



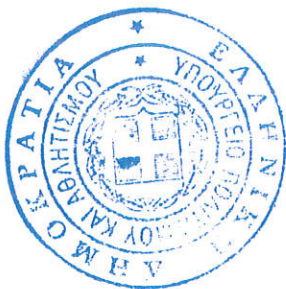
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΛΥΣΕΩΝ  
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ – ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ  
ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΑΓΙΟΥ ΜΗΝΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

Εργαστηριακές μετρήσεις και την αποτίμηση της κατάστασης των μαρμάρινων  
στοιχείων του Ι.Ν. Αγίου Μηνά Ηρακλείου Κρήτης από περιβαλλοντικούς παράγοντες  
και την υπόδειξη των βασικών μέτρων αντιμετώπισής τους



Αλέξης Στεφανής, Επ. Καθηγητής ΠΑΔΑ  
Παναγιώτης Θεουλάκης, Καθηγητής ΠΑΔΑ

Οκτώβριος 2021



Οι μελετητές:

Αλέξης Στεφανής

Παναγιώτης Θεουλάκης

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ  
Πανεπιστημιούπολη Άλσους Αιγάλεω  
Οδός Αγ. Σπυρίδωνος, 12243, Αθήνα  
Τ: 210 5385417  
Ε: [acl@uniwa.gr](mailto:acl@uniwa.gr)



Architectural Conservation Laboratory  
Εργαστήριο Συντήρησης Αρχιτεκτονικών Στοιχείων



## Πίνακας περιεχομένων

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>2. ΛΙΘΟΙ ΔΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΣΜΗΣΗΣ .....</b>  | <b>2</b>  |
| 2.1 Ορθομαρμάρωση στο εσωτερικό του ναού.....  | 2         |
| 2.2 Τέμπλο και θυρώματα .....  | 3         |
| 2.3 Λίθοι τοιχοποιίας .....  | 3         |
| <b>3. ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΛΙΘΩΝ .....</b>  | <b>3</b>  |
| 3.1 Ορθομαρμάρωση στο εσωτερικό του ναού.....  | 3         |
| 3.2 Τέμπλο και θυρώματα .....  | 7         |
| 3.3 Λίθοι τοιχοποιίας .....  | 7         |
| <b>4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΥΛΙΚΩΝ .....</b>   | <b>11</b> |
| 4.1 Δειγματοληψία .....  | 11        |
| 4.2 Χαρακτηρισμός υλικών .....   | 12        |
| <b>5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>  | <b>19</b> |
| 5.1 Στόχοι της επέμβασης .....   | 19        |
| 5.2 Καθαρισμός.....  | 20        |
| 5.2.1. Απομάκρυνση των επικαθήσεων από επιφάνειες του πωρολίθου .....  | 20        |
| 5.2.2 Καθαρισμός – Απομάκρυνση των διαλυτών αλάτων (αφαλάτωση) .....   | 20        |
| 5.2.3. Καθαρισμός – Αντιμετώπιση της μικροχλωρίδας .....   | 21        |
| 5.3 Συγκολλήσεις – συρραφές λίθων – επισκευές ρηγματώσεων.....   | 21        |
| 5.4 Στερέωση αποσπασμένων λίθων .....  | 22        |
| 5.5 Αναρριχόμενη υγρασία .....   | 23        |
| 5.5 Μελέτη συνδέσεων κονιαμάτων για την επισκευή των αρμών/ή και για τη συμπλήρωση απωλειών των λιθοσσωμάτων ..... | 24        |





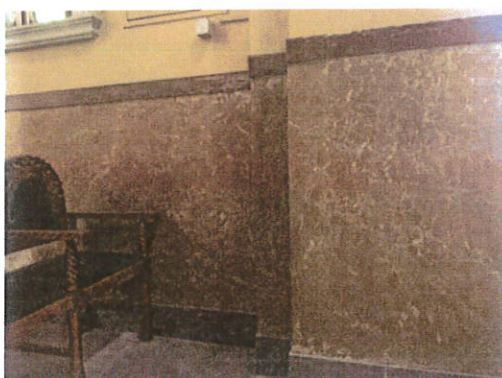
## 1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Η παρούσα έκθεση αφορά στην παρουσίαση των ευρημάτων της αυτοψίας που πραγματοποιήθηκε μεταξύ 16 και 18 Ιουλίου 2021 με αντικείμενο τη μελέτη της υφιστάμενης κατάστασης των διακοσμητικών και δομικών λίθων του Ι.Ν. Αγίου Μηνά στο Ηράκλειο της Κρήτης. Επιπροσθέτως, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων από δείγματα που ελήφθησαν με στόχο τον χαρακτηρισμό των υλικών, την πληρέστερη κατανόηση των φαινομένων διάβρωσης και τη σύνταξη προτάσεων για τη συντήρησή τους.

## 2. ΛΙΘΟΙ ΔΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΣΜΗΣΗΣ

### 2.1 Ορθομαρμάρωση στο εσωτερικό του ναού

Περιμετρικά, το εσωτερικό του ισογείου του ναού, καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από ορθομαρμάρωση σε ύψος 1.40m. Για την κατασκευή της χρησιμοποιήθηκαν λίθινες πλάκες ωχρού χρώματος οι οποίες πλαισιώνονται από λίθινες ταινίες μαύρου χρώματος στη βάση και ερυθρωπού χρώματος στην ανώτερη ζώνη. Στους ημικίονες του τέμπλου έχουν χρησιμοποιηθεί λίθοι πρασινωπού χρώματος.



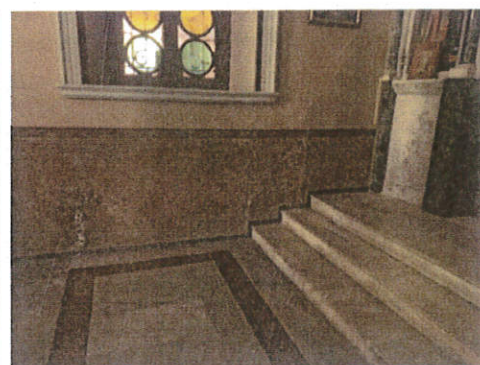
Εικ. 1. Ορθομαρμάρωση



Εικ. 2. Ορθομαρμάρωση



Εικ. 3. Ορθομαρμάρωση



Εικ. 4. Ορθομαρμάρωση





Εικ. 6. Ημικονίονισκος του τέμπλου

## 2.2 Τέμπλο και θυρώματα

Το τέμπλο και τα θυρώματα του νάρθηκα είναι κατασκευασμένα από υπόλευκό ασβεστόλιθο, πιθανότατα τοπικής προέλευσης (ασβεστόλιθος Αλφά).



Εικ. 7. Θύρωμα



Εικ. 8. Θύρωμα

## 2.3 Λίθοι τοιχοποιίας

Ο λίθος που έχει χρησιμοποιηθεί στην τοιχοποιία είναι ψαμμίτης, με πιθανή επίσης τοπική προέλευση (πωρόλιθος Αλφά).

## 3. ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΛΙΘΩΝ

### 3.1 Ορθομαρμάρωση στο εσωτερικό του ναού

Η φθορά στα στοιχεία της ορθομαρμάρωσης εκδηλώνεται ως αποσάθρωση με αποτέλεσμα την απώλεια του υλικού. Σε ορισμένες θέσεις η φθορά είναι εκτενής και έχει επηρεάσει τα υλικά των τριών ζωνών. Παρατηρήθηκαν επίσης αποφλοιώσεις και απολεπίσεις του χρωματικού στρώματος σε θέσεις άνωθεν της ορθομαρμάρωσης καθώς και αποσάθρωση του υποκείμενου επιχρίσματος. Μακροσκοπικά, η φθορά αυτού του είδους οφείλεται σε μετακινήσεις υδατικών διαλυμάτων στα πορώδη υλικά και εν συνεχεία, λόγω της εξάτμισης του νερού, στην κρυστάλλωση των διαλυτών αλάτων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο κέντρο του ναού βρίσκεται υπόγεια δεξαμενή νερού η οποία πλέον δε χρησιμοποιείται. Σε κάθε περίπτωση, τα

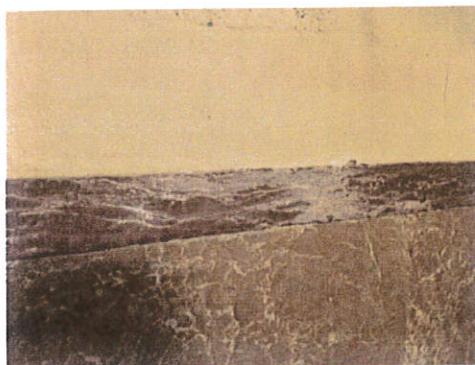




φαινόμενα ανερχόμενης υγρασίας, είτε λόγω των κατεισδυόντων ομβρίων υδάτων, είτε λόγω του νερού της δεξαμενής, θα ήσαν εντονότερα.



Εικ. 9. Εξανθήσεις διαλυτών αλάτων στην επιφάνεια των λίθων.



Εικ. 10. Εξανθήσεις διαλυτών αλάτων. Διακρίνεται η επιφανειακή φθορά του λίθου.



Εικ. 11. Αποφλοιώσεις της επιφάνειας του λίθου



Εικ. 12. Αποσάθρωση/ αποφλοίωση.



Εικ. 13. Εξανθήσεις διαλυτών αλάτων και επιφανειακή αποσάθρωση του κόκκινου λίθου.



Εικ. 14. Σε ορισμένες θέσεις η κατάσταση διατήρησης είναι καλή.





Εικ. 15. Προβλήματα αποσάθρωσης και στο επίχρισμα άνωθεν της ορθομαρμάρωσης



Εικ. 16. Προβλήματα αποσάθρωσης και στο επίχρισμα άνωθεν της ορθομαρμάρωσης



Εικ. 17. Προβλήματα αποσάθρωσης και στο επίχρισμα άνωθεν της ορθομαρμάρωσης

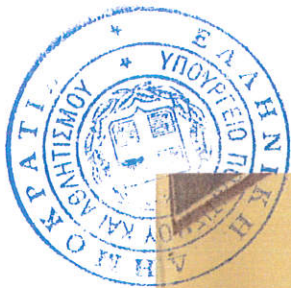


Εικ. 18. Προβλήματα αποσάθρωσης και στο επίχρισμα άνωθεν της ορθομαρμάρωσης

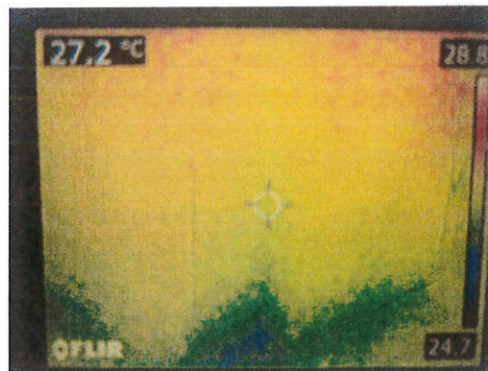


Εικ. 19. Προβλήματα αποσάθρωσης και στο επίχρισμα άνωθεν της ορθομαρμάρωσης

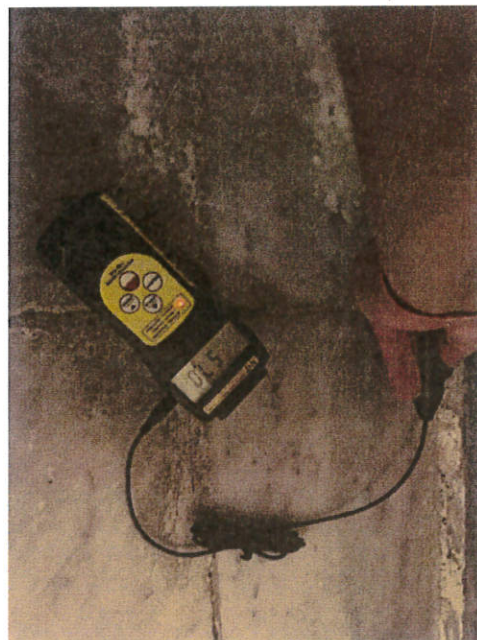




Εικ. 21. Το μέτωπο εξάτμισης της υγρασίας βρίσκεται σε ύψος περίπου 1.70 m από το δάπεδο



Εικ. 20. Απεικόνιση με θερμογραφία υπέρυθρου



Εικ. 22. Μέτρηση περιεχόμενης υγρασίας.

Ο έλεγχος που έγινε με την εφαρμογή υπέρυθρης θερμογραφίας δεν κατέδειξε ενεργές πηγές ανερχόμενης ή/και εισερχόμενης υγρασίας. Το αποτέλεσμα επιβεβαιώνεται και με τις μετρήσεις περιεχόμενης υγρασίας στα στοιχεία της ορθομαρμάρωσης των οποίων οι τιμές ήταν εξαιρετικά χαμηλές. Οι διαπιστώσεις αυτές ασφαλώς συνάδουν με την χρονική περίοδο (Ιούλιος 2021) που έγινε ο έλεγχος και βέβαια απαιτούνται μετρήσεις / στιγμιότυπα σε όλη τη διάρκεια του έτους για να ολοκληρωθεί η εικόνα.





### 3.2 Τέμπλο και θυρώματα

Οι συγκεκριμένοι λίθοι δε παρουσιάζουν σημαντικές φθορές. Σε αρκετές θέσεις διακρίνονται αποθέσεις αιωρούμενων σωματιδίων, κυρίως αιθάλης. Δε διακρίνονται σημαντικές μηχανικές καταπονήσεις και ρηγματώσεις.

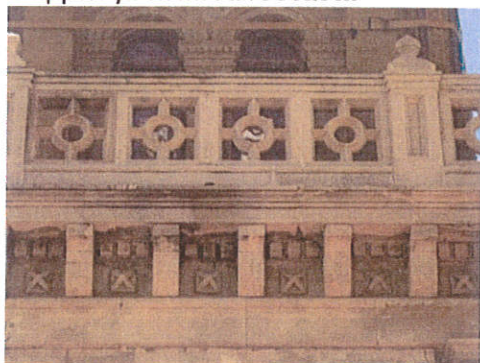
### 3.3 Λίθοι τοιχοποιίας

Τα προβλήματα που παρουσιάζουν οι λίθοι της τοιχοποιίας είναι πολλαπλά και έχουν ως αίτια το περιβάλλον της περιοχής και τις μηχανικές καταπονήσεις. Γενικά παρατηρούνται:

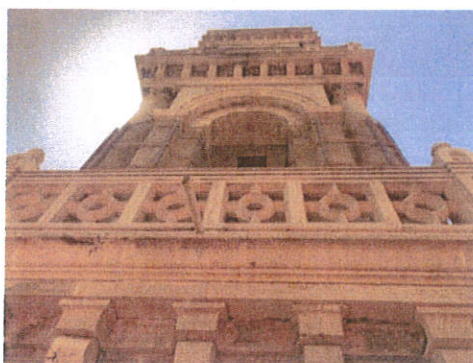
- Αποθέσεις σωματιδιακών ρύπων σε θέσεις που δεν εκπλένονται από τα όμβρια ύδατα
- Ανάπτυξη βιολογικών παραγόντων
- Μεταφορά, απόθεση διαλυτών αλάτων
- Εξανθήσεις διαλυτών αλάτων
- Αποσάθρωση / Αποφλοίωση/ Απολεπίσεις λίθων (επιφανειακές φθορές)
- Ρηγματώσεις και θραύσεις οφειλόμενες σε μηχανικά αίτια
- Προχωρημένη φθορά έως και ολοκληρωτική απώλεια λιθοσωμάτων
- Αστοχίες του κονιάματος και του οπλισμού που χρησιμοποιήθηκε για αντικαταστάσεις και συμπληρώσεις λίθων
- Μετακινήσεις λίθων από τις αρχικές τους θέσεις λόγω δονήσεων

Αναλυτικά παρουσιάζονται οι φθορές των λίθων στην αποτύπωση της παθολογίας των δομικών υλικών των όψεων και των κωδωνοστασίων (Αρ. Σχεδίων Π1-Π4 και ΠΟ1-ΠΟ4). Ακολουθεί η φωτογραφική τεκμηρίωση χαρακτηριστικών φθορών των λίθων.

#### Ψαμμίτες στα κωδωνοστάσια



Εικ. 23. Αποθέσεις σωματιδιακών ρύπων σε προστατευμένες θέσεις.



Εικ. 24. Αποθέσεις σωματιδιακών ρύπων σε προστατευμένες θέσεις.



Εικ. 25. Αποθέσεις σωματιδιακών ρύπων σε προστατευμένες θέσεις.



Εικ. 26. Θραύσεις και απώλειες τμημάτων.



Εικ. 27. Αποθέσεις σωματιδιακών ρύπων.



Εικ. 28. Αποθέσεις σωματιδιακών ρύπων.



Εικ. 29. Στηθαίο. Συμπληρώσεις μελών με χυτό υλικό. Διακρίνεται ο οξειδωμένος οπλισμός.

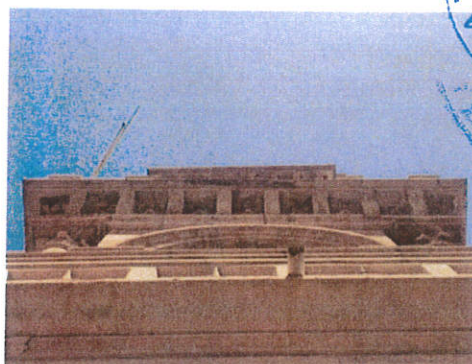


Εικ. 30. Αποσάθρωση λίθων και συμπληρώσεις με κονιάματα.





Εικ. 31. Συμπληρώσεις μελών με χυτό υλικό. Διάβρωση και θραύση της συμπλήρωσης.



Εικ. 32. Μετακινήσεις λόγω σεισμικών δονήσεων.



Εικ. 33. Αποφλοιώση και απώλεια υλικού



Εικ. 34. Επιφανειακή αποσάθρωση λιθοσώματος



Εικ. 35. Προχωρημένη αποσάθρωση και υποχώρηση της επιφάνειας



Εικ. 36. Προχωρημένη αποσάθρωση και υποχώρηση της επιφάνειας





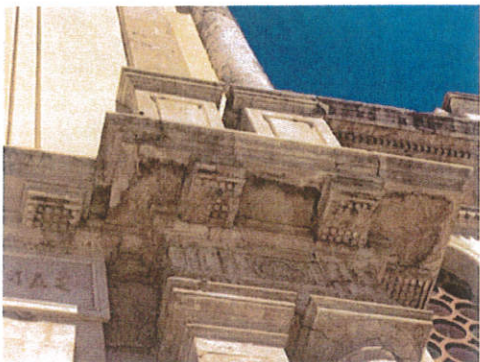
# Ασβεστόλιθοι



Εικ. 37. Οι κιονίσκοι της Δυτικής όψης από ασβεστόλιθο δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα προβλήματα



Εικ. 38. Οι κιονίσκοι της Δυτικής όψης από ασβεστόλιθο δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα προβλήματα



Εικ. 39. Θύρωμα: Αποθέσεις στους ασβεστόλιθους σε στεγασμένες θέσεις



Εικ. 40. Θύρωμα: Αποθέσεις στους ασβεστόλιθους σε προστατευμένες θέσεις



Εικ. 41. Θύρωμα: Αποθέσεις στους ασβεστόλιθους σε προστατευμένες θέσεις



#### 4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΥΛΙΚΩΝ

##### 4.1 Δειγματοληψία

Ελήφθησαν συνολικά πέντε δείγματα. Οι θέσεις δειγματοληψίας και το είδος του υλικού παρουσιάζονται παρακάτω:

| Κωδικός δείγματος | Είδος                | Θέση                      |
|-------------------|----------------------|---------------------------|
| Δ1                | Πράσινος λίθος       | Βόρειος ημικίονας τέμπλου |
| Δ2                | Ωχρός/κίτρινος λίθος | Βόρειος τοίχος – κεραία   |
| Δ3                | Κόκκινος λίθος       | Βόρειος τοίχος – κεραία   |
| Δ4                | Εξανθήσεις αλάτων    | Βόρειος τοίχος            |
| Δ5                | Ψαμμίτης τοιχοποιίας | Νότιο κωδωνοστάσιο        |



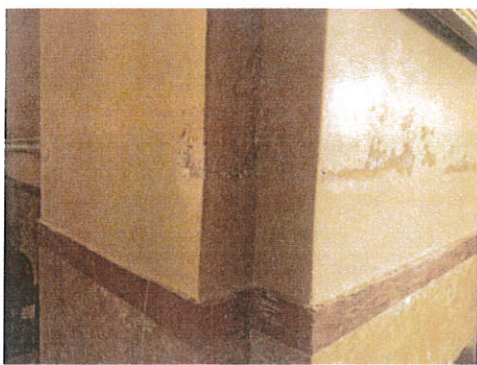
Εικ. 42. Θέση δειγματοληψίας Δ1



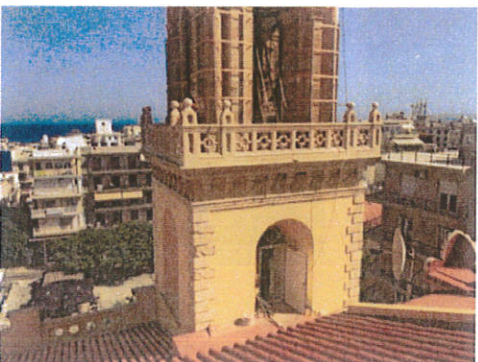
Εικ. 43. Θέση δειγματοληψίας Δ2



Εικ. 44. Θέση δειγματοληψίας Δ3



Εικ. 45. Θέση δειγματοληψίας Δ4



Εικ. 46. Θέση δειγματοληψίας Δ5

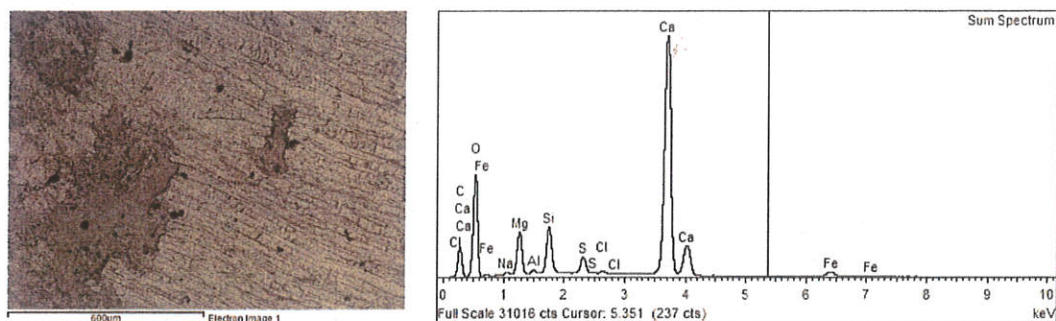




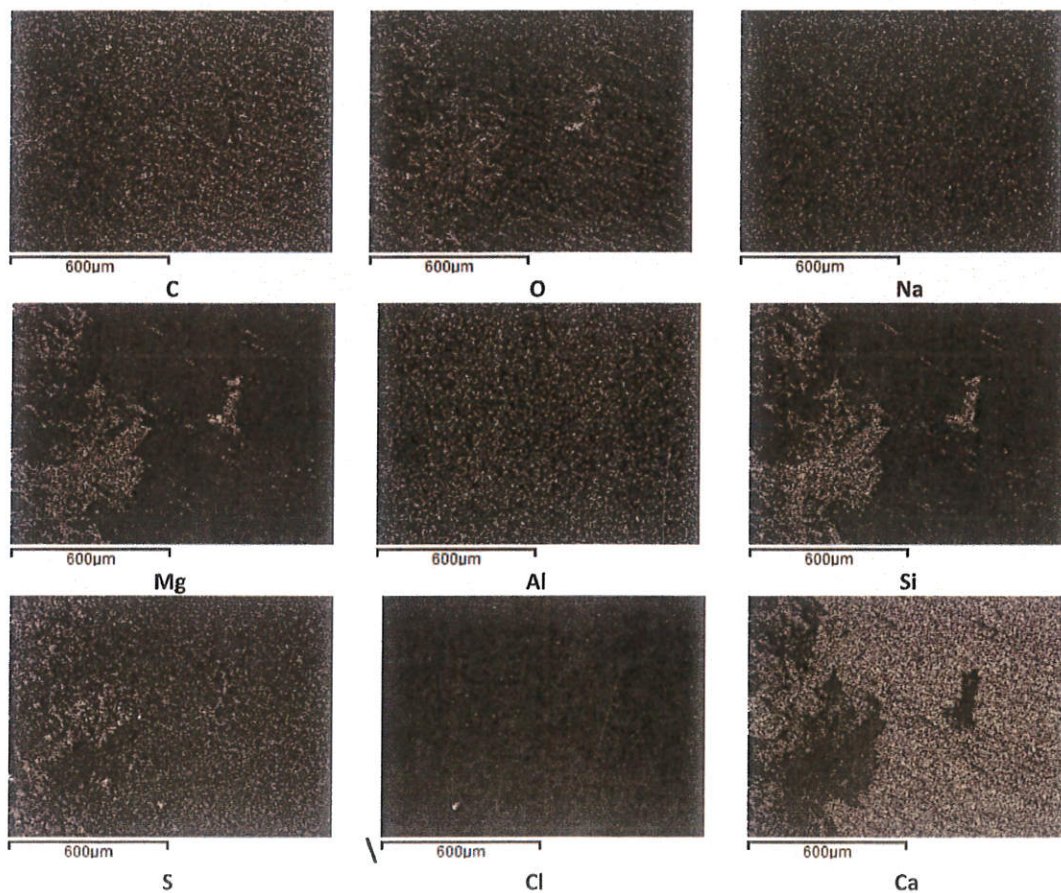
#### 4.2 Χαρακτηρισμός υλικών

Για το χαρακτηρισμό των υλικών πραγματοποιήθηκε μελέτη της μικροδομής και στοιχειακή ανάλυση με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης και φασματοσκοπία ακτίνων X (SEM/EDS), ορυκτολογική ανάλυση με περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD) και παρατήρηση των δειγμάτων στο οπτικό μικροσκόπιο.

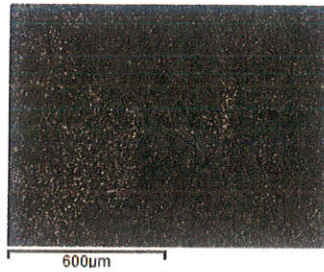
Δείγμα 1



Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της τομής του δείγματος Δ1 (x100).

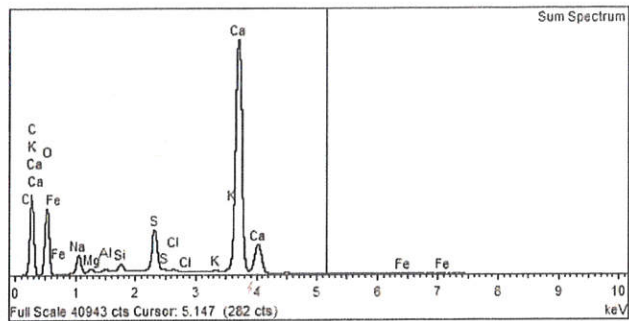
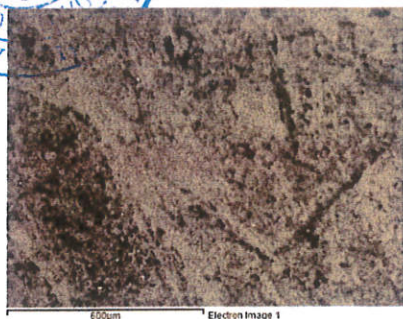




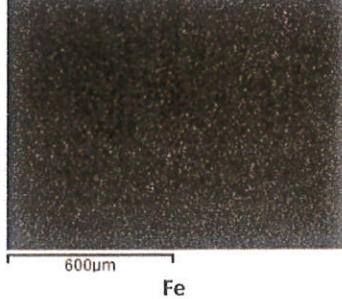
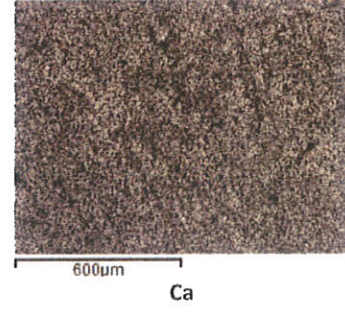
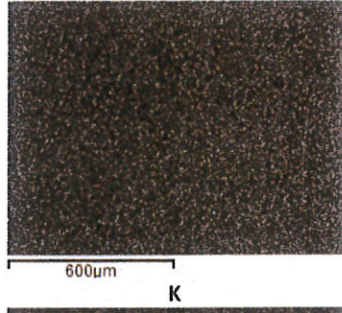
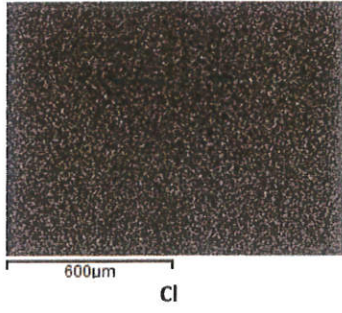
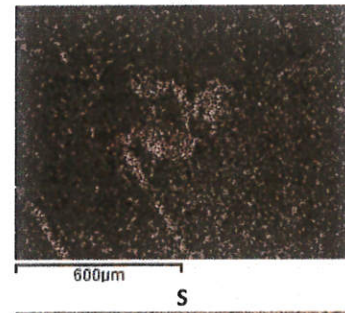
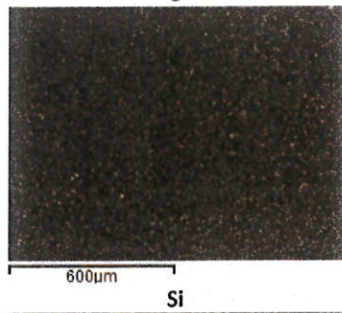
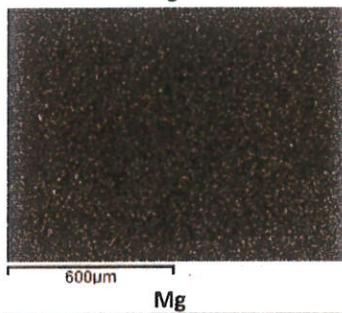
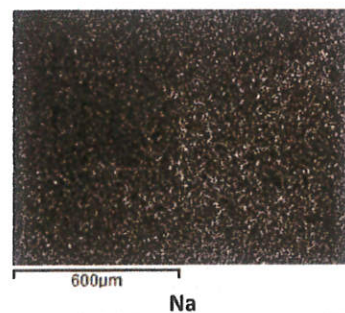
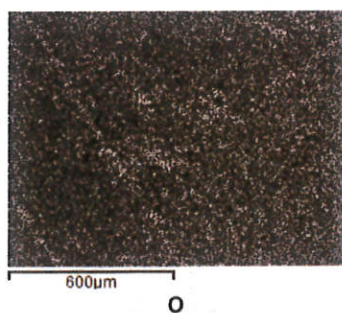
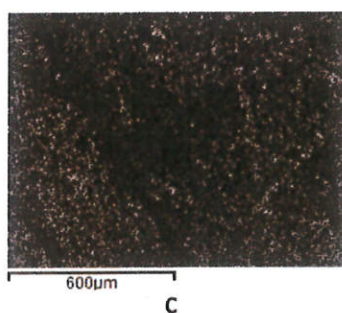


Fe

Τόσο τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά, όσο η μικροδομή και η ορυκτολογική σύσταση του λίθου οδηγούν στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για πράσινο μάρμαρο Τήνου (κατά EN 12440).



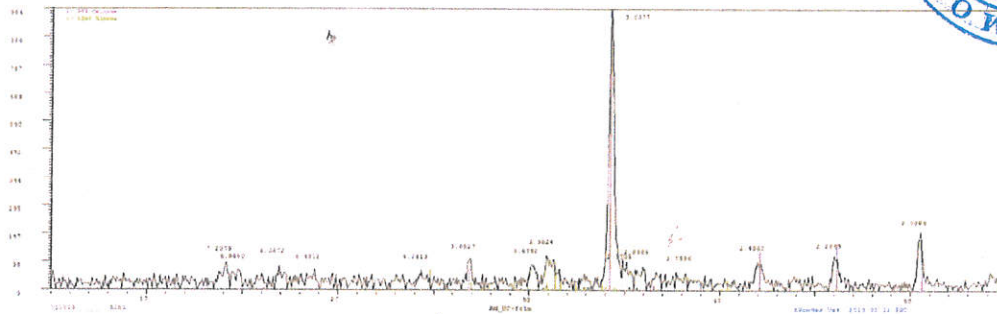
Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της τομής του δείγματος D2 (x100).







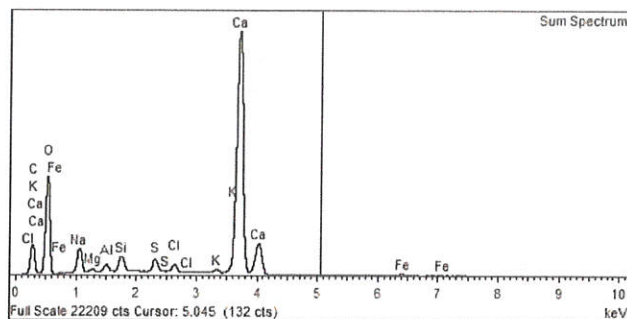
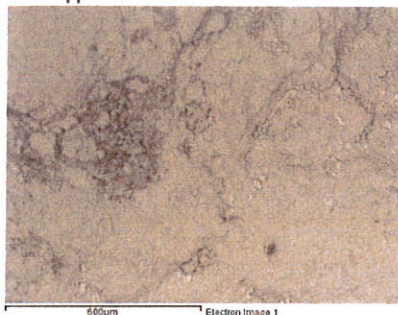
Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος Δ2. Ταυτοποιήθηκαν Ca, Mg, Si, Fe, Na, Cl, S.



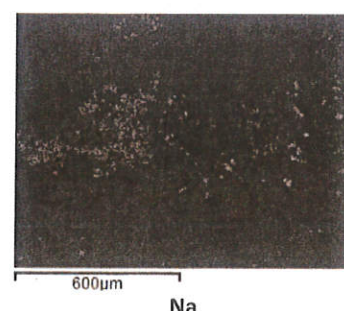
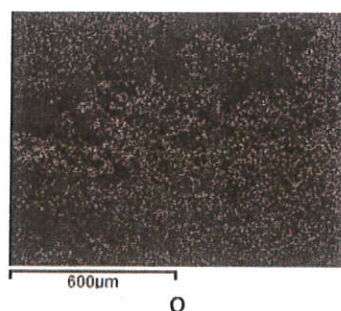
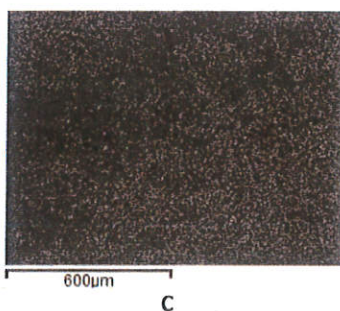
XRD του δείγματος Δ2. Ταυτοποιήθηκαν ασβεστίτης, αλβίτης

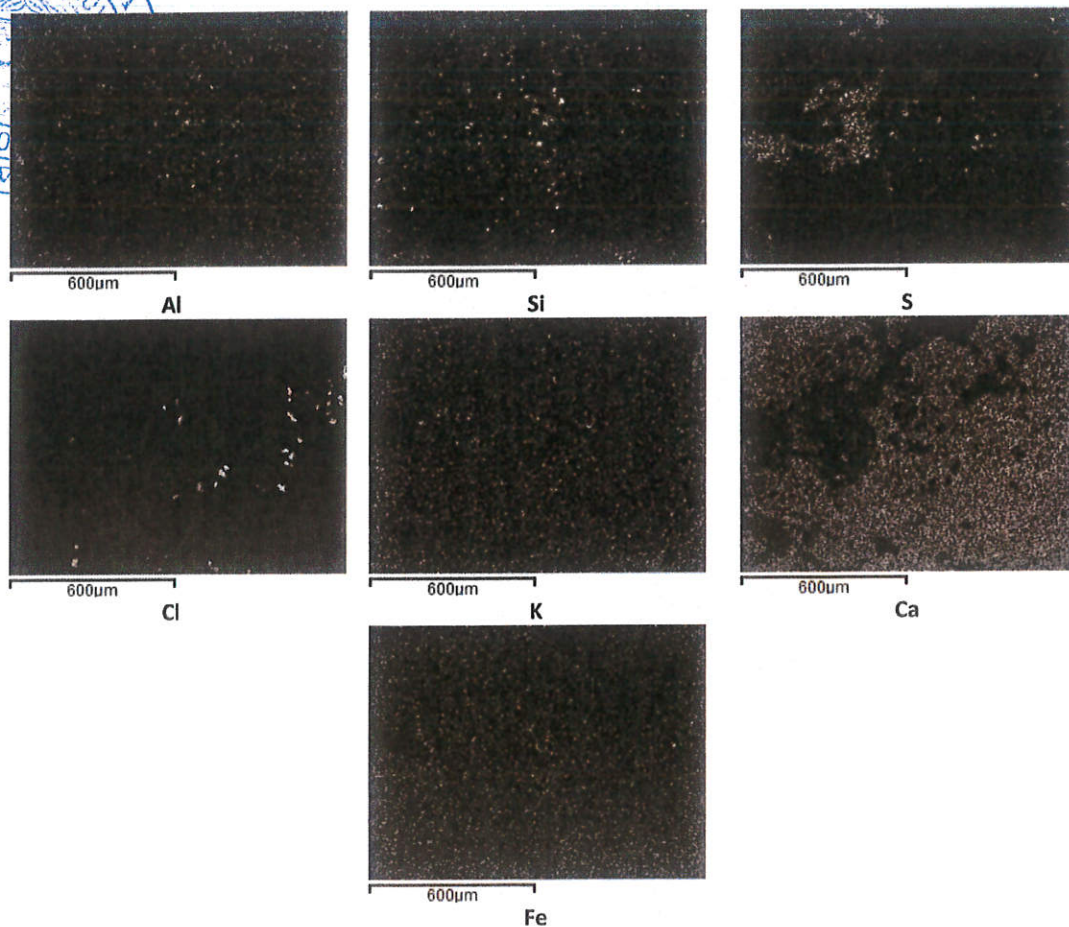
Τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά, η μικροδομή και η ορυκτολογική σύσταση οδηγούν στο συμπέρασμα ότι πιθανώς πρόκειται για μπεζ – κίτρινο μάρμαρο Δομβραίνης (Thebes yellow).

### Δείγμα 3



Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της τομής του δείγματος Δ3 (x100).



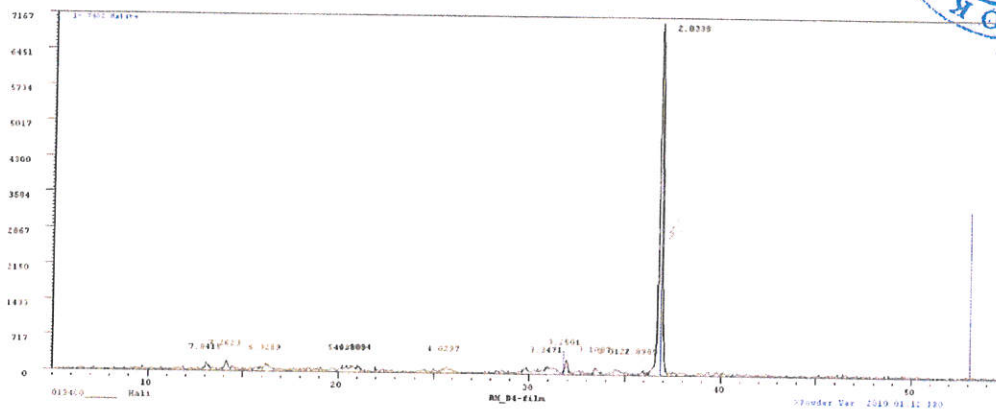


Με βάση τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά και τη στοιχειακή και ορυκτολογική ανάλυση, πρόκειται πιθανώς για λίθο Ριτσώνας κόκκινο ή για Φαναρίου Τροιζηνίας κόκκινο (κατά EN 12440).



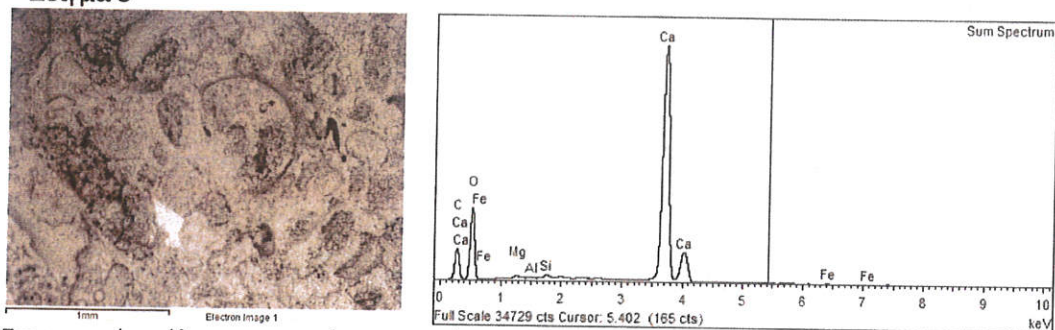


Δείγμα 4

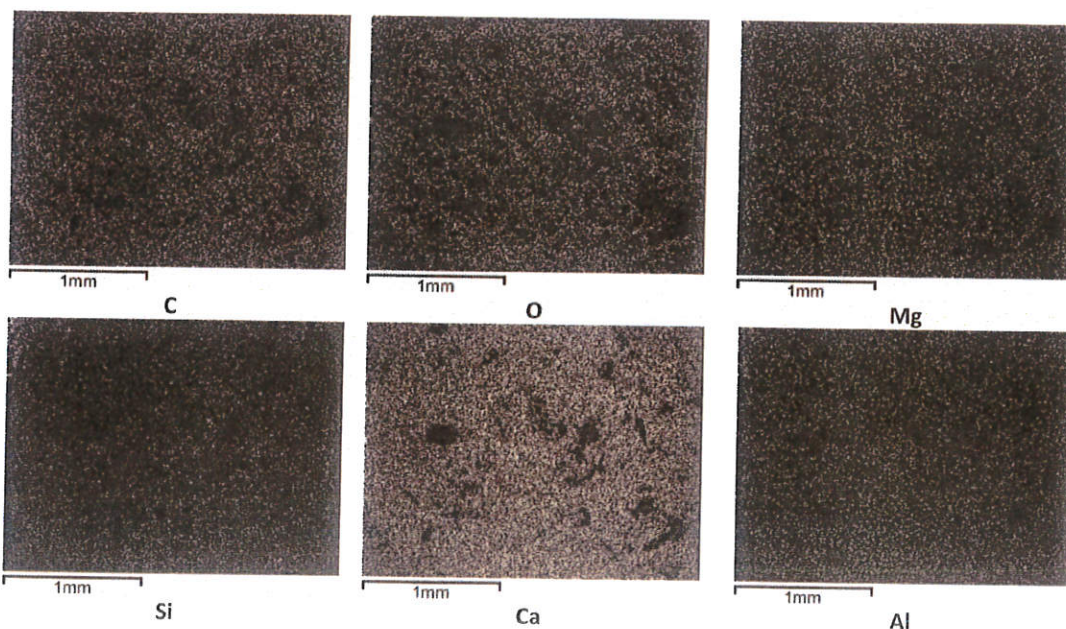


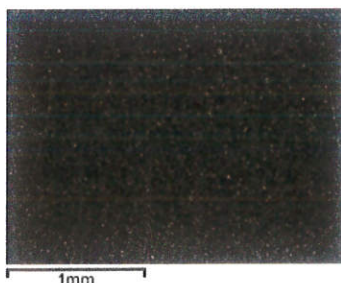
XRD του δείγματος Δ4 (άλας). Ταυτοποιήθηκε αλίτης.

Δείγμα 5



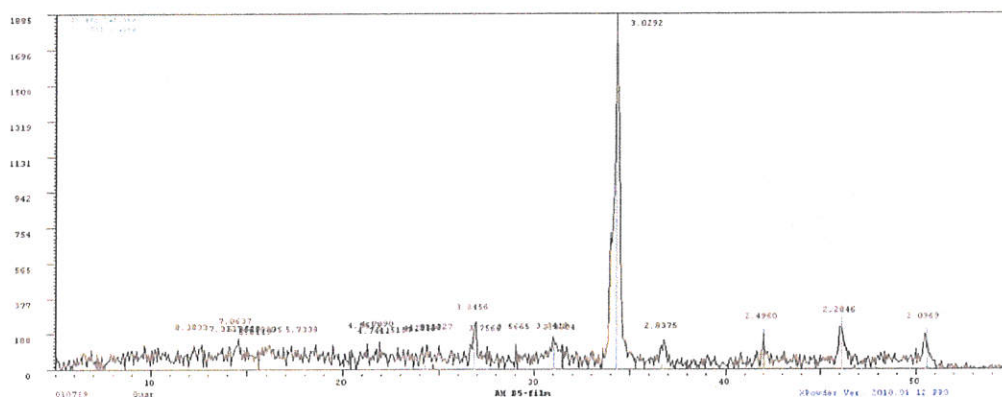
Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της τομής του δείγματος Δ5.



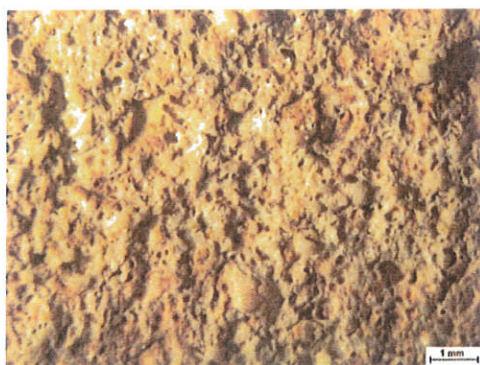


Fe

Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος Δ5. Ταυτοποιήθηκαν Ca, Mg, Si, Al, Fe.



XRD του δείγματος Δ5. Ταυτοποιήθηκαν ασβεστίτης και χαλαζίας.



Εικ. 47. Οπτική μικροσκοπία. Διακρίνεται η μικροδομή του λίθου.

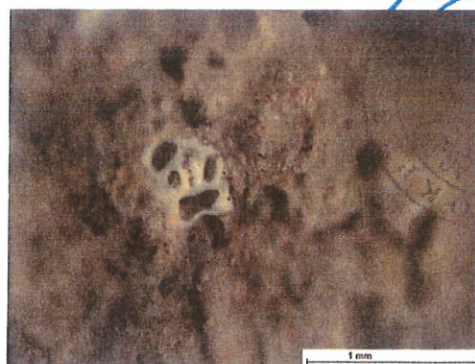


Εικ. 48. Οπτική μικροσκοπία. Διακρίνεται ο βιοκλαστικός χαρακτήρας του λίθου.





Εικ. 49. Οπτική μικροσκοπία. Διακρίνεται η μικροδομή του λίθου.



Εικ. 50. Οπτική μικροσκοπία. Διακρίνεται η μικροδομή του λίθου.



Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των αναλύσεων ο λίθος είναι βιοκλαστικός ασβεστόλιθος και ταυτοποιείται κατά EN 12440 ως «Αλφά» πωρόλιθος.

## 5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 5.1 Στόχοι της επέμβασης

Θα πρέπει να τονισθεί ότι η ένταση της φθοράς και η προχωρημένη κατάσταση διάβρωσης στην οποία βρίσκεται σημαντικός αριθμός των ψαμμιτικών λίθων, ιδιαιτέρως στα κωδωνοστάσια, θέτει πολύ σοβαρά ζητήματα για τον τρόπο αντιμετώπισης αυτών των προβλημάτων και την εν γένει διαχείριση του σωζόμενου υλικού.

Τα προβλήματα των ψαμμιτών οφείλονται στη δράση κυρίως της υγρασίας και των διαλυτών αλάτων, που, σε πολλές περιπτώσεις, συνδυάζεται με τον σχηματισμό ενός πυκνού δικτύου ρωγμών και καταστροφή της συνοχής των λίθων. Επιπλέον, παρουσιάζουν καταστροφή της δομής τους με την εκδήλωση πυκνών ρωγμών και αστοχιών, εξ' αιτίας μηχανικών καταπονήσεων. Τέλος διακρίνονται και σοβαρά προβλήματα φυσικής αποσάθρωσης και απώλειας υλικού.

Η επέμβαση στους λίθους αποβλέπει στους εξής επί μέρους στόχους:

- Επιφανειακοί καθαρισμοί
- Συμπλήρωση και, πιθανώς, αντικατάσταση λίθων
- Κατεργασίες εμποτισμού, με σκοπό τη στερέωση των αποσπασμένων εξωτερικών τμημάτων και, πιθανώς, την ενίσχυση της αντίστασης των λίθων έναντι της εισόδου νερού στο εσωτερικό τους.
- Αποκατάσταση της ακεραιότητας και της συνοχής των λίθων, (συγκολλήσεις – συρραφές λίθων – επισκευές ρηγματώσεων).



## 5.2 Καθαρισμός

### 5.2.1. Απομάκρυνση των επικαθήσεων από επιφάνειες του πωρολίθου.

Σύμφωνα με την εμπειρία μας από την αντιμετώπιση παρόμοιων προβλημάτων καθαρισμού, η δράση χημικών επιθεμάτων με ήπια σύνθεση και χρόνο εφαρμογής τουλάχιστον 3h κρίνεται ικανοποιητική για τις θέσεις όπου έχουμε στρώματα χαλαρών επικαθήσεων.

Στις περιοχές όπου έχουμε πυκνότερες και συνεκτικότερες μαύρες κρούστες προτείνεται ως αποτελεσματικότερη η εφαρμογή επιθεμάτων με δραστικότερη σύνθεση και κρίνεται απαραίτητη η επανάληψή τους δύο και τρεις φορές, ανάλογα με την ένταση του προβλήματος. Η τεχνική της μικροψηγματοβολής σε αυτές τις περιπτώσεις δεν οδηγεί σε αποδεκτό αποτέλεσμα, αφού για να επιτύχουμε ικανοποιητική απομάκρυνση των ρύπων υποπίπτουμε σε σημαντική προσβολή του υποστρώματος. Η μικροψηγματοβολή δεν ικανοποιεί διότι το υπόστρωμα (η επιφάνεια του πωρολίθου) είναι εξαιρετικά ακανόνιστη.

Επί πλέον, εφαρμόζοντας την τεχνική του καθαρισμού με επιθέματα σηπιόλιθου αντιμετωπίζουμε ταυτόχρονα και το πολύ σημαντικό ζήτημα της απομάκρυνσης των διαλυτών αλάτων από τον πωρόλιθο (αφαλάτωση).

Από τους διάφορους φορείς, που έχουν δοκιμασθεί σε παρόμοιες περιπτώσεις, αποδοτικότερη συνολικά κρίνεται η δράση του σηπιόλιθου που επιτρέπει ευκολότερη εφαρμογή και απομάκρυνση του επιθέματος.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται χαρακτηριστικές αναλογίες των επιθεμάτων που χρησιμοποιήθηκαν σε ανάλογες περιπτώσεις:

|                                     |         |         |
|-------------------------------------|---------|---------|
| 1. H <sub>2</sub> O                 | 1000 ml | 1000 ml |
| 2. NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> | 30 g    | 60 g    |
| 3. NaHCO <sub>3</sub>               | 50 g    | 60 g    |
| 4. EDTA (δινάτριο άλας)             | 30 g    | 50 g    |
| 5. Desogen                          | 10 ml   | 10 ml   |
| 6. Σηπιόλιθος                       |         |         |

### 5.2.2 Καθαρισμός – Απομάκρυνση των διαλυτών αλάτων (αφαλάτωση)

Αποφόρτιση των στοιχείων του κτηρίου από τα διαλυτά άλατα που έχουν «συσσωρευθεί» κυρίως από το περιβάλλον, αλλά και από πιθανές, άστοχες επισκευές κατά το παρελθόν.

Η παρουσία των διαλυτών αλάτων στα πορώδη δομικά υλικά είναι ένα από τα κυριότερα προβλήματα για την μακροχρόνια διατήρησή τους. Επιπλέον πολλές επεμβάσεις συντήρησης όπως μέθοδοι κατεργασίας της επιφάνειας, συμπληρώσεις με τεχνητό λίθο αποτυγχάνουν εξ αιτίας της παρουσίας διαλυτών αλάτων.

Για την εκτέλεση της αφαλάτωσης προτείνεται η τεχνική των επιθεμάτων με προσροφητικές αργίλους (σηπιόλιθο, ατταπουλγίτη) ή κυτταρίνη. Πριν από την





εφαρμογή του επιθέματος ο λίθος διαβρέχεται ήπια με απιονισμένο νερό και, αν η επιφάνειά του δεν διαθέτει την απαραίτητη συνοχή, καλύπτεται με ιαπωνικό χαρτί. Το επίθεμα τοποθετείται νωπό και καλύπτεται αρχικά με μεμβράνη, ώστε, κατά την πρώτη φάση, να επιτυγχάνεται διαβροχή του λίθου σε ικανό βάθος και διάλυση των αλάτων που περιέχει. Κατόπιν, στη φάση της ξήρανσης, αφαιρείται η μεμβράνη και τα διαλύματα κατά την έξοδο μεταφέρουν και αποθέτουν στο επίθεμα το φορτίο των αλάτων που έχουν διαλύσει. Στις περιπτώσεις όπου η αποσάθρωση των εξωτερικών στρωμάτων του λίθου είναι προχωρημένη, είναι χρήσιμο να προηγείται προστερέωση του λίθου. Στην αγορά διατίθενται έτοιμα μείγματα αργίλων και κυτταρίνης.

Κατά τη διαδικασία της εφαρμογής των επιθεμάτων σε λίθους με υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων, απαιτείται προσοχή (ήπια, προοδευτική διαβροχή) ώστε να αποφύγουμε την εκδήλωση υδραυλικών πιέσεων λόγω του φαινομένου της όσμωσης. Προϋποθέσεις για την εκδήλωση του φαινομένου της όσμωσης συναντώνται:

- Στα μερικώς εξαλλοιωμένα πετρογενετικά ορυκτά.
- Στις απομονωμένες μικροκοιλότητες των ασβεστολίθων.
- Στις φλέβες των αργίλων που διασχίζουν τα ασβεστολιθικά πετρώματα, εξ αιτίας της παρουσίας έντονα ροφημένων μορίων νερού και ιόντων.

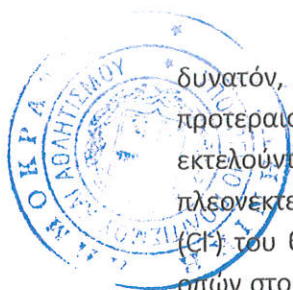
### 5.2.3. Καθαρισμός – Αντιμετώπιση της μικροχλωρίδας

Για την απομάκρυνση της μικροχλωρίδας συνιστάται η συνδυασμένη χρήση ήπιων μηχανικών μέσων και η εφαρμογή απολυμαντικών ουσιών ή και διαλυμάτων βιοκτόνων.

Η απομάκρυνση των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται σε πορώδη υποστρώματα είναι ιδιαίτερα προβληματική. Κατεργασίες της επιφάνειας με διαλύματα βιοκτόνων, όπως τα Desogen, Preventol R80, Metatin 58-10/101, δεν έδωσαν πάντα ικανοποιητικά αποτελέσματα, σε παρόμοιες περιπτώσεις. Αποτελεσματικότερο βιοκτόνο έχει αποδειχθεί το διάλυμα του υποχλωριώδους νατρίου, το οποίο όμως εκδηλώνει μία ανεπιθύμητη παρενέργεια, που συνίσταται στην οξείδωση του  $\text{Fe}^{2+}$  σε  $\text{Fe}^{3+}$ . Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με άμεση σχεδόν, μετά τον ψεκασμό του διαλύματος, έκπλυση και απομάκρυνσή του, καθώς και προστασία (κάλυψη) των επιφανειών στις κατώτερες θέσεις.

### 5.3 Συγκολλήσεις – συρραφές λίθων – επισκευές ρηγματώσεων

Η ριζική αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, με την ορθή αποκατάσταση των βλαβών των λίθων και την πλήρη άρση των αιτίων που τις προκαλούν, προϋποθέτει την αποσυναρμολόγηση των περιοχών λιθοδομής που έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες, γεγονός που μεγιστοποιεί από τεχνικής και, συνακόλουθα, οικονομικής πλευράς την όλη επέμβαση. Προτείνονται λοιπόν οι ακόλουθες επί μέρους επεμβάσεις, που αποβλέπουν στη στερέωση της λιθοδομής και αίρουν, κατά το



δυνατόν, τα αίτια αυτής της παθολογίας. Οι επεμβάσεις αυτές κατά σειρά προτεραιότητας είναι: Τοπικές συγκολλήσεις μικροθραυσμάτων. Οι εργασίες αυτές εκτελούνται με εμφύτευση ράβδων οπλισμού (καρφίδων) από τιτάνιο το οποίο πλεονέκτηει έναντι του ανοξείδωτου χάλυβα διότι δεν επηρεάζεται από τα χλωριόντα ( $\text{Cl}^-$ ) του θαλασσίου περιβάλλοντος και επί πλέον απαιτεί τη διάνοιξη στενότερων οπών στους λίθους. Η συγκόλληση των λίθων και η στερέωση των οπλισμών γίνεται με υδραυλικό ένεμα τσιμεντοπολτού. Στην περίπτωση της αποκατάστασης ρωγμών επί τόπου (χωρίς αποξήλωση), μετά τη σφράγιση των ρωγμών, προτείνεται η πλήρωσή των κενών με υδραυλικό ένεμα, ώστε να εγκιβωτισθούν τα οξειδωμένα σιδηρά στοιχεία που πιθανόν υπάρχουν και να εξασφαλισθεί η μέγιστη στεγανότητα. Ειδικότερα, προαπαιτούμενο για την επιτυχή εισαγωγή ενεμάτων σε ρωγμές μεγάλου βάθους αποτελεί ο σχολαστικός καθαρισμός των ρωγμών στο μέγιστο δυνατό βάθος τους και η απομάκρυνση του φερτού και γενικά του μη ασβεστολιθικού υλικού. Η εργασία αυτή εκτελείται με κατάλληλα μηχανικά μέσα (ταχυτροχό) με ειδικά εξαρτήματα, αέρα υπό πίεση, νερό υπό πίεση και διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Στόχος είναι η τέλεια, ει δυνατόν, πλήρωση του κενού και βέβαια η βελτίωση της συνάφειας μεταξύ ενέματος και τοιχωμάτων της ρωγμής. Με το κλείσιμο των ρωγμών αποτρέπεται σε μεγάλο βαθμό η είσδυση της υγρασίας στο εσωτερικό των λίθων. Πριν από την εκτέλεση των ενεμάτων, οι ρωγμές σφραγίζονται και αφήνονται μόνον κατάλληλες μικρές οπές για την έγχυση του ενέματος και τον έλεγχο της πλήρωσης.

#### 5.4 Στερέωση αποσασθρωμένων λίθων

Στη φάση αυτή, εντάσσονται οι εργασίες που αποβλέπουν στην ενίσχυση της συνοχής των εξωτερικών συνήθως τμημάτων των λίθων που διατρέχονται από δίκτυο ρωγμών μικρού πάχους. Εκτελείται κατά κανόνα με εμποτισμό διαλυμάτων και αραιών διασπορών, ενώ η ίδια η μέθοδος εμποτισμού υπαγορεύεται από τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου προβλήματος.

Τα υλικά στερέωσης θα πρέπει να πληρούν ορισμένες προδιαγραφές που σχετίζονται με την ανθεκτικότητα, το βάθος διείσδυσης, τη μεταβολή του πορώδους, την επίδραση στη μεταφορά υγρασίας, τη συμβατότητα με το αυθεντικό υλικό και τη χρωματική αλλοίωση της επιφάνειας. Διάφορα μέσα που έχουν κατά καιρούς δοκιμασθεί, ως προς την αποτελεσματικότητά τους, για στερέωση πορωδών ανθρακικών λίθων είναι τα ακόλουθα:

- Διαλύματα και αιωρήματα υδροξειδίου του ασβεστίου και υδροξειδίου του βαρίου.
- Υδατική κολλοειδής διασπορά πολύ μικρών σωματιδίων πυριτίδας.
- Προϋδρολυμένος πυριτικός αιθυλεστέρας (αλκοξυσιλάνιο) με ποσότητες άμορφης πυριτίδας.
- Πυριτικός αιθυλεστέρας (αλκοξυσιλάνιο)



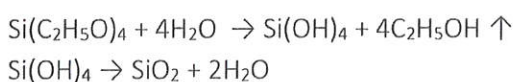


Η αποτίμηση δοκιμών στερέωσης, τόσο σε εργαστηριακή κλίμακα, όσο και σε κλίμακα πεδίου, σε λίθους με παρόμοια σύσταση και μικροδομή, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα διαλύματα των αλκοξυσιλανίων προσφέρουν ικανοποιητική δράση και, ταυτόχρονα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα δοκιμών γήρανσης, ενισχύουν την ανθεκτικότητα του λίθου στη δράση των διαλυτών αλάτων. Η χρήση των υλικών αυτών αποτελεί πρακτικά, σήμερα, το μοναδικό αξιόπιστο τρόπο για στερέωση και μερική προστασία του μαργαϊκού - ψαμμιτικού λίθου, στο συγκεκριμένο περιβάλλον.

Τα αλκοξυσιλάνια είναι οργανικές ενώσεις του πυριτίου (εστέρες του πυριτικού οξέος), οι οποίες αρχικά υδρολύονται και κατόπιν συμπυκνώνονται ώστε να σχηματιστεί άμορφο ένυδρο οξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_{2(\text{aq})}$ , silica gel) το οποίο εναποτίθεται και παίζει το ρόλο του συνδετικού. Η στερέωση οφείλεται στο σχηματισμό, τελικά, αλυσίδων -Si-O-Si-O- που συνδέουν τους κρυστάλλους του λίθου μεταξύ τους. Η ταχύτητα της αντίδρασης εξαρτάται από την θερμοκρασία και την υγρασία. Σε κανονικές συνθήκες ( $20^{\circ}\text{C}$ , 50%RH), η εναπόθεση ολοκληρώνεται ύστερα από τρεις εβδομάδες. Τέτοια προϊόντα είναι:

#### REMMERS KSE 100

Διάλυμα πυριτικού αιθυλεστέρα σε μείγμα υδρογονανθράκων κατάλληλο για την ήπια στερέωση πορωδών δομικών υλικών. Το KSE 100 καταλύεται με την παρουσία της σχετικής υγρασίας της ατμόσφαιρας ( $20^{\circ}\text{C}$ , 50%rh), σε διάστημα 2-3 εβδομάδων, εναποθέτοντας άμορφο οξείδιο του πυριτίου  $\text{SiO}_2$  και απελευθερώνοντας αιθανόλη κατά την αντίδραση:



#### KEIM Silex-OH

Επίσης, αλκοξυσιλάνιο που με τον ίδιο μηχανισμό αποθέτει σε διάστημα περίπου 3 εβδομάδων άμορφο διοξείδιο του πυριτίου και αλκοόλη.

Για τη στερέωση των αποσαθρωμένων περιοχών του μαρμάρου προτείνεται, για λόγους συμβατότητας, η χρήση κορεσμένου διαλύματος υδροξειδίου του ασβεστίου ή διαλύματος υδροξειδίου του βαρίου. Το δεύτερο είναι δέκα φορές πυκνότερο και επομένως πιο αποτελεσματικό.

#### 5.5 Αναρριχόμενη υγρασία

Για την ανάσχεση των όποιων φαινομένων (περιοδικά έστω) ανόδου της υγρασίας προτείνονται εμποτισμοί, περιμετρικά στη βάση της τοιχοποιίας. Οι εμποτισμοί αυτοί, συνηθέστατα με διαλύματα σιλανίων, στη βάση των κατακόρυφων στοιχείων του κτηρίου επιχειρούνται όταν επιδιώκουμε την απομόνωση των



στοιχείων της ανωδομής από την αναρρίχηση της υγρασίας του εδάφους. Στην περίπτωση μας, έχουμε κατά θέσεις σοβαρές φθορές μέχρι το ύψος των ορθοστατών, αλλά και ψηλότερα, από κρυστάλλωση διαλυτών αλάτων, τα οποία μεταφέρονται από το έδαφος με όχημα την ανερχόμενη υγρασία. Μια τέτοια επέμβαση θα μπορούσε να προκριθεί, λοιπόν, για προληπτικούς λόγους.

#### 5.5 Μελέτη συνθέσεων κονιαμάτων για την επισκευή των αρμών/ή και για τη συμπλήρωση απωλειών των λιθοσωμάτων

Για τον καθορισμό των προτεινόμενων συνθέσεων λαμβάνονται υπ' όψιν τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά των αυθεντικών κονιαμάτων δόμησης, με βάση τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων. Η σύνθεση των κονιαμάτων αποκατάστασης βασίζεται, και στη συμβατότητά τους με τα υπάρχοντα κονιάματα. Η συμβατότητά τους αφορά στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, στις μηχανικές αντοχές και στη χρωματική ενότητα. Χρησιμοποιούνται, επίσης, δεδομένα από τη διεθνή βιβλιογραφία και εμπειρία σε παρόμοια έργα αποκατάστασης. Τέλος, ενσωματώνονται οι τεχνικές απαιτήσεις του συγκεκριμένου έργου και οι οδηγίες για την εφαρμογή των κονιαμάτων.

Το παρόν σχέδιο συνοδεύει  
την με αριθ. πρωτ. 334848/12-7-2022  
ΥΠ.ΠΟ.Α./ΓΔΑΜΤΕ/ΔΑΒΜΜ...../.....



Γεωργίου Βλαχούλης  
Αρχιτέκτων Μηχανικός με Α' βαθμό