



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού
Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης

Σεπτέμβριος 2022

Υστερορωμαϊκό ψηφιδωτό Ζάππειου: Τεχνολογία κατασκευής, παθολογία και διατύπωση προτάσεων για τη συντήρηση και προστασία του



Μαρία Γρηγόρη 52016003

Μαρία-Λουΐζα Ντολτσέτη 52016011

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
ΣΤΕΦΑΝΙΑ ΧΛΟΥΒΕΡΑΚΗ

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

LATE ROMAN ZAPPEION MOSAIC: CONSTRUCTION TECHNOLOGY, PATHOLOGY AND
FORMULATION OF PROPOSALS FOR ITS CONSERVATION AND PROTECTION

CONSERVATION SURVEY

STUDENTS: MARIA GRIGORI, LOUISA MARIA NTOLTSETI

REGISTRATION NUMBER: 52016003, 52016011

SUPERVISORS: STEFANIA CHLOUVERAKI, ALEXIOS STEFANIS, DIMITRIOS MAKRIS

ATHENS, SEPTEMBER 2022

Τίτλος εργασίας:

Υστερορωμαϊκό ψηφιδωτό Ζαπείου: Τεχνολογία κατασκευής, παθολογία και διατύπωση προτάσεων για συντήρηση και προστασία του.

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 υπογεγραμμένη **Γρηγόρη Μαρία** του **Ηρακλή**, με αριθμό μητρώου **52016003** φοιτήτρια 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»

Η Δηλούσα

Μαρία Γρηγόρη



Η κάτωθι υπογεγραμμένη **Ντολτσέτη Μαρία-Λουΐζα** του **Ιάκωβου**, με αριθμό μητρώου **52016011** φοιτήτρια 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»

Η Δηλούσα

Μαρία-Λουΐζα Ντολτσέτη



Ευχαριστίες:

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την Επιβλέπουσα Καθηγήτριά μας, κ. Στεφανία Χλουβεράκη για την υποστήριξη, την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές της, προκειμένου να ολοκληρωθεί με επιτυχία η πτυχιακή μας εργασία. Οι παρατηρήσεις και οι τοποθετήσεις της έπαιξαν σημαντικό ρόλο για την έκβαση και τον τελικό σχεδιασμό της πτυχιακής μας εργασίας.

Ευχαριστούμε, εξίσου, τους καθηγητές, Δρ. Αλέξιο Στεφανή και Δρ. Δημήτρη Μακρή που δέχτηκαν να είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης της διπλωματικής μας εργασίας και για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλουμε στον κ. Χρίστο Μάρη υποψήφιο διδάκτορα τους Τμήματος για τη λήψη των φωτογραφιών με τη χρήση του drone, ώστε να πραγματοποιηθεί η φωτογραμμετρική τεκμηρίωση, καθώς και στη μεταπτυχιακή φοιτήτρια Στέλλα Μινέτου για την πολύτιμη βοήθεια της στη λήψη εικόνων με ειδικό φωτογραφικό γερανό και γενικότερα την καθοδήγηση της στις εργασίες τεκμηρίωσης στο πεδίο.

Ιδιαίτερος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την κ. Μαργαρίτα Βενάκη για την εμπιστοσύνη, που μας έδειξε προκειμένου να επέμβουμε στο ψηφιδωτό. Επιπλέον, την ευχαριστούμε για όλες τις πληροφορίες που μας παρείχε από το αρχείο της ΕΦΑΠΑ όσον αφορά τα ιστορικά στοιχεία και τις προγενέστερες επεμβάσεις του ψηφιδωτού του Ζαπείου.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Αντώνη Σαμπάνη, την Ευγενία Αναμουρλίδου, τον Παναγιώτη Νικοδήμου, και τους υπόλοιπους φίλους αλλά και τις οικογένειές μας για όλη τη στήριξη και τη βοήθεια που μας παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής μας, από το ξεκίνημα μέχρι και την ολοκλήρωσή της.

Περίληψη:

Στόχος της πτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη και τεκμηρίωση της παθολογίας του ψηφιδωτού δαπέδου που βρίσκεται στο Ζάππειο Αθηνών, το οποίο χρονολογείται στην Υστερορωμαϊκή - Πρωτοχριστιανική περίοδο, καθώς και η διατύπωση προτάσεων για τη μελλοντική συντήρηση και ανάδειξή του. Το δάπεδο, έχει δημιουργηθεί με την τεχνική *opus tessellatum* και έχει φυτική και γεωμετρική διακόσμηση. Βρίσκεται σε σημείο με έντονη βλάστηση, και έχει υποστεί εκτεταμένη φθορά, ενώ παρουσιάζει σημαντικές απώλειες της ψηφιδωτής επιφάνειας και της υποδομής του. Η τεκμηρίωση της τεχνολογίας κατασκευής και της παθολογίας και η εκτίμηση της κατάστασης διατήρησής του ψηφιδωτού βασίστηκαν σε μακροσκοπικές παρατηρήσεις και βιβλιογραφική έρευνα. Αφού μελετήθηκαν και καταγράφηκαν τα υλικά και η τεχνολογία κατασκευής καθώς και η παθολογία και η κατάσταση διατήρησής του, διερευνήθηκαν και αξιολογήθηκαν οι επεμβάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα, μέσω έρευνας αρχείων. Οι συνολικές πληροφορίες που συλλέχθηκαν, συνέβαλλαν στη διαμόρφωση προτάσεων για τη συντήρηση και τη μακροχρόνια προστασία του ψηφιδωτού. Η τεκμηρίωση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας, σε τρεις φάσεις, πριν και μετά τον καθαρισμό καθώς και κατά τους χειμερινούς μήνες μετά από μια περίοδο έντονων βροχοπτώσεων. Δημιουργήθηκαν τρισδιάστατα μοντέλα, υψομετρικοί χάρτες, σχεδιαστικές γραμμικές αποτυπώσεις και σχηματικές αναπαραστάσεις, για να γίνει πιο κατανοητή η τεχνολογία κατασκευής και η παθολογία του ψηφιδωτού. Τέλος, πραγματοποιήθηκαν δομικές καθαρισμού και αποτίμηση αυτών και διαμορφώθηκαν προτάσεις για τη συντήρηση και τη μακροχρόνια προστασία του.

Λέξεις κλειδιά: Ζάππειο, ψηφιδωτό, φωτογραμμετρία,.

Abstract:

The purpose of this thesis was the study and the documentation of the pathology of the mosaic floor found in the Zappeion of Athens, which dates around the late Roman- early Christian period, as well as the suggestion and presentation for its future conservation and presentation. The floor has been created with the “opus tessellatum” technique and has a floral and geometric pattern. It is located in a spot with thick foliage and has been subject to extensive damage, while also presenting significant losses in its mosaic surface and infrastructure. The documentation of the construction technology and of the pathology and the evaluation of the conservation of the mosaic has been based on macroscopic observations and bibliographical research. After studying and registering the materials and the construction technology as well as the pathology and the conservation so far, the actions that have been taken thus far for the conservation were studied and evaluated through the study of archives. All the data collected contributed in the configuration of suggestions for the conservation and the long term protection of the mosaic. The documentation was done with the photogrammetry, method in three phases, before and after the cleaning as well as in the winter months after a long period of rain. Three Dimensional models were created as well as elevational maps, design lines and impression representations, to make the construction technology as well as the pathology of the mosaic more clear. Finally, some structural cleaning was performed and evaluated and some suggestions were presented for the conservation and long term protection of the mosaic.

Key words: Zappeion, mosaic, photogrammetry,

Περιεχόμενα

Περίληψη:.....	1
Abstract:.....	2
Κεφάλαιο 1: Θέμα, στόχοι & μεθοδολογία.....	4
1.1. Εισαγωγή.....	4
1.2. Στόχοι.....	6
1.3. Μεθοδολογία.....	7
Κεφάλαιο 2: Ιστορικά στοιχεία και Περιγραφή.....	8
2.1. Ιστορικά στοιχεία.....	8
2.2. Περιγραφή του ψηφιδωτού.....	9
2.2.1. Οργάνωση του διακοσμητικού θέματος (περιγραφή οργάνωσης σχεδίου, μοτίβα, στυλ ψηφοθέτησης, μέγεθος ψηφίδων).....	10
2.2.2. Χρωματολόγιο (περιγραφή χρωμάτων, χαρακτηρισμός με κλίμακα Munsell).....	14
2.2.3. Στρωματογραφία:.....	19
2.2.4. Τεχνολογία κατασκευής.....	20
Κεφάλαιο 3: Προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης και εκπαιδευτικές δραστηριότητες στο χώρο.....	25
Κεφάλαιο 4: Τεκμηρίωση της κατάστασης διατήρησης.....	28
4.1. Φωτογραμμετρία.....	28
4.2. Παθολογία.....	36
4.2.1. Παθολογία της επιφάνειας.....	55
4.2.2. Παθολογία της υποδομής.....	86
4.2.3. Προηγούμενες επεμβάσεις.....	90
4.2.4. Παθολογία των προηγούμενων επεμβάσεων.....	91
4.2.5. Αξιολόγηση και εκτίμηση της κατάστασης διατήρησης.....	97
Κεφάλαιο 5: Χαρακτηρισμός των υλικών προηγούμενων επεμβάσεων.....	98
Κεφάλαιο 6: Προτάσεις επεμβάσεων συντήρησης και προστασίας.....	100
6.1. Προτάσεις και επεμβάσεις καθαρισμού.....	100
6.2. Επεμβάσεις συντήρησης με κονιάματα.....	135
6.3. Προτάσεις προστασίας ψηφιδωτού.....	148
Κεφάλαιο 7: Σχεδιασμός προγράμματος περιοδικού ελέγχου.....	150
Κεφάλαιο 8: Συζήτηση και Συμπεράσματα.....	152
Βιβλιογραφία:.....	158

Κεφάλαιο 1: Θέμα, στόχοι & μεθοδολογία

1.1. Εισαγωγή

Οι πλέον σύγχρονες αρχές της συντήρησης και προστασίας, ζητούν μια ολοκληρωμένη γνώση και τεκμηρίωση των ιδιοτήτων των δομικών υλικών, αλλά και της φθοράς που παρουσιάζουν. Τα στοιχεία αυτά, κρίνονται αναγκαία για τον προγραμματισμό και την υλοποίηση των επεμβάσεων προστασίας σε ιστορικά μνημεία, στα οποία συγκαταλέγονται και τα ψηφιδωτά δάπεδα. Επίσης, τα αποτελέσματα των επεμβάσεων συντήρησης που έχουν εφαρμοστεί μέχρι σήμερα, είναι πολύ σημαντικά, διότι μέσω αυτής της διεργασίας είναι δυνατή η ανάδειξη των καταλληλότερων μεθόδων, που είναι ικανοί να διατηρήσουν ένα αρχιτεκτονικό μνημείο σε καλύτερη κατάσταση με το πέρασμα του χρόνου. Επιπλέον, έτσι, παρέχεται η δυνατότητα να οροθετηθούν πλήρως οι παράμετροι που είναι υπεύθυνες για την καλύτερη εφαρμογή μιας μεθόδου συντήρησης, στα ψηφιδωτά δάπεδα. Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας, πραγματοποιήθηκε η μελέτη συντήρησης, επιλεγμένου ψηφιδωτού δαπέδου στο Ζάππειο Αθηνών.

Το Ζάππειο Μέγαρο ή απλά Ζάππειο, είναι ένα από τα σημαντικότερα κτίρια της Αθήνας. Βρίσκεται νότια του Εθνικού Κήπου και των παλαιών Ανακτόρων και δυτικά του Παναθηναϊκού Σταδίου. Η ανέγερσή του χρηματοδοτήθηκε από τον εθνικό ευεργέτη Ευάγγελο Ζάππα και ολοκληρώθηκε το 1888. Το νεοκλασικό μέγαρο, είναι συνυφασμένο με την ιστορία της νεότερης Ελλάδας, ενώ σήμερα λειτουργεί ως συνεδριακό και εκθεσιακό κέντρο.

Το ψηφιδωτό δάπεδο που επιλέχθηκε, βρίσκεται μέσα στον κήπο του Ζαππείου και πιο συγκεκριμένα στη διασταύρωση Βασιλίσσης Όλγας και Βασιλίσσης Αμαλίας, δίπλα από το άγαλμα του λόρδου Βύρωνα. Το δάπεδο, είναι σε μορφή διαδρόμου και χρονολογείται περί την Υστερορωμαϊκή και Πρωτοχριστιανική περίοδο. Έχει μεγάλες διαστάσεις και βρίσκεται σε σημείο με πολύ αυξημένη βλάβηση, καθιστώντας έτσι πιο δύσκολες τις διεργασίες έρευνας και συντήρησης. Έχει δημιουργηθεί με την τεχνική *opus tessellatum* και έχει φυτική και γεωμετρική διακόσμηση. Η ψηφιδωτή επιφάνεια δε διασώζεται σε όλη την έκταση του διαδρόμου, ενώ το τμήμα που βρίσκεται στο μέσον, απουσιάζει πλήρως.

Μέσω εκτεταμένης μακροσκοπικής παρατήρησης, προσδιορίστηκε η τεχνολογία κατασκευής του ψηφιδωτού. Πρόκειται για *opus tessellatum*, μια συνηθισμένη τεχνική των αρχαίων λιθοστρωμάτων, που χρησιμοποιούνταν ευρέως από τον 3^ο αιώνα π.Χ. Επιπλέον, παρατηρήθηκε πως οι ψηφίδες είναι κατασκευασμένες από φυσικούς λίθους. Με τη βοήθεια της κλίμακας «Munsell rock color chart», τακτοποιηθήκανε τα χρώματα των ψηφίδων που συνιστούν το δάπεδο.

Στη συνέχεια, με τη χρήση φωτογραμμετρίας, πραγματοποιήθηκε η καταγραφή της παθολογίας του δαπέδου, όπως για παράδειγμα οι συνθήκες που ενεργοποιούν τους μηχανισμούς φθοράς πάνω στο ψηφιδωτό, αλλά και σε τι έκταση επηρεάζουν το συγκεκριμένο αρχιτεκτονικό μνημείο. Η εν λόγω τεκμηρίωση μπορεί να κατανεμηθεί σε τρεις φάσεις: η πρώτη φάση αφορά την κατάσταση διατήρησής του πριν από οποιαδήποτε επέμβαση, η δεύτερη φάση λαμβάνει χώρα μετά τον καθαρισμό του από κοινές σκούπες, τελικά, στην τρίτη φάση παρατηρείται η κατάσταση διατήρησής του κατά τους χειμερινούς μήνες και συγκεκριμένα το μήνα Δεκέμβριο. Έτσι, δημιουργήθηκαν διάφορα φωτογραφικά και υψομετρικά μοντέλα, σχεδιαστικές γραμμικές αποτυπώσεις και σχηματικές αναπαραστάσεις, για να γίνει πιο κατανοητή η τεχνολογία κατασκευής και η παθολογία του ψηφιδωτού.

Ακολούθως, διερευνήθηκαν ενδελεχώς, μέσω βιβλιογραφικής αναζήτησης, και οι προγενέστερες επεμβάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στο ψηφιδωτό δάπεδο και κατορθώθηκε η αποτίμησή τους. Συγκεκριμένα, το 2013, είχε γίνει επιφανειακός καθαρισμός και κατά τόπους στερεώσεις, ενώ από τότε και μέχρι και το 2017 γινόταν συστηματικό επιφανειακό σκούπισμα, δύο φορές τον μήνα. Το 2015, πραγματοποιήθηκε επιστάμενος επιφανειακός καθαρισμός. Τέλος, το 2018, διενεργήθηκαν εργασίες εξωραϊσμού και συντήρησης. Ας αναφερθούν πιο ειδικά: κλαδεύτηκαν τα φυτά του περιβάλλοντα χώρου, απομακρύνθηκαν κλαδιά, απορρίμματα και φερτά υλικά από την επιφάνεια του ψηφιδωτού, έγινε διαβροχή, χημικός και μηχανικός καθαρισμός του δαπέδου, αφαιρέθηκαν λιμνάζοντα ύδατα και μεγάλες ρίζες, επανατοποθετήθηκαν αποκολλημένες ψηφίδες, έγιναν στερεώσεις και συμπληρώσεις, ενεμάτωση επιλεγμένων σημείων, καθώς και αποκατάσταση μικρής καθίζησης και αρμολόγημα με νέο υλικό. Παρ' όλα αυτά, η επιφάνεια του μνημείου διατηρείται σε μέτρια κατάσταση, μιας και παρουσιάζει βιολογικές επικαθίσεις, αποσάθρωση στεφανωμάτων, μικρό ρηγματώσεις κονιαμάτων συμπλήρωσης, εξάρσεις, λιμνάζοντα νερά και επικαθίσεις φερτών υλικών. Τελικά, αξίζει να σημειωθεί, πως οι περισσότερες φθορές παρατηρούνται στη μεγάλη συμπληρωμένη περιοχή του ψηφιδωτού, στο κέντρο, που έχει απολεσθεί.

Με βάση τα προαναφερθέντα, κρίθηκε αναγκαίος ο σχεδιασμός ενός πλάνου σωστικών επεμβάσεων με στόχο τον αναχαίτιση του μηχανισμού φθοράς, την εξασφάλιση προστασίας του μνημείου στο αέριο, τη διατήρηση των υλικών κατασκευής του, καθώς και την ανάδειξή του. Γι' αυτό το λόγο, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού με διάφορα χημικά μέσα, προκειμένου να βρεθεί ο καταλληλότερος τρόπος προσέγγισης του μνημείου, ενώ έλαβαν χώρα και επανατοποθετήσεις ψηφιδών και σφραγίσματα. Εν κατακλείδι, οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν και οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν έθεσαν ως άμεσο στόχο την οικοδόμηση της γνώσης - επιλογή των πιο κατάλληλων υλικών για τον καθαρισμό και τη συντήρηση του εν λόγω ψηφιδωτού - και μελλοντική αξιοποίηση αυτής.

1.2. Στόχοι

Διαμόρφωση μιας μελέτης συντήρησης με σκοπό την κατάλληλη διαχείριση των μεθόδων συντήρησης, που θα εφαρμοστούν στο ψηφιδωτό δάπεδο.

1. Τεκμηρίωση του ψηφιδωτού, μέσω της καταγραφής της τεχνολογίας κατασκευής, των προγενέστερων επεμβάσεων και της παθολογίας.

1.1. Φωτογραφική τεκμηρίωση:

- ❖ Της κατάστασης διατήρησης του δαπέδου:
- ❖ Πριν και μετά από τον καθαρισμό από κοινές σκούπες.
- ❖ Πριν και μετά από τις επεμβάσεις.
- ❖ Της κατάσταση διατήρησης του ψηφιδωτού κατά τους χειμερινούς μήνες και συγκεκριμένα το μήνα Δεκέμβριο.

Ως στόχος τίθεται να γίνουν ορατές οι διαφοροποιήσεις στην κατάσταση του μνημείου, μετά τις επεμβάσεις.

1.2. Μελέτη ιστορικών στοιχείων, για τη λήψη πληροφοριών για το μνημείο.

1.3. Δημιουργία χαρτών με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας:

- ❖ Για την αποτύπωση της συνολικής εικόνας του ψηφιδωτού.
- ❖ Για την καταγραφή των προηγούμενων επεμβάσεων.
- ❖ Για την διερεύνηση παθολογίας του.

1.4. Μελέτη του περιβάλλοντος χώρου του μνημείου και των καιρικών συνθηκών για την αναγνώριση των επιδράσεών τους στην ψηφιδωτή επιφάνεια.

2. Με βάση τις πληροφορίες που λήφθηκαν από την τεκμηρίωση, επιλέχθηκαν και τα κατάλληλα υλικά για τις επεμβάσεις συντήρησης.

3. Μετά την περάτωση των επεμβάσεων μελέτης και συντήρησης διαμορφώθηκε ένα πλάνο περιοδικού ελέγχου, έτσι ώστε να είναι συνεχόμενος ο έλεγχος διατήρησης της κατάστασης του μνημείου, μετά την συντήρηση.

1.3. Μεθοδολογία

Η μελέτη συντήρησης του ψηφιδωτού δαπέδου στον κήπο του Ζαπείου, αφορά μια διερεύνηση των υλικών κατασκευής του μνημείου, του χώρου στον οποίο βρίσκονται, καθώς και των συνθηκών που επιδρούν σε αυτό. Καταγράφοντας και λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω δεδομένα, αποφασίστηκαν τα υλικά και οι εργασίες συντήρησης που θα λάμβαναν χώρα. Όλη αυτή η διερεύνηση, επιτεύχθηκε μέσω της εφαρμογής της μεθοδολογίας εργασιών, σύμφωνα με την οποία ταξινομήθηκαν σε σειρά, όλα τα στάδια που ακολουθήθηκαν.

Συγκεκριμένα, στην αρχή των εργασιών, πραγματοποιήθηκε η τεκμηρίωση του ψηφιδωτού δαπέδου με τη χρήση φωτογραμμετρίας και λήφθηκαν φωτογραφίες σε τρεις φάσεις: πριν και μετά τον καθαρισμό, καθώς και κατά την διάρκεια της μελέτης του. Η διαδικασία της φωτογραμμετρίας, υλοποιήθηκε σε όλη τη διάρκεια των επεμβάσεων, από την αρχή μέχρι το τέλος τους. Μέσω των αποτελεσμάτων της φωτογραμμετρίας, δημιουργήθηκε μια συνολική εικόνα του δαπέδου και σε αυτή αποτυπώθηκε η κατάσταση διατήρησης του μνημείου. Δηλαδή χαρτογραφήθηκαν με τη σειρά: η αρχική κατάσταση διατήρησης (φερτά υλικά), η παθολογία, τα λιμνάζοντα νερά, οι διάφορες φάσεις των φυτών σε συγκεκριμένους μήνες, οι προηγούμενες επεμβάσεις και τέλος οι μεταγενέστερες.

Αφού καταγράφηκαν οι φθορές του ψηφιδωτού, εφαρμόστηκαν ορισμένοι μέθοδοι καθαρισμού με μηχανικά και χημικά μέσα, ώστε να απομακρυνθούν οι επικαθίσεις. Στην πλέον καθαρή επιφάνεια του ψηφιδωτού, διεξάχθηκαν έρευνες και μελέτες για την εύρεση στοιχείων που υπάρχουν στα υποστρώματα, αλλά και για την εξακρίβωση των υλικών κατασκευής.

Τέλος, μελετήθηκε και καταγράφηκε η σχετική υγρασία, με το υγρόμετρο μικροκυμάτων, για την μέτρηση της ποσότητας της υγρασίας σε χ βάθος. Με βάση τα νέα στοιχεία σχεδιάστηκαν και καινούργιοι χάρτες.

Κεφάλαιο 2: Ιστορικά στοιχεία και Περιγραφή

2.1. Ιστορικά στοιχεία

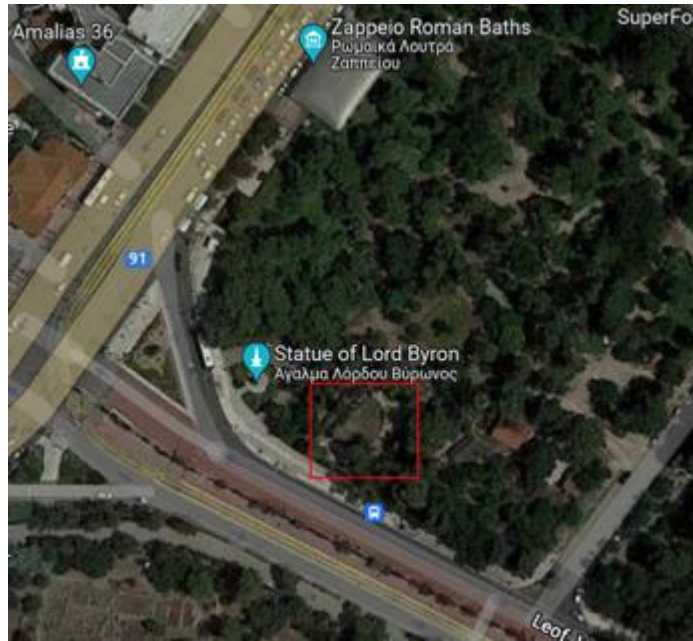
Το ψηφιδωτό βρίσκεται μέσα στον κήπο του Ζάππειου και πιο συγκεκριμένα στη διασταύρωση Βασιλίσσης Όλγας και Βασιλίσσης Αμαλίας, δίπλα από το άγαλμα του λόρδου Βύρωνα. Το 1840-1845, ζητήθηκε από τον Γάλλο κηποτέχνη Φρανσουά Λουί Μπαρώ και τον γεωπόνο Φρειδερίκο Σμιθ, να διαμορφώσουν τον κήπο του Ζάππειου, όπως και έγινε. Το 1852, ο Μπαρώ τέλειωσε τα σχέδια για την ανάπλαση του κήπου και ενώ είχαν ξεκινήσει οι εργασίες, ανακαλύφθηκαν αρχαιολογικά ευρήματα. Ένα από αυτά ήταν το Υστερορωμαϊκό ψηφιδωτό του κήπου του Ζαππείου (Χωρέμη χ.η.). Συγκεκριμένα, η ανασκαφή του χώρου, στον οποίο βρέθηκε το ψηφιδωτό, ξεκίνησε στις 8 Ιουνίου το 1889, ενώ σύμφωνα με έγγραφα της εποχής, είχε αρχίσει να φανερώνεται από τα εδάφη μια κατασκευή «μεγίστου και ιδιοσχήμου οικοδομήματος, των μετά Χριστού Ρωμαϊκών χρόνων», που είχε «ερειπωθεί πρόπαλαι» και είχε υποστεί πολλές μετασκευές. Το δάπεδο της ρωμαϊκής βίλας, τελικά καταχώθηκε (Φίλιος 1889 σ.9).

Αναλυτικότερα, στην ευρύτερη περιοχή του Ζαππείου, ανακαλύφθηκε ένα οικιστικό σύνολο, το οποίο αποτελούσε την επέκταση της πόλης των Αθηνών, προς τα ανατολικά, κατά τη διάρκεια της ηγεμονίας του αυτοκράτορα Αδριανού. Αυτή η νέα συνοικία, ονομάστηκε Ανδριανούπολις ή Νέαι Αθήναι και καταλάμβανε την σημερινή περιοχή του Ζαππείου-Εθνικού Κήπου-Συντάγματος, ενώ σε αυτή συμπεριλαμβάνονταν και το Ολυμπίο. Το νέο προάστιο, αποτελούσε ένα από τα ομορφότερα της Αθήνας, στο οποίο υπήρχαν γυμνάσια, βαλανεία και πολυτελείς επαύλεις με πλούσια ψηφιδωτά δάπεδα (Χωρέμη χ.η.). Το συγκεκριμένο ψηφιδωτό δάπεδο του Ζαππείου, πιθανότατα να αποτελεί

ένα διακοσμητικό δάπεδο μιας ρωμαϊκής έπαυλης. Ο χώρος στον οποίο βρίσκεται, δομήθηκε στα Ρωμαϊκά χρόνια την περίοδο του Ανδριανού 124-125 μ.Χ., ενώ τα διακοσμητικά σχέδια του δαπέδου, τα οποία είναι κυρίως γεωμετρικά, όπως πλοχμοί, κομβία σταυρικά σχέδια, ρόμβοι κ.α. τοποθετούν το ψηφιδωτό στην Πρωτοχριστιανική περίοδο (Φίλιος 1889 σ.14) (33-330 μ.Χ.), η οποία αποκαλείται συνάμα και Υστερορωμαϊκή περίοδος (Μουρελάτος 2012 σ.2).

2.2. Περιγραφή του ψηφιδωτού

Το ψηφιδωτό δάπεδο βρίσκεται επί της λεωφόρου Βασιλίσσης Όλγας και της λεωφόρου Βασιλίσσης Αμαλίας, πίσω από το άγαλμα του Λόρδου Βύρωνα, στον κήπο του Ζαπείου Μεγάρου. Πρόκειται για έναν διάδρομο ακτίνας 25,55m και πλάτους 4,10m, ο οποίος εντάσσεται σε έναν ημικυκλικό χώρο με περιστύλιο (Ασημακοπούλου-Ατζάκα κ.ά. 1987). Ο διάδρομος αποτελεί μέρος ενός Ρωμαϊκού συγκροτήματος, ο οποίος είναι κοσμημένος με ψηφιδωτό δάπεδο από λίθινες και κυρίως μαρμάρινες ψηφίδες διάφορων χρωμάτων (Βενάκη 2017 σ.2). Η ψηφιδωτή επιφάνεια δε διασώζεται σε όλη την έκταση του διαδρόμου. Το μεγαλύτερο μέρος του ψηφιδωτού που βρίσκεται στο μέσο του, απουσιάζει πλήρως. Το δάπεδο περιβάλλεται σε όλο το μήκος του από τεχνητά επεξεργασμένους μαρμάρινους λίθους, που έχουν κυρίως ορθογώνιο σχήμα.



Εικόνα 1. Η τοποθεσία του ψηφιδωτού στο Ζάππειο (© 2022 CNES / Airbus, Maxar Technologies, Map data © 2022).

2.2.1. Οργάνωση του διακοσμητικού θέματος (περιγραφή οργάνωσης σχεδίου, μοτίβα, στυλ ψηφοθέτησης, μέγεθος ψηφίδων)

Η διακόσμηση του συγκεκριμένου ψηφιδωτού δαπέδου αποτελείται από τρία βασικά θέματα, τα οποία εντάσσονται μέσα σε ορθογώνια πλαίσια. Τα βασικά διακοσμητικά θέματα πλαισιώνονται από ταινία λευκού χρώματος, στην οποία απεικονίζονται ελισσόμενα κισσόφυλλα. Ο ελισσόμενος βλαστός με φύλλα κισσού χρησιμοποιείται σε περιμετρικές ζώνες. Το φύλλο κισσού μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μόνο του ως κόσμημα σε διάφορες συνθέσεις παρ' όλο που συνήθως παρατηρείται σε συνθέσεις πλέγματος (Ασημακοπούλου-Ατζάκα κ.ά. 1988 σ. 155), όπως και στο συγκεκριμένο ψηφιδωτό. Επιπροσθέτως, τα βασικά θέματα, τα οποία απεικονίζονται μέσα στα ορθογώνια πλαίσια, είναι γεωμετρικά σχήματα και δεν απεικονίζουν κάποια συγκεκριμένη παράσταση. Στις δυο άκρες, στα δυτικά του δαπέδου παρουσιάζεται κοινότυπη παρουσία του θέματος. Το θέμα αυτό περικλείεται από μία λευκή ταινία και ξεκινάει μια οριζόντια ταινία με φολιδωτή διακόσμηση, στην οποία εναλλάσσονται τα χρώματα μεταξύ άσπρου, φαιοκίανου και ρόδινου.



Εικόνα 2. Διακόσμηση με σηρικούς τροχούς και ελλείψεις.

Το μοτίβο αυτό χρησιμοποιείται και σε πίνακες, όπως στο κεντρικό θέμα στο ψηφιδωτό του Ζάππειου, αλλά μπορεί να εμφανιστεί και σε περιμετρικές ζώνες, όπως στην αρχή της κόσμησης στις δύο άκρες του ψηφιδωτού. Η κατασκευή αυτού του διακοσμητικού σχεδίου βασίζεται σε κάθετους και οριζόντιους άξονες και σε σημεία από τα οποία με σχοινί ή διαβήτη επιτυγχανόταν η χάραξη τόξων, κύκλων και γενικά καμπυλοειδών σχημάτων.

Στη συνέχεια, απεικονίζεται το κεντρικό μοτίβο αυτού του θέματος, το οποίο απαρτίζεται από αλυσιδωτούς πλοχμούς, τους οποίους χαρακτηρίζει μια πιο ελικοειδής διαμόρφωση. Μέσα σε αυτούς τους πλοχμούς εναλλάσσονται ταινίες άσπρου, ρόδινου, μαύρου και φαιοκύανου χρώματος. Στην προέκταση των ταινιών αυτών δημιουργούνται σηρικοί τροχοί, ελλείψεις και κοιλόμορφα τετράγωνα, τα οποία συνδέονται μέσω αυτών των σηρικών τροχών. Η δημιουργία του προκύπτει από ένα σύστημα οριζόντιων και κάθετων σημείων, τα οποία ορίζουν τους κύκλους και τους σηρικούς τροχούς. Το συγκεκριμένο μοτίβο χρησιμοποιείται τόσο σε περιμετρικές ζώνες όσο και σε πίνακες που βρίσκονται στο κέντρο (Χαραλάμπους 2012 σ. 305).



Εικόνα 3. Κόμβος του Σολομώντος.

Εν συνεχεία, μέσα στους κύκλους απεικονίζονται γεωμετρικά σχήματα διάφορων σχεδίων και μεγεθών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο κόμβος του Σολομώντος, ο οποίος παρουσιάζεται

ως κόσμημα. Η κατασκευή του βασίζεται πάνω στη χάραξη των κεντρικών γραμμών και στον ορισμό του ημικυκλίου με καρφιά και ανάλογο μήκος σχοινιών (Χαραλάμπους 2012 σσ.304-305).

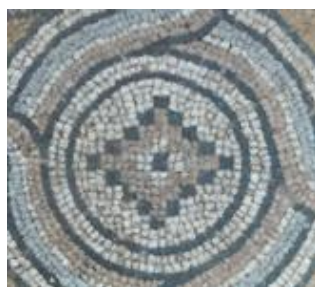
Παρουσιάζονται, επιπλέον, μέσα στους κύκλους και άλλα γεωμετρικά σχήματα, τα οποία χρησιμοποιούνται ως κοσμήματα. Οι χαρακτηριστικές τους παραστάσεις συνίστανται από ανθέμια, σταυρικά σχέδια, ρόμβους και πυροστρόβιλους. Κατ' αρχάς, τα ανθέμια, αποτελούνται από μία σειρά ομόκεντρων κύκλων ανάλογα πάντα με τον τύπο. Ακολούθως, τα σταυρικά σχέδια, αφορούν γεωμετρικά σχήματα, όπου διαμορφώνονται ανάλογα οι χρωματιστές ταινίες και σχηματίζουν σταυροειδή μοτίβα, ενώ διαγώνια τετράγωνα αποδίδουν τη γεωμετρία των ρόμβων. Τέλος, το πυροστρόβιλο, όπου πρόκειται για ένα μοτίβο, το οποίο ξεκινάει από το κεντρικό μέρος του κύκλου, επιμηκύνεται προς το εξωτερικό και δίνει, έτσι, την εντύπωση της κίνησης (Χαραλάμπους 2017 σσ. 305-311).



Εικόνα 4. Κόσμημα ανθέμιου.



Εικόνα 5. Κόσμημα σταυρικού σχεδίου.



Εικόνα 6. Κόσμημα ρόμβου.



Εικόνα 7. Κόσμημα πυροστρόβιλου.

Όπως προαναφέρθηκε στη νοτιοανατολική πλευρά του δαπέδου, δηλαδή στο κεντρικό τμήμα της σύνθεσης, αναπαρίσταται στο μεσαίο ορθογώνιο πλαίσιο η φολιδωτή διακόσμηση. Στο σημείο η φολιδωτή διακόσμηση έχει φορά από τα δεξιά προς στα αριστερά. Στο δεξί μέρος, λοιπόν, οι φολίδες είναι πολλές και μικρού μεγέθους, συνεχίζοντας όμως το σχέδιο προς τα αριστερά, το μέγεθός τους αυξάνεται και αραιώνουν μεταξύ τους.



Εικόνα 8. Η φολιδωτή σύνθεση στο κεντρικό ορθογώνιο πλαίσιο.

Στην παρακάτω φωτογραφία απεικονίζεται η φολιδωτή διακόσμηση, όπου μπορεί κανείς να διακρίνει την κλιμάκωση τριών μεγεθών: μεγάλο, μεσαίο και μικρό. Στην άνω γωνία, αριστερά, κάτω από τα ελίσσόμενα κισσόφυλλα, το μέγεθος τους είναι μεγάλο, ενώ σταδιακά εξελίσσεται σε μεσαίο και καταλήγει να μικραίνει. Η διάμετρος της μεγάλης φολίδας είναι 29 cm, της

μεσαίας το μέγεθος είναι από 15-19 cm, ενώ οι μικρές φολίδες έχουν μεγέθη 11, 13 και 14 cm αντίστοιχα.



Εικόνα 9. Οι φολίδες μεγάλου μεγέθους.



Εικόνα 10. Οι φολίδες μεσαίου μεγέθους.

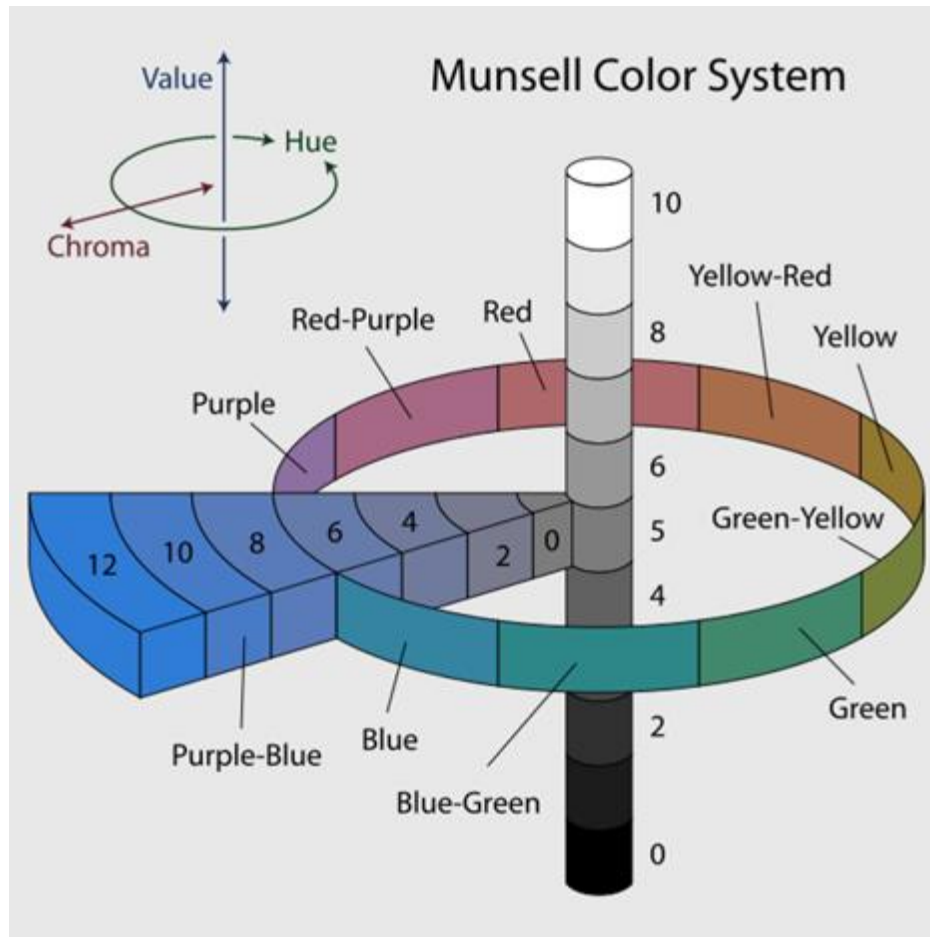


Εικόνα 11. Οι φολίδες μικρού μεγέθους.

2.2.2. Χρωματολόγιο (περιγραφή χρωμάτων, χαρακτηρισμός με κλίμακα Munsell)

Το σύστημα χρωματισμού Munsell είναι ένα διάγραμμα που περιγράφει μια χρωματική κλίμακα και μέσω της συγκεκριμένης κλίμακας μπορεί να επιτευχθεί με ακρίβεια ο προσδιορισμός του χρώματος μεσαίων έως λεπτόκοκκων πετρωμάτων. Το διάγραμμα αυτό έχει σχεδιαστεί προκειμένου να καλυφθεί το φάσμα των βασικών ορυκτών, που σχηματίζουν πετρώματα, όπως ο χαλαζίας, ο άστριος, η μαρμαρυγία και ο κεροστίλβης (hornblende).

Ο αριθμός και το εύρος των χρωμάτων στο Rock-Color Chart είναι βασισμένο σε μελέτες περισσότερων από 1.300 επιλεγμένων δειγμάτων. Προκειμένου να ταυτοποιηθεί το χρώμα ενός λίθινου δείγματος, συγκρίνεται το πέτρωμα με την κλίμακα Munsell. Συνήθως έχει διαπιστωθεί, ότι ένα βρεγμένο δείγμα λίθου απλώς μειώνει την τιμή της κλίμακας, δηλαδή κάνει το δείγμα πιο σκούρο, αλλά δεν αλλάζει το χρώμα του. Αντίστοιχα, το Rock-Color γράφημα περιλαμβάνει χρώματα όσο το δυνατόν περισσότερο στο σκοτεινό εύρος με τη σειρά για την κάλυψη υγρών δειγμάτων καθώς και ξηρών. Αυτό είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της χρωματικής ακρίβειας στο σύστημα σημειογραφίας που χρησιμοποιείται στο γράφημα. Για περισσότερα χρώματα ο πίνακας θα χρησιμεύσει τόσο για υγρό όσο για στεγνό δείγμα (Munsell Color 2009 p.3). Η θέση κάθε φύλλου χρώματος καθορίζεται από τις μετρούμενες κλίμακες απόχρωσης, τιμής και χρώματος. Οι κλίμακες αυτές παρέχουν μια εκφραστική σημειογραφία, που γίνεται από τα πέντε αρχικά χρώματα με τους συνδυασμούς τους και τους δέκα αραβικούς αριθμούς. Η κλίμακα της απόχρωσης είναι μια ακολουθία από κόκκινο (R), κίτρινο-κόκκινο (YR), κίτρινο (Y), πράσινο-κίτρινο (GY), πράσινο (G), μπλε-πράσινο (BG), μπλε (B), μωβ -μπλε (PB), μωβ (P) και κόκκινο-μωβ (RP). Οι πέντε κύριες αποχρώσεις είναι αισθητές σε ενδιάμεσες κατά δέκα βήματα, εκ των οποίων το μεσαίο ή το πέμπτο βήμα είναι χαρακτηριστικό αυτής της απόχρωσης. Η κλίμακα των τιμών είναι επίσης δεκαδική από το 0 (μαύρο χρώμα) έως το 10 (λευκό χρώμα) και η κλίμακα των χρωμάτων είναι παρόμοια από το 0 (ουδέτερο γκρι) έως το 10 (ισχυρότερη σταθερή χρωστική ουσία που έχει ληφθεί μέχρι στιγμής) (Munsell 1915 p.3).



Εικόνα 12. Ο τρόπος λειτουργίας του διαγράμματος χρωμάτων Munsell. (© Rus 2007 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Munsell-system.svg>)

Οι αποχρώσεις των χρωμάτων με τους αντίστοιχους κωδικούς τους σχηματίζουν ένα έγχρωμο Άτλα, ο οποίος αποτελείται από διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται τμήματα του ακανόνιστου χρώματος σε μια σταθερή κλίμακα. Η κλίμακα αυτή έχει φτιαχτεί με ίσα δεκαδικά τμήματα. Οποιαδήποτε τμήματα πρέπει να παρουσιάζουν κανονικές κλίμακες του φωτός και τη δύναμη της χρωστικής. Οριζόντιες τομές παρουσιάζουν κάποιο διάγραμμα ή μια ομοιόμορφη τιμή σε δέκα ακτίνες αποχρώσεων αυξανόμενου χρώματος από το κοινό ουδέτερο κέντρο έως το μέγιστο σημείο της χρωστικής. Οι ομόκεντροι κύκλοι περιέχουν ίσα χρώματα σε όλες τις ακτίνες. Κάθε μια από τις αποχρώσεις είναι σε δέκα στάδια από μαύρο έως λευκό και σε δέκα στάδια από το ουδέτερο γκρι (Munsell 1912 pp. 241-242). Τα χρώματα που εμφανίζονται στους πίνακες χρωμάτων, είναι σταθερής απόχρωσης που υποδεικνύονται με ένα σύμβολο στην επάνω δεξιά γωνία της κλίμακας. Κάθετα, τα χρώματα γίνονται διαδοχικά πιο ανοιχτά από το κάτω μέρος προς το επάνω μέρος της κλίμακας.

Με βάση τη κλίμακα “Munsell rock color chart” συγκρίθηκαν δείγματα βρεγμένων περιοχών ψηφίδων για να εντοπιστεί το ακριβές χρώμα των ψηφίδων. Η σύγκριση έγινε σε όσες ψηφίδες εντοπίστηκε διαφορετική απόχρωση και χρειάστηκε νέα μέτρηση. Εν κατακλείδι, τα χρώματα που παρατηρούνται στο ψηφιδωτό με βάση την κλίμακα Munsell είναι τα εξής:

- 1) Med. Dark gray
- 2) Light gray
- 3) Grayish orange 10YR 7/4
- 4) Grayish orange pink 5YR 7/2
- 5) White



Εικόνα 13.. Ταυτοποίηση χρώματος ψηφίδας ως Med. Dark gray



Εικόνα 14. Ταυτοποίηση χρώματος ψηφίδα Light gray



Εικόνα 15. Ταυτοποίηση χρώματος ψηφίδας Grayish orange pink 5YR 7/2



Εικόνα 16.. Ταυτοποίηση χρώματος ψηφίδας Grayish orange 10YR 7/4



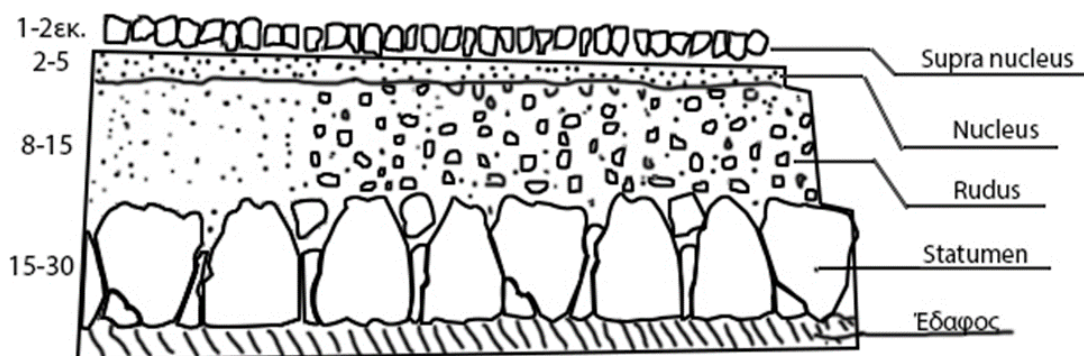
Εικόνα 17. Οι περιοχές μελέτης των χρωμάτων στις οποίες έχει γίνει διαβροχή.

2.2.3. Στρωματογραφία:

Η δόμηση των ψηφιδωτών δαπέδων παρουσιάζει μια ποικιλομορφία και διαφέρει ανάλογα με τη χρονική περίοδο και τη γεωγραφική περιοχή. Πιο συγκεκριμένα, για τα ψηφιδωτά των ρωμαϊκών χρόνων παρατηρείται να κυριαρχεί μια κοινότυπη στρωματογραφία. Να σημειωθεί παρενθετικά στο σημείο αυτό, ότι έχουν διασωθεί πληροφορίες για τη δόμηση των δαπέδων, ήδη από την αρχαιότητα, από τον Ρωμαίο αρχιτέκτονα Βιτρούβιο (80-15 π.Χ.).

Κατά τα ρωμαϊκά χρόνια, η στρωματογραφία των ψηφιδωτών δαπέδων αποτελούνταν από τέσσερα έως πέντε στρώματα. Ξεκινώντας από τα κατώτερα, η κατασκευή του ψηφιδωτού έχει ως εξής: Αρχικά, σκαβόταν το έδαφος σε βάθος 0,5-1m, πραγματοποιούνταν η διαβροχή του, στη συνέχεια το συμπιέζαν και τέλος το ίσιωναν (Caldeira *et al.* 2019 p.4, Πάχτα 2005 σ.67). Επάνω σε αυτό το προετοιμασμένο έδαφος ξεκινούσε η στρωματογραφία των επάλληλων στρωμάτων της υποδομής των ψηφιδωτών ως εξής:

1. Statumen: Πρόκειται για το κατώτερο στρώμα, το οποίο συνηθίζεται να έχει πάχος 15-30 cm και αποτελείται από τούβλα τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο και πέτρες ή θρυμματισμένες ή στη φυσική τους μορφή. Αυτό το στρώμα αποκαλείται λιθοδομή ή θεμέλιο χωρίς συνθετικό υλικό.
2. Rudus: Πρόκειται για το δεύτερο στρώμα, το οποίο έχει πάχος 8-15 cm και επικαλύπτει το statumen. Η σύνθεσή του αποτελείται από ασβέστη, άμμο -ποταμίσις ή θαλάσσης πλυμένη- βότσαλα ή διάφορες ποζολάνες.
3. Nucleus: Πρόκειται για το τρίτο στρώμα με πάχος 2-5 cm. Το υπόστρωμα αυτό περιείχε συνήθως τα ίδια υλικά με το στρώμα rudus, αλλά πιο λεπτόκοκκα. Τα υλικά είναι: ασβέστης, άμμος, θρυμματισμένο χονδρόκοκκο τούβλο και ποζολάνη.
4. Supra Nucleus: Αποτελεί το τέταρτο στρώμα με πάχος 0,5-2 cm και παράγεται από ασβέστη, άμμο, μαρμαρόσκονη, κεραμάλευρο, λεπτόκοκκη ποζολάνη και από σκέτη γύψο (Φτίκου 2016 σ.7, Παπαρηγοπούλου 2018 σ.20, ICCROM 1983 p. 38, Roby *et al.* 2013 p.2, Caldeira 2019 p.4, Chlouveraki *et al.* 2021 p.2, Bassier 1977 pp.67-68).



Εικόνα 18. Αποτύπωση στρωματογραφίας ρωμαϊκών ψηφιδωτών. Ψηφιακή αποτύπωση βασισμένη σε [(Φτίκου 2016 σσ. 6-7), (ICROM 1983 p. 38), (Alberti et al. 2013 p.2), (Caldeira 2019 p.4), (Chlouveraki et al. 2021 p.2), (Bassier 1977 pp.67-68)]

2.2.4. Τεχνολογία κατασκευής

Όπως προαναφέρθηκε το ψηφιδωτό δάπεδο του Ζαπείου χρονολογείται κατά την Υστερορωμαϊκή και Πρωτοχριστιανική περίοδο. Στην διάρκεια αυτής της περιόδου και συγκεκριμένα από τον 3^ο αι. π.Χ. και αργότερα είχε αρχίσει να δημιουργείται μια νέα τεχνική του ψηφιδωτού, η οποία ονομάζεται *opus tessellatum* και η οποία χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο ψηφιδωτό του Ζαπείου. Πρόκειται για μια συνηθισμένη τεχνική των αρχαίων λιθοστρωμάτων (Ασημακοπούλου-Ατζάκα 2003 σ.17). Το κύριο χαρακτηριστικό της είναι η χρήση μικρών σε μέγεθος στοιχείων (συνήθως πλάτους 5 έως 20 mm), τοποθετημένα σε σειρές που ονομάζονται ψηφίδες. Έχουν κυβικό σχήμα, που συνήθως είναι ορθογώνιο ή τετράγωνο (Καπελιάρη 1989 σ.28) και κόβονται με το χέρι. Το επάνω στρώμα ενός ψηφιδωτού που περιέχει ψηφίδες ονομάζεται *tessellatum* (Χαραλάμπους 2012 σ.127, Roby et al. 2013 p.1). Η νέα τεχνική, δηλαδή η *opus tessellatum*, αποδέσμευσε τους ψηφοθέτες από τους περιορισμούς ως προς το χρώμα αλλά και ως προς το σχήμα, με αποτέλεσμα να φέρουν το ψηφιδωτό πλησιέστερα προς τις λεπτές διακυμάνσεις της ζωγραφικής. Γενικότερα, όσες αλλαγές έχουν εφαρμοστεί στην τεχνική του ψηφιδωτού συνδέονται με τις διάφορες αντιλήψεις που προκύπτουν σε συγκεκριμένα γεωγραφικά, χρονικά και ιδεολογικά πλαίσια (Ασημακοπούλου-Ατζάκα 2003 σσ.20-23).



Εικόνα 19. Τεχνική *opus tessellatum*. (© Getty, 2013)



Εικόνα 20. Τεχνική *opus tessellatum* στο ψηφιδωτό του Ζαπείου.

Συνήθως, οι ψηφίδες προέρχονται τόσο από φυσικά υλικά (πέτρες, μάρμαρα, κοράλλι, ημιπολύτιμους λίθους, κοχύλια κ.α.), όσο και από τεχνητά (κεραμικό, υαλόμαζα, σμάλτο κ.α.). Πιο συγκεκριμένα, στο ψηφιδωτό δάπεδο του Ζαπείου, οι ψηφίδες του είναι κατά κόρον κατασκευασμένες από φυσικά υλικά, και ειδικά λίθους. Οι ψηφίδες κόβονται σε διαστάσεις που τροποποιούνται ανάλογα με την περίπτωση, τις ανάγκες του χώρου, την οικονομική και αισθητική κατάσταση του εντολοδόχου. Η τοποθέτηση επάλληλων ψηφίδων δημιουργεί όλη τη σύνθεση, χαρίζοντάς της τα απαραίτητα χαρακτηριστικά για να αποδοθεί σωστά το έργο (Χαραλάμπους 2012 σ.126). Οι ψηφίδες στη συνέχεια, τοποθετούνται σε υπόστρωμα ενός κονιάματος με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η συνοχή μεταξύ τους και να εξασφαλίζεται η διατήρηση αλλά και η αντοχή του στο χρόνο (Χαραλάμπους 2012 σ.126, Πανσελήνου 2008 σ.11).



Εικόνα 21. 1.Σιδερένιο εργαλείο κοπής ψηφίδων, 2.Σιδερένιο στέλεχος τριγωνικής διατομής εκτονώνονται οι δυνάμεις που ασκούνται κατά την κοπή της ψηφίδας, 3. Απεικόνισή της πλάγιας όψης του σιδερένιου στελέχους. (©Αθηναίτου-Ζαχαροπούλου)

Τα κονιάματα αποτελούν ένα βασικό δομικό στοιχείο των ψηφιδωτών και εξυπηρετούν τόσο την υποστήριξη της ψηφιδωτής επιφάνειας όσο και τη συνένωση των ψηφίδων μεταξύ τους. Αποτελούνται από ένα μείγμα συνδετικού υλικού, το οποίο αποκαλείται κονία, σε συνδυασμό με ένα ή περισσότερα αδρανή υλικά, μερικά ακόμα πρόσθετα υλικά και νερό (Κολέφας 1983 σ.45). Στη συνέχεια, παρατηρείται η διάκριση των συνδετικών υλικών, ανάλογα με την πήξη τους στο νερό και στον αέρα: σε υδραυλικές κονίες (υδραυλική άσβεστος), δηλαδή αυτά που έχουν την ικανότητα να πήζουν και να σκληραίνουν με την παρουσία υγρασίας και σε αερικές κονίες, οι οποίες πήζουν και σκληραίνουν στον αέρα (Κολέφας 1983 σ.46, Roby *et al.* 2013 p.92, Φτίκου 2016 σσ.8-9). Επιπρόσθετα, τα αδρανή υλικά προσδίδουν σκληρότητα και βοηθούν στη μείωση της συρρίκνωσης του κονιάματος (Roby *et al.* 2013 p.95). Εν τέλει, τα πρόσθετα υλικά συνήθως είναι δραστικά υλικά που οφείλονται στην ανόργανη και οργανική τους φύση και ο βασικός τους ρόλος είναι να βελτιώνουν τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των κονιαμάτων.

Αναλυτικότερα όσον αφορά τα αδρανή υλικά, αναφέρεται, ότι αποτελούνται από λεπτόκοκκα ή χονδρόκοκκα υλικά, που συνθέτουν τα κονιάματα. Τα λεπτόκοκκα υλικά, με τη σειρά τους, αποτελούνται από άμμο (ποταμίσια, θαλασσινή ή λατομείου, ασβεστολιθικής, η χαλαζιακής σύστασης), ενώ τα χονδρόκοκκα υλικά απαρτίζονται από θραύσματα πετρωμάτων, θραύσματα κεραμικού κ.ά. (Φτίκου 2016 σ.9).

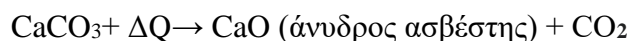
Εν συνεχεία, όσον αφορά τα πρόσθετα υλικά, ειδικότερα, επισημαίνεται, ότι αφορούν υλικά οργανικής και ανόργανης φύσης, που εφαρμόζονται για τη βελτίωση των ιδιοτήτων των κονιαμάτων. Στην κατηγορία των ανόργανων πρόσθετων υλικών ανήκουν κυρίως οι ποζολάνες, οι οποίες διακρίνονται: σε τεχνητές και φυσικές. Όσον αφορά τις τεχνητές, εκεί, κατατάσσονται τα θραυσμένα κεραμικά, πλίνθοι κ.α. Σε αντίθεση με τις φυσικές ποζολάνες, οι οποίες είναι ηφαιστειακής προέλευσης.

Πιο συγκεκριμένα, η ποζολάνη είναι ένα αργιλοπυριτικό υλικό, το οποίο δεν έχει υδραυλικές ιδιότητες, όταν ωστόσο βρεθεί σε λεπτοαλεσμένη μορφή αντιδρά με το Ca(OH)_2 παρουσία ύδατος και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος σχηματίζει ενώσεις με υδραυλικές ιδιότητες. Η δραστηριότητα της ποζολάνης οφείλεται στην παρουσία υαλώδους φάσης στο υλικό, ενώ η μικροδομή της εξαρτάται από την αρχική σύνθεση του αργιλοπυριτικού υλικού, την υψηλή θερμοκρασία που είναι εκτεταμένη αλλά και τον τρόπο ψύξης του (Cerny *et al.* 2005 849-850).

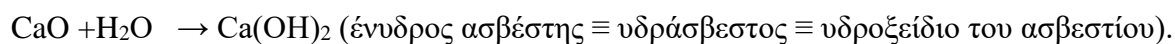
Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός κονιάματος είναι οι εξής:

Ασβέστης:

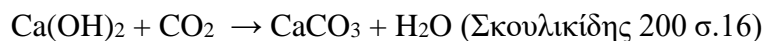
Είναι ένα από τα βασικότερα συνδετικά υλικά, που προέρχεται από το ψήσιμο των ασβεστόλιθων σε 800° με 125°C . Κατ' αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται η στερεά μορφή του οξειδίου του ασβεστίου. Η άσβεστος έχει μεγάλη συγγένεια με το νερό και όταν βρίσκεται εκτεθειμένη στον αέρα απορροφά υγρασία από το περιβάλλον με αποτέλεσμα να χάνει τη συνοχή της (Κολέφας 1983 σ.38). Επιπλέον, όταν θερμανθεί ο ασβεστόλιθος παράγεται το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), που είναι ορυκτό πέτρωμα:



Με το νερό μετατρέπεται σε Ca(OH)_2 :



Με το CO_2 της ατμόσφαιρας, το Ca(OH)_2 μετατρέπεται ξανά σε CaCO_3 :



Θηραϊκή γη:

Τα κονιάματα με θηραϊκή γη είναι η δεύτερη βασική συνδετική ύλη. Πρόκειται για ένα ηφαιστειογενές πέτρωμα, του οποίου το υαλώδες υλικό, που περιέχει έχει την ιδιότητα να αντιδρά με τον ασβέστη και το νερό σε θερμοκρασία δωματίου, σχηματίζοντας μια σκληρή μάζα με κύριο χαρακτηριστικό την ικανότητα απορρόφησης ύδατος (Torraca 2009 p.55). Το κονίαμα αυτό αποτελείται μέχρι 70% από διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και μέχρι 15% από οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3). Η θηραϊκή γη είναι κατασκευασμένη από ηφαιστειογενή υλικά και λόγω της θερμοκρασίας και της εκτίναξης της από τα ηφαίστεια, χάνει την αρχική της υγρασία. Οπότε κατά την παραγωγή του κονιάματος και την ένωση της με το νερό οι κρύσταλλοί της αποκτούν υγρασία ξανά (Χαραλάμπους 2012 σ.134).

Άμμος:

Η άμμος είναι το τρίτο συνδετικό υλικό, το οποίο προέρχεται από τη συσσώρευση ορυκτών ή πετρωμάτων σε μικρούς κόκκους. Η άμμος έχει την τάση να κάνει το κονίαμα πορώδες, με αποτέλεσμα να επιτρέπεται η απορρόφηση διοξειδίου του άνθρακα για να απολιθώνεται ο ασβέστης. Η άμμος ως αδρανές υλικό αλλά και ο ασβέστης ως κονία, είναι απαραίτητες ύλες για την παραγωγή και την αντοχή ενός κονιάματος, έχουν την ικανότητα να αποδίδουν στο κονίαμα πορώδες με στόχο να γίνεται η διευκόλυνση απορρόφησης του διοξειδίου του άνθρακα για να απολιθώνεται. Η χαλαζιακή άμμος παράγεται σε ορυχεία, η αρχική της μορφή περιέχει άργιλο και φυτικές ουσίες για αυτό το λόγο πρέπει να πλένεται καλά πριν την χρήση της και να στεγνώνετε καλά. Ακόμη δεν πρέπει να περιέχει ξένες προσμίξεις, γιατί έχει την ικανότητα να προκαλέσει ρηγματώσεις στο κονίαμα.

Σημαντικός παράγοντας για την διαμόρφωση των ιδιοτήτων του κονιάματος είναι η κοκκομετρία του υλικού η οποία καθορίζει τις ιδιότητες του (Χαραλάμπους 2012 σσ.133-134).

Κεραμίδι-Κουρασάνι:

Το κουρασάνι είναι το τέταρτο συνδετικό υλικό και παράγεται από την κονιορτοποίηση κεραμικών, δηλαδή ψημένη άργιλο. Έχει και προσφέρει επιπλέον υδραυλικές ιδιότητες και χρησιμοποιείται για την δημιουργία λεπτόκοκκων κονιαμάτων (Κολέφας 1983 σ.42).

Κεφάλαιο 3: Προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης και εκπαιδευτικές δραστηριότητες στο χώρο

Το 2013 πραγματοποιήθηκαν εργασίες συντήρησης στο ψηφιδωτό δάπεδο του Ζαπείου. Πρόκειται για τον πέμπτο συνεχόμενο χειμώνα, οπότε το ψηφιδωτό είναι εκτεθειμένο στις καιρικές συνθήκες αλλά και προσβάσιμο για το κοινό. Σε αυτό το διάστημα παρατηρήθηκε, ότι χρήζει επιφανειακού καθαρισμού από βρύα που έχουν αναπτυχθεί σε αυτό αλλά ακόμα πολύ σημαντική κρίνεται και η ανάγκη επεμβάσεων στερέωσης κατά τόπους. Μετά τις επεμβάσεις αυτές η γενική του κατάσταση θα θεωρείται σχετικά καλή. Επιπλέον, το 2013 καθιερώθηκε η πραγματοποίηση επιφανειακού σκουπίσματος με συχνότητα, δύο φορές περίπου το μήνα.

Εν συνεχεία, την άνοιξη του 2015 διεξήχθη ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα της Εφορίας Αρχαιοτήτων στο χώρο του μνημείου. Να σημειωθεί, ότι μέχρι τότε λάμβανε χώρα το επιφανειακό σκούπισμα του ψηφιδωτού, όμως λίγο πριν τη διεξαγωγή του προγράμματος έγινε πιο επιστάμενος επιφανειακός καθαρισμός από ομάδα συντηρητών. Συνάμα, την ίδια χρονιά τοποθετήθηκε και μεταλλικό κιγκλίδωμα στο άνοιγμα επί της οδού Βασιλίσσης Όλγας με σκοπό την οριοθέτηση του μνημείου και τη μείωση προσβασιμότητας στο κοινό, ώστε να μειωθούν οι πιθανότητες φθοράς από τη διέλευση πεζών. Επιπρόσθετα, το 2015 δεν εφαρμόστηκε καμία εργασία συντήρησης στο μνημείο (Βενάκη 2017 σ.5) .

Από τον Ιούνιο μέχρι και τον Αύγουστο του 2018 η τριμελής ομάδα Μαργαρίτα Βενάκη, Άννα Μητσάνη, Ιωάννα Μονεμβασιού και επικουρικά η Ελένη Καρατσώκη πραγματοποίησαν επαναληπτικές εργασίες σωστικής συντήρησης στο ψηφιδωτό δάπεδο . Την περίοδο αυτήν, έχουν υλοποιηθεί συνολικά δύο είδη εργασιών: εργασίες εξωραϊσμού και εργασίες συντήρησης.

Πιο συγκεκριμένα, οι εργασίες εξωραϊσμού του περιβάλλοντα χώρου πραγματοποιήθηκαν από τους υπαλλήλους του κήπου του Ζαπείου και αφορούν το κλάδεμα φυτών και την απομάκρυνση κλαδιών που επαναλήφθηκαν τρεις φορές κατά το διάστημα αυτό. Επιπλέον, μέσα στο πλαίσιο των διεργασιών του εξωραϊσμού του χώρου διεξάχθηκε συλλογή και απομάκρυνση απορριμμάτων, πευκοβελόνων, κομμένων χόρτων, φυτών, φύλλων, χώματος και άλλων φερτών υλικών, με σκοπό την εκκαθάριση της ψηφιδωτής επιφάνειας και του κονιάματος από τους συντηρητές.

Μετά από αυτές τις εργασίες πραγματοποιήθηκαν και κάποιες εργασίες συντήρησης, όπως η διαβροχή του ψηφιδωτού, ένας ελαφρύς μηχανικός καθαρισμός του δαπέδου άλλα και η απομάκρυνση του λιμνάζοντος νερού. Παρακάτω, πραγματοποιήθηκε η αφαίρεση των μεγάλων ριζών με μικρά εργαλεία και ύστερα έγινε η διάβροχη του σημείου με αραιό διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) 10-15%. Ακολούθησε ένας πολύ ελαφρύς επιφανειακός καθαρισμός των ψηφίδων από τα χώματα (με την χρήση βούρτσας). Ωστόσο, αποφεύχθηκε ο επιφανειακός, ξηρός μηχανικός καθαρισμός, διότι αυτό θα δημιουργούσε νέα επιφάνεια φθοράς στο δάπεδο.

Στη συνέχεια, υλοποιήθηκε ο καθαρισμός των αρμών από τα βρύα, το σαθρό κονίαμα και το χώμα, με μηχανικό τρόπο ενώ σε συγκεκριμένα σημεία, που κρίθηκε απαραίτητο, χρησιμοποιήθηκε υπεροξείδιο του υδρογόνου 10-15%. Η διαδικασία συνεχίστηκε με την επανατοποθέτηση των αποκολλημένων ψηφίδων άλλα και αυτών που συλλέχθηκαν από τον περιβάλλοντα χώρο και έπειτα έγινε η αποκατάσταση μιας μικρής καθίζησης και αρμολόγημα με νέο υλικό 1/3 συνδετικού προς αδρανές αποτελούμενο από υδραυλική άσβεστο (Chaux Blanche), χαλαζιακή άμμο, θηραϊκή γη σε αναλογία κατ' όγκο 1,2,1, αντίστοιχα. Κατόπιν, πραγματοποιήθηκε ενεμάτωση σε επιλεγμένα σημεία, γιατί διαπιστώθηκαν κενά στο υπόστρωμα. Η ενεμάτωση εφαρμόστηκε με υδραυλική άσβεστο και θηραϊκή γη σε τάλκη. Τέλος, πραγματοποιήθηκε ο εξωραϊσμός του στεφανώματος, άλλα και του κονιάματος μέσω συμπληρώσεων στις απώλειες (Βενάκη κ.ά. 2018 σσ.1-2).

Επεμβάσεις συντήρησης:

- 2013: Επιφανειακός καθαρισμός και στερεώσεις κατά τόπους.
- 2013-2017: Συστηματικό επιφανειακό σκούπισμα (δυο φορές τον μήνα).
- 2015: Επιστάμενος επιφανειακός καθαρισμός.
- 2018: ➡ Εργασίες εξωραϊσμού: Κλάδεμα φυτών και απομάκρυνση κλαδιών, απορριμμάτων και φερτών υλικών από την επιφάνεια του ψηφιδωτού.
➡ Εργασίες συντήρησης:
 - ❧ Διαβροχή και μηχανικός καθαρισμός ψηφιδωτού και αφαίρεση λιμναζόντων υδάτων.
 - ❧ Αφαίρεση μεγάλων ριζών και διαβροχή του σημείου H₂O₂ 10-15%.
 - ❧ Επιφανειακός μηχανικός καθαρισμός με βούρτσα και χημικός καθαρισμός αρμών με H₂O₂ 10-15%.
 - ❧ Επανατοποθέτηση αποκολλημένων ψηφίδων, αποκατάσταση μικρής καθίζησης και αρμολόγημα με νέο υλικό.
 - ❧ Ενεμάτωση σε επιλεγμένα σημεία, εξωραϊσμός της περιμετρικής στερέωσης και συμπληρώσεις στις απώλειες.

Αποτίμηση επεμβάσεων:

- 2013: Με το πέρας των επεμβάσεων η κατάσταση του ψηφιδωτού ήταν καλή, όμως σήμερα το μεγαλύτερο μέρος του παρουσιάζει βιολογική επικάλυψη.
- 2015: Η επιφάνεια του μνημείου διατηρείται σε μέτρια κατάσταση, υπάρχουν επικαθίσεις βιολογικές και φερτών υλικών.
- 2018: Η διατήρηση του ψηφιδωτού είναι σε μέτρια κατάσταση. Αποσάθρωση στεφανωμάτων και μικρό ρωγματώσεις των κονιαμάτων συμπλήρωσης, παρ' όλο αυτά

διατηρούνται στο χώρο. Συνέχιση και επέκταση λιμναζόντων νερών και επικαθίσεων φερτών υλικών και συνεχόμενη βιολογική ανάπτυξη.

Κεφάλαιο 4: Τεκμηρίωση της κατάστασης διατήρησης

4.1. Φωτογραμμετρία

Η Φωτογραμμετρία αναφέρεται σε μια μέθοδο βασισμένη στην τεχνολογία, με πάνω από έναν αιώνα ιστορίας και εξέλιξης (Linder 2006 p.1) και αφορά την ανάκτηση αξιόπιστης πληροφορίας για αρχιτεκτονικά μνημεία αλλά και κινητά ευρήματα. Πρόκειται για μια ιδιαίτερη μέθοδο και εστιάζει στον προσδιορισμό των διαστάσεων με την χρήση φωτογραφιών. Ουσιαστικά, χρησιμοποιεί την συλλογή τρισδιάστατων πληροφοριών για αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως και για πληροφορίες υφής (Yastikli 2007 pp.423-424).

Η τεχνική της φωτογραμμετρίας, βασίζεται στην απόκτηση αυτών των αξιόπιστων μετρητικών πληροφοριών για τον προσδιορισμό των φυσικών αντικειμένων και του περιβάλλοντός τους. Η απόκτηση μετρητικών πληροφοριών πραγματοποιείται μέσω της διαδικασίας καταγραφής μετρήσεων και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων, προτύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα σημεία σε μια επιφάνεια αντικειμένου προσδιορίζονται με βάση τις επικαλυπτόμενες εικόνες σε συνδυασμό με πληροφορίες θέσης, αλλά και τον προσανατολισμό της κάμερας.

Βασικά πλεονεκτήματα της φωτογραμμετρίας είναι η δημιουργία χαρτών τρισδιάστατων αντικειμένων με ιδιαίτερα γρήγορο και αποτελεσματικό τρόπο. Επιπλέον, η φωτογραμμετρία δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη εμποδίων στην επιφάνεια του αντικειμένου προς αποτύπωση. Τέλος, είναι μια από τις πιο οικονομικές και εύχρηστες μεθόδους αποτύπωσης. Η φωτογραμμετρία έχει ως

σκοπό την αποτύπωση του φυσικού αντικειμένου και, έτσι, μπορεί να αποδοθεί ως μια συνεχή απεικόνιση (Fangi 2009 pp.1, 3-4).

Κατά την πραγματοποίηση της λήψης φωτογραφιών σημαντικό ρόλο παίζει: ο φωτισμός, η ώρα της μέρας, ο αριθμός φωτογραφιών, ο αριθμός καταγεγραμμένων λεπτομερειών, τα ιεραρχημένα στοιχεία και το πεδίο κάλυψης. Ένας επιπλέον παράγοντας, ο οποίος διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο για την ορθή φωτογράφιση είναι ο προσανατολισμός της κάμερας. Η μέθοδος χρησιμοποιεί πολλαπλές φωτογραφίες για την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων, προκειμένου να ληφθούν ακριβείς μετρήσεις από ένα τοπίο ή ένα αντικείμενο. Μόλις χρησιμοποιηθούν οι καταγεγραμμένες πληροφορίες μπορεί να σχηματιστεί το τρισδιάστατο μοντέλο και να ολοκληρωθεί η χαρτογράφηση του επιλεγμένου χώρου. Τα σημεία που έχουν φωτογραφηθεί σε μια επιφάνεια αντικειμένου προσδιορίζονται με βάση τις επικαλυπτόμενες εικόνες σε συνδυασμό με πληροφορίες θέσης αλλά και τον προσανατολισμό της κάμερας. Η τρισδιάστατη συντεταγμένη όλων των μετρημένων σημείων στην επικαλυπτόμενη περιοχή μιας εικόνας μπορεί να προσδιορίσει την σχέση μεταξύ των συντεταγμένων του αντικειμένου και της εικόνας (Yastikli 2007 p.423). Η φωτογραμμετρία χρησιμοποιεί ψηφιακές φωτογραφίες, υπολογιστές και ένα πολύπλοκο λογισμικό, ενώ οι ρίζες της βρίσκονται στην ανάπτυξη και κατανόηση της γραμμικής προοπτικής.

Στην περίπτωση ύπαρξης επίπεδου 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. 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. Η προβολή των πανοραμικών φωτογραφιών σχηματίζει το τελικό μοντέλο [(Wallace pp.26-30), (Fangi 2009 p. 1)]. 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 καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός των κοινών σημείων στο λογισμικό της φωτογραμμετρίας. Για το λόγο αυτό, όσο μεγαλύτερη είναι η επικάλυψη, τόσο ευκολότερο γίνεται για το λογισμικό να υπολογίζει τις σχέσεις μεταξύ των φωτογραφιών.



Εικόνες 22-23. Στιγμιότυπο από τη διαδικασία φωτογραμμετρίας στο πεδίο.

Η ποιότητα του φωτισμού παίζει σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματα της φωτογραμμετρικής μοντελοποίησης. Οι προτιμήσεις στο είδος του φωτισμού από τον χρήστη μπορεί να ποικίλουν σε μεγάλο βαθμό, ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα. Εάν, παραδείγματος χάριν, 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 στο 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 ηλίου. Συγκεκριμένα, με φυσικό φωτισμό κατά την ανατολή και την δύση του ηλίου, υπάρχει μια πιο σκιασμένη όψη του μνημείου, έτσι αναδεικνύεται το ανάγλυφο της επιφάνειας και υπάρχει ένας ομοιογενής φωτισμός σε αυτήν. Αντίθετα, σε συνθήκες με έντονο ηλιακό φως ορισμένες πληροφορίες δεν αποτυπώνονται στο λογισμικό (Wallace pp.26-30).

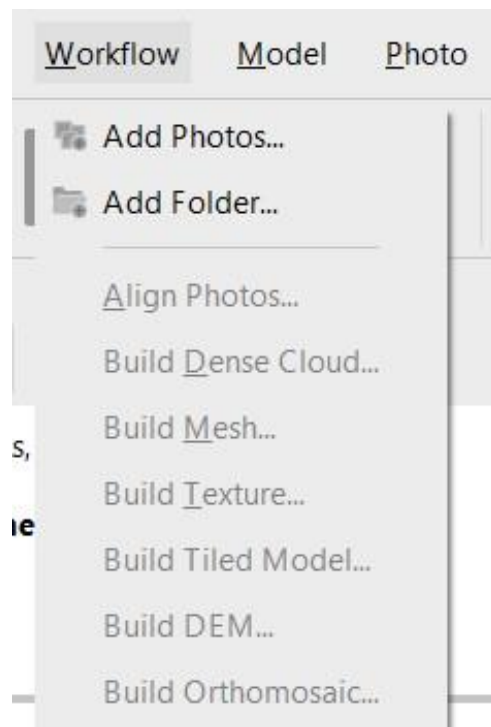
Η λήψη φωτογραφιών στο ψηφιδωτό δάπεδο του Ζαπείου υλοποιήθηκε σε τρεις φάσεις: πριν και μετά τον καθαρισμό από κοινές σκούπες και η τρίτη φάση στην οποία αποτυπώνεται η κατάσταση διατήρησης τους ψηφιδωτού κατά τους χειμερινούς μήνες και συγκεκριμένα το Δεκέμβριο. Ύστερα, οι φωτογραφίες επεξεργάστηκαν στο πρόγραμμα Agisoft Metashape, για την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου. Το πρόγραμμα αυτό είναι ένα λογισμικό που εκτελεί φωτογραμμετρική επεξεργασία ψηφιακών εικόνων και παράγει τρισδιάστατα χωρικά δεδομένα, που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές GIS, τεκμηρίωση πολιτιστικής κληρονομιάς και παραγωγή οπτικών εφέ καθώς και για έμμεσες μετρήσεις αντικειμένων διαφόρων κλιμάκων. Επιπρόσθετα, το λογισμικό επιτρέπει την

επεξεργασία εικόνων από RGB, θερμικές κάμερες συμπεριλαμβανόμενων συστημάτων πολλαπλών καμερών, σε χωρικές πληροφορίες με τη μορφή πυκνών σημειακών νεφών [(Agisoft LLC 2021 p.1), (Caldeira *et al.* 2019 p. 6)].

Στο συγκεκριμένο λογισμικό, δηλαδή το Agisoft έχουν εφαρμοστεί οι παρακάτω εντολές αρχικά έχουν προστεθεί οι φωτογραφίες και στην συνέχεια θα επεξηγηθούν τα βήματα που έχουν εφαρμοστεί ώστε να γίνει σωστά ένα φωτογραμμετρικό μοντέλο.

Align Photos: Η τοποθέτηση της κάμερας την ώρα λήψης φωτογραφιών χαρακτηρίζεται από εσωτερικές και εξωτερικές παραμέτρους προσανατολισμού. Οι εσωτερικοί παράμετροι αφορούν την εστιακή απόσταση της συντεταγμένες των σημείων λήψης και τους συντελεστές παραμόρφωσης του φακού. Όσο αφορά τις εξωτερικές παραμέτρους προσανατολισμού αυτές καθορίζουν την τοποθέτηση και τον προσανατολισμό της φωτογραφικής κάμερας.

- Build dense cloud: Επιτρέπει τη δημιουργία ενός πυκνού νέφους σημείων με βάση τις αναλυμένες εξωτερικές και εσωτερικές παραμέτρους προσανατολισμού εικόνας. Η εντολή αυτή βασίζεται σε εις βάθος αναλυμένους χάρτες οι οποίοι δημιουργούνται μέσω της πυκνής αντιστοίχισης στερεών σημείων. Αυτοί οι χάρτες υπολογίζουν τα επικαλυπτόμενα ζεύγη εικόνων λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές και εσωτερικές παραμέτρους προσανατολισμού.
- Build Mesh: Έχει την δυνατότητα να σχηματίσει το μοντέλο πολυγωνικού πλέγματος με βάση τις πληροφορίες νέφους σημείων.
- Build Texture: Έχει τη δυνατότητα να επιτρέπει τη δημιουργία διαφορετικών τύπων υφής για ένα μοντέλο.
- Building tiled model: Η μορφή ιεραρχικών μοτίβων (tiles) είναι μια καλή λύση για μοντελοποίηση σε κλίμακα αστικού τοπίου. Επιτρέπει την οπτικοποίηση τρισδιάστατων μοντέλων μεγάλης



Εικόνα 24. Τα στάδια σχηματοποίησης του μοντέλου όπως παρουσιάζονται μέσω της εφαρμογής του Agisoft.

κλίμακας σε υψηλή ανάλυση. Η εντολή αυτή δημιουργείται με βάση πυκνά νέφους σημείων με δεδομένα χαρτών σε βάθους.

- Build Dem: Είναι ένα ψηφιακό μοντέλο υψόμετρου, πρόκειται για ένα 2,5 διαστάσεων μοντέλου μιας επιφάνειας που αναπαρίσταται σε μια μορφή κανονικού πλέγματος, με τιμές ύψους που αποθηκεύονται ανά κάθε κελί του πλέγματος.
- Build Orthomosaic: Είναι μια συνδυασμένη εικόνα που δημιουργείται από την απρόσκοπτη συγχώνευση των αρχικών εικόνων που προβάλλονται στην επιφάνεια του αντικειμένου και μετασχηματίζεται στην επιλεγμένη προβολή. Ένα πολυγωνικό μοντέλο ή ένα ψηφιακό μοντέλου υψόμετρου (DEM) μπορεί να επιλεγθεί ως επιφάνεια όπου θα προβάλλονται οι εικόνες (Agisoft LLC 2021 p.27,33,35,38-40,44,46).



Εικόνα 25. Το φωτογραμμτρικό μοντέλο πριν από τον καθαρισμό.

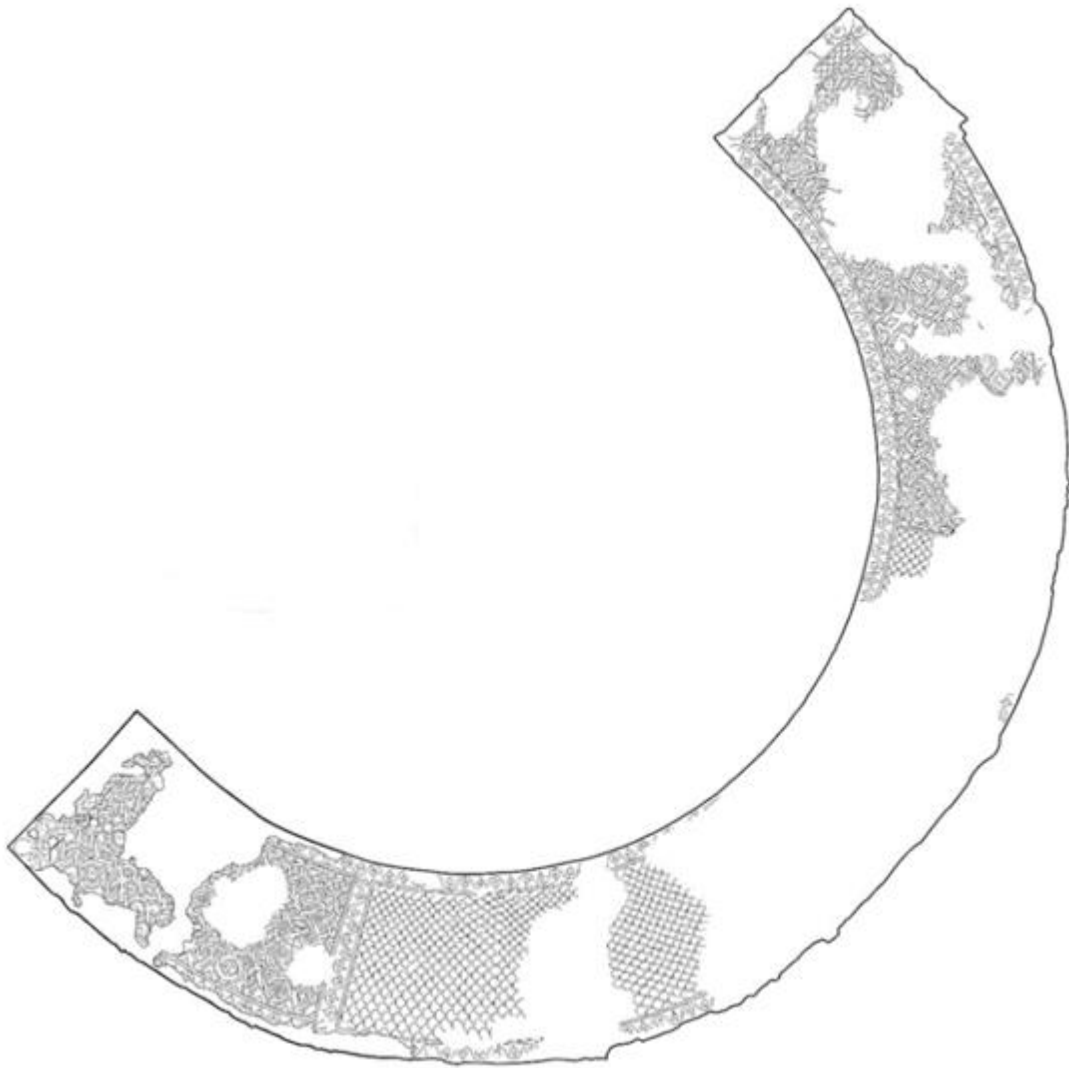


Εικόνα 26. Το μοντέλο της φωτογραμμετρίας του Ζαπτείου μετά τον καθαρισμό από κοινές σκούπες δαπέδου.

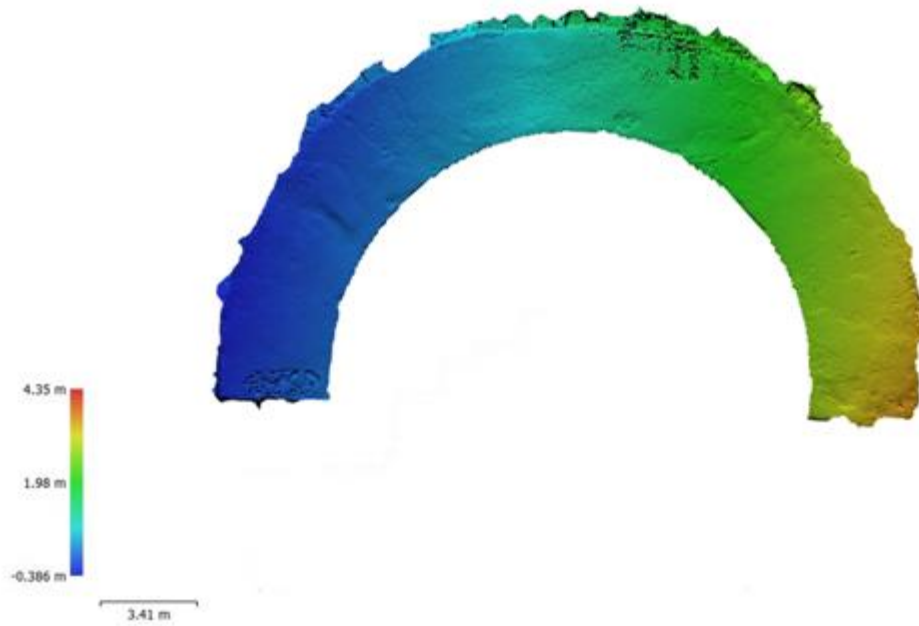


Εικόνα 27. Το φωτογραμμτρικό μοντέλο του Ζαπτείου κατά την περίοδο του χειμώνα.

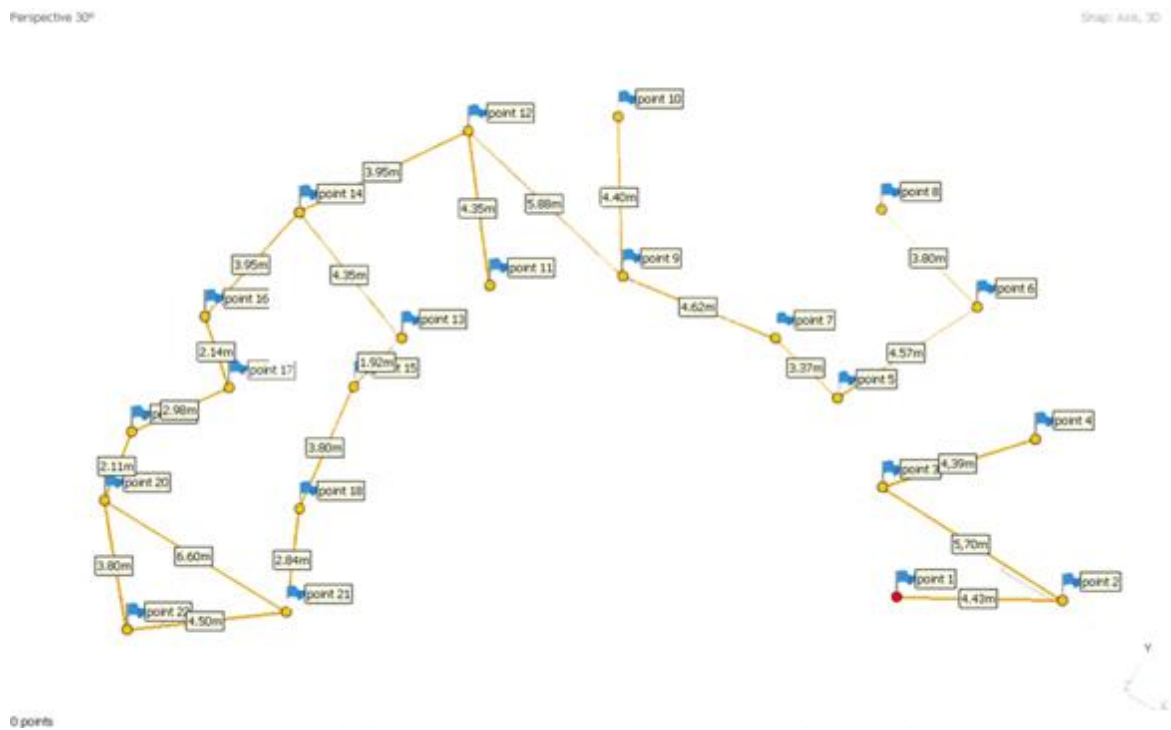
Με βάση τα τρισδιάστατα μοντέλα που σχηματοποιήθηκαν, υπήρξε πλέον μια ενοποιημένη εικόνα του ψηφιδωτού δαπέδου και μάλιστα στην αποτύπωση μετά τον επιφανειακό μηχανικό καθαρισμό, αναδείχθηκε η ψηφιδωτή επιφάνεια με τα διακοσμητικά θέματα. Η συγκεκριμένη τρισδιάστατη αποτύπωση αποτέλεσε ένα πρότυπο στο οποίο σχεδιάστηκε ψηφιακά ο χάρτης του ψηφιδωτού του Ζάππειου, με τα σωζόμενα διακοσμητικά θέματα. Έτσι γίνεται ακόμα πιο ξεκάθαρη η εικόνα της διασωζόμενης ψηφιδωτής επιφάνειας. Σε αυτόν τον χάρτη έγινε η σχεδιαστική τεκμηρίωση των επεμβάσεων, παθολογίας κ.λ.π., αποτέλεσε λοιπόν το νέο πρότυπο χαρτογράφησης και καθοδήγησης των επεμβάσεων.



Εικόνα 28. Σχεδιαστική γραμμική ψηφιακή αποτύπωση του ψηφιδωτού στο Ζάππειο.



Εικόνα 29. Το υψομετρικό μοντέλο (DEM) για την περίοδο του χειμώνα όπου έγινε με την χρήση του drone. Το drone διαθέτει και GPS οπότε αναγνωρίζει τα ύψη της περιοχής συγκριτικά με την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 30. Οι θέσεις των στόχων στο ψηφιδωτό και οι μετρήσεις τους από το κάθε στόχο.

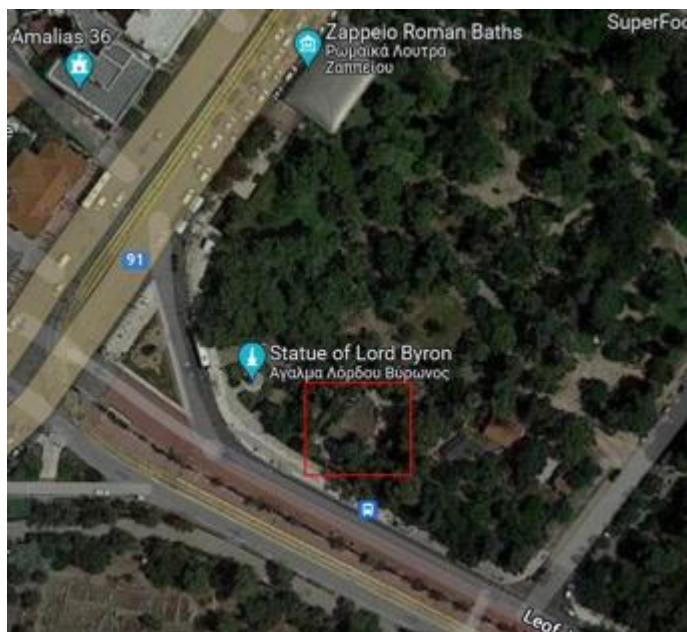
4.2. Παθολογία

Ο όρος παθολογία αφορά κάθε μηχανισμό διάβρωσης που λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια ενός μνημείου. Με τον όρο, διάβρωση, εννοείται η κάθε αυθόρμητη και κατ' επέκταση βεβιασμένη, χημικής, ηλεκτροχημικής, φυσικής, μηχανικής, βιολογικής φύσης διεργασία αλλοίωσης της επιφάνειας (εξωτερικής και εσωτερικής) των υλικών που οδηγεί σε απώλεια υλικού (Σκουλικίδης 2000 σ. 52).

Πιο συγκεκριμένα, η φθορά ενός ψηφιδωτού αναφέρεται στη διαδικασία μετασχηματισμού, που οδηγεί στη σταδιακή απώλειά του ή στην απώλεια των αρχικών ιδιοτήτων των υλικών. Τα φαινόμενα αυτά μπορούν να επηρεάσουν τη δομή του ψηφιδωτού, την επιφάνειά του, καθώς και τις επεμβάσεις συντήρησης, που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν. Οι αιτίες που ενεργοποιούν τους μηχανισμούς φθοράς ποικίλουν, παρ' όλο αυτά μπορεί ένας τύπος φθοράς να οφείλεται στην παρουσία αρκετών μηχανισμών διάβρωσης.

Οι παράγοντες φθοράς χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες: τους ενδογενείς και τους εξωγενείς. Οι ενδογενείς παράγοντες συσχετίζονται με την δομή και τις ιδιότητες των υλικών κατασκευής του ψηφιδωτού. Οι εξωγενείς παράγοντες από την άλλη, αφορούν τις περιβαλλοντικές συνθήκες, είτε αυτές επιδρούν σε ένα μεγάλο περιβάλλον, είτε περιορίζονται σε ένα μικροκλίμα. Επιπλέον, οι εξωγενείς παράγοντες αναφέρονται στις ανθρώπινες ενέργειες, είτε ως στοιχεία παραμέλησης, ως βανδαλισμός του μνημείου, είτε ως προγενέστερες επεμβάσεις συντήρησης. Αυτά τα φαινόμενα, είτε ως εξωγενή είτε ως ενδογενή, επηρεάζουν συνολικά το ψηφιδωτό με μια διαχρονικότητα, καταγράφοντας στην ιστορία του μνημείου όλα τα φαινόμενα, τα οποία έχουν επιδράσει σε αυτό, με την πάροδο των χρόνων. Αυτοί οι παράγοντες, πολλές φορές δρουν συνδυαστικά και προκαλούν κοινούς τύπους φθοράς (Chlouveraki 2018 p.1). Γι' αυτό το λόγο, στο συγκεκριμένο ψηφιδωτό η παθολογία κατηγοριοποιείται τόσο στις περιοχές όσο και στα υλικά που εκδηλώνονται. Οπότε οι φθορές θα κατηγοριοποιηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- α) παθολογία της επιφάνειας
- β) παθολογία του υποστρώματος
- γ) παθολογία των προηγούμενων επεμβάσεων



Εικόνα 31. Η τοποθεσία του ψηφιδωτού στο κήπο του Ζάππειου, κοντά στη συμβολή Λεωφόρου βασιλίσσης Αμαλίας και βασιλίσσης Ολγας. © 2022CNES.

Όπως προαναφέρθηκε, οι μηχανισμοί φθοράς προκαλούνται εξαιτίας της δράσης συνθηκών. Προτού όμως περιγράψουν τα είδη φθορών, είναι απαραίτητο να μελετηθούν, ενδελεχέστερα, οι αιτίες εκδήλωσής τους. Το είδος φθοράς, η έκτασή του και η τοποθεσία στην οποία εκδηλώνεται, εξαρτάται από τις συνθήκες που το προκαλούν. Επιπλέον, καθοριστικό ρόλο για την εμφάνιση συγκεκριμένων περιβαλλοντικών συνθηκών και την εκδήλωση ορισμένων φαινομένων φθοράς, διαδραματίζει η τοποθεσία του ψηφιδωτού. Ανάλογα με την τοποθεσία, διαμορφώνονται

διαφορετικές συνθήκες και προξενούνται ποικίλες φθορές. Έχει σημασία, δηλαδή, αν υπάρχει κοντά στο μνημείο βιομηχανική ζώνη, που επιβαρύνει τη ρύπανση, εάν γειτνιάζει με θαλασσίνη ατμόσφαιρα ή εάν εντοπίζεται σε αστικό περιβάλλον, στο οποίο μπορεί να υπάρχει και έντονη κυκλοφορία. Η τοποθεσία είναι εκείνη, λοιπόν, που επηρεάζει τη συχνότητα και τη δραστηριότητα των περιβαλλοντικών συνθηκών και κατ' επέκταση η ποιότητα της ατμόσφαιρας, που διαμορφώνεται και προωθεί διαφορετικούς μηχανισμούς φθοράς πάνω στην επιφάνεια των δομικών υλικών. Επομένως, η γεωγραφική θέση ενός μνημείου καθορίζει και το κλίμα, το οποίο επιδρά σε αυτό. Για παράδειγμα, ανάλογα με το αν το μνημείο βρίσκεται σε ξηρό κλίμα, η διατήρησή του παρουσιάζεται καλύτερη, σε σχέση με ένα περιβάλλον έντονων συνθηκών, όπου ή ένταση, η συχνότητα και η διάρκεια επίδρασης είναι μεγαλύτερη και τότε σημειώνεται ως αποτέλεσμα η εκτεταμένη υποβάθμισή του (Γεωργιάδου 2016 σσ.55-56).

Συνεχίζοντας στην ίδια ροή σκέψης, όσον αφορά την παθολογία, καθίσταται απαραίτητη, όπως ειπώθηκε προηγουμένως, η μελέτη, η παρατήρηση και η καταγραφή των εξωγενών παραγόντων, οι οποίοι αποτελούν και τις βασικότερες αιτίες της διάβρωσης ενός ψηφιδωτού μνημείου. Αναφέρεται ξανά, ως εξωτερικοί παράγοντες χαρακτηρίζονται: οι περιβαλλοντικές συνθήκες και ο ανθρώπινος παράγοντας. Αναλυτικότερα, οι περιβαλλοντικές συνθήκες αφορούν κατά κόρον το κλίμα ενός τόπου, δηλαδή τις καιρικές συνθήκες (βροχή, ήλιος, χιόνι, θερμοκρασία κ.λπ.), οι οποίες παίζουν

σημαντικό ρόλο σε ένα αρχιτεκτονικό μνημείο. Οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή αυτή, είναι ένας από τους κύριους περιβαλλοντικούς παράγοντες, που ρυθμίζουν την πρόκληση μηχανισμών φθοράς. Σε ορισμένα κλίματα, ο καιρός τροποποιείται συχνά και οι αλλαγές στις συνθήκες οδηγούν σε μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της υγρασίας κάθε μέρα, αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Όσο πιο σημαντικές, ξαφνικές και συχνές είναι αυτές οι αλλαγές, τόσο περισσότερο θα καταλήξουν στην αλλοίωση των συστατικών υλικών ενός ψηφιδωτού (ασβέστη, πέτρα κ.λπ.), μέσω διαφορετικών μηχανισμών. Αντίθετα, σε ένα πιο σταθερό κλίμα, αυτές οι διαφοροποιήσεις θα είναι λιγότερο δραστικές, πιο αργές και όχι τόσο συχνές, κατά συνέπεια τα ψηφιδωτά θα υποστούν λιγότερη φθορά (Roby *et al.* 2013 p.77) .

Ειδικότερα, οι παράγοντες ενός κλίματος επηρεάζουν την αποσάθρωση των πετρωμάτων και ακολούθως οι παράγοντες αυτοί εξαρτώνται από την ποσότητα και την ένταση των κατακρημνισμάτων. Εκτός από αυτές τις παραπάνω αιτιώδεις συνθήκες υπάρχουν κι άλλες που μπορούν να επηρεάσουν με έμμεσο τρόπο την αποσάθρωση ενός μνημείου όπως είναι: οι άνεμοι, η σχετική υγρασία και η ηλιοφάνεια (Αλιφραγκής 2008 σ.93).

Από τους σημαντικότερους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά τις επιφάνειες των λίθων και των κονιαμάτων, είναι η υγρασία. Ουσιαστικά, η υγρασία, αφορά την παρουσία του νερού υπό διάφορες μορφές στο ψηφιδωτό δάπεδο. Πιο συγκεκριμένα, η υγρασία σε ένα μνημείο, εμφανίζεται με διάφορους τρόπους: διεισδύει από το υπέδαφος, προσπίπτει στην επιφάνεια μέσω της βροχής, υπάρχει ως υδρατμός κ.α.. Εν γένει, κάθε τρόπος εμφάνισης νερού και επιρροής των τιμών υγρασίας στο μνημείο, προκαλεί και διαφορετικά είδη φθοράς, που εκδηλώνονται και σε διαφορετικά σημεία του ψηφιδωτού. Θα γίνει προσπάθεια προκειμένου να καταστεί αντιληπτό, λοιπόν, ότι το νερό αποτελεί έναν σημαντικό εξωγενή περιβαλλοντικό παράγοντα, που προκαλεί και εντείνει μηχανισμούς διάβρωσης για τις περισσότερες φυσικές και χημικές μεταβολές (Φτίκου 2016 σ.15), πάνω στις αρχιτεκτονικές επιφάνειες¹.

Το νερό έχει την τάση να εισχωρεί στα δομικά υλικά με τη βοήθεια της συμπύκνωσης των υδρατμών του αέρα, με τη διείσδυση του νερού της βροχής αλλά και με την εξέλιξη της τριχοειδούς αναρρίχησης. Η κυκλοφορία του νερού και το ποσοστό απορρόφησης που διαθέτει κάθε υλικό

¹ Κυρίως πρόκειται για τις εξής αρχιτεκτονικές επιφάνειες: πέτρα, μάρμαρο αλλά και τα τεχνητά υλικά (κονιάματα).

ξεχωριστά, καθορίζονται από το πορώδες και την υγροσκοπικότητα τους. Ως παράγοντας επιδρά στους μηχανισμούς φθοράς είτε άμεσα ή και έμμεσα (Camuffo 1995 pp.3-4), ενώ η δράση του μπορεί να είναι χημική, φυσική ή συνδυαστική.

Επιπρόσθετα, ο καταλυτικός του ρόλος κρίνεται και από το ότι ελέγχει τη μεταφορά, την κρυστάλλωση, την αποκρυστάλλωση και την ενυδάτωση των αλάτων μέσα στο υλικό, όταν υπάρχει διαφορά του συντελεστή διαστολής του από την στερεά (πάγος) και υγρή κατάσταση, όπου γίνεται εισαγωγή εσωτερικών μηχανικών τάσεων μέσα στο υλικό με αποτέλεσμα την κατάρρευσή του. Όλα τα δομικά υλικά προσροφούν και αποβάλλουν υγρασία. Κι όπως είναι φυσικό, αυξάνεται η περιεκτικότητά τους σε νερό εφόσον αυτό εισχωρήσει εντός των δομικών υλικών μέσω της τριχοειδούς αναρρίχησης, της υψηλής RH και της βροχής (Caneva *et al.* 1991 pp.10-11).

Οι περισσότερες μεταβολές σε αυτά αναπτύσσονται κατά την αποβολή της υγρασίας, δηλαδή την εξάτμιση του νερού. Η εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια ενός πορώδους υλικού, οφείλεται κυρίως στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Συγκεκριμένα, στη σχετική υγρασία, στη θερμοκρασία, αλλά και στην ταχύτητα του αέρα που περνά από την επιφάνεια. Αναλόγως τις μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών το νερό έχει την τάση να μετακινείται αργά ή γρήγορα προς την επιφάνεια, επιφέροντας μείωση ή αύξηση του ποσοστού εξάτμισης.

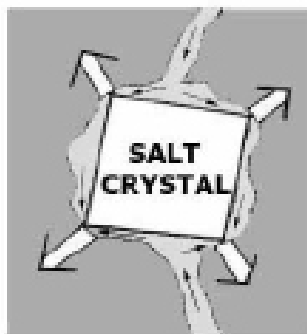
Ακόμα, το νερό συμβάλλει παθητικά στις χημικές αντιδράσεις με τους ρύπους της ατμόσφαιρας, ενώ μπορεί να δρα ως ενεργός παράγοντας στην οξειδωτική δράση του οξυγόνου. Στη συνέχεια, επιδρά άμεσα στην αλλοίωση που οφείλεται σε παράγοντες βιολογικούς, ως σημαντικό συστατικό των φυτικών και ζωικών τροφών (Φτίκου 2016 σσ.15-16, Caneva *et al.* 1991 pp.10-11).

Συγκεκριμένα, στο ψηφιδωτό του Ζαπείου, η υγρασία εντείνει τους μηχανισμούς διάβρωσης κατά την διάρκεια όλου του χρόνου, με την παρουσία της υγρασίας μέσω της τριχοειδούς αναρρίχησης. Πιο αναλυτικά, σε διάφορα εδάφη θεμελίωσης, όπου υπάρχουν υπόγεια νερά, ποτάμια, λίμνες ή ακόμη και θάλασσες, το νερό εισέρχεται μέσα στους τριχοειδείς πόρους. Το νερό καταφέρνει και διεισδύει με τριχοειδή αναρρίχηση όσο ισχύει η κατάσταση, που οι δυνάμεις συνάφειας προς τα τοιχώματα των τριχοειδών θεωρούνται ισχυρότερες από τις δυνάμεις συνοχής μεταξύ των μορίων του νερού (Γεωργιάδου 2016 σ.58).

Το νερό λόγω της πολικής του φύσης έχει την τάση να έλκεται από υδρόφιλες επιφάνειες και λόγω αυτής της έλξης κυλάει στις ρωγμές, όπου τα τοιχώματα είναι υδρόφιλα. Εισέρχεται εύκολα μέσα στους υδρόφιλους πόρους και καθώς η άνοδος του νερού είναι μεγαλύτερη στους πόρους του λίθου (αγγεία) όπου και παρατηρείται οι πόροι να είναι τόσο λεπτοί σαν τριχοειδή αγγεία, εμφανίζεται το φαινόμενο που ονομάζεται τριχοειδής

αναρρίχηση (Torraca 2009 p.81). Ουσιαστικά, η τριχοειδής αναρρίχηση, αφορά την άνοδο του νερού από το έδαφος προς στην επιφάνεια ενός ψηφιδωτού, όπου και εν τέλει εξατμίζεται από τον ξηρό αέρα. Το αναρριχώμενο νερό, προέρχεται από τη βροχή με την οποία έχει κορεστεί το έδαφος ή από έναν εμποτισμό κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Η κίνηση

αυτή του νερού συμβαίνει συνεχώς, όταν ένα ψηφιδωτό είναι εκτεθειμένο στον αέρα μετά την ανασκαφή. Το νερό, εκείνο, που εξατμίζεται στο επίπεδο του εδάφους πάνω στις ψηφιδωτές επιφάνειες προκαλεί φθορές (Roby *et al.* 2013 p.79).



very rapid
crystallization
in a large pore
subefflorescence

Εικόνα 32. Σχεδιαστική αναπαράσταση της κρυπτοεξάνθησης στο εσωτερικό των δομικών υλικών. © (Torraca 2009 p.85)

Ο βασικός λόγος για τον οποίο η εξάτμιση του νερού είναι ιδιαίτερα δραστική σε αρχιτεκτονικές επιφάνειες, είναι η κρυστάλλωση αλάτων. Σε ένα πορώδες υλικό, στο οποίο υπάρχει υγρασία η κρυστάλλωση διαλυμένων αλάτων που το ίδιο περιέχει, προκαλεί τη σταδιακή αποσάθρωσή του. Όπως και στην περίπτωση του παγετού, έτσι, και η ανάπτυξη των κρυστάλλων άλατος μπορεί να πραγματοποιηθεί στο εσωτερικό των μεγάλων πόρων. Μέσα σε ένα σύστημα πόρων, ένα διάλυμα άλατος που χάνει νερό από την εξάτμιση δεν κρυσταλλώνεται αμέσως, αλλά μόλις φθάσει στη συγκέντρωση κορεσμού. Αυτό συμβαίνει, επειδή τα ιόντα που έλκονται στις πολικές επιφάνειες του υδρόφιλου υλικού, τείνουν να αντιστέκονται στον μετασχηματισμό μια νέας θέσης για να σχηματίσουν έναν κρυσταλλικό πυρήνα. Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται ένα υπερκορεσμένο διάλυμα μέσα στους πόρους και, έτσι, η κρυστάλλωσή του μπορεί να προκαλέσει κάποιο τυχαίο γεγονός που ακολούθως να λάβει θέση σε ένα υλικό, με ταχύτητα και περισσότερη δύναμη, που θα προκαλέσει φθορά στο υλικό. Εάν η κρυστάλλωση λάβει θέση πάνω σε μια επιφάνεια, εάν ακολουθεί την κανονική της πορεία και εάν είναι απίθανο να προκαλέσει τάσεις και φθορές με τους κρυστάλλους αλατιού, τότε σχηματίζεται η εξάνθηση αλάτων. Η εσωτερική ανάπτυξη των κρυστάλλων, η οποία είναι και η πιο δραστική διαδικασία ονομάζεται κρυπτοεξάνθηση.

Στην πραγματικότητα, και οι δυο διαδικασίες θεωρούνται συχνά φαινόμενα στην δομή ιστορικών κτιρίων και αρχαιολογικών ερειπίων, ενώ η επικράτηση της μιας διαδικασίας έναντι της άλλης καθορίζεται κυρίως από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι συνθήκες, αυτές, που ευνοούν μια αργή εξάτμιση από μια υγρή πορώδη δομή αποτυπώνονται μέσω της χαμηλής έως μέτριας θερμοκρασίας, μέτριας προς υψηλής σχετικής υγρασίας και της χαμηλής ταχύτητας του αέρα. Από κοινού τα φαινόμενα αυτά οδηγούν στην κατάσταση της εξάνθησης. Βέβαια, σε πιο ήπιες και ελεγχόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες γίνεται πιο συχνά εξάνθηση αλάτων και δεν προκαλούνται εσωτερικές φθορές. Σε αντίθεση, με πιο απότομες και δριμείς συνθήκες, το νερό εξατμίζεται απότομα και τα άλατα δεν προλαβαίνουν να μεταφερθούν στη επιφάνεια, τότε η ανάπτυξη των κρυστάλλων άλατος γίνεται βεβιασμένα στο εσωτερικό των πετρωμάτων.

Στους ιζηματογενείς λίθους το νερό μεταδίδεται κυρίως μέσα από τα στρώματα και τις φλεβώσεις των ορυκτών, που είναι πλουσιότερα σε πόρους κι όταν τα στρώματα αυτά είναι στην επιφάνεια τότε εμφανίζεται και η κρυστάλλωση (Torraca 2009 pp.85-87). Συγκεκριμένα, ο ασβεστόλιθος ως ένα ιζηματογενές πέτρωμα έχει την τάση να υπόκειται σε συχνούς μηχανισμούς φθοράς, που προκαλούνται από την παρουσία υγρασίας. Έτσι, διαλύεται από το νερό της βροχής σε συνδυασμό με το διοξείδιο του άνθρακα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα.

Επιπλέον, η όξινη βροχή είναι ένα ακόμα απειλητικό φαινόμενο κατά το οποίο μεταφέρονται όξινα στοιχεία από το νερό της βροχής και σε συνδυασμό με την τριχοειδή αναρρίχηση, που είναι στο εσωτερικό των δομικών υλικών, προξενούνται επιβλαβείς επιπτώσεις σε αυτά. Η τριχοειδής αναρρίχηση, όπως προαναφέρθηκε, οδηγεί την υγρασία προς τα πάνω, με αποτέλεσμα να εκδηλώνονται διαβρωτικοί παράγοντες στη δομή του ψηφιδωτού. Τα άλατα που δημιουργούνται από την υγρασία επιφέρουν επιπλέον επιπτώσεις με αποτέλεσμα την καταστροφή των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των υλικών (Gupta 2013 pp.577-578). Επίσης, η υγρασία επηρεάζει, έντονα τις βιολογικές αναπτύξεις. Αυτό το φαινόμενο εντείνεται περισσότερο, όταν αυξάνεται η διάρκεια ή η συχνότητα της παρουσίας υψηλών τιμών υγρασίας. Τότε είναι που η επίδραση των βιολογικών οργανισμών γίνεται επιθετική σε ένα μνημείο. Γενικότερα, κατά τη διάρκεια του χρόνου, όταν η πέτρα διατηρείται υγρή, συμβαίνουν χημικές αντιδράσεις μεταξύ των εναποτιθέμενων ρύπων και την πέτρας (Camuffo 1995 p.4).



Εικόνα 33. Περιοχή με λιμνάζοντα νερά από την πλευρά στην οδό Βασιλίσσης Όλγας.

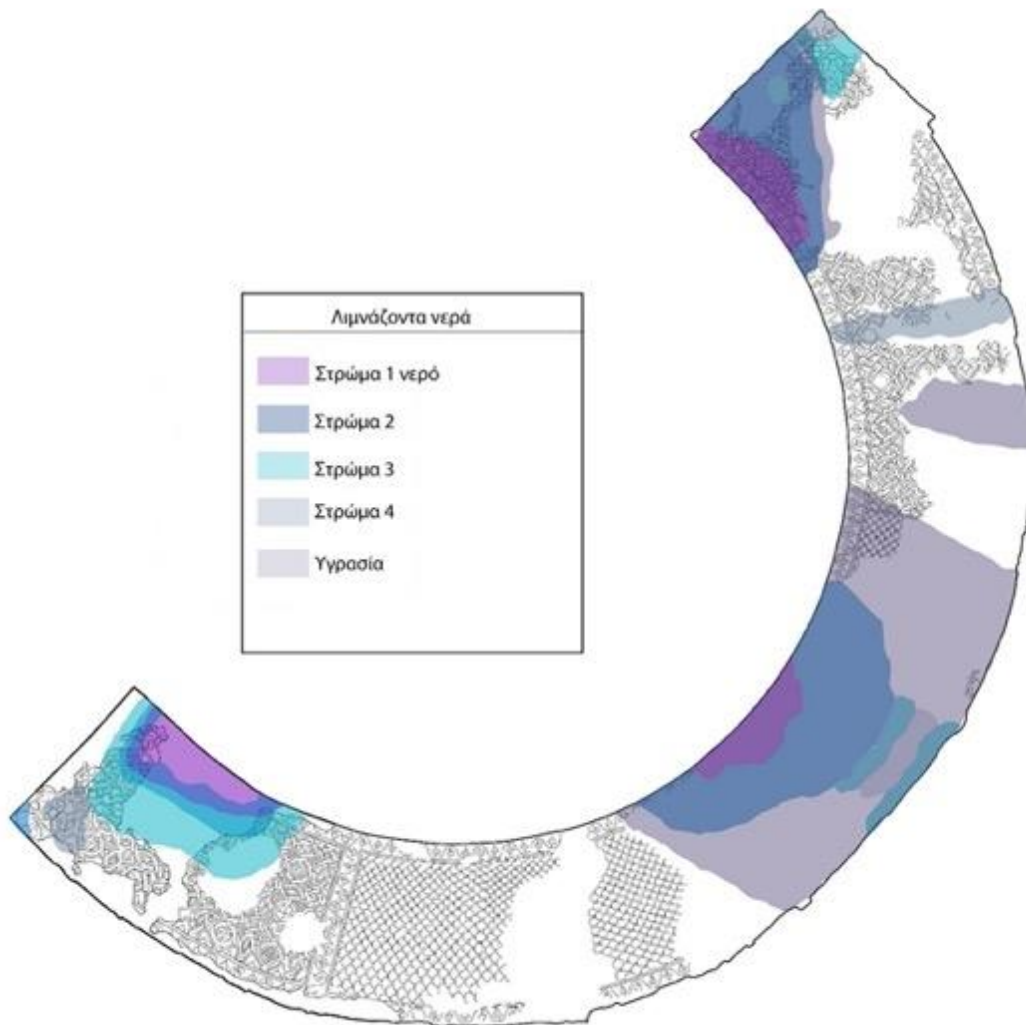
Στη συνέχεια, μετά από βροχοπτώσεις, παρατηρείται ο σχηματισμός περιοχών λιμνάζοντων νερών, όπου και δημιουργούνται καθιζήσεις. Η παρουσία του νερού, εκεί, προκαλεί έκπλυση στις λίθινες ψηφίδες, αλλοιώνοντας το σχήμα τους και αποσθρώνοντάς τες. Αυτό είναι και το σημαντικότερο

αίτιο των περισσότερων χημικών και φυσικών μεταβολών στα υλικά κατασκευής κατά την διάρκεια βροχοπτώσεων: το νερό και η φθοροποιός του δράση.

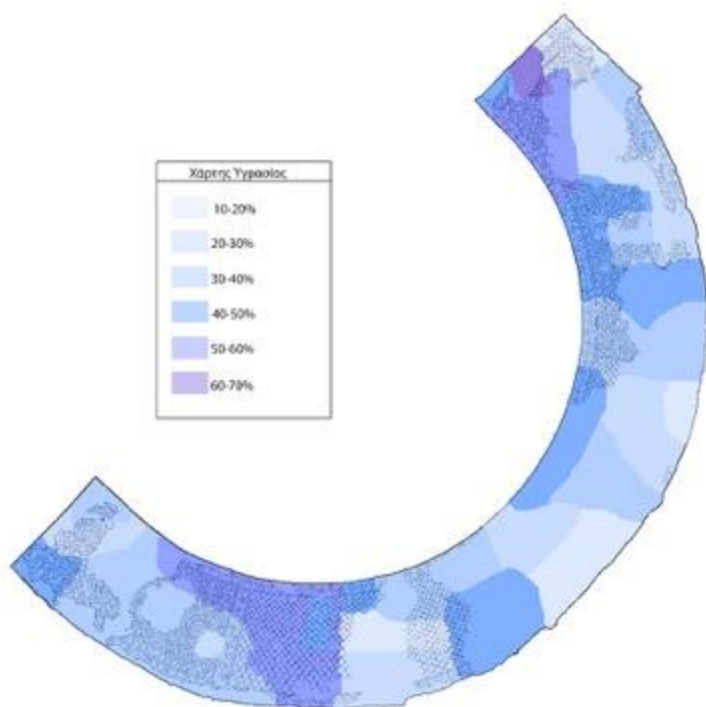
Τα μνημεία αλλά και η φέρουσα διακόσμησή τους (ψηφιδωτά κ.α.) είναι κατασκευασμένα από ανομοιογενή υλικά, τα οποία στις χημικές φορτίσεις παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά και στις μηχανικές φορτίσεις αντίστοιχα, με διαφορά στην ελαστικότητα, το μέτρο και τις αντοχές τους. Κατά την παρουσία των λιμνάζοντων νερών φθοροποιό ρόλο κατέχουν και τα φερτά υλικά, που περιέχονται μέσα στα νερά. Τα φερτά υλικά προσπίπτουν στις επιφάνειες των μνημείων, είτε μέσω της έντασης των ανέμων, είτε μέσω των ίδιων των υδάτων, που τα παρασύρουν. Σε αυτά τα έντονα καιρικά φαινόμενα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν η περιεκτικότητα και η ένταση των ανέμων στα φερτά υλικά που είναι πάνω από τις κολλοειδείς διαστάσεις ($>500 \mu\text{m}$). Η σύγκρουση μεταξύ των υλικών αυτών στην επιφάνεια των μνημείων οδηγεί σε τοπικές αποξέσεις ριζών. Η διαβροχή περιοχών με έντονη παρουσία επιστρωμάτων από χωμάτινα ιζήματα και φερτά υλικά, προκαλεί τη διαμόρφωση λάσπης, έτσι, δημιουργούνται παχιά λασπώδη στρώματα στις απώλειες και στις καθιζήσεις, ενώ πιο λεπτά στα επιφανειακά στρώματα.



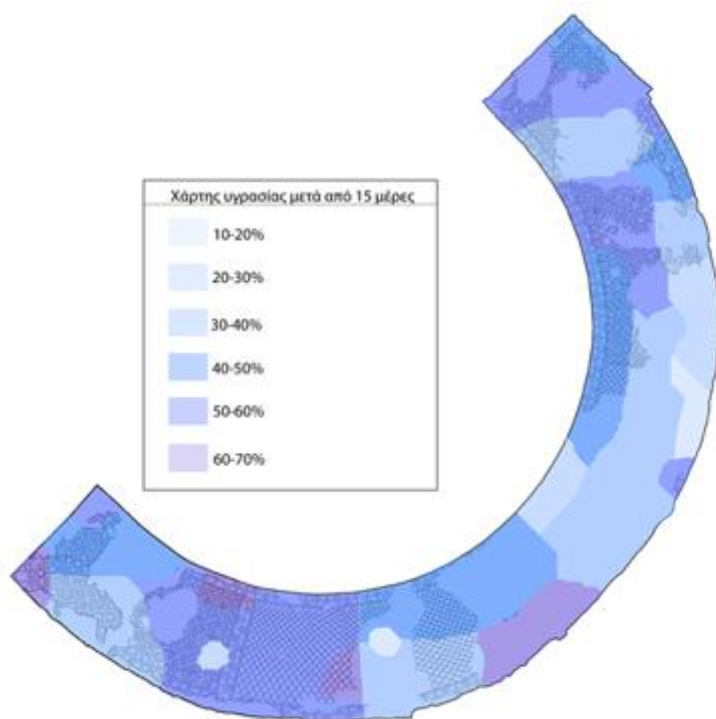
Εικόνες 34-35. Τα λιμνάζοντα νερά, διαβρέχουν τα χωμάτινα ιζήματα και σχηματίζεται λάσπη. Η επικαλύπτει σε ένα παχύ στρώμα όλη την επιφάνεια της διαβρεγμένης περιοχής.



Χάρτης 1. Χαρτογράφηση περιοχών συσσώρευσης λιμναζόντων υδάτων.



Χάρτης 2. Χαρτογράφηση υγρασίας στο ψηφιδωτό τον Μάρτιο 2022.

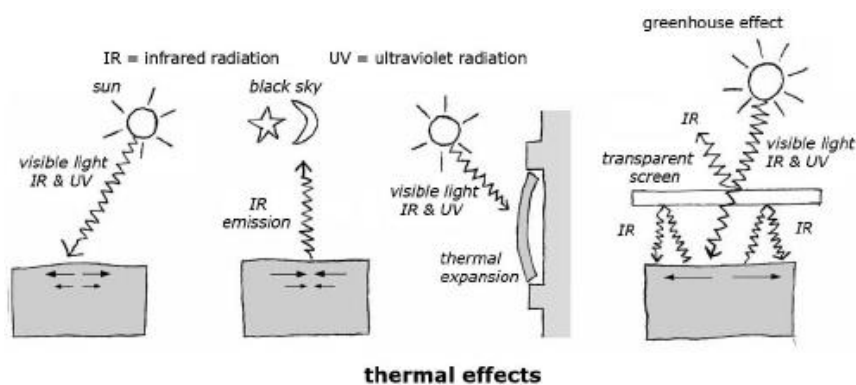


Χάρτης 2. Χαρτογράφηση υγρασίας μετά από 15 ημέρες, Απρίλιος 2022.

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα σημειώνεται η σπουδαιότητα της υγρασίας για την λειτουργία των μηχανισμών φθοράς και πως ανάλογα την έκθεση των ανόργανων υλικών σε υψηλές ή χαμηλές τιμές υγρασίας επηρεάζεται και η παθολογία τους. Για αυτούς του λόγους διεκπεραιώθηκαν μετρήσεις με υγρόμετρο σε όλη την έκταση του ψηφιδωτού δαπέδου, ώστε να καταγραφεί η κατανομή της υγρασίας στο ψηφιδωτό. Πραγματοποιήθηκαν δύο συνολικά μετρήσεις με χρονικό διάστημα μεταξύ τους 15 ημερών, κατά τους εαρινούς μήνες Μάρτιο και Απρίλιο. Αυτήν την περίοδο εξαιτίας βροχοπτώσεων υπήρξε μεταβολή στην κατανομή της υγρασίας και έπρεπε να διαπιστωθούν οι περιοχές συγκέντρωσης υγρασίας και γενικά εάν υπάρχει διαφοροποίηση στην υγρασία κατά την πάροδο των ημερών. Οι συγκεκριμένες μετρήσεις απέδειξαν όντως την αύξηση της υγρασίας στο διάστημα των 15 ημερών και επιβεβαιώθηκαν συγκεκριμένες περιοχές του ψηφιδωτού ότι συγκεντρώνουν περισσότερη υγρασία. Υψηλές τιμές υγρασίας διαπιστώθηκαν και στα δύο παραδείγματα προς το εσωτερικό ημικόκλιο του ψηφιδωτού,

πιθανότατα επειδή το έδαφος παρουσιάζει μια ελαφρά κλίση προς το εσωτερικό και τέλος, υψηλή υγρασία συγκεντρώνεται στις περιοχές που υπάρχουν καθιζήσεις και απώλειες, οπότε σχηματίζονται λιμνάζοντα νερά. Στις περιοχές που υπάρχει και διατηρείται υψηλή υγρασία εκδηλώνονται και πιο έντονα τα φαινόμενα φθοράς. Για αυτό το λόγο η χαρτογράφηση εξυπηρετεί στον εντοπισμό των επιρρεπών περιοχών στη διάβρωση και που οφείλεται αυτή η ευαισθησία.

Ένας, επιπλέον, περιβαλλοντικός παράγοντας που καθορίζει τη διαμόρφωση των φαινομένων διάβρωσης, είναι η θερμοκρασία. Οι θερμοκρασίες μεταβάλλονται ανάλογα την εποχή, την ημέρα ακόμα και την ώρα. Πιο συγκεκριμένα, οι παράμετροι της θερμοκρασίας εντοπίζονται: στη θερμοκρασία της μέρας, στη διακύμανση της θερμοκρασίας, στη συχνότητα μεταβολής της γύρω από το σημείο πήξης του νερού και είναι εκείνες, που επηρεάζουν και διαβρώνουν τα υλικά (Αλιφραγκής 2008 σ.93). Σε συνθήκες με υψηλές θερμοκρασίες, εντείνονται τα φαινόμενα διάβρωσης πάνω στις επιφάνειες των δομικών υλικών, ενώ ταυτόχρονα μειώνουν την αντοχή τους, με αποτέλεσμα να



Εικόνα 36. Σχηματική αναπαράσταση, συστολών και διαστολών που υπόκεινται τα δομικά υλικά, εξαιτίας των θερμικών διαφοροποιήσεων. © (Torraca 2009 p.75)

οδηγηθούν σε μεταβολές της μικροδομής τους. Οι μεταβολές αυτές, ενισχύουν την εμφάνιση φαινομένων ερπυσμού, όπως ονομάζεται, στα δομικά υλικά, δηλαδή παραμορφώσεων που προκαλούνται κάτω από την επίδραση σταθερής τάσης και σε άμεση εξάρτηση με τη

ροπή ενός υλικού σε παραμόρφωση λόγω της ιδιαίτερης ευαισθησίας, που παρουσιάζει. Το φαινόμενο του ερπυσμού όταν βρίσκεται σε ψηλές θερμοκρασίες και σε μεγάλες εφαρμοζόμενες τάσεις είναι αλληλένδετο με τον προσδιορισμό του χρόνου ζωής κατά τη λειτουργία των υλικών (Γεωργιάδου 2016 σσ. 62,43) .

Τα πετρώματα και συγκεκριμένα οι λίθοι, αποτελούνται από περισσότερα του ενός ορυκτά με συγκεκριμένη χημική σύσταση που διαφέρουν ως προς τις θερμικές τους ιδιότητες. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, οδηγούν τα πετρώματα να συστέλλονται και να διαστέλλονται με διαφορετική ταχύτητα και σε διαφορετικό βαθμό. Συνέπεια αυτού είναι να αναπτύσσονται, μηχανικές τάσεις μέσα

στο λίθο. Τα φαινόμενα αυτά παρουσιάζονται σε όλα τα σύνθετα δομικά υλικά, όπως για παράδειγμα κονιάματα και ιζηματογενή λίθοι (Γεωργιάδου 2016 σ.62). Οι θερμοκρασιακές μεταβολές, επιδρούν πάνω στα κονιάματα και εξαιτίας της σύνθετης σύστασής τους, υπάρχει ανομοιογένεια και προκαλούνται μικρορωγματώσεις μεταξύ των διαφορετικών στοιχείων. Όπου τα υλικά δόμησης είναι σύνθετα υλικά, όπως τα κονιάματα, υπάρχει ευαισθησία στην επίδραση των θερμοκρασιακών μεταβολών. Η ευαισθησία αυτή οφείλεται σε δύο σημαντικούς λόγους. Ο πρώτος λόγος, σχετίζεται με το διαφορετικό συντελεστή θερμικής διαστολής που έχουν τα υλικά ή τα στρώματα που συνθέτουν τα κονιάματα. Ο δεύτερος λόγος αναφέρεται στις χημικές μεταβολές, όπου λαμβάνουν τα προϊόντα ενυδάτωσης και η ανακρυστάλλωσή τους με αποτέλεσμα να οδηγούνται σε μεταβολές όγκου (Φτίκου 2016 σ.17).

Οι θερμοκρασιακές μεταβολές αφορούν τις αλλαγές της θερμοκρασίας, που συμβαίνουν ανάμεσα στη μέρα και τη νύχτα. Επιπλέον, αφορούν και τις μεταβολές, που γίνονται μεταξύ των εποχών του χρόνου. Κατά την διάρκεια αυτών των μεταβολών, προκαλούνται άνισες κατανομές θερμοκρασίας στα δομικά υλικά. Οι συγκεκριμένες διαφοροποιήσεις μέσα στα υλικά οδηγούν στην ανάπτυξη τάσεων μέσα σε αυτά, και έτσι εκδηλώνονται ρωγμές και απώλειες πάνω στις πέτρινες επιφάνειες. Οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, αλλοιώνουν τη μηχανική κόπωση των υλικών λόγω της ανάπτυξης εσωτερικών τάσεων. Αυτά τα φαινόμενα συστολών και διαστολών, εμφανίζονται ως εκροή της ύπαρξης διαφορετικών συντελεστών θερμικής μεταβολής μεταξύ των ορυκτών που τα απαρτίζουν και της ανισοτροπίας του κρυσταλλικού δεσμού.

Η ανισοτροπία θερμικής διαστολής των πετρωμάτων έχει σημασία για την αποσάθρωση των πετρωμάτων και όταν είναι έντονη εκδηλώνεται η τελική φθορά των λίθων. Ακόμα, μηχανικές φθορές στις ψηφίδες και τα κονιάματα, μπορούν να προκληθούν λόγω της διαφορετικής απόκρισης στις θερμικές μεταβολές ανάμεσα στα διάφορα υλικά σε ένα αρχιτεκτονικό μνημείο. Να σημειωθεί, εδώ, ότι με τον όρο διαφορετικά υλικά, εννοείται η ύπαρξη διαφορετικών κατασκευαστικών φάσεων και υλικών καθώς και διαφορετικών ασύμβατων επεμβάσεων. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο μεταξύ φυσικών υλικών και τεχνητών, δηλαδή μεταξύ κονιαμάτων και φυσικών λίθων [(Gupta 2013 p.577) (Siegesmund and Sneath 2011 pp.233-234), (Σκουλικίδης 2000 σ.150)].

Στα αρχιτεκτονικά μνημεία οι καθημερινοί κύκλοι θερμοκρασιακών μεταβολών επηρεάζουν περισσότερο το μνημείο, απ' ό,τι οι εποχιακοί. Ακολουθώντας, οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας προκύπτουν, όταν υπάρχει συνεχής έκθεση της επιφάνειας στον ήλιο κατά το διάστημα της ημέρας και τη νύχτα γίνεται η ψύξη. Η ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στα δομικά υλικά και οι διαφοροποιήσεις στην ποσότητά της και την έντασή της, μεταβάλλουν τη μοριακή και κρυσταλλική δομή των υλικών κατασκευής. Αυτό το φαινόμενο ενισχύεται συχνά λόγω της επίδρασης του οξυγόνου, έχοντας ως αποτέλεσμα: την εμφάνιση ρωγμών, το θρυμματισμό και την ελάττωση της μηχανικής αντοχής του υλικού.



Εικόνα 37. Η διαφοροποίηση έκθεσης του ψηφιδωτού στην ηλιακή ακτινοβολία. Οι συνθήκες έκθεσης στο φως αλλάζουν κατά τη διάρκεια της ημέρας. Δεξιά κατά το μεσημέρι. Αριστερά κατά τη νύχτα.

Η ακτινοβολία, ουσιαστικά, είναι εκείνη, που ρυθμίζει και τις μεταβολές της θερμοκρασίας, όπως έχει προαναφερθεί. Με την επιρροή της υπερϊόδους ακτινοβολίας, ακόμα και άλλων ακτινοβολιών με υψηλή ενέργεια προκαλείται διάσπαση των ενώσεων στα μόρια των υλικών (Γεωργιάδου 2016 σ.62). Επιπλέον, και τα δύο είδη φως, το φυσικό και το τεχνητό, είναι απαραίτητα για φωτοσυνθετικούς μικροοργανισμούς όπως είναι: οι λειχήνες, τα βρύα και τα φυτά (Ranalli *et al.* 2009 p.193). Έχει την τάση το φως να αντιπροσωπεύει την πρωταρχική πηγή ενέργειας που είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη όλων των φωτοσυνθετικών οργανισμών. Τα μη φωτοτροφικά είδη μπορεί να επηρεαστούν με διαφορετικούς τρόπους από το φως, μπορεί, δηλαδή, να προκαλέσουν αναστολή λόγω δευτερογενών αντιδράσεων (φωτοοξειδωση). Σε άλλες περιπτώσεις, το φως μπορεί να είναι ευνοϊκός παράγοντας για ορισμένα είδη (Caneva *et al.* 1991 p.16). Η ακτινοβολία, κατ' ουσία

επιδρά και μόνη της, αλλά κυρίως επηρεάζει τους άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες, ενώ βάση αυτής ρυθμίζεται η ένταση εκδήλωσης των μηχανισμών φθοράς.

Εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας, που μπορεί να συσσωρευτεί πάνω στην επιφάνεια της πέτρας, μπορεί να προκληθεί αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι και τους 60 °C. Τα πιο επιρρεπή δομικά υλικά στις θερμοκρασιακές μεταβολές είναι οι ασβεστόλιθοι και τα μάρμαρα. Αυτά τα υλικά έχουν την τάση να ανταποκρίνονται ελαστικά σε θερμικές τάσεις, όπου προκαλούνται από θερμοκρασίες που είναι αρκετά μεγαλύτερες των 40 °C. Η παρουσία ανικανότητας ή επιπέδων ασυνέχειας στα μάρμαρα καθιστά ισχυρή την πρόκληση φθοράς κατά τους συνήθεις θερμοκρασιακούς κύκλους του περιβάλλοντος. Η σακχαροειδή φθορά μπορεί να ενισχυθεί και από τις θερμοκρασιακές μεταβολές. Το μάρμαρο είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της σακχαροειδούς φθοράς, εξαιτίας της θερμικής ανισοτροπίας των κρυστάλλων του ασβεστίτη. Η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί τα ορυκτά να διαστέλλονται σε κόντρα το ένα με το άλλο, με αποτέλεσμα να προκαλούνται μικρές εσωτερικές τάσεις πάνω στην πέτρα, οι οποίες επαναλαμβάνονται κατά το πέρασ του χρόνου. Οι ρωγματώσεις στα μαρμάρια πετρώματα σχηματίζονται, ανάλογα με τις φλεβώσεις που συνθέτει το πέτρωμα. Συνηθίζεται, η τάση για την απόσπαση ανάμεσα στους κρυστάλλους, να εκτελείται με κάθετη διεύθυνση [(Zhang *et al.* 2018 pp. 1-2) (Gupta 2013 p.577), (Siegesmund and Sneath 2011 pp.233-234)].

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες διαμορφώνουν το σχηματισμό βιολογικών παραγόντων. Πιο συγκεκριμένα, την εκδήλωση της βιοδιάβρωσης, που προκαλείται στα μνημεία. Με τον όρο βιοδιάβρωση αναφέρεται σε κάθε μη ευπρόσδεκτη τροποποίηση σε κάποιο υλικό, η οποία οφείλεται στην παρουσία και δράση οργανισμών.

Οι συνθήκες της βιολογικής ανάπτυξης επιδρούν και στο ψηφιδωτό του Ζαπείου, το οποίο προκαλεί μια αναμενόμενη αναπαραγωγή βιολογικών οργανισμών. Συγκεκριμένα, στο Ζάππειο εντοπίζονται τρεις βασικοί οργανισμοί, οι οποίοι δημιουργούνται και συνυπάρχουν μεταξύ τους. Αυτοί αναφέρονται: στις λειχήνες, στα βρύα και στους μύκητες. Οι περιοχές που παρουσιάζουν έντονη και εμφανή βιολογική ανάπτυξη στο ψηφιδωτό δάπεδο, είναι κυρίως στην αρχή του διακόσμου με τις φολίδες, και στο βόρειο μέρος της διακόσμησης με τους πλοχμούς. Η έντονη δημιουργία συσσωματωμάτων οργανισμών, σε αυτές τις περιοχές δεν είναι τυχαία. Τα συγκεκριμένα

σημεία, κατά την διάρκεια της ημέρας βρίσκονται σε περιορισμένη έκθεση στο φως, είναι μέρη που διατηρούνται σκιερά, κατά το πέρασ όλου του εικοσιτετράωρου.

Όπως, προαναφέρθηκε, ο εποικισμός λίθινων ψηφίδων και κονιαμάτων από μικροοργανισμούς, ενισχύεται σε περιοχές υπό σκίαση. Η παρουσία ήλιου, έστω και σε μικρές ποσότητες, επιτρέπει την φωτοσύνθεση των μικροοργανισμών αλλά και μετατρέπει τη σκιερή περιοχή σε πιο υγρή. Σε μέρη υπό σκίαση



Εικόνα 38. Το "μαύρισμα" του ψηφιδωτού, στη περιοχή των φολίδων, από βιολογικούς οργανισμούς.

διατηρείται περισσότερη υγρασία, και αυτή με τη σειρά της, ενισχύει την ανάπτυξη τους (Ranalli *et al.* 2009 p. 193). Η σκίαση, στα συγκεκριμένα σημεία, προέρχεται κατά βάση από τα δέντρα, κυρίως τα πεύκα, που περιβάλλουν το ψηφιδωτό μνημείο.

Γενικά, σε όλη την έκταση του ψηφιδωτού παρατηρούνται συσσωματώματα μικροοργανισμών, ενώ σπανίζει η παρουσία μεμονωμένου οργανισμού σε επιφάνεια του δαπέδου. Επικρατεί ένα επιφανειακό στρώμα λειχήνων, όπου πάνω σε αυτό αναπαράγονται μύκητες και πάνω απ' όλα αυτά, βρυόφυτά. Τα συγκεκριμένα συσσωματώματα έχουν γκρι και μαύρες αποχρώσεις, οι οποίες προκαλούνται λόγω της νέκρωσης των οργανισμών.

Οι ζωικοί οργανισμοί, όπως είναι τα έντομα και συγκεκριμένα τα μυρμήγκια αποτελούν έναν ακόμα διαβρωτικό παράγοντα όσον αφορά τα δομικά υλικά. Υποσκάπτουν μικρές «σήραγγες», και διόδους μέσα στα δομικά υλικά και στους αρμούς τους, ανάμεσα τις ψηφίδες. Αυτό έχει ως επίπτωση, τον σχηματισμό μικρορωγμών και τρυπών, που αποτελούν την είσοδο και έξοδο των μυρμηγκιών, ενώ παράλληλα αποβάλλονται από αυτές, συνήθως, χώματα. Οι ακαθαρσίες των ζώων, πέρα από την αντιαισθητική αλλοίωση που επιφέρουν, περιέχουν και όξινες ουσίες με αποτέλεσμα να προκαλείται

χημική διάβρωση των υλικών. Πιο συγκεκριμένα, οι όξινες ουσίες φθείρουν τα δομικά υλικά, όπως είναι οι λίθοι. [(Roby *et al.* 2013 p.83), (Stambolov and Asperen 1972 pp.28-29)].



Εικόνα 39. Δείγμα μυρμηγκοφωλιάς στην επιφάνεια ψηφιδωτού επιφάνεια.



Εικόνα 40. Περιττώματα πτηνών, επάνω στη ψηφιδωτή επιφάνεια.

Παρακάτω, παρατηρείται, ότι τα αρχιτεκτονικά μνημεία, τα οποία είναι εκτεθειμένα για αρκετά έτη στις ατμοσφαιρικές συνθήκες δέχονται αρνητικές επιδράσεις στις επιφάνειές τους. Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένας βασικός παράγοντας για την αποσύνθεση των πετρών. Συγκεκριμένα, οι ασβεστόλιθοι, το μάρμαρο, τα ασβεστοκονιάματα και οι ψαμμίτες θεωρούνται πως είναι οι πιο ευάλωτοι στην όξινη ρύπανση. Σημαντικό σημείο αποτελεί πως η ρύπανση από τα σωματίδια της ατμόσφαιρας είναι ένα παγκόσμιο πρόβλημα για όλους τους τύπους της πέτρας. Βέβαια οι άμεσες επιδράσεις των όξινων ρύπων, όπως στις ασβεστολιθικές πέτρες, εξαρτώνται αρκετά από το άμεσο περιβάλλον της πέτρας. Δηλαδή, αν η πέτρα εκτίθεται στη βροχή, τα προϊόντα ξεπλένονται και η επιφάνεια της πέτρας σταδιακά υποχωρεί. Επιπλέον, εάν, η πέτρα βρίσκεται σε προστατευμένη θέση, τα προϊόντα συσσωρεύονται και μπορεί να σχηματίσουν πυκνές μαύρες κρούστες πάνω στις επιφάνειες των δομικών υλικών (Doehne and Price 2010 p.13). Στη συνέχεια, τα κονιάματα και οι ψηφίδες που περιλαμβάνουν ανθρακικά άλατα, αντιδρούν με το όξινο νερό της ατμόσφαιρας, όπου ρυπαίνεται από την ατμοσφαιρική ρύπανση. Ειδικότερα, το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) ευνοεί τη δημιουργία $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ που είναι σχετικά ένα ευδιάλυτο προϊόν, το οποίο ξεπλένεται με το νερό της βροχής, αλλά έχει ως συνεπεία τη σταδιακή αποικοδόμηση των κονιαμάτων.

Οι υδραυλικές ενώσεις όταν συναντούν το CO_2 αποικοδομούνται, όμως με μια σταδιακή κίνηση διάλυσης τους. Αυτό μπορεί να διαρκέσει αρκετά χρόνια σύμφωνα με την αντίδραση: $\text{CSH} + \text{CO}_2$

$\leftrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Τα οξείδια του αζώτου (NO_x) οδηγούν στη δημιουργία $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, που είναι αρκετά ευδιάλυτο προϊόν. Η ύπαρξη SO_2 στην ατμόσφαιρα με την συμβολή των υδρατμών βοηθά στη δημιουργία θειικού οξέος, το οποίο επιδρά στις ανθρακικές, πυριτικές και αργλικές ενώσεις και σχηματίζει ετρινγκίτη και γύψο ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Οι ενώσεις αυτές καταλαμβάνουν τον περισσότερο όγκο από τις πρώτες ένυδρες ασβεστοπυριτικές και ασβεσταργλικές ενώσεις, με αποτέλεσμα να μπαίνουν στις εσωτερικές τάσεις που μπορούν να προκαλέσουν ρωγματώσεις. Επιπρόσθετα, η γύψος που σχηματίζεται διαλύεται πιο εύκολα από ότι το ανθρακικό ασβέστιο και αποπλένεται σταδιακά από το κονίαμα και τις ψηφίδες, μεγαλώνοντας το πορώδες και μειώνοντας την ανθεκτικότητα των υλικών. Αντίστοιχη με την δράση των θειικών ιόντων, είναι η προσβολή των κονιαμάτων από τα χλωρίοντα Cl^- . Η εμφάνιση τους δίνει τη δημιουργία χλωριούχων αλάτων παρόμοια με του μονοθειικού άλατος άλλα και τη διαλυτική δράση τους στο ανθρακικό ασβέστιο. Παρόμοιες χημικές φθορές συναντάμε με την αλκαλική προσβολή των αδρανών. Στην περίπτωση αυτή, τα ιόντα νατρίου (Na^+) και καλίου (K^+), τα οποία υπάρχουν σαν προσμείξεις στα υδραυλικά κονιάματα ή κατά κύριο λόγο στα αδρανή, αντιδρούν στο αλκαλικό (OH^-) περιβάλλον των μικροπόρων του κονιάματος με το οξείδιο του πυριτίου σύμφωνα με τις αντιδράσεις:

- $\text{Na}_2\text{O} + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow x \text{Na}_2\text{O} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$
- $\text{K}_2\text{O} + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow x \text{K}_2\text{O} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$

Αυτές οι αντιδράσεις μας δίνουν τα ευδιάλυτα πυριτικά άλατα των αλκαλίων, τα οποία μετά την απόπλυσή τους οδηγούν διαχρονικά στην αποσάθρωση του κονιάματος. Στις πόλεις, εκτός από τους αέριους ρύπους, που προαναφερθήκαν, αιωρούνται σε κολλοειδή διασπορά στέρεα σωματίδια, όπως είναι: η αιθάλη, τα οξείδια μετάλλων, οι άργιλοι, η γύψος, το τσιμέντο, η άμμος, που μεταφέρονται εύκολα από τον αέρα σε μορφή σκόνης ή σαν καπνός. Τα σωματίδια αυτά έχουν την τάση να επικάθονται στην επιφάνεια των μνημείων, παρασύροντας μαζί τους ατμοσφαιρικούς ρύπους και προκαλώντας εκτός από τη διάβρωση ένα δύσμορφο εν γένει αισθητικό αποτέλεσμα (Φτίκου 2016 σ.18). Η ατμόσφαιρα, ειδικά ο ξηρός αέρας, συνίσταται από οξυγόνο, αργό και άζωτο. Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί το κυριότερο συστατικό και περιλαμβάνεται σε ποσότητα (320ppm), ενώ περιέχονται σε ίχνη ευγενή αέρια: το νέο (18ppm), το κρυπτό (1ppm), το ξένο (0.08ppm) και το ήλιο

(5.2ppm). Ακόμα, μπορεί σε ίχνη να περιέχονται και αέρια όπως N_2O , CO , H_2 , SO_2 , NO_2 αλλά και υδρογονάνθρακες. Αρκετές απ' αυτές τις ενώσεις, θεωρούνται ρυπαντές και είναι παρούσες και στον «καθαρό» αέρα, με συνέπεια να γίνεται αναγκαία η διευκρίνιση: πως με τον όρο του ρυπαντή στο πεδίο της διάβρωσης των υλικών ονομάζεται κάθε συστατικό που προκαλεί σημαντική φθορά πάνω στα μνημεία ανεξαρτήτως από την προέλευσή του (ανθρώπινη δραστηριότητα ή φυσική διεργασία (Σκουλικίδης 2000 σσ.30-31).



Εικόνα 41. Ανθρώπινος παράγοντας. Υπολείμματα ανθρώπινης δραστηριότητας, που προκαλούν λεκέδες.

Ο ανθρώπινος παράγοντας αποτελεί, επίσης, μια σημαντική αιτία φθοράς ενός ψηφιδωτού. Οι αιτίες αυτές προκαλούνται λόγω της κακής διαχείρισης των αρχαιολογικών χώρων, δηλαδή της έλλειψης προγράμματος διατήρησης και συντήρησης, του κακού σχεδιασμού των επεμβάσεων συντήρησης και τεκμηρίωσης κατά τις ανασκαφές, αλλά και της εγκατάλειψης των ψηφιδωτών μετά την ανασκαφή τους. Ακόμα, εάν το ψηφιδωτό βρίσκεται σε εξωτερικό, προσβάσιμο χώρο οι επισκέπτες ενδέχεται να

περπατάνε πάνω στην επιφάνειά του και έτσι να προκαλείται περαιτέρω φθορά σε αυτό (Roby *et al.* 2013 p.84). Συνεχίζοντας, όταν υπάρχει μια προετοιμασία καθαρισμού, μετά από μια περίοδο έκθεσης στο περιβάλλον, μπορεί να προκληθεί ζημιά στην επιφάνειά του με αποτέλεσμα να μειωθεί η αντοχή του με μηχανικές και φυσικές καταπονήσεις (Tograsa 2005 p.77). Μέσα στο πλαίσιο των ανθρωπίνων παραγόντων συγκαταλέγεται και η παραμέληση. Η απουσία ενασχόλησης με τη διατήρηση και την προστασία ενός μνημείου, αφήνει τους μηχανισμούς διάβρωσης να εκδηλώνονται ανεξέλεγκτα. Για παράδειγμα, εύθρυπτες περιοχές μπορούν να καταλήξουν στην πλήρη απώλεια και καταστροφή τους (Chlouveraki 2018 p.3). Εμφανές είναι αυτό το φαινόμενο σε περιοχές, όπου δεν υπάρχει στερέωση και η απώλεια ψηφίδων εκτείνεται.



Εικόνα 42. Το σημείο απώλειας στο βορειοδυτικό άκρο ψηφιδωτού το 2013 © (ΕΦΑ 2017)



Εικόνα 43. Το σημείο απώλειας στο βορειοδυτικό άκρο του ψηφιδωτού 2021



Εικόνα 44. Η διαφοροποίηση της έκτασης της απώλειας, που οφείλεται στη παραμέληση και στη διέλευση πεζών. Με κίτρινο η απώλεια το 2013. Με κόκκινο η επέκταση της απώλειας το 2021

Ανεξάρτητα από τους εξωγενείς παράγοντες, σημαντικό ρόλο στη φθορά των μνημείων διαδραματίζουν και οι ενδογενείς ακόμα κι αν το περιβάλλον, υπό το οποίο τα υλικά λειτουργούν, παίζει σημαντικό ρόλο για το είδος και την ένταση της φθοράς, που θα διεγερθεί. Η επίδραση των εξωγενών παραγόντων, που έχουν την τάση να δρουν αθροιστικά, εξαρτάται άμεσα από το είδος και τη μικροδομή του υλικού. Αναλυτικότερα, οι ενδογενείς παράγοντες, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αφορούν: το είδος του δομικού υλικού, την κατασκευή, τις ιδιότητές του, τη συμπεριφορά του προς τις εξωτερικές συνθήκες και τέλος τη φυσικοχημικοί συμβατότητα μεταξύ των υλικών.

Όσον αφορά τον πρώτο παράγοντα, το κάθε υλικό έχει την τάση να συμπεριφέρεται με το δικό του τρόπο στις φορτίσεις από το περιβάλλον, με αποτέλεσμα να έχει διαφορετικό προσδιορισμό αντοχής. Τα ετερογενή υλικά συγκεκριμένα, όπως είναι οι λίθοι και τα κονιάματα προσβάλλονται αρκετά στην όξινη βροχή και στις έντονες αυξομειώσεις θερμοκρασίας και υγρασίας. Οι ιδιότητες των δομικών υλικών εξαρτώνται από την ορυκτολογική σύσταση και επηρεάζονται από εξωγενείς παράγοντες, όπως για παράδειγμα, εάν αυξηθεί το πορώδες σε ένα κονίαμα δημιουργούνται μικρορωγμές και απομάκρυνση των κόκκων μεταξύ τους. Επίσης, ο σεισμός, που είναι ένα φαινόμενο εξωγενές επηρεάζει την θερμική συμπεριφορά του υλικού και προκαλεί μείωση της αντοχής του σε μηχανικές καταπονήσεις. Η συμβατότητα μεταξύ των δομικών υλικών είναι ένας καθοριστικός παράγοντας, που εξαρτάται από διάφορες ιδιότητες των ίδιων των υλικών: τη χημική σύσταση, για παράδειγμα, να έχει αντοχή σε ψηλό pH, τη χρήση των ενισχυτικών ινών (το φαινόμενο αυτό αναπτύσσεται στην πήξη των κονιαμάτων), το συντελεστή θερμικής διαστολής, δηλαδή να κατέχει παρόμοιες τιμές κατά τη διάρκεια των θερμικών κύκλων με αποτέλεσμα να μην γίνεται αντιληπτή η ανομοιογένεια στη διαστολή και στη δημιουργία τάσεων (Γεωργιάδου 2016 σσ.55-56).

4.2.1. Παθολογία της επιφάνειας

Η παθολογία της επιφάνειας, όπως αντιλαμβάνεται κανείς, αφορά τις φθορές, που παρατηρούνται στα ανώτερα στρώματα του ψηφιδωτού δαπέδου. Για την ακρίβεια, η παθολογία της επιφάνειας ταυτίζεται με την καταγραφή κάθε τύπου φθοράς, που είναι ορατή στο στρώμα ψηφοθέτησης.

Ένα πολύ συχνό φαινόμενο, το οποίο παρατηρείται στα ψηφιδωτά που διατηρούνται σε υπαίθριο χώρο, είναι η διείσδυση ριζών, από φυτά που βρίσκονται πάνω και γύρω από το ψηφιδωτό. Αυτό το φαινόμενο αποτελεί ένα βασικό παράγοντα φθοράς. Η δημιουργία των φυτών πάνω και μέσα στο ψηφιδωτό, οφείλεται στη μεταφορά σπόρων με τη βοήθεια του αέρα, πάνω στην ψηφιδωτή επιφάνεια. Τα συγκεκριμένα, αναπτύσσονται με ιδιαίτερη ευκολία σε ασβεστόχυα ή σε λεπτά στρώματα χώματος, τα οποία υπάρχουν εντός των ρωγμών και στα κενά, που έχουν



Εικόνα 45. Συσσώρευση χώματος στις απώλειες, η δημιουργία μικρών φυτών και η σταδιακή χαλάρωση συνοχής των ψηφίδων.

δημιουργηθεί από τις απώλειες των ψηφιδωτών. Επιπλέον, εύφορο έδαφος αποτελούν ιζήματα από νεκρωμένη φυτική ύλη ή από τα αποσαθρωμένα υποστρώματα (Veloccia 1977 p.42). Οι ρίζες των φυτών, μέσω της διασπαστικής πίεσης που ασκούν προκαλούν τη βιολογική αποσάθρωσή τους με άμεση επίπτωση τη διάσπαση και την κλασμάτωση τους, προκαλώντας επιπλέον νεκρωμένη οργανική ύλη. Οι νηματώδεις μικροοργανισμοί, δηλαδή οι ρίζες των φυτών, δεν εξαρτώνται από την συνεχή παρουσία θρεπτικών στοιχείων για την ανάπτυξη τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η εξάπλωση των ριζικών συστημάτων να είναι ιδιαίτερα εύκολη, καθώς η παραμικρή ύπαρξη υγρασίας είναι αρκετή γι' αυτά τα συστήματα (Gadd 2007 p.9). Καθώς οι ρίζες, διεισδύουν στην ψηφιδωτή επιφάνεια, είναι πιθανό να προκληθούν ρωγμές και θραύσεις μεταξύ των αρμών που συγκρατούν τις ψηφίδες (Chlouveraki 2018 p.2). Έτσι, αναπόφευκτα, η επιφάνεια καταστρέφεται, ειδικά αν απαρτίζεται από υλικά που ήδη καταρρέουν, πράγμα που είναι πολύ συχνό σε αρχαιολογικές ψηφιδωτές επιφάνειες (Villa 1977 p.49).

Η ανάπτυξη ριζών, υπό των ψηφίδων και κατά μήκος των υποκείμενων στρωμάτων, διευκολύνεται από την συσσώρευση αερομεταφερόμενου υλικού. Αυτή η συσσώρευση υλικού δημιουργεί ένα



Εικόνα 46. Η κατάσταση διατήρησης του ψηφιδωτού με ιζήματα χώματος και φερτών υλικών. Οκτώβριος 2021.



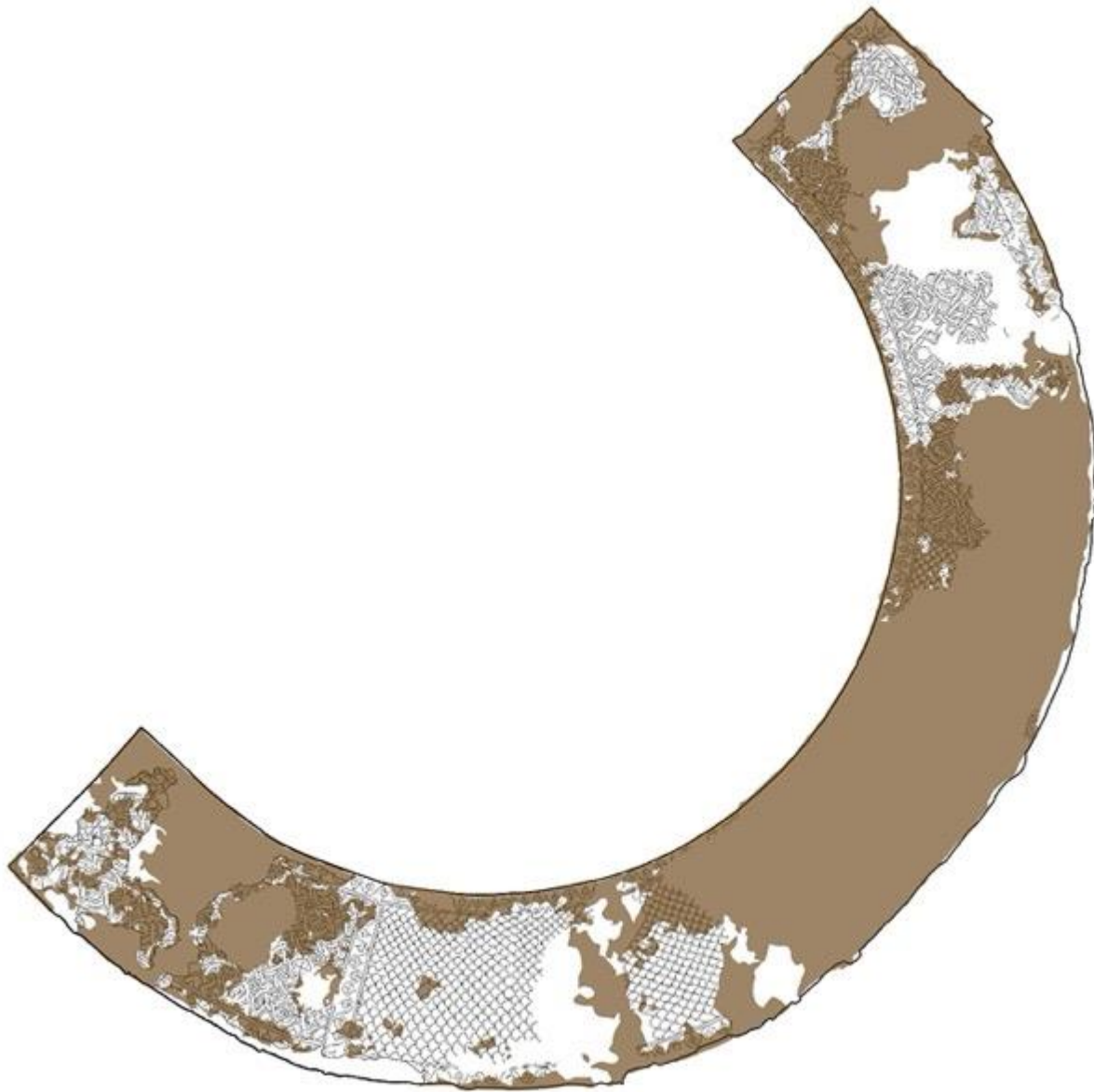
Εικόνα 47. Η κατάσταση διατήρησης του ψηφιδωτού με ανάπτυξη φυτών πάνω από τα ιζήματα χώματος. Φεβρουάριος 2022.



Εικόνα 48. Η κατάσταση διατήρησης του ψηφιδωτού, τα φυτά έχουν υποχωρήσει και παραμένουν τα χωμάτινα ιζήματα. Μάιος 2022

κατάλληλα εύφορο έδαφος για την ανάπτυξη διετών φυτών. Στη συνέχεια, τα διετή φυτά αναμοχλεύουν το ίζημα χώματος και προετοιμάζουν ένα κατάλληλο επιφανειακό στρώμα, ώστε να αναπτυχθούν και άλλα νέα φυτά. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι το ψηφιδωτό να καλυφθεί ολόκληρο από βλάστηση. Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις που έχουν εκδηλωθεί φαινόμενα βιολογικής προσβολής, παρατηρείται η καταστροφή του υποστρώματος καθιστώντας πλέον το ψηφιδωτό δάπεδο μία μάζα αποτελούμενη από σπαράγματα μικρών λίθων.

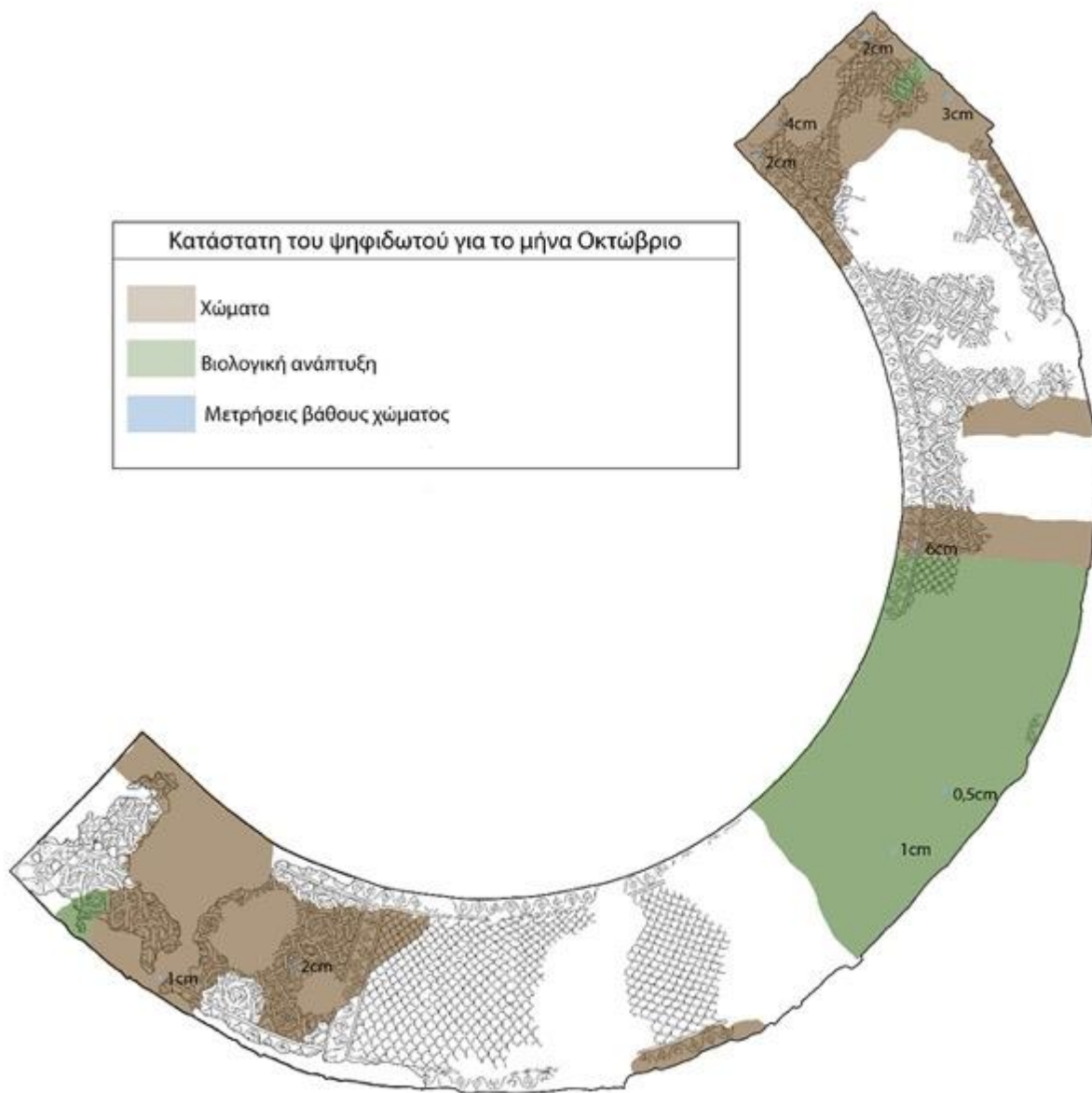
Τις περισσότερες φορές έχει παρατηρηθεί, πως δύο εποχές, συνήθως χειμώνας και άνοιξη, αρκούν για την ανάπτυξη των φυτών και την απόκτηση ενός ριζικού συστήματος, το οποίο μπορεί να επιδράσει στο ψηφιδωτό (Veloccia 1977 p.42). Οι ρίζες των φυτών, οι οποίες πολύ συχνά είναι χοντρές και μακριές (μερικά μέτρα), αποκτούν μεγάλη έκταση διείδυσης στο ψηφιδωτό, με αποτέλεσμα να προκαλείται αποκόλληση και διασπορά των ψηφίδων.



Χάρτης 3. Χαρτογράφηση των περιοχών επικάλυψης από ιζήματα επικαθίσεων (χώματα, νεκρή φυτική ύλη, ρύποι κ.α). Σε αυτές τις περιοχές παρατηρείται η έντονη ανάπτυξη φυτών.

Στο ψηφιδωτό του Ζάππειου πέρα από τα σημεία συσσώρευσης χωμάτων και επικαθίσεων σημειώθηκε και το πάχος αυτών των ιζημάτων. Τα συσσωματώματα ήταν πλούσια σε ορισμένες περιοχές που ξεπερνούσαν τα 2cm. Οι περιοχές όπου παρουσίαζαν έντονες επικαθίσεις ήταν τα σημεία που είχαν καθιζήσεις, απώλειες, κενά και σε σημεία που το έδαφος παρουσίαζε κλίση. Σε αυτές τις περιοχές σύμφωνα με τα προαναφερθέν συγκεντρώνονται και ύδατα, οπότε η μορφολογία

του εδάφους συγκεντρώνει σε ορισμένα σημεία υγρασία, χρώμα και ρύπους που η συνύπαρξη αυτών δημιουργεί φυτά και βιολογικούς οργανισμούς.



Χάρτης 4. Οι περιοχές συγκέντρωσης χωμάτων και επικαθίσεων με τις αντίστοιχες τιμές πάχους των συσσωματωμάτων στις αντίστοιχες περιοχές.

Από τις πιο σημαντικές δομικές φθορές που προκαλούνται από την διείσδυση ριζών, είναι οι εξάρσεις, οι οποίες φέρουν την παραμόρφωση των ψηφιδωτών. Αυτές σχηματίζονται και στο

επιφανειακό στρώμα, εκτός από την υποδομή, όπου και θα εξεταστεί εναργέστερα παρακάτω. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για τις ρίζες που διεισδύουν στο στρώμα της ψηφοθέτησης (Pique *et al.* 2008 p.36). Οι εξάρσεις που αφορούν την παθολογία της υποδομής, είναι οι πιο επικίνδυνες, διότι επιταχύνουν την αποβολή των ίδιων των ψηφιδών, η οποία συμβαίνει απροσδόκητα και συχνά εάν δεν υπάρχει η συντήρησή τους, έχοντας ως αποτέλεσμα την πρόκληση απώλειας των μεγαλύτερων τμημάτων της ψηφιδωτής επιφάνειας (Veloccia 1977 p.41). Οπότε, συνολικά η ψηφιδωτή επιφάνεια αποκτά μια εύθραπτη εικόνα, η οποία απαρτίζεται από αποκολλημένες ψηφίδες και θρυμματισμένα κονιάματα.

Εν συνεχεία, μέσα από τις ρωγμές και τις θραύσεις, που προκαλούνται, το νερό εισέρχεται στο εσωτερικό της στρωματογραφίας και κατά την χειμερινή περίοδο τα μόρια του νερού παγώνουν προκαλώντας επιπλέον φθορές, που διαταράσσουν την ψηφιδωτή επιφάνεια (Villa 1977 pp.49-52). Επιπροσθέτως, τα δέντρα και τα φυτά που αναπτύσσονται στα ψηφιδωτά φανερώουν μεγάλο ποσοστό υγρασίας στην περιοχή (Stambolon and de Boer 1972 p.27). Η υγρασία αυτή ενισχύει την επιπλέον ανάπτυξη ριζών, ενώ ενδυναμώνει τις χημικές δράσεις μεταξύ των υλικών. Συγκεκριμένα, μπορούν να αποσυντεθούν ορυκτά μέσω αντιδράσεων ιονεναλλαγής με έκκριση οξέων και άλλων χημικών ουσιών.

Επιπλέον, οι ρίζες ασκούν ιδιαίτερα μεγάλες μηχανικές τάσεις, οι οποίες επεκτείνονται αξονικά και ακτινικά, επιταχύνοντας τις δράσεις της μηχανικής διάβρωσης (Φτίκου 2016 σ.20). Όταν διατηρούνται ρίζες ζωντανών φυτών, παρουσιάζουν έντονη αντίσταση στην αφαίρεσή τους και πολλές φορές καταλήγουν σε αναγκαία βίαιη απόσπασή τους. Αυτή η μέθοδος μπορεί να προκαλέσει επιπλέον φθορές στο ψηφιδωτό, αλλά και την αναγέννηση νέων φυτών. Να σημειωθεί, εδώ, ότι σε περίπτωση παραμέλησης του αρχιτεκτονικού μνημείου και σε περίπτωση που τα φαινόμενα βιολογικής επίδρασης αναπτύσσονται όλο και περισσότερο, πάνω στην ψηφιδωτή επιφάνεια, είναι πιθανόν σε διάρκεια τριάντα χρόνων να εξαφανιστεί το μνημείο (Villa 1977 pp.49-52).

Οι διάφορες Φάσεις των Φυτών στο Ψηφιδωτό, που έχουν μελετηθεί.

Αρχαία δομικά κατάλοιπα, που ανάμεσα σε αυτά συγκαταλέγονται και τα ψηφιδωτά δάπεδα, κινδυνεύουν συνεχώς από μια μεγάλη ποικιλία φυτικών μορφών, που κυμαίνονται σε μέγεθος από δέντρα μέχρι και μικροσκοπικά φυτά. Το φαινόμενο αυτό, αποτελεί ένα συχνό αίτιο φθοράς των αρχαίων δομικών καταλοίπων, ειδικά εάν αυτά αποτελούνται από επιδαπέδιες κατασκευές, όπως είναι τα ψηφιδωτά. Σχετικά με το πρόβλημα διατήρησης των εξωτερικών επιφανειών των

ψηφιδωτών, η παρουσία χλωρίδας, όπως για παράδειγμα τα ζιζάνια, μπορεί να προκαλέσει απώλειες (Villa 1977 p.49). Παρακάτω παρουσιάζονται τα διάφορα φυτά και η πορεία ανάπτυξής τους, όπως εκδηλώνονται πάνω στην ψηφιδωτή επιφάνεια, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους του έτους. Συγκεκριμένα, αναφέρονται τα φυτά τα οποία εκδηλώθηκαν σε συγκεκριμένες περιοχές για τους μήνες Ιούνιο, Σεπτέμβριο, Οκτώβριο, Δεκέμβριο του 2021 και μέχρι τον Ιούλιο του 2022.

Πραγματοποιήθηκε μακροσκοπική παρατήρηση των φυτών, που έχουν αναπτυχθεί στην επιφάνεια του ψηφιδωτού δαπέδου του Ζαπείου. Η μελέτη στοχεύει στην παρατήρηση και τη φωτογράφιση των φυτών των περιοχών ανάπτυξής τους, καθώς και στην αναγνώριση των ειδών της χλωρίδας που φυτρώνει στο συγκεκριμένο ψηφιδωτό. Η παρατήρηση έγινε σταδιακά, σε διαφορετικές περιόδους του έτους και αποσκοπούσε στην παρατήρηση της εξέλιξης των φυτών κατά τη διάρκεια κάθε εποχής του χρόνου. Η διερεύνηση των φυτών, που φύονται πάνω στην ψηφιδωτή επιφάνεια, ξεκίνησε τον Ιούνιο του 2021. Κατά τον μήνα αυτό, παρατηρήθηκαν τα εξής φυτά:

Erodium ciconium: Το *Erodium ciconium* (κοινός πελαργόνη ή μακρόστενος πελαργός) είναι ένα ποώδες ετήσιο φυτό, που αναπτύσσεται σε καλά στραγγιζόμενα αμμώδη εδάφη, πλαγιές, τείχη ή πετρώδεις οικότοπους, έρημους και ημιέρημους. Ανόργανα λίθινα στοιχεία, αποτελούν ένα πρόσφορο έδαφος για την ανάπτυξή του (Stojanovic-Radic *et al.* 2010 p.368).

- Oxalis corniculata: Η οξαλίδα, εξαπλώνεται μέσω βολβών, που παράγονται από ένα αρχικό φυτό, το οποίο αναπτύσσεται στα τέλη της άνοιξης και στις αρχές του καλοκαιριού. Κατά μέσο όρο κάθε φυτό παράγει 20 θυγατρικούς βολβούς, οι οποίοι μένουν αδρανείς το καλοκαίρι και φυτρώνουν το φθινόπωρο. Η αιχμή της βλαστικής ανάπτυξης εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα, συνήθως από Νοέμβριο μέχρι Μάρτιο, μετά την οποία αρχίζει η ανθοφορία. Κατά τη διάρκεια της βλαστικής ανάπτυξης δημιουργείται ένας υπόγειος κόνδυλος. Τα φύλλα της οξαλίδας γερνούν την άνοιξη (Μάρτιο - Μάιο), οπότε τα μπουμπούκια των βολβών αρχίζουν να γεμίζουν από τα αποθέματα που είναι αποθηκευμένα στον κόνδυλο. Συνοπτικά το *oxalis corniculata*, αρχίζει να φυτρώνει το φθινόπωρο, παράγει τον βλαστό του μαζί με το ριζικό του σύστημα μέσα στον χειμώνα και την άνοιξη και τελικά εμφανίζεται στη μέγιστη ανθισμένη του μορφή κατά τον μήνα Ιούνιο

(Sala *et al.* 2007 pp.637-638).

- *Hyoseris radiata*: Είναι ένα ποώδες, πολυετές φυτό, του οποίου ο βλαστός μπορεί να είναι λείος ή τριχωτός. Τα φύλλα του έχουν σχήμα ρόδου, με μήκος περίπου 20 cm και ρομβικούς και οδοντωτούς λοβούς. Η κεφαλή του φυτού, που φέρει άνθος, είναι κίτρινη και έχει πλάτος από 3 έως 5 cm, ενώ οι άκρες του είναι από 15 έως 40 cm (Perez 2016).
- *Lactuca virosa* Habl: Το φυτό ανθίζει από τον Ιούλιο έως τον Σεπτέμβριο, ενώ οι σπόροι ωριμάζουν από τον Αύγουστο έως τον Σεπτέμβριο. Φύεται σε ελαφριά (αμμώδη) και μεσαία (αργιλώδη) εδάφη και προτιμά εκείνα με καλή στράγγιση, όπως και με κατάλληλο pH, να είναι ήπια όξινα, ουδέτερα και βασικά (ήπια αλκαλικά), ενώ εμφανίζεται κυρίως σε υγρό έδαφος όχι όμως σε περιοχές με σκιά. Στο ψηφιδωτό του Ζαπείου εντοπίζεται κυρίως σε κεντρικά μέρη του διαδρόμου, πάνω από την ψηφιδωτή επιφάνεια, δηλαδή σε περιοχές που είναι εκτεθειμένες στον ήλιο. Το Ζάππειο έχει αργιλώδες υπέδαφος, το οποίο είναι ιδανικό για την ανάπτυξη του συγκεκριμένου φυτού (<https://pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Lactuca+virosa>).

Η δεύτερη εξέταση της αναπτυξιακής εξέλιξης των φυτών πραγματοποιήθηκε κατά τον μήνα Σεπτέμβριο του 2021. Κατά τον μήνα αυτό τα φυτά ήταν τα εξής:

- Erigeron bonariensis: Το συγκεκριμένο φυτό εντοπίστηκε αυτό τον μήνα, διατηρώντας σταθερή τη βλαστητική του ανάπτυξη.

Πρόκειται για ένα μονοετές φυτό, που μπορεί να φτάσει σε ύψος το 1,5m, έχει στενά, λογχοειδή, μυτερά και πολυάριθμα φύλλα, καθώς και κίτρινα, ερμαφρόδιτα άνθη. Ανθίζει από τον Ιούλιο έως τον Σεπτέμβριο. Είναι ένα κοινό ζιζάνιο, που οι σπόροι του διασπείρονται ιδιαίτερα σε πεδιάδες και γενικά σε τοπία με αραιή και χαμηλή βλάστηση, μπορούν δηλαδή να επεκταθούν και στο αστικό τοπίο (Zahoor *et al.* 2012 p.376). Το *Erigeron Bonariensis* είναι ένα από τα σημαντικότερα παραδείγματα



Εικόνα 49. Το *Erigeron bonariensis*, όπως αναπτύσσεται πάνω από την ψηφιδωτή επιφάνεια κατά τον μήνα Σεπτέμβριο.

δηγειρωτικής εισβολής φυτών και έχει προκαλέσει μια σειρά από ταξινομικά προβλήματα στη γλωρίδα. Είναι μέλος της οικογένειας Asteraceae, η οποία είναι κοινώς γνωστή ως λινάρι φυλλοβόλο (Kummar *et al.* 2015 p.4). Λόγω της εκτεταμένης εμφάνισης, της έντονης παρεμβολής και της προκλητικής επέκτασής του, αποτελεί ένα ιδιαίτερα επικίνδυνο φυτό για τα μνημεία, διότι διεισδύει στο εσωτερικό και αποδομεί την επιφάνεια (Verdeguer *et al.* 2020 p.2).

Η επόμενη μελέτη της φυτικής ανάπτυξης έγινε τον μήνα Οκτώβριο, κατά τον οποίο σημειώθηκαν τα εξής φυτά:

- Erigeron bonariensis: Η παρουσία του συνεχίζεται καθ'όλη τη διάρκεια των φθινοπωρινών μηνών, διατηρώντας μεγάλο βλαστό ύψους περίπου 25 cm, πάνω από το ψηφιδωτό στρώμα. Ως μικρό φυτό, έχει ριζικό σύστημα μεσαίου μεγέθους, το οποίο είναι ικανό να διεισδύσει μεταξύ των δομικών υλικών και να τα αποσαθρώσει σταδιακά.

- Hyoseris radiata: Είναι ένα ποώδες, πολυετές φυτό, που ο βλαστός του έχει περισσότερη ξυλώδη δομή, ενώ στη βάση του μπορεί να είναι λείο ή τριχωτό. Τα φύλλα του αποκτούν ένα σχήμα με βάση τη μορφή του ρόδου και μήκος περίπου 20 cm, ενώ έχουν ρομβικούς και οδοντωτούς λοβούς. Στην κεφαλή του φυτού αναπτύσσεται το άνθος, το οποίο είναι κίτρινο και έχει πλάτος από 3 έως 5 cm. Το συνολικό ύψος του φυτού, κυμαίνεται από 15 έως 40 cm. Στο Ζάππειο εντοπίζεται να έχει ύψος περίπου 15 cm (Perez 2016).



Εικόνα 50. Η ανάπτυξη των *hyoseris radiata* στις ρωγμές μεταξύ συμπληρώσεων και ψηφιδωτής επιφάνειας.



Εικόνα 51. Το *Hyoseris radiata* χωρίς άνθος τον μήνα Οκτώβριο. Εικόνα 52. Το *Hyoseris radiata* με άνθος τον μήνα Οκτώβριο.

Η διεξαγωγή της μελέτης της αναπτυξιακής εξέλιξης των φυτών στο ψηφιδωτό, συνεχίστηκε και τον χειμώνα. Συγκεκριμένα τον Δεκέμβριο του 2021 παρατηρήθηκαν τα εξής φυτά:

- Hyoseris radiata: Και τους χειμερινούς μήνες συνεχίζεται η παρουσία του *hyoseris radiata*. Διατηρεί το μεσαίου μεγέθους πράσινο βλαστό του και επεκτείνει το ριζικό του σύστημα στα υποστρώματα. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, από ορισμένα φυτά μπορεί να υπολείπεται το κίτρινο άνθος.



Εικόνα 53. Το *Erodium ciconium*, όπως αναπτύσσεται μέσα σε απώλειες με φερτά υλικά.

- *Erodium ciconium*: Το *Erodium ciconium* είναι ένα ποώδες μονοετές ή διετές φυτό, το οποίο αναπτύσσεται σε καλά στραγγιζόμενα, αμμώδη μέρη, πλαγιές, τείχη ή πετρώδεις επιφάνειες, ερήμους και ημίερημους (Stojanovic-Radic *et al.*2010 p.368) Ανήκει στην οικογένεια Geraniaceae, το ύψος του κυμαίνεται από 10-60cm, φέρει βλαστό διακλαδισμένο από τη βάση, τριχωτό

όρθιο ή έρποντα και βαθιά, πασσαλώδη ρίζα. Τα φύλλα του είναι κατ' εναλλαγή, πτεροσχιδή, οδοντωτά, χνουδωτά με παράφυλλα. Η ανθεκτικότητά του στις περιβαλλοντικές συνθήκες το καθιστά ικανό να ευδοκιμεί σχεδόν σε όλα τα περιβάλλοντα, ακόμα και στο αστικό τοπίο.

- *Erigeron bonariensis*: Και αυτή την περίοδο εκδηλώνεται το *erigeron bonariensis*, το οποίο διατηρεί την ανάπτυξη των ριζών και του βλαστού του σταθερή. Όσο διατηρείται η παραμονή του στο ψηφιδωτό, οι ρίζες του επεκτείνονται περαιτέρω στην υποδομή και το φαινόμενο αυτό εντείνεται ιδιαίτερα κατά την περίοδο των υγρών χειμερινών μηνών.

- Matricaria chamomilla: Το χαμομήλι, θεωρείται ένα μονοετές φυτό το οποίο αναπτύσσεται σε ύψος μέχρι και τα 35 cm, ενώ πρόκειται για ένα πολύκλαδο και όρθιο φυτό. Αυτοφύεται σε μέρη, που είναι καλλιεργημένα ή σε μέρη χέρσα, ενώ η άνθησή του αρχίζει να πραγματοποιείται τον Απρίλιο και διαρκεί μέχρι και τον



Εικόνα 54. *Matricaria chamomilla* όπως αναπτύσσεται μεταξύ αρμών.

Ιούνιο. Το χαμομήλι προ-σλαμβάνει εύκολα τον ψευδάργυρο (Zn) και τον συσσωρεύει σε όλα τα όργανά του. Η απορρόφηση του Zn, έχει ως αποτέλεσμα την κατά 18 φορές αύξηση του βλαστού του (Grejtovsky 2006 p.1). Για τα ανόργανα υποστρώματα του δαπέδου, η ύπαρξη χαμομηλιού συνεπάγεται την απορρόφηση στοιχείων ψευδάργυρου τόσο από το έδαφος όσο και από τα ανόργανα δομικά στοιχεία που το περιβάλλουν.

- Utrica membranacea: Ουσιαστικά πρόκειται για το φυτό της τσουκνίδας. Όπου φυτρώνει η τσουκνίδα, υποδηλώνεται πως το έδαφος είναι πλούσιο σε μεταλλικά στοιχεία. Αυτό το πολυετές φυτό, μπορεί να καταλάβει μεγάλες εκτάσεις σε δασικές περιοχές αλλά και σε περιοχές που έχουν σκιά, όπου αναπτύσσεται με υπόγεια παραβλάσταρα. Είναι δυνατό να φτάσει σε μέγιστο ύψος ακόμα και το 1,50 m. Η ύπαρξη ασβεστίου στο έδαφος και γενικά η παρουσία ασβέστη σε γειτνιάζοντα δομικά υλικά, δημιουργούν ένα εύφορο περιβάλλον για την ανάπτυξη της. Η τσουκνίδα, θεωρείται επιβλαβές ζιζάνιο (Vermeulen 2004 p.297).



Εικόνα 55. Η ανάπτυξη του *Utrica membranacea*.

- Oxalis dillenii: Η οξαλίδα, αναπτύσσεται συνήθως την περίοδο από τον Δεκέμβριο μέχρι τον Απρίλιο. Η ανάπτυξή της όμως είναι σε καταστολή κατά τους ακραίους χειμώνες και τότε αναπτύσσεται και παρατηρείται πλήρης άνθηση από τον Απρίλιο μέχρι τον Ιούλιο. Η οξαλίδα ευδοκیمی σε περιοχές, όπου το κλίμα είναι μέτρια θερμό αλλά υπάρχει και εκτεταμένη έκθεση στο φως του ήλιου. Τότε το φυτό αναπτύσσεται τον Δεκέμβριο και είναι σε πλήρη άνθηση τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Το χαρακτηριστικό για την αναγνώριση του συγκεκριμένου φυτού είναι ότι προτιμά να αναπτύσσεται κατά μήκος της αποστράγγισης ή σε λασπωμένες περιοχές, μερικώς σκιασμένες, λόγω της ανάγκης για υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία (Rashid *et al.* 2020 p.1634). Γι' αυτούς τους λόγους, η ανάπτυξη της οξαλίδας παρατηρείται κυρίως στις καθιζήσεις του ψηφιδωτού, στις οποίες συγκεντρώνονται νερά και ιζήματα χωμάτων, δημιουργώντας μια λασπώδη επιφάνεια.



Εικόνα 56. Το *Oxalis dillenii* επάνω στην ψηφιδωτή επιφάνεια τον Δεκέμβριο του 2021.

- Erodium malacoides: Το *Erodium malacoides*, είναι ένα ετήσιο και διετές φυτό. Φυτρώνει κατά τους χειμερινούς μήνες αλλά η μέγιστη άνθησή του πραγματοποιείται κατά τον μήνα Ιούλιο. Το είδος αυτό είναι ερμαφρόδιτο (έχει αρσενικά και θηλυκά όργανα). Είναι κατάλληλο για ελαφριά (αμμώδη) και μεσαία (αργιλώδη) εδάφη και προτιμά εκείνα με καλή στράγγιση, όπως και με κατάλληλο pH, που είναι κυρίως για ουδέτερα και βασικά (ήπια αλκαλικά) εδάφη. Δεν μπορεί να αναπτυχθεί στη σκιά και έτσι έχει την τάση να προτιμά ξηρό ή υγρό έδαφος (<https://pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Erodium+malacoides>).



Εικόνα 57. Η ανάπτυξη του *erodium malacoides* μεταξύ του κονιάματος και του ψηφιδωτού.

- Erodium moschatum: Είναι ένα ετήσιο και διετές φυτό με πράσινα, μακρόστενα, οδοντωτά φύλλα, μικρά άνθη με πέντε πέταλα και ροζ σέπαλα και στρογγυλούς καρπούς, με αιχμηρά άκρα. Η ανθοφορία γίνεται από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο και η καρποφορία από τον Αύγουστο έως τον Οκτώβριο



Εικόνα 58. Το *erodium moschatum* όπως αναπτύσσεται πάνω σε ανόργανες και με υγρασία επιφάνειες.

(http://mediplantepirus.med.uoi.gr/pharmacology/plant_details.php?id=333). Παρατηρείται επίσης ότι μπορεί να ανθίζει από τον Ιούλιο έως τον Αύγουστο και οι σπόροι του να ωριμάζουν από τον Αύγουστο έως τον Σεπτέμβριο. Δεν μπορεί να αναπτυχθεί στη σκιά και

προτιμά ξηρό ή υγρό έδαφος
(<https://pfaf.org/USER/Plant.aspx?LatinName=Erodium+moschatum>).

- Hypochaeris glabra: Το συγκεκριμένο είδος φυτού είναι συνήθως όξινο και σχετικά φτωχό σε ασβέστη, οπότε και προτιμάει ασβεστιτικό υπόστρωμα για να αναπτυχθεί. Τα φύλλα και το άνθος του συγκεκριμένου φυτού είναι ανοιχτά μόνο λίγες ώρες την ημέρα. Επιλέγει να ανοίγει τα φύλλα του κατά τις ώρες της ημέρας με το περισσότερο φως και να τα κλείνει, όταν αρχίζει η θερμοκρασία είναι πάρα πολύ υψηλή (πάνω από 25 °C) (Meijden 2004 pp.7-8). Οι σπόροι του συγκεκριμένου είδους διασκορπίζονται από τον άνεμο και έτσι επιτυγχάνεται η αναπαραγωγή του, καθώς και η επέκτασή του σε διάφορα μέρη (Tremetsberger *et al.* 2004 pp. 79-80).



Εικόνα 59. Η παρουσία οργανικών ιζημάτων ευνοεί την ανάπτυξη του *hypochaeris glabra*.

Η τελευταία μακροσκοπική παρατήρηση διενεργήθηκε τον Ιούλιο του 2022. Στο μεγαλύτερο μέρος τους τα φυτά είχαν ξεραθεί. Εξαιτίας των μικρών κύκλων ζωής τους, τα περισσότερα είχαν απομακρυνθεί από το ψηφιδωτό και στη θέση τους είχαν απομείνει οι οπές και οι ρωγμές, που προκάλεσαν και που μέσα σε αυτές αναπτύσσονταν.

- Τον Ιούλιο, διατηρήθηκε μόνο το *Erigeron bonariensis*, το οποίο συντηρούσε αναλλοίωτο το βλαστό του σε ύψος, όπως και τα φύλλα του. Συμπερασματικά, το ριζικό του σύστημα παραμένει ενεργό καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Συνοπτικά, στο πόρισμα από τη μελέτη της ανάπτυξης των φυτών κατά τη διάρκεια ενός έτους, στο ψηφιδωτό του Ζαππείου, σημειώθηκαν σημαντικές παρατηρήσεις: αρχικά, τα περισσότερα φυτά που

φύονται στο ψηφιδωτό, έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής. Τα φυτά αυτά αναπτύσσονται σε μια συγκεκριμένη περίοδο του χρόνου και νεκρώνονται μετά από λίγους μήνες, καθιστώντας έτσι την εμφάνισή τους μια παροδική διαδικασία. Παρόλα αυτά, διαπιστώθηκε πως κατά τη διάρκεια όλων των μηνών της διερεύνησης, υπήρξαν κάποια φυτά τα οποία διατηρούνταν συνέχεια για όλους τους μήνες πάνω στην επιφάνεια του ψηφιδωτού. Ουσιαστικά πρόκειται για δύο είδη φυτών, τα οποία είναι το *Erigeron bonariensis* και το *Hyoseris radiata*, που συνεχίζουν να ζουν από το φθινόπωρο μέχρι την άνοιξη και νεκρώνονται κατά το καλοκαίρι. Επιπλέον, παρατηρήθηκε στη μελέτη ανάπτυξης των φυτών πως κατά τους χειμερινούς μήνες η παρουσία της γλωρίδας ήταν πλουσιότερη σε ποικιλία και έκταση σε αντίθεση με τους εαρινούς και θερινούς μήνες, που εξαιτίας της ξηρασίας του θέρους, περιοριζόταν.



Εικόνα 60. Το *Erigeron bonariensis* κατά τον Σεπτέμβριο 2021.



Εικόνα 61. Το *Erigeron bonariensis* κατά τον Οκτώβριο 2021.



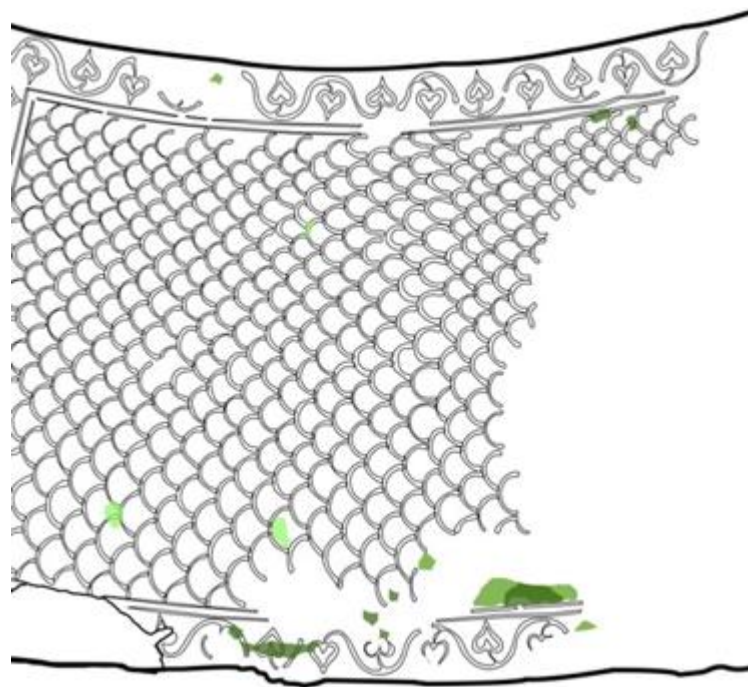
Εικόνα 62. Το *Erigeron bonariensis* τον Δεκέμβριο του 2022.

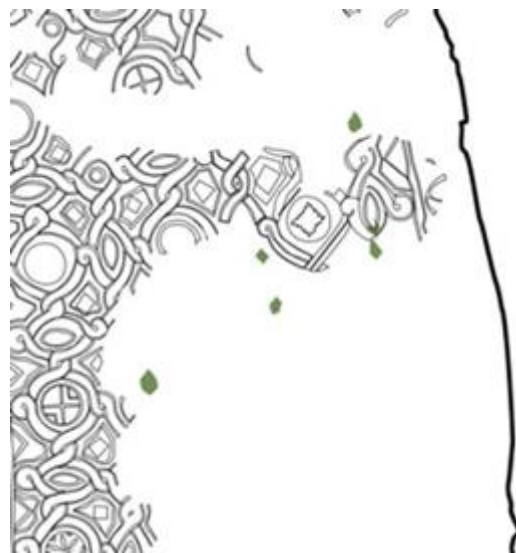
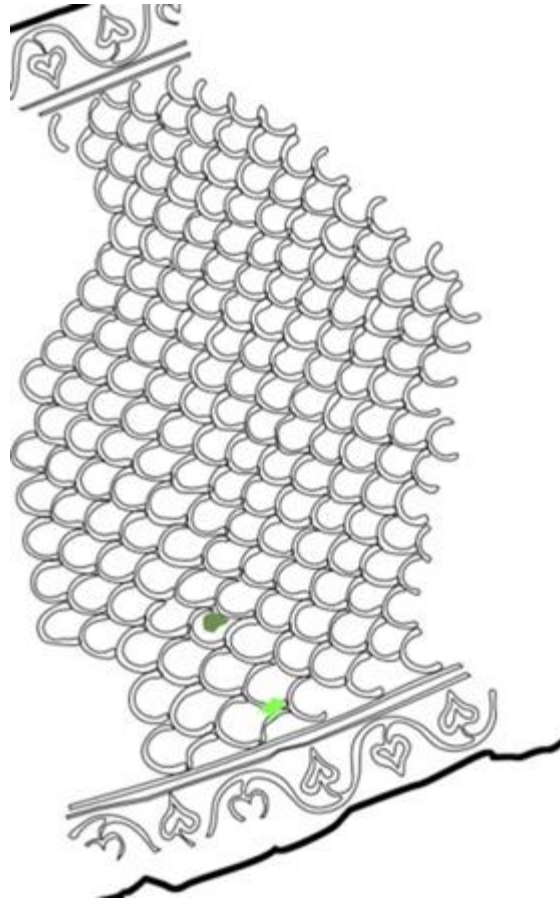


Εικόνα 63. Το *Erigeron bonariensis* τον Ιούλιο 2022.



Χάρτης 5. Απεικόνιση των περιοχών ανάπτυξης φυτών στο ψηφιδωτό του Ζαπείου για συγκεκριμένους μήνες ενός ετήσιου κύκλου.





Εικόνα 64. Κοντινή σχεδιαστική αποτύπωση των φυτών.



Εικόνα 65. Συσσώρευση ιζημάτων χώματος, φύλλων και φερτών υλικών πάνω στο δάπεδο.

Η ανάπτυξη φυτών με ριζικό σύστημα στην ψηφιδωτή επιφάνεια καταλήγει στην αποσάθρωση των γειτνιαζόντων δομικών υλικών, επιπλέον με βάση τον αναπτυξιακό τους κύκλο τα φυτά αλλάζουν σε διαστάσεις. Αυτές οι μεταβολές προκαλούν τη θραύση μικρών ανόργανων δομικών στοιχείων και την παραγωγή νεκρής φυτικής ύλης. Τα φερτά αυτά υλικά σε συνδυασμό με αερομεταφερόμενους ρύπους και

χώματα σχηματίζουν ιζήματα από επικαθίσεις. Η συνεχιζόμενη συσσώρευση χώματος και φερτών υλικών ανάμεσα στους αρμούς των ψηφίδων ή σε άλλα ανώμαλα σημεία της επιφάνειας, διατηρεί την υγρασία αυτών των περιοχών και κατ' επέκταση παρέχει ένα εύφορο έδαφος για το σχηματισμό μικροοργανισμών. Ο τύπος και ο βαθμός της βιολογικής ανάπτυξης εξαρτάται από το μικρόκλιμα αλλά και από τη φύση του πετρώματος. Ανάλογα με το είδος του λίθου συναντώνται και διαφορετικές αντιδράσεις, π.χ. κάποια πετρώματα προσφέρουν συχνά τα κατάλληλα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη μικροοργανισμών.

Όσον αφορά το ψηφιδωτό του Ζαπείου, παρατηρείται έντονος βιολογικός εοικισμός κυρίως σε πορώδεις ψηφίδες. Λειχήνες και μύκητες είναι οι πιο συχνοί μικροοργανισμοί, που διακρίνονται στο ψηφιδωτό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μαυρίζουν την επιφάνειά του και να αλλοιώνουν τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των κονιαμάτων και των ψηφίδων, έτσι ώστε τα υλικά να γίνονται πιο επιρρεπή σε άλλους μηχανισμούς φθοράς (Chlouveraki 2018 pp.2-3). Σχετικά με την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, αυτή επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επιδρούν σε ένα μνημείο. Πιο συγκεκριμένα, η ανάπτυξή τους επηρεάζεται από την υγρασία, το φως, τη μέτρια θερμοκρασία, την παρουσία οργανικών ουσιών και ανόργανων αλάτων στην επιφάνεια των πετρωμάτων, καθώς και το pH των επιφανειών αυτών [(Φτίκου 2016 σ.19), (Purvis 1985 p.1)]. Παράλληλα, όταν σε ένα μνημείο παρατηρείται η παρουσία βιολογικών μικροοργανισμών, αυτό υποδηλώνει την υψηλή περιεκτικότητα του υποστρώματος σε υγρασία.

Επιπρόσθετα, τα μνημεία επηρεάζονται από την έκθεση τους στην ηλιακή ακτινοβολία, η οποία ορίζει τη διαθέσιμη υγρασία σε συγκεκριμένες περιοχές του μνημείου. Αν και οι μικροοργανισμοί

είναι ανθεκτικοί ακόμα και σε ξηρό περιβάλλον, παρατηρείται η μεγαλύτερη ανάπτυξή τους στις σκιερές περιοχές. Οι μικροοργανισμοί εξαρτώνται επιπλέον και από το pH της επιφάνειας στην οποία αναπαράγονται (Amundson 1994 pp.98-99). Ανάλογα με την επιφάνεια, εάν είναι αλκαλική ή όξινη, παράγονται διαφορετικά είδη μικροοργανισμών.

Τη δημιουργία βλάστησης των μικροοργανισμών διαδέχεται η αντίστοιχη εγκατάστασή του κάθε οργανισμού ξεχωριστά. Πρώτα σχηματίζονται τα οργανικά υπολείμματα πάνω στους λίθους και έπειτα αναπτύσσονται οι λειχήνες, στις οποίες δημιουργούνται βακτήρια και αυτά με τη σειρά τους αναπαράγουν μύκητες, πάνω δε από τους μύκητες σχηματίζονται και τα βρύα.

Λειχήνες → Βακτήρια → Μύκητες → Βρύα

Συμπερασματικά, πάνω στους λίθους και τα κονιάματα υπάρχει μια επιφάνεια με συσσωματώματα μικροοργανισμών (Αλιφραγκής 2008 σσ.110-112). Με την υψηλότερη ικανότητα συγκράτησης νερού και τη χαμηλότερη συνοχή του υλικού, που έχουμε ως συνέπεια, γίνεται πιο αποτελεσματικός ο αποικισμός, πρώτα από φύκια και μετά από βρύα ή λειχήνες. Στη συνέχεια, τα βρύα αποικίζουν τα κονιάματα των ψηφιδωτών και πιο πολύ εκείνα που βρίσκονται σε σκιερές περιοχές ή προστατεύονται από τον ήλιο. Η επίδραση των βρύων στα κονιάματα είναι σημαντική. Ειδικά τα ριζοειδή μπορεί να διεισδύουν στο κονίαμα, ωστόσο δεν έχουν την ικανότητα να εισχωρούν στις ψηφίδες. Ακολούθως τα βρύα συμβάλλουν στον οργανικό εμπλουτισμό του υποστρώματος και με αυτόν τον τρόπο γίνεται ο σχηματισμός φυτικού χούμου (Jimenez *et al.* 1991 pp.70,73,75).

Αρχικά οι λειχήνες δημιουργούνται, μέσω της αμοιβαίας συμβίωσης μυκήτων και ενός ή περισσότερων φωτοσυνθετικών φυκών. Τα φύκη μπορεί να είναι είτε πράσινα είτε κυανά και ονομάζονται κυανοβακτήρια. Αυτή η συμβίωση προκύπτει να είναι υποχρεωτική ή προαιρετική, μεταξύ των δύο οργανισμών και μέσω αυτής δημιουργείται, ένας νέος οργανισμός, ο οποίος διαφέρει τόσο από τις μορφολογικές όσο και από τις βιολογικές του ιδιότητες (Purvis 1985 p.1). Οι λειχήνες εποίκουν πρώτες στα ακάλυπτα πετρώματα και παρατηρείται η εύκολη ανάπτυξή τους σε λίθινες πλάκες, όπου έχουν επικαθίσεις ρύπων. Όσο πιο ξηρή είναι η επιφάνεια του υποστρώματος και συγκεκριμένα η επιφάνεια των μαρμάρων, τόσο πιο σπάνια μπορεί να επιτρέψει την ανάπτυξη των λειχήνων (Purvis and Nimis 2002 pp.2-3). Σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση των μικροοργανισμών παίζει η υγρασία σε συνδυασμό με τον εμπλουτισμό της επιφάνειας από περιττώματα πτηνών, τα οποία διευκολύνουν την ανάπτυξη και την εξάπλωση των λειχήνων στα μνημεία. Τα νιτρικά άλατα

που περιέχονται στα περιττώματα των πουλιών, εξαπλώνονται πάνω στις οριζόντιες επιφάνειες των μνημείων μέσω της βροχόπτωσης (Φτίκου 2016 σσ.19-20). Ο εμπλουτισμός των επιφανειών αυτών από νιτρικά άλατα, ευνοεί τον εποικισμό από λειχήνες ακόμη και από μη νιτρόφιλα είδη.

Τα οργανικά υπολείμματα τόσο από τους ρύπους όσο και από τους αερομεταφερόμενους σπόρους, παρέχουν ένα ιδανικό πρωταρχικό υπόστρωμα για την εγκατάσταση των αμμωνιόφυλλων και στη συνέχεια νιτρόφιλων βακτηρίων. Ιδιαίτερα οι νιτρόφιλες λειχήνες εποικούν επιφάνειες, που βρίσκονται εκτεθειμένες στο νερό της βροχής, όπως συμβαίνει με το ψηφιδωτό, και έχουν ως ιδιότητα να περιθωριοποιούν άλλους οργανισμούς. Βασικό χαρακτηριστικό των λειχήνων, που δικαιολογεί τη συνηθισμένη παρουσία τους σε υπαίθρια μνημεία, είναι η ανθεκτικότητά τους σε εξωτερικές συνθήκες. Έχουν τη δυνατότητα επιβίωσης σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών τόσο σε ψυχρό όσο και σε θερμό κλίμα και σε τιμές θερμοκρασίας που μπορεί να κυμαίνονται από +60C μέχρι -35 °C. Επιπλέον, οι λειχήνες αποδεικνύονται ιδιαίτερα ανθεκτικές στην έλλειψη υγρασίας και στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν συνθήκες που επηρεάζουν αρνητικά την ανάπτυξή τους, δηλαδή σε υψηλά επίπεδα ρύπανσης με μεγάλη περιεκτικότητα διοξειδίου του θείου (SO₂) περιορίζεται η ανάπτυξη του θαλλού και μπορεί να προκαλέσει μέχρι και τον θάνατο τους [(Stambolon and de Boer 1972 p.27), (Caneva *et al.* 1991 pp.96-98)]. Αυτός είναι και ο λόγος, που σε αστικά τοπία με έντονη αέρια ρύπανση οι λειχήνες έχουν μικρή διάρκεια ζωής και παρατηρούνται συχνά στα μνημεία τα υπολείμματα των νεκρών οργανισμών τους.

Οι λειχήνες εποικούν σε ένα ευρύ φάσμα δομικών υλικών και προκαλούν σημαντικές αλλοιώσεις. Οι φθορές αυτές παρατηρούνται συνήθως πάνω στην ψηφιδωτή επιφάνεια και συγκεκριμένα ανάμεσα στους αρμούς των λίθων. Ένα ακόμα σημαντικό πρόβλημα, το οποίο προκαλούν οι λειχήνες, είναι η δημιουργία ενός μικροκλίματος. Το μικροκλίμα παρουσιάζεται ανάμεσα στον θαλλό και στο υπόστρωμα, ενώ βασικό του χαρακτηριστικό είναι η κατακράτηση υγρασίας. Η παρουσία υγρασίας σε μεγάλες συγκεντρώσεις μέσα στο ψηφιδωτό έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή διάβρωση των λίθων (Stambolon and de Boer 1972 p.27).

Σημειώνεται λοιπόν ότι οι μικροοργανισμοί μπορούν να προκαλέσουν διάφορες επιπτώσεις σε ένα αρχιτεκτονικό μνημείο. Συνοπτικά, οι βιοφυσικές και οι βιοχημικές δραστηριότητες των μικροοργανισμών καταλήγουν στη διόγκωση των πετρωμάτων και στον θρυμματισμό στρωμάτων της επιφάνειάς τους. Η φθορά εμφανίζεται στο πορώδες της επιφάνειας αλλά και στην απολέπιση της ψηφιδωτής επιφάνειας. Μέσα στην ψηφίδα μπορεί ακόμη να υπάρχουν ρωγμές στο επίπεδο του

υποστρώματος, ειδικά αν το στήριγμα είναι ιδιαίτερα συμπαγές και το ψηφιδωτό υπόκειται σε έντονη μεταφορά (Gadd 2007 p.13).

Συγκεκριμένα, οι λειχήνες επιδρούν πάνω σε ασβεστολιθικά πετρώματα και προκαλούν διάλυση



Εικόνα 66. Πράσινες έμβιες λειχήνες και νεκρωμένες μαύρες επικαλύπτουν τις ψηφίδες.

και αποδιοργάνωση του κρυσταλλικού πλέγματος των ορυκτών. Η σταδιακή διάλυση των λίθων, προκαλεί την αύξηση της τραχύτητας του κρυσταλλικού πλέγματος. Η τραχύτητα μειώνει την ανθεκτικότητα των πετρωμάτων και κατ' επέκταση αυτά γίνονται ευαίσθητα σε επιπλέον μηχανισμούς διάβρωσης. Η εξάπλωση αυτού του φαινομένου μέσα στην παρέλευση του χρόνου, καταλήγει στην κυψελίδωση των κόκκων των λίθων. Όλα αυτά προκαλούν εύθραπτη την επιφάνεια των ψηφίδων, έτσι ώστε με την οποιαδήποτε μεταβολή, οι ψηφίδες να

τεμαχίζονται σε λεπτότερα τμήματα. Οι λειχήνες μέσω της χημικής διάβρωσης που προκαλούν, σχηματίζουν οξαλικό ασβέστιο με αποτέλεσμα να κρυσταλλώνεται στις λειχήνες. Αυτή η κρυστάλλωση διακρίνεται σε δύο μορφές, τη μονοϋδρική (βεβελίτης) και τη διυδρική (βεντελίτης). Η μονοϋδρική μορφή είναι το προϊόν της βιοδιάβρωσης (Αλιφραγκής 2008 σ. 111). Όταν οι λειχήνες αναπτυχθούν πάνω στα πετρώματα, τότε μπορούν να αποσαθρωθούν γρηγορότερα, λόγω της δημιουργίας των χηλικών ενώσεων, από οργανικά οξέα και από διάφορες ουσίες που παράγονται.

Ακόμα, μπορούν να επηρεάσουν την αποσάθρωση των διάφορων πετρωμάτων, τόσο με τη φυσική όσο και με τη χημική διαδικασία. Σε συνθήκες υγρών και ξηρών περιόδων μπορεί να επηρεαστεί η συστολή και η διαστολή της βιομάζας με την έκκριση οργανικών οξέων και συγκεκριμένα του οξαλικού οξέος, με την προώθηση διάλυσης των ορυκτών και της σύνθεσης χηλικών ενώσεων και με την αύξηση της συγκέντρωσης CO₂ αυτή μετατρέπεται σε ανθρακικό οξύ (Tiano 1998 p.7, Haas and Purvis 2006 pp.351-352).

Τα λειχηνικά οξέα αποτελούνται από δύο ομάδες: τις καρβοξυλικές και τις υδροξυλικές. Οι ομάδες αυτές είναι δυσδιάλυτες στο νερό, ενώ με βάση τη μικρή τους διαλυτότητα έχουν ανάλογη μικρή επίδραση σε αντιδράσεις αλλοίωσης και διάλυσης των πυριτικών αλάτων (Haas and Purvis 2006 pp.351-352). Τα οξέα αυτά διακρίνονται για τη χαμηλή τους διαλυτότητα, ωστόσο μπορούν να

δημιουργηθούν με ευκολία, μεταλλικά σύμπλοκα, ιόντα ασβεστίου αλλά και πυριτικά ανάμεσα στο υπόστρωμα και στον θαλλό. Όταν η λειχήνα αναπτυχθεί στην επιφάνεια των πετρωμάτων με την παρουσία νερού, μπορεί να προκληθεί η δημιουργία χηλικών ενώσεων. Στόχος των χηλικών ενώσεων των λειχηνικών οξέων, είναι να επιταχύνουν τον ρυθμό διαλυτότητας των ορυκτών. Όταν βρίσκονται σε όξινες έως και αλκαλικές συνθήκες οξύτητας (pH από 5,5 έως 7,4) τότε δεν αποκλείεται η κινητικότητα τους μέσα στο έδαφος (Iskandar and Syers 1972 p.263). Επιπλέον, παράγονται προϊόντα κατά τον μεταβολισμό των λειχήνων, τα οποία έχουν κυψελοειδή μορφή. Αυτά τα προϊόντα μπορούν να επιδράσουν σε ένα ορυκτό υπόστρωμα με αποτέλεσμα να προκληθεί η διάβρωσή του.

Ο σημαντικότερος παράγοντας διάβρωσης είναι η χημική αποσάθρωση, η οποία συνίσταται στην παραγωγή καρβοξυλικών οργανικών οξέων, που δημιουργούνται από τις λειχήνες. Πιο συγκεκριμένα αυτό επιτυγχάνεται μέσω της απελευθέρωσης του οξαλικού οξέος, το οποίο παράγεται από ένα μεγάλο εύρος λειχήνων. Εν συνεχεία, το οξαλικό οξύ προκαλεί την αποσάθρωση των πυριτικών αλάτων, του ασβεστίου και μαγνησίου, σχηματίζοντας δυσδιάλυτα άλατα του οξαλικού οξέος, όπως κρυσταλλικά άλατα του οξαλικού ασβεστίου $\text{Ca}(\text{COO})_2$. Κατόπιν, το οξαλικό ασβέστιο αφού απελευθερωθεί, μπορεί να λειτουργήσει ως ένας παράγοντας μείωσης της τοξικότητας των φωτοξειδωτικών τάσεων, που μπορεί να προκαλέσει το ηλιακό φως στις λειχήνες (Purvis and Haas 2006 p.354).

Ένας άλλος παράγοντας φθοράς είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο παράγεται κατά την αναπνοή των λειχήνων. Όταν υπάρχει παρουσία νερού τότε διαλύεται ένα μέρος του ανθρακικού οξέος, με αποτέλεσμα να δημιουργεί κοιλότητες ή μικρούς διαύλους, που μπορούν να παρέχουν εύκολα τη διείσδυση των υφών της λειχήνας μέσα στο υπόστρωμά της.

Επιπλέον, από τις λειχήνες εκκρίνονται και αλκαλικά προϊόντα. Τα αλκαλικά προϊόντα είναι ένας από τους μηχανισμούς διάβρωσης των ορυκτών στοιχείων των λίθων που βρίσκονται κάτω από το υπόστρωμα της λειχήνας. Όταν είναι υψηλή η τιμή του pH, δηλαδή πάνω από το 9,6 τότε λαμβάνει δράση η αλκαλινόλυση. Σύμφωνα με αυτήν, το υδροξείδιο του αμμωνίου (NH_4OH) προκαλεί την διαλυτοποίηση των λειχηνικών ουσιών και κατ' αυτόν τον τρόπο επεκτείνεται η φθορά του υποστρώματος της λειχήνας.

Ένα ακόμα εντυπωσιακό φαινόμενο που παρατηρείται συχνά από τις λειχήνες, όσον αφορά τα μνημεία είναι η χρωματική αλλοίωσή τους. Οι λειχήνες επιφέρουν τις χρωματικές αλλαγές μέσω της

εποίκισής τους στην επιφάνεια. Κατά την εκδήλωση της αλλοίωσης, η παρουσία υγρασίας στον θαλλό της λειχήνας οδηγεί στην εμφάνιση χρωμάτων και στις κατώτερες στοιβάδες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι ο θαλλός της λειχήνας περιέχει διάφορες οργανικές χρωστικές, οι οποίες δίνουν τα χρώματα στους οργανισμούς (Ranalli et. al 2009 p.194). Το πάνω και το κάτω μέρος των φυλλωδών, συγκεκριμένα της λειχήνας θεωρείται πως έχει έντονο χρώμα και ιδιαίτερα το κάτω μέρος του έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση σε χρωστικές ουσίες. Ανεξάρτητα



Εικόνα 67. Οι νεκρωμένες λειχήνες δημιουργούν μαύρες επιστρώσεις πάνω στις ψηφίδες. Προκαλείται χρωματική αλλοίωση, οι λευκές φαίνονται μαύρες.

με το εάν ο θαλλός θεωρείται ζωντανός ή απονεκρωμένος, το χρώμα των λειχήνων εξακολουθεί να παραμένει το ίδιο. Αντιθέτως, το χρώμα του φλοιού μπορεί να αλλάξει ριζικά, όταν απονεκρωθεί.

Γενικά αντιλαμβανόμαστε ότι τα χρώματα των λειχήνων επηρεάζονται σημαντικά από την κατάσταση του θαλλού. Οι βασικές χρωστικές είναι οι χλωροφύλλες των φυκών και τα κυανοβακτήρια, τα καροτένια και τα προϊόντα αποικοδόμησης των χλωροφυλλών, όπως είναι η μελανίνη. Τα είδη των λειχήνων με έντονα χρώματα (κίτρινο, πορτοκαλί και καφέ), συνήθως εποικούν πάνω σε ξηρούς βράχους, λόγω της αντανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας (Caneva et al. 1991 pp.97-98).

Μία άλλη κατηγορία βιολογικών οργανισμών, που εποικούν το ψηφιδωτό στο Ζάππειο, είναι τα



Εικόνες 68-69. Ανάπτυξη θρύων παρατηρείται να είναι εντονότερη ενδιάμεσα των ψηφιδών.

βρύα. Αυτά είναι φυτά μικρών διαστάσεων, δεν έχουν ρίζες αλλά αποτελούνται από ριζοειδείς δομές (Ranalli et. al 2009 p.198). Προκειμένου να αναπτυχθούν χρειάζονται μια ανώμαλη επιφάνεια με παράλληλη συγκέντρωση μικρής ποσότητας χώματος. Τα βρυόφυτα χαρακτηρίζονται ως μαλακά φυτά και απαρτίζονται από

απλές δομές. Επιπλέον, είναι φωτοσυνθετικοί, ευκαρυωτικοί οργανισμοί, που μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη βιοκαταστροφή των υλικών δόμησης. Έχουν την τάση, να διεισδύουν στο υπόστρωμα μέσω ριζοειδών δομών, που προκαλούν φυσικές και χημικές αλλοιώσεις. Όπως οι λειχήνες και τα φύκη, έτσι και πολλά είδη βρύων μπορούν να θεωρηθούν πρωτοπόροι οργανισμοί, αφού μπορούν να εποικίσουν πάνω σε βραχώδεις επιφάνειες (Rinalli et al. 2009 p.198). Η παρουσία τους παρατηρείται εκεί που έχει έντονη υγρασία, όπως για παράδειγμα σε υγρό έδαφος, στους υγρούς βράχους, τα δένδρα αλλά και μέσα στο νερό. Κατ' επέκταση η έντονη ανάπτυξή τους παρατηρείται μετά από βροχοπτώσεις ή από εντονότερες υγρές περιόδους.

Τα βρύα έχουν τη δυνατότητα να προσκολλώνται πάνω σε σκληρά υποστρώματα, τα οποία είναι δύσκολο να καταληφθούν από άλλα φυτά. Ως αποτέλεσμα, στη διάρκεια ξηρασίας έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα και εποικούν τα πυριτικά υποστρώματα, αντιθέτως τα ασβεστολιθικά υποστρώματα παρουσιάζονται λιγότερο ανθεκτικά (Jimenez et al. 1991 p.70). Όπως οι λειχήνες, έτσι και τα βρύα, μπορούν να προκαλέσουν διάφορες αλλοιώσεις πάνω στις επιφάνειες των αρχιτεκτονικών μνημείων. Τα βρύα παίζουν σημαντικό ρόλο στις εδαφογενετικές διεγέρσεις, δηλαδή στη μεταφορά ενέργειας

νερού και χημικών στοιχείων εντός του εδάφους. Μπορούν να μεταβάλλουν τη δομή των ορυκτών αλλά μπορούν και να συμβάλουν στη συσσώρευση των διάφορων χημικών στοιχείων με αποτέλεσμα την έκκριση οξαλικού, κιτρικού και βανιλλικού οξέος σε διαφορετικές ποσότητες και αναλογίες, τα οποία παράγονται από την αλλοίωση των φυτικών υπολειμμάτων (Doehne and Price 2010 p.22). Η μεγαλύτερη ικανότητα διασποράς των βρύων παρατηρείται συγκεκριμένα σε αστικές



Εικόνα 70. Παρουσία θρύων στα τοιχώματα που περικλείουν το ψηφιδωτό. Η ανάπτυξη τους εντείνεται κυρίως τους χειμερινούς μήνες..

περιοχές. Ωστόσο, δε γίνεται αντιληπτή ιδιαίτερη ποικιλομορφία βρύων στο αστικό τοπίο, παρ' όλο που έχουν ξεχωριστή ανάπτυξη. Όταν είναι ανθεκτικά εμφανίζονται πάνω στα ασβεστούχα υποστρώματα. Τέλος, κατά τη νέκρωσή τους, χάνουν το πράσινο αρχικό τους χρώμα και μαυρίζουν, μικραίνουν σε πάχος και σκληραίνει η προσρόφησή τους στα ανόργανα υποστρώματα.

Οι μύκητες αποτελούν μια ακόμα σημαντική κατηγορία μικροοργανισμών, η παρουσία των οποίων διαπιστώνεται επίσης στα δομικά υλικά και είναι εξαιρετικά απειλητική για τα αρχιτεκτονικά μνημεία. Οι μύκητες, μπορούν να αναπτυχθούν σε μικροπεριβάλλοντα, στα οποία τα συνδεδεμένα εξωκυττάρα, ο οργανισμός, το στερεό υπόστρωμα, οι οργανικές και ανόργανες επιφάνειες έχουν την τάση να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Οι διαδικασίες, που οδηγούν στη βιολογική αποσάθρωση των ορυκτών και των πετρωμάτων είναι: η προσρόφηση, η μεταφορά, η διάλυση, η διάχυση και η ανακρυστάλλωση κατιόντων. Προξενείται, δηλαδή, μια απελευθέρωση κατιόντων μετάλλων από τα στοιχεία των λίθων, προκαλώντας σταδιακή αλλοίωση των πετρωμάτων. Όλη αυτή η μετακίνηση κατιόντων και στοιχείων μεταξύ μικροοργανισμών και λίθου δημιουργεί ένα μικροπεριβάλλον (Gadd 2007 p.14).

Οι μικροοργανισμοί των μυκήτων έχουν την ικανότητα να προσκολλώνται πάνω στην επιφάνεια της πέτρας και η νηματοειδής δομή των υφών να εγκαθίσταται, με αποτέλεσμα να εισχωρούν μέσα στα ενδότερα στρώματά της (Caneva *et al.* 1991 p.92). Κατά αυτό τον τρόπο, ενσωματώνονται στις

λίθινες επιφάνειες και για όσο παραμένουν, προκαλούν μηχανισμούς διάβρωσης. Όσον αφορά τις βασικές δράσεις με τις οποίες οι μύκητες μπορούν να διαβρώσουν το ανόργανο υπόστρωμα είναι η βιομηχανική και η βιοφυσική αποσάθρωση (Burford *et al.* 2003 p.1133).

Η βιοφυσική αποσάθρωση των ορυκτών που μπορούν να προκαλέσουν οι μύκητες γίνεται είτε άμεσα είτε έμμεσα. Η άμεση αποσάθρωση των πετρωμάτων προκύπτει από τη διείσδυση των μυκηλιακών υφών με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρωγμών και σχισμών πάνω στα ορυκτά (ψαμμίτη, ασβεστόλιθο και δολομίτη) (Sterflinger 2000 pp.98-99). Το σημαντικό χαρακτηριστικό που αφορά την αύξηση του μυκηλίου είναι η χωρική εξερεύνηση του περιβάλλοντος, έτσι ώστε να εντοπισθούν και να αξιοποιηθούν νέα υποστρώματα. Υπάρχει η τάση να πραγματοποιείται ένα εύρος κινήσεων τροπισμού, διαμορφώνοντας την πορεία ανάπτυξης του μυκηλίου. Όταν οι μύκητες εποίκουν μια επιφάνεια, τότε η χωρική εξάπλωση των αποικιών εξαρτάται τόσο από την χημική σύσταση του πετρώματος όσο και από τις μικροτοπογραφικές συνθήκες που μπορούν να παρουσιαστούν (Gadd 2007 p.12). Όλη αυτή η διαδικασία της επεκτατικής αύξησης επισπεύδει τη σπαργή των μυκηλιακών υφών, επιτρέποντας στους μύκητες να προσλαμβάνουν θρεπτικά συστατικά από διάφορα στερεά υλικά (Money 2001 p.1).

Αντίθετα, η έμμεση βιοφυσική αποσάθρωση οφείλεται στη δράση των εξωκυττάριων κολλωδών ουσιών που δημιουργούνται από τους μύκητες, για να σχηματιστούν οι βιομεμβράνες με τις οποίες γίνεται η προσκόλλησή τους σε επιφάνειες. Η βλέννη, που παράγουν οι μύκητες, περιέχει μεταλλικές χημικές ενώσεις αλλά και οξέα (Burford *et al.* 2003 p.1136). Όταν οι βιομεμβράνες συρρικνώνονται και διογκώνονται, τότε προκαλούνται ασκήσεις μηχανικών πιέσεων πάνω στην επιφάνεια των πετρωμάτων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφόρων διαβρώσεων ή τριβών.

Ένας επιπλέον μηχανισμός φθοράς από τους μύκητες είναι η βιοχημική αποσάθρωση. Όσον αφορά το συγκεκριμένο μηχανισμό, τα πετρώματα μπορούν να οδηγηθούν σε μεταβολές στη μικροτοπογραφία λόγω σχισμών, κοιλωμάτων και μικρορωγμών. Κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου μηχανισμού φθοράς, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι αντιδράσεις, που στηρίζονται στα πρωτόνια και οι αντιδράσεις υποκατάστασης.

Οι αντιδράσεις των πρωτονίων, όπως είναι η αναπνοή, CO₂, καρβονικού οξέος, παρουσιάζονται στις περιοχές γύρω από τις μυκηλιακές υφές, σε αντίθεση με τις αντιδράσεις υποκατάστασης, που βασίζονται στα οργανικά ανιόντα και στις σιδηφόρες ενώσεις [(Hoffland *et al.* 2004 p.260), (Gadd

2007 p.12)]. Οι συγκεκριμένες ενώσεις αφορούν αντιδράσεις μετακίνησης των ορυκτών και προκαλούν την πλήρη διάλυση της κρυσταλλικής δομής τους. Η διαδικασία αυτή, διαλυτοποίησης, οδηγεί στη μετακίνηση μετάλλων, φωσφορικών ανιόντων και άλλων θρεπτικών στοιχείων (Hoffland *et al.* 2002 p.20).

Στη συνέχεια, οι μύκητες μπορούν να καταστρέψουν ιδιαίτερα τα πετρώματα εκείνα, που αποτελούνται από μεταλλικά στοιχεία. Οι μηχανισμοί φθοράς που ακολουθούνται είναι: acidolysis, complexolysis, redoxolysis καθώς και η συσσώρευση των μετάλλων της μάζας τους. Αρκετά είναι τα είδη των μυκήτων, που το καθένα επιδρά διαφορετικά στις λίθινες επιφάνειες.

Ωστόσο, ο σημαντικότερος παράγοντας αποσάθρωσης όλων είναι αυτός, που βασίζεται στην παραγωγή διαφόρων οργανικών οξέων, όπως είναι το κιτρικό και το οξαλικό οξύ (Gadd 2007 p.12). Η χημική δράση των μυκήτων εμφανίζεται ως η πιο σημαντικά επιδεινωτική πάνω στις επιφάνειες των λίθων. Η διαλυτοποίηση του φαινομένου αυτού συσχετίζεται και με τη μείωση του pH, απότοκος της παραγωγής οξέων.

Πιο συγκεκριμένα, οι μύκητες παράγουν ανθρακικά, νιτρικά, θειικά οξέα αλλά και πολλά οργανικά οξέα όπως: κιτρικό, οξαλικό, γλυκονικό, γλυκουρονικό, γαλακτικό, φουμαρικό. Ειδικά, το τελευταίο μπορεί να σχηματίσει σύμπλοκα χηλίωσης με μεταλλικά κατιόντα του υποστρώματος, διαλύοντας τους ασβεστόλιθους. Επίσης οι μύκητες έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν οξαλικό ασβέστιο με αποτέλεσμα να συγκεντρώνεται στο εξωτερικό των υφών (Caneva *et al.* 1991p.93). Επιπλέον παρατηρείται ότι η έκκριση των οργανικών οξέων (κιτρικού και οξαλικού οξέος) από τους μύκητες, συνδέεται και με την παρουσία τοξικών μετάλλων, πιθανότατα στα γειτνιάζοντα πετρώματα που φέρνουν και επικαθίσεις. Στη συνέχεια οι μύκητες παράγουν καρβοξυλικά οξέα, τα οποία παρουσιάζουν ισχυρές χηλικές ιδιότητες. Προσκολλώνται, ιδιαίτερα, πάνω στους λίθους και έτσι προκαλούν επιπλέον διάβρωση στις επιφάνειες των ορυκτών, αφαιρώντας μεταλλικά στοιχεία από τη δομή τους.

Το κιτρικό και το οξαλικό οξύ, ισχυρά οξέα με χηλικές ιδιότητες, τα οποία προαναφέρθηκαν, είναι πλήρως αντίθετα σε συνθήκες οξύτητας και επικρατούν στην κυτταροπλασματική μεμβράνη, με το pH τους να υπολογίζεται περίπου στο 7. Παράγουν ισχυρή τάση και ενώνουν τα τρισθενή και δισθενή μεταλλικά κατιόντα (Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} και Cu^{2+}). Σκοπός αυτής της δέσμευσης είναι η μείωση των δραστηριοτήτων των ελεύθερων κατιόντων στο εδαφικό διάλυμα, μειώνοντας έτσι τη

δυναμική ισορροπία κορεσμού και προκαλώντας την περίσσια διάλυση από τα ορυκτά. Όταν υπάρξει η διάλυση του CO₂ στο νερό τότε δημιουργείται το ανθρακικό οξύ, το οποίο μειώνει το pH και έτσι ενδυναμώνεται η διαλυτοποίηση των ορυκτών. Ο κυριότερος παράγοντας φθοράς του CO₂ είναι η αποσάθρωση, μέσω της οποίας παράγεται η συζυγής βάση του διττανθρακικού (HCO₃⁻). Το HCO₃⁻ είναι το σημαντικότερο από τα ανιόντα που διασυνδέονται και προέρχονται από την αποσάθρωση κατιόντων κατά τη διαδικασία της έκπλυσης.

Τα οργανικά οξέα, που απελευθερώνουν οι μύκητες μπορούν να ξεκινήσουν τη σταδιακή αποσάθρωση και το CO₂ της αναπνοής να δρα σαν καταλύτης. Η επίδραση των μυκήτων δυσχεραίνεται από την αύξηση της οξύτητας του εδαφικού διαλύματος, όταν γίνεται πρόσληψη του αζώτου. Σε αντίθεση, οι μύκητες με τα φυτά συγκεντρώνουν το άζωτο κυρίως υπό αμμωνιακή μορφή (NH₄⁺). Με την προσβολή του NH₄⁺ επιτυγχάνεται η ανταλλαγή NH₄⁺ με H⁺, που εισέρχονται από τις μυκηλιακές υφές. Κατ' αυτό τον τρόπο αυξάνουν τη συγκέντρωση H⁺ στο εδαφικό διάλυμα με την ιδιότητα αύξησης της υδρολυτικής και διαλυτικής ικανότητας του νερού. Με τη δημιουργία μυκορριζών, από τους μύκητες προσλαμβάνουν το NH₄⁺ και σε μεγαλύτερες ποσότητες σε σύγκριση με το NO₃⁻. Η συνολική συγκέντρωση 80-90% του αζώτου, που λαμβάνεται υπό αμμωνιακή μορφή, η οποία διευκολύνει την περίσσεια αύξηση του H⁺ (Hoffland *et al.* 2004 p.260).

Μια συγκεκριμένη κατηγορία μυκήτων που παρατηρείται πάνω στις επιφάνειες των μνημείων, συμπεριλαμβανομένου του ψηφιδωτού του Ζαπτείου, είναι οι μαύροι μύκητες. Ο σχηματισμός των μαύρων μυκήτων οφείλεται στις κλιματικές συνθήκες, όπως η ιδιαίτερα υψηλή ακτινοβολία και οι διαφοροποιήσεις της υγρασίας από ξηρό σε υγρό κλίμα. Επιπλέον, καθοριστικό ρόλο για την ανάπτυξη τους διαδραματίζει η ατμοσφαιρική ρύπανση και η ύπαρξη ρυπαντών πάνω στα ψηφιδωτά. Συνέπεια των μαύρων μυκήτων αποτελεί η αλλοίωση του χρώματος στις μαρμάρινες επιφάνειες (απόχρωση από καφέ έως και μαύρο) αλλά και η σταδιακή απολέπιση.

Οι μαύροι μύκητες είναι οι πιο εμφανείς αλλά και οι πιο επικίνδυνοι οργανισμοί που διεισδύουν στις λίθινες επιφάνειες, στις οποίες έχουν την ικανότητα να προσκολλώνται με ισχυρό τρόπο αλλά και να εισέρχονται βαθιά. Ανάλογα με το είδος τους, τους διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες αλλά και αντίστοιχα με την ποσότητα θρεπτικών συστατικών στην επιφάνεια, οι μύκητες είναι δεσμευμένοι σε κυτταρικούς ιστούς και εκκρίνουν χρωστικές μελανίνης. Η μελανίνη είναι ικανή να στιγματίσει εκτεταμένα περιοχές των μαρμάρων και των ασβεστόλιθων. Η συγκεκριμένη επίσης είναι υπεύθυνη για τη χρωματική αλλοίωση των λίθων και κατέχει την ικανότητα της τροποποίησης των

συνθηκών, που επηρεάζουν τα πετρώματα. Συγκεκριμένα, αλλάζει τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Εύκολα μπορεί κανείς να την εντοπίσει ως μικρές, πολλαπλές, επιφανειακές και μαύρες κηλίδες, που εκτείνονται σε διάφορα σημεία των ψηφίδων. Εν τέλει, η κύρια αισθητική βλάβη μπορεί να συμβεί, όταν οι μύκητες δεν εισχωρούν πολύ βαθιά στις ρωγμές αλλά απλώνονται στην επιφάνεια των πετρωμάτων κάτω από ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξή τους (Diakumaku *et al.* 1995 p.295,300-303).

Επιπρόσθετα, η αποκόλληση των ψηφίδων από το κονίαμα, στο οποίο έχουν τοποθετηθεί, είναι

ένας ακόμα τύπος φθοράς, που εντοπίζεται συχνά πάνω στις ψηφιδωτές επιφάνειες. Η εκδήλωση της αποκόλλησης οφείλεται σε ποικίλες αιτίες, με αποτέλεσμα να μαυρίζουν και να σπάνε οι ψηφίδες. Ως βασική και κύρια αιτία επισημαίνεται η αλλοίωση και η διάβρωση της πέτρας, η οποία εξαρτάται από το πορώδες ενός λίθου και οδηγεί στο μαύρισμα και τη ρωγμή των ψηφίδων. Επίσης αιτία



Εικόνα 71. Χαλάρωση συνοχής ψηφίδων στο κονίαμα, αποκόλληση τους και δημιουργία απωλειών.

αποκόλλησης αποτελεί η έλλειψη συμπαγούς στο ψηφιδωτό, που έχει ως αποτέλεσμα οι ψηφίδες να ξεφλουδίζονται. Ακολούθως οι αιτίες, που εξηγούν το τελευταίο, αφορούν τη ρύπανση και τη μικροβιολογική προσβολή (Veloccia 1977 p.40).

Εν κατακλείδι, όλοι οι μηχανισμοί φθοράς, που επιδρούν στο ψηφιδωτό, καταλήγουν στη μορφολογική αλλοίωση των ψηφίδων και των κονιαμάτων, κάτι που οδηγεί στη «διάβρωση» του αρχικού σχήματος, την πρόκληση κενών και τελικά τη διάσπαση της ένωσης κονιαμάτων και ψηφίδων.



Εικόνα 72. Αποκόλληση και απώλεια ψηφίδων.



Εικόνα 73. Απώλεια ψηφίδων και εμφάνιση του κονιάματος του υποστρώματος.

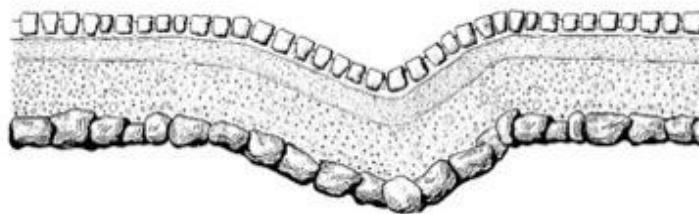
4.2.2. Παθολογία της υποδομής

Όπως ερμηνεύτηκαν παραπάνω οι φθορές, που μπορεί να προκληθούν από τις διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες πάνω στην επιφάνεια του ψηφιδωτού, άλλες τόσες και παρόμοιες φθορές μπορεί να εντοπιστούν και στη δομική κατασκευή ενός ψηφιδωτού δαπέδου με αποτέλεσμα την αλλοίωσή του. Η παθολογία της υποδομής πολλές φορές δεν είναι ορατή, καθώς βρίσκεται στα υποκείμενα στρώματα του ψηφιδωτού, άλλες φορές όμως μπορεί να γίνει αντιληπτή, καθώς οι φθορές της μπορούν, ξεκινώντας από αυτήν να φτάσουν μέχρι και την επιφάνεια.

Ο συνδυασμός εξωτερικών παραγόντων, όπως της υγρασίας, της θερμοκρασίας, της βιολογικής ανάπτυξης και της ανθρώπινης παρουσίας, προκαλούν διάφορα είδη καταπονήσεων και κακώσεων που προσβάλλουν γενικά το ψηφιδωτό, κυρίως όμως την υποδομή του. Οι μηχανικές καταπονήσεις αρχίζουν και εκδηλώνονται στην επιφάνεια, ενώ σταδιακά ασκούνται οριζόντιες πιέσεις από το πάνω προς το κάτω μέρος, καταλήγοντας στη μεταφορά αυτών των πιέσεων στο υπόστρωμα. Εξαιτίας αυτών των οριζόντιων τάσεων, που έχουν και αντίθετες διευθύνσεις, τείνουν τα στρώματα να ολισθαίνουν κατά μήκος το ένα με το άλλο, με αποτέλεσμα την πρόκληση ρωγμών στα πιο αδύναμα σημεία των υποκείμενων στρωμάτων. Επιπλέον, όταν εφαρμόζεται η κατακόρυφη καταπόνηση στα ψηφιδωτά, τότε στα υποστρώματα και συγκεκριμένα σε περιοχές που είναι πιο αδύναμες, εμφανίζεται

ιδιαίτερα έντονα το φαινόμενο των ρωγμών και των βυθίσεων (Bessier 1977 p.69). Αυτές οι καταπονήσεις είναι υπαίτιες για τον σχηματισμό των βασικών φθορών της υποδομής ενός ψηφιδωτού.

Οι καθιζήσεις αφορούν την κατακόρυφη μετατόπιση της ψηφιδωτής επιφάνειας, που προέρχεται από τη συμπύκνωση ή την απώλεια ενός υποκείμενου υλικού σε μεγαλύτερο βάθος. Όσον αφορά ένα μνημείο, η καθίζηση μπορεί να συμβαίνει εξαιτίας της γενικότερης τάσης στην ευρύτερη περιοχή ή λόγω της μεταγενέστερης επέμβασης στο μνημείο με επίπτωση την αλλαγή στην ισορροπία των υλικών, που το απάρτιζαν πριν την επέμβαση. Ακολούθως, η διατάραξη αυτής της ισορροπίας προκαλεί γεωλογικές μετατοπίσεις στη συγκεκριμένη περιοχή και έτσι τροποποιείται η μορφολογία του



Εικόνα 74. Σχηματική αναπαράσταση καθίζησης, που επηρεάζει όλη τη στρωματογραφία.



Εικόνα 75. Η καθίζηση, όπως εκδηλώνεται στο ψηφιδωτό στο Ζάππειο.

εδάφους. Η αλλαγή αυτή μπορεί να γίνει απότομα ή προοδευτικά. Η καθίζηση συγκεκριμένα, πάνω στα ψηφιδωτά μπορεί να είναι η προοδευτική καθοδική κίνηση της κατασκευής, εξαιτίας της σταθεροποίησης του εδάφους κάτω από τη θεμελίωση. Στη συνέχεια, ακολουθεί η προοδευτική υποχώρηση των υπερκείμενων στρωμάτων, που δημιουργούνται από τις υπόγειες μετατοπίσεις του εδάφους, με αποτέλεσμα την υποχώρηση επιφανειακών στρώσεων από τη συμπύκνωση των υποκείμενων ιζημάτων (Γεωργιάδου 2016 σσ.60-61).

Ένας ακόμα τύπος φθοράς που είναι εξίσου σημαντικός με τις καθιζήσεις, είναι οι εξάρσεις, οι οποίες εκδηλώνονται και αυτές σε διάφορα σημεία του δαπέδου. Συγκεκριμένα, έξαρση είναι η παραμόρφωση του ψηφιδωτού προς τα άνω, σχηματίζοντας τοπικές διογκώσεις (Getty 2003 p. 9).

Στο συγκεκριμένο ψηφιδωτό οι εξάρσεις έχουν παρατηρηθεί εκεί που βρίσκονται τα πεύκα, η διείδυση των ριζών υπό της στρωματογραφίας ή ακόμα και ενδιάμεσα των στρωμάτων, κάτι που αλλοιώνει τη συνοχή των υλικών μεταξύ τους (Pique *et al.* 2008 p.36). Οι εξάρσεις προκαλούν την απώλεια συνοχής των υποκείμενων στρωμάτων. Όπως είναι φυσικό, οι παραμορφώσεις που υπόκεινται τα δομικά υλικά στην υποδομή εκδηλώνουν φθορές και στην επιφάνεια, ειδικότερα προκαλούν την απώλεια ψηφίδων, όπως προαναφέρθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο (Παθολογία της Επιφάνειας). Η αποκόλληση κονιαμάτων των υποστρωμάτων, όπως και η αποσάθρωση της υποδομής προκαλείται και από τις εξάρσεις (Veloccia 1977 p.41).



Εικόνες 76-77. Εξάρσεις α) κοντά σε περιοχή με δέντρα β) Η υψομετρική διαφοροποίηση που εκδηλώνεται στην επιφάνεια από την εξάρση

Ακόμα, οι ρωγμές είναι ένα φαινόμενο που μπορεί να προκύψει από διαστολές και συστολές, που οφείλονται στις αλλαγές των θερμοκρασιών και στις μεγάλες αλλαγές της περιεκτικότητας της υγρασίας. Επίσης και οι ρίζες των δέντρων και των φυτών μπορούν να προκαλέσουν το σχηματισμό ρωγμών (Stambolon and de Boer 1972 pp.29-30). Συγκεκριμένα στο ψηφιδωτό του Ζαπείου έχει παρατηρηθεί η ύπαρξη μικρορωγματώσεων, εκεί όπου υπάρχουν φυτά.



Εικόνα 78. Ρωγμές, που εκδηλώνονται επιφανειακά αλλά οφείλονται σε φθορές εις βάθος.

Οι παραπάνω μορφολογικές φθορές στη στρωματογραφία του ψηφιδωτού εκθέτουν το εσωτερικό του δαπέδου αμεσότερα στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Έτσι, το εσωτερικό της υποδομής μπορεί και αυτό να επιμολυνθεί από βιολογικές αναπτύξεις. Ο βιολογικός αποικισμός παρόλο που είναι ένα επιφανειακό φαινόμενο, αναπτύσσεται και σε περιοχές με ρωγμές και καθιζήσεις. Εν συνεχεία, η εισροή υδάτων και χωμάτων, δημιουργεί ιδανικές συνθήκες για το βιολογικό αποικισμό και μέσα στο εσωτερικό του ψηφιδωτού (Φτίκου 2016 σσ.20-21).

Καταλήγοντας διαμορφώθηκε ένας συνολικός χάρτης στον οποίο αναγράφονται όλα τα είδη φθορών, που αναλύθηκαν προηγουμένως. Στον χάρτη παρουσιάζεται η παθολογία της επιφάνειας και της υποδομής στις περιοχές, που εκδηλώνεται κάθε φθορά. Παρόλο που με την πάροδο του χρόνου, τα σημεία εκδήλωσης ορισμένων τύπων φθοράς μπορούν να αλλάξουν, σε γενικές γραμμές η όψη του μνημείου παρουσιάζεται σταθερή και συγκεκριμένες φθορές επαναλαμβάνονται σε ορισμένες περιοχές.



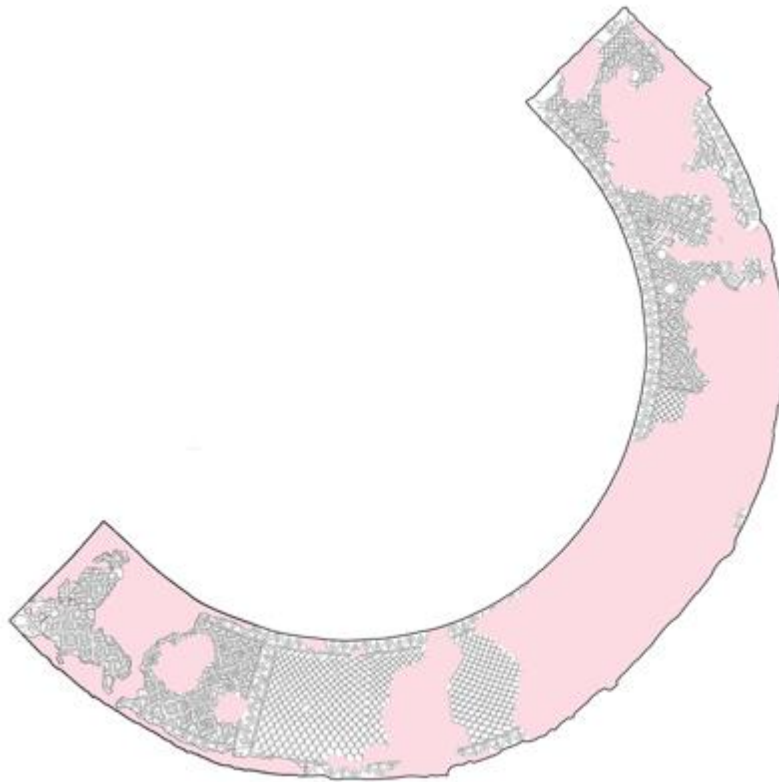
Χάρτης 6. Χαρτογράφηση της παθολογίας της επιφάνειας και της υποδομής του ψηφιδωτού του Ζαπτείου.

4.2.3. Προηγούμενες επεμβάσεις

Πρώτα παρουσιάζεται, συνοπτικά, η έκταση και η τοποθεσία των προηγούμενων επεμβάσεων στο ψηφιδωτό του Ζαπτείου, ώστε να παρατηρηθούν οι φθορές που αυτό έχει υποστεί. Συγκεκριμένα, παρατηρούνται οι εξής επεμβάσεις:

- Καθαρισμός της επιφάνειας από βιολογικές αναπτύξεις.
- Συμπλήρωση με κονίαμα στη μεγάλη απώλεια της ψηφιδωτής επιφάνειας, στο μέσο του διαδρόμου, κοντά στην περιοχή με τη φολιδωτή διακόσμηση.

- Επιπλέον, υπάρχουν αποσπασματικές συμπληρώσεις και στις άκρες του δαπέδου.
- Περιμετρική στερέωση στη βορειοδυτική είσοδο, στην περιοχή της απώλειας.
- Αποκατάσταση καθιζήσεων σε διάφορα τμήματα.
- Εξωραϊσμός (αρμολόγημα, εξομάλυνση και συμπλήρωση, όπου υπήρχαν ρωγμές και κενά) της περιμετρικής στερέωσης αλλά και του κονιάματος συμπλήρωσης των απωλειών - κενών (Βενάκη 2018 σ. 2).



Χάρτης 7. Χαρτογράφηση των περιοχών με τις προγενέστερες επεμβάσεις.

4.2.4. Παθολογία των προηγούμενων επεμβάσεων

Σε αυτή την κατηγορία καταγράφονται οι φθορές που εκδηλώνονται στα υλικά των προγενέστερων επεμβάσεων συντήρησης. Οι τύποι φθορών που προκαλούνται στα υλικά συντήρησης είναι σε ένα βαθμό παρόμοιοι με τις φθορές που παρουσιάζει και το ίδιο το ψηφιδωτό τόσο στην επιφάνεια όσο

και στην υποδομή, αφού οι προγενέστερες επεμβάσεις φθείρονται και εσωτερικά στην υποδομή τους αλλά και εξωτερικά στην επιφάνειά τους.

Οι προηγούμενες επεμβάσεις έχουν διαβρωθεί σε μεγαλύτερο βαθμό όσον αφορά την επιφάνειά τους και μάλιστα οι περισσότερες φθορές παρατηρούνται στη μεγάλη περιοχή συμπλήρωσης, εκεί όπου έχει τοποθετηθεί το κονίαμα στο μέσο του δαπέδου. Εντούτοις, το κονίαμα αυτής της περιοχής βρίσκεται σε γενικά καλή κατάσταση.

Επιπλέον, με την πάροδο των χρόνων έχουν αρχίσει να εκδηλώνονται σε περιορισμένη έκταση διάφορες ρωγμές. Σε αυτό σημειώνονται αρκετές και μεγάλες ρωγμές, αποσπάσεις τμημάτων του, βιολογικές επιφανειακές αναπτύξεις, ενώ



Εικόνα 79. Το κονίαμα πλήρωσης στο κέντρο του δαπέδου. Διατηρείται γενικά σε καλή κατάσταση.

έχουν προκληθεί ρωγμές και κενά και στις ενώσεις του κονιάματος με το υπόλοιπο ψηφιδωτό. Το κονίαμα διατηρεί τις φυσικές και χημικές του ιδιότητες, ενώ ακόμα καλύπτει τα κενά που προϋπήρχαν. Οι περισσότερες φθορές και αλλοιώσεις είναι επιφανειακές και δεν αποτελούν κίνδυνο για την πλήρη αποσάθρωση του κονιάματος. Αισθητικά, τα κονιάματα συμπληρώσεων είχαν ένα λευκό χρώμα, το οποίο εξαιτίας των βιολογικών αναπτύξεων έχει αποκτήσει μια πιο γκρι απόχρωση.

Στη βορειοδυτική είσοδο του ψηφιδωτού δαπέδου είχε παρατηρηθεί από τις επεμβάσεις του 2013 σταδιακή αποκόλληση ψηφίδων καθώς και απώλεια αυτών. Γι' αυτό το λόγο είχε πραγματοποιηθεί περιμετρική στερέωση σε αυτή την περιοχή. Στην υπάρχουσα κατάσταση έχει χαθεί κάθε μέτρο συντήρησης της περιοχής και εκδηλώνεται ξανά το φαινόμενο της αποκόλλησης των ψηφίδων με

αποτέλεσμα την απώλεια ενός μεγάλου μέρους του τμήματος αυτού και τη συνέχιση του συγκεκριμένου φαινομένου.



Εικόνα 80. Ρωγμές, που επεκτείνονται στην επιφάνεια του κονιάματος συμπλήρωσης.



Εικόνα 81. Μεγάλη ρωγή μεμονωμένη στο κονίαμα συμπλήρωσης.



Εικόνα 82. Το σημείο απώλειας στο βορειοδυτικό άκρο του ψηφιδωτού με περιμετρική στερέωση, που υλοποιήθηκε το 2013. ©(ΕΦΑ 2017)



Εικόνα 83. Το σημείο απώλειας στο βορειοδυτικό άκρο του ψηφιδωτού το 2021. Τα κονιάματα στερέωσης έχουν χαθεί πλήρως.



Εικόνα 84. Η διαφοροποίηση της έκτασης της απώλειας, που οφείλεται στην παραμέληση και στη διέλευση πεζών και στην αποσάθρωση των κονιαμάτων στερέωσης. Με κίτρινο η απώλεια το 2013. Με κόκκινο η επέκταση της απώλειας το 2021.



Εικόνες 85-86. Στην αριστερή εικόνα παρατηρείται το κονίαμα, που προστέθηκε κατά την συντήρηση του ψηφιδωτού το 2013 και στην δεξιά εικόνα το ίδιο κονίαμα του έτους 2022.

Στις παρακάτω φωτογραφίες παρατηρείται ο τοίχος, ο οποίος βρίσκεται στη νοτιοδυτική πλευρά του ψηφιδωτού, να έχει ενοποιημένη λιθοδομή κατά το έτος 2013, σε αντίθεση με το έτος 2022 που έχει καταρρεύσει.



Εικόνες 87-88. Στα αριστερά παρατηρείται ο τοίχος, ο οποίος βρίσκεται στη νοτιοδυτική πλευρά του ψηφιδωτού για το έτος 2013 και στην δεξιά εικόνα για το έτος 2022.

4.2.5. Αξιολόγηση και εκτίμηση της κατάστασης διατήρησης

Με βάση την έρευνα που διεξήχθη στο ψηφιδωτό του Ζαππείου, για την τεχνολογία και τα υλικά κατασκευής του, καθώς και για τους μηχανισμούς και τις μορφές φθορών που εκδηλώνονται σε αυτό, συμπεραίνεται μια γενική εκτίμηση για την κατάσταση διατήρησης του συγκεκριμένου ψηφιδωτού. Κατανοώντας το διακοσμητικό σχέδιο, που παρουσιάζει το ψηφιδωτό, καθώς και τα αρχικά υλικά δόμησής του, έγινε αντιληπτό το πως ήταν η αρχική κατάσταση του μνημείου και διαπιστώθηκε η έκταση απώλειας και αλλοίωσής του. Αρχικά έγινε αντιληπτό, με βάση τις προγενέστερες επεμβάσεις, πως ένα σημαντικό μέρος του ψηφιδωτού είχε απολεσθεί, οπότε το παρόν μνημείο δεν αποτελείται μόνο από αρχαία δομικά υλικά αλλά πρόκειται για ένα σύνολο και με νέα, σύγχρονα υλικά, τα οποία έχουν τοποθετηθεί κατά τις διαχρονικές επεμβάσεις συντήρησης. Μέσω της διερεύνησης της παθολογίας, σημειώθηκαν τα είδη φθορών και η έκτασή τους. Συγκεκριμένα εκδηλώνονται φθορές όπως:

- Διείσδυση ριζών στην στρωματογραφία του ψηφιδωτού
- Επικαθίσεις και συσσώρευση φερτών υλικών (οργανική ύλη και χώμα)
- Χρωματική αλλοίωση της ψηφιδωτής επιφάνειας, που οφείλεται στην βιολογική προσβολή
- Δομικές - Μορφολογικές φθορές
 - αποσάθρωση κονιαμάτων
 - αποκόλληση ψηφίδων
 - ρωγματώσεις στην επιφάνεια και την υποδομή
 - εξάρσεις
 - καθιζήσεις

Οι συγκεκριμένες φθορές, εκδηλώνονται στο ψηφιδωτό με ένα συνεχή ρυθμό και τροποποιούνται κατά τη διάρκεια του έτους, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν. Παρόλο που η πρόκληση φθορών είναι συνεχής και είναι εμφανής σε όλη την έκταση του ψηφιδωτού, δεν παρουσιάζονται έντονες κλιμακώσεις των φαινομένων φθοράς, δηλαδή αν και υπόκειται σε τέτοιες καταπονήσεις το ψηφιδωτό, οι αποσαθρώσεις και οι απώλειες των δομικών του στοιχείων δεν είναι τόσο συχνές. Κατά την εξέτασή του τους τελευταίους μήνες, οι αλλαγές στην κατάσταση διατήρησής του εκδηλώνονται με μια επιβλαβή για το μνημείο εξέλιξη, όχι όμως σε μεγάλο βαθμό. Συνεχίζεται σταδιακά και σε μικρή έκταση η απώλεια ψηφίδων, με αποτέλεσμα την απώλεια του διακοσμητικού θέματος, χωρίς όμως αυτό να εκτείνεται σε όλη την επιφάνεια και σε μεγάλες περιοχές. Σύμφωνα με

τα προαναφερθέντα, το ψηφιδωτό του Ζαπείου, υπόκειται σε συνεχείς μηχανισμούς φθοράς, που όμως έχουν ως αποτέλεσμα, μέσω της επαναληψιμότητάς τους, να έχουν προσφέρει και μια σταθερότητα στην παθολογία του μνημείου. Γι' αυτό το λόγο, η κατάσταση διατήρησής του, κρίνεται ως μέτρια και το μνημείο έχει περισσότερο ανάγκη από μικρές σωστικές επεμβάσεις, για την αποφυγή περαιτέρω απωλειών και φθορών, πάρα την εφαρμογή μεγάλων μέτρων συντήρησης. Καθώς οι συνθήκες διατήρησής του παραμένουν εξωτερικές, πολλοί από τους προαναφερθέντες μηχανισμούς φθοράς θα συνεχίσουν να εκδηλώνονται και θα ανατρέψουν τις μεγάλες επεμβάσεις συντήρησης, αφού θα προκληθεί ξανά βιολογική ανάπτυξη συσσωματωμάτων από επικαθίσεις.

Κεφάλαιο 5: Χαρακτηρισμός των υλικών προηγούμενων επεμβάσεων

Σε κάθε μνημείο που πραγματοποιούνται εργασίες συντήρησης, γίνεται και μια μακροσκοπική παρατήρηση και αξιολόγηση για τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, έτσι ώστε σε βάθος χρόνου να παρατηρηθεί αν το υλικό εξακολουθεί να προσφέρει τις ιδιότητες του αλλά και δεν είναι επιβλαβές προς το μνημείο. Έτσι στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα σχολιαστεί η αξιολόγηση των υλικών των προηγούμενων επεμβάσεων σε σύγκριση με την πάροδο του χρόνου, δηλαδή θα τεκμηριωθεί η κάθε επέμβαση που είχε πραγματοποιηθεί στο παρελθόν. Οι βασικές εργασίες συντήρησης που έχουν πραγματοποιηθεί στο ψηφιδωτό του Ζαπείου ήταν :

- Καθαρισμός της επιφάνειας από βιολογικές αναπτύξεις. Εξαιτίας των καιρικών συνθηκών ευνοείται η ανάπτυξη βρύων και λειχήνων σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Λόγω της γρήγορης ανάπτυξης των βιολογικών προϊόντων, ο καθαρισμός της επιφάνειας δεν διατηρείται καθόλου με την πάροδο του χρόνου. Τα ανόργανα δομικά υλικά και συγκεκριμένα οι λίθινες ψηφίδες και το κονίαμα είναι προσφιλή για την ανάπτυξη βιολογικών οργανισμών, όπως βρύα και λειχήνες. Σημειώθηκε μεγαλύτερη ανάπτυξη



Εικόνα 89. Ανάπτυξη βιολογικών οργανισμών σε περιοχή του ψηφιδωτού, που είχε παλαιότερα καθαριστεί.

στα σημεία του ψηφιδωτού, που ήταν σκιασμένα, αφού λόγω της σκιάς υπήρχε παραπάνω υγρασία για την ανάπτυξή τους. Στα σημεία, που ήταν περισσότερο στον ήλιο τα βρύα και οι

λειχήνες εξελίσσονται σε μια μαύρη κρούστα. Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι ο επιφανειακός καθαρισμός, όπου είχε πραγματοποιηθεί και παλιότερα αλλά και πρόσφατα, έχει μικρή διάρκεια ζωής, διότι οι βιολογικές αναπτύξεις ξανά- εμφανίζονται σε μικρό χρονικό διάστημα από τη στιγμή που αφαιρέθηκαν.

- **Κονιάματα:** Συμπλήρωση απωλειών και κενών με κονίαμα. Στη μεγάλη απώλεια της ψηφιδωτής επιφάνειας, στο μέσο του διαδρόμου, κοντά στην περιοχή με τη φολιδωτή διακόσμηση, υπάρχει συμπλήρωση του κενού με κονίαμα. Η σύσταση των κονιαμάτων ήταν η εξής: 1NHL, 2 Χαλαζιακή άμμος, 1 Θηραϊκή γη, οπότε πρόκειται για ένα υδραυλικό ασβεστοκονίαμα, που στο εσωτερικό του είχε τοποθετηθεί και γεωύφασμα για την εσωτερική στήριξη και ενδυνάμωση του κονιάματος. Το κονίαμα συμπλήρωσης, καθώς είναι ένα ασβεστοκονίαμα, αποτελεί ένα συμβατό υλικό συντήρησης σύμφωνα και με τα αρχαία δομικά υλικά, γι' αυτό δεν έχει επιδράσει χημικά στα υπόλοιπα υλικά αλλά και η συμπεριφορά του είναι κοινή σύμφωνα με τα αρχαία υλικά, προς τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Παρόλο της συμβατότητας του υλικού η μορφολογία του και οι μηχανικές αντοχές του δεν έχουν διατηρηθεί άρτιες. Οι εναλλαγές της υγρασίας και οι κύκλοι υγρασίας και ξηρασίας έχουν προκαλέσει τη σταδιακή αποσάθρωση του κονιάματος με αποτέλεσμα να έχουν προκληθεί επιφανειακές ρωγμές και απώλειες. Στις φθορές αυτές έχει γίνει και ορατό το γεωύφασμα, που έχει χρησιμοποιηθεί στο εσωτερικό του κονιάματος. Τέλος, η λευκή όψη κονιάματος έχει και αυτή «μαυρίσει» από τους βιολογικούς οργανισμούς.



Εικόνα 90. Το ασβεστοκονίαμα συμπλήρωσης με ρωγμές και απώλειες και εμφανή το γεωύφασμα.

- Περιμετρική στερέωση: Με την πάροδο του χρόνου παρατηρήθηκε η περαιτέρω φθορά του. Κονίαμα πλήρωσης και περιμετρική στερέωση είχε τοποθετηθεί στην κίτρινη περιοχή για να αναχαιτίσει την απώλεια ψηφίδων, όμως η στερέωση αποδυναμώθηκε και έπαψε να εξυπηρετεί το σκοπό της με την επίπτωση η φθορά της ψηφιδωτής επιφάνειας να συνεχιστεί και να επεκταθεί σε μεγάλο βαθμό. Η δημιουργία κενού εξαιτίας της απώλειας ψηφίδων καταλήγει στη συσσώρευση λιμναζόντων νερών και συνέχιση της αποσάθρωσης των κονιαμάτων στερέωσης και συμπλήρωσης καθώς και την επέκταση της απώλειας των ψηφίδων. Οι ψηφίδες και το κονίαμα μπορούν να αποκολληθούν αρκετά εύκολα από την αρχική τους θέση. Στην φωτογραφία παρατηρείται το ποσό έχει μεγαλώσει η έκταση της απώλειας από το 2013-2022.



Εικόνα 91. Στην κίτρινη περιοχή παρατηρείται η απώλεια για το 2013 σε αντίθεση με το κόκκινο χρώμα, που η έκταση απώλειας μεγαλώνει για το έτος 2022.

Κεφάλαιο 6: Προτάσεις επεμβάσεων συντήρησης και προστασίας

6.1. Προτάσεις και επεμβάσεις καθαρισμού

Ο καθαρισμός αποτελεί μια διαδικασία της συντήρησης που επιφέρει την αλλαγή της κατάστασης διατήρησης πάνω στην επιφάνεια ενός αρχιτεκτονικού μνημείου. Με την έννοια του καθαρισμού εννοείται η επέμβαση συντήρησης που στοχεύει στην αφαίρεση των επιφανειακών επικαθίσεων και εναποθέσεων, όπως τα διαλυτά άλατα, κρούστες ευδιάλυτες ή δυσδιάλυτες ακόμα και μη διαλυτές, διαστρωματώσεις διαφορετικών και μη σταθερών υλικών σκόπιμα εφαρμοσμένων, εκκρίσεις ζώων, βλάστηση, μικροοργανισμούς κ.α. (Gallo *et al.* 2020 p.1). Πριν λοιπόν πραγματοποιηθεί ένας καθαρισμός πρέπει να γίνει ένας έλεγχος, για να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητά του και να διασφαλιστεί ότι δεν θα προκληθεί περαιτέρω φθορά, όπως για παράδειγμα η αποκόλληση των

ψηφίδων (Roby *et al.* 2013 p.89). Ο καθαρισμός θεωρείται ένα απαραίτητο στάδιο στην συντήρηση ενός ψηφιδωτού, υπάρχουν όμως και οι κύριοι κίνδυνοι, που μπορεί να προκληθούν εξαιτίας του, όπως είναι η αφαίρεση του αρχικού υλικού, η δημιουργία ρωγμών, η παραγωγή διαλυτών αλάτων ως υπολειμμάτων των χημικών διεργασιών (Tortosa 2005 p.97).

Ο καθαρισμός πραγματοποιείται πάντα προοδευτικά, αρχίζοντας από τις πιο ήπιες μεθόδους και καταλήγοντας σταδιακά σε πιο δραστικές, όταν αυτό κριθεί απαραίτητο. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι καθαρισμού που μπορούν να εφαρμοστούν πάνω στην ψηφιδωτή επιφάνεια και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής: Μηχανικές, Φυσικές και Χημικές μέθοδοι (Γεωργιάδου 2016 σ.102).

Αρχικά επιχειρείται μηχανικός καθαρισμός, ο οποίος εφαρμόζεται με ελαφρά μηχανικά εργαλεία, όπως είναι νυστέρια, μαλακές βούρτσες, σφουγγάρια, οδοντιατρικά εργαλεία κ.α., για την απομάκρυνση χαλαρών επιφανειακών επικαθίσεων και βιολογικών μικροοργανισμών. Πρόκειται για μία μέθοδο αργή, η αποτελεσματικότητα της οποίας εξαρτάται από τον ίδιο το χειριστή (Urquhart *et al.* 1997 p.21). Συγκεκριμένα στο ψηφιδωτό του Ζαπείου αρχικά πραγματοποιήθηκε αφαίρεση των χαλαρών επικαθίσεων και φερτών υλικών με μαλακές σκούπες (κοινές σκούπες δαπέδου) και στη συνέχεια στεγνό βούρτσισμα με σκληρές βούρτσες, για να αφαιρεθούν οι μικροβιολογικές κρούστες και τα σκληρά επιφανειακά ιζήματα χωμάτων και φερτών υλικών.



Εικόνα 92,93,94 και 95. Μηχανικός καθαρισμός με τη χρήση σκούπας και θούρτσας.

Στις φυσικές επεμβάσεις καθαρισμού συγκαταλέγεται ο καθαρισμός με χρήση νερού ή διαφορετικά αναφέρεται και ως υγρός καθαρισμός (Γεωργιάδου 2016 σ.103). Στο ψηφιδωτό του Ζαπείου πραγματοποιήθηκε υγρός καθαρισμός και ατμοβολή. Ο υγρός καθαρισμός εφαρμόστηκε για να αφαιρεθούν τα πακτωμένα ιζήματα χωμάτων, αφού σε κάποια σημεία ο μηχανικός καθαρισμός δεν ήταν αποτελεσματικός στην αφαίρεσή τους. Το νερό είναι ένα αποτελεσματικό καθαριστικό σε ατμοσφαιρικά μολυσμένες επιφάνειες, καθώς η δράση του υγρού διαλύτη, δηλαδή του νερού, λαμβάνει χώρα στη διεπιφάνεια μεταξύ του υγρού και του στερεού. Η καθαριστική απόδοση του νερού εξαρτάται από το μέγεθος του υγρού διαλύτη, όπως εφαρμόζεται πάνω στο ψηφιδωτό, δηλαδή όσο αυξάνεται το μέγεθος της διαβρεγμένης επιφάνειας τόσο καλύτερα λειτουργεί ο καθαρισμός. Έτσι, όσο επεκτείνεται ο υγρός διαλύτης αυξάνεται και η καθαριστική του ιδιότητα σε αντίθεση με το εάν παραμείνει συγκεντρωμένος σε μια συγκεκριμένη περιοχή περιορίζεται και ο καθαρισμός. Αυτός είναι και ο λόγος που το νερό σε νεφελώδη κατάσταση έχει τη δυνατότητα να επεκτείνεται με ιδιαίτερη ευκολία επάνω στις διαβρωμένες επιφάνειες. Η ατμοβολή προσφέρει τη δυνατότητα στο νερό να βρίσκεται σε αυτή τη νεφελώδη κατάσταση και γι' αυτό συνήθως έχει μια ικανοποιητική καθαριστική ικανότητα (Toracca 2005 p.98)

Στην περίπτωση του ψηφιδωτού του Ζαπείου πραγματοποιήθηκε υγρός καθαρισμός με σφουγγάρια και βούρτσες. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε και ατμοβολή, δηλαδή καθαρισμός με νερό σε μορφή ατμού με τη χρήση ειδικής συσκευής, η οποία μπορεί να παρέχει ένα εύρος πιέσεων. Ως αποτέλεσμα, η έκπλυση γίνεται με καθαρά νεφελώδη ψεκάσματα τα οποία αποκτούν υψηλή πίεση. Ακόμη και σε υψηλές πιέσεις το πλύσιμο με νερό δεν μπορεί να αφαιρέσει σημαντικές ποσότητες ρύπανσης, όμως μπορεί να αφαιρέσει μόνο χαλαρά επιφανειακές αποθέσεις ή βιολογικές επικαθίσεις (Urquhart *et al.* 1997 p.18).



Εικόνες 96-97-98-99. Υγρός Καθαρισμός στο Ζάππειο.



Εικόνα 100. Συσκευή ατμοβολής, ATMOS 5.



Εικόνα 101. Τμήμα του ψηφιδωτού, που φέρει φολίδα ως διακόσμηση πριν τη χρήση του ατμού.



Εικόνα 102. Τμήμα του ψηφιδωτού, που φέρει φολίδα ως διακόσμηση κατά τη διάρκεια του καθαρισμού.



Εικόνες 103-104. Τμήμα του ψηφιδωτού, που φέρει φολίδα ως διακόσμηση μετά τον καθαρισμό.



Εικόνα 105. Πριν την εφαρμογή του καθαρισμού.



Εικόνα 106. Μετά την ολοκλήρωση του καθαρισμού.

Παρατηρήσεις: Η ατμοβολή αποτελεί μια ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία. Διαπιστώθηκε πως για να αφαιρεθούν οι βιολογικές αναπτύξεις έπρεπε ο καθαρισμός να είναι συνεχής και να ασκείται σημειακά, από ψηφίδα σε ψηφίδα. Επιπλέον εξαιτίας της πίεσης που ασκείται από την

ατμοβολή, τα αποσαθρωμένα κονιάματα και οι ψηφίδες αποσπώνται από την ψηφιδωτή επιφάνεια.

Ο χημικός καθαρισμός στηρίζεται στη χρήση οργανικών διαλυτών και άλλων δραστικών ουσιών σε μορφή υγρών διαλυμάτων. Στόχος του χημικού καθαρισμού είναι η απομάκρυνση των ρύπων οι οποίοι καλύπτουν την επιφάνεια ενός μνημείου. Η μέθοδος αυτή χρειάζεται συνεχή παρακολούθηση, έτσι ώστε τα χημικά, που θα εφαρμοστούν πάνω σε μια επιφάνεια, να μην προκαλέσουν περαιτέρω φθορά. Αρχικά η επιφάνεια που πρόκειται να καθαριστεί υγραίνεται, για να περιοριστεί η διείσδυση των χημικών (Bouichou and Marie-Victoire 2021 p.18). Τα προϊόντα, που χρησιμοποιούνται για τη μέθοδο του χημικού καθαρισμού είναι τα εξής: όξινα διαλύματα, αλκαλικά διαλύματα, ανθρακικά διαλύματα, οργανικοί διαλύτες, που εφαρμόζονται πάνω στις επιφάνειες συνήθως σε πάστες και τέλος τα βιολογικά επιθέματα. Οι χημικοί καθαρισμοί μπορούν να επιφέρουν διάφορες επιπτώσεις στο πορώδες των λίθων, με αποτέλεσμα την αύξηση της ικανότητας της απορρόφησης και της διατήρησης μεγάλης ποσότητας από τα εφαρμοζόμενα χημικά. Ο χημικός καθαρισμός έχει τη δυνατότητα να αφαιρεί τις επικαθίσεις, ακόμη και όταν αυτές είναι πολύ συμπαγείς και έχουν μεγάλη έκταση (Urquhart *et al.* 1997 p.22). Στο συγκεκριμένο ψηφιδωτό πραγματοποιήθηκαν δοκιμές χημικού καθαρισμού με την ακόλουθη διαδικασία και υλικά.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο χημικός καθαρισμός είχαν οριστεί παραλληλόγραμμα με χαρτοταινία και οι γενικές διαστάσεις των παραλληλογράμμων ήταν 20X13 cm. Ο αριθμός όμως των στηλών και των γραμμών κάθε παραλληλόγραμμου εξαρτάται από τον αριθμό των δοκιμών που θα πραγματοποιούνταν. Αυτός ήταν και ο λόγος, που στις περισσότερες δοκιμές δεν διατηρούνταν σταθερές οι διαστάσεις παραλληλογράμμων αλλά προσαρμόζονταν ανάλογα με τις εφαρμογές. Ο διαχωρισμός των κελιών γινόταν με βάση το υλικό καθαρισμού, τη συγκέντρωσή του και το χρόνο του. Οι τροποποιήσεις σε αυτές τις τιμές οδηγούσαν στο σχηματισμό νέων κελιών. Η προετοιμασία που διεξήχθη καθόλη τη διάρκεια των καθαρισμών φαίνεται στις παρακάτω φωτογραφίες.



Εικόνα 107. Προετοιμασία των παραλληλόγραμμων, που θα εφαρμοστούν οι δοκιμές των χημικών καθαρισμών.



Εικόνα 108. Κατά την παρασκευή των επιθεμάτων.

1) Πάστα Mora με χαρτοπολτό

Η πάστα Mora περιέχει ένα ήπιο αλκαλικό άλας, που είναι το όξινο ανθρακικό αμμώνιο (NH_4HCO_3) γι' αυτό στο συγκεκριμένο μίγμα προστέθηκαν 18 gr, και τα ίδια γραμμάρια, δηλαδή 18 gr, και για το όξινο ανθρακικό νάτριο (NaHCO_3), 3ml βιοκτόνο το τεταρτοταγές χλωριούχο αμμώνιο (desogen) και 7,5 gr EDTA.

Αναλυτικότερα το όξινο ανθρακικό αμμώνιο πρόκειται για ένα ήπιο αλκαλικό άλας. Το όξινο ανθρακικό νάτριο χρησιμοποιείται με σκοπό να αποτελέσει έναν αποτελεσματικό τρόπο ελέγχου της μυκητιακής ανάπτυξης. Το desogen εκτός από τη βιοκτόνα δράση του, λειτουργεί παράλληλα και ως τασιενεργό υλικό. Τέλος με την προσθήκη ενός χηλικού παράγοντα, δηλαδή το EDTA, αυξάνεται η αποτελεσματικότητα της μεθόδου για την αφαίρεση μαύρων επιφανειακών βιολογικών στρώσεων, που αποβάλλουν οξαλικό οξύ. Η υψηλή συγκέντρωση του χηλικού συμπλόκου περιορίζει τους βιολογικούς οργανισμούς με αποτέλεσμα το σταδιακό έλεγχο και τη μείωση της διάβρωσης, που προκαλούν (Tograsa 2009 p.99).

Όλα αυτά έχουν διαλυθεί με νερό και στη συνέχεια, έχει προστεθεί χαρτοπολτός, ο οποίος δρα ως φορέας και ως μια προσροφητική ουσία. Η χρονική διάρκεια εφαρμογής του επιθέματος δεν πρέπει να ξεπερνάει τις 24 ώρες, όμως χρειάζεται η διατήρησή του για ορισμένα λεπτά, ώστε να είναι λειτουργική (Θεουλάκης κ.α. 2008 σ.61).

Παρασκευάστηκε ένα μίγμα πάστα Mora στην αρχή με χαμηλή συγκέντρωση (10%) και στη συνέχεια αυξανόταν σταδιακά ανά 5% μέχρι να φτάσει το 20%. Παράλληλα αυξανόταν και ο χρόνος εφαρμογής ανά 20 λεπτά για κάθε δοκίμιο. Ο μεγαλύτερος χρόνος εφαρμογής δοκιμίου είναι 60 λεπτά. Για τη δημιουργία των δοκιμίων ορίστηκαν παραλληλόγραμμα με διαστάσεις 24x13 cm και σημειώθηκαν οι χρόνοι και η συγκέντρωση των διαλυμάτων. Τα δοκίμια εφαρμόστηκαν με τη χρήση σπάτουλας. Αφού ολοκληρώθηκαν οι χρόνοι εφαρμογής του κάθε δοκιμίου, αφαιρέθηκε η πάστα με σπάτουλα και καθαρίστηκε η επιφάνεια του ψηφιδωτού μηχανικά, με βούρτσες, σφουγγάρια και ξυλάκια, έτσι ώστε να αφαιρεθούν τα υπολείμματα του επιθέματος. Στους παρακάτω πίνακες αναγράφεται η κάθε εφαρμογή των δοκιμίων, ανά συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και αναφέρονται οι δύο τρόποι αφαίρεσης των υπολειμμάτων.

Πίνακας 1. Οι συγκεντρώσεις και οι χρόνοι της πάστας Μορα με χαρτοπολτό.

Συγκεντρώσεις	20 λεπτά		40 λεπτά		60 λεπτά	
10%	Βούρτσα και σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και σφουγγάρι	Βούρτσα και σφουγγάρι	Σφουγγάρι
15%	Σφουγγάρι	Βούρτσα και σφουγγάρι	Βούρτσα και σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και σφουγγάρι	Σφουγγάρι
20%	Βούρτσα και σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και σφουγγάρι



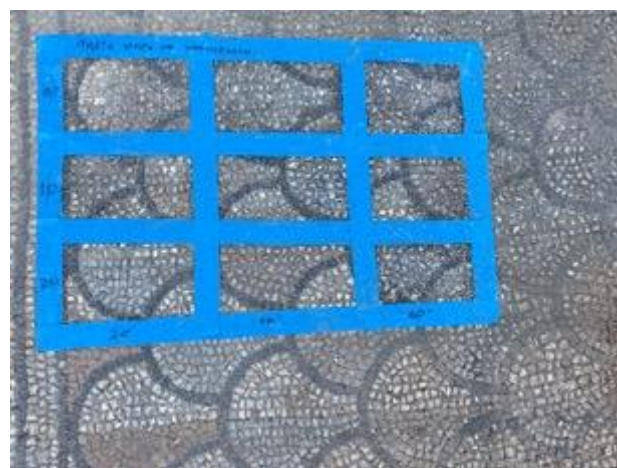
Εικόνα 109. Πριν την εφαρμογή της Πάστας.



Εικόνες 110-111. Κατά τη διάρκεια εφαρμογής της Πάστας.



Εικόνα 112. Αφαίρεση της Πάστας με την υποβοήθηση της σπάτουλας.



Εικόνα 113-114. Η ολοκλήρωση του καθαρισμού της Πάστας.

2) Πάστα Mora με Σεπιόλιθο

Σε αυτή την περίπτωση παρασκευάστηκε ξανά επίθεμα πάστας Mora, με τα ίδια γραμμάρια, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω όμως με διαφορετικό φορέα, ώστε να συγκριθούν οι διαφορετικές προσροφητικές ιδιότητες του Σεπιόλιθου με του χαρτοπολτού. Ο Σεπιόλιθος είναι μια προσροφητική άργιλος και έχει συχνή χρήση στη συντήρηση μνημείων (Gallo *et al.*2020 p.2). Ανήκει στα αργιλικά ορυκτά, που κατά παράδοση χρησιμοποιούνται ως απορροφητικά ή προσροφητικά υλικά (Καντηράνης *et al.* 2004 σ.54). Οι άργιλοι μπορούν να κρατούν την κρούστα των βιολογικών αναπτύξεων υγρή με αποτέλεσμα να απορροφούν άλατα και διαβρωτικά σωματίδια από την επιφάνεια της πέτρας. Οι συγκεντρώσεις και ο χρόνος διατηρήθηκαν ίδιες με την εφαρμογή του προηγούμενου επιθέματος.

Πίνακας 2. Πάστα Mora με Σεπιόλιθο.

	20 λεπτά		40 λεπτά		60 λεπτά	
10%	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι
15%	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι
20%	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι



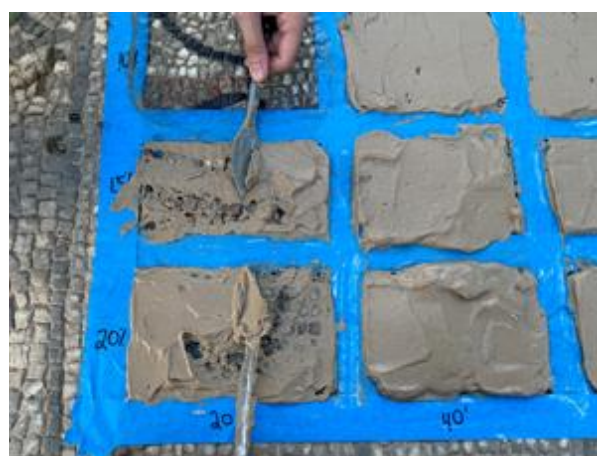
Εικόνα 115. Πριν την εφαρμογή του καθαρισμού.



Εικόνα 116. Κατά τη διάρκεια εφαρμογής της Πάστας Μοσα με τη χρήση σπάτουλας.



Εικόνα 117. Μετά την εφαρμογή της πάστας Μορα.



Εικόνες 118-119. Αφαίρεση της Πάστας Μορα με τη χρήση σπάτουλας.



Εικόνες 120-121-122. Καθαρισμός της πλάκας Μοσαϊκή με την υποβοήθηση σφουγγαριού.



Εικόνες 123-124. Το αποτέλεσμα της μεθόδου καθαρισμού.

Παρατηρήσεις: Έχει προσεχθεί πως και οι δύο πάστες δεν είχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα, γι' αυτό το λόγο δεν συστήνεται καμία από τις δυο στο συγκεκριμένο ψηφιδωτό λόγω των έντονων βιολογικών αναπτύξεων.

3) Υπεροξειδίου του Υδρογόνου (H₂O₂)(Perhydrol) με χαρτοπολτό

Χρησιμοποιήθηκε το συγκεκριμένο διάλυμα για τον καθαρισμό των συσσωμάτων επικαθίσεων και βιολογικών αναπτύξεων. Αυτό είναι ένα διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου, το οποίο είναι αντιμικροβιακό υλικό με όξινο pH (Abdollahi and Hosseimi 2018 p.967). Ο αντιμικροβιακός παράγοντας του υπεροξειδίου του υδρογόνου, βοηθά στη νέκρωση των μικροοργανισμών. Εφαρμόστηκε σε χαρτοπολτό με τη χρήση σπάτουλας και πριν εφαρμοστεί η μέθοδος αυτή, είχε τοποθετηθεί το διηθητικό χαρτί (filter paper), έτσι ώστε να μην παραμείνουν υπολείμματα

ανάμεσα στους αρμούς και στις ψηφίδες. Εντέλει το διηθητικό χαρτί τοποθετήθηκε μόνο στα δοκίμια με συγκέντρωση 5%. Οι συγκεντρώσεις και ο χρόνος αναφέρεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3. Υπεροξείδιο του υδρογόνου με χαρτοπολτό.

	20 λεπτά		40 λεπτά		60 λεπτά		80 λεπτά	
5%	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι
10%	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι
15%	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι



Εικόνα 125. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής των επιθεμάτων.



Εικόνες 126-127. Αφαίρεση του επιθέματος με τη χρήση της σπάτουλας.



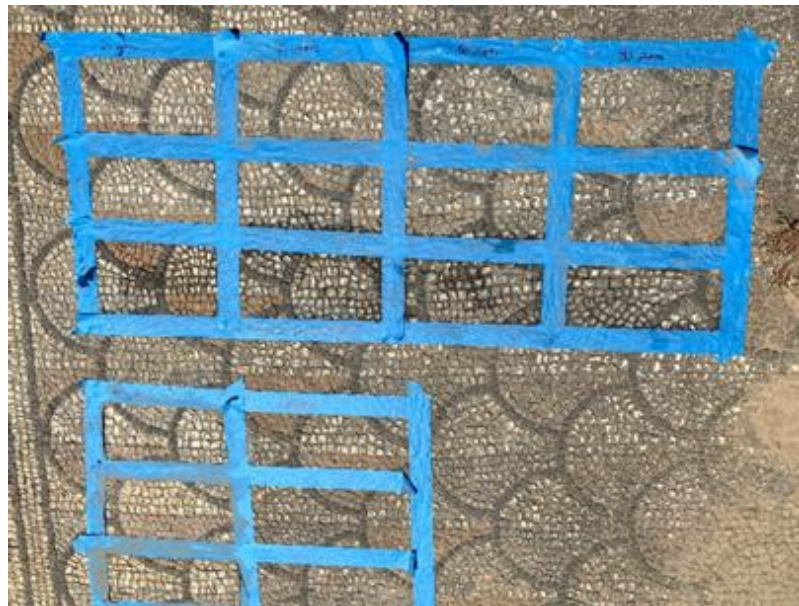
Εικόνα 128. Παραμονή υπολειμμάτων του επιθέματος στο ψηφιδωτό, όταν δε χρησιμοποιείται το διηθητικό χαρτί.



Εικόνα 129. Απουσία υπολειμμάτων των επιθέματος στην περιοχή, που χρησιμοποιήθηκε διηθητικό χαρτί.



Εικόνα 130. Εφαρμογή του καθαρισμού με τη βοήθεια μηχανικής υποβοήθησης για περαιτέρω καθαρισμό, αφού αφαιρέθηκε το επίθεμα.



Εικόνα 131. Η ψηφιδωτή επιφάνεια μετά την εφαρμογή του υπεροξειδίου του υδρογόνου.

Παρατηρήσεις: Το διηθητικό χαρτί εφαρμόστηκε μόνο στο 5% σε όλους τους χρόνους και έχει παρατηρηθεί πως δεν είχε κανένα αποτέλεσμα. Αντίθετα στα υπόλοιπα, που δεν τοποθετήθηκε το διηθητικό χαρτί, έχει παρατηρηθεί να αφαιρούνται οι επικαθίσεις πιο εύκολα. Οπότε το διηθητικό χαρτί περιορίζει τη δραστηριότητα του καθαρισμού, όμως αυτό το συμπέρασμα δεν είναι απόλυτο, καθώς παρατηρήθηκε η μείωση της

αποτελεσματικότητας του καθαρισμού μόνο στα δοκίμια με χαμηλή συγκέντρωση. Τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής είναι μέτρια.

Σύγκριση αποτελεσματικότητας των βιοκτόνων Perhydrol και Desogen.

Στα συγκεκριμένα δοκίμια εφαρμόστηκαν δύο βιοκτόνα με κοινές συγκεντρώσεις προκειμένου να συγκριθεί η δραστηριότητα των δυο υλικών για την αφαίρεση των βιολογικών αναπτύξεων. Το πρώτο βιοκτόνο αφορά το υπεροξείδιο του υδρογόνου (perhydrol), του οποίου οι ιδιότητες αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Το δεύτερο βιοκτόνο, δηλαδή το desogen του οποίου η σύσταση βασίζεται σε άλατα του τεταρτοταγούς αμμωνίου, χρησιμοποιείται σαν βιοκτόνο σε υδατικά διαλύματα με άλλα αντιδραστήρια και αδρανή υλικά. Εκτός από τη βιοκτόνο δράση του είναι και τασιενεργό, βοηθώντας τη δράση των διαλυμάτων στα οποία προστίθεται. Το διάλυμα αυτό χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση βιολογικών ρύπων και επικαθίσεων. (https://www.insituconservation.com/products/cleaning_substances/new_desogen). Οι αρχικές συγκεντρώσεις 5% και 10% είναι κοινές και για τα δύο υλικά ενώ στο perhydrol θα γίνει μια επιπλέον δοκιμή 15% . Η εφαρμογή των διαλυμάτων δε θα γίνει σε μορφή επιθεμάτων αλλά θα εφαρμοστούν άμεσα ως υγρά διαλύματα με τη χρήση βούρτσας για μηχανική υποβοήθηση. Οι συγκεντρώσεις και τα μέσα εφαρμογής αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4. Σύγκριση αποτελεσματικότητας μεταξύ των βιοκτόνων Perhydrol και Desogen.

	Perhydrol	Desogen
5%	Εφαρμογή με βουρτσάκι και σφουγγάρι	Εφαρμογή με βουρτσάκι και σφουγγάρι
10%	Εφαρμογή με βουρτσάκι και σφουγγάρι	Εφαρμογή με βουρτσάκι και σφουγγάρι
15%	Εφαρμογή με βουρτσάκι και σφουγγάρι	



Εικόνα 132. Τα διαλύματα perhydrol και desogen κατά τη χρήση τους



Εικόνα 133. Εφαρμογή του καθαρισμού με Perhydrol.



Εικόνα 134. Εφαρμογή του χημικού καθαρισμού με Desogen.



Εικόνα 135. Όταν ολοκληρώθηκε η μέθοδος.

Παρατηρήσεις: Η συγκεκριμένη μέθοδος καθαρισμού επέφερε ικανοποιητικά αποτελέσματα και γι' αυτό το λόγο συστήνονται και οι δύο για το συγκεκριμένο ψηφιδωτό. Το Perhydrol αποδείχθηκε να έχει πιο ήπια δραστηριότητα σε σύγκριση με το Desogen, το οποίο παρατηρήθηκε να αποδίδει ιδιαίτερα καλά αποτελέσματα.

4) Desogen με χαρτοπολτό

Το Desogen, όπως προαναφέρθηκε, πρόκειται για ένα βιοκτόνο το οποίο έχει και τασιενεργή δράση και ενδείκνυται για την αφαίρεση βιολογικών αναπτύξεων.

(https://www.insituconservation.com/products/cleaning_substances/new_desogen). Ως υδατικό διάλυμά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μόνο του με την παρουσία ενός προσροφητικού φορέα. Μετέπειτα παράχθηκε με χαρτοπολτό και απιονισμένο νερό και εφαρμόστηκε με σπάτουλα πάνω στην επιφάνεια. Τα υπολείμματα του επιθέματος αφαιρέθηκαν μηχανικώς. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε χημικός καθαρισμός με μηχανική υποβοήθηση, δηλαδή βούρτσες διαφορετικού μεγέθους και σκληρότητας που



Εικόνα 136. Κατά τη μηχανική αφαίρεση υπολειμμάτων του επιθέματος desogen.

εμποτίστηκαν στο χημικό διάλυμα και μηχανικά πλέον δοκιμάστηκε η αφαίρεση των μικροοργανισμών, οπότε συγκρίθηκε η αποτελεσματικότητα του καθαρισμού με desogen κατά την εφαρμογή του ως επιθέματος και κατά την άμεση εφαρμογή του με μηχανικά μέσα.

Πίνακας 5. Desogen με χαρτοπολτό.

	20 λεπτά		40 λεπτά		60 λεπτά	
5%	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι
10%	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι



Εικόνα 137. Μετά τον χημικό καθαρισμό με Desogen σε χαρτοπολτό.

Παρατηρήσεις: Η συγκεκριμένη μέθοδος διαπιστώθηκε ότι είχε μέτριο έως καλό αποτέλεσμα καθαρισμού, και επιβεβαιώνεται το desogen ως ένα ικανοποιητικό μέσο καθαρισμού για την αφαίρεση βιολογικών αναπτύξεων.

5) Biocida

Είναι μια πάστα (ιξώδες 6,8–7,2) με βάση το Politect σε συνδυασμό με χλωριούχο βενζαλκόνιο που περιέχει άλας τεταρτοταγούς αμμωνίου (5%), το οποίο εξασφαλίζει τη μηχανική και χημική απομάκρυνση της οργανικής στρώσης (βρύων, βακτηρίων και μυκήτων) (<https://em4c.gr/en/product/politect-cleaning-system/>).

Πρόκειται για ένα προϊόν το οποίο είναι έτοιμο για χρήση με τη βοήθεια πινέλου ή σπάτουλας και ο σκοπός του είναι να εξουδετερώσει τις επιφάνειες βιολογικής προέλευσης, όπως βρύα, λειχήνες, 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 πατινών, αποφεύγοντας τη διασπορά τυχόν μη εξασθενημένων σπορίων (<https://www.politect.it/politect-bio-remover?locale=it>).

Πίνακας 6. Biocida.

12 ώρες		24 ώρες		36 ώρες		48 ώρες	
Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι	Βούρτσα και Σφουγγάρι	Σφουγγάρι



Εικόνας 138. Κατά την αφαίρεση του biocida μετά από 12 ώρες.



Εικόνες 139-140. Καθαρισμός μετά την αφαίρεση του biocida με τη χρήση σφουγγαριού και οδοντόβουρτσας.



Εικόνα 141. Η ψηφιδωτή επιφάνεια μετά την ολοκλήρωση του καθαρισμού του Biocida.



Εικόνα 142. Κατά την εφαρμογή του καθαρισμού Biocida με τη χρήση της σπάτουλας.



Εικόνα 143. Κατά τη διάρκεια αφαίρεσης του Biocida.



Εικόνα 144. Η ψηφιδωτή επιφάνεια μετά την αφαίρεση του Biocida έπειτα από 36 ώρες..



Εικόνα 145. Η ψηφιδωτή επιφάνεια μετά την αφαίρεση του Biocida από τις 48 ώρες.



Εικόνα 146. Πριν την εφαρμογή του Biocida.



Εικόνα 147. Κατά την εφαρμογή του Biocida.



Εικόνα 148. Μετά την εφαρμογή του Biocida.



Εικόνα 149. Η εσωτερική πλευρά του φιλμ, που δημιουργήθηκε από την πάστα Biocida μετά την αφαίρεσή του.

Παρατηρήσεις: Αξίζει να προσεχθεί πως το βιοκτόνο Biocida κατά τη διάρκεια απομάκρυνσής του αφαιρούσε και το αποσαθρωμένο κονίαμα, οπότε για αυτό το λόγο δεν συστήνεται. Παρόλο που προσφέρει ένα σχετικά ικανοποιητικό αποτέλεσμα καθαρισμού, το χημικό αυτό μπορεί να προκαλέσει περαιτέρω φθορά στην ψηφιδωτή επιφάνεια, γι' αυτό και απορρίπτεται.

Συμπεράσματα και παρατηρήσεις

Εν κατακλείδι παρουσιάζονται συνοπτικά και συγκεντρωμένα όλα τα μέσα καθαρισμού τα οποία εφαρμόστηκαν για την αφαίρεση επικαθίσεων ρύπων και φερτών υλικών και προϊόντων βιολογικής ανάπτυξης. Εξετάζεται και συγκρίνεται η ευκολία παρασκευής και χρήσης τους, η αποτελεσματικότητα του καθαρισμού και η δραστηκότητά τους ως επισφαλή μέσα καθαρισμού για

το ψηφιδωτό. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από κάθε δοκιμή καθαρισμού και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το κάθε αποτέλεσμα.

Πίνακας 7. Αποτελέσματα από κάθε δοκιμή καθαρισμού.

Υλικό καθαρισμού	Αποτελεσματικότητα	Παρατηρήσεις:
Πάστα Moga με χαρτοπολτό	Μέτρια	Επιφέρει μικρή καθαριστική ιδιότητα.
Πάστα Moga με Σεπιόλιθο	Μέτρια	Μικρή καθαριστική ιδιότητα και απομένουν υπολείμματα που λεκιάζουν το ψηφιδωτό.
Perhydrol με χαρτοπολτό	Μέτρια	Σε χαμηλές συγκεντρώσεις και με την παρουσία διηθητικού χαρτιού περιορίζει την αποτελεσματικότητά του.
Perhydrol με βουρτσάκι	Καλή	Ως βιοκτόνο σε συνδυασμό με μηχανικό καθαρισμό επέφερε ιδιαίτερα ικανοποιητικά αποτελέσματα.
Desogen με βουρτσάκι	Καλή	Λειτουργεί το ίδιο με το perhydrol αλλά επιφέρει πιο μέτριο καθαρισμό.
Desogen με χαρτοπολτό	Μέτρια	Επέφερε ένα καλό καθαρισμό είναι πιο αδύναμο από το perhydrol.
Biocida	Καλή	Κατά την εφαρμογή αυτών αφαιρούνταν δομικά υλικά από την ψηφιδωτή επιφάνεια.
Ατμοβολή	Καλή	

Με βάση τα προαναφερθέντα αποτελέσματα των δοκιμών καθαρισμού, έγινε αντιληπτό πως ο βέλτιστος τρόπος καθαρισμού είναι η άμεση εφαρμογή χημικού στο ψηφιδωτό. Η εφαρμογή χημικών μέσων καθαρισμού με άμεσο τρόπο αποδείχθηκε ιδιαίτερα δραστική και επέφερε ικανοποιητικά αποτελέσματα για την αφαίρεση των επικαθίσεων. Σε αντίθεση, όταν εφαρμόζονται τα χημικά σε μορφή επιθέματος, η δραστικότητα τους περιορίζεται. Επιπλέον, κατά την άμεση εφαρμογή του χημικού χρησιμοποιούνται και μηχανικά μέσα για την υποβοήθηση του καθαρισμού, όπου αυτά διευκολύνουν και εντείνουν την αφαίρεση των επικαθίσεων. Αξιοσημείωτο αποτελεί το γεγονός πως η μηχανική υποβοήθηση, πρόκειται για μία ελεγχόμενη μέθοδο καθαρισμού, διότι ο συντηρητής μπορεί να καθορίσει την ποσότητα του χημικού και την ένταση της μηχανικής υποβοήθησης, που θα εφαρμοστεί. Από τα χημικά που εφαρμόστηκαν, τον βέλτιστο καθαρισμό προσέφεραν τα βιοκτόνα και συγκεκριμένα το υπεροξείδιο του υδρογόνου (perhydrol). Αυτό αποδείχθηκε συγκριτικά με τα υπόλοιπα βιοκτόνα ιδιαίτερα αποτελεσματικό για την αφαίρεση των βιολογικών αναπτύξεων.

Απομάκρυνε και τις παχιές βιολογικές αναπτύξεις αλλά καθάριζε και τα μικρά μαύρα υπολείμματα των οργανισμών από τις ψηφίδες. Παρόλα αυτά, πρέπει να σημειωθεί πως και τα υπόλοιπα βιοκτόνα (desogen) δρουν επίσης ικανοποιητικά σε μικρότερο βέβαια βαθμό αλλά μπορούν και αυτά να χρησιμοποιηθούν για τον καθαρισμό της ψηφιδωτής επιφάνειας . Όλα τα υπόλοιπα μέσα καθαρισμού απορρίφθηκαν είτε λόγω της αδυναμίας και της μέτριας αποτελεσματικότητας καθαρισμού ή λόγω των φθορών που προκαλούσαν εκ νέου στο ψηφιδωτό κατά την εφαρμογή τους. Όπως για παράδειγμα η ατμοβολή και το biocida,, που κατά την εφαρμογή ή αποσπούν αποσαθρωμένα κονιάματα ή αποκολλούν ψηφίδες από το υποκείμενο στρώμα.

Πίνακας 8. Οι δοκιμές υπεροξειδίου του υδρογόνου (perhydrol) με άμεση εφαρμογή και μηχανική υποβοήθηση.

Perhydrol	
5%	Εφαρμογή με βουρτσάκι και σφουγγάρι
10%	Εφαρμογή με βουρτσάκι και σφουγγάρι
15%	Εφαρμογή με βουρτσάκι και σφουγγάρι

Από τα τρία δοκίμια που πραγματοποιήθηκαν με άμεση εφαρμογή perhydrol με βουρτσάκι, υπήρξαν μικρές αποκλίσεις στην αποτελεσματικότητα του καθαρισμού μεταξύ τους. Όμως παρατηρήθηκε πως ήταν ελαφρά πιο αποτελεσματικός ο καθαρισμός στην υψηλότερη συγκέντρωση 15%. Συστήνεται το perhydrol να διατηρηθεί στο 15% για να έχει ικανοποιητική δραστηριότητα αλλά και να μην επιφέρει χημική αλλοίωση στα δομικά υλικά του ψηφιδωτού, καθώς σε υψηλότερες συγκεντρώσεις μπορεί το υπεροξείδιο του υδρογόνου να αφήσει υπολείμματα και να αλλοιώσει τις ψηφίδες.

6.2. Επεμβάσεις συντήρησης με κονιάματα

Η συντήρηση των ψηφιδωτών αποτελείται από ποικίλες δραστηριότητες μερικές από αυτές αφορούν προληπτικά μέτρα για τον έλεγχο του περιβάλλοντος ενός μνημείου προκειμένου να μειωθούν τα αίτια επιβράδυνσης του ποσοστού φθοράς του. Τέτοια μέτρα περιλαμβάνουν διάφορες κατασκευές και ποικίλα εμπόδια για να αποτραπεί η διέλευση των επισκεπτών πάνω από τα ψηφιδωτά δάπεδα. Άλλες δραστηριότητες αφορούν τις διορθωτικές παρεμβάσεις, που αποσκοπούν στην αποκατάσταση της δομικής σταθερότητας ενός ψηφιδωτού, με μέσα για την προσθήκη ή την εφαρμογή νέων υλικών

προς αντικατάσταση των χαμένων ή κατεστραμμένων αρχικών δομικών στοιχείων. Οι μέθοδοι και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη συντήρηση ψηφιδωτών, είτε προληπτικά είτε διορθωτικά, έχουν εξελιχθεί με το πέρασμα του χρόνου, ιδιαίτερα στις πρόσφατες δεκαετίες καθώς μελετώνται νέα υλικά στα πλαίσια μιας πιο επιστημονικής μεθοδολογίας συντήρησης. Στόχος των επεμβάσεων συντήρησης στα ψηφιδωτά είναι να αποκατασταθεί η δομική τους σταθερότητα με τη χρήση των κονιαμάτων, που έχουν ως πρώτη ύλη ως κονία, τον ασβέστη για την εκτέλεση ποικίλων επισκευών, όπως είναι η πλήρωση περιοχών απώλειας ψηφιδών, συμπλήρωση των διάκενων ή των αρμών, ενέσιμη αρμολόγηση κενών και επανατοποθέτηση χαλαρών ψηφιδών, οι οποίες βρισκόταν στην αρχική τους θέση. Γενικά στα κονιάματα, που επιλέγονται να χρησιμοποιηθούν σε κάθε επέμβαση, πρέπει να δίνεται προσοχή στο χρώμα και στην υφή τους, ώστε να μειωθεί η οπτική επίδραση του κονιάματος συντήρησης προς στο ψηφιδωτό (Roby 2018 pp.1-3).

Οι επεμβάσεις συντήρησης που έχουν πραγματοποιηθεί στο ψηφιδωτό δάπεδο του Ζαπείου, διακρίνονται στην κατηγορία *in situ* δηλαδή έχουν γίνει στο πεδίο (Bassier 2003 p.61).

Όλα τα κονιάματα που παρασκευάστηκαν είχαν την εξής σύνθεση: 1:3

Το 1 είναι η κονία και συγκεκριμένα υδραυλική άσβεστος (NHL) και τα υπόλοιπα τρία μέρη αφορούν τα αδρανή. Συγκεκριμένα 2 μέρη χαλαζιακή άμμο και 1 με θηραϊκή γη και όλα τα παραπάνω υλικά στη συνέχεια αναμιγνύονται με νερό. Η σύνθεση αυτή του κονιάματος είχε χρησιμοποιηθεί και σε προηγούμενες επεμβάσεις από την Εφορεία Αρχαιοτήτων Πόλης των Αθηνών (ΕΦΑΠΑ) (Βενάκη 2018 σ.2).

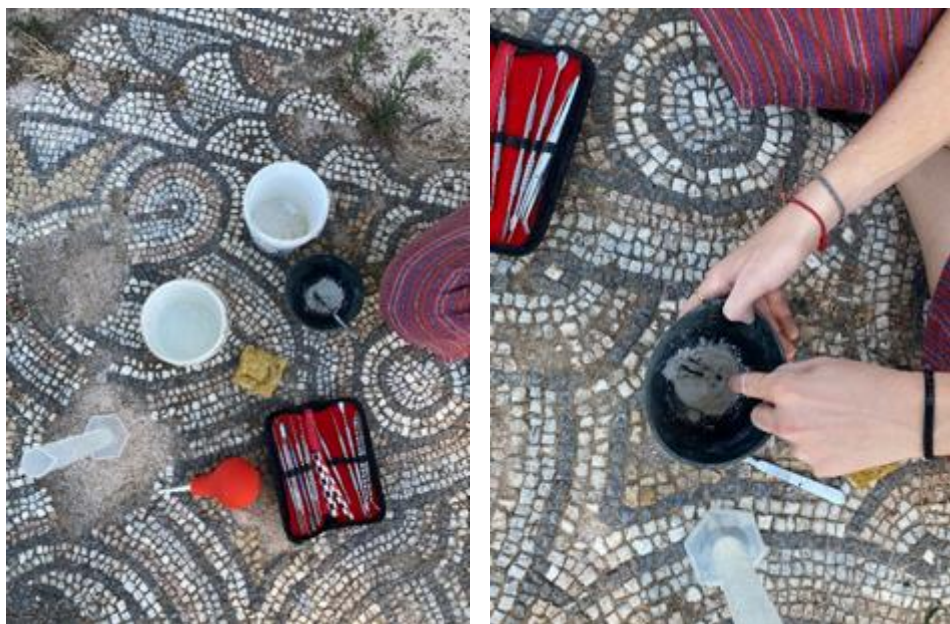
Η υδραυλική άσβεστος έχει την ιδιότητα να σκληραίνει, όταν βρίσκεται σε υγρές συνθήκες (πήζει με την παρουσία του νερού) και παράγει κονίαμα με ανώτερη αντοχή (Torraga 2009 p.58). Σε όλες τις εργασίες συντήρησης ενός ψηφιδωτού συνηθίζεται και συνιστάται ανεπιφύλακτα από την βιβλιογραφία η χρήση κονιαμάτων με βάση τον ασβέστη, επειδή τα χημικά τους, η σύνθεση και τα φυσικά χαρακτηριστικά τους είναι παρόμοια με εκείνα των αρχαίων υλικών, δηλαδή η χρήση ασβεστοκονιαμάτων ως κονίαμα συντήρησης αποτελεί ένα συμβατό υλικό (Roby *et al.* 2013 p.94).

Η χαλαζιακή άμμος αφορά διοξείδια πυριτίου (SiO_2) τα οποία βρίσκονται σε μια ιδιαίτερα λεπτόκοκκη μορφή με αποτέλεσμα τη μείωση του πορώδους του κονιάματος και την αύξηση της αντοχής του. Η προσθήκη χαλαζιακής άμμου δημιουργεί λεπτόκοκκα κονιάματα ιδανικά για την

εφαρμογή τους σε συμπληρώσεις και στερεώσεις στα επιφανειακά στρώματα του ψηφιδωτού. Χαλαζιακή άμμος χρησιμοποιούνταν και σε αρχαία κονιάματα, οπότε η χρήση της ως υλικό συντήρησης αποτελεί ένα συμβατό στοιχείο (Πάχτα 2005 σ.9)

Η θηραϊκή γη ανήκει στην κατηγορία των ποζολάνων αποτελείται από πολύ μικρούς κόκκους, που έχουν την ιδιότητα να είναι πιο συμπαγείς. Οι λεπτότατοι κόκκοι δεν είναι αδρανείς με αποτέλεσμα να έχουν πολύ καλές ποζολανικές ιδιότητες. Όλα τα ηφαιστειογενή υλικά, όπως είναι η θηραϊκή γη λόγω της θερμοκρασίας, όταν πραγματοποιείται η εκτίναξη τους από τα ηφαίστεια χάνουν την υγρασία τους και όταν ενωθούν με το νερό τότε οι κρύσταλλοι αποκτούν ξανά την υγρασία τους, επαναφέρεται και γίνεται η μετατροπή σε υδραυλικό μίγμα με μεγάλη αντοχή και σκληρότητα στο νερό (Χαραλάμπους 2012 σ.134). Η προσθήκη θηραϊκής γης και ποζολάνων ενισχύουν τις υδραυλικές ιδιότητες του κονιάματος για αυτό και είναι επιθυμητή η χρήση της.

Καθοριστικό ρόλο για την παρασκευή των κονιαμάτων είναι το νερό, το οποίο δεν πρέπει να περιέχει υψηλό ποσοστό χλωριούχων και θεικών αλάτων. Τα χλωριούχα άλατα έχουν την ιδιότητα να αντιδρούν με το ασβεστοκονίαμα σχηματίζοντας χλωριούχο ασβέστιο το οποίο έχει υγροσκοπική ικανότητα, με αποτέλεσμα να απορροφά υγρασία και να δημιουργεί λευκά στίγματα. Όταν στο νερό παρασκευής κονιάματος περιέχονται θειικά άλατα προξενούνται φθορές στα υλικά των προγενέστερων επεμβάσεων. Για παράδειγμα σε περιπτώσεις που έχει χρησιμοποιηθεί τσιμέντο, τότε τα θειικά άλατα προκαλούν την αποσύνθεσή του. Αυτός είναι και ο λόγος, που σε όλα τα κονιάματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά τις σωστικές επεμβάσεις τοποθετήθηκε απιονισμένο νερό το οποίο δεν περιείχε άλατα. Όσον αφορά τη θερμοκρασία του νερού πρέπει να κυμαίνεται στους 15-20 °C, η διατήρηση του νερού σε σχετικά χαμηλές υγρασίες αποτρέπει την έντονη αντίδραση του νερού με τα άλλα συστατικά του κονιάματος και απλώς διατηρείται ως ένα υλικό πρόσμιξης (Χαραλάμπους 2012 σσ. 135-136).



Εικόνα 150. Κατά την παρασκευή των κονιαμάτων.



Εικόνα 151. Ρωγμή μεταξύ ψηφιδωτού και κονιάματος πριν την πλήρωση με κονίαμα.



Εικόνα 152. Ρωγμή μεταξύ ψηφιδωτού και κονιάματος μετά την πλήρωση με κονίαμα.



Εικόνα 153. Περιοχή απώλειας με αποσπασμένες ψηφίδες πριν τη συντήρηση.



Εικόνα 154. Η τοποθέτηση ψηφίδων με τη σωστή διάταξη στην αμμοδόχο πριν την επανατοποθέτηση.



Εικόνα 155. Περιοχή απώλειας με αποσπασμένες ψηφίδες μετά τη συντήρηση.



Εικόνα 156. Πριν τη συντήρηση.



Εικόνα 157. Η περιοχή που διαβρέχεται πριν την τοποθέτηση τους κονιάματος.



Εικόνα 158. Πριν τη συντήρηση.



Εικόνα 159. Μετά τη συντήρηση.



Εικόνα 160. Πριν τη συντήρηση.



Εικόνα 161. Μετά τη συντήρηση.



Εικόνα 162. Πριν τη συντήρηση.



Εικόνα 163. Μετά τη συντήρηση.



Εικόνα 164. Πριν τη συντήρηση.



Εικόνα 165. Μετά τη συντήρηση.



Εικόνα 166. Πριν τη συντήρηση.



Εικόνα 167. Μετά τη συντήρηση.



Εικόνα 168. Απώλεια στην ψηφιδωτή επιφάνεια πριν τη συντήρηση.



Εικόνα 169. Καθαρισμός της ψηφίδας πριν την επανατοποθέτησή της.



Εικόνα 170. Συμπλήρωση της απώλειας μετά τη συντήρηση.



Εικόνα 171. Πριν τη συντήρηση.



Εικόνα 172. Μετά τη συντήρηση.



Εικόνα 173. Πριν τη συντήρηση.



Εικόνα 174. Μετά τη συντήρηση.



Εικόνα 175. Πριν τη συντήρηση.



Εικόνα 176. Μετά τη συντήρηση.



Εικόνα 177. Απώλεια σε κονίαμα από προγενέστερη επέμβαση πριν τη συντήρηση.



Εικόνα 178. Συμπλήρωση της απώλειας μετά τη συντήρηση.

6.3. Προτάσεις προστασίας ψηφιδωτού

Το ψηφιδωτό δάπεδο στο Ζάππειο, όπως διαπιστώθηκε από την διερεύνηση της παθολογίας του, είναι ένα μνημείο εκτεθειμένο στο αστικό τοπίο και ευάλωτο προς τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Η διατήρησή του, ως ένα εκτεθειμένο ψηφιδωτό, το καθιστά να είναι επιρρεπές στους αδιάκοπους μηχανισμούς φθοράς. Η ευκολία πρόσβασης στο δάπεδο από επισκέπτες και η έκθεσή του στα έντονα καιρικά φαινόμενα προξενούν φθορές, που καταλήγουν στη σταδιακή απώλεια της ψηφιδωτής επιφανείας, γι' αυτό το λόγο κρίνεται απαραίτητος ο σχεδιασμός ενός πλάνου σωστικών επεμβάσεων, με στόχο τα ακόλουθα:

- ❖ Αναχαιτισμό μηχανισμών φθοράς
- ❖ Εξασφάλιση της προστασίας και της ακεραιότητας του μνημείου
- ❖ Διατήρηση των υλικών κατασκευής του
- ❖ Ανάδειξη του μνημείου

Συγκεκριμένα, αυτά τα σωστικά μετρά, αφορούν τόσο επεμβάσεις συντήρησης αλλά και απλούς ελέγχους και καθαρισμούς για την προστασία του ψηφιδωτού. Αρχικά, όπως προτείνει και η

Ε.Φ.Α.Π.Α., είναι αναγκαίο να πραγματοποιείται κάθε έξη μήνες στεγνός και υγρός καθαρισμός, για την αφαίρεση επικαθίσεων και για την ανάδειξη του διακοσμητικού θέματος του δαπέδου. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα, προτείνεται η καταγραφή και η αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης του ψηφιδωτού, καθώς και η χαρτογράφησή του, ώστε να γίνεται αντιληπτή η εξέλιξη των φθορών και τα σημεία και οι περιοχές εκδήλωσής τους στο ψηφιδωτό με την πάροδο του χρόνου. Έτσι με βάση τη διάγνωση και την καταγραφή των φθορών παρατηρούνται οι περιοχές, που εντείνονται τα φαινόμενα αυτά. Αναλυτικότερα, σύμφωνα με τη χαρτογράφιση της παθολογίας της παρούσας πτυχιακής, έγινε αντιληπτό πως οι περιοχές εκδήλωσης των περισσότερων φθορών είναι αυτές στις οποίες συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας είτε από λιμνάζοντα νερά είτε από τις ρίζες των φυτών. Έτσι, η παρουσία υδάτων πάνω στο ψηφιδωτό εντείνει τα φαινόμενα φθοράς, γι' αυτό και είναι απαραίτητη η απομάκρυνσή τους από το μνημείο, μέσω αποστραγγιστικού μηχανισμού. Τα αποστραγγιστικά έργα, είναι υψίστης σημασίας για να εμποδίζουν τη μεταφορά χωμάτων και νερών στο ψηφιδωτό κατά την περίοδο των βροχών. Η απουσία λιμναζόντων νερών στο ψηφιδωτό, παρεμποδίζει και τον σχηματισμό επιφανειακών συσσωμάτων από φερτά υλικά, τα οποία δημιουργούνται σε πυκνές στρώσεις, εξαιτίας του νερού, πάνω στην ψηφιδωτή επιφάνεια. Τοιούτοτρόπως, η εκδήλωση παθολογίας στην επιφάνεια θα περιοριστεί σε μεγάλο βαθμό και το ψηφιδωτό θα διατηρείται καθαρό και ορατό.

Κεφάλαιο 7: Σχεδιασμός προγράμματος περιοδικού ελέγχου

Ο σχεδιασμός ενός επαρκούς και αποτελεσματικού προγράμματος περιοδικού ελέγχου για την προστασία των ψηφιδωτών είναι υψίστης σημασίας καθώς βασίζεται στη συνεχόμενη παρατήρηση της εξέλιξης της κατάστασης διατήρησης του ψηφιδωτού. Ένα από τα πιο σημαντικά μέσα περιοδικού ελέγχου είναι η τεκμηρίωση της υφιστάμενης κατάστασης. Η τεκμηρίωση είναι θεμελιώδης για την αξιολόγηση της αλλαγής που υφίσταται το μνημείο στο μέλλον και καθορίζεται εάν η επιδείνωση είναι συνεχής καθώς και ο ρυθμός αυτής. Η τεκμηρίωση είναι θεμελιώδης για το μέλλον, καθώς η αξιολόγηση των αλλαγών, που υφίσταται το μνημείο, καθορίζεται από το εάν η επιδείνωση είναι συνεχής αλλά και από το ρυθμό αυτής. Στα πλαίσια της τεκμηρίωσης υπάγεται και η φωτογραφική απεικόνιση. Σύμφωνα με αυτή πρέπει να φωτογραφίζεται το ψηφιδωτό δάπεδο σε όλο το μήκος του και να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα σημεία που εκδηλώνονται φθορές. Το φωτογραφικό υλικό κρίνεται απαραίτητο να αρχειοθετείται με βάση τις ημερομηνίες και τις περιοχές λήψης των εικόνων. Είναι απαραίτητο να λαμβάνεται στα αρχεία raw και jpeg και να δημιουργείται αρχείο με τις αρχικές φωτογραφίες, οι οποίες παραμένουν αναλλοίωτες για μελλοντική μελέτη και επεξεργασία εικόνων.

Όλα τα αρχεία πρέπει να είναι προσβάσιμα για τους διαχειριστές και συντηρητές, ώστε να εξετάζεται διαρκώς η κατάσταση διατήρησης του μνημείου. Η απουσία πρόσβασης σε παλαιότερα αρχεία, σχετικά με τις προγενέστερες συνθήκες έκθεσης και την κατάσταση διατήρησης, καθιστά αδύνατη τη σύγκριση και την κατανόηση της εξέλιξης των φαινομένων φθοράς. Η αξία της ακριβούς και επαναλαμβανόμενης τεκμηρίωσης, που αρχειοθετείται, βασίζεται από την προσβασιμότητα των μελετητών σε αυτή και η προσέγγιση καθ' αυτή εξαρτάται από το εάν τα αρχεία τεκμηρίωσης δημοσιεύονται ή βρίσκονται σε ψηφιακή μορφή. Ωστόσο, ακόμη και αν είναι αρχειοθετημένα και προσβάσιμα η τεκμηρίωση δεν θα είναι χρήσιμη για την παρακολούθηση της εξέλιξης της φθοράς εκτός εάν είναι ειδικά προσαρμοσμένη για αυτό το σκοπό. Αυτό βέβαια απαιτεί συγκεκριμένα πρωτόκολλα τεκμηρίωσης, που καθορίζουν τους δείκτες αλλαγής, όπως φωτογραφίες συγκεκριμένων συνθηκών, που πρέπει να παρακολουθούνται με την πάροδο του χρόνου. Επομένως είναι σημαντικό αν είναι εύκολα προσβάσιμο και σωστά αρχειοθετημένο το φωτογραφικό υλικό το οποίο δείχνει το πριν και το μετά από κάθε έλεγχο (Michaelides *et al.* 2005 pp.23-24)

Συγκεκριμένα ο περιοδικός έλεγχος του ψηφιδωτού του Ζαπείου θα πρέπει να πραγματοποιείται δυο φορές τον χρόνο, το επιθυμητό δυνατό είναι μία φορά κατά τους χειμερινούς μήνες και μία κατά

τους θερινούς μήνες. Η δραστηριοποίηση αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει τη συστηματική τεκμηρίωση βάσει του ίδιου πάντα πρωτοκόλλου και να ακολουθείται από σωστικές επεμβάσεις, όπου αυτές κρίνονται αναγκαίες. Η τεκμηρίωση συνίσταται κυρίως στη φωτογραφική αποτύπωση του ψηφιδωτού δαπέδου σε όλη την έκτασή του, και εάν είναι δυνατό να γίνεται πολλαπλή λήψη φωτογραφιών για το ίδιο σημείο. Οι πολλές φωτογραφικές λήψεις του ίδιου σημείου παρέχουν τη δυνατότητα επιλογής βέλτιστης φωτογραφίας σε ανάλυση και ποιότητα και αποτρέπει την ύπαρξη κακής λήψης κάποιου σημείου. Επιπλέον πρέπει να φωτογραφίζονται ξεχωριστά και με έμφαση περιοχές στις οποίες εκδηλώνονται εκ νέου φθορές αλλά και συνεχιζόμενες. Πέρα από τη φωτογράφιση θα πρέπει να καταγράφονται σημειώσεις για την υφιστάμενη κατάσταση διατήρησης του ψηφιδωτού, δηλαδή να υπάρχει ένας σχολιασμός για αυτά που παρατηρούνται στην παθολογία, στις συνθήκες έκθεσης και σε οποιαδήποτε αλλαγή έχει εκδηλωθεί στο χώρο. Είναι σημαντικό να κρατούνται σημειώσεις και σχόλια, οι οποίες να συνοδεύουν τις φωτογραφίες που εστιάζουν σε σημεία έντονης φθοράς και όπου παρατηρούνται αλλαγές στην κατάσταση διατήρησης του μνημείου. Η χαρτογράφηση της παθολογίας και η τρισδιάστατη αποτύπωση σε κάθε περιοδικό έλεγχο αποτελεί την πιο σίγουρη και καλά τεκμηριωμένη μέθοδο, όμως είναι μια ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία, η οποία χρειάζεται και συγκεκριμένο εξοπλισμό. Τέλος στις περιοχές που έχει παρατηρηθεί έντονη εκδήλωση διαβρωτικών φαινομένων, κρίνεται απαραίτητη η υλοποίηση σωστικών επεμβάσεων (π.χ. περιμετρική στερέωση) για τον αναχαιτισμό των διαβρώσεων.

Αναμφίβολα το πιο σημαντικό είναι ότι οι παρεμβάσεις διατήρησης απαιτούν αποτελεσματική διαχείριση (αξιολόγηση και προγραμματισμό, εκπαιδευμένο προσωπικό, καθεστώς συντήρησης) για να είναι αποτελεσματικές και λειτουργικές. Η αποτελεσματική διαχείριση απαιτεί ολιστικές προσεγγίσεις, όμως η διαφωνία μεταξύ διαφόρων επιστημονικών ειδικοτήτων έχει ως συνέπεια την απουσία λήψης αποφάσεων για την καταγραφή και την αντιμετώπιση πολιτιστικών χώρων (Michaelides *et al.* 2005 pp.23-24).

Κεφάλαιο 8: Συζήτηση και Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν για την ιστορία, τεχνολογία κατασκευής και την παθολογία του συγκεκριμένου ψηφιδωτού καθώς και με βάση τα αποτελέσματα των επεμβάσεων συντήρησης προέκυψαν τα έξης πορίσματα:

Προηγούμενες επεμβάσεις

- Οι προγενέστερες επεμβάσεις έχουν πραγματοποιηθεί από το έτος 2013 μέχρι και το 2018.
- Οι επεμβάσεις αυτές αποσκοπούσαν:
 - Αφαίρεση λιμναζόντων υδάτων.
 - Πραγματοποίηση αφαίρεσης μεγάλων ριζών.
 - Επιφανειακό υγρό και μηχανικό καθαρισμό του ψηφιδωτού.
 - Επανατοποθέτηση αποκολλημένων ψηφίδων και αρμολόγημα με νέο υλικό.
 - Ενεμάτωση σε επιλεγμένα σημεία και αποκατάσταση μικρής καθίζησης.
 - Εξωραϊσμό της περιμετρικής στερέωσης και συμπλήρωση απωλειών.
- Τα κονιάματα των προηγούμενων επεμβάσεων έχουν εφαρμοστεί με συμβατά υλικά ως προς τα αρχικά υλικά δόμησης του ψηφιδωτού. Πρόκειται για ασβεστοκονιάματα με σύνθεση: 1NHL, 2 Χαλαζιακή άμμος, 1 Θηραϊκή γη.
- Γενικά οι προηγούμενες επεμβάσεις διατηρούνται σε καλή κατάσταση και παρέχουν ακόμα την επιθυμητή προστασία στο μνημείο. Όμως και σε αυτές εκδηλώνονται οι μηχανισμοί φθοράς και πραγματοποιείται μια σταδιακή αποσάθρωσή τους.
- Υπάρχει η ανάγκη για τη συντήρηση των προγενέστερων επεμβάσεων.

Τεκμηρίωση

- Βασική μέθοδος για τη μελέτη ενός ψηφιδωτού είναι η σωστή τεκμηρίωσή του. Μέσω της τεκμηρίωσης συλλέγονται, καταγράφονται και ταξινομούνται κατάλληλα όλες οι πληροφορίες για την κατάσταση διατήρησης ενός ψηφιδωτού μνημείου.
- Η τεκμηρίωση μπορεί να υλοποιηθεί μέσω ενδεδειγμένης φωτογραφικής τεκμηρίωσης όλου του μνημείου αλλά και συγκεκριμένα των περιοχών φθορών του, καθώς και με την καταγραφή πληροφοριών και σχολίων που έχουν ληφθεί κατά την παρατήρηση στο πεδίο. Η συνοδεία κάθε φωτογραφίας από συγκεκριμένα σχόλια, που περιγράφουν παρατηρήσεις της κατάστασης του ψηφιδωτού, αποτελεί μια σωστή μορφή ταξινομημένης τεκμηρίωσης.
- Επιπλέον είναι σημαντικό όλα τα τεκμήρια από την μελέτη να αρχειοθετούνται κατάλληλα ανά περίοδο, που διεξήχθη η μελέτη αλλά και το είδος φθοράς και η περιοχή εκδήλωσής της.
- Με βάση την τεκμηρίωση του ψηφιδωτού του Ζαπείου κρίθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη και αποτελεσματική η δημιουργία τρισδιάστατης αποτύπωσης του ψηφιδωτού. Εφόσον το ψηφιδωτό γενικότερα αφορά ένα επίπεδο μνημείο μεγάλης έκτασης, είναι αδύνατο να αποτυπωθεί σε μια μόνο φωτογραφική λήψη, γι' αυτό και η τρισδιάστατη μοντελοποίηση παρέχει τη δυνατότητα να έχουμε ολοκληρωμένο και συνενωμένο όλο το ψηφιδωτό στις σωστές αναλογίες, ως ένα ψηφιακό αρχείο το οποίο μπορεί να τεθεί υπό επεξεργασία. Επιπλέον ένα τρισδιάστατο μοντέλο μέσω του Agisoft δημιουργεί μοντέλα στα οποία αποτυπώνεται η μορφολογία και η υψομετρική διαβάθμιση του ψηφιδωτού, κατ' αυτόν τον τρόπο γίνονται καλύτερα αντιληπτές οι μορφολογικές φθορές του, όπως οι εξάρσεις και οι καθιζήσεις.
- Τα τρισδιάστατα μοντέλα προσφέρουν και τη δυνατότητα εξαγωγής ορθοεικόνων, που αποτελούν τη βάση για την τεκμηρίωση της κατάστασης διατήρησης και τη χαρτογράφηση της παθολογίας. Από τη στιγμή που υπάρχει μια ενοποιημένη εικόνα της ψηφιδωτής επιφάνειας, μπορεί να αποτυπωθεί ψηφιακά και να αποτελέσει αυτός ο ψηφιακός χάρτης μια βάση για τη χαρτογράφηση της παθολογίας των προηγούμενων επεμβάσεων και γενικά οποιωνδήποτε άλλων πληροφοριών, που είναι επιθυμητό να αποτυπωθούν .

Παθολογία

- Στις περιοχές που παρουσιάζεται μεγάλη συγκέντρωση υγρασίας εκδηλώνονται τα περισσότερα φαινόμενα φθοράς.
- Η συσσώρευση χόματος και υγρασίας προκαλεί την ανάπτυξη βλάστησης.
- Η ανάπτυξη μικρών φυτών στην ψηφιδωτή επιφάνεια είναι από τα κυριότερα αίτια για τη φθορά της.
- Η παρουσία μεγάλων δέντρων περίξ του ψηφιδωτού συσσωρεύει οργανικές επικαθίσεις φύλλων και πευκοβελόνων, που επικαλύπτουν την ψηφιδωτή επιφάνεια. Επίσης η παρουσία ριζών στην υποδομή προκαλεί εξάρσεις και καθιζήσεις.
- Η έκθεση του ψηφιδωτού στο Ζάππειο σε εξωτερικές συνθήκες καθιστά τη συνεχόμενη μεταβολή των συνθηκών αυτών και κατά συνέπεια τη μεταβολή της συχνότητα και των ειδών φθοράς. Όσο διατηρούνται οι μεταβαλλόμενες συνθήκες, οι μηχανισμοί φθοράς δεν μπορούν να σταθεροποιηθούν και θα εκδηλώνονται συνεχόμενα.
- Έγινε αντιληπτό για την ορθή μελέτη της κατάστασης διατήρησης ενός αρχαιολογικού μνημείου, το οποίο είναι εκτεθειμένο σε εξωτερικές συνθήκες, ότι καθίσταται απαραίτητη η συνεχής και ενδεδειγμένη μελέτη του. Μόνο με την μακροσκοπική παρατήρηση της κατάστασής του σε διαφορετικές περιόδους κατά τη διάρκεια ενός έτους, καταγράφεται και παρατηρείται η μεταβολή της παθολογίας του ψηφιδωτού και γενικά των συνθηκών έκθεσής του.
- Η μελέτη ενός εκτεθειμένου ψηφιδωτού μόνο μία φορά ετησίως δεν παρέχει μια πλήρη εικόνα για τη συνολική κατάσταση φθοράς, καθώς τροποποιείται καθόλη τη διάρκεια του χρόνου.

Επεμβάσεις

- Οι επεμβάσεις και οι συντηρήσεις σε ένα ψηφιδωτό μνημείο θα πρέπει να πραγματοποιούνται μόνο και εφόσον υπάγονται σε ένα γενικότερο πλαίσιο ανάδειξης και μεταγενέστερης πρόληψης του μνημείου.
- Όσο το μνημείο παραμένει εκτεθειμένο στις ανεξέλεγκτες εξωτερικές συνθήκες, οι μηχανισμοί φθοράς συνεχίζονται και επομένως αναιρούνται οι επεμβάσεις συντήρησης καθώς συμβαίνουν ξανά τα ίδια φαινόμενα φθοράς.
- Πραγματοποιήθηκε πειραματική έρευνα, συγκεκριμένα με επεμβάσεις καθαρισμού ώστε να διαπιστωθεί η βέλτιστη μέθοδος αφαίρεσης βιολογικών αναπτύξεων. Εφαρμόστηκαν διαφορετικά υλικά και μέσα καθαρισμού, όπως επιθέματα, βιοκτόνα, ατμοβολή κ.α., ώστε να συγκριθεί η αποτελεσματικότητα, η συμβατότητα και η απουσία πρόκλησης φθορών μεταξύ των υλικών αυτών.
- Ο ήπιος μηχανικός καθαρισμός για την αφαίρεση των ελαφρών επιφανειακών επικαθίσεων (χώματα, ρύποι και φερτά υλικά) αποδείχθηκε ιδιαίτερα ικανοποιητικός.
- Για την αφαίρεση των συμπαγών βιολογικών αναπτύξεων ορισμένες μέθοδοι, παρόλο που ήταν αποτελεσματικές, απορρίφθηκαν, καθώς επέφεραν φθορές στην ψηφιδωτή επιφάνεια. Οι μέθοδοι αυτές ήταν η ατμοβολή και το biocida.
- Τα επιθέματα με πάστα Moga, με υπεροξειδίο του υδρογόνου (perhydrol) και με desogen δεν απέδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα για την αφαίρεση των βιολογικών αναπτύξεων. Η καθαριστική τους δύναμη ήταν ιδιαίτερα μετριασμένη.
- Η άμεση εφαρμογή των βιοκτόνων perhydrol και desogen με μηχανική υποβοήθηση (χρήση μαλακών βουρτσών) επάνω στην ψηφιδωτή επιφάνεια αποδείχθηκε ως η πιο αποτελεσματική μέθοδος για την αφαίρεση των βιολογικών αναπτύξεων. Καλύτερη δράση έφερε το perhydrol.
- Όσον αφορά τα κονιάματα, που χρησιμοποιήθηκαν για μικρές σωστικές επεμβάσεις, έφεραν την ίδια σύσταση με αυτά που είχε χρησιμοποιήσει η ΕΦΑΠΑ σε προηγούμενες επεμβάσεις. Αυτό συνέβη ώστε τα κονιάματα των επεμβάσεων συντήρησης να ακολουθούν

όλα μια κοινή δομή και να είναι και συμβατά ως προς το ψηφιδωτό. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε ασβεστοκονίαμα 1NHL, 2 Χαλαζιακή άμμος, 1 Θηραϊκή γη.

Προστασία ψηφιδωτού

- Είναι απαραίτητος ο τακτικός έλεγχος του ψηφιδωτού και η αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησής του. Βάσει του ελέγχου και της αξιολόγησης αυτής μπορεί να κριθεί, εάν επείγει η εφαρμογή σωστικών επεμβάσεων.
- Υψίστης σημασίας η διαμόρφωση αποστραγγιστικών έργων για την απομάκρυνση υδάτων από την ψηφιδωτή επιφάνεια με αποτέλεσμα την αποφυγή λιμναζόντων νερών.
- Κρίνεται αναγκαίο ένα τακτικό «σκούπισμα» τουλάχιστον δυο φορές το χρόνο, ώστε να απομακρύνονται οι επικαθίσεις και να αποτρέπεται η δυνατότητα ανάπτυξης βλάστησης.
- Διαμόρφωση του χώρου κατάλληλα, ώστε να αναδειχθεί το ψηφιδωτό δάπεδο αλλά και να αποτρέπεται η διέλευση πεζών από αυτό.
- Σε περιπτώσεις που οι συνθήκες έκθεσης του ψηφιδωτού παραμένουν σταθερές αλλά όμως το μνημείο χρήζει κάποιων άμεσων επεμβάσεων, τότε γίνεται απαραίτητη η εφαρμογή ορισμένων σωστικών επεμβάσεων για τον αναχαιτισμό των φθορών.

Προηγούμενες επεμβάσεις

Από το 2013-2018

Τεκμηρίωση

- Απαραίτητη διαδικασία για τη κατανόηση της κατάστασης διαχείρισης
- Κατάλληλη αρχειοθέτηση των τεκμηρίων
- Διαμόρφωση τρισδιάστατων
- Χαρτογράφηση κατάστασης διατήρησης

Παθολογία

- Συνεχής και ενδεδειγμένη μελέτη παθολογίας του

Επεμβάσεις

- Μεγάλης κλίμακας επεμβάσεις να υλοποιούνται μόνο όταν υπάγονται σε ένα οργανωμένο πλαίσιο διαχείρισης του μνημείου
- Η παραμέληση καταλήγει στην αναίρεση πολλών επεμβάσεων συντήρησης

Προστασία Ψηφιδωτού

Απαραίτητος τακτικός έλεγχος του ψηφιδωτού

Η διαμόρφωση αποστραγγιστικών έργων για την απομάκρυνση υδάτων

Εικόνα 179. Συνοπτικά τα συμπεράσματα από όλα τα στάδια της παρούσας μελέτης.

Βιβλιογραφία:

Ξενόγλωσση:

1. Alberti L., Bourguignon E. and Roby T., (2013), Technician Training for the Maintenance of In Situ Mosaics, The Getty Conservation Institute du Patrimoine, Tunis, 1-2, 77,79, 83-84, 94-95p.
2. Agisoft LLC, (2021), Agisoft Metashape user manual: professional edition, version 1.7, Agisoft LLC, 1,27,33,35,38-40,44,46pp.
3. Amundson R., (1994), Factors of soil formation a system of quantitative pedology, Dover Publications Inc., New York, 98-99pp.
4. Abdollahi M. and Hosseini A., (2014), Hydrogen Peroxide, *Encyclopedia of Toxicology*, **2**: 967-970pp.
5. Bassier C., (1977), Some problems in the conservation of mosaics In: Proceedings of the 1st ICCM Group, on Mosaics No. 1: Deterioration and Conservation, Rome (Eds: P. Bonicatti, V. Demaret, G. de Guichen, S. Inman, P. Johnson, C. Rockwell, F. Selvig) ICCROM, 67-68pp.
6. Burford E.P., Fomina M. and Gadd M., (2003), Fungal involvement in bioweathering and biotransformation of rocks and minerals: mineralogical magazine 67(6) pp.1127-1155
7. Bassier C., (2003), Theorie et pratique de la conservation des mosaïques in situ, In: *Proceedings: of the VIth International Conference of the International Committee for the Conservation of Mosaics, on Mosaics Make a Site: The Conservation of In Situ Mosaics on Archaeological Sites*, Nicosia, Cyprus 1996, 61p.
8. Bouichou M., and Marie-Victoire E., (2021), Cleaning historic concrete a guide to techniques and decision-making, In : The Getty Conservation Institute, 18p.
9. Caldeira B., Oliveira R. J., Teixidò T., Borges J. F., (2019), Henriques R., Carneiro A. and Peña J. A., Studying the construction of floor mosaics in the roman villa of Pisões (Portugal) using noninvasive methods: High-Resolution 3D GPR and photogrammetry, remote sensing, 4p.
10. Chlouveraki S., Charalambous E. and Katrakazis T., (2021), Where there is a will, there is a way: Preserving the bedding on detached mosaics, In: ICOM-CC 19th Triennial Conference Preprints, Transcending Boundaries: Integrated Approaches to Conservation., Beijing 17–21 May 2021, (Eds. J. Bridgland) Paris: International Council of Museums, 2p.
11. Chlouveraki S., (2018), Deterioration of Mosaics, In: The Encyclopedia of Archaeological Sciences, (Eds: S. L. Lopez Varela), John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 1-3p.
12. Cenry R., Kunca A., Tydlit V., Drchalova J. and Rovnanikova P., (2005), Effect of pozzolanic admixtures on mechanical, thermal and hygric properties of lime plasters, *Construction and Building Materials* 20, Prague 849-850pp.

13. Caldeira B., Oliveira R. J., Teixidò T., Borges J. F., Henriques R., Carneiro A. and Peña J. A., (2019), Studying the construction of floor mosaics in the roman villa of Pisões (Portugal) using noninvasive methods: High-Resolution 3D GPR and photogrammetry, remote sensing, 6p.
14. Caneva G., Nugari M.P. and Salvadori O., (1991), Biology in the conservation of works of art, ICCROM, Rome, 10-11,16,27,92-93,96-98pp.
15. Camuffo D., (1995), Physical weathering of stones, *The Science of the Total Environment* 167: 3-4pp.
16. Dams R. I., Viana M. B., Guilherme A. A., Silva C. M., dos Santos A. B., Angenent L. T., Sanatella S. T. and Leitao R. G., (2018), Production of medium-chain carboxylic acids by anaerobic fermentation of glycerol using a bioaugmented open culture, *Journal of Biomass and Bioenergy*, **118**: 1-7pp.
17. Doehne E. and Price C.A., (2010), Stone conservation: an overview of current research, second edition, The Getty Conservation Institute Los Angeles, 13,22pp.
18. Diakumaku E., Gorbushina A.A., Krumbein W.E., Panina L. and Soukharjevski S., (1995), Black fungi in marble and limestones an aesthetical, chemical and physical problems for the conservation of monuments, *The science of the total environment* **167**: 295-304pp.
19. EM4C 2021, *Politect cleaning system*, viewed 17 November 2021, <https://em4c.gr/en/product/politect-cleaning-system/>
20. Fangi G., (2009), Further developments of the spherical photogrammetry for cultural heritage, CIPA Symposium, **22**: 1,3-6pp
21. Gallo C., Rizzo P. and Guerra G., (2020), Antimicrobial release from cleaning poultices for the conservation and disinfection of stone surfaces, *Journal of Applied Clay Science*, **193**: 1-7pp.
22. Gadd G.M., (2007), Geomycology: biogeochemical transformations of rocks, minerals, metals and radionuclides by fungi, bioweathering and bioremediation, *Mycological research* **3**: United Kingdom, 9,12-14pp.
23. Grejtovsky A., Markusova K. and Eliasova A., (2006), The response of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.), Plants to soil zinc supply, *Plant soil environ*, **1**: 1-7pp.
24. Gupta S.P., (2013), Climate change and its impact on monumental and historical buildings with reference to monuments of Chhattisgarh, 577-579 pp.
25. Gallo C., Rizzo P. and Guerra G., (2020), Antimicrobial release from cleaning poultices for the conservation and disinfection of stone surfaces, *Applied clay science*, **193**: 1-7pp.
26. Haas J.R. and Purvis W.O., (2006), Lichen biogeochemistry, In: Gadd G. M.(eds.), *Fungi in biochemical cycles*, Cambridge University Press, Cambridge, 354p.
27. Hoffland E., Kuyper T.W., Wallander H., Plassard C., Gorbushina A.A., Haselwandter K., Holmstrom S., Landeweert R., Lundstrom U.S., Rosling A., Smits M.M., Sen R., Breemen N. and Hees P.A.W. (2016), The role of fungi in weathering, *Frontiers in Ecology and the Environment* 2(5) 258-264pp.

28. Hoffland E., Giesler R., Jongmans T. and Breemen N., (2001), Increasing feldspar tunneling by fungi across a North Sweden podzol chronosequence, Springer, **5**: 11-22pp.
29. ICCROM, (1983), Mosaics No. 2: Safeguard, Publications of the International Committee for the Conservation of Mosaics, Rome, 38p.
30. Iskandar I.K. and Syers J.K., (1972) Metal-complex formation by lichen compounds, Journal of soil science, 263p.
31. *In Situ Museum & Archive Services 2020*, viewed 8 December 2021,
https://www.insituconservation.com/products/cleaning_substances/new_desogen
32. Jimenez S.C., Rowe G.J. and Rodriguez-Hidalgo M.J., (1991), Biodeterioration of polychrome Roman mosaics, International Biodeterioration, England **28**: 70,73,75pp.
33. Kumar V., Singh D.K., Mohan S. and Hasan S.H., (2015), Photo-induced biosynthesis of silver nanoparticles using aqueous extract of erigeron bonariensis and its catalytic activity against acridine orange, Journal of photochemistry and photobiology,
34. Linder W., (2006), Digital Photogrammetry A Practical Course, Springer, Netherlands p.1
35. Munsell Color., (2009), Geological Rock-Color Chart: with genuine Munsell color chips, Munsell Color, Grand Rapids, America, 3p.
36. Munsell A.H., (1915), Atlas of the Munsell color system, Howland &Co. inc. Printers, Wadsworth, 3p.
37. Munsell A.H., (1912), A pigment color system and notation, The American Journal of Psychology, 236-244pp.
38. Money N.P., (2001), Biomechanics of invasive hyphal growth, Springer, Berlin Heidelberg
39. Money N.P., (2004), The fungal dining habit: a biomechanical perspective, Mycologist, United Kingdom
40. Meijden R., (2004)., Hypochaeris glabra L. (Glad biggenkruid) uit het vergeethoekje, Nederland
41. Michaelides D., Savvides N., Capriotti G., Agnew N., Roby T, and Demas M., (2005), Learning from Past Interventions: Evaluation of the Project to Conserve the Orpheus Mosaic at Paphos, Cyprus, In: *Proceedings of the 9th Conference of the International Committee for the Conservation of Mosaics, on Lessons Learned: Reflection on the Theory and Practice of Mosaic Conservation*, (Eds: A. Ben Abed, M. Demas and T. Roby), Hammamet, Tunisia 2005, 23-24pp.
42. Pique F., Burch R., Roby T. and Demas M., (2008), Learning from the Literature: A Review of Published Works on Mosaic Deterioration and Conservation Treatments In: *Proceedings of the 9th ICCM Conference, on Lessons Learned: Reflecting on the Theory and Practice of Mosaic Conservation*, Hammamet, 2005 (Eds: A. B. Abed, M. Demas and T. Roby), GCI,36p.
43. Purvis O.W., (1985), The effect of mineralization on lichen communities with special reference to cupriforous substrata, Thesis, Imperial College Of Science and Technology, London, 1p.

44. Perez C., (2016), *Hyoseris radiata* L., Flora of Gibraltar, Gibraltar, πρόσβαση την 28 Μαρτίου 2022 στο <https://floraofgibraltar.myspecies.info/taxonomy/term/1091/descriptions>
45. Politect 2019, *Bio Remover*, viewed 11 November 2021, <https://www.politect.it/politect-bio-remover>
46. Purvis O.W. and Nimis P.L., (2002) Monitoring lichens as indicators of pollution, In: Nimis P. L., Scheidegger C. and Wolseley P. A. ed., *Monitoring with lichens-Monitoring lichens*, NATO Science Series, IV. Earth and Environmental Sciences-Vol. 7, 2-3 pp.
47. Rashid A., Cheema T.A., Khan A.U.H., Zahid F., Bashir Z., Mirza S.A. and Ali S., (2020), Strategic exploration of potential growth for the selection of niches for oxalis spp, *The journal of animals & plant sciences*, 30(6): 1633-1641 pp.
48. Ranalli G., Zanardini E. and Sorlini C., (2009), Biodeterioration-Including cultural heritage, *Applied Microbiology: Industrial*, 193-194,198pp.
49. Roby T., (2018), Conservation of Mosaics, *The Encyclopedia of Archaeological Sciences* 1-3pp
50. Sala A., Verdaguer D. and Vila M., (2007), Sensitivity of the invasive geophyte oxalis pes-caprae to nutrient availability and competition, *annals of botany* 99: 637-645pp.
51. Stambolov T. and Asperen de Boer van J.R.J., (1976), *The Deterioration and Conservation of Porous Building Materials in Monuments*, International centre for the study of the preservation and the restoration of cultural property, Rome, 27-30pp.
52. Sterflinger K., (2000), Fungi as geologic agents, *Geomicrobiology journal*, 17: 97-124
53. Siegesmund S., and Sneath R., (2014), *Stone in Architecture: Properties, Durability*, Springer, Berlin Heidelberg, 233-234pp.
54. Stojanovic- Radic Z., Comic L., Radulovic N., Dekic M., Randelovic V. and Stefanovic O., (2010), Chemical composition and antimicrobial activity of Erodium species: *E. ciconium* L., *E. cicutarium* L., and *E. absinthoides* wild, *Journal chemical papers*, 64(3):368-37 pp.
55. Torraca G., (2009), *Lectures on Materials Science for Architectural Conservation*, The Getty Conservation Institute, 55,81, 85-87pp.
56. Torraca G., (2005), *Solubility and solvents for conservation problems*, ICCROM, Rome,97p.
57. Tremetsberger K., Talavera S., Stuessy T.F., Ortiz M.A., Weiss-Schneeweiss H. and Kadlec G., (2004), Relationship of *Hypochaeris salzmanniana* (Asteraceae, Lactuceae), an endangered species of the Iberian Peninsula, to *H. radicata* and *H. glabra* and biogeographical implications, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 146:79-95 pp.
58. Tiano P., (2002), Biodeterioration of monumental rocks: decay mechanisms and control methods, In: *Proceedings of the ARIADNE 9 WS*, Prague, Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Academy of Sciences of the Czech Republic 2002, 7p.
59. Urquhart D., Young M. and Cameron S., (1997), *Stone cleaning of Granite Buildings*, Historic Scotland Publisher, Edinburgh, 21-22pp.

60. Vermeulen N., (2004), Εγκυκλοπαίδεια των βοτάνων, Εκδόσεις Καρακωτσόγλου, Αθήνα, 297σ.
61. Verdeguer M., Castaneda L.G., Torres- Pagan N., Llorens-Molina J.A. and Carrubba A., (2020), Control of *Erigeron bonariensis* with *Thymbra capitata*, *Mentha piperita*, *Eucalyptus camaldulensis*, and *Santolina chamaecyparissus* Essential Oils, *Molecules*, Palermo, 2p.
62. Veloccia M.L., (1977), Conservation problems of mosaic in situ In: Proceedings of the 1st ICCM Group, on Mosaics No. 1: Deterioration and Conservation, Rome (Eds : P. Bonicatti, V. Demaret, G. de Guichen, S. Inman, P. Johnson, C. Rockwell, F. Selvig) ICCROM, 40-42pp.
63. Villa A., (1977), The removal of weeds from outdoor mosaic surfaces, In: Proceedings of the 1st ICCM Group, On Mosaics No. 1: Deterioration and Conservation, Rome (Eds : P. Bonicatti, V. Demaret, G. de Guichen, S. Inman, P. Johnson, C. Rockwell, F. Selvig) ICCROM, 49-52pp.
64. Wallace C., (2016), Photogrammetry in Mediterranean Archaeology, Master's Thesis (Eds:Deadman P.), University of Waterloo, Mater of Environmental Studies In Geography 26-30pp.
65. Wilson M. J. and Jones D., (1983), Lichen weathering of minerals: implications for pedogenesis, *Special Publications*, 11(1): 5-12pp.
66. Yastikli N., (2007), Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning, *Journal of Cultural Heritage*, **8**: 423-427pp.
67. Zahoor A., Hussain H., Khan A., Ahmed I., Ahmad V.U. and Krohn K., (2012), Chemical constituents from *erigeron bonariensis* L. and their chemotaxonomic importance, *journal records of natylar products* 6:(4) 376-360pp.
68. χ.σ., χ.η., *Erigeron canadensis*, Φαρμακευτικά φυτά της Ηπείρου, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Σχολή Επιστημών Υγείας, Τμήμα Ιατρικής, Ιωάννινα, Πρόσβαση την 28 Μαρτίου 2022 στο http://mediplantepirus.med.uoi.gr/pharmacology/plant_details.php?id=220
69. χ.σ., (2019), *Erodium cicutarium* Καλόγερος Ερωδιός Χτενάκι, Άγρια Μανιτάρια, Πρόσβαση την 3 Απριλίου 2022 στο <https://www.agriamanitaria.gr/erodium-cicutarium-%CE%BA%CE%>
70. χ.σ., (2022), *Erodium malacoides* - (L.) L'Hér, *Plants For A Future*, England and Wales, Πρόσβαση την 28 Μαρτίου 2022, <https://pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Erodium+malacoides>

Ελληνική:

1. Ασημακοπούλου-Ατζάκα Π., (2003), *Ψηφιδωτά Δάπεδα: Προσέγγιση στην Τέχνη του Αρχαίου Ψηφιδωτού* (έξι κείμενα), University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 17, 20-23σσ.
2. Ασημακοπούλου-Ατζάκα Π. και Πελεκανίδου Ε., (1987), *Βυζαντινά Μνημεία 7, Σύνταγμα των Παλαιοχριστιανικών δαπέδων της Ελλάδος II Πελοπόννησος-Στερεά Ελλάδα*, Κέντρο Βυζαντινών Ερευνών, Θεσσαλονίκη
3. Αλιφραγκής Δ., (2008), *Το έδαφος γένεση-ιδιότητες-ταξινόμηση*, Τόμος I, Εκδόσεις Αϊβάζης, Θεσσαλονίκη, 93,110-112σσ.
4. Βενάκη Μ., (2017), *Τεχνική αναφορά πρότασης επανασυντήρησης του ψηφιδωτού δαπέδου την Ρωμαϊκή Βίλλα, στην συμβολή των οδών Βασιλίσσης Σοφίας και Βασιλίσσης Όλγας*, ΕΦΑ Αθηνών, Αθήνα, 2,5σσ.
5. Βενάκη Μ., Μητσάνη Α. και Μονεμβασιού Ι., (2018), *Αναφορά επαναληπτικών εργασιών συντήρησης για το ψηφιδωτό δάπεδο της ρωμαϊκής οικίας στην περιοχή του Ζαππείου επί της λεωφόρου Όλγας*, Αθήνα 1-2σσ.
6. Γεωργιάδου Α., (2016), *Προστατεύουμε την Πολιτιστική μας Κληρονομία I*, Εκδόσεις Σαΐτα, Αθήνα,43,55-56,58,60-62σσ.
7. Θεουλάκης Π., Γερογιάννης Γ., Στεφανής Α. και Καρατάσιος Ι., (2008), *Δειγματοληπτικές εργασίες καθαρισμού και διαμόρφωση πρότασης για τον καθαρισμό των λίθινων θραυσμάτων του μνημείου του Αυγούστου στη Νικόπολη, Εργαστήριο Συντήρησης Λίθου, Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης*, Αθήνα, 61σ.
8. Καπελιάρη Ρ., (1989), *Για το ψηφιδωτό*, Έκδοση ΕΟΜΜΕΧ, Αθήνα 28σ.
9. Κολέφας Γ., (1983), *Η τεχνική του ψηφιδωτού*, Έκδοση ΕΟΜΜΕΧ, Αθήνα, 38,42,45-46σσ.
10. Μουρελάτος Δ., (2012), *Βυζαντινή Αρχαιολογία και Τέχνη*, Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα, 2σ.
11. Πανσελήνου Ν., (2008), *Σύντομη ιστορική αναδρομή στη δημιουργία και την εξέλιξη του ψηφιδωτού*, In : Πρακτικά ημερίδα Βυζαντινό & Χριστιανικό Μουσείο, on «Ψηφίδα την ψηφίδα»: Δημιουργία και συντήρηση του ψηφιδωτού, (Eds: Ε. Μάργαρη και Ο. Κολέφα), Αθήνα 2007, Υπουργείο Πολιτισμού – Βυζαντινό & Χριστιανικό Μουσείο, 11σ.
12. Πάχτα Β., (2005), *Μελέτη εξέλιξης τεχνολογίας κονιαμάτων: περί κονιαμάτων στην αρχαιότητα*, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκη, Θεσσαλονίκη, 10, 63, 67 σσ.
13. Παπαρρηγοπούλου Α.Κ., (2018), *Μελέτη και ταυτοποίηση χρωστικών σε βοτσαλωτά δάπεδα ελληνιστικής περιόδου από τον Πειραιά*, Μεταπτυχιακή Εργασία (Eds:Θ.Γκανέτσος), Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Αιγαίο 20σ.
14. Πελεκανίδη Σ. και Ατζάκα Π.Ι., (1988), *Σύνταγμα των παλαιοχριστιανικών ψηφιδωτών δαπέδων της Ελλάδος I νησιώτικη Ελλάς*, *Βυζαντινά Μνημεία I*, Κέντρον Βυζαντινών Ερευνών, Θεσσαλονίκη, 155p.

15. Σκουλικίδης Θ.Ν., (2000), *Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 16,30-31,52,150σσ.
16. Τσιραμπίδης Α., (2004), Η χρήση επεξεργασμένων ή συνθετικών ορυκτών στην Παρασκευή τροφίμων, φαρμάκων, καλλυντικών και άλλων προϊόντων, *Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, **XXXVI**: 53-61pp,
17. Φτίκου Α.Ζ., (2016) Κριτήρια επιλογής υλικών και τεχνικών για την αποκατάσταση του υποστρώματος ιστορικών ψηφιδωτών, Eds:Μ. Κουή, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 6-9, 15-21σσ.
18. Φίλιος Δ., (1889), Πρακτικά της εν Αθήναις αρχαιολογικής εταιρίας, Τυπογραφείο των αδελφών Περρή, Αθήνα, 9,14 σσ.
19. Χαραλάμπους, Ε., (2012), *Τεχνολογία Κατασκευής των Επιδαπέδιων Ψηφιδωτών της Κύπρου*, Λευκωσία, 126, 133-134, 304-311 σσ.
20. Χωρέμη Α., (χ.η.), Αρχαιολογία της Πόλης των Αθηνών, Ρωμαϊκή Αθήνα, πρόσβαση την 26 Ιουλίου 2022 στο < http://archaeologia.eie.gr/archaeologia/gr/chapter_more_5.aspx>