση των φωτοσταθερών και τέλος άλλα 3 πρόχειρα και χωρίς κλίμακα

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

σχέδια των τοιχίων ενδιαφέροντος, στα οποία αριθμούνταν οι λίθοι από τους οποίους λαμβάνονταν δεδομένα με το ψηφιακό μικροσκόπιο για να υπάρξει αντιστοιχία με τα αρχεία στον υπολογιστή. Συνολικά συντάχθηκαν 6 σκαριφήματα. Καθοριστικό ρόλο έπαιξε η αρίθμηση των στόχων, των φωτοσταθερών, των σημείων αποτύπωσης και των θέσεων λήψης εικόνας από το ψηφιακό μικροσκόπιο (για τη διαγνωστική μελέτη) ώστε κατά την επεξεργασία να μην υπάρξει σύγχυση. Η ευκρίνεια και η πληρότητα των σκαριφημάτων ήταν καθοριστικός παράγοντας για την πληρέστερη γεωμετρική τεκμηρίωση του πολύπλοκου αυτού αρχιτεκτονήματος και τη διευκόλυνση κι επιτάχυνση της δισδιάστατης ψηφιακής σχεδίασης.

4.1.1.3 Εξοπλισμός (total station, drone, φωτογραφική μηχανή)

Ο διαθέσιμος εξοπλισμός (Εικόνα 4.1) περιελάμβανε:

Για τη γεωμετρική τεκμηρίωση:

- Ίδρυση δικτύου με TopCon GPT-3003.
- Φωτογράφιση με Canon EOS 6D, drone: Phantom με κάμερα FC7303.
- Παρελκόμενα: 1 τρίποδας, 1 mini κατάφωτο, 1 τρικόχλιο, χάρτινα και μεταλλικά φωτοσταθερά 2*2 cm



Εικόνα 4.1: Διαθέσιμος εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για λήψη τοπογραφικών και φωτογραμμετρικών δεδομένων

Λογισμικά:

- Λογισμικό για μεταφορά και μετατροπή δεδομένων από το Γεωδαιτικό Σταθμό (Topcon Link)
- Λογισμικό επεξεργασίας και επίλυσης τοπογραφικών δεδομένων (Ταχυμετρία)
- Φωτογραμμετρικό λογισμικό επεξεργασίας εικόνων (Agisoft PhotoScan Professional)
- Λογισμικό δημιουργίας και επεξεργασίας επιφανειών από νέφη σημείων (Geomagic Studio)
- Λογισμικό ηλεκτρονικής σχεδίασης και χαρτογράφησης (AutoCad Map 3D)

4.1.1.4 Γεωδαιτικές και φωτογραμμετρικές μετρήσεις

Γεωδαιτικές Μετρήσεις

Προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε παραμόρφωση της αποτύπωσης, λόγω του συντελεστή κλίμακας K της προβολής του κρατικού συστήματος αναφοράς (ΕΓΣΑ '87), επιλέχθηκε να οριστεί ένα αυθαίρετο τοπικό σύστημα αναφοράς. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα σύστημα που ορίζεται από ένα οριζόντιο επίπεδο που θεωρείται ότι εφάπτεται στο κέντρο της περιοχής αποτύπωσης και ένα κάθετο στην κατακόρυφο στο σημείο αυτό. Σε αυτό προβάλλονται όλα τα σημεία που ορίζουν την έκταση που αποτυπώνεται.

Στο επίπεδο αυτό ορίζεται ένα ορθογώνιο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, από δύο άξονες x, y , με αυθαίρετη αρχή O , αυθαίρετο προσανατολισμό και αυθαίρετες συντεταγμένες αρχής του x_0, y_0 . Η τρίτη διάσταση, το υψόμετρο, μετράται σε άξονα κατακόρυφο με αυθαίρετη τιμή υψομέτρου στην αρχή O . Σε αυτή την περίπτωση το σημείο αρχής O θεωρείται η στάση S_1 (1000,1000,100).

Η επιλογή της θέσης των στάσεων έγινε λαμβάνοντας υπ' όψη, το μέγεθος και το σχήμα του μνημείου, την προσβασιμότητα, την πλήρη κάλυψη του αντικειμένου προς αποτύπωση, την αμοιβαία ορατότητα κάθε στάσης από τουλάχιστον δύο άλλες, την κλίση και την ολισθηρότητα του εδάφους έδρασης του γεωδαιτικού σταθμού.

Ιδρύθηκε, ένα δίκτυο με τρεις στάσεις, η επίλυση του δικτύου πραγματοποιήθηκε εφαρμόζοντας συνόρθωση τριγωνισμού με τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.), ώστε να προκύψουν οι συντεταγμένες των στάσεων στο τοπικό αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων. Προκειμένου η επίλυση να είναι ελεγχόμενη και να μπορέσουν να εντοπιστούν τυχόν χονδροειδή σφάλματα κατά τη διαδικασία των εργασιών του πεδίου, αρχικά πραγματοποιήθηκε η οριζοντιογραφική επίλυση του τριγωνισμού. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα των συνορθωμένων παρατηρήσεων αξιολογήθηκαν και εξαιρέθηκαν όσες από τις σκοπεύσεις παρουσίαζαν υψηλές απόλυτες τιμές του ατομικού δείκτη στατιστικού ελέγχου και η διαδικασία της επίλυσης επαναλήφθηκε μέχρις ότου η τιμή του σφάλματος s_0 a posteriori να βρίσκεται κοντά στη μονάδα. Αφού αυτό διασφαλίστηκε, έγινε συνολική επίλυση του τριγωνισμού (οριζοντιογραφική και υψομετρική) ώστε να προκύψουν οι τελικές συντεταγμένες των στάσεων του δικτύου της όδευσης. Παράλληλα, ελέγχθηκε ότι τόσο τα οριζοντιογραφικά όσο και τα υψομετρικά σφάλματα βρίσκονταν εντός των αποδεκτών ορίων που ορίστηκαν πριν την επίλυση (± 0.005 m και ± 0.015 m αντίστοιχα).

Φωτογραμμετρικές Μετρήσεις

Το αντικείμενο της τρισδιάστατης τεκμηρίωσης με φωτογραμμετρικές μεθόδους είναι ένα τμήμα της βιβλιοθήκης του Πανταίνου. Είναι χώροι εύκολα προσβάσιμοι με όχι ιδιαίτερα ψηλούς τοίχους, αλλά με αρκετά φυτά που είχαν φυτρώσει στους εσωτερικούς χώρους, στην κορυφή των τοίχων και ανάμεσα από τους λίθους, που έπρεπε να καθαριστούν προτού ληφθούν οι φωτογραφίες. Αυτά τα χαρακτηριστικά κατέστησαν το αντικείμενο σχετικά απλό προς αποτύπωση, και θα απεικονιστεί με μεγάλη λεπτομέρεια προκειμένου να είναι δυνατή η ενδεδειγμένη χαρτογράφηση φθορών και υλικών σε επόμενο στάδιο της εφαρμογής.

Ο προγραμματισμός της λήψης των εικόνων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου της τεκμηρίωσης, από το λογισμικό επεξεργασίας και τις απαιτήσεις του. Καθώς το λογισμικό που επελέγη για τη συγκεκριμένη εφαρμογή ήταν το Agisoft Metashape, όλες οι παραπάνω εργασίες βασίζονται στον αλγόριθμο Structure-from-Motion (SfM), στόχος του οποίου είναι η

ανακατασκευή της γεωμετρίας της σκηνής και της κίνησης της κάμερας κατά τις λήψεις από δύο ή περισσότερες εικόνες του προς φωτογράφιση αντικειμένου. Ο ίδιος αλγόριθμος ουσιαστικά αναλύει τα δισδιάστατα (2D) χαρακτηριστικά και ανιχνεύει λεπτομέρειες όπως γωνίες και ακμές, βρίσκοντας αντιστοιχίες μεταξύ των εικόνων και ταυτόχρονα, εκτιμώντας την κίνηση της κάμερας σε σχέση με τη δομή του αντικειμένου, καθορίζει τρισδιάστατες (3D) πληροφορίες για το εν λόγω αντικείμενο (Westoby, 2012). Έτσι, πραγματοποιεί συνόρθωση της δέσμης των ακτίνων και αναδομεί τις επιφάνειες με τριγωνισμό των εικόνων και στερεοσκοπική αντίληψη (Weng, Huang, & Ahuja, 2012).

Επιπλέον, σχετικά με τον προγραμματισμό λήψης των εικόνων πρέπει να ισχύουν: (1) Το αντικείμενο πρέπει να απεικονίζεται πλήρως και συνηθίζεται το πλήθος των εικόνων να είναι μεγαλύτερο από το απαιτούμενο για να μην υπάρχει πιθανότητα έλλειψης πληροφορίας. (2) Κάθε σημείο του αντικειμένου πρέπει να καλύπτεται σε τουλάχιστον δύο εικόνες, ώστε να μπορεί να ανακατασκευαστεί η γεωμετρία του. (3) Η αλληλοεπικάλυψη των εικόνων πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη, τουλάχιστον 80% και το βάθος λήψης κατά το δυνατόν ομοιόμορφο. (4) Κάθε εικόνα πρέπει να απεικονίζει στο μεγαλύτερο τμήμα της το προς αποτύπωση αντικείμενο. (5) Πρέπει να υπάρχει καλός φωτισμός χωρίς σκιάσεις, για την εξασφάλιση καλής ραδιομετρίας και ορθού εικονιστικού αποτελέσματος. (6) Πρέπει να αποφεύγονται οι αποκρύψεις τμημάτων του αντικειμένου από φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες. (7) Η αποθήκευση δεδομένων πρέπει να γίνεται σε μη συμπιεσμένους τύπους εικόνας (όπως RAW ή TIFF) για να αποφευχθεί η απώλεια πληροφορίας. (8) Η εδαφοψηφίδα (GSD) πρέπει να είναι μικρότερη από 1/3 του ζητούμενου ορίου της απόλυτης ακρίβειας θέσης. (9) Η ακρίβεια για την απεικόνιση, όταν η κλίμακα αποτύπωσης είναι 1:50 πρέπει να μην είναι μεγαλύτερη από 1,25 cm.

Η φωτογράφιση του αντικειμένου ακολουθούσε μία συστηματική πορεία από τον έναν χώρο στον άλλο. Έτσι, ελήφθησαν αρκετές φωτογραφίες για κάθε χώρο, κυρίως ώστε να διασφαλιστεί ότι δε θα υπήρχαν παραλείψεις και κενά στο τελικό αποτέλεσμα. Λόγω της διαθέσιμης πλήρους αυτοματοποιημένης μεθοδολογίας που τέτοιου είδους εμπορικά φωτογραμμετρικά λογισμικά ακολουθούν, ο σχεδιασμός της λήψης των εικόνων είναι ιδιαίτερα σημαντικός, για αποφυγή ανεπιτυχών αποτελεσμάτων και την επίτευξη των κατά περίπτωση απαιτούμενων ακριβειών.

4.1.2 Συλλογή δεδομένων Μη καταστρεπτικού Ελέγχου

4.1.2.1 Εξοπλισμός (θερμική κάμερα, ψηφιακό μικροσκόπιο)

Για την χαρτογράφηση των φθορών:

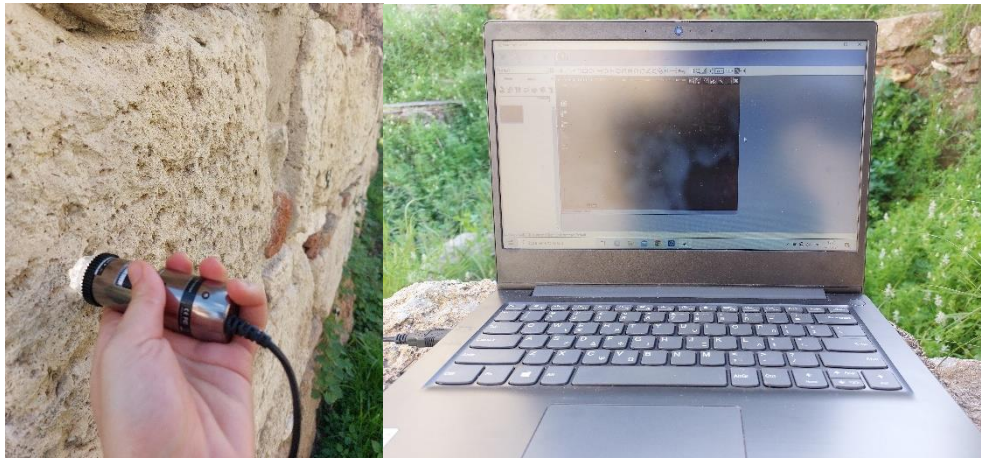
- Ψηφιακή μικροσκοπία (DM), για την μελέτη της μορφολογίας των εξεταζόμενων δομικών υλικών (λίθων, κονιαμάτων και πλίνθων) και για την ταξινόμηση των τύπων φθοράς τους, Dinolight (Εικόνα 4.2).
- Θερμογραφία Υπερύθρου IRT, για τον έλεγχο της θερμοϋγκρικής συμπεριφοράς των δομικών υλικών (λίθων, κονιαμάτων και πλίνθων) των υπό εξέταση τοιχοποιιών, με την θερμική κάμερα FLIR T640 (Εικόνα 4.3).

IR resolution	640*480 pixels
Field of view (FOV)	25° x 19°
Spectral range	7.5 to 14μm
Accuracy	±2°C

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Built-in digital camera	5 Mpixel with LED light
-------------------------	-------------------------

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά θερμικής κάμερας, (Πηγή: [FLIR T640 Specs \(aatesters.com\)](#))



Εικόνα 4.2: Ψηφιακό μικροσκόπιο Dinolight



Εικόνα 4.3: Κάμερα Θερμογραφίας Υπερύθρου FLIR T640

- Λογισμικό επεξεργασίας θερμικών εικόνων: Flir tools.

4.1.2.2 Συλλογή δεδομένων για την τεχνική της Θερμογραφίας Υπερύθρου

Η λήψη θερμογραφημάτων είναι η διαδικασία καταγραφής της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από αντικείμενα και επιφάνειες, ώστε να δημιουργηθεί μια θερμική εικόνα (ή θερμογράφημα). Για να ληφθούν ακριβή δεδομένα, η θερμοκάμερα πρέπει να ρυθμιστεί σωστά: Πρώτα απ' όλα, επιλέγεται η εμβέλεια της θερμοκρασίας, δηλαδή το εύρος τιμών θερμοκρασίας που μπορεί να καταγράψει και να εμφανίσει η θερμική κάμερα. Ύστερα, ρυθμίζεται η εστίαση ανάλογα με την απόσταση από το αντικείμενο και η εκπομπή (Emissivity), η οποία προσαρμόζεται ανάλογα με το υλικό της επιφάνειας που μετράται. Στη συνέχεια, η διαδικασία λήψης έχει ως εξής: επιλέγεται η θέση από όπου θα ληφθεί το θερμογράφημα, η οποία πρέπει να είναι κατάλληλη και αντιπροσωπευτική και έπειτα καταγράφεται η εικόνα, δηλαδή η θερμοκάμερα καταγράφει τη θερμική ακτινοβολία και δημιουργεί την εικόνα που απεικονίζει τις θερμοκρασίες.

Κατά τη λήψη των θερμογραφημάτων πρέπει ο εξοπλισμός να είναι σωστά βαθμονομημένος για ακριβή αποτελέσματα και να αποφεύγονται οι ακραίες θερμοκρασίες, γιατί μπορεί να επηρεάσουν τις μετρήσεις.

Παράλληλα, τα θερμογραφήματα αυτά λήφθηκαν με σκοπό τη δημιουργία υψής ενός 3D μοντέλου από εικόνες θερμογραφημάτων, για αυτό είναι απαραίτητο να ακολουθηθεί μια

συγκεκριμένη διαδικασία λήψης και επεξεργασίας των θερμικών εικόνων. Η διαδικασία αυτή συνδυάζει την τρισδιάστατη φωτογραμμετρία με την ανάλυση των θερμικών δεδομένων και βασίστηκε στον αλγόριθμο Structure-from-Motion (SfM), στόχος του οποίου είναι η ανακατασκευή της γεωμετρίας της σκηνής και της κίνησης της κάμερας κατά τις λήψεις από δύο ή περισσότερες εικόνες του προς φωτογράφιση αντικείμενου. Αρχικά, καθορίστηκε το αντικείμενο που είναι επιθυμητό να καταγραφεί και ύστερα με την θερμική κάμερα υψηλής ανάλυσης, FLIR T640, η οποία λαμβάνει θερμικές, αλλά και RGB εικόνες υψηλής ακρίβειας, εξασφαλίστηκε η λήψη πολλών επικαλυπτόμενων εικόνων, περίπου 60-80%, από πολλές γωνίες, ώστε να καλυφθεί πλήρως το αντικείμενο, αλλά και από διαφορετικά ύψη για πιο ολοκληρωμένη απεικόνιση. Ενώ, εξασφαλίστηκε ότι σε κάθε θερμογράφημα θα φαίνονται τουλάχιστον τρία μεταλλικά φωτοσταθερά, τα οποία είναι απαραίτητα για την εξαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου.

Η διαδικασία είναι σχετικά απλή, αλλά απαιτεί κατάλληλο εξοπλισμό και εμπειρία για να επιτευχθούν αξιόπιστα και ακριβή αποτελέσματα.

4.1.2.3 Συλλογή δεδομένων για την τεχνική της Ψηφιακής Μικροσκοπίας

Μετρήθηκε κάθε δομικό υλικό (λίθος, κονίαμα, πλίνθος), αφού πρώτα είχε αριθμηθεί στο σκαρίφημα. Επιπλέον, όπου εμφανίζονταν φθορές γίνονταν επιπλέον λήψεις.

Ύστερα, αριθμείται στο κροκί ο λίθος, το κονίαμα ή οι πλίνθοι, για τα οποία θα ληφθούν εικόνες και στη συνέχεια γίνεται η κατάλληλη εστίαση στο ζητούμενο σημείο, για να είναι ευκρινείς οι εικόνες που θα ληφθούν. Τέλος, τα αρχεία αποθηκεύονται στον υπολογιστή ακολουθώντας την αρίθμηση του κροκί.

4.2. Επεξεργασία

Στην ενότητα αυτήν αναλύονται οι διαδικασίες επεξεργασίας των τοπογραφικών και φωτογραμμετρικών δεδομένων που συλλέχθηκαν στο πεδίο. Αυτές περιλάμβαναν την επίλυση των γεωδαιτικών μετρήσεων, τη συνένωση, γεωαναφορά και καθαρισμό των επιμέρους νεφών σημείων, οι οποίες προέκυψαν από την τρισδιάστατη μοντελοποίηση τμήματος της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου, την παραγωγή των τελικών τοπογραφικών και άλλων σχεδίων, τη χαρτογράφιση των υλικών και των φθορών, καθώς και την δημιουργία ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών στο οποίο ο χρήστης μπορεί να κάνει ερωτήματα και να δέχεται απαντήσεις σχετικά με την γεωμετρία και την φθορά των τοιχίων ενδιαφέροντος.

4.2.1 Επεξεργασία τοπογραφικών μετρήσεων

Το στάδιο της επεξεργασίας γεωδαιτικών δεδομένων, αφορά στον υπολογισμό των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου, των φωτοσταθερών, αλλά και των σημείων που υλοποιούσαν τις οριζόντιες και τις κατακόρυφες τομές.

Αρχικά, έγινε μεταφορά των αρχείων των μετρήσεων από τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό. Στη συνέχεια έγινε μετατροπή των αρχείων αυτών σε επεξεργάσιμη μορφή και διόρθωσή

τους, όπου απαιτούνταν (λάθη στην αρίθμηση, στα ύψη οργάνου-στόχου κ.α.), με χρήση του λογισμικού Topcon Link. Για την επίλυση του δικτύου εισήχθησαν τα δεδομένα των μετρήσεων στο λογισμικό «Ταχυμετρία». Η επίλυση επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Στη συνέχεια τέθηκαν όλες οι βασικές παράμετροι για τον υπολογισμό του δικτύου και την πραγματοποίηση των στατιστικών ελέγχων. Οι παράμετροι αυτές είναι ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων, η τυπική απόκλιση διευθύνσεων, αποστάσεων, υψομετρικών διαφορών, το επίπεδο εμπιστοσύνης για τον συνολικό στατικό έλεγχο της επίλυσης και για κάθε μέτρηση χωριστά και το επίπεδο εμπιστοσύνης για τις ελλείψεις σφάλματος. Για να βελτιστοποιηθούν οι τιμές των σφαλμάτων διατηρήθηκαν σταθερές ή επιτρέπεται η συνόρθωση ορισμένων συντεταγμένων και απόκλιση σημείων από τη διαδικασία της επίλυσης. Αποκλείοντας ένα σημείο, αυτόματα αποκλείονται και όλες οι μετρήσεις που έχουν ληφθεί από και προς αυτό. Ακολούθησε η εκτέλεση της οριζοντιογραφικής επίλυσης και ο υπολογισμός του σ_0 a posteriori. Ύστερα από διορθώσεις στις επιλογές των μετρήσεων, επαληθεύθηκε η υπόθεση και επιλέχθηκε το τελικό σ_0 a posteriori για την εκτέλεση των υπόλοιπων στατιστικών ελέγχων. Ακολούθησε η υψομετρική επίλυση, με τη διαφορά ότι στην περίπτωση αυτή δεν υπήρχαν επαναλήψεις, γιατί το σύστημα των κανονικών εξισώσεων είναι γραμμικό. Μετά το πέρας των υπολογισμών της υψομετρικής επίλυσης έγιναν οι απαραίτητοι στατιστικοί έλεγχοι. Κατά τη λύση της όδευσης ελέγχθηκαν οι τιμές των ανεκτών σφαλμάτων σύμφωνα με την κλίμακα του τελικού προϊόντος που έχει οριστεί (1:50). Παρακάτω, παρατίθενται τα γενικά στοιχεία της οριζοντιογραφικής και της υψομετρικής επίλυσης (πίνακας _) καθώς και πίνακας των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου και τα αντίστοιχα σφάλματά τους (πίνακας _).

Οριζοντιογραφική επίλυση	
σ_0 apriori	1
σ_0 a posteriori	0.9513
Αριθμός Διευθύνσεων	4
Αριθμός Αποστάσεων	24
Γνωστές Συντεταγμένες	3
Άγνωστοι προσανατολισμοί	24
Άγνωστες Συντεταγμένες	3
Βαθμοί Ελευθερίας	41

Πίνακας 4: Στοιχεία οριζοντιογραφικής επίλυσης δικτύου

Υψομετρική επίλυση

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
 Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

σ0 apriori	1
σ0 aposteriori	0.8561
Αριθμός Υψομετρικών διαφορών	24
Γνωστά Υψόμετρα	3
Άγνωστα Υψόμετρα	2
Βαθμοί Ελευθερίας	22

Πίνακας 5: Στοιχεία υψομετρικής επίλυσης δικτύου

Στάση	Συνορθωμένες Συντεταγμένες			Τυπικό σφάλμα σ0		
	X	Y	Z	X	Y	Z
S1	1000.000	1000.000	100	-	-	-
S2	1000.000	1052.137	98,046	-	0.001	0,001
S3	988.077	989.905	99,517	0.001	0.001	0,001

Πίνακας 6: Συντεταγμένες στάσεων πολυγωνομετρικού δικτύου

Οι μετρήσεις των αποστάσεων πραγματοποιήθηκαν χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα. Για τις μετρήσεις ακολουθήθηκε η κλασική μέθοδος των πολικών συντεταγμένων. Για την απόδοση της θέσης των σημείων στον τρισδιάστατο χώρο μετρούνται οριζόντιες γωνίες (β), κατακόρυφες γωνίες (z), κεκλιμένα μήκη (S), το ύψος οργάνου Y_0 και το ύψος στόχου Y_S . Έτσι, έχοντας ως γνωστές τις συντεταγμένες των στάσεων, προσδιορίζονται από τις παρακάτω σχέσεις οι ορθογώνιες συντεταγμένες (x, y) και το υψόμετρο (H) της σκοπευόμενης θέσης.

$$x_i = x_{\Sigma i} + S_{\Sigma i} \cdot \sin \alpha_{\Sigma i}$$

$$y_i = y_{\Sigma i} + S_{\Sigma i} \cdot \cos \alpha_{\Sigma i}$$

$$H_i = H_{\Sigma i} + D_{\Sigma i} \cos z_{\Sigma i} + Y_0 - Y_S$$

4.2.3 Επεξεργασία φωτογραμμετρικών δεδομένων

Αφού επιλέχθηκαν ποιες εικόνες θα χρησιμοποιηθούν, απορρίφθηκαν όσες ήταν θολές και στην συνέχεια προστέθηκαν μάσκες σε αυτές που απεικόνιζαν αρκετά ανεπιθύμητα αντικείμενα έγινε ο προσανατολισμός (alignment) των εικόνων. Κατά τη διάρκεια αυτού του βήματος (i) δημιουργείται ένα αραιό 3D νέφος σημείων που αναπαριστά τη γεωμετρία του αντικειμένου (Εικόνα 4.4), (ii) προσδιορίζεται ο σχετικός προσανατολισμός των θέσεων της κάμερας κατά τις στιγμές της

λήψης των εικόνων και (iii) υπολογίζονται οι παράμετροι του εσωτερικού προσανατολισμού (η εστιακή απόσταση, η θέση του πρωτεύοντος σημείου, οι συντελεστές των ακτινικών και των εγκάρσιων συνιστωσών της ακτινικής παραμόρφωσης), μέσα από μία διαδικασία αυτοβαθμονόμησης.



Εικόνα 4.4: Αραιό νέφος

Το δεύτερο βήμα αφορούσε στη δημιουργία ενός πυκνού 3D νέφους σημείων, δηλαδή, στη διαδικασία αναγνώρισης πολλών περισσότερων σημείων μέσα στο πλέγμα που ορίζουν τα χαρακτηριστικά ομόλογα σημεία της αρχικής προσέγγισης. Για την βελτιστοποίηση της επίλυσης και την προσθήκη κλίμακας και προσανατολισμού (γεωαναφορά) στα μοντέλα, χρησιμοποιήθηκαν ορισμένα από τα φωτοσταθερά σημεία που είχαν μετρηθεί. Αρχικά σκοπεύθηκαν όλα τα φωτοσταθερά (χρήση markers), που περιελάμβαναν και μεταλλικούς στόχους για την θερμική ανάλυση, και χρησιμοποιήθηκαν όλα στην επίλυση του εξωτερικού προσανατολισμού προκειμένου για να διαπιστωθεί αν υπήρχε χονδροειδές σφάλμα σε κάποια μέτρηση σημείου, ώστε αυτό να εξαιρεθεί από την επίλυση. Όπου συνέβαινε αυτό, οι σκοπεύσεις διορθώθηκαν, ενώ στις περιπτώσεις που το σφάλμα ήταν πολύ μεγάλο και δεν δικαιολογούνταν από λανθασμένες σκοπεύσεις των σημείων, αυτά αφαιρέθηκαν εντελώς, εφόσον επρόκειτο για χονδροειδή σφάλματα που ενδεχομένως οφείλονταν σε κάποιο λάθος της στιγμή της μέτρησης ή στη μετακίνηση του στόχου στο χρόνο που μεσολάβησε ανάμεσα στη μέτρηση και τη φωτογράφιση.

Αφού αφαιρέθηκαν όσα φωτοσταθερά σημεία υπερέβαιναν την ακρίβεια, η επίλυση πραγματοποιήθηκε εκ νέου, περιλαμβάνοντας συνολικά 52 φωτοσταθερά (control points) καλά διεσπαρμένα.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 4.5: Φωτοσταθερά με στόχους *metashape* (αριστερά), και μεταλλικούς (δεξιά)

4.2.3.1 Παραγωγή τρισδιάστατου μοντέλου και ορθοφωτογραφίας

Στη συνέχεια, το νέφος σημείων καθαρίστηκε χειροκίνητα ώστε να διαγραφούν ανεπιθύμητα αντικείμενα, ενώ στη συνέχεια εφαρμόστηκαν αλγόριθμοι φίλτρων καθαρισμού του λογισμικού, ώστε σε πρώτη φάση να μειωθεί ο θόρυβος των σημείων, αλλά και στη συνέχεια, να μειωθεί δραστικά ο όγκος τους. Επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία της τρισδιάστατης επιφάνειας, με τον καθορισμό ορισμένων παραμέτρων όπως η αυτόματη συμπλήρωση μικρών ασυνεχειών της επιφάνειας, καθώς και η εκ νέου μείωση του θορύβου του νέφους σημείων. Τελικά, και προκειμένου να διευκολυνθεί η διαχείριση της τρισδιάστατης επιφάνειας που προέκυψε, αποφασίστηκε η μείωση του μεγέθους της, μειώνοντας ουσιαστικά τον αριθμό των τριγώνων που περιέγραφαν την επιφάνεια, χωρίς όμως να επηρεάζεται η λεπτομέρεια του μοντέλου, όπου αυτή ήταν απαραίτητη και συνεπώς, η ανάλυσή του.

Εκτός από τον υπολογισμό της 3D γεωμετρίας, σε αυτό το βήμα επίσης υπολογίζεται το χρώμα για κάθε κόμβο του μοντέλου που αποθηκεύεται ως ένα επιπλέον χαρακτηριστικό. Κατά την απόδοση του μοντέλου, αυτά τα χρώματα στη συνέχεια εισάγονται για κάθε πλευρά του στερεού, έτσι ώστε κάθε μία από αυτές να γεμίζει με μία απόχρωση. Όταν ο αριθμός των πολυγώνων είναι μεγάλος, αυτή η διανυσματική χρωματική προσέγγιση παρέχει μία πολύ καλή οπτική αναπαράσταση της επιφάνειας του αντικειμένου. Εν προκειμένω, η υψηλή ανάλυση των εικόνων (από άποψη αντιστοιχίας της εικονοψηφίδας σε πραγματική επιφάνεια), σε συσχέτιση με την υψηλή λεπτομέρεια του μοντέλου, οδήγησε σε μία πολύ πιστή αναπαράσταση της επιφάνειας.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 4.6: Πυκνό 3D νέφους σημείων

Πρώτο βήμα για τη δημιουργία μιας ορθοφωτογραφίας είναι η επιλογή της πηγής των φωτογραφικών δεδομένων. Η άντληση της φωτογραφικής πληροφορίας μπορεί να γίνει από μια φωτογραφία ή από τις ήδη δημιουργημένες επιφάνειες με φωτορεαλιστική υφή. Δεύτερο βήμα είναι η επιλογή του επιπέδου προβολής. Ο καθορισμός του μπορεί να γίνει είτε με την επιλογή ενός επιπέδου και διεύθυνσης προβολής (top/bottom-XY, front/back-XZ, right/left-YZ) είτε με καθορισμό του επιπέδου προβολής με τρία σημεία του αντικειμένου. Για την κάτοψη, , ενώ για την όψη των τοιχίων ενδιαφέροντος ορίστηκαν τρία σημεία, με αυτόν τον τρόπο δηλώνεται πως το επίπεδο στο οποίο θα προβληθεί το νέφος των σημείων για τη δημιουργία της ορθοφωτογραφίας είναι αυτό που ορίζεται από τους άξονες X και Y, οι οποίοι καθορίζονται από τα τρία αυτά σημεία.

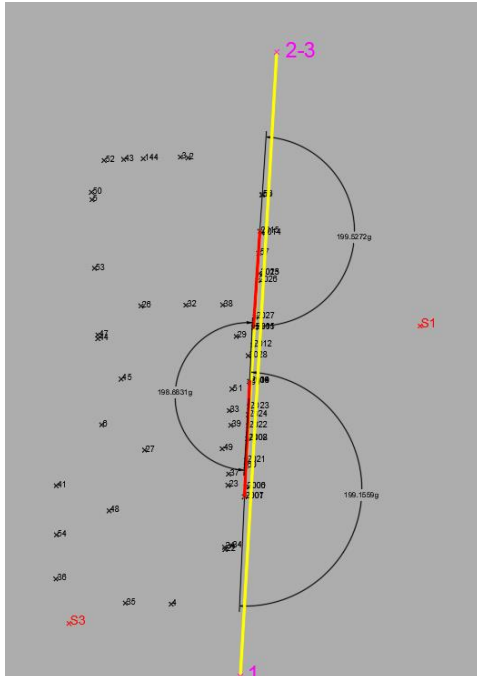
4.2.3.2 Σύνταξη οριζόντιας τομής – όψης

Πρόκειται για τομή της κατασκευής με οριζόντιο επίπεδο στο επιθυμητό υψόμετρο. Η οριζόντια τομή συνδυάζεται με προβολές, υπό μορφή όψης, των υποκείμενων του επιπέδου προβολής στοιχείων και των υπερκείμενων. Όπως είναι λογικό, για την κάτοψη χρησιμοποιήθηκε το επίπεδο προβολής top xy.

4.2.3.3 Σύνταξη κατακόρυφων τομών – όψεων

Πρόκειται για τομές σε κατακόρυφα επίπεδα σε διάφορες θέσεις, κατά μήκος και εγκάρσια των τοίχων. Οι τομές συνδυάζονται με προβολές κατακόρυφων στοιχείων και επιφανειών του κτηρίου και η διαχείριση των διαφόρων στοιχείων σε σχεδιαστικά επίπεδα είναι αντίστοιχη με αυτή που αναφέρεται στην κατακόρυφη τομή. Επιπρόσθετα στο διάγραμμα αυτό εισάγονται οι υψομετρικές στάθμες χαρακτηριστικών σημείων καθώς και μια μικρογραφία της κάτοψης στην οποία σχεδιάζεται η θέση και ο προσανατολισμός της κατακόρυφης τομής. Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα σχέδια της γεωμετρικής τεκμηρίωσης θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια από άλλους επιστήμονες ως υπόβαθρο για τις δικές τους μελέτες, έγινε μέριμνα πέραν από την ακρίβεια τους και την αξιοπιστία τους, για την καθαρότητα, την ευκρίνεια, την παραστατικότητα και τη σαφήνειά τους. Όπως προαναφέρθηκε, τόσο οι όψεις όσο και οι κατακόρυφες τομές πρέπει να σχεδιάζονται στο επίπεδο της προβολής ή στο επίπεδο τομής αντιστοίχως (επίπεδο αναφοράς), το οποίο δεν είναι κατά ανάγκη παράλληλο με ένα από τα βασικά επίπεδα του γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς της αποτύπωσης και του οποίου ο προσανατολισμός ως προς την κατασκευή είναι τυχαίος. Η επιλογή

και ο ορισμός του κατάλληλου επιπέδου αναφοράς για τη σχεδίαση της όψης-τομής είναι μείζονος σημασίας για την ακρίβεια της απόδοσης και κατά συνέπεια της γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Μη κατάλληλα επίπεδα αναφοράς οδηγούν σε σχέδια με σοβαρές παραμορφώσεις. Για την αποφυγή τους, ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Για το συγκεκριμένο επίπεδο προβολής επιλέχθηκε η γραφική προσαρμογή απευθείας στο διάγραμμα της οριζόντιας τομής.



Εικόνα 4.7: Καθορισμός επιπέδου προβολής όψης

Αρχικά, έγινε ο υπολογισμός της γωνίας διεύθυνσης του γεωδαιτικού συστήματος και του επιπέδου αναφοράς της τομής, που ορίζεται σε πρώτη φάση από μία γραμμή παράλληλη στα τοιχία ενδιαφέροντος. Για το γεωδαιτικό σύστημα ο υπολογισμός είναι εύκολος, εισάγοντας στις θεμελιώδεις σχέσεις της γεωδαισίας τις συντεταγμένες δύο κορυφών του. Για να ορισθεί όμως το επίπεδο τομής και κατά συνέπεια το ίχνος αυτού, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο βέλτιστης προσαρμογής της γραμμής στο εκάστοτε σύνολο των φυσικών σημείων. Για την περίπτωση της συγκεκριμένης τομής επιλέχθηκε η γραμμή που προσαρμόζεται καλύτερα στην παραλληλία με τα τοιχία και βάση της γραμμής αυτής που καθορίζεται από δύο σημεία ($1(x_1, y_1, z_1)$ και $2(x_2, y_2, z_1)$), και ενός ακόμα σημείου με $3(x_2, y_2, z_3)$ προέκυψε το επιθυμητό επίπεδο προβολής, όπως φαίνεται με κίτρινη γραμμή στην Εικόνα 4.7. Τελικό στάδιο για τη δημιουργία της κατακόρυφης τομής είναι η εισαγωγή των συντεταγμένων αυτών στο πρόγραμμα που θα εξάγει την όψη (Metashape).

4.2.4 Επεξεργασία θερμογραφημάτων

Η θερμογραφία υπέρυθρου (Infrared Thermography – IRT) είναι μη καταστρεπτική τεχνική ελέγχου, κατά την οποία μετράται και καταγράφεται η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια ενός υλικού ή ενός σώματος, στην υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Το αποτέλεσμα τέτοιων μετρήσεων είναι το θερμογράφημα, μια «θερμική» εικόνα της εξεταζόμενης επιφάνειας. Η τεχνική της IRT χρησιμοποιείται σε πληθώρα εφαρμογών, όπως οι ακόλουθες (Κουή και συνεργάτες, 2014):

Αρχικά, στην αξιολόγηση επεμβάσεων συντήρησης σε μνημεία και ιστορικά σύνολα, όπως επεμβάσεις καθαρισμού, επεμβάσεις στερέωσης και έλεγχος της φυσικοχημικής συμβατότητας υλικών σε επεμβάσεις αποκατάστασης. Επίσης, βοηθά στον εντοπισμό ανερχόμενης ή παραμένουσας υγρασίας σε τοιχοποιίες και αρχιτεκτονικές επιφάνειες. Ανιχνεύει διαστρωμάτωση δομικών υλικών σε τοιχοποιίες και κατασκευές, ρωγμές σε υλικά και κατασκευές, αλλά και διαρροές σε σωληνώσεις, δίκτυα και θερμαινόμενα δάπεδα. Τέλος, συμβάλει στην ιατρική και την υγεία, για τον εντοπισμό ατόμων με πυρετό, μέσα από ένα πλήθος (για παράδειγμα σε αεροδρόμια), που ενδεχομένως φέρουν κάποια επικίνδυνη ασθένεια.

Υπάρχουν τρεις τρόποι για την καταγραφή της υπέρυθρης ακτινοβολίας: η καταγραφή της εκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας, η καταγραφή της ανακλώμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας, μετά από εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας πάνω στο εξεταζόμενο σώμα και η καταγραφή ενός

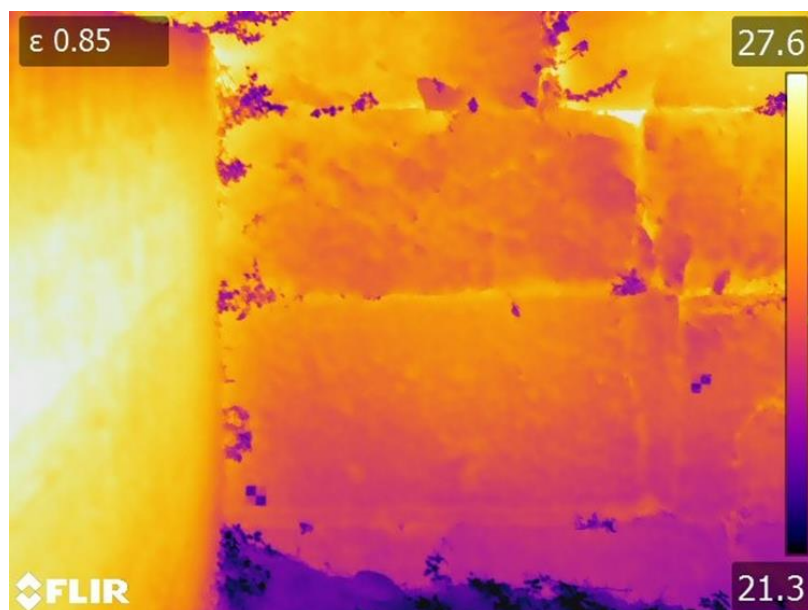
μίγματος ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας. Με ένα τυπικό θερμογραφικό σύστημα και την επεξεργασία των διαφόρων θερμογραφήματων, προκύπτει πληθώρα δυνατοτήτων (Μοροπούλου, 2009):

- Προσδιορισμός της μέσης θερμοκρασίας του εξεταζόμενου θερμογραφήματος.
- Επιλογή συγκεκριμένων σημείων του θερμογραφήματος και ακριβής προσδιορισμός της θερμοκρασίας τους.
- Απεικόνιση περιοχών χαμηλών, μέσων και υψηλών θερμοκρασιών στο θερμογράφημα.
- Μεγέθυνση συγκεκριμένου σημείου της εικόνας.
- Δημιουργία ιστογράμματος της κατανομής των θερμοκρασιών.

Η απόσταση μεταξύ της κάμερας και του αντικειμένου – υλικού προς εξέταση, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, κατά τη διαδικασία των μετρήσεων. Για παράδειγμα, εάν η απόσταση μεταξύ της κάμερας και ενός θερμού αντικειμένου είναι μεγάλη, τότε θα καταγράφονται χαμηλότερες, σε σχέση με την πραγματικότητα, θερμοκρασιακές μετρήσεις.

Κατά τη λήψη του θερμογραφήματος, πρέπει να επικρατούν σταθερές συνθήκες. Ωστόσο, μπορεί να εξαχθούν σωστά συμπεράσματα και κάτω από μη σταθερές συνθήκες, αρκεί να υπάρχει σχετική εμπειρία και αρκετά δεδομένα για το εξεταζόμενο υλικό. Πρέπει να σημειωθεί ότι, διαφορετικές εξωτερικές συνθήκες μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, ο τοίχος ενός κτηρίου, που εκτίθεται άμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία, θα εμφανίσει μια θερμή εξωτερική επιφάνεια και μια ψυχρή εσωτερική επιφάνεια κατά τη θερμογράφησή του από το εσωτερικό του κτηρίου.

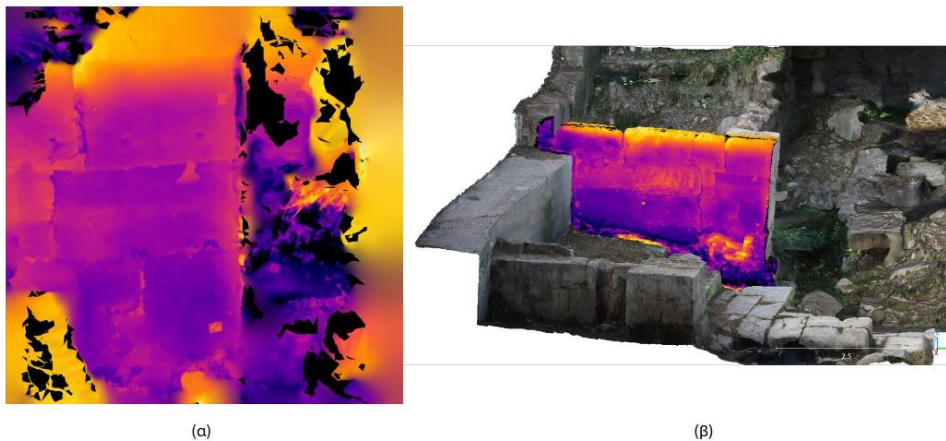
Έτσι, και σύμφωνα με τα παραπάνω, η μεθοδολογία λήψης των θερμογραφήματων είχε ως εξής: σε εποχή καλοκαιριού και πρωινές ώρες με απόσταση περίπου στα 4m από τους τοίχους ενδιαφέροντος οι λήψεις βασίστηκαν στον αλγόριθμο Structure-from-Motion (SfM) που αναφέρθηκε και προηγουμένως, καθώς θα χρησιμοποιούνταν για την επένδυση της υφής του τρισδιάστατου μοντέλου. Με την θερμική κάμερα γίνονται λήψεις σχεδόν στη βασική επιφάνεια της κατασκευής και ύστερα από την ίδια θέση στρέφονταν 30° προς τα πάνω, προς τα κάτω, προς τα δεξιά και προς τα αριστερά.



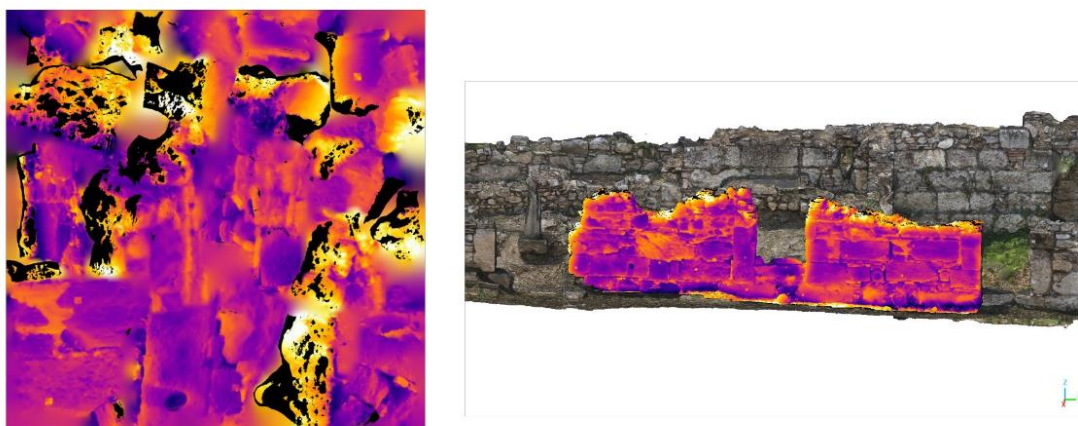
Εικόνα 4.8: Θερμογράφημα χωρίς επεξεργασία

Έπειτα, ακολουθεί η επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων, μέσω του προγράμματος Flir tools. Καθένα από τα θερμογραφήματα έχει μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία, η πιο ψυχρή θερμοκρασία αποδίδεται ως σκούρο μπλε, σχεδόν μαύρο, ενώ η πιο θερμή ως ανοιχτό κίτρινο, σχεδόν λευκό (Εικόνα 4.8). Συνεπώς, για να προκύψει ένα τρισδιάστατο μοντέλο με υφή Θερμογραφίας Υπερύθρου που η χαμηλότερη και η υψηλότερη θερμοκρασία θα αντιστοιχεί σε μία κοινή παλέτα χρωμάτων, θα πρέπει να γίνει κατάλληλη επεξεργασία των θερμογραφημάτων. Σε αυτή την διαδικασία γίνονται δοκιμές σε όλα τα θερμογραφήματα ώστε να βρεθεί κοινό θερμοκρασιακό εύρος, και άρα κοινή χρωματική παλέτα. Κατόπιν επεξεργασίας επιλέχθηκε το θερμοκρασιακό εύρος 25°C- 50 °C.

Στη συνέχεια, σειρά είχε η απόδοση υφής στο τρισδιάστατο μοντέλο του τμήματος της Βιβλιοθήκης, στο λογισμικό Metashape Professional της Agisoft. Σε αυτό το στάδιο, προτιμήθηκε ο χωρισμός της ενιαίας τρισδιάστατης επιφάνειας σε επιμέρους τμήματα, ανά χώρο. Στην ουσία, για καθένα από τους χώρους προέκυψε ένας χάρτης υφής (texture map), ο οποίος, χρησιμοποιώντας τις εικόνες της Θερμογραφίας Υπερύθρου που απεικονίζουν τον εκάστοτε τοίχο, δίνει την αντίστοιχη σωστή υφή στο τρισδιάστατο μοντέλο. Προέκυψε, δηλαδή, για κάθε τοίχο μία εικόνα – «ανάπτυγμα» της επιφάνειας που περιείχε την υφή του μοντέλου. Για τον TX1 μεμονωμένα και για τους TX2 και TX3 μαζί, επιλέχθηκε ανάλυση της εικόνας 4096 x 4096 ρixel, καθώς πρόκειται για τις καλύτερα διαχειρίσιμες διαστάσεις από το σύνολο των λογισμικών (Εικόνα 4.9-4.10).



Εικόνα 4.9: Χάρτης υφής του TX1, όπως προκύπτει από τα θερμογραφήματα (α), Τρισδιάστατο μοντέλο TX1 με υφή(β)



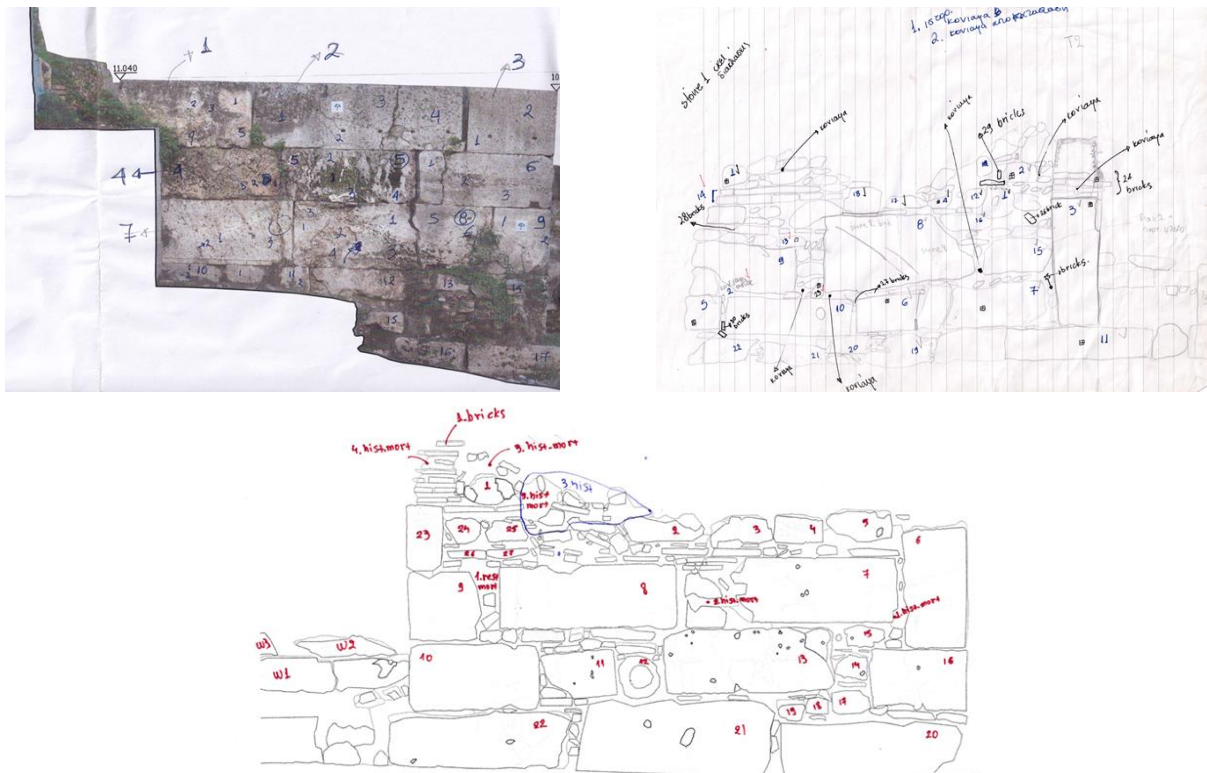
Εικόνα 4.10: Χάρτης υφής των TX2-TX3, όπως προκύπτει από τα θερμογραφήματα (α), Τρισδιάστατο μοντέλο TX2-TX3 με υφή(β)

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Η διαδικασία παραγωγής της υφής, από τη θερμογραφία υπερύθρου, του τρισδιάστατου μοντέλου απαιτούσε τη διεξαγωγή πολλών δοκιμών ώστε η επιλογή των φωτογραφιών που θα χρησιμοποιούνταν να είναι η βέλτιστη.

4.2.5 Διαλογή εικόνων ψηφιακού μικροσκοπίου

Πρωταρχικό και απαραίτητο στάδιο για την λήψη εικόνων ψηφιακού μικροσκοπίου αποτελεί ο σχεδιασμός του σκαριφήματος, καθώς παρέχει ένα προκαταρκτικό πλαίσιο για την οργάνωση και την ανάλυση των δεδομένων. Με τη δημιουργία ενός λεπτομερούς σκαριφήματος, μπορούν να απεικονιστούν οι χωρικές σχέσεις των διαφόρων δομικών στοιχείων που απαρτίζουν τα τοιχία ενδιαφέροντος. Η αρίθμηση λίθων, πλίνθων, ιστορικών κονιαμάτων και κονιαμάτων αποκατάστασης, παράλληλα, εξασφαλίζει την ακριβή καταγραφή και ταυτοποίηση κάθε στοιχείου, διευκολύνοντας την περαιτέρω ανάλυση και την τεκμηρίωση. Παρακάτω παρατίθενται τα τρία σκαριφήματα, που για τα τοιχία TX1 και TX3 είναι μία ορθοφωτογραφία και ένα σχέδιο αντίστοιχα, ενώ για το TX2 είναι ελεύθερο σχέδιο στο χέρι, χωρίς κλίμακα (Εικόνα 4.11).

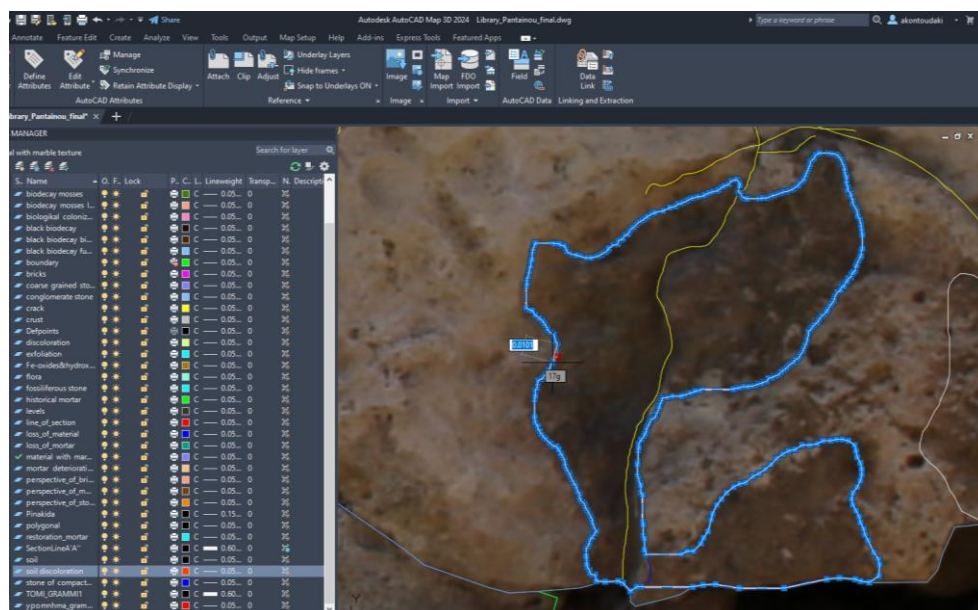


Εικόνα 4.11: Σκαριφήματα και κωδικοποίηση δομικών υλικών

Μετά από εκτενή επί τόπου μακροσκοπικό έλεγχο, πραγματοποιούνται επί τόπου λήψεις Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών, οι θέσεις των οποίων καθορίζονται ώστε να είναι αντιπροσωπευτικές και να καλύπτουν όσο το δυνατόν όλα τα υλικά και όλες τις μορφές φθοράς. Η μέθοδος FOM χρησιμοποιείται για την παρατήρηση των μορφολογικών των μορφολογικών χαρακτηριστικών των υλικών, της υφής τους και της φθοράς σε όλες τις εξωτερικές όψεις των τοιχίων που έχουν επιλεγθεί προς εξέταση. Οι λήψεις διενεργήθηκαν από τον Ιούνιο του 2023 έως και τον Απρίλιο του 2024. Ενώ, για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε Ψηφιακή Μικροσκοπία- DM-

4.2.6 Χαρτογράφηση δομικών υλικών και φθορών

Αυτό το στάδιο επεξεργασίας περιλάμβανε την αναγνώριση, κατηγοριοποίηση και ψηφιοποίηση των υλικών όλων των οικοδομικών φάσεων, για τους τοίχους ενδιαφέροντος (TX1, TX2, TX3) και των μορφών φθοράς. Τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται τόσο για τη σχεδίαση θεματικών χαρτών, όσο και για τη δημιουργία των απαραίτητων χωρικών οντοτήτων, που αποτελούν το βασικό υπόβαθρο της διαχείρισης και ανάλυσης που πραγματοποιείται μέσω του συστήματος των γεωγραφικών πληροφοριών. Για τη σχεδιαστική καταγραφή των υλικών και των φθορών σε περιβάλλον AutoCAD, έγινε αρχικά ο προσδιορισμός των διαφορετικών επιπέδων σχεδίασης ομοειδών πληροφοριών (Layers) που αντιστοιχούσαν στα διάφορα υλικά και τις ποικίλες μορφές φθοράς και γενικά στις οντότητες των θεματικών χαρτών (όπως περιγράμματα αρχιτεκτονικών μελών). Τα αντικείμενα ψηφιοποιήθηκαν είτε με τη χρήση κλειστών πολυγώνων που απέδιδαν τις αντίστοιχες περιοχές (polyline), είτε γραμμών που απέδιδαν γραμμικά στοιχεία (line). Η ψηφιοποίηση έγινε κυρίως με βάση τα χρώματα, τις υφές και τα μοτίβα εμφάνισης, δηλαδή, με βάση την ορθοφωτογραφία που χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.12.



Εικόνα 4.12: Χαρτογράφηση δομικών υλικών και φθορών σε περιβάλλον AutoCAD

Τα χαρακτηριστικά επίπεδα στα οποία έγινε η ταξινόμηση και η χαρτογράφηση για τα υλικά, ήταν (ICOMOS, 2008, Illustrated glossary on stone deterioration patterns):

- Λίθοι
- Πλίνθοι
- Ιστορικό κονίαμα
- Κονίαμα αποκατάστασης
- Χώμα

Σχετικά με τους τύπους των φθορών, έγινε προσπάθεια κατηγοριοποίησης με βάση το γλωσσάρι της Διεθνούς Επιστημονικής Επιτροπής για την Πέτρα, ISCS, (ICOMOS, 2008). Οι υποθέσεις που διατυπώθηκαν αναφορικά με τα αίτια και την προέλευσή τους επαληθεύτηκαν κατά το στάδιο της ανάλυσης στην πλατφόρμα του ΣΓΠ. Όλες οι κατηγορίες των φθορών αναπαριστώνται με κλειστά πολύγωνα, εκτός από τις ρωγμές που περιγράφονται κάποιες με κλειστά πολύγωνα και άλλες με γραμμές. Ακολουθούν ορισμένες παρατηρήσεις, ως προς την προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την αναγνώριση, τη σχεδιαστική απόδοση, αλλά και την κατηγοριοποίηση των μοτίβων φθοράς:

Μερικοί χαρακτηριστικοί τύπου φθορών που παρουσιάζονται συχνά στις προσόψεις που εξετάζονται είναι οι παρακάτω:

- Βιοδιάβρωση:

Όπου εμφανίζεται βιοδιάβρωση, η πέτρα γίνεται μέσο για αποίκιση φυτών και μικροοργανισμών όπως βακτήρια, κυανοβακτήρια, μύκητες και λειχήνες. Η βιοδιάβρωση περιλαμβάνει επίσης επιρροές από άλλους οργανισμούς όπως τα ζώα που φωλιάζουν πάνω και μέσα στους λίθους. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι λειχήνες, που είναι φυτικός οργανισμός που σχηματίζει κρούστες που αναπτύσσεται γενικά σε εξωτερικά μέρη ενός υλικού. Οι λειχήνες παρουσιάζουν ποικίλους χρωματισμούς στο φυτικό τους σώμα (θαλλός), όπως γκρίζες, κίτρινες, πορτοκαλί, πράσινες ή μαύρες, ανάλογα με το είδος τους, την φάση ανάπτυξής τους, και τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Εικόνα 4.13(α)). Τα βρύα συχνά αναπτύσσονται στην επιφάνεια της πέτρας ανοιχτές κοιλότητες, ρωγμές και σε οποιοδήποτε μέρος μόνιμα ή συχνά υγρό και συνήθως σκιερό (Εικόνα 4.13(β)). Τέλος, οι μύκητες συχνά προκαλούν σοβαρές βλάβες από χημική και μηχανική δράση και έντονες δυσχρωμίες (Εικόνα 4.13(γ)).



(α)



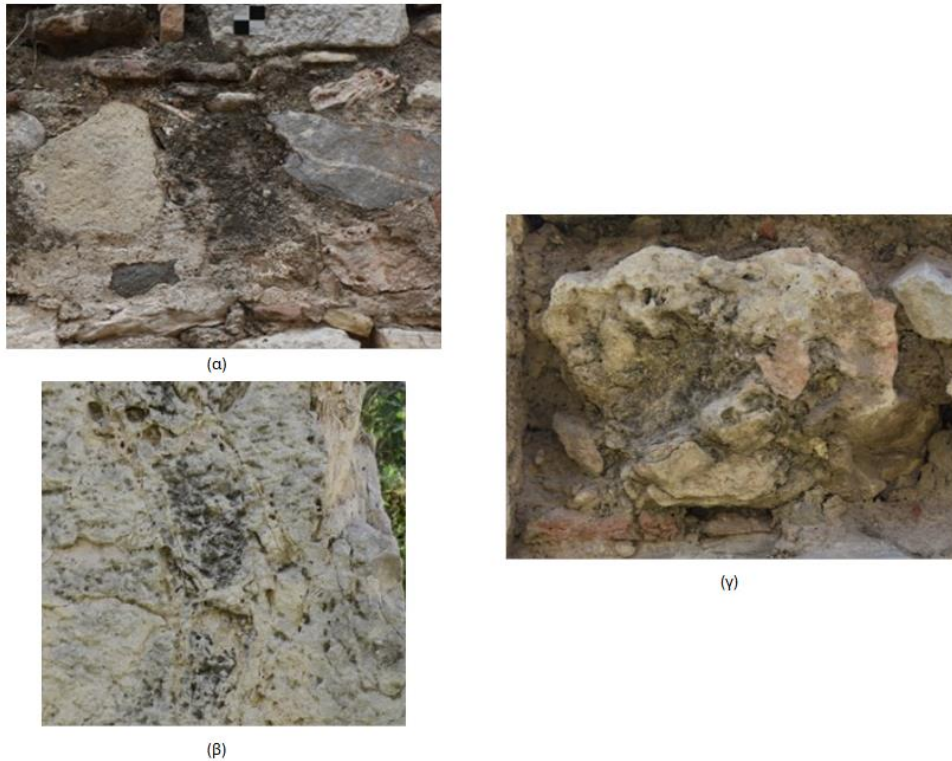
(β)



(γ)

Εικόνα 4.13: Παραδείγματα Βιοδιάβρωσης, Λειχηνών(α), Βρύων(β), Μυκήτων(γ)

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 4.14: Παραδείγματα Μαύρης Βιοδιάθρωσης (α), σε συνδιασμό με Βιοθελονισμό (β), σε συνδιασμό με απώλεια λίθου (γ)

- Ρωγμή:

Μεμονωμένες σχισμές, διακριτές εύκολα με παρατήρηση με γυμνό μάτι. Σε αυτό το επίπεδο ανάλυσης των ορθοεικόνων και λόγω του διαφορετικού φωτισμού των επιφανειών δεν ήταν διακριτές οι τριχοειδείς ρηγματώσεις, αλλά μόνο οι μεγαλύτερες ρήξεις που συνοδεύονταν από απώλεια υλικού, μετακίνηση των παρειών ή συνδέονταν με άλλες μορφές διάβρωσης που τις καθιστούσαν ορατές. Συχνά συγχέονται με εξαλλιώσεις φλεβώσεων του λίθου -η χρήση κοντινών φωτογραφιών ή μικροσκοπίου μπορεί να βοηθήσει στη διάκριση και ακριβή καταγραφή. Αναπαραστάθηκαν με γραμμές όπου το εύρος τους ήταν μικρότερο από 5mm, ενώ αναπαραστάθηκαν με πολύγωνα όπου το εύρος τους ήταν μεγαλύτερο από 5mm.



Εικόνα 4.155: Παράδειγμα ρωγμής, περιοχή ΤΧ1 λίθος 2

- Κρούστα:

Γενικά είναι η συνεκτική συσσώρευση υλικών στην επιφάνεια. Μια κρούστα μπορεί να περιλαμβάνει εξωγενείς εναποθέσεις σε συνδυασμό με υλικά που προέρχονται από την πέτρα. Μια κρούστα είναι συχνά σκούρου χρώματος, λόγω των εναποθέσεων και επικαθήσεων σωματιδίων σκόνης και αιθάλης—αλλά μπορούν επίσης να βρεθούν πιο ανοιχτόχρωμες χροιές. Οι κρούστες μπορεί να έχουν ομοιογενές πάχος και έτσι να αναπαράγουν την επιφάνεια της πέτρας ή να έχουν ακανόνιστο πάχος και να διαταράσσουν την ανάγνωση των λεπτομερειών της επιφάνειας της πέτρας. Μια κρούστα μπορεί να είναι ισχυρά συνδεδεμένη με το υπόστρωμα. Ένας τύπος που αναπτύσσεται είναι η μαύρη κρούστα, που συναντάται σε περιοχές που προστατεύονται από άμεσες βροχοπτώσεις ή απορροή νερού σε αστικό περιβάλλον. Οι μαύρες κρούστες συνήθως προσκολλώνται σταθερά στο υπόστρωμα. Αποτελούνται κυρίως από σωματίδια της ατμόσφαιρας, παγιδευμένα σε γύψο ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).



Εικόνα 4.166: Παράδειγμα κρούστας, περιοχή ΤΧ2 λίθος 8

- Βλάστηση:

Προυσιάζει ρίζα, μίσχο και φύλλα, αν και μερικές φορές αποτελείται μόνο από ένα μόνο φυλλώδες διογκούμενο (π.χ. δέντρο). Εάν οι επικείμενοι τοίχοι δεν συντηρηθούν, τα φυτά θα αποικίσουν τελικά μέρη όπου είναι προσβάσιμο το νερό, επεκτείνοντας τις ρίζες σε ρωγμές. Καθώς οι ρίζες μεγαλώνουν, μπορούν να διευρύνουν αυτές τις αρθρώσεις και τις ρωγμές και να σπάσουν την πέτρα. Μπορεί επίσης να συμβάλουν στη διατήρηση της υγρασίας των περιοχών.



Εικόνα 4.17: Παράδειγμα βλάστησης, περιοχή ΤΧ1 λίθος 13

- Απώλεια ιστορικών δομικών υλικών:

Επηρεάζει τα υλικά σε διαφορετικές κλίμακες, καθώς μπορεί να εμφανιστεί μόνο επιφανειακά ή σε βάθος. Η υποβάθμιση αρχίζει γενικά από την επιφάνεια του υλικού. Είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί η απώλεια που προκαλείται στον όγκο του εκάστοτε μέλους -αποτελεί μόνο μια

ένδειξη αλλοίωσης στο επίπεδο της αρχιτεκτονικής επιφάνειας (δεν εκτιμάται το βάθος της φθοράς) και δίνει μια γενική εικόνα των περιοχών στις οποίες εμφανίζεται έντονα. Όπου ήταν ευδιάκριτες περιοχές με κατακερματισμό ή θρυμματισμό, ορίστηκε το περίγραμμά τους σε σχέση με τις σχετικά υγιείς περιοχές.



Εικόνα 4.1817: Παράδειγμα απώλειας πλίνθου (περιοχή ΤΧ3 λίθος 13)(α), Παράδειγμα απώλειας ιστορικού κονιάματος (περιοχή ΤΧ3)(β)

4.3 ΣΓΠ

4.3.1 Το λογισμικό ανοικτής πρόσβασης Qgis και δυνατότητες

Στον τομέα των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών το πιο διαδεδομένο ανοικτού κώδικα λογισμικό είναι το QGIS, που χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα εργασία. Το Quantum Geographic Information System έχει αποκτήσει τεράστια δημοτικότητα για τις ισχυρές δυνατότητές του στη χωρική ανάλυση, την οπτικοποίηση δεδομένων και τον χαρτογραφικό σχεδιασμό. Από την πρώτη εμφάνιση του, το QGIS έχει γίνει ένα εργαλείο για επαγγελματίες και ερευνητές που εργάζονται με γεωχωρικά δεδομένα, προσφέροντας μια ισχυρή πλατφόρμα που επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν, να επεξεργάζονται, να αναλύουν και να απεικονίζουν γεωγραφικές πληροφορίες.

Το QGIS προσφέρει ευρείες δυνατότητες που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα γεωχωρικών εργασιών. Το φιλικό περιβάλλον χρήστη του εξυπηρετεί χρήστες με διαφορετικά επίπεδα εμπειρίας, καθιστώντας το προσιτό σε νεοεισερχόμενους, ενώ παρέχει προηγμένα εργαλεία για έμπειρους επαγγελματίες που χρησιμοποιούν Σ.Γ.Π.. Το λογισμικό υποστηρίζει πολλαπλές μορφές δεδομένων, επιτρέποντας την απρόσκοπτη ενσωμάτωση διαφορετικών συνόλων δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων διανυσματικών, πλεγματικών και βάσεων δεδομένων. Ένα χαρακτηριστικό που ξεχωρίζει από το QGIS είναι οι δυνατότητες γεωχωρικής ανάλυσης. Το λογισμικό παρέχει μια σειρά εργαλείων για χωρικά ερωτήματα, γεωεπεξεργασία και στατιστική. Από τον υπολογισμό αποστάσεων και την εκτέλεση πράξεων επικάλυψης έως τη διενέργεια ανάλυσης εδάφους και ανάλυσης εγγύτητας, το QGIS δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να εμβαθύνουν σε έρευνες βάσει δεδομένων και να αποκαλύψουν περίπλοκες χωρικές σχέσεις (Qgis Web site).

Προσφέρει ένα ευρύ φάσμα πρόσθετων λειτουργιών που επεκτείνουν τη λειτουργικότητα του λογισμικού πέραν των βασικών χαρακτηριστικών του. Τα plugins είναι πρόσθετα εργαλεία και χαρακτηριστικά που μπορούν να εγκαταστήσουν οι χρήστες για να προσαρμόσουν το QGIS στις συγκεκριμένες ανάγκες τους. Αυτά τα εργαλεία αναπτύσσονται από την κοινότητα του QGIS και από

ανεξάρτητους προγραμματιστές, προσθέτοντας ποικίλες δυνατότητες στο λογισμικό που αφορούν διάφορες πτυχές της γεωχωρικής ανάλυσης, της επεξεργασίας δεδομένων και της οπτικοποίησης. Ορισμένα πρόσθετα επικεντρώνονται στην εισαγωγή/εξαγωγή δεδομένων, ενώ άλλα παρέχουν εξειδικευμένα εργαλεία ανάλυσης, λειτουργίες γεωεπεξεργασίας, χαρτογραφικές βελτιώσεις και ενσωμάτωση με εξωτερικές υπηρεσίες και βάσεις δεδομένων.

Τα Ελεύθερα Λογισμικά / Λογισμικά Ανοικτού Κώδικα παρέχουν στον χρήστη τις εξής δυνατότητες:

- Ελεύθερη χρήση του λογισμικού για οποιονδήποτε σκοπό.
- Πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα. Ο χρήστης είναι ελεύθερος να πραγματοποιεί αλλαγές και βελτιώσεις στο λογισμικό και να το επανεκδίδει στη νέα του μορφή, ώστε να επωφελείται από αυτό ολόκληρη η κοινότητα.
- Αντιγραφή του λογισμικού και διανομή των αντιγράφων αυτών.

4.3.2 Συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων – Δομικά στοιχεία

Παρά το μεγάλο σχετικά αριθμό των Συστημάτων Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων - Data Base Management Systems (ΣΔΒΔ — DBMS) που διατίθενται στην αγορά λογισμικού, τα δομικά στοιχεία από τα οποία αποτελούνται μπορούν να θεωρηθούν κοινά. Το χαρακτηριστικό της ανεξαρτησίας των δεδομένων οδηγεί στη διάκριση μεταξύ του λογικού και του φυσικού επιπέδου στα οποία ορίζεται η βάση δεδομένων και του ορισμού των επιπέδων αναπαράστασης της χωρικής πληροφορίας σε: εννοιολογικό, λογικό και φυσικό. Ένα ΣΔΒΔ μπορεί να θεωρηθεί ως μέσο αναπαράστασης - σε περιβάλλον συστήματος Η/Υ — του μοντέλου των δεδομένων του φυσικού κόσμου. Η αφαιρετική αυτή αναπαράσταση αναφέρεται ως εννοιολογικό μοντέλο και η αντίστοιχη περιγραφή στη Βάση αναφέρεται ως “σχήμα” ή “εννοιολογικό σχήμα”.

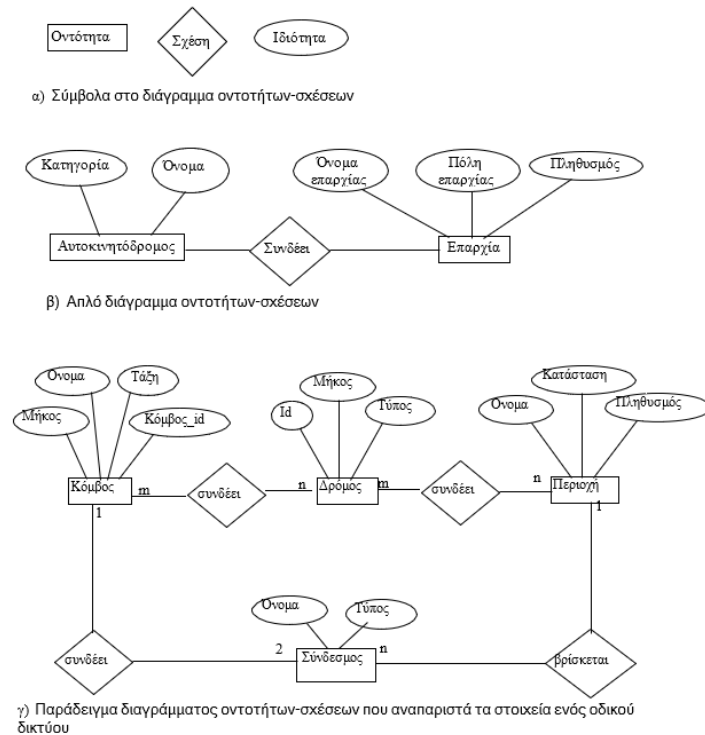
Το τμήμα του λογισμικού του ΣΔΒΔ με χρήση του οποίου ορίζεται το “σχήμα” αναφέρεται ως **γλώσσα ορισμού των δεδομένων** (Data Definition Language — DDL). Το **εννοιολογικό μοντέλο** είναι ανεξάρτητο από τις δομές των δεδομένων και τους μηχανισμούς ανάκλησης από τους οποίους εξαρτάται η αποτελεσματική λειτουργία της βάσης δεδομένων. Εν προκειμένω υφίστανται τρία διακριτά μοντέλα τα οποία αναφέρονται ως λογικά μοντέλα: **το ιεραρχικό, το δικτυωτό και το σχεσιακό.**

Εκτός από αυτά πρέπει να αναφερθεί και το **αντικειμενοστρεφές μοντέλο**, του οποίου η αρχιτεκτονική προσδιορίζει δομές λογικών εγγραφών και πορείες πρόσβασης στο σύνολο των οντοτήτων που ορίζονται στο πλαίσιο του εννοιολογικού μοντέλου. Το μοντέλο αυτό παρά την αποδοχή του σε θεωρητικό επίπεδο, δεν έχει ακόμη υιοθετηθεί ευρέως σε περιβάλλον παραγωγής.

Το **λογικό μοντέλο** — σε αντίθεση με το εννοιολογικό — εξαρτάται από τις ιδιαιτερότητες του ΣΔΒΔ αλλά είναι ανεξάρτητο από τη φυσική οργάνωση των δεδομένων στο μέσο αποθήκευσης. Το επίπεδο αυτό της αρχιτεκτονικής της βάσης δεδομένων αναφέρεται ως **φυσικό μοντέλο** και είναι το επίπεδο όπου τα περιγραφικά χαρακτηριστικά ορίζονται με παραμέτρους όπως ο αριθμός των bytes που καταλαμβάνουν στο μέσο αποθήκευσης και η διεύθυνση στην οποία καταχωρίζονται στη δευτερεύουσα μνήμη του συστήματος.

Από τα δομικά στοιχεία της βάσης δεδομένων, η φάση η οποία αποτελεί την πλέον “αφαιρετική” σε σχέση με τα δεδομένα είναι αυτή του Εννοιολογικού σχεδιασμού, αποτέλεσμα του οποίου είναι το εννοιολογικό μοντέλο της βάσης. Η φάση αυτή είναι εξηρημένη από τη συγκεκριμένη εφαρμογή και συνίσταται στον ορισμό των οντοτήτων για τις οποίες θα αποθηκευθούν δεδομένα και των μεταξύ τους σχέσεων. Η τεχνική δημιουργίας εννοιολογικών μοντέλων είναι γνωστή ως «μοντελοποίηση οντοτήτων – συσχετίσεων».

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των εννοιολογικών μοντέλων, είναι ότι οδηγούν στη δημιουργία των κατωτέρων επιπέδων της αρχιτεκτονικής της βάσης, τα οποία υλοποιούνται μέσω των αντιστοιχών μοντέλων (ιεραρχικό, δικτυωτό, σχεσιακό). Τα μοντέλα οντοτήτων - συσχετίσεων αποδίδονται μέσω των διαγραμμάτων οντοτήτων - συσχετίσεων, τα κύρια μέρη των οποίων είναι οι οντότητες, οι σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων και τα περιγραφικά χαρακτηριστικά - ιδιότητες των οντοτήτων τα οποία αποδίδονται σχηματικά αντιστοιχώς μέσω ορθογωνίων, ρόμβων και ελλείψεων (Εικόνα 4.19).



Εικόνα 4.1918: Διάγραμμα οντοτήτων- συσχετίσεων. (Πηγή: Λ. Τσούλος, 2008, Ψηφιακή Χαρτογραφία)

Ο όρος “οντότητα” αναφέρεται σε οτιδήποτε υποπίπτει στην ανθρώπινη αντίληψη - ανεξάρτητα από το εάν έχει φυσική υπόσταση - και μπορεί να διαφοροποιηθεί από μια άλλη οντότητα. Ο εγγενής χαρακτήρας της οντότητας καθιστά πρακτικά δυνατή την εκχώρηση ενός μοναδικού στοιχείου αναγνώρισης (identifier) το οποίο αποτελείται από μια ή συνδυασμό περισσότερων ιδιοτήτων. Σχέση ή συσχέτιση μεταξύ δύο οντοτήτων υφίσταται, εάν απαιτείται ο συνδυασμός των οντοτήτων για την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης εφαρμογής - λειτουργίας. Οι σχέσεις μεταξύ οντοτήτων εμπίπτουν σε μια από τις τρεις κατηγορίες συσχέτισης: Μια προς μια (one to one), μια προς πολλές (one to many), πολλές προς πολλές (Λύσανδρος Τσούλος, 2020).

Λογικός σχεδιασμός- Λογικά μοντέλα

Το αποτέλεσμα του εννοιολογικού σχεδιασμού συνίσταται σε μια σαφή αναπαράσταση των οντοτήτων, των αντιστοιχών προς αυτές ιδιοτήτων και των σχέσεων μεταξύ των οντοτήτων οι οποίες απαιτούνται για να καλύψουν τις απαιτήσεις ένταξης και ανάκλησης στη/από τη βάση δεδομένων.

Ο σκοπός του λογικού μοντέλου συνίσταται στην απόδοση των στοιχείων του εννοιολογικού μοντέλου με όρους οι οποίοι εναρμονίζονται με τις ιδιαιτερότητες του Συστήματος Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων ορισμένου τύπου. Τα ΣΔΒΔ διακρίνονται - όπως προαναφέρθηκε - σε ιεραρχικά, δικτυωτά, σχεσιακά και αντικειμενοστραφή. Από αυτά το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο είναι το

σχεσιακό, το οποίο εκτός των άλλων χαρακτηρίζεται από απλές έννοιες οργάνωσης των δεδομένων και υποστηρίζεται από αποτελεσματικό λογισμικό πρόσβασης στη βάση.

Στο σχεσιακό μοντέλο η βασική έννοια αποθήκευσης είναι ένας πίνακας εγγραφών ο οποίος αναφέρεται ως “σχέση” (relation) ή απλά “πίνακας” (table). Οι εγγραφές του πίνακα (records) οι οποίες χαρακτηρίζονται από ενιαίο format καθ’ όλη την έκταση του πίνακα, περιέχουν ένα ορισμένο αριθμό πεδίων, τα οποία πρέπει να διαφέρουν μεταξύ τους. Κάθε εγγραφή του πίνακα αντιστοιχεί σε μια εμφάνιση της οντότητας και προσδιορίζεται μονοσήμαντα μέσω ενός πεδίου του “πρωτεύοντος κλειδιού” (primary key). Το πρωτεύον κλειδί – στην περίπτωση όπου ένα πεδίο δεν εξασφαλίζει την μοναδικότητα της εγγραφής - είναι δυνατόν να αποτελείται από περισσότερα πεδία του πίνακα, οπότε αναφέρεται ως “σύνθετο κλειδί” (composite key). Τα πεδία ενός πίνακα οντοτήτων αποθηκεύουν περιγραφικά χαρακτηριστικά – ιδιότητες (attributes) της οντότητας στην οποία αντιστοιχεί ο πίνακας.

Η ψηφιακή καταγραφή των γεωγραφικών στοιχείων στη βάση δεδομένων έχει δύο συνιστώσες:

- την περιγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών κάθε στοιχείου και
- τον προσδιορισμό των περιγραφικών τους παραμέτρων (attributes).

Η αξιοποίηση του "γεωμετρικού" περιεχομένου της βάσης δεδομένων τόσο σε ό,τι αφορά στην ταχύτητα όσο και στην επιλεκτική απόδοση των χαρτογραφικών στοιχείων που αποτελούν λειτουργικές απαιτήσεις για κάθε χαρτογραφικό σύστημα, προϋποθέτει την ύπαρξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος κωδικοποίησης των χαρτογραφικών στοιχείων και των περιγραφικών τους παραμέτρων.

Το σύστημα αυτό θα πρέπει να ταξινομεί τα χαρτογραφικά στοιχεία έτσι ώστε (Λύσανδρος Τσούλος, 2020):

- Να είναι μοναδικά.
- Να τους αποδίδονται εύκολα περιγραφικές παράμετροι.
- Να είναι συσχετίσιμα με άλλα στοιχεία και μέσω των περιγραφικών τους παραμέτρων.
- Να περιέχουν πληροφορίες για τη "γραφική" απόδοσή τους στην οθόνη του συστήματος (συμβολισμό).
- Στοιχεία με διαφορετικά χαρακτηριστικά να μην είναι δυνατό να ενταχθούν στην ίδια κατηγορία.
- Τα απαιτούμενα για την ένταξη σε υπο-κατηγορίες χαρακτηριστικά να είναι αμοιβαία ασύμβατα.

Εγγενές χαρακτηριστικό της ταξινόμησης είναι η πλήρης γνώση των φαινομένων και η ιεραρχική και συστηματική οργάνωσή τους έτσι ώστε να είναι δυνατή η συγγραφή αλγορίθμων για την αναγνώριση, το συσχετισμό και την απόδοσή τους. Μια τέτοια οργάνωση - εκτός των άλλων - θα συμβάλει ουσιαστικά και στην αντιμετώπιση των άλυτων μέχρι σήμερα προβλημάτων της γενίκευσης κλπ.

Συνεπώς, δημιουργήθηκαν τρεις οντότητες: Δομικά Υλικά- Materials, Φθορές- Decays και Ρωγμές- crack, η τελευταία διαχωρίστηκε από τις φθορές, παρότι αποτελεί μέρος της, περιείχε μόνο γραμμικά στοιχεία, ενώ οι φθορές μόνο από πολύγωνα. Για την κάθε οντότητα δημιουργήθηκε και ο αντίστοιχος πίνακας – attribute table, στην Εικόνα 4.20 παρουσιάζεται ο attribute table των Φθορών,

**Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.**

που περιλαμβάνει για κάθε πολύγωνο: ένα πρωτεύον κλειδί- fid, την κατηγορία των φθορών-decay, το εμβαδόν-area, την περίμετρο-perimeter, την περιοχή-region (Area 1-TX1, Area 2-TX2, Area 3-TX3), τον κωδικό- code που αντιστοιχεί στον μοναδικό κωδικό που έχει δοθεί σε όσους λίθους έχουν ληφθεί δεδομένα Ψηφιακής Μικροσκοπίας και τέλος το path που είναι αποθηκευμένο το πολύγωνο. Οι ρωγμές μεγάλου εύρους αναφέρονται στην κατηγορία των φθορών- decay ως “crack-pl” (crack-polygones), συγκριτικά με τις ρωγμές μικρού εύρους που όπως αναλύεται παρακάτω αναφέρονται στην οντότητα crack ως “crack” .

fid	decay	area	perimeter	Region	Code	path	
796	208	loss of stone	0.001501855817405	0.18818986312412	Area 2	Area 2 Stone 17	C:/Back_up_stickaki/Metapyxiaki/Metapyxiakh ergasia/05-QGIS/gdb_layers/ad
797	209	loss of stone	0.000487523751609	0.138093240337576	Area 2	NULL	C:/Back_up_stickaki/Metapyxiaki/Metapyxiakh ergasia/05-QGIS/gdb_layers/ad
798	210	loss of stone	0.005043015227782	0.308001438692966	Area 2	Area 2 Stone 15	C:/Back_up_stickaki/Metapyxiaki/Metapyxiakh ergasia/05-QGIS/gdb_layers/ad
799	211	loss of stone	0.011261592357588	0.581335524545976	Area 2	Area 2 Stone 15	C:/Back_up_stickaki/Metapyxiaki/Metapyxiakh ergasia/05-QGIS/gdb_layers/ad
800	212	loss of stone	0.003814049786572	0.32758828732787	Area 2	Area 2 Stone 10	C:/Back_up_stickaki/Metapyxiaki/Metapyxiakh ergasia/05-QGIS/gdb_layers/ad
801	213	loss of stone	0.00120352945701	0.160167220632504	Area 2	Area 2 Stone 10	C:/Back_up_stickaki/Metapyxiaki/Metapyxiakh ergasia/05-QGIS/gdb_layers/ad
802	214	loss of stone	0.000663765877052	0.115427250587848	Area 2	NULL	C:/Back_up_stickaki/Metapyxiaki/Metapyxiakh ergasia/05-QGIS/gdb_layers/ad
803	215	loss of stone	0.002456526110031	0.328687607149302	Area 2	Area 2 Stone 1	C:/Back_up_stickaki/Metapyxiaki/Metapyxiakh ergasia/05-QGIS/gdb_layers/ad
804	216	loss of stone	0.002502842728856	0.275337672605955	Area 3	Area 3 Stone 7	C:/Back_up_stickaki/Metapyxiaki/Metapyxiakh ergasia/05-QGIS/gdb_layers/ad
805	217	loss of stone	0.000658888351761	0.143060100389864	Area 2	Area 2 Stone 21	C:/Back_up_stickaki/Metapyxiaki/Metapyxiakh ergasia/05-QGIS/gdb_layers/ad
806	218	loss of stone	0.001645735326277	0.182645788659869	Area 2	NULL	C:/Back_up_stickaki/Metapyxiaki/Metapyxiakh ergasia/05-QGIS/gdb_layers/ad
807	219	loss of stone	0.000674734282558	0.119253773443354	Area 2	Area 2 Stone 1	C:/Back_up_stickaki/Metapyxiaki/Metapyxiakh ergasia/05-QGIS/gdb_layers/ad
808	220	loss of stone	0.009133699465733	0.370993674752922	Area 2	Area 2 Stone 3	C:/Back_up_stickaki/Metapyxiaki/Metapyxiakh ergasia/05-QGIS/gdb_layers/ad

Εικόνα 4.190: Attribute Table για τις Φθορές

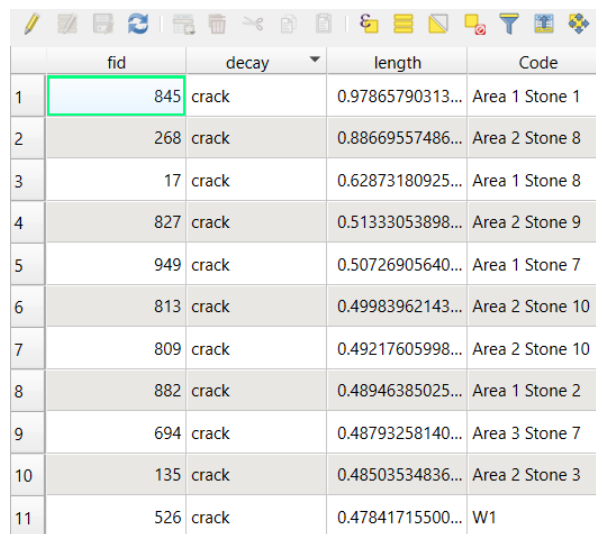
Για την οντότητα Δομικών Υλικών – Materials, ο attribute table (Εικόνα 4.21) διαμορφώθηκε αντίστοιχα με των Φθορών και περιέχει τις κατηγορίες: ένα πρωτεύον κλειδί- fid, την κατηγορία των υλικών-materials, το εμβαδόν-area, την περίμετρο-perimeter, την περιοχή-region (TX1, TX2, TX3), τον κωδικό- code που αντιστοιχεί στον μοναδικό κωδικό που έχει δοθεί σε όσους λίθους έχουν ληφθεί δεδομένα Ψηφιακής Μικροσκοπίας, το path που είναι αποθηκευμένο το πολύγωνο, αλλά και η υποκατηγορία για τους λίθους- Στο Subcat (Stone Subcategory). Όπου το υλικό δεν ήταν λίθος- stones ή δεν είχε κωδικοποιηθεί στην διαδικασία της Ψηφιακής Μικροσκοπίας, τα κελιά έμειναν κενά- null.

303	631	stones	fossiliferous stone	0.083533452985072	1.268528559022276	Area 2	NULL	C:/Back_up_stic...
304	632	stones	stone of compact texture	0.458947123059297	3.023044560748916	Area 2	Area 2 Stone 7	C:/Back_up_stic...
305	633	stones	stone of compact texture	0.007495784863232	0.450976720323615	Area 3	NULL	C:/Back_up_stic...
306	634	stones	stone of compact texture	0.001806102953475	0.172510226431093	Area 3	NULL	C:/Back_up_stic...
307	635	stones	stone of compact texture	0.004314833788964	0.258532920783834	Area 3	NULL	C:/Back_up_stic...
308	636	stones	stone of compact texture	0.003293190235823	0.226026531629948	Area 3	NULL	C:/Back_up_stic...
505	20	bricks	NULL	0.002075683223498	0.210112516902333	Area 2	NULL	C:/Back_up_stic...
506	21	bricks	NULL	0.000760755470647	0.115426598079078	Area 2	NULL	C:/Back_up_stic...
507	22	bricks	NULL	0.002735791567655	0.226378121966222	Area 2	Area 2 Bricks 25	C:/Back_up_stic...
508	23	bricks	NULL	0.003878822899088	0.273893342818459	Area 2	Area 2 Bricks 25	C:/Back_up_stic...
509	24	bricks	NULL	0.006538948941609	0.37004112148907	Area 2	Area 2 Bricks 25	C:/Back_up_stic...
510	25	bricks	NULL	0.00094101919282	0.141058534764634	Area 1	NULL	C:/Back_up_stic...
511	26	bricks	NULL	0.004446591477998	0.269253384654663	Area 1	NULL	C:/Back_up_stic...
512	27	bricks	NULL	0.003983863991867	0.24637550959993	Area 1	NULL	C:/Back_up_stic...
513	28	bricks	NULL	0.004220775921801	0.29588576127166	Area 1	NULL	C:/Back_up_stic...
514	29	bricks	NULL	0.006579160592322	0.424773910004964	Area 1	NULL	C:/Back_up_stic...
515	30	bricks	NULL	0.002648841821023	0.206255359691596	Area 1	NULL	C:/Back_up_stic...
516	31	bricks	NULL	0.002180771671248	0.198163024941069	Area 3	Area 3 Bricks 3	C:/Back_up_stic...
517	32	bricks	NULL	0.002187763813811	0.184632546348076	Area 2	NULL	C:/Back_up_stic...
518	33	bricks	NULL	0.000273474916229	0.065252342804876	Area 3	NULL	C:/Back_up_stic...

Εικόνα 4.21: Attribute Table για τα Υλικά

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Η τελευταία οντότητα Ρωγμές μικρού εύρους- crack (Εικόνα 4.22), αποτελείται από: το πρωτεύον κλειδί- fid, την κατηγορία των φθορών, που για όλες τις γραμμές είναι “crack”, το μήκος - length και τον κωδικό-code του κάθε υλικού στο οποίο εμπεριέχονται, όταν αυτός υπάρχει.



	fid	decay	length	Code
1	845	crack	0.97865790313...	Area 1 Stone 1
2	268	crack	0.88669557486...	Area 2 Stone 8
3	17	crack	0.62873180925...	Area 1 Stone 8
4	827	crack	0.51333053898...	Area 2 Stone 9
5	949	crack	0.50726905640...	Area 1 Stone 7
6	813	crack	0.49983962143...	Area 2 Stone 10
7	809	crack	0.49217605998...	Area 2 Stone 10
8	882	crack	0.48946385025...	Area 1 Stone 2
9	694	crack	0.48793258140...	Area 3 Stone 7
10	135	crack	0.48503534836...	Area 2 Stone 3
11	526	crack	0.47841715500...	W1

Εικόνα 4.22: Attribute Table για τις Ρωγμές μικρού εύρους

4.3.3 Δυνατότητες ανάλυσης

Η πρόσβαση σε μια σχεσιακή βάση δεδομένων με σκοπό την επιλεκτική ανάκληση τμήματος της βάσης του οποίου τα στοιχεία πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις, ενδεχομένως να απαιτεί την προσωρινή δημιουργία νέων πινάκων οι οποίοι είναι τμήματα ή συνδυασμός εκείνων που είναι μόνιμα αποθηκευμένοι στη βάση δεδομένων. Η επιλεκτική ανάκληση υλοποιείται από ένα αριθμό σχεσιακών τελεστών (relational operators). Η λειτουργία ορισμένων από αυτούς (επιλογή - selection, προβολή - project, ένωση - union, τομή - join).

Από την πλευρά του χρήστη οι σχεσιακοί τελεστές αποτελούν εντολές που υλοποιούνται στο περιβάλλον της Structured Query Language – SQL, η οποία έχει μια ορισμένη δομή. Η γλώσσα SQL βασίζεται στην υπόθεση ότι τα δεδομένα είναι οργανωμένα σε πίνακες οι οποίοι συνιστούν το βασικό χαρακτηριστικό των βάσεων δεδομένων σχεσιακού τύπου. Η ανάκληση δεδομένων από τη σχεσιακή βάση μέσω της SQL, υλοποιείται με χρήση αλγεβρικών συγκρίσεων (ίσο, μεγαλύτερο από, μικρότερο από) μεταξύ των τιμών οποίες είναι αποθηκευμένες στα πεδία και αυτών που προσδιορίζονται στο “παραμετρικό τμήμα” των τελεστών.

Η λειτουργία της εντολής SELECT π.χ. συνίσταται στην επιλογή ενός υποσυνόλου εγγραφών του πίνακα που πληρούν ορισμένα κριτήρια τα οποία εκφράζονται με βάση πεδίο ή πεδία που αποτελούν τη βασική εγγραφή και τιμές ως προς τις οποίες εξετάζεται η πλήρωση ή μη των κριτηρίων, έχει δε γενικά τη μορφή:

```
SELECT  
FROM [όνομα πίνακα]  
WHERE [λογική σχέση]
```

Η συνθήκη WHERE αποτελεί μια λογική έκφραση και το FROM ακολουθείται από το όνομα του πίνακα από τα στοιχεία του οποίου θα γίνει η επιλογή.

Η ανάκληση στοιχείων της βάσης δεδομένων προϋποθέτει πολλές φορές γεωμετρική επεξεργασία η οποία δεν είναι πρακτικά δυνατόν να εκφρασθεί μέσω της standard SQL. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται ως ένα βαθμό με αξιοποίηση χωρικών τελεστών σε περιβάλλον της SQL – spatial SQL.

Όταν ο αριθμός των γεωμετρικών δεδομένων που πρόκειται να καταχωρηθούν σε περιβάλλον βάσης δεδομένων σχεσιακού τύπου είναι μεγάλος, εμφανίζεται το πρόβλημα της πρόσβασης στα δεδομένα μιας συγκεκριμένης περιοχής. Υποθέτοντας ότι οι συντεταγμένες των θέσεων των στοιχείων έχουν καταχωρηθεί με τον τρόπο που αναφέρθηκε προηγουμένως, κάθε εγγραφή θα μπορούσε να προσδιορίζεται επιπλέον με ένα “χωρικό κλειδί” (spatial key) το οποίο να αναφέρεται στη γραμμική διεύθυνση του φατνίου του τετραγωνικού δένδρου το οποίο περιέχει τις συντεταγμένες της οντότητας.

Συνεπώς, μέσω των ερωτημάτων SQL υλοποιούνται γεωμετρικά δεδομένα, όπως σημεία, γραμμές και πολύγωνα και αποτυπώνουν τις χωρικές τους σχέσεις. Ενώ, μέσω αριθμητικών πράξεων μπορούν να εξαχθούν και χρήσιμα στατιστικά και ποσοστιαία αποτελέσματα.

Τα ερωτήματα queries που διατυπώθηκαν στην Βάση Δεδομένων αυτής της εργασίας παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5.6.3.

5. Παρουσίαση- Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

5.1 Παρουσίαση και αξιολόγηση τοπογραφικών προϊόντων

5.1.1 Παρουσίαση και αξιολόγηση τρισδιάστατου μοντέλου

Με την εφαρμογή της τρισδιάστατης τεχνολογίας στην αρχαιολογική επιστήμη δίνεται η ευκαιρία για μελέτη και έρευνα χωρίς την συνεχή φυσική παρουσία των ερευνητών στο πεδίο. Το αντικείμενο μπορεί να εξεταστεί από όλες τις πλευρές, παίρνοντας μετρήσεις, μελετώντας όψεις, κατόψεις, τομές κ.τ.λ. με περισσότερη ευκολία και σε λιγότερο χρόνο. Οι δυνατότητες που προσφέρει ένα τρισδιάστατο μοντέλο ποικίλλουν, από την απλή αναπαράσταση μέχρι και την απόδοση της πληροφορίας για το είδος του υλικού που έχει χρησιμοποιηθεί. Τα προϊόντα αυτά εκτός από μετρητική αξία, έχουν και αξία ως υλικό ανάδειξης και προβολής ενός μνημείου, γεγονός που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της δημιουργίας μιας video περιήγησης, μιας εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας ή μέσω της ανάπτυξης ενός παιχνιδιού εκπαιδευτικού σκοπού. Συνοψίζοντας, η γεωμετρική τεκμηρίωση ενός μνημείου είναι μια διαδικασία χρονοβόρα και κάθε προσπάθεια για εφαρμογή χρήζει προσεκτικής και διεπιστημονικής μελέτης. Οι δυνατότητες, όμως, και τα οφέλη που προσφέρει τόσο στην αρχαιολογική έρευνα όσο και σε τομείς άλλων επιστημών είναι πολλαπλά και πολυσήμαντα.

Στην Εικόνα 5.1 παρουσιάζεται το τρισδιάστατο μοντέλο των οικοδομημάτων που έχουν επιλεγεί προς εξέταση, όπως ακριβώς ήταν τον Ιούνιο του 2023, που πραγματοποιήθηκε η λήψη των δεδομένων. Ενώ στην Εικόνα 5.2 παρουσιάζεται η μία εκ των 4 εικόνων-«αναπτυγμάτων» που περιέχει την υφή του μοντέλου, με ανάλυση. Το τρισδιάστατο μοντέλο έχει την ακρίβεια της κλίμακας 1:50 και ήταν απαραίτητη η παραγωγή του, ώστε να επενδυθεί με υφή Θερμογραφίας Υπερύθρου, αλλά και για να αποτελέσει υπόβαθρο για την χαρτογράφηση των δομικών υλικών και των φθορών.



Εικόνα 5.1: Τρισδιάστατο μοντέλο οικοδομημάτων της περιοχής της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.2: Υφή τρισδιάστατου μοντέλου

Το λογισμικό για να αποδώσει την υφή και το χρώμα ανατρέχει στις δοθείσες φωτογραφίες και αντιγράφει τους χρωματισμούς του πραγματικού αντικειμένου πάνω στο μοντέλο. Το τελικό μοντέλο μπορεί να εξαχθεί από το λογισμικό για να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω εφαρμογές αλλά και για την παραγωγή επιμέρους σχεδίων και ορθοφωτογραφιών.

5.1.2 Παρουσίαση και αξιολόγηση ορθοφωτογραφιών

Η ορθοφωτογραφία, είναι ένα από τα κυριότερα προϊόντα, που εξάγονται από τα τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα. Πρόκειται για τη δισδιάστατη και σε ορθή προβολή απεικόνιση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου. Επιτυγχάνεται ύστερα από την αναγωγή της προοπτικής προβολής της φωτογραφίας μέσω φωτογραμμετρικών αλγορίθμων. Στην Εικόνα 5.3, όπως και στο παράρτημα που ακολουθεί στο τέλος αυτού του τεύχους, παρουσιάζεται η ορθοφωτογραφία που προέκυψε από τα παραπάνω, και χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο για την χαρτογράφηση δομικών υλικών και φθορών.



Εικόνα 5.3: Ορθοφωτογραφία Βόρειας όψης του νότιου τοίχου του κλιμακοστασίου και των δωματίων 6-7-8

Η τελική ορθοφωτογραφία καλύπτει πλήρως την περιοχή ενδιαφέροντος με την επιθυμητή λεπτομέρεια, καθώς δεν υπήρχαν εμπόδια που να αποκρύπτουν κάποιες περιοχές. Επιλέχθηκε εκτός από τις προσόψεις των τοιχίων ενδιαφέροντος να παρουσιαστεί και ο πίσω περιβάλλον χώρος, ώστε να βοηθάει τον χρήστη να αναγνωρίζει την περιοχή.

Ο συνδυασμός της ορθοφωτογραφίας υπό κλίμακα και των άπειρων μετρητικών πληροφοριών (XYZ), που εμπεριέχονται, τεκμηριώνουν με μεγάλη ακρίβεια και αντικειμενικά το χώρο και προφανώς συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόησή του.

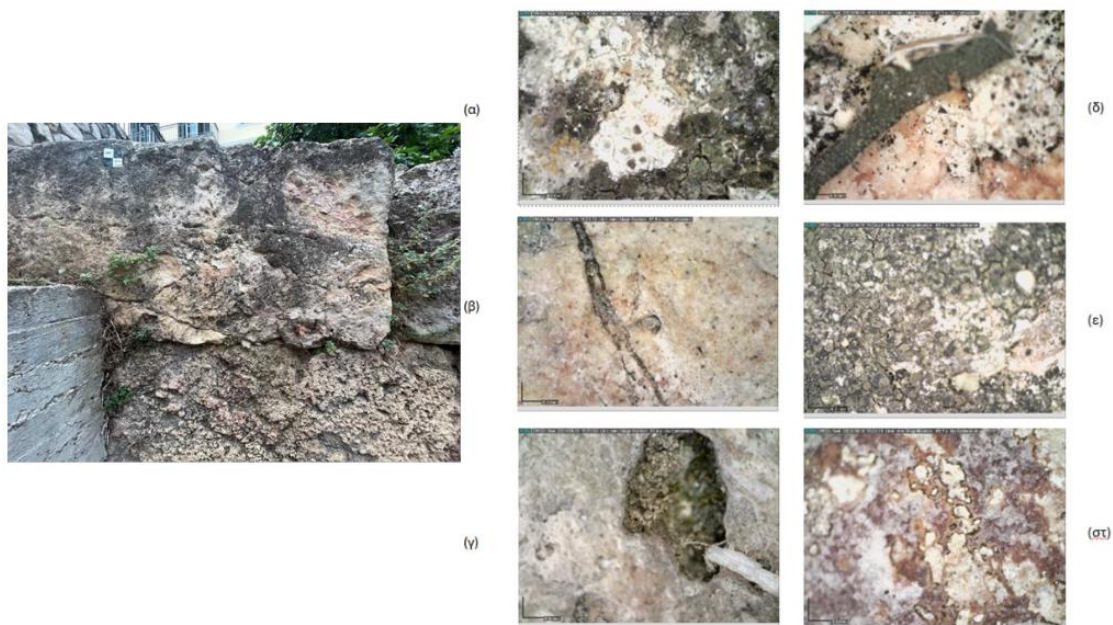
5.2 Παρουσίαση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων ΜΚΕ

5.2.1 Παρουσίαση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων ψηφιακού μικροσκοπίου

Χρησιμοποιώντας την Ψηφιακή Μικροσκοπία, πραγματοποιήθηκε λήψη εικόνων από διάφορα σημεία των τοιχοποιιών. Παρακάτω παρουσιάζεται για κάθε δομικό υλικό μία μακροσκοπική εικόνα του και ενδεικτικά κάποιες χαρακτηριστικές εικόνες της ψηφιακής μικροσκοπίας. Η ταξινόμηση των δομικών υλικών και των παρουσιαζόμενων τύπων φθοράς βάσει της παρατήρησης της υφής και της μορφολογίας που παρουσιάζουν οι εξεταζόμενες αρχιτεκτονικές επιφάνειες, εξάγουν χρήσιμα συμπεράσματα για τα δομικά υλικά και τις φθορές της ιστορικής κατασκευής.

- Για την περιοχή του τοιχίου ΤΧ1:

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_1** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

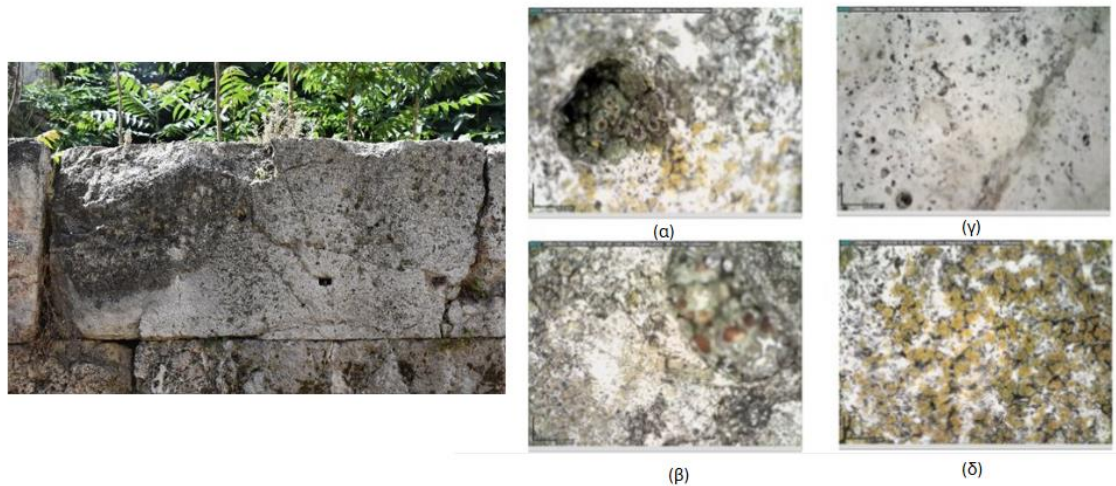


Εικόνα 5.4: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 1 και εικόνες DM

Πρόκειται για συμπαγή δομόλιθο, που εμφανίζει κοκκινωπή χροιά (Εικόνα 5.4(δ), 5.4(στ)) σε μεγάλα τμήματα του λίθου, λόγω της παρουσίας ενδογενών οξειδίων και διοξειδίων του σιδήρου. Ακόμα, εμφανίζει μεσαίου μεγέθους κρυστάλλους (πιθανών ασβεστιτικής σύστασης) των οποίων τα περατωτικά όρια είναι εμφανή λόγω απολέπισης (Εικόνα 5.4(β)). Παρατηρούνται περιοχές με ανάπτυξη λειχήνων, το φυτικό σώμα των οποίων κατά τόπους εμφανίζει ρηγματώσεις (Εικόνα 5.4(δ)), καθώς και περιοχές με υφές μύκητα (Εικόνα 5.4(α)). Επιπλέον, παρατηρούνται μικροοπές (Εικόνα 5.4(γ)), μέσα στις οποίες υπάρχει ανάπτυξη βρύων και οι οποίες έχουν προκληθεί από συνδυασμένη διαβρωτική δράση λειχήνων και μυκήτων. Τέλος, είναι εμφανής και μαύρη βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.4(ε)).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_2** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.5: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 1, λίθο 2 και εικόνες DM

Πρόκειται για συμπαγή δομόλιθο που διατρέχεται από διακλάσεις, οι οποίες είναι πληρωμένες από αδροκρυσταλλικό υλικό γκρίζης απόχρωσης, σε σύγκριση με το υπόλευκο χρώμα του λίθου(Εικόνα 5.5(γ)). Παρατηρείται βιοβελονισμός που οδηγεί στην ανάπτυξη μικροσπών και μικροκρατήρων, μέσα στους οποίους αναπτύσσονται λειχήνες (Εικόνα 5.5(α), 5.5(β)). Επίσης, στις μικρές περιοχές ανάπτυξης του αδροκρυσταλλικού υλικού, που αναφέρθηκε παραπάνω, παρατηρείται απώλεια του. Το υλικό αυτό λόγω διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης και μορφολογίας από αυτή του κυρίως λίθου και λόγω διαφορετικής απόκρισης στα περιβαλλοντικά φορτία (διαφορετικός συντελεστής θερμικής διαστολής, διαφορετική επιδεκτικότητα στην φθορά) αποκολλάται. Πιθανότατα οι οπές αυτές που προκύπτουν παρουσιάζουν ανάπτυξη βρύων (Εικόνα 5.5(δ)) στο εσωτερικό τους. Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί αβαθείς αλλά μεγάλου εύρους ρωγμές. Τέλος, στο αριστερό τμήμα του λίθου παρατηρείται ελαφριά ρόδινη χροιά.

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_3** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



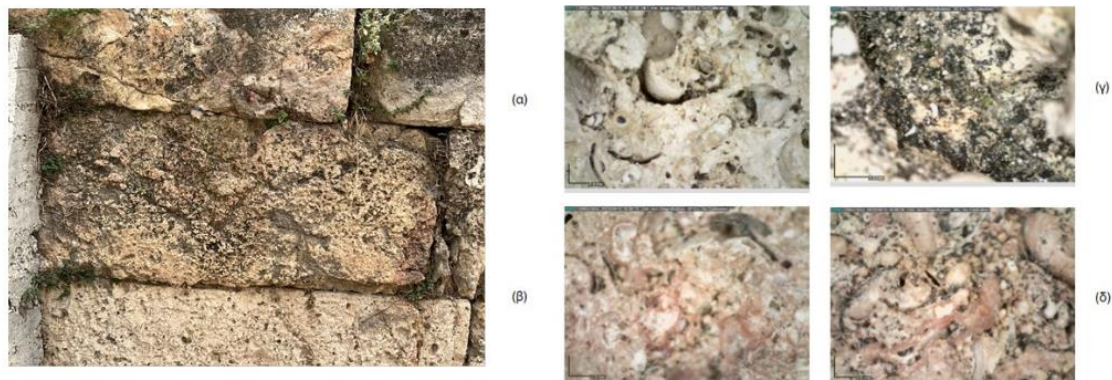
Εικόνα 5.6: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 1, λίθο 3 και εικόνες DM

Πρόκειται για συμπαγή δομόλιθο που διατρέχεται από διακλάσεις, οι οποίες είναι πληρωμένες από αδροκρυσταλλικό υλικό γκρίζης απόχρωσης, σε σύγκριση με το υπόλευκο του λίθου. Παρατηρούνται περιοχές με ανάπτυξη λειχήνων (Εικόνα 5.6(β)), το φυτικό σώμα των οποίων

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

κατά τόπους εμφανίζει ρηγματώσεις. Επιπλέον, εμφανίζει βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.6(α)), και βιοβελονισμό (Εικόνα 5.6(γ)).

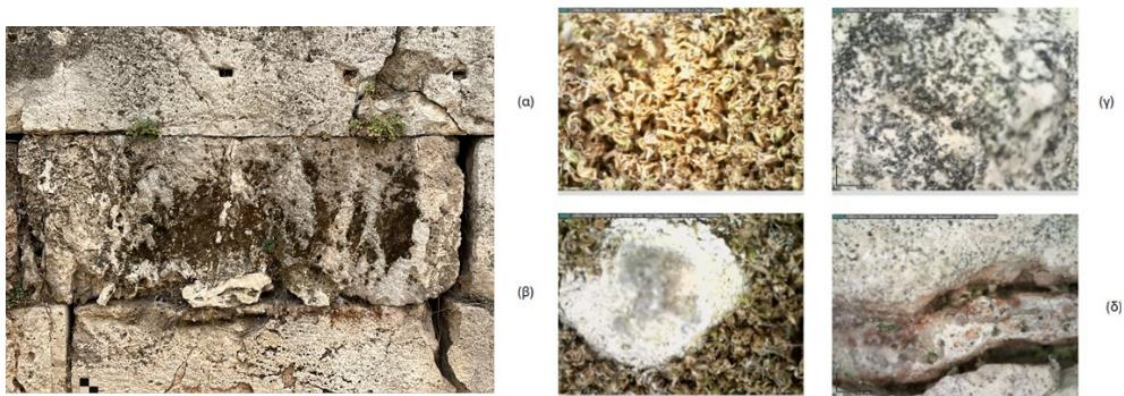
Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_4** και φαίνεται στην εικόνα ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.7: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 4 και εικόνες DM

Πρόκειται για απολιθωματοφόρο λίθο, που κατά τόπους εμφανίζει πορτοκαλόχρωμες χροιές λόγω της παρουσίας ενδογενών οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου (Εικόνα 5.7(β), 5.7(δ)). Παρατηρείται μαύρη βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.7(γ)), ενώ τα απολιθώματα λόγω διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης και μορφολογίας από αυτή του κυρίως λίθου και λόγω διαφορετικής απόκρισης στα περιβαλλοντικά φορτία (διαφορετικός συντελεστής θερμικής διαστολής, διαφορετική επιδεκτικότητα στην φθορά) αποκολλώνται, με αποτέλεσμα—στην επιφάνεια του λίθου να δημιουργούνται μικροοπές και μικροκρατήρες (Εικόνα 5.7(α)). Τέλος, κυρίως στην αριστερή πλευρά του λίθου υπάρχει ανάπτυξη μαύρων κρουστών.

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_5** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

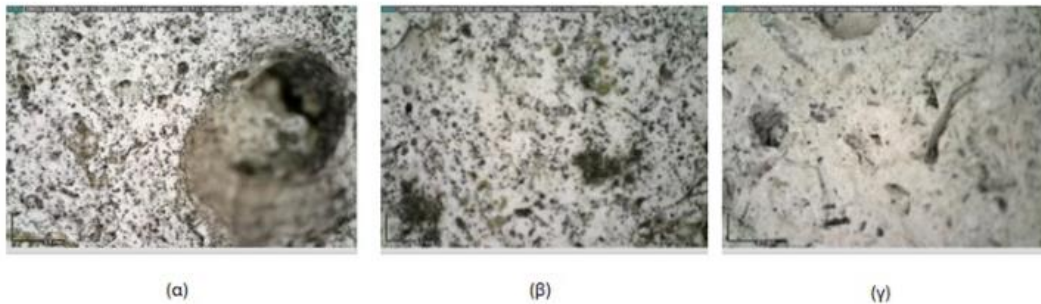


Εικόνα 5.8: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 5 και εικόνες DM

Πρόκειται για συμπαγούς μορφολογίας δομόλιθο. Μεγάλο τμήμα στην επιφάνεια του λίθου καλύπτεται από βρύα (Εικόνα 5.8(α), 5.8(β)). Άλλα τμήματα του λίθου παρουσιάζουν μαύρη βιοδιάβρωση και βιοβελονισμό (Εικόνα 5.8(γ)). Εμφανές είναι τμήμα κοκκινωπού χρώματος λόγω ενδογενών οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου. Η συνεργιστική δράση των αναπτυσσόμενων βρύων και των περιβαλλοντικών φορτίων έχει οδηγήσει στην απόσπαση των τμημάτων αυτών των περιοχών-Εικόνα 5.8(δ)). Τέλος, παρατηρείται μαύρη συμπαγής κρούστα και φυτικό σώμα λειχήνας σε μικρή έκταση.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_6** που φαίνεται στην εικόνα ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.9: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 1, λίθο 6 και εικόνες DM

Είναι ένας συμπαγής δομολίθος που συνίσταται από μεσοκοκκώδες υλικό. Κατά τόπους περιοχές παρουσιάζουν αδροκρυσταλλικό υλικό, τα περατωτικά όρια του οποίου είναι εμφανή λόγω της προσβολής από τη βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.9(γ)) που σε συνδυασμό με τα περιβαλλοντικά φορτία οδηγούν στην τμηματική απόσπαση του (Εικόνα 5.9(α)). Στις μικροσπές και στους μικροκρατήρες που δημιουργούνται παρατηρείται μαύρη βιοδιάβρωση και βιοβελονισμός (Εικόνα 5.9(β)).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_7** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

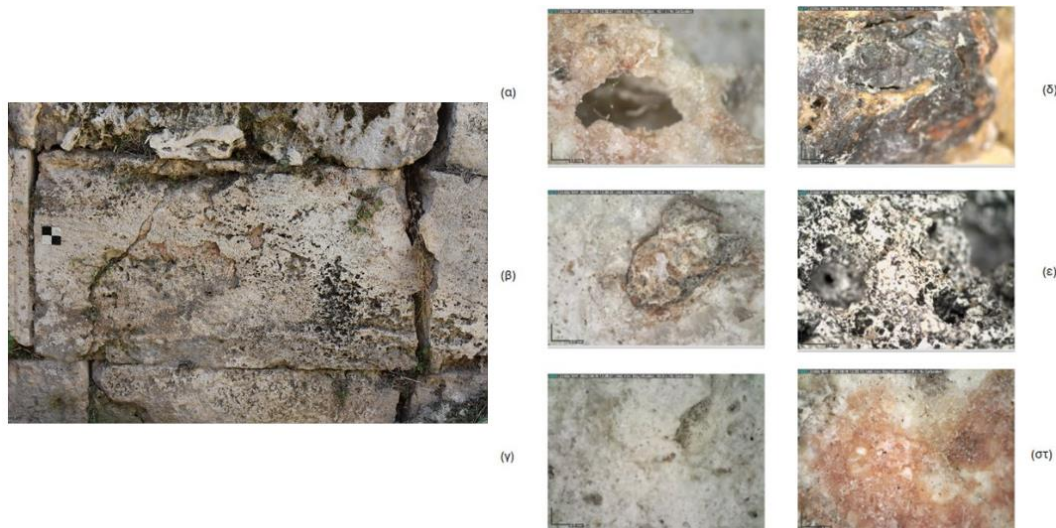


Εικόνα 5.10: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 1, λίθο 7 και εικόνες DM

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Πρόκειται για λίθο συμπαγούς μορφολογίας που συνίσταται από μεσοκοκκώδες υλικό, ενώ κατά τόπους εμφανίζει διακλάσεις με αδροκρυσταλλικό υλικό (Εικόνα 5.10(ε)). Περιοχές αυτού του αδροκρυσταλλικού υλικού εμφανίζουν έντονη κοκκινωπή χροιά λόγω ενδογενών οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου (Εικόνα 5.10(β),5.10(δ)). Επιπλέον, παρατηρείται περιοχή, που διασχίζει κάθετα στην δεξιά πλευρά τον λίθο, με εξανθήσεις αλάτων (Εικόνα 5.10(α)). Ακόμα, υπάρχουν περιοχές υφών μυκήτων, ενώ στο εσωτερικό κάποιων κρατήρων παρατηρείται ανάπτυξη μαύρης κρούστας (Εικόνα 5.10(γ), 5.10(στ)). Γενικώς, εμφανίζει μικρότερη προσβολή από βιοδιάβρωση σε σύγκριση με τους υπόλοιπους λίθους.

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_8** που φαίνεται στην εικόνα ισχύουν τα παρακάτω:

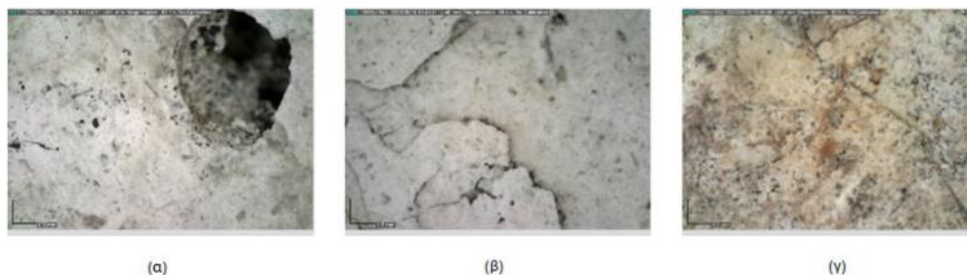


Εικόνα 5.11: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 1, λίθο 8 και εικόνες DM

Πρόκειται για λίθο συμπαγούς μορφολογίας, μεσοκοκκώδους υφής, περιοχές του παρουσιάζουν αδροκρυσταλλικά τμήματα (Εικόνα 5.11(α), 5.11(γ)), τα οποία εμφανίζουν κοκκινωπή χροιά λόγω οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου(Εικόνα 5.11(δ), 5.11(στ)). Παράλληλα, εμφανίζει και μαύρη βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.11(ε)).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_9** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

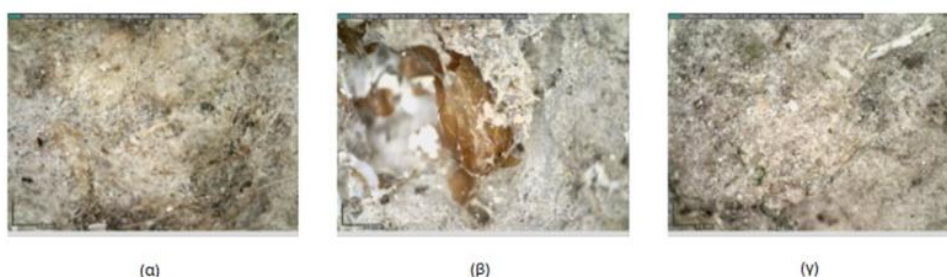
Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.12: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 9 και εικόνες DM

Πρόκειται για λίθο που αποτελείται από συμπαγές μεσόκκοκο υλικό και περιοχές ελαφριάς υποκόκκινης χροιάς που οφείλονται σε ενδογενή οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου, ενώ εντοπίζονται και σποραδικά πορτοκαλόχρωμες λειχήνες (Εικόνα 5.12(γ)). Λόγω διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης και μορφολογίας από αυτή του κυρίως λίθου και λόγω διαφορετικής απόκρισης στα περιβαλλοντικά φορτία (διαφορετικός συντελεστής θερμικής διαστολής, διαφορετική επιδεκτικότητα στην φθορά) αποκολλώνται κάποιοι αδροκρυσταλλικοί κόκκοι (Εικόνα 5.12(α)). Επιπλέον εντοπίζεται μαύρη βιοδιάβρωση, βιοβελονισμός (Εικόνα 5.12(β)) και λειχήνες.

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_10** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.13: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 1, λίθο 10 και εικόνες DM

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Πρόκειται για δομολίθο συμπαγούς υφής και μορφολογίας. Παρουσιάζει υφές μυκήτων (Εικόνα 5.13(β)), επικαθίσεις χύματος λόγω της άμεσης γειτνίασης με το έδαφος (Εικόνα 5.13(α)). Τέλος, παρατηρείται μαύρη βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.13(γ)).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_11** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



(α)



(β)



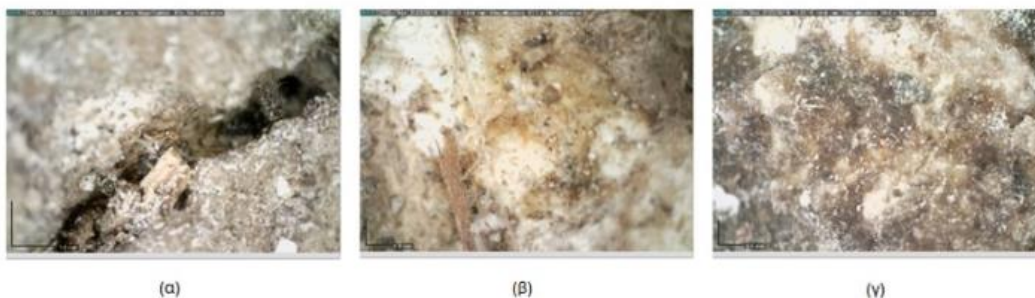
(γ)

Εικόνα 5.14: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 1, λίθο 11 και εικόνες DM

Πρόκειται για δομολίθο συμπαγούς υφής με μεσοκοκκώδες υλικό. Παρατηρούνται επικαθίσεις χύματος λόγω της άμεσης γειτνίασης με το έδαφος (Εικόνα 5.14(α)), υφές μυκήτων (Εικόνα 5.14 (β)), και κατά τόπους ανάπτυξη βρύων (Εικόνα 5.14(β)).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_12** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.15: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 1, λίθο 12 και εικόνες DM

Πρόκειται για δομολίθο συμπαγούς υφής με μεσοκοκκώδες υλικό. Παρατηρούνται κρούστες (Εικόνα 5.15(γ)), και επικαθίσεις χύματος λόγω της άμεσης γειννίασης με το έδαφος (Εικόνα 5.15(α)), ενώ εντοπίζονται και κατά τόπους ανάπτυξη βρύων (Εικόνα 5.15(β)).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_16** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.16: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 1, λίθο 16 και εικόνες DM

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Πρόκειται για συμπαγή λίθο με μεσοκοκκώδες υλικό. Παρατηρείται ανάπτυξη βρύων (Εικόνα 5.16(α), 5.16(γ)), και παρουσία εξανθήσεων-αλάτων (Εικόνα 5.16(β)).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_17** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.17: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 1, λίθο 17 και εικόνες DM

Πρόκειται για συμπαγή λίθο με μεσοκοκκώδες υλικό (Εικόνα 5.17(γ)). Παρατηρούνται βρύα, υπολείμματα ριζικών συστημάτων και ανώτερων φυτών (Εικόνα 5.17(α)), εμφανίζονται επίσης μικροσπές και μικροκρατήρες (Εικόνα 5.17(β)).

Για τους πλίνθους με κωδική ονομασία **Bricks_13** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



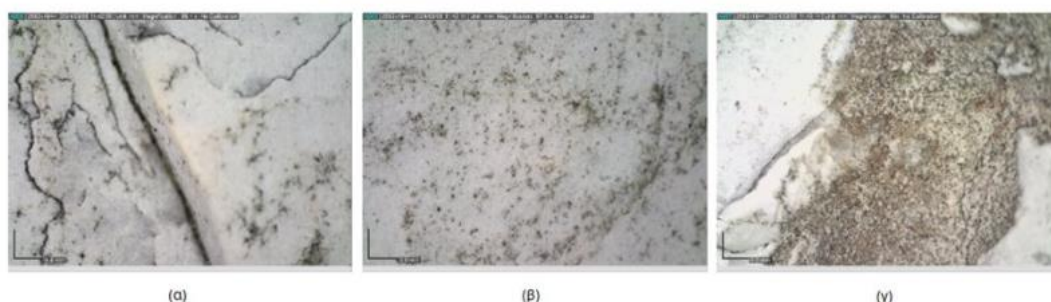
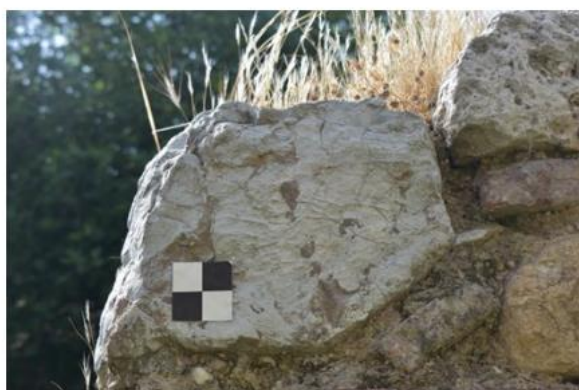
Εικόνα 5.18: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 1, πλίνθοι 13 και εικόνες DM

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Παρατηρείται ανάπτυξη πορτοκαλόχρωμων λειχήνων σε μικρής έκτασης περιοχές, μαύρη βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.18(α)), και υπόλευκες κρούστες που πιθανότατα έχουν προκύψει από ανακρυστάλλωση διαλυτών αλάτων (Εικόνα 5.18(β)).

- **Για την περιοχή του τοιχίου TX2:**

Για τον λίθο με κωδική ονομασία Stone_1 που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.19: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 1 και εικόνες DM

Είναι ένας δομολίθος συμπαγούς δομής και μορφολογίας (Εικόνα 5.19(β)). Εμφανίζει σποραδικά μαύρη βιοδιάβρωση, βιοβελονισμό (Εικόνα 5.19(α)) και κατά τόπους παρατηρούνται περιοχές όπου η μαύρη βιοδιάβρωση και ο βιοβελονισμός αναπτύσσονται πιο έντονα και σε μεγαλύτερη ένταση (Εικόνα 5.19(γ)).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_2** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

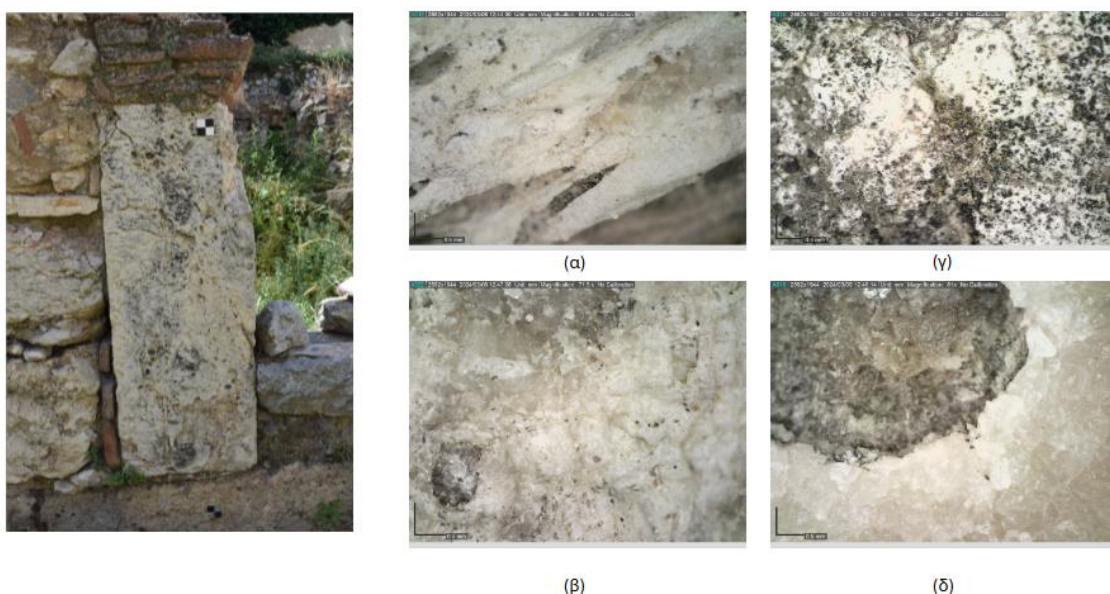
Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.20: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 2 και εικόνες DM

Είναι ένας δομόλιθος συμπαγούς δομής και μορφολογίας (Εικόνα 5.20(α)). Παρατηρούνται φλέβες εξαλοιωμένων αργιλοπυριτικών (Εικόνα 5.20(γ)), παράλληλα, κατά τόπους εντοπίζονται περιοχές απολυμένων επιφανειών μεγάλης τραχύτητας (Εικόνα 5.20(α)) (εμφανή αλλοιωμένα περατωτικά όρια κόκκων του λίθου).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_3** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.21: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 3 και εικόνες DM

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Είναι ένας δομόλιθος συμπαγούς δομής και μορφολογίας. Παρατηρείται υπόλοιπο λειχήνας, μαύρη βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.21(γ)) και ανάπτυξη μικροκρατήρων, μικροσπών και μικρορωγμών (Εικόνα 5.21(δ)), που έχουν προκύψει από απώλεια αυθεντικού υλικού. Πιθανότατα το υλικό αυτό να ήταν διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης και μορφολογίας από αυτή του κυρίως λίθου και λόγω διαφορετικής απόκρισης στα περιβαλλοντικά φορτία (Εικόνα 5.21(α)) (διαφορετικός συντελεστής θερμικής διαστολής, διαφορετική επιδεκτικότητα στην φθορά) να έχουν αποκολληθεί.

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_6** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

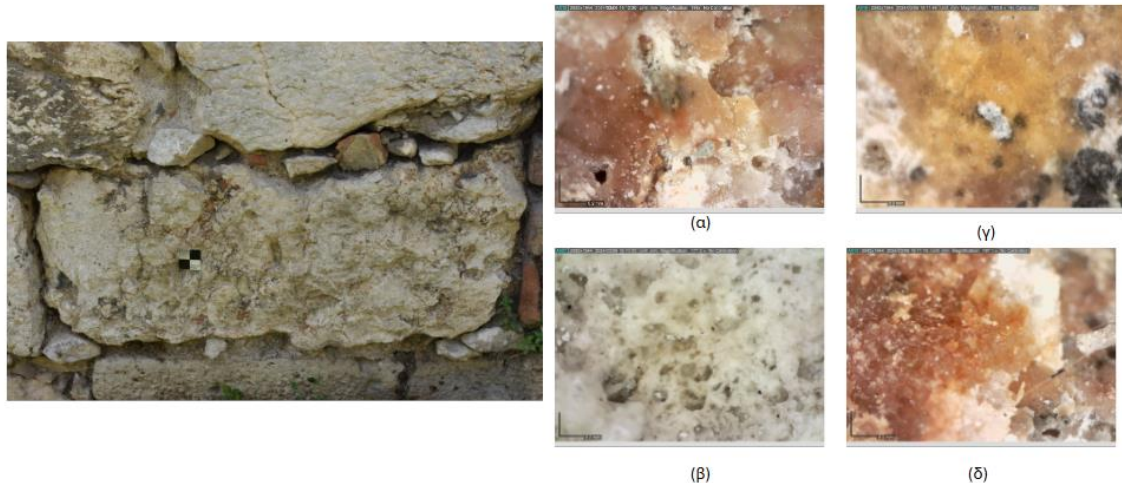


Εικόνα 5.22: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 6 και εικόνες DM

Είναι ένας απολιθωματοφόρος λίθος. Παρουσιάζει πολλές μικροσπές, μικρορηγματώσεις και μικροκρατήρες (Εικόνα 5.22(γ)), που έχουν προκύψει από απώλεια αυθεντικού υλικού. Πιθανότατα το υλικό αυτό να ήταν διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης και μορφολογίας από αυτή του κυρίως λίθου και λόγω διαφορετικής απόκρισης στα περιβαλλοντικά φορτία (διαφορετικός συντελεστής θερμικής διαστολής, διαφορετική επιδεκτικότητα στην φθορά) να έχουν αποκολληθεί. Επιπλέον, κατά τόπους εντοπίζονται περιοχές απολυμένων επιφανειών μεγάλης τραχύτητας (εμφανή αλλοιωμένα περατωτικά όρια κόκκων του λίθου) (Εικόνα 5.22(α), 5.22(β)).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_7** που φαίνεται στην εικόνα ισχύουν τα παρακάτω:

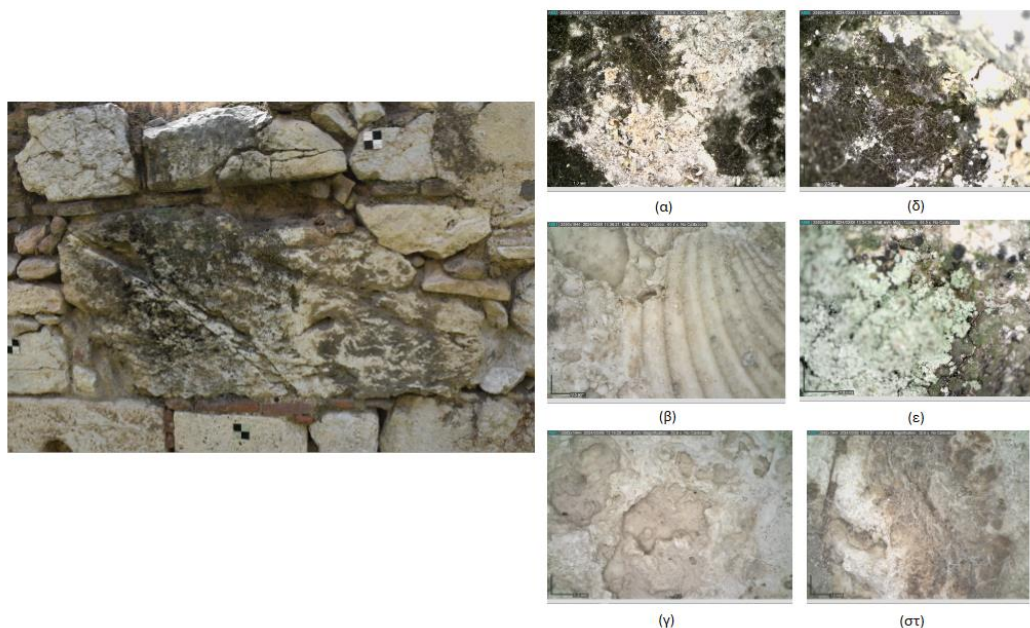
Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.23: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 7 και εικόνες DM

Υπάρχουν περιοχές που παρουσιάζουν φλέβες οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου (Εικόνα 5.23(α), 5.23(γ), 5.23(δ)) και κατά τόπους μικρής έκτασης περιοχές που εμφανίζουν μαύρη βιοδιάβρωση και βιοβελονισμό (Εικόνα 5.23(β), 5.23(γ)).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_8** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.24: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 81 και εικόνες DM

Είναι ένας απολιθωματοφόρος λίθος (Εικόνα 5.24(β)), ο οποίος στα δεξιά παρουσιάζει μαύρη κρούστα (Εικόνα 5.24(α), 5.24(γ)), ενώ στα αριστερά βιοδιάβρωση με βρύα (Εικόνα 5.24(ε)), λειχήνες και μαύρους μύκητες. Επιπλέον, παρατηρείται μία μεγάλη εύρους και αβαθής ρωγμή, που ξεκινάει από την επάνω αριστερή γωνία και καταλήγει στο μέσο της απέναντι πλευράς που ορίζει το παραλληλόγραμμο.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

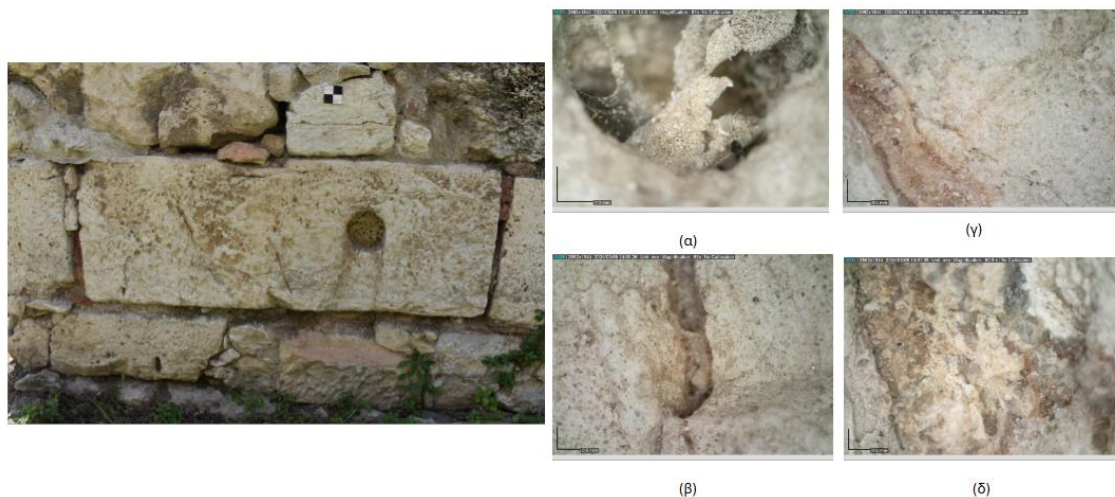
Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_9** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.25: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 9 και εικόνες DM

Στα αριστερά του λίθου εντοπίζεται βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.25(γ)) με ανάπτυξη λειχήνων (Εικόνα 5.25(στ)) πάνω σε φλέβα/ ρωγμή (Εικόνα 5.25(δ)), μικρορωγμές και έντονη βιοδιάβρωση από βρύα και λειχήνες. Ενώ, στα δεξιά κατά τόπους εμφανίζεται μαύρη κρούστα.

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_10** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

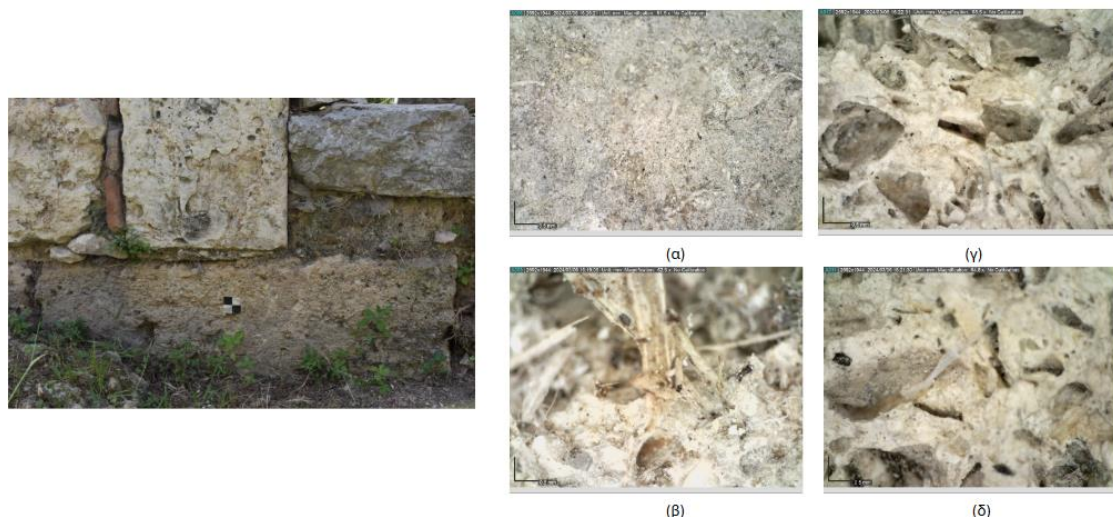


Εικόνα 5.26: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 10 και εικόνες DM

Είναι ένας απολιθωματοφόρος λίθος, ο οποίος κατά τόπους παρουσιάζει περιοχές πορτοκαλόχρωμες, εξαιτίας της διάχυσης οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου, ενώ παράλληλα παρουσιάζει και πολλές μικροοπές (Εικόνα 5.26(α)) και ρωγμές (Εικόνα 5.26(β)) κάποιες από τις

οποίες είναι εξαλλοιωμένες φλέβες αργιλοπυριτικών (Εικόνα 5.26(γ)). Ακόμα εντοπίζονται κατά τόπους μαύρες κρούστες.

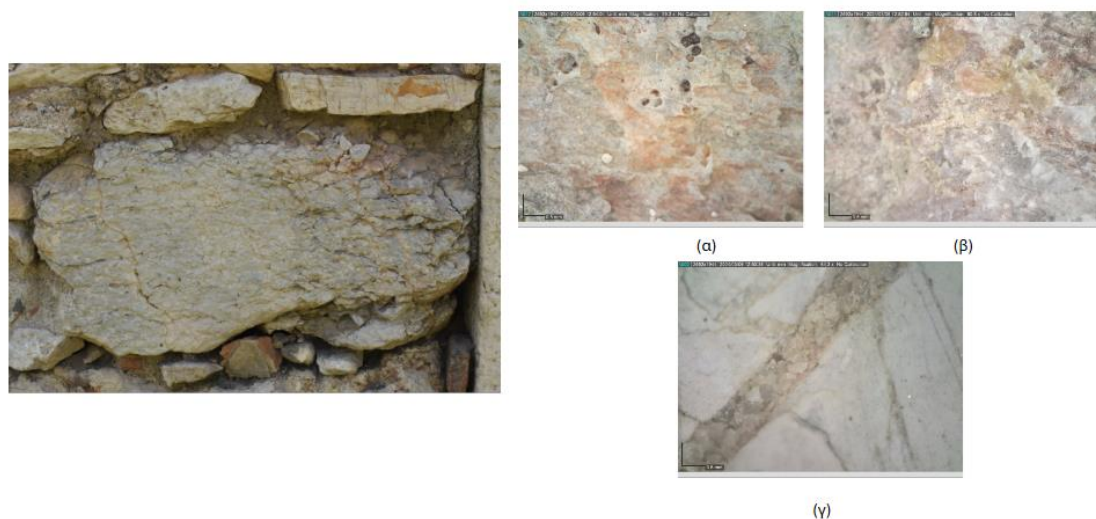
Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_11** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.27: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 11 και εικόνες DM

Είναι ένας κροκαλοπαγής λίθος (Εικόνα 5.27(β), 5.27(γ), 5.27(δ)) που κατά τόπους παρουσιάζει έντονη διάβρωση λόγω απώλειας τμημάτων του, ενώ στο αριστερό τμήμα του υπάρχουν επικαθήσεις χώματος (Εικόνα 5.27(α)).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_15** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

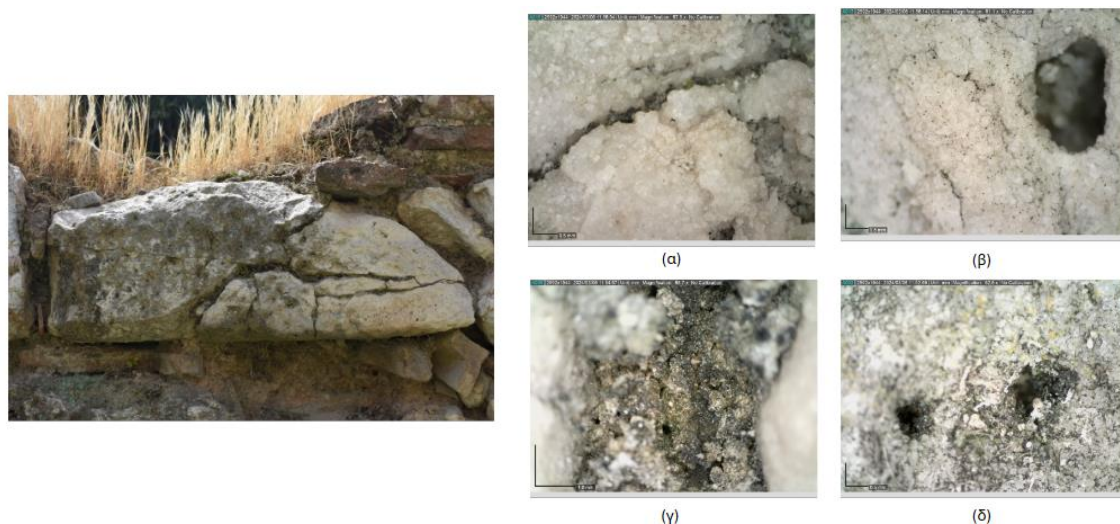


Εικόνα 5.28: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 15 και εικόνες DM

Πρόκειται για έναν συμπαγή λίθο, ο οποίος παρουσιάζει πληθώρα διακλάσεων πληρωμένων με δευτερογενές υλικό (Εικόνα 5.28(γ)), ενώ παρατηρείται σποραδικά και επιλεκτική ανάπτυξη λειχήνων πάνω σε αργιλοπυριτικές φλέβες του λίθου (Εικόνα 5.28(α), 5.28(β)).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_17** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.29: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 17 και εικόνες DM

Πρόκειται για έναν συμπαγή λίθο, που το μεγαλύτερο τμήμα του καλύπτεται από βιοδιάβρωση βρύων και λειχήνων, οι κόκκοι του παρουσιάζουν έντονη ζαχαροειδή φθορά (Εικόνα 5.29(γ), 5.29(δ)), ενώ η εκτενής ρωγή που τον διατρέχει πληρώνεται από ευρεία ανάπτυξη λειχήνων.

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_20** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.30: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 20 και εικόνες DM

Πρόκειται για έναν αδροκρυσταλλικό συμπαγή λίθο που παρουσιάζει πορτοκαλόχρωμες φλεβώσεις (Εικόνα 5.30(α), 5.30(β)).

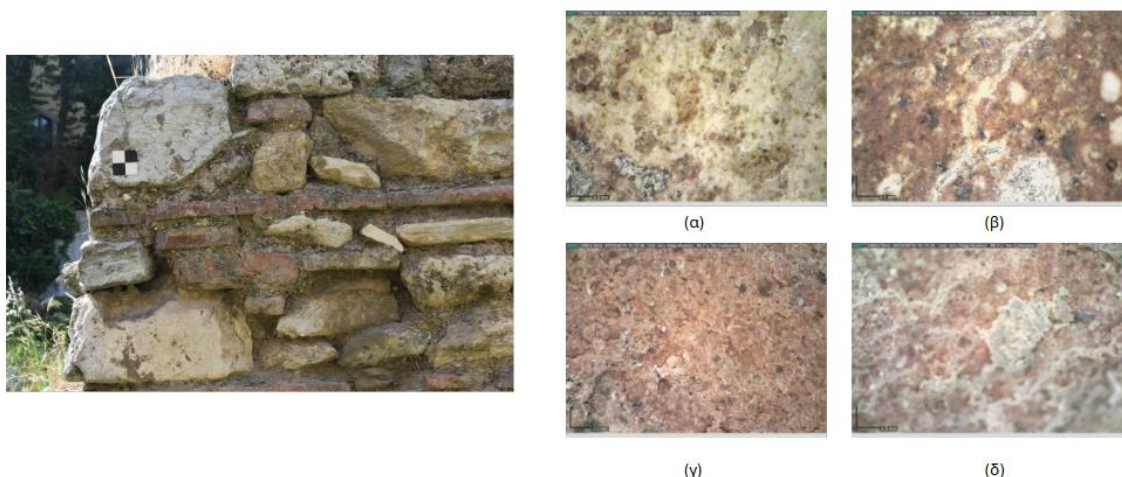
Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_22** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.31: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, λίθο 22 και εικόνες DM

Πρόκειται για ένα απολιθοματοφόρο λίθο (Εικόνα 5.31(γ)) που παρουσιάζει μικρές σπές και μικροκρατρίες, που έχουν προκύψει από απώλεια αυθεντικού υλικού (Εικόνα 5.31(α), 5.31(β)). Πιθανότατα το υλικό αυτό να ήταν διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης και μορφολογίας από αυτή του κυρίως λίθου και λόγω διαφορετικής απόκρισης στα περιβαλλοντικά φορτία (διαφορετικός συντελεστής θερμικής διαστολής, διαφορετική επιδεκτικότητα στην φθορά) να έχει αποκολληθεί.

Για τους πλίνθους με κωδική ονομασία **Bricks_14** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

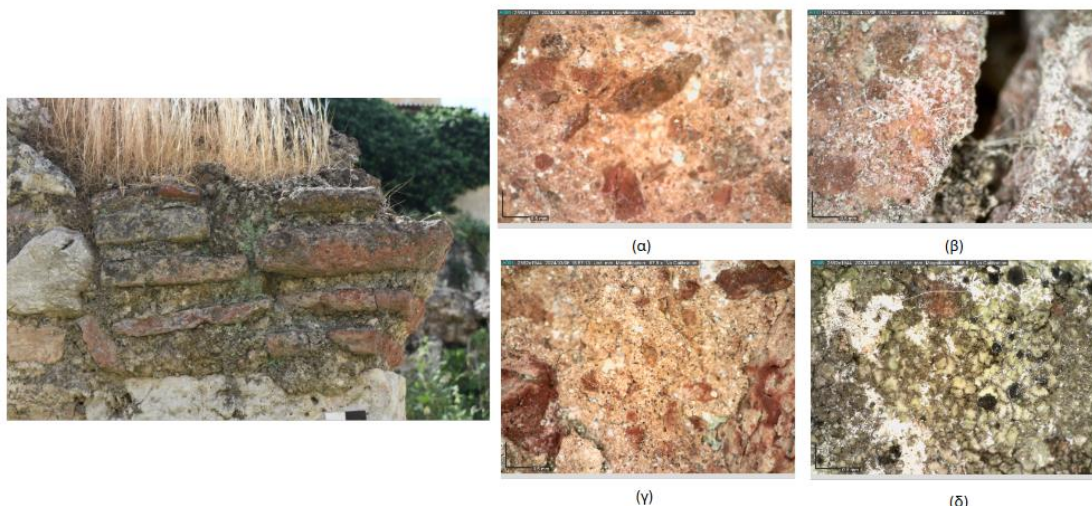


Εικόνα 5.32: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, πλίνθοι 14 και εικόνες DM

Πρόκειται για οπτόπλινθους που παρουσιάζουν απώλεια αυθεντικού υλικού μέσω απολέπισης λόγω επίδρασης περιβαλλοντικών φορτίων καθώς και κατά τόπους ανάπτυξη βιοδιάβρωσης λειχήνων. Ακόμα είναι και πιθανή παρουσία αλάτων (Εικόνα 5.32(β), 5.32(δ)).

Για τους πλίνθους με κωδική ονομασία **Bricks_24** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

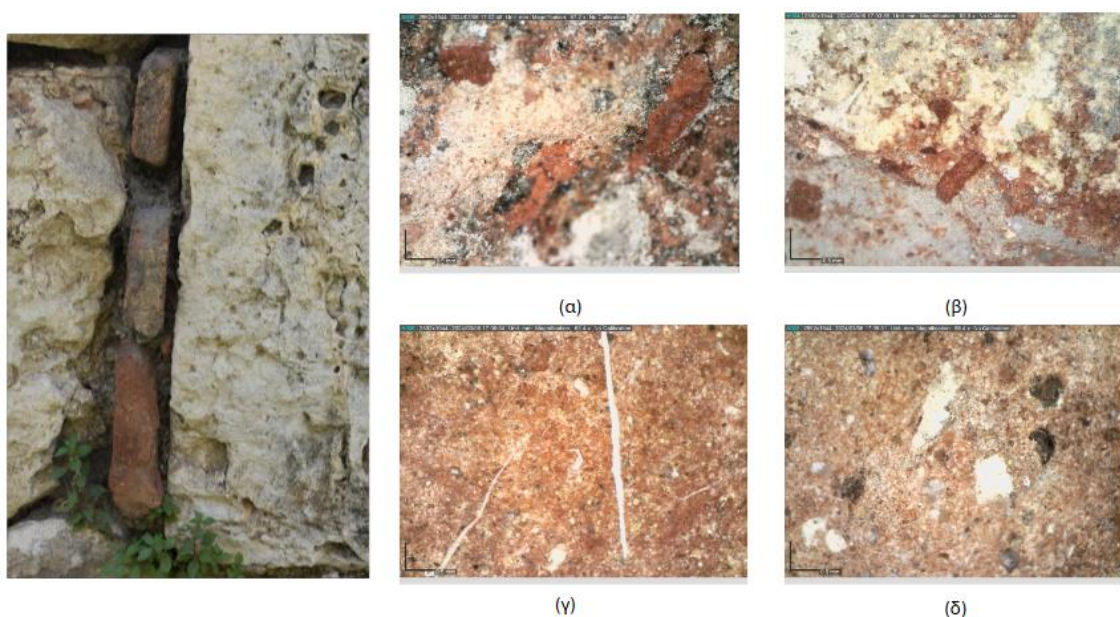
Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.33: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 2, πλίνθοι 24 και εικόνες DM

Παρατηρούνται λειχήνες (Εικόνα 5.33(δ)) και ανάπτυξη αλάτων (Εικόνα 5.33(β)).

Για τους πλίνθους με κωδική ονομασία **Bricks_25** που φαίνεται στην εικόνα ισχύουν τα παρακάτω:

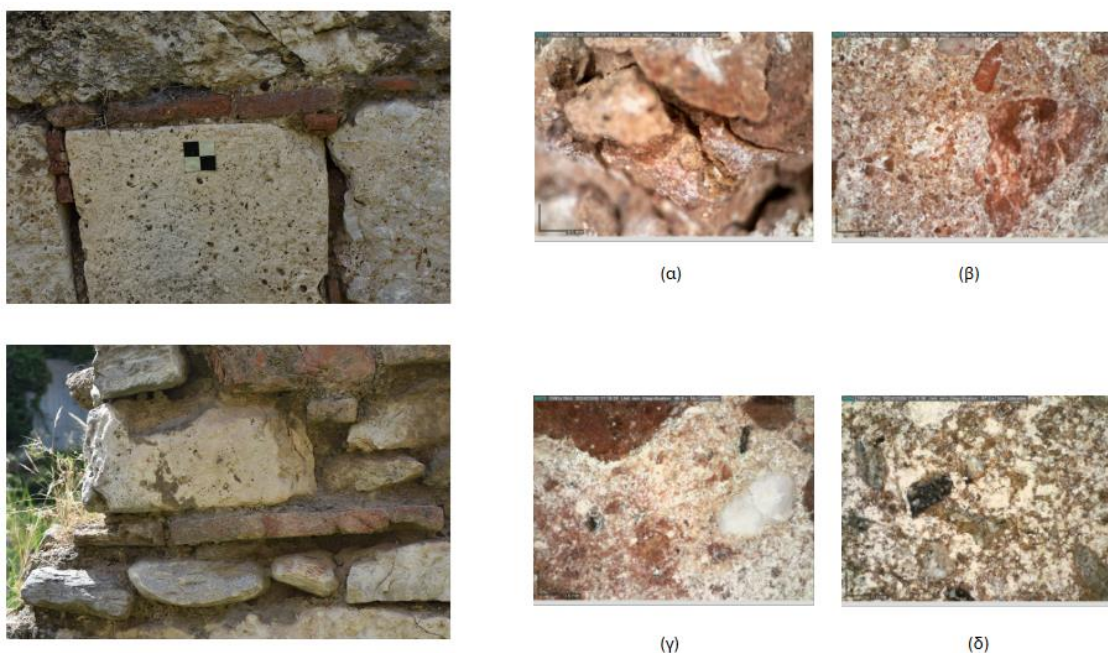


Εικόνα 5.34: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 2, πλίνθοι 25 και εικόνες DM

Στον τρίτο οπτόπλινθο από πάνω, παρατηρείται μία καλύτερη κατάσταση διατήρησης, κατά τόπους ανάπτυξη γκρίζων κρουστών μη βιογενούς προέλευσης (Εικόνα 5.34(α), 5.34(β)), αλλά και μαύρη βιοδιάβρωση.

Για τους πλίνθους με κωδική ονομασία **Bricks_27-28** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

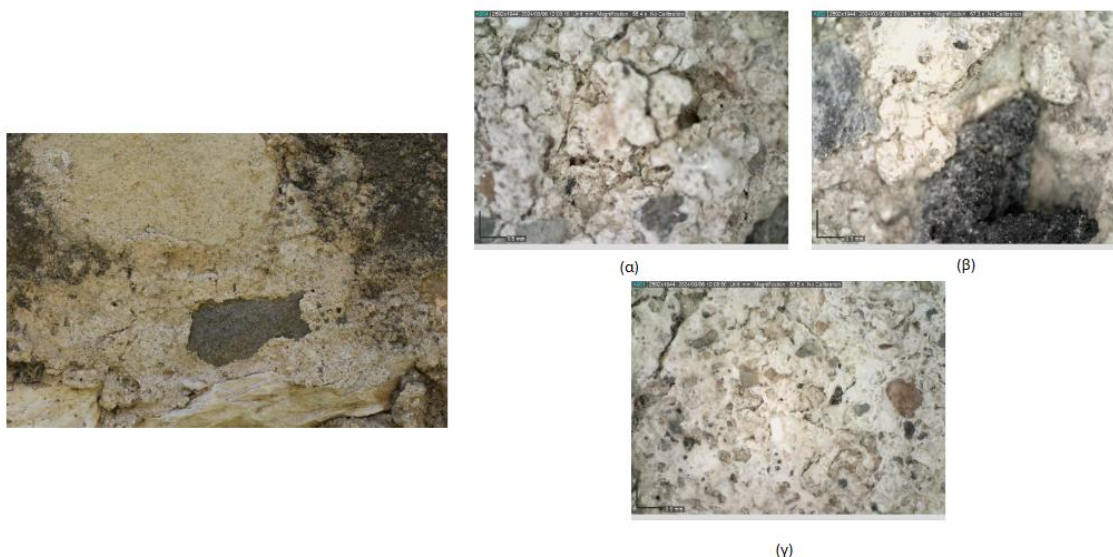
Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.35: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 2, πλίνθοι 27-28 και εικόνες DM

Στο πάνω τμήμα παρουσιάζονται άλατα (Εικόνα 5.35(β), 5.35(γ)), κάποιοι οπτόπλινθοι βρίσκονται σε καλή κατάσταση, ενώ κάποια άλλοι είναι εύθριπτοι, ρηγματωμένοι (Εικόνα 5.35(α)) και παρουσιάζουν βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.35(δ)).

Για το ιστορικό κονίαμα με κωδική ονομασία **Historical_1** που φαίνεται στην εικόνα ισχύουν τα παρακάτω:

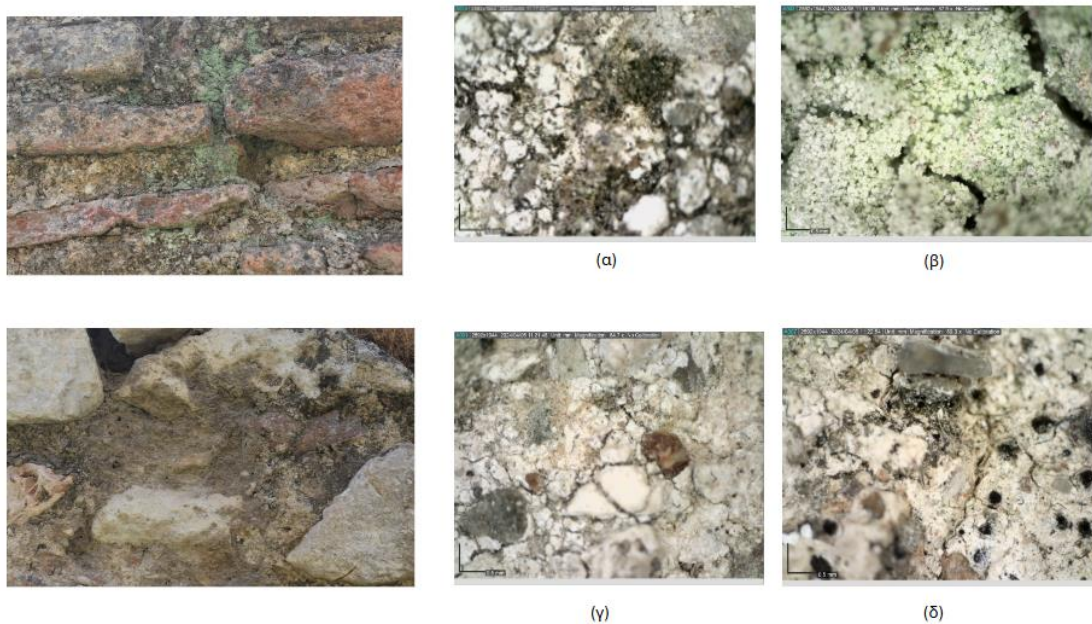


Εικόνα 5.36: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 2, ιστορικό κονίαμα 1 και εικόνες DM

Περιέχει λευκή κονία, αδρανή ποικίλου χρωματισμού, από ανοιχτό μπεζ έως και σκούρο καφέ (Εικόνα 5.36(γ)). Κατά τόπους εμφανίζεται μικρής έντασης μαύρη διάβρωση (Εικόνα 5.36(β)) και κατά τόπους παρουσιάζει μειωμένη συνοχή κονιάς- αδρανών (Εικόνα 5.36(α)).

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

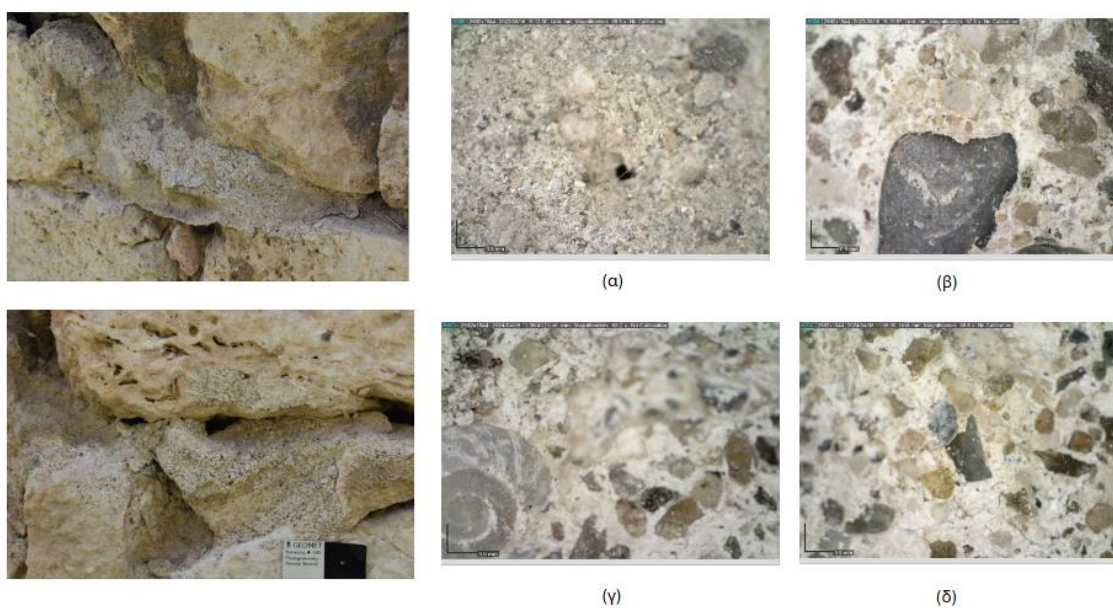
Για τα ιστορικά κονιάματα με κωδική ονομασία **Historical_31-32** που φαίνονται στην εικόνα ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.37: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, ιστορικό κονίαμα 31-32 και εικόνες DM

Παρουσιάζουν έντονη ανάπτυξη μαύρης βιοδιάβρωσης και βρύων (Εικόνα 5.37(α), 5.37(β)). Και το ίδιο το υλικό του κονιάματος δεν είναι εμφανές λόγω της μαύρης βιοδιάβρωσης και βρύων (Εικόνα 5.37(δ)).

Για τα κονιάματα αποκατάστασης με κωδική ονομασία **Restoration_2-35** που φαίνονται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

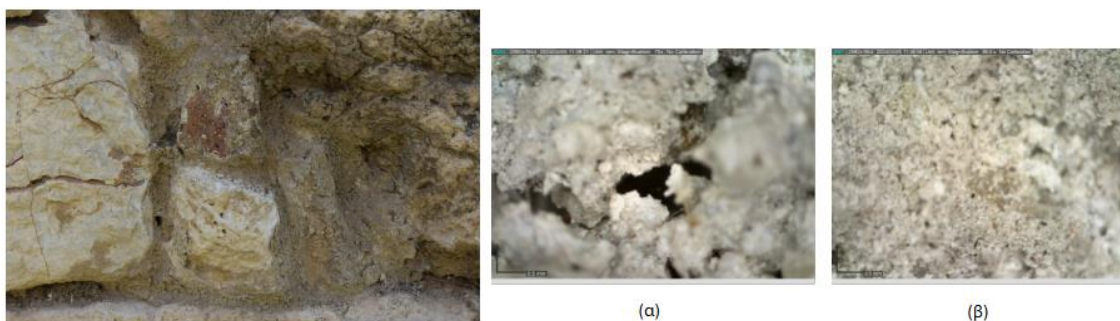


Εικόνα 5.38: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, κονίαμα αποκατάστασης 2-35 και εικόνες DM

Εμπεριέχουν λευκή κονία με ανοιχτόχρωμα γκριζα και γκριζόμαυρα αδρανή (Εικόνα 5.38(β), 5.38(γ), 5.38(δ)), τα οποία είναι συνεκτικά συνδεδεμένα με την κονία.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Για το κονίαμα αποκατάστασης με κωδική ονομασία **Restoration_36** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

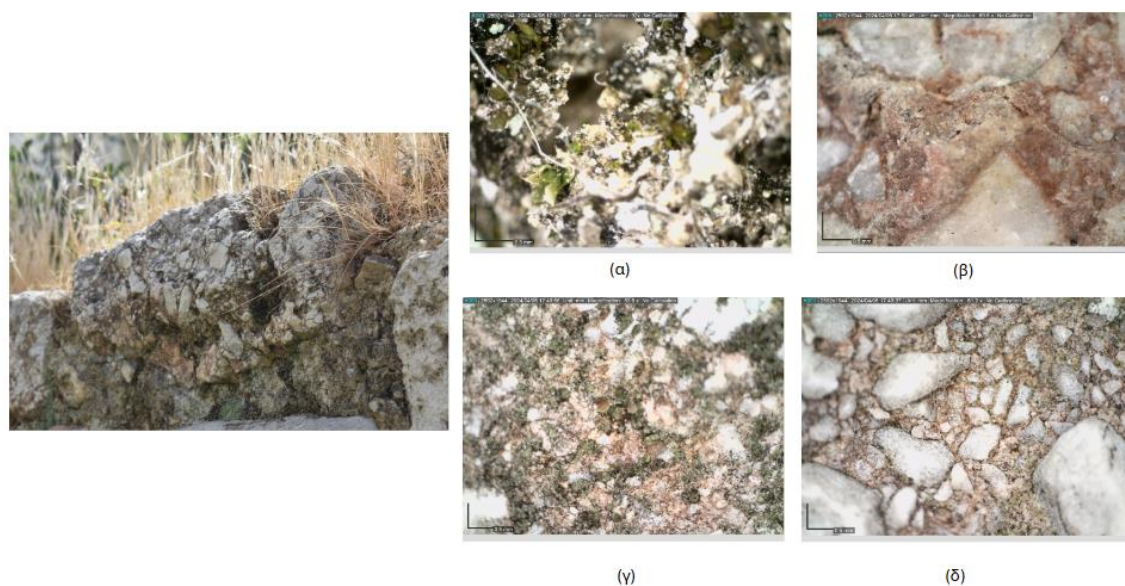


Εικόνα 5.39: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 2, κονίαμα αποκατάστασης 36 και εικόνες DM

Παρουσιάζει κακή κατάσταση διατήρησης με μειωμένη συνοχή αδρανών και κονιάς (Εικόνα 5.39(α)).

- Για την περιοχή του τοιχίου TX3:

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_5** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

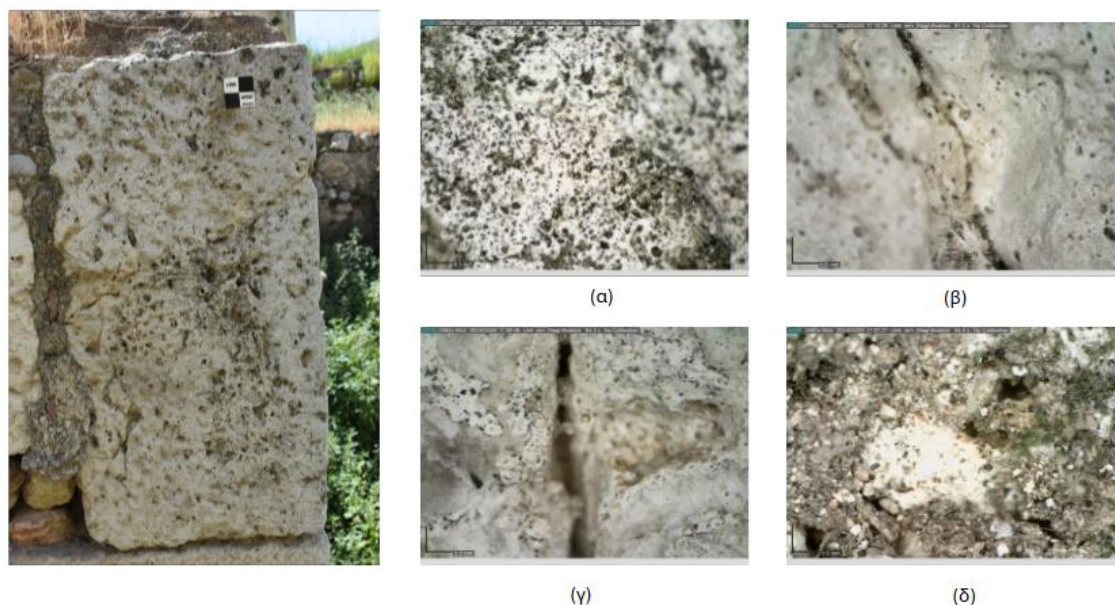


Εικόνα 5.40: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 3, λίθο 5 και εικόνες DM

Είναι ένας κροκαλοπαγής λίθος, που παρουσιάζει βρύα (Εικόνα 5.40(α), 5.40(γ)). Παρατηρείται περιοχή με διάχυση οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου, που δίνει την αντίστοιχη κόκκινη χροιά (Εικόνα 5.40(β), 5.40(δ)). Ακόμα, υπάρχει απώλεια συνοχής του συνδετικού υλικού του λίθου με τους κλάστες.

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_6** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

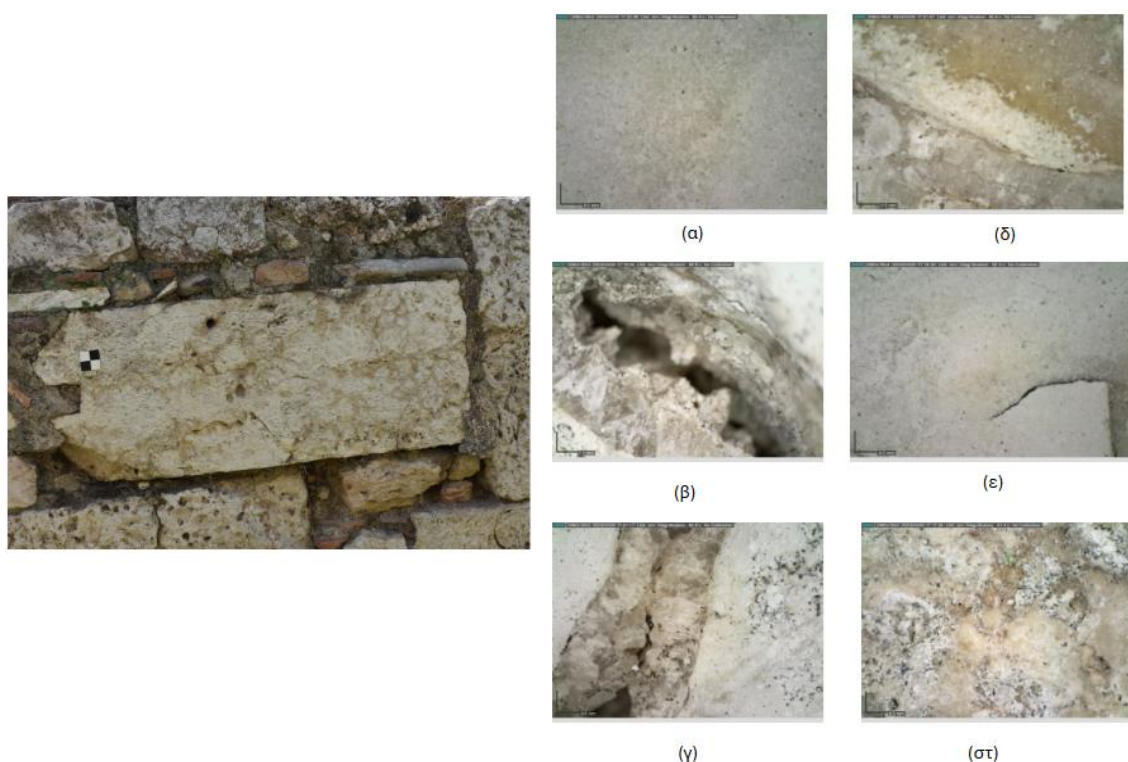
Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.41: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, λίθο 6 και εικόνες DM

Πρόκειται για συμπαγή λίθο που παρουσιάζει μαύρη βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.41(δ)), βιοβελονισμό (Εικόνα 5.41(α)) και ανάπτυξη μικροκρατήρων, ενώ κατά τόπους συναντάται και ελαφριά ανάπτυξη λειχήνων (Εικόνα 5.41(δ)).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_7** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



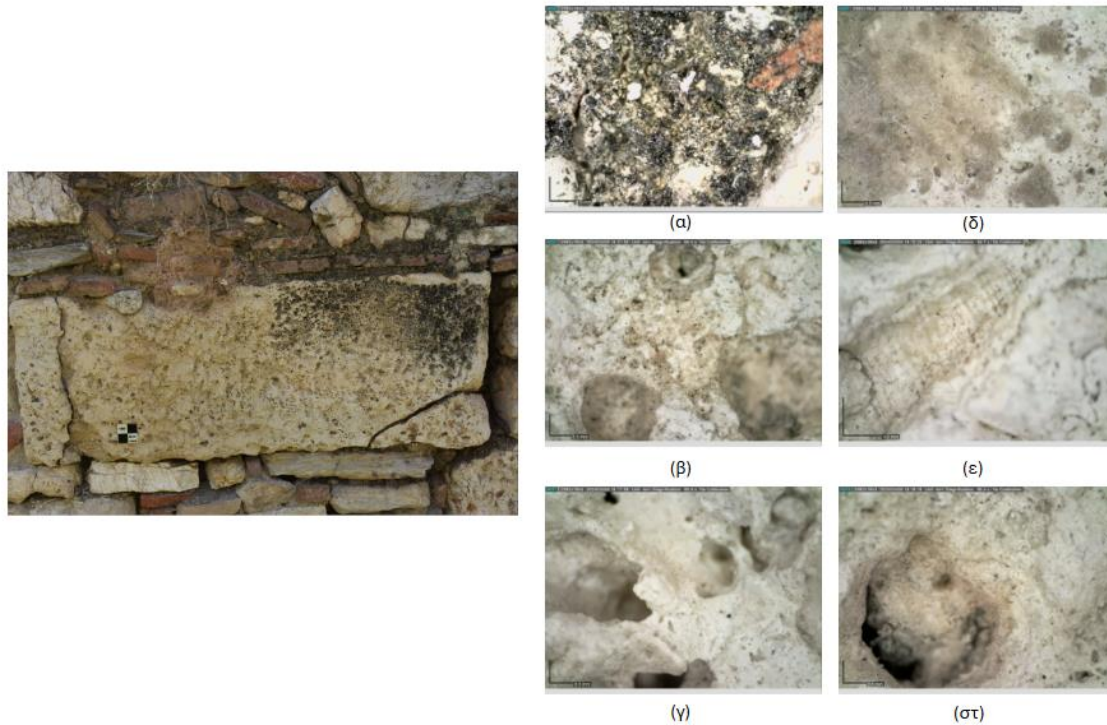
Εικόνα 5.42: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, λίθο 7 και εικόνες DM

Σε αυτόν τον λίθο παρατηρείται σποραδικά βιοβελονισμός με μαύρη βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.42(στ)), και φλέβα με δευτερογενές υλικό (Εικόνα 5.42(β), 5.42(γ)). Επιπλέον, εντοπίζονται

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

διακλάσεις πληρωμένες με αδροκρυσταλλικό υλικό, το οποίο κατά τόπους απομακρύνεται, λόγω της επίδρασης των περιβαλλοντικών φορτίων, δημιουργώντας ρωγμές.

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_8** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

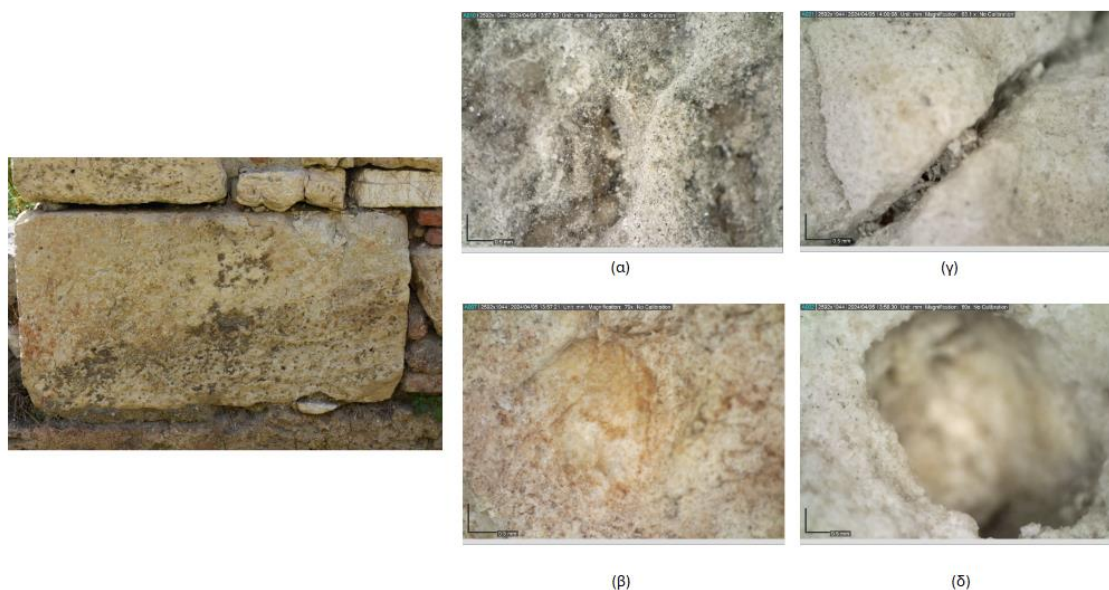


Εικόνα 5.43: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 3, λίθο 8 και εικόνες DM

Πρόκειται για έναν απολιθοματοφόρο λίθο (Εικόνα 5.43(β), 5.43(ε)) με έντονη ανάπτυξη μαύρης βιοδιάβρωσης (Εικόνα 5.43(α)) στο πάνω δεξί τμήμα του, ενώ παρατηρούνται μικροσπές και μικροκρατήρες, στον πυθμένα των οποίων έχει αναπτυχθεί βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.43(γ), 5.43(στ)). Πιθανότατα το υλικό αυτό να ήταν διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης και μορφολογίας από αυτή του κυρίως λίθου και λόγω διαφορετικής απόκρισης στα περιβαλλοντικά φορτία (διαφορετικός συντελεστής θερμικής διαστολής, διαφορετική επιδεκτικότητα στην φθορά) να έχουν αποκολληθεί.

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_10** που φαίνεται στην εικόνα ισχύουν τα παρακάτω:

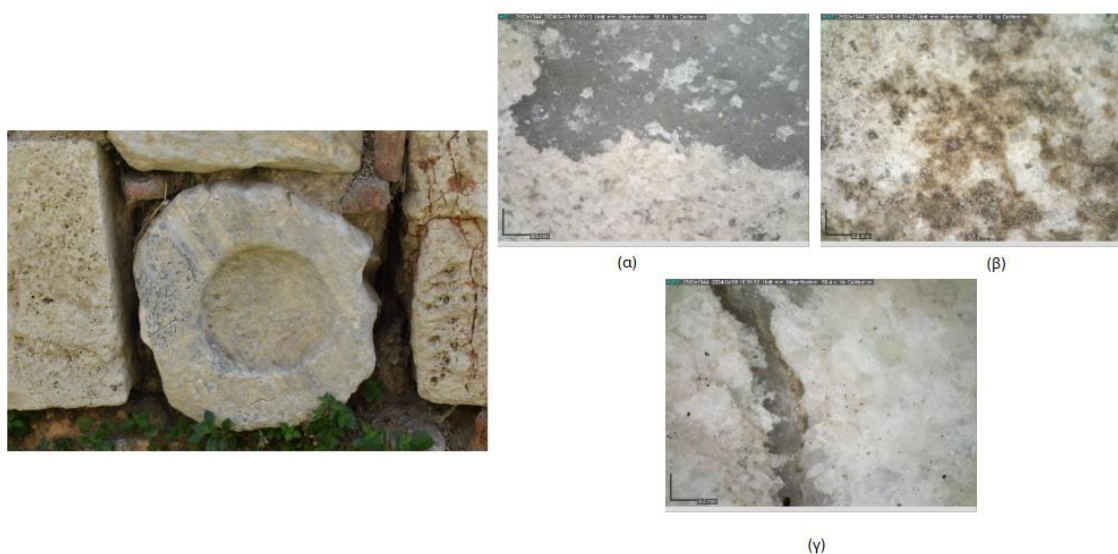
Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.44: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, λίθο 10 και εικόνες DM

Είναι ένας συμπαγής λίθος που κατά τόπους παρουσιάζει μαύρες κρούστες μη βιογενούς προέλευσης (Εικόνα 5.44(α)), κάποιες μικρορωγμές (Εικόνα 5.44(γ)), μικροκρατήρες (Εικόνα 5.44(β)) και μία περιοχή διάχυσης οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου του λίθου (Εικόνα 5.44(β)).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_12** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.45: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, λίθο 12 και εικόνες DM

Πρόκειται για αδροκρυσταλλικό υλικό με υφή μαρμάρου, το οποίο φέρει μικρού πάχους κρούστα μικροκρυσταλλικής υφής (Εικόνα 5.45(α)), συνεκτικά συνδεδεμένη με το υπόστρωμα (Εικόνα 5.45(β)).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_13** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

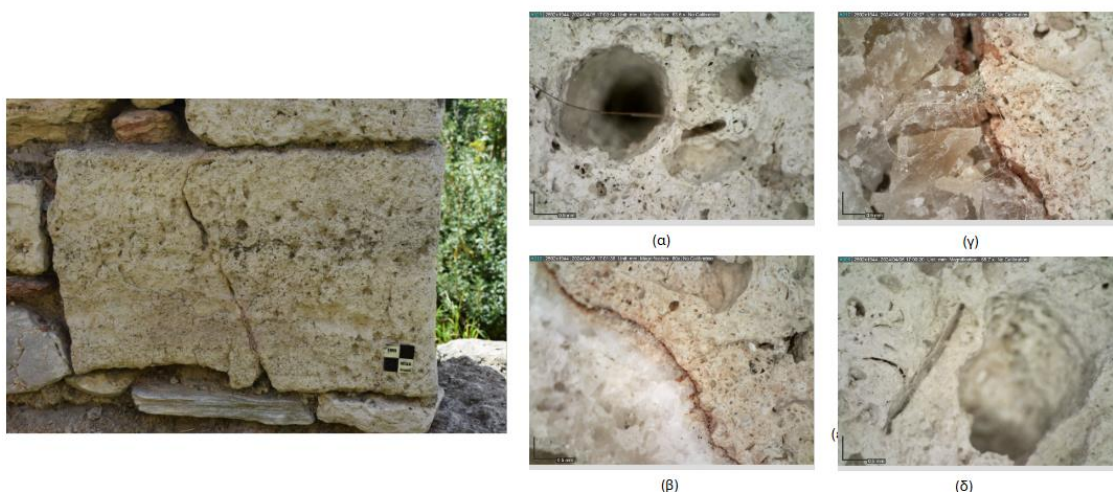
Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.46: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 3, λίθο 13 και εικόνες DM

Παρατηρούνται φλέβες καστανέρυθρες πλούσιες σε οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου που φέρουν αδροκρυσταλλικό υλικό (Εικόνα 5.46(α), 5.46(β), 5.46(γ)) που κατά τόπους έχουν απομακρυνθεί, πιθανότατα λόγω διαφορετικής απόκρισης στα περιβαλλοντικά φορτία (διαφορετικός συντελεστής θερμικής διαστολής, διαφορετική επιδεκτικότητα στην φθορά). Επιπλέον, εντοπίζονται μικροκρατήρες (Εικόνα 5.46(στ)) που στον πυθμένα φέρουν μαύρη βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.46(δ)).

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_16** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



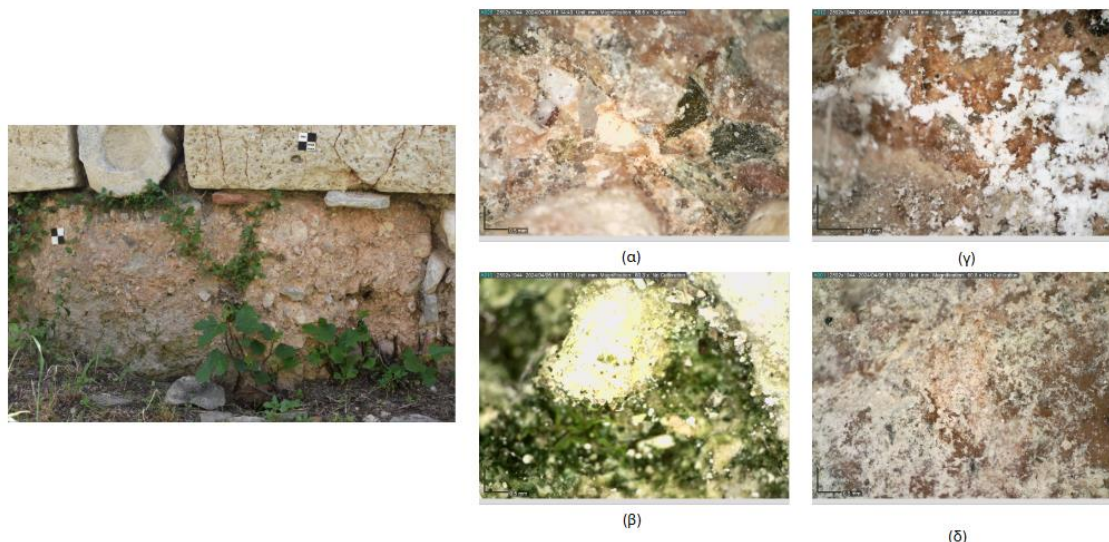
Εικόνα 5.47: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 3, λίθο 16 και εικόνες DM

Είναι ένας απολιθοματοφόρος λίθος (Εικόνα 5.47(δ)) με επιμήκη ρωγμή που έχει προκύψει από την απώλεια αυθεντικού υλικού φλέβας (Εικόνα 5.47(α), 5.47(δ)) πλούσιας σε οξειδία και

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

υδροξείδια του σιδήρου και αδροκρυσταλλικού υλικού (Εικόνα 5.47(γ)). Επιπλέον, κατά τόπους αναπτύσσεται μαύρη βιοδιάβρωση και βιοβελονισμός.

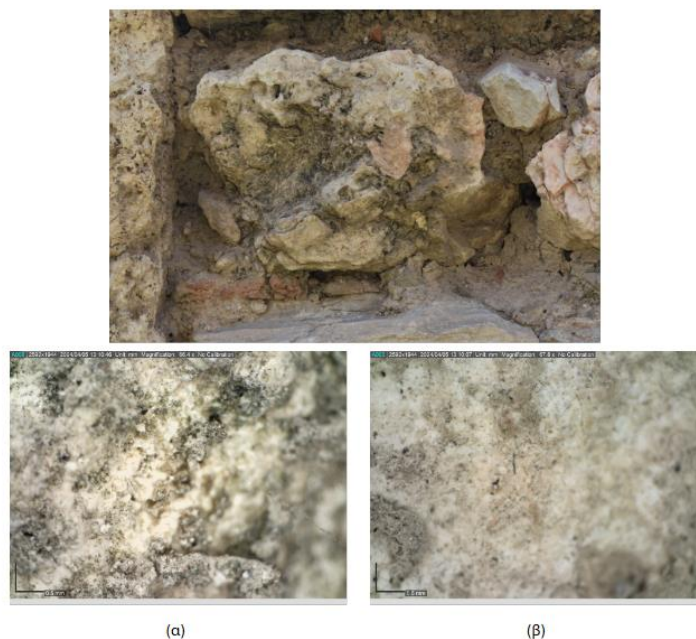
Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_21** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.48: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, λίθο 21 και εικόνες DM

Πρόκειται για κροκαλοπαγή λίθο με εξανθήσεις αλάτων (Εικόνα 5.48(γ)) και γκρίζα κρούστα στο κάτω μέρος (Εικόνα 5.48(δ)). Πιθανά λόγω επικαθήσεων χώματος, παρατηρείται ανάπτυξη βρύων (Εικόνα 5.48(β)) και κατά τόπους μερική συνοχή συνδετικού υλικού με τους κλάστες (Εικόνα 5.48(α)). Επιπλέον, υπάρχει μία ρωγμή στο κέντρο του λίθου και αναπτύσσεται ανώτερη βλάστηση.

Για τον λίθο με κωδική ονομασία **Stone_24** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

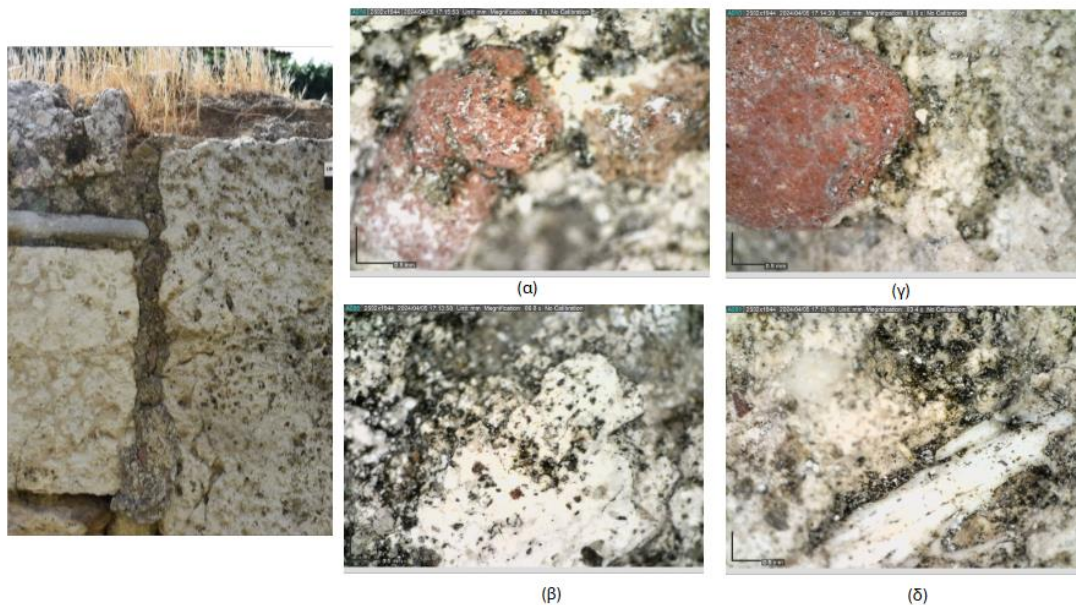


Εικόνα 5.49: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, λίθο 24 και εικόνες DM

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Παρατηρείται μαύρη βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.49(α)), απώλεια αυθεντικού υλικού, λειχήνες, μικροσπές, μικροκρατήρες και βιοβελονισμός (Εικόνα 5.49(β)).

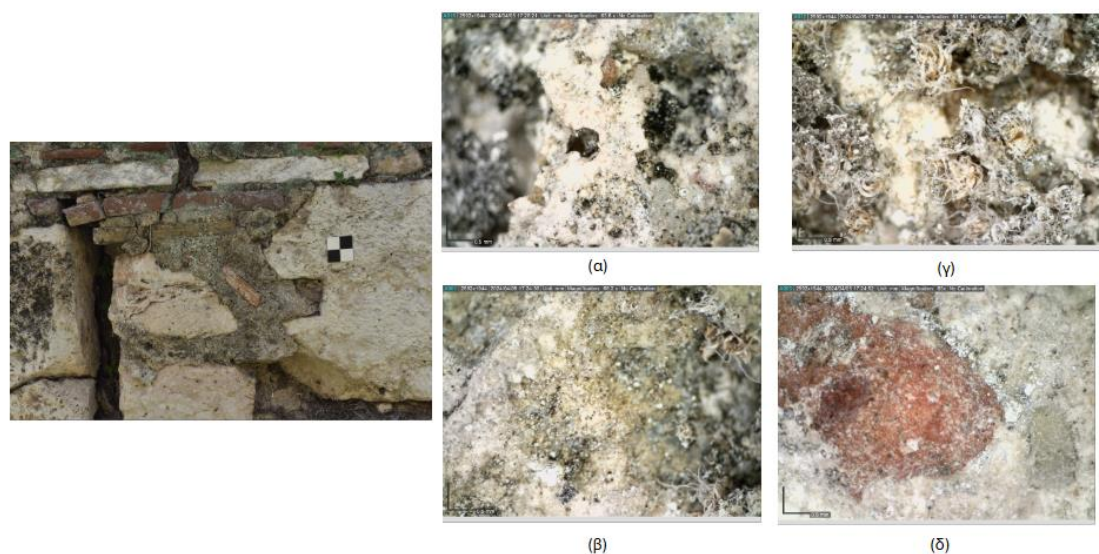
Για το ιστορικό κονίαμα με κωδική ονομασία **Historical_1** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.50: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, ιστορικό κονίαμα 1 και εικόνες DM

Εμπεριέχει λευκή κονία με ανοιχτόχρωμα αδρανή και παρουσιάζει καλή συνοχή με τα αδρανή (Εικόνα 5.50(γ)). Παρατηρείται μαύρη βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.50(β), 5.50(δ)), λειχήνες και βιοβελονισμός (Εικόνα 5.50(α)).

Για το ιστορικό κονίαμα με κωδική ονομασία **Historical_2** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

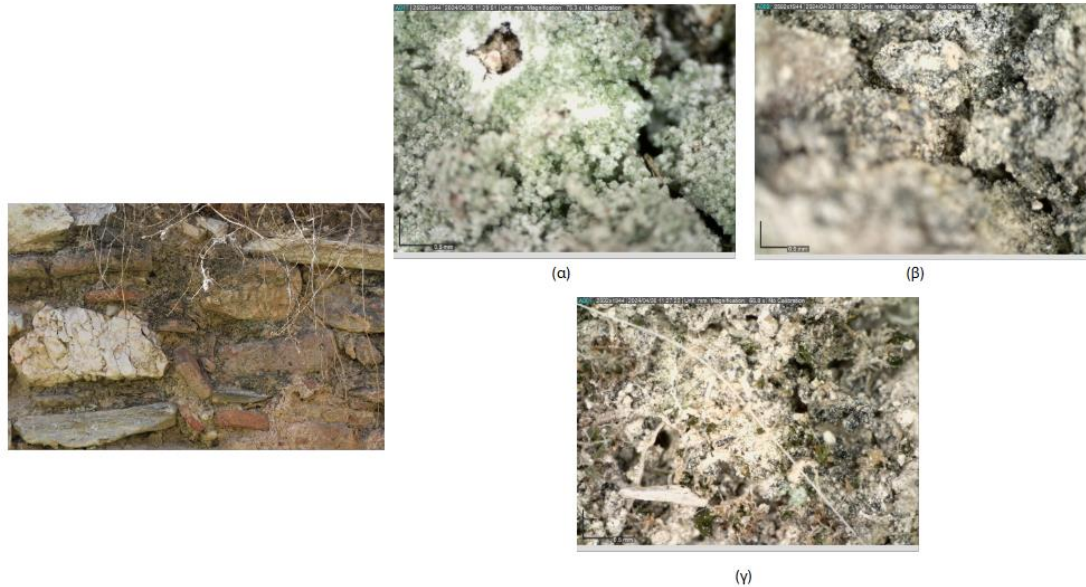


Εικόνα 5.51: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, ιστορικό κονίαμα 2 και εικόνες DM

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Παρατηρείται ανάπτυξη βρύων (Εικόνα 5.51(α), 5.51(β), 5.51(γ)), ανοιχτόχρωμα αδρανή κάποια από τα οποία είναι θραυσμένο κεραμίδι (Εικόνα 5.51(δ)).

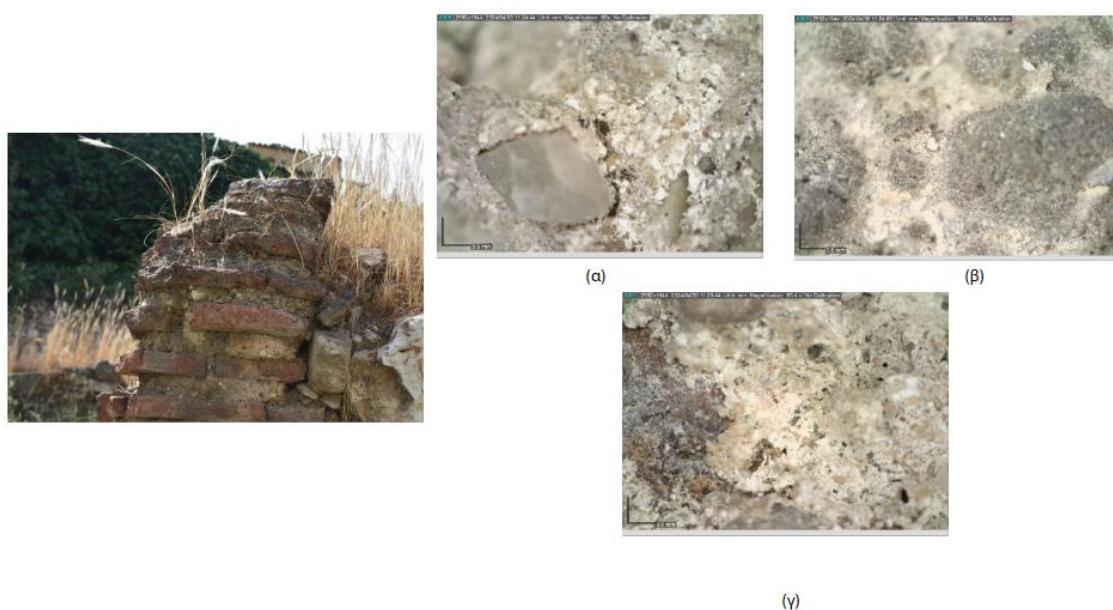
Για το ιστορικό κονίαμα με κωδική ονομασία **Historical_3** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.52: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, ιστορικό κονίαμα 3 και εικόνες DM

Πρόκειται για ιστορικό κονίαμα με πηλώδη υφή. Παρατηρείται μαύρη βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.52(γ)), βρύα (Εικόνα 5.52(α)), απώλεια αυθεντικού υλικού και έντονη αποσάθρωση κονιάματος (Εικόνα 5.52(β)).

Για το ιστορικό κονίαμα με κωδική ονομασία **Historical_4** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

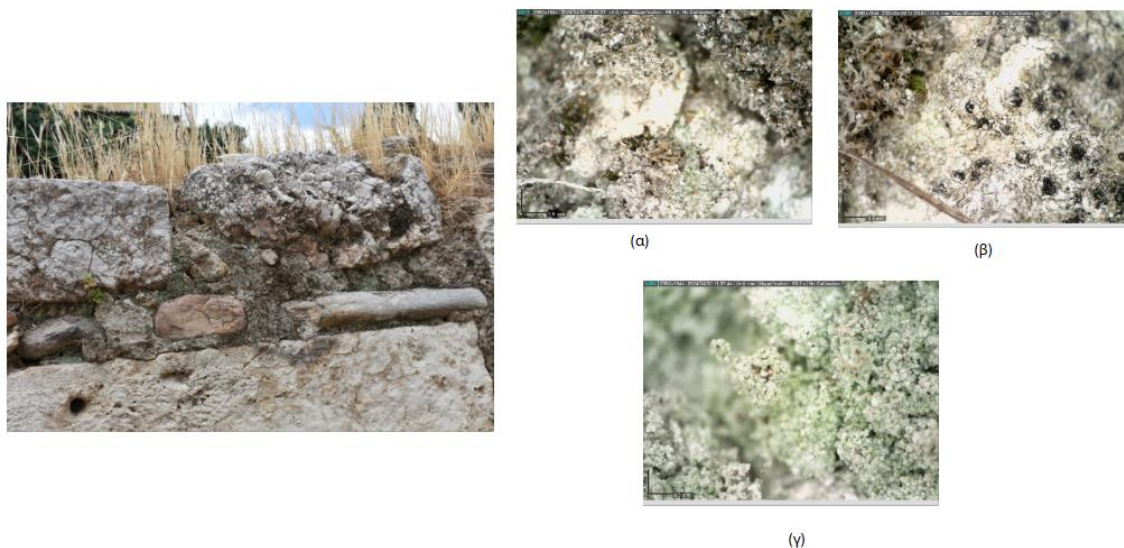


Εικόνα 5.53: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, ιστορικό κονίαμα 4 και εικόνες DM

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Ιστορικό κονίαμα με λευκή κονία με ανοιχτόχρωμα αδρανή (Εικόνα 5.53(α), 5.53 (β)), παρατηρούνται λειχήνες και μερική συνοχή ανάμεσα στην κονία και τα αδρανή (Εικόνα 5.53(γ)).

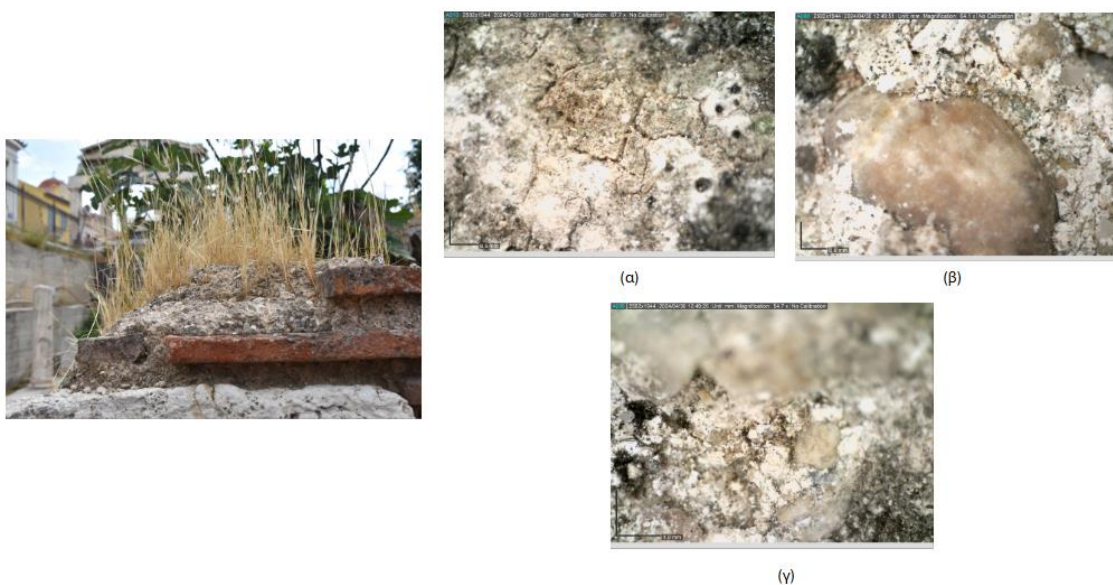
Για το ιστορικό κονίαμα με κωδική ονομασία **Historical_5** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.54: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, ιστορικό κονίαμα 5 και εικόνες DM

Παρατηρείται μαύρη βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.54(α), 5.54 (β)), βρύα και λειχήνες (Εικόνα 5.54(γ)). Επιπλέον, δεν είναι εφικτή η αναγνώριση υφής και μορφολογίας λόγω έντονης διάβρωσης.

Για το ιστορικό κονίαμα με κωδική ονομασία **Historical_6** που φαίνεται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:

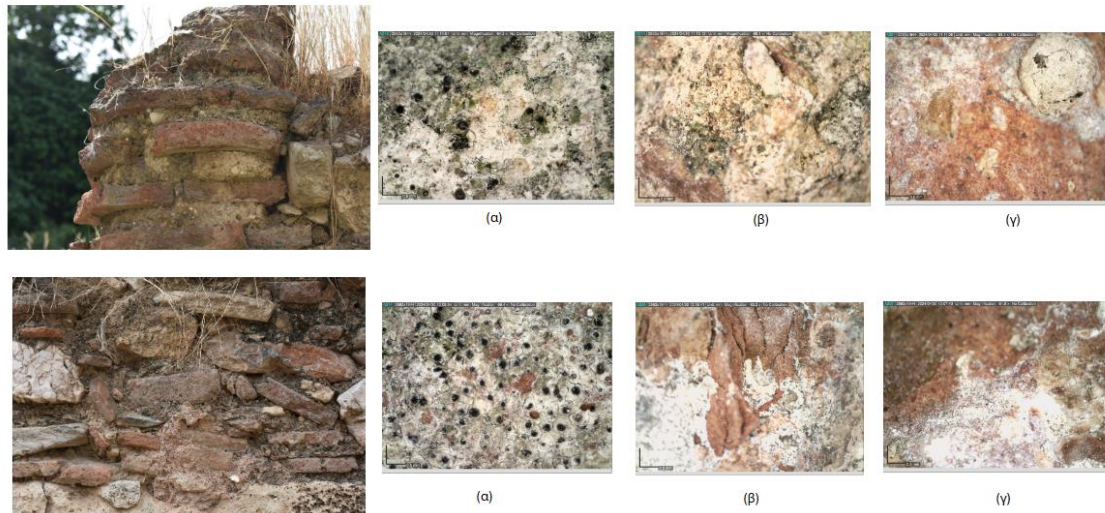


Εικόνα 5.55: Μακροσκοπική εικόνα για Τοιχίο 3, ιστορικό κονίαμα 6 και εικόνες DM

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Πρόκειται για ιστορικό κονιάμα με λευκή κονία (Εικόνα 5.55(β)), και αδρανή κάποια εκ των οποίων παρουσιάζουν διάμετρο μεγαλύτερη του 1 mm. Παρατηρούνται βρύα, λειχήνες και έντονη αποσάθρωση (Εικόνα 5.55(α), 5.55(γ)).

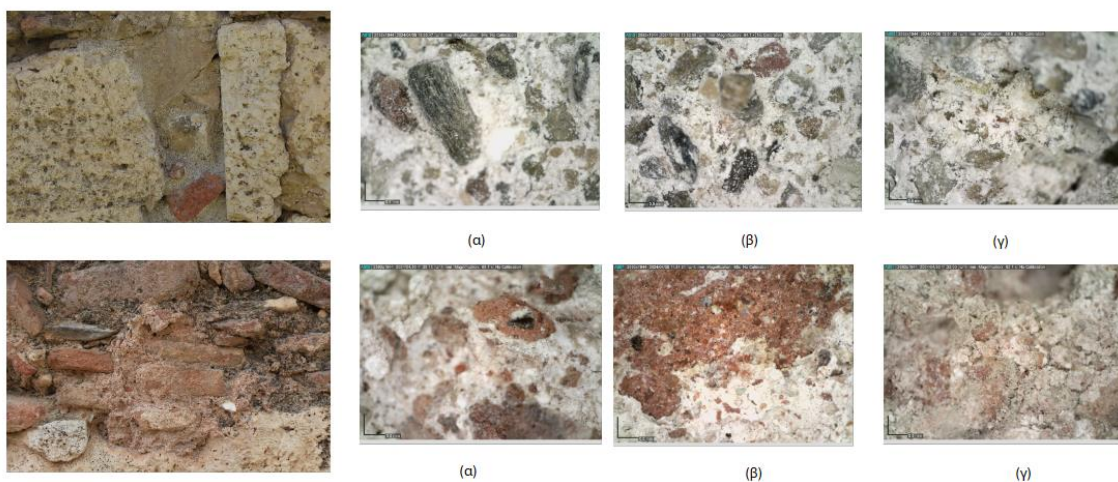
Για τους πλίνθους με κωδική ονομασία **Bricks_1-3** που φαίνονται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.56: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 3, πλίνθοι 1-3 και εικόνες DM

Παρατηρούνται λειχήνες, βρύα, γκρίζου και λευκού χρώματος κρούστες (Εικόνα 5.56(α) πλίνθοι 1, 5.56(β) και (γ) πλίνθοι 3), πιθανώς μη βιογενούς προέλευσης, κατά τόπους έντονη αποσάθρωση, πιθανή παρουσία αλάτων και μαύρη βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.56(α) πλίνθοι 3).

Για τα κονιάματα αποκατάστασης με κωδική ονομασία **Restoration_1-2** που φαίνονται στην εικόνα, ισχύουν τα παρακάτω:



Εικόνα 5.57: Μακροσκοπική εικόνα για Τοίχιο 3, κονιάμα αποκατάστασης 1-2 και εικόνες DM

Παρατηρούνται λειχήνες, βρύα, γκρίζου και λευκού χρώματος κρούστες (Εικόνα 5.57(α), 5.57(β), 5.57(γ) κονίαμα αποκατάστασης 1, 5.57(α) κονίαμα αποκατάστασης 2) , πιθανώς μη βιογενούς προέλευσης, κατά τόπους έντονη αποσάθρωση, πιθανή παρουσία αλάτων (Εικόνα 5.57(β) κονίαμα αποκατάστασης 2) και μαύρη βιοδιάβρωση (Εικόνα 5.57(γ) κονίαμα αποκατάστασης 2).

Συμπερασματικά, ως προς τα δομικά υλικά, σε μεγαλύτερο βαθμό συναντώνται δομόλιθοι συμπαγούς δομής και μορφολογίας, που κάποιες φορές εμφανίζουν κοκκινωπές χροιές λόγω οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου. Εμφανίζονται επιπλέον, συμπαγείς λίθοι από αδροκρυσταλλικό υλικό, σε κάποιες περιπτώσεις με γκρίζες φλεβώσεις. Ακόμα, κροκαλοπαγείς ή «αρουραίοι» λίθοι οι οποίοι αναγνωρίζονται και με μακροσκοπική παρατήρηση λόγω των κροκάλων που περιέχουν. Απολιθωματοφόροι λίθοι είναι ευδιάκριτοι λόγω των απολιθωμάτων (κοχύλια, κοχλίες, κ.α.) που παρατηρούνται ή έχουν αποκολληθεί και έχουν αφήσει το αποτύπωμα τους. Επιπλέον, παρατηρείται και ένας λίθος με υφή μαρμάρου, συμπέρασμα που εξάγεται από το αδροκρυσταλλικό υλικό που εμφανίζει. Τέλος οι πλίνθοι δεν παρουσιάζουν καλή κατάσταση διατήρησης, τα ιστορικά κονιάματα αποτελούνται από λευκή κονία με ανοιχτόχρωμα αδρανή, ενώ τα κονιάματα αποκατάστασης εμπεριέχουν λευκή κονία με ανοιχτόχρωμα γκρίζα και γκρίζομαυρα αδρανή, τα οποία είναι συνεκτικά συνδεδεμένα με την κονία.

Ως προς τις φθορές, όλες παρατηρούνται από το ψηφιακό μικροσκόπιο, εκτός από την απώλεια λίθου και κονιάματος, αλλά και των ρωγμών μεγάλου εύρους, που βασίστηκαν σε μακροσκοπικές παρατηρήσεις.

5.2.2 Παρουσίαση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων IRT

Ο θερμογραφικός έλεγχος πραγματοποιήθηκε σε τρεις διαφορετικές ώρες και ημέρες τον Ιούνιο 2024 και παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποια αποτελέσματα για τις όψεις ενδιαφέροντος. Η πλειονότητα των θερμοκρασιακών καταγραφών έχουν προκύψει από την Θερμογραφία Υπερύθρου που πραγματοποιήθηκε στις 16 Ιούνη 2024. Όταν λήφθηκαν οι εικόνες Θερμογραφίας Υπερύθρου, οι εν λόγω όψεις ήταν εκτεθειμένες στον ήλιο με σχεδόν ομοιόμορφο τρόπο την ώρα λήψης, εξωτερική θερμοκρασία ήταν $T=32.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ και η σχετική υγρασία $RH\%=40\% \pm 4\%$.

Για το τοιχίο TX1:

Στην Εικόνα 5.58 παρουσιάζεται μία μακροσκοπική λήψη του τοιχίου ενδιαφέροντος. Πρόκειται για ισόδομη ξερολιθοδομή που εδράζεται σε ανισόπεδο έδαφος και στο κάτω δεξιό τμήμα της συγκεντρώνονται υπόγεια ύδατα. Παρατηρείται μία κατακόρυφη ρωγμή στη βόρεια όψη του, λόγω του ότι η παρειά του τοίχου υποχωρεί. Στους δύο άνω δόμους η ρωγμή διέρχεται καθέτως ανάμεσα στους αρμούς των δύο δυτικών επαπτόμενων πωροπλίνθων, ενώ στον τρίτο από άνω δόμο η ρωγμή διασχίζει καθέτως τον δεύτερο από δυτικά πωρόλιθο. Εντοπίζονται φθορές και απώλεια υλικού λόγω διάβρωσης, βρύων, λειχήνων και μυκήτων.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.58: Μακροσκοπική φωτογραφία TX1



Εικόνα 5.59: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR8617, RGB εικόνα FLIR8618

Στην εικόνα 5.59 παρουσιάζεται το κάτω αριστερό τμήμα της τοιχοποιίας, το οποίο έρχεται σε επαφή με το έδαφος. Παρατηρούνται πολύ μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές στην τοιχοποιία από 24°C έως περίπου 40°C. Το κατώτερο τμήμα αποδίδεται ψυχρότερο, καθώς εμφανίζεται τριχοειδής αναρρίχηση υγρασίας. Ακόμα, ο απολιθωματοφόρος λίθος Stone 4 εμφανίζει μέση θερμοκρασία ~29°C και ταυτόχρονα παρατηρείται συνολική απομείωση των λίθων καθώς είναι εμφανείς οι ρωγμές και η απώλεια του υλικού.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.60: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR8623, RGB εικόνα FLIR8624

Παρουσιάζεται το επάνω και μεσαίο τμήμα της τοιχοποιίας. Στο πάνω τμήμα συσσωρεύεται υψηλή θερμοκρασία, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας και φαίνεται η διαφοροποίηση των υγιών τμημάτων των λίθων από αυτών που έχουν προσβληθεί από βρύα λειχήνες και απώλεια υλικού. Για παράδειγμα ο συμπαγής δομολίθος Stone 5, παρουσιάζει μέση θερμοκρασία $\sim 30^{\circ}\text{C}$, λόγω απώλειας αυθεντικού υλικού εξαιτίας της βιοδιάβρωσης (ευρεία ανάπτυξη βρύων στο κεντρικό τμήμα του λίθου). Ενώ, γίνεται φανερή και η διαμήκης ρωγμή που αναφέρεται παραπάνω.



Εικόνα 5.61: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR8637, RGB εικόνα FLIR8638

Στην εικόνα 5.61 παρουσιάζεται το κάτω δεξιό τμήμα της τοιχοποιίας. Είναι φανερή η διαφοροποίηση των υλικών καθώς οι πλίνθοι (κάτω) συλλέγουν πιο υψηλή θερμοκρασία συγκριτικά με τους λίθους, όπως και η βλάστηση. Η χαμηλή θερμοκρασία των περίπου 25°C οφείλεται στην συσσώρευση υδάτων, που διατρέχουν στο κάτω μέρος και προκαλούν τριχοειδή αναρρίχηση.

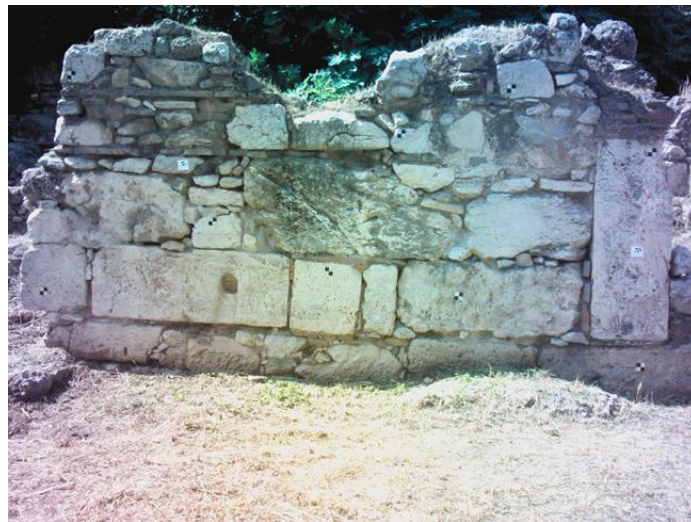
Γενικότερα για τον TX1, η σταδιακή μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας, από τις ανώτερες προς τις χαμηλότερες ζώνες της τοιχοποιίας οφείλεται στην ανερχόμενη από το έδαφος υγρασίας. Στην περιοχή αυτή διάφοροι παράγοντες, όπως ο προσανατολισμός και η μη έκθεση της

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

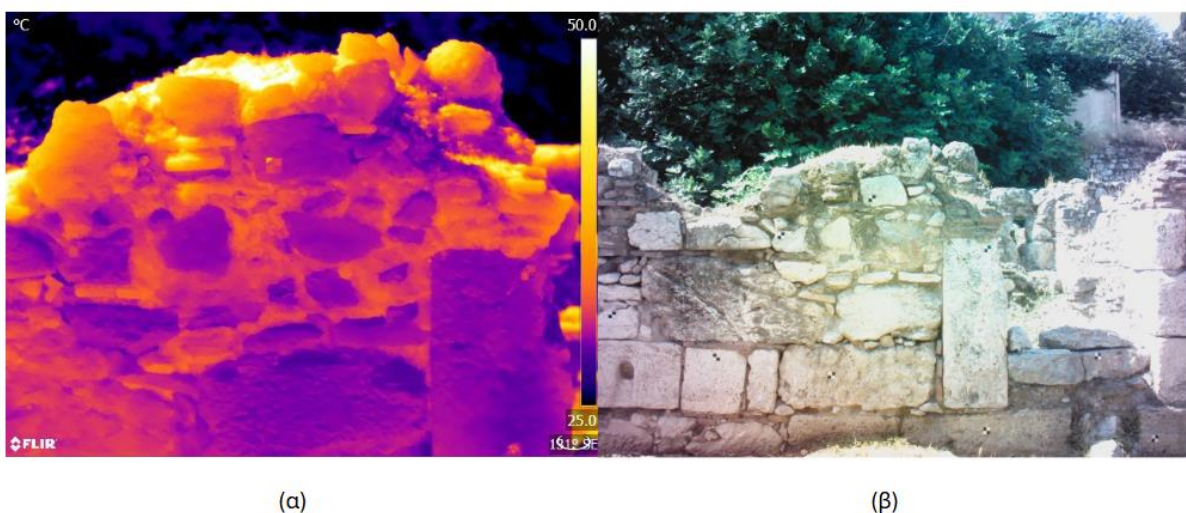
επιφάνειας στην ηλιακή ακτινοβολία, η γεινίαση με τα όμβρια ύδατα που ρέουν από κάτω και η ανερχόμενη υγρασία ευνοούν την ανάπτυξη βιοδιάβρωσης και βλάστησης, η οποία στις χαμηλότερες ζώνες είναι εντονότατη. Οι διάφοροι βιολογικοί παράγοντες, όπως βρύα, λειχήνες κ.α. συμβάλλουν στην συγκέντρωση υψηλού ποσοστού υγρασίας και στην εμφάνιση χαμηλών θερμοκρασιών. Οι απολιθωματοφόροι λίθοι παρουσιάζουν μέση θερμοκρασία $\sim 29^{\circ}\text{C}$, ενώ οι συμπαγείς δομόλιθοι $\sim 30^{\circ}\text{C}$.

Για το τοιχίο TX2:

Στην Εικόνα 5.62 παρουσιάζεται μία μακροσκοπική λήψη του τοιχίου ενδιαφέροντος. Πρόκειται για επιχρισμένη τοιχοποιία οικίας ή εμπορικού καταστήματος, αποτελούμενη από αργολιθοδομή. Αποτελείται στο μεγαλύτερο της τμήμα από συμπαγούς δομόλιθους, αλλά και σε μικρότερη έκταση από πλίνθους, ιστορικό κονίαμα και κονίαμα αποκατάστασης. Όλα αυτά τα υλικά έχουν διαφορετική θερμοκρασιακή απόκριση, και για αυτό εξάγονται ποικίλα και χρήσιμα συμπεράσματα από τη Θερμογραφία Υπερύθρου.



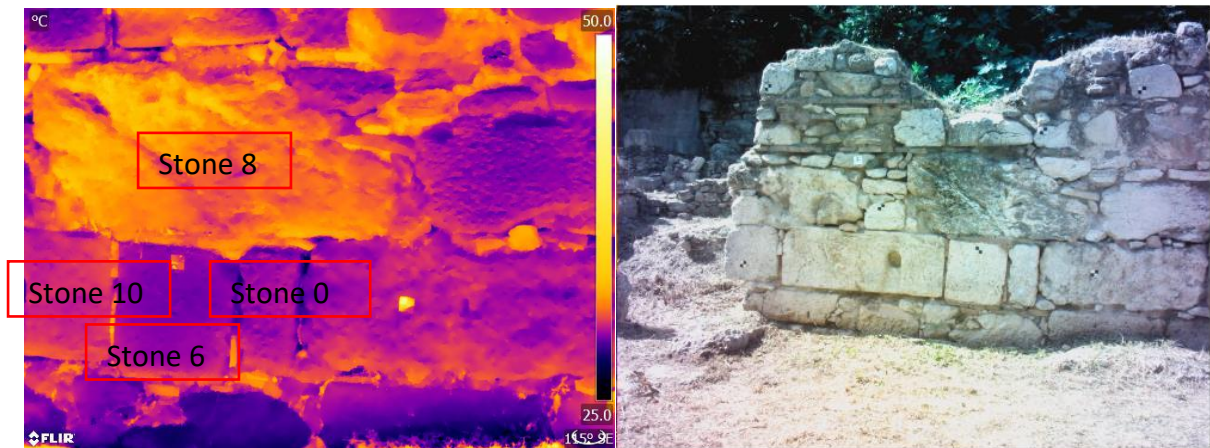
Εικόνα 5.62: Μακροσκοπική φωτογραφία TX2



Εικόνα 5. 63: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR8473, RGB εικόνα FLIR8474

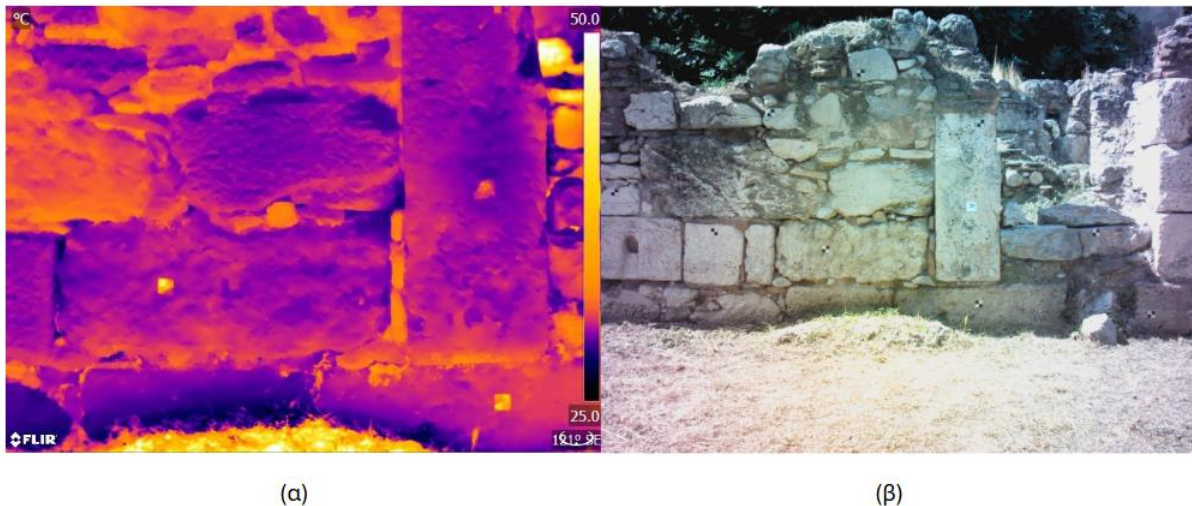
Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Στην Εικόνα 5.63 παρουσιάζεται το πάνω δεξί τμήμα της τοιχοποιίας. Παρατηρείται μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ λίθου και κονιάματος, το οποίο επιτρέπει τον εύκολο διαχωρισμό των υλικών. Οι πλίνθοι και τα κονιάματα παρουσιάζουν σχετική ομοιομορφία ως προς την επιφανειακή τους θερμοκρασία, η οποία κυμαίνεται περίπου από 35°C έως 45°C, δηλαδή κατά τουλάχιστον 5°C μεγαλύτερη από των λίθων στην ίδια περιοχή. Παρατηρείται διαφοροποίηση της θερμοκρασίας στο πάνω τμήμα του τοιχίου που οφείλεται στον διαφορετικό βαθμό έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, λόγω προσανατολισμού. Είναι ευδιάκριτα τμήματα λίθων που έχουν αποσπαστεί, καθώς και τμήματα κονιάματος που έχουν αλλοιωθεί.



Εικόνα 5.64: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR8495, RGB εικόνα FLIR8496

Στην Εικόνα 5.64 παρουσιάζεται το μεσαίο τμήμα του τοιχίου, όπου και παρατηρείται μικρή θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των υλικών (από 28°C έως 33°C), καθώς η πλειονότητα των υλικών είναι λίθοι. Είναι εμφανή τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των λίθων, όπως οι σκαλότρυπες, αλλά και οι απομείωση των υλικών, όπως φαίνεται στον λίθο με την πιο μεγάλη θερμοκρασιακή τιμή, που τον διαπερνά μία μεγάλου εύρους και αβαθής ρωγμή, που ξεκινάει από την επάνω αριστερή γωνία και καταλήγει στο μέσο της απέναντι πλευράς που ορίζει το παραλληλόγραμμο. Οι απολιθωματοφόροι λίθοι (Stone 8, 10, 6, 0) παρουσιάζουν σαφή θερμοκρασιακή διαφοροποίηση μεταξύ τους, λόγω των διαφορετικών τύπων φθοράς που παρουσιάζουν. Στο τμήμα του λίθου 8 εκατέρωθεν της ρωγμής, που παρουσιάζει έντονη βιοδιάβρωση, καταγράφονται υψηλότερες θερμοκρασιακές τιμές κατά 3 °C σε σύγκριση με το δεξί του τμήμα όπου έχει αναπτυχθεί κρούστα. Οι υπόλοιποι απολιθωματοφόροι λίθοι, παρουσιάζουν μεγαλύτερη θερμοκρασιακή ομοιογένεια, αντίστοιχη με αυτή των παρακείμενων συμπαγών δομολίθων.



Εικόνα 5.65: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR8497, RGB εικόνα FLIR8498

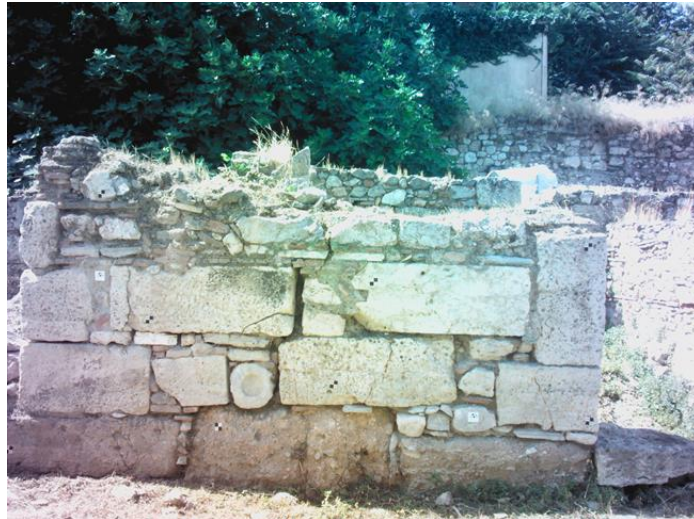
Στην Εικόνα 5.65 παρουσιάζεται το κάτω δεξί τμήμα της τοιχοποιίας και παρατηρούνται πιο χαμηλές θερμοκρασίες λόγω της θέσης του ήλιου. Διακρίνονται και πάλι πλίνθοι και κονιάματα σε σχέση με τους λίθους που είναι πιο ψυχροί. Ενώ, είναι φανερή επίσης και η απομείωση των υλικών όπου η θερμοκρασία γίνεται υψηλότερη. Η κάτω σειρά λίθων, που είναι κροκαλοπαγείς, παρουσιάζουν σαφή επίδραση της τριχοειδούς αναρρίχησης της υγρασίας από το έδαφος. Παράλληλα, τα Ιστορικά κονιάματα παρουσιάζουν σαφώς υψηλότερη θερμοκρασία από τα κονιάματα αποκατάστασης και την συντριπτική πλειοψηφία των λίθων.

Γενικότερα για τον ΤΧ2, παρουσιάζεται έντονη θερμοκρασιακή μεταβολή μεταξύ των δομικών υλικών. Στο κάτω μέρος (κροκαλοπαγείς λίθοι) παρατηρείται τριχοειδής αναρρίχηση υγρασίας, τα ιστορικά κονιάματα εμφανίζουν υψηλότερες θερμοκρασίες συγκριτικά με τα υπόλοιπα δομικά υλικά και τέλος, οι αποίθωματοφόροι λίθοι παρουσιάζουν έντονη θερμοκρασιακή διαφοροποίηση και μεταξύ τους λόγω των φθορών που αναπτύσσονται σε αυτούς.

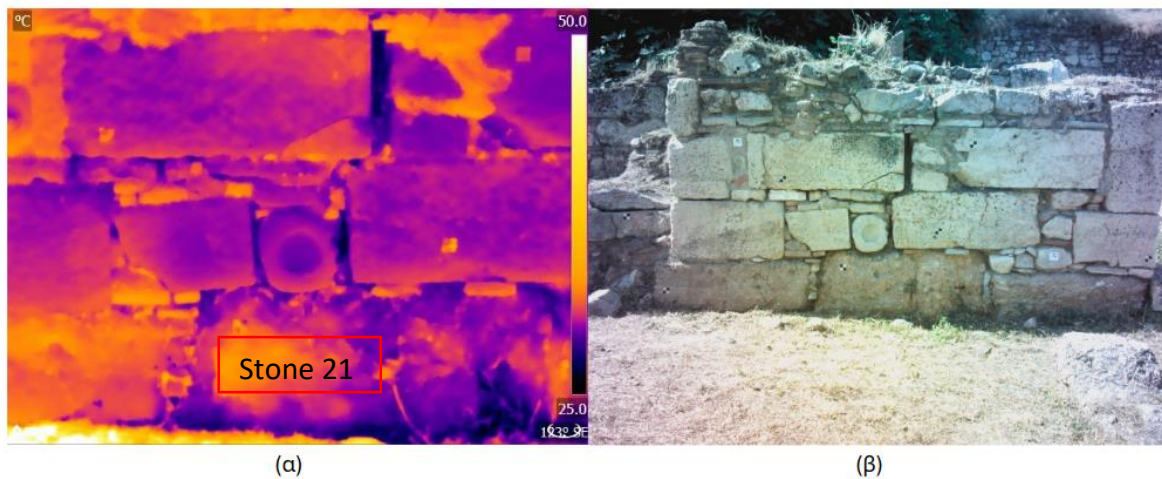
Για το τοίχιο ΤΧ3:

Στην Εικόνα 5.66 παρουσιάζεται μία μακροσκοπική λήψη του τοιχίου ενδιαφέροντος. Πρόκειται για επιχρισμένη τοιχοποιία οικίας ή εμπορικού καταστήματος, αποτελούμενη από αργολιθοδομή. Αποτελείται από τα ίδια υλικά με τον ΤΧ2 και ξεχωρίζουν πολύ έντονα τα κονιάματα αποκατάστασης λόγω της σύστασης τους που δεν είναι συμβατή με αυτή των αυθεντικών υλικών. Στην έδραση του αποτελείται από κροκαλοπαγείς λίθους, ενώ έχει και περισσότερους αδροκρυσταλλικούς λίθους συγκριτικά με τον ΤΧ2.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



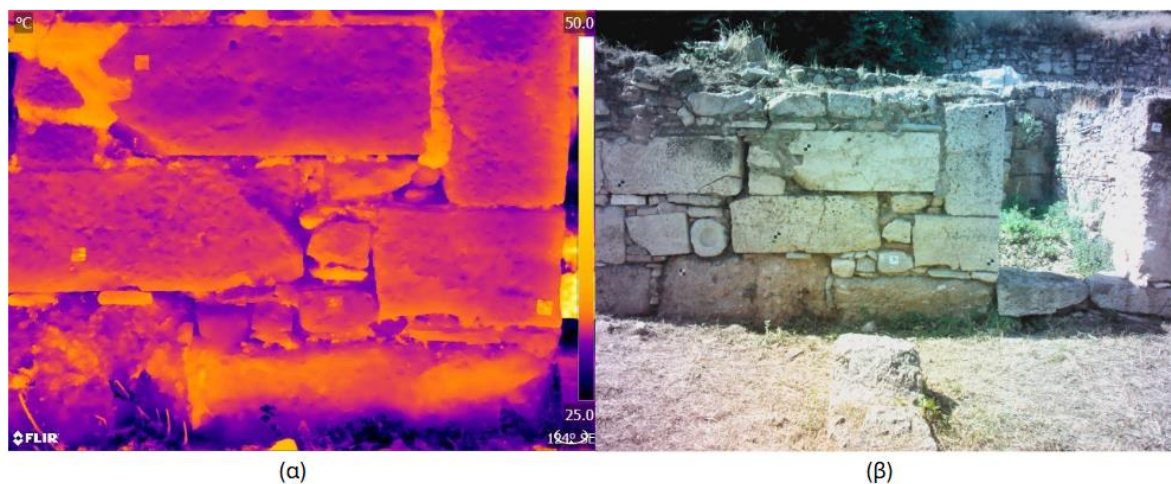
Εικόνα 5.66: Μακροσκοπική φωτογραφία TX3



Εικόνα 5.67: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR8545, RGB εικόνα FLIR8546

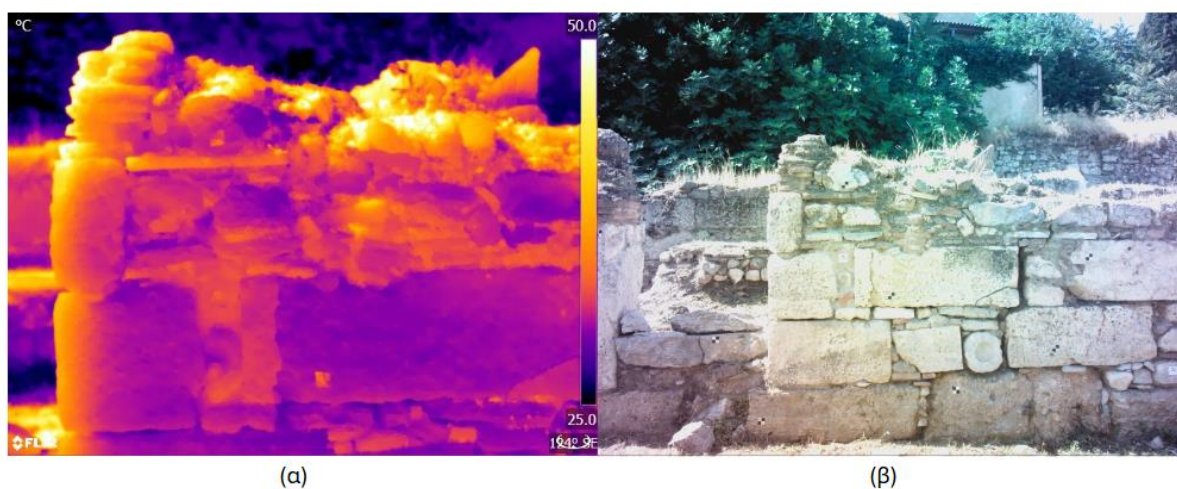
Στην Εικόνα 5.67 παρουσιάζεται κεντρικό τμήμα της τοιχοποιίας που έρχεται σε επαφή με το έδαφος. Είναι φανερά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των λίθων, καθώς και οι απώλειες και οι ρωγμές τους. Η πιο υψηλή θερμοκρασία συγκεντρώνεται στο κονίαμα αποκατάστασης, ενώ η πιο χαμηλή στον απομειωμένο κροκαλοπαγή λίθο (Stone 21), λόγω της άμεσης επαφής του με το έδαφος που παρουσιάζει υγρασία.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.68: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR8569, RGB εικόνα FLIR8570

Στην Εικόνα 5.68 παρουσιάζεται το κάτω δεξί τμήμα της τοιχοποιίας. Παρατηρούνται τα διαφορετικά γεωμετρικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά των δομικών υλικών καθώς και το κονίαμα αποκατάστασης που έχει συμπληρωθεί. Στο μεγαλύτερο τους τμήμα οι συγκεκριμένοι λίθοι έχουν ομοιόμορφη θερμοκρασία και κατά συνέπεια είναι σε καλύτερη κατάσταση διατήρησης από την πλειονότητα των δομικών υλικών. Ενώ, στο κάτω τμήμα παρουσιάζεται πιο χαμηλή θερμοκρασία λόγω υγρασίας.



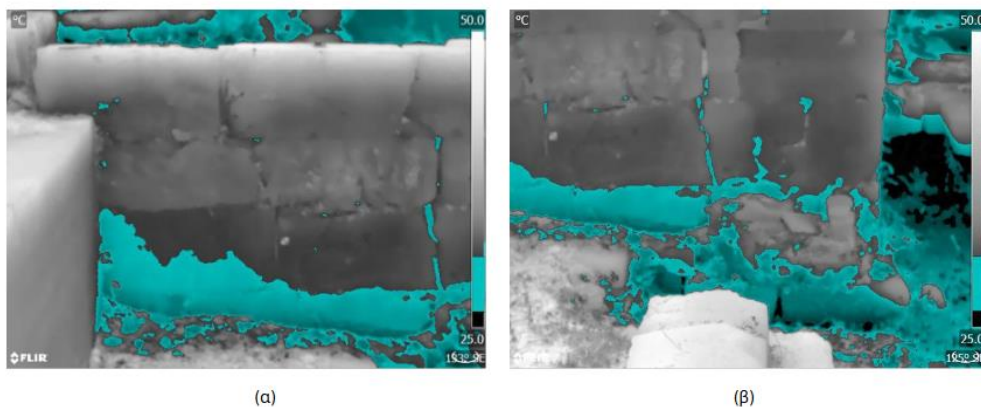
Εικόνα 5.69: Θερμογραφία Υπερύθρου FLIR 8525, RGB εικόνα FLIR8526

Στην Εικόνα 5.69 παρουσιάζεται το πάνω αριστερό τμήμα της τοιχοποιίας. Αποτελείται από λίθους, πλίνθους, ιστορικό κονίαμα και κονίαμα αποκατάστασης. Παρατηρείται διαφοροποίηση της θερμοκρασίας στο αριστερό και πάνω τμήμα του τοιχίου που οφείλεται στον διαφορετικό βαθμό έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, λόγω προσανατολισμού. Ρωγμές και απώλεια υλικού είναι επίσης αντιληπτά από το συγκεκριμένο θερμογράφημα. Τα ιστορικά κονιάματα, και σε αυτό το τοίχιο, παρουσιάζουν υψηλότερες θερμοκρασίες.

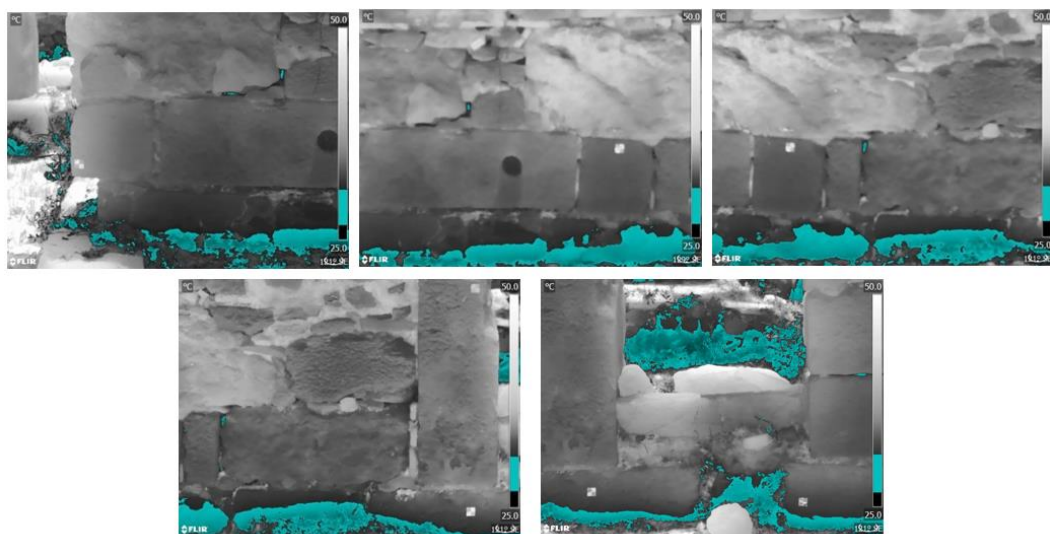
Γενικότερα ο TX3 φαίνεται να παρουσιάζει χαρακτηριστικά κοινά με αυτά του TX2, δηλαδή παραπλήσιες θερμοκρασίες για τις αντίστοιχες περιοχές, όπως τα ιστορικά κονιάματα που παρουσιάζουν υψηλές θερμοκρασίες. Ενώ, οι κροκαλοπαγείς λίθοι που συνιστούν την έδραση της τοιχοποιίας εμφανίζουν έντονη διάβρωση, κυρίως λόγω της υγρασίας.

Μέσω της Θερμογραφίας Υπερύθρου και για τους τρεις τοίχους, παρατηρείται μία ανισοκατανομή των θερμοκρασιών. Συγκεκριμένα για τον TX1 παρατηρείται έντονο πρόβλημα υγρασίας και για τους TX2-TX3 παρατηρούνται μεγάλες θερμοκρασίες στο ιστορικό κονίαμα και έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές ανάμεσα στα ίδια υλικά, λόγω της επίδρασης των διαφορετικών τύπων φθοράς. Αποτέλεσμα της θερμοκρασιακής ανομοιογένειας είναι η εμφάνιση διάφορων μορφών φθοράς, που παρατηρούνται μακροσκοπικά, όπως η απώλεια αυθεντικού υλικού, μέσω της απόσπασης τμημάτων λίθου άλλα και ιστορικού κονιάματος.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι ισόθερμες εικόνες της Θερμογραφίας Υπερύθρου όπως προέκυψαν από την θερμική καταγραφή στις 15 Ιούνη 2023. Το θερμοκρασιακό διάστημα στο οποίο εντοπίζεται η τριχοειδής αναρρίχηση είναι μεταξύ 26,3 και 31 °C και βάσει αυτών, χαρτογραφήθηκε η υγρασία.

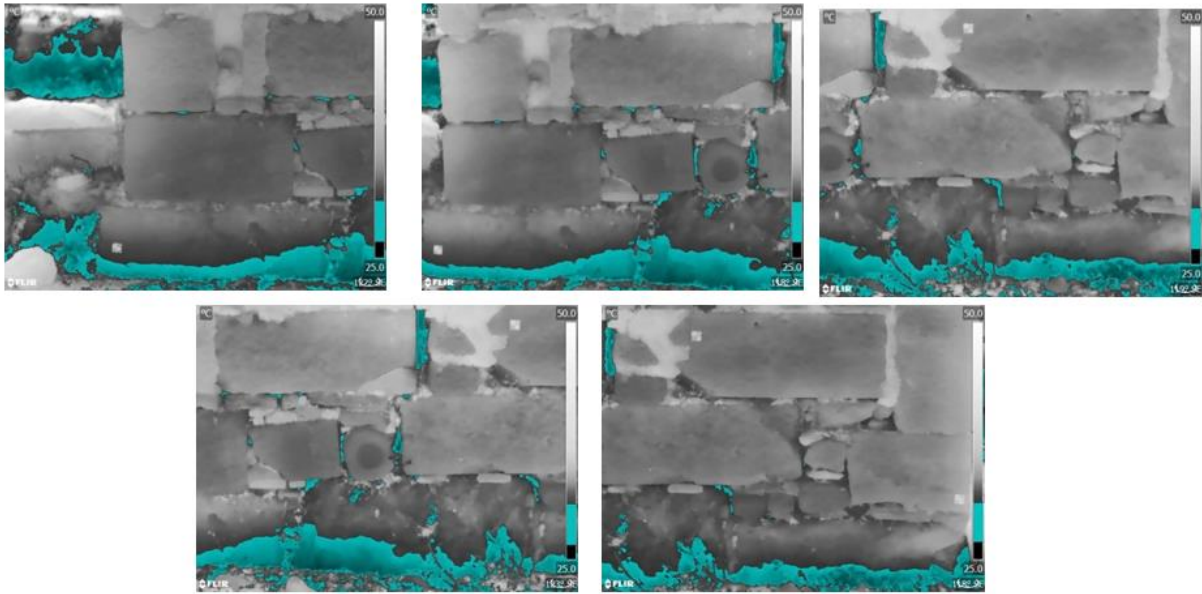


Εικόνα 5.70: Ισόθερμες εικόνες Θερμογραφίας Υπερύθρου για τον TX1, για το θερμοκρασιακό διάστημα 26,3-31 °C



Εικόνα 5.71: Ισόθερμες εικόνες Θερμογραφίας Υπερύθρου του TX2 για το θερμοκρασιακό διάστημα 26,3-31 °C

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5. 72: Ισόθερμες εικόνες Θερμογραφίας Υπερύθρου του TX3 για το θερμοκρασιακό διάστημα 26,3-31 °C

5.3 Παρουσίαση και αξιολόγηση 3d μοντέλου με υφή θερμογραφημάτων

Το τρισδιάστατο μοντέλο με υφή θερμογραφίας υπερύθρου δίνει πληθώρα δυνατοτήτων και αποτελεσμάτων στις ειδικότητες που ασχολούνται με την προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Πρώτα απ' όλα διασυνδέει τον χώρο με τις θερμοκρασιακές κατανομές που δίνουν τα θερμογραφήματα, με άλλα λόγια παρουσιάζει στην θερμοκρασιακή κατανομή, του αντικειμένου ενδιαφέροντος, στον χώρο. Επιπλέον, ενσωματώνει τις θερμοκρασιακές μεταβολές των δομικών υλικών των τοιχοποιιών στο γεωαναφερμένο τρισδιάστατο μοντέλο της επιφάνειας. Ακόμα, βοηθά στην βελτιωμένη ταξινόμηση των δομικών υλικών και των φθορών, διότι τα δεδομένα της Θερμογραφίας Υπερύθρου αποδίδονται με ακρίβεια στην θέση τους στον χώρο. Ενώ τέλος, παρέχει βελτιωμένο έλεγχο και αποτίμηση της κατάστασης διατήρησης των τοιχοποιιών. Για τη συγκεκριμένη διαδικασία επιλέχθηκε ο ενιαίος θερμογραφικός έλεγχος που έλαβε χώρα στις 16/06/2023 με εξωτερική θερμοκρασία $T=32.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ και σχετική υγρασία $\text{RH}\%=40\% \pm 4\%$.



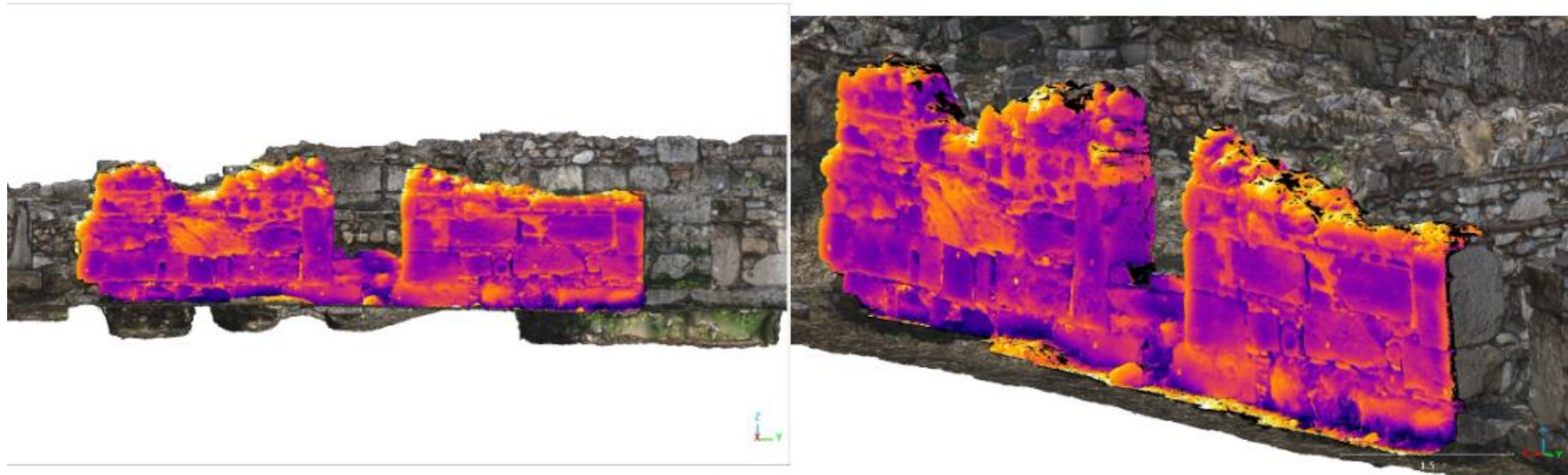
Εικόνα 5.73: Τρισδιάστατο μοντέλο με υφή Θερμογραφίας Υπερύθρου

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.74 η Θερμογραφία Υπερύθρου πλαισιώνεται από το τρισδιάστατο μοντέλο και επιτρέπει στους χρήστες να εξάγουν ασφαλή και ακριβή συμπεράσματα σχετικά με το πού εντοπίζεται υγρασία και σε ποιά δομικά υλικά οι φθορές απομειώνουν σε μεγάλο βαθμό τα υγιή υλικά. Για τον TX1 (Εικόνα 5.75) μπορεί με βεβαιότητα να εξαχθεί το συμπέρασμα πως συσσωρεύεται υγρασία στο κάτω μέρος της τοιχοποιίας, το οποίο ενισχύει την μεταφορά, την κρυστάλλωση και την ανακρυστάλλωση των αλάτων τα οποία μπορεί να προκαλέσουν δυσμενή αποτελέσματα. Επιπλέον, ότι ο κεντρικός ενδιάμεσος λίθος παρουσιάζει έντονες φθορές, καθώς και ότι κάτω δεξιά συναντώνται πλίνθοι, αφού συλλέγουν πιο υψηλή θερμοκρασία συγκριτικά με τους λίθους.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.74: Υφή Θερμογραφίας Υπερύθρου στον ΤΧ1



Εικόνα 5.75: Υφή Θερμογραφίας Υπερύθρου στους ΤΧ2-ΤΧ3

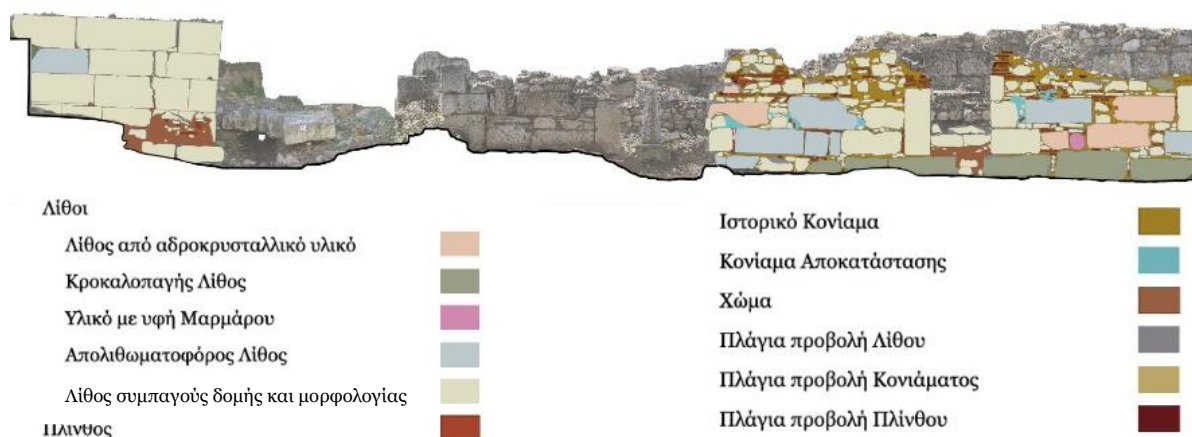
Ενώ για τους ΤΧ2-ΤΧ3 (Εικόνα 5.76) συμπεραίνεται πως κάποια από τα δομικά υλικά, και κυρίως λίθοι, παρουσιάζουν έντονη διάβρωση. Επιπλέον, τα κονιάματα συσσωρεύουν υψηλότερες θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να υπάρχουν έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές μεταξύ των υλικών, γεγονός που προκαλεί την χαλάρωση της σύνδεσης των υλικών και τη δημιουργία ρηγματώσεων. Τέλος, παρατηρείται τριχοειδής αναρρίχηση υγρασίας στο κάτω τμήμα των τοιχοποιιών που εμφανίζονται κροκαλοπαγείς λίθοι.

5.4 Παρουσίαση και αξιολόγηση θεματικού χάρτη των δομικών υλικών στο GIS

Η χαρτογράφηση των δομικών υλικών πραγματοποιήθηκε στο AutoCAD με χρήση πολυγώνων, ωστόσο για την αποθήκευση, διαχείριση, ανάλυση, οπτικοποίηση της ποιοτικής και ποσοτικής πληροφορίας και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, τα πολύγωνα αυτά εισήχθησαν στο QGIS. Στην Εικόνα 5.77, αλλά και στο παράρτημα που ακολουθεί στο τέλος αυτού του τεύχους, παρουσιάζεται ο θεματικός χάρτης των δομικών υλικών του νότιου τοίχου του κλιμακοστασίου και των προσόψεων των δωματίων 6-7-8, της Πλατείας Οδού.

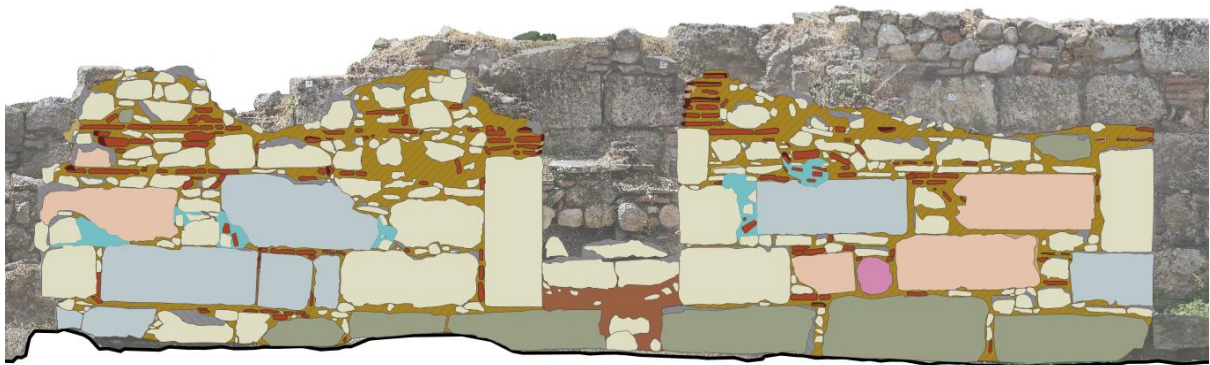
Για τον τοίχο 1 παρατηρείται πως αποτελείται κυρίως από λίθους συμπαγούς δομής και μορφολογίας, καθώς αποτελούσε το νότιο όριο-ανάλημμα της νότιας πτέρυγας της μνημειώδους κλίμακας (2ος αι.μ.Χ.) και ως εκ τούτου ήταν ισχυρός, κατασκευασμένος από λίθους επιμελημένης λιθοξοϊκής τέχνης, δομημένες κατά το ισοδομικό σύστημα.

Ενώ, οι τοίχοι 2 και 3 αποτελούνται από ποικιλία δομικών υλικών: διαφορετικούς λίθους, πλίνθους, ιστορικό κονίαμα και σε ένα μικρό μέρος κονίαμα αποκατάστασης, καθώς και λίγο χώμα. Παρατηρείται πως οι κροκαλοπαγείς λίθοι χρησιμοποιούνταν ως έδραση των τοιχοποιιών, ενώ στα πιο ψηλά στρώματα της τοιχοποιίας χρησιμοποιούνταν μικρότερα σε διαστάσεις δομικά υλικά, όπως μικρότεροι λίθοι συμπαγούς δομής και μορφολογίας, καθώς και αρκετοί πλίνθοι και ποσότητα ιστορικού κονιάματος για να συνδέσει τα υλικά μεταξύ τους. Οι τοίχοι αυτοί αποτελούσαν τις προσόψεις καταστημάτων και ήταν επιχρισμένοι, για αυτό και η δομή τους δεν παρουσιάζει κάποια τάξη.



Εικόνα 5.76 (α): Δομικά υλικά του νότιου τοίχου του κλιμακοστασίου και των προσόψεων των δωματίων 6-7-8, της Πλατείας Οδού

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.77 (β): Δομικά υλικά του νότιου τοίχου του κλιμακοστασίου και των προσόψεων των δωματίων 6-7-8, της Πλατείας Οδού

5.5 Παρουσίαση και αξιολόγηση θεματικού χάρτη των φθορών στο GIS

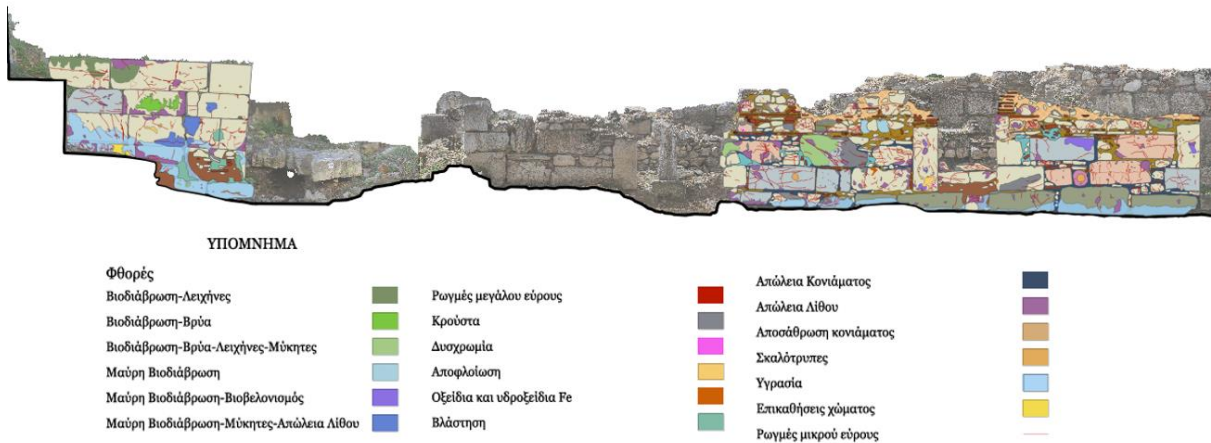
Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία χαρτογράφησης φθορών, όπως των δομικών υλικών. Συνεπώς, παρήχθη ο θεματικός χάρτης των φθορών στο QGIS και στην Εικόνα 5.75 και στο παράρτημα παρουσιάζονται οι φθορές του νότιου τοίχου του κλιμακοστασίου και των προσόψεων των δωματίων 6-7-8, της Πλατείας Οδού.

Η χαρτογράφηση των φθορών γίνεται με λεπτομέρεια, σύμφωνα με την κλίμακα εκτύπωσης, που είναι 1:50. Η οπτικοποίηση της συστηματοποιημένης κατηγοριοποίησης των τύπων φθοράς πραγματοποιείται μέσα από κατάλληλη επεξεργασία των χαρτών. Με την ολοκλήρωσή τους παρέχονται παραστατικές πληροφορίες για:

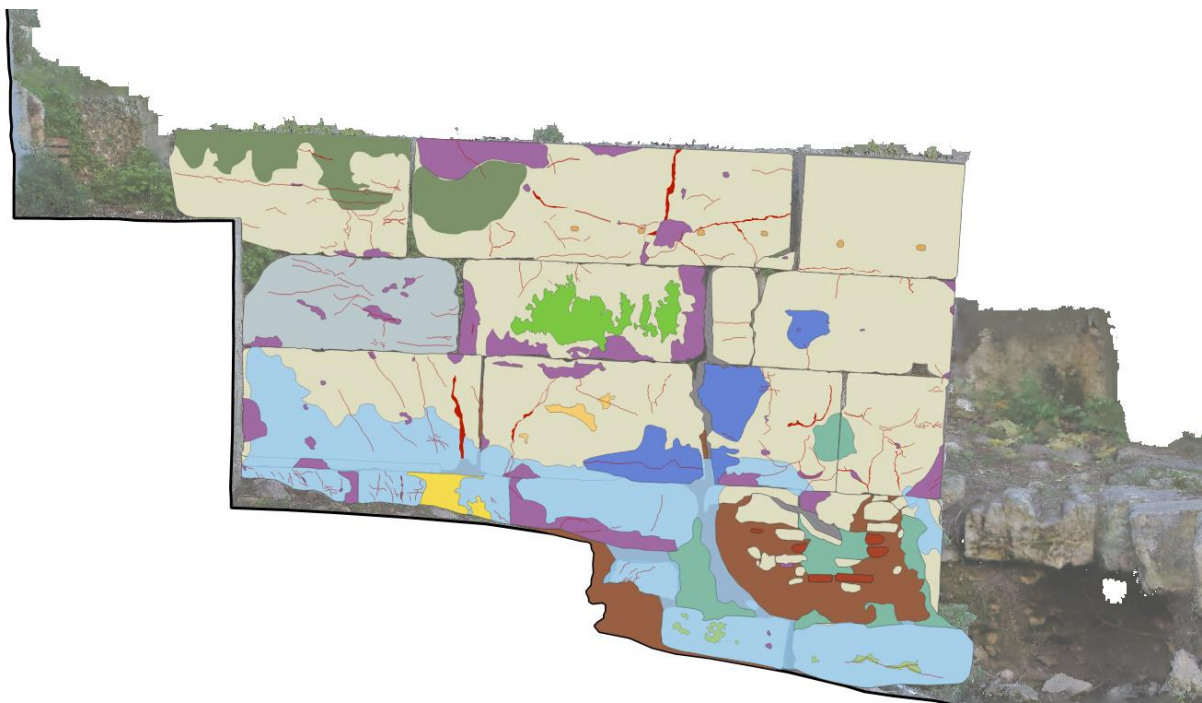
- τους βασικούς τύπους φθοράς και την έκτασή τους
- την διαφορετική επιδεικτικότητα των υλικών στους τύπους φθοράς

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
 Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

- συσχετισμούς μεταξύ των βασικών τύπων φθοράς
- την κατανομή των τύπων φθοράς στις εξεταζόμενες επιφάνειες
- το βαθμό έντασης των φαινομένων φθοράς
- την ανεκτικότητα της κατασκευής σε περαιτέρω φαινόμενα φθοράς
- τις αιτίες και τους μηχανισμούς της φθοράς



Εικόνα 5.75 (α): Φθορές του νότιου τοίχου του κλιμακοστασίου και των προσόψεων των δωματίων 6-7-8, της Πλατείας Οδού



Εικόνα 5.75 (β): Φθορές του νότιου τοίχου του κλιμακοστασίου και των προσόψεων των δωματίων 6-7-8, της Πλατείας Οδού



Εικόνα 5.78 (γ): Φθορές του νότιου τοίχου του κλιμακοστασίου και των προσόψεων των δωματίων 6-7-8, της Πλατείας Οδού

Για την αντικειμενική καταγραφή των φαινομένων φθοράς απαιτείται η ακριβής διάγνωση με διαγνωστική μελέτη υλικών και φθοράς και κατηγοριοποίηση των τύπων φθοράς. Η κατηγοριοποίηση έγινε σύμφωνα με τη μακροσκοπική παρατήρηση, το υπόβαθρο της ορθοφωτογραφίας και τα δεδομένα του Ψηφιακού Μικροσκοπίου. Σε αρκετές περιπτώσεις παρουσιάζεται ένα είδος φθοράς συνδυαστικά με κάποιο/-α άλλο/-α, δίνοντας διαφορετικό μοτίβο φθοράς, έτσι οι κατηγορίες φθοράς διαμορφώθηκαν ως εξής: Βιοδιάβρωση- Λειχήνες, Βιοδιάβρωση- Βρύα, Βιοδιάβρωση- Βρύα- Λειχήνες- Μύκητες, Μαύρη Βιοδιάβρωση, Μαύρη Βιοδιάβρωση- Βιοβελονισμός, Μαύρη Βιοδιάβρωση- Μύκητες- Απώλεια Λίθου, Ρωγμές μεγάλου και μικρού εύρους, Κρούστα, Απώλεια Λίθου και κονιάματος, Δυσχρωμία, Αποφλοιώση, Οξείδια και Υδροξείδια του σιδήρου, Βλάστηση, Αποσάθρωση κονιάματος, Σκαλότρυπες, Επικαθήσεις λόγω χύματος και Υγρασία.

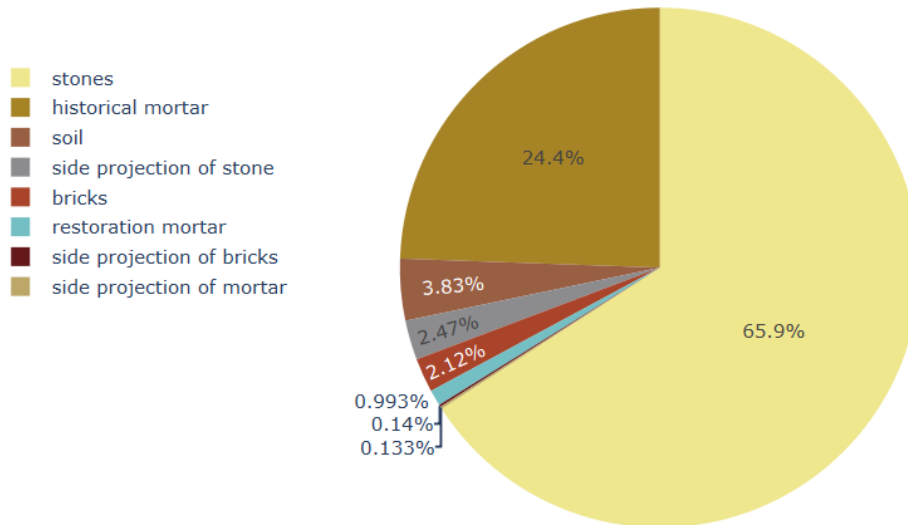
Ο τοίχος 1 παρουσιάζει συγκριτικά μικρότερη έκταση φθορών, ωστόσο εμφανίζει φθορές όπως Βλάστηση, Βιοδιάβρωση- Λειχήνες και Βιοδιάβρωση- Βρύα λόγω της συγκέντρωσης υπογείων υδάτων που προέρχονται από τις πηγές της Ακρόπολης. Ενώ, οι τοίχοι 2 και 3 φαίνεται να παρουσιάζουν απώλεια λίθων και κονιάματος, καθώς και αποσάθρωση κονιάματος, καθώς είναι υλικά που κάποτε προστατεύονταν από επιχρίσματα και πλέον έρχονται σε άμεση επαφή με τα περιβαλλοντικά φορτία, με αποτέλεσμα την αποσάθρωση των υλικών.

5.6 Διαχείριση δεδομένων δομικών υλικών κι φθορών στο GIS

5.6.1 Ποσοστιαία διαγράμματα πίτας

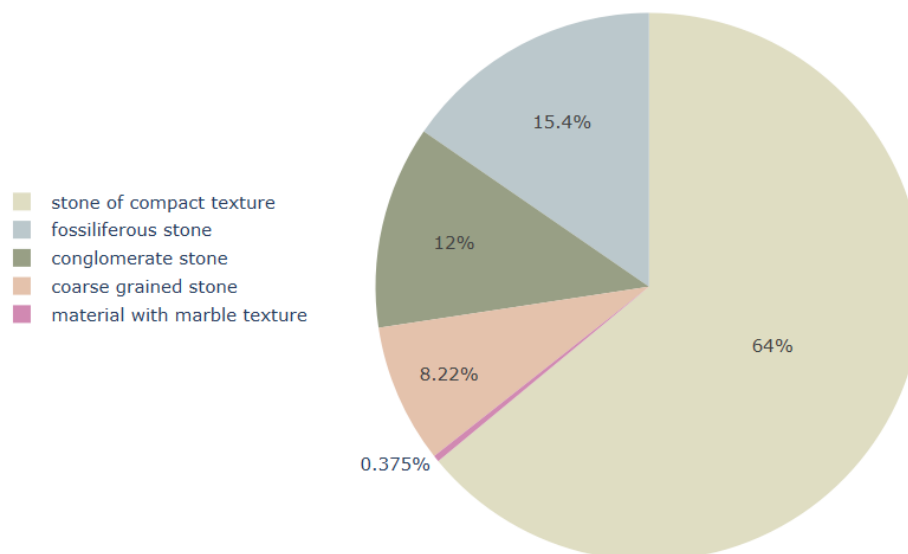
Παρακάτω παρουσιάζονται ποσοστιαία διαγράμματα πίτας δομικών υλικών και φθορών για το σύνολο των τοιχίων αλλά και μεμονωμένα στον ΤΧ1 και στους ΤΧ2-ΤΧ3. Σκοπός είναι να εξαχθούν συμπεράσματα για τις αναλογίες των δομικών υλικών και των φθορών στις παραπάνω περιπτώσεις, καθώς όπως έχει προαναφερθεί με μακροσκοπική παρατήρηση οι ΤΧ2 και ΤΧ3 φαίνονται να έχουν παρόμοια δομικά χαρακτηριστικά.

Ποσοστιαίο Διάγραμμα Πίτας Δομικών Υλικών



Διάγραμμα 1: Συνολικό Ποσοστιαίο Διάγραμμα πίτας Δομικών υλικών

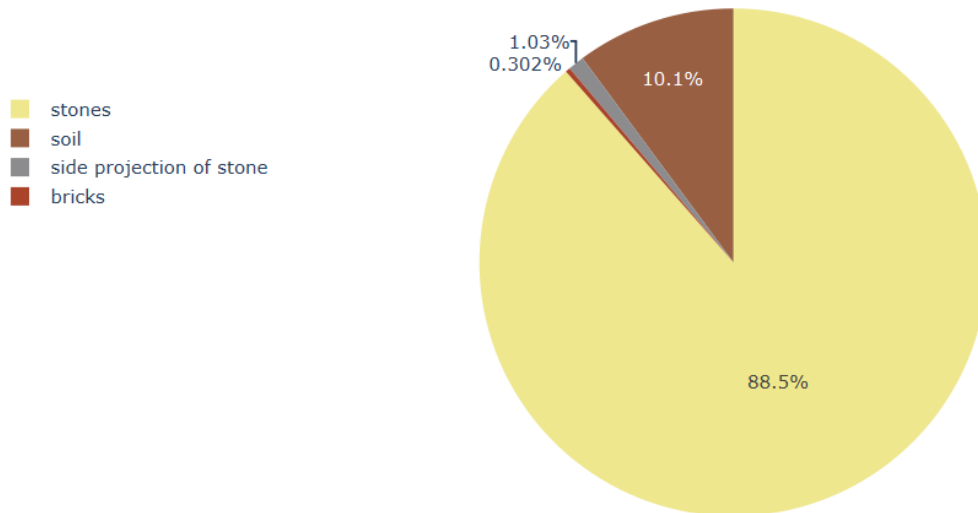
Ποσοστιαίο Διάγραμμα Πίτας Κατηγορίες Λίθων



Διάγραμμα 2: Ποσοστιαίο διάγραμμα πίτας κατηγοριών λίθων

Όπως ήταν αναμενόμενο, η επιφάνεια των τριών τοιχίων καταλαμβάνεται στο μεγαλύτερο μέρος της από λίθους (65,9%), αφού αποτελούσαν το κύριο δομικό υλικό γενικότερα στην ιστορία της αρχιτεκτονικής, ενώ αμέσως μετά σε ποσοστό 24,4% συναντάται το ιστορικό κονίαμα. Πιο συχνά συναντάται ο δομολίθος συμπαγούς δομής και μορφολογίας (64%), και αμέσως μετά απολιθωματοφόρος λίθος σε ποσοστό 15,4%. Ενώ, παρουσιάζεται και κονίαμα, σε σημαντικό ποσοστό, στην αρχαία Ελλάδα χρησιμοποιούνταν κυρίως ως επιχρίσματα, όμως σε αυτή την περίπτωση των υστερορωμαϊκών οικοδομημάτων λειτουργούσε ως συνδετικό μέσο.

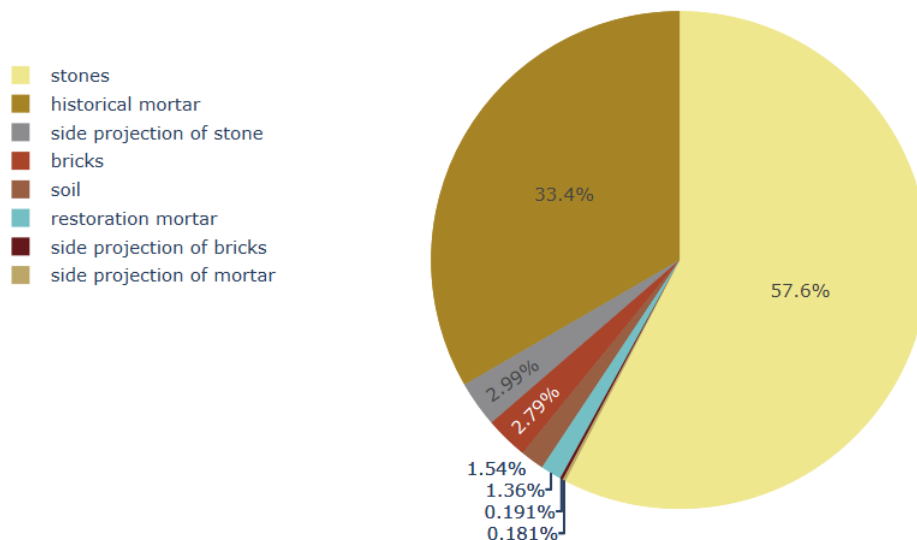
Ποσοστιαίο Διάγραμμα Πίτας Δομικών Υλικών ΤΧ1



Διάγραμμα 3: Ποσοστιαίο Διάγραμμα πίτας Δομικών υλικών ΤΧ1

Ο ΤΧ1 είναι μία τοιχοποιία που στο μεγαλύτερο μέρος της καταλαμβάνεται από λίθους και δεν συναντάται καθόλου κονιάμα. Πρόκειται, λοιπόν, για μία ξερολιθοδομή, που απαρτίζεται από μεγάλους, φυσικούς, κατεργασμένους λίθους. Σε πολύ μικρό ποσοστό εμφανίζεται χώμα ως συνδετικό υλικό λίθων και λίγων πλίνθων.

Ποσοστιαίο Διάγραμμα Πίτας Δομικών Υλικών ΤΧ2-ΤΧ3



Διάγραμμα 4: Ποσοστιαίο Διάγραμμα πίτας Δομικών υλικών ΤΧ2-ΤΧ3

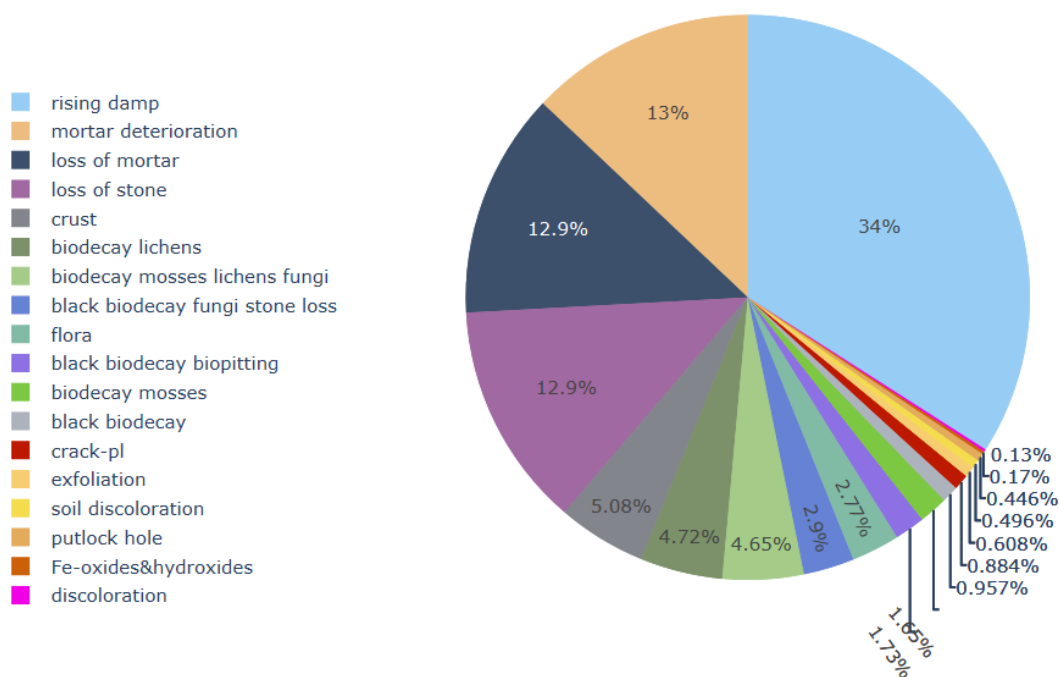
Για τους ΤΧ2-ΤΧ3 όπως ήταν φανερό και από τη μακροσκοπική παρατήρηση, σχεδόν η μισή επιφάνεια καταλαμβάνεται από λίθους, ενώ σημαντικό είναι και το ποσοστό του ιστορικού κονιάματος. Τα κονιάματα χρησιμοποιούνταν όχι μόνο για να χτίζουν τοίχους από λίθους και πλίνθους, αλλά μαζί με χαλίκια και λίθους μικρού μεγέθους κατασκευάστηκαν ισχυρά χυτά υλικά.

Ακόμα, παρουσιάζεται κονιάμα αποκατάστασης σε ποσοστό 1.36%, που μαρτυρά τις μετέπειτα εργασίες αποκατάστασης, που είναι γνωστές λόγω καταγραφών στα ημερολόγια της ΕΦΑΠΑ.

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα 2 και 3 γίνεται σαφές πως ο ΤΧ1 πρόκειται για μία ξερολιθοδομή, ενώ οι ΤΧ2-ΤΧ3 για αργολιθοδομές, με ποικιλία δομικών υλικών. Οι μεγάλοι λίθοι με στοιχειώδη κατεργασία κτίζονται με παρεμβολή κονιάματος, ενώ τα μεταξύ τους κενά κλείνονται με μικρότερους λίθους. Ενώ, είναι ευρεία η χρήση πλίνθων και η παρεμβολή κεραμιδιών σε τυχαίες θέσεις στις τοιχοποιίες αυτές.

Για τις φθορές στα τοιχία ενδιαφέροντος προκύπτουν τα εξής:

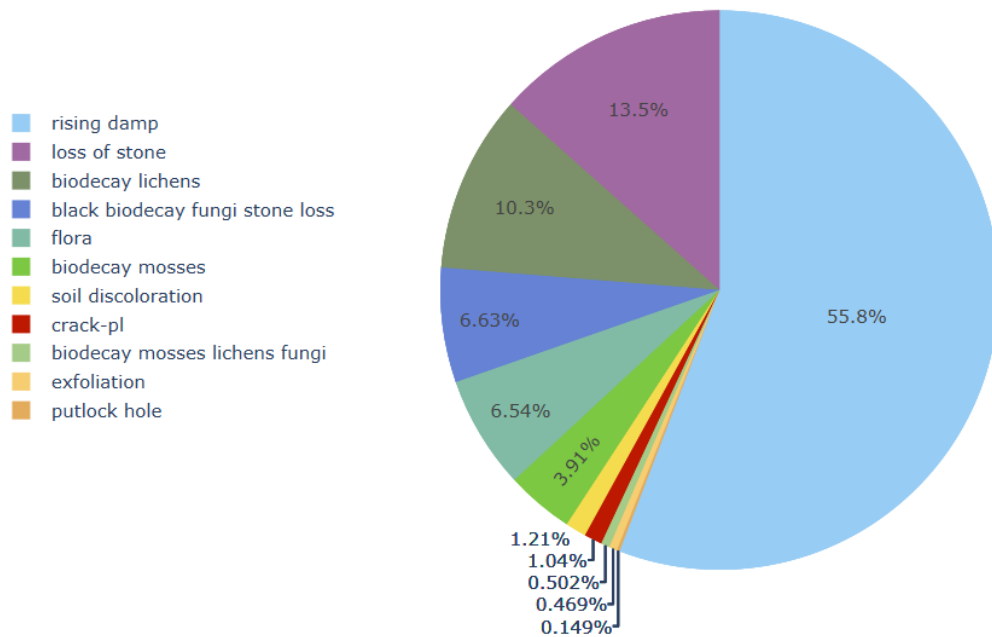
Ποσοστιαίο Διάγραμμα Πίτας Φθορών



Διάγραμμα 5: Ποσοστιαίο Διάγραμμα πίτας Φθορών για το σύνολο των τοιχίων

Από το διάγραμμα 5 παρατηρείται πως η υγρασία είναι το μεγαλύτερο πρόβλημα αυτής της τοιχοποιίας (34%), ενώ σε ίδιο βαθμό συναντώνται: η αποσάθρωση του κονιάματος (13%), η απώλεια κονιάματος (12,9%) και η απώλεια λίθου (12,9%) και αποτελούν τους κυριότερους τύπους φθοράς. Πολύ συχνά, αλλά σε μικρότερο βαθμό, συναντώνται: κρούστα, βιοδιάβρωση-λειχήνες και βιοδιάβρωση- βρύα- λειχήνες- μύκητες. Ενώ, σε πολύ μικρές επιφάνειες παρουσιάζονται δυσχρωμία και οξειδία και υδροξειδία σιδήρου. Εξάγεται, λοιπόν, το συμπέρασμα πως τα ιστορικά κονιάματα βάλλονται πιο πολύ από κάθε άλλο υλικό των τοιχίων, παρότι συναντώνται μόνο στους δύο από τους τρεις τοίχους.

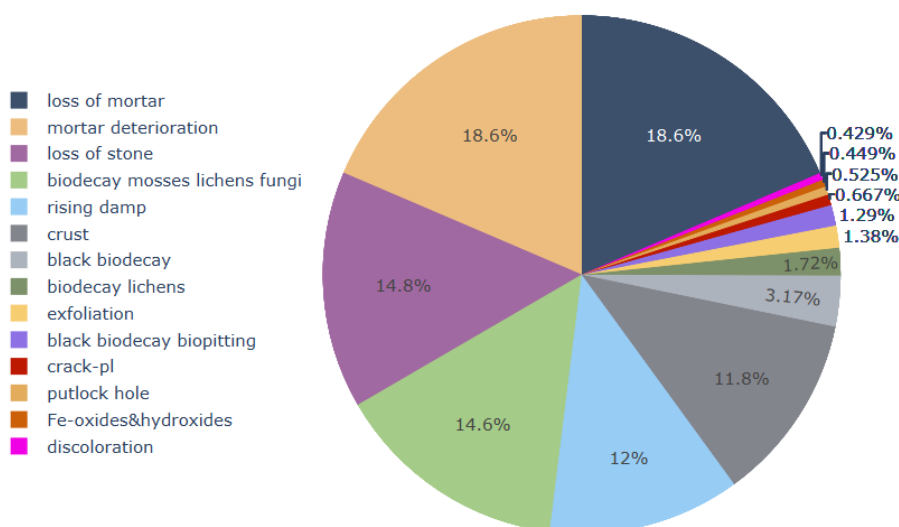
Ποσοστιαίο Διάγραμμα Πίτας Φθορών ΤΧ1



Διάγραμμα 5: Ποσοστιαίο Διάγραμμα πίτας φθορών για τον ΤΧ1

Στην περίπτωση του ΤΧ1, πάνω από το 50% των φθορών είναι η υγρασία, ενώ σε μεγάλο ποσοστό (13,5%) συναντάται και απώλεια λίθου. Είναι γεγονός, πως ο ΤΧ1 είναι επιρρεπής σε φθορές που αφορούν την βιοδιάβρωση, λόγω των όμβριων υδάτων (10,3%).

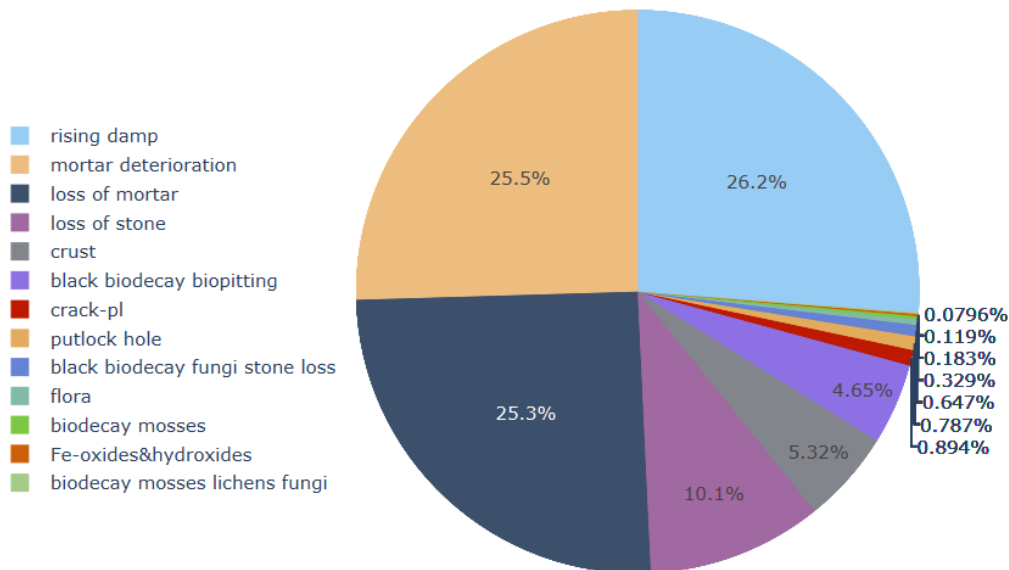
Ποσοστιαίο Διάγραμμα Πίτας Φθορών ΤΧ2



Διάγραμμα 6: Ποσοστιαίο Διάγραμμα πίτας φθορών για τον ΤΧ2

Από το διάγραμμα 6 παρατηρείται ότι για τον ΤΧ2 ισχύει πως η απώλεια και η αποσάθρωση κονιάματος παρουσιάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό (18,6%), ενώ εξίσου σημαντικές φθορές είναι και η απώλεια λίθου και η βιοδιάβρωση- βρύα- λειχήνες- μύκητες περίπου με 14,5%.

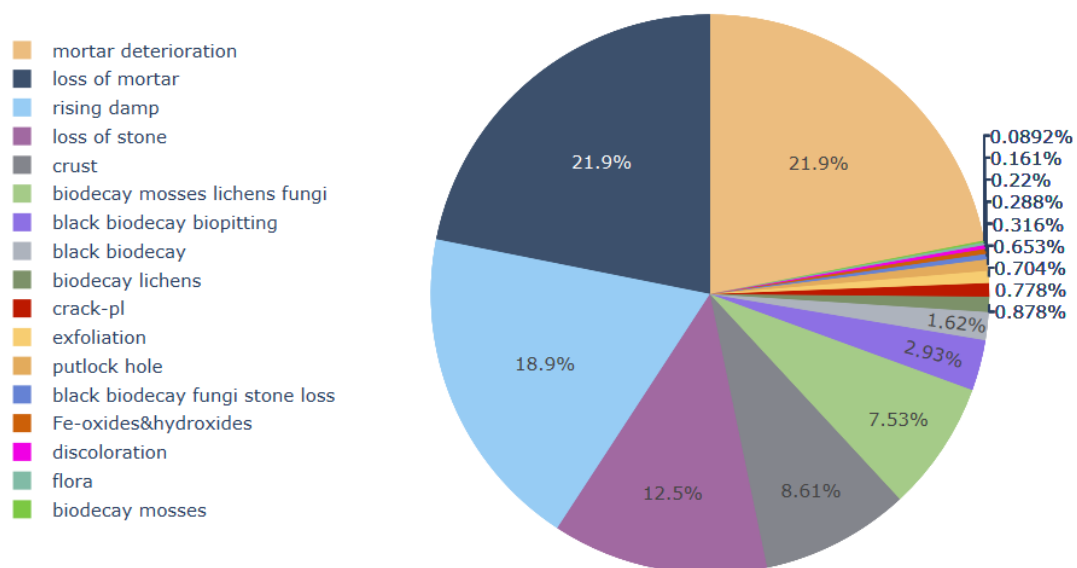
Ποσοστιαίο Διάγραμμα Πίτας Φθορών ΤΧ3



Διάγραμμα 7: Ποσοστιαίο Διάγραμμα πίτας φθορών για τον ΤΧ3

Στον ΤΧ3 εξίσου και σε ποσοστό περίπου 25% εμφανίζεται υγρασία, αποσάθρωση κονιάματος και απώλεια κονιάματος, ενώ αμέσως μετά παρουσιάζεται απώλεια λίθου.

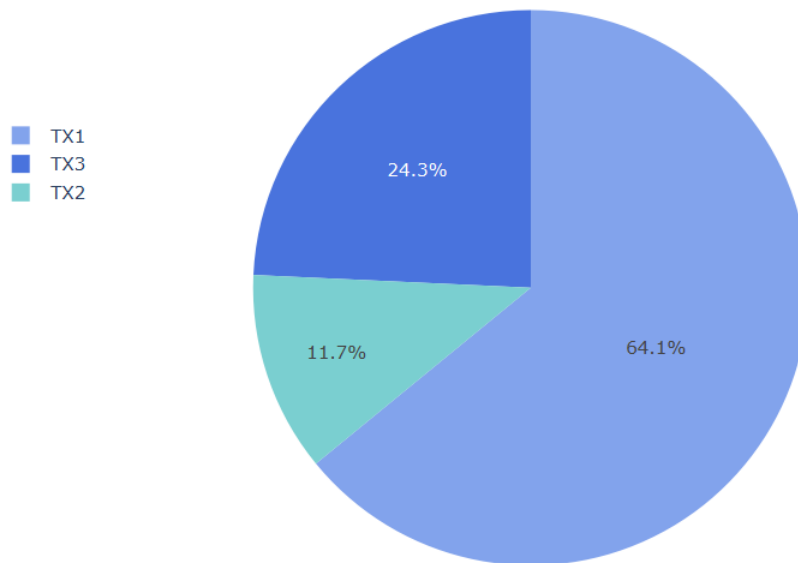
Ποσοστιαίο Διάγραμμα Πίτας Φθορών ΤΧ2-3



Διάγραμμα 8: Ποσοστιαίο Διάγραμμα πίτας φθορών για τους ΤΧ2-ΤΧ3

Εξετάζοντας συνολικά τα ΤΧ2- ΤΧ3, καθώς παρουσιάζουν παρόμοιο τρόπο δόμησης, παρατηρείται αποσάθρωση, απώλεια κονιάματος και υγρασία σε ποσοστό περίπου 20%. Καθώς και η απώλεια λίθου και η κρούστα είναι υπολογίσιμες φθορές. Κυριότερη αιτία για τα παραπάνω είναι πως σε αυτές τις τοιχοποιίες συνυπάρχουν υλικά διαφορετικής σύστασης και μορφολογίας και λόγω διαφορετικής απόκρισης στα περιβαλλοντικά φορτία (διαφορετικός συντελεστής θερμικής διαστολής, διαφορετική επιδεκτικότητα στην φθορά) αποκολλώνται κομμάτια και προκαλείται αποσάθρωση.

Ποσοστιαίο Διάγραμμα Πίτας Τριχοειδούς Αναρρίχησης Υγρασίας

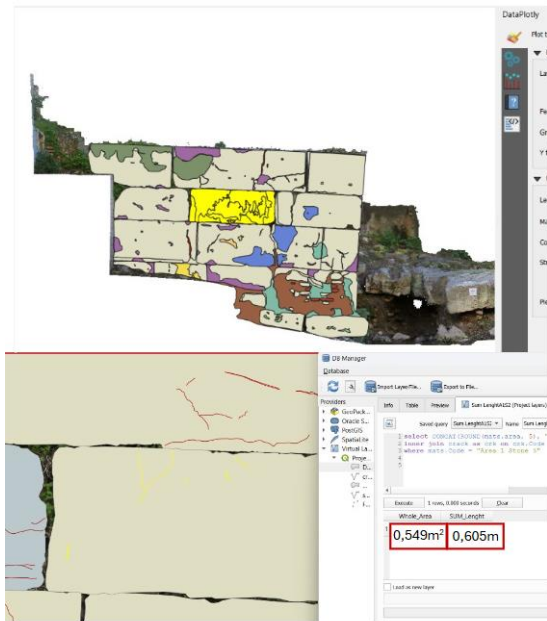


Διάγραμμα 9: Ποσοστιαίο Διάγραμμα Πίτας Τριχοειδούς Αναρρίχησης Υγρασίας

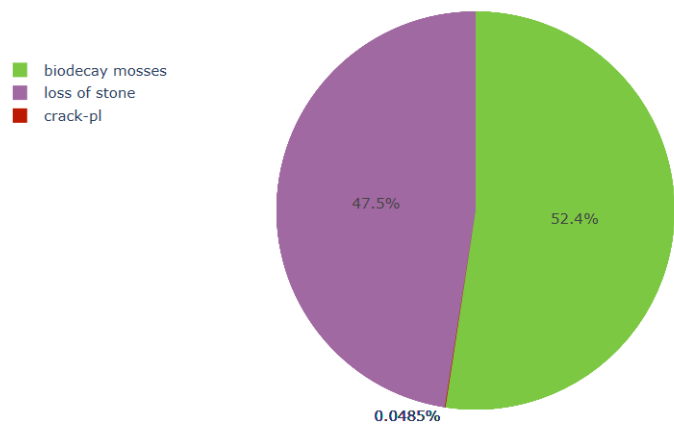
Όλα τα δομικά υλικά προσροφούν και αποβάλλουν υγρασία, η οποία έχει καταλυτικό ρόλο στην μεταφορά, στην κρυστάλλωση, στην αποκρυστάλλωση και στην ενυδάτωση των αλάτων μέσα στα υλικά. Η τριχοειδής αναρρίχηση είναι ένα φαινόμενο το οποίο κυριαρχεί σε όλα τα μνημεία και τις τοιχοποιίες καθώς αυτά εδράζονται στο έδαφος. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 9, η πλειονότητα της τριχοειδούς αναρρίχησης συναντάται στον ΤΧ1 και αυτό λόγω των όμβριων υδάτων που παρουσιάζονται στην έδραση του. Παράλληλα, τριχοειδής αναρρίχηση εμφανίζεται και στο ΤΧ3 και λιγότερο στο ΤΧ2, καθώς το έδαφος που θεμελιώνονται τα τοιχεία δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη υγρασία.

Χρήσιμα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν και για μεμονωμένα δομικά υλικά. Παρακάτω εξετάζεται ένας λίθος για κάθε τοιχίο:

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
 Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



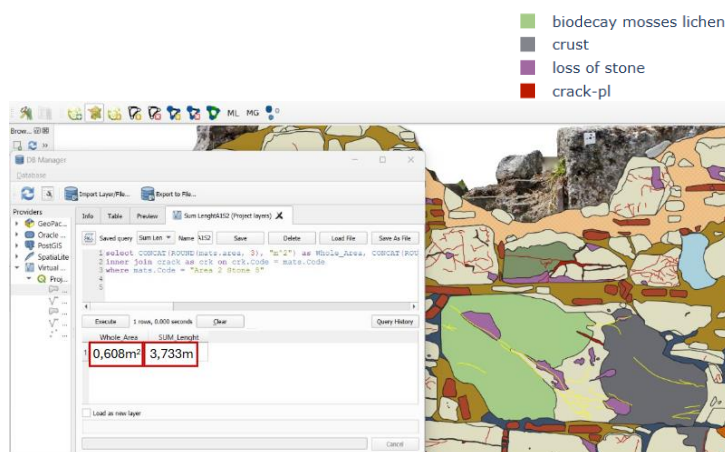
Ποσοστιαίο Διάγραμμα Πίτας Φθορών Λίθου 5 TX1



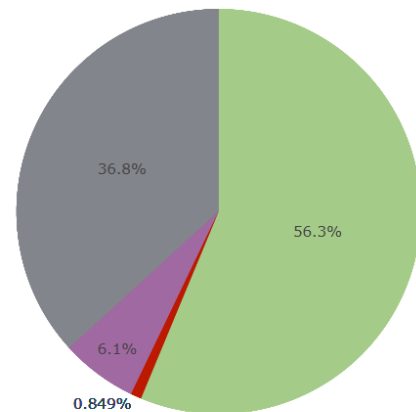
Διάγραμμα 10: Πίτα φθορών- υγιούς υλικού για τον Λίθο 5 του TX1στο περιβάλλον του Qgis

Όπως παρατηρείται από το διάγραμμα 10, ο λίθος 5 του TX1, που έχει συνολικό εμβαδόν 0,549 m² παρουσιάζει εξίσου βιοδιάβρωση- βρύα και απώλεια λίθου, σε ένα πολύ μικρό ποσοστό εμφανίζει ρωγμές τέτοιου εύρους που απεικονίζονται με επιφάνεια, ενώ οι ρωγμές μικρότερου εύρους έχουν συνολικό μήκος 0.605m.

Ποσοστιαίο Διάγραμμα Πίτας Φθορών Λίθου 8 TX1



- biodecay mosses lichens fungi
- crust
- loss of stone
- crack-pl



Διάγραμμα 11: Πίτα φθορών- υγιούς υλικού για τον Λίθο 8 του TX2 στο περιβάλλον του Qgis

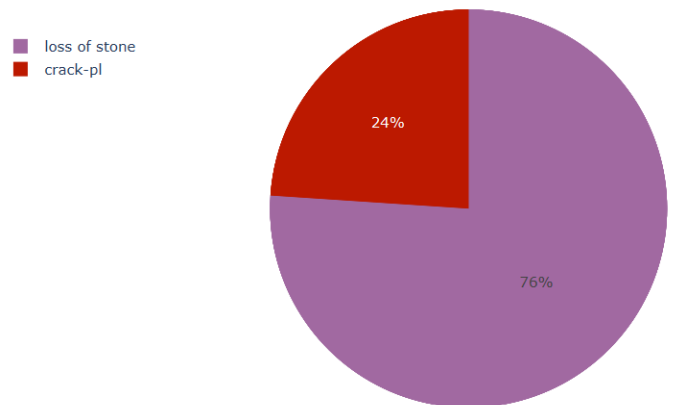
Για τον λίθο 10 του TX2, με συνολικό εμβαδόν 0,608m², ισχύουν τα εξής: σχεδόν το 53% του λίθου είναι υγιής, η φθορά που καταλαμβάνει την μεγαλύτερη επιφάνεια είναι η βιοδιάβρωση- βρύα- λειχήνες- μύκητες με 26,5%, κι ακολουθεί η κρούστα, η απώλεια λίθου και οι ρωγμές μεγάλου εύρους. Ενώ, το συνολικό μήκος των ρωγμών μικρού εύρους ανέρχεται στα 3,733m.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Διάγραμμα 12: Πίτα φθορών- υγιούς υλικού για τον Λίθο 13 του TX3 στο περιβάλλον του Qgis

Ποσοστιαίο Διάγραμμα Πίτας Φθορών Λίθου 13 TX3

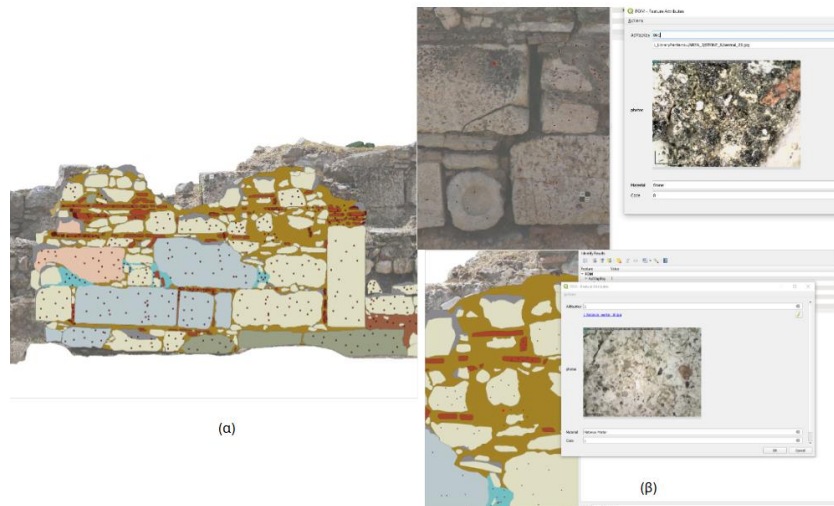


Για τον λίθο 13 του TX3 με συνολικό εμβαδόν 0,501 m² από το σύνολο των φθορών που εντοπίζονται είναι η κυριότερη είναι η απώλεια λίθου (σε ποσοστό 76%), ενώ παρουσιάζονται και ρωγμές μεγάλου εύρους, που καταλαμβάνουν το 24% των φθορών του συγκεκριμένου λίθου. Ενώ, οι ρωγμές μικρού εύρους με συνολικό μήκος 1,972m.

5.6.2 Εικόνες Digital Microscopy (DM) στο QGIS

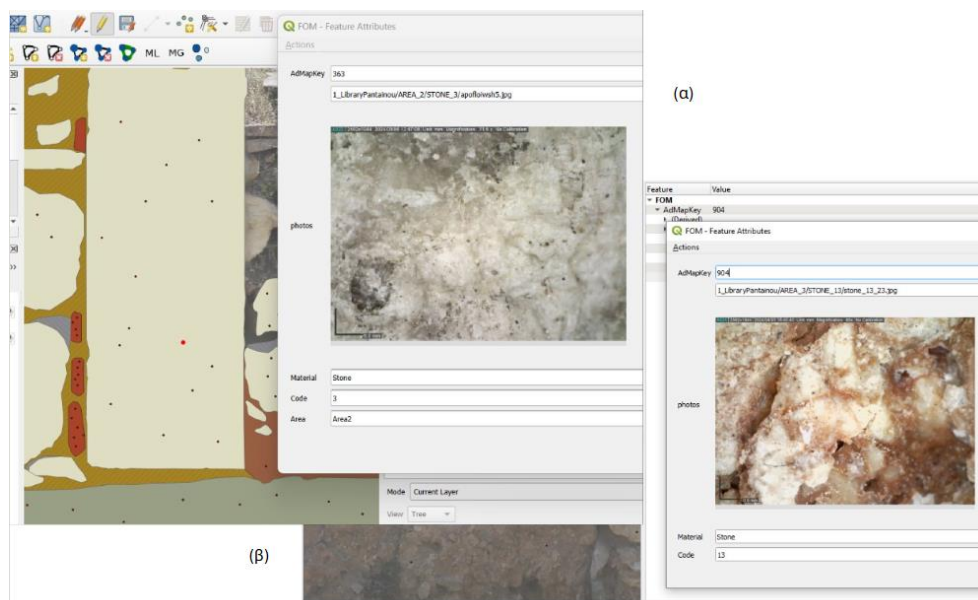
Όλες οι εικόνες που λήφθηκαν με το Ψηφιακό Μικροσκόπιο εισήχθησαν στην βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε στο QGIS, όπως φαίνεται στις Εικόνες 5.80 και 5.81. Με αυτόν τον τρόπο παρέχεται ακριβής και λεπτομερής χαρτογράφηση των υλικών, καθώς οι εικόνες από το ψηφιακό μικροσκόπιο παρέχουν υψηλή ανάλυση και λεπτομέρεια για τα υλικά και τις φθορές, επιτρέποντας την ακριβή αναγνώριση και κατηγοριοποίηση τους. Αυτό βελτιώνει την ακρίβεια της χαρτογράφησης στο QGIS και επιτρέπει τη λεπτομερή ανάλυση της κατάστασης και της σύνθεσης των υλικών του μνημείου. Επιπλέον, με την ενσωμάτωση εικόνων μικροσκοπίου σε γεωαναφερόμενα δεδομένα στο QGIS, μπορεί να δημιουργηθεί ένας ολοκληρωμένος χάρτης που συνδυάζει πληροφορίες μακροσκοπικές (π.χ. η ορθοφωτογραφία) και μικροσκοπικές (ανάλυση υλικών). Αυτό παρέχει μια συνολική εικόνα της κατάστασης και της διάβρωσης του μνημείου.

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.79: Εικόνες DM στο περιβάλλον του QGIS

Οι εικόνες αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων με γεωχωρικές συντεταγμένες, κάτι που διευκολύνει τη δημιουργία ιστορικού αρχείου. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση εικόνων από διαφορετικές χρονικές περιόδους, προκειμένου να παρακολουθηθούν οι αλλαγές ή η διάβρωση στα υλικά του μνημείου. Παρέχεται, ακόμα, διαλειτουργικότητα και εύκολη ανταλλαγή δεδομένων, αφού οι εικόνες, όταν είναι ενσωματωμένες σε ένα σύστημα όπως το QGIS, μπορούν εύκολα να μοιραστούν με άλλους ειδικούς ή ομάδες εργασίας. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε διεπιστημονικές συνεργασίες, όπου αρχιτέκτονες, αρχαιολόγοι, συντηρητές και άλλοι επαγγελματίες πρέπει να έχουν πρόσβαση στα ίδια δεδομένα.

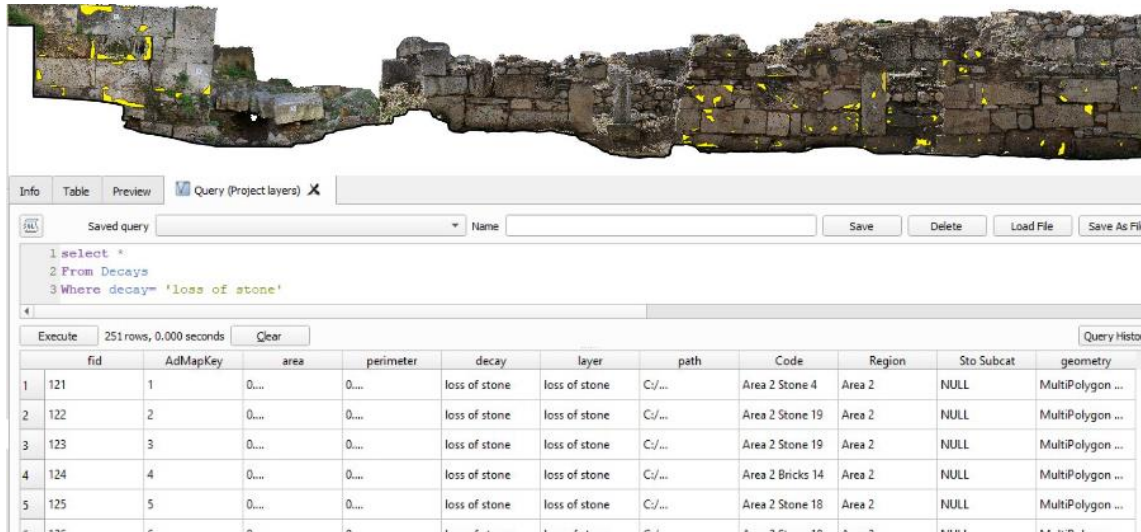


Εικόνα 5.80: Εικόνες DM στο περιβάλλον του QGIS

Τέλος, η βάση δεδομένων παρέχει μια οργανωμένη και διαχειρίσιμη πλατφόρμα για τη φύλαξη και την ανάκτηση των εικόνων. Με αυτόν τον τρόπο, η πρόσβαση στις πληροφορίες γίνεται εύκολη και άμεση, χωρίς να χρειάζεται να ανατρέχει κάποιος σε ξεχωριστά αρχεία ή εργαλεία.

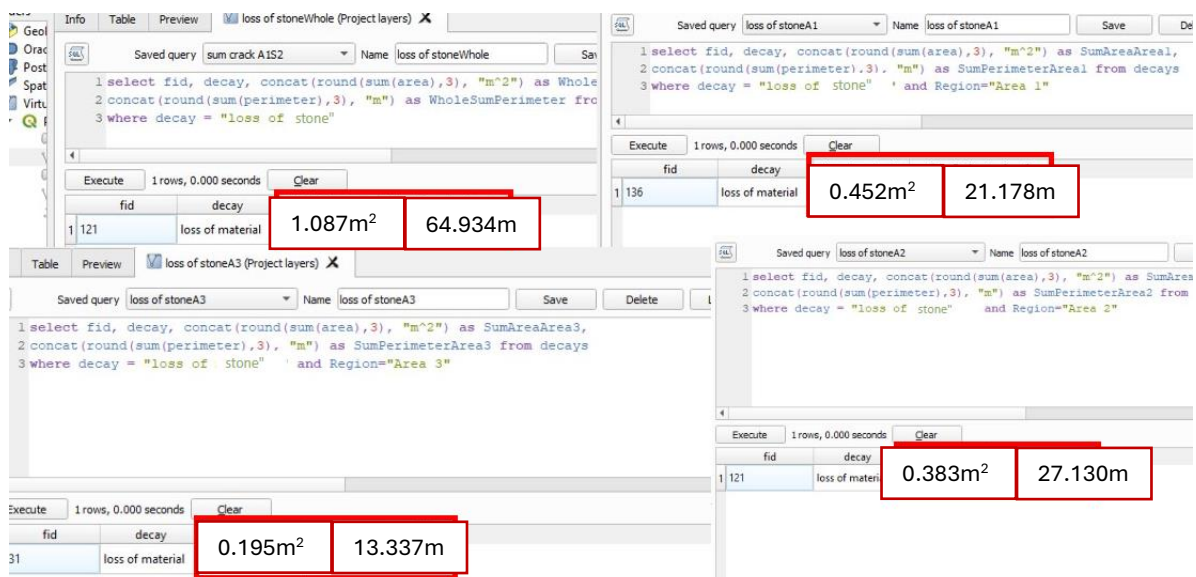
5.6.3 Queries SQL σε περιβάλλον QGIS

Με τη χρήση queries, τα αποτελέσματα μπορούν να απεικονιστούν απευθείας στους χάρτες του QGIS (Εικόνα 5.82), δίνοντας μια άμεση οπτική αναπαράσταση της φθοράς. Αυτό καθιστά τα δεδομένα πιο κατανοητά και αντιληπτά στις ειδικότητες που θα χρησιμοποιήσουν τα δεδομένα αυτά.



Εικόνα 5.81: Εμφάνιση layer "Απώλεια λίθου" μέσω SQL

Το QGIS προσφέρει τη δυνατότητα υπολογισμού του εμβαδού για κάθε επίπεδο (layer) που αποτελείται από πολύγωνα, που έχει χαρτογραφηθεί. Έτσι, μπορούν να προσδιοριστούν τα ακριβή εμβαδά των περιοχών φθοράς και να συγκριθούν τα αποτελέσματα με το συνολικό εμβαδόν των επιπέδων που έχουν σχεδιαστεί. Για παράδειγμα στην Εικόνα 5.83 γίνονται ερωτήματα για το συνολικό εμβαδόν και την συνολική περιμετρο της φθοράς «Απώλεια Υλικού» και για τα τρία τοιχία και τα αποτελέσματα έχουν ως εξής: $E_{ολ}=1.087m^2$ και $\Pi_{ολ}=69.934m$, ενώ για τον TX1 προκύπτει: $E_{TX1}=0.452 m^2$ και $\Pi_{TX1}=21.178m$, για τον TX2 προκύπτει: $E_{TX2}=0.383m^2$ και $\Pi_{TX2}=27.130m$ και τέλος $E_{TX3}=0.195m^2$ και $\Pi_{TX3}=13.337m$.

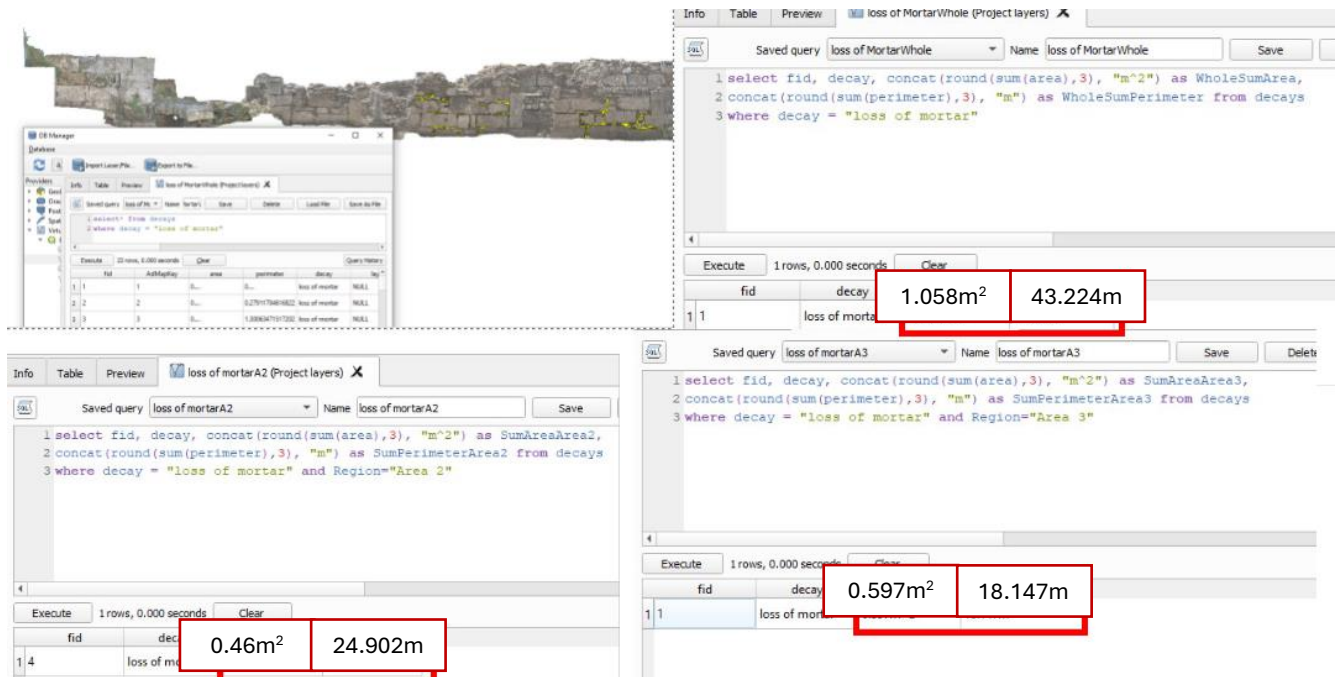


Εικόνα 5.82: Ερωτήματα (queries) σχετικά με την απώλεια λίθου στο σύνολο των τοιχοποιιών, αλλά και μεμονωμένα

Τα αντίστοιχα ερωτήματα (queries) για την φθορά: «Απώλεια Κονιάματος» παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.84. Με αποτελέσματα τα παρακάτω: $E_{ολ}=1.058m^2$ και $\Pi_{ολ}=43.224m$, ενώ για τον TX1 προκύπτει: $E_{TX1}=0m^2$ και $\Pi_{TX1}=0m$ αφού δεν έχει καθόλου κονίαμα η συγκεκριμένη τοιχοποιία, για τον

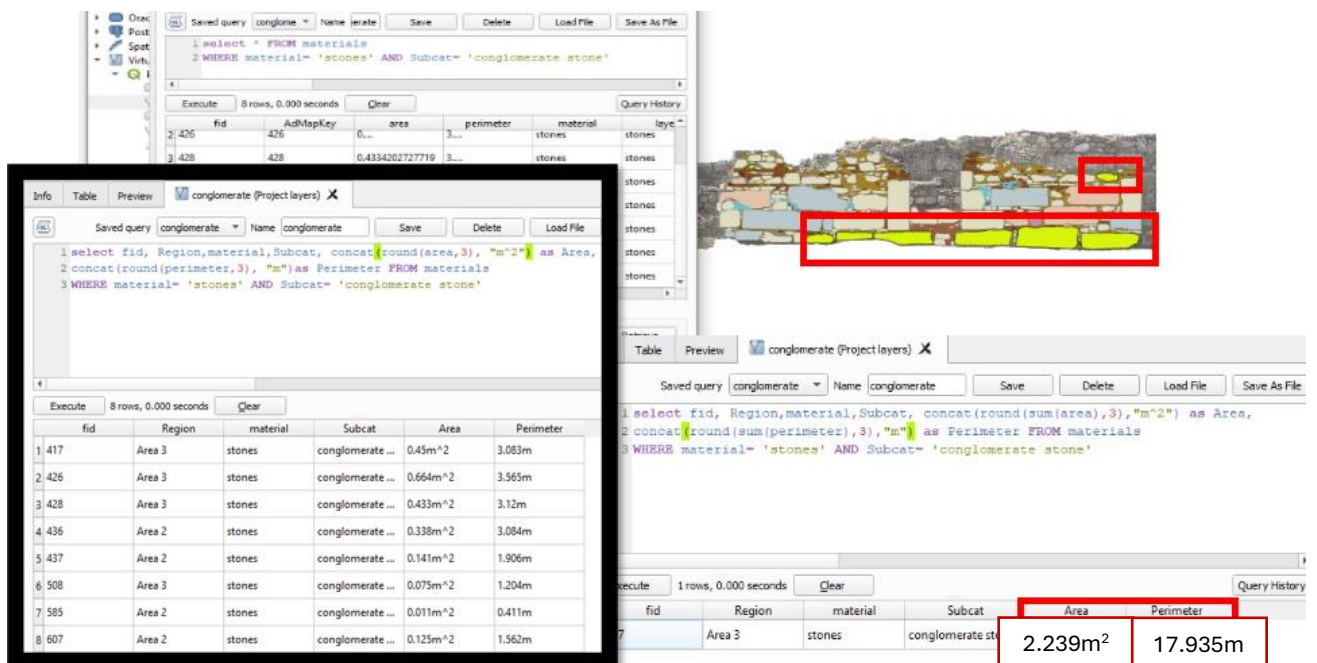
Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
 Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

ΤΧ2 προκύπτει: $E_{\text{ΤΧ2}}=0.460\text{m}^2$ και $\Pi_{\text{ΤΧ2}}=24,902\text{m}$ και τέλος $E_{\text{ΤΧ3}}=0.597\text{m}^2$ και $\Pi_{\text{ΤΧ3}}=18.147\text{m}$. Παρατηρείται, λοιπόν, πως η ποσότητα της απώλειας κονιάματος είναι σχεδόν ίδια με την απώλεια λίθου, παρότι το συνολικό εμβαδόν του κονιάματος είναι λιγότερο από το εμβαδόν των λίθων.



Εικόνα 5.83: Ερωτήματα (queries) σχετικά με την απώλεια κονιάματος στο σύνολο των τοιχοποιιών, αλλά και μεμονωμένα

Υπάρχει επιπλέον η δυνατότητα να γίνουν παράλληλα τα δύο παραπάνω, δηλαδή και οπτικοποίηση κάποιου επιπέδου και εξαγωγή συνολικών εμβαδών και περιμέτρου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.85 για τους κροκαλοπαγείς λίθους.

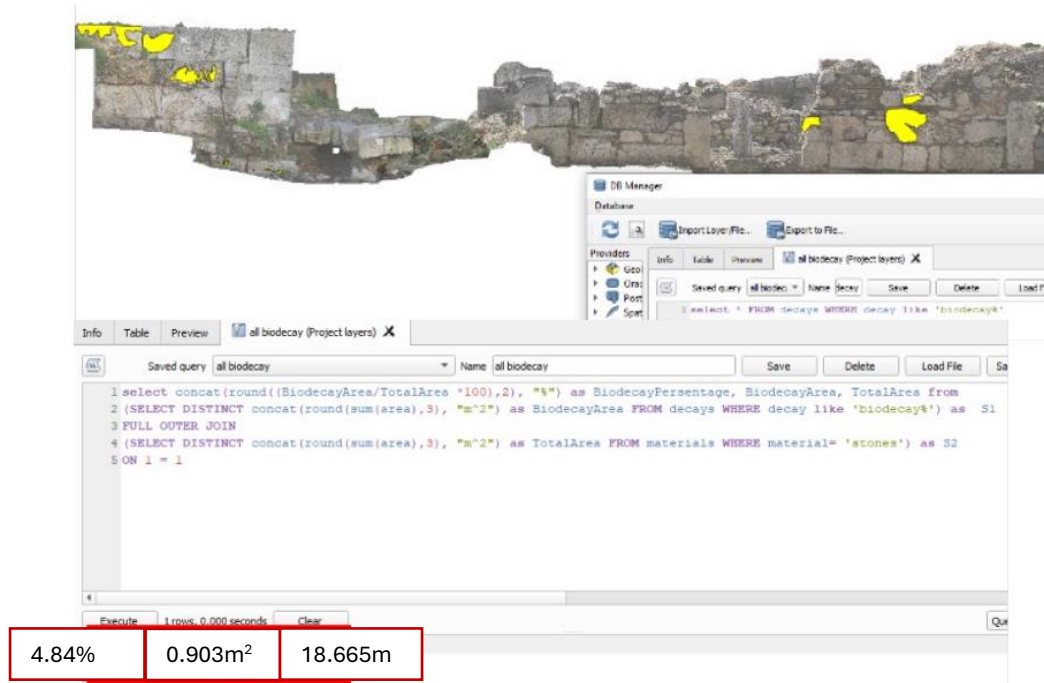


Εικόνα 5.84: Ερωτήματα (queries) σχετικά με τους κροκαλοπαγείς λίθους

Ακόμα προσφέρεται διαχείριση και ανάλυση ανάμεσα σε κατηγορίες φθορών. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.86 πραγματοποιείται το ερώτημα «Πού και σε τι ποσοστό της συνολικής επιφάνειας των λίθων συναντάται Βιοδιάβρωση;». Οπότε η βάση καλείται να αθροίσει όλα τα

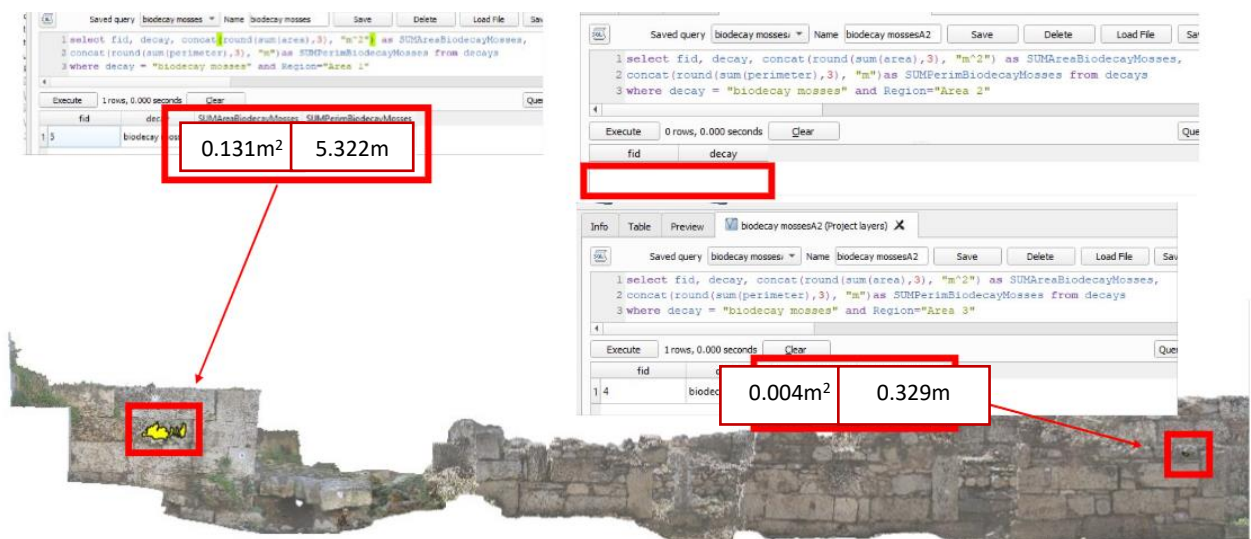
Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
 Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

επίπεδα (layers) που εμφανίζεται η λέξη «Βιοδιάβρωση», που αυτό περιλαμβάνει τα παρακάτω επίπεδα: Βιοδιάβρωση- Λειχήνες, Βιοδιάβρωση- Βρύα, Βιοδιάβρωση- Βρύα- Λειχήνες- Μύκητες, Μαύρη Βιοδιάβρωση, Μαύρη Βιοδιάβρωση- Βιοβελονισμός, Μαύρη Βιοδιάβρωση- Μύκητες- Απώλεια Λίθου, και να εκτελέσει την πράξη: (Εμβαδόν Βιοδιάβρωσης/ Εμβαδόν Λίθων)*100%= 4.84%, με Εμβαδόν Βιοδιάβρωσης=0,903m² και Εμβαδόν Λίθων=18.665m²



Εικόνα 5.85: Ερωτήματα (queries) σχετικά με τους κροκαλοπαγείς λίθους

Αντίστοιχα, για την φθορά «Βιοδιάβρωση-Βρύα» προκύπτουν τα παρακάτω: $E_{TX1} = 0.131m^2$
 $\Pi_{TX1} = 5.322m$, ο $TX2$ δεν παρουσιάζει καθόλου αυτόν τον τύπο φθοράς, ενώ $E_{TX3} = 0.004m^2$
 $\Pi_{TX3} = 0.329m$.

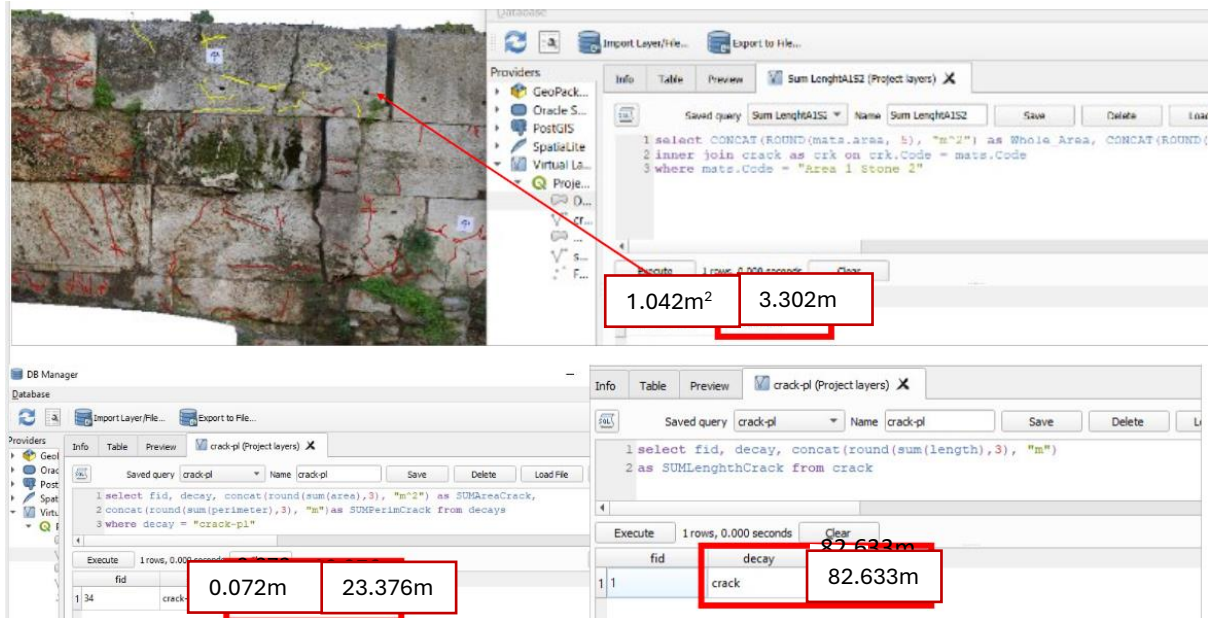


Εικόνα 5.86: Ερωτήματα (queries) σχετικά με την φθορά βιοδιάβρωση- βρύα

Επιπλέον, οι ρωγμές μικρού εύρους που έχουν απεικονιστεί ως γραμμές δεν διαθέτουν επιφάνεια, άρα ούτε και εμβαδόν, οπότε μέσω της διαχείρισης της Βάσης Δεδομένων δίνεται η δυνατότητα να αθροιστούν όλα τα επιμέρους μήκη των ρωγμών μικρού εύρους ή να αθροιστούν τα

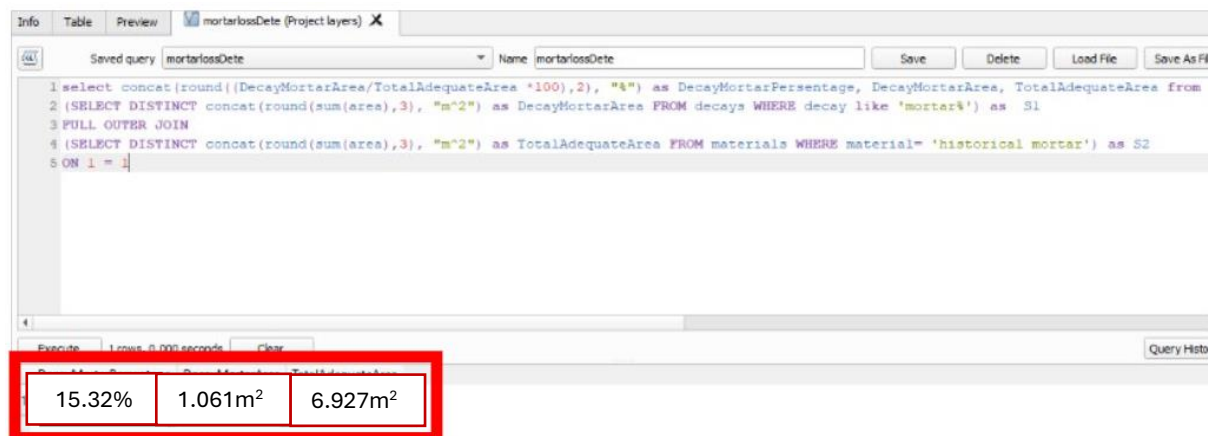
Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

μήκη των ρωγμών μικρού εύρους από ένα λίθο μεμονωμένα ή από κάθε τοίχο ξεχωριστά. Στην Εικόνα 5.84 παρουσιάζεται το συνολικό άθροισμα των ρωγμών: 82.633m, το άθροισμα των ρωγμών του λίθου 2 του TX1, που ανέρχεται στα 3.302m μαζί με το συνολικό εμβαδόν του λίθου= 1.042m². Ενώ, το συνολικό εμβαδόν των ρωγμών μεγάλου εύρους που απεικονίζονται με πολύγωνα είναι 0.072m² και η περίμετρος τους ανέρχεται στα 23.376m.



Εικόνα 5.87: Ερωτήματα (queries) σχετικά με της ρωγμές

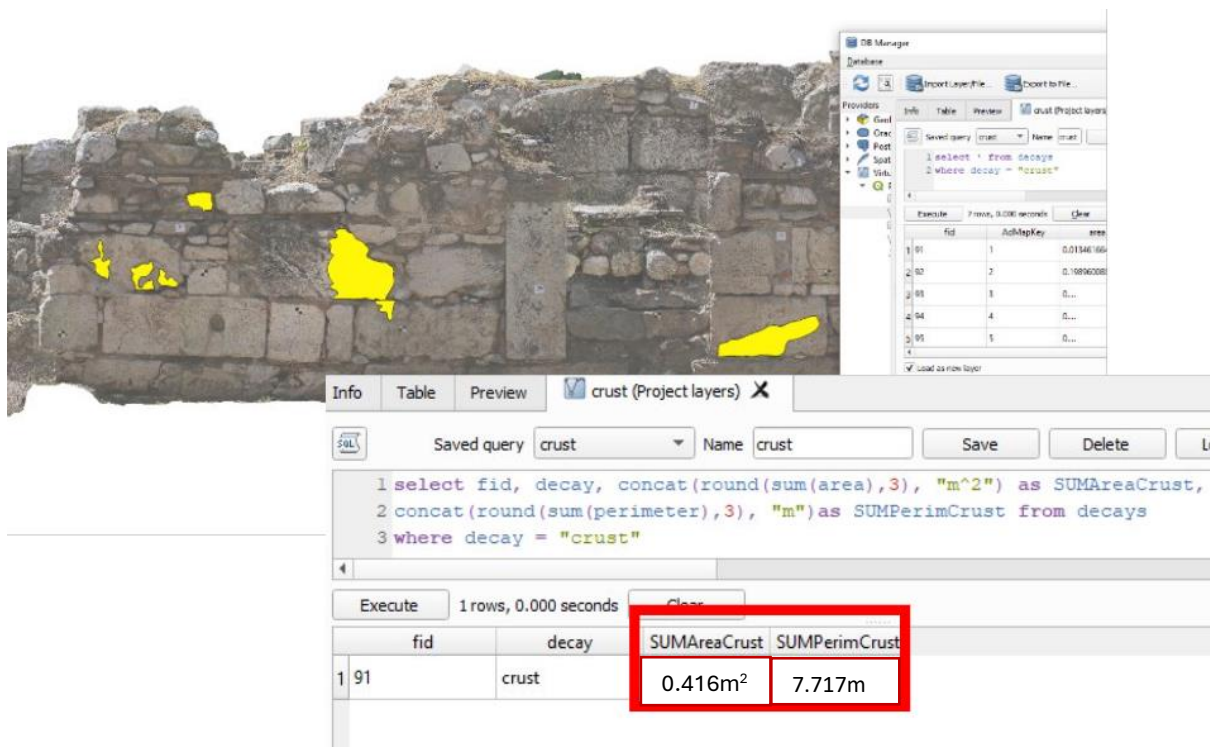
Ένα ακόμα παράδειγμα στο οποίο προκύπτουν συνδυαστικά αποτελέσματα από δύο κατηγορίες φθορών είναι αυτό της Εικόνας 5.89, στο οποίο προκύπτει το ποσοστό του διαβρωμένου κονιάματος («Απώλεια Κονιάματος» και «Αποσάθρωση Κονιάματος») ως προς το συνολικό εμβαδόν του Ιστορικού Κονιάματος, που προκύπτει στα 15.32%, με Εμβαδόν διαβρωμένου κονιάματος 1.062m² ως προς το εμβαδόν του Ιστορικού Κονιάματος που προέκυψε 6.927 m².



Εικόνα 5.88: Ερώτημα (query) σχετικά με το διαβρωμένο κονίαμα (αποσάθρωμένο και απώλεια κονιάματος)

Τέλος, η φθορά «Κρούστα» παρουσιάζεται παρακάτω στην Εικόνα 5.90, δίνοντας ως αποτέλεσμα συνολικής επιφάνειας 0.416m² και συνολική περίμετρο 7.717m

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.



Εικόνα 5.89: Ερωτήματα σχετικά με το σύνολο της φθοράς της κρούστας

Συνεπώς, με τη χρήση queries σε δεδομένα που έχουν γεωαναφερθεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, μπορεί να γίνει σύγκριση της έκτασης της φθοράς σε διαφορετικές περιόδους. Έτσι, μπορεί να προσδιοριστεί η εξέλιξη και η τάση της φθοράς (αύξηση, μείωση ή σταθερότητα) με ακριβή αριθμητικά δεδομένα. Επιπλέον, κάθε αλλαγή που γίνεται στη χαρτογράφηση (π.χ., ενημέρωση ενός επιπέδου) μπορεί να ανανεώσει αυτόματα τα αποτελέσματα των ερωτημάτων και να προκύψουν νέες αναλύσεις. Ακόμα, αυτά τα ποσοστά φθορών και τα εμβαδά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της κατάστασης του μνημείου και να τεθούν σε προτεραιότητα οι περιοχές που χρειάζονται συντήρηση. Οι συντηρητές και οι αρχιτέκτονες μπορούν να βασιστούν σε αυτά τα δεδομένα για να σχεδιάσουν τις επεμβάσεις και τις προληπτικές δράσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια. Επίσης, τα δεδομένα που προκύπτουν από τα queries στο QGIS μπορούν να ενσωματωθούν ή να εξαχθούν σε άλλες πλατφόρμες για περαιτέρω ανάλυση. Έτσι, οι πληροφορίες για τις φθορές και τα εμβαδά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε στατιστικά ή χωρικά μοντέλα πρόβλεψης της φθοράς και της διάβρωσης. Τέλος, ο παραπάνω τρόπος ανάλυσης και διαχείρισης των δεδομένων, εξαλείφει την ανάγκη για χειροκίνητους υπολογισμούς και επιτρέπει την αυτοματοποίηση των διαδικασιών εξαγωγής δεδομένων. Αυτό μειώνει σημαντικά τις πιθανότητες σφαλμάτων και βελτιώνει την αποδοτικότητα της διαδικασίας.

6. Συμπεράσματα- Προτάσεις

Συμπεράσματα

Η τρισδιάστατη γεωμετρική τεκμηρίωση των ιστορικών κατασκευών είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα της διεπιστημονικής μεθοδολογίας τεκμηρίωσης και διάγνωσης, που στόχο έχουν την υποστήριξη των εργασιών συντήρησης και αποκατάστασης. Η αναπαράσταση σε δύο ή τρεις διαστάσεις, προϋποθέτει σε κάθε περίπτωση υψηλή ακρίβεια, πιστότητα και πληρότητα των λεπτομερειών (ανάλογα πάντα με το είδος της μελέτης). Η γεωμετρική τεκμηρίωση για τα οικοδομήματα στην περιοχή της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου πραγματοποιήθηκε με συνδυασμό κλασικών τοπογραφικών και φωτογραμμετρικών τεχνικών. Αν και οι ακρίβειες των αποτελεσμάτων κάθε μεθόδου ήταν για τη συγκεκριμένη εφαρμογή ίδιας τάξης μεγέθους, καμία μέθοδος χωριστά δεν θα μπορούσε να οδηγήσει στα απαραίτητα προϊόντα. Η εγγύς φωτογραμμετρία και οι άλλες επίγειες τεχνικές αποτύπωσης, παρουσιάζουν προτερήματα αλλά και περιορισμούς και για το λόγο αυτό θα πρέπει να συνδυάζονται κατά περίπτωση, για την παραγωγή του βέλτιστου αποτελέσματος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκε κλασική τοπογραφία για την γεωαναφορά και την μέτρηση των φωτοσταθερών σημείων, που αξιοποιήθηκαν στις φωτογραμμετρικές τεχνικές, οι οποίες παρέχουν έναν ικανοποιητικό βαθμό λεπτομέρειας σε πολύ λίγο χρόνο και με σχετικά μικρό κόστος. Τα δισδιάστατα σχέδια που δημιουργήθηκαν, απεικονίζουν ικανοποιητικά τα περιγράμματα των αρχιτεκτονικών μελών και βασικές λεπτομέρειες με ακρίβεια αποδεκτή για την κλίμακα 1:50, που επιλέχθηκε.

Με σκοπό την παραγωγή ακριβών υποβάθρων για τη χαρτογράφηση των υλικών και των φθορών και για τη γενικότερη διευκόλυνση της περαιτέρω ολιστικής διαχείρισης των διεπιστημονικών δεδομένων του μνημείου, έγινε επιπλέον, τρισδιάστατη αναπαράσταση με υψηλή ανάλυση φωτοϋφή για το μνημείο. Για την παραγωγή του φωτορεαλιστικού μοντέλου, εφαρμόστηκαν πολυεικονικές μέθοδοι. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε η μέθοδος SfM για τον προσανατολισμό των εικόνων και την παραγωγή αραιού νέφους σημείων. Στη συνέχεια, και με γνωστά τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού της κάθε εικόνας, καθώς και με την παρεμβολή των φωτοσταθερών, παράχθηκε το τελικό γεωαναφερμένο πυκνό νέφος, κατόπιν περαιτέρω επεξεργασίας παρήχθη το μοντέλο με φωτοϋφή. Προέκυψε ικανοποιητικό αποτέλεσμα, καθώς οι αποκρύψεις ήταν ελάχιστες, και η ακρίβεια επέτρεπε τόσο την παραγωγή λεπτομερών σχεδίων κλίμακας 1:50, όσο και την εξαγωγή ορθοεικόνων με ανάλυση ικανή ώστε να διακρίνονται με ευχέρεια τα όρια μελών, υλικών και μοτίβων φθοράς. Η αποτίμηση των φαινομένων φθοράς αποτελεί προϋπόθεση για την επιλογή κατάλληλων επεμβάσεων και τη βιωσιμότητα του μνημείου. Ενώ σε περίπτωση που απαιτείται επιπλέον διερεύνηση με επί τόπου μετρήσεις, τα προϊόντα της χαρτογράφησης αποτελούν την πλέον κατατοπιστική βάση και ελαχιστοποιείται έτσι επιπλέον χρόνος εργασίας. Φυσικά για το βέλτιστο συσχετισμό και απόδοση των δεδομένων απαιτείται διεπιστημονική προσέγγιση με την συνεργασία των ανάλογων ειδικοτήτων.

Ύστερα με τον Μη Καταστρεπτικό Έλεγχο της Θερμογραφίας Υπερύθρου διαπιστώθηκε πως το τοιχίο TX1 παρουσιάζει τριχοειδή αναρρίχηση υγρασίας, ενώ η γεινίαση με τα όμβρια ύδατα ευνοούν την ανάπτυξη βιοδιάβρωσης και βλάστησης. Παράλληλα, για τους TX2 και TX3 παρατηρούνται παρόμοια χαρακτηριστικά, όπως υγρασία στο κάτω μέροςόπου εδράζονται κροκαλοπαγείς λίθοι, υψηλές θερμοκρασίες στα ιστορικά κονιάματα και τέλος, έντονη θερμοκρασιακή διαφοροποίηση στους απολίθωματοφόρους λίθους, λόγω των φθορών που αναπτύσσονται σε αυτούς. Επιπλέον, αξιοποιήθηκε ο Μη Καταστρεπτικός Έλεγχος της Ψηφιακής

Μικροσκοπίας, και με βάση τα χαρακτηριστικά της υφής και της μορφολογίας της μικροδομής των υπό εξέταση περιοχών, ταξινομήθηκαν οι λίθοι σε: Συμπαγείς, Κροκαλοπαγείς, Απολιθωματοφόρους και Αδροκρυσταλλικούς. Επιπλέον, ταξινομήθηκαν οι κύριοι τύποι φθοράς που είναι: Βιοδιάβρωση (Μαύρη Βιοδιάβρωση, Βιοδιάβρωση από βρύα και λειχήνες), Κρούστες και Επικαθήσεις χρώματος.

Ύστερα για την παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου με φωτοϋφή Θερμογραφίας Υπερύθρου, εφαρμόστηκε η μέθοδος SfM, που αναφέρθηκε και παραπάνω. Με την επένδυση του τρισδιάστατου μοντέλου με εικόνες από τη Θερμογραφία Υπερύθρου, όλες οι ανωτέρω πληροφορίες σχετικά με τα θερμοκρασιακά εύρη του κάθε δομικού υλικού και των φθορών ενσωματώθηκαν στο γεωαναφερμένο τρισδιάστατο μοντέλο της επιφάνειας. Με αποτέλεσμα την βελτιωμένη ταξινόμηση των δομικών υλικών και των φθορών, διότι τα δεδομένα της Θερμογραφίας Υπερύθρου αποδίδονται με ακρίβεια στην θέση τους στον χώρο, καθώς παρέχει και βελτιωμένο έλεγχο και αποτίμηση της κατάστασης διατήρησης των τοιχοποιιών. Έτσι, εξάγονται ασφαλή συμπεράσματα για τα προβλήματα υγρασίας που αντιμετωπίζει ο TX1 και για την ασυνέχεια μεταξύ των υλικών των TX2 και TX3, που οδηγεί στην απώλεια μεγάλων ποσοστών λίθου και κονιάματος.

Η χαρτογράφηση των δομικών υλικών και των τύπων φθοράς, έγινε στο AutoCAD και λαμβάνοντας υπ' όψη τα σχετικά πολύγωνα -με δεδομένη ανάλυση- στις ορθοφωτογραφίες, τα αποτελέσματα της επί τόπου παρατήρησης, και τα αποτελέσματα μη καταστρεπτικών τεχνικών ελέγχου, και έτσι προέκυψαν σαφή αποτελέσματα. Η ψηφιοποίηση των ορίων τους έγινε με μεγάλη λεπτομέρεια, λόγω των ορθοφωτογραφιών υψηλής ανάλυσης και ως φθορές υπολογίστηκαν μόνο οι πιο έντονες από αυτές.

Η διεπιστημονική μεθοδολογία για την τεκμηρίωση και τη διάγνωση αποκτά πολύ σημαντικό ρόλο. Με τη χρήση ΣΓΠ τα διεπιστημονικά δεδομένα μπορούν να εισαχθούν και να συσχετισθούν σε ένα ενιαίο σύστημα με κοινή χωρική αναφορά, για αυτό έγινε θεματική απεικόνιση των δομικών υλικών και των φθορών στο λογισμικό ανοικτής πρόσβασης QGIS. Ο θεματικός χάρτης των δομικών υλικών παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τη δόμηση και τις κατασκευαστικές φάσεις του μνημείου, ενώ ο θεματικός χάρτης των φθορών βοηθά την αποτίμηση της επίδρασης ενδογενών και εξωγενών παραγόντων σε πραγματική κλίμακα. Στην περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου, η γεωχωρική ανάλυση με βάση τα θεματικά επίπεδα και τα χαρακτηριστικά που αποδόθηκαν στα υλικά και στις φθορές, στο ΣΓΠ, διαπιστώθηκε ότι από τους λίθους, που καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό των τοιχοποιιών (66%), ο συμπαγής δομολίθος συναντάται πιο συχνά με ποσοστό 64%, ενώ από τις φθορές συναντάται εξίσου, σε ποσοστό 19,5% αποσάθρωση και απώλεια ιστορικού κονιάματος και απώλεια λίθου.

Η αποθήκευση, η διαχείριση, η ανάλυση και η οπτικοποίηση της διεπιστημονικής πληροφορίας για το μνημείο, που πραγματοποιήθηκε στο ΣΓΠ, έγινε σε δύο διαστάσεις. Η δυσδιάστατη αντιμετώπιση ήταν αποτέλεσμα της έλλειψης τρισδιάστατης πληροφορίας, με την έννοια του βάθους. Τα διαθέσιμα δεδομένα για τα δομικά υλικά και για τους τύπους φθοράς ήταν πρακτικά επιφανειακά, αφού όλες οι παρατηρήσεις και οι μετρήσεις αφορούσαν στο εξωτερικό τμήμα των τοιχοποιιών, γεγονός που συντέλεσε σε αδυναμία διαχείρισης σε τρεις διαστάσεις.

Προτάσεις

Μελλοντικά προτείνεται η προσπάθεια για την αντιμετώπιση σε τρεις διαστάσεις των υλικών και φθορών, ενδεχομένως με κάποιον συνδυασμό τρισδιάστατου συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών και μοντέλου κτηριακών πληροφοριών. Η παραμετροποίηση για τη δημιουργία ενός μοντέλου τύπου HBIM, απαιτεί μεγάλο βαθμό λεπτομέρειας, ώστε να μην χαθεί η τρισδιάστατη πληροφορία που αφορά στις φθορές. Καταληκτικά, οι υποστηριζόμενες δομές δεδομένων, και η γενικότερα η αποστολή της τεχνολογίας HBIM απαιτεί ακρίβεια, σωστή αναγνώριση, ποσοτικοποίηση και μελέτη της παθολογίας, καθώς η κάθε ιστορική κατασκευή είναι πολύπλοκη και μοναδική. Μία τέτοια διαδικασία αποτελεί πρόκληση, καθώς τα δεδομένα μίας διαγνωστικής μελέτης είναι συνήθως σε δισδιάστατη μορφή, αφού αναπαριστούν επίπεδες επιφάνειες, ενώ, οι χωρικές οντότητες αντικειμένων σε HBIM αναπαρίστανται από ογκομετρικά αντικείμενα σταθερής γεωμετρίας.

Οι σχετικές προσπάθειες περιορίζονται σε εφαρμογές 2.5D, δηλαδή ενυπάρχει η τρίτη διάσταση αλλά στην πράξη απουσιάζει η πληροφορία του βάθους. Με την εφαρμογή της Μη Καταστρεπτικής Τεχνικής του Γεωραντάρ υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής της τρίτης διάστασης- του βάθους, καθώς δίνει χρήσιμες πληροφορίες για το εσωτερικό τοιχοποιιών και κατασκευών, ακόμα ανιχνεύει υπόγειες κατασκευές και αξιολογεί την κατάσταση διατήρησης μνημείων και ιστορικών κατασκευών. Επιπλέον, προτείνεται η πραγματοποίηση δειγματοληψίας ώστε να εφαρμοστούν ενόργανες μέθοδοι, που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά ορυκτολογικής και χημικής σύστασης, τα χαρακτηριστικά της υδατοαπορρόφησης και της μικροδομής του υπό εξέταση υλικού, έτσι θα προσδιοριστούν με βεβαιότητα τα δομικά υλικά και οι φθορές.

Όλες οι επιπλέον διεπιστημονικές μετρήσεις μπορούν να εισαχθούν στο σύστημα χωρικών πληροφοριών και να εξαχθούν αποτελέσματα στατιστικής και γεωχωρικής ανάλυσης. Η ενσωμάτωση σε ένα σύστημα με ενιαία γεωγραφική αναφορά, όλων των διεπιστημονικών δεδομένων, επιτρέπει αφ' ενός την ολιστική διαχείριση τους και αφ' ετέρου, κατά τη συσχέτιση μεταξύ αυτών, να μπορούν να λαμβάνονται υπ' όψη και κριτήρια θέση και προσανατολισμού.

7.Βιβλιογραφία

Camp M. John, 2013. Η αρχαία Αγορά της Αθήνας, οδηγός στον αρχαιολογικό χώρο, ΜΙΕΤ (Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τράπεζας), 130-134

Μαλλούχου Tufano, Φανή. 2016 "Προστασία και Διαχείριση Μνημείων." <https://hdl.handle.net/11419/6466>

Λύσανδρος Τσούλος, 2020. Ψηφιακό Βιβλίο «Ψηφιακή Χαρτογραφία», Διδακτικές σημειώσεις ΣΑΤΜ-ΜΓ, Μάθημα «Ψηφιακή Χαρτογραφία»

Eastman, Charles M. BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. John Wiley & Sons, 2011

Αρχείο και ημερολόγιο της Εφορείας Αρχαιοτήτων Πόλης Αθηνών για τις αποψιλώσεις και εργασίες αρχαιολογικού χώρου Αρχαίας Αγοράς Άρειου Πάγου 2013 (με αριθμό 81)

Α. Μοροπούλου, 2023, Διδακτικές Σημειώσεις: «Δομικά Υλικά (Λίθοι, Μάρμαρα)», Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση – Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης

Χ. Παπατρέχας, 2023, Διδακτικές Σημειώσεις: «Περί Λίθων», Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση – Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης

Α. Μοροπούλου, Κ. Λαμπρόπουλος, 2023, Διδακτικές Σημειώσεις: «Κεραμικά υλικά», ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση – Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης

Α. Μοροπούλου, 2023, Διδακτικές Σημειώσεις: «Περιβαλλοντικά αίτια Φαινόμενα και μηχανισμοί της φθοράς- Σχέση φθοράς και παθολογίας», Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση – Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης

Α. Μοροπούλου, 2023, Διδακτικές Σημειώσεις: «Μη Καταστρεπτικές και Ενόργανες Μέθοδοι Χαρακτηρισμού και Διάγνωσης της Φθοράς και Ελέγχου Υλικών και Επεμβάσεων Συντήρησης», Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση – Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης

Μοροπούλου Α., 2009, Διδακτικές Σημειώσεις: «IRT Θερμογραφία Υπερύθρου», Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση – Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης

Μοροπούλου, Α., 2015, Διδακτικές Σημειώσεις: «Κριτήρια επιλογής υλικών και στρατηγικός σχεδιασμός επεμβάσεων συντήρησης», Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση – Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης

Μοροπούλου, Α., Σαγιάς, Ι., Δελέγκου, 2015, Διδακτικές Σημειώσεις: «Χαρτογράφηση και διαχείριση δεδομένων της φθοράς με Χωρικά Συστήματα Απεικόνισης (CAD) και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)», Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» Β' Κατεύθυνση – Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης

Α. Γεωργόπουλος, 2020, Διδακτικές Σημειώσεις: «Αποτυπώσεις μνημείων», ΣΑΤΜ-ΜΓ

Α. Δελέγκου. “Κριτήρια και Μεθοδολογία Αποτίμησης Υλικών και Στρατηγικός Σχεδιασμός Επεμβάσεων Καθαρισμού σε Μαρμάρινες Επιφάνειες Μνημείων” (2011), Διδακτορική Διατριβή, Επιβλέπουσα: Καθ. Α. Μοροπούλου

Τσιλιμαντού, Ελισάβετ. "Μεθοδολογία και Ψηφιακό περιβάλλον ολοκληρωμένης διαχείρισης δεδομένων στην κλίμακα ιστορικών κτιρίων και συνόλων." (2020), Επιβλέπουσα: Καθ. Α. Μοροπούλου.

Tentoma, Nefeli, 2024, "Virtually Reconstructing the Past: Identifying Authenticity in a Virtual Reality Application for the Library of Pantainos in Athens", Leuven University

Lopez-Mencher0, V. M., & Grande, A. (2011, September). The principles of the Seville Charter. In CIPA symposium proceedings (Vol. 2011, pp. 2-6).

Bentkowska-Kafel, A., Denard, H., & Baker, D. (2016). The London Charter for the Computer-based Visualisation of Cultural Heritage (Version 2.1, February 2009) 1. In *Paradata and Transparency in Virtual Heritage* (pp. 73-78). Routledge.

ICOMOS. (1979). The Australia ICOMOS Guidelines for the Conservation of Places of Cultural Significance ("Burra Charter"). Australia ICOMOS.

Athens Charter. (1931). The Athens Charter for the Restoration of Historic Monuments. Adopted at the First International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Athens 1931.

Μοροπούλου, Α., Δελέγκου, Α.Θ., Γεραβέλη, Μ., Μιχαήλ, Σ., Μπακόλας, Α., "Στρατηγικός Σχεδιασμός Συμβατών Υλικών και Επεμβάσεων Συντήρησης. Η Περίπτωση του Μεγάλου Μελά και του πρώην Ξενοδοχείου Excelsior στην Αθήνα", 2^ο Εθνικό Συνέδριο Ήπιες Επεμβάσεις για την Προστασία Ιστορικών Κατασκευών, εκδ. επιμέλεια Κ. Τρακοσοπούλου, Μ. Δούση, Ν.Κ. Χατζητρύφων, Θεσσαλονίκη, 1^ος τόμος, 14 – 16 Οκτωβρίου (2004) σ. 341-352.

Αγγελακοπούλου, Ε., Αθανασιάδου, Α., Γεωργόπουλος, Α., Γεωργουσόπουλος, Γ., Δελέγκου, Αι., Καλογεράς, Ν., Σβολόπουλος, Δ., Χρονόπουλος, Μ., 2004-2005. «Σύνταξη προδιαγραφών της Διαγνωστικής Μελέτης σε διεπιστημονική βάση για έκδοση υπουργικής απόφασης για την υλοποίηση του Ν.3028 (Άρθρο 40, παρ. 4) του Υπουργείου Πολιτισμού για την Προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς», Εισήγηση ΟΕ ΤΕΕ

Georgopoulos, A. (2017). Data acquisition for the geometric documentation of cultural heritage. *Mixed reality and gamification for cultural heritage*, 29-73.

Georgopoulos, A., Kontogianni, G., Koutsaftis, C., & Skamantzari, M. (2017). Serious games at the service of cultural heritage and tourism. In *Tourism, Culture and Heritage in a Smart Economy: Third International Conference IACuDiT, Athens 2016* (pp. 3-17). Springer International Publishing.

Ioannidis, C., & 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), 179-197.

Delegou, E. T., Tsilimantou, E., Oikonomopoulou, E., Sayas, J., Ioannidis, C., & Moropoulou, A. (2013). Mapping of building materials and consevation interventions using GIS: The case of Sarantapicho Acropolis and Erimokastro Acropolis in Rhodes. *International journal of heritage in the digital era*, 2(4), 631-653.

Moropoulou, A., Avdelidis, N. P., & Delegou, E. T. (2004). NDT and planning on historic buildings and complexes for the protection of cultural heritage. In *Cultural heritage conservation and environmental impact assessment by non-destructive testing and micro-analysis* (pp. 75-84). CRC Press.

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

Moropoulou, A., Delegou, E. T., Avdelidis, N. P., & Athanasiadou, A. (2005, April). Integrated diagnostics using advanced in situ measuring technology. In *Proceedings of the 10th international conference on durability of building materials and components*, Lyon, France (pp. 17-20).

Moropoulou, A., Kouli, M., Avdelidis, N. P., & Kourteli, C. (2000). Preservation planning as a tool for a sustainable historic city. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 39.

Moropoulou, A., Kouli, M., Kourteli, C., Avdelidis, N. P., & Achilleopoulos, N. (2000). GIS management of NDT results for the spatial estimation of environmental risks to historic monuments. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 45.

Moropoulou, A., Kouli, M., Tsiourva, T., Kourteli, C., & Papatiriu, D. (1996). Macro-and micro-non destructive tests for environmental impact assessment on architectural surfaces. *MRS Online Proceedings Library*, 462, 343-349.

Moropoulou, A., Kouli, M., Tsiourva, T., Kourteli, C., & Papatiriu, D. (1996). Macro-and micro-non destructive tests for environmental impact assessment on architectural surfaces. *MRS Online Proceedings Library*, 462, 343-349.

Moropoulou, A., Bakolas, A., & Bisbikou, K. (2000). Investigation of the technology of historic mortars. *Journal of Cultural Heritage*, 1(1), 45-58.

Georgopoulos, A. (2016). 3D GEO: An alternative approach. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 99-106.

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.

Avdelidis, N. P., & Moropoulou, A. (2004). Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures. *Journal of Cultural Heritage*, 5(1), 119-127.

Salonia, P., & Negri, A. (2003). Historical buildings and their decay: Data recording, analysing and transferring in an ITC environment. *INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES*, 34(5/W12), 302-306.

Elisavet, T., Ekaterini, D. T., Fotios, B., Sevasti, T., Sofia, S., Charalabos, I., & Antonia, M. (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* (pp. 234-248). Springer International Publishing.

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.

Adamopoulos, E., Volinia, M., Girotto, M., & Rinaudo, F. (2020). Three-dimensional thermal mapping from IRT images for rapid architectural heritage NDT. *Buildings*, 10(10), 187.

Adamopoulos, E., Tsilimantou, E., Keramidas, V., Apostolopoulou, M., Karoglou, M., Tapinaki, S., ... & Moropoulou, A. (2017). Multi-sensor documentation of metric and qualitative information of historic stone structures. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 1-8.

Logothetis, S., Karachaliou, E., & Stylianidis, E. (2017). From OSS CAD to BIM for cultural heritage digital representation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 439-445.

Suveg, I., & Vosselman, G. (2000). 3D reconstruction of building models. *International archives of photogrammetry and remote sensing*, 33(B2; PART 2), 538-545.

Garagnani, S., & Manferdini, A. M. (2013). Parametric accuracy: building information modeling process applied to the cultural heritage preservation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 87-92.

Ibrahim, M., & Krawczyk, R. (2003, October). The level of knowledge of CAD objects within the building information model. In *Association for Computer-Aided Design in Architecture 2003 Conference* (pp. 172-177).

Czmoch, I., & Pękala, A. (2014). Traditional design versus BIM based design. *Procedia Engineering*, 91, 210-215.

Διαδικτυακές Πηγές

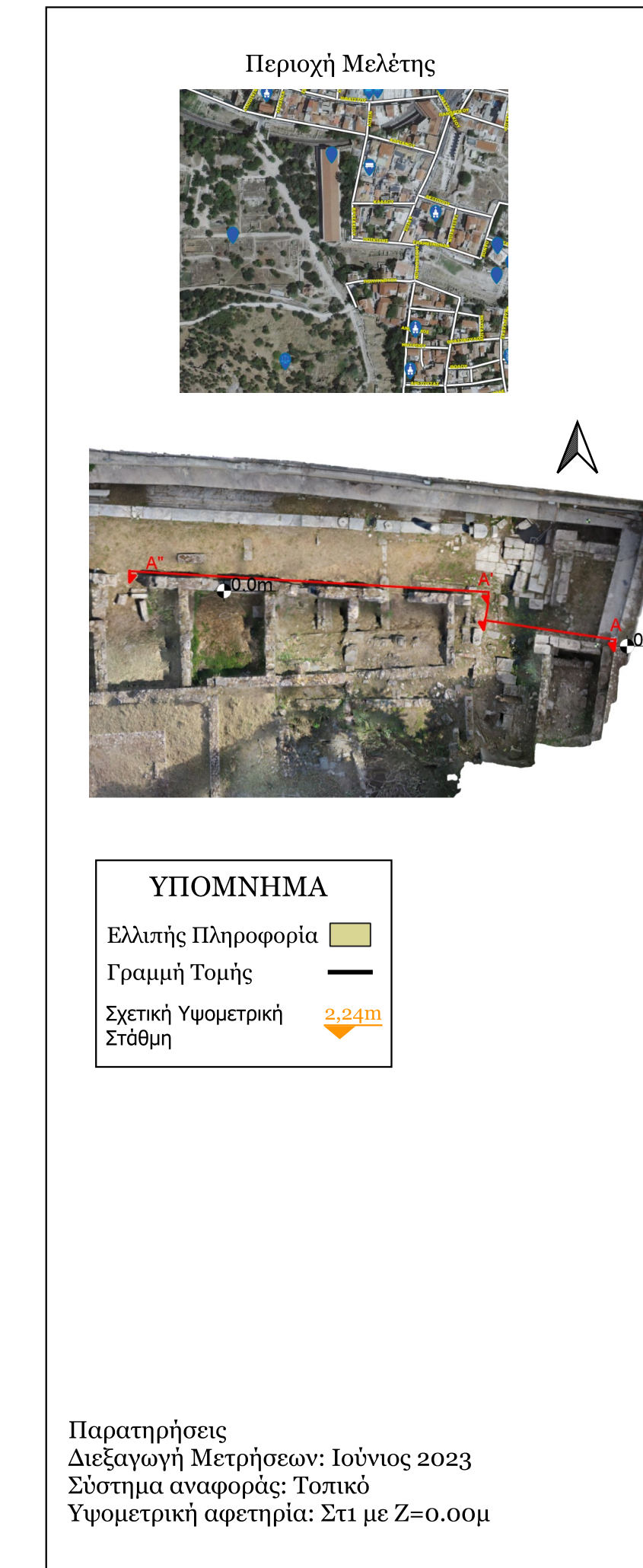
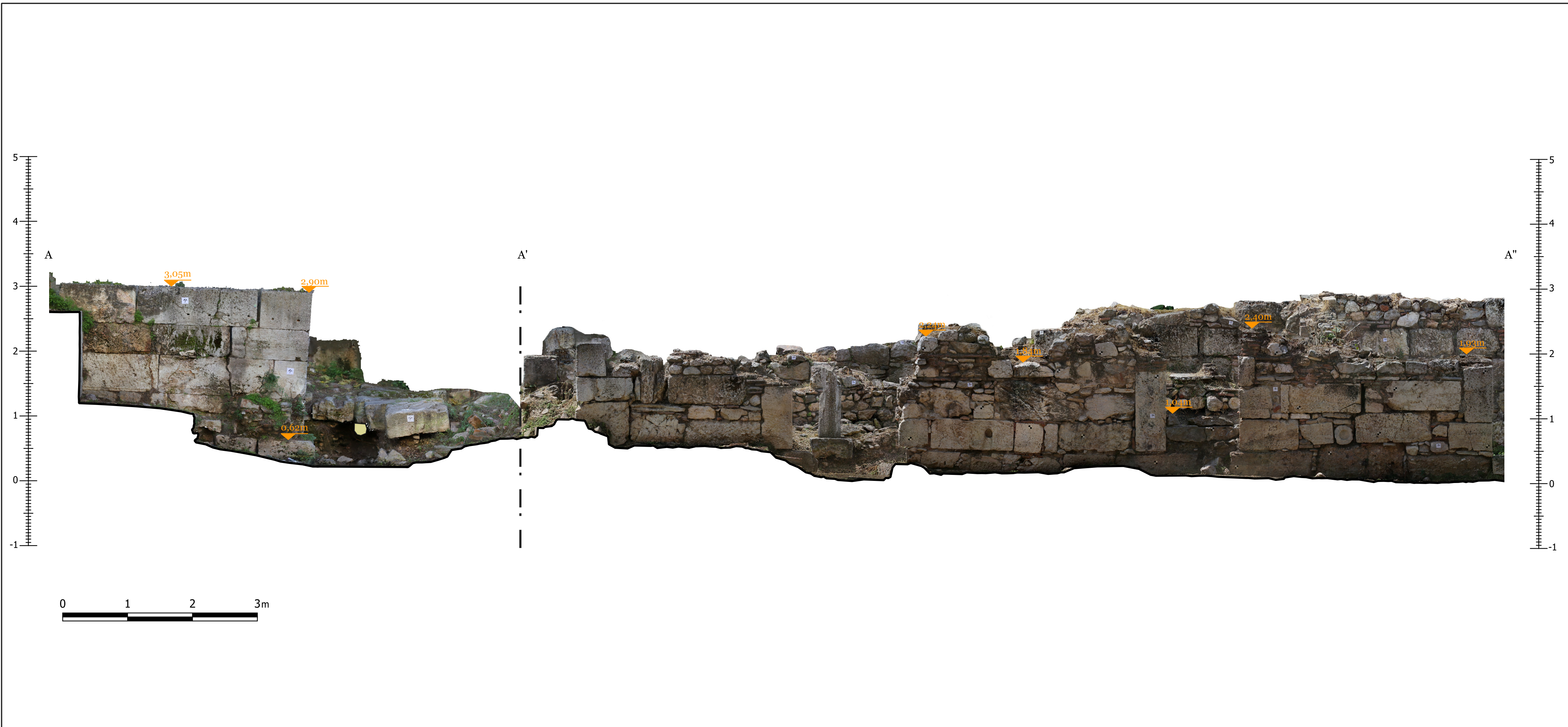
<https://agora.ascsa.net/research?v=list&q=library+of+pantainos>, τελευταία πρόσβαση: 20/10/24

<https://th-ink.eu/%CF%83%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%AF%CE%BF-%CE%B5%CE%BD%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%86%CE%AD%CF%81%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%82/?route=25&id=52>, τελευταία πρόσβαση: 20/10/24

<https://www.qgis.org/>, τελευταία πρόσβαση: 10/10/24

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
Η περίπτωση των οικοδομημάτων της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Ελλιπής Πληροφορία	
Γραμμή Τομής	
Σχετική Υψομετρική Στάθμη	▼ 2.24m

Παρατηρήσεις
 Διεξαγωγή Μετρήσεων: Ιούνιος 2023
 Σύστημα αναφοράς: Τοπικό
 Υψομετρική αφετηρία: Στι με Z=0.00μ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
 ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
 Δ.Π.Μ.Σ. "ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ"
 Β' ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
 ΑΚ. ΕΤΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ 2022-2023

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ολιστική τριδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
 Η περίπτωση των οικοδομημάτων στην περιοχή της Βιβλιοθήκης του Πανταίου
 στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

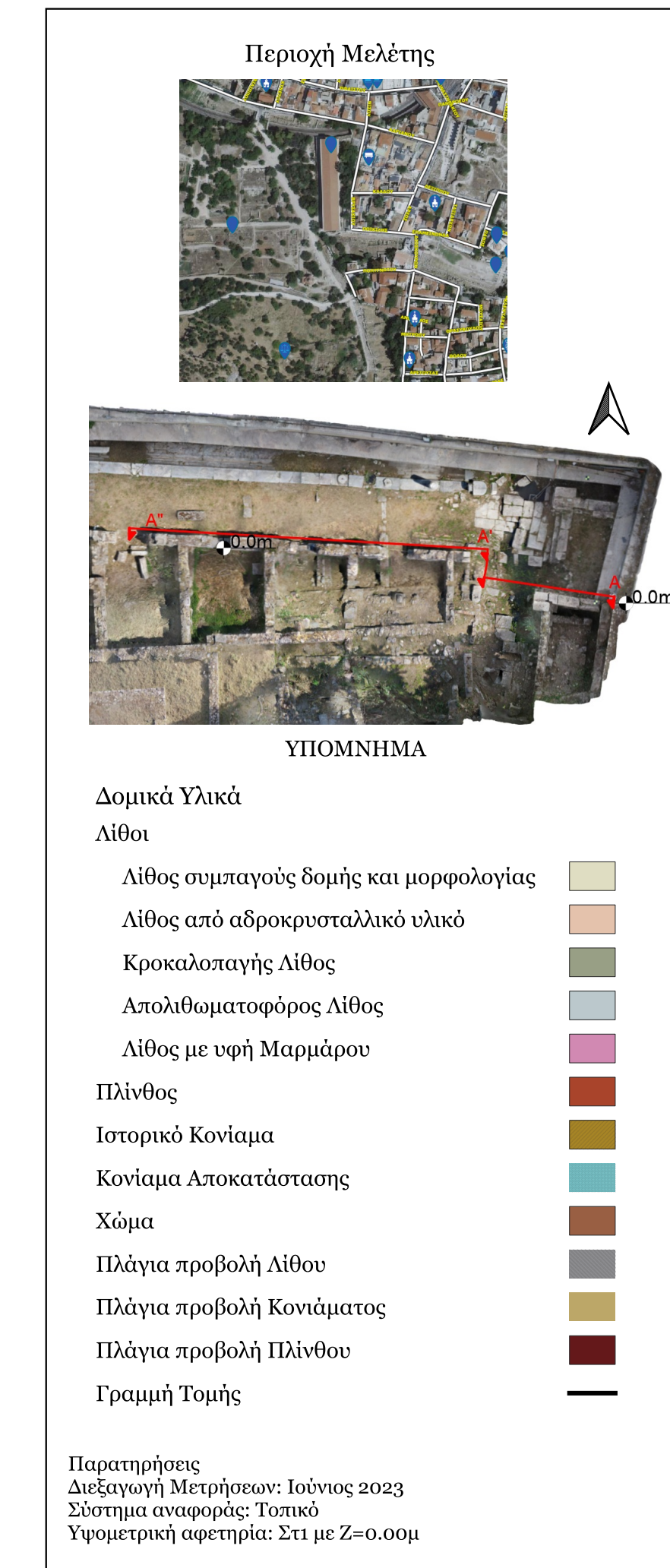
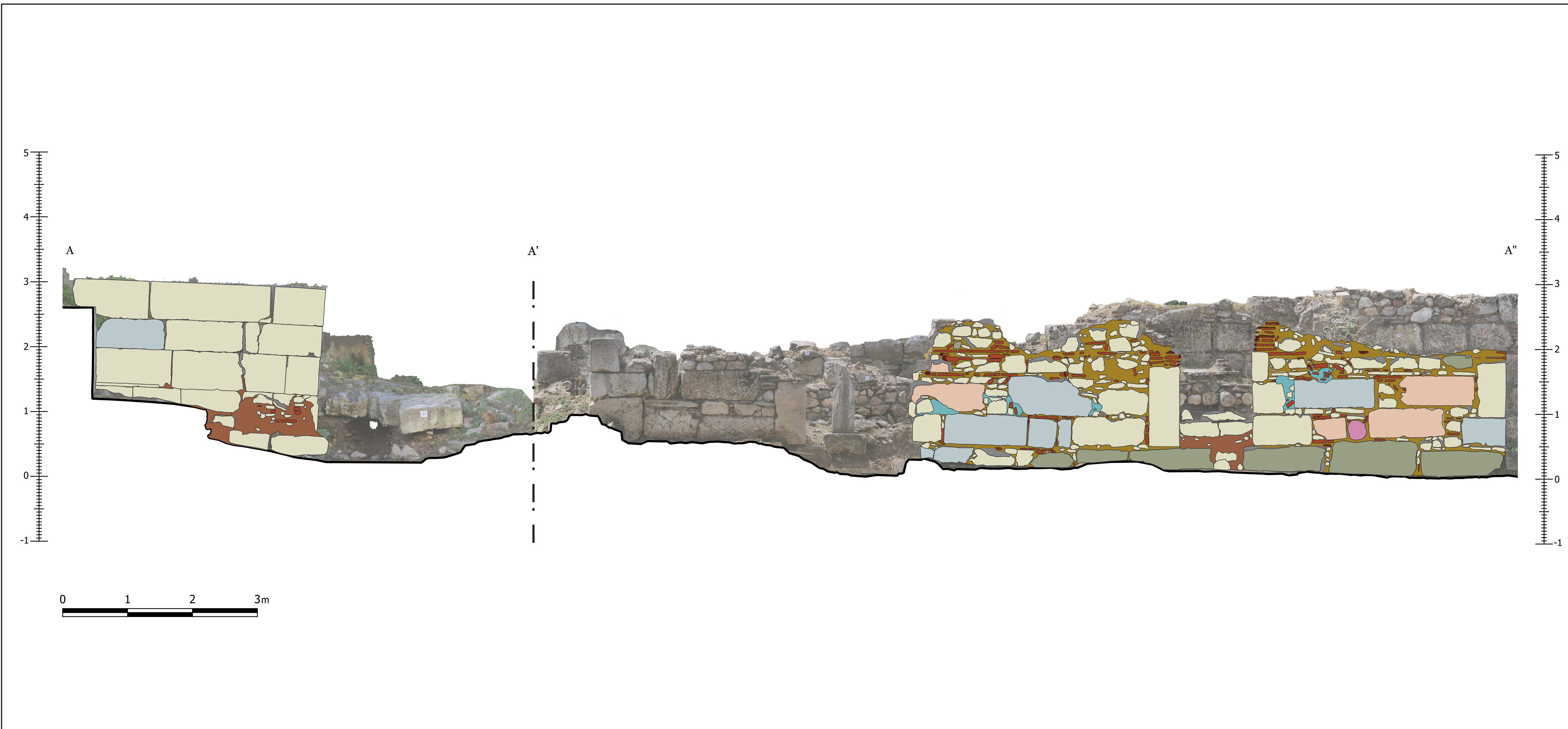
Τίτλος Σχεδίου:
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ Α-Α'-Α''
 Ορθοφωτογραφία του νότιου τοίχου του κλιμακοστασίου και των προσόψεων των
 δωματίων 6-7-8, της Πλατείας Οδού.


ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ **01** ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2024

ΚΟΝΤΟΥΔΑΚΗ ΑΝΔΡΙΑΝΝΑ
 ΑΓΡΟΝΟΜΟΣ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ- ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ
 Α. ΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΣ, Ομ. Καθ. ΣΑΤΜ-ΜΓ, ΕΜΠ
 Α. ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ, Ομ. Καθ. ΧΜ, ΕΜΠ
 Σ. ΤΑΠΕΙΝΑΚΗ, ΕΔΙΠ ΣΑΤΜ-ΜΓ, ΕΜΠ
 Α. ΔΕΛΕΓΚΟΥ, ΕΔΙΠ, ΧΜ, ΕΜΠ
 Κ. ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΣ, Επ. Καθ., ΧΜ, ΕΜΠ




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
 ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
 Δ.Π.Μ.Σ. "ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ"
 Β' ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
 ΑΚ. ΕΤΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ 2022-2023

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ολιστική τρισδιάσταση τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
 Η περίπτωση των οικοδομημάτων στην περιοχή της Βιβλιοθήκης του Πανταίνου
 στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

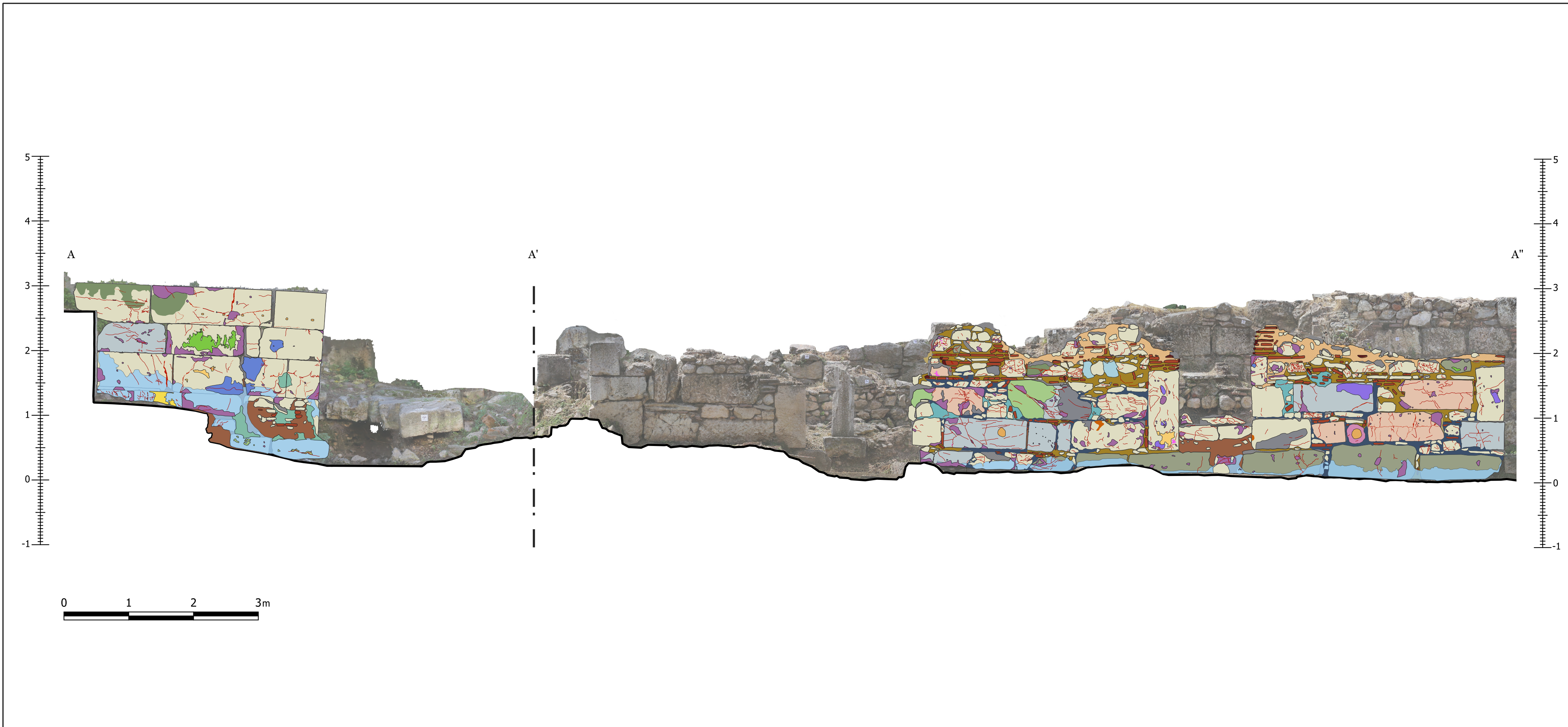
Τίτλος Σχεδίου:
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ Α-Α'-Α''
 Δομικά Υλικά του νότιου τοίχου του κλιμακοστασίου και των προσόψεων των
 δωματίων 6-7-8, της Πλατείας Οδού.


ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ 02 ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2024

ΚΟΝΤΟΥΔΑΚΗ ΑΝΔΡΙΑΝΝΑ
 ΑΓΡΟΝΟΜΟΣ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ- ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ
 Α. ΓΕΩΡΓΙΟΠΟΥΛΟΣ, Ομ. Καθ. ΣΑΤΜ-ΜΓ, ΕΜΠ
 Α. ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ, Ομ. Καθ. ΧΜ, ΕΜΠ
 Σ. ΤΑΠΕΙΝΑΚΗ, ΕΔΙΠ ΣΑΤΜ-ΜΓ, ΕΜΠ
 Α. ΔΕΛΕΓΚΟΥ, ΕΔΙΠ, ΧΜ, ΕΜΠ
 Κ. ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΣ, Επ. Καθ., ΧΜ, ΕΜΠ





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
 ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
 Δ.Π.Μ.Σ. "ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ"
 Β' ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
 ΑΚ. ΕΤΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ 2022-2023

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ολιστική τρισδιάστατη τεκμηρίωση γεωμετρίας, δομικών υλικών και φθορών.
 Η περίπτωση των οικοδομημάτων στην περιοχή της Βιβλιοθήκης του Πανταίου
 στην Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Τίτλος Σχεδίου:
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ Α-Α'-Α''
 Φθορές του νότιου τοίχου του κλιμακοστασίου και των προσόψεων των δωματίων
 6-7-8, της Πλατείας Οδού.

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ **03**

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2024

ΚΟΝΤΟΥΔΑΚΗ ΑΝΔΡΙΑΝΝΑ
 ΑΓΡΟΝΟΜΟΣ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ- ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ
 Α. ΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΣ, Ομ. Καθ. ΣΑΤΜ-ΜΓ, ΕΜΠ
 Α. ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ, Ομ. Καθ. ΧΜ, ΕΜΠ
 Σ. ΤΑΠΕΙΝΑΚΗ, ΕΔΙΠ ΣΑΤΜ-ΜΓ, ΕΜΠ
 Α. ΔΕΛΕΓΚΟΥ, ΕΔΙΠ, ΧΜ, ΕΜΠ
 Κ. ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΣ, Επ. Καθ., ΧΜ, ΕΜΠ