



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟ ΨΗΦΙΔΩΤΟ ΔΑΠΕΔΟ ΤΗΣ ΚΡΗΝΗΣ ΚΑΛΛΙΡΡΟΗΣ ΣΤΟ ΛΟΦΟ ΤΗΣ ΠΝΥΚΑΣ
ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΔΗΜΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ, Α.Μ. 52015032
ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: ΧΛΟΥΒΕΡΑΚΗ ΣΤΕΦΑΝΙΑ, ΜΑΚΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF APPLIED ARTS AND CULTURE
DEPARTMENT OF CONSERVATION OF ANTIQUITIES AND WORKS OF ART

DIPLOMA THESIS

THE MOSAIC FLOOR IN THE FOUNTAIN 'KALLIRROI' ON THE HILL OF PNYKA
CONSERVATION SURVEY

STUDENT: NIKODIMOU PANAGIOTIS

REGISTRATION NUMBER: 52015032

SUPERVISORS: STEFANIA CHLOUVERAKI, DIMITRIOS MAKRIS

ATHENS, SEPTEMBER 2022

Τίτλος εργασίας:

Το ψηφιδωτό δάπεδο της κρήνης Καλλιρρόης στο λόφο της Πνύκας – μελέτη συντήρησης.

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/α	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΣΤΕΦΑΝΙΑ ΧΛΟΥΒΕΡΑΚΗ	Επίκουρη Καθηγήτρια	
2	ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΑΚΡΗΣ	Επίκουρος Καθηγητής	
3	ΑΛΕΞΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΗΣ	Επίκουρος Καθηγητής	

Ονοματεπώνυμο / Ιδιότητα

Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΧΙΑΚΗΣ/ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

Η κάτωθι υπογεγραμμένος **Νικοδήμου Παναγιώτης** του **Νικόδημου**, με αριθμό μητρώου **52015032** φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της σχολής **Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού** του Τμήματος **Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης**, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολο τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιότητας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου»

Ο Δηλών



(Υπογραφή)

Ευχαριστίες:

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές μου κ. Στεφανία Χλουβεράκη και τον κ. Δημήτριο Μακρή για την βοήθεια και καθοδήγηση τους στην πορεία της πτυχιακής μου εργασίας. Έπειτα θα ήθελα να ευχαριστήσω από το προσωπικό της Εφορείας Αρχαιοτήτων Πόλης Αθηνών, τις υπεύθυνες συντηρήτριες του χώρου όπου πραγματοποιήθηκε η μελέτη συντήρησης, την κ. Μαργαρίτα Βενάκη, την κ. Χρυσσαυγή Κουνδουράκη και τις συντηρήτριες κ. Άννα Μητσάνη, την κ. Κλειώ Στρατηγάκη και την κ. Γιάννα Μονεμβασίου, που με δέχτηκαν με μεγάλη προθυμία και με την αμέριστη βοήθεια τους πραγματοποίησα την μελέτη και τις εργασίες συντήρησης στον υπόσκαφο χώρο στην Πνύκα. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αθανάσιο Καραμπότσο, τεχνολογικό προσωπικό του τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, για τις γνώσεις που μου μετάφερε και την βοήθεια του στο εργαστήριο του SEM/EDS, καθώς επίσης και την κ. Μαρία Γιαννουλάκη για τις γνώσεις και την βοήθεια της στις αναλύσεις με την μέθοδο XRD. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους και την οικογένεια μου για την ψυχολογική στήριξη καθ' όλη την διάρκεια της πτυχιακής μου εργασίας.

Περιεχόμενα:

Περίληψη:.....	8
Abstract:	8
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	9
1.1. Στόχοι:	9
1.2. Μεθοδολογία:	9
Κεφάλαιο 2. Ιστορική αναδρομή	11
2.1. Το μνημείο της Κρήνη Καλλιρρόης	12
2.2. Περιγραφή του ψηφιδωτού δαπέδου	14
2.3. Σύστημα Munsell.....	18
Κεφάλαιο 3. Τεχνολογία Κατασκευής.....	22
3.1. Δομή και υλικά του ψηφιδωτού δαπέδου.....	22
3.2. Ιδιότητες και χαρακτηριστικά των υλικών.....	23
3.2.1. Ψηφίδες	23
3.2.2. Κονιάματα	23
3.2.3. Ασβέστης.....	23
3.2.4. Θηραϊκή γη.....	24
3.2.5. Άμμος	24
3.2.6. Κεραμιδόσκονη ή Τουβλόσκονη	24
3.3. Μικροδομή των υλικών του ψηφιδωτού δαπέδου	25
3.3.1. Διερεύνηση του ψηφιδωτού δαπέδου με την με τη μέθοδο των Μικροσεισμικών Κυμάτων και της Ηχούς από Κρούση (SASW, Impact Echo)	25
3.3.2. Μελέτη των δειγμάτων με φορητό Ψηφιακό Μικροσκόπιο (DM)	25
3.3.3. Εξέταση των δειγμάτων με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης με μικροανάλυση ακτίνων-Χ (SEM-EDS).....	26
3.3.4. Εξέταση των δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (XRD)	26
3.3.5. Εξέταση των δειγμάτων με θερμοβαρυμετρική ανάλυση (TG-DTG).....	27
Κεφάλαιο 4. Καταγραφή προηγούμενων επεμβάσεων και μελέτες συντήρησης στο χώρο	27
4.1. Προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης	27
4.2. Προηγούμενες μελέτες συντήρησης.....	31
Κεφάλαιο 5. Τεκμηρίωση της κατάστασης διατήρησης του μνημείου και του ψηφιδωτού δαπέδου/ Παθολογία.....	33
5.1. Φωτογραμμετρία	33
5.2. Τρισδιάστατη Ψηφιοποίηση	37

5.3. Κατάσταση διατήρησης του πετρώματος και των εσωτερικών τοιχωμάτων του σπηλαίου	41
5.4. Κατάσταση διατήρησης των σωζόμενων κονιαμάτων	41
5.5. Κατάσταση διατήρησης του ψηφιδωτού δαπέδου	43
5.5.1. Παράγοντες φθοράς.....	47
5.5.2. Η δράση του νερού	47
5.5.3. Φθορά από άλατα.....	48
5.5.4. Επίδραση των θερμοκρασιακών μεταβολών.....	50
5.5.5. Επίδραση των ατμοσφαιρικών ρύπων.....	51
5.5.6. Βιολογικοί παράγοντες φθοράς.....	52
5.5.7. Ανθρώπινη δραστηριότητα.....	53
5.5.8. Φθορά από ακραία καιρικά φαινόμενα και φυσικές καταστροφές	54
5.5.9. Επιπτώσεις μηχανισμών φθοράς σε ψηφιδωτά δάπεδα	54
5.6. Μελέτη του περιβάλλοντος χώρου μέσω καταγραφέα δεδομένων κλίματος για την καταγραφή σχετικής υγρασίας / θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε βάθος χρόνου	56
5.7. Μελέτη επιρροής της σχετικής υγρασίας στο ψηφιδωτό δάπεδο, μέσω συσκευής μικροκυμάτων για μέτρηση της ποσότητας υγρασίας σε χ βάθος	59
5.8. Έλεγχος αγωγιμότητας διαλυτών/αδιάλυτων αλάτων μέσω της μεθόδου αφαλάτωσης.....	61
5.9. Μελέτη των δειγμάτων με φορητό Ψηφιακό Μικροσκόπιο (DM)	63
5.10. Αναλύσεις δειγμάτων αδιάλυτων αλάτων στην ψηφιδωτή επιφάνεια του δαπέδου, μέσω της μεθόδου ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης μικροαναλυτή (SEM-EDS)	63
5.11. Αναλύσεις δειγμάτων αδιάλυτων αλάτων στην ψηφιδωτή επιφάνεια του δαπέδου, μέσω της φυσικοχημικής μεθόδου περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD).....	68
Κεφάλαιο 6. Σχεδιασμός δοκιμών καθαρισμού της επιφάνειας στο ψηφιδωτό	70
6.1. Δοκιμές καθαρισμού με ήπια χημικά μέσα	72
Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα και προτάσεις συντήρησης.....	77
7.1. Συμπεράσματα:.....	77
7.2. Προτάσεις συντήρησης	80
7.3. Σχεδιασμός προγράμματος περιοδικού ελέγχου	80
Βιβλιογραφία	81
Παραρτήματα.....	84

Περίληψη:

Η πτυχιακή εργασία αποσκοπεί στην μελέτη και τεκμηρίωση του Ρωμαϊκού ψηφιδωτού δαπέδου της Κρήνης Καλλιρρόης της Πνύκας. Μελετήθηκε και καταγράφηκε η κατάσταση διατήρησης του, τα υλικά και η τεχνολογία κατασκευής του. Στην συνέχεια τεκμηριώθηκαν και αξιολογήθηκαν οι επεμβάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι και σήμερα στον υπόσκαφο χώρο. Βάση των στοιχείων που έχουν προκύψει από τη μελέτη θα παρατεθούν προτάσεις συντήρησης για την μακροχρόνια προστασία και την διατήρηση του μνημείου. Η τεκμηρίωση πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο της φωτογραμμετρίας ενώ για την μελέτη των υλικών και της τεχνολογίας κατασκευής έχουν μελετηθεί βιβλιογραφικές αναφορές.

Abstract:

This Thesis, aims at the study and documentation of the Roman mosaic floor of the Kallirrooi Fountain of Pnyka. Its condition, materials and construction technology were studied and documented. Subsequently, the conservation and restoration treatment, that have been performed to this day, were documented and evaluated. Based on the data that emerged from the study, conservation proposals for the protection and the long-term preservation of the monument are presented. The documentation will be carried out with the method of photogrammetry, while for the study of the construction technology and the materials used; bibliographic references were studied.

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Η πτυχιακή αυτή εργασία αποσκοπεί στην τεκμηρίωση και μελέτη του ψηφιδωτού δαπέδου της Κρήνης της Πνυκός. Θα μελετηθούν τα υλικά και η τεχνολογία κατασκευής του, η παθολογία, το περιβάλλον έκθεσης και οι παράγοντες φθοράς και θα αξιολογηθούν οι επεμβάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα. Τα δεδομένα που θα προκύψουν θα αξιοποιηθούν στο σχεδιασμό ενός προγράμματος συντήρησης και περιοδικού ελέγχου για την σταθεροποίηση και την προστασία του ψηφιδωτού. Μετά από αίτημα στην Εφορεία Αρχαιοτήτων Πόλης Αθηνών, ΥΠΠΟΑ/30177, παραχωρήθηκε η άδεια της μελέτης και δειγματοληψίας του ψηφιδωτού με αρ. πρωτ. ΥΠΠΟΑ/ΓΔΑΠΚ/ΔΣΑΝΜ/Φ77/217149/ 140435/2243 εγκύκλιο της ΔΣΑΝΜ.

1.1. Στόχοι:

1. Η μελέτη των ιστορικών στοιχείων του μνημείου για την λήψη πληροφοριών όσο αφορά το αντικείμενο στο πέρασμα των αιώνων.
2. Η τεκμηρίωση του ψηφιδωτού δαπέδου (αποτύπωση, δημιουργία χαρτών), με σκοπό την καταγραφή της τεχνολογίας κατασκευής, των προηγούμενων επεμβάσεων και της παθολογίας του.
3. Η μελέτη του περιβάλλοντος χώρου όπως π.χ. η επιρροή της σχετικής υγρασίας στο ψηφιδωτό δάπεδο.
4. Μελέτη και τεκμηρίωση του μικροκλίματος του μνημείου.
5. Η μελέτη των διαλυτών και αδιάλυτων αλάτων στην ψηφιδωτή επιφάνεια του δαπέδου.
6. Η ανάλυση δειγμάτων που έχουν παρθεί από την υποδομή του ψηφιδωτού δαπέδου με σκοπό την ακριβή ταυτοποίηση των υλικών κατασκευής.
7. Ο σχεδιασμός ενός προγράμματος συντήρησης και περιοδικού ελέγχου με σκοπό την μακροχρόνια προστασία και διαφύλαξη του μνημείου.

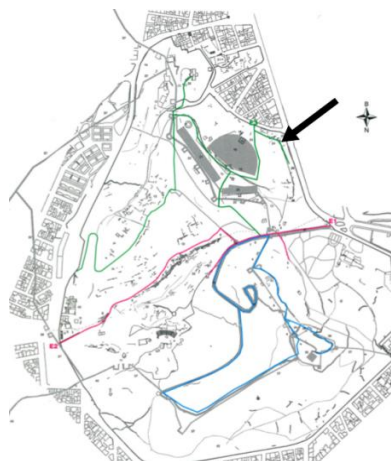
1.2. Μεθοδολογία:

1. Τεκμηρίωση του ψηφιδωτού δαπέδου μέσω μακροσκοπικής και μικροσκοπικής παρατήρησης, φωτογραφικής και σχεδιαστικής αποτύπωσης για την καταγραφή της τεχνολογίας κατασκευής, των προηγούμενων επεμβάσεων και της παθολογίας του.
2. Συνολική αποτύπωση της επιφάνειας του ψηφιδωτού, δημιουργία χαρτών μέσω της μεθόδου της φωτογραμμετρίας για την καταγραφή των φθορών και των προηγούμενων επεμβάσεων.
3. Μελέτη του περιβάλλοντος χώρου μέσω καταγραφέα δεδομένων κλίματος για την καταγραφή σχετικής υγρασίας-θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε βάθος χρόνου.
4. Μελέτη επιρροής της σχετικής υγρασίας στο ψηφιδωτό δάπεδο, μέσω συσκευής μικροκυμάτων για μέτρηση της ποσότητας υγρασίας σε χ βάθος.

5. Μελέτη των αδιάλυτων αλάτων στην ψηφιδωτή επιφάνεια του δαπέδου, μέσω της μεθόδου αφαλάτωσης, μέσω της μεθόδου ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης μικροαναλυτή (SEM-EDS) και μέσω της φυσικοχημικής μεθόδου περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD).
6. Μελέτη βιβλιογραφικών αναφορών για την διερεύνηση της υποδομής του ψηφιδωτού δαπέδου με τη χρήση μη καταστρεπτικής μεθόδου μικροσεισμικών επιφανειακών κυμάτων και της ηχούς από κρούση (SASW- Impact Echo).
7. Μελέτη βιβλιογραφικών αναφορών για την ακριβή ταυτοποίηση των υλικών κατασκευής της υποδομής του ψηφιδωτού δαπέδου, με φυσικοχημικές μεθόδους, συγκεκριμένα με:
 - (i) Φορητό ψηφιακό μικροσκόπιο (DM).
 - (ii) Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης μικροαναλυτή (SEM-EDS).
 - (iii) Περίθλαση ακτίνων Χ (XRD).
 - (iv) Θερμική ανάλυση (TG-DTG).

Κεφάλαιο 2. Ιστορική αναδρομή

Στην ανατολική κλιτύ του λόφου της Πνύκας βρίσκεται η Κρήνη της Πνυκός, ένα υπόσκαφο σπήλαιο διαμορφωμένο σε κρήνη το οποίο χρονολογείται στο τελευταίο τέταρτο του 6ου αιώνα π.Χ. (Εικ.2.1). Σύμφωνα με την αρχαιολόγο, κυρία Τατιάνα Πούλου (Α΄ Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων), κατά τις ανασκαφές του Γερμανικού Αρχαιολογικού Ινστιτούτου των ετών 1891-1898, στη δυτική πλευρά της Ακρόπολης, ήρθε στο φως ένα πολυσύνθετο υδροδοτικό δίκτυο λαξευμένο στο φυσικό βράχο, αποτελούμενο από αγωγούς, κανάλια, φρεάτια, δεξαμενές και στοές. Η υπόσκαφη αυτή κατασκευή που ταυτίστηκε από τους Doerfeld και Graeber με την Καλλιρρόη των αρχαίων πηγών, εκτίμησαν ότι η χρήση παρέμεινε και μετά την κατασκευή του πεισιστράτειου δικτύου και λάμβανε πλέον από εκεί νερό. Βασικό τμήμα του πεισιστράτειου δικτύου αποτελεί το δυτικό τμήμα, «ο κλάδος της Πνυκός», ο οποίος τροφοδοτούσε την «Κρήνη Καλλιρρόη» κατά Dörpfeld ή την «Κρήνη της Πνύκας» κατά Kastenbein. Ο Γερμανός αρχαιολόγος Dörpfeld, σε μια εποχή που τα μνημεία αυτά δεν είχαν αποκαλυφθεί αναζήτησε λοιπόν την αρχαία πηγή Καλλιρρόη και την Εννεάκρουνο στην περιοχή ανατολικά του λόφου της Πνύκας και νότια του Αρείου Πάγου, με βάση όσα έγραφε ο Πausanias και έτσι η μεγάλη υπόσκαφη κρήνη που εντοπίζεται στα βράχια της Πνύκας ταυτίζεται λανθασμένα με την πηγή Καλλιρρόη (Μπαμπουρδά Δ.,2010,Πούλου Τ.,2011). Επίσης το σύστημα αυτό αξιολογήθηκε από τον Graber ως ύψιστης σημασίας ανασκαφή, που υποδηλώνει τη βαθύτατη ανάγκη για εξεύρεση πόσιμου νερού στην ξηρή αρχαία Αθήνα, η οποία οδήγησε τους κατοίκους της στη δημιουργία πολύπλοκων υδραυλικών συστημάτων (Βικέλα, 2010,Chiotis al., 2012). Στη ρωμαϊκή περίοδο εξωραΐστηκε με μωσαϊκό δάπεδο και μαρμάρινη επίστρωση. Κατά τη διάρκεια του β' παγκοσμίου πολέμου, η κρήνη της Καλλιρρόης χρησιμοποιήθηκε για τη φύλαξη αρχαίων αντικειμένων, από τον τότε Έφορο Αρχαιοτήτων Γιάννη Μηλιάδη, ως κρύπτη αρχαιοτήτων που προέρχονταν από το Μουσείο της Ακροπόλεως και το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο (Ζαχαρέγκα Φ.,2014).



Εικ.2.1: Ανατολική κλιτύ του λόφου της Πνύκας, ορίζεται με μαύρο βέλος. Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού – Εφορεία Αρχαιοτήτων πόλης Αθηνών, 2019.

2.1. Το μνημείο της Κρήνη Καλλιρρόης

Η είσοδος της κρήνης έχει σήμερα πρόσβαση από τον πεζόδρομο της Αποστόλου Παύλου και έχει επικρατήσει να την αποκαλούν «Κρήνη Καλλιρρόη της Πνύκας»(Εικ.2.2). Σύμφωνα με τον Dörpfeld (Dörpfeld, 1892) πρόκειται για κρηναία εγκατάσταση, η οποία διατηρείται σε άριστη σχεδόν κατάσταση. Μία κτιστή λίθινη κλίμακα, οδηγεί στο εσωτερικό του θαλάμου σε ένα μεγάλο δωμάτιο σχεδόν τετράγωνο με πλευρές διαστάσεων 4.00 x 4.00 m λαξευμένο στο φυσικό βράχο με τοξωτά διαμορφωμένη οροφή. Απέναντι από την είσοδο, στον πίσω δυτικό τοίχο και στον άξονά του παράλληλα ως προς το θάλαμο του διαδρόμου, υπάρχει μια κόγχη βάθους 1,80 μέτρων. Η λοξότητα και η αξονικότητα της προς το διάδρομο απεικονίζουν ότι η είσοδος και η κόγχη δημιουργούν μία ευθεία στοά, η οποία μετέπειτα διευρύνθηκε περίπου στο μέσο της για το σχηματισμό του τετράγωνου θαλάμου. Υπάρχει ένα φρεάτιο βάθους περίπου δύο μέτρων στο δάπεδο της κόγχης και στο πάνω τμήμα του πίσω τοιχώματος μια μικρότερη κογχοειδής εκβάθυνση, σχεδόν 0,80 μέτρα. Μπροστά από το φρεάτιο τοποθετήθηκε ένα μικρό θωράκιο, ώστε να μπορεί κανείς να τραβάει νερό δίπλα στο φρεάτιο, χωρίς να διατρέχει κίνδυνο. Από την είσοδο και σε ύψος 1,30 μέτρων από το δάπεδο, υπάρχει μια λαξευμένη στο φυσικό βράχο αύλακα, κατά μήκος του νότιου τοίχου με ελάχιστη κλίση προς την κόγχη. Αρχικά ο ρόλος της ήταν να συλλέγει το νερό που μαζεύονταν από την υγρασία των βράχων και να το διοχετεύει στο φρεάτιο του θαλάμου, αργότερα όμως, όταν το νερό των βράχων άρχισε βαθμιαία να λιγοστεύει, χρησιμοποιήθηκε για να φέρνει νερό από το δίκτυο του Πεισιστράτου. Αυτό γινόταν μέσω ενός μολύβδινου αγωγού και μιας πλήινης αύλακας, ίχνη των οποίων σώζονται ακόμα στη νότια πλευρά της εισόδου. Η λίθινη αύλακα έπρεπε απαραίτητα να λαξευτεί στη νότια πλευρά του θαλάμου, γιατί μόνο εκεί θα αποστραγγιζόταν η υγρασία του φυσικού βράχου, ο οποίος είναι επικλινής προς το βορρά. Η μείωση των φυσικών αποθεμάτων νερού της Πνύκας υπήρξε επακόλουθο της οικοδόμησης του λόφου αυτού και του λόφου των Μουσών, η οποία είχε ως συνέπεια την περιορισμένη πλέον απορρόφηση του νερού της βροχής από το έδαφος. Σήμερα η πηγή αυτή έχει τελείως στερέψει και μόνο το χειμώνα αποδίδει κάποιες σταγόνες νερού. Δεξιά της εισόδου, στη γωνία του θαλάμου, ξεκινάει ένας πλευρικός διάδρομος προς βορρά, ο οποίος σχηματίζοντας σχεδόν ορθή γωνία οδηγεί σε μια δεύτερη κλίμακα, σήμερα με τέσσερις αναβαθμίδες, η οποία με τη σειρά της κατεβαίνει σε έναν ελλειπτικό θάλαμο. Επιπρόσθετα ο Dörpfeld αναφέρει ότι για πρώτη φορά επιχρίονται οι εσωτερικοί τοίχοι του μνημείου (θάλαμος Υ), και στην μεταγενέστερη εποχή το επίχρισμα είχε ανανεωθεί. Εκεί γινόταν η παροχέτευση του νερού από εννέα μικρά φρεάτια που ήταν σκαλισμένα στην πλευρά του βράχου και σε έκταση 15 περίπου μέτρων «Εννεάκρουνος», (Μπαμπουρδά Δ.,2010, Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020). Η δεξαμενή αυτή παρέμεινε σε χρήση πολύ καιρό, (Αθανασίου Δ., 2005). Ο θάλαμος διασώζει ίχνη επίστρωσης από μάρμαρο, η οποία θεωρείται σύγχρονη με το ψηφιδωτό δάπεδο του μεγάλου θαλάμου. Κάτω όμως από την επίστρωση, βρέθηκε παλαιότερο λιθόστρωτο δάπεδο που θα πρέπει να ανήκει σε πολύ παλαιότερη εποχή. Τα δύο δάπεδά της βρίσκονται μέχρι και δύο μέτρα βαθύτερα από το δάπεδο του μεγάλου θαλάμου. Στην ανατολική πλευρά του θαλάμου βρέθηκαν τρεις διάδρομοι -αγωγοί που σήμερα είναι ελεύθεροι, τότε όμως ήταν για αρκετή απόσταση υπόγειοι μέσα στα

βράχια ένα μεγαλύτερο κανάλι, με πλάτος ένα μέτρο και ύψος δύο και με το ίδιο κονίαμα που απαντήθηκε και στο μεγάλο θάλαμο και σε άλλες δεξαμενές, και δύο μικρότερα κανάλια εκατέρωθεν του (Εικ.2.3). Το μεσαίο κανάλι, όπως επιβεβαιώθηκε από τομές που έγιναν στο δρόμο, φτάνει μέχρι τη μέση του δρόμου περίπου και εκεί εξέρχεται από το βράχο. Στο σημείο αυτό υπέθεσαν οι ανασκαφείς την ύπαρξη μιας μικρής κρήνης για τη λήψη νερού χωρίς όμως να αποκλείουν και το ενδεχόμενο ότι η μεγάλη κρήνη του Πεισιστράτου εκτείνονταν μέχρι εκεί. Κατά τη ρωμαϊκή περίοδο, τειχίστηκε η αρχή του μεσαίου καναλιού και τοποθετήθηκε στη βάση του τετραγωνικής διατομής σκεπαστός αγωγός πλάτους 0,10 μέτρων. Από τα πλευρικά κανάλια, το νότιο προχωράει με τη μορφή γαλαρίας, μέχρι κάτω από την αρχή του δρόμου και σταματάει εκεί. Ένα άνοιγμα στο κάλυμμά του ίσως προσδιορίζει τη θέση όπου ενώνονταν με κάποιο παρακλάδι του πεισιστράτειου αγωγού. Ενώ αυτή η γαλαρία βρίσκεται σχεδόν ένα μέτρο πάνω από το νεώτερο μαρμάρινο δάπεδο του θαλάμου, το βόρειο πλευρικό κανάλι βρίσκεται στο ύψος του δαπέδου αυτού και συνεχίζει τη διαδρομή του προς τα βόρεια. Στη συνέχεια μάλλον περνούσε από την επόμενη δεξαμενή r5, (Εικ.2.3), έπειτα έμπαινε ξανά μέσα στα βράχια και με τη μορφή στοάς διασταυρωνόταν με τις δύο παράπλευρες δεξαμενές r3 και r2 (Εικ.2.3) και κατέληγε κοντά στην τελευταία. Σε αντίθεση με το νότιο πλευρικό αγωγό, ο οποίος λόγω του ύψους που βρίσκεται μπορούσε να είναι μόνο αγωγός τροφοδοσίας, ο βόρειος πλευρικός αγωγός προοριζόταν για την εκκένωση του θαλάμου, (Μπαμπουρδά Δ.,2010, Βενάκη Μ, Κουνδουράκη Χ., 2020).



Εικ.2.2: Η είσοδος της κρήνης από τον πεζόδρομο της Αποστόλου Παύλου, Νικοδήμου Π. 2021.

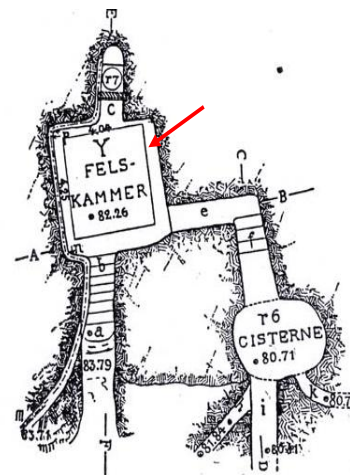


Abb. 1. Grundriss der älteren Wasseranlage. Felskammer an der Phyx.

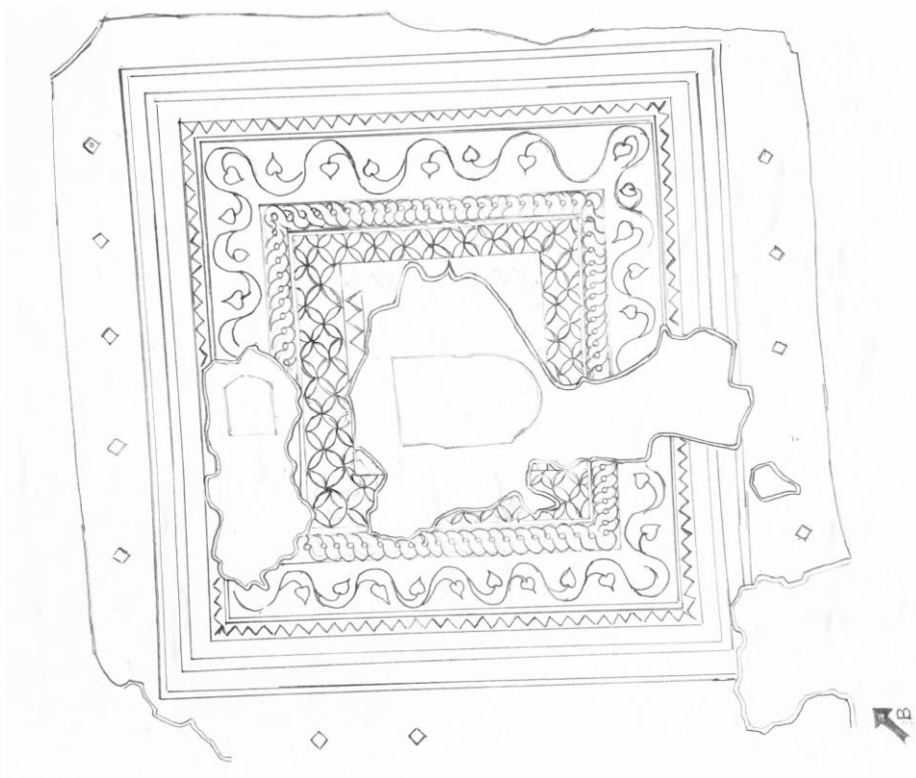
Εικ.2.3,2.4: Σχεδιαστική αποτύπωση κρηναίας εγκατάστασης, Wilhelm Dorpfeld 1891.

2.2. Περιγραφή του ψηφιδωτού δαπέδου

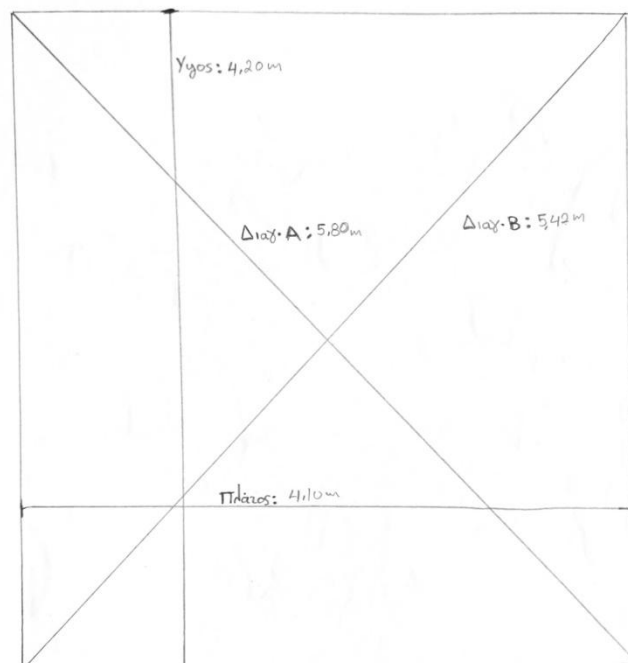
Το ψηφιδωτό δάπεδο βρίσκεται στην πρώτη αίθουσα της Κρήνης όπου από την ρωμαϊκή περίοδο μέχρι και σήμερα κοσμεί τον θάλαμο Υ. Είναι μεγάλης ιστορικής και πολιτισμικής σημασίας. Η επιφάνεια του ψηφιδωτού δαπέδου είναι 16,54 m², (Forsén, G. R. Stanton (eds.), 1996, Βουτσά Κ.Σ., Μυλωνά Β., 2011, Φτίκου Α., 2016,). Φέρει διακοσμητικά μοτίβα γεωμετρικών σχημάτων, περικοκλάδας και πλοχμού, όμοια με τα δάπεδα της εποχής του Αδριανού 117–138 μ.Χ.. Το ρωμαϊκό ψηφιδωτό ανήκει στον τύπο *opus tessellatum*, που αποτελείται από τακτικά μικρά τετράπλευρα στοιχεία (1x1 cm στα διακοσμητικά μοτίβα και 2x2 cm στο φόντο) τοποθετημένα δίπλα-δίπλα σε σειρές. Τα στοιχεία αυτά ονομάζονται *tesserae* και αποτελούνται από μάρμαρο.

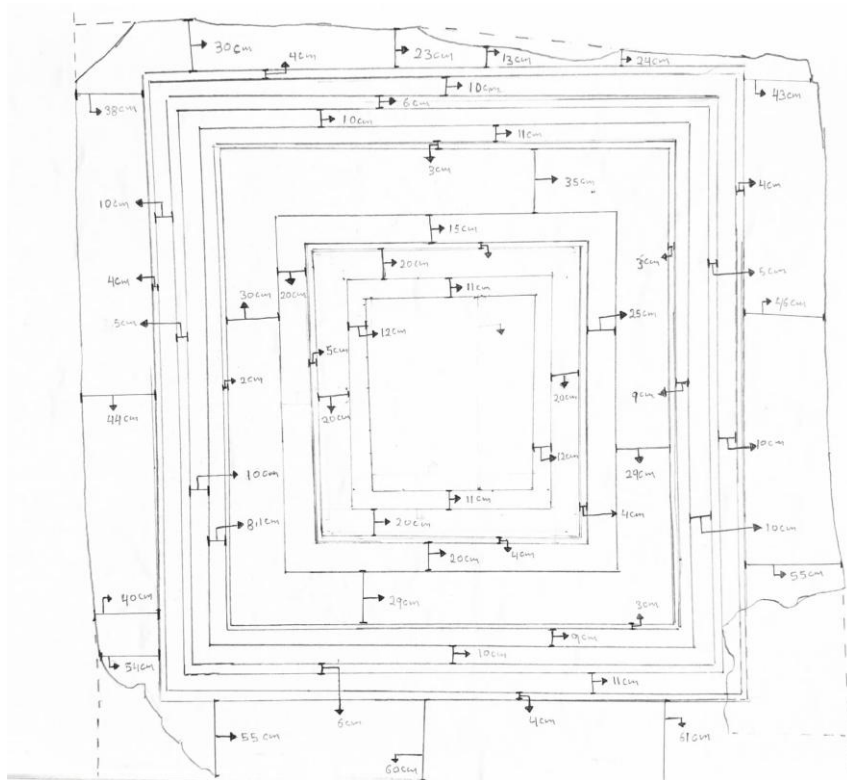


Εικ.2.5: Το ψηφιδωτό δάπεδο του θαλάμου Υ. Φωτογραφία του Μαραβέλια Γ. για το αρχείο της Α'ΕΠΚΑ, 1996.



Εικ.2.6: Σχεδιαστική αποτύπωση ψηφιδωτού δαπέδου, Νικοδήμου Παναγιώτης,2021.





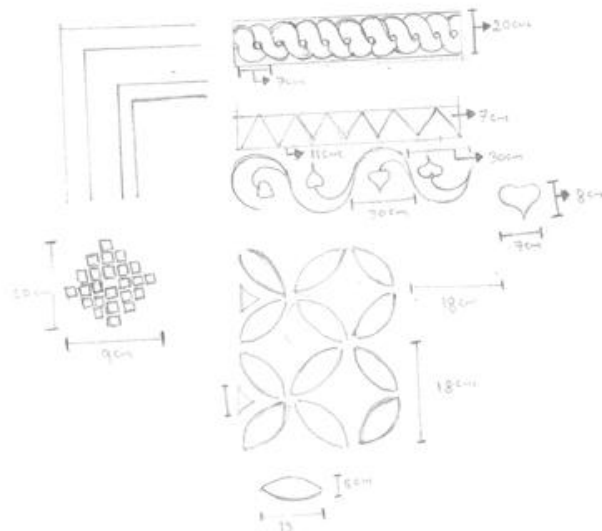
Εικ.2.7,2.8: Σχεδιαστική αποτύπωση διαστάσεων ψηφιδωτού δαπέδου, Νικοδήμου Παναγιώτης,2021.



Εικ.2.9,2.10,2.11: Φωτογραφική αποτύπωση γεωμετρικών μοτίβων που φέρει η ψηφιδωτή επιφάνεια, Νικοδήμου Π.,2021.



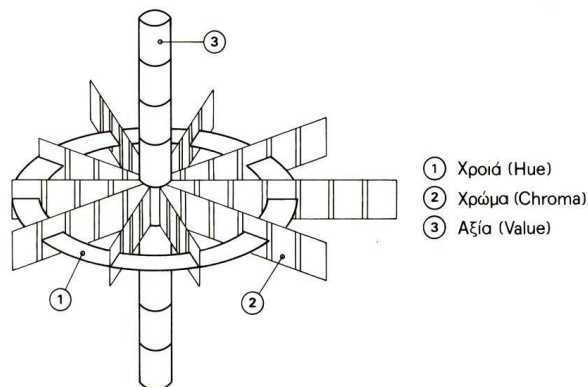
Εικ.2.12,2.13: Φωτογραφική αποτύπωση μοτίβων, περικοκλάδας και πλοχμού που φέρει η ψηφιδωτή επιφάνεια, Νικοδήμου Π.,2021.



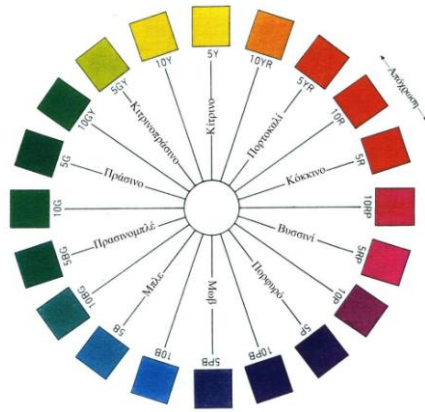
Εικ.2.14: Σχεδιαστική αποτύπωση μοτίβων, περικοκλάδας και πλοχμού που φέρει η ψηφιδωτή επιφάνεια, Νικοδήμου Π.,2021.

2.3. Σύστημα Munsell

Το χρώμα είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του ορατού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα διάφορα υλικά, γίνεται αντιληπτό από το αισθητήριο της όρασης – τον οφθαλμό και σχετίζεται άμεσα με την ευαισθησία της όρασης του παρατηρητή. Έτσι, γίνεται φανερό ότι η αντίληψη του χρώματος είναι υποκειμενική και είναι επιτακτική ανάγκη ο αντικειμενικός καθορισμός του με τη βοήθεια της χρωματομετρίας. Ένα από τα πιο ανεπτυγμένα και διαδεδομένα συστήματα σε πολλούς τομείς εφαρμογών είναι το Munsell, που ονομάστηκε έτσι από τον εμπνευστή του, καθηγητή και καλλιτέχνη Α. Η. Munsell. Το σύστημα αυτό υποδεικνύει ένα τρόπο ακριβούς ορισμού χρωμάτων και συγκρίσεων μεταξύ χρωμάτων. Κάθε χρώμα στο σύστημα έχει τρεις ιδιότητες ή παραμέτρους, την απόχρωση (hue), την αξία (value) και το «χρώμα» (chroma) κατά αντιστοιχία με τους όρους απόχρωση, φωτεινότητα και κορεσμό. Είναι μια συλλογή έγχρωμων λωρίδων ταξινομημένων σύμφωνα με τις βαθμολογημένες παραμέτρους (κλίμακες), περιλαμβάνει μια περιορισμένη κλίμακα αποχρώσεων. Το χρώμα, όμως, οποιουδήποτε έγχρωμου υλικού μπορεί να καθορισθεί όταν συγκριθεί με τις έγχρωμες λωρίδες. Στην αρχή ο Munsell, καθόρισε 5 βασικές αποχρώσεις υποδιαιρώντας τον κύκλο σε ίσα μέρη και τοποθέτησε και άλλες πέντε ενδιάμεσες, δημιουργώντας, έτσι, συνολικά δέκα, που αντιστοιχούν σε τομείς ενός κύκλου με τα αρχικά R (κόκκινο), YR,Y (κίτρινο), GY, G (πράσινο), BG, B (μπλε), PB, P (πορφυρό) και RP. Αυθαίρετα διαίρεσε τον κύκλο σε εκατό υποδιαιρέσεις με αντίστοιχες οπτικές αλλαγές στην απόχρωση και όρισε ως μηδέν την αρχή του κόκκινου (R) τομέα. Έτσι, π.χ. μια απόχρωση στη μέση του κόκκινου τομέα, θα έχει τον κωδικό 5R και αντίστοιχα η τελευταία στον ίδιο τομέα θα είναι η 10R, (Αντωνιάδης, Κ. Ελευθεριάδης, Ι., Σταθάκης, Κ., 2002, σελ. 1-16).



Εικ.2,15: Τρισδιάστατη παρουσίαση των χρωμάτων στο σύστημα Munsell με τη βοήθεια των τριών ιδιοτήτων τους, δηλαδή της χροιάς, της αξίας και του «χρώματος». Αντωνιάδης, Κ. Ελευθεριάδης, Ι. & Σταθάκης, Κ., 2002.



Εικ.2,16: Το σύστημα Munsell. Αντωνιάδης, Κ. Ελευθεριάδης, Ι. & Σταθάκης, Κ., 2002.

Στο ψηφιδωτό υπάρχει μια χρωματική γκάμα ψηφίδων οι οποίες προσδιορίστηκαν με την βοήθεια του συστήματος Munsell:

1. Χρώμα λευκό, White N9
2. Χρώμα γκρι, Light bluish gray 5B 7/1
3. Χρώμα μαύρο, Black N1 και Grayish black N2 → N1/N2
4. Χρώμα κεραμιδί, Moderate reddish brown 10R 4/6
5. Χρώμα πράσινο, Dark yellowish green 10GY 4/4 και Dusky yellowish green 10GY 3/2 → 10GY 4.3/4.2
6. Χρώμα ώχρα, Dark yellowish orange 10YR 6/6 και Grayish orange 10YR 7/4 → 10YR 6.7/6.4









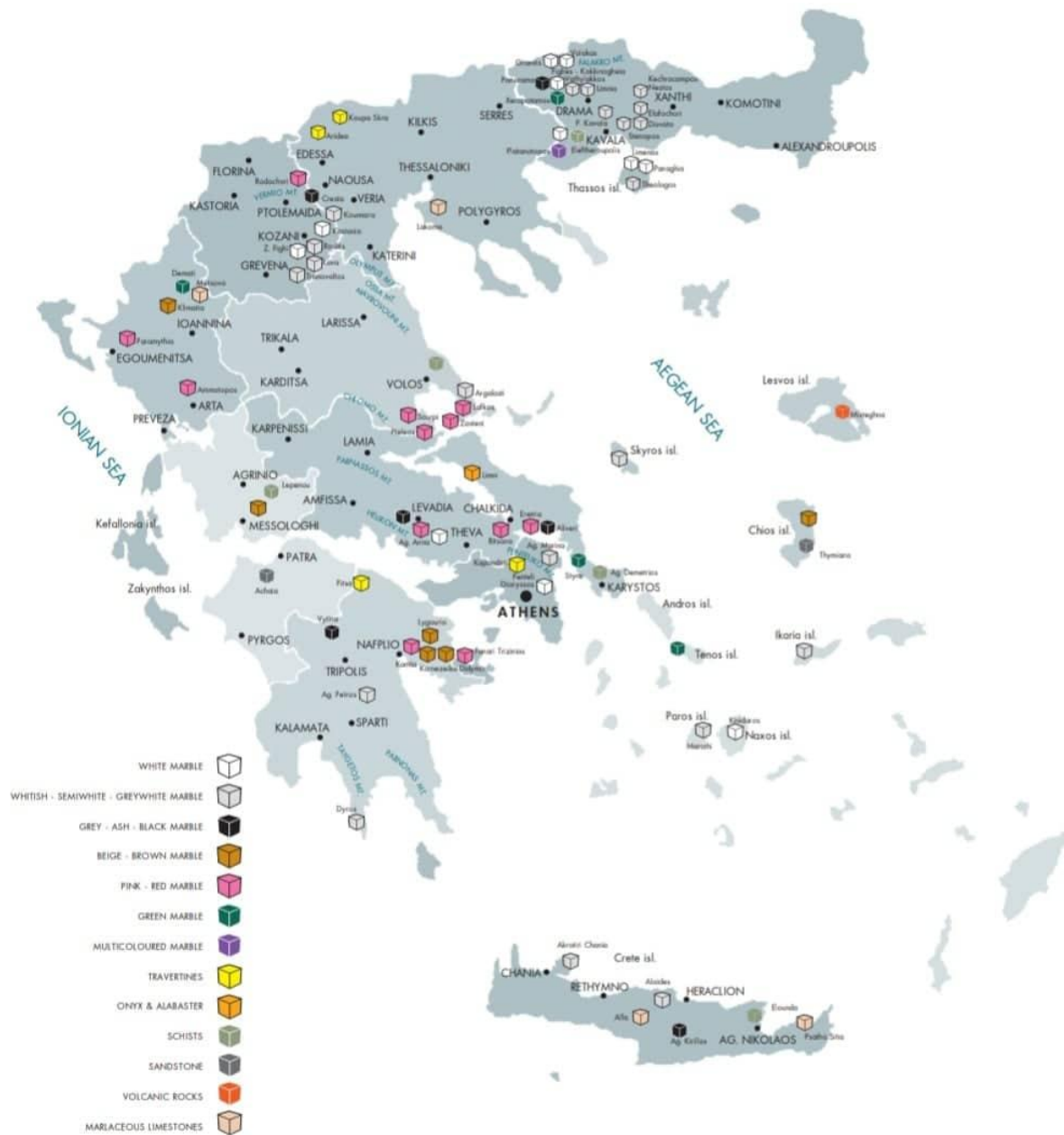
Εικ.2.17,2.18: Φωτογραφική αποτύπωση των χρωμάτων που φέρουν οι ψηφίδες, Νικοδήμου Π. 2021.

Επίσης σύμφωνα με τον άτλαντα ελληνικών και διακοσμητικών πετρωμάτων και δομικών λίθων του Ινστιτούτου γεωλογικών και μεταλλευτικών ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε), ο οποίος απασχολεί στην μελέτη των φυσικοχημικών ιδιοτήτων και των διαχρονικών υλικών, που λόγω της αδιάλειπτης χρήσης και των ποικίλων εφαρμογών τους συνδέθηκαν και συνεχίζουν να συνδέονται με ότι ονομάζεται, με την ευρεία έννοια, «πολιτισμός», (Ι.Γ.Μ.Ε, 2007-2013, σελ.7) .

Με βάση τα στοιχεία που παρουσιάζονται στον άτλαντα, δηλαδή το χρώμα, συμπεραίνεται ότι πιθανότατα στο προς μελέτη ψηφιδωτό δάπεδο υπάρχουν τα εξής πετρώματα:

Πίνακας 2.1: Τα πετρώματα των ψηφίδων βάση του Άτλαντα ελληνικών και διακοσμητικών πετρωμάτων και δομικών λίθων του Ινστιτούτου γεωλογικών και μεταλλευτικών ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε).

Πετρώματα	Φωτογραφική Τεκμηρίωση
Σκύρου Ημίλευκο	
Καρύστου Σχιστόπλακες Γκρι	
Έδεσσας Μαύρο	
Ριτσώνας Κόκκινο	
Καπανδριτίου Τραβερίνης	
Τήνου Πράσινο	



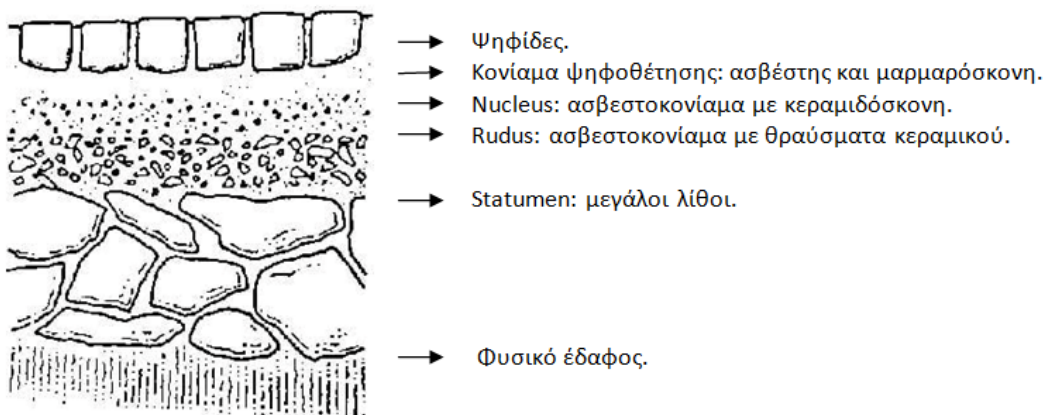
Εικ.2.19: Άτλαντας των κυριότερων διακοσμητικών πετρωμάτων και δομικών λίθων της Ελλάδας, Ι.Γ.Μ.Ε,2007-2013.

Κεφάλαιο 3. Τεχνολογία Κατασκευής

Σύμφωνα με την τεχνολογία κατασκευής προσδιορίζονται τα δομικά υλικά που αποτελούν την κατασκευή του ψηφιδωτού δαπέδου, όπως θα εξεταστούν στις πιο κάτω παραγράφους.

3.1. Δομή και υλικά του ψηφιδωτού δαπέδου

Σύμφωνα με τα γραπτά του Πλίνιου (*Historia Naturalis* XXXVI, 62-65) και του Βιτρούβιου (*De architectura*, VII,1) στα ρωμαϊκά χρόνια για την προετοιμασία του εδάφους, έβρεχαν και κτυπούσαν το έδαφος, για να γίνει στερεό, και το αλφάδιαζαν. Στη συνέχεια τοποθετούσαν ένα στρώμα με χοντρές πέτρες και από πάνω ένα στρώμα 7-8 εκ. με σπασμένα κεραμίδια και *rozollana*, ένα είδος θηραϊκής γης. Το τρίτο στρώμα 2-5 εκ. αποτελούνταν από ασβέστη, μαρμαρόσκονη, θηραϊκή γη και κεραμιδόσκονη, ενώ το τέταρτο 5-12 εκ. περιείχε 1/4 ασβέστη και 3/4 τριμμένο κεραμίδι. Το πέμπτο στρώμα αποτελούνταν από λεπτή άμμο, ασβέστη και καλής ποιότητας μαρμαρόσκονη. Έπρεπε να είναι τελείως αλφαιασμένο, γιατί πάνω σ' αυτό τοποθετούνταν οι ψηφίδες, (J. Leoni, 1965, p. 61-63, *The Getty Conservation Institute and the Israel Antiquities Authorities*, 2003, p.3, Χρυσόπουλος Δ., 2011, τ. 3). Η υποδομή του ψηφιδωτού δαπέδου της Κρήνης Καλλιρρόης αποτελείται από: α) ψηφιδωτή επιφάνεια, β) δύο επάλληλες στρώσεις κονιάματος πάνω σε υπόστρωμα κεραμικών πλακών, από αγωγούς ως δεύτερη χρήση και γ) στρώμα μεγάλων λίθων.



Εικ.3.1: Αποτύπωση στρωματογραφία ρωμαϊκού ψηφιδωτού, David Watkinson – Virginia Neal, 1998.



Εικ.3.2: Φωτογραφική αποτύπωση στρωματογραφίας του ψηφιδωτού δαπέδου της κρήνης Καλλιρρόης, Νικοδήμου Π., 2022.

3.2. Ιδιότητες και χαρακτηριστικά των υλικών

Κάθε υλικό έχει τα δικά του χαρακτηριστικά γνωρίσματα, που λέγονται ιδιότητες. Οι ιδιότητες του υλικού διακρίνονται σε φυσικές και χημικές.

3.2.1. Ψηφίδες

Οι ψηφίδες του δαπέδου αποτελούνται από μάρμαρο το οποίο είναι φυσικό υλικό (πέτρωμα). Προέρχεται από τη μεταμόρφωση ασβεστόλιθων ή δολομιτών. Είναι κρυσταλλικό υλικό και έχει πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες. Περιέχει προσμίξεις, είτε διάσπαρτες, είτε υπό μορφή φλεβών, που αποτελούνται κυρίως από οξειδία σιδήρου, σιδηροπυρίτη, αργιλοπυριτικές ενώσεις ή/και χαλαζία ή/και μαρμαρυγία. Οι μηχανικές ιδιότητές του ποικίλουν, όπως το πορώδες του, το μέγεθος των κρυστάλλων του, το χρώμα του, η αντοχή του στην υγρασία και ευαίσθητο σε χημικές ουσίες που μπορεί να αλλοιώσουν την επιφάνεια του. Επίσης ο ιστός τους είναι γρानοβλαστικός ή σακχαροειδής που σημαίνει ότι όλοι οι κόκκοι του έχουν σχεδόν ίσο μέγεθος, (Τσιραμπίδης Α. 1996, Σκουλικίδης Θ.Ν,2000, σελ.20-22, Μεραχτσάκη Δ., 2013, σελ.14).

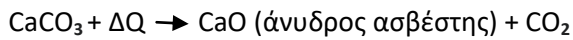
3.2.2. Κονιάματα

Κονιάματα είναι μίγματα μίας ή περισσότερων συνδετικών υλών (κονιών), νερού, λεπτόκοκκων αδρανών (<4mm) και ενδεχομένως ειδικών προσθέτων, τα οποία έχουν αξιόλογη ρευστότητα και πλαστικότητα όταν είναι νωπά, αποκτούν δε μετά την πήξη και σκλήρυνση της συνδετικής ύλης, μηχανική αντοχή και άλλες φυσικές και χημικές ιδιότητες. Οι ιδιότητες του νωπού και του σκληρυμένου κονιάματος εξαρτώνται από το είδος και τις αναλογίες των πρώτων υλών, από τον τρόπο ανάμιξης και μορφοποίησης και από τις συνθήκες που επικρατούν και εφαρμόζονται κατά την διάρκεια της σκλήρυνσης,(Μηλιώνης Γ., Χρυσανθόπουλος Χ., 2015, σελ.6). Συγκεκριμένα στα ψηφιδωτά δάπεδα τα κονιάματα χρησιμοποιούνται ως συνδετικά υλικά για την ένωση των ψηφίδων σε μία ενιαία επιφάνεια και αποτελούν μέρος των στρωμάτων της υποδομής του ψηφιδωτού δαπέδου. Κάθε στρώμα κονιάματος φέρει προσμίξεις δομικών υλικών για την στερέωση του δαπέδου,(Κολέφας Γ.,1983,σελ.37).

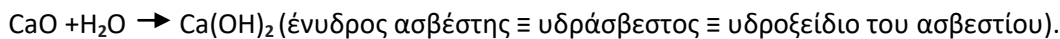
3.2.3. Ασβέστης

Το πρώτο και κύριο συνδετικό υλικό είναι ο ασβέστης, ο οποίος προκύπτει από το «ψήσιμο» των ασβεστόλιθων σε 800° με 1250°C (βαθμούς κελσίου) και είναι η στερεά μορφή του οξειδίου του ασβεστίου. Ανάλογα με την σκληρότητα των ασβεστόλιθων χρειάζεται μικρότερη ή μεγαλύτερη θερμοκρασία, (Κολέφας Γ.,1983,σελ.37). Επίσης, ο ασβέστης με τη μορφή διαλύματος ή αιωρήματος ή πάστας, χρησιμοποιείται ευρύτερα για στερέωση της επιφάνειας, (Σκουλικίδης Θ.Ν,2000,σελ.16).

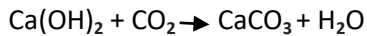
Με την θέρμανση του ασβεστόλιθου παράγεται (CaCO_3) που είναι ορυκτό πέτρωμα:



Με το νερό μετατρέπεται σε $\text{Ca}(\text{OH})_2$:



Με το CO_2 της ατμόσφαιρας, το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ μετατρέπεται ξανά σε CaCO_3 :



3.2.4. Θηραϊκή γη

Δεύτερη βασική συνδετική ύλη είναι η θηραϊκή γη η οποία γίνεται από αλεσμένο κεραμίδι και οπτούς πλίνθους. Αυτό το παρασκεύασμα αναμιγνυόμενο με πολύ ασβέστη δίνει κονίαμα πάρα πολύ στεγανό με σημαντικές ιδιότητες. Έχει υγρασία, περιέχει το δικό της νερό που δεν πρέπει να αφαιρεθεί γιατί θα χάσει τις υδραυλικές της ιδιότητες.

Η χημική της σύσταση είναι:

- Διοξείδιο του πυριτίου 67%
- Άργιλος 15%
- Οξείδια 13,5%
- Νερό 4,5%

Η θηραϊκή γη χρησιμοποιείται στην κατασκευή υδραυλικών κονιαμάτων με την ανάμιξη ασβέστη και άμμου ή τουβλόσκονης, (Κολέφας Γ., 1983, σελ.38).

3.2.5. Άμμος

Το τρίτο συνδετικό υλικό είναι η άμμος που προέρχεται από τη συσσώρευση ορυκτών ή πετρωμάτων σε μικρούς κόκκους. Η φυσική άμμος διακρίνεται σε πυριτική και ασβεστολιθική. Τα χαλαζιακά πετρώματα έχουν μεγάλη αντοχή στην παρασκευή του κονιάματος. Η επεξεργασία της άμμου από τη φύση γίνεται είτε στα παράλια με την ενέργεια του νερού είτε στα ξερά μέρη με τον άνεμο, (Κολέφας Γ., 1983, σελ.40).

3.2.6. Κεραμιδόσκονη ή Τουβλόσκονη

Το τέταρτο συνδετικό υλικό είναι η κεραμιδόσκονη, η οποία αποτελείται από άργιλο που περιέχει οξείδιο του σιδήρου. Έχει υδραυλικές ιδιότητες που ενισχύονται όταν αναμιχθεί με ασβέστη και γίνεται υλικό ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες, (Κολέφας Γ., 1983, σελ.42).

3.3. Μικροδομή των υλικών του ψηφιδωτού δαπέδου

Σύμφωνα με τις βιβλιογραφικές αναφορές, (Φτίκου Α., 2016, σελ.146-160, Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 11-12), πραγματοποιήθηκαν μη καταστρεπτικές και φυσικοχημικές μεθόδους, (NDT, SASW - Impact Echo, DM, SEM-EDS, XRD, TG-DTG), που είχαν ως στόχο την διερεύνηση του ψηφιδωτού δαπέδου και τον καθορισμό της μικροδομής των δομικών υλικών (κονιαμάτων). Η διερεύνηση του ψηφιδωτού δαπέδου της Κρήνης Καλλιρρόης, πραγματοποιήθηκε επί τόπου, με τη χρήση της NDT τεχνικής μικροσεισμικών κυμάτων και της ηχούς από κρούση, πλησίον της εισόδου και πλησίον του βράχου. Λόγω της υψηλής υγρασίας η εφαρμογή των τεχνικών της θερμογραφίας υπερύθρου και γεωραντάρ δεν ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν. Πάρθηκαν δύο δείγματα από την υποδομή του δαπέδου και συγκεκριμένα στα σημεία όπου πραγματοποιήθηκε η μέθοδος μικροσεισμικών κυμάτων και της ηχούς από κρούση. Η ανάλυση του αρχαίου κονιάματος έγινε με συνδυασμό των μεθόδων του Ψηφιακού Μικροσκοπίου, του Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου με μικροανάλυση της Περίθλασης ακτίνων Χ και της Διαφορικής Θερμικής ανάλυση με θερμοζυγό, (Φτίκου Α., 2016, σελ.146-160, Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 11-12).

3.3.1. Διερεύνηση του ψηφιδωτού δαπέδου με την με τη μέθοδο των Μικροσεισμικών Κυμάτων και της Ηχούς από Κρούση (SASW, Impact Echo)

Η μέθοδος SASW - Impact Echo είναι μη καταστρεπτική μέθοδος η οποία μπορεί να αποτυπώσει πληροφορίες σχετιζόμενες με την κατασκευαστική δομή του υποστρώματος του ψηφιδωτού δαπέδου. Η αξιοποίησή της, μπορεί να αποτελέσει ένα συμπληρωματικό ισχυρό εργαλείο στην αποτύπωση της κατάστασης αρχαίων κατασκευών. Διαπιστώθηκε ότι η στρωματογραφία του ψηφιδωτού δαπέδου συνίσταται από δύο επάλληλα στρώματα με εντελώς διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες, πάχους 5 cm το καθένα. Το πρώτο αφορά στο κονίαμα του ψηφιδωτού και το δεύτερο σχετίζεται με τις κεραμικές πλάκες της υποδομής. Βάση με την μέθοδο, εντοπίστηκαν αποσαθρωμένες περιοχές και δομικές ανωμαλίες κατά μήκος του βράχου, απέναντι από τη είσοδο. Ανιχνεύθηκαν ασυνέχειες κοντά στο όριο της επιφάνειας, που είναι ενδεικτικό της ύπαρξης εσωτερικών ρωγμών,(Φτίκου Α., 2016, σελ. 146-160, Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 11-12).

3.3.2. Μελέτη των δειγμάτων με φορητό Ψηφιακό Μικροσκόπιο (DM)

Το ψηφιακό μικροσκόπιο (DM), είναι μη καταστρεπτική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη μελέτη της μορφολογίας στην επιφάνεια των κονιαμάτων είναι του τύπου, AM3113T Dino-Lite Premier. Ο τύπος αυτός του οργάνου κρίνεται, ιδιαίτερα, κατάλληλος για την επί τόπου μη καταστρεπτική εξέταση δομικών επιφανειών σε μνημεία και ιστορικά κτίρια. Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να εξεταστούν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά μιας επιφάνειας, χωρίς να απαιτείται ιδιαίτερη κατεργασία, ή αλλοίωση των υλικών. Βάση με την μέθοδο για την εξέταση που ελήφθησαν από το κονίαμα υποδομής (δείγμα πλησίον της εισόδου) του

ψηφιδωτού δαπέδου της Κρήνης, παρατηρήθηκαν αδρανή υλικά που παρουσιάζουν γκρι και ερυθρά απόχρωση. Το μήκος των κόκκων τους, που μετρήθηκε με επεξεργασία της εικόνας, ποικίλει φθάνοντας τα 1,03 mm. Ενώ στο δείγμα πλησίον του βράχου παρατηρήθηκαν αδρανή υλικά που παρουσιάζουν γκρι και υπόλευκο χρώμα, με το μήκος των κόκκων τους να κυμαίνεται μέχρι τα 2,14 mm. Από τη διάμετρο των κόκκων των αδρανών εκτιμάται ότι τα δείγματα αντιστοιχούν στο στρώμα (nucleus) του ψηφιδωτού δαπέδου. Επίσης, και στα δύο δείγματα παρατηρείται λεπτόκοκκη διασπορά άφθονου κεραμικού υλικού ομοιόμορφα κατανεμημένου στην ασβεστιτική μήτρα, που παρέχει σοβαρές ενδείξεις για κονιάματα άσβεστου-ποζολάνης, (Φτίκου Α., 2016, σελ. 146-160, Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 11-12).

3.3.3. Εξέταση των δειγμάτων με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης με μικροανάλυση ακτίνων-Χ (SEM-EDS)

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα αναλυτικού ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, περιλαμβάνει το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Scanning Electron Microscopy, SEM) με δυνατότητα μεγέθυνσης από 10 μέχρι 300.000 φορές, με ενσωματωμένο τον μικροαναλυτή. Αυτό επιτρέπει τη μελέτη της μικροδομής σε μια ποικιλία υλικών, τόσο αγώγιμων, όσο και μη αγώγιμων, ενώ, ταυτοχρόνως, παρέχει τη δυνατότητα στοιχειακής χημικής ανάλυσης, μέσω του φασματόμετρου διασπειρόμενης ενέργειας ακτίνων Χ (Energy Dispersive X-ray analysis, EDX), επιτρέποντας τη στοιχειακή ποιοτική και ποσοτική χαρτογράφηση (element mapping) της επιφάνειας, (D.A. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 2002, σελ. 633-638). Βάση με την εξέταση που πραγματοποιήθηκε, παρατηρήθηκε ότι η μικροδομή και στα δύο δοκίμια του κονιάματος συνίστανται από αρκετούς κρυστάλλους ασβεστίτη, οι οποίοι είναι διασκορπισμένοι μέσα σε ένυδρες ασβεστο-αργιλοπυριτικές ενώσεις (CASH). Επίσης παρατηρούνται βελονοειδείς κρύσταλλοι τομασίτη (T) και μονοχλωριούχου άλατος των ένυδρων ασβεσταργιλικών ενώσεων (M) του τύπου: $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}_2\cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Υπάρχει έντονη διάβρωση του κονιάματος στην περιοχή του ψηφιδωτού (πλησίον του βράχου), κυρίως από χλωριόντα (Cl^-), που εκδηλώνεται με τη συσσώρευση κρυστάλλων χλωριούχου νατρίου (NaCl) πάνω στα προϊόντα ενυδάτωσης, αλλά και την παρουσία των στοιχείων S και P. Η συνδυαστική κονία που χρησιμοποιήθηκε για το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως οριακά υδραυλική, όπως προκύπτει από τις τιμές των δεικτών υδραυλικότητας, που υπολογίστηκαν και για τις δύο περιπτώσεις των δοκιμών, (Φτίκου Α., 2016, σελ. 146-160, Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 11-12).

3.3.4. Εξέταση των δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (XRD)

Η περίθλαση ακτίνων Χ (περιθλασιμετρία) χρησιμοποιείται για τη λήψη πληροφοριών σχετικά με την κρυσταλλογραφική μελέτη και την ορυκτολογική σύσταση των υλικών, (D. A. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 2002, σελ.325-328). Βάση την εξέταση που πραγματοποιήθηκε στα δείγματα παρατηρείται ότι στο δείγμα πλησίον του βράχου, επικρατούν ως κύρια συστατικά ο ασβεστίτης και ο χαλαζίας, ενώ έντονη είναι η παρουσία τομασίτη, και χλωριούχου νατρίου (NaCl). Η παρουσία του NaCl μαρτυρά την έντονη προσβολή

του κονιάματος από χλωριόντα (Cl⁻). Ενώ στο δείγμα πλησίον της εισόδου παρατηρείται κυρίως ασβεστίτης (CaCO₃), χαλαζίας (α-SiO₂) και τομασίτη (CAH). Η παρουσία του τομασίτη αποτελεί ένδειξη ότι έχει λάβει χώρα αντίδραση αργιλοπυριτικών ενώσεων με την υδράσβεστο, δηλαδή, δηλώνουν προϊόντα ποζολανικής δράσης, (Φτίκου Α., 2016, σελ. 146-160, Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 11-12).

3.3.5. Εξέταση των δειγμάτων με θερμοβαρυμετρική ανάλυση (TG-DTG)

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τη συνεχή καταγραφή δεδομένων με τη μορφή θερμικών διαγραμμάτων. Τα θερμογραφήματα χαρακτηρίζουν ένα απλό, ή σύνθετο σύστημα υλικών με βάση τις θερμοδυναμικές του μεταβολές, που είναι αποτέλεσμα των αλλαγών στις φυσική, ή χημική, ή δομική, ή μηχανική του κατάσταση σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία, (P. Gabbott (ed.), 2008, σελ. 87-118). Βάση την εξέταση που πραγματοποιήθηκε στα δείγματα παρατηρείται η παρουσία ένυδρων ασβεστο-αργιλοπυριτικών ενώσεων (CASH) και ένυδρων αλάτων των ασβεσταργλικών ενώσεων με Cl⁻, CO₃²⁻ και SO₄²⁻. Η τιμή του λόγου υδραυλικότητας που υπολογίστηκε για τα δύο δείγματα κονιαμάτων (πλησίον του βράχου=4,14 και πλησίον της εισόδου=5,26) δείχνει ότι πρόκειται για υδραυλικά κονιάματα που περιέχουν υδράσβεστο με φυσική ποζολάνη. Από το ποσοστό της ισοδύναμης υδράσβεστου που υπολογίστηκε εκτιμάται ότι η αναλογία υδράσβεστου /ποζολανικά υλικά είναι 1/1,5 για το δείγμα πλησίον του βράχου και 1/2,5 για το δείγμα πλησίον της εισόδου, (Φτίκου Α., 2016, σελ. 146-160, Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 11-12).

Κεφάλαιο 4. Καταγραφή προηγούμενων επεμβάσεων και μελέτες συντήρησης στο χώρο

Σύμφωνα με το αρχείο που τηρούσαν οι συντηρήτριες αρχαιοτήτων της ΕΦΑΠΑ Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ. και Μυλωνά Β. γίνεται καταγραφή του ιστορικού, των επεμβάσεων συντήρησης που πραγματοποιήθηκαν στο χώρο.

4.1. Προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης

Το 1996 πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες σωστικές εργασίες συντήρησης, όπου έγινε περιμετρική στερέωση σε κάποια τμήματα του ψηφιδωτού δαπέδου από την συντηρήτρια του ΟΑΝΜΑ Ματζίκα Γ., με κονίαμα ασβέστη/άμμο 3:2. Κατόπιν αυτού, έχουν πραγματοποιηθεί περιοδικά, καθαρισμοί στη ψηφιδωτή επιφάνεια (Μυλωνά Β., 2011, Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 14).

Το 2001 έγινε ψηφιακή αποτύπωση των φθορών των κονιαμάτων από ομάδα ειδικευμένων συντηρητών της Διεύθυνσης συντήρησης αρχαιοτήτων. Στο παραπάνω πλαίσιο αυτό πάρθηκαν μετρήσεις υγρασίας-θερμοκρασίας.

Τον Μάρτιο του 2010, πραγματοποιήθηκε αυτοψία στον χώρο από τον Διευθυντή της ΔΣΑΝΜ κο. Μίνω Ν., την αρχαιολόγο κα Ντούρου Μ. και τις συντηρήτριες Μυλωνά Β. και Βουτσά Κ. . Αποφασίστηκε η συνέχιση της μελέτης συντήρησης του μνημείου από την ΔΣΑΝΜ σε συνεργασία με την Α'ΕΠΚΑ.,(Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 15).

Οι εργασίες συντήρησης που πραγματοποιήθηκαν το 2010 είναι οι εξής:

1. Λόγω κινδύνου πτώσης των κονιαμάτων που έχριζαν άμεσης αντιμετώπισης πραγματοποιήθηκε περιμετρική στερέωση με την χρήση γάζας και την εφαρμογή διαλύματος Primal 532K 12% κ.ο. σε διαδοχικές φάσεις. Η περιεκτικότητα του διαλύματος προσδιορίστηκε με βάση τις υψηλές τιμές υγρασίας του χώρου 80-97%.
2. Στις περιοχές απώλειας πρόσφυσης και «κενών» μεταξύ του κονιάματος και του πετρώματος έγινε εφαρμογή υδραυλικού κονιάματος σε μορφή ενέματος που ήταν απολύτως αναγκαίο. Ανάλογες εργασίες στερέωσης έγιναν και σε άλλες περιοχές του βράχου με τάση προς αποκόλληση. Τα συστατικά του ενέσιμου κονιάματος που χρησιμοποιήθηκαν ήταν : υδραυλική άσβεστος (chaux blanche Lafarge), θηραϊκή γη, ορυκτή άμμος, Primal AC 572K, απιονισμένο νερό.
3. Με εφαρμογή κατάλληλου τύπου κονιάματος έγινε σφράγιση των αποδυναμωμένων αρμών των κονιαμάτων σε συγκεκριμένες περιοχές.
4. Για την αντιμετώπιση των προσβεβλημένων περιοχών από βιολογικές επικαθίσεις, δημιουργήθηκαν αρχικά δείγματα κομπρεσών εμποτισμένων σε ήπιους οργανικούς διαλύτες (αιθανόλη, ακετόνη) και στην συνέχεια, η τασιενεργή ανιοντική απορρυπαντική ουσία (desogen) που οδήγησαν σε μη ικανοποιητικά αποτελέσματα.
5. Με μηχανικά μέσα (χρήση νυστεριού) πραγματοποιήθηκε απομάκρυνση των αδιάλυτων αλάτων της επιφάνειας των κονιαμάτων, (αρχικά δείγματα καθαρισμού) τα οποία κρίθηκαν χρονοβόρα και χωρίς ικανοποιητικά αποτελέσματα.
6. Τέθηκαν δοκιμές απομάκρυνσης του υπάρχοντος στρώματος από τσιμέντο από τα πλευρικά τοιχώματα του βράχου, με μηχανικά μέσα (καλέμια). Τα αποτελέσματα κρίθηκαν επισφαλή έως ανεπιτυχή.
7. Στα μέσα Ιουνίου του 2010 πραγματοποιήθηκαν σωστικές επεμβάσεις από την συντηρήτρια Β. Μυλωνά για την υποστήριξη των επιχρισμάτων στις εξής ζώνες : στον τοίχο 2 του θαλάμου Υ, στον διάδρομο f και τους τοίχους 1, 2 και 4 της δεξαμενής r6, , καθώς ήταν ορατός ο κίνδυνος πτώσης ακόμα μεγαλύτερων τμημάτων επιχρίσματος στην ευρύτερη περιοχή. Για αντιμετώπιση του προβλήματος έγινε σε διαδοχικές φάσεις εφαρμογή αραιού διαλύματος της ακρυλικής ρητίνης Primal 532K και χρήση γάζας για προσωρινή συγκράτηση των υπό κατάρρευση τμημάτων. Έπειτα, πραγματοποιήθηκαν εργασίες στερέωσης σωστικού χαρακτήρα με την εφαρμογή ενέσιμου υδραυλικού κονιάματος, σε περιοχές μεγάλης απώλειας πρόσφυσης μεταξύ του επιχρίσματος και των τοιχωμάτων του βράχου ώστε να αναχαιτιστεί η εκτεταμένη αποκόλληση μεγάλων τμημάτων

επιχρίσματος. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την σύσταση του ενέσιμου κονιάματος ήταν: υδραυλική άσβεστος (Chaux Blanche Lafarge), θηραϊκή γή και ορυκτή άμμος υψηλής καθαρότητας, Primal AC 572K και απιονισμένο νερό.

8. Εργασίες σφράγισης των αποδυναμωμένων αρμών του επιχρίσματος σε επιλεγμένες περιοχές με την εφαρμογή κονιάματος. Για την αντιμετώπιση των προσβεβλημένων περιοχών από βιολογικό-μικροβιολογικό παράγοντα (Θάλαμος Υ, τοίχος 3,4), τοποθετήθηκαν κομπρέσες εμποτισμένες σε διάλυμα 5% Desogen, χωρίς ικανοποιητικά αποτελέσματα. Σε ότι αφορά την απομάκρυνση των αδιάλυτων αλάτων της επιφάνειας των επιχρισμάτων έχουν πραγματοποιηθεί δείγματα μηχανικού καθαρισμού χωρίς ιδιαίτερα ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Οι παραπάνω επεμβάσεις επιλέχθηκαν ως η άμεση λύση συγκράτησης του υπό πτώση υλικού, κατόπιν προφορικής συνεννόησης με τον προϊστάμενο της Δ/σης Συντήρησης κ. Μίνω Ν., (Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 14).

Στα τέλη Ιουλίου του 2010 ανατέθηκαν εργασίες καταγραφής της κατάστασης του μνημείου στις συντηρήτριες των Δ. Λόφων. Μελέτη κονιαμάτων την οποία ανέλαβε η Μυλωνά Β. και καταγραφή του ψηφιδωτού την οποία ανέλαβε η Βουτσά Κ.. Σχετικές εργασίες με τα αποτελέσματα έχουν κατατεθεί στην Α'ΕΠΚΑ σε συνεργασία με την Πούλου Τ. αρχαιολόγο για την πλήρη περιγραφή του έργου, (Μυλωνά Β., 2011, Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 15).

Σύμφωνα με έγγραφο η συντηρήτρια της Α'ΕΠΚΑ Κ. Βουτσά αναφέρει πως τον Ιούνιο του 2010 λόγω της φύσης της Κρήνης ως υπόσκαφο μνημείο στον υπερκείμενο βράχο με χαρακτηριστικά σπηλαίου, έχει υψηλή σχετική RH έως και 99%. Για την πληρέστερη τεκμηρίωση της παθολογίας και την αντιμετώπιση των φθορών ζητήθηκε η συνεργασία επιστημόνων άλλων ειδικοτήτων (γεωλόγοι, σπηλαιολόγοι). Συνεπώς, πραγματοποιήθηκε αυτοψία από την γεωλόγο Ψυχογιού Σ. της ΔΣΑΝΜ τον Ιούλιο του 2010 και κάποιες πρώτες επιτόπιες παρατηρήσεις από τον γεωλόγο Μαριολάκο Η., χωρίς να γίνει μια ολοκληρωμένη μελέτη, (Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 15).

Τον Ιούλιο του 2010, κατά την αυτοψία της Δ/σης Συντήρησης (Πρόκος Π., Βίτσιου Ι., Ψυχογιού Στ.), αποφασίστηκε η άμεση τοποθέτηση καταγραφικών μηχανημάτων σχετικής υγρασίας-θερμοκρασίας, πριν την έναρξη οποιασδήποτε άλλης επέμβασης στο μνημείο. Η Δ/ση Συντήρησης τοποθέτησε καταγραφικά μηχανήματα σχετικής υγρασίας-θερμοκρασίας στον Θάλαμο Υ και στην Δεξαμενή γ6, με σκοπό την παρακολούθηση του εσωτερικού περιβάλλοντος του μνημείου και την ασφαλέστερη τεκμηρίωση μελέτης αντιμετώπισης των προβλημάτων φθοράς, (Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 16).

Το 2012 πραγματοποιήθηκε φωτογράφιση από την Φραντζή Γ. της ΥΣΜΑ με τη μέθοδο (visible-induced luminescence imaging) που ανέπτυξε ο φυσικός Δρ. G. Verri, με σκοπό την ανάδειξη της εκτεταμένης χρήσης

του αιγυπτιακού μπλε ως χρωστική σε πιθανό ρόλο φόντου σε μεγάλα τμήματα των τοίχων και της οροφής της Κρήνης.

Το 2014 πραγματοποιήθηκε στην Κρήνη της Πνύκας αυτοψία από την συντηρήτρια αρχαιοτήτων της Α΄ ΕΦΑΑ Μυλωνά Β. όπου ελέγχθηκε η κατάσταση διατήρησης του μνημείου σε ότι αφορά τα διατηρούμενα κονιάματα επιχρίσματος στο εσωτερικό του υπόσκαφου θαλάμου Υ και της δεξαμενής γ6 και στο ψηφιδωτό δάπεδο του θαλάμου Υ, μετά τις δυνατές καταιγίδες στις 10, 11 και 12 Δεκεμβρίου (Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 17).

Το 2016 ύστερα από αναφορά της Μυλωνά Β., έγιναν οι ακόλουθες εργασίες στην Κρήνη Πνύκας:

1. Σφράγιση ανοίγματος (οπής) μεγάλων διαστάσεων στο εσωτερικό του υπερκείμενου στο μνημείο βράχου. Το μεγάλο άνοιγμα βρίσκεται στο άνω αριστερά τμήμα της φυσικής οροφής του σπηλαίου, στην ζώνη της εισόδου του μνημείου. Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η άμεση προστασία του επιδαπέδιου ψηφιδωτού και των διατηρούμενων κονιαμάτων του θαλάμου Υ από την είσοδο του βρόχινου νερού.
2. Εργασίες μικρής κλίμακας για την αλλαγή κλίσης του κεφαλόσκαλου στην σκάλα εισόδου του μνημείου, ώστε να αποφεύγεται η είσοδος του νερού της βροχής.
3. Εργασίες αποχρωματώσεων σε επιλεγμένες ζώνες του υπερκείμενου βράχου ώστε να αποκαλυφθεί η φυσική επιφάνεια για τη διαπίστωση της κατάστασης διατήρησής για την αποτελεσματικότερη σφράγιση των αποκαλυφθέντων ρηγματώσεων .
4. Τοποθέτηση φύλλου πλεξιγκλάς στην μεταλλική καγκελωτή πόρτα της εισόδου, το οποίο στην παρούσα περίοδο δεν υπάρχει.

Τον Ιανουάριο του 2020 έγινε αυτοψία στον χώρο της Κρήνης από τις συντηρήτριες της ΕΦΑΠΑ, Αθανασιάδου Μ., Βενάκη Μ. και Κουνδουράκη Χ. όπου διαπιστώθηκε η ανάγκη νέων επεμβάσεων στα επιχρίσματα/τοιχογραφίες ενώ η κατάσταση διατήρησης του ψηφιδωτού δαπέδου κρίθηκε ικανοποιητική, χωρίς νέες φθορές. Τον Ιούνιο του 2020 ξεκίνησαν εργασίες συντήρησης στα επιχρίσματα/τοιχογραφίες της Κρήνης από τις συντηρήτριες της υπηρεσίας: Αθανασιάδου Μ., Κουνδουράκη Χ., Κουριδάκη Μ., Στρατηγάκη Κ. Λόγω του υψηλού ποσοστού υγρασίας που επικρατεί στο εσωτερικό της Κρήνης τον χειμώνα οι εργασίες γίνονται τους πιο θερμούς μήνες, (Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 18).

Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στον θάλαμο Υ της Κρήνης Πνύκας το 2020 είναι οι εξής:

1. Αφαίρεση του παλαιότερου γεωφάσματος που είχε χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη και προστασία του ψηφιδωτού δαπέδου, καθαρισμός της επιφάνειας του από γαιώδης επικαθίσεις (χώμα) και κάλυψη του με νέο γεωφάσμα ώστε να είναι προστατευμένο κατά τη διάρκεια των εργασιών συντήρησης στα επιχρίσματα/τοιχογραφίες των πλευρικών τοιχωμάτων.

2. Απομάκρυνση παλαιότερων επεμβάσεων με τσιμέντο από τα πλευρικά τοιχώματα του βράχου.
3. Καθαρισμός γαιωδών επικαθίσεων (χώμα) από την επιφάνεια των επιχρισμάτων/τοιχογραφιών, αφαίρεση ευδιάλυτων αλάτων, αφαίρεση παλαιότερων περιμετρικών συγκρατήσεων (στεφάνωμα) που είχαν αστοχήσει ή φθαρεί και τοποθέτηση νέων. Η σύσταση του κονιάματος που εφαρμόστηκε είναι: 1 μέρος ασβέστη, 1 μέρος χαλαζιακή άμμος (Silgrit), ½ Θηραϊκή Γή, ½ κεραμίδι κοσκινισμένο. Οι εργασίες πραγματοποιήθηκαν σε όλη την επιφάνεια του θαλάμου Υ, αλλά δεν ολοκληρώθηκαν λόγω της επιδείνωσης του καιρού και την αύξηση της υγρασίας στο εσωτερικό της Κρήνης.

4.2. Προηγούμενες μελέτες συντήρησης

Το 2009 πραγματοποιήθηκε μελέτη από την τοπογράφο Μπαμπουρδά Δ. που είχε στόχο τη γεωμετρική τεκμηρίωση της κρήνης της Καλλιρρόης.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν επίγειες μέθοδοι αποτυπώσεων (μετρήσεις με reflectorless total station, laser scanner) και δορυφορικές παρατηρήσεις (με GPS) για την ένταξη της στο ΚΣΑ.

Οι μετρήσεις με GPS και η ίδρυση πολυγωνομετρικού δικτύου έδωσαν την απόλυτη θέση της κρήνης στο ελληνικό σύστημα ΕΓΣΑ 87, ενώ οι μετρήσεις με laser scanner έδωσαν το τρισδιάστατο μοντέλο της κρήνης από το οποίο παρήχθησαν οριζόντιες και κάθετες τομές σε διάφορες θέσεις. Με τη χρήση reflectorless total station, παρήχθησαν δύο κάθετες τομές, οι οποίες συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες τομές που προέκυψαν από τις μετρήσεις με laser scanner, (Μπαμπουρδά Δ., 2010, σελ.7).

Το 2014 πραγματοποιήθηκε μελέτη από την βιοχημικό Ζαχαρέγκα Φ. που είχε στόχο τη βακτηριακή ποικιλότητα στις τοιχογραφίες της Κρήνης που εμφάνιζαν βιοαλλοίωση, (Ζαχαρέγκα Φ., 2014, σελ. 39-41).

Με την χρήση αποστειρωμένων βαμβακοφόρων στυλεών και με την χρήση αποστειρωμένου νυστεριού πάρθηκαν δεκαέξι δείγματα από τα εξής σημεία:

1. Στο κάτω μέρος του βορειοδυτικού τοίχου του θαλάμου Υ.
2. Στη δυτική πλευρά του θαλάμου Υ, συγκεκριμένα στο άνω τμήμα της κόγχης.
3. Στη νοτιοδυτική παρειά του θαλάμου Υ, λίγο πάνω από το έδαφος.
4. Στον δυτικό τοίχο του θαλάμου Υ, λίγο πάνω από το έδαφος.

Το 2016 πραγματοποιήθηκε μελέτη συντήρησης στον χώρο από την συντηρήτρια αρχαιοτήτων της Δ.Σ.Α.Ν.Μ Φτίκου Α. σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Νανοεπιστημών και Νανοτεχνολογίας (INN) του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ, με σκοπό την εφαρμογή μεθόδων ανάλυσης για την σύνθεση των κονιαμάτων υποδομής του ψηφιδωτού δαπέδου της Κρήνης Καλλιρρόης (θάλαμος Υ). Συγκεκριμένα, πάρθηκαν δύο δείγματα πλησίον της εισόδου και πλησίον του βράχου με τα εξής χαρακτηριστικά που περιγράφονται στον πίνακα 4.1, (Φτίκου Α., 2016, σελ.144, 149).

Πίνακας 4.1: Ταξινόμηση και περιγραφή των δειγμάτων

Δείγμα	Διαστάσεις	Περιγραφή
Πλησίον της εισόδου.	μήκος→ 1,10 πλάτος→ 0,95 ύψος→ 0,45	Δείγμα κονιάματος από αποσπασμένο τμήμα του υποστρώματος του ψηφιδωτού στην Κρήνη Καλλιρρόης το οποίο αντιστοιχεί στο στρώμα (nucleus) .
Πλησίον του βράχου.	μήκος→ 1,00 πλάτος→ 1,05 ύψος→ 0,50	Δείγμα κονιάματος από αποσπασμένο τμήμα του υποστρώματος του ψηφιδωτού στην Κρήνη Καλλιρρόης το οποίο αντιστοιχεί στο στρώμα (nucleus) με ένα τμήμα του στρώματος (supra nucleus).

Για την εξέταση και μελέτη σύνθεσης των δειγμάτων, πραγματοποιήθηκαν οι εξής μέθοδοι ανάλυσης:

1. NDT τεχνικής μικροσεισμικών κυμάτων και της ηχούς από κρούση.
2. SASW-Impact Echo, τεχνική των μικροσεισμικών κυμάτων.
3. Φορητό ψηφιακό μικροσκόπιο(DM).
4. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης μικροαναλυτή (SEM-EDS).
5. Περίθλαση ακτίνων X (XRD).
6. Θερμική ανάλυση (TG-DTG).

Κεφάλαιο 5. Τεκμηρίωση της κατάστασης διατήρησης του μνημείου και του ψηφιδωτού δαπέδου/ Παθολογία

5.1. Φωτογραμμετρία

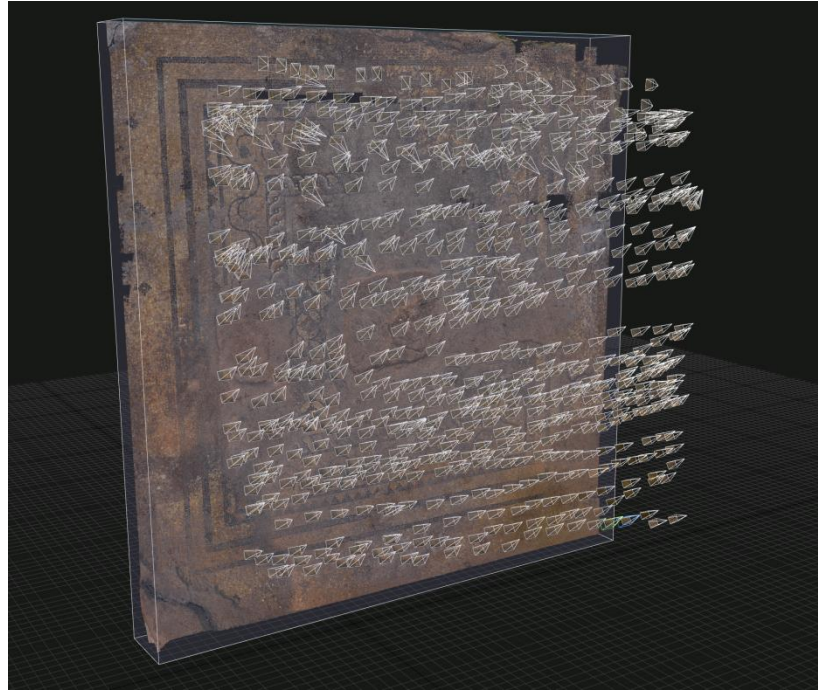
Είναι μια επιστήμη βασισμένη στην τεχνολογία, πάνω από ένα αιώνα ιστορίας και εξέλιξης και αφορά την ανάκτηση αξιόπιστης πληροφορίας για πολλά αρχιτεκτονικά μνημεία, (Linder,2006, σελ.1). Πρόκειται για μια ιδιαίτερη μέθοδο για τον προσδιορισμό των διαστάσεων με την χρήση φωτογραφιών. Η τεχνική της φωτογραμμετρίας βασίζεται για την απόκτηση αξιόπιστων μετρητικών πληροφοριών για το σχήμα,την διάσταση και την θέση του αντικειμένου στον χώρο, (Μαρκόπουλος Χ., Τσάγαρη Α., 2021, σελ. 58). Βασικά πλεονεκτήματα της φωτογραμμετρίας είναι η δημιουργία χαρτών με την μέθοδο της φωτογραμμετρίας θεωρείτε η πιο γρήγορη μέθοδος που στηρίζεται σε επίγειες μετρήσεις. Επίσης είναι μια αρκετά οικονομική μέθοδος. Ένα ξεκάθαρο πλεονέκτημα των φωτογραμμετρικών είναι ότι ακόμα και αν υπάρχουν εμπόδια στο έδαφος όπως πυκνή βλάστηση τα επίγεια μέσα δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν σε αυτές τις απαιτήσεις. Η φωτογραμμετρία έχει ως σκοπό την απεικόνιση του φυσικού αντικειμένου και έτσι μπορεί να αποδοθεί σαν μια συνεχή απεικόνιση. Κατά την πραγματοποίηση της φωτογραφίας σημαντικό ρόλο παίζει ο φωτισμός, η ώρα της μέρας, ο αριθμός φωτογραφιών, η ποσότητα της λεπτομέρειας τα ιεραρχημένα στοιχεία και το πεδίο κάλυψης. Η μέθοδος αποτελείται από πολλαπλές φωτογραφίες για την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων προκειμένου να ληφθούν ακριβείς μετρήσεις από ένα τοπίο ή τρισδιάστατα αντικείμενα. Μόλις χρησιμοποιηθούν οι καταγεγραμμένες πληροφορίες μπορεί να σχηματιστεί το τρισδιάστατο μοντέλο και να ολοκληρωθεί η χαρτογράφηση του επιλεγμένου χώρου. Η φωτογραμμετρία χρησιμοποιείται από ψηφιακές φωτογραφίες, υπολογιστές και πολύπλοκο λογισμικό, οι ρίζες της βρίσκονται στην ανάπτυξη και κατανόηση της γραμμικής προοπτικής. Στην περίπτωση ύπαρξης επιπέδου τραπεζιού και όποιου δισδιάστατου αντικειμένου, η φωτογραμμετρία παράγει ένα γραμμικό σχέδιο σε τρεις διαστάσεις του αντικειμένου ή μια κάτοψη ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιείται, (Τσακάλη Π.,2018,σελ.10-11). Για να δημιουργηθεί ένα φωτογραμμετρικό μοντέλο, πρέπει να ληφθεί μια σειρά (πυκνών) φωτογραφιών γύρω από ένα αντικείμενο, κατά προτίμηση σε διαφορετικά επίπεδα, σχηματίζοντας μια σφαίρα φωτογραφίας με διαφορετικές προοπτικές. Εάν πρόκειται να ληφθούν μετρήσεις και να οριστεί κλίμακα, η μέθοδος χρησιμοποιείται ως ένα σύστημα συντεταγμένων αναφοράς. Επίσης πάνω σε αυτό το σύστημα βασίζονται οι φωτογραμμετρικές μετρήσεις. Κάθε φωτογραφία πρέπει να έχει επικάλυψη με τις γειτονικές της, ώστε να είναι δυνατό για το λογισμικό της φωτογραμμετρίας ο υπολογισμός των κοινών σημείων. Για αυτό το λόγο όσο μεγαλύτερη είναι η επικάλυψη, τόσο περισσότερο το λογισμικό θα είναι σε θέση να υπολογίζει σχέσεις μεταξύ των φωτογραφιών. Η ποιότητα του φωτισμού παίζει σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματα της φωτογραμμετρικής μοντελοποίησης και οι προτιμήσεις μπορεί να ποικίλουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα. Εάν μια αισθητική για παρουσίαση ή δημοσία προβολή είναι επιθυμητή σε σχέση με ένα εξαιρετικά ακριβές μετρήσιμο μοντέλο τότε το φως της ημέρας πρέπει να προτιμάται από τον έμμεσο

φωτισμό του σούρουπου ή της αυγής. Σε υπαίθριες τοποθεσίες είναι απαραίτητο η λήψη των φωτογραφιών για τη μοντελοποίηση να γίνεται πριν την ανατολή του φωτός του ηλίου στην περιοχή ή αφού ο ήλιος έχει αρχίσει να δύει. Αυτό επιτρέπει το φωτισμό να παραμένει σχετικά σταθερός με αποτέλεσμα τα οπτικά σημεία που χρησιμοποιεί το φωτογραμμετρικό λογισμικό για τη δημιουργία των τριών διαστάσεων να μην αλλάζουν λόγω της κίνησης του ήλιου, (Lachambre S, Lagarde S, Jover, 2017, σελ. 59-66, Wallace, σελ.26-30).

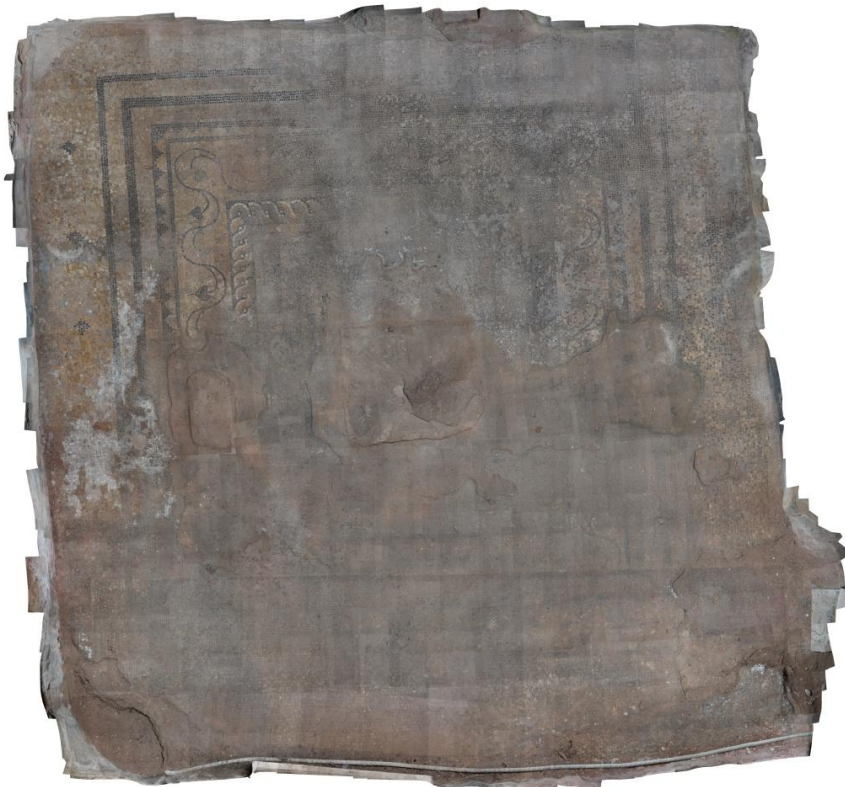
Στην συγκεκριμένη περίπτωση το εν λόγω ψηφιδωτό δάπεδο, όπως προαναφέρθηκε βρίσκεται στο εσωτερικό ενός υπόσκαφου σπηλαίου όπου το φυσικό φώς δεν είναι επαρκές για την σωστή φωτογράφιση, έτσι πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της λήψης των φωτογραφιών με την βοήθεια τεχνητού φωτισμού, συγκεκριμένα με προβολέα LED λευκού θερμού φωτισμού 50W 3000K, ο οποίος τοποθετήθηκε κατά ύψος με σκοπό ο φωτισμός να καλύψει όλη την επιφάνεια του ψηφιδωτού δαπέδου χωρίς να υπάρχουν σκιές στον υπόσκαφο χώρο. Η λήψη φωτογραφιών έγινε με DSLR κάμερα D3500 σε ανάλυση 6000x4000 pixels με διάφραγμα F/5.6. Μετά την ολοκλήρωση των φωτογραφιών στο ψηφιδωτό δάπεδο της Κρήνης Καλλιρρόης όπου έχουν πραγματοποιηθεί, έχουν επεξεργαστεί, στα προγράμματα Agisoft Metashape και Reality Capture. Τα προγράμματα αυτά είναι λογισμικά που εκτελούν φωτογραμμετρική επεξεργασία ψηφιακών εικόνων όπου παράγουν τρισδιάστατα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές GIS, τεκμηρίωση πολιτιστικής κληρονομιάς και παραγωγή οπτικών εφέ καθώς και για έμμεσα μετρήσεις αντικειμένων διάφορων κλιμάκων. Τα λογισμικά αυτά επιτρέπουν την επεξεργασία εικόνων από RGB, θερμικές κάμερες συμπεριλαμβανόμενων συστημάτων πολλαπλών καμερών, σε χωρικές πληροφορίες με τη μορφή πυκνών σημειακών νεφών (Agisoft LLC, 2021, σελ.1, Lachambre S., Lagarde S., Jover C., 2017, σελ. 16-28). Τα αρχεία τεκμηρίωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επεξεργασία μοντέλων υψηλότερης ανάλυσης αν αυτό χρειαστεί. Για την επεξεργασία σε υψηλότερη ανάλυση χρειάζεται ένας υπολογιστής υψηλών προδιαγραφών.



Εικ.5.1: Στιγμιότυπο από τη διαδικασία φωτογραμμετρίας στο πεδίο.



Εικ.5.2: Τρισδιάστατη αποτύπωση λήψης φωτογραφιών κατά την εκτέλεση της μεθόδου της φωτογραμμετρίας στο ψηφιδωτό δάπεδο, Μακρής Δ., Νικοδήμου Π., 2022.



Εικ.5.3: Ορθοφωτογραφία του ψηφιδωτού δαπέδου μέσω του προγράμματος Agisoft Metashape σε φυσικό φωτισμό περιβάλλοντα χώρου, σε κλίμακα 1:1, Χλουβεράκη Σ., Νικοδήμου Π., 2022.



Εικ.5.4: Ορθοφωτογραφία του ψηφιδωτού δαπέδου μέσω του προγράμματος Reality Capture με την βοήθεια τεχνητού φωτισμού, με προβολέα LED λευκού θερμού φωτισμού 50W 3000K, κατά ύψος σε κλίμακα 1:1, Μακρής Δ, Νικοδήμου Π., 2022.

5.2. Τρισδιάστατη Ψηφιοποίηση

Η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση βρίσκει εφαρμογές στην συντήρηση εξαιτίας της ταχείας αύξησης της ποιότητας των αποτελεσμάτων και της μείωσης τους κόστους, επίσης συνεισφέρει στην τεκμηρίωση μνημείων και υλικών αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς. Η τεκμηρίωση θα μπορούσε να θεωρηθεί μια διαδικασία συντήρησης διατηρώντας όχι μόνο το φυσικό αντικειμενικό αλλά και τις άυλες πτυχές και αξίες που φέρει, (Leino, 2016). Το τρισδιάστατο μοντέλο μπορεί να εξετασθεί και να μελετηθεί από ερευνητές χωρίς να απαιτείται η φυσική τους παρουσία και χωρίς τους κινδύνους που εγκυμονεί η μεταφορά ενός πολιτιστικού υλικού τεκμηρίου. Πέρα από την χρησιμότητα στην τεκμηρίωση, τη διατήρηση και την προβολή πολιτιστικών αγαθών, τα τρισδιάστατα μοντέλα χρησιμοποιούνται ευρέως στην παραγωγή πιστών αντιγράφων όλων των ειδών αντικειμένων με τεχνικές ταχείας πρωτοτυποποίησης σε διάφορα υλικά. Εκτός από πιστά αντίγραφα, είναι δυνατή η παραγωγή και διαφοροποιημένων αντιγράφων, κάνοντας επεμβάσεις και συμπληρώσεις στο αρχικό μοντέλο, (Γεωανάλυση Α.Ε., 2021).

Η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση πραγματοποιήθηκε στο εν λόγω ψηφιδωτό δάπεδο της Κρήνης της Καλλιρρόης, όπου έγινε η λήψη φωτογραφιών με DSLR κάμερα D3500. Έπειτα έγινε η τρισδιάστατη αποτύπωση του μέσω των προγραμμάτων Reality Capture και MeshLab σε κλίμακα 1:1, με σκοπό την καταγραφή της λεπτομερής εξέτασης των εξής στοιχείων του:

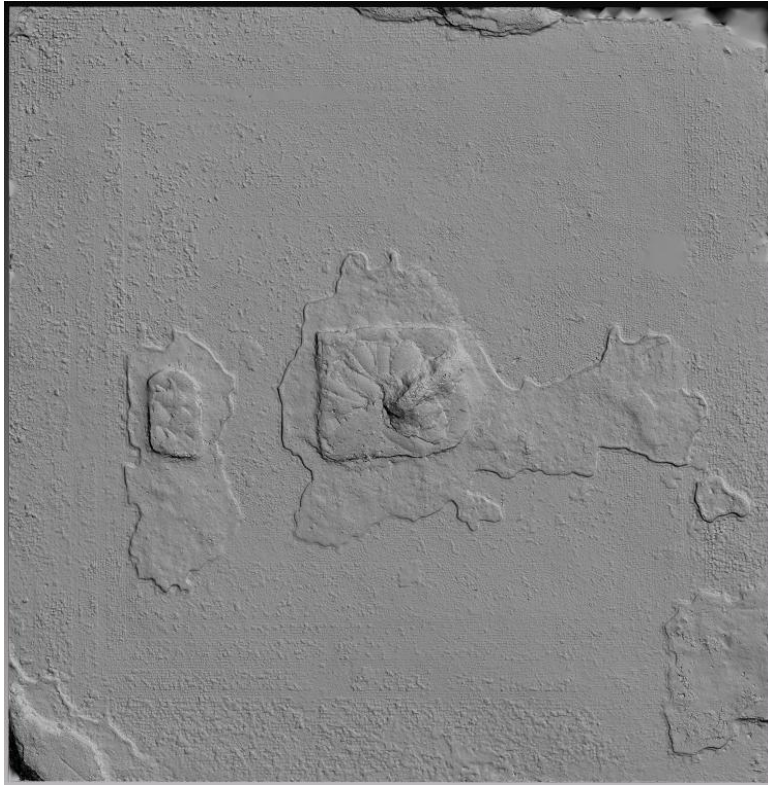
1. Καταγραφή ψηφίδων
2. Καταγραφή διακοσμητικών στοιχείων
3. Καταγραφή στρωματογραφίας
4. Καταγραφή φθορών
5. Καταγραφή προηγούμενων επεμβάσεων



Εικ.5.5: Τρισδιάστατη ψηφιοποίηση του ψηφιδωτού δαπέδου μέσω του προγράμματος Reality Capture σε κλίμακα 1:1, Μακρής Δ., Νικοδήμου Π., 2022.



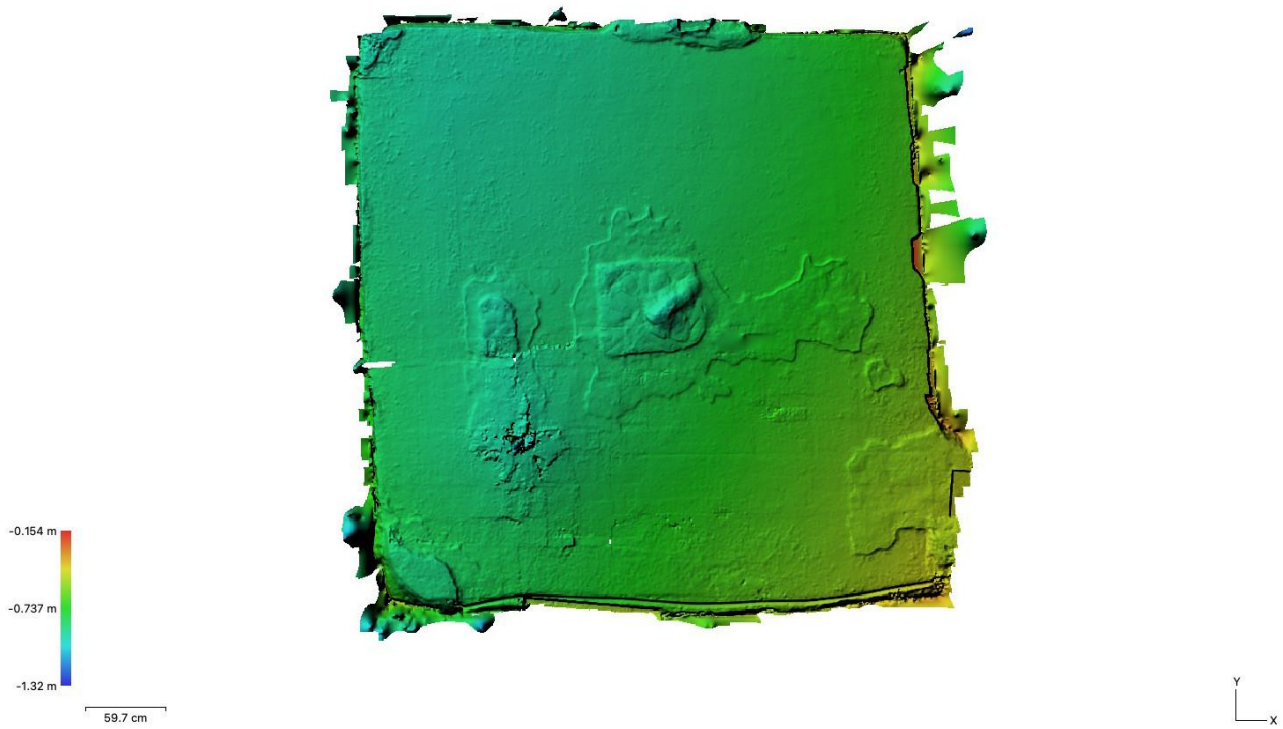
Εικ.5.6: Τρισδιάστατη ψηφιοποίηση του ψηφιδωτού δαπέδου σε ορθή προβολή μέσω του προγράμματος MeshLab σε κλίμακα 1:1, Μακρής Δ., Νικοδήμου Π., 2022.



Εικ.5.7: Τρισδιάστατη ψηφιοποίηση, λεπτομερής τεκμηρίωση του ψηφιδωτού δαπέδου μέσω του προγράμματος MeshLab σε κλίμακα 1:1, Μακρής Δ., Νικοδήμου Π.,2022.



Εικ.5.8: Τρισδιάστατη ψηφιοποίηση, λεπτομερής τεκμηρίωση του ψηφιδωτού δαπέδου μέσω του προγράμματος MeshLab σε κλίμακα 1:1, όπου τεκμηριώνονται οι ψηφίδες, τα διακοσμητικά στοιχεία, η στρωματογραφία, οι φθορές και οι προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, Μακρής Δ., Νικοδήμου Π.,2022.



Εικ.5.9: Ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο, το οποίο δίνει τις υψομετρικές διαφορές πάνω στο ψηφιδωτό δάπεδο μέσω του προγράμματος Agisoft Metashape, Χλουβεράκη Σ., Νικοδήμου Π., 2022.

5.3. Κατάσταση διατήρησης του πετρώματος και των εσωτερικών τοιχωμάτων του σπηλαίου

Το πέτρωμα του βράχου αποτελείται από βραχώδη μάζες ερυθρού έως καστανέρυθρου χρώματος, με πυκνές ασυνέχειες και συντελεστή ασφαλείας προς διερεύνηση. Οι ασυνέχειες πληρούνται μερικώς από υλικά αποσάθρωσης αργιλικής σύστασης, ενώ κατά θέσεις, παρατηρούνται ίχνη ασβεστιτικού υλικού. Η σημερινή κατάσταση διατήρησης του βράχου στο εσωτερικό του σπηλαίου, περιγράφεται από ρηγματώσεις, αποσπάσεις τμημάτων, έντονο κατακερματισμό του πετρώματος και χαλάρωση της δομής του, κυρίως στον θάλαμο Υ και στους δύο διαδρόμους e και f. Η κατάσταση αυτή μπορεί να προκαλέσει και στατικά ζητήματα τοπικού χαρακτήρα. Η κατείσδυση επιφανειακών υδάτων διαμέσου των ασυνεχειών του πετρώματος εντείνει φαινόμενα χαλάρωσης της δομής του και αποσπάσεις τμημάτων αυτού (Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 20).



Εικ.5.10: Βραχώδη μάζες ερυθρού έως καστανέρυθρου χρώματος, με πυκνές ασυνέχειες από υλικά αποσάθρωσης αργιλικής σύστασης, Νικοδήμου Π., 2021.

5.4. Κατάσταση διατήρησης των σωζόμενων κονιαμάτων

Παρατηρείται εκτεταμένη απώλεια κονιάματος από συγκεκριμένο ύψος και επάνω, στα επιχρίσματα/τοιχογραφίες σε ένα τοίχωμα του θαλάμου Υ. Σε πολλά σημεία παρουσιάζεται αποκόλληση του κονιάματος από τα τοιχώματα και την οροφή του θαλάμου Υ, του θαλάμου r6 και του διαδρόμου f και e που τους ενώνει. Συγκεκριμένα στον διάδρομο f είναι πιο έντονη η φθορά. Εντοπίζεται εκτεταμένη απώλεια συνάφειας υποστρώματος κονιάματος με την επιφάνεια του πετρώματος του βράχου, αλλά και τοπικά φαινόμενα διαχωρισμού των κατασκευαστικών φάσεων των επιχρισμάτων. Επίσης στα επιχρίσματα/τοιχογραφίες παρατηρείται συσσώρευση γαιωδών επικαθίσεων (χώμα). Παρουσία διαλυτών και αδιάλυτων αλάτων στα επιχρίσματα/τοιχογραφίες και στη επιφάνεια των εσωτερικών τοιχωμάτων. Πιο έντονη γίνεται η παρουσία των διαλυτών αλάτων στις επιφάνειες των κονιαμάτων του διαδρόμου f και κατά

τόπους, στα τοιχώματα και στην οροφή του θαλάμου Υ και Γ6. Εντοπίζεται αυξημένη παρουσία βιολογικών επικαθίσεων κυρίως στους τοίχους του θαλάμου Υ. Η παρουσία των βιολογικών επικαθίσεων λόγω έκλυσης όξινων συστατικών, φαίνεται να επέδρασε καθοριστικά στην σχεδόν ολοκληρωτική απώλεια της γεωμετρικής ζωγραφικής διακόσμησης, ίχνη της οποίας διακρίνονται στο δεξί τμήμα του ενός τοίχου. Στις επιφάνειες του βράχου και των επιχρισμάτων/τοιχογραφιών του θαλάμου Υ, εντοπίζονται τοπικά ίχνη από τσιμέντο, (Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, σελ. 20).



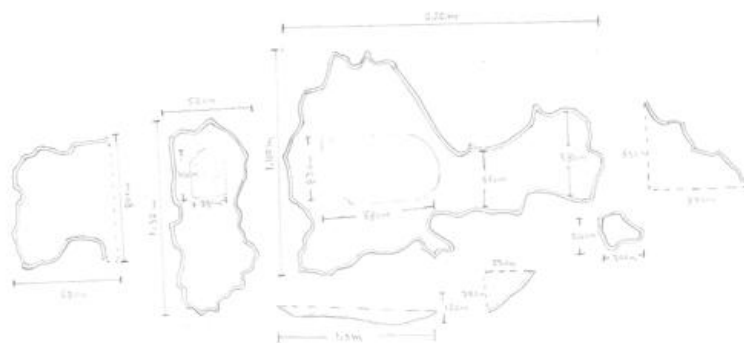
Εικ.5.11: Εκτεταμένη απώλεια κονιάματος στα επιχρίσματα/τοιχογραφίες, συσσώρευση γαιωδών και παρουσία βιολογικών επικαθίσεων στον θάλαμο Υ, Νικοδήμου Π., 2021.

5.5. Κατάσταση διατήρησης του ψηφιδωτού δαπέδου

Αρχικά το ψηφιδωτό δάπεδο φέρει σε αρκετά σημεία της ψηφιδωτής επιφάνειας του απώλειες οι οποίες στην περίμετρο τους φέρουν στεφάνωμα. Σε δύο από αυτές παρατηρείται πως πιθανών προηγήθηκε τεμαχισμός. Στα συγκεκριμένα σημεία είναι αντιληπτή η στρωματογραφία του δαπέδου, όπου φαίνονται τα τρία κατώτερα στρώματα της υποδομής. Επίσης περισσότερες απώλειες μικρότερου μεγέθους, και παρατηρούνται προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης. Στην συνέχεια παρατηρήθηκαν γεώδεις επικαθίσεις και φερτά υλικά σε μεγάλο μέρος της επιφάνειας του δαπέδου. Συγκεκριμένα πλησίον της εισόδου, όπου παρατηρείται παχύρρευστο στρώμα λάσπης λόγω των καιρικών φαινομένων (μεταφορά σκόνης μέσω αέρα και την εισροή όμβριων υδάτων). Λόγω της υγρασίας που επικρατεί στον υπόσκαφο χώρο και της εισροής όμβριων υδάτων από την είσοδο του θαλάμου Υ παρατηρείται σε αρκετά σημεία της επιφάνειας, έντονη δημιουργία και δράση διαλυτών/αδιάλυτων αλάτων και βιολογικών επικαθίσεων, κυρίως πλησίον του βράχου κατά την χειμερινή περίοδο.



Εικ.5.12, 5.13: Φωτογραφική αποτύπωση απωλειών και στρωματογραφίας που φέρει η ψηφιδωτή επιφάνεια, Νικοδήμου Π.,2021.



Εικ.5.14: Σχεδιαστική αποτύπωση απωλειών που φέρει η ψηφιδωτή επιφάνεια, Νικοδήμου Π.,2021.



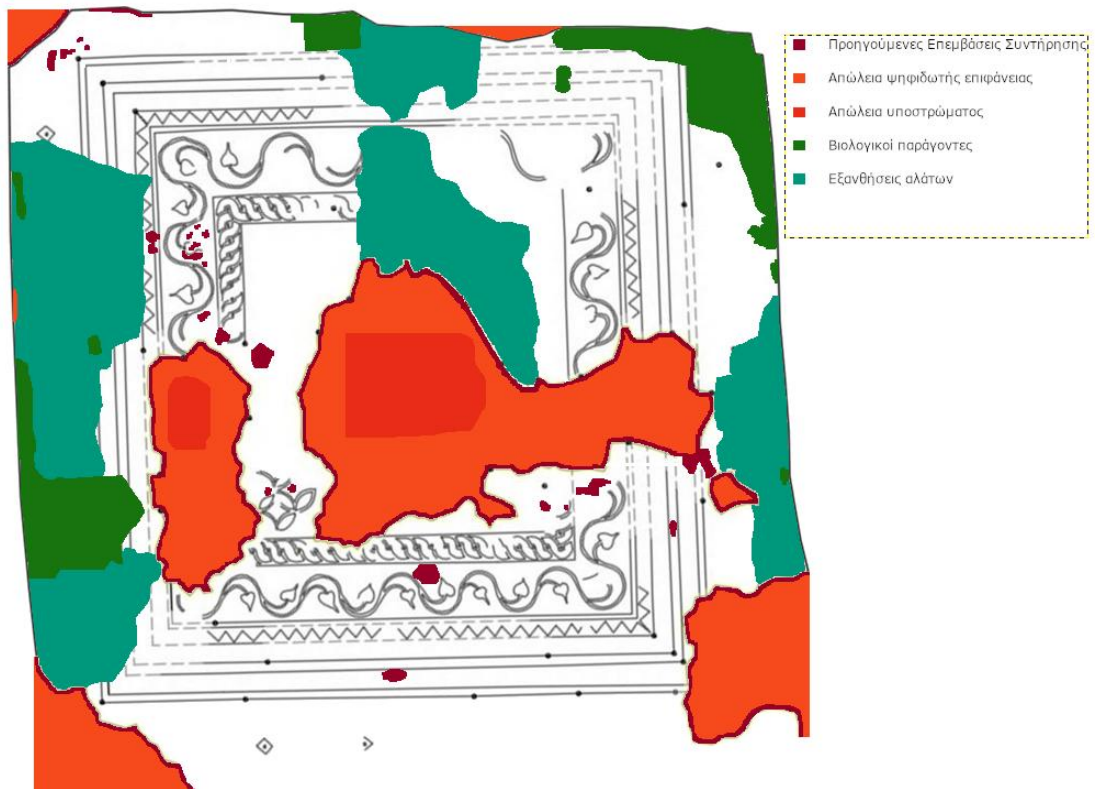
Εικ.5.15: Φωτογραφική αποτύπωση προηγούμενων επεμβάσεων συντήρησης, Νικοδήμου Π.,2021.



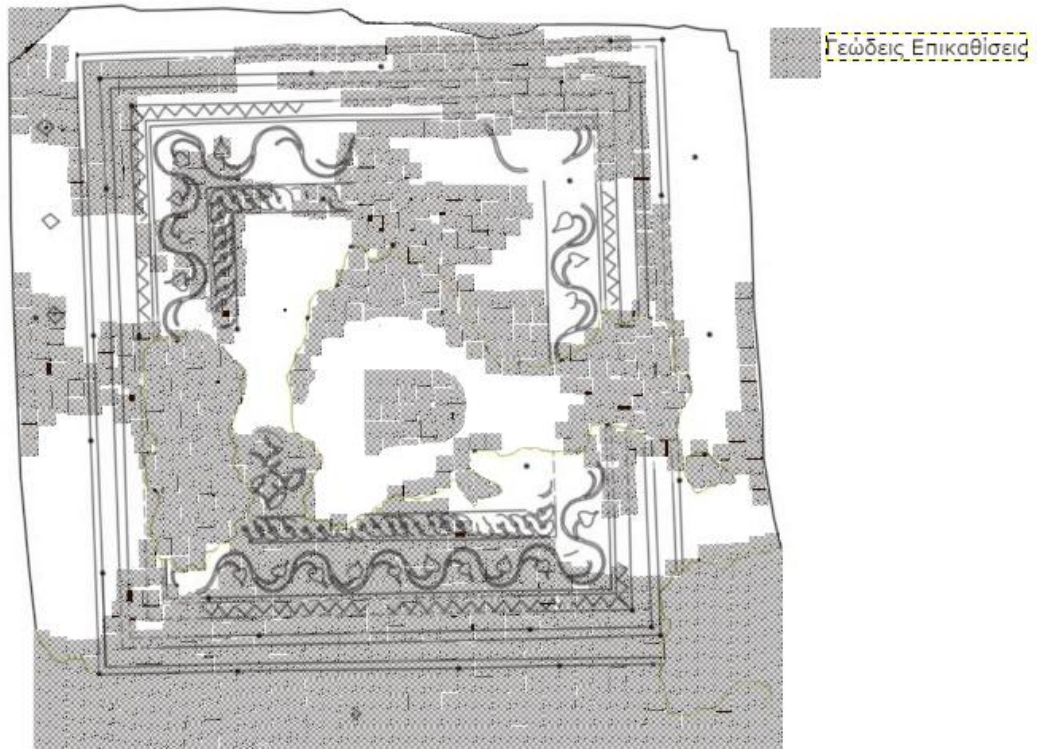
Εικ.5.16: Γεώδεις επικαθήσεις και φερτά υλικά, Νικοδήμου Π.,2021



Εικ.5.17,5.18: Δημιουργία και δράση διαλυτών/αδιάλυτων αλάτων και βιολογικών επικαθήσεων, Νικοδήμου Π,2021.



Εικ.5.19: Ψηφιακή αποτύπωση ψηφιδωτού δαπέδου, Νικοδήμου Παναγιώτης, 2021.



Εικ.5.20: Ψηφιακή αποτύπωση ψηφιδωτού δαπέδου, Νικοδήμου Παναγιώτης,2021

5.5.1. Παράγοντες φθοράς

Το φαινόμενο της φθοράς των υλικών είναι πολυσύνθετο και αποτελεί συνάρτηση ενδογενών και εξωγενών παραγόντων. Οι ενδογενείς παράγοντες σχετίζονται με τη δομή και τις ιδιότητες των ίδιων των υλικών κατασκευής ενός ψηφιδωτού, δηλαδή, τη ψηφίδα και το κονίαμα, ενώ οι εξωγενείς σχετίζονται με το περιβάλλον τόσο στο επίπεδο του γενικού περιβάλλοντος, όσο και του μικροκλίματος. Η αρχή της φθοράς κάθε υλικού, που είναι εκτεθειμένο σε ένα ορισμένο περιβάλλον, ξεκινά από το γεγονός ότι το υλικό τείνει να ισορροπήσει με τις διάφορες συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται. Οι συνεχόμενες μεταβολές των φυσικοχημικών και μηχανικών ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών του υλικού οδηγούν στην φθορά του. Η γνώση των αιτιών και, κατ' επέκταση, των μηχανισμών φθοράς, αποτελούν τη βάση για τη διατύπωση προτάσεων συντήρησης, που θα επιβραδύνουν τη δράση τους. Η διάβρωση ανόργανων και ιδιαίτερα σύνθετων υλικών, όπως είναι τα κονιάματα, αποτελεί ένα πολύπλοκο φαινόμενο, όπου συνυπάρχουν περισσότεροι από ένας μηχανισμοί με διαφορετικό χαρακτήρα (Θ.Ν.Σκουλικίδης, 2000, Κ. V. Balen, E. E. Toumbakari, M. T. Blanco-Varela, 2002, σελ. 1-30). Σε κάθε περίπτωση, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά του υλικού, επικρατεί ο ένας, ή ο άλλος μηχανισμός. Για παράδειγμα, οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας επιδρούν δυσμενώς στη συνοχή μεταξύ των κρυστάλλων του ασβεστίτη (φυσική δράση), διευκολύνοντας την προσβολή του από όξινα διαλύματα (χημική δράση), ενώ συγχρόνως μπορεί να υπάρχει προσβολή σε ξηρά κατάσταση από το SO₂ της ρυπασμένης ατμόσφαιρας (ηλεκτροχημική δράση). Οι καιρικές συνθήκες σε συνδυασμό με τη θέση του ψηφιδωτού παίζουν, επίσης, καθοριστικό ρόλο για το ποιος από τους δύο τελευταίους μηχανισμούς φθοράς θα επικρατήσει (Θ. Ν. Σκουλικίδης, 2000, Μ. Menicou, C. F. Iori, M. Macciarola, 2003, σελ. 225-233). Οι κυριότεροι παράγοντες φθοράς και οι επιπτώσεις τους αναφέρονται στις παραγράφους που ακολουθούν.

5.5.2. Η δράση του νερού

Η παρουσία του νερού αποτελεί την κυριότερη αιτία για τις περισσότερες φυσικές και χημικές μεταβολές που υφίσταται στο ψηφιδωτό δάπεδο. Το νερό εισχωρεί στα υλικά με τη συμπύκνωση των υδρατμών του αέρα, με τη διείσδυση του νερού της βροχής, αλλά και με τη διαδικασία της τριχοειδούς αναρρίχησης. Το μέγεθος της απορρόφησης και η κυκλοφορία του νερού μέσα στο υλικό καθορίζεται από το πορώδες και την υγροσκοπικότητα των υλικών. Το νερό συμμετέχει στους μηχανισμούς φθοράς, είτε άμεσα, ή και έμμεσα. Η δράση του μπορεί να είναι φυσική, χημική, ή ακόμη και συνδυαστική. Ελέγχει τη μεταφορά, την κρυστάλλωση, την αποκρυστάλλωση και την ενυδάτωση των αλάτων στο υλικό. Η διαφορά του συντελεστή διαστολής του, από την υγρή στη στερεά κατάσταση (πάγος) το καθιστά υπεύθυνο για την εισαγωγή εσωτερικών μηχανικών τάσεων στο υλικό, που μπορεί να οδηγήσουν ακόμη και στην κατάρρευσή του (Θ.Ν.Σκουλικίδης, 2000, Κ. V. Balen, E. E. Toumbakari, M. T. Blanco-Varela, 2002, σελ. 1-30). Το νερό συμμετέχει, επίσης, ενεργά στις χημικές αντιδράσεις με τους ρύπους της ατμόσφαιρας. Ακόμη, δρα ως ενεργός παράγοντας στην οξειδωτική δράση του οξυγόνου. Τέλος, επιδρά άμεσα στις αλλοιώσεις που

οφείλονται σε βιολογικούς παράγοντες. Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι οι περισσότερες μεταβολές αναπτύσσονται κατά την εξάτμιση του νερού (E. Bernard, G. H William, 1987, σελ. 8-10). Η εξάτμιση από την επιφάνεια, ενός πορώδους υλικού, εξαρτάται κυρίως από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, και πιο συγκεκριμένα, τη θερμοκρασία, την σχετική υγρασία, αλλά και την ταχύτητα του αέρα που περνά από την επιφάνεια (Α. Μονστανονα, 2007, σελ. 1-21). Έτσι, ανάλογα με τις μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών το νερό μετακινείται γρήγορα, ή αργά προς την επιφάνεια, προκαλώντας αύξηση ή μείωση του ποσοστού εξάτμισης.

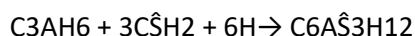
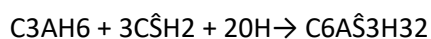
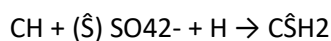


Εικ.5.21: Διείσδυση βρόχινου νερού στο ψηφιδωτό δάπεδο, Νικοδήμου Π, 2022.

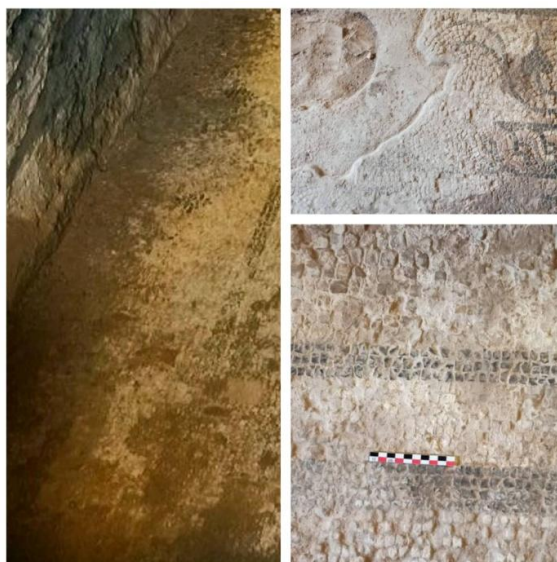
5.5.3. Φθορά από άλατα

Τα άλατα που εντοπίζονται, συνήθως, μέσα στις διάφορες κατασκευές με δομικά υλικά, είναι θειικά, νιτρικά, ανθρακικά και αλκαλικές γαίες (Κ. V. Balen, E. E Toumbakari, M. T. Blanco-Varela, 2002, σελ. 1-30). Η προέλευσή τους μπορεί να αποδοθεί από το υπέδαφος, σε υπόγεια νερά, ή και στο θαλασσινό νερό (π.χ., NaCl, Na₂SO₄). Η μεταφορά τους γίνεται, με τη μορφή ιόντων, μέσω του υδροφόρου ορίζοντα ή/και με τη βοήθεια του ανέμου (salt spray) από όξινους ατμοσφαιρικούς ρύπους (SO_x, NO_x, HCl) ή ακόμη και από βιολογικούς παράγοντες φθοράς. Τα ιόντα των αλάτων αυτών, προσβάλλουν απευθείας τα κονιάματα με διάφορους φυσικούς ή/και χημικούς μηχανισμούς (Θ.Ν.Σκουλικίδης, 2000, E. Doehne and E. Sebastian, 2000, σελ. 1527-1534). Ένα κλασικό παράδειγμα των φυσικών μηχανισμών αποτελεί η μεταφορά αλάτων με το νερό που εισχωρεί στο εσωτερικό των τοιχωμάτων, είτε με το φαινόμενο της τριχοειδούς αναρρίχησης, είτε από συμπύκνωση της υγρασίας. Τα άλατα αυτά (ανθρακικά, θειικά, χλωριούχα) εισχωρούν και εγκλείονται μέσα στους εσωτερικούς πόρους των κονιαμάτων. Ανάλογα με τις μεταβολές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας αναπτύσσονται σε κρυσταλλικές ενώσεις, ο όγκος των οποίων οδηγεί στην ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων με συνέπεια την απώλεια των μηχανικών αντοχών του κονιάματος (Θ.Ν.Σκουλικίδης, 2000, E. Doehne and E. Sebastian, 2000, σελ. 1527-1534, Zezza F., Kouli M., Cheilakou, 2007, σελ. 373-384),

όπως παρατηρείται έντονα στα σημεία απώλειας της υποδομής και της ψηφιδωτής επιφάνειας. Επίσης, η παρουσία διαλυτών αλάτων μέσα στους πόρους, με την αύξηση της θερμοκρασίας, μπορεί να οδηγήσει στη μεταφορά τους με το νερό, διαμέσου των πόρων, από το επίπεδο της υποδομής των ψηφιδωτών προς την επιφάνεια τους, με αποτέλεσμα τη κατακρήμνιση αλάτων σε αυτήν και την κρυστάλλωση τους (A. Arnold and K. Zehnder, 1990, σελ. 14-21). Η εναπόθεση των αλάτων στην επιφάνεια οδηγεί στο σχηματισμό σκληρών κρουστών, ή εξανθήσεων αλάτων στις ψηφίδες και στους αρμούς (Θ.Ν.Σκουλικίδης, 2000) όπως γίνεται αντιληπτό στο ψηφιδωτό. Από την άλλη μεριά, η διείσδυση νερού με την μεταφορά ορισμένων ιόντων, ιδιαίτερα Cl⁻, SO₄²⁻, Mg²⁺ και αλκαλίων (K⁺, Na⁺) στα κονιάματα μπορεί να οδηγήσει στην αποδόμησή τους με χημικούς μηχανισμούς. Για παράδειγμα, τα θειικά ιόντα (SO₄²⁻) παρουσία υγρασίας, αντιδρούν με ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃) προς σχηματισμό γύψου (C₂H₂O₇). Στη συνέχεια η γύψος αντιδρά με τις υδραυλικές ενώσεις του κονιάματος, δηλαδή, τις ένυδρες ασβεσταργλικές ενώσεις (CAH), για να σχηματίσουν ετρινγκίτη (C₆A₃H₃2) ή/και μονοθειικό άλας (C₆A₃H₁₂), (Σ. Τσίμας, 2001), σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:



Οι ενώσεις αυτές εξασθενούν τις συνδετικές (υδραυλικές) ιδιότητες του κονιάματος, και επιπλέον, η κρυστάλλωση των μεγάλου όγκου ένυδρων ασβεστο-θειο-αργλικών ενώσεων (ετρινγκίτης, μονοθειικό άλας,) μέσα στο ήδη σκληρό κονίαμα δημιουργεί εσωτερικές τάσεις (H. Kollman, G. Strübel and F. Trost, 1977, σελ. 224-228). Από όσα αναφέρθηκαν, παραπάνω, είναι κατανοητό, ότι η ευαισθησία του κονιάματος στην κρυστάλλωση αλάτων είναι συνάρτηση των μηχανικών και των δομικών του παραμέτρων, δηλαδή, της αντοχή του σε θλίψη, το μέτρο συμπίεστότητας, το πορώδες και της κατανομή μεγέθους των πόρων του (Θ. Ν. Σκουλικίδης, 2000).



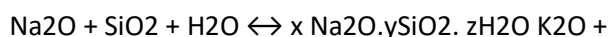
Εικ.5.22: Εξανθήσεις αλάτων στις ψηφίδες και στους αρμούς, Νικοδήμου Π.,2021.

5.5.4. Επίδραση των θερμοκρασιακών μεταβολών

Τα κονιάματα, από τη σύνθεσή τους, είναι σύνθετα υλικά, ενώ, από μηχανική άποψη ανήκουν στην κατηγορία των ψαθυρών υλικών, δηλαδή στερούνται ελαστικότητας. Τα χαρακτηριστικά αυτά κάνουν τα κονιάματα αρκετά ευαίσθητα στις θερμοκρασιακές μεταβολές. Η ευαισθησία αυτή οφείλεται σε δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος αναφέρεται στο διαφορετικό συντελεστή θερμικής διαστολής που μπορεί να έχουν τα επί μέρους υλικά, ή τα στρώματα που συνθέτουν τα κονιάματα. Ο δεύτερος αφορά στις χημικές μεταβολές που μπορεί να λαμβάνουν χώρα στα προϊόντα ενυδάτωσης ή/και ανακρυστάλλωση τους, οι οποίες οδηγούν σε μεταβολές όγκου (Θ. Ν. Σκουλικίδης, 2000, Κ. V. Balen, E. E. Toumbakari, M. T. Blanco-Varela, 2002, σελ. 1-30). Τα φαινόμενα αυτά συνεπάγονται τη δημιουργία και ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων στο ήδη σκληρωμένο κονίαμα, που είναι υλικό με ψαθυρά χαρακτηριστικά. Είναι αυτονόητο, ότι εάν το υλικό εκτεθεί σε επαναλαμβανόμενους θερμοκρασιακούς κύκλους, τα παραπάνω φαινόμενα εντείνονται και αναπτύσσονται δυνάμεις εσωτερικής θραύσης, που τελικά μπορεί να φθάσουν μέχρι την πλήρη αστοχία του. Ιδιαίτερα, σοβαρό ρόλο διαδραματίζει η συχνότητα και η ταχύτητα των θερμοκρασιακών μεταβολών και όχι τόσο η διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης τιμής θερμοκρασίας (T. Ramlochan, P. Zacarias, M.D.A Thomas, R.D. Hooton, 2003, σελ. 807–814). Σε περιπτώσεις απότομων θερμοκρασιακών αλλαγών, οι ρηγματώσεις εκδηλώνονται στο όριο μεταξύ θερμού και ψυχρού στρώματος, ενώ, οι ήπιοι κύκλοι, σε ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος, προκαλούν χαλάρωση στο εξωτερικό στρώμα του υλικού (Θ. Σκουλικίδης, 1992).

5.5.5. Επίδραση των ατμοσφαιρικών ρύπων

Το νερό της ατμόσφαιρας είναι συνήθως όξινο και αντιδρά με τα ανθρακικά άλατα που περιέχονται στα κονιάματα και στις ψηφίδες, σχηματίζοντας ευδιάλυτες ενώσεις. Ειδικότερα, η παρουσία του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), βοηθά στο σχηματισμό Ca(HCO₃)₂, προϊόν σχετικά ευδιάλυτο, το οποίο αποπλένεται εύκολα με το νερό της βροχής, με αποτέλεσμα τη σταδιακή αποικοδόμηση των κονιαμάτων. Επίσης, οι υδραυλικές ενώσεις όταν έρχονται σε επαφή με το CO₂ αποικοδομούνται με μία πολύ αργή κινητική, που μπορεί να κρατήσει και αρκετά χρόνια, σύμφωνα με την αντίδραση : $CSH + CO_2 \leftrightarrow CaCO_3 + SiO_2 + H_2O$ (Θ. Ν. Σκουλικίδης, 2000, Κ. V. Balen, E. E Toumbakari, M. T. Blanco-Varela, 2002, σελ. 1-30, Θ. Σκουλικίδης, 1992). Τα οξείδια του αζώτου (NO_x) οδηγούν στο σχηματισμό Ca(NO₃)₂ που είναι αρκετά ευδιάλυτο προϊόν. Η παρουσία SO₂ στην ατμόσφαιρα με τη βοήθεια των υδρατμών συμβάλλει στη δημιουργία θειικού οξέος, το οποίο με τη σειρά του επιδρά στις ανθρακικές, πυριτικές, και αργλικές ενώσεις, και οδηγεί στο σχηματισμό ετρινγκίτη και γύψου (CaSO₄·2H₂O), (Θ. Σκουλικίδης, 1992, M. T. Blanco-Varela, J. Aguilera, F. Puertas, A. Palomo, C. Sabbioni, C. Riontino, G. Zappia, O. Favoni, K. Van Balen, E. E. Toumbakari, 1999, σελ. 149-159). Οι ενώσεις αυτές καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο από τις αρχικές ένυδρες ασβεστοπυριτικές και ασβεσταργλικές ενώσεις, με συνέπεια να εισάγονται εσωτερικές τάσεις που μπορεί να προκαλέσουν ρηγματώσεις. Επιπλέον, η γύψος είναι πιο ευδιάλυτη από το ανθρακικό ασβέστιο και αποπλένεται σταδιακά από το κονίαμα και τις ψηφίδες, αυξάνοντας το πορώδες και μειώνοντας, τελικά, την ανθεκτικότητα των υλικών (M. Del Monte and P. Rossi, 1997, σελ. 1637-1646). Παρόμοια με τη δράση των θειικών ιόντων είναι η προσβολή των κονιαμάτων από τα χλωριόντα Cl⁻. Η παρουσία τους συνεπάγεται τη δημιουργία χλωριούχων αλάτων αντίστοιχων του μονοθειικού άλατος αλλά, και τη διαλυτική δράση τους στο ανθρακικό ασβέστιο. Άλλοι παράγοντες χημικής φθοράς είναι η αλκαλική προσβολή των αδρανών, (alkali aggregate reaction) , (Κ. V. Balen, E. E Toumbakari, M. T. Blanco-Varela, 2002, σελ. 1-30). Στην περίπτωση αυτή, τα ιόντα νατρίου (Na⁺), και καλίου (K⁺) τα οποία βρίσκονται σαν προσμείξεις στα υδραυλικά κονιάματα, ή κυρίως στα αδρανή, αντιδρούν στο αλκαλικό (OH⁻) περιβάλλον των μικροπόρων του κονιάματος με το οξείδιο του πυριτίου (πλίνθοι της τοιχοποιίας ή αδρανή του κονιάματος) σύμφωνα με τις ακόλουθες αντιδράσεις (Θ. Ν. Σκουλικίδης, 2000) :



Τα προϊόντα των αντιδράσεων αυτών είναι τα ευδιάλυτα πυριτικά άλατα των αλκαλίων (υδρύαλος), τα οποία αποπλένονται και οδηγούν διαχρονικά στην αποσάθρωση του κονιάματος (Θ. Σκουλικίδης, 1992, M. Del Monte and P. Rossi, 1997, σελ. 1637-1646). Στην ατμόσφαιρα των πόλεων, εκτός από τους παραπάνω αέριους ρύπους, αιωρούνται σε κολλοειδή διασπορά στερεά σωματίδια, όπως αιθάλη, οξείδια μετάλλων, άργιλοι, γύψος, τσιμέντο, άμμος που μεταφέρονται εύκολα από τον αέρα σαν σκόνη, ή σαν καπνός. Αυτά τα

σωματίδια έχουν την τάση να επικάθονται στην επιφάνεια των μνημείων μεταφέροντας παράλληλα τους ατμοσφαιρικούς ρυπαντές (Θ. Ν. Σκουλικίδης, 2000). Έτσι εκτός από τη διάβρωση προκαλούν και άσχημο αισθητικό αποτέλεσμα.



Εικ.5.23: Γεώδεις επικαθήσεις και φερτά υλικά, Νικοδήμου Π.,2021.

5.5.6. Βιολογικοί παράγοντες φθοράς

Οι κυριότεροι βιολογικοί παράγοντες που επιδρούν στη φθορά του ψηφιδωτού είναι τα βακτήρια και οι μύκητες. Το περιβάλλον που ευνοεί την ανάπτυξή τους είναι η παρουσία υγρασίας, οργανικών ουσιών, ανόργανων αλάτων, φωτός και η μέτρια θερμοκρασία. Η δράσης τους εστιάζεται στις όξινες, ή αλκαλικές εκκρίσεις που δημιουργούνται, οι οποίες σε συνδυασμό με τους άλλους παράγοντες φθοράς, οδηγούν στο σχηματισμό ευδιάλυτων ενώσεων. Η απομάκρυνση των ευδιάλυτων αυτών ενώσεων συνεπάγεται την αύξηση του πορώδους, τη μείωση της ανθεκτικότητας και σε μεγαλύτερο βαθμό τη διάβρωση των υλικών κατασκευής. Στη διάβρωση από βιολογικούς παράγοντες περιλαμβάνονται, επίσης, οι χημικές και μηχανικές αλλοιώσεις που προκαλούνται από έντομα. Η τοπική προσβολή από βακτήρια και μύκητες υποδηλώνει υψηλή περιεκτικότητα υγρασίας στο υπόστρωμα και εντοπίζεται συχνά σε τμήματα τα οποία υγραίνονται μέσω του μηχανισμού της τριχοειδούς αναρρίχησης του νερού. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η διάβρωση εμφανίζεται κυρίως ως αποτέλεσμα των συχνών κύκλων ύγρανσης - ξήρανσης. (Θ. Ν. Σκουλικίδης, 2000, H. Kollman, G. Strübel and F. Trost, 1977, σελ. 224-228). Τα περισσότερα είδη μυκήτων εκκρίνουν σημαντικές ποσότητες οργανικών οξέων, κυρίως κιτρικό και οξαλικό οξύ. Η δράση των οξέων αυτών, σε αρκετά ορκετά, οδηγεί στην απομάκρυνση των ιόντων Al^{3+} , Mg^{2+} , Si^{4+} (Κ. V. Balen, E. E. Toumbakari, M. T. Blanco-Varela, 2002, σελ. 1-30). Τα βακτήρια διακρίνονται σε αυτότροφα και ετερότροφα. Οι αντιδράσεις των αυτότροφων παράγουν, μερικές φορές, ως προϊόντα οξέα, άλλοτε ισχυρά και άλλοτε ασθενή, τα οποία μπορούν να διαβρώσουν τα δομικά υλικά, που είναι ευαίσθητα στα οξέα.



Εικ.5.24: Βιολογικές επικαθήσεις, Νικοδήμου Π.,2021.

5.5.7. Ανθρώπινη δραστηριότητα

Εκτός από τους φυσικούς παράγοντες φθοράς που προαναφέρθηκαν, είναι και η ανθρώπινη δραστηριότητα καθώς παρατηρείται τεμαχισμός μέρους της κεντρικής απώλειας και της κεντρικής αριστερής πλησίον του βράχου, όπου πιθανότατα έφεραν κάποιου είδους εμβλήματα.



Εικ.5.25: Τεμαχισμός μέρους της κεντρικής απώλειας και της κεντρικής αριστερής πλησίον του βράχου, Νικοδήμου Π.,2021

5.5.8. Φθορά από ακραία καιρικά φαινόμενα και φυσικές καταστροφές

Μετατοπίσεις και καταρρεύσεις μπορεί να προκληθούν από έντονα καιρικά φαινόμενα, ή φυσικές καταστροφές. Φθορές, επίσης, προκαλούνται από τις έντονες βροχοπτώσεις και πλημμύρες, όπου η φθοροποιός δράση του νερού, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτελεί το κυριότερο αίτιο των περισσότερων φυσικών και χημικών μεταβολών στα υλικά, (C. A. Fletcher, T. Spencer, 2009, σελ. 178- 197). Επίσης παρατηρήθηκε κατά την χειμερινή περίοδο αποσάθρωση και απώλεια μερών από την οροφή του θαλάμου Υ με αποτέλεσμα την πτώση τους στο ψηφιδωτό δάπεδο. Πιθανότατα λόγω της μέγιστης υγρασίας (διάγραμμα 5.1) με συνδυασμό την ένταση και φορά του αέρα.



Εικ.5.26: Πτώση μερών από την οροφή του θαλάμου Υ στο ψηφιδωτό δάπεδο , Νικοδήμου Π.,2022

5.5.9. Επιπτώσεις μηχανισμών φθοράς σε ψηφιδωτά δάπεδα

Η επίδραση των διαφόρων περιβαλλοντικών παραγόντων φθοράς που αναφέρθηκαν και οι χημικές δράσεις που συνεπάγονται, συντελούν στη φθορά του κονιάματος και στην απώλεια συνοχής της στρωματογραφίας των ψηφιδωτών. Ειδικότερα, η άργιλος, που μπορεί να περιέχεται στα κονιάματα, απορροφά υγρασία και διογκώνεται ασκώντας μηχανικές τάσεις στα περιφερειακά της υλικά. Η γύψος και η υδράσβεστος αλλοιώνονται, ενώ στα ασβεστοκονιάματα – γυψοκονιάματα, που έγινε επί τόπου σβέση, μπορεί να έχει παραμείνει οξείδιο του ασβεστίου, εάν η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή, το οποίο μετατρέπεται σε $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ή CaCO_3 , αφού έχει σκληρυνθεί το κονίαμα, με συνέπεια την εισαγωγή εσωτερικών τάσεων (Θ. Ν. Σκουλικίδης, 2000). Επίσης, η παρουσία υγρασίας και το αλκαλικό περιβάλλον που επικρατεί στους πόρους του κονιάματος, συντελούν στη σήψη των οργανικών ινών και του άχυρου που, σε πολλές περιπτώσεις, χρησιμοποιούνταν ως οπλισμός ενίσχυσης στα αρχαία κονιάματα, με άμεση επίδραση στην ανθεκτικότητά

τους (Θ. Ν. Σκουλικίδης, 2000). Συμπερασματικά, η δράση της υγρασίας σε συνάρτηση με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες οδηγεί στην απομείωση των υλικών στο χρόνο, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κενών στο υπόστρωμα, εξάρσεων ή/και καθιζήσεων της ψηφιδωτής επιφάνειας, την αποκόλληση ψηφιδών, ή και ολόκληρων τμημάτων της ψηφιδωτής επιφάνειας (Getty, 2003, σελ. 5-8). Ακόμα, στους παράγοντες που συμμετέχουν στη φθορά των ψηφιδωτών θα πρέπει να συμπεριληφθούν οι λανθασμένες επεμβάσεις συντήρησης. Για παράδειγμα, στο παρελθόν σε πολλές επεμβάσεις συντήρησης ψηφιδωτών δαπέδων έχει χρησιμοποιηθεί τσιμεντοκονίαμα και μεταλλικοί σπλισμοί (Θ. Ν. Σκουλικίδης, 2000). Η χρήση τσιμέντου ως υλικό αποκατάστασης ζημιών διαταράσσει τη μηχανική συμπεριφορά των ιστορικών δομικών υλικών, με κίνδυνο εμφάνισης διαφορετικών φορτίσεων σε τμήματα της δομής τους, που συνεπάγονται τελικά αστοχία της κατασκευής. Ειδικότερα, τα κονιάματα τσιμέντου παρουσιάζουν διαφορετικές φυσικο-μηχανικές ιδιότητες σε σχέση με τα ιστορικά κονιάματα. Έχουν μεγαλύτερη συνεκτικότητα και θλιπτική αντοχή, γεγονός που τα καθιστά ισχυρά στη συνδετική τους ικανότητα και είναι άκαμπτα. Παρουσιάζουν, επίσης, συρρίκνωση κατά την πήξη και σκλήρυνσή τους, συμβάλλοντας στην αύξηση του πορώδους και έχουν, διαφορετικό συντελεστή θερμικής διαστολής. Όλες αυτές οι διαφοροποιήσεις έχουν ως αποτέλεσμα να ασκούνται μηχανικές τάσεις στα αρχικά υλικά, που είναι ιδιαίτερα έντονες σε κύκλους θέρμανσης – ψύξης και μπορεί να οδηγήσουν σε ρηγματώσεις και σταδιακά σε κατάρρευση της κατασκευής. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι μηχανισμοί φθοράς μπορεί να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις τόσο στην δομική κατασκευή ενός ψηφιδωτού δαπέδου (υπόστρωμα) όσο και στην ψηφοθετημένη επιφάνεια. Και στις δύο περιπτώσεις, οι επιπτώσεις έχουν άμεσο αντίκτυπο στην αισθητική αλλοίωση του μνημείου, αλλά και στην επιτάχυνση της καταστροφής του.

Οι συνήθεις επιπτώσεις φθοράς συνοψίζονται στις ακόλουθες:

1. Διάλυση, μεταφορά, ενυδάτωση και απόθεση των διαλυτών αλάτων στο υλικό, με αποτέλεσμα την μείωση της αισθητικής αξίας της ψηφιδωτής επιφάνειας.
2. Η πήξη του νερού, όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 0°C, οδηγεί σε δημιουργία εσωτερικών τάσεων και αποσάθρωση των υλικών.
3. Ανάπτυξη βιο-διάβρωσης από τους ανώτερους φυτικούς οργανισμούς, που προσβάλλει τα κονιάματα προκαλώντας χημικές μετατροπές, και άσκηση μηχανικών τάσεων.
4. Οι κύκλοι ύγρυνσης – ξήρανσης προκαλούν διαστολή-συστολή και η ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων οδηγεί σε ρηγματώσεις και πιθανή αποκόλληση, ή υποχώρηση τμημάτων της ψηφιδωτής επιφάνειας.

5.6. Μελέτη του περιβάλλοντος χώρου μέσω καταγραφέα δεδομένων κλίματος για την καταγραφή σχετικής υγρασίας / θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε βάθος χρόνου

Στο εσωτερικό των σπηλιών ο αέρας είναι κορεσμένος σε υδρατμούς, δηλαδή παρουσιάζει υψηλή σχετική υγρασία. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά την κίνηση του μέσα στην σπηλιά απορροφά την υγρασία των τοιχωμάτων, τα οποία είναι υγρά, λόγω της μόνιμης σταγονοροής που εμφανίζουν. Επιπλέον αυτό το μεγάλο ποσοστό υγρασίας που αποκτά ο αέρας διατηρείται απεριόριστα, τόσο για την κίνηση του είναι πολύ αργή, όσο και γιατί η θερμοκρασία που επικρατεί στη σπηλιά είναι σχετικά σταθερή. Το ποσοστό υγρασίας του αέρα μπορεί να είναι μικρότερο κοντά στην είσοδο της σπηλιάς, δηλαδή στο σημείο επικοινωνίας του υπόγειου χώρου με την επιφάνεια, όπου οι συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας διαφέρουν. Η υγρασία αυξάνεται ταχύτατα προς τα βαθύτερα τμήματα της σπηλιάς (Κ. Γιαννόπουλος, 2003, σελ. 63-64). Η σχέση του αερισμού μιας σπηλιάς με την υγρασία της προσδιορίζεται από τα παρακάτω:

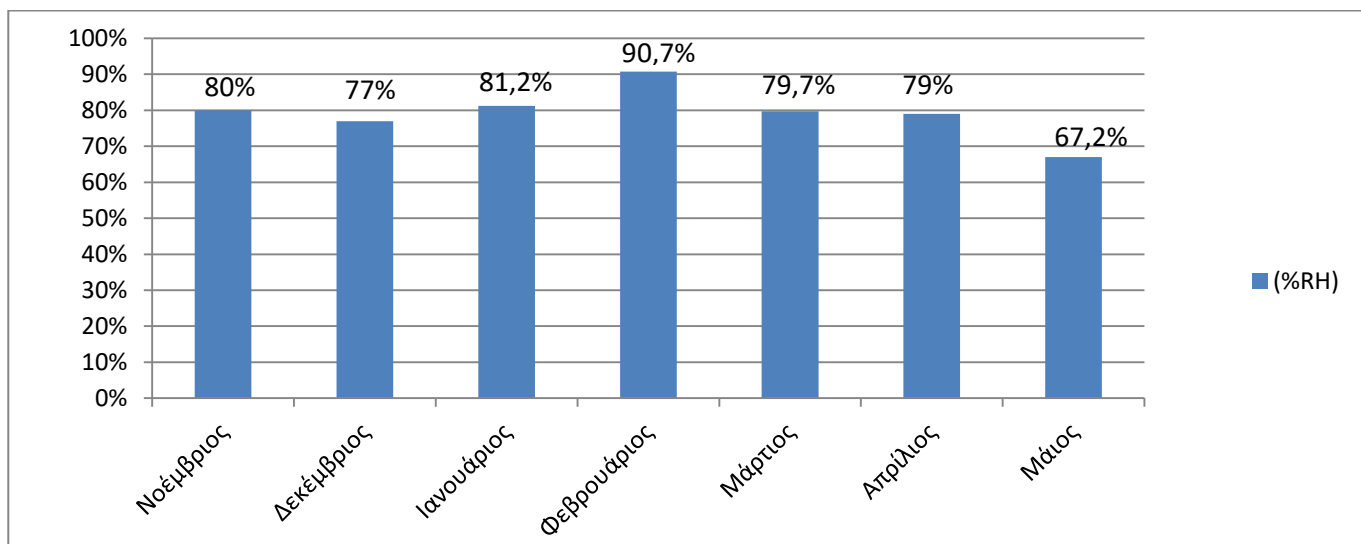
1. Όταν τα ρεύματα αέρα κινούνται από την επιφάνεια προς το εσωτερικό. Τον χειμώνα ο κρύος αέρας μπαίνει στο θερμότερο περιβάλλον της σπηλιάς, ζεσταίνεται και για μικρή απόσταση από την είσοδο η υγρασία του μειώνεται. Το καλοκαίρι ζεστός αέρας μπαίνει στη σπηλιά, ψύχεται και η υγρασία του αυξάνεται, χωρίς να ληφθούν απαραίτητα υδρατμοί από τα τοιχώματα.
2. Όταν τα ρεύματα κινούνται από το εσωτερικό προς τα έξω. Τον χειμώνα ο αέρας είναι κορεσμένος σε υδρατμούς σε όλη την έκταση της σπηλιάς, ακόμα και στο χώρο της εισόδου, αφού ζεστότερος αέρας βγαίνει σε ψυχρότερο περιβάλλον, ψύχεται και αυξάνει την υγρασία του. Το καλοκαίρι εξέρχεται ψυχρός αέρας προς το ζεστότερο περιβάλλον της επιφάνειας, οπότε κοντά στο χώρο της εισόδου ζεσταίνεται και μειώνεται το ποσοστό υγρασίας. Με σκοπό την μελέτη του περιβάλλοντος χώρου της σπηλιάς τοποθετήθηκε καταγραφέας δεδομένων κλίματος έτσι ώστε να γίνει καταγραφή της σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε βάθος χρόνου. Ο καταγραφέας τοποθετήθηκε κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου στο σπήλαιο και αφαιρέθηκε κατά την διάρκεια της εαρινής περιόδου. Με βάση τους πιο κάτω πίνακες και διαγράμματα θα αναλυθούν οι τιμές υγρασίας και θερμοκρασίας ανά χρονικές περιόδους που καταγράφηκαν στο σπήλαιο.

Πίνακας 5.1. Κλιματικά δεδομένα υγρασίας αέρα περιόδου Νοεμβρίου 2021 – Μαΐου 2022

Κλιματικά δεδομένα υγρασίας αέρα περιόδου Νοεμβρίου 2021 – Μαΐου 2022							
Μήνας	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος
Μέση Μέγιστη RH	90,9% RH	89,7% RH	89,1% RH	96,1% RH	95,3% RH	94,6% RH	91,25 RH
Μέση Ελάχιστη RH	60,7% RH	61,2% RH	69,8% RH	80,7% RH	53,7% RH	50,6% RH	44,8% RH
Μέση (Απλή) RH	80% RH	77% RH	81,2% RH	90,7% RH	79,7% RH	79% RH	67,2%RH

Πίνακας 5.1. Κλιματικά δεδομένα υγρασίας αέρα περιόδου Νοεμβρίου 2021 – Μαΐου 2022, Νικοδήμου Π., 2022.

Διάγραμμα 5.1. Κλιματικά δεδομένα μέσης τιμής υγρασίας αέρα περιόδου Νοεμβρίου 2021 – Μαΐου 2022



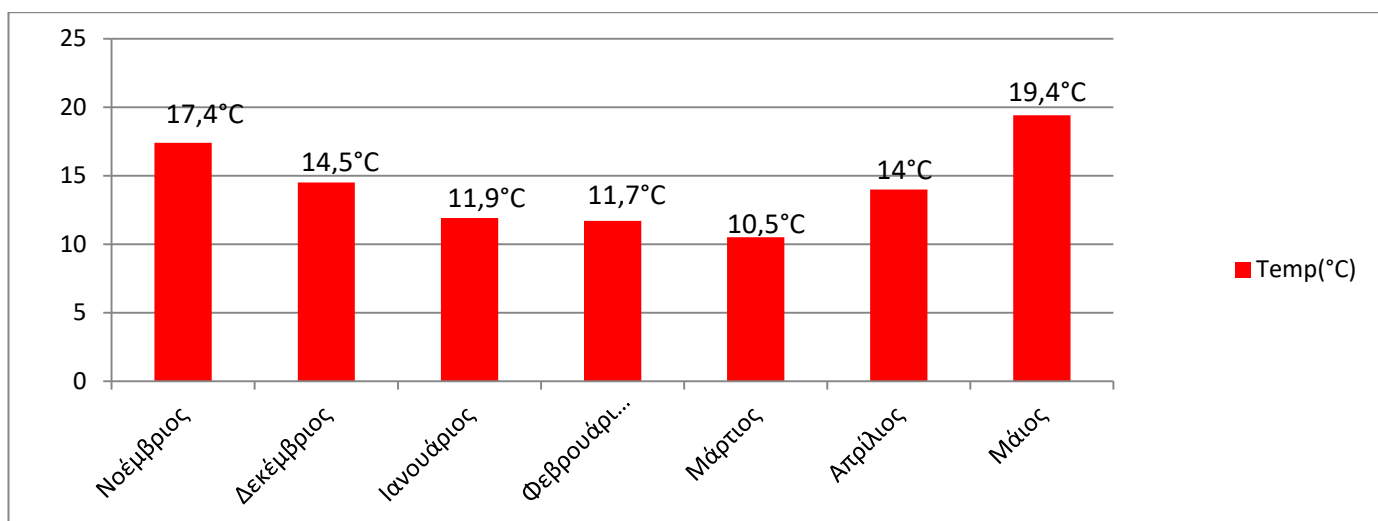
Διάγραμμα 5.1. Κλιματικά δεδομένα μέσης τιμής υγρασίας αέρα περιόδου Νοεμβρίου 2021 – Μαΐου 2022, Νικοδήμου Π., 2022.

Πίνακας 5.2. Κλιματικά δεδομένα θερμοκρασίας αέρα περιόδου Νοεμβρίου 2021 – Μαΐου 2022

Κλιματικά δεδομένα θερμοκρασίας αέρα περιόδου Νοεμβρίου 2021 – Μαΐου 2022							
Μήνας	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος
Μέση Μέγιστη °C	22,8°C	16,9°C	15,3°C	15,4°C	13,3°C	17,4°C	28,5°C
Μέση Ελάχιστη °C	15,1°C	10,9°C	8,2°C	9,8°C	6,5°C	12,1°C	14°C
Μέση (Απλή) °C	17,4°C	14,5°C	11,9°C	11,7°C	10,5°C	14,0°C	19,4°C

Πίνακας 5.2. Κλιματικά δεδομένα θερμοκρασίας αέρα περιόδου Νοεμβρίου 2021 – Μαΐου 2022, Νικοδήμου Π., 2022.

Διάγραμμα 5.2. Κλιματικά δεδομένα μέσης τιμής θερμοκρασίας αέρα περιόδου Νοεμβρίου 2021 – Μαΐου 2022



Διάγραμμα 5.2. Κλιματικά δεδομένα μέσης τιμής θερμοκρασίας αέρα περιόδου Νοεμβρίου 2021 – Μαΐου 2022, Νικοδήμου Π., 2022.

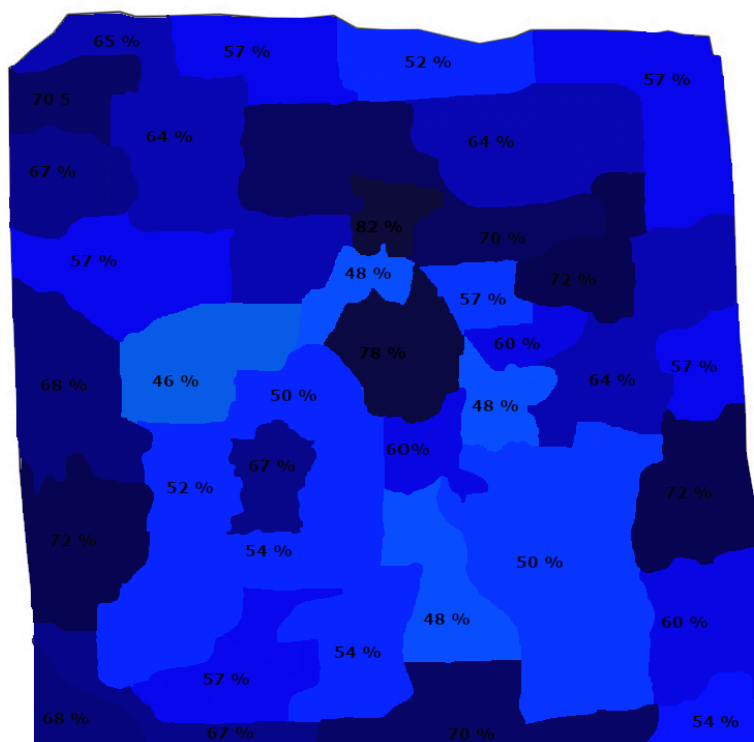
Σύμφωνα με τα πιο πάνω κλιματικά δεδομένα που καταγράφηκαν στον περιβάλλοντα χώρο παρατηρήθηκαν τα εξής:

1. Υψηλή υγρασία αέρα κατά την χειμερινή περίοδο Φεβρουάριου, 96,1% RH.
2. Μείωση υγρασίας αέρα κατά την εαρινή περίοδο Μαΐου, 44,8% RH.
3. Υψηλή θερμοκρασία αέρα κατά την εαρινή περίοδο Μαΐου, 28,5 °C.
4. Μείωση θερμοκρασίας αέρα κατά την χειμερινή περίοδο Μαρτίου, 6,5°C.

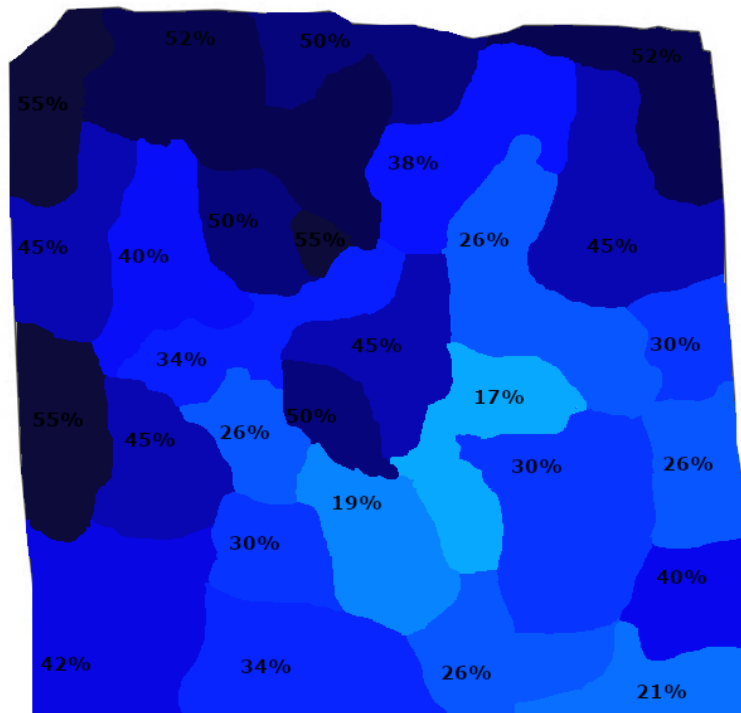
5.7. Μελέτη επιρροής της σχετικής υγρασίας στο ψηφιδωτό δάπεδο, μέσω συσκευής μικροκυμάτων για μέτρηση της περιεχόμενης υγρασίας σε χ βάθος

Κατά την χρονική περίοδο των μηνών Οκτωβρίου μέχρι και Απριλίου παρατηρήθηκαν έντονα καιρικά φαινόμενα όπως βροχές και χιόνια με αποτέλεσμα την εισροή όμβριων υδάτων από την είσοδο της σπηλιάς και την διείσδυση του στο ψηφιδωτό δάπεδο. Το μέγεθος τη απορρόφησης και η κυκλοφορία του νερού μέσα στο υλικό καθορίζεται από το πορώδες και την υγροσκοπικότητα των υλικών. Το νερό συμμετέχει στους μηχανισμούς φθοράς, είτε άμεσα, ή και έμμεσα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι οι περισσότερες μεταβολές αναπτύσσονται κατά την εξάτμιση του νερού (E. Bernard, G. H William, 1987, σελ. 8-10). Η εξάτμιση από την επιφάνεια, ενός πορώδους υλικού, εξαρτάται κυρίως από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, και πιο συγκεκριμένα, τη θερμοκρασία, την σχετική υγρασία, αλλά και την ταχύτητα του αέρα που περνά από την επιφάνεια (A. Μονστανονα, 2007, σελ. 1- 21). Έτσι, ανάλογα με τις μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών το νερό μετακινείται γρήγορα, ή αργά προς την επιφάνεια, προκαλώντας αύξηση ή μείωση του ποσοστού εξάτμισης.

Πραγματοποιήθηκε μελέτη για την επιρροή της σχετικής υγρασίας στο ψηφιδωτό δάπεδο μέσω συσκευής μικροκυμάτων και την δημιουργία χαρτών για την καταγραφή της περιεχόμενης υγρασίας σε βάθος κατά την χειμερινή και εαρινή περίοδο.



Εικ.5.27: Χάρτης περιεχόμενης υγρασίας σε βάθος κατά την χειμερινή περίοδο στο ψηφιδωτό δάπεδο, Νικοδήμου Π., 2022.



Εικ.5.28: Χάρτης περιεχόμενης υγρασίας σε βάθος κατά την εαρινή περίοδο στο ψηφιδωτό δάπεδο, Νικοδήμου Π.,2022.

Σύμφωνα με τους πιο πάνω χάρτες παρατηρείται ότι, κατά την χειμερινή περίοδο λόγω της δράσης του νερού, οι τιμές υγρασίας στην υποδομή του ψηφιδωτού δαπέδου είναι υψηλή, κυρίως πλησίον του βράχου και ιδιαίτερα στο άνω κεντρικό μέρος του όπου παρατηρείται η μέγιστη περιεχόμενη υγρασία 82%. Κατά την εαρινή περίοδο παρατηρήθηκε μείωση της περιεχόμενης υγρασίας στην υποδομή του ψηφιδωτού με την μέγιστη τιμή 55%, με αποτέλεσμα την δημιουργία κύκλων ύγρανσης – ξήρανσης που προκαλούν διαστολή-συστολή και η ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων που μπορεί να οδηγήσει σε φθορές όπως ρηγματώσεις, αποκολλήσεις και υποχωρήσεις τμημάτων της ψηφιδωτής επιφάνειας, κάτι που δεν παρατηρήθηκε κατά το διάστημα που λάμβανε χώρα η μελέτη και τεκμηρίωση του μνημείου.

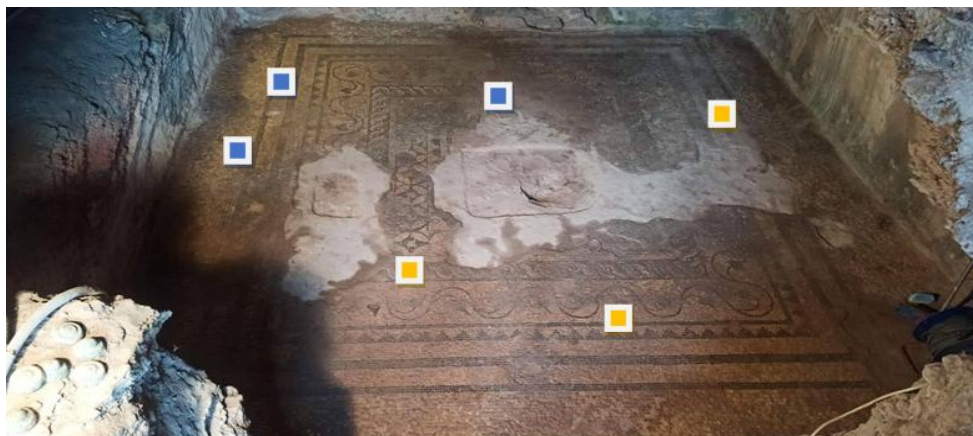
5.8. Έλεγχος αγωγιμότητας διαλυτών/αδιάλυτων αλάτων μέσω της μεθόδου αφαλάτωσης

Στο ψηφιδωτό παρατηρούνται εξάρσεις αλάτων όπου υποδηλώνει και την παρουσία διαλυτών αλάτων, μεταφορά των αλάτων με το φαινόμενο της τριχοειδούς αναρρίχησης από τα υπόγεια ύδατα καθώς επίσης η δράση του νερού σε συνδυασμό με την υγρασία, την θερμοκρασία του αέρα και από όξινους ατμοσφαιρικούς ρύπους ή ακόμη και από βιολογικούς παράγοντες φθοράς που παρατηρούνται στο σπήλαιο όπως προαναφέρθηκε στις πιο πάνω παραγράφους. Πραγματοποιήθηκε αφαλάτωση σε διάφορα σημεία του δαπέδου, συγκεκριμένα σε τρία σημεία που φέρουν αδιάλυτα άλατα και σε τρία σημεία καθαρής επιφάνειας για εντοπισμό διαλυτών αλάτων. Εφόσον επιλέχθηκαν τα σημεία για την εφαρμογή της διαδικασίας αφαλάτωσης, δημιουργήθηκαν κομπρέσες χαρτοπολτού με απιονισμένο νερό, με σκοπό το νερό να ενεργοποιήσει τα άλατα και να τα έλξει προς την επιφάνεια με αποτέλεσμα την απορρόφηση τους από την κομπρέσα. Έπειτα οι κομπρέσες αφαιρέθηκαν προσεκτικά και τοποθετήθηκαν σε διάλυμα απιονισμένου νερού όπου έγινε η ανάδευση τους με γυάλινη ράβδο έτσι ώστε να διαλυθούν τα άλατα. Με αγωγιμόμετρο τύπου Consort K511 έχει μετρηθεί η συγκέντρωση των διαλυτών/αδιάλυτων αλάτων όπως φαίνεται στον πιο κάτω πίνακα.

Πίνακας 5.3: Μέτρηση συγκέντρωσης διαλυτών/αδιάλυτων αλάτων με αγωγιμόμετρο

Δείγματα	Συγκέντρωση αδιάλυτων αλάτων	Δείγματα	Συγκέντρωση διαλυτών αλάτων
Δείγμα 1	180 μS	Δείγμα 1	330 μS
Δείγμα 2	960 μS	Δείγμα 2	594 μS
Δείγμα 3	683 μS	Δείγμα 3	277 μS

Σύμφωνα με τα πιο πάνω αποτελέσματα που προέκυψαν παρατηρείται έντονη συγκέντρωση αδιάλυτων αλάτων στο πάνω δεξιό, κεντρικό και αριστερό μέρος του ψηφιδωτού πλησίον του βράχου, όπως επίσης παρατηρείται έντονη συγκέντρωση διαλυτών αλάτων προς το κεντρικό μέρος του ψηφιδωτού πλησίον της εισόδου.



Εικ.5.29: Σημεία εφαρμογής της διαδικασίας αφαλάτωσης με κομπρέσες. Με μπλε χρώμα σημειώνονται τα σημεία αδιάλυτων αλάτων και με κίτρινο χρώμα τα σημεία διαλυτών αλάτων, Νικοδήμου Π., 2022.



Εικ.5.30: Εφαρμογή της διαδικασίας αφαλάτωσης με κομπρέσες. Στα αριστερά της εικόνας γίνεται η εφαρμογή κομπρέσας σε αδιάλυτα άλατα και στα δεξιά γίνεται εφαρμογή κομπρέσας σε διαλυτά άλατα, Νικοδήμου Π., 2022.



Εικ.5.31: Μέτρηση συγκέντρωσης των διαλυτών/αδιάλυτων αλάτων με αγωγιμόμετρο τύπου Consort K511, Νικοδήμου Π., 2022.

5.9. Μελέτη των δειγμάτων με φορητό Ψηφιακό Μικροσκόπιο (DM)

Όπως αναφέρεται πιο κάτω πάρθηκαν τρία αντιπροσωπευτικά δείγματα αδιάλυτων αλάτων με μηχανικά μέσα από διαφορετικές περιοχές της επιφάνειας του ψηφιδωτού δαπέδου, όπου αρχικά έγινε η μελέτη μορφολογίας της επιφάνειας τους με το ψηφιακό μικροσκόπιο (DM), μη καταστρεπτική μέθοδος. Στα προς εξέταση δείγματα Α, Β και Γ παρατηρήθηκε στην επιφάνεια τους κρύσταλλοι αλάτων όπως φαίνεται στην εικόνα.5.32, 5.33 και 5.34, όπου ακολούθησε η στοιχειακή ανάλυση τους με την μέθοδο ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης μικροαναλυτή SEM-EDS, για την ταυτοποίηση των αδιάλυτων αλάτων.



Εικ.5.32, 5.33, 5.34: Εξέταση μορφολογίας της επιφάνειας των δειγμάτων αδιάλυτων αλάτων Α,Β και Γ με το ψηφιακό μικροσκόπιο (DM), Νικοδήμου Π.,2022.

5.10. Αναλύσεις δειγμάτων αδιάλυτων αλάτων στην ψηφιδωτή επιφάνεια του δαπέδου, μέσω της μεθόδου ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης μικροαναλυτή (SEM-EDS)

Όπως προαναφέρθηκε είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα αναλυτικού ηλεκτρονικού μικροσκοπίου που περιλαμβάνει το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Scanning Electron Microscopy, SEM) με δυνατότητα μεγέθυνσης από 10 μέχρι 300.000 φορές, με ενσωματωμένο τον μικροαναλυτή. Αυτό επιτρέπει τη μελέτη της μικροδομής σε μια ποικιλία υλικών, τόσο αγώγιμων, όσο και μη αγώγιμων, ενώ, ταυτοχρόνως, παρέχει τη δυνατότητα στοιχειακής χημικής ανάλυσης, μέσω του φασματομέτρου διασπειρόμενης ενέργειας ακτίνων Χ (Energy Dispersive X-ray analysis, EDX), επιτρέποντας τη στοιχειακή ποιοτική και ποσοτική χαρτογράφηση (element mapping) της επιφάνειας,(D.A. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 2002, σελ. 633-638).

Για την πραγματοποίηση της μελέτης με την ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης, πάρθηκαν τρία αντιπροσωπευτικά δείγματα αδιάλυτων αλάτων με μηχανικά μέσα από διαφορετικές περιοχές της επιφάνειας του ψηφιδωτού δαπέδου. Κάθε δείγμα τοποθετήθηκε σε μεταλλικό δειγματοφορέα και στη συνέχεια επανθρακώθηκε, ώστε κάθε δείγμα να καταστεί αγώγιμο, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της μεθόδου. Στη συνέχεια έγινε η ανάλυση κάθε δείγματος σε χαμηλό κενό στα 3 pascal και λήφθηκε η εικόνα κάθε δείγματος και η στοιχειομετρική ανάλυση.



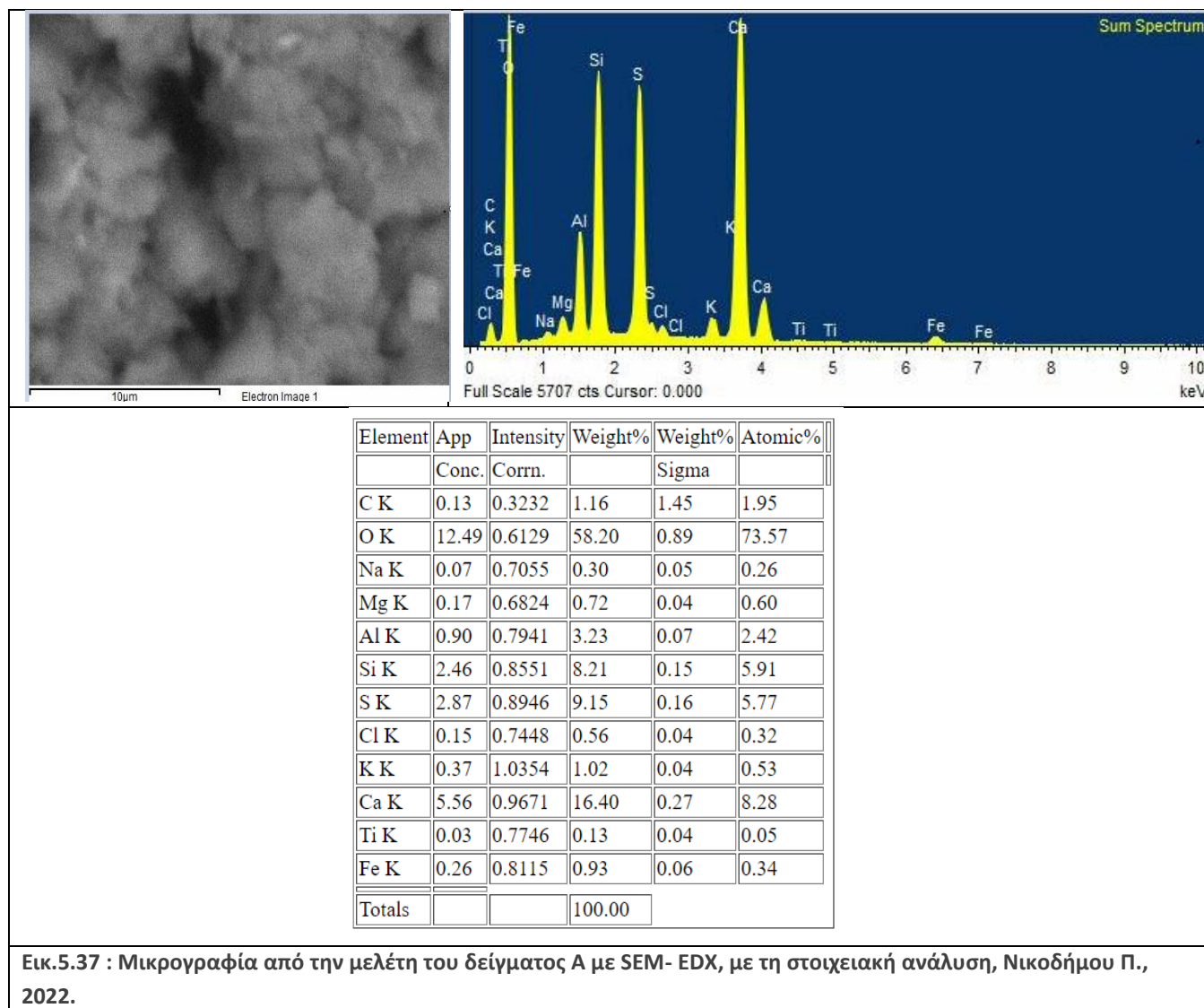
Εικ.5.35: Σημεία όπου πάρθηκαν τα δείγματα αδιάλυτων αλάτων, Νικοδήμου Π.,2022.



Εικ.5.36: Σημεία όπου πάρθηκαν τα δείγματα αδιάλυτων αλάτων Α,Β και Γ, Νικοδήμου Π., 2022.

Δείγμα Α:

Το δείγμα Α πάρθηκε από το πάνω κεντρικό μέρος της επιφάνειας του ψηφιδωτού δαπέδου όπου φαίνεται στις εικόνες 5.35 και 5.36.

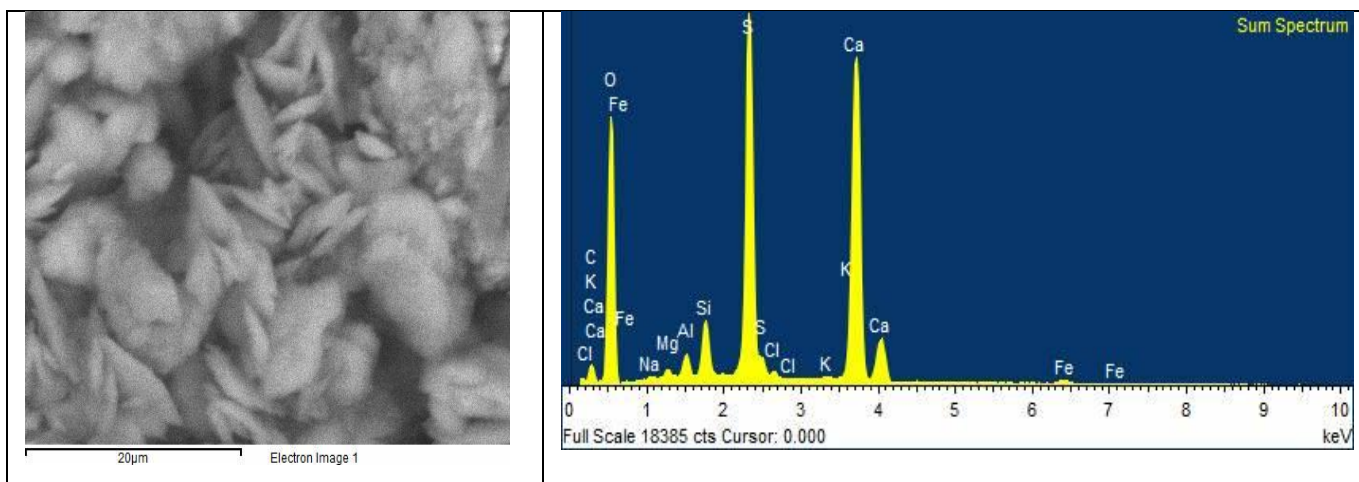


Παρατηρήσεις:

Από την μελέτη του δείγματος εντοπίζονται τα εξής στοιχεία: ασβέστιο (Ca), θείο (S), οξυγόνο (O), σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία προκύπτει θεικό ασβέστιο (CaSO₄). Επίσης παρατηρείται μικρό ποσοστό πυριτίου (Si).

Δείγμα Β:

Το δείγμα Β πάρθηκε από το πάνω αριστερό μέρος της επιφάνειας του ψηφιδωτού δαπέδου πλησίον του βράχου όπου φαίνεται στις εικόνες 5.35 και 5.36.



Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Conn.		Sigma	
C K	3.43	0.3389	4.63	0.55	7.58
O K	71.68	0.5596	58.60	0.38	72.01
Na K	0.27	0.6843	0.18	0.03	0.16
Mg K	0.46	0.6666	0.32	0.02	0.25
Al K	1.25	0.7845	0.73	0.02	0.53
Si K	3.55	0.8784	1.85	0.03	1.29
S K	29.02	0.9581	13.86	0.11	8.50
Cl K	0.69	0.7513	0.42	0.02	0.23
K K	0.46	1.0429	0.20	0.02	0.10
Ca K	39.52	0.9714	18.61	0.14	9.13
Fe K	1.06	0.8066	0.60	0.04	0.21
Totals			100.00		

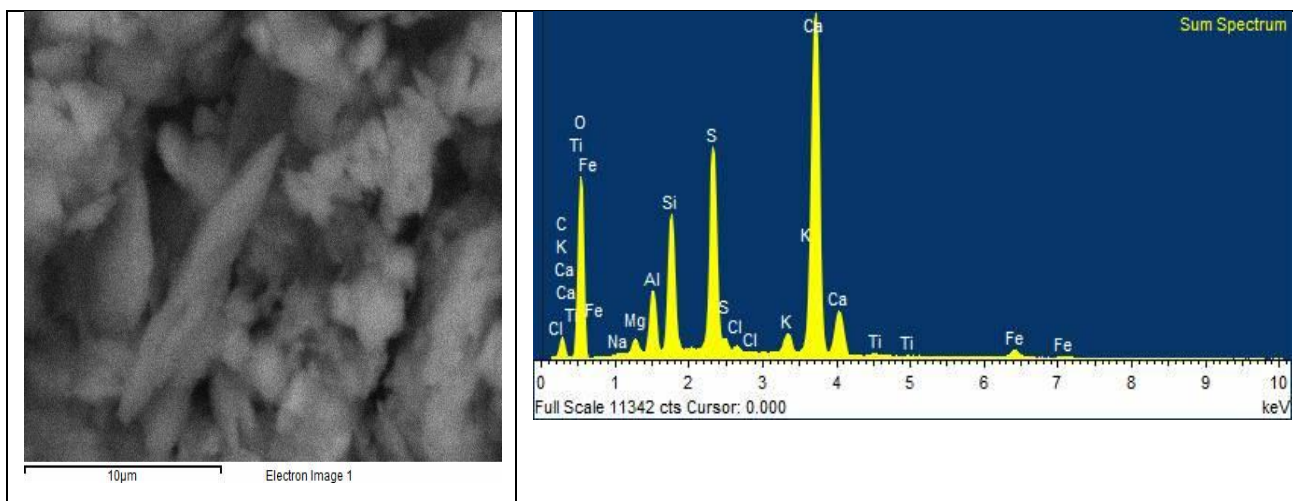
Εικ.5.38 : Μικρογραφία από την μελέτη του δείγματος Β με SEM- EDX, με τη στοιχειακή ανάλυση, Νικοδήμου Π., 2022.

Παρατηρήσεις:

Από την μελέτη του δείγματος εντοπίζονται τα εξής στοιχεία: ασβέστιο (Ca), θείο (S), οξυγόνο (O), σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία προκύπτει θειικό ασβέστιο (CaSO₄). Επίσης παρατηρείται μικρό ποσοστό πυριτίου (Si) και αργιλίου (Al).

Δείγμα Γ:

Το δείγμα, Γ πάρθηκε από το κεντρικό αριστερό μέρος πλησίον του βράχου όπου φαίνεται στις εικόνες 5.35 και 5.36.



Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corn.		Sigma	
C K	3.43	0.3389	4.63	0.55	7.58
O K	71.68	0.5596	58.60	0.38	72.01
Na K	0.27	0.6843	0.18	0.03	0.16
Mg K	0.46	0.6666	0.32	0.02	0.25
Al K	1.25	0.7845	0.73	0.02	0.53
Si K	3.55	0.8784	1.85	0.03	1.29
S K	29.02	0.9581	13.86	0.11	8.50
Cl K	0.69	0.7513	0.42	0.02	0.23
K K	0.46	1.0429	0.20	0.02	0.10
Ca K	39.52	0.9714	18.61	0.14	9.13
Fe K	1.06	0.8066	0.60	0.04	0.21
Totals			100.00		

Εικ.5.39 : Μικρογραφία από την μελέτη του δείγματος Γ με SEM- EDX, με τη στοιχειακή ανάλυση, Νικοδήμου Π.,2022.

Παρατηρήσεις:

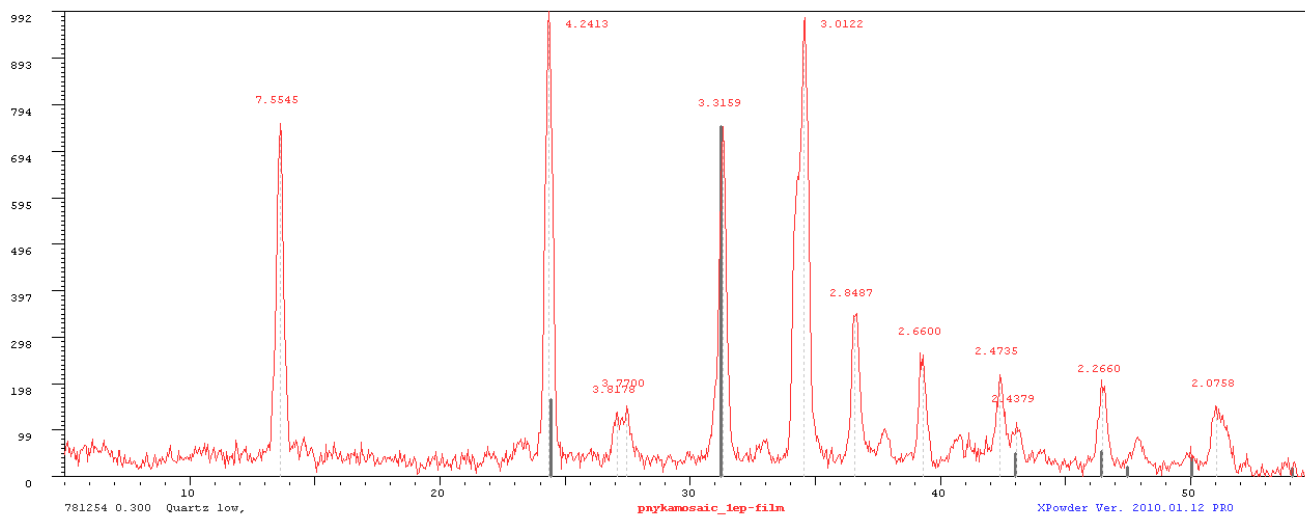
Από την μελέτη του δείγματος εντοπίζονται τα εξής στοιχεία: ασβέστιο (Ca), θείο (S), οξυγόνο (O), σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία προκύπτει θεικό ασβέστιο (CaSO_4). Επίσης παρατηρείται μικρό ποσοστό πυριτίου (Si) και αργιλίου (Al).

Συμπεράσματα:

Σύμφωνα με τις στοιχειακές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν συμπεραίνετε ότι τα δείγματα είναι θεικά άλατα, λόγω του αυξημένου ποσοστού θείου (S), το οποίο αντιδρά με την σύσταση του κονιάματος και του περιβάλλοντος (υγρασία-θερμοκρασία) δημιουργώντας το θεικό ασβέστιο (CaSO_4). Επίσης παρατηρήθηκε μικρό ποσοστό πυριτίου (Si) και αργιλίου (Al), όπου μαζί με ασβέστιο (Ca) δημιουργούνται ασβεστο-αργιλοπυριτικές ενώσεις (CASH), (Φτίκου Α., 2016, σελ.152).

5.11. Αναλύσεις δειγμάτων αδιάλυτων αλάτων στην ψηφιδωτή επιφάνεια του δαπέδου, μέσω της φυσικοχημικής μεθόδου περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD)

Δείγμα A:

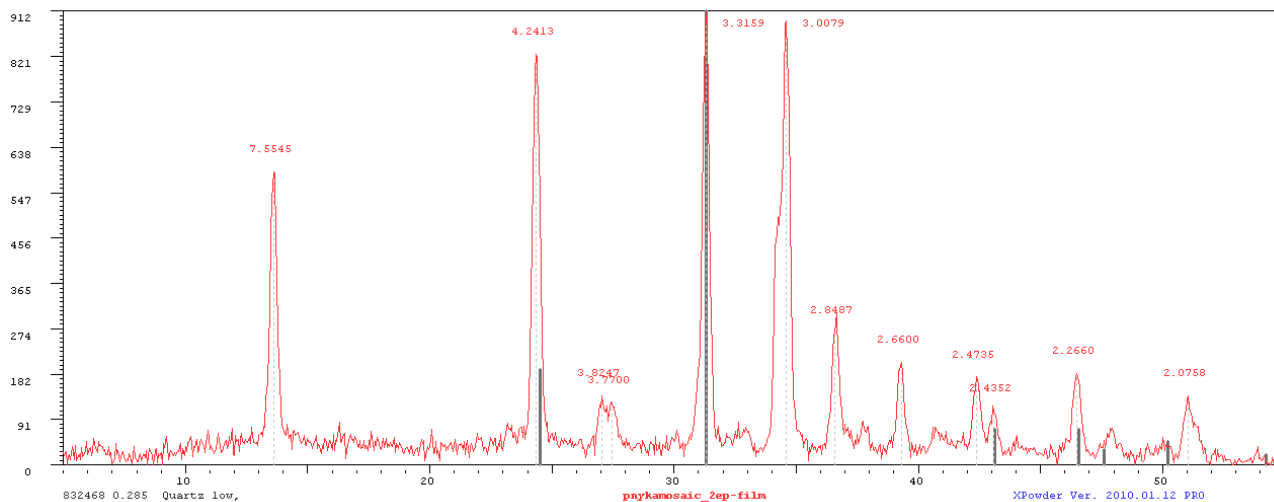


Εικόνα 40: Ανάλυση δείγματος A, μέσω της φυσικοχημικής μεθόδου περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD).

Παρατηρήσεις:

Στο δείγμα ταυτοποιείται χαλαζίας (Quartz, SiO₂), κρούστα ασβεστιτικής σύστασης (calcite, CaCO₃) και γύψος (gypsum, CaSO₄·2H₂O).

Δείγμα B:

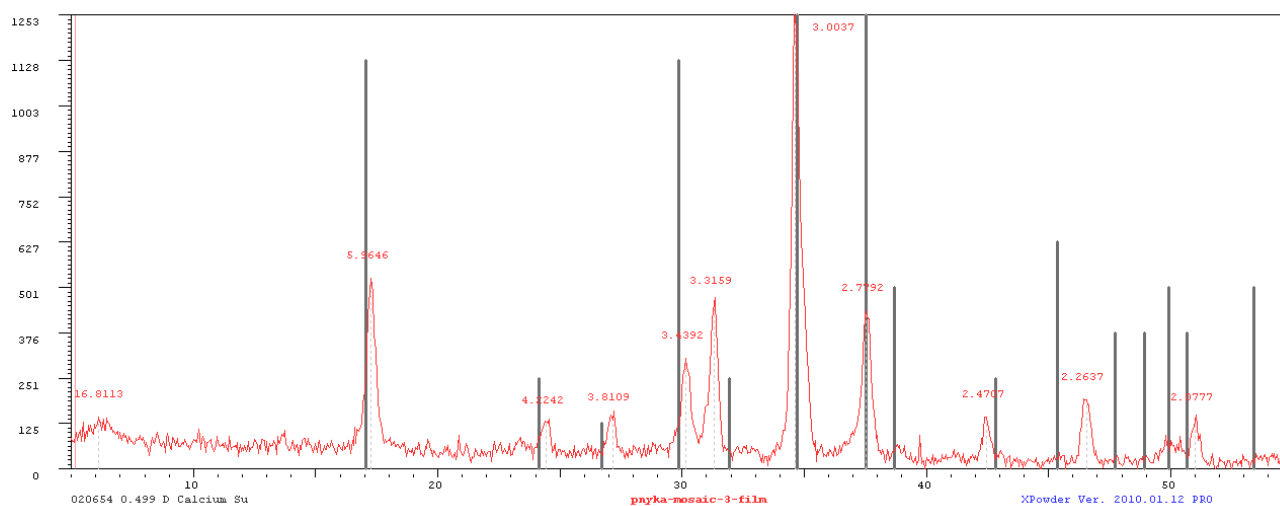


Εικόνα 41: Ανάλυση δείγματος B, μέσω της φυσικοχημικής μεθόδου περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD).

Παρατηρήσεις:

Στο δείγμα ταυτοποιείται χαλαζίας (Quartz, SiO₂), κρούστα ασβεστιτικής σύστασης (calcite, CaCO₃) και γύψος (gypsum, CaSO₄·2H₂O).

Δείγμα Γ:



Εικόνα 42: Ανάλυση δείγματος Γ, μέσω της φυσικοχημικής μεθόδου περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD).

Παρατηρήσεις:

Στο δείγμα ταυτοποιείται χαλαζιάς (Quartz, SiO), κρούστα ασβεστικής σύστασης (calcite, CaCO₃) και γύψος (gypsum, CaSO₄·2H₂O).

Κεφάλαιο 6. Σχεδιασμός δοκιμών καθαρισμού της επιφάνειας στο ψηφιδωτό

Κατά την διάρκεια της μελέτης του ψηφιδωτού δαπέδου πραγματοποιήθηκε επιφανειακός καθαρισμός από τις γεώδεις επικαθίσεις και από φερτά υλικά με μηχανικά μέσα, βουρτσάκι και νυστέρι. Έπειτα ακολούθησε υγρός καθαρισμός με νερό, βουρτσάκι και με σφουγγάρι όπου παρατηρήθηκαν έντονες βιολογικές επικαθίσεις στο πάνω δεξιό μέρος του ψηφιδωτού πλησίον του βράχου. Οι βιολογικές επικαθίσεις έγιναν αντιληπτές κατά τα τέλη της χειμερινής περιόδου και λόγω της απότομης κλιματικής αλλαγής, περίοδος ξήρανσης, παρατηρήθηκε η υποχώρηση τους. Για την αντιμετώπιση τους πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού σε ομοιόμορφη επιφάνεια με ήπια χημικά μέσα και με καθαρισμό με ατμοκαθαριστή στην περιοχή που σημειώνεται στην Εικόνα 6.2. Τα μεγέθη το δοκιμίων είναι 10 x 10 cm εκτός του καθαρισμού με ατμοκαθαριστή που είναι 15 x 15 cm.



Εικ.6.1: Οι βιολογικές επικαθίσεις κατά την περίοδο ύγρυνσης, Νικοδήμου Π.,2021.



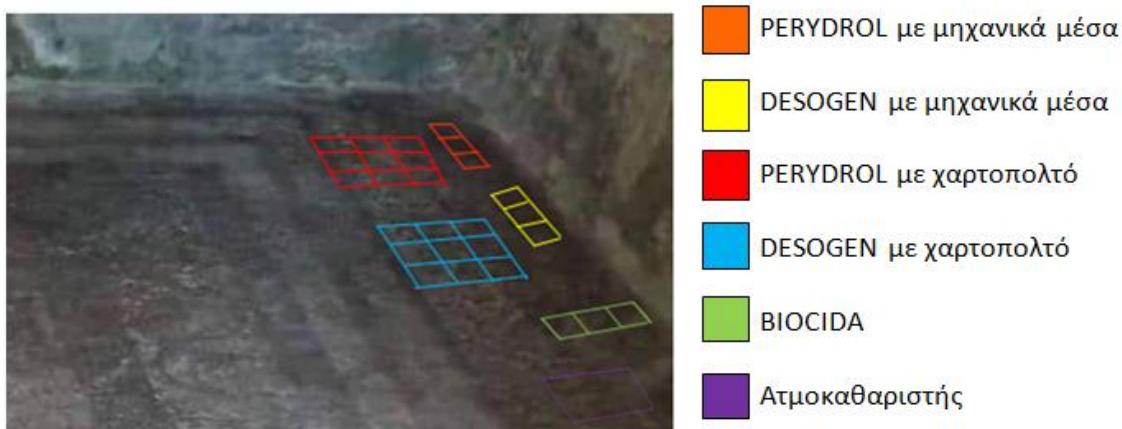
Εικ.6.2: Με κόκκινο περίγραμμα είναι η περιοχή που πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές καθαρισμού, Νικοδήμου Π.,2022.

Ήπια χημικά μέσα που εφαρμόστηκαν:

1. Υπεροξείδιο του Υδρογόνου (H₂O₂)
2. DESOGEN
3. BIOCIDA

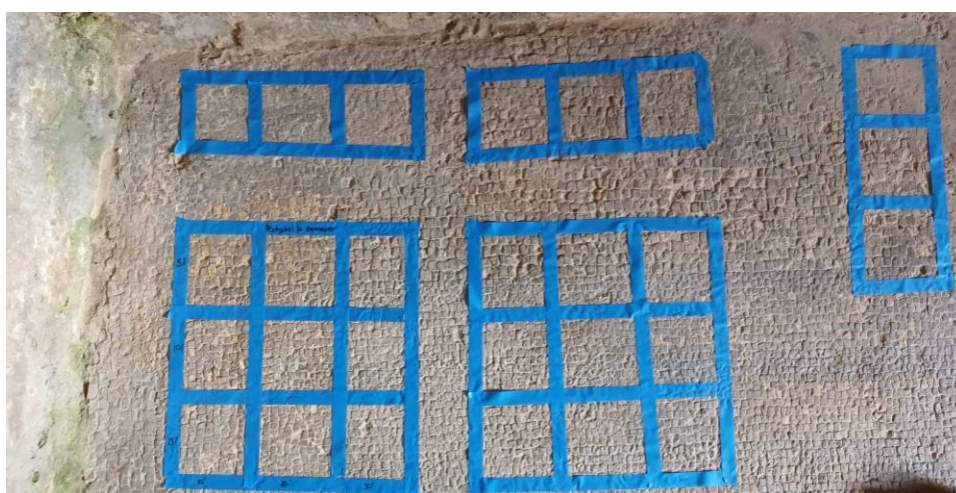
Καθαρισμός που εφαρμόστηκε:

1. Ατμοκαθαριστής



Εικ.6.3: Η περιοχή των δοκιμών καθαρισμού σε ομοιόμορφη επιφάνεια, Νικοδήμου Π.,2022.

Για την δημιουργία και την οριοθέτηση των δοκιμών καθαρισμού χρησιμοποιήθηκε χαρτοταινία για ευαίσθητες επιφάνειες 3M scotch blue 2090.








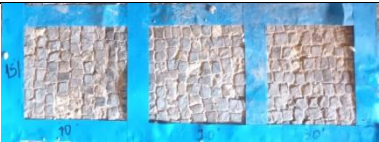
Εικ.6.4: Δημιουργία και οριοθέτηση των δοκιμών καθαρισμού, Νικοδήμου Π.,2022.

6.1. Δοκιμές καθαρισμού με ήπια χημικά μέσα

1. Υπεροξειδίου του Υδρογόνου (H₂O₂) με χαρτοπολτό:

Είναι ένα διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου, το οποίο είναι ένα αντιμικροβιακό υλικό με όξινο pH (Abdollahi and Hosseimi, 2014, p.967). Ο αντιμικροβιακός παράγοντας του υπεροξειδίου του υδρογόνου, βοηθά στην νέκρωση των μικροοργανισμών. Έχει εφαρμοστεί σε χαρτοπολτό με την χρήση σπάτουλας. Πριν την εφαρμογή της μεθόδου τοποθετήθηκε το filter paper έτσι ώστε να μην αφήσει υπολείμματα ανάμεσα στους αρμούς και στις ψηφίδες. Οι συγκεντρώσεις και οι χρόνοι αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.1. Συγκεντρώσεις και χρόνοι εφαρμογής του Υπεροξειδίου του Υδρογόνου (H₂O₂) με χαρτοπολτό

Συγκεντρώσεις	Χρόνος	Χρόνος	Χρόνος	Εφαρμογή Υπεροξειδίου του Υδρογόνου (H ₂ O ₂) με χαρτοπολτό	Αποτελέσματα
5%	10 λεπτά	20 λεπτά	30 λεπτά		
10%	10 λεπτά	20 λεπτά	30 λεπτά		
15%	10 λεπτά	20 λεπτά	30 λεπτά		

Πίνακας 6.1. Συγκεντρώσεις και χρόνοι εφαρμογής του Υπεροξειδίου του Υδρογόνου (H₂O₂) με χαρτοπολτό, Νικοδήμου Π., 2022.




Παρατηρήσεις:

1. Η εφαρμογή του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H₂O₂) με χαρτοπολτό σε συγκεντρώσεις 5% και 10% δεν έφεραν αποτελέσματα.
2. Η εφαρμογή του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H₂O₂) με χαρτοπολτό σε συγκέντρωση 15% και σε χρόνο 30 λεπτά έφερε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

2. Desogen με χαρτοπολτό:

Το Desogen είναι βασισμένο σε άλατα του τεταρτοταγούς αμμωνίου. Χρησιμοποιείται σαν βιοκτόνο σε υδατικά διαλύματα με άλλα αντιδραστήρια και αδρανή υλικά. Εκτός από το βιοκτόνο, η δράση του είναι και τασιενεργό βοηθώντας τη δράση των διαλυμάτων στα οποία προστίθεται. Το διάλυμα αυτό χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση βιολογικών ρύπων και επικαθίσεων. Έχει εφαρμοστεί σε χαρτοπολτό και έχει τοποθετηθεί με σπάτουλα πάνω στην επιφάνεια. Τα υπολείμματα του επιθέματος αφαιρέθηκαν μηχανικώς. Οι συγκεντρώσεις και οι χρόνοι αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.2. Συγκεντρώσεις και χρόνοι εφαρμογής του Desogen με χαρτοπολτό

Συγκεντρώσεις	Χρόνος	Χρόνος	Χρόνος	Εφαρμογή Desogen με χαρτοπολτό	Αποτελέσματα
5%	10 λεπτά	20 λεπτά	30 λεπτά		
10%	10 λεπτά	20 λεπτά	30 λεπτά		

Πίνακας 6.2. Συγκεντρώσεις και χρόνοι εφαρμογής του Desogen με χαρτοπολτό, Νικοδήμου Π.,2022

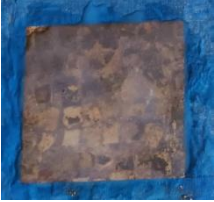



Παρατηρήσεις:

1. Η εφαρμογή του Desogen με χαρτοπολτό σε συγκεντρώσεις 5% δεν έφερε εμφανή αποτελέσματα.
2. Η εφαρμογή του Desogen με χαρτοπολτό σε συγκέντρωση 10% και σε χρόνο 30 λεπτά έφερε καλά αποτελέσματα αλλά όχι ικανοποιητικά.

3. Biocida:

Είναι μια πάστα (ιξώδες 6,8–7,2) με βάση το POLITECT BASE σε συνδυασμό με χλωριούχο βενζαλκόνιο που περιέχει άλας τεταρτοταγούς αμμωνίου (5%) που εξασφαλίζει τη μηχανική και χημική απομάκρυνση της οργανικής στρώσης (βρύα, βακτήρια και μύκητες. Είναι έτοιμο για χρήση με την βοήθεια του πινέλου και σκοπός του είναι να εξουδετερώσει τις επιφάνειες βιολογικής προέλευσης όπως βακτήρια και μύκητες. Μετά το στέγνωμα, το προϊόν αφαιρείται εύκολα ως συνεχής μεμβράνη, δεν αφήνει υπολείμματα, αποφεύγει τις διηθήσεις στο έδαφος και εγγυάται την ομοιόμορφη αφαίρεση των βιολογικών πατίνων, αποφεύγοντας τη διασπορά τυχόν μη εξασθενημένων σπορίων. Οι χρόνοι εφαρμογής αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.3. Χρόνοι εφαρμογής του Biocida

Χρόνος	Εφαρμογή Biocida:	Αποτελέσματα
24 ώρες		
48 ώρες		

Πίνακας 6.3. Χρόνοι εφαρμογής του Biocida, Νικοδήμου Π., 2022.






Παρατηρήσεις:

1. Η εφαρμογή του Biocida σε χρόνο 24 ώρες δεν έφερε ικανοποιητικά αποτελέσματα.
2. Η εφαρμογή του Biocida σε χρόνο 48 ώρες έφερε ικανοποιητικά αποτελέσματα.
3. Παρατηρήθηκε ότι λόγω της υγρασία που υπάρχει στον χώρο διατηρείται η ρευστότητα του υλικού με αποτέλεσμα να μην αφαιρείτε εύκολα. Δεν κρίνεται κατάλληλη η εφαρμογή του Biocida στο εν λόγω ψηφιδωτό δάπεδο λόγω κλιματικών και περιβαλλοντικών συνθηκών.

4. Υπεροξειδίο του Υδρογόνου (H₂O₂) και Desogen με μηχανικά μέσα:

Επιπλέον πραγματοποιήθηκε χημικός καθαρισμός με μηχανική υποβοήθηση. Δηλαδή, βούρτσες διαφορετικού μεγέθους και σκληρότητας για την αφαίρεση των μικροοργανισμών. Οι συγκεντρώσεις και αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.4. Συγκεντρώσεις εφαρμογής του Perydrol και του Desogen

Perydrol	Αποτελέσματα	Desogen	Αποτελέσματα
5%		5%	
10%		10%	
15%			

Πίνακας 6.4. Συγκεντρώσεις εφαρμογής του Perydrol και του Desogen, Νικοδήμου Π.,2022

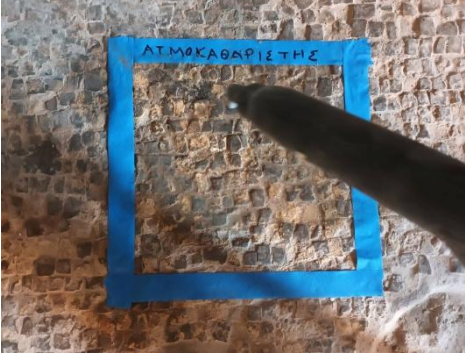

Παρατηρήσεις:

1. Η εφαρμογή του Perydrol και του Desogen με μηχανικά μέσα σε συγκέντρωση 5% δεν φέρει αποτελέσματα.
2. Η εφαρμογή του Perydrol με μηχανικά μέσα σε συγκέντρωση 10% δεν φέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα.
3. Η εφαρμογή του Desogen με μηχανικά μέσα σε συγκέντρωση 10% δεν φέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα όπως και το Perydrol σε συγκέντρωση 15% .

5. Καθαρισμός με ατμοκαθαριστή:

Ο ατμοκαθαριστής είναι συσκευή παραγωγής ατμού υπό πίεση, κατάλληλη για εφαρμογές καθαρισμού δομικών υλικών από βιολογικές επικαθίσεις.

Πίνακας 6.5. Εφαρμογή καθαρισμού με ατμοκαθαριστή

Εφαρμογή καθαρισμού με ατμοκαθαριστή	Αποτελέσματα
	

Πίνακας 6.5. Εφαρμογή καθαρισμού με ατμοκαθαριστή, Νικοδήμου Π.,2022.

Παρατηρήσεις:

1. Η εφαρμογή του καθαρισμού με ατμοκαθαριστή έφερε σύντομα και αρκετά καλά αποτελέσματα, επομένως η χρήση ατμοκαθαριστή θεωρείται μια εργονομική λύση για τον καθαρισμό του ψηφιδωτού δαπέδου.

Συμπέρασμα:

Βάση με τα πιο πάνω αποτελέσματα παρατηρήθηκε συγκριτικά ότι οι κατάλληλες μέθοδοι για τον καθαρισμό της ψηφιδωτής επιφάνειας από τις βιολογικές επικαθίσεις είναι οι εξής:

1. Υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) με χαρτοπολτό σε συγκέντρωση 15% και σε χρόνο 30 λεπτών.
2. Καθαρισμός με ατμοκαθαριστή.

Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα και προτάσεις συντήρησης

7.1. Συμπεράσματα:

Το ψηφιδωτό δάπεδο της Κρήνης Καλλιρρόης στη Πνύκα, σύμφωνα με τα κεφάλαια 2.2 και 2.3 ανήκει στον τύπο *opus tessellatum*, που αποτελείται από τακτικά μικρά τετράπλευρα στοιχεία (*tesserae*), τα οποία αποτελούνται από μάρμαρο. Με το σύστημα Munsell προσδιορίστηκε το χρώμα με τον Άτλαντα διακοσμητικών πετρωμάτων και δομικών λίθων της Ελλάδας, ταυτοποιήθηκαν τα εξής πετρώματα: Σκύρου Ημίλευκο, Καρύστου σχιστόπλακες γκρι, Έδεσσας μαύρο, Ριτσώνας κόκκινο, Καπανδριτίου τραβερτίνης και Τήνου πράσινο. Σύμφωνα με το κεφάλαιο 3, η στρωματογραφία του ψηφιδωτού δαπέδου-αποτελείται από: α) ψηφιδωτή επιφάνεια, β) δύο επάλληλες στρώσεις κονιάματος πάνω σε υπόστρωμα κεραμικών πλάκων, και γ) στρώμα μεγάλων λίθων. Βάση με την μελέτη «Κριτήρια επιλογής υλικών και τεχνικών για την αποκατάσταση του υποστρώματος ιστορικών ψηφιδωτών» της Φτίκου Α., που αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.3, διερευνήθηκε η μικροδομή των υλικών του ψηφιδωτού δαπέδου με τις εξής μεθόδους: SASW-Impact Echo, DM, SEM-EDX, XRD, TG-DTG. Τα συμπεράσματα των παραπάνω μεθόδων είναι τα εξής:

- Μέθοδο των Μικροσεισμικών Κυμάτων και της Ηχούς από Κρούση (SASW, Impact Echo): Η στρωματογραφία του ψηφιδωτού δαπέδου συνίσταται από δύο επάλληλα στρώματα με εντελώς διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες, πάχους 5cm το καθένα. Το πρώτο αφορά στο κονίαμα του ψηφιδωτού και το δεύτερο σχετίζεται με τις κεραμικές πλάκες της υποδομής. Βάση με την μέθοδο, εντοπίστηκαν αποσαθρωμένες περιοχές και δομικές ανωμαλίες κατά μήκος του βράχου, απέναντι από τη είσοδο. Ανιχνεύθηκαν ασυνέχειες κοντά στο όριο της επιφάνειας, που είναι ενδεικτικό της ύπαρξης εσωτερικών ρωγμών.
- Φορητό Ψηφιακό Μικροσκόπιο (DM): Στο δείγμα πλησίον της εισόδου παρατηρήθηκαν αδρανή υλικά που παρουσιάζουν γκρι και υπόλευκο χρώμα, με το μήκος των κόκκων τους να κυμαίνεται μέχρι τα 2,14 mm. Από τη διάμετρο των κόκκων των αδρανών εκτιμάται ότι τα δείγματα αντιστοιχούν στο στρώμα (*nucleus*) του ψηφιδωτού δαπέδου. Επίσης, και στα δύο δείγματα παρατηρείται λεπτόκοκκη διασπορά άφθονου κεραμικού υλικού ομοιόμορφα κατανεμημένου στην ασβεστιτική μήτρα, που παρέχει σοβαρές ενδείξεις για κονιάματα άσβεστου-ποζολάνης.
- Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης με μικροανάλυση ακτίνων-Χ (SEM- EDS): παρατηρήθηκε ότι η μικροδομή και στα δύο δοκίμια του κονιάματος συνίστανται από αρκετούς κρυστάλλους ασβεσίτη, οι οποίοι είναι διασκορπισμένοι μέσα σε ένυδρες ασβεστο-αργιλοπυριτικές ενώσεις (CASH). Επίσης παρατηρούνται βελονοειδείς κρύσταλλοι τομασίτη (T) και μονοχλωριούχου άλατος των ένυδρων ασβεσταργλικών ενώσεων (M) του τύπου: $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}\cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Υπάρχει έντονη διάβρωση του κονιάματος στην περιοχή του ψηφιδωτού (πλησίον του βράχου), κυρίως από χλωριόντα (Cl^-), που εκδηλώνεται με τη συσσώρευση κρυστάλλων χλωριούχου νατρίου (NaCl) πάνω στα προϊόντα ενυδάτωσης, αλλά και την παρουσία των στοιχείων S και P. Η συνδετική κονία που χρησιμοποιήθηκε για

το κονίαμα χαρακτηρίζεται ως οριακά υδραυλική, όπως προκύπτει από τις τιμές των δεικτών υδραυλικότητας, που υπολογίστηκαν και για τις δύο περιπτώσεις των δοκιμών.

- Περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (XRD): Βάση την εξέταση που πραγματοποιήθηκε στα δείγματα παρατηρείται ότι στο δείγμα πλησίον του βράχου, επικρατούν ως κύρια συστατικά ο ασβεστίτης και ο χαλαζίας, ενώ έντονη είναι η παρουσία τομασίτη, και χλωριούχου νατρίου (NaCl). Η παρουσία του NaCl μαρτυρά την έντονη προσβολή του κονιάματος από χλωριόντα (Cl⁻). Ενώ στο δείγμα πλησίον της εισόδου παρατηρείται κυρίως ασβεστίτης (CaCO₃), χαλαζίας (α-SiO₂) και τομασίτη (CAH). Η παρουσία του τομασίτη αποτελεί ένδειξη ότι έχει λάβει χώρα αντίδραση αργιλοπυριτικών ενώσεων με την υδράβεστο, δηλαδή, δηλώνουν προϊόντα ποζολανικής δράσης.
- Θερμοβαρυμετρική ανάλυση (TG-DTG): Στα δείγματα παρατηρείται η παρουσία ένυδρων ασβεστο-αργιλοπυριτικών ενώσεων (CASH) και ένυδρων αλάτων των ασβεσταργλικών ενώσεων με Cl⁻, CO₃²⁻ και SO₄²⁻. Η τιμή του λόγου υδραυλικότητας που υπολογίστηκε για τα δύο δείγματα κονιαμάτων (πλησίον του βράχου=4,14 και πλησίον της εισόδου=5,26) δείχνει ότι πρόκειται για υδραυλικά κονιάματα που περιέχουν υδράβεστο με φυσική ποζολάνη. Από το ποσοστό της ισοδύναμης υδράβεστου που υπολογίστηκε εκτιμάται ότι η αναλογία υδράβεστου /ποζολανικά υλικά είναι 1/1,5 για το δείγμα πλησίον του βράχου και 1/2,5 για το δείγμα πλησίον της εισόδου.

Βάση με το κεφάλαιο 5.1 και 5.2 έγινε η συνολική αποτύπωση της επιφάνειας του ψηφιδωτού, δημιουργία χαρτών, μέσω της μεθόδου της φωτογραμμετρίας και της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης, για την λεπτομερή τεκμηρίωση του ψηφιδωτού δαπέδου μέσω των προγραμμάτων Agisoft Metashape, Reality Capture και Meshlab, σε κλίμακα 1:1. Το ψηφιδωτό δάπεδο σύμφωνα με το κεφάλαιο 5.5 φέρει σε αρκετά σημεία της ψηφιδωτής επιφάνειας του, απώλειες οι οποίες στην περίμετρο τους φέρουν στεφάνωμα. Σε δύο από αυτές πιθανών προηγήθηκε τεμαχισμός, όπου φαίνονται τα κατώτερα στρώματα της υποδομής του. Επίσης περισσότερες απώλειες μικρότερου μεγέθους όπου παρατηρούνται προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, συμπλήρωση κονιαμάτων. Επίσης παρατηρήθηκαν γεώδης επικαθίσεις και φερτά υλικά σε μεγάλο μέρος της επιφάνειας του δαπέδου. Συγκεκριμένα πλησίον της εισόδου, όπου παρατηρείται παχύρρευστο στρώμα λάσπης λόγω των καιρικών φαινομένων (μεταφορά σκόνης μέσω αέρα και την εισροή όμβριων υδάτων). Λόγω της υγρασίας που επικρατεί στον υπόσκαφο χώρο και της εισροής όμβριων υδάτων από την είσοδο του θαλάμου Υ παρατηρείται σε αρκετά σημεία της επιφάνειας, έντονη δημιουργία και δράση διαλυτών/αδιάλυτων αλάτων και βιολογικών επικαθίσεων, κυρίως πλησίον του βράχου κατά την χειμερινή περίοδο. Η κατάσταση διατήρησης του ψηφιδωτού δαπέδου εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα που καταγράφηκαν στο περιβάλλοντα χώρο, μέσω καταγραφέα δεδομένων κλίματος, στο κεφάλαιο 5.6, για την καταγραφή σχετικής υγρασίας/θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε βάθος χρόνου (πίνακες 5.1, 5.2 και διαγράμματα 5.1, 5.2) παρατηρήθηκαν τα εξής:

1. Υψηλή υγρασία αέρα κατά την χειμερινή περίοδο Φεβρουάριου, 96,1% RH.
2. Μείωση υγρασίας αέρα κατά την εαρινή περίοδο Μαΐου, 44,8% RH.

3. Υψηλή θερμοκρασία αέρα κατά την εαρινή περίοδο Μαΐου, 28,5 °C.

4. Μείωση θερμοκρασίας αέρα κατά την χειμερινή περίοδο Μαρτίου, 6,5°C.

Επίσης στο κεφάλαιο 5.7 δημιουργήθηκαν χάρτες υγρασίας σε βάθος, κατά την χειμερινή και εαρινή περίοδο, μέσω συσκευής μικροκυμάτων. Κατά την χειμερινή περίοδο παρατηρούνται υψηλές τιμές υγρασίας στην υποδομή του ψηφιδωτού δαπέδου, κυρίως πλησίον του βράχου και ιδιαίτερα στο άνω κεντρικό μέρος του όπου παρατηρείται η μέγιστη περιεχόμενη υγρασία 82%. Κατά την εαρινή περίοδο παρατηρήθηκε μείωση της περιεχόμενης υγρασίας στην υποδομή του ψηφιδωτού με την μέγιστη τιμή 55%, με αποτέλεσμα την δημιουργία κύκλων ύγρανσης – ξήρανσης που προκαλούν διαστολή-συστολή και η ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων που μπορεί να οδηγήσει σε φθορές όπως ρηγματώσεις, αποκολλήσεις και υποχωρήσεις τμημάτων της ψηφιδωτής επιφάνειας. Σύμφωνα με το κεφάλαιο 5.8 παρατηρείται έντονη συγκέντρωση αδιάλυτων αλάτων στο πάνω δεξιό, κεντρικό και αριστερό μέρος του ψηφιδωτού πλησίον του βράχου, όπως επίσης παρατηρείται έντονη συγκέντρωση διαλυτών αλάτων προς το κεντρικό μέρος του ψηφιδωτού πλησίον της εισόδου. Στα κεφάλαια 5.9, 5.10, 5.11 πραγματοποιήθηκαν σε τρία δείγματα αδιάλυτων αλάτων οι μέθοδοι: φορητό ψηφιακό μικροσκόπιο (DM), ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης μικροαναλυτή (SEM-EDS), φυσικοχημική μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD). Συμπεραίνετε ότι τα δείγματα είναι θειικά άλατα, λόγω του αυξημένου ποσοστού θείου (S), το οποίο αντιδρά με την σύσταση του κονιάματος και του περιβάλλοντος (υγρασία-θερμοκρασία) δημιουργώντας το θειικό ασβέστιο (CaSO_4). Επίσης παρατηρήθηκε μικρό ποσοστό πυριτίου (Si) και αργιλίου (Al), όπου μαζί με ασβέστιο (Ca) δημιουργούνται ασβεστο-αργιλοπυριτικές ενώσεις (CASH). Επίσης προκύπτει η ορυκτολογική σύσταση του ασβεστίτη, χαλαζία και της γύψου. Η κατάσταση του ψηφιδωτού δαπέδου είναι καλή αλλά εάν δεν λυθεί το πρόβλημα της ανερχόμενης εισερχόμενης και κατερχόμενης υγρασίας στον χώρο τότε οι επιπτώσεις θα έχουν άμεσο αντίκτυπο στην αισθητική αλλοίωση του μνημείου, αλλά και στην επιτάχυνση της καταστροφής του. Για την μείωση και σταθεροποίηση των μηχανισμών φθοράς πρέπει να πραγματοποιηθεί περιοδικός έλεγχος, ο οποίος θα εξετάζει την κατάσταση διατήρησης και τις προηγούμενες επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν στο ψηφιδωτό δάπεδο, ακολουθούμενη από προγραμματισμένες επεμβάσεις για την προστασία του. Στο κεφάλαιο 6, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού στην επιφάνεια του ψηφιδωτού δαπέδου, με σκοπό τον καθαρισμό από τις βιολογικές επικαθίσεις, σε ομοιόμορφη επιφάνεια με ήπια χημικά μέσα και με καθαρισμό με ατμοκαθαριστή στην περιοχή που σημειώνεται στις εικόνες 6.2, 6.3. Βάση με τα αποτελέσματα οι κατάλληλες μέθοδοι είναι οι εξής:

1. Υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) με χαρτοπολτό σε συγκέντρωση 15% και σε χρόνο 30 λεπτών.

2. Καθαρισμός με ατμοκαθαριστή.

7.2. Προτάσεις συντήρησης

Σύμφωνα με τα πιο πάνω αποτελέσματα των μεθόδων που έχουν πραγματοποιηθεί στο εν λόγω ψηφιδωτό δάπεδο, για την προστασία του είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν οι εξής άμεσες επεμβάσεις συντήρησης:

1. Σφράγιση των σημείων εισροής του βρόχινου νερού στο άνω αριστερό τμήμα της εισόδου του μνημείου αλλά και στην οροφή του θαλάμου Υ.
2. Εργασίες κατάχωσης και επιφανειακής σφράγισης με επιτρεπτά κονιάματα για την κάλυψη των κοιλοτήτων φθοράς του ψηφιδωτού δαπέδου του θαλάμου Υ.
3. Έλεγχος για τυχόν αποκολλήσεις των ψηφίδων ή απώλειες των περιμετρικών στερεώσεων.
4. Καθαρισμός της επιφάνειας του ψηφιδωτού δαπέδου από τις γεώδεις επικαθήσεις με μηχανικά μέσα και με ατμοκαθαριστή.
5. Καθαρισμός της επιφάνειας του ψηφιδωτού δαπέδου από τις κρούστες αλάτων με μηχανικά μέσα.
6. Καθαρισμός της επιφάνειας του ψηφιδωτού δαπέδου από τις βιολογικές επικαθήσεις με υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) με χαρτοπολτό σε συγκέντρωση 15% και σε χρόνο 30 λεπτών ή με καθαρισμό ατμοκαθαριστή.

7.3. Σχεδιασμός προγράμματος περιοδικού ελέγχου

Ο σχεδιασμός προγράμματος περιοδικού ελέγχου αποσκοπεί στην μελέτη της κατάστασης διατήρησης του ψηφιδωτού δαπέδου και στις προηγούμενες επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν σε αυτό. Μόλις ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός, πρέπει να εφαρμοστούν διορθωτικά μέτρα και να ξεκινήσουν προστατευτικές παρεμβάσεις, όπου θα ξεκινά ένας νέος κύκλος συντήρησης, Paul Getty, 2013 . Για την προστασία του εν λόγω ψηφιδωτού δαπέδου στον χρόνο πρέπει να γίνεται επανέλεγχος δύο φορές ανά έτος, στην αρχή και στο τέλος της χειμερινής περιόδου που επιβαρύνεται η κατάσταση διατήρησης του μνημείου από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Επίσης σε περίπτωση που χρειαστεί να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε επέμβαση πρέπει να γίνει στις αρχές της εαρινής περιόδου μέχρι αρχές φθινοπωρινής περιόδου που δεν επικρατούν υψηλά ποσοστά υγρασίας στο εσωτερικό του χώρου.

Βιβλιογραφία

1. Αντωνιάδης, Κ. Ελευθεριάδης, Ι., Σταθάκης Κ., (2002), *Η Τέχνη και η Επικοινωνία στις γραφικές Τέχνες*, Τόμος Γ, Χρώμα, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα, σελ. 1-16).
2. Βικέλα Ε., (2010), *Wilhelm Dorpfeld: ο αρχιτέκτονας, ο αρχαιολόγος, ο φιλέλληνας, στο: Ιόνιος Λόγος*, Επιστημονική Περιοδική Έκδοση, τεύχος Β', Κέρκυρα, σελ.161.
3. Γιαννόπουλος Κ., (2003), *Εγκόλπιο σπηλαιολογίας*, Εκδόσεις ΣΠ.ΕΛ.Ε.Ο, Αθήνα, σελ. 63-64.
4. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, (Ι.Γ.Μ.Ε), (2007-2013), *Άτλαντας Ελληνικών Διακοσμητικών Πετρωμάτων & Δομικών Λίθων*, Αθήνα, σελ.7.
5. Κολέφας Γ., (1983), *Η τέχνη του ψηφιδωτού*, Ε.Ο.Μ.Μ.Ε.Χ, σελ.37.
6. Σκουλικίδης Θ., (1992), *Φθορά κα Προστασία Μαρμάρου και Δομικής Πέτρας Αρχαίων Μνημείων*, 3^η έκδοση, Αθήνα.
7. Σκουλικίδης Θ. Ν, (2000), *Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, σελ.20-22.
8. Χρυσόπουλος Δ., (2011), *Το ψηφιδωτό Ι*, περ. Αρχαιολογία, τ. 3, σελ. 76.
9. Abdollahi M., Hosseini A., (2014), "*Hydrogen Peroxide*", *Encyclopedia of Toxicology (Third Edition)*, p.967.
10. Agisoft LLC, *Agisoft Metashape User Manual Professional Edition*, (2021), Version 1.7, p.1.
11. Agnew N., Bridgland J., (2003), *Of the Past, for the Future: Integrating Archaeology and Conservation*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, p.3.
12. Alberti L., Bourguignon E., Roby T., (2014), *Technician Training for the Maintenance of In Situ Mosaics*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, p. 14 – 29.
13. Arnoldm A. and Zehnder K., (1990), *Salt weathering on monuments. Advanced workshop. Analytical Methodologies for the Investigation of damaged stones*. Pavia (Italy), p. 14-21.
14. Balen K. V., Toumbakari E. E, Blanco-Varela M. T., (2002), *Environmental deterioration of ancient and modern hydraulic mortars EDAMM*, European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Research report No 15 Project No ENV4-CT95-0096, Brussels, p. 1-30.
15. Bernard E., William G. H., (1987), *Evaluating Mortar Deterioration*, APT Bulletin Vol. 19, No. 4, Association for Preservation Technology International (APT), p. 8-10.
16. Blanco-Varela M. T., Aguilera J., Puertas F., Palomo A., Sabbioni C., Riontino C., Zappia G., Favoni O., Van Balen K., Toumbakari E. E., (1999), *Environmental Effects of SO₂ on Hydraulic Mortars*, Proceeding of the International Workshop on Historic Mortars: Characteristics and tests. Rilem Technical Committee. University of Paisley, Scotland, p.149-159.
17. Chiotis E.D., Chioti L.E., (2012), *Water supply of Athens in the antiquity*, Evolution of water supply through the Millennia (Angelakis, Mays, Koutsoyiannis, Mamassis), Chapter 16, IWA Publishing, London, p.407-442.
18. Del Monte M. and Rossi P., (1997), *Fog and Gypsum crystals on Building Materials*, Atmospheric Environment, 31, p. 1637-1646.
19. Doehne E. and Sebastian E., (2000), *How does sodium sulfate crystallize. Implication for the decay and testing of building materials*, Cem Concr Res, 30, p. 1527-1534.
20. Dörpfeld W. (1892) "*Die Ausgrabungen an der Enneakrunos.*" *MDAI(A)* 17: 439-45.
21. Fletcher C. A., Spencer T., (2009), *Flooding and Environmental Challenges for Venice and its Lagoon State of Knowledge Description*, University of Cambridge, Cambridge, p. 178- 197.
22. Forsén B., Stanton G. R. (eds.), (1996) , *The Pnyx in the History of Athens*, Proceedings of an International Colloquium organised by the Finnish Institute at Athens, 7-9 October 1994. Papers and Monographs of the Finnish Institute at Athens, vol. II , p. 117-129.

23. Gabbott P. (ed.), (2008), *Principles and applications of thermal analysis*, Blackwell publishing, UK, p. 87-118.
24. Kollman H., Strübel G. and Trost F., (1977), *Reaction mechanisms in the formation of expansion nuclei in lime-gypsum plasters by ettringite and thaumasite*, Zement-Kalk-Gips, 30, p. 224-228.
25. Lachambre S., Lagarde S., Jover C., (2017), *Photogrammetry Workflow*, Unity, p. 16-28.
26. Linder W., (2006), *Digital Photogrammetry, A Practical Course*, Department of Geography, University of Düsseldorf, Germany, p.1.
27. Menicou M., Fiori C., Macciarola M., (2003), *Examples of deterioration following preservation works on mosaics in situ*, in *Mosaics make a site: the conservation in situ of mosaics on archaeological sites: VIth conference of the International Committee for the Conservation of Mosaics*, Nicosia, Cyprus, 24-28 October 1996 Michaelides D. (ed.), International Committee for the Conservation of Mosaics, Rome, p. 225-233.
28. Moncmanova A., (2007), *Environmental Deterioration of Materials*, WIT Press, England, p.1- 21.
29. Ramlochan T., Zacarias P., Thomas M.D.A, Hooton R.D., (2003), *The effect of pozzolans and slag on the expansion of mortars cured at elevated temperature: Part I: Expansive behaviour*, Cement and Concrete Research, Volume 33, Issue 6, p. 807–814.
30. Skoog D. A., Holler F. J., Nieman T. A., (2002), *Αρχές της ενόργανης ανάλυσης*, (μετ.) Μ. Καραγιάννης, Κ. Ευσταθίου, Ν. Χανιωτάκης, Εκδόσεις Κωσταράκης, Αθήνα, σελ.325-328 .
31. Sporn K., Kankleit A., (2016), *Die Abteilung Athen des Deutschen Archäologischen Instituts und die Aktivitäten deutscher Archäologen in Griechenland 1874-1933*, Deutsche Archäologische Institut., p. 137.
32. The Getty Conservation Institute and the Israel Antiquities Authorities, (2003), *Mosaics In Situ Project – Illustrated Glossary*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, p. 5-8.
33. Wallace C., (2016), *Photogrammetry in Mediterranean Archaeology*, Masters Thesis (Eds: Deadman P.), University of Waterloo, Mater of Environmental Studies In Geography, pp.26-30.
34. Zezza F., Kouli M., Cheilakou E., (2007), *Sea salt dispersion in stream valleys and stone decay*. In Proc. the 7th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Orléans, France, p. 373-384.

Μελέτες και Αναφορές:

1. Αθανασίου Δ., 2005, *Μελέτη στην διαχείριση των υδάτινων πόρων στην Αρχαία Αθήνα*, Σχολή Οικιακής Οικονομίας & Οικολογίας, σελ. 61- 62.
2. Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, *Κατάσταση διατήρησης και επεμβάσεις συντήρησης στην Κρήνη της Πνύκας «Καλλιρόης»*, Έκθεση αναφοράς της Εφορείας Αρχαιοτήτων Πόλης Αθηνών, Αθήνα.
3. Ζαχαρέγκα Φ., 2014, *Μελέτη της βακτηριακής ποικιλότητας αρχαίων τοιχογραφιών που εμφανίζουν βιοαλλοίωση από την Κρήνη της Καλλιρόης της Πνύκας και το Ιερό του Πανός*, Σχολή Βιοχημείας & Βιοτεχνολογίας.
4. Μαρκόπουλος Χ., Τσάγαρη Α., 2021, *Πρωτόκολλα τεκμηρίωσης βάσει τρισδιάστατης ψηφιοποίησης διαφορετικών υλικών σε γλυπτά προπλάσματα του Γιάννη Παππά*, Σχολή εφαρμοσμένων τεχνών και πολιτισμού, σελ. 58.
5. Μεραχτσάκη Δ., 2013, *Μελέτη της προστασίας του μαρμάρου από τη διάβρωση με προηγούμενα σύνθετα πολυμερικά επιστρώματα*, Σχολή Θετικών Επιστημών, σελ. 14.
6. Μηλιώνης Γ., Χρυσανθόπουλος Χ., 2015, *Μελέτη κονιαμάτων – εφαρμογές, σύνθεση και αντοχή*, Σχολή τεχνολογικών Εφαρμογών, Πάτρα, σελ.6.
7. Μπαμπουρδά Δ. (2010), *Γεωμετρική τεκμηρίωση της Κρήνης της Καλλιρόης, στον αρχαιολογικό χώρο της Πνύκας*, ΕΜΠ, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων μηχανικών.
8. Μυλωνά Β., 2011, *Στοιχεία τεχνολογίας του ψηφιδωτού δαπέδου στη “Κρήνης της Πνύκας”*, ΕΦΑ Αθηνών. "Αρχαιολογική τεκμηρίωση της Κρήνης Καλλιρόης", αρχαιολόγος Τατιάνα Πούλου, 2011, αρχείο Α'ΕΠΚΑ.

9. Τσακάλη Π., 2018, *Φωτογραμμετρία και επεξεργασία ψηφιακών εικόνων*, Σχολή Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, Αθήνα, σελ.10-11
10. Τσιραμπίδης Α., 1996, *Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά*, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
11. Φτίκου Α., 2016, *Κριτήρια επιλογής υλικών και τεχνικών για την αποκατάσταση του υποστρώματος ιστορικών ψηφιδωτών*, Σχολή Χημικών Μηχανικών. Τομέας III : Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Αθήνα, σελ.146-160.

Διαδικτυακές Πηγές:

1. Βογιατζόγλου Ό., Καβούρα Α., (2007), «*Δυτικοί λόφοι Αθηνών*», Υπουργείου Πολιτισμού & Αθλητισμού, Αθήνα, πρόσβαση την 11η Αυγούστου 2022 στο http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj_id=12521
2. Γεωανάλυση Α.Ε., 2021, *3D Μοντέλα*, Μελέτες Έργων Υποδομής, πρόσβαση την 10η Σεπτεμβρίου 2022 στο: <https://geoanalysis.gr>
3. Παπαθανασίου Γ., (2022), *Ψηφιδωτά*, Ελληνικός Πολιτισμός, πρόσβαση την 12η Αυγούστου 2022 στο http://users.sch.gr/ipap/Ellinikos_Politismos/psi/psiphidota.htm

Παραρτήματα

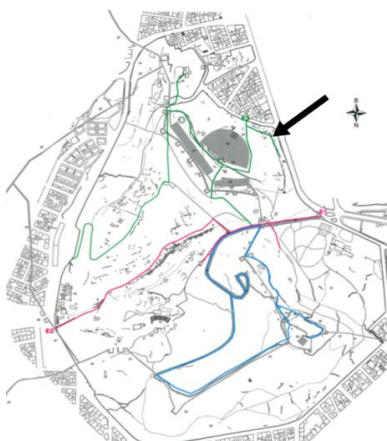
Παράρτημα Νο. 1 – ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΑΥΤΟΤΗΤΑΣ:

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ: Δεν υπάρχει



Εικ.2.5: Το ψηφιδωτό δάπεδο του θαλάμου Υ. Φωτογραφία του Μαραβέλια Γ. για το αρχείο της Α'ΕΠΚΑ, 1996.



Εικ.2.1: Ανατολική κλιτύ του λόφου της Πνύκας, ορίζεται με μαύρο βέλος. Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού – Εφορεία Αρχαιοτήτων πόλης Αθηνών, 2019.

ΝΟΜΟΣ: Αττικής

ΦΟΡΕΑΣ: Εφορεία Αρχαιοτήτων Πόλης Αθηνών

ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ: Κρήνη Καλλιρόης Πνυκός

ΚΤΗΡΙΟ: Σπήλαιο

ΔΩΜΑΤΙΟ: Θάλαμος Υ

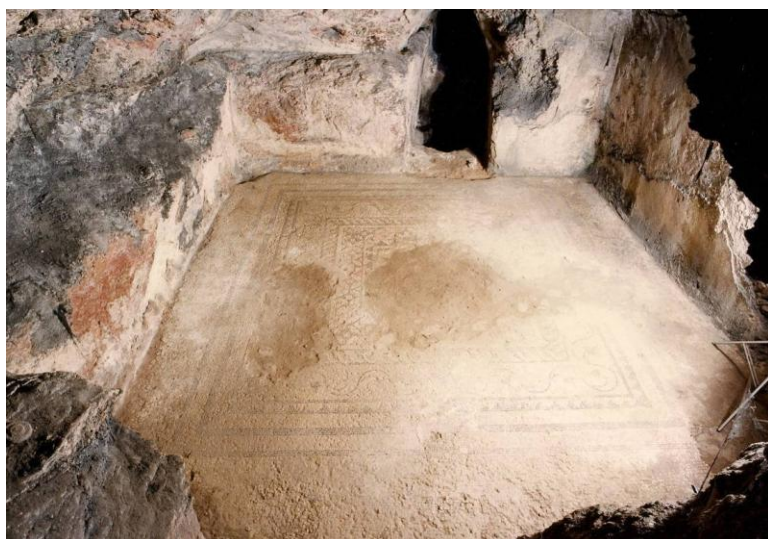
ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ: Κρήνη Καλλιρόης Πνυκός / Σπήλαιο / Θάλαμος Υ / Πρώτο επίπεδο μνημείου

ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣ Η ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΨΗΦΙΔΩΤΟ ΚΑΙ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ:

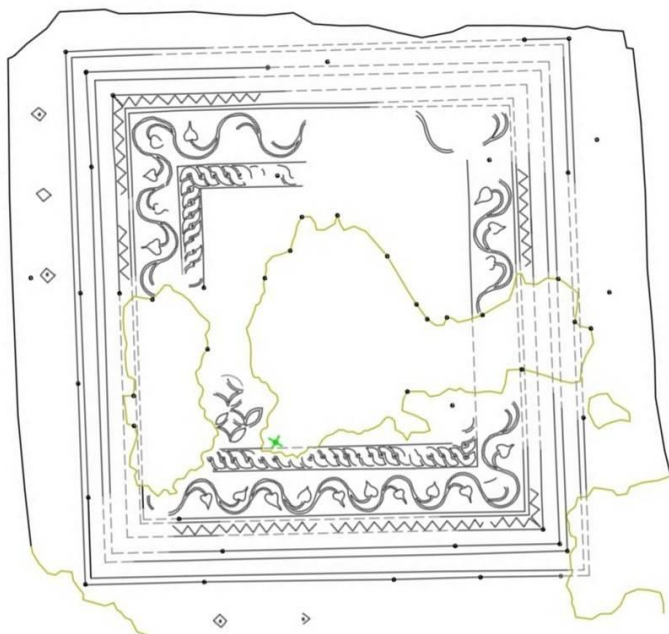
Βιβλιογραφικές αναφορές:

1. Βενάκη Μ., Κουνδουράκη Χ., 2020, Κατάσταση διατήρησης και επεμβάσεις συντήρησης στην Κρήνη της Πνύκας «Καλλιρόης», Έκθεση αναφοράς της Εφορείας Αρχαιοτήτων Πόλης Αθηνών.
2. Φτίκου Α.-Ζ., 2016, Κριτήρια επιλογής υλικών και τεχνικών για την αποκατάσταση του υποστρώματος ιστορικών ψηφιδωτών, ΕΜΠ, Σχολή Χημικών Μηχανικών.
3. Μπαμπουρδά Δ., 2010, Γεωμετρική τεκμηρίωση της Κρήνης της Καλλιρόης, στον αρχαιολογικό χώρο της Πνύκας, ΕΜΠ, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων μηχανικών.
4. Ζαχαρέγκα Φ., 2014, Μελέτη της βακτηριακής ποικιλότητας αρχαίων τοιχογραφιών που εμφανίζουν βιοαλλοίωση από την Κρήνη της Καλλιρόης της Πνύκας και το Ιερό του Πανός, Σχολή Βιοχημείας & Βιοτεχνολογίας.

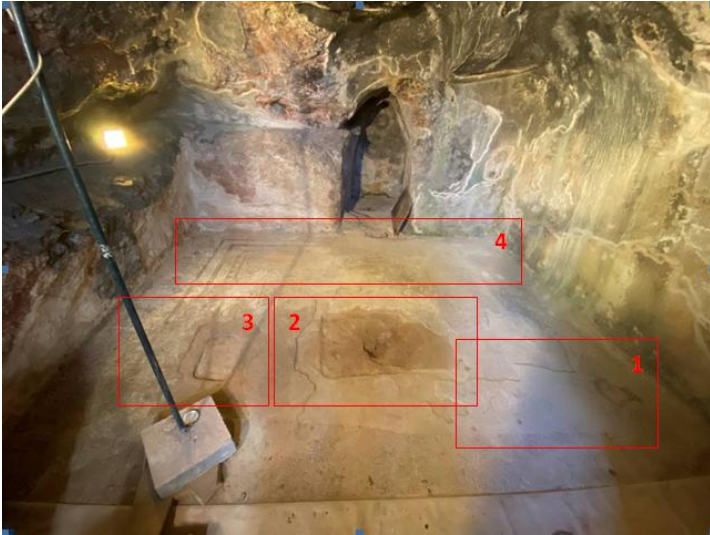
Σχέδια, φωτογραφίες & αποτυπώσεις ή άλλα αρχεία:



Το ψηφιδωτό δάπεδο και τα επιχρίσματα/τοιχογραφίες του θαλάμου Υ. Φωτογραφία του Μαραβέλια Γ. για το αρχείο της Α' ΕΠΚΑ, 1996.



Σχέδιο 1. Αποτύπωση ψηφιδωτού δαπέδου, αρχείο της Α' ΕΠΚΑ, 2004.



Η κατάσταση διατήρησης του ψηφιδωτού δαπέδου τον Φεβρουάριο του 2021, αρχείο της Α'ΕΠΚΑ .



Φωτογραφία του σημείου 1, αρχείο της Α'ΕΠΚΑ, 2021.



Φωτογραφία του σημείου 2, αρχείο της Α'ΕΠΚΑ, 2021.



Φωτογραφία του σημείου 1 και 2, αρχείο της Α'ΕΠΚΑ, 2021.



Φωτογραφία του σημείου 3, αρχείο της Α'ΕΠΚΑ, 2021.



Φωτογραφία του σημείου 2 και 4, αρχείο της Α'ΕΠΚΑ, 2021.



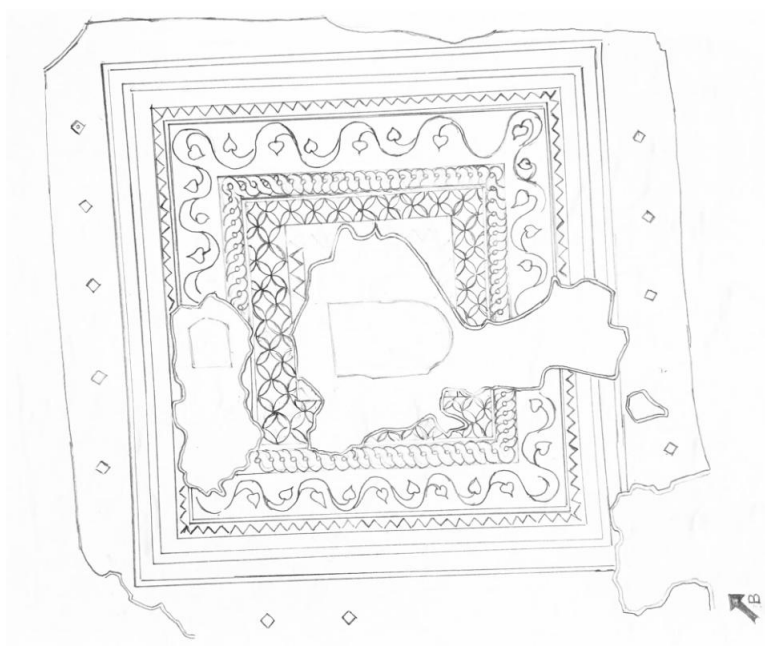
Φωτογραφία του σημείου 4, αρχείο της Α'ΕΠΚΑ, 2021.

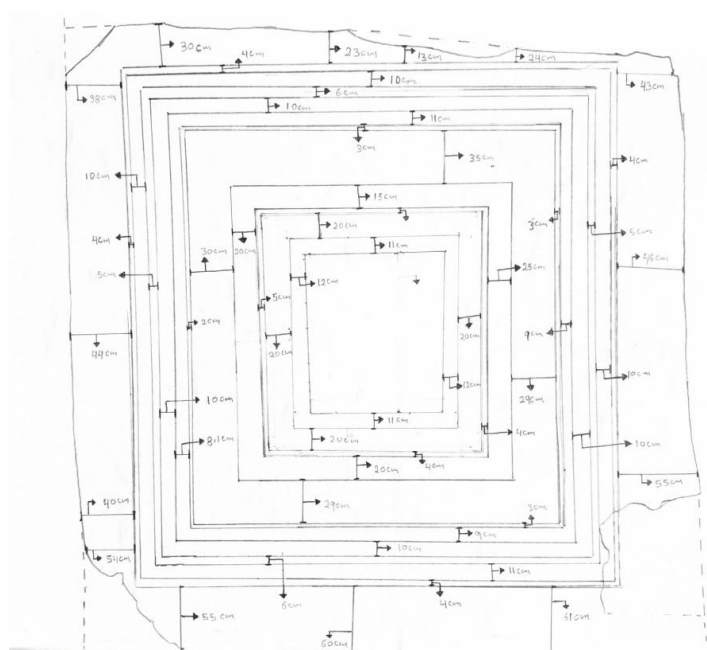
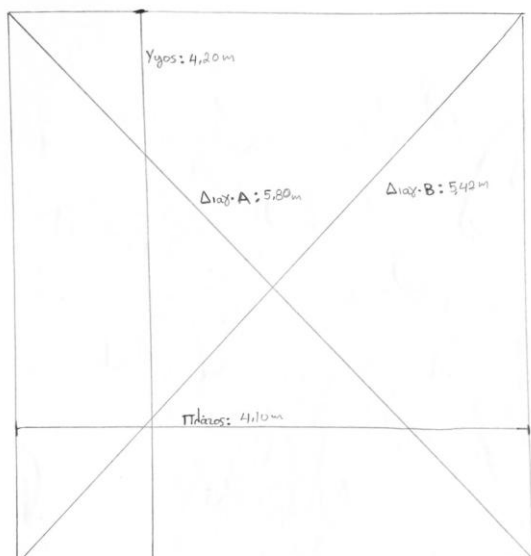
ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ: 2^{ου} αι. μ.χ

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΣΚΑΦΗΣ: 1891-1898

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΣΠΑΡΑΓΜΑΤΩΝ, ΤΟΜΩΝ ή ΕΠΙΠΕΔΩΝ

(Χρησιμοποιήστε ένα υπάρχον σχέδιο ή φτιάξτε ένα σκίτσο σημειώνοντας το Βορά και τις τοιχοποιίες του δωματίου)





Εικ.2.6,2.7,2.8: Σχεδιαστική αποτύπωση διαστάσεων ψηφιδωτού δαπέδου, Νικοδήμου Παναγιώτης,2021

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η επιφάνεια του ψηφιδωτού δαπέδου είναι 16,54 m², διακοσμητικά μοτίβα γεωμετρικών σχημάτων, περικοκλάδας και πλοχμού, όμοια με τα δάπεδα της εποχής του Αδριανού 117–138 μ.Χ.. Το ρωμαϊκό ψηφιδωτό ανήκει στον τύπο *opus tessellatum*, που αποτελείται από τακτικά μικρά τετράπλευρα στοιχεία από μάρμαρο (1x1 cm στα διακοσμητικά μοτίβα και 2x2 cm στο φόντο) τοποθετημένα δίπλα-δίπλα σε σειρές. Τα στοιχεία αυτά ονομάζονται *tesserae* και αποτελούνται από μάρμαρο. Η χρωματική γκάμα ψηφίδων οι οποίες προσδιορίστηκαν με την βοήθεια του συστήματος Munsell.

1. White N9
2. Light bluish gray 5B 7/1
3. Black N1 και Grayish black N2 → N1/N2
4. Moderate reddish brown 10R 4/6
5. Dark yellowish green 10GY 4/4 και Dusky yellowish green 10GY 3/2 → 10GY 4.3/4.2
6. Dark yellowish orange 10YR 6/6 και Grayish orange 10YR 7/4 → 10YR 6.7/6.4

Η στρωματογραφία του Ψηφιδωτού δαπέδου αποτελείται από τα εξής στρώματα:

1. Ψηφίδες.
2. Κονίαμα ψηφοθέτησης: ασβέστης και μαρμαρόσκονη.
3. Nucleus: ασβεστοκονίαμα με κεραμιδόσκονη.
4. Rudus: ασβεστοκονίαμα με θραύσματα κεραμικού.
5. Statumen: μεγάλοι λίθοι.
6. Φυσικό έδαφος.

Παράρτημα Νο.2 – ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Αριθμός καταγραφής: Δεν υπάρχει

Ταυτότητα ψηφιδωτού: Κρήνη Καλλιρρόης Πνυκός / Σπήλαιο / Θάλαμος Υ / Πρώτο επίπεδο μνημείου.

ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΠΟΔΟΜΗ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ	<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Πλήρωση κενών υποδομής με:<ul style="list-style-type: none">○ Κονίαμα○ Μείγμα διαβαθμισμένων αδρανών με σταθεροποιητή (τσιμέντο ή άσβεστο) με/χωρίς σπλισμό○ Διαβαθμισμένα αδρανή○ Άλλο (π.χ γεωύφασμα)✓ Περιμετρική στερέωση<input type="checkbox"/> Εφαρμογή ενεμάτων για πλήρωση:<ul style="list-style-type: none">○ ρωγμών υποδομής○ κενών στα στρώματα υποδομής<input type="checkbox"/> Απόσπαση του συνόλου του ψηφιδωτού<ul style="list-style-type: none">○ Σε ένα ενιαίο τμήμα○ Σε τμήματα<input type="checkbox"/> Απόσπαση τμήματος ψηφιδωτού<input type="checkbox"/> Επανατοποθέτηση ψηφιδωτού<ul style="list-style-type: none">○ Στην αρχική τους θέση○ Σε άλλο χώρο.....<input type="checkbox"/> Επανατοποθέτηση του ψηφιδωτού σε<ul style="list-style-type: none">○ Νέο υπόστρωμα κατά χώραν (<i>in situ</i>)○ Φορητές κατασκευές○ Κονιαμάτων○ Μεταλλικό ανοξείδωτο πλέγμα○ Μεταλλικό πλέγμα○ Μεταλλικές ράβδοι.....○ Πλαίσια αλουμινίου○ Κυψελωτό φύλλο αλουμινίου (αερολάμ)○ Άλλο.....○ Σε άμεση επαφή με την υποδομή αποκατάστασης.<input type="checkbox"/> Προετοιμασία υποδομής για επανατοποθέτηση ψηφιδωτού με χρήση:<ul style="list-style-type: none">○ Λίθων○ Αδρανών○ Κονιαμάτων○ Άλλο.....
ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΨΗΦΙΔΩΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	<ul style="list-style-type: none">✓ Καθαρισμός (Μηχανικός ή Υγρός)✓ Συμπλήρωση απωλειών με κονίαμα αποκατάστασης.<input type="checkbox"/> Πλήρωση απώλειας με Μείγμα διαβαθμισμένων αδρανών με σταθεροποιητή(τσιμέντο ή άσβεστο) με/χωρίς σπλισμό<input type="checkbox"/> Πλήρωση ρωγμών✓ Αφαίρεση παλαιότερων επεμβάσεων✓ Αντικατάσταση κονιαμάτων αποκατάστασης✓ Πλήρωση αρμών<input type="checkbox"/> Άρση ψηφιδωτού τμήματος και στερέωση υποστρώματος✓ Περιμετρική στερέωση (στεφάνωμα)

ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΛΗΦΘΕΙ ΣΤΟ ΠΑΡΕΛΘΟΝ	<input checked="" type="checkbox"/> Επανατοποθέτηση χαλαρών ψηφίδων <input type="checkbox"/> Αισθητική αποκατάσταση ψηφιδωτής επιφάνειας. (Επιλογή από πίνακα σελ.3) <input type="checkbox"/> Εφαρμογή υλικών στερέωσης / προστασίας <input type="checkbox"/> Χρήση υφασμάτων ενίσχυσης <input type="checkbox"/> Άλλο <input type="checkbox"/> Κατάχωση Περιοδική Μόνιμη..... <input type="checkbox"/> Στέγαση Περιοδική..... Μόνιμη..... <input type="checkbox"/> Διαχείριση/ αποστράγγιση υδάτων, υγρασίας <input checked="" type="checkbox"/> Επεμβάσεις τοιχοποιίας <input checked="" type="checkbox"/> Κατασκευές προστασίας <input type="checkbox"/> Άλλο
---	--

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ :

Πραγματοποιήθηκε επιφανειακός καθαρισμός από τις γεώδεις επικαθίσεις και από φερτά υλικά με μηχανικά μέσα, βουρτσάκι και νυστέρι. Έπειτα ακολούθησε υγρός καθαρισμός με νερό, βουρτσάκι και με σφουγγάρι όπου παρατηρήθηκαν έντονες βιολογικές επικαθίσεις στο πάνω δεξιό μέρος του ψηφιδωτού πλησίον του βράχου. Για την αντιμετώπιση τους πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού σε ομοιόμορφη επιφάνεια με ξηρό καθαρισμό και με ήπια χημικά μέσα σε διαφορετικές συγκεντρώσεις και χρόνους στην περιοχή που σημειώνεται στο κεφάλαιο (6) στην Εικόνα 6.2. Τα μεγέθη το δοκιμίων είναι 10 x 10 cm εκτός του καθαρισμού με ατμοκαθαριστή που είναι 15 x 15 cm. Για την δημιουργία και την οριοθέτηση των δοκιμίων καθαρισμού χρησιμοποιήθηκε χαρτοταινία για ευαίσθητες επιφάνειες 3M scotch blue 2090.

Καθαρισμός που εφαρμόστηκε:

1. Ατμοκαθαριστής

Ήπια χημικά μέσα που εφαρμόστηκαν:

1. Υπεροξείδιο του Υδρογόνου (H₂O₂)
2. DESOGEN
3. BIOCIDA

Για την αντιμετώπιση των γεωδών και βιολογικών επικαθίσεων στην ψηφιδωτή επιφάνεια του δαπέδου παρατηρήθηκε ότι το Υπεροξειδίου του υδρογόνου (H₂O₂) με χαρτοπολτό σε συγκέντρωση 15% και σε χρόνο 30 λεπτών είναι κατάλληλο όπως και ο ξηρός καθαρισμός με ατμοκαθαριστή.

Παράρτημα Νο. 3 – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ: Δεν υπάρχει

ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ: Κρήνη Καλλιρρόης Πνυκός

ΤΥΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ:

Αρχικός Επανέλεγχος

ΠΑΡΟΥΣΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΚΘΕΣΗΣ:

Εξωτερικός χώρος Κατάχωση Ανοικτό στέγαστρο
 Σε χρήση Αφαιρούμενο κάλυμμα Κλειστό στέγαστρο
 Μέρη που δεν έχουν ανασκαφεί ή μη προσβάσιμα Εσωτερικός χώρος

(Στον αρχικό έλεγχο, σημειώστε όλα φαινομένων φθοράς που υπάρχουν. Στον επανέλεγχο δείξτε μόνο τα νέα φαινόμενα φθοράς που έχουν συμβεί από την τελευταία επιθεώρηση ή την τελευταία παρέμβαση).

Παθολογία Δομής:

(Εκτίμηση της κατάστασης χάρτης Νο.3.1)

Αποδόμηση στρώματος ψηφοθέτησης Αποδόμηση στρωμάτων υποδομής
 Απώλεια στρώματος ψηφοθέτησης Απώλεια στρωμάτων υποδομής
 Ρωγμές Απώλεια συνοχής υποστρωμάτων
 Εξάρσεις Σπηλαιώση (cavity)
 Καθιζήσεις Βλάστηση
 Χρωματικές Αλλοιώσεις Εξανθήσεις αλάτων
 Σήραγγες από ζώα/έντομα Μικροβιολογική προσβολή
 Σκληρές εναποθέσεις Άλλο

Παθολογία Ψηφιδωτής Επιφάνειας:

(Εκτίμηση της κατάστασης χάρτης Νο.3.2)

Χαλαρές εναποθέσεις Σκληρές εναποθέσεις
 Ψηφίδες με χαλαρή συνοχή Απώλεια ψηφίδων
 Αποσάθρωση ψηφίδων Διάβρωση ψηφίδων από τριβή
 Αποφλοίωση – Απολέπιση ψηφίδων Ρηγμάτωση ψηφίδων
 Βελονισμός ψηφίδων Χρωματικές αλλοιώσεις
 Μικροβιολογική προσβολή Οργανικές εναποθέσεις
 Εξανθήσεις αλάτων
 Άλλο

Φθορές προηγούμενων επεμβάσεων:

(Εκτίμηση της κατάστασης χάρτης Νο.3.3)

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Αποκόλληση επανατοποθετημένων ψηφίδων | <input type="checkbox"/> Αποκόλληση ψηφίδων από νέο στρώμα ψηφοθέτησης |
| <input type="checkbox"/> Φθορά κονιάματος πλήρωσης | <input type="checkbox"/> Φθορά κονιαμάτων υποδομής |
| <input type="checkbox"/> Φθορά περιμετρικής στερέωσης | <input type="checkbox"/> Αστοχία φορητής κατασκευής |
| <input type="checkbox"/> Ρωγμές στο νέο στρώμα ψηφοθέτησης | <input type="checkbox"/> Διάβρωση πλαισίου στήριξης |
| <input type="checkbox"/> Διάβρωση των μεταλλικών ενισχύσεων | <input type="checkbox"/> Υπολείμματα υφασμάτων ενίσχυσης |
| <input type="checkbox"/> Υπολείμματα υλικών στερέωσης/προστασίας | <input type="checkbox"/> Άλλο |

Προβλήματα Κατάχωσης:

- Παρουσία βλάστησης
- Απώλεια υλικών πλήρωσης
- Φθαρμένα υλικά διαχωρισμού(κάλυψης)

Προβλήματα επεμβάσεων στον περιβάλλοντα χώρο:

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Φραγή αποστραγγιστικών υποδομών | <input checked="" type="checkbox"/> Φθαρμένο κάλυμμα |
| <input type="checkbox"/> Σταθεροποιημένοι τοίχοι με νέα διάβρωση | <input checked="" type="checkbox"/> Φθορές στεγάστρου |
| <input type="checkbox"/> Άλλο: | <input type="checkbox"/> Δυσκολία στην πρόσβαση |

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ:

Αρχικά το ψηφιδωτό δάπεδο φέρει σε αρκετά σημεία της ψηφιδωτής επιφάνειας του απώλειες οι οποίες στην περίμετρο τους φέρουν στεφάνωμα. Σε δύο από αυτές παρατηρείται πως πιθανών προηγήθηκε τεμαχισμός. Στα συγκεκριμένα σημεία είναι αντιληπτή η στρωματογραφία του δαπέδου, όπου φαίνονται τα τρία κατώτερα στρώματα της υποδομής. Επίσης περισσότερες απώλειες μικρότερου μεγέθους, παρατηρούνται προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης. Στην συνέχεια παρατηρήθηκαν γεώδεις επικαθίσεις και φερτά υλικά σε μεγάλο μέρος της επιφάνειας του δαπέδου. Συγκεκριμένα πλησίον της εισόδου, όπου παρατηρείται παχύρρευστο στρώμα λάσπης λόγω των καιρικών φαινομένων (μεταφορά σκόνης μέσω αέρα και την εισροή όμβριων υδάτων). Λόγω της υγρασίας που επικρατεί στον υπόσκαφο χώρο και της εισροής όμβριων υδάτων από την είσοδο του θαλάμου Υ παρατηρείται σε αρκετά σημεία της επιφάνειας, έντονη δημιουργία και δράση διαλυτών/αδιάλυτων αλάτων και βιολογικών επικαθίσεων, κυρίως πλησίον του βράχου κατά την χειμερινή περίοδο.

Γενική κατάσταση του ψηφιδωτού:

- Καλή Μέτρια Κακή

Προτεινόμενη ημερομηνία για τον επανέλεγχο:

Δύο φορές ανά έτος, στην αρχή και στο τέλος της χειμερινής περιόδου που επιβαρύνεται η κατάσταση διατήρησης του μνημείου από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Προτεινόμενη ημερομηνία για επέμβαση:

Αρχές εαρινής περιόδου μέχρι αρχές φθινοπωρινής περιόδου που δεν επικρατούν υψηλά ποσοστά υγρασίας στο εσωτερικό του χώρου.

Καταγράφηκε από τον φοιτητή τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης του Π.Α.Δ.Α, Νικοδήμου Παναγιώτη σε συνεργασία με τις συντηρήτριες της Ε.Φ.ΑΠ.Α .

Ημερομηνία: 14/07/2022

Παράρτημα Νο. 4 – Στοιχεία φωτογραμμετρικού προγράμματος Reality Capture

Selected Component Report

Project: *akr_nd*

Fri, Sep 9, 2022 11:20:29

RealityCapture 1.0.3.4987

Component name	Component 0
Count of registered images	738 / 738
Points' count	2151886
Count of used control points	0
Count of used constraints	0
Number of models	3

Alignment report

Total projections	7345824
Average track length	3.4
Maximal reprojection error [pixels]	2.00
Median reprojection error [pixels]	0.69
Mean reprojection error [pixels]	0.77
Geo-referenced	False
Metric	False
Alignment time	00h:08m:42s
Feature detection time	00h:06m:09s
Registration time	00h:02m:33s

Alignment settings

Engine	RealityCapture
Mode	High
Max features per Mpx	10000
Max features per image	40000
Detector sensitivity	Medium
Preselector features	10000
Image downscale factor	1
Maximal feature reprojection error [pixels]	2.00
Use camera positions	True

Lens distortion model	Brown3
Final optimization	True

All / Selected Constraints

Name	A	B	Defined distance	Calculated distance	Distance error
distance 0	point 0	point 1	0.300 m +/- 0.001	0.300 m	-0.000 m

List of Models

Model name Model 1

Triangles' count	266765802
Vertices' count	133758695
Parts' count	143
Quality level	Normal
Image downscale factor	2
Overall processing time	01h:05m:51s
Colored	True
Textured	False

List of Models

Model name Model 2

Triangles' count	100002946
Vertices' count	50124040
Parts' count	66
Quality level	Normal
Image downscale factor	2
Overall processing time	01h:05m:51s
Colored	True
Textured	False

List of Models

Model name Model 3

Triangles' count	50000716
Vertices' count	25087359
Parts' count	66
Quality level	Normal
Image downscale factor	2
Overall processing time	05h:14m:05s
Colored	True

Textured	True
-----------------	------

Texturing style	Visibility-based
Unwrapping style	Fixed texel size
Textures' count	11
Texture resolution	16384 x 16384
Charts gutter size	2 texels
Texture utilization	64%
Optimal texel size	0.000969 units per texel
Texture quality	100%
Texel size	0.000969 units per texel



Survey Data

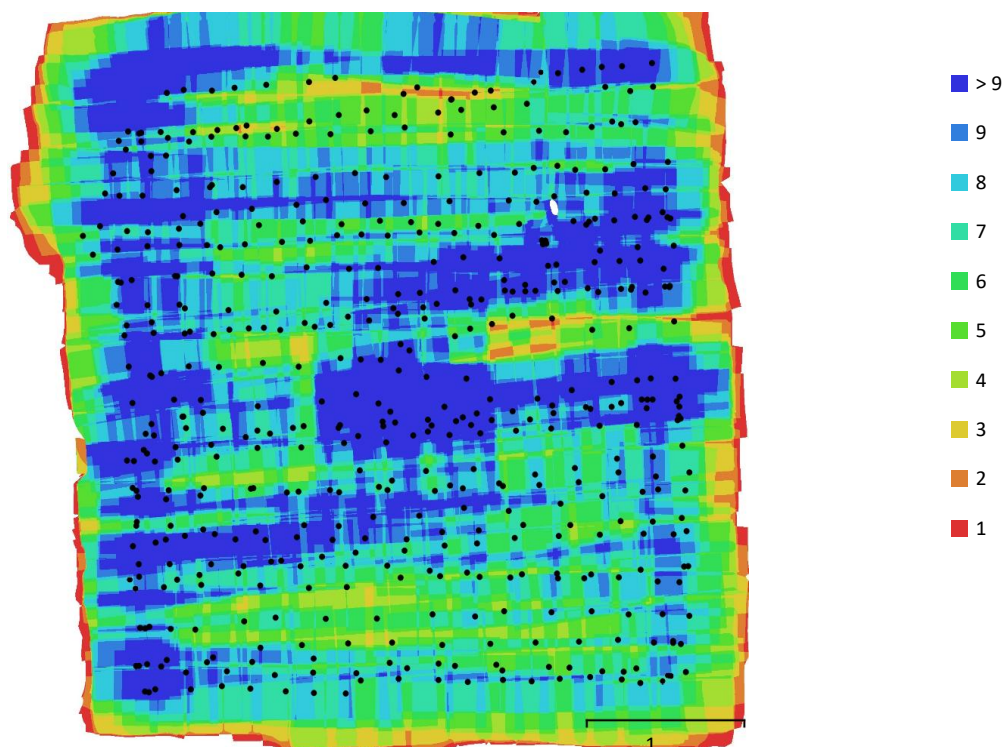


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	521	Camera stations:	521
Flying altitude:	94.6 cm	Tie points:	98,439
Ground resolution:	0.109 mm/pix	Projections:	315,891
Coverage area:	18.5 m ²	Reprojection error:	4.27 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrate
LCE-6100, E PZ 16-50mm F3.5-5.6 OSS (30mm)	6000 x 4000	30 mm	4 x 4 μm	No
LCE-6100, E PZ 16-50mm F3.5-5.6 OSS (35mm)	6000 x 4000	35 mm	4.04 x 4.04 μm	No
LCE-6100, E PZ 16-50mm F3.5-5.6 OSS (28mm)	6000 x 4000	28 mm	4 x 4 μm	No
LCE-6100, E PZ 16-50mm F3.5-5.6 OSS (41mm)	6000 x 4000	41 mm	4.03 x 4.03 μm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

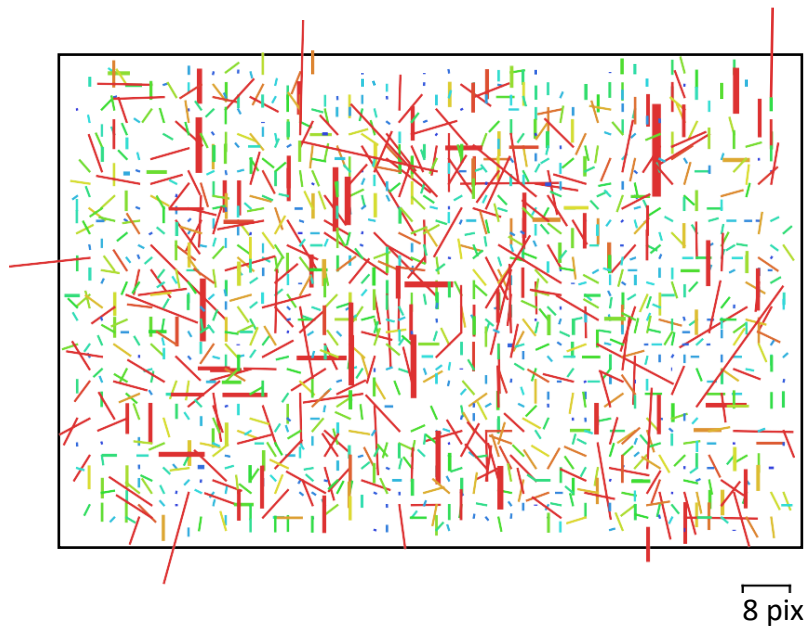


Fig. 2. Image residuals for ILCE-6100, E PZ 16-50mm F3.5-5.6 OSS (30mm).

ILCE-6100, E PZ 16-50mm F3.5-5.6 OSS (30mm)

6 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	6000 x 4000	30 mm	4 x 4 μm

	Value	Error	P1	P2
F	7500			
P1	9.55783e-05	0.00042	1.00	-0.18
P2	0.00147906	0.00044		1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Calibration

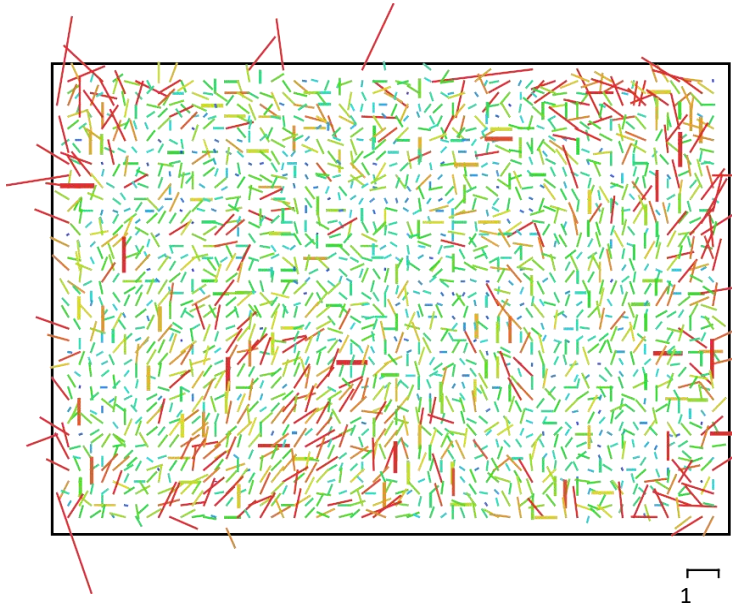


Fig. 3. Image residuals for ILCE-6100, E PZ 16-50mm F3.5-5.6 OSS (35mm).

ILCE-6100, E PZ 16-50mm F3.5-5.6 OSS (35mm)

507 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	6000 x 4000	35 mm	4.04 x 4.04 μm

	Value	Error	P1	P2
F	8666.67			
P1	0.000876962	4.1e-05	1.00	-0.00
P2	0.00157771	3.2e-05		1.00

Table 3. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Calibration

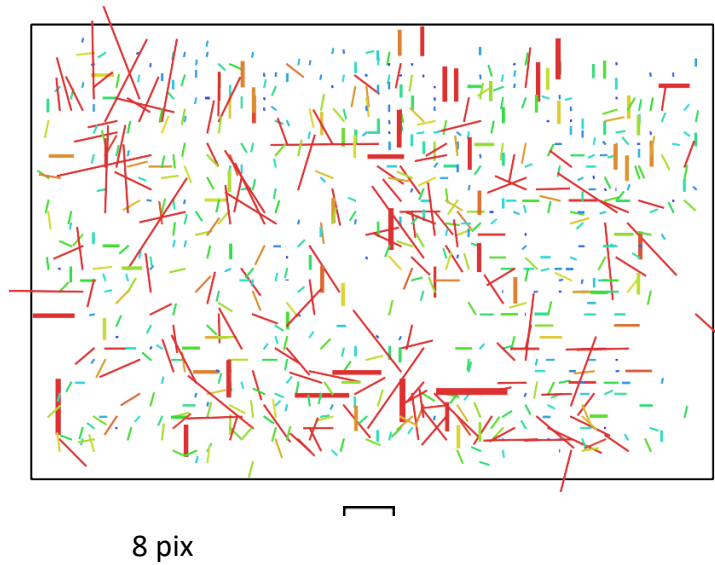


Fig. 4. Image residuals for ILCE-6100, E PZ 16-50mm F3.5-5.6 OSS (28mm).

ILCE-6100, E PZ 16-50mm F3.5-5.6 OSS (28mm)

3 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	6000 x 4000	28 mm	4 x 4 μm

	Value	Error	P1	P2
F	7000			
P1	0.000385735	0.0005	1.00	0.07
P2	0.000679175	0.00058		1.00

Table 4. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Calibration

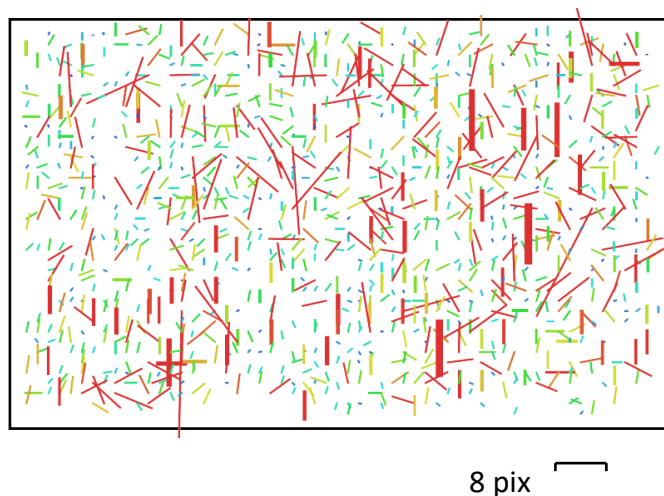


Fig. 5. Image residuals for ILCE-6100, E PZ 16-50mm F3.5-5.6 OSS (41mm).

ILCE-6100, E PZ 16-50mm F3.5-5.6 OSS (41mm)

5 images

Type
FrameResolution
6000 x 4000Focal Length
41 mmPixel Size
4.03 x 4.03 μm

	Value	Error	P1	P2
F	10166.7			
P1	0.0003847	0.0009	1.0	-
	14	4	0	0.09
P2	0.0042459	0.0004		1.00
		6		

Table 5. Calibration coefficients and correlation matrix.

Scale Bars

Label	Distance (m)	Error (m)
point 1_point 2	3.26744	-0.00255708
point 2_point 3	2.90441	0.00440765
point 2_point 4	0.873526	-0.00647372
point 3_point 4	2.33077	0.000767695
point 2_point 7	2.66822	-0.00178089
point 7_point 8	3.33384	0.00383686
point 4_point 5	1.5006	0.000597947
point 5_point 6	2.14878	-0.00121788
point 5_point 7	0.621177	0.00117672
point 1_point 8	3.31505	-0.00494712
point 1_point 3	1.34024	0.0102384
Total		0.00446076

Table 6. Control scale bars.

Digital Elevation Model

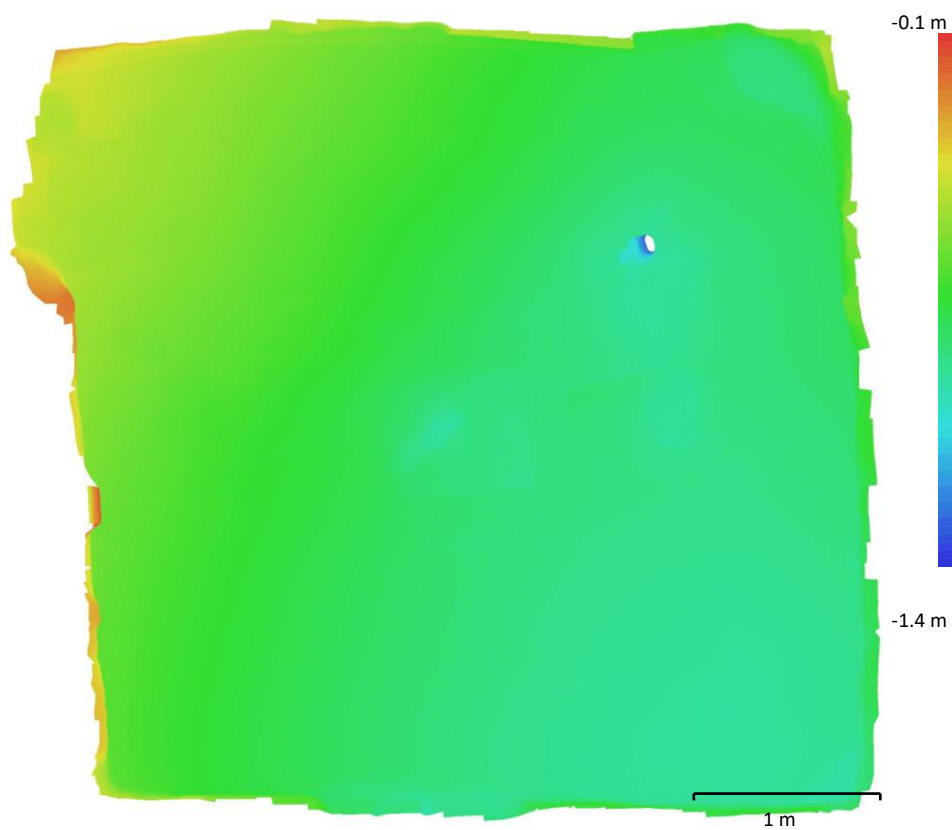


Fig. 6. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown

Point density: unknown

Processing Parameters

General

Cameras	521
Aligned cameras	521
Markers	8
Scale bars	11

Shapes

Polygon	1405
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Point Cloud

Points	98,439 of 112,453
RMS reprojection error	0.179551 (4.27384 pix)
Max reprojection error	5.32491 (78.1245 pix)
Mean key point size	25.3893 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	3.41009

Alignment parameters

Accuracy	Lowest
Generic preselection	Yes
Reference preselection	No
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	No
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	1 hours 10 minutes
Matching memory usage	226.09 MB
Alignment time	5 minutes 20 seconds
Alignment memory usage	99.02 MB

Optimization parameters

Parameters	p1, p2
Adaptive camera model fitting	No
Optimization time	11 seconds
Date created	2021:11:03 08:04:49
Software version	1.7.3.12473
File size	8.49 MB

Depth Maps

Count	512
-------	-----

Depth maps generation parameters

Quality	Lowest
Filtering mode	Mild
Processing time	1 hours 50 minutes
Memory usage	770.91 MB
Date created	2022:09:25 10:10:06
Software version	1.7.3.12473
File size	76.12 MB

Dense Point Cloud

Points	7,220,279
Point colors	3 bands, uint8

Depth maps generation parameters

Quality Lowest
Filtering mode Mild
Processing time 1 hours 50 minutes
Memory usage 770.91 MB

Dense cloud generation parameters

Processing time 7 minutes 25 seconds
Memory usage 1.05 GB
Date created 2022:09:25 10:17:31
Software version 1.7.3.12473
File size 95.12 MB

Model

Faces 297,090
Vertices 148,713
Vertex colors 3 bands, uint8
Texture 4,096 x 4,096, 4 bands, uint8

Depth maps generation parameters

Quality Lowest
Filtering mode Mild
Processing time 1 hours 50 minutes
Memory usage 770.91 MB

Reconstruction parameters

Surface type Arbitrary
Source data Depth maps
Interpolation Enabled
Strict volumetric masks No
Processing time 4 minutes 57 seconds
Memory usage 1.53 GB

Texturing parameters

Mapping mode Generic
Blending mode Mosaic
Texture size 4,096
Enable hole filling Yes
Enable ghosting filter Yes
UV mapping time 2 minutes 30 seconds
UV mapping memory usage 772.11 MB
Blending time 7 minutes 23 seconds
Blending memory usage 2.36 GB
Date created 2022:09:25 11:29:10
Software version 1.7.3.12473
File size 36.20 MB

DEM

Size 3,766 x 3,560
Coordinate system Local Coordinates (m)

Reconstruction parameters

Source data Dense cloud
Interpolation Enabled
Processing time 9 seconds
Memory usage 225.68 MB
Date created 2022:09:25 14:18:21
Software version 1.7.3.12473
File size 16.24 MB

Orthomosaic

Size 45,536 x 43,536
Coordinate system Local Coordinates (m)
Colors 3 bands, uint8

Reconstruction parameters

Blending mode Average
Surface Mesh
Enable hole filling Yes
Enable ghosting filter No
Processing time 4 hours 21 minutes
Memory usage 3.27 GB
Date created 2021:11:03 17:43:02
Software version 1.7.3.12473
File size 10.93 GB

System

Software name Agisoft Metashape Professional
Software version 1 7.3 build 12473
OS Mac OS 64 bit
RAM 16.00 GB
CPU Intel(R) Core(TM) i7-8559U CPU @ 2.70GHz
GPU(s) None