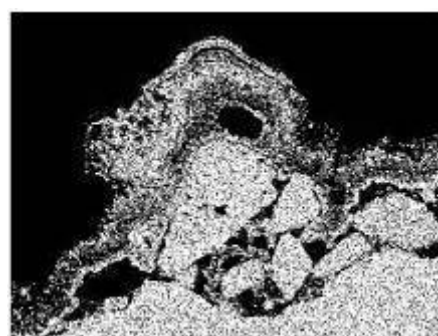
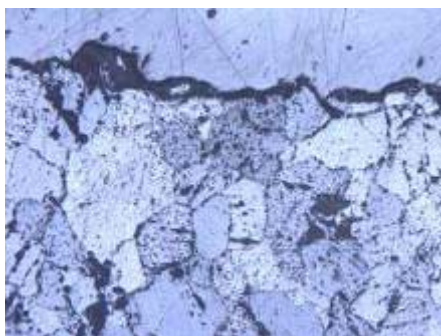




ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΑΘΗΝΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ

---

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΛΙΘΟΥ



### ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΛΙΘΙΝΩΝ ΘΡΑΥΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΜΝΗΜΕΙΟΥ ΤΟΥ ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ ΣΤΗ ΝΙΚΟΠΟΛΗ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: Δρ Π. ΘΕΟΥΛΑΚΗΣ, Αν. Καθηγητής

ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ: Γ. ΓΕΡΟΓΙΑΝΝΗΣ, MSc  
Α. ΣΤΕΦΑΝΗΣ, PhD  
Ι. ΚΑΡΑΤΑΣΙΟΣ, PhD

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΪΟΣ 2008  
ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΕΝΟ ΤΕΥΧΟΣ: ΙΟΥΝΙΟΣ 2009



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΑΘΗΝΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ

---

© ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΛΙΘΟΥ  
Οδός Αγ. Σπυρίδωνος, 12210, Αιγάλεω, Τ: 210 5385417, F: 210 5385406  
email: stonelab@teiath.gr  
<http://www.teiath.gr/sgtk/stonelab>

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>3</b>
<b>2. ΕΠΙΤΟΠΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΝΑΣΚΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ .....</b>	<b>5</b>
2.1 ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΩΝ ΘΡΑΥΣΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ.....	5
2.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΘΡΑΥΣΜΑΤΩΝ .....	9
2.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ ΤΩΝ ΘΡΑΥΣΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ.....	11
<b>3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΤΟ ΑΝΑΣΚΑΦΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....</b>	<b>20</b>
3.1. ΘΡΑΥΣΜΑΤΑ ΜΕ ΕΔΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ .....	20
3.2 ΘΡΑΥΣΜΑΤΑ ΧΩΡΙΣ ΕΔΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ.....	22
<b>4. ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ .....</b>	<b>25</b>
<b>5. ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ .....</b>	<b>31</b>
5.1. ΔΕΝΔΡΙΤΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΑΣ ΚΑΙ ΑΡΓΙΛΟΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ.....	31
5.2. ΣΥΝΕΚΤΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (ΚΡΟΥΣΤΕΣ).....	36
5.2.1. Περίπτωση 1 .....	36
5.2.2. Περίπτωση 2 .....	43
5.3. ΧΑΛΑΡΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΙ.....	51
5.3.1. Περίπτωση 1 .....	51
5.3.2. Περίπτωση 2 .....	54
5.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ ΤΩΝ ΘΡΑΥΣΜΑΤΩΝ.....	57
<b>6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....</b>	<b>58</b>
6.1. ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ – ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ .....	58
6.2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	59
6.3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ .....	60
6.3.1. Γενικά .....	60
6.3.2. Μικροψηματοβολή.....	61
6.3.3. Επιθέματα προσροφητικών αργίλων.....	61
6.3.4. Σύνθετα χημικά επιθέματα.....	61
6.3.5. Laser.....	62
6.3.6. Μέθοδοι με βάση το νερό .....	62
<b>7. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: ΔΟΚΙΜΕΣ .....</b>	<b>63</b>
7.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	63
7.2. ΔΕΝΔΡΙΤΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΑΣ ΚΑΙ ΑΡΓΙΛΟΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ.....	63
7.2.1. Όριο καθαρισμού .....	63
7.2.2. Δοκιμές καθαρισμού στο εργαστήριο .....	64
7.2.2.1. Δοκιμές καθαρισμού με laser.....	64
7.2.2.2. Δοκιμές καθαρισμού με ζέστρο υπερήχων.....	70
7.2.2.3. Δοκιμές καθαρισμού με σύνθετα χημικά επιθέματα.....	72
7.2.3. Δοκιμές καθαρισμού στο πεδίο.....	74
7.2.3.1. Δοκιμές καθαρισμού με ζέστρο υπερήχων.....	74
7.2.3.2 Δοκιμές καθαρισμού με σύνθετα χημικά επιθέματα.....	75
7.3. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΥΝΕΚΤΙΚΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ (ΚΡΟΥΣΤΕΣ).....	75
7.3.1. Όριο καθαρισμού .....	75
7.3.2. Δοκιμές καθαρισμού στο εργαστήριο .....	77
7.3.2.1. Δοκιμές καθαρισμού με laser.....	77
7.3.2.2. Δοκιμές καθαρισμού με ψηματοβολή.....	89
7.3.2.3. Δοκιμές καθαρισμού με ζέστρο υπερήχων.....	92
7.3.2.4. Δοκιμές καθαρισμού με σύνθετα χημικά επιθέματα.....	96
7.3.3. Δοκιμές καθαρισμού στο πεδίο.....	99
7.3.3.1. Δοκιμές καθαρισμού με ζέστρο υπερήχων.....	99
7.3.3.2. Δοκιμές καθαρισμού με σύνθετα χημικά επιθέματα.....	99
7.3.3.3. Συνδυασμός επιθεμάτων και ζέστρου υπερήχων .....	100
7.4. ΧΑΛΑΡΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΙ.....	101

7.4.1. Όριο καθαρισμού .....	101
7.4.2. Δοκιμές καθαρισμού στο εργαστήριο .....	102
7.4.2.1. Δοκιμές καθαρισμού με laser.....	102
7.4.2.2. Δοκιμές καθαρισμού με σύνθετα χημικά επιθέματα.....	110
7.4.3. Δοκιμές καθαρισμού στο πεδίο.....	117
7.4.3.1. Δοκιμές καθαρισμού με σύνθετα χημικά επιθέματα.....	117
7.4.3.2. Δοκιμές καθαρισμού με τη χρήση χημικών διαλυμάτων.....	120
7.4.3.3. Δοκιμές καθαρισμού με ατμοβολή.....	121
<b>8. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ.....</b>	<b>126</b>
8.1 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΜΑΡΜΑΡΟ ΜΕ ΔΕΝΔΡΙΤΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ.....	126
8.2 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΜΑΡΜΑΡΟ ΜΕ ΣΥΝΕΚΤΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (ΚΡΟΥΣΤΕΣ).....	127
8.3 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΜΑΡΜΑΡΟ ΜΕ ΧΑΛΑΡΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥΣ.....	128
8.4 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ .....	129
<b>9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ.....</b>	<b>130</b>
<b>10. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΩΝ ΘΡΑΥΣΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>133</b>
Μεθοδολογία συγκόλλησης των θραυσμάτων:.....	133
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>135</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι . ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....</b>	<b>137</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ . ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΘΕΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>138</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ . ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ.....</b>	<b>139</b>

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα μελέτη, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του έργου «Δειγματοληπτικές εργασίες καθαρισμού και διαμόρφωση πρότασης για τον καθαρισμό των λίθινων θραυσμάτων του μνημείου του Αυγούστου στη Νικόπολη». Στο αναθεωρημένο τεύχος του Ιουνίου 2009, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συμπληρωματικών δοκιμών καθαρισμού με Spectron laser system SL805 Nd:YAG που πραγματοποιήθηκαν στο Ι.Τ.Ε. - Ι.Η.Δ.Α., καθώς και η νέα πρόταση συγκόλλησης των μαρμάρινων θραυσμάτων. Η μελέτη οργανώνεται σε τέσσερα κύρια τμήματα στα οποία παρουσιάζονται η καταγραφή και η μελέτη του αρχαιολογικού υλικού που πραγματοποιήθηκαν στο χώρο φύλαξης των θραυσμάτων, ο χαρακτηρισμός του υλικού κατασκευής και των αποθέσεων που εντοπίστηκαν, οι δοκιμές καθαρισμού σε εργαστηριακή κλίμακα και σε πιλοτική εφαρμογή και τα αποτελέσματα των δοκιμών με τις τελικές προτάσεις. Αναλυτικότερα, περιλαμβάνονται:

- Η διαδικασία και τα αποτελέσματα της προκαταρκτικής εξέτασης των θραυσμάτων η οποία πραγματοποιήθηκε κατά την πρώτη αποστολή της ομάδας μελέτης στα Ιωάννινα.
- Ο χαρακτηρισμός του υλικού και των αποθέσεων του όπως προέκυψε από την εργαστηριακή μελέτη δειγμάτων που ελήφθησαν από το μνημείο. Η πολυπλοκότητα του προβλήματος του καθαρισμού των λίθινων θραυσμάτων καθώς και η σημαντικότητά τους, επέβαλε την λήψη μεγάλου αριθμού δεδομένων που αφορούσαν στην κατάσταση διατήρησης του υλικού. Για το λόγο αυτό, η μελέτη στηρίχθηκε σε δεδομένα που ελήφθησαν από θραύσματα τα οποία ελέγχθηκαν στα Ιωάννινα και από θραύσματα τα οποία μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Συντήρησης Λίθου του Α.Τ.Ε.Ι. Αθήνας. Τα επί μέρους τμήματα της μελέτης διαχωρίζονται ανά περίπτωση αποθέσεων και περιλαμβάνουν την περιγραφή κάθε κατηγορίας αποθέσεων (σύντομη συγκεντρωτική κατηγοριοποίηση), την περιγραφή του ορίου καθαρισμού καθώς και τη διαδικασία και τα αρχικά αποτελέσματα των τεχνικών καθαρισμού που εφαρμόστηκαν.
- Η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα των τεχνικών καθαρισμού που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο στα ληφθέντα δείγματα. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται το θεωρητικό μέρος, στο οποίο αναπτύσσονται οι γενικές αρχές του καθαρισμού, γίνεται αναφορά στον καθορισμό της επιφάνειας αναφοράς καθώς και η περιγραφή των τεχνικών καθαρισμού που εφαρμόστηκαν και τέλος αναπτύσσεται η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε στο εργαστήριο.
- Τα αποτελέσματα των δοκιμών καθαρισμού που πραγματοποιήθηκαν σε εργαστηριακή κλίμακα και τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από τις δοκιμές πεδίου. Η μελέτη ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των γενικών συμπερασμάτων και των προτάσεων καθαρισμού των θραυσμάτων.

Οι δοκιμές καθαρισμού και η αποτίμησή τους πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Συντήρησης Λίθου, του Α.Τ.Ε.Ι Αθήνας, χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό και τις αναλυτικές συσκευές του Εργαστηρίου. Οι δοκιμές καθαρισμού με τη χρήση του laser πραγματοποιήθηκαν σε πρώτη φάση στο Α.Τ.Ε.Ι. Αθήνας από την Δρ. Π. Πουλή, με εξοπλισμό του Ινστιτούτου Τεχνολογίας και Έρευνας – Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λείζερ και σε δεύτερη φάση στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας και Έρευνας στο Ηράκλειο Κρήτης.

Δρ. Παναγιώτης Θεουλάκης  
Αναπληρωτής Καθηγητής  
Επιστημονικός Υπεύθυνος του Έργου

## 2. ΕΠΙΤΟΠΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΝΑΣΚΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Κατά τη διάρκεια της επίσκεψης της μελετητικής ομάδας στο χώρο όπου φυλάσσονται τα λίθινα θραύσματα του μνημείου, μελετήθηκαν σαράντα τέσσερα αντιπροσωπευτικά θραύσματα με ανάγλυφο διάκοσμο. Επελέγησαν και ελήφθησαν εικοσιπέντε επιπλέον θραύσματα χωρίς ανάγλυφο, για περαιτέρω εργαστηριακή μελέτη. Στα θραύσματα αυτά πραγματοποιήθηκε ο χαρακτηρισμός του υλικού, των αποθέσεων και των επιφανειακών αλλοιώσεων.

### 2.1 Μελέτη αντιπροσωπευτικών θραυσμάτων στο πεδίο

Συνολικά ελέγχθηκαν σαράντα τέσσερα θραύσματα λίθου από το μνημείο, εκ των οποίων τα δέκα τέσσερα συνανήκουν σε σύνθετα τμήματα (σύνολα) τα οποία είναι συγκολλημένα. Όλα σχεδόν τα θραύσματα του μνημείου εξετάστηκαν μακροσκοπικά ώστε να διαπιστωθεί η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος ως προς το σύνολο. Η ταυτότητα των θραυσμάτων που ελέγχθηκαν παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.1. Ο έλεγχος των θραυσμάτων, αποσκοπούσε στη συλλογή δεδομένων που αφορούσαν στην κατάσταση διατήρησής τους, του είδους των αποθέσεων που παρουσιάζουν και στη διερεύνηση της ύπαρξης διακοσμητικών επιστρωμάτων ή άλλων ιχνών ανθρωπογενούς προέλευσης. Για τη διαχείριση των δεδομένων, η καταγραφή πραγματοποιήθηκε σε ειδικά προσαρμοσμένες καρτέλες. Ο έλεγχος περιέλαβε τα εξής βήματα:

- Φωτογράφιση των θραυσμάτων στο ορατό
- Μέτρηση και καταγραφή των διαστάσεών τους
- Μέτρηση του χρώματος της επιφάνειάς τους με τη χρήση χρωματόμετρου
- Μακροσκοπική εξέταση της επιφάνειας του λίθου
- Εξέταση και φωτογράφιση της επιφάνειας των θραυσμάτων στο στερεομικροσκόπιο
- Κατηγοριοποίηση των θραυσμάτων ανάλογα με τις αποθέσεις που εντοπίζονται στην επιφάνειά τους
- Καταγραφή των στοιχείων σε καρτέλες

Πίνακας 2.1 Αρχαιολογικά δεδομένα των θραυσμάτων που μελετήθηκαν στο πεδίο

Α/Α Θραύσματος	Αριθμός Καταγραφής	Θέση στον ανασκαφικό κάρναβο	Απόλυτο υψόμετρο (m)	Βάθος (m)
1	2997	P15	77,04	-1,25
2	2996	P15	77,04	-1,25
3	3032	P15	75,69	-2,6
4	3284	Π14	77,41	-0,2
5	3008	P15	76,59	
6	2949	P14	78,24	-0,6
7	3295	Π14	78,34	-0,21

2. Επιτόπια καταγραφή και μελέτη του ανασκαφικού υλικού

8	1663	O12	78,92	-2,56
	1859	O12	79,17	-2,31
	2695	O12	79,17	-2,31
9	3480	P14-P15	78,41	-0,43
10	1359	Εκ περισυλλογής	.	Επιφανειακό εύρημα από το χώρο του ανδρήρου
11	449	T20	77,97	-1,55
12	2028	O13	78,98	-2,5
13	1510	Εξωτερικά ανατολικού αναλημματικού τοιχώ		
14	1955	O12	78,95	-2,53
	1976	O12	78,91	-2,57
	2179	Ξ11-Ξ12	Αφαίρεση πεσμένου υλικού νότια του βωμού	-2,1
	2781	O11	79,01	-2,47
	1513	O12	77,98	-1,27
16	1203	Εκ περισυλλογής		
17	3477	P15	79,34	-0,5
18	196	O11	77,97	-0,81
	2182	O11		-2,47
	1680	O11	79,76	-1,72
19	2025	O13	78,98	-2,5
	1425	Π12	77,39	-1,86
20	1749	O12	79,13	-2,35
21	1645	O12	78,97	-2,51
	2135	O12	78,82	-2,66
	1660	O12	79,04	-2,44
	1660	O12	79,04	-2,44
22	443	Νότια πλευρά του ποδίου, επιφανειακός καθαρισμός		
23	3340	Σ15	77,49	-0,76
24	516	Εκ περισυλλογής		Επιφανειακό εύρημα
25	2614	Π13	77,64	-1,2
	1398	P14	76,24	-2,82
	1765	O12	79,13	
26	3368	O9		.
27	2000	Εντοιχισμένο		
28	208	Υ15	72,889	-1,5
29	1399	Σ20		.
	1400	O12	78,05	-1,2
30	3261	P15	77,05	-1,2

Προσαρμογή από ΙΒ' Ε.Π.Κ.Α.



Ο λίθος από τον οποίο κατασκευάστηκε το μνημείο έχει τα ίδια γενικά μακροσκοπικά χαρακτηριστικά σε όλα τα θραύσματα, με μικρές μόνον διαφοροποιήσεις που αφορούν στα ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του (Σχήμα 2.1) όπως αυτά αναλυτικά παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4. Ένας μικρός αριθμός θραυσμάτων προέρχεται από αρχιτεκτονικά διακοσμητικά μέλη, για την κατασκευή των οποίων χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό είδος μαλακού, λευκού λίθου, ανθρακικής σύστασης (Σχήμα 2.2).



**Σχήμα 2.1** AK 3340. Τυπικό είδος λίθου (μάρμαρο) που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή του μνημείου.



**Σχήμα 2.2** AK 2000. Λευκός λίθος ανθρακικής σύστασης που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή των διακοσμητικών αρχιτεκτονικών στοιχείων.

Στα θραύσματα που μελετήθηκαν στο πεδίο, η κατάσταση διατήρησης του υποστρώματος ποικίλει ως εξής:

- Αρκετά καλή. Η επιφάνεια του λίθου είναι ομαλή, χωρίς απολεπίσεις. Η κρυσταλλική δομή του λίθου δεν παρουσιάζει αλλοιώσεις. Σώζονται τα ανάγλυφα διακοσμητικά χαρακτηριστικά.
- Μέτρια. Διαπιστώνεται αλλοίωση της επιφάνειας και απώλεια της συνοχής της με αποτέλεσμα την φθορά των διακοσμητικών χαρακτηριστικών.
- Κακή. Έντονη διάβρωση του υποστρώματος και απώλεια του γλυπτού διακόσμου.

Τα είδη των αποθέσεων που εντοπίστηκαν είναι:

- Αποθέσεις δενδριτικής μορφής
- Συνεκτικές αποθέσεις (κρούστες) στην επιφάνεια του λίθου
- Καστανέρυθρες - φαιές αποθέσεις χρώματος και εμποτισμοί
- Τεφρές αποθέσεις χρώματος και εμποτισμοί

Στα θραύσματα όπου η επιφάνεια δεν παρουσιάζει αλλοιώσεις, το στρώμα της πάτινας διατηρείται σε πολύ καλή κατάσταση. Σε αρκετά θραύσματα, όμως, διαπιστώθηκε ότι τα χαρακτηριστικά της επιφάνειάς τους είχαν αλλοιωθεί λόγω των επεμβάσεων καθαρισμού, πιθανώς υγρού και μηχανικού, που υπέστησαν αμέσως μετά την ανασκαφή τους (Σχήμα 2.3 και 2.4).



**Σχήμα 2.3** AK 1203. Θραύσμα που υπέστη καθαρισμό με αποτέλεσμα την επιφανειακή του αλλοίωση.



**Σχήμα 2.4** AK 443. Θραύσμα που υπέστη καθαρισμό με αποτέλεσμα την επιφανειακή του αλλοίωση.

Τέλος, ελέγχθηκαν τμήματα τα οποία συντίθενται από τουλάχιστον δύο θραύσματα. Το ενδιαφέρον στα σύνθετα αυτά τμήματα, έγκειται στο γεγονός της διαφορετικής κατάστασης διατήρησης του υποστρώματος και στις διαφορετικές αποθέσεις που παρουσιάζονται στην επιφάνειά τους, με αποτέλεσμα την αισθητική αλλοίωση του συνόλου (Σχήματα 2.5 και 2.6).



**Σχήμα 2.5** AK2025-AK1425. Συγκολλημένο τμήμα στο οποίο διακρίνεται η χρωματική διαφοροποίηση των αποθέσεων των δύο θραυσμάτων που το αποτελούν στην ανάγλυφη όψη (αριστερά) και στην επιφάνεια θραύσης (δεξιά).





**Σχήμα 2.6** AK196-AK2182-AK1680. Σύνολο θραυσμάτων στο οποίο διακρίνεται η χρωματική διαφοροποίηση της επιφάνειάς του που οφείλεται στο είδος των αποθέσεων και στις έντονες επεμβάσεις καθαρισμού (πρώτο από δεξιά θραύσμα).

## 2.2 Δειγματοληψία θραυσμάτων

Εκτός της μελέτης των θραυσμάτων επί τόπου, έγινε επιλογή και μεταφορά μικρών θραυσμάτων στο Εργαστήριο Συντήρησης Λίθου, ώστε να μελετηθούν τα πετρογραφικά χαρακτηριστικά του λίθου που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή του μνημείου, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και η χημική σύσταση των αποθέσεων που παρουσιάζονται και τέλος να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες δοκιμές καθαρισμού.

Ελήφθησαν συνολικά, είκοσι πέντε ακέραια μικρά θραύσματα των οποίων τα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2.

**Πίνακας 2.2** Αρχαιολογικά δεδομένα των δειγμάτων θραυσμάτων

Α/Α Δείγματος	Αριθμός Καταγραφής	Θέση στον ανασκαφικό κάρναβο	Απόλυτο υψόμετρο (m)	Βάθος (m)
<b>Δείγματα στα οποία είχε αφαιρεθεί το εδαφικό υλικό</b>				
1	4115	Π14	78,61	-0,23
2	4406	P15	76,75	-1,5
3	4061	P15	77,25	-1
4	3945	Π14	78,68	-0,16
5	4224	Σ15	76,85	-1,4
6	4277	P15	76,05	-1,2
7	4184	Π14	78,68	-0,16
8	4014	P15	76,75	-1,5
9	3941	Π14	78,68	-0,16
10	4000	Π14	78,68	-0,16

11	4232	Σ15	76,85	-1,4
12	4408	P15	76,75	-1,5
13	4051	Π14	78,68	-0,16
14	4215	Π14	78,68	-0,16
15	4409	P15	76,75	-1,5
16	3939	Π14	78,68	-0,16
<b>Δείγματα με εδαφικό υλικό</b>				
17	4426	P15	77,05	-1,2
18	4427	P15	77,05	-1,2
19	4428	P15	77,05	-1,2
20	4429	P15	77,05	-1,2
21	4430	P15	77,05	-1,2
22	4431	P15	77,05	-1,2
23	4432	P15	77,05	-1,2
24	4433	P15	77,05	-1,2
25	4434	P15	77,05	-1,2

Προσαρμογή από IB' Ε.Π.Κ.Α.

Όλα τα θραύσματα που ελήφθησαν, προέρχονται από μη επιφανειακά τμήματα του μνημείου. Κανένα δεν φέρει ανάγλυφο διάκοσμο (Σχήμα 2.7). Είναι λοιπόν εξαρχής αποκλεισμένη η δυνατότητα εντοπισμού σε αυτά κάποιων ειδικών περιπτώσεων επιφανειακής κατεργασίας, όπως η ύπαρξη χρωστικών, ιχνών εργαλείων κλπ. Τα θραύσματα που ελήφθησαν ως δείγματα είναι αντιπροσωπευτικά της κατάστασης διατήρησης του υποστρώματος και των αποθέσεων που διαπιστώθηκαν στην ευρύτερη ομάδα των θραυσμάτων από την οποία υπήρχε δυνατότητα να ληφθούν τα δείγματα. Διαπιστώθηκε, όμως, ότι ορισμένα χαρακτηριστικά της επιφάνειας που παρατηρήθηκαν στα θραύσματα που ελέγχθηκαν επί τόπου δεν υπήρχαν στην ομάδα των θραυσμάτων από την οποία μπορούσαν να ληφθούν τα δείγματα. Τα χαρακτηριστικά αυτά εντοπίζονται στον εμποτισμό της επιφάνειας από υλικά του περιβάλλοντος ταφής και σε ίχνη ανθρωπογενούς προέλευσης. Για τη διερεύνηση του περιβάλλοντος ταφής ελήφθησαν εννέα δείγματα θραυσμάτων τα οποία δεν είχαν υποστεί καμία επέμβαση απομάκρυνσης των αποθέσεων χώματος κατά την ανασκαφή (Πίνακας 2.1 και Σχήμα 2.8). Τα υπόλοιπα δέκα έξι δείγματα είχαν υποστεί επιφανειακό καθαρισμό.



**Σχήμα 2.7** Ομάδα θραυσμάτων από την οποία ελήφθησαν τα προς μελέτη δείγματα.



**Σχήμα 2.8** AK 4434. Θραύσμα το οποίο φέρει στην επιφάνειά του αποθέσεις χώματος.

Έπειτα από σχετική συνεννόηση, πραγματοποιήθηκε επίσκεψη στον αρχαιολογικό χώρο του μνημείου από όπου και ελήφθησαν άλλα δύο δείγματα λίθων (ένα εκ των οποίων μάρμαρο) τα οποία ήταν συγκεντρωμένα μαζί με άλλους αργούς λίθους σε σωρό.

### 2.3 Παρατηρήσεις επί του συνόλου των θραυσμάτων που μελετήθηκαν

Κύριο μέλημα της μελέτης των θραυσμάτων ήταν η αντιπροσωπευτικότητα, εφόσον ο συνολικός αριθμός των θραυσμάτων που έχει βρεθεί είναι πολύ μεγάλος. Στο Σχήμα 2.9 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του συνόλου των θραυσμάτων που μελετήθηκαν. Παρατηρείται ότι οι τομές στις οποίες βρέθηκαν τα θραύσματα βρίσκονται στη θέση του βωμού, ενώ είναι διεσπαρμένες σε όλο του το μήκος.

Από την επεξεργασία των ανασκαφικών δεδομένων, προκύπτει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του συνόλου των θραυσμάτων που μελετήθηκαν (26%) προέρχεται από βάθος που κυμαίνεται μεταξύ 1 και 1,5 m. Το 15% του αριθμού του θραυσμάτων προέρχεται από βάθος 0 έως 0,5 m (Σχήμα 2.10).

Το μεγαλύτερο ποσοστό των θραυσμάτων που μελετήθηκε επί τόπου (36%) βρέθηκε σε βάθος από 2,5 έως 2,9 m (Σχήμα 2.11).

Το μεγαλύτερο ποσοστό των μικρών θραυσμάτων που ελήφθησαν ως δείγματα για περαιτέρω μελέτη (49%), βρέθηκε σε βάθος από 1 έως 1,5 m, ενώ το δεύτερο μεγαλύτερο (31%) σε βάθος που κυμαίνεται από 0 έως 0,5 m (Σχήμα 2.12).

Διαπιστώνεται ότι ο έλεγχος της κατάστασης διατήρησης έγινε σε θραύσματα τα οποία προέρχονται από διαφορετικές ανασκαφικές τομές και από διαφορετικά βάθη ώστε να μελετηθεί η επίδραση του περιβάλλοντος ταφής στην κατάσταση διατήρησης του λίθου αλλά και στον σχηματισμό των επιφανειακών στρωμάτων.





Στη συνέχεια παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση του είδους του λίθου που χρησιμοποιήθηκε στο μνημείο, της κατάστασης διατήρησης του υποστρώματος, των αποθέσεων που παρουσιάζονται στην επιφάνεια του λίθου καθώς και ειδικών περιπτώσεων που αφορούν κυρίως πιθανά ίχνη διακόσμησης της επιφάνειας. Η κατηγοριοποίηση που προτείνεται βασίσθηκε στην μακροσκοπική και μικροσκοπική εξέταση του συνόλου των θραυσμάτων.

### **A. ΔΟΜΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ**

Ο λίθος που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή του μνημείου, παρουσιάζει τα ίδια γενικά πετρογραφικά χαρακτηριστικά με μικρές διαφοροποιήσεις που αφορούν κυρίως στην ύπαρξη προσμίξεων και φλεβώσεων του μητρικού πετρώματος. Οι προσμίξεις εντοπίστηκαν κυρίως σε επιφάνειες θραύσης και ελάχιστα στην ανάγλυφη επιφάνεια, υποδεικνύοντας την επιμελή επιλογή και τοποθέτηση του υλικού από τους κατασκευαστές.



**Σχήμα 2.13** AK4184. Υπόστρωμα ομοιογενές και συνεκτικό σε όλη τη δομή του.



**Σχήμα 2.14** AK4061. Υπόστρωμα με προσμίξεις και φλεβώσεις.



**Σχήμα 2.15** AK4409. Υπόστρωμα με προσμίξεις και φλεβώσεις.



**Σχήμα 2.16** AK3945. Μαλακός λίθος, ανθρακικής σύστασης.



## Β. ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Η κατάσταση διατήρησης του λίθου ποικίλει. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η επιφάνεια είναι στιλπνή με συνεκτική δομή διατηρώντας το στρώμα της πάτινας. Σε ορισμένα θραύσματα παρουσιάζεται απώλεια της κρυσταλλικής συνοχής του υλικού με αποτέλεσμα τον εμποτισμό της επιφάνειας με στοιχεία του περιβάλλοντος ταφής. Παρατηρήθηκε επίσης διάβρωση της επιφάνειας με την μορφή βελονισμών (microcast).



**Σχήμα 2.17** AK1749. Στιλπνό υπόστρωμα που διατηρεί τα αρχικά χαρακτηριστικά του



**Σχήμα 2.18** AK1749. Διακρίνεται η κρυσταλλική δομή του λίθου. Στερεοσκοπική παρατήρηση.



**Σχήμα 2.19** AK1203. Τραχύ υπόστρωμα, εμφανείς οι κρύσταλλοι του ασβεστίτη.



**Σχήμα 2.20.** AK3295. Τραχύ υπόστρωμα, αποθέσεις μεταξύ των κρυστάλλων.



**Σχήμα 2.21** AK3340. Το υπόστρωμα εμφανίζει μεγάλη τραχύτητα.



**Σχήμα 2.22** AK3480. Διάβρωση με τη μορφή βελονισμών (microcast)



**Σχήμα 2.23** AK 2559. Διάβρωση με τη μορφή βελονισμών (microcast). Στερεοσκοπική παρατήρηση x10



**Σχήμα 2.24** AK 2559. Διάβρωση με τη μορφή βελονισμών (microcast). Στερεοσκοπική παρατήρηση x45

### Γ. ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΛΙΘΟΥ

Οι αποθέσεις που παρουσιάζονται στην επιφάνεια ποικίλουν σε πάχος και απόχρωση. Παρατηρούνται είτε ως αποθέσεις μεταβαλλόμενου πάχους είτε ως συνεκτικές κρούστες.



**Σχήμα 2.25** AK3008. Φαιές αποθέσεις μικρού πάχους και μέτριας συνοχής.



**Σχήμα 2.26** AK2028. Τεφρές αποθέσεις μικρού πάχους.



**Σχήμα 2.27** AK2996. Δενδριτικές αποθέσεις σε ολόκληρη την επιφάνεια του θραύσματος.



**Σχήμα 2.28** AK4014. Δενδριτικές αποθέσεις στην επιφάνεια του λίθου.



**Σχήμα 2.29** AK 4232. Αποθέσεις στην επιφάνεια του μαρμάρου. Παρουσιάζουν συνοχή και σκληρότητα.



**Σχήμα 2.30.** AK 4051. Αποθέσεις στην επιφάνεια του μαρμάρου. Παρουσιάζουν συνοχή και πρόσφυση στην υποκείμενη επιφάνεια.



**Σχήμα 2.31** AK449. Κρούστα που καλύπτει τμήμα της επιφάνειας του θραύσματος. Εμφανίζει ανάγλυφο, ενώ παρουσιάζει συνοχή και καλή πρόσφυση στο υπόστρωμα.



**Σχήμα 2.32** AK449. Λεπτομέρεια της επιφάνειας του θραύσματος. Σχηματισμός κρούστας.

#### **Δ. ΕΙΔΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ**

Οι ειδικές περιπτώσεις περιλαμβάνουν την επιφανειακή χρωματική αλλοίωση μικρού αριθμού θραυσμάτων που προήλθε πιθανώς από προϊόντα καύσης καθώς και θραύσματα με ενδείξεις για την παρουσία χρωστικών που χρησιμοποιήθηκαν στη διακόσμηση του μνημείου. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι παρακάτω περιπτώσεις δεν ήταν δυνατό να διερευνηθούν με ακρίβεια, εφόσον παρατηρήθηκαν σε θραύσματα που ελέγχθηκαν επί τόπου χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα λήψης δειγμάτων.



**Σχήμα 2.33** Ειδική περίπτωση I. AK2949. Παρατηρείται αλλοίωση της επιφάνειας λόγω της πιθανής απόθεσης προϊόντων καύσης.



**Σχήμα 2.34** Ειδική περίπτωση I. AK2949. Λεπτομέρεια. Παρατηρείται ο σχηματισμός που καλύπτει την αρχική επιφάνεια.



**Σχήμα 2.35** Ειδική περίπτωση II. AK3480. Πιθανά ίχνη πράσινης χρωστικής που βρέθηκαν διεσπαρμένα σε όλη την επιφάνεια του θραύσματος.



**Σχήμα 2.36** Ειδική περίπτωση II. AK3480. Διακρίνεται η κρυσταλλική δομή του υλικού που εντοπίστηκε στην επιφάνεια του θραύσματος.



**Σχήμα 2.37** Ειδική περίπτωση II. AK516. Πιθανά ίχνη κόκκινης χρωστικής που βρέθηκαν στην επιφάνεια του θραύσματος.



**Σχήμα 2.38** Ειδική περίπτωση II. AK516. Το υλικό που εντοπίστηκε στη θέση αυτή έχει τη μορφή διαβρωμένου επιστρώματος.



**Σχήμα 2.39** Ειδική περίπτωση Π. ΑΚ3368. Λευκό επίστρωμα που καλύπτει τμήματα της επιφάνειας του θραύσματος. Διακρίνονται ημιδιαφανή εγκλείσματα.



**Σχήμα 2.40** Ειδική περίπτωση Π. ΑΚ3368. Διακρίνεται κρυσταλλικό υλικό έντονου μπλε χρωματισμού επάνω στο λευκό επίστρωμα, το οποίο πιθανώς να αποτελεί ίχνος ορυκτής χρωστικής.

### 3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΤΟ ΑΝΑΣΚΑΦΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Τα ληφθέντα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου και τοποθετήθηκαν σε χώρο με σταθερές συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας. Για την καλύτερη οργάνωση της εργαστηριακής μελέτης, διαχωρίστηκαν σε δύο βασικές κατηγορίες:

- I. Θραύσματα λίθων που περιβάλλονται από εδαφικό υλικό (9 δείγματα)
- II. Θραύσματα λίθων από τα οποία έχει αφαιρεθεί το εδαφικό υλικό (16 δείγματα)



**Σχήμα 3.1.** ΑΚ. 4433. Μαρμάρινο θραύσμα στο οποίο δεν έχει αφαιρεθεί το εδαφικό υλικό. Κατηγορία I. Κλίμακα 1εκ.



**Σχήμα 3.2.** ΑΚ. 4014. Μαρμάρινο θραύσμα στο οποίο έχει αφαιρεθεί το εδαφικό υλικό αμέσως μετά την ανασκαφή. Κατηγορία II. Κλίμακα 1εκ.

#### 3.1. Θραύσματα με εδαφικό υλικό

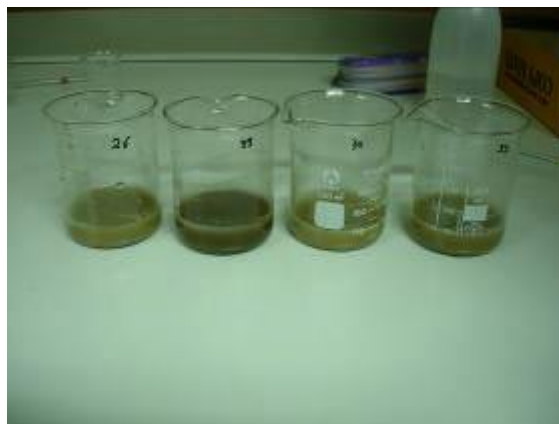
Ο αριθμός των θραυσμάτων που διατηρούν το εδαφικό υλικό είναι ιδιαίτερα μικρός. Σχεδόν σε όλα τα θραύσματα το χώμα έχει αφαιρεθεί για να αποκαλυφθεί η επιφάνειά τους.

Τα θραύσματα που ελήφθησαν για μελέτη στο εργαστήριο, σύμφωνα με στοιχεία της ΙΒ΄ ΕΠΚΑ και όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στον Πίνακα 2.2, προέρχονται όλα από την ίδια θέση (P15), το ίδιο υψόμετρο (77,05 μέτρα) και βρέθηκαν σε ίδιο βάθος (-1,2 μέτρα).

Στα θραύσματα αφαιρέθηκε το χώμα μηχανικά και συλλέχθηκε, ενώ στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε έκπλυση της επιφάνειας με νερό για την αποκάλυψη του υποστρώματος (Σχήματα 3.3 και 3.4).



**Σχήμα 3.3.** AK 4434. Αφαίρεση εδαφικού υλικού στην αριστερή επιφάνεια του θραύσματος. Αποκάλυψη των αποθέσεων. Κλίμακα 1εκ.



**Σχήμα 3.4.** Συλλογή εκπλυμάτων μετά τη διαδικασία αφαίρεσης του εδαφικού υλικού

Η επιφάνεια που αποκαλύφθηκε, φωτογραφήθηκε και παρατηρήθηκε μακροσκοπικά. Τα θραύσματα συγκρίθηκαν με τα θραύσματα της δεύτερης κατηγορίας (χωρίς εδαφικό υλικό) και μελετήθηκαν στη συνέχεια από κοινού (βλ. τμήμα 3.2.).

Τόσο το εδαφικό υλικό όσο και τα εκπλύματα συλλέχτηκαν και στη συνέχεια παρασκευάστηκαν διαλύματα στα οποία έγιναν οι παρακάτω αναλύσεις:

- Μέτρηση του pH με pH-μετρο
- Μέτρηση της αγωγιμότητας με αγωγιμόμετρο
- Μέτρηση ολικής σκληρότητας νερού (Total Hardness) και ανθρακικής σκληρότητας (Carbonate Hardness) με τη μέθοδο της τιτλοδότησης υδατικού διαλύματος
- Μέτρηση συγκέντρωσης ιόντων ασβεστίου ( $\text{Ca}^+$ ), Μαγνησίου ( $\text{Mg}^+$ ), Χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ), Νιτρικών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$ ) και Θεικών ιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) με τη μέθοδο της τιτλοδότησης υδατικού διαλύματος

Το εδαφικό περιβάλλον στη συγκεκριμένη θέση χαρακτηρίζεται ως ελαφρώς αλκαλικό (PH: 7,4-8). Όσον αφορά στη σύστασή του, χαρακτηρίζεται κυρίως από την παρουσία ανθρακικών ιόντων ενώ απουσιάζουν νιτρικά ιόντα και ιόντα μαγνησίου. Σε κάποια δείγματα εμφανίζονται σε μικρές ποσότητες θειικά ιόντα καθώς και ιόντα χλωρίου.

Επιπλέον σε δείγματα εδαφικού υλικού πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική εξέταση με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Η ορυκτολογική ανάλυση εκτός από τα αργιλικά ορυκτά Μοντοριλονίτη ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), Ιλλίτη ( $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) και Καολινίτη ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), έδειξε σε μεγάλη περιεκτικότητα ασβεστίτη ( $\text{CaCO}_3$ ) και χαλαζία ( $\text{SiO}_2$ ) καθώς και λίγους Άστριους. Αξίζει να σημειωθεί η μεγάλη περιεκτικότητα του εδαφικού υλικού σε ασβεστίτη, κάτι το οποίο φάνηκε και στη χημική ανάλυση.

### 3.2 Θραύσματα χωρίς εδαφικό υλικό

Το πλήθος των θραυσμάτων που ελήφθησαν ήταν δέκα έξι, και παρουσιάστηκαν αναλυτικά στον Πίνακα 2.2.



Σχήμα 3.5. Πλήθος μαρμάρινων θραυσμάτων για δειγματοληψία. Ιωάννινα 06/09/2007.



Σχήμα 3.6. Πλήθος μαρμάρινων θραυσμάτων για δειγματοληψία.

Όπως στα θραύσματα με γλυπτό διάκοσμο τα οποία μελετήθηκαν στα Ιωάννινα, έτσι και στα συγκεκριμένα θραύσματα, το εδαφικό υλικό έχει αφαιρεθεί μηχανικά αμέσως μετά την ανασκαφή με αποτέλεσμα να μη διατηρείται ικανή ποσότητα εδαφικού υλικού για τη λεπτομερή περιγραφή του περιβάλλοντος ταφής.

Στα δέκα έξι θραύσματα προστέθηκαν τα εννέα της κατηγορίας Ι -μετά την αφαίρεση του εδαφικού υλικού και την αποκάλυψη της επιφάνειάς τους- και από κοινού ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία μελέτης:

- **Φωτογράφιση –Αρχειοθέτηση δειγμάτων –Κατασκευή καρτέλας μελέτης**
- **Μέτρηση διαστάσεων**
- **Μέτρηση χρώματος** με χρωματόμετρο
- **Μακροσκοπική παρατήρηση.** Παρατηρήθηκε η κατάσταση της επιφάνειας, το χρώμα και μορφολογία των αποθέσεων και η ύπαρξη φλεβών και άλλων προσμίξεων στο μάρμαρο. Όλες οι παρατηρήσεις συνοδεύτηκαν με **macro-φωτογράφιση** για την πληρέστερη τεκμηρίωση και καταγραφή
- **Παρατήρηση με στερεομικροσκόπιο.** Παρατηρήθηκε η κατάσταση της επιφάνειας, η μορφολογία των αποθέσεων, η πρόσφυση των αποθέσεων με το υπόστρωμα, η κατάσταση του υποστρώματος και η παρουσία προσμίξεων.
- **Ορυκτολογική ανάλυση με πριθλασιμετρία ακτίνων Χ**

Η παραπάνω διαδικασία είχε ως στόχο την εξαγωγή των **πρώτων συμπερασμάτων** για τη μορφή και το είδος των αποθέσεων. Εντοπίστηκαν στα θραύσματα συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος από τις οποίες ελήφθησαν μικρά δείγματα και κατασκευάστηκαν στιλπνές και λεπτές τομές για μικροσκοπική παρατήρηση (Σχήμα 3.7 και 3.8).





**Σχήμα 3.7.** ΑΚ. 4061. Επιλογή περιοχής ενδιαφέροντος



**Σχήμα 3.8.** ΑΚ 4061. Λήψη δείγματος διαστάσεων 0,5εκ. x 1εκ. από την επιλεγείσα περιοχή για μικροσκοπική παρατήρηση

Συγκεκριμένα η μικροσκοπική παρατήρηση συνίσταται στα εξής:

- **Λεπτές τομές:**  
Μελέτη στο **πετρογραφικό μικροσκόπιο**: Εξαγωγή συμπερασμάτων για το είδος του υλικού, την ύπαρξη και το ποσοστό εμφάνισης προσμίξεων.
- **Στιλπνές τομές:**
  1. Παρατήρηση στο **οπτικό μικροσκόπιο**: Μέγεθος και μορφολογία αποθέσεων, πρόσφυση αποθέσεων με το υπόστρωμα, μορφολογία υποστρώματος, πάχος αποθέσεων.
  2. Παρατήρηση στο **ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM)**: Μορφολογία και πάχος αποθέσεων, πρόσφυση αποθέσεων με το υπόστρωμα, κατάσταση διατήρησης υποστρώματος, πάχος διαταραγμένου στρώματος, είδος και σύσταση αποθέσεων, μορφολογία και σύσταση προσμίξεων στο μάρμαρο.

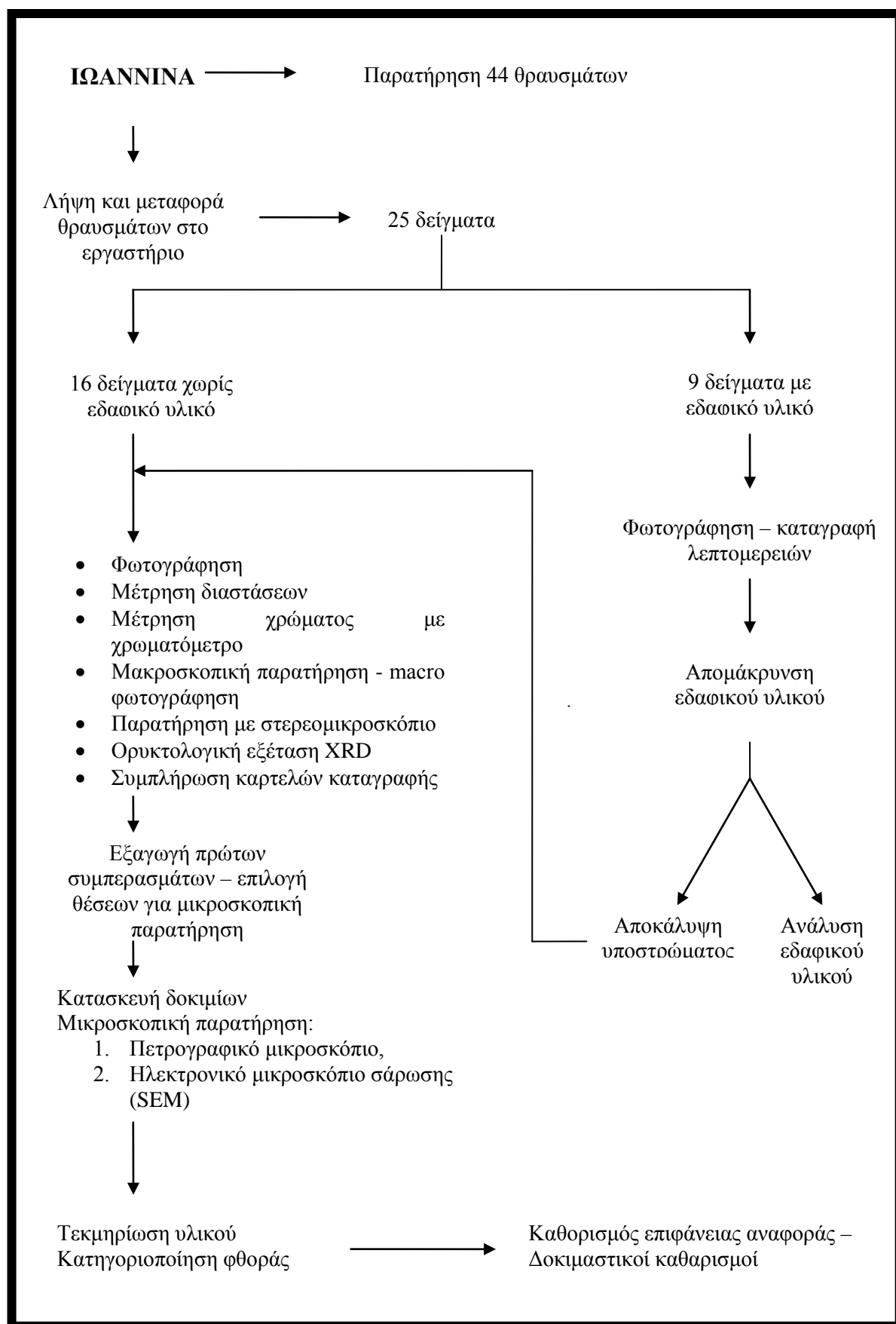


**Σχήμα 3.9.** Διαδικασία παρασκευής στιλπνών τομών στο εργαστήριο



**Σχήμα 3.10.** Στιλπνή τομή με σημειωμένες θέσεις ιδιαίτερου ενδιαφέροντος

Όλη η διαδικασία που ακολουθήθηκε στο σύνολο των δειγμάτων στο εργαστήριο, φαίνεται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 3.11.



Σχήμα 3.11. Διαδικασία αναλυτικής μελέτης δειγμάτων στο εργαστήριο

## 4. ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Ο λίθος που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των γλυπτών στοιχείων του μνημείου είναι μάρμαρο. Με τον όρο μάρμαρο εννοείται το πέτρωμα το οποίο έχει προκύψει από τη μεταμόρφωση ανθρακικών ιζημάτων (ασβεστόλιθων και δολομιτών).

Σε δείγματα από το λίθο πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική ανάλυση με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (XRD) καθώς και μικροσκοπική μελέτη (λεπτές τομές στο πετρογραφικό μικροσκόπιο και στιλπνές τομές στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM)). Τα ακτινοδιαγράμματα της ορυκτολογικής εξέτασης παρατίθενται στο Παράρτημα ΙΙΙ).

Οι παραπάνω αναλύσεις έδειξαν ότι το συγκεκριμένο μάρμαρο εκτός από **ασβεστίτη** ( $\text{CaCO}_3$ ) εμφανίζεται και **δολομίτης** ( $\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$ ) σε μικρό σχετικά ποσοστό. Το μικρό ποσοστό συμμετοχής του δολομίτη δεν είναι ικανό να χαρακτηρίσει το μάρμαρο δολομιτικό.

Όσον αφορά στο μέγεθος των κρυστάλλων του ασβεστίτη, το μάρμαρο του μνημείου μπορεί να χαρακτηριστεί λεπτοκοκκώδες ως μεσοκοκκώδες με γρανοβλαστικό ιστό.

Στη μάζα του μαρμάρου εντοπίζονται πολλές προσμίξεις - επουσιώδη ορυκτολογικά συστατικά - με κυριότερα, όσον αφορά στο ποσοστό εμφάνισής τους, **φυλλοπυριτικά ορυκτά της ομάδας των μαρμαρυγιών, κυρίως μοσχοβίτης**  $\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$  (Σχήμα 4.11). Επίσης εμφανίζονται και κρύσταλλοι **χαλαζία** ( $\text{SiO}_2$ ) μαζί με τον ασβεστίτη.

Σε λίγα θραύσματα εντοπίστηκε στη μάζα του μαρμάρου φλέβωση **Ανκερίτη**  $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$  (Σχήμα 4.2).

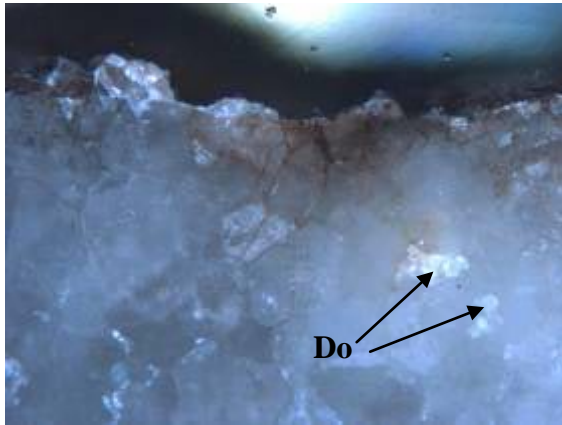


**Σχήμα 4.1.** AK 4409. Προσμίξεις - φυλλάρια μαρμαρυγία στη μάζα του μαρμάρου.

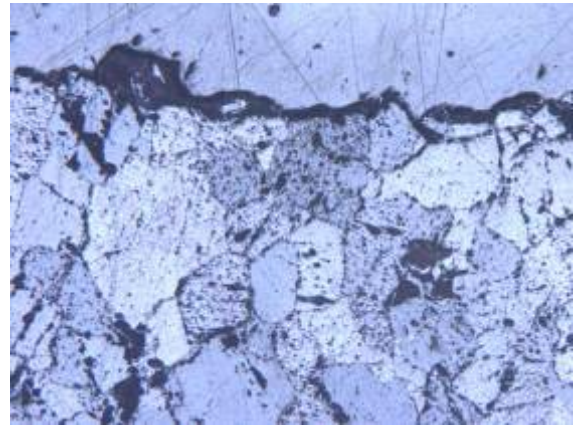


**Σχήμα 4.2.** AK 4061. Φλέβωση Ανκερίτη στη μάζα του μαρμάρου.

- **Περιπτώσεις εμφάνισης δολομίτη**



**Σχήμα 4.3.** ΑΚ 4277. Κρύσταλλοι δολομίτη στη μάζα του μαρμάρου. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols



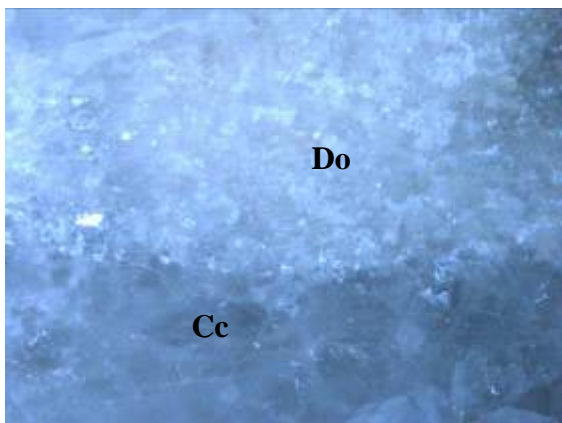
**Σχήμα 4.4.** ΑΚ 4277. Ίδια θέση // Nicols



**Σχήμα 4.5.** ΑΚ 4406. Επουσιώδη ορυκτολογικά συστατικά στη μάζα του μαρμάρου



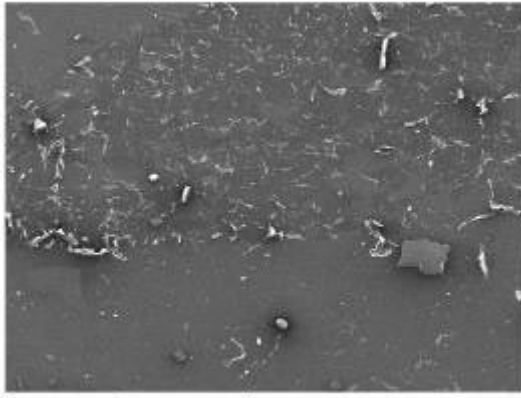
**Σχήμα 4.6.** ΑΚ 4406. Διακρίνονται προσμίξεις – φυλλάρια μαρμαρυγία στην επιφάνεια του θραύσματος.



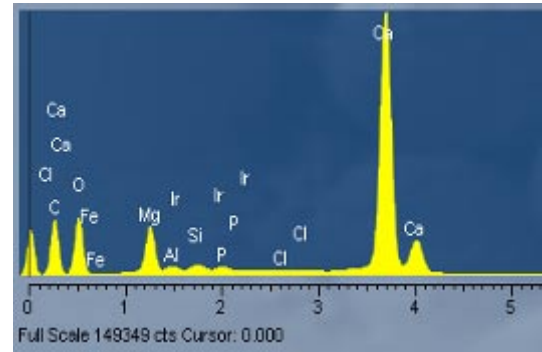
**Σχήμα 4.7.** ΑΚ 4406. Επιφάνεια μαρμάρου. Δολομίτης (Do) – Ασβεστίτης (Cc). Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols



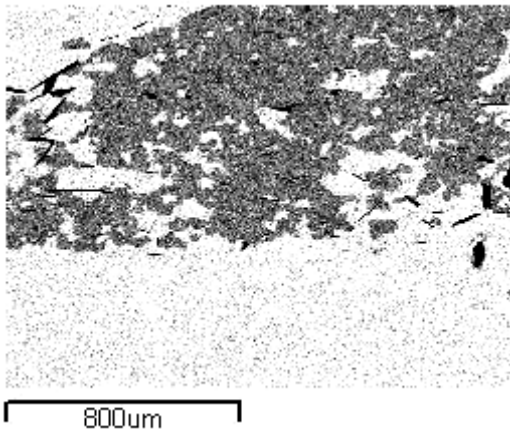
**Σχήμα 4.8.** ΑΚ 4406. Ίδια θέση // Nicols. Χαρακτηριστική η διάκριση της δολομιτικής με την ασβεστιτική επιφάνεια.



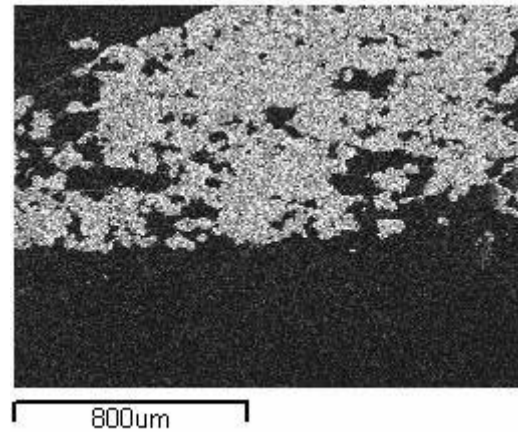
**Σχήμα 4.9.** AK 4406. Η περιοχή του σχήματος 3.18 στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Διακρίνεται η ασβεστιτική και η δολομιτική περιοχή. Κλίμακα 800μm.



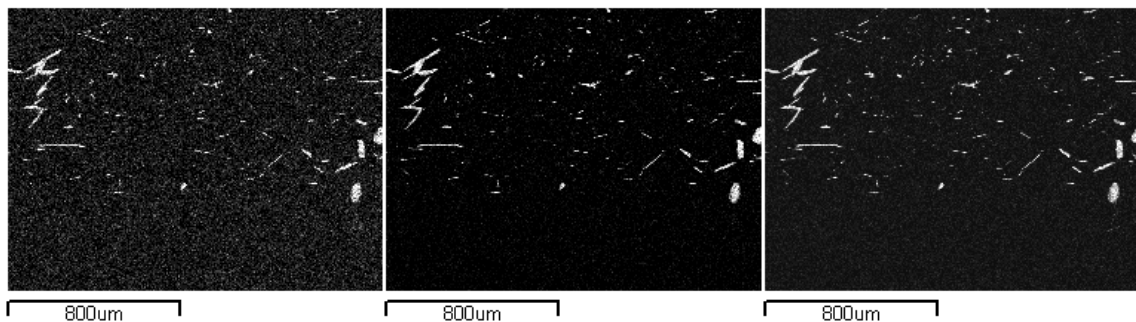
**Σχήμα 4.10.** AK 4406. Φάσμα μικροανάλυσης. Παρατηρείται ασβέστιο και μαγνήσιο, τα βασικά συστατικά του ασβεστίτη ( $\text{CaCO}_3$ ) και του δολομίτη ( $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$ )



**Σχήμα 4.11.** AK 4406. Περιοχή εντοπισμού ασβεστίου (Ca)

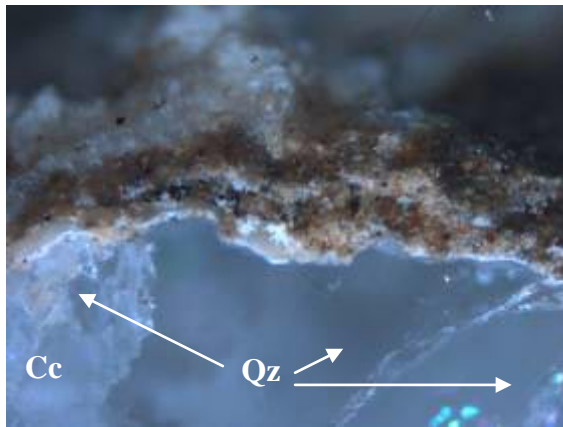


**Σχήμα 4.12.** AK 4406. Περιοχή εντοπισμού μαγνησίου (Mg)

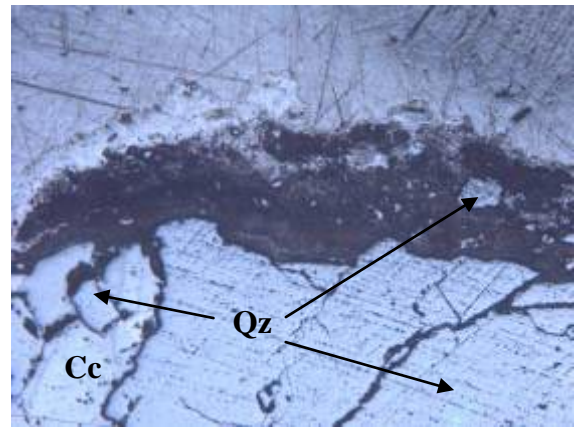


**Σχήμα 4.13.** AK 4406. Θέσεις εμφάνισης Αργιλίου (Al), πυριτίου (Si) και καλίου (K). Φυλλοπυριτικό ορυκτό της ομάδας των μαρμαρυγιών. Αποτελεί πρόσμιξη - επουσιώδες ορυκτολογικό συστατικό του μαρμάρου

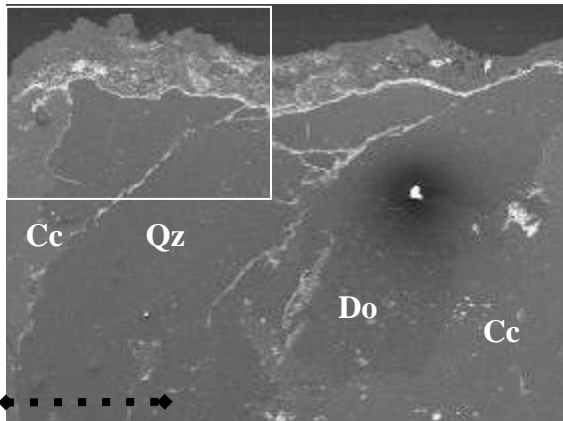
• Περιπτώσεις εμφάνισης γαλαζία



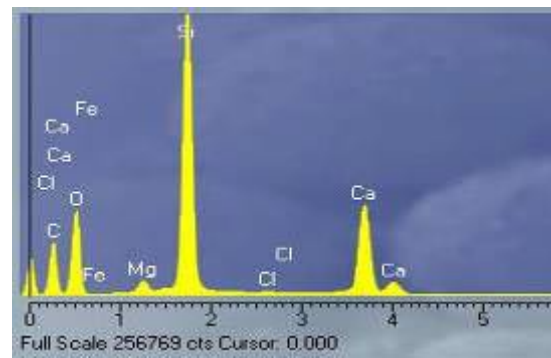
**Σχήμα 4.14.** AK 4215. Κρύσταλλοι ασβεστίτη Cc ( $\text{CaCO}_3$ ) και χαλαζία Qz ( $\text{SiO}_2$ ). Διακρίνεται επιφανειακό στρώμα αποθέσεων. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols



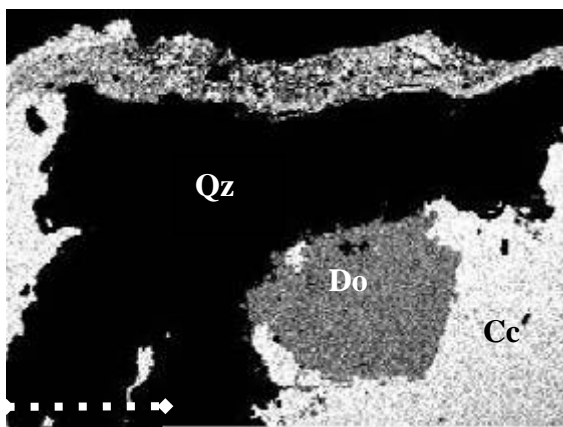
**Σχήμα 4.15.** AK 4215. Ίδια θέση με // Nicols



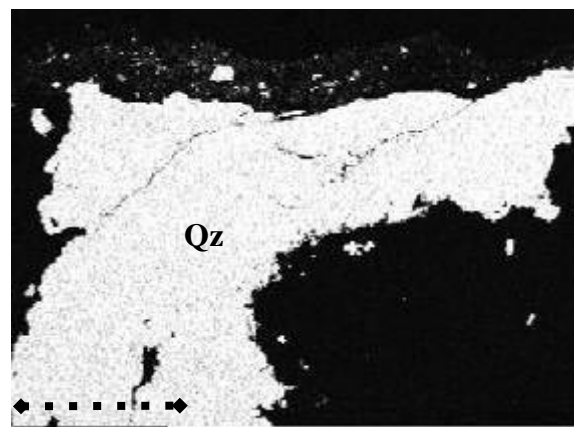
**Σχήμα 4.16.** AK 4215 Γενική εικόνα του δείγματος στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Η επιλεγμένη περιοχή ορίζει την περιοχή του Σχήματος 3.25. Κλίμακα 1mm



**Σχήμα 4.17.** AK 4215 Φάσμα μικροανάλυσης. Εμφανίζεται Ασβέστιο (Ασβεστίτης και Δολομίτης), Μαγνήσιο (Δολομίτης) και Πυρίτιο (Χαλαζίας)

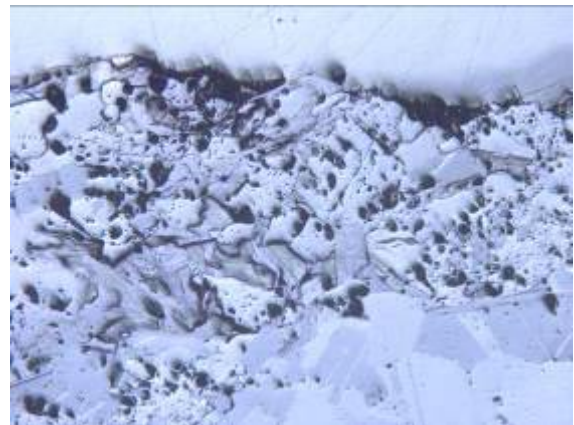
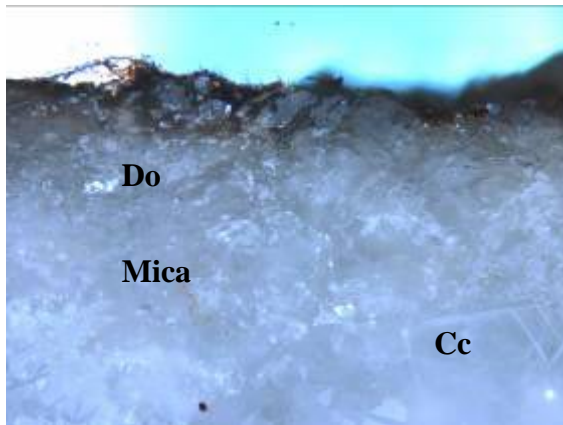


**Σχήμα 4.18.** AK 4215. Θέσεις εμφάνισης ασβεστίου (Ca). Εντοπίζεται στην περιοχή των επικαθίσεων και στο μάρμαρο (ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ) και δολομίτης ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ )). Κλίμακα 1mm



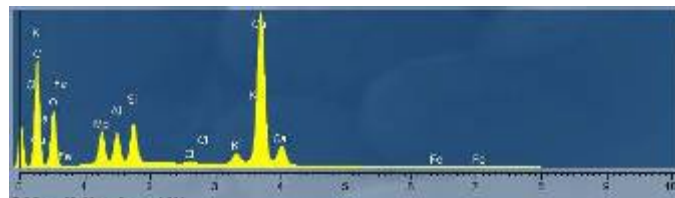
**Σχήμα 4.19.** AK 4215 Θέσεις εμφάνισης πυριτίου (Si). Χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ) σαν επουσιώδες ορυκτολογικό συστατικό του μαρμάρου καθώς και σε μικρούς κόκκους στην κρούστα. Κλίμακα 1mm.

• Περιπτώση εμφάνισης μαρμαρυγιών

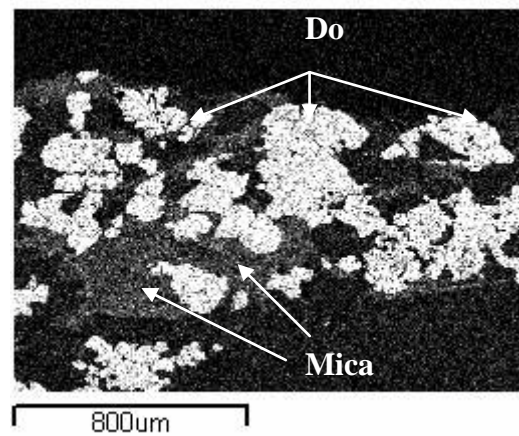
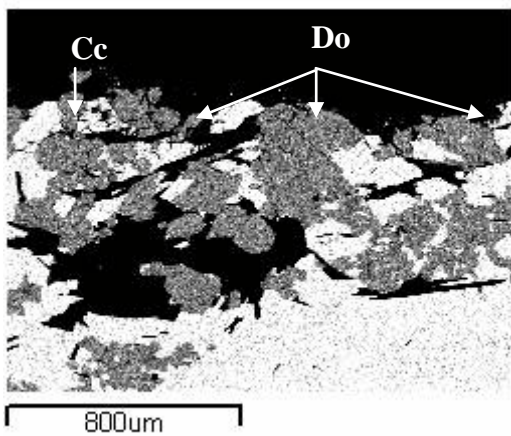


Σχήμα 4.20. ΑΚ. 4406. Επιφάνεια μαρμάρου. Περιοχή εμφάνισης δολομίτη, ασβεστίτη και μαρμαρυγιών. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols

Σχήμα 4.21.. ΑΚ. 4406. Ίδια θέση // Nicols

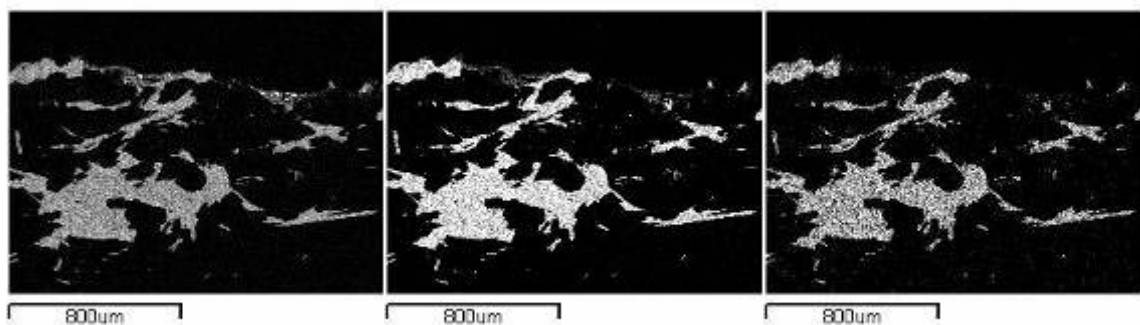


Σχήμα 4.22. ΑΚ. 4406. Φάσμα μικροανάλυσης στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM)

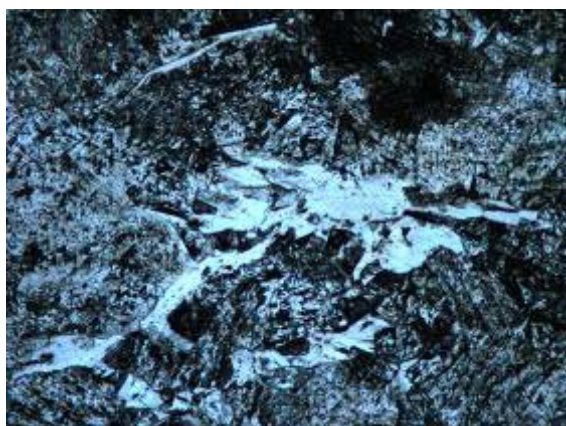


Σχήμα 4.23. ΑΚ. 4406. Θέσεις εμφάνισης ασβεστίου (Ca). Ασβεστίτης και Δολομίτης.

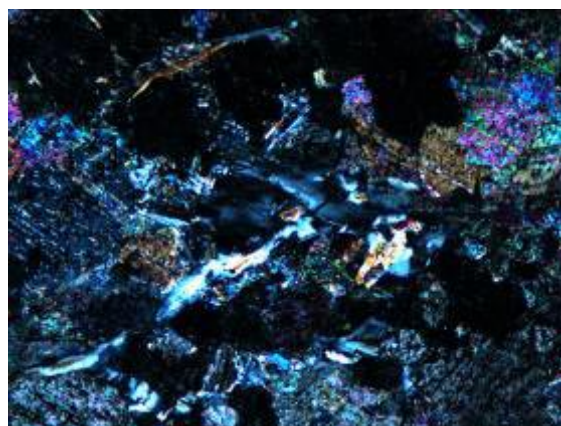
Σχήμα 4.24.. ΑΚ. 4406. Θέσεις εμφάνισης μαγνησίου (Mg). Δολομίτης και μαρμαρυγίας



Σχήμα 4.25. ΑΚ. 4406. Θέσεις εμφάνισης Si, Al, K. Φυλλόμορφο ορυκτό της ομάδας των μαρμαρυγιών

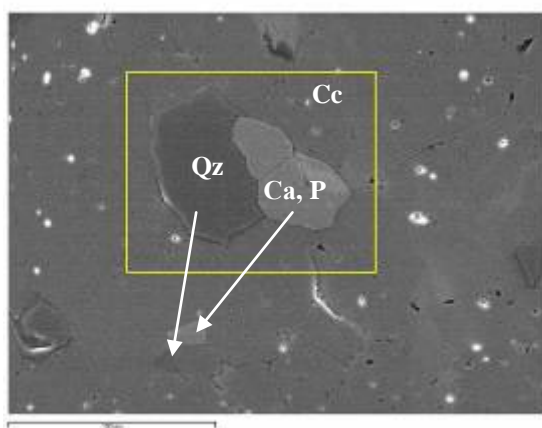


**Σχήμα 4.26.** ΑΚ 4406. Φυλλοπυριτικό ορυκτό ομάδας μαρμαρυγία. Λεπτή τομή, πετρογραφικό μικροσκόπιο x50, // Nicols

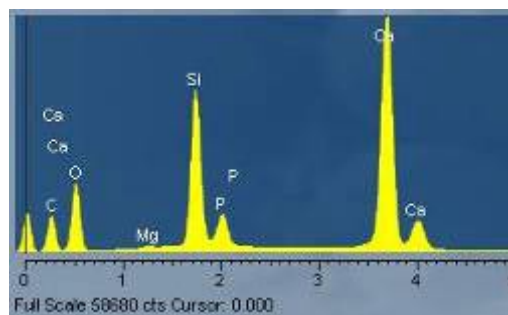


**Σχήμα 4.27.** ΑΚ 4406. Φυλλοπυριτικό ορυκτό ομάδας μαρμαρυγία. Λεπτή τομή, πετρογραφικό μικροσκόπιο x50, X Nicols

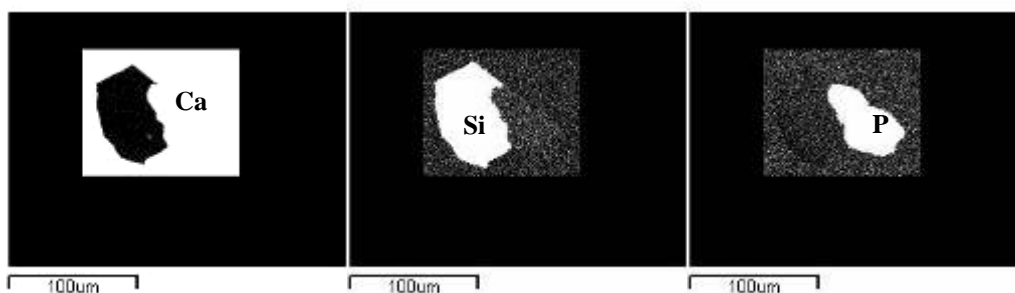
- Άλλες προσμίξεις



**Σχήμα 4.28.** ΑΚ. 4061. Περιοχή στοιχειακής ανάλυσης. Παρατηρείται χαλαζίας δίπλα σε μη πυριτικό ορυκτό.



**Σχήμα 4.29.** ΑΚ 4061. Φάσμα μικροανάλυσης. Πυρίτιο (Si), Φώσφορος (P), Ασβέστιο (Ca).



**Σχήμα 4.30.** ΑΚ. 4061. Θέσεις εμφάνισης Ασβεστίου (Ca), Πυριτίου (Si) και Φωσφόρου (P)



## 5. ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

Από την εξέταση επιλεγμένων, αντιπροσωπευτικών δειγμάτων στο πετρογραφικό και στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, σε συνδυασμό με στοιχειακή ανάλυση σε επιλεγμένες περιοχές, οι αποθέσεις που εντοπίζονται στα δείγματα κατηγοριοποιήθηκαν σε τρεις κύριες ομάδες:

- Δενδριτικές αποθέσεις
- Συνεκτικές αποθέσεις (κρούστες) με υποομάδες
  - Με ασβεστιτική σύσταση
  - Με ασβεστιτική-αργιλοπυριτική-σιδηρούχα σύσταση
- Χαλαρές αποθέσεις και εμποτισμοί με υποομάδες
  - Με σιδηρούχα και αργιλοπυριτική σύσταση, τεφρού χρώματος
  - Με αργιλοπυριτική κυρίως σύσταση, φαιού χρώματος

### 5.1. Δενδριτικές αποθέσεις ασβεστούχας και αργιλοπυριτικής σύστασης.

Χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων αποθέσεων είναι η μορφή με την οποία εμφανίζονται. Συναντώνται σε αρκετά θραύσματα μετά την αφαίρεση των χαλαρών αποθέσεων χρώματος. Σε κάποιες περιπτώσεις εντοπίζονται **δύο στρώματα**:

Το **ανώτερο** με πάχος 50-100 μm το οποίο είναι πιο συμπαγές.

Το **κατώτερο** με πάχος μέχρι 150 μm το οποίο περιέχει και εγκλωβισμένους κόκκους ασβεστιτικής, πυριτικής και αργιλοπυριτικής σύστασης. Στις φωτογραφίες που ακολουθούν παρουσιάζεται η συγκεκριμένη κατηγορία σε χαρακτηριστικές μακροσκοπικές και μικροσκοπικές εικόνες.



**Σχήμα 5.1.** AK 5086. Δενδριτικές αποθέσεις ασβεστούχας και αργιλοπυριτικής σύστασης σε θραύσμα με γλυπτό ανάγλυφο.



**Σχήμα 5.2.** AK 5086. Μακροσκοπική φωτογράφιση.



**Σχήμα 5.3.** ΑΚ 4014. Μακροσκοπική φωτογράφιση. Εμπρόσθια όψη. Κλίμακα 1εκ.



**Σχήμα 5.4.** ΑΚ 4014. Μακροσκοπική φωτογράφιση. Οπίσθια όψη. Διακρίνεται η μορφολογία των αποθέσεων Κλίμακα 1εκ.

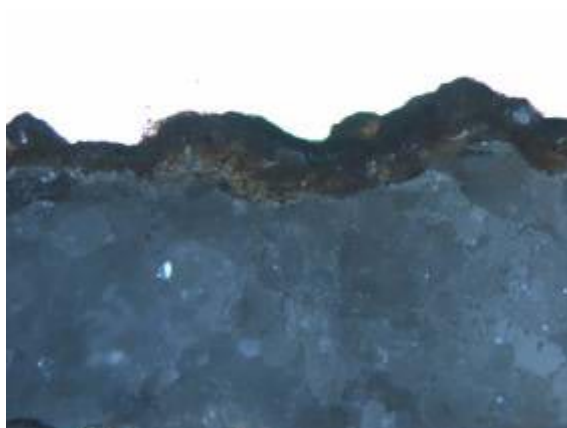


**Σχήμα 5.5.** ΑΚ 4014. Macro-φωτογράφιση. Λεπτομέρεια των αποθέσεων.

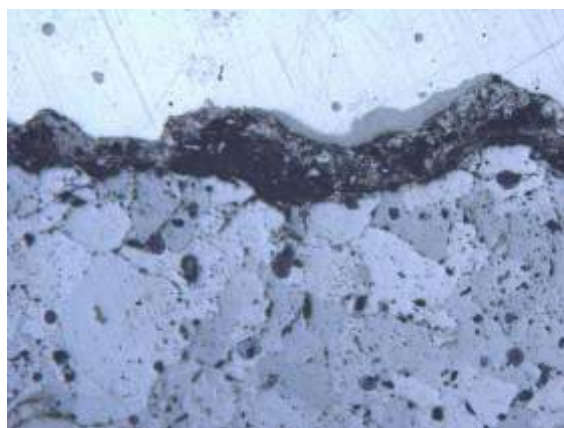


**Σχήμα 5.6.** ΑΚ 4014. Macro-φωτογράφιση. Λεπτομέρεια των αποθέσεων.

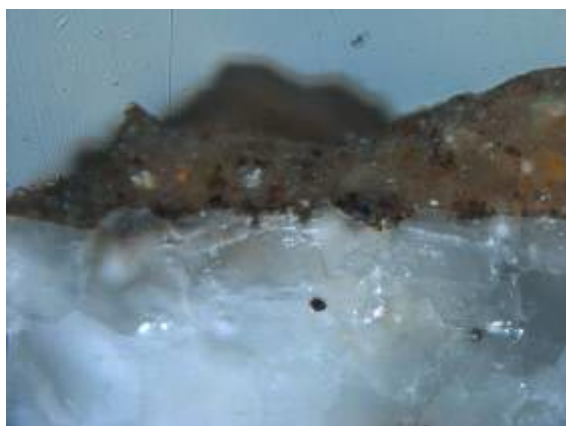
### **ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ**



**Σχήμα 5.7.** ΑΚ 4014. Μορφή αποθέσεων, οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols



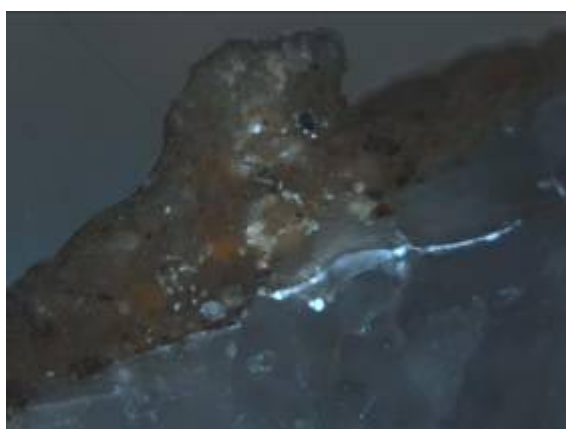
**Σχήμα 5.8.** ΑΚ 4014. Ίδια θέση, // Nicols



**Σχήμα 5.9.** AK 4014. Μορφή αποθέσεων, οπτικό μικροσκόπιο x100, X Nicols



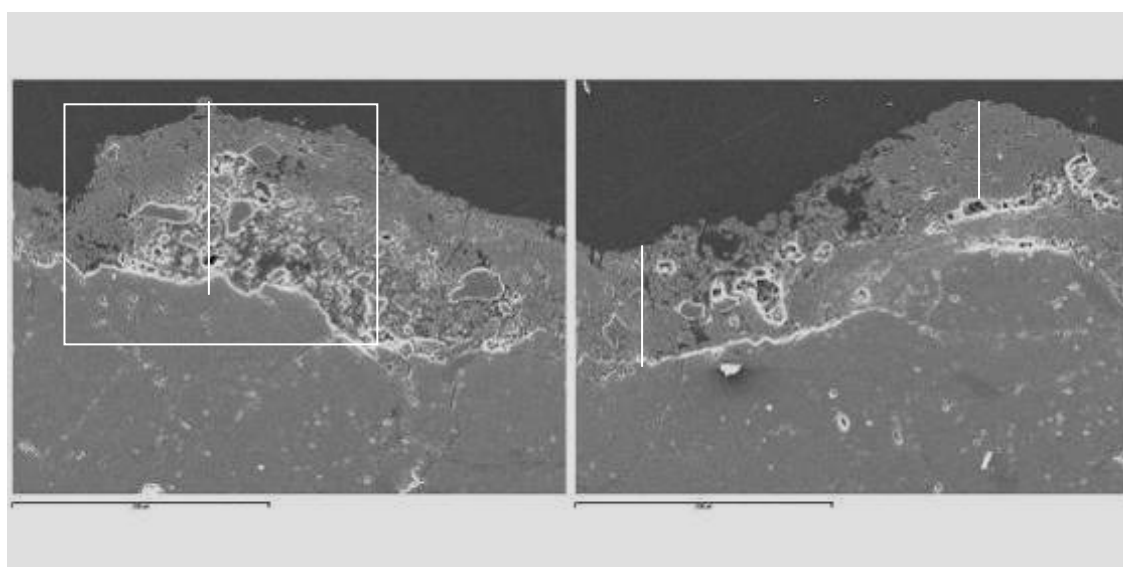
**Σχήμα 5.10.** AK 4014. Ίδια θέση, // Nicols. Παρατηρούνται μικροί κόκκοι εγκλωβισμένοι στα στρώματα αποθέσεων



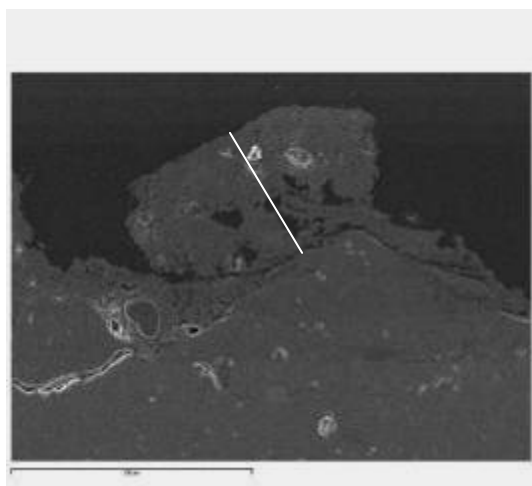
**Σχήμα 5.11.** AK 4014. Μορφή αποθέσεων, οπτικό μικροσκόπιο x100, X Nicols



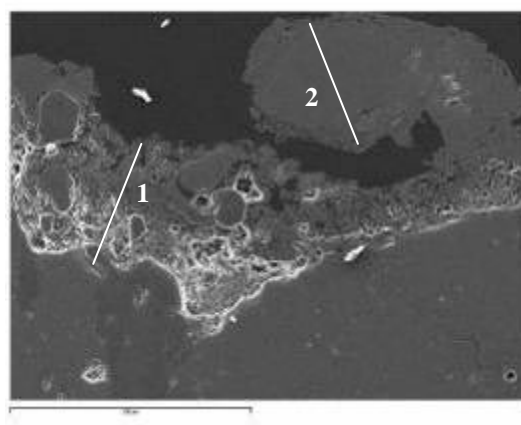
**Σχήμα 5.12.** AK 4014. Ίδια θέση, // Nicols. Διακρίνονται τα δύο στρώματα αποθέσεων καθώς και εγκλωβισμένοι κόκκοι στο ενδιάμεσο



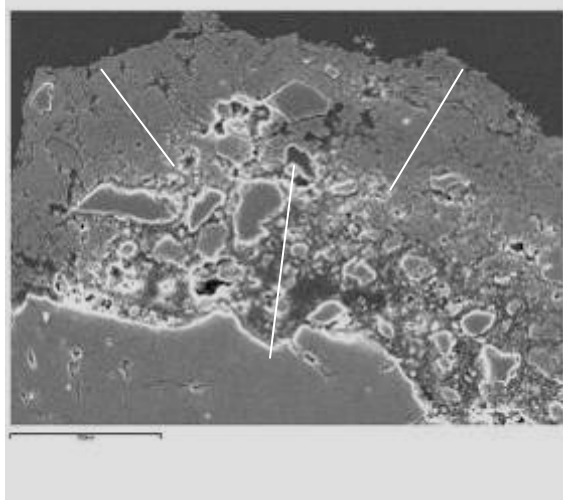
**Σχήμα 5.13.** AK 4014. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Διακρίνεται η μορφή των αποθέσεων καθώς και τα δύο διαφορετικά στρώματα. (Εγκλωβισμένοι κόκκοι χαλαζία και ασβεστίτη στο ενδιάμεσο στρώμα). Η επιλεγμένη περιοχή αφορά στην περιοχή ανάλυσης στις εικόνες που ακολουθούν. Πάχος 75-200μm. Κλίμακα 300μm.



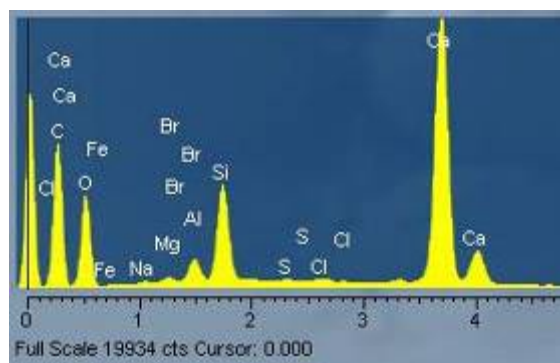
**Σχήμα 5.14.** Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Μορφή αποθέσεων. Πάχος 180μm Κλίμακα 300μm



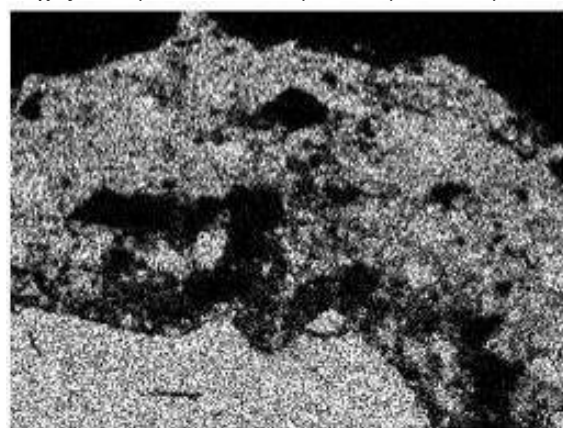
**Σχήμα 5.15.** Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Πάχος 1: 160μm. Πάχος 2: 180μm. Κλίμακα 300μm



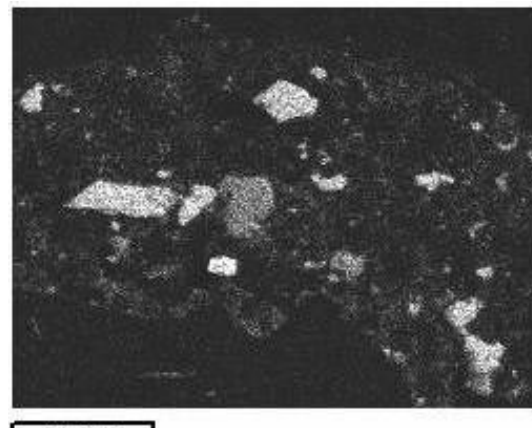
**Σχήμα 5.16.** ΑΚ 4014. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Διακρίνονται χαρακτηριστικά τα δύο στρώματα. Πάχος ανώτερου στρώματος 75-100μm. Πάχος ενδιάμεσου 100-150μm. Κλίμακα 100μm.



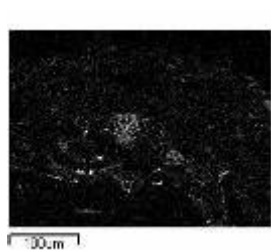
**Σχήμα 5.17.** ΑΚ 4014. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Φάσμα μικροανάλυσης. Ασβέστιο, Πυρίτιο και Αργίλιο.



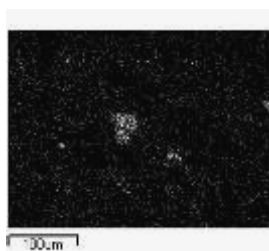
**Σχήμα 5.18.** ΑΚ 4014. Θέσεις εντοπισμού ασβεστίου Ca



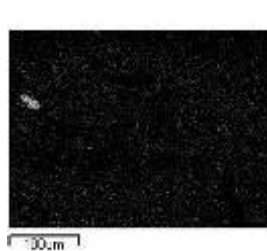
**Σχήμα 5.19.** ΑΚ 4014. Θέσεις εντοπισμού πυριτίου Si (κόκκινοι χαλαζία και αργιλοπυριτικά ορυκτά – συστατικά του εδαφικού υλικού)



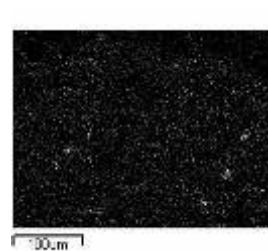
**Σχήμα 5.20.** AK 4014. Θέσεις εντοπισμού αργιλίου Al



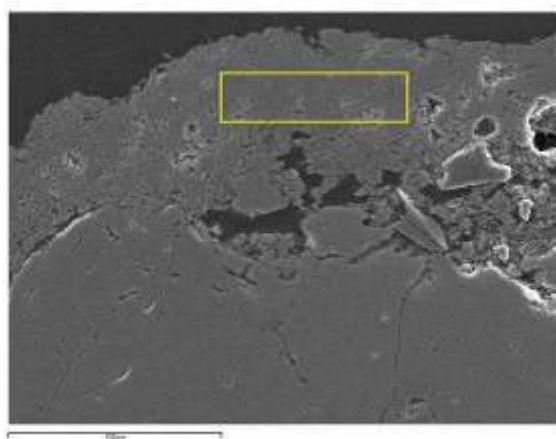
**Σχήμα 5.21.** AK 4014. Θέσεις εντοπισμού νατρίου Na



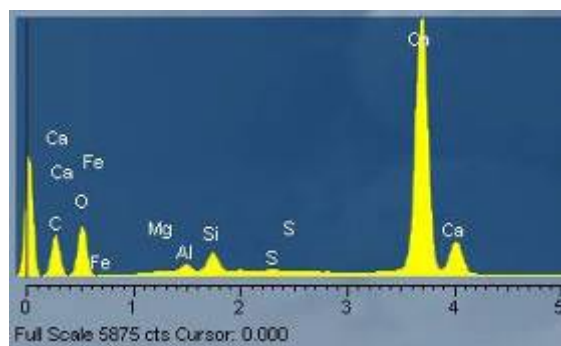
**Σχήμα 5.22.** AK 4014. Θέσεις εντοπισμού φωσφόρου P



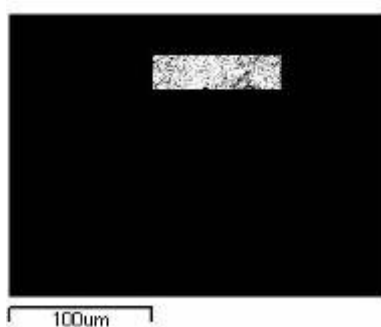
**Σχήμα 5.23.** AK 4014. Θέσεις εντοπισμού καλίου K



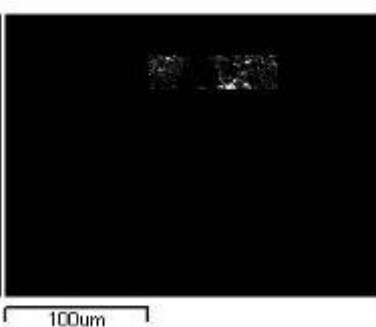
**Σχήμα 5.24.** AK 4014. Η περιοχή μελέτης αφορά στο ανώτερο και πιο συμπαγές στρώμα. Κλίμακα 100µm. Διακρίνεται το διαταραγμένο υπόστρωμα.



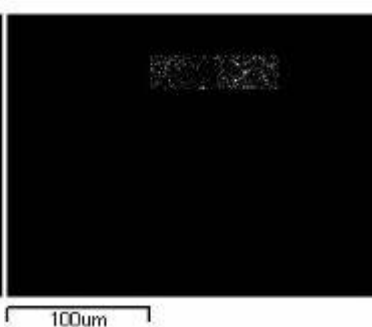
**Σχήμα 5.25.** AK 4014. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Φάσμα μικροανάλυσης στην επιλεγείσα περιοχή. Κυρίως ασβέστιο. Πυρίτιο και αργίλιο σε μικρή αναλογία.



**Σχήμα 5.26.** AK 4014. Θέσεις εντοπισμού ασβεστίου (Ca)



**Σχήμα 5.27.** AK 4014. Θέσεις εντοπισμού πυριτίου (Si)



**Σχήμα 5.28.** AK 4014. Θέσεις εντοπισμού αργιλίου (Al)

## 5.2. Συνεκτικές αποθέσεις (κρούστες)

### 5.2.1. Περίπτωση 1

**Κρούστα σκληρή, συμπαγής, κυρίως ασβεστιτικής και σε μικρότερο ποσοστό πυριτικής σύστασης, με έντονο ανάγλυφο.**

Χαρακτηριστικό είναι η σκληρότητά της και το έντονο ανάγλυφο με το οποίο εμφανίζεται. Το πάχος της κυμαίνεται από 150-900 μm. (στις κορυφές του ανάγλυφου).

Σε κάποιες περιπτώσεις διακρίνονται δύο χαρακτηριστικά **στρώματα**:

Το **ανώτερο στρώμα** είναι συμπαγές και έχει πάχος μεταξύ 150 και 300μm. Στις περισσότερες περιπτώσεις εμφανίζεται σε χαρακτηριστικές φυλλώσεις (εναλλαγή λεπτών ασβεστιούχων και πυριτικών στρωμάτων- Σχήμα 3.88).

Το **κατώτερο στρώμα**, όπου βρίσκονται εγκλωβισμένοι κόκκοι κυρίως ασβεστιτικής αλλά και πυριτικής σύστασης (ασβεστίτης  $\text{CaCO}_3$ , χαλαζίας  $\text{SiO}_2$ ). Το πάχος του κυμαίνεται από 150 μέχρι 600μm. Οι εγκλωβισμένοι κόκκοι σε ορισμένες περιπτώσεις είναι μεγάλοι, μεγέθους μέχρι 500 μm. Σε κάποιες περιπτώσεις είναι ευδιάκριτα τα όρια μεταξύ των στρωμάτων που περιγράφησαν και του υποστρώματος όπου και εμφανίζονται αργιλοπυριτικές αποθέσεις.



**Σχήμα 5.29** AK449. Κρούστα που καλύπτει τμήμα της επιφάνειας του θραύσματος. Το πάχος της είναι αρκετά μεγάλο, ενώ παρουσιάζει συνοχή και καλή πρόσφυση στο υπόστρωμα.



**Σχήμα 5.30** AK449. Λεπτομέρεια της επιφάνειας του θραύσματος. Σχηματισμός κρούστας.



**Σχήμα 5.31.** AK 3939. Μορφή κρούστας. Έντονο ανάγλυφο και μεγάλο πάχος



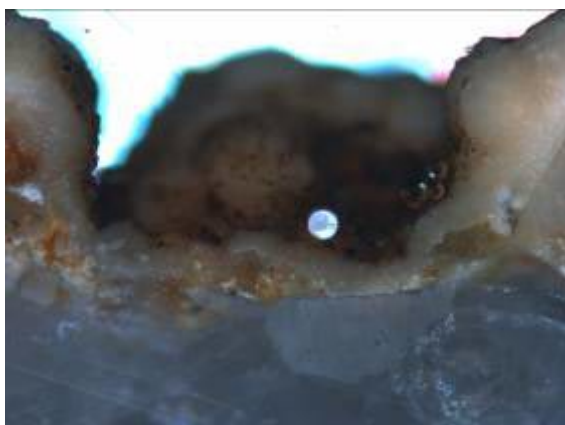
**Σχήμα 5.32.** AK 3939. Μορφή κρούστας. Έντονο ανάγλυφο και μεγάλο πάχος



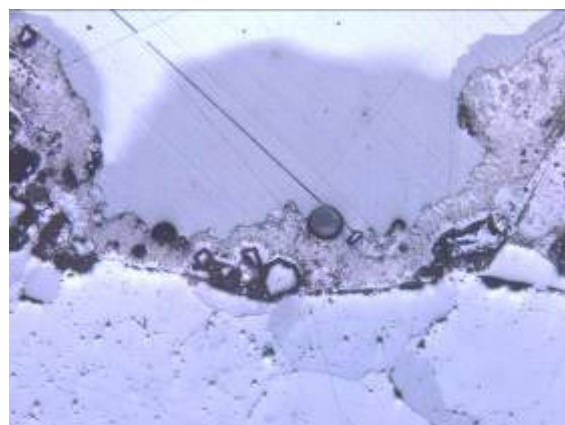
**Σχήμα 5.33.** AK 3939. Μορφή κρούστας. Έντονο ανάγλυφο.



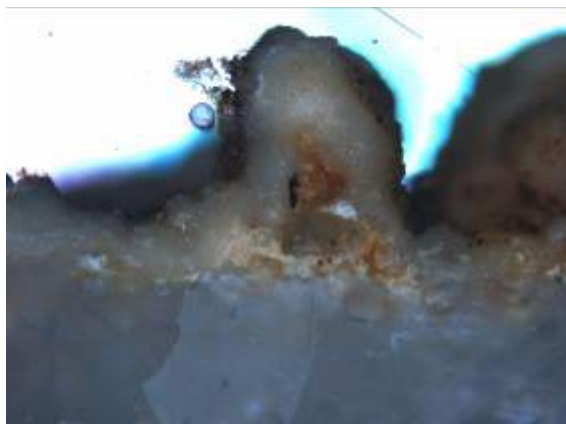
**Σχήμα 5.34.** AK 3939. Λεπτομέρεια ανάγλυφου.



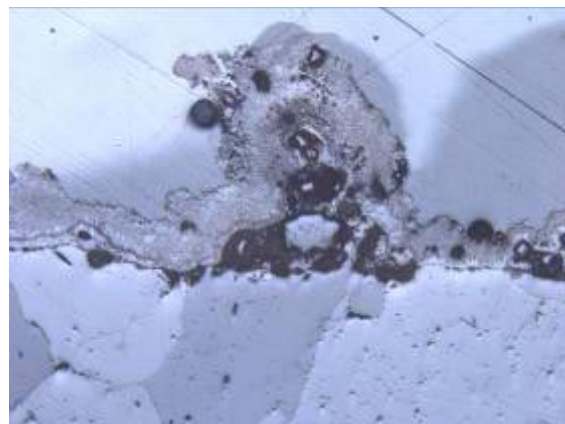
**Σχήμα 5.35.** AK 3939. Γενική μορφή κρούστας. Έντονο ανάγλυφο, πάχος που κυμαίνεται από 150-900μm. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols



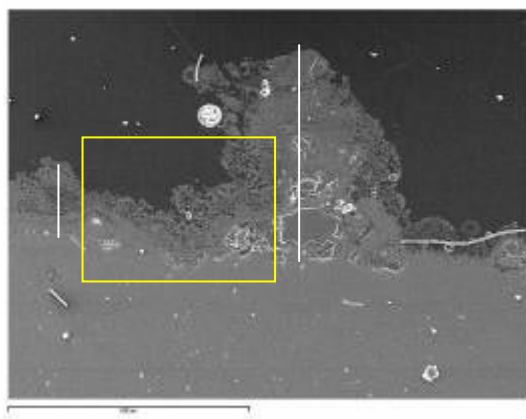
**Σχήμα 5.36.** AK 3939. Ίδια θέση, // Nicols



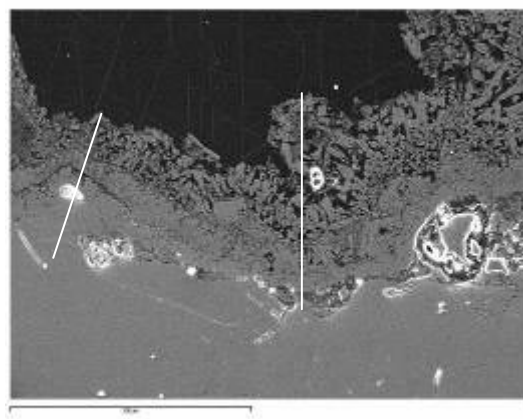
**Σχήμα 5.37.** ΑΚ 3939. Γενική μορφή κρούστας. Έντονο ανάγλυφο. Διακρίνονται τα δύο στρώματα των αποθέσεων. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols



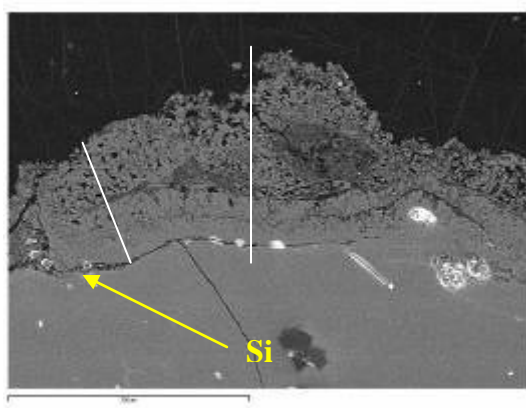
**Σχήμα 5.38.** ΑΚ 3939. Ίδια θέση, // Nicols



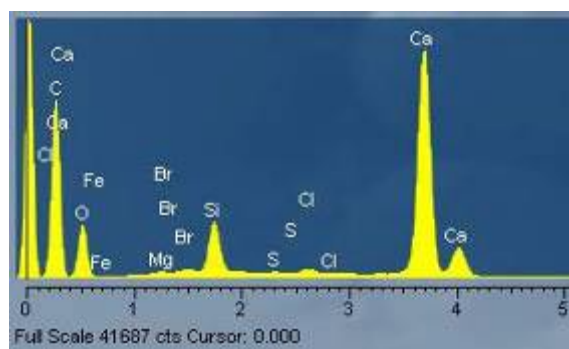
**Σχήμα 5.39.** ΑΚ 3939. Ίδια θέση με το σχήμα 3.74. στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Πάχος στρώματος από 75 – 800 μm. Η επιλεγμένη περιοχή αφορά στο σχήμα 3.77. Κλίμακα 800μm.



**Σχήμα 5.40.** ΑΚ 3939. Εμφάνιση και πάχος αποθέσεων. Αποτελεί λεπτομέρεια της προηγούμενης εικόνας. Κλίμακα 300μm.

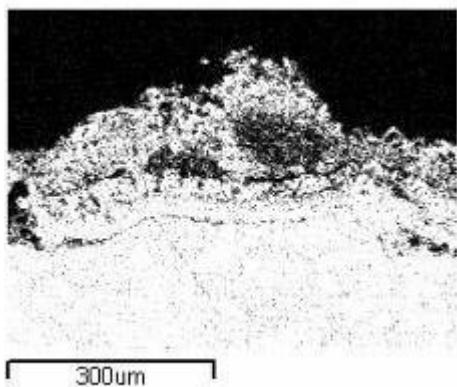


**Σχήμα 5.41.** ΑΚ 3939. Αποθέσεις χωρίς εγκλωβισμένους κόκκους. Πάχος 150-270 μm. Ευδιάκριτα τα όρια αποθέσεων – υποστρώματος. Εμφανίζεται πυρίτιο στη διεπιφάνεια. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, κλίμακα 300μm

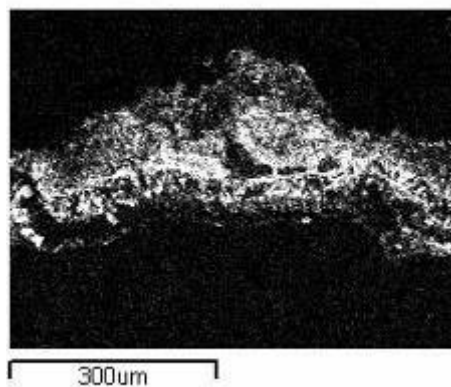


**Σχήμα 5.42.** ΑΚ 3939. Φάσμα μικροανάλυσης

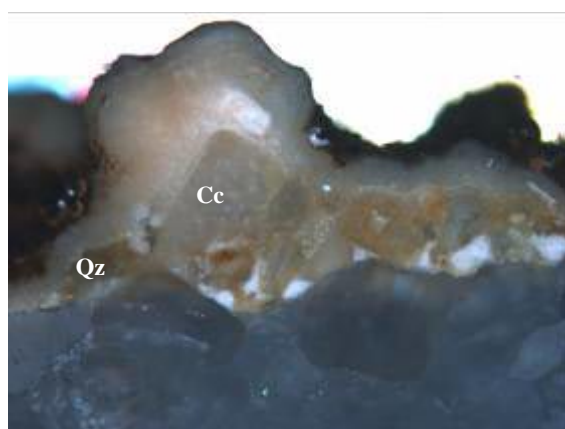




Σχήμα 5.43. AK 3939. Θέση εντοπισμού Ca



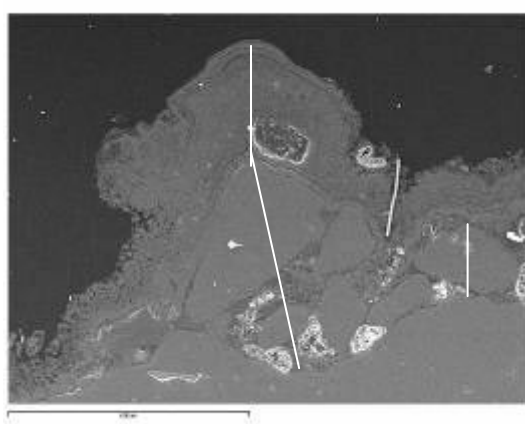
Σχήμα 5.44. AK 3939. Θέση εντοπισμού Si



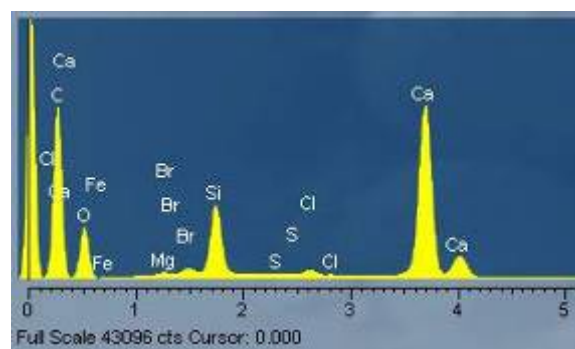
Σχήμα 5.45. AK 3939. Γενική μορφή κρούστας. Έντονο ανάγλυφο. Διακρίνονται τα δύο στρώματα των αποθέσεων. Στο ενδιάμεσο στρώμα παρατηρούνται μεγάλοι κόκκοι ασβεστίτη και χαλαζία. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols



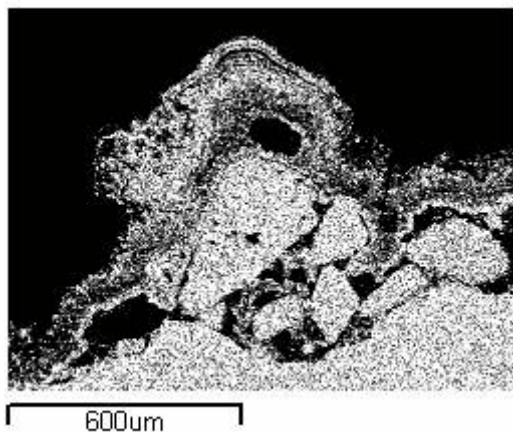
Σχήμα 5.46. AK 3939. Ίδια θέση, // Nicols



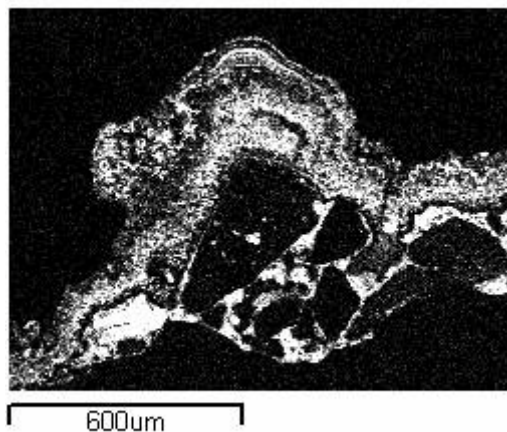
Σχήμα 5.47. AK 3939. Ίδια θέση με την εικόνα στο οπτικό μικροσκόπιο. Πάχος ανώτερου στρώματος 300μm. Ενδιάμεσο στρώμα από 200 μέχρι 600μm. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, κλίμακα 600μm



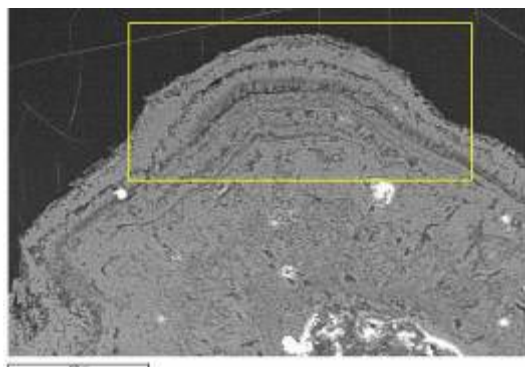
Σχήμα 5.48. AK 3939. Φάσμα μικροανάλυσης. Διακρίνεται ασβέστιο Ca και πυρίτιο Si.



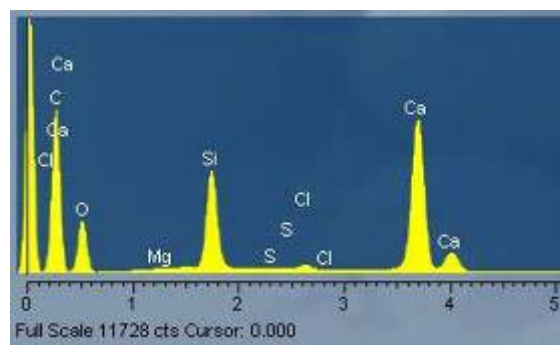
Σχήμα 5.49. AK 3939. Θέση εντοπισμού Ca



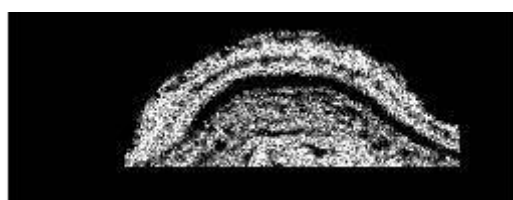
Σχήμα 5.50. AK 3939. Θέση εντοπισμού Si



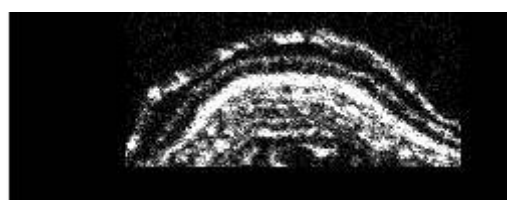
Σχήμα 5.51. AK 3939. Λεπτομέρεια της παραπάνω εικόνας. Διακρίνεται εναλλαγή ασβεστιούχων και πυριτικών στρωμάτων (φυλλώσεις). Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, κλίμακα 100μm



Σχήμα 5.52. AK 3939.. Φάσμα μικροανάλυσης. Διακρίνεται ασβέστιο και πυρίτιο



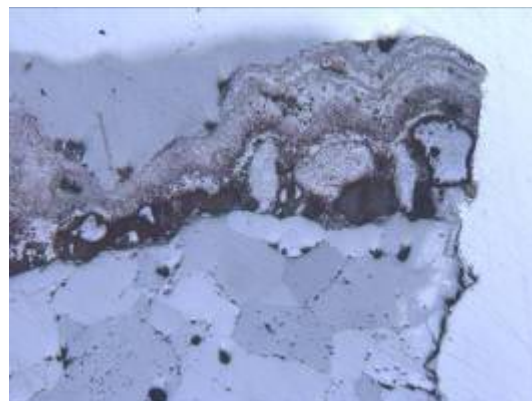
Σχήμα 5.53. AK 3939.Θέση εντοπισμού Ca



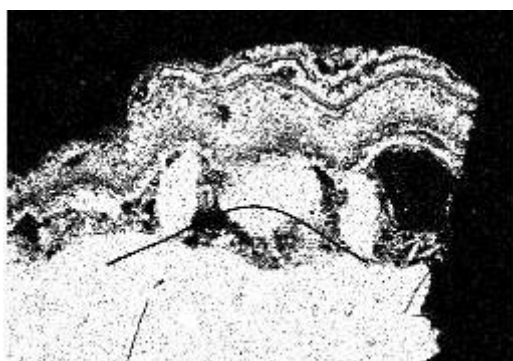
Σχήμα 5.54. AK 3939. Θέση εντοπισμού Si



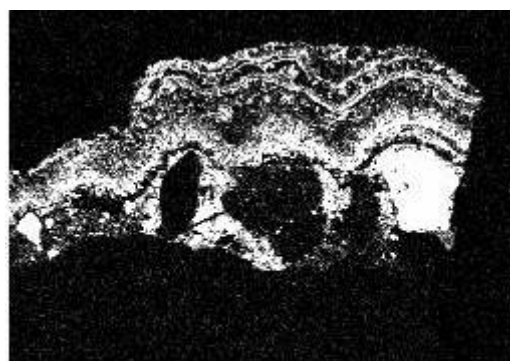
**Σχήμα 5.55.** AK 3939. Οπτικό μικροσκόπιο x50, Χ Νicols. Διακρίνονται τα στρώματα των αποθέσεων και οι χαρακτηριστικές φυλλώσεις



**Σχήμα 5.56.** AK 3939. Ίδια θέση, // Nicols. Διακρίνονται τα στρώματα των αποθέσεων και οι χαρακτηριστικές φυλλώσεις



**Σχήμα 5.57.** AK 3939. Θέση εντοπισμού Ca



**Σχήμα 5.58.** AK 3939. Θέση εντοπισμού Si



**Σχήμα 5.59.** AK 4000. Μορφή δείγματος πριν τον καθαρισμό



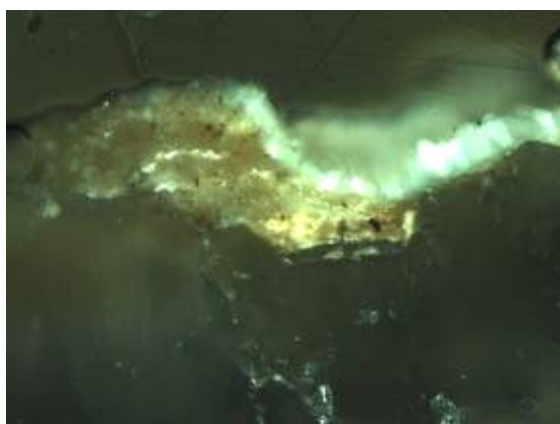
**Σχήμα 5.60.** AK 4000. Ασβεστιτική κρούστα με έντονο ανάγλυφο μόνο στη μία πλευρά του θραύσματος. Στο συγκεκριμένο σχηματισμό έπαιξε καθοριστικό ρόλο ο προσανατολισμός του θραύσματος



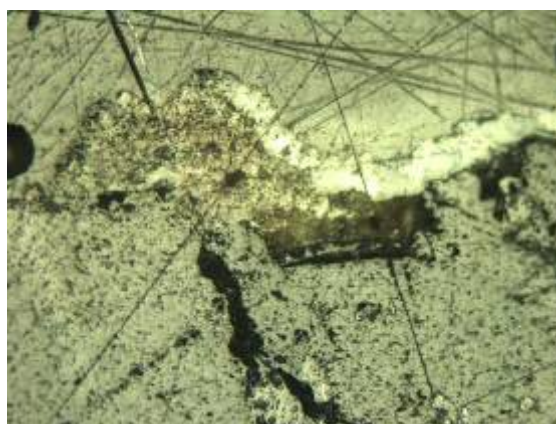
**Σχήμα 5.61.** AK 4000. Μορφή δείγματος. Macro-φωτογράφιση



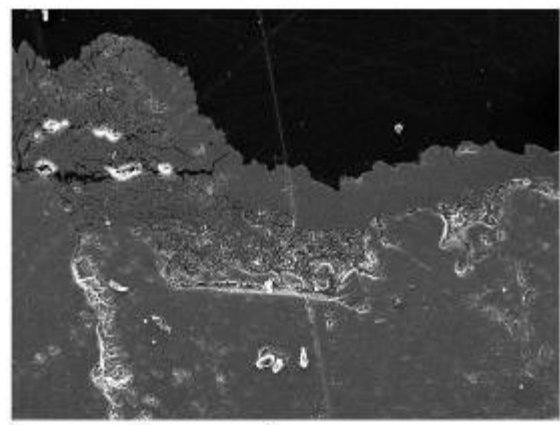
**Σχήμα 5.62.** AK 4000. Στερεοσκοπική παρατήρηση x8



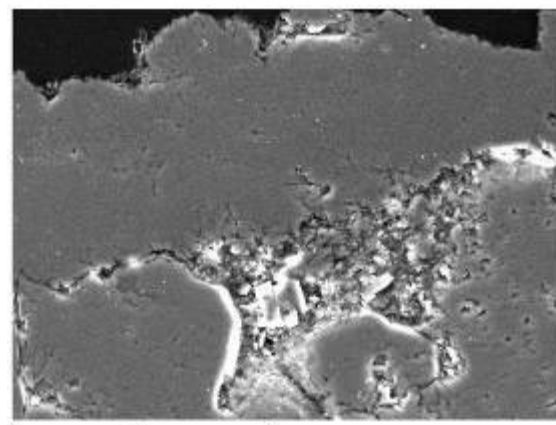
**Σχήμα 5.63.** AK 4000. Οπτική μικροσκοπία x100, X Nicols



**Σχήμα 5.64.** AK 4000. ίδια θέση // Nicols



**Σχήμα 5.65.** AK 4000. Κλίμακα 300µm



**Σχήμα 5.66.** AK 4000. Ανάμεσα στην κρούστα και το υπόστρωμα «εγλωβίζεται» λεπτόκοκκο εδαφικό υλικό (Al-Si-Ca). Κλίμακα 80µm

### 5.2.2. Περίπτωση 2

**Κρούστα σιδηρούχας και αργιλοπυριτικής σύστασης το οποίο εναλλάσσεται με πιο συμπαγές στρώμα ασβεστιτικής σύστασης.**

Το στρώμα της σιδηρούχας αργιλοπυριτικής σύστασης είναι συγγενές με την προηγούμενη περίπτωση. Εντοπίζεται και αυτό σε εσοχές και ατέλειες της επιφάνειας και είναι μέτριας συνεκτικότητας και πρόσφυσης. Εμφανίζει μέγιστο πάχος 80μm.

Η συγκεκριμένη περίπτωση διαφοροποιείται ως προς το στρώμα της **ασβεστιτικής σύστασης**. Είναι σχετικά συμπαγές, έχει μέγιστο πάχος 200 μm και στις περισσότερες περιπτώσεις τα όρια με το υπόστρωμα είναι ιδιαίτερα σαφή. Διαφέρει από την περίπτωση 2 διότι είναι πιο τεφρό μακροσκοπικά, δεν εμφανίζονται φυλλώσεις με πυριτικά στρώματα ούτε και εγκλωβισμένοι κόκκοι ασβεστίτη και χαλαζία στη μάζα του. Εμφανίζει μικρότερο ανάγλυφο.



Σχήμα 5.67. AK 3480. Οπίσθια όψη.



Σχήμα 5.68. AK 3480. Μακροσκοπική φωτογράφιση. Οπίσθια όψη.



Σχήμα 5.69. AK 4232. Μακροσκοπική φωτογράφιση. Οπίσθια όψη. Κλίμακα 1εκ.



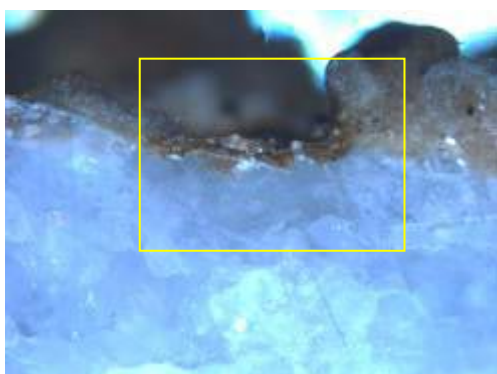
Σχήμα 5.70. AK 4406. Γενική εικόνα αποθέσεων



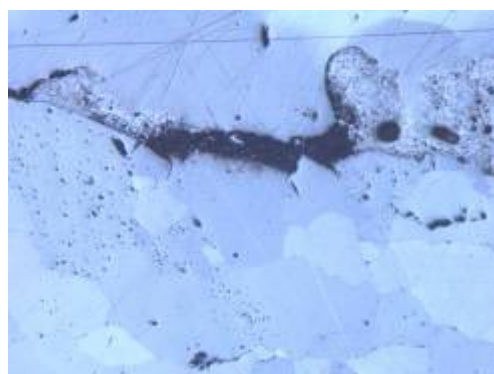
Σχήμα 5.71. ΑΚ 4232. Λεπτομέρεια αποθέσεων. Λεπτό στρώμα αποθέσεων.



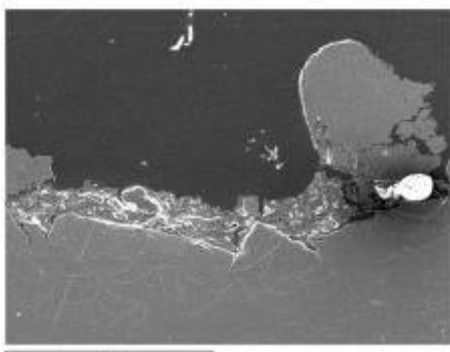
Σχήμα 5.72. ΑΚ 4232. Λεπτομέρεια αποθέσεων, περιοχή δειγματοληψίας. Έντονο ανάγλυφο



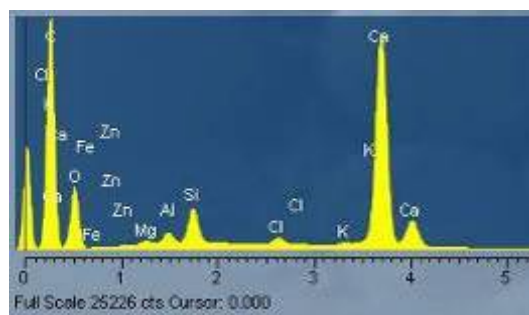
Σχήμα 5.73. ΑΚ 4232. Εναλλαγή δύο στρωμάτων αποθέσεων. Η επιλεγμένη περιοχή ορίζει τα όρια του σχήματος 3.116. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols



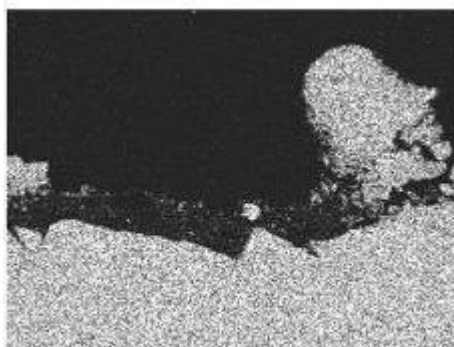
Σχήμα 5.74. ΑΚ 4232. Ίδια θέση, // Nicols.



Σχήμα 5.75. ΑΚ 4232. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Κλίμακα 400μm

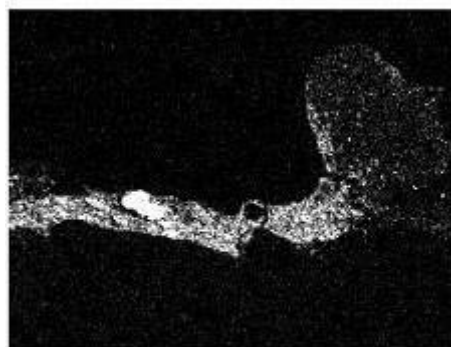


Σχήμα 5.76. ΑΚ 4232. Φάσμα μικροανάλυσης. Ca (μάρμαρο και 2<sup>ο</sup> στρώμα), Si-Al-Fe (1<sup>ο</sup> στρώμα)



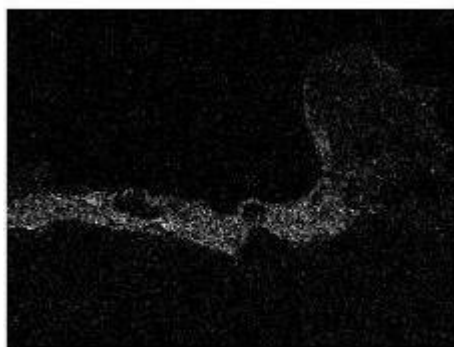
400um

Σχήμα 5.77. AK 4232. Θέσεις εντοπισμού Ca



400um

Σχήμα 5.78. AK 4232. Θέσεις εντοπισμού Si



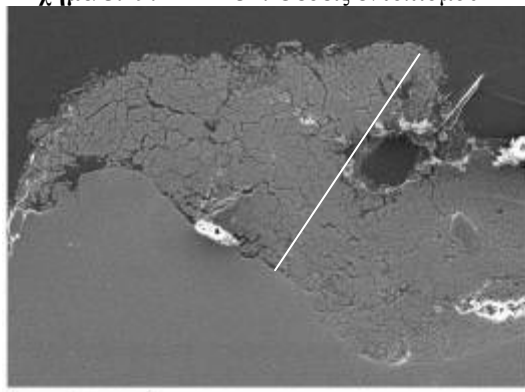
400um

Σχήμα 5.79. AK 4232. Θέσεις εντοπισμού Al

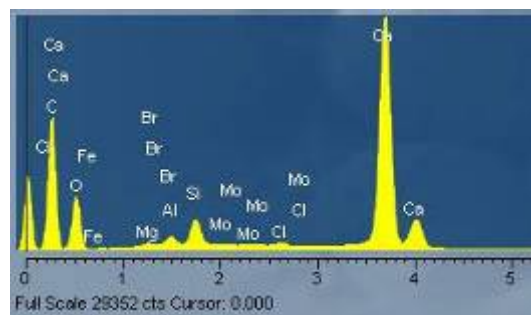


400um

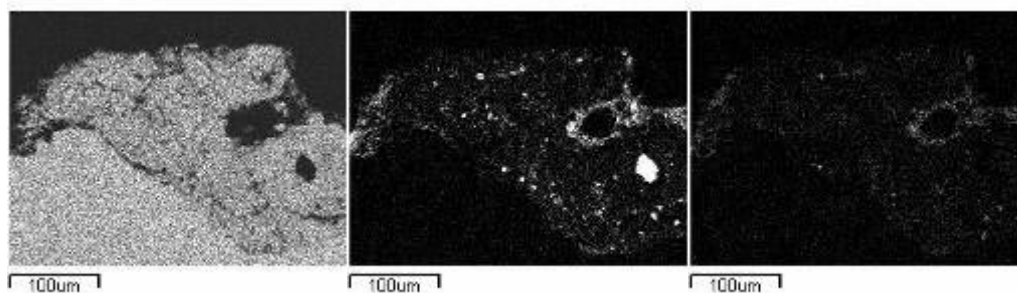
Σχήμα 5.80. AK 4232. Θέσεις εντοπισμού Fe



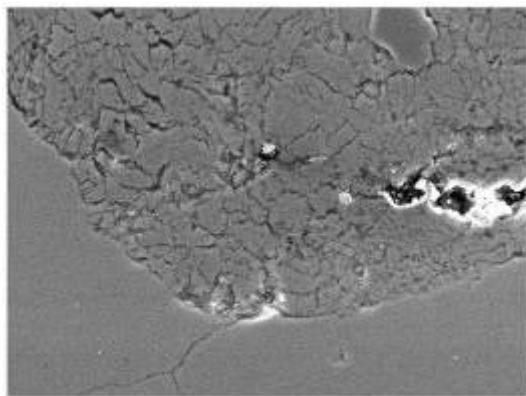
Σχήμα 5.81. AK 4232.. Ασβεστιούχας σύστασης αποθέσεις. Πάχος 200μm. Εντοπίζονται μικροί κόκκοι αργιλοπυριτικού υλικού. Σαφή όρια με το υπόστρωμα. Κλίμακα 100μm



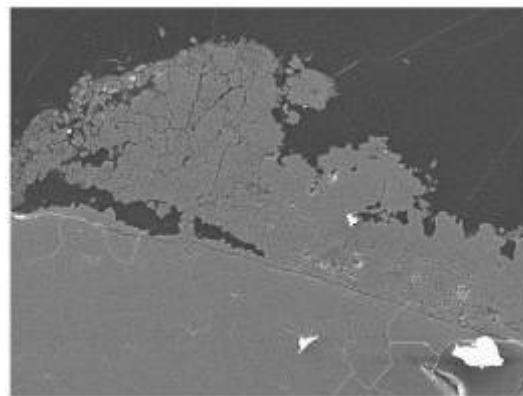
Σχήμα 5.82. AK 4232.. Φάσμα μικροανάλυσης. Ca (μάρμαρο και απόθεση), Si-Al (εγκλωβισμένο αργιλοπυριτικό υλικό)



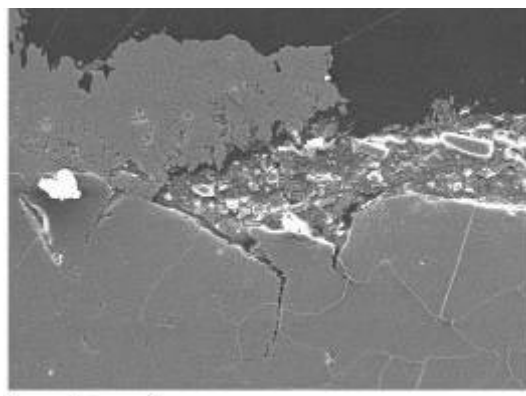
Σχήμα 5.83. AK 4232. Θέσεις εντοπισμού Ca, Si και Al



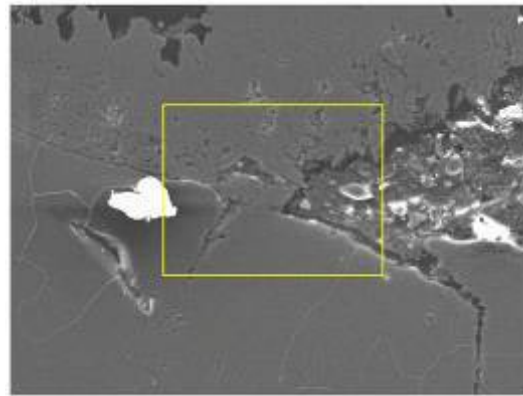
Σχήμα 5.84. ΑΚ 4232. Ασβεστιτικής σύστασης αποθέσεις. Σαφή όρια με το υπόστρωμα. Κλ. 80µm



Σχήμα 5.85. ΑΚ 4232. Ασβεστιτικής σύστασης αποθέσεις. Σαφή όρια με το υπόστρωμα. Κλ. 100µm



Σχήμα 5.86. ΑΚ 4232. Συνύπαρξη των δύο στρωμάτων αποθέσεων. Κλίμακα 100µm.



Παρόμοιας μορφής κρούστα συναντήθηκε σε δείγμα που συλλέχθηκε από τον αρχαιολογικό χώρο, από σωρό λίθων χωρίς αρχαιολογικό ενδιαφέρον.

Το **ασβεστιτικής σύστασης στρώμα** εμφανίζει ανάγλυφο, έχει μέγιστο πάχος 300 µm.. Σε κάποιες θέσεις το ασβεστιτικής σύστασης στρώμα περιβάλλεται από λεπτό στρώμα σιδηρούχων-αργιλοπυριτικών αποθέσεων.



Σχήμα 5.87. Δείγμα AX1, δείγμα από τον αρχαιολογικό χώρο. Εμπρόσθια όψη.



Σχήμα 5.88. Δείγμα AX1, δείγμα από τον αρχαιολογικό χώρο. Οπίσθια όψη.

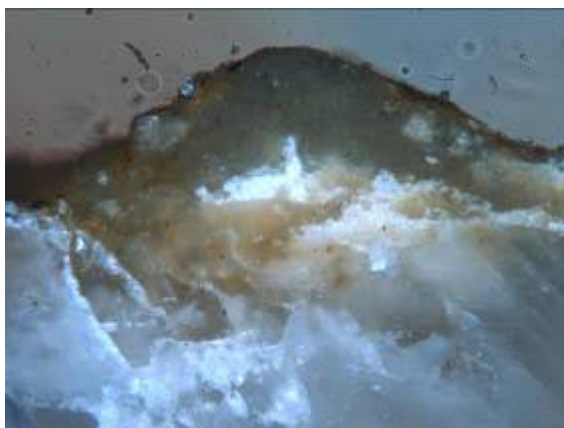




Σχήμα 5.89. Δείγμα AX1. Λεπτομέρεια αποθέσεων



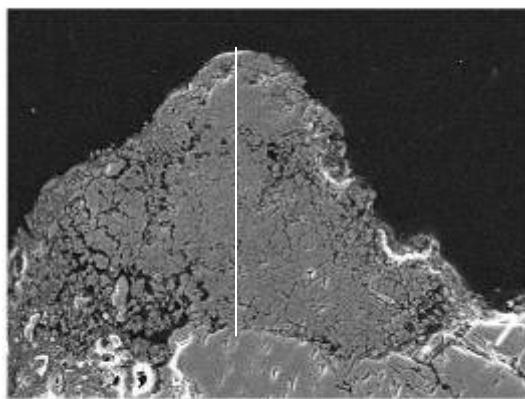
Σχήμα 5.90. Δείγμα AX1. Λεπτομέρεια αποθέσεων



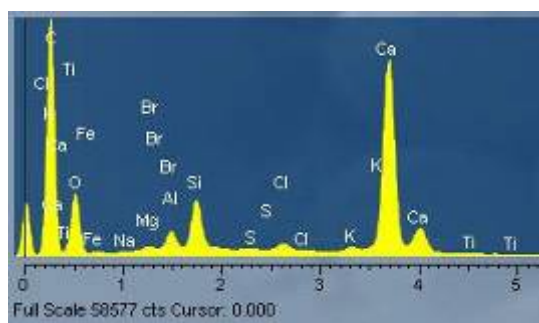
Σχήμα 5.91. Δείγμα AX1. Ασβεστιούχας σύστασης στρώμα. Περιβάλλεται από σιδηρούχας-αργιλοπυριτικής σύστασης λεπτό στρώμα. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols



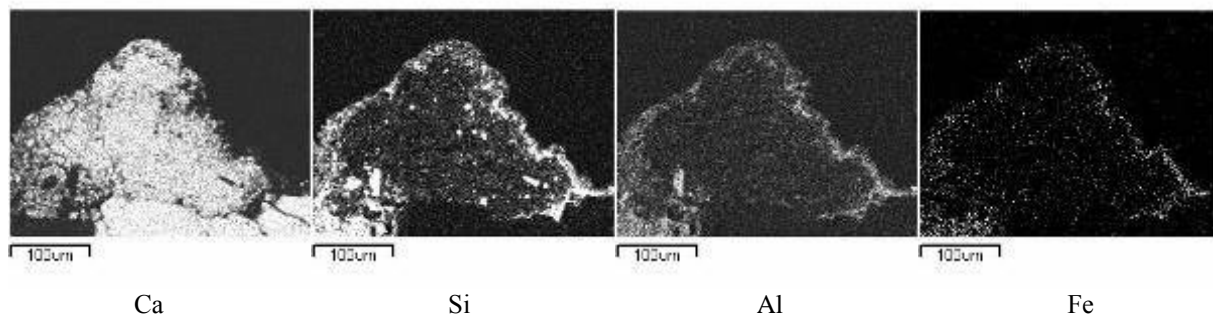
Σχήμα 5.92. Δείγμα AX1. Ίδια θέση, // Nicols



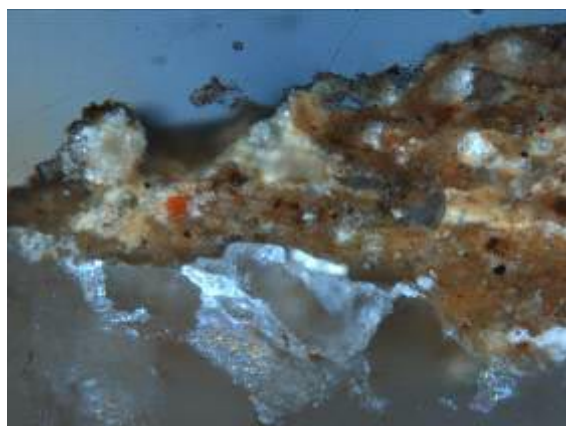
Σχήμα 5.93. Δείγμα AX1. Ασβεστιούχας σύστασης στρώμα. Περιβάλλεται από σιδηρούχας-αργιλοπυριτικής σύστασης λεπτό στρώμα ενώ περιέχει μικρούς κόκκους χαλαζία. Πάχος 200μm. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, κλίμακα 100μm



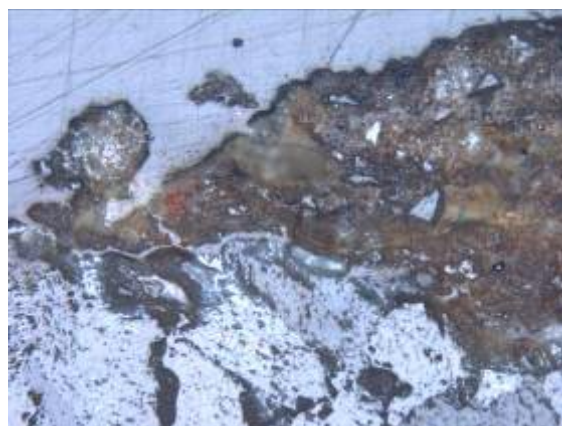
Σχήμα 5.94. Δείγμα AX1. Φάσμα μικροανάλυσης.



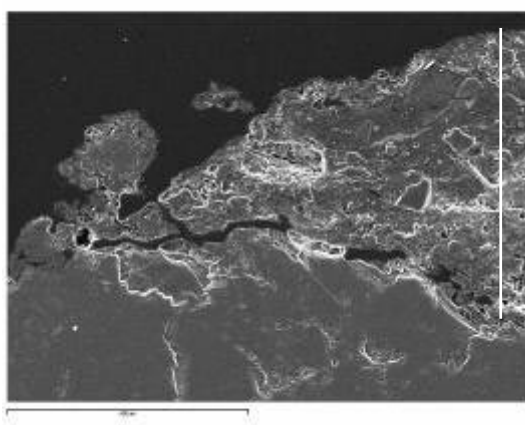
Σχήμα 5.95. Δείγμα AX1. Θέσεις εμφάνισης Ca , Si, Al και Fe



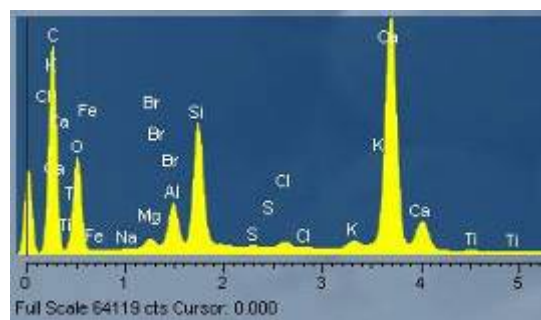
Σχήμα 5.96. Δείγμα AX1. Στρώμα σιδηρούχας-αργιλοπυριτικής σύστασης. Οπτικό μικροσκόπιο x100, X Nicols



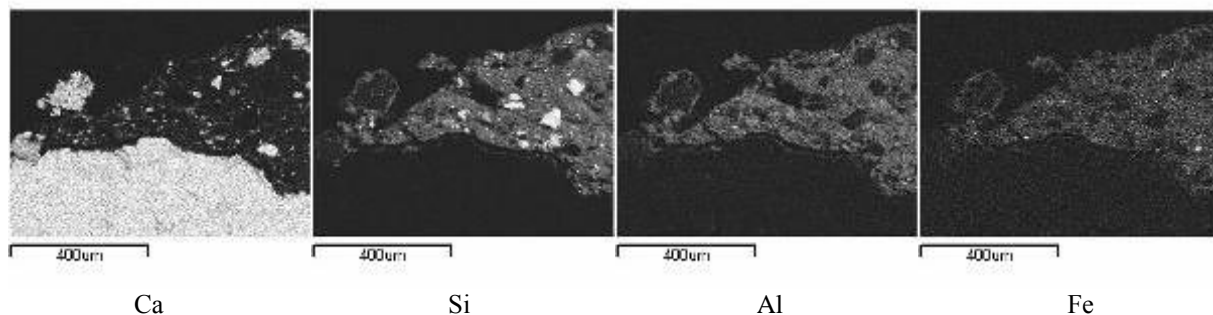
Σχήμα 5.97. Δείγμα AX1. Ίδια θέση, // Nicols



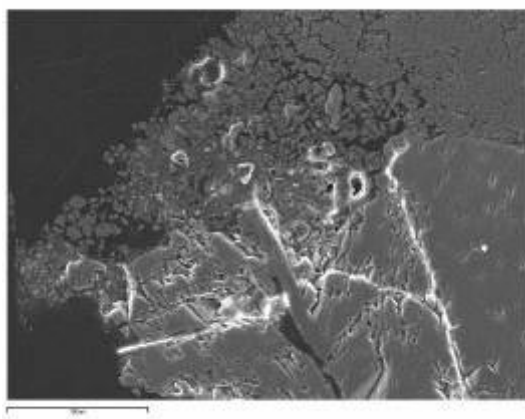
Σχήμα 5.98. Δείγμα AX1. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Πάχος στρώματος 450 µm. Κλίμακα 400µm.



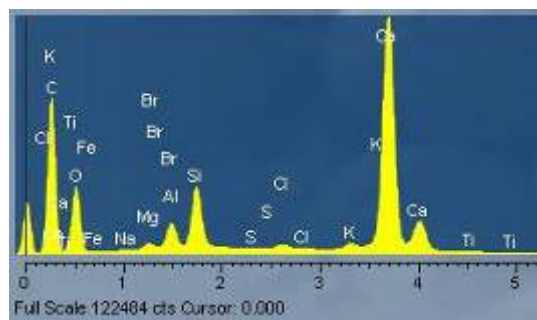
Σχήμα 5.99. Δείγμα AX1. Φάσμα μικροανάλυσης. Εντοπίζεται ασβέστιο, πυρίτιο, αργίλιο, σίδηρος και λίγο μαγνήσιο..



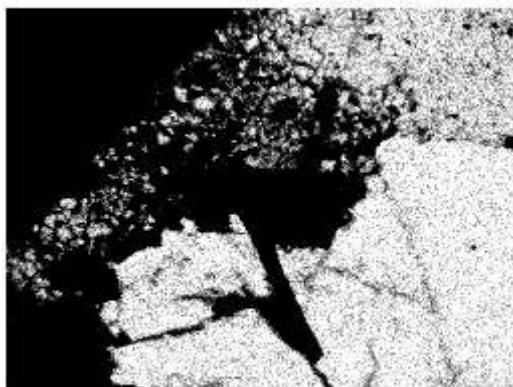
**Σχήμα 5.100.** Δείγμα AX1. Θέσεις εμφάνισης Ca , Si, Al και Fe. Παρατηρούνται εγκλωβισμένοι κόκκοι στην κρούστα, τόσο ασβεστιτικής όσο και πυριτικής σύστασης. (Ασβεστίτης και Χαλαζίας). Στις ίδιες θέσεις που εμφανίζεται το ασβέστιο, το πυρίτιο και ο σίδηρος εντοπίστηκε και λίγο μαγνήσιο.



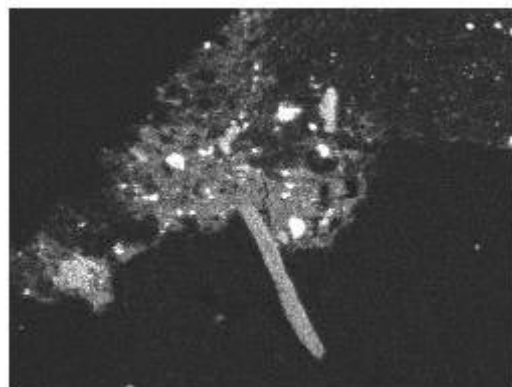
**Σχήμα 5.101.** Δείγμα AX1. Εναλλαγή των δύο διαφορετικών στρωμάτων. Επάνω δεξιά εντοπίζεται το συμπαγές στρώμα ασβεστιούχας σύστασης ενώ προς τα κάτω αριστερά δίνει τη θέση του στο πιο χαλαρό στρώμα σιδηρομαγνησιούχας και αργιλοπυριτικής σύστασης. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Κλίμακα 100µm.



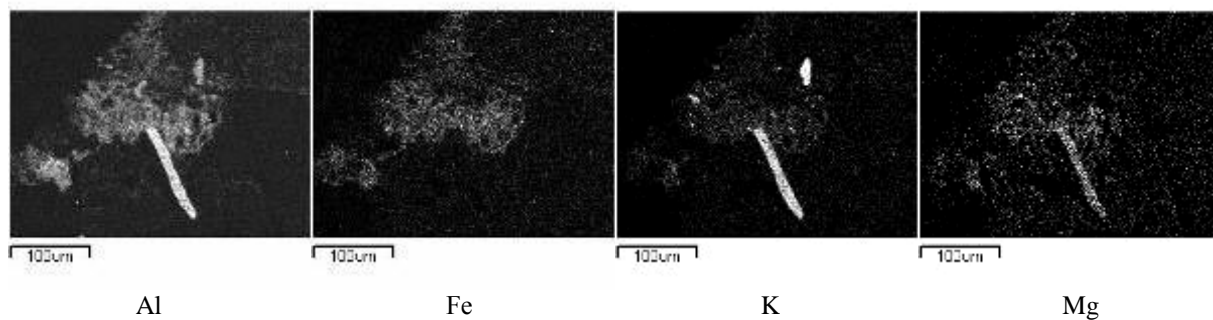
**Σχήμα 5.102.** Δείγμα AX1. Φάσμα μικροανάλυσης.



Σχήμα 5.103. Δείγμα AX1. Θέσεις εμφάνισης Ca



Σχήμα 5.104. Δείγμα AX1. Θέσεις εμφάνισης Si



Σχήμα 5.105. Δείγμα AX1. Θέσεις εμφάνισης αργιλίου, σιδήρου, καλίου και μαγνησίου. Μαρμαρυγίας σαν επουσιώδες ορυκτολογικό συστατικό του μαρμάρου.

### 5.3. Χαλαρές αποθέσεις και εμποτισμοί

#### 5.3.1. Περίπτωση 1

#### Χαλαρές αποθέσεις και εμποτισμοί σιδηρούχας και αργιλοπυριτικής σύστασης τεφρού χρώματος

Αποτελούνται κυρίως από πυρίτιο, αργίλιο και σίδηρο. Σε κάποιες περιπτώσεις εμφανίζονται και σαν στρώμα χαλαρών αποθέσεων μέτριας συνεκτικότητας. Το πάχος του στρώματος αυτού δεν ξεπερνάει τα 100µm.



**Σχήμα 5.106.** ΑΚ 3295. Θραύσμα με γλυπτό ανάγλυφο. Εμποτισμοί τεφρού χρώματος



**Σχήμα 5.107.** ΑΚ 2028. Θραύσμα με γλυπτό ανάγλυφο. Εμποτισμοί τεφρού χρώματος



**Σχήμα 5.108.** ΑΚ 4406. Μακροσκοπική φωτογράφιση. Εμπρόσθια όψη. Κλίμακα 1εκ.



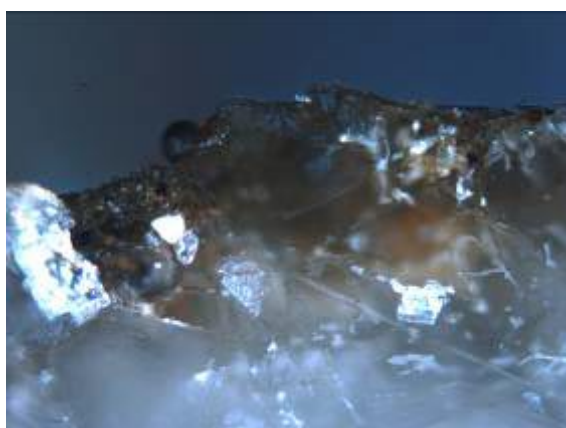
**Σχήμα 5.109.** ΑΚ 4406. Μακροσκοπική φωτογράφιση. Οπίσθια όψη. Κλίμακα 1εκ.



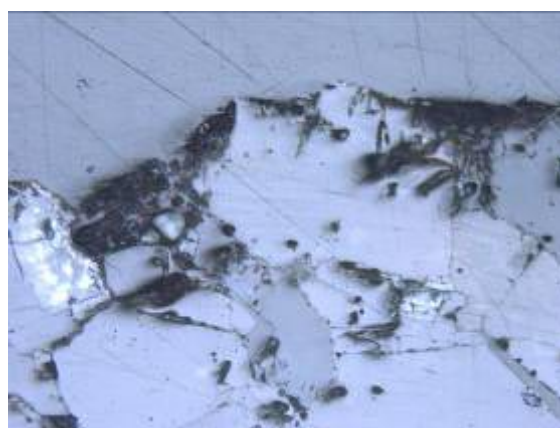
Σχήμα 5.110. ΑΚ 4406. Λεπτομέρεια αποθέσεων



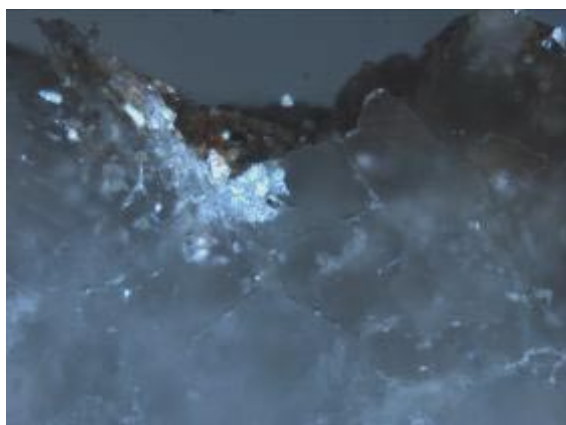
Σχήμα 5.111. ΑΚ 4406. Λεπτομέρεια αποθέσεων, περιοχή δειγματοληψίας



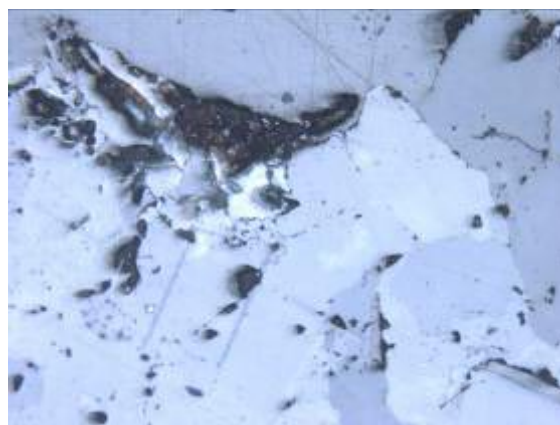
Σχήμα 5.112. ΑΚ 4406. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols. Εμποτισμοί σιδηρούχας και αργιλοπυριτικής σύστασης.



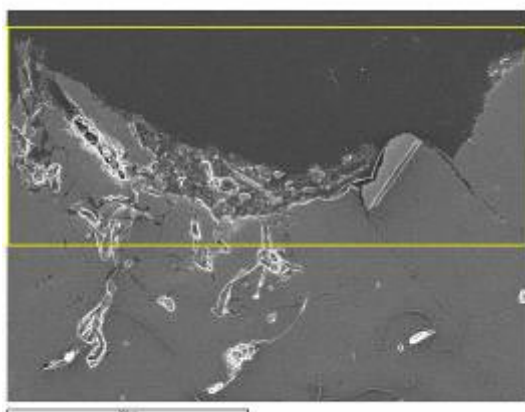
Σχήμα 5.113. ΑΚ 4406. Ίδια θέση, // Nicols.



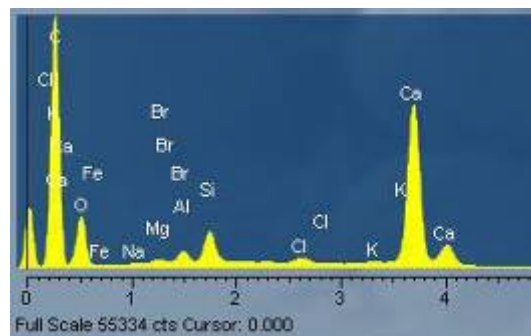
Σχήμα 5.114. ΑΚ 4406. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols. Εντοπισμός αποθέσεων σε κοιλότητες, εσοχές και άλλες ατέλειες της επιφάνειας.



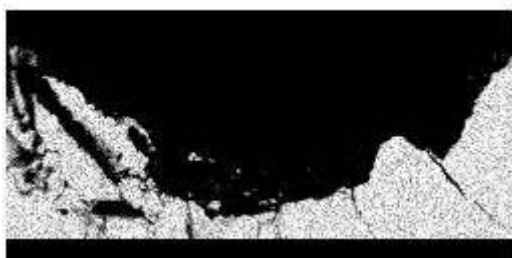
Σχήμα 5.115. ΑΚ 4406. Ίδια θέση, // Nicols.



**Σχήμα 5.116.** ΑΚ 4406. Ίδια θέση με σχήμα 3.102. Φαίνεται η περιοχή στοιχειακής ανάλυσης. Κλίμακα 300μm



**Σχήμα 5.117.** ΑΚ 4406. Φάσμα μικροανάλυσης. Ξεχωρίζει το ασβέστιο (υπόστρωμα), το πυρίτιο, το αργίλιο και ο σίδηρος (αποθέσεις).



**Σχήμα 5.118.** ΑΚ 4406. Θέσεις εντοπισμού Ca



**Σχήμα 5.119.** ΑΚ 4406. Θέσεις εντοπισμού Si



**Σχήμα 5.120.** ΑΚ 4406. Θέσεις εντοπισμού Al



**Σχήμα 5.121.** ΑΚ 4406. Θέσεις εντοπισμού Fe

### 5.3.2. Περίπτωση 2

#### Χαλαρές αποθέσεις και εμποτισμοί αργιλοπυριτικής κυρίως σύστασης φαιού χρώματος

Παρατηρείται εισχώρηση εδαφικού υλικού αργιλοπυριτικής κυρίως σύστασης, διαμέσου των κρυστάλλων του λίθου σε βάθος έως 500 μμ.



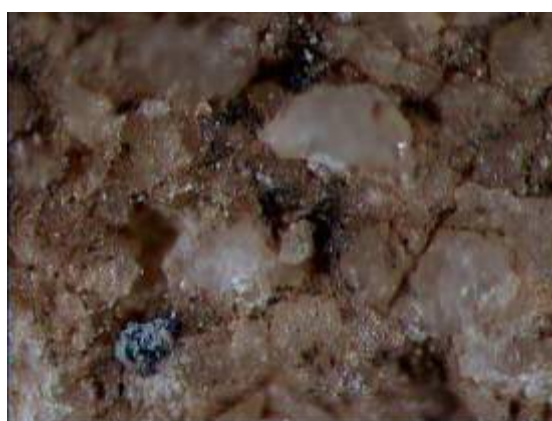
Σχήμα 5.122. AK 4224. Γενική εικόνα θραύσματος



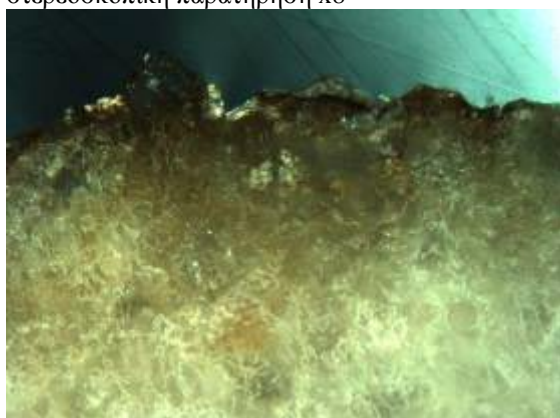
Σχήμα 5.123. AK 4224. Λεπτομέρεια επιφάνειας



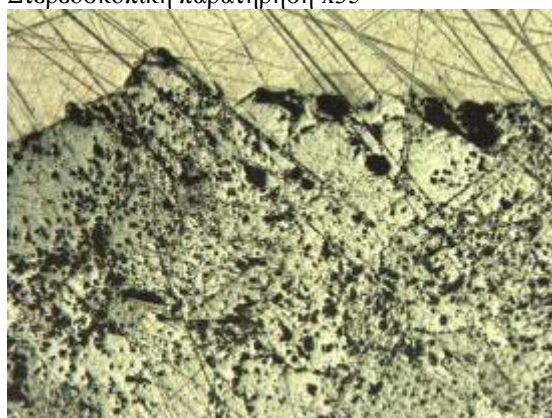
Σχήμα 5.124. AK 4224. Μορφή επιφάνειας, στερεοσκοπική παρατήρηση x8



Σχήμα 5.125. AK 4224. Λεπτομέρεια επιφάνειας, Στερεοσκοπική παρατήρηση x35

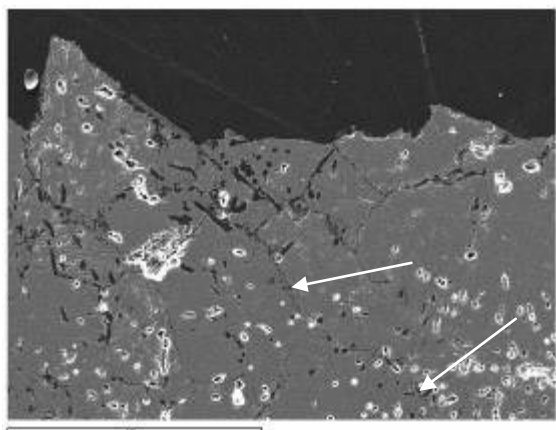


Σχήμα 5.126. AK 4224. Εισχώρηση εδαφικού υλικού στο υπόστρωμα. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols

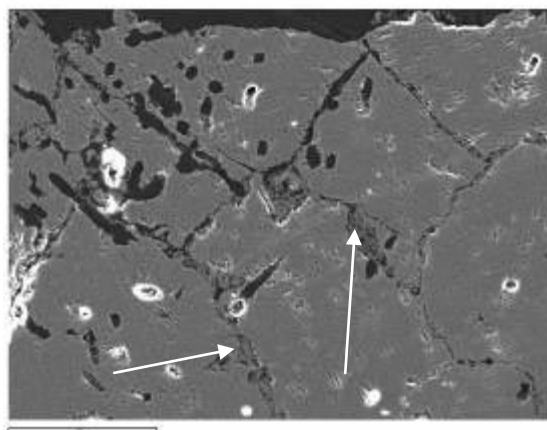


Σχήμα 5.127. AK 4224. Ίδια θέση, // Nicols





**Σχήμα 5.128.** AK 4224. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Εισχώρηση εδαφικού υλικού σε βάθος 300μm. Κλίμακα 400μm.



**Σχήμα 5.129.** AK 4224. Εμποτισμοί αποτελούμενοι κυρίως από ασβέστιο και πυρίτιο. Κλίμακα 100μm

Ίδιας κατηγορίας χαλαρών αποθέσεων και εμποτισμών παρατηρήθηκαν σε θραύσμα μετά την αφαίρεση του εδαφικού υλικού όπως φαίνεται στις φωτογραφίες που ακολουθούν:



**Σχήμα 5.130.** AK 4427. Δείγμα πριν την αφαίρεση εδαφικού υλικού



**Σχήμα 5.131.** AK 4427. Δείγμα μετά την αφαίρεση εδαφικού υλικού.



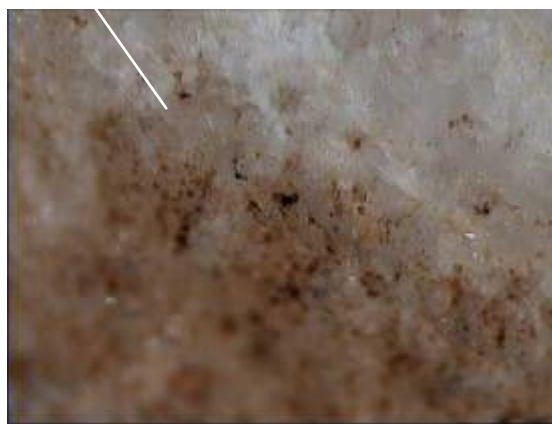
**Σχήμα 5.132.** ΑΚ 4427. Περιοχές εμποτισμών μετά την αφαίρεση του εδαφικού υλικού.



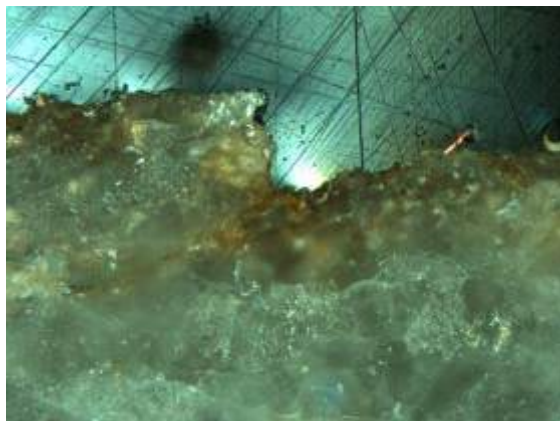
**Σχήμα 5.133.** ΑΚ 4427. Περιοχές εμποτισμών μετά την αφαίρεση του εδαφικού υλικού. Λεπτομέρεια.



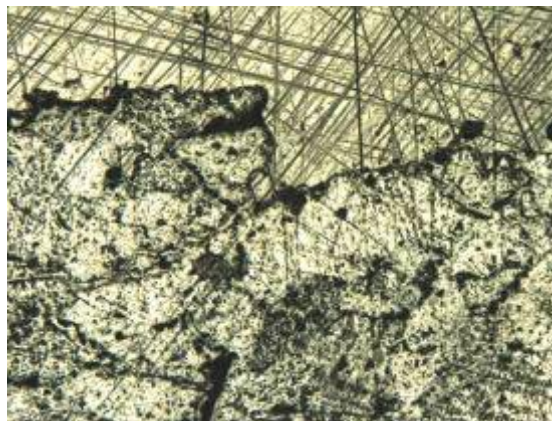
**Σχήμα 5.134.** ΑΚ 4427. Στερεοσκοπική παρατήρηση x8



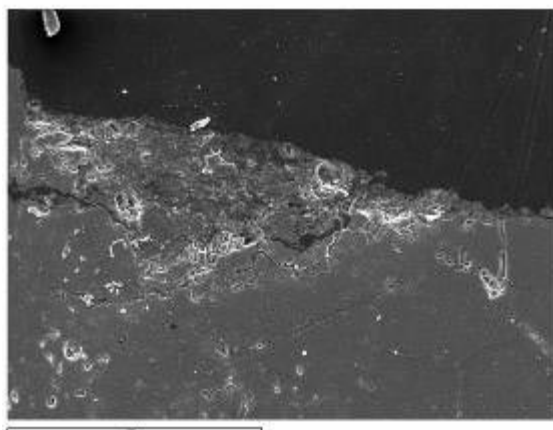
**Σχήμα 5.135.** ΑΚ 4427. Στερεοσκοπική παρατήρηση, Όρια επιφάνειας εμποτισμών



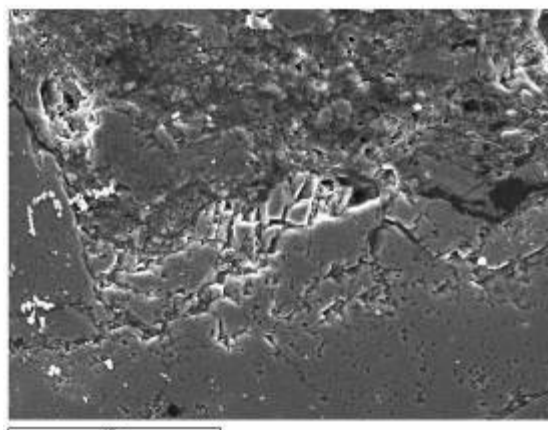
**Σχήμα 5.136.** ΑΚ 4427. Εισχώρηση εδαφικού υλικού στο υπόστρωμα. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols



**Σχήμα 5.137.** ΑΚ 4427. Ίδια θέση, // Nicols



**Σχήμα 5.138.** ΑΚ 4427. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Κλίμακα 300μm.



**Σχήμα 5.139.** ΑΚ 4427. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Κλίμακα 100μm.

#### 5.4 Παρατηρήσεις επί του συνόλου των θραυσμάτων

Το ποσοστό εμφάνισης όλων των παραπάνω περιπτώσεων στις γλυπτές επιφάνειες των θραυσμάτων υπολογίστηκε από την ανάγνωση του φωτογραφικού αρχείου της Υπηρεσίας ως εξής:

Τύπος αποθέσεων	Ποσοστό %
Δενδριτικές αποθέσεις	10-15
Συνεκτικές αποθέσεις (κρούστες)	20-25
Χαλαρές αποθέσεις και φαιοί εμποτισμοί	40-50
Χαλαρές αποθέσεις και τεφροί εμποτισμοί	30-35

Η εκτίμηση των αρχαιολόγων, με σειρά προτεραιότητας, για το σύνολο των γλυπτών επιφανειών είναι: φαιοί εμποτισμοί, δενδριτικές αποθέσεις, τεφροί εμποτισμοί και κρούστες.

## 6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 6.1. Γενικές αρχές καθαρισμού – Δεοντολογική προσέγγιση

Κάθε έργο τέχνης παρουσιάζει ένα διττό ιστορικό χαρακτήρα. Από τη μία πλευρά ιστορικό, υπό την έννοια της ανθρώπινης δημιουργίας που πραγματοποιείται σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή και από την άλλη της έκτασης του χρόνου, που παρήλθε από την δημιουργία του έργου και που είναι αδύνατον να διαγραφεί. Ο χρόνος αυτός, δρα επάνω στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία της εικόνας.

Η πάτινα προσδίδει στα ανασκαφικά γλυπτά τα χαρακτηριστικά του χρόνου που παρήλθε, μεταβάλλοντας την απόχρωση, την υφή και τα γενικότερα χαρακτηριστικά της επιφάνειας των λίθων. Ιστορικά, η πάτινα καταγράφει την διάβαση του έργου μέσα από τον χρόνο και για αυτό το λόγο θα πρέπει να διατηρείται. Το στρώμα της πάτινας στην επιφάνεια των λίθων, μαζί με άλλα χαρακτηριστικά της επιφάνειάς τους και των στρωμάτων αλλοίωσης του υλικού, έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν ως ενδείξεις της παλαιότητας και της αυθεντικότητας των αντικειμένων. Η εκδήλωση αυτών των χαρακτηριστικών εξαρτάται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του λίθου, από το ιστορικό των φαινομένων της διάβρωσης που εξελίχθηκαν και από τις επεμβάσεις συντήρησης. Επομένως, αυτά τα χαρακτηριστικά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ποσοτικά ως δείκτες για τον καθορισμό της ηλικίας του έργου.

Ο καθαρισμός αποτελεί ένα από τα βασικά στάδια των επεμβάσεων συντήρησης που στοχεύει στην ανάδειξη της αισθητικής αξίας του έργου, με την αποκάλυψη της αρχικής επιφάνειας και των λεπτομερειών της καθώς και στην απομάκρυνση των ουσιών που συμβάλλουν άμεσα ή έμμεσα στα φαινόμενα φθοράς. Ο καθαρισμός είναι ένα σημαντικό μέρος της διαδικασίας της συντήρησης και η επιτυχία της επέμβασης εξαρτάται κατά πολύ από την ακρίβεια και την αισθητική ποιότητά του. Θα πρέπει να τονισθεί ότι ο καθαρισμός απαιτεί λεπτούς χειρισμούς, γιατί συχνά τα συστατικά που θέλουμε να απομακρύνουμε, συνυπάρχουν με στρώματα που πρέπει να διατηρηθούν.

Πριν από οποιαδήποτε επέμβαση, το αντικείμενο θα πρέπει να μελετηθεί με μεγάλη προσοχή ώστε να διερευνηθεί το αυθεντικό υλικό, τα στρώματα διάβρωσης και οποιοδήποτε άλλο φερτό υλικό ή προϊόν διάβρωσης. Κατά τη διάρκεια της μελέτης, οι λεπτομέρειες του σχήματος και της κατασκευής ανιχνεύονται και καταγράφονται. Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται, όχι μόνο στις επεμβάσεις, αλλά και στην αποκάλυψη των ιστορικών στοιχείων και του περιβάλλοντος στο οποίο εκτέθηκε και βρέθηκε. Όπου είναι εφικτό, η άμεση εξέταση πρέπει να πραγματοποιείται χωρίς να διαταράσσεται το υλικό κατασκευής και η θέση του έργου.

Οι γενικές αρχές που διέπουν τις επεμβάσεις καθαρισμού, προτάθηκαν και υιοθετήθηκαν από τους διεθνείς οργανισμούς και είναι οι ακόλουθες:

- ο καθαρισμός θα πρέπει να πραγματοποιείται με μικρή και ελεγχόμενη ταχύτητα,
- δεν θα πρέπει να παράγονται επικίνδυνα παραπροϊόντα που μπορεί να επηρεάσουν την κατάσταση διατήρησης του λίθου,

- δεν πρέπει να προκαλούνται άμεσες ή έμμεσες φθορές στην επιφάνεια του υλικού,
- πρέπει να διατηρείται η πάτινα και οι παλαιές πολυχρωμίες,
- οι μέθοδοι καθαρισμού θα πρέπει να είναι επιλεκτικές,
- οι τεχνικές θα πρέπει να είναι ελεγχόμενες έτσι ώστε ο χειριστής να ρυθμίζει και να διακόπτει ακαριαία την διαδικασία,
- θα πρέπει να αφήνει την επιφάνεια κατά το δυνατόν αδιατάρακτη.

Ο καθαρισμός, όσο απαραίτητος και αν είναι για την συντήρηση των λίθων, θα πρέπει να εφαρμόζεται με μεγάλη προσοχή ώστε να αποφεύγονται περαιτέρω φθορές. Έτσι ο καθαρισμός εμπλέκει διάφορα τεχνικά προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν. Ο στόχος των επεμβάσεων είναι η απομάκρυνση όλων των επιβλαβών ουσιών, με την ελάχιστη απώλεια αυθεντικού υλικού και η επίτευξη της ικανοποιητικής αισθητικής ισορροπίας ανάμεσα στα διαφορετικά μέλη του αντικειμένου. Ως αποτέλεσμα, ο καθαρισμός θα πρέπει να εφαρμόζεται μόνο από έμπειρο και ικανό προσωπικό.

## 6.2. Καθορισμός της επιφάνειας αναφοράς

Ο καθορισμός της επιφάνειας αναφοράς αποτελεί το κύριο αντικείμενο της αρχικής φάσης προσέγγισης του προβλήματος των επεμβάσεων καθαρισμού. Η επιφάνεια αναφοράς ορίζεται με βάση την κατάσταση διατήρησης της επιφάνειας του υποστρώματος, τη διατήρηση του ανάγλυφου της επιφάνειας του λίθου και το αισθητικό αποτέλεσμα που αυτή προσδίδει στο έργο, το οποίο θα πρέπει να αναδεικνύει την καλλιτεχνική και ιστορική αξία του μνημείου. Λαμβάνοντας υπ' όψη ότι όταν οι επιφάνειες των λίθων δεν είναι εμφανίζουν ομοιόμορφη τυπολογία επιφανειακών αλλοιώσεων, στην περίπτωση των θραυσμάτων από το μνημείο του Αυγούστου θα πρέπει να υπάρχουν περισσότερες από μία επιφάνειες αναφοράς. Το δε αποτέλεσμα του καθαρισμού θα πρέπει να βρίσκεται εντός ενός φάσματος αποδεκτών ορίων που θα ορίζονται από τις διαφορετικές επιφάνειες αναφοράς.

Για τον καθορισμό των επιφανειών αναφοράς θα πρέπει τεθούν σαφή κριτήρια, με συγκεκριμένο αριθμό παραμέτρων όπου θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων καθαρισμού, αλλά και μετά το πέρας αυτών, ώστε να ελεγχθεί η ποιότητα του καθαρισμού και να αξιολογηθεί το τελικό αποτέλεσμα.

Οι κύριες απαιτήσεις για τη διενέργεια των επεμβάσεων καθαρισμού είναι η διασφάλιση της ακεραιότητας της επιφάνειας του υποστρώματος, η διατήρηση πιθανών καλλιτεχνικών και διακοσμητικών στοιχείων καθώς και η δημιουργία μιας επιφάνειας με ομοιόμορφα αισθητικά χαρακτηριστικά. Οι μέθοδοι καθαρισμού που θα επιλεγούν θα διασφαλίζουν των παραπάνω απαιτήσεων.

Οι επιφάνειες θα πρέπει να ικανοποιούν τον θεατή και να του παρέχουν όλες τις πληροφορίες της ιστορίας του μνημείου. Θα πρέπει συγχρόνως να αναδεικνύουν την καλλιτεχνική και αρχαιολογική αξία του έργου στον ειδικό μελετητή.

Για τον προσδιορισμό του εύρους των αποδεκτών ορίων του καθαρισμού, εξετάστηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν τα στρώματα των επιφανειακών αλλοιώσεων των λίθων, μακροσκοπικά και μικροσκοπικά. Για κάθε κατηγορία ορίστηκαν τα επιθυμητά χρωματικά όρια αναφοράς, με βάση τις επιφάνειες που διατηρούνται σε

καλή κατάσταση και έχουν αποκτήσει μια φυσική πάτινα. Με χρήση σύγχρονων τεχνικών, όπως του χρωματόμετρου, μετρήθηκαν και ποσοτικοποιήθηκαν οι μεταβολές των χρωματικών παραμέτρων της επιφάνειας των θραυσμάτων. Σκοπός ήταν να εξασφαλισθεί η χρωματική συμβατότητα των επιφανειών που θα καθαριστούν, με αυτές που δεν χρειάζονται καθαρισμό.

Δεδομένου ότι στις περιπτώσεις που μελετήθηκαν τα στρώματα αλλοίωσης είναι στο σύνολό τους υπερκείμενα της αρχικής εξωτερικής επιφάνειας των θραυσμάτων προτείνεται η ολική αφαίρεση των στρωμάτων αυτών, διατηρώντας ως επιφάνεια ασφαλείας ένα πολύ λεπτό στρώμα της τάξεως των 50 μm. Στο πάχος αυτό, τα στρώματα των αποθέσεων αποκτούν ημιδιαφανή χαρακτηριστικά που διευκολύνουν στην αισθητική εναρμόνιση των θραυσμάτων.

Στην περίπτωση των εμποτισμών προτείνεται η επαναλαμβανόμενη χρήση προσροφητικών επιθεμάτων, ώστε να επιτευχθεί ο αντίστοιχος χρωματικός και αισθητικός εναρμονισμός με τα υπόλοιπα θραύσματα.

Στις περιπτώσεις που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 3, περιγράφεται η επιφάνεια αναφοράς κατά περίπτωση και παρουσιάζονται, σε επιλεγμένες φωτογραφίες τα επιθυμητά όρια του καθαρισμού.

### **6.3. Μέθοδοι καθαρισμού**

#### **6.3.1. Γενικά**

Με βάση τη χημική-ορυκτολογική σύσταση και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των στρωμάτων αλλοίωσης που μελετήθηκαν, οι μέθοδοι καθαρισμού που επιλέχθηκε να δοκιμαστούν είναι οι παρακάτω:

- 1) Επιθέματα προσροφητικών αργίλων.
- 2) Μηχανικές μέθοδοι: Εργαλεία χειρός, μικροψηγματοβολή, ξέστρο υπερήχων.
- 3) Χημικές μέθοδοι: σύνθετα χημικά επιθέματα (τύπου Mora).
- 4) Ακτινοβολία LASER.
- 5) Μέθοδοι καθαρισμού με βάση το νερό

Οι παραπάνω μέθοδοι υποδεικνύονται διεθνώς σε περιπτώσεις λίθων και γλυπτών που προέρχονται από ανασκαφή. Μέθοδοι όπως ο μηχανικός καθαρισμός με μικροεργαλεία αποφεύγονται συνήθως στην περίπτωση γλυπτού διακόσμου, καθώς εξαρτώνται αποκλειστικά από την επιδεξιότητα του χειριστή.

Στην περίπτωση των θραυσμάτων από το μνημείο του Αυγούστου οι παραπάνω μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν και συμπληρωματικά μεταξύ τους, σε μικρή έκταση, σε περιοχές χωρίς έντονο ανάγλυφο. Αντίστοιχα, η τελική μεθοδολογία καθαρισμού σε κάποιες περιπτώσεις περιλαμβάνει συνδυασμό δύο ή περισσότερων από τις παραπάνω μεθόδους.

### 6.3.2. Μικροψηγματοβολή

Στην περίπτωση της μικροψηγματοβολής, ένα στερεό υλικό παραπλήσιας σκληρότητας με το στρώμα των αποθέσεων που επιθυμούμε να καθαρίσουμε βάλλεται με αέρα ή άζωτο υπό πίεση πάνω στην επιφάνεια των λίθων. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι σκόνη αλουμίνας ( $Al_2O_3$ ), γυάλινα σφαιρίδια, παιπάλη ανθρακικού ασβεστίου ( $CaCO_3$ ) ή και σκόνη από κουκούτσια φρούτων. Η διάμετρος της σκόνης μπορεί να κυμαίνεται από 20 έως 100 $\mu m$ . Ρυθμίζοντας τη διάμετρο του ακροφυσίου, την πίεση του αέρα και την αναλογία του αέρα προς το στερεό υλικό ελέγχεται και ρυθμίζεται το εύρος της δραστικής ζώνης και η αποξεστική ικανότητα του συστήματος.

Η μέθοδος εφαρμόζεται τόσο σε εσωτερικό χώρο όσο και στο πεδίο. Σε κάθε περίπτωση εφαρμόζεται κάτω από μεγεθυντικό φακό ή μικροσκόπιο και σε τακτά χρονικά διαστήματα ελέγχεται το αποτέλεσμα.

### 6.3.3. Επιθέματα προσροφητικών αργίλων

Η μέθοδος στηρίζεται στη χρήση αργίλων σε λεπτότατη κοκκομετρία, με μεγάλη ειδική επιφάνεια που όταν αναμιγνύονται με το νερό δημιουργούν ροφητικές πάστες. Οι άργιλοι που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι ο σεπιόλιθος και ο μπετονίτης. Οι πάστες τοποθετούνται στην επιφάνεια προς καθαρισμό, ενδεχομένως με την παρεμβολή ενός λεπτού φύλλου ιαπωνικού χαρτιού, ανάλογα με το ανάγλυφο της επιφάνειας, το μέγεθος των κόκκων και το πάχος του στρώματος αποθέσεων. Οι πάστες, εξαιτίας της μεγάλης υδατο-χωρητικότητάς τους, τροφοδοτούν με νερό το στρώμα αποθέσεων και διαλύουν τα συστατικά τους. Όταν αποβάλουν την υγρασία τους ροφούν το διάλυμα που έχει σχηματιστεί στην επιφάνεια του λίθου και απομακρύνουν έτσι τις αποθέσεις και τους εμποτισμούς.

Η αποτελεσματικότητα της παραπάνω μεθόδου μπορεί να ενισχυθεί με τον πρότερο ψεκασμό της επιφάνειας με ατμό νερού (steam water). Ο ατμός απορροφάται από τα επιφανειακά στρώματα του λίθου και διαλυτοποιεί τις υδατοδιαλυτές φάσεις των αποθέσεων και εμποτισμών.

### 6.3.4. Σύνθετα χημικά επιθέματα

Στα σύνθετα χημικά επιθέματα χρησιμοποιούνται πάλι οι προσροφητικές άργιλοι, αντικαθιστώντας το νερό με υδατικά διαλύματα που έχουν ως βάση το δινάτριο άλας του αιθυλοδιαμινοτετραοξικού οξέος (EDTA). Το επίθεμα απλώνεται στην επιφάνεια του λίθου και διατηρείται υγρό από μία έως εικοσιτέσσερις ώρες. Κατόπιν αφαιρείται και η επιφάνεια ξεπλένεται.

Η δράση του επιθέματος έγκειται στο σχηματισμό διαλυτών συμπλόκων μεταξύ του EDTA και των κατιόντων  $Ca^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  και  $Fe^{3+}$  που υπάρχουν στο στρώμα των αποθέσεων και στο υλικό των εμποτισμών. Η δραστικότητα του διαλύματος μπορεί να ενισχυθεί με την προσθήκη όξινου ανθρακικού αμμωνίου και όξινου ανθρακικού νατρίου.

### 6.3.5. Laser

Τα Laser αξιοποιούν τη μεταφορά και εστίαση της ενέργειας μέσω υπέρυθρης και υπεριώδους ακτινοβολίας στην επιφάνεια των αποθέσεων, η οποία προκαλεί την εξάχνωσή τους. Κύριο χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι η ακρίβεια και η δυνατότητα παραμετροποίησης των συνθηκών λειτουργίας του συστήματος και συνεπώς, ο πλήρης έλεγχος του καθαρισμού. Τα σύγχρονα συστήματα laser έχουν τη δυνατότητα να συνδυάσουν στη δέσμη την υπέρυθρη και την υπεριώδη ακτινοβολία και να μεταβάλουν την ισχύ και τον παλμό της δέσμης.

Κύριες παράμετροι που πρέπει να ελεγχθούν διεξοδικά πριν την εφαρμογή της μεθόδου στα μνημεία είναι το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, ώστε να μην προκαλούνται δυσχρωματισμοί στην επιφάνεια του μαρμάρου και η πυκνότητα της ενέργειας, ώστε να μην προκαλείται αλλοίωση στην αυθεντική επιφάνεια των γλυπτών.

### 6.3.6. Μέθοδοι με βάση το νερό

**Διαβροχή με νερό.** Η επιφάνεια διαβρέχεται έως ότου οι αποθέσεις μαλακώσουν. Ακολουθεί ζωνρή απόξεση και ξέπλυμα για να διαλυθούν τα συστατικά του επιστρώματος. Αυτή η μέθοδος αφήνει την επίστρωση και το προστατευτικό επίστρωμα άθικτα μεν, αλλά δεν εξασφαλίζει ολοκληρωτική εξάλειψη του ρύπου. Είναι χρονοβόρα, απαιτεί υπερβολικές ποσότητες νερού και μπορεί να προκαλέσει διείσδυση νερού στους πόρους του υλικού. Η διείσδυση του νερού και η μεταφορά διαλυτών αλάτων μπορούν να επιφέρουν βλάβη στη μάζα του λίθου κατά την εξάτμιση.

**Υδροβολή.** Εφαρμόζεται με χρήση συμπιεστών που φέρουν στην κεφαλή ακροφύσια διαφόρων διαστάσεων. Η υδροβολή θερμού νερού είναι μια βελτιωμένη μέθοδος καθαρισμού που εφαρμόζει χαμηλότερες τιμές πίεσης αλλά είναι πιο αποτελεσματική. Το θερμό νερό θερμοκρασίας 40-90 °C, παράγεται σε ειδικούς λέβητες, που συνήθως είναι ενσωματωμένοι στο σύστημα της υδροβολής, Η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως για την αφαίρεση χαλαρών αποθέσεων.

**Εκνέφωση νερού.** Η εκνέφωση είναι μια μέθοδος που εφαρμόστηκε, εξελίχθηκε και τελειοποιήθηκε τα τελευταία χρόνια. Η δράση της είναι όμοια με τη διαβροχή με νερό, αλλά είναι πολύ πιο αργή, πιο δραστική, καλύτερα ελεγχόμενη και λιγότερο επιζήμια. Οι εκνεφωτήρες επιτρέπουν τη χρήση μικρότερης ποσότητας νερού με μέγιστο αποτέλεσμα. Το νερό διοχετεύεται με μορφή ομίχλης, αποτελούμενης από λεπτότατες σταγόνες που καταλήγουν να πέσουν στην υπό καθαρισμό επιφάνεια σχεδόν χωρίς πίεση. Οι σταγόνες κατά την εκνέφωση διαχέονται σε χιλιάδες μικρότερες σταγόνες, με αποτέλεσμα να έχουν μια μεγάλη ειδική επιφάνεια στα σημεία επαφής με την επιφάνεια που καθαρίζεται. Η διαλυτική ικανότητα των σταγόνων αυτών ως προς τα συστατικά ειδικών περιπτώσεων αποθέσεων, είναι μεγάλη. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται συνήθως για τον καθαρισμό εξαιρετικά πολύτιμων όψεων, αγαλμάτων ή αναγλύφων σχεδίων.



## **7. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: ΔΟΚΙΜΕΣ**

### **7.1. Μεθοδολογία**

Οι δοκιμές καθαρισμού βασίσθηκαν στα αποτελέσματα της εργαστηριακής μελέτης των δειγμάτων που αφορούσαν στο είδος των αποθέσεων που εντοπίστηκαν. Με βάση τα κριτήρια που τέθηκαν για το όριο του καθαρισμού πραγματοποιήθηκαν δοκιμές στο εργαστήριο και στο πεδίο. Ο σκοπός των δοκιμών πεδίου ήταν να εμπλουτισθούν τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η εργαστηριακή μελέτη με μεγαλύτερο αριθμό περιπτώσεων καθώς και να αποτιμηθεί το αποτέλεσμα του καθαρισμού σε ανάγλυφες επιφάνειες.

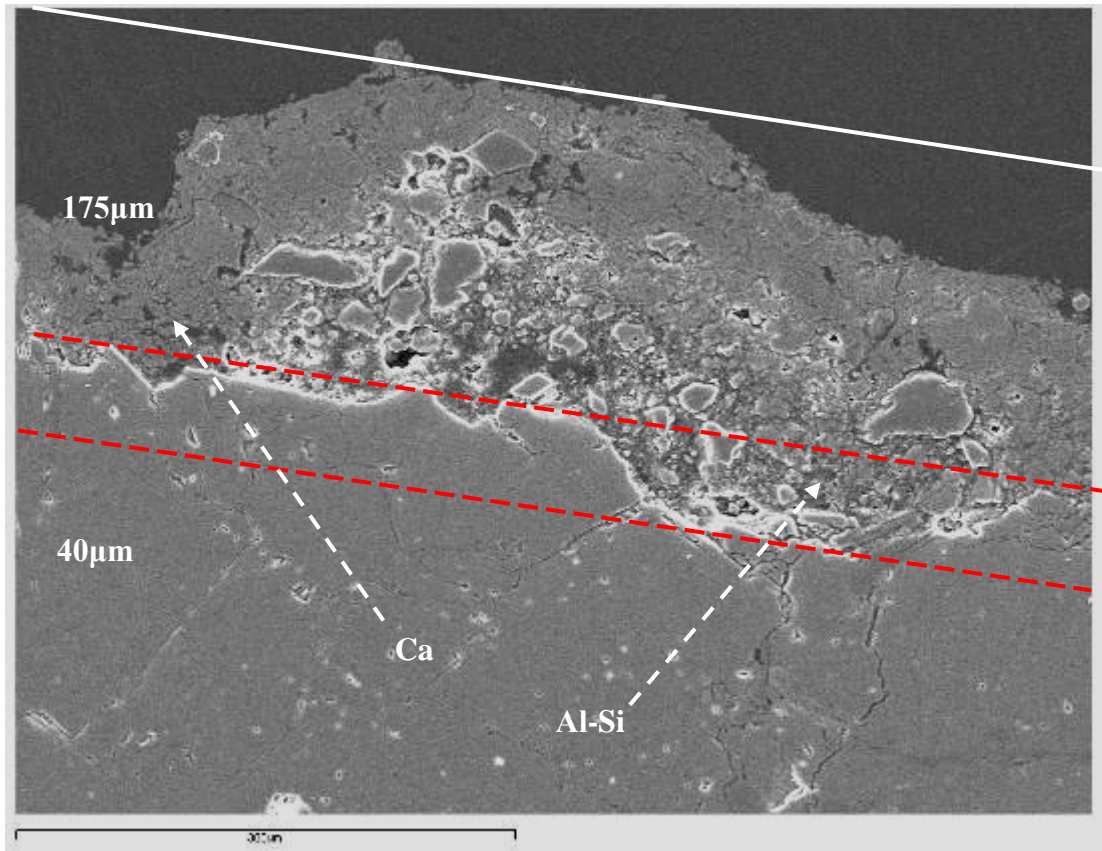
Μέσω των δοκιμών καθαρισμού που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο επιλέχθηκαν οι καταλληλότερες τεχνικές με βάση τα κριτήρια που θεσπίστηκαν από την κατηγοριοποίηση των αποθέσεων και την επιφάνεια αναφοράς. Στο πεδίο, επελέγησαν θραύσματα που φέρουν ανάγλυφο διάκοσμο και παρουσιάζουν μακροσκοπικά ποικίλα είδη αποθέσεων. Εφαρμόστηκαν οι τεχνικές καθαρισμού που προκρίθηκαν για κάθε είδος απόθεσης από τις εργαστηριακές δοκιμές. Το εύρος των δοκιμών αυξήθηκε, μεταβάλλοντας τη σύσταση των χημικών επιθεμάτων και εφαρμόζοντας δοκιμές με ατμό σε υψηλή πίεση. Η αποτίμηση των δοκιμών έγινε με βάση τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά που απέκτησαν οι επιφάνειες μετά τις δοκιμές (υφή, χρώμα) αλλά και με βάση τις παρατηρήσεις για το όριο του καθαρισμού που έγιναν μέσω του στέρεο-μικροσκοπίου.

### **7.2. Δενδριτικές αποθέσεις ασβεστούχας και αργιλοπυριτικής σύστασης**

#### **7.2.1. Όριο καθαρισμού**

Αντικείμενο του καθαρισμού αποτελεί το υπερκείμενο στρώμα των αποθέσεων πάχους 200-250  $\mu\text{m}$ . Η διεπιφάνεια του στρώματος αυτού με το υπόστρωμα συνιστά το όριο του καθαρισμού. Δεδομένου ότι το εξωτερικό τμήμα του λίθου εμφανίζει έντονο ανάγλυφο, της τάξης των 40  $\mu\text{m}$ , θα πρέπει να ληφθεί ιδιαίτερη μέριμνα ώστε αυτό να μην επηρεαστεί κατά τη διάρκεια του καθαρισμού. Η αφαίρεση των αποθέσεων θα πρέπει να γίνεται διαδοχικά, ανά στρώμα.

Προκειμένου να προστατευτεί το ανάγλυφο του υποκείμενου λίθου και να βοηθηθεί η αισθητική εναρμόνιση των θραυσμάτων προτείνεται η διατήρηση ενός πολύ λεπτού στρώματος αποθέσεων, πάχους 20-30  $\mu\text{m}$ . Το στρώμα αυτό θα είναι ημιδιαφανές και στην περίπτωση γλυπτού διακόσμου θα μπορεί να εξασφαλίσει την διατήρηση πιθανών έγχρωμων στρωμάτων ή διακόσμησης.



Σχήμα 7.1. AK 4014. Όριο καθαρισμού

Λόγω της μορφής και του είδους των αποθέσεων της συγκεκριμένης κατηγορίας πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού με χρήση Laser, ξέστρου υπερήχων και επιθεμάτων. Ο καθαρισμός με ψηγματοβολή απορρίφθηκε λόγω της μη επιλεκτικής εφαρμοσιμότητάς του.

## 7.2.2. Δοκιμές καθαρισμού στο εργαστήριο

### 7.2.2.1. Δοκιμές καθαρισμού με laser

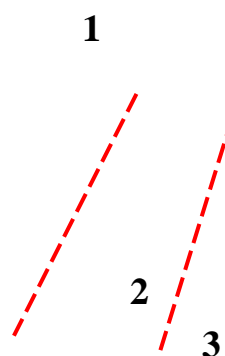
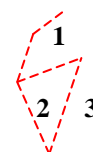
#### *Q-switched Nd:YAG laser @1064nm*

Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού με Laser με τις συνθήκες που παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Q-switched Nd:YAG laser @1064nm				
Spot	Fluence ( $J/cm^2$ )	Repetition Rate (Hz)	Comments	Number of pulses
1	0,66	10	Water	Ποικίλος αριθμός παλμών*
2	0,62	10	Water	
3	1,75	10	water	

\*ο αριθμός των παλμών ποικίλει ανάλογα με το πάχος της επικάλυψης στο σημείο ακτινοβολήσης, το οποίο εκτιμήθηκε εμπειρικά

---

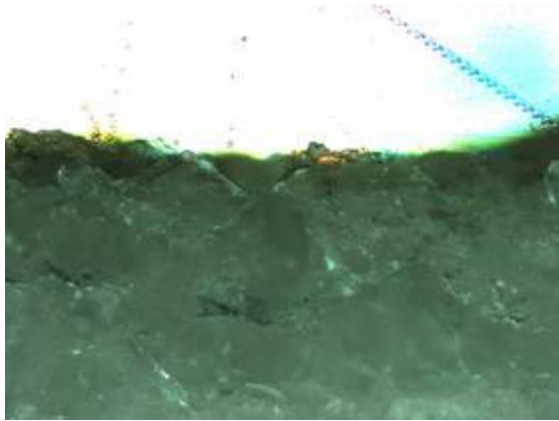




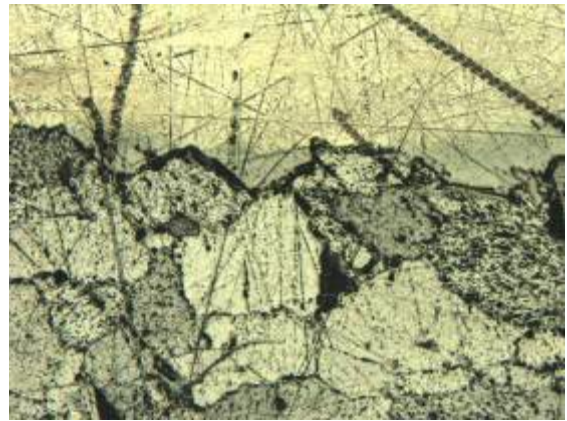
**Σχήμα 7.5.** AK 4014. Περιοχή 2, επιφάνεια μετά τον καθαρισμό. Στερεοσκοπική παρατήρηση x8



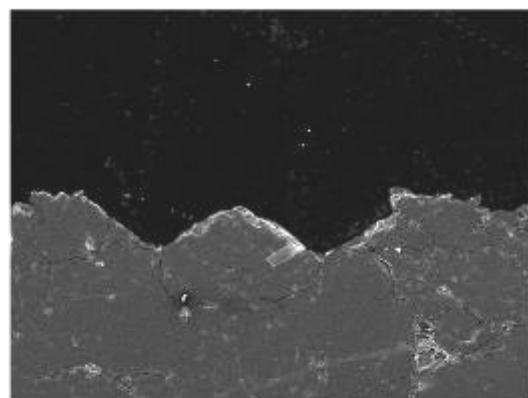
**Σχήμα 7.6.** AK 4014. Περιοχή 3. Στερεοσκοπική παρατήρηση. Επιφάνεια μετά την επέμβαση x8



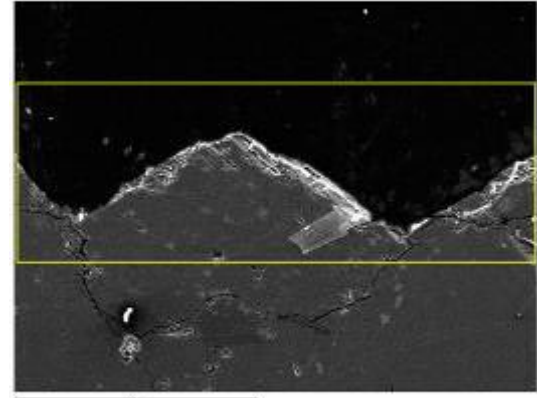
**Σχήμα 7.7.** Περιοχή 2 μετά τον καθαρισμό. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols. Παρατηρούνται ίχνη των αποθέσεων.



**Σχήμα 7.8.** Ίδια θέση, // Nicols.



**Σχήμα 7.9.** Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, περιοχή καθαρισμού 2. Ίδια θέση με σχήματα 15 και 16. Κλίμακα 600μm.



**Σχήμα 7.10.** Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Ίδια θέση. Η ανάλυση έδειξε ίχνη αργιλοπυριτικών αποθέσεων. Κλίμακα 300μm.

Οι περιοχές 1 και 2 εμφάνισαν μεγάλη ομοιότητα. Οι αποθέσεις απομακρύνθηκαν, δε διαταράχθηκε το υπόστρωμα και υπήρξε καλή χρωματική εναρμόνιση με το υπόλοιπο θραύσμα.

Στην περιοχή 3 απομακρύνθηκαν οι αποθέσεις, δε διαταράχθηκε το υπόστρωμα αλλά το χρώμα της επιφάνειας μετά τον καθαρισμό ήταν ιδιαίτερα λευκό.

Το αποτέλεσμα του καθαρισμού στην περιοχή 2 είναι επιτυχές.

***Spectron laser system SL805 Nd:YAG laser @1064nm***

Συμπληρωματικά πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού σε μεγαλύτερη επιφάνεια λίθου βάσει των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από τις πρώτες δοκιμές.

Οι νέες συνθήκες παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

<b>Spectron Laser System SL805 Nd:YAG laser @1064nm</b>				
<b>Spot</b>	<b>Fluence (J/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Pulse Duration</b>	<b>Comments</b>	<b>Number of pulses</b>
4	1,7	10 ns	Water	Ποικίλος αριθμός παλμών*

\*ο αριθμός των παλμών ποικίλει ανάλογα με το πάχος της επικάλυψης στο σημείο ακτινοβολήσης, το οποίο εκτιμήθηκε εμπειρικά



Σχήμα 7.11. AK 5141. Δείγμα πριν τον καθαρισμό, διακρίνεται η προς καθαρισμό περιοχή



Σχήμα 7.12. AK 5141. Δείγμα μετά τον καθαρισμό. Σημειώνεται η επιφάνεια που εφαρμόστηκε το laser.



**Σχήμα 7.13.** AK 5141. Συγκριτική φωτογραφία πριν και μετά τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.14.** Όρια περιοχής καθαρισμού. Στερεομικροσκόπιο X 6.7. Παρατηρούνται ίχνη των αποθέσεων.



**Σχήμα 7.15.** Στερεομικροσκοπική παρατήρηση X40, παρατηρούνται ίχνη αποθέσεων στην επιφάνεια του υποστρώματος.

Τα συμπεράσματα των συμπληρωματικών δοκιμών καθαρισμού με Laser επιβεβαιώνουν την αποτίμηση των πρώτων καθαρισμών, καθιστώντας το συγκεκριμένο μέσο κατάλληλο για την απομάκρυνση τέτοιων περιπτώσεων αποθέσεων. Δε διαταράσσεται το υπόστρωμα, ενώ ταυτόχρονα απομακρύνονται οι αποθέσεις. Ίχνη αποθέσεων που παραμένουν μπορούν να αφαιρεθούν με πιο

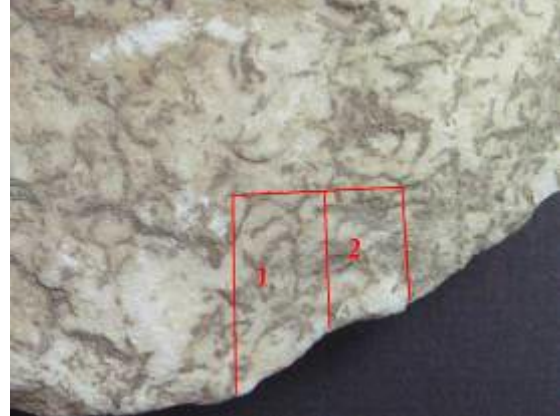
επιλεκτική χρήση της συσκευής από το χειριστή, ενώ σε κάθε περίπτωση το χρωματικό αποτέλεσμα χαρακτηρίζεται ικανοποιητικό.

### 7.2.2.2. Δοκιμές καθαρισμού με ξέστρο υπερήχων

Δοκιμές καθαρισμού με ξέστρο υπερήχων πραγματοποιήθηκαν σε δύο περιοχές όπως χαρακτηριστικά διακρίνονται στις φωτογραφίες που ακολουθούν. Οι δοκιμές έγιναν παρουσία νερού με τις προεπιλεγμένες εντάσεις της συσκευής 1 και 2 (κλίμακα 1-10). Οι διαφορετικές αυτές εντάσεις αντιστοιχούν στις περιοχές εφαρμογής 1 και 2.



**Σχήμα 7.16.** AK 4014. Περιοχές καθαρισμού με ξέστρο υπερήχων



**Σχήμα 7.17.** AK 4014. Περιοχές καθαρισμού με ξέστρο υπερήχων.



**Σχήμα 7.18.** AK 4014. Περιοχή καθαρισμού 1

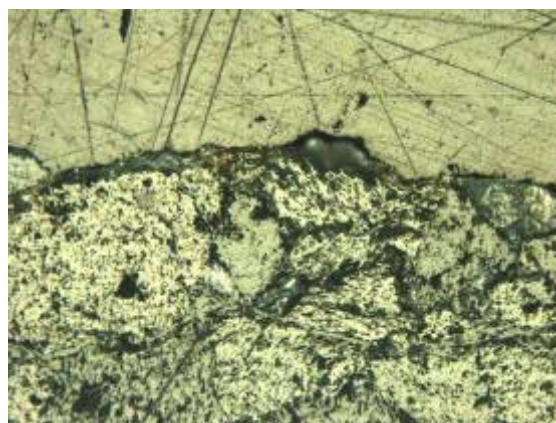


**Σχήμα 7.19.** AK 4014. Περιοχή καθαρισμού 1. Παρατηρούνται μικρά υπολείμματα αποθέσεων. Στερεοσκοπική παρατήρηση x 6,7

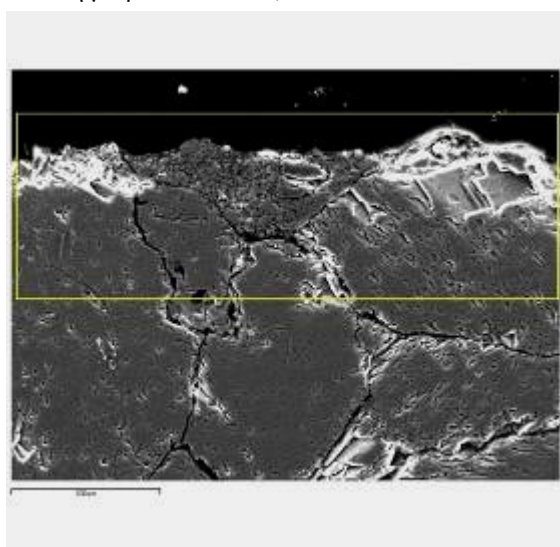




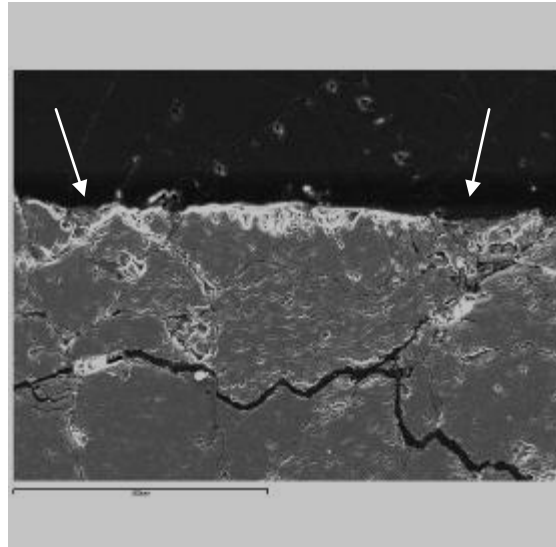
**Σχήμα 7.20.** AK 4014. Περιοχή καθαρισμού 1. Υπολείμματα αποθέσεων μετά τον καθαρισμό. Οπτική μικροσκοπία x50, X Nicols



**Σχήμα 7.21.** Ίδια θέση // Nicols



**Σχήμα 7.22.** Μορφή και πάχος υπολειμάτων. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, κλίμακα 100μm



**Σχήμα 7.23.** Υπολείμματα αποθέσεων σε ατέλειες και κοιλότητες της επιφάνειας. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, κλίμακα 300μm



**Σχήμα 7.24.** AK 4014. Περιοχή καθαρισμού 2



**Σχήμα 7.25.** AK 4014. . Περιοχή καθαρισμού 2. Υπολείμματα και μικρή αλλοίωση υποστρώματος. Στερεοσκοπική παρατήρηση x35

Η εφαρμογή του ξέστρου υπερήχων παρουσία νερού στην ένταση 2 έδωσε σχετικά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Απαιτείται εμπειρία από τον χειριστή, ιδιαίτερη προσοχή κατά την εφαρμογή και προστασία της επιφάνειας του υποστρώματος με ιαπωνικό χαρτί ώστε να μην προκαλείται φθορά σε αυτήν. Αν και η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται επιλεκτικά από το χρήστη, η μορφή των αποθέσεων είναι τέτοια ώστε να μην είναι δυνατή η πλήρης απομάκρυνση τους.

### 7.2.2.3. Δοκιμές καθαρισμού με σύνθετα χημικά επιθέματα

Δοκιμές καθαρισμού με επιθέματα πραγματοποιήθηκαν σε τρεις περιοχές όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στις φωτογραφίες που ακολουθούν. Επιλέχθηκε η εφαρμογή επιθεμάτων τύπου Mora για χρονικά διαστήματα 15, 30 και 60 λεπτών στις περιοχές 1, 2 και 3 αντίστοιχα.

Χαρακτηριστικά δοκιμών καθαρισμού με επιθέματα		
Περιοχή επέμβασης καθαρισμού	Τύπος επιθέματος	Χρόνος δράσης
1	MORA	15 min
2	MORA	30 min
3	MORA	60 min



**Σχήμα 7.26.** AK 4434. Οι αποθέσεις εμφανίστηκαν μετά τη απομάκρυνση του εδαφικού υλικού από το δείγμα



**Σχήμα 7.27.** AK 4434. Δείγμα μετά την αφαίρεση επιφανειακού εδαφικού υλικού. Περιοχές εφαρμογής επιθεμάτων



**Σχήμα 7.28.** ΑΚ 4434. Επιφάνειες 1, 2 και 3 πριν τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.29.** ΑΚ 4434. Μορφή αποθέσεων, στερεοσκοπική παρατήρηση x10



**Σχήμα 7.30.** ΑΚ 4434. Επιφάνεια 1 πριν τον καθαρισμό



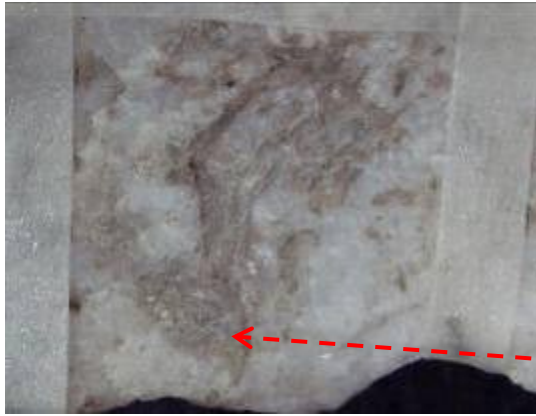
**Σχήμα 7.31.** ΑΚ 4434. Μετά την εφαρμογή των επιθεμάτων. Παρατηρείται ότι ήδη στα πρώτα 15 λεπτά της εφαρμογής της αφαιρεί λεπτά στρώματα αργιλοπυριτικών αποθέσεων



**Σχήμα 7.32.** ΑΚ 4434. Επιφάνεια 2 πριν τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.33.** ΑΚ 4434. Επιφάνεια μετά την εφαρμογή του επιθέματος. Απομακρύνονται ακόμα περισσότερο οι αργιλοπυριτικές αποθέσεις



**Σχήμα 7.34.** AK 4434. Επιφάνεια 3 πριν τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.35.** AK 4434. Επιφάνεια μετά τον καθαρισμό. Αποθέσεις μεγαλύτερου πάχους δεν απομακρύνθηκαν

Το επίθεμα δρα αφαιρώντας μόνο τα λεπτά στρώματα αργιλοπυριτικών αποθέσεων. Ωστόσο, οι αποθέσεις μεγαλύτερου πάχους απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο εφαρμογής του επιθέματος.

### 7.2.3. Δοκιμές καθαρισμού στο πεδίο

#### 7.2.3.1. Δοκιμές καθαρισμού με ξέστρο υπερήχων

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού με τη χρήση του ξέστρου υπερήχων. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλάμβανε κατ' αρχάς τη διαβροχή της επιφάνειας με ατμό και τη χρήση της πλατιάς ακίδας του ξέστρου, επάνω από το διηθητικό χαρτί. Η ένταση της δόνησης του ξέστρου υπερήχων ήταν μικρή (ένταση 2 στην κλίμακα 1-10). Οι αποθέσεις αφαιρέθηκαν ικανοποιητικά, παρέμειναν όμως σημειακά υπολείμματα σε εσοχές της επιφάνειας.



**Σχήμα 7.36.** AK 5086. Θραύσμα με γλυπτό ανάγλυφο πριν τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.37.** AK 5086. Θραύσμα με γλυπτό ανάγλυφο μετά τον καθαρισμό



Σχήμα 7.38. ΑΚ 5086. Πριν τον καθαρισμό



Σχήμα 7.39. ΑΚ 5086. Μετά τον καθαρισμό

### 7.2.3.2 Δοκιμές καθαρισμού με σύνθετα χημικά επιθέματα

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού με επιθέματα σεπιολίθου με απιονισμένο νερό χωρίς όμως να έχουν κανένα αποτέλεσμα. Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν σύνθετα χημικά επιθέματα (Mora, Mora modified, EDTA Plus και StoneLab<sup>1</sup>) για 45, 90, 135 min και 18 h χωρίς όμως ικανοποιητικά αποτελέσματα.

## 7.3. Περιπτώσεις συνεκτικών αποθέσεων (κρούστες)

### 7.3.1. Όριο καθαρισμού

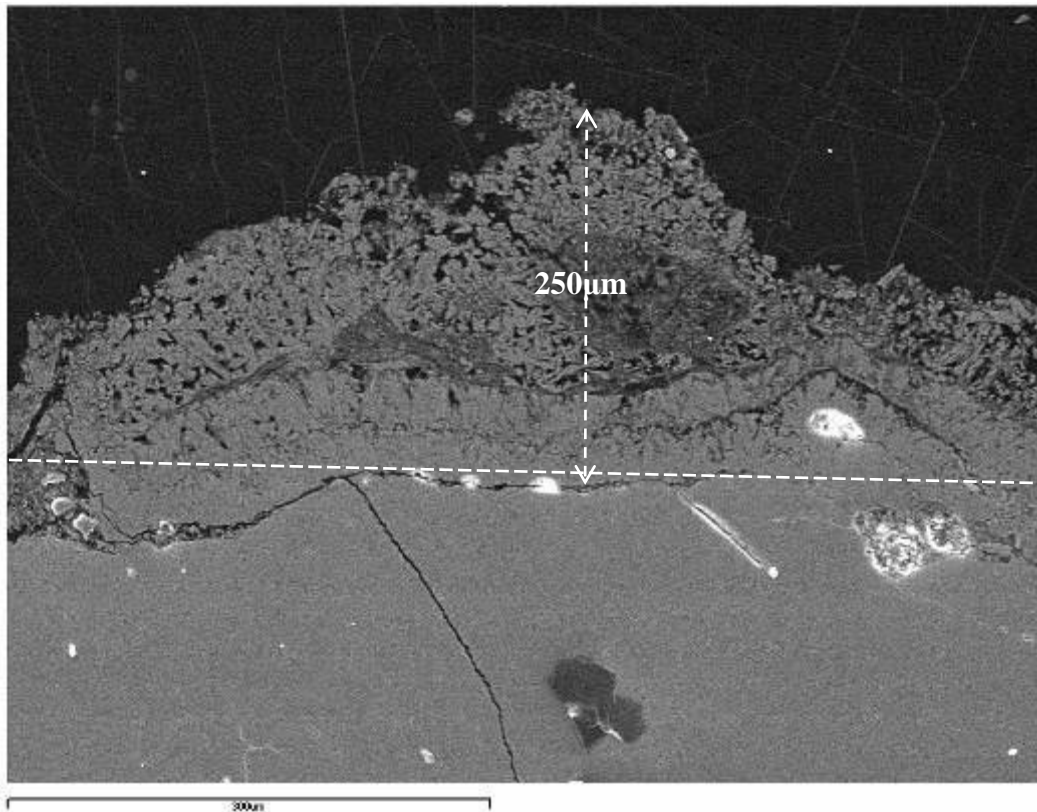
Αντικείμενο του καθαρισμού στην περίπτωση των ασβεστιτικών συνεκτικών αποθέσεων (Περίπτωση 1) αποτελεί η αφαίρεση των υπερκείμενων στρωμάτων αποθέσεων πάχους 200-1000 μm. Η διεπιφάνεια του στρώματος αυτού με το υπόστρωμα συνιστά το όριο του καθαρισμού. Το εξωτερικό τμήμα του λίθου εμφανίζει ανάγλυφο, της τάξης των 20-50 μm, θα πρέπει να ληφθεί ιδιαίτερη μέριμνα ώστε αυτό να μην επηρεαστεί κατά τη διάρκεια του καθαρισμού. Η αφαίρεση των αποθέσεων θα πρέπει να γίνεται διαδοχικά, ανά στρώμα.

Περιπτώσεις αποθέσεων σε εσοχές θα πρέπει να αντιμετωπίζονται μεμονωμένα, μετά την αφαίρεση των υπερκείμενων στρωμάτων.

Προκειμένου να προστατευτεί το ανάγλυφο του υποκείμενου λίθου και να βοηθηθεί η αισθητική εναρμόνιση των θραυσμάτων προτείνεται η διατήρηση ενός πολύ λεπτού στρώματος αποθέσεων, πάχους 20-30 μm. Το στρώμα αυτό θα είναι ημιδιαφανές και στην περίπτωση γλυπτού διακόσμου θα μπορεί να εξασφαλίσει την διατήρηση πιθανών έγχρωμων στρωμάτων ή διακόσμησης.

---

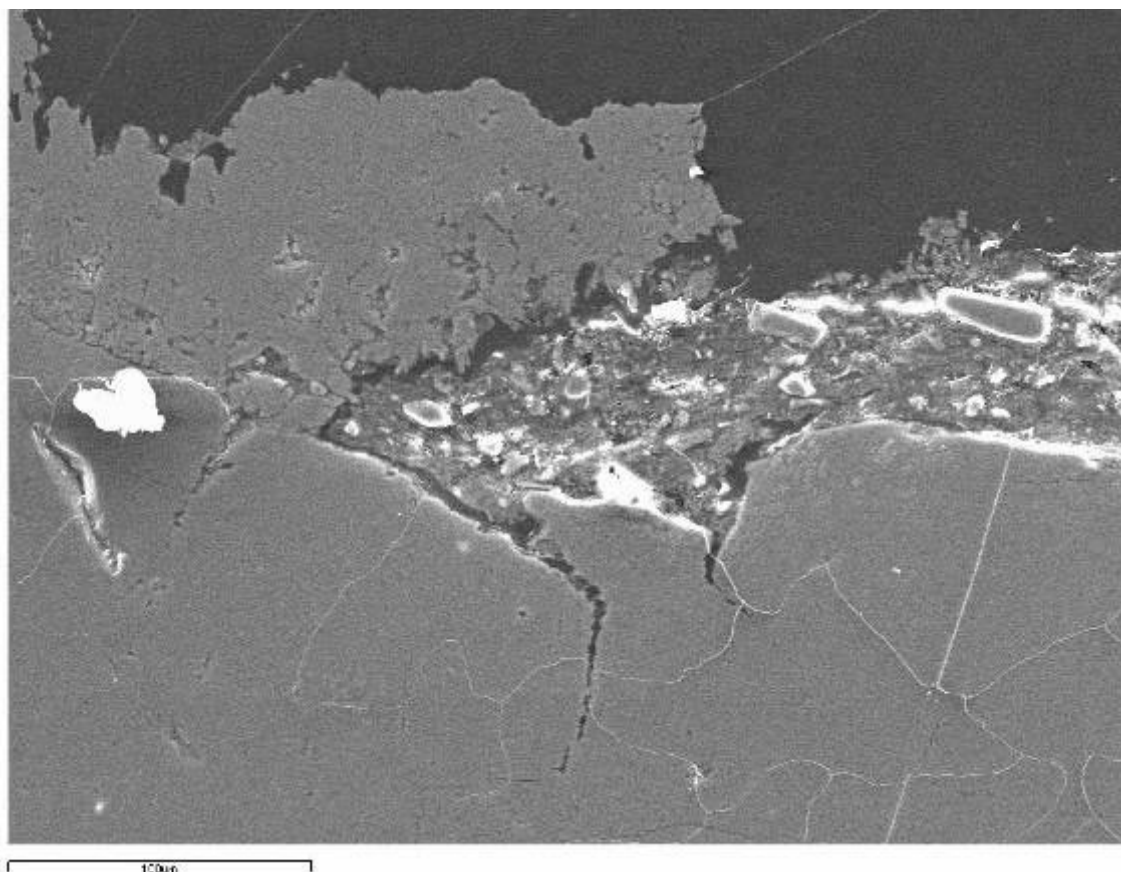
<sup>1</sup> Βλ. Παράρτημα II: Συνθέσεις επιθεμάτων



Σχήμα 7.40. AK 3939. Όριο καθαρισμού

Στην περίπτωση των ασβεστούχων – σιδηρούχων – αργιλοπυριτικών συνεκτικών αποθέσεων (Περίπτωση 2), το αντικείμενο του καθαρισμού αποτελεί η αφαίρεση των υπερκείμενων στρωμάτων αργιλοπυριτικών και ασβεστούχων αποθέσεων πάχους 50-100 μm. Η διεπιφάνεια του στρώματος αυτού με το υπόστρωμα συνιστά το όριο του καθαρισμού. Δεδομένου ότι απαντώνται κατά βάση σε κοιλότητες και εσοχές του αναγλύφου, θα πρέπει να ληφθεί ιδιαίτερη μέριμνα ώστε να μην επηρεαστεί το ανάγλυφο της εξωτερικής επιφάνειας κατά τη διάρκεια του καθαρισμού.

Επίσης, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πιθανές χρωματικές αλλοιώσεις της επιφάνειας λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης σιδήρου στα στρώματα αποθέσεων, κοντά στην επιφάνεια.



Σχήμα 7.41. ΑΚ 4232. Όριο καθαρισμού. Κλίμακα 100μm

### 7.3.2. Δοκιμές καθαρισμού στο εργαστήριο

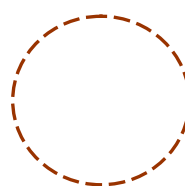
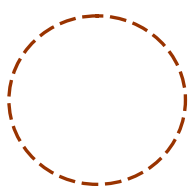
#### 7.3.2.1. Δοκιμές καθαρισμού με laser

##### *Q-switched Nd:YAG laser @1064nm*

Δοκιμές καθαρισμού με Laser πραγματοποιήθηκαν σε θραύσμα με ασβεστίτικη κρούστα σε δύο περιοχές με τις συνθήκες που φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Q-switched Nd:YAG laser @1064nm				
Spot	Fluence (J/cm <sup>2</sup> )	Repetition Rate (Hz)	Comments	Number of pulses
1	1,43	10	Water	Ποικίλος αριθμός παλμών*
2	1,59	10	water	

\*ο αριθμός των παλμών ποικίλει ανάλογα με το πάχος της επικάλυψης στο σημείο ακτινοβολήσης, το οποίο εκτιμήθηκε εμπειρικά



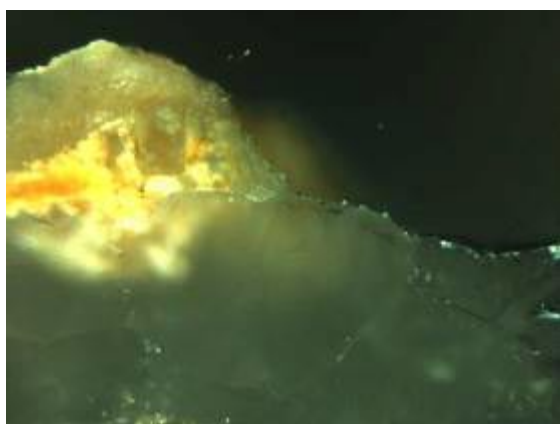




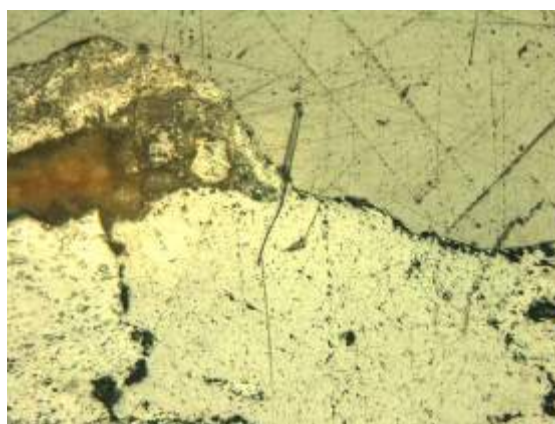
**Σχήμα 7.46.** ΑΚ 3939. Περιοχή 1 μετά τον καθαρισμό με Laser. Στερεοσκοπική παρατήρηση.



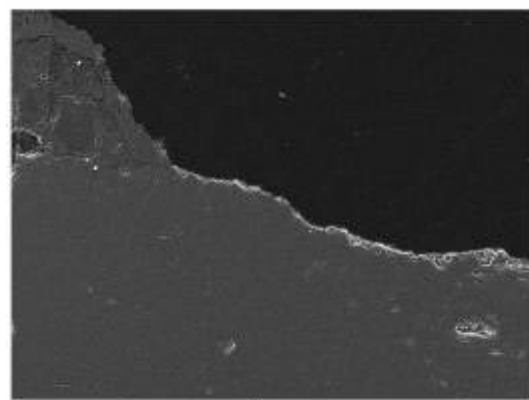
**Σχήμα 7.47.** ΑΚ 3939. Περιοχή 2 μετά τον καθαρισμό με Laser. Στερεοσκοπική παρατήρηση.



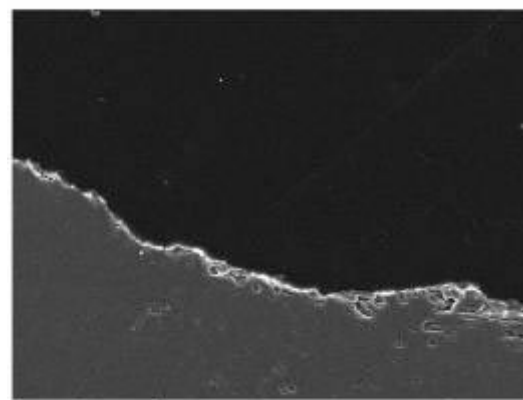
**Σχήμα 7.48.** ΑΚ 3939. Περιοχή 2. Όρια κρούστας – περιοχής καθαρισμού. Οπτική μικροσκοπία x100, X Nicols



**Σχήμα 7.49.** ΑΚ 3939. Ίδια θέση, // Nicols



**Σχήμα 7.50.** Περιοχή 2. Όρια κρούστας – περιοχής καθαρισμού. Ίδια θέση με σχήμα 52. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, κλίμακα 300μm



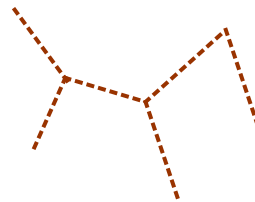
**Σχήμα 7.51.** Περιοχή καθαρισμού 2. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, κλίμακα 100μm

Επίσης δοκιμές καθαρισμού έγιναν σε θραύσμα με ασβεστούχα-σιδηρούχα-αργιλοπυριτικής σύστασης κρούστα σε τέσσερις περιοχές (η περιοχή 4 αφορά στις αργιλοπυριτικές αποθέσεις πολύ μικρού πάχους) με τις συνθήκες που φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Q-switched Nd:YAG laser @1064nm				
Spot	Fluence (J/cm <sup>2</sup> )	Repetition Rate (Hz)	Comments	Number of pulses
1	1,43	10	Water	<b>Ποικίλος αριθμός παλμών*</b>
2	1,43	10	<b>Water*</b>	
3	1,43	10	water	
4	1,43	10	water	

\*Στο συγκεκριμένο δείγμα χρησιμοποιήθηκε ίδια Fluence αλλά μεταβαλλόταν ο αριθμός των παλμών ώστε να έχουμε διαφορετικά «επίπεδα καθαρισμού».

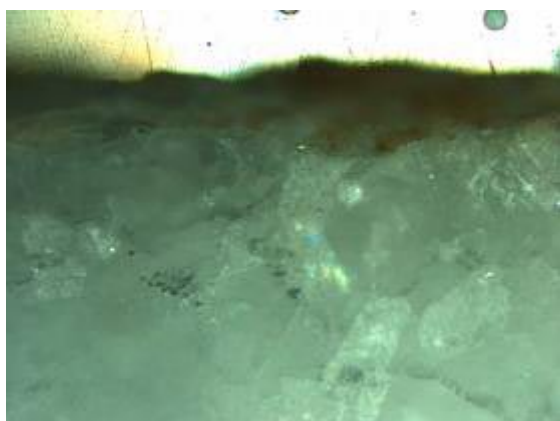
\* Στην περιοχή 2(η οποία είχε επικάλυψη μεγαλύτερου πάχους) η επιφάνεια διαβρεχόταν κάθε 2-3 παλμούς [ → πιο συχνά από τις άλλες]



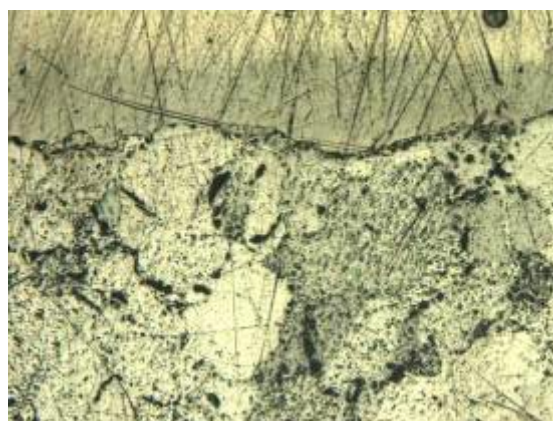


**Σχήμα 7.54.** AK 4232. Περιοχές 1, 2 και 3 μετά τον καθαρισμό. Διακρίνονται υπολείμματα αποθέσεων ασβεστιούχας σύστασης τα οποία δεν απομακρύνθηκαν

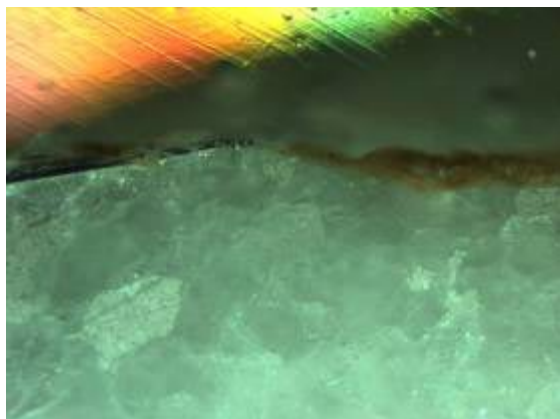
Στις φωτογραφίες που ακολουθούν διακρίνονται τα υπολείμματα του καθαρισμού για κάθε μία περιοχή που εφαρμόστηκε το laser.



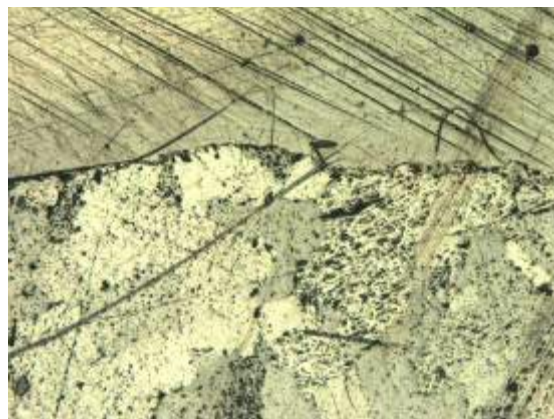
**Σχήμα 7.55.** AK 4232. Περιοχή 1 μετά τον καθαρισμό. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols



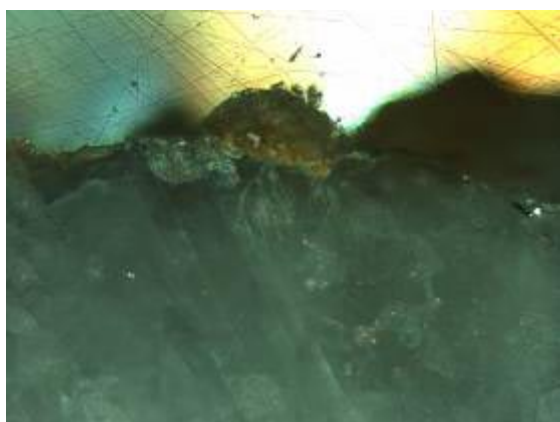
**Σχήμα 7.56.** AK 4232. Ίδια θέση, // Nicols.



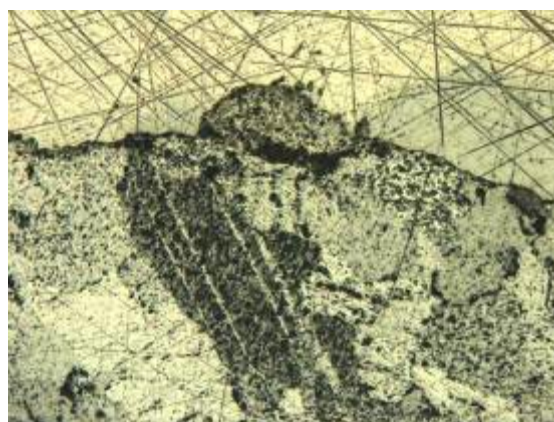
**Σχήμα 7.57.** AK 4232. Περιοχή 3 μετά τον καθαρισμό. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols



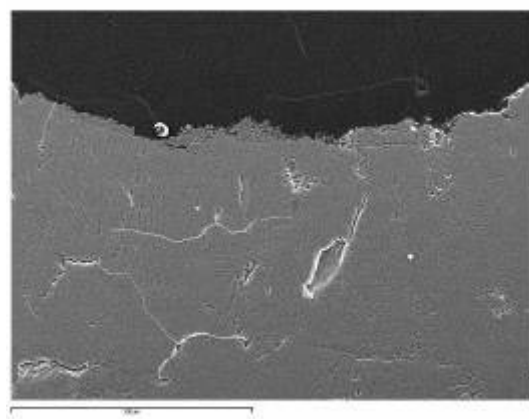
**Σχήμα 7.58.** AK 4232. Ίδια θέση, // Nicols.



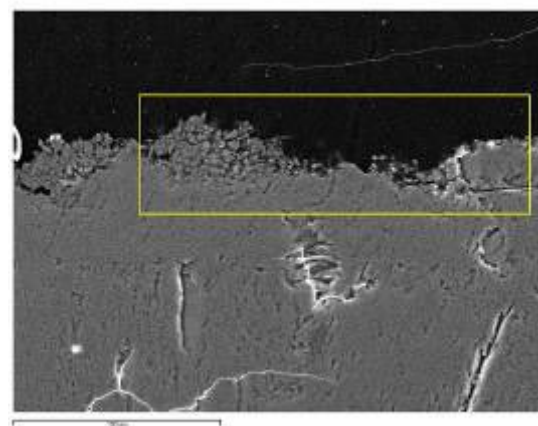
**Σχήμα 7.59.** AK 4232. Περιοχή 2 μετά τον καθαρισμό. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols



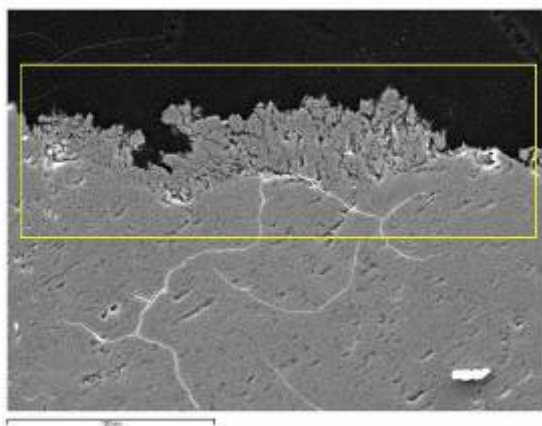
**Σχήμα 7.60.** AK 4232. Ίδια θέση, // Nicols.



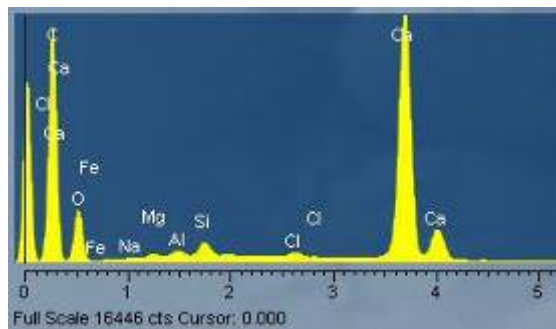
**Σχήμα 7.61.** AK 4232. Περιοχή 1. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Κλίμακα 300μm



**Σχήμα 7.62.** AK 4232. Περιοχή 1. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Παρατηρούνται ίχνη αποθέσεων. Κλίμακα 100μm.



**Σχήμα 7.63.** AK 4232. Περιοχή 3. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Κλίμακα 100μm



**Σχήμα 7.64.** AK 4232. Φάσμα μικροανάλυσης. Διακρίνεται αργίλιο Al, ασβέστιο Ca και πυρίτιο Si.

#### **Περιοχή 4**



**Σχήμα 7.65.** AK 4232. Περιοχή 4 πριν τον καθαρισμό. Αργιλοπυριτικές και σιδηρούχες αποθέσεις μικρού πάχους



**Σχήμα 7.66.** AK 4232. Μετά τον καθαρισμό οπίσθια όψη



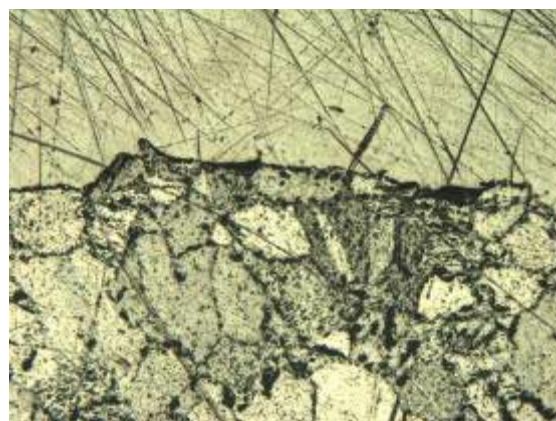
**Σχήμα 7.67.** AK 4232. Περιοχή 4 μετά τον καθαρισμό με Laser, macro-φωτογράφιση



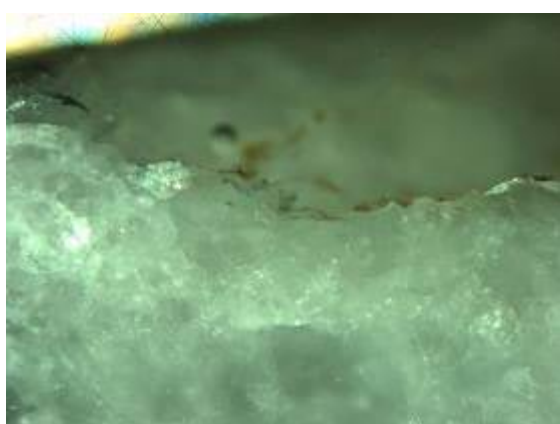
**Σχήμα 7.68.** AK 4232. Περιοχή 4 μετά τον καθαρισμό με Laser, στερεοσκοπική παρατήρηση



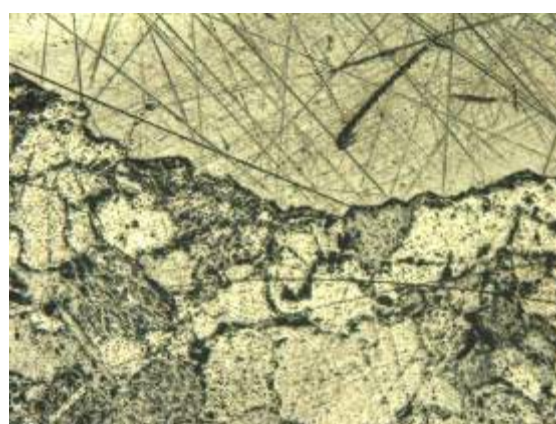
**Σχήμα 7.69.** AK 4232. Περιοχή 4 πριν τον καθαρισμό. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols



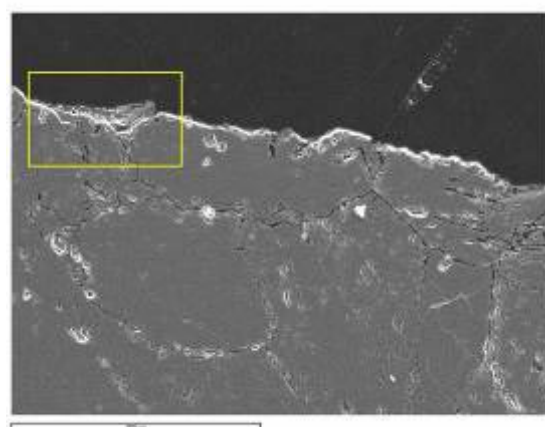
**Σχήμα 7.70.** AK 4232. Ίδια θέση, // Nicols.



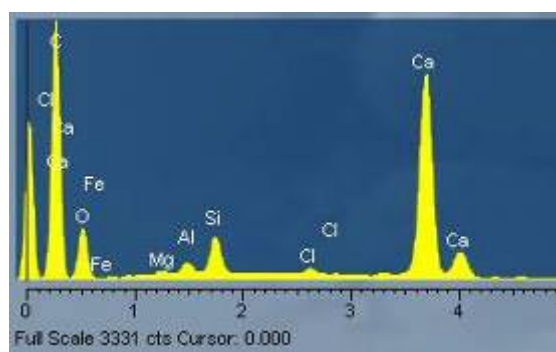
**Σχήμα 7.71.** AK 4232. Περιοχή 4 μετά τον καθαρισμό. Οπτικό μικροσκόπιο x50, X Nicols



**Σχήμα 7.72.** AK 4232. Ίδια θέση, // Nicols.



**Σχήμα 7.73.** AK 4232. Περιοχή 4 μετά τον καθαρισμό. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, κλίμακα 300μm



**Σχήμα 7.74.** AK 4232. Φάσμα μικροανάλυσης. Διακρίνεται ασβέστιο Ca, αργίλιο Al, και πυρίτιο Si.

Η ασβεστιτική κρούστα αφαιρέθηκε αφήνοντας λευκή επιφάνεια η οποία ωστόσο ταιριάζει χρωματικά με τις περιοχές του θραύσματος χωρίς αποθέσεις. Δεν παρατηρήθηκε διατάραξη του υποστρώματος. Και στις δύο περιπτώσεις (περιοχές 1 και 2) παρέμειναν υπολείμματα ασβεστούχας κρούστας (σχ. 11, 12). Γενικά, τα αποτελέσματα χαρακτηρίζονται ικανοποιητικά.

Όσον αφορά στην ασβεστούχα-σιδηρούχα-αργιλοπυριτικής σύστασης κρούστα, οι αργιλο-πυριτικο-σιδηρούχες αποθέσεις αφαιρούνται πλήρως, ενώ παραμένουν υπολείμματα συνεκτικών, ασβεστούχων αποθέσεων. Η χρήση της τεχνικής είναι γενικά ικανοποιητική, απαιτούνται συμπληρωματικές δοκιμές στο πεδίο. Ο συνδυασμός με κάποια άλλη τεχνική θα μπορούσε να δώσει ικανοποιητικότερα αποτελέσματα. Ειδικότερα για τις περιοχές 1, 2 και 3 παρατηρήθηκαν μετά τον καθαρισμό υπολείμματα κυρίως ασβεστούχων αποθέσεων στην επιφάνεια του υποστρώματος. Στην περιοχή 2 – η οποία είχε και το μεγαλύτερο πάχος – ο καθαρισμός δεν έφτασε στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Στις περιοχές 1 και 3 το αποτέλεσμα του καθαρισμού ήταν καλύτερο.

#### ***Spectron laser system SL805 Nd:YAG laser @1064nm***

Συμπληρωματικά πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού σε μεγαλύτερη επιφάνεια σε δύο δείγματα λίθου βάσει των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από τις πρώτες δοκιμές.

Οι νέες συνθήκες παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

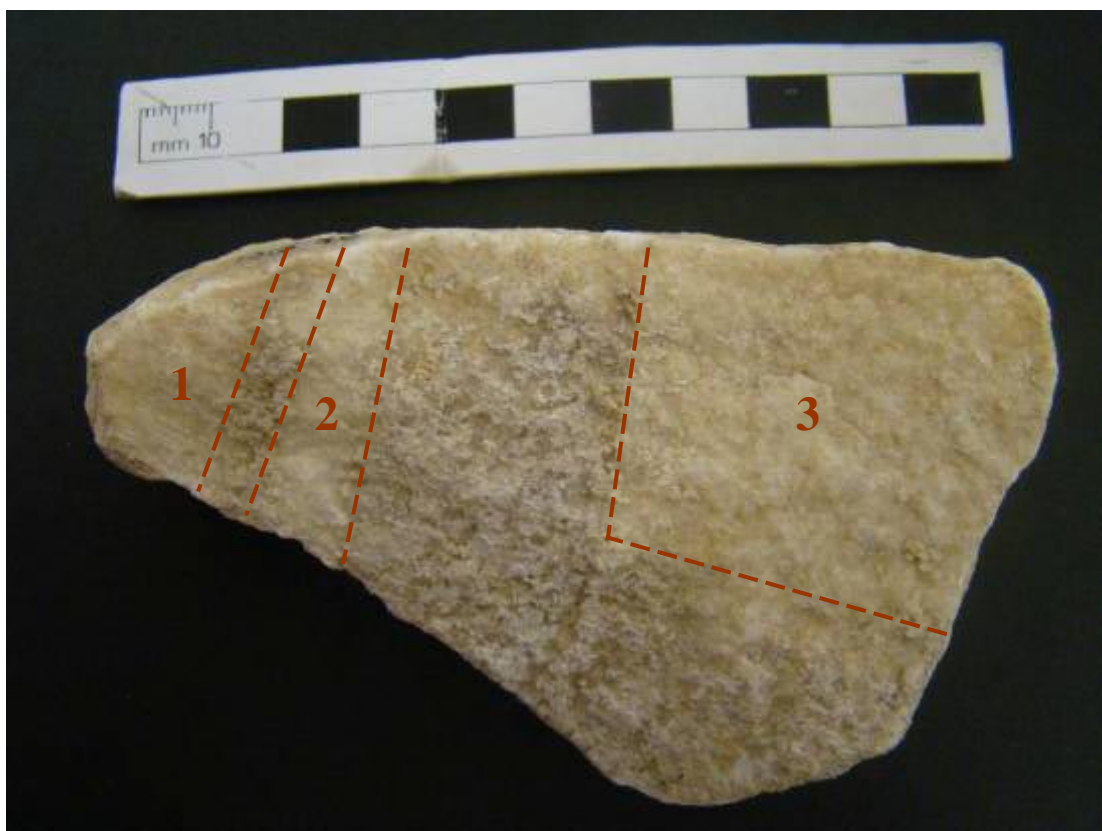
#### **Δείγμα με AK 5101**

<b>Spectron Laser System SL805 Nd:YAG laser @1064nm</b>				
<b>Spot</b>	<b>Fluence (J/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Pulse Duration</b>	<b>Comments</b>	<b>Number of pulses</b>
1	1,8	10 ns	Water	Ποικίλος αριθμός παλμών*
2	2,3	10 ns	Water	
3	3,0	10 ns	Water	

\*ο αριθμός των παλμών ποικίλει ανάλογα με το πάχος της επικάλυψης στο σημείο ακτινοβολήσης, το οποίο εκτιμήθηκε εμπειρικά



Σχήμα 7.75. AK 5101. Δείγμα πριν τον καθαρισμό



Σχήμα 7.76. AK 5101. Δείγμα πριν τον καθαρισμό. Διακρίνονται οι τρεις περιοχές καθαρισμού με Laser





**Σχήμα 7.77.** AK 5101. Όρια περιοχής πριν και μετά τον καθαρισμό. Στερεοσκοπική παρατήρηση x6,7



**Σχήμα 7.78.** AK 5101. Μετά τον καθαρισμό. Στερεοσκοπική παρατήρηση x 40



**Σχήμα 7.79.** AK 5101. Δείγμα μετά τον καθαρισμό, περιοχές 1 και 2.



**Σχήμα 7.80.** AK 5101. Δείγμα μετά τον καθαρισμό, περιοχή 3.

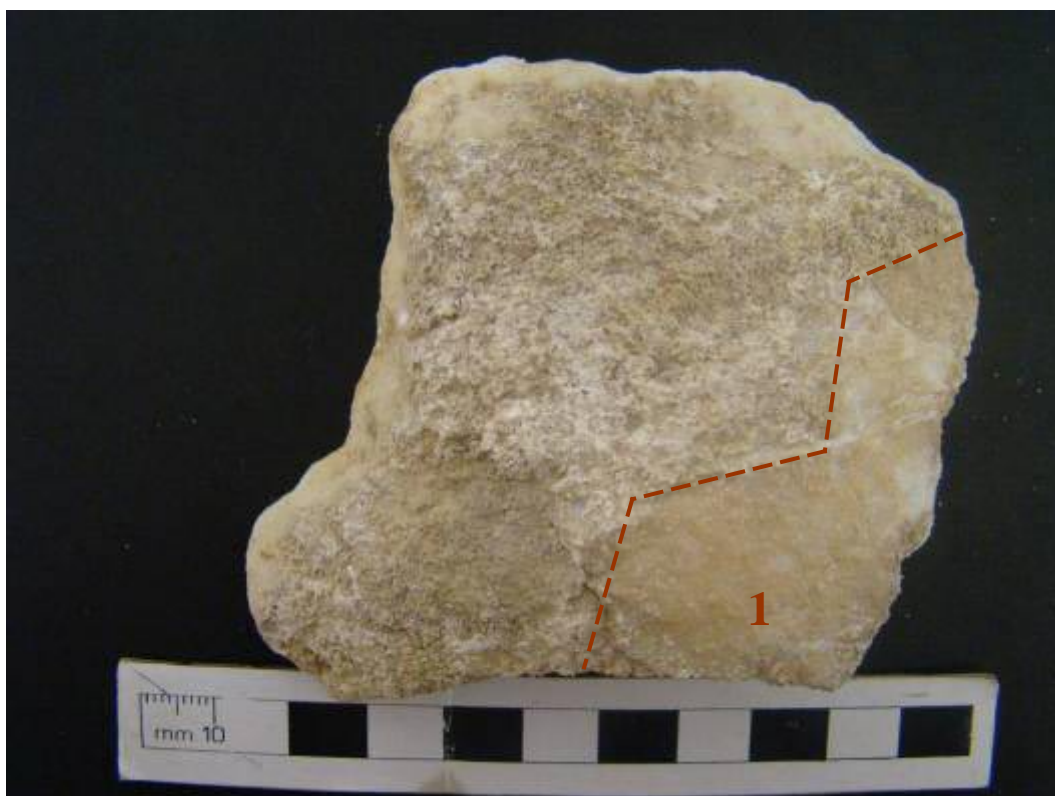
### Δείγμα με AK 5103

Spectron Laser System SL805 Nd:YAG laser @1064nm				
Spot	Fluence (J/cm <sup>2</sup> )	Pulse Duration	Comments	Number of pulses
1	3,8	10 ns	Water	Ποικίλος αριθμός παλμών*

\*ο αριθμός των παλμών ποικίλει ανάλογα με το πάχος της επικάλυψης στο σημείο ακτινοβολήσης, το οποίο εκτιμήθηκε εμπειρικά



Σχήμα 7.81. AK 5103. Δείγμα πριν τον καθαρισμό.



Σχήμα 7.82. AK 5103. Δείγμα μετά τον καθαρισμό



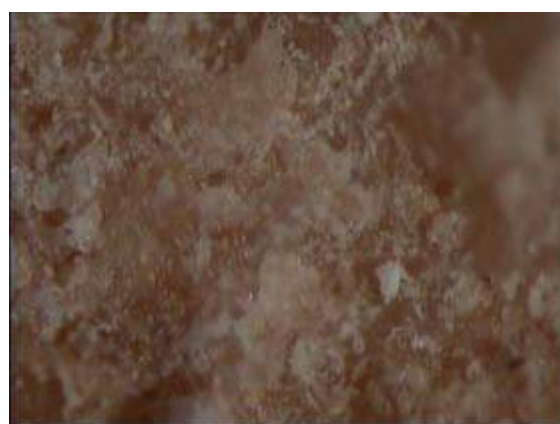
**Σχήμα 7.83.** AK 5103. Δείγμα μετά τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.84.** AK 5103. Δείγμα μετά τον καθαρισμό, διακρίνεται περιοχή υπερκαθαρισμού



**Σχήμα 7.85.** AK 5103. Η επιφάνεια πριν την επέμβαση καθαρισμού με Laser, στερεοσκοπική παρατήρηση x 40. Διακρίνεται η κρούστα.



**Σχήμα 7.86.** AK 5103. Η επιφάνεια μετά την επέμβαση καθαρισμού με Laser, στερεοσκοπική παρατήρηση x 40. Διακρίνεται η επιφάνεια του μαρμάρινου υποστρώματος.

### 7.3.2.2. Δοκιμές καθαρισμού με ψηγματοβολή

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού της ασβεστιτικής κρούστας με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται παρακάτω:

Αποξεστικό υλικό:  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Μέγεθος κόκκου: 150  $\mu\text{m}$

Πίεση: 1,5 atm



**Σχήμα 7.87.** ΑΚ 4000. Μορφή δείγματος. Macro-φωτογράφιση, πριν τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.88.** ΑΚ 4000. Στερεοσκοπική παρατήρηση πριν τον καθαρισμό x8



**Σχήμα 7.89.** ΑΚ 4000. Περιοχή επιλογής επέμβασης καθαρισμού



**Σχήμα 7.90.** ΑΚ 4000. Λεπτομέρεια περιοχής πριν τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.91.** ΑΚ 4000. Μετά την επέμβαση καθαρισμού. Παρατηρείται φθορά του υποστρώματος και ατελής καθαρισμός.



**Σχήμα 7.92.** ΑΚ 4000. Μετά τον καθαρισμό. Έντονη φθορά του υποστρώματος.

Επίσης πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού της ασβεστούχας-σιδηρούχας-αργιλοπυριτικής κρούστας με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται παρακάτω:

Αποξεστικό υλικό:  $Al_2O_3$

Μέγεθος κόκκου: 150  $\mu m$

Πίεση: 1,5 atm



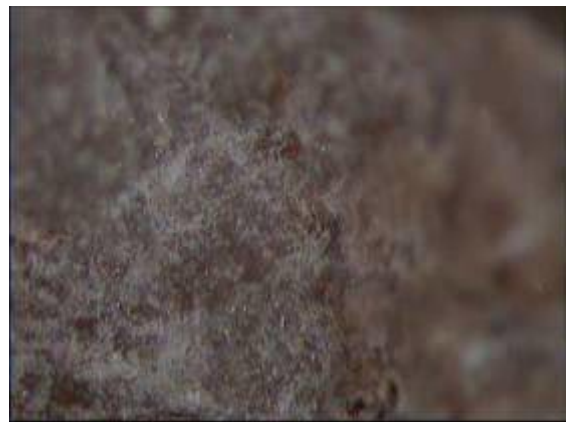
**Σχήμα 7.93.** ΑΚ 4232. Περιοχή δοκιμών καθαρισμού με ψηγατοβολή



**Σχήμα 7.94.** ΑΚ 4232. Μετά την επέμβαση καθαρισμού, macro-φωτογράφιση



**Σχήμα 7.95.** ΑΚ 4232. Μετά την επέμβαση καθαρισμού, στεροσκοπική παρατήρηση x7



**Σχήμα 7.96.** ΑΚ 4232. Μετά την επέμβαση καθαρισμού, στεροσκοπική παρατήρηση x45

Η εφαρμογή της τεχνικής αντενδείκνυται στην αφαίρεση των συνεκτικών αποθέσεων αυτού του είδους διότι προκαλεί φθορά στο υπόστρωμα.

### 7.3.2.3. Δοκιμές καθαρισμού με ξέστρο υπερήχων

Οι δοκιμές καθαρισμού με ξέστρο υπερήχων πραγματοποιήθηκαν είτε απευθείας στις κρούστες είτε στα υπολείμματα του καθαρισμού με laser. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με την ένταση 1 του ξέστρου υπερήχων (κλίμακα 1-10).

- Δοκιμή στις κρούστες ασβεστιτικής σύστασης



**Σχήμα 7.97.** ΑΚ 3939. Περιοχή καθαρισμού με ξέστρο υπερήχων



**Σχήμα 7.98.** ΑΚ 3939. Μετά τον καθαρισμό. Παρατηρούνται υπολείμματα κρούστας

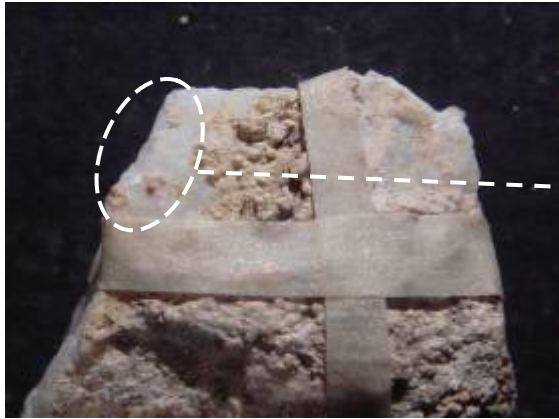


**Σχήμα 7.99.** ΑΚ 3939. Περιοχή πριν τον καθαρισμό. Στερεοσκοπική παρατήρηση x12

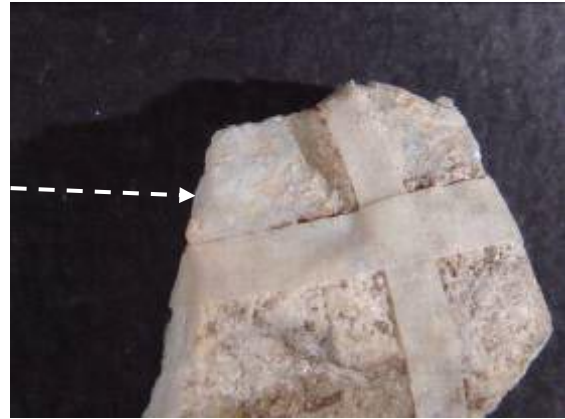


**Σχήμα 7.100.** ΑΚ 3939. Περιοχή πριν τον καθαρισμό. Στερεοσκοπική παρατήρηση x10. Η επέμβαση σταμάτησε αφήνοντας υπολείμματα.

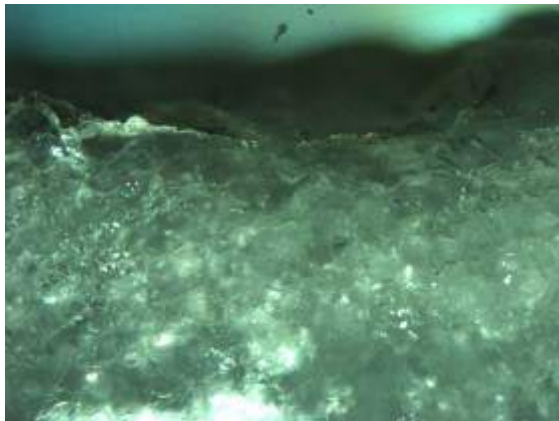
- Δοκιμή στα υπολείμματα του καθαρισμού με laser



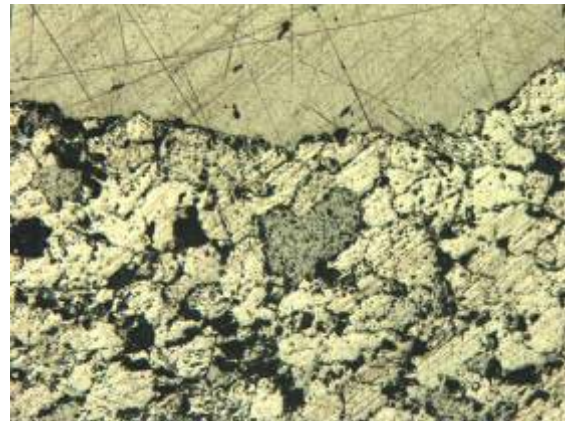
**Σχήμα 7.101.** AK 3939. Η επιλεγμένη περιοχή μετά την επέμβαση καθαρισμού με Laser



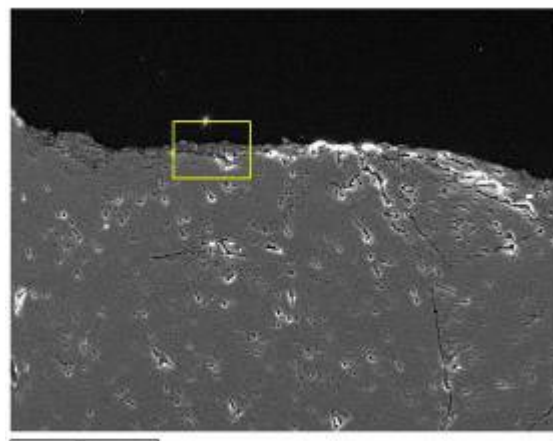
**Σχήμα 7.102.** AK 3939. Αφαίρεση των υπολειμμάτων του καθαρισμού με Laser με χρήση ζέστρου υπερήχων



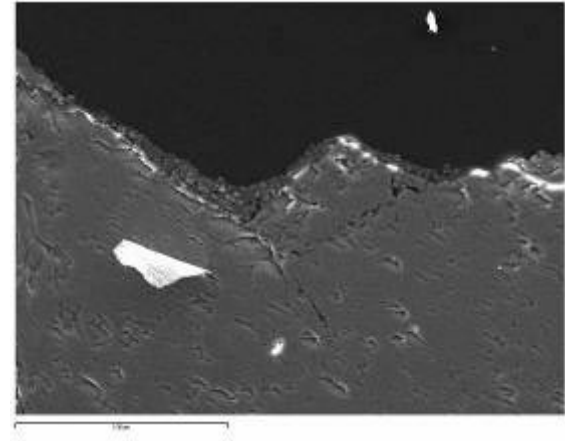
**Σχήμα 7.103.** AK 3939. Περιοχή μετά το συνδυασμό καθαρισμού με Laser και ζέστρο υπερήχων. Οπτική μικροσκοπία x50, X Nicols



**Σχήμα 7.104.** Ίδια θέση // Nicols



**Σχήμα 7.105.** AK 3939. Περιοχή μετά το συνδυασμό καθαρισμού με Laser και ζέστρο υπερήχων. Παρατηρείται το λεπτό στρώμα αποθέσεων. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης κλίμακα 100μm.



**Σχήμα 7.106.** AK 3939. Λεπτό στρώμα αποθέσεων μετά τον καθαρισμό. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, κλίμακα 100μm.



**Σχήμα 7.107.** ΑΚ 4232. Θέσεις δοκιμών καθαρισμού με ξέστρο υπερήχων μετά την εφαρμογή του Laser



**Σχήμα 7.108.** ΑΚ 4232. Περιοχή 2 μετά τον τοπικό καθαρισμό με ξέστρο υπερήχων.



**Σχήμα 7.109.** ΑΚ 4232. Περιοχή 1 μετά τον τοπικό καθαρισμό με ξέστρο υπερήχων.

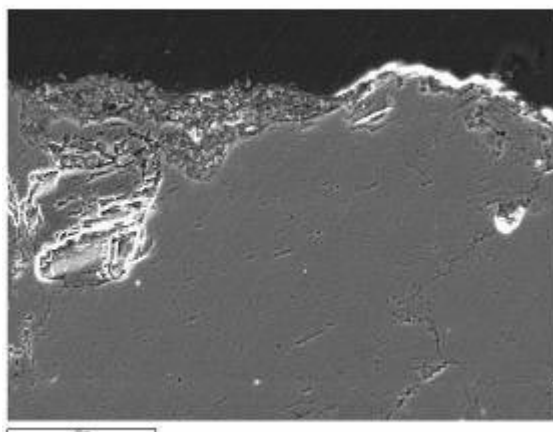




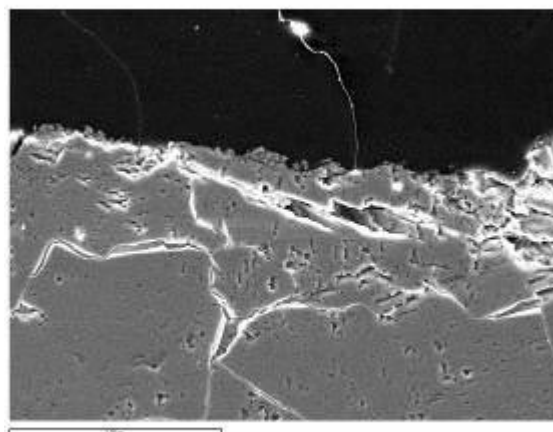
**Σχήμα 7.110.** ΑΚ 4232. Περιοχή 2 μετά τον τοπικό καθαρισμό με ξέστρο υπερήχων. Στερεοσκοπική παρατήρηση x10.



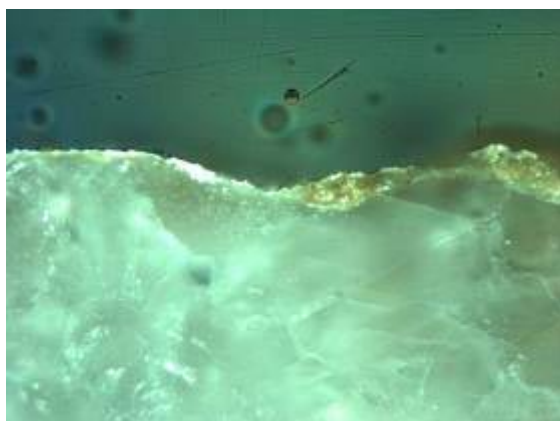
**Σχήμα 7.111.** ΑΚ 4232. Περιοχή 1 μετά τον τοπικό καθαρισμό με ξέστρο υπερήχων. Στερεοσκοπική παρατήρηση x6,7.



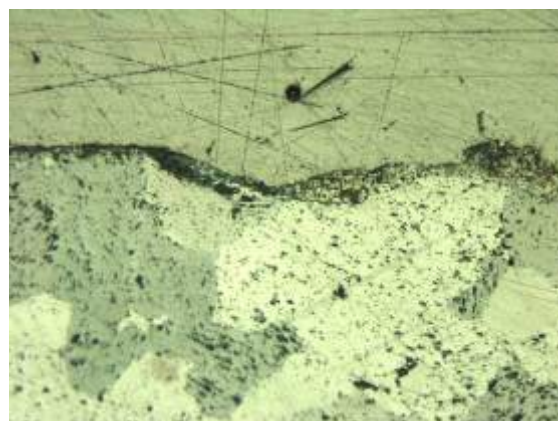
**Σχήμα 7.112.** ΑΚ 4232. Περιοχή 2 μετά τον τοπικό καθαρισμό με ξέστρο υπερήχων. Παρατηρούνται ίχνη αποθέσεων. Κλίμακα 100μm.



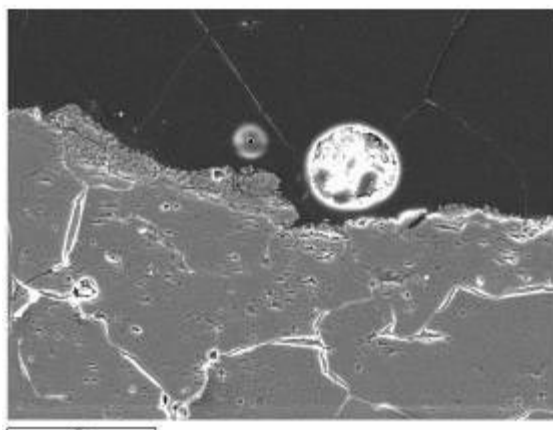
**Σχήμα 7.113.** ΑΚ 4232. Περιοχή 1 μετά τον τοπικό καθαρισμό με ξέστρο υπερήχων. Αποθέσεις μικρότερου πάχους. Κλίμακα 100μm.



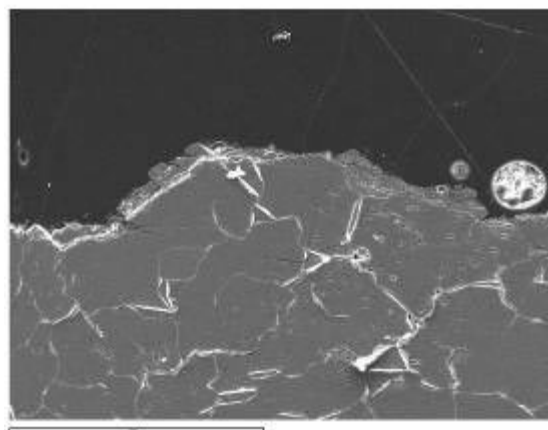
**Σχήμα 7.114.** ΑΚ 4232. Περιοχή 2 μετά τον τοπικό καθαρισμό με ξέστρο υπερήχων. Ίχνη αποθέσεων, x50.



**Σχήμα 7.115.** ΑΚ 4232. Ίδια θέση // Nicols.



**Σχήμα 7.116.** ΑΚ 4232. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Περιοχή μετά την επέμβαση με Laser και τον τοπικό καθαρισμό με ξέστρο υπερήχων. Λεπτό στρώμα αποθέσεων. Κλίμακα 100μm.



**Σχήμα 7.117.** ΑΚ 4232. Λεπτό στρώμα αποθέσεων μετά τον καθαρισμό. Κλίμακα 300μm.

Με τη χρήση του ξέστρου υπερήχων το πάχος της κρούστας μειώθηκε αλλά δεν αφαιρέθηκε πλήρως προς αποφυγή φθοράς του υποστρώματος. Τα ασβεστούχα υπολείμματα που παρέμειναν στην επιφάνεια μετά τον καθαρισμό με laser, αφαιρέθηκαν σε μεγάλο βαθμό χωρίς να προκληθεί φθορά στο υπόστρωμα. Η χρήση του ξέστρου υπερήχων απαιτεί εμπειρία και ικανότητα από το χρήστη.

#### 7.3.2.4. Δοκιμές καθαρισμού με σύνθετα χημικά επιθέματα

Χρησιμοποιήθηκαν σύνθετα χημικά επιθέματα σε τρεις διαφορετικές περιοχές όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Χαρακτηριστικά δοκιμών καθαρισμού με επιθέματα		
Περιοχή επέμβασης καθαρισμού	Τύπος επιθέματος	Χρόνος δράσης
1	MORA	15 min
2	MORA	30 min
3	MORA	60 min



**Σχήμα 7.118.** ΑΚ 4215. Θραύσμα με σημειωμένες τις επιλεγμένες περιοχές καθαρισμού



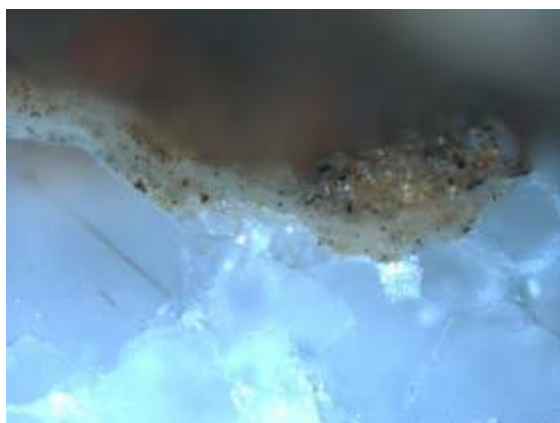
**Σχήμα 7.119.** ΑΚ 4215. Περιοχές 1, 2 και 3 πριν τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.120.** ΑΚ 4215. Macro-φωτογράφιση. Λεπτομέρεια κρούστας



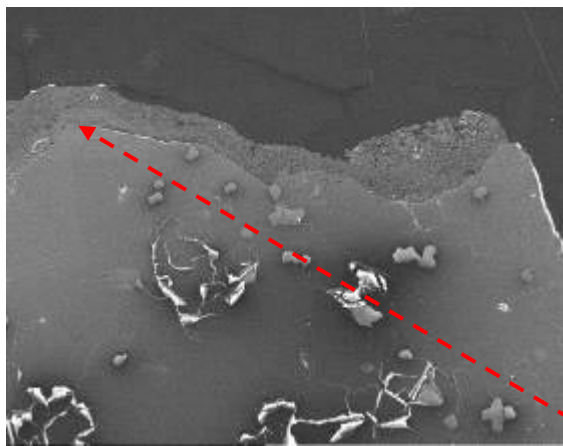
**Σχήμα 7.121.** ΑΚ 4215. Στερεοσκοπική παρατήρηση κρούστας, μεγέθυνση x8



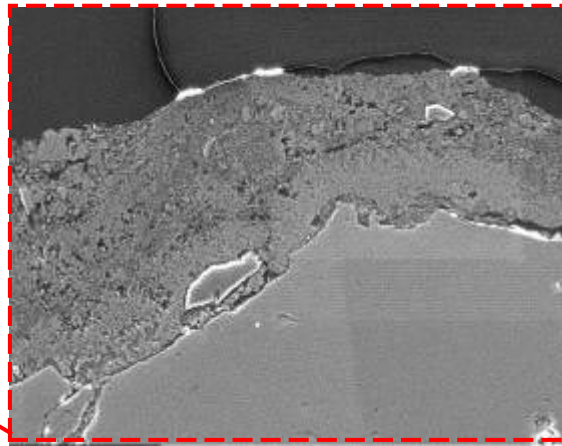
**Σχήμα 7.122.** ΑΚ 4215. Μορφή κρούστας. Οπτική μικροσκοπία, X Nicols x100. Δύο εμφανή στρώματα



**Σχήμα 7.123.** ΑΚ 4215. Ίδια θέση // Nicols



**Σχήμα 7.124.** ΑΚ 4215. Ίδια θέση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Κλίμακα 600μm



**Σχήμα 7.125.** ΑΚ 4215. Μορφή κρούστας στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Κλίμακα 300μm



**Σχήμα 7.126.** ΑΚ 4215. Περιοχή 1 πριν τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.127.** ΑΚ 4215. Περιοχή 1 μετά τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.128.** ΑΚ 4215. Περιοχή 3 πριν τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.129.** ΑΚ 4215. Περιοχή 3 μετά τον καθαρισμό. Δεν παρατηρείται μείωση του πάχους της ασβεστιτικής κρούστας

Ο καθαρισμός με χρήση επιθεμάτων ήταν ανεπιτυχής. Η κρούστα δεν αφαιρέθηκε και δεν μειώθηκε το πάχος της.

### 7.3.3. Δοκιμές καθαρισμού στο πεδίο

#### 7.3.2.1. Δοκιμές καθαρισμού με ξέστρο υπερήχων

Έγιναν δοκιμές καθαρισμού της κρούστας με το ξέστρο υπερήχων. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλάμβανε κατ' αρχάς διαβροχή με ατμό επάνω από διηθητικό χαρτί και τη χρήση της πλατιάς ακίδας του ξέστρου, επάνω από το διηθητικό χαρτί. Η ένταση της δόνησης του ξέστρου υπερήχων ήταν μικρή. Οι κρούστες όμως αφαιρούνται με δυσκολία, ενώ όταν είναι εμποτισμένες με νερό δεν θρυμματίζονται αλλά διαλύονται αφήνοντας ακανόνιστου σχήματος και όγκου υπολείμματα. Εάν το ξέστρο υπερήχων εφαρμοσθεί χωρίς να διαβραχεί το υπόστρωμα, τότε η κρούστα δεν αφαιρείται αφήνοντας αδρή την επιφάνειά της.



**Σχήμα 7.130.** AK 3480. Εφαρμογή καθαρισμού με ξέστρο υπερήχων απουσία νερού



**Σχήμα 7.131.** AK 3480. Εφαρμογή καθαρισμού με ξέστρο υπερήχων απουσία νερού. Διακρίνεται η περιοχή εφαρμογής

#### 7.3.2.2. Δοκιμές καθαρισμού με σύνθετα χημικά επιθέματα

Δοκιμάσθηκαν επίσης επιθέματα σεπιολίθου με απιονισμένο νερό χωρίς όμως να έχουν κανένα αποτέλεσμα. Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν επιθέματα MORA (Mora modified, EDTA Plus και StoneLAB<sup>2</sup>) για 45, 90, 135 min και 18 ώρες χωρίς ικανοποιητικά αποτελέσματα.

---

<sup>2</sup> Βλ. Παράρτημα II: Συνθέσεις επιθεμάτων



**Σχήμα 7.132.** ΑΚ 449. Το θραύσμα πριν από τις δοκιμές καθαρισμού



**Σχήμα 7.133.** ΑΚ 449. Το θραύσμα πριν από τις δοκιμές καθαρισμού



**Σχήμα 7.134.** ΑΚ 449. Εφαρμογή επιθέματος StoneLab



**Σχήμα 7.135.** ΑΚ 3480. Εφαρμογή επιθέματος Mora

### 7.3.2.3. Συνδυασμός επιθεμάτων και ξέστρου υπερήχων

Έπειτα από την εφαρμογή των επιθεμάτων τύπου MORA και για όσο διάστημα η επιφάνεια του υποστρώματος ήταν ακόμη νωπή, εφαρμόσθηκε το ξέστρο υπερήχων. Η διαβροχή της επιφάνειας συνεχίσθηκε κατά τη χρήση του ξέστρου. Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά.



**Σχήμα 7.136.** ΑΚ 3480. Οπίσθια όψη.



**Σχήμα 7.137.** ΑΚ 3480. Οπίσθια όψη.



**Σχήμα 7.138.** ΑΚ 3480. Μακροσκοπική φωτογράφιση. Οπίσθια όψη.



**Σχήμα 7.139.** ΑΚ 3480. Περιοχή στην οποία πραγματοποιήθηκε καθαρισμός με ζέστρο υπερήχων παρουσία νερού, μετά την εφαρμογή επιθέματος τύπου Mora.

## 7.4. Χαλαρές αποθέσεις και εμποτισμοί

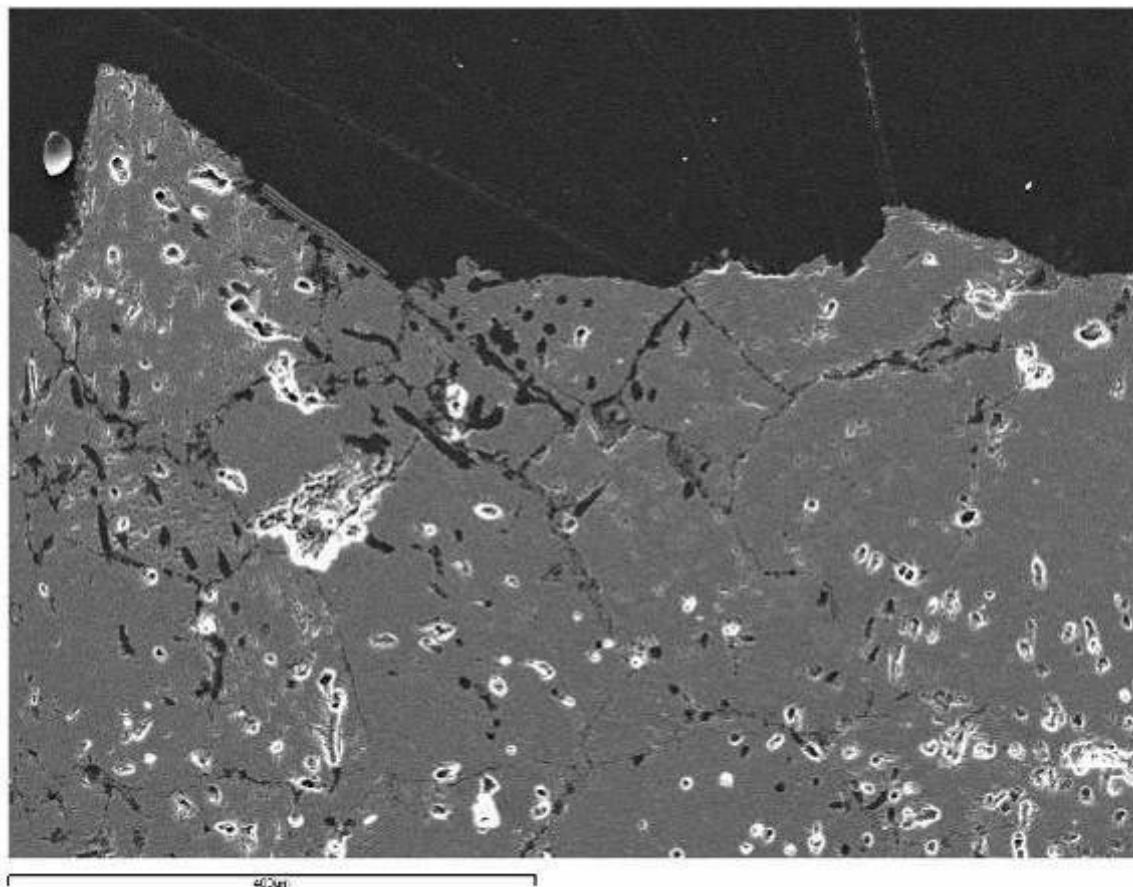
### 7.4.1. Όριο καθαρισμού

Αντικείμενο του καθαρισμού αποτελεί το αργιλοπυριτικής φύσης υλικό που έχει αποτεθεί και εμποτίσει τα εξωτερικά στρώματα του λίθου, μέχρι βάθους 100-150  $\mu\text{m}$ .

Η αρχική επιφάνεια του δείγματος έχει χαθεί εξαιτίας φαινομένων χημικής διάβρωσης. Αποτέλεσμα της χημικής διάβρωσης είναι και η διαταραγμένη δομή των ανώτερων τμημάτων του λίθου, σε βάθος περίπου 100-150  $\mu\text{m}$ .

Ο καθαρισμός δεν θα πρέπει να αλλοιώσει το ανάγλυφο της εξωτερικής επιφάνειας ενώ, θα πρέπει να δοθεί η απαραίτητη προσοχή ώστε να μην επηρεαστεί η δομή του διαβρωμένου στρώματος.

Τέλος, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πιθανές χρωματικές αλλοιώσεις της επιφάνειας λόγω της περιεκτικότητας σιδήρου στο υλικό που έχει εμποτίσει τα διαβρωμένα στρώματα.



Σχήμα 7.140. ΑΚ 4224. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Κλίμακα 400μm

## 7.4.2. Δοκιμές καθαρισμού στο εργαστήριο

### 7.4.2.1. Δοκιμές καθαρισμού με laser

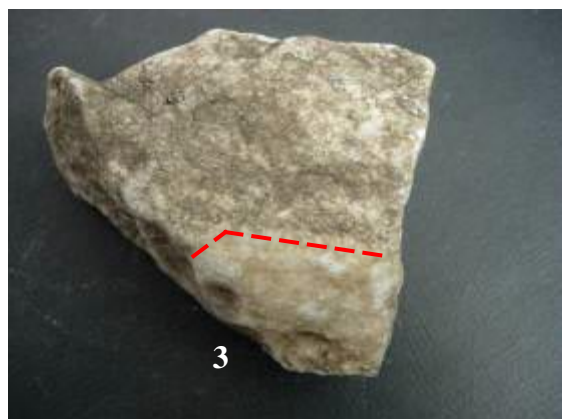
#### *Q-switched Nd:YAG laser @1064nm*

Δοκιμές καθαρισμού με Laser πραγματοποιήθηκαν σε εμποτισμούς τεφρού χρώματος σε τρεις περιοχές με τις συνθήκες που φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Q-switched Nd:YAG laser @1064nm				
Spot	Fluence (J/cm <sup>2</sup> )	Repetition Rate (Hz)	Comments	Number of pulses
1	1,27	10	Water	Ποικίλος αριθμός παλμών*
2	1,43	10	Water	
3	1,43	10	water	

\*ο αριθμός των παλμών ποικίλει ανάλογα με το πάχος της επικάλυψης στο σημείο ακτινοβολήσης, το οποίο εκτιμήθηκε εμπειρικά





**Σχήμα 7.141.** ΑΚ 4406. Περιοχή 3 μετά τον καθαρισμό με Laser, εμπρόσθια όψη



**Σχήμα 7.142.** ΑΚ 4406. Περιοχές 1 και 2 μετά τον καθαρισμό με Laser, οπίσθια όψη



**Σχήμα 7.143.** ΑΚ 4406. Περιοχή 2 μετά τον καθαρισμό με Laser, macro-φωτογράφιση



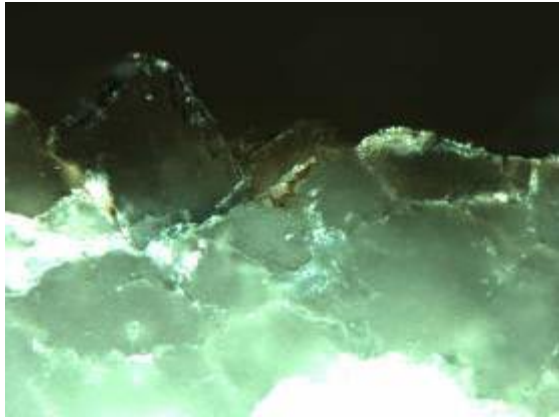
**Σχήμα 7.144.** ΑΚ 4406. Περιοχή 3 μετά τον καθαρισμό με Laser, macro-φωτογράφιση



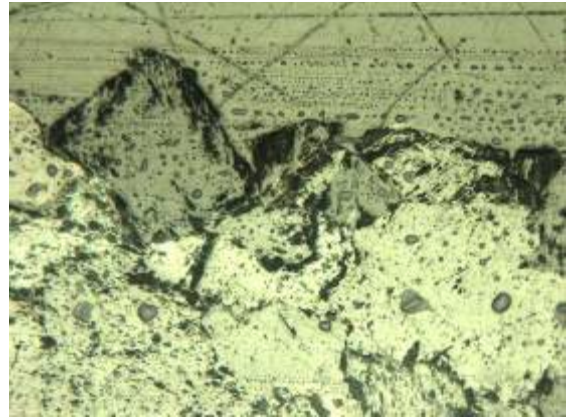
**Σχήμα 7.145.** ΑΚ 4406. Περιοχή 1 μετά τον καθαρισμό με Laser, macro-φωτογράφιση



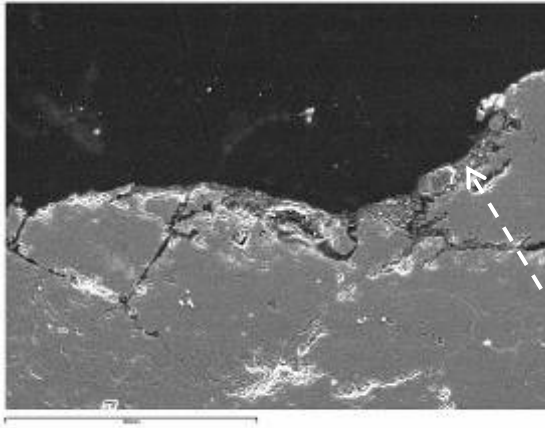
**Σχήμα 7.146.** ΑΚ 4406. Περιοχή 2 μετά τον καθαρισμό με Laser. Στερεοσκοπική παρατήρηση



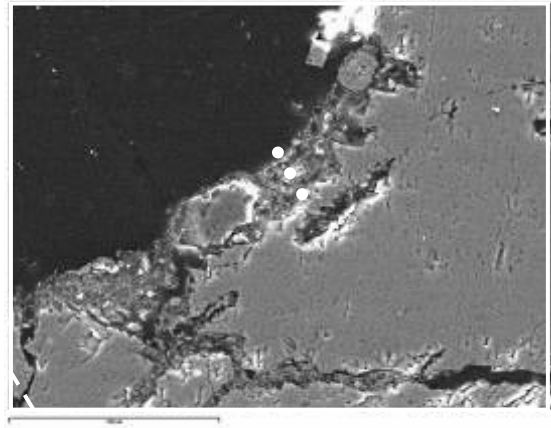
**Σχήμα 7.147.** AK 4406. Οπτική μικροσκοπία μετά τον καθαρισμό με Laser. Περιοχή 2 x100, X Nicols



**Σχήμα 7.148.** AK 4406. Ίδια θέση // Nicols



**Σχήμα 7.149.** AK 4406. Περιοχή 2 μετά τον καθαρισμό με Laser. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, κλίμακα 300μm. Παρατηρείται το λεπτό στρώμα πάτινας



**Σχήμα 7.150.** AK 4406. Περιοχή 2 μετά τον καθαρισμό, ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, κλίμακα 100μm. Πάχος επιλεγμένου στρώματος 40μm

Οι χαλαρές αποθέσεις και οι εμποτισμοί απομακρύνθηκαν σχετικά εύκολα κατά την επέμβαση του καθαρισμού. Δεν παρατηρήθηκε καμία επίπτωση στο υπόστρωμα αντιθέτως, μετά την αφαίρεση του σκούρου επιστρώματος παρέμεινε ένα επιθυμητό λεπτό στρώμα πάτινας. Στις περιοχές 2 και 3 τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητικά. Στην περιοχή 1 δεν προχώρησε ο καθαρισμός στο επιθυμητό στάδιο.

#### ***Spectron laser system SL805 Nd:YAG laser @1064nm***

Συμπληρωματικά πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού σε μεγαλύτερη επιφάνεια λίθου βάσει των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από τις πρώτες δοκιμές.

Οι νέες συνθήκες παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Spectron Laser System SL805 Nd:YAG laser @1064nm				
Spot	Fluence (J/cm <sup>2</sup> )	Pulse Duration	Comments	Number of pulses
4	2,4	10 ns	Water	Ποικίλος αριθμός παλμών*
5	2,8	10 ns	Water	

\*ο αριθμός των παλμών ποικίλει ανάλογα με το πάχος της επικάλυψης στο σημείο ακτινοβολήσης, το οποίο εκτιμήθηκε εμπειρικά



Σχήμα 7.151. AK 5110. Δείγμα πριν τον καθαρισμό με Laser.



**Σχήμα 7.152.** AK 5110. Δείγμα μετά τον καθαρισμό με Laser. Διακρίνονται οι δύο περιοχές (4 και 5) καθαρισμού



**Σχήμα 7.153.** AK 5110. Δείγμα μετά τον καθαρισμό με Laser. Διακρίνονται οι δύο περιοχές (4 και 5) καθαρισμού



**Σχήμα 7.154.** AK 5110. Δείγμα μετά τον καθαρισμό με Laser. Διακρίνονται οι δύο περιοχές (4 και 5) καθαρισμού



**Σχήμα 7.155.** AK 5110. Δείγμα μετά τον καθαρισμό με Laser. Όρια περιοχής 5 και περιοχής πριν τον καθαρισμό. Στερεοσκοπική παρατήρηση x10.



**Σχήμα 7.156.** AK 5110. Δείγμα μετά τον καθαρισμό με Laser. Όρια περιοχής 5 και περιοχής πριν τον καθαρισμό. Στερεοσκοπική παρατήρηση x45



**Σχήμα 7.157.** AK 5110. Δείγμα μετά τον καθαρισμό με Laser. Όρια περιοχής 4 και περιοχής πριν τον καθαρισμό. Στερεοσκοπική παρατήρηση x6,7



**Σχήμα 7.158.** AK 5110. Δείγμα μετά τον καθαρισμό με Laser. Όρια περιοχής 4 και περιοχής πριν τον καθαρισμό. Στερεοσκοπική παρατήρηση x20



**Σχήμα 7.159.** AK 5110. Δείγμα μετά τον καθαρισμό με Laser. Όρια περιοχής 5 (αριστερά), 4 (δεξιά) και περιοχής πριν τον καθαρισμό (πάνω). Στερεοσκοπική παρατήρηση x6,7



**Σχήμα 7.160.** AK 5110. Δείγμα μετά τον καθαρισμό με Laser. Όρια περιοχής 5 (αριστερά), 4 (δεξιά) και περιοχής πριν τον καθαρισμό (πάνω). Στερεοσκοπική παρατήρηση x6,7

Το αποτέλεσμα των καθαρισμών με Laser κρίθηκε απολύτως ικανοποιητικό καθώς αφαιρούνται με μεγάλη ευκολία οι αποθέσεις χωρίς ωστόσο να φθείρεται το υπόστρωμα. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα είχε ήδη φανεί από τις πρώτες επεμβάσεις καθαρισμού.

Στο δεύτερο στάδιο δομικών καθαρισμού με Laser πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού και σε χαλαρές αποθέσεις – εμποτισμούς φαιού χρώματος.

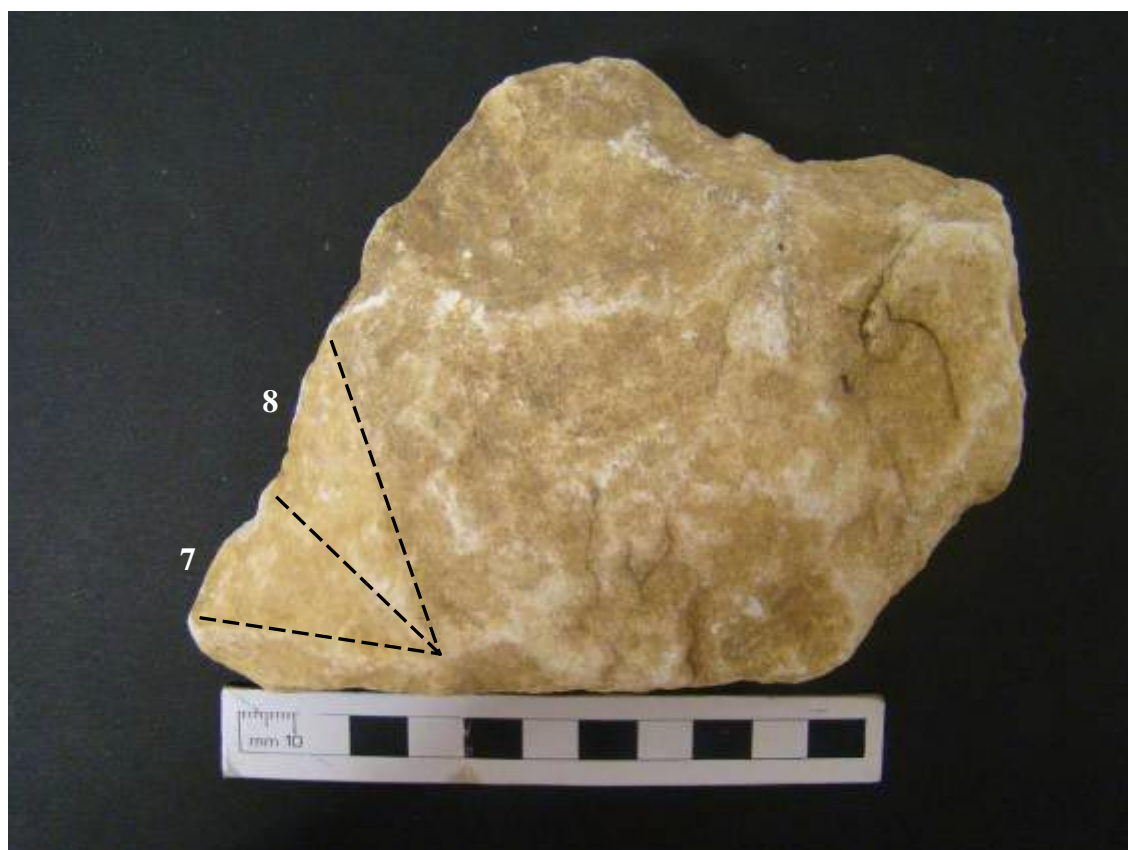
Οι συνθήκες παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Spectron Laser System SL805 Nd:YAG laser @1064nm				
Spot	Fluence (J/cm <sup>2</sup> )	Pulse Duration	Comments	Number of pulses
7	1,6	10 ns	Water	Ποικίλος αριθμός παλμών*
8	2,8	10 ns	Water	

\*ο αριθμός των παλμών ποικίλει ανάλογα με το πάχος της επικάλυψης στο σημείο ακτινοβολήσης, το οποίο εκτιμήθηκε εμπειρικά



Σχήμα 7.161. ΑΚ 5824. Δείγμα πριν τον καθαρισμό με Laser



**Σχήμα 7.162.** AK 5824. Δείγμα πριν τον καθαρισμό με Laser. Διακρίνονται οι δύο περιοχές με τις διαφορετικές συνθήκες καθαρισμού



**Σχήμα 7.163.** AK 5824. Πριν τον καθαρισμό, στερεοσκοπική παρατήρηση x 6,7



**Σχήμα 7.164.** AK 5824. Πριν τον καθαρισμό, στερεοσκοπική παρατήρηση x 20



**Σχήμα 7.165.** ΑΚ 5824. Όρια περιοχής καθαρισμού 8. Στερεοσκοπική παρατήρηση x10



**Σχήμα 7.166.** ΑΚ 5824. Περιοχή 8 μετά τον καθαρισμό. Στερεοσκοπική παρατήρηση x20

#### 7.4.2.2. Δοκιμές καθαρισμού με σύνθετα χημικά επιθέματα

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού με επιθέματα σεπιολίθου σε τέσσερις περιοχές. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι χρόνοι δράσης των επιθεμάτων στις αντίστοιχες περιοχές.

Χαρακτηριστικά δοκιμών καθαρισμού με επιθέματα		
Περιοχή επέμβασης καθαρισμού	Τύπος επιθέματος	Χρόνος δράσης
1	Σεπιόλιθος – Απιονισμένο νερό	30 min
2	MORA	30 min
3	MORA	15 min
4	MORA	60 min



**Σχήμα 7.167.** ΑΚ 4406. Γενική εικόνα δείγματος, περιοχές δοκιμών καθαρισμού με επιθέματα



**Σχήμα 7.168.** ΑΚ 4406. Περιοχές δοκιμών καθαρισμού με επιθέματα





**Σχήμα 7.169.** ΑΚ 4406. Περιοχή 3 μετά τον καθαρισμό, καθαρισμός με επίθεμα τύπου MORA, χρόνος εφαρμογής 15 λεπτά



**Σχήμα 7.170.** ΑΚ 4406. Περιοχή 1 μετά τον καθαρισμό, επέμβαση με σεπίόλιθο, χρόνος εφαρμογής 30 λεπτά



**Σχήμα 7.171.** ΑΚ 4406. Περιοχή 4 πριν τον καθαρισμό με επίθεμα τύπου MORA, χρόνος εφαρμογής 60 λεπτά



**Σχήμα 7.172.** ΑΚ 4406. Περιοχή 4 μετά τον καθαρισμό με επίθεμα τύπου MORA. Χρόνος εφαρμογής 60 λεπτά

Δοκιμές καθαρισμού με σύνθετα χημικά επιθέματα, εφαρμόστηκαν και σε άλλο ένα δείγμα το οποίο παρουσίασε ίδιας κατηγορίας αποθέσεις, με μικρή χρωματική διαφοροποίηση και πάχος:

Χαρακτηριστικά δοκιμών καθαρισμού με επιθέματα		
Περιοχή επέμβασης καθαρισμού	Τύπος επιθέματος	Χρόνος δράσης
1	Σεπίόλιθος-Απιονισμένο νερό	30 min
2	MORA	15 min
3	MORA	30 min
4	MORA	60 min



**Σχήμα 7.173.** AK 4408. Γενική εικόνα δείγματος, περιοχές δοκιμών καθαρισμού με επιθέματα



**Σχήμα 7.174.** AK 4408. Μακροσκοπική εμφάνιση αποθέσεων



**Σχήμα 7.175.** AK 4408. Δείγμα πριν τον καθαρισμό. Οπτικό μικροσκόπιο X Nicols, x100



**Σχήμα 7.176.** AK 4408. Αρχική επιφάνεια πριν τον καθαρισμό. Παρατήρηση στο στερεοσκόπιο x10



**Σχήμα 7.177.** AK 4408. Περιοχή 2 μετά την εφαρμογή επιθέματος τύπου Moira για 15 λεπτά. Μακροσκοπική παρατήρηση



**Σχήμα 7.178.** AK 4408. Περιοχή 2 μετά την εφαρμογή επιθέματος τύπου Moira για 15 λεπτά. Παρατήρηση στο στερεοσκόπιο.



**Σχήμα 7.179.** ΑΚ 4408. Περιοχή 3 μετά την εφαρμογή επιθέματος τύπου Moga για 30 λεπτά. Μακροσκοπική παρατήρηση. Η περιοχή αριστερά είναι η περιοχή 4 στην οποία το επίθεμα έδρασε για μία ώρα



**Σχήμα 7.180.** ΑΚ 4408. Περιοχή 3 μετά τον καθαρισμό, παρατήρηση στο στερεομικροσκόπιο



**Σχήμα 7.181.** ΑΚ 4408. Περιοχή 1 μετά την εφαρμογή επιθέματος σεπίόλιθου για 30 λεπτά. Μακροσκοπική παρατήρηση



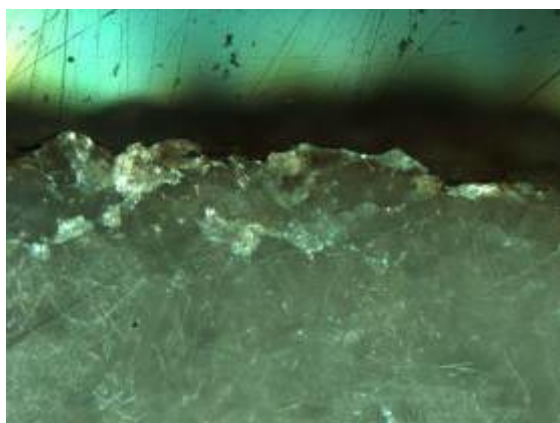
**Σχήμα 7.182.** ΑΚ 4408. Περιοχή 1 μετά την εφαρμογή επιθέματος σεπίόλιθου για 30 λεπτά. Παρατήρηση στο στερεομικροσκόπιο



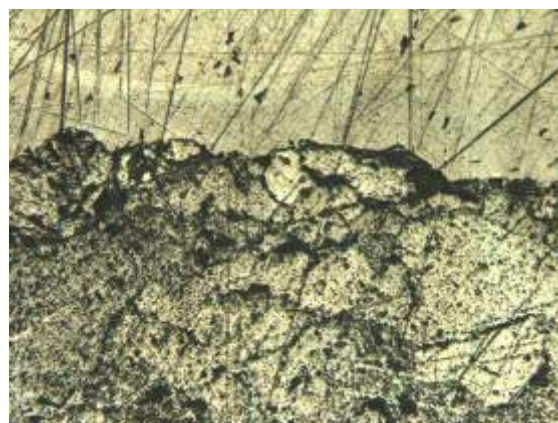
**Σχήμα 7.183.** ΑΚ 4408. Περιοχή 4 μετά την εφαρμογή επιθέματος τύπου Moga για 1 ώρα. Μακροσκοπική παρατήρηση.



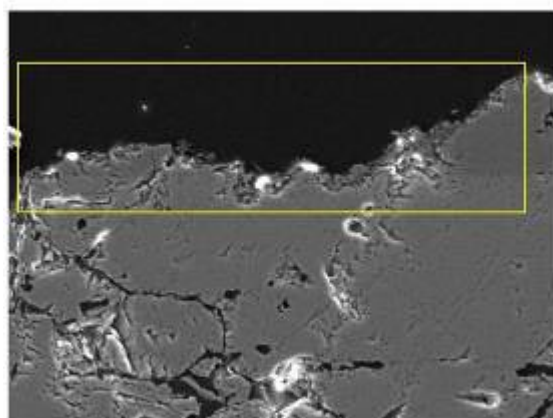
**Σχήμα 7.184.** ΑΚ 4408. Περιοχή 4 μετά την εφαρμογή επιθέματος τύπου Moga για 1 ώρα. Στερεοσκοπική παρατήρηση



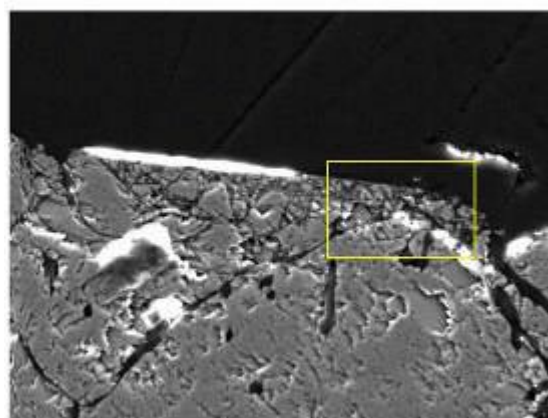
**Σχήμα 7.185.** ΑΚ 4408. Περιοχή 4 μετά την επέμβαση καθαρισμού. Οπτικό μικροσκόπιο X Nicols, x50



**Σχήμα 7.186.** ΑΚ 4408. Ίδια θέση // Nicols



**Σχήμα 7.187.** ΑΚ 4408. Περιοχή 4 μετά την επέμβαση καθαρισμού. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Παρατηρείται λεπτό στρώμα αποτελούμενο από πυρίτιο Si, αργίλιο Al και ασβέστιο Ca. Κλίμακα 100 μm



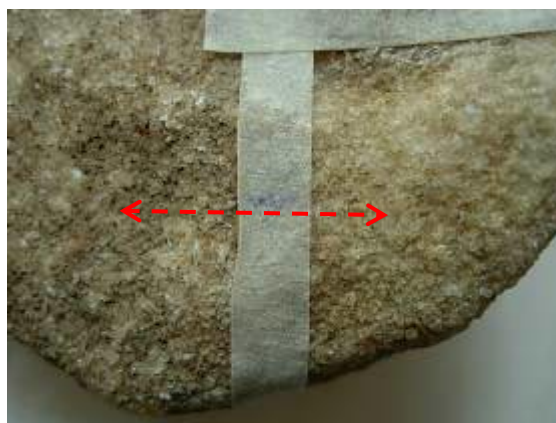
**Σχήμα 7.188.** ΑΚ 4408. Περιοχή 4 μετά την επέμβαση καθαρισμού. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Η ανάλυση έδειξε κυρίως ασβέστιο Ca. Κλίμακα 100μm

Σύνθετα χημικά επιθέματα εφαρμόστηκαν και στους εμποτισμούς φαιού χρώματος:

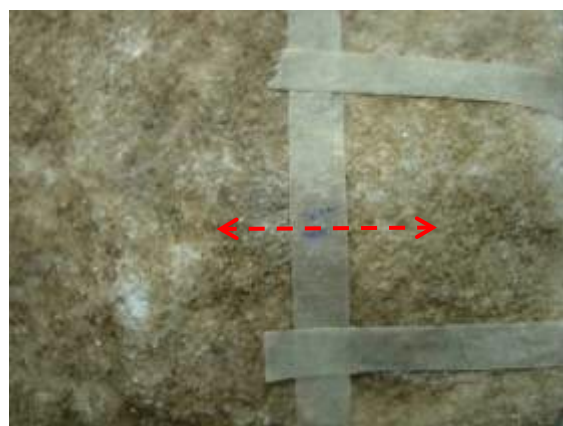
<b>Χαρακτηριστικά δοκιμών καθαρισμού με επιθέματα</b>		
Περιοχή επέμβασης καθαρισμού	Τύπος επιθέματος	Χρόνος δράσης
1	MORA	15 min
2	MORA	30 min
3	MORA	60 min



**Σχήμα 7.189.** ΑΚ 4224. Περιοχές δοκιμών καθαρισμού με επιθέματα



**Σχήμα 7.190.** ΑΚ 4224. Περιοχή 1 πριν (αριστερά) και μετά τον καθαρισμό (δεξιά)



**Σχήμα 7.191.** ΑΚ 4224. Περιοχή 2 πριν (αριστερά) και μετά τον καθαρισμό (δεξιά)



**Σχήμα 7.192.** ΑΚ 4224. Περιοχή 3 πριν (αριστερά) και μετά τον καθαρισμό (δεξιά)

Πραγματοποιήθηκαν επίσης δοκιμές καθαρισμού με σύνθετα χημικά επιθέματα και σε άλλο θραύσμα που με τις συνθήκες που φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

<b>Χαρακτηριστικά δοκιμών καθαρισμού με επιθέματα</b>		
Περιοχή επέμβασης καθαρισμού	Τύπος επιθέματος	Χρόνος δράσης
1	Πάστα MORA	15 min.
2	Πάστα MORA	30 min
3	Πάστα MORA	60 min



**Σχήμα 7.193.** ΑΚ 4427. Περιοχές εφαρμογής επιθέματος Mora.



**Σχήμα 7.194.** ΑΚ 4427. Περιοχές εφαρμογής επιθέματος Mora.



**Σχήμα 7.195.** ΑΚ 4427. Περιοχή 1 πριν τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.196.** ΑΚ 4427. Περιοχές 1, 2 και 3 μετά τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.197.** ΑΚ 4427. Περιοχή 2 πριν τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.198.** ΑΚ 4427. Περιοχή 2 μετά τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.199.** ΑΚ 4427. Περιοχή 3 πριν τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.200.** ΑΚ 4427. Περιοχή 3 μετά τον καθαρισμό



**Σχήμα 7.201.** ΑΚ 4427. Περιοχή 3 πριν τον καθαρισμό. Στερεοσκοπική παρατήρηση x12



**Σχήμα 7.202.** ΑΚ 4427. Περιοχή 3 μετά τον καθαρισμό. Στερεοσκοπική παρατήρηση x12

Η τεχνική έχει σχετικά ικανοποιητικά αποτελέσματα στους εμποτισμούς τεφρού χρώματος χωρίς ωστόσο να φτάνει σε ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Αφαιρούνται τα επιφανειακά στρώματα χωρίς να διαταράσσεται το υπόστρωμα αλλά ο καθαρισμός δεν προχωρά σε βάθος.

Στους εμποτισμούς φαιού χρώματος δεν επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα.

### 7.4.3. Δοκιμές καθαρισμού στο πεδίο

#### 7.4.3.1. Δοκιμές καθαρισμού με σύνθετα χημικά επιθέματα

Δοκιμάστηκαν επιθέματα σεπιολίθου με απιονισμένο νερό χωρίς όμως να έχουν κανένα αποτέλεσμα. Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν σύνθετα χημικά επιθέματα (Moga

modified, EDTA Plus και StoneLab<sup>3</sup>) για 45, 90, 135 min και 18 ώρες. Το επιφανειακό στρώμα των τεφρών αποθέσεων αφαιρέθηκε, χωρίς όμως ο καθαρισμός να φθάνει στο όριο που τέθηκε εξ' αρχής. Στις φαιές αποθέσεις το αποτέλεσμα δεν ήταν αρκετά ικανοποιητικό.



**Σχήμα 7.203.** ΑΚ. 196\_2182\_1680. Στο ενδιάμεσο θραύσμα διακρίνονται οι εμποτισμοί τεφρού χρώματος



**Σχήμα 7.204.** ΑΚ. 2028. Θραύσμα με ανάγλυφο με εμποτισμούς τεφρού χρώματος



**Σχήμα 7.205.** ΑΚ. 196\_2182\_1680. Εφαρμογή επιθέματος σεπίδλιθου και τύπου Moga



**Σχήμα 7.206.** ΑΚ. 196\_2182\_1680. Μετά την αφαίρεση των επιθεμάτων



**Σχήμα 7.207.** ΑΚ. 196\_2182\_1680. Θραύσμα 2182 πριν την εφαρμογή καθαρισμού



**Σχήμα 7.208.** ΑΚ. 196\_2182\_1680. Θραύσμα 2182 μετά την εφαρμογή διαδοχικών επιθεμάτων τύπου Moga. Αφαιρούνται μόνο επιφανειακές αποθέσεις ενώ ο καθαρισμός δεν προχωρά σε βάθος

<sup>3</sup> Βλ. Παράρτημα II: Συνθέσεις επιθεμάτων





**Σχήμα 7.209.** ΑΚ. 2025\_1425. Εφαρμογή σύνθετου χημικού επιθέματος.



**Σχήμα 7.210.** ΑΚ. 2025\_1425. Αφαίρεση του επιθέματος με απιονισμένο νερό.



**Σχήμα 7.211.** ΑΚ. 2025\_1425. Αφαίρεση του επιθέματος με τη χρήση πλαστικής σπάτουλας.



**Σχήμα 7.212.** ΑΚ. 2025\_1425. Αφαίρεση του επιθέματος με τη χρήση υδροβολέα.



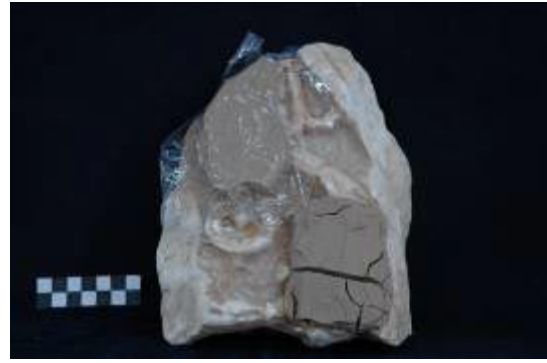
**Σχήμα 7.213.** ΑΚ. 2025\_1425. Αφαίρεση του επιθέματος με μαλακή βούρτσα.



**Σχήμα 7.214.** ΑΚ. 2025\_1425. Μετά τις δοκιμές καθαρισμού.



**Σχήμα 7.215.** AK 1346. Εφαρμογή επιθέματος EDTA και Moga σε δύο διαφορετικές περιοχές του θραύσματος.



**Σχήμα 7.216.** AK 2028. Εφαρμογή δύο σύνθετων χημικών επιθεμάτων.



**Σχήμα 7.217.** AK 2827. Εφαρμογή διαφορετικών επιθεμάτων στην επιφάνεια του θραύσματος



**Σχήμα 7.218.** AK 3623. Μετά τις δοκιμές καθαρισμού. Διακρίνεται στο μέσον το αποτέλεσμα του καθαρισμού.

#### 7.4.3.2. Δοκιμές καθαρισμού με τη χρήση χημικών διαλυμάτων

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού με τη χρήση υδατικών διαλυμάτων αμμωνίας ( $\text{NH}_3$  3-4%) και υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $\text{H}_2\text{O}_2$  3%). Η αμμωνία δεν είχε κανένα αποτέλεσμα ενώ το υπεροξείδιο του υδρογόνου είχε αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Με βάση το αποτέλεσμα αυτό, διατυπώθηκε η υπόθεση ότι ταυτόχρονα με τους εμποτισμούς εδαφικών συστατικών υπάρχουν και υπολείμματα βιολογικών παραγόντων (μικρο-οργανισμών). Η εφαρμογή έγινε με επίθεμα χαρτοπολτού για 15 min και ήπιο καθαρισμό της επιφάνειας, μετά την αφαίρεσή του, με μαλακό βουρτσάκι. Η επιφάνεια ξεπλύθηκε καλά με απιονισμένο νερό.



**Σχήμα 7.219.** AK 3295. Πριν τις δοκιμές καθαρισμού.



**Σχήμα 7.220.** AK 3295. Κατά την εφαρμογή χημικών επιθεμάτων με  $\text{NH}_3$  και  $\text{H}_2\text{O}_2$ .



**Σχήμα 7.221.** AK 3295. Αμέσως μετά την εφαρμογή των επιθεμάτων. Διακρίνεται ήδη το ικανοποιητικό αποτέλεσμα.



**Σχήμα 7.222.** AK 3295. Μετά τις δοκιμές καθαρισμού με την εφαρμογή χημικών επιθεμάτων. Το αποτέλεσμα κρίνεται ικανοποιητικό.

### 7.4.3.3. Δοκιμές καθαρισμού με ατμοβολή

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές καθαρισμού με την χρήση της ατμοβολής. Όλες οι δοκιμές έγιναν στο γλυπτό διάκοσμο. Γενικά τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ικανοποιητικά σε όλες τις επιφάνειες. (βλ. AK 3295, Σ2614, 1346, 2791, 3623) (βλ. AK 2419, 2559, 449 οπίσθια όψη, 3261). Ιδιαίτερος ικανοποιητικά ήταν τα αποτελέσματα σε ομοιόμορφες επιφάνειες τεφρού χρώματος (βλ. AK 3295, 2419). Σε επιφάνειες με έντονο ανάγλυφο η τεχνική δεν είναι απόλυτα ελεγχόμενη, με αποτέλεσμα να αφαιρείται η πάτινα των εξώγλυφων περιοχών και να παραμένουν οι αποθέσεις στις εσώγλυφες (βλ. AK 3285). Στο Σ2025+1425, οι τεφροί εμποτισμοί αφαιρέθηκαν (AK1425), όχι όμως οι φαιοί (AK2025). Η πλήρως ελεγχόμενη χρήση της συσκευής ατμοβολής (έλεγχος θερμοκρασίας και πίεσης ατμού) καθώς και η μικρότερη διατομή του ακροφύσιου αναμένεται να δώσει καλύτερα αποτελέσματα.



**Σχήμα 7.223.** ΑΚ. 2025\_1425. Δοκιμή καθαρισμού με τη χρήση ατμοβολής.



**Σχήμα 7.224.** ΑΚ. 2025\_1425. Δοκιμή καθαρισμού με τη χρήση ατμοβολής.



**Σχήμα 7.225.** ΑΚ. 2025\_1425. Το θραύσμα μετά τη χρήση της ατμοβολής.



**Σχήμα 7.226.** ΑΚ. 2025\_1425. Το θραύσμα μετά τη χρήση της ατμοβολής.



**Σχήμα 7.227.** ΑΚ 2419. Δοκιμή καθαρισμού με τη χρήση ατμοβολής. Διακρίνεται το αποτέλεσμα του καθαρισμού στη δεξιά πλευρά του θραύσματος.



**Σχήμα 7.228.** ΑΚ 2419. Δοκιμή καθαρισμού με τη χρήση ατμοβολής. Διακρίνεται το αποτέλεσμα του καθαρισμού. Λεπτομέρεια.



**Σχήμα 7.229.** ΑΚ 2419. Πριν τον καθαρισμό. Στερεοσκοπική παρατήρηση x6,7.



**Σχήμα 7.230.** ΑΚ 2419. Μετά τον καθαρισμό. Στερεοσκοπική παρατήρηση x6,7. Διακρίνεται το ικανοποιητικό αποτέλεσμα.



**Σχήμα 7.231.** ΑΚ 2559. Δοκιμή καθαρισμού με τη χρήση ατμοβολής. Διακρίνεται το αποτέλεσμα του καθαρισμού στη δεξιά πλευρά του θραύσματος.



**Σχήμα 7.232.** ΑΚ 1346. Δοκιμή καθαρισμού με τη χρήση ατμοβολής. Διακρίνεται το αποτέλεσμα του καθαρισμού στην άνω πλευρά του θραύσματος.



**Σχήμα 7.233.** ΑΚ 449. Δοκιμή καθαρισμού με τη χρήση ατμοβολής. Διακρίνεται το αποτέλεσμα του καθαρισμού στη δεξιά πλευρά του θραύσματος.



**Σχήμα 7.234.** ΑΚ 2614\_1398\_1765. Δοκιμή καθαρισμού με τη χρήση ατμοβολής. Διακρίνεται το αποτέλεσμα του καθαρισμού στη δεξιά πλευρά του θραύσματος.



**Σχήμα 7.235.** AK 449. Πριν τον καθαρισμό. Στερεοσκοπική παρατήρηση x6,7.



**Σχήμα 7.236.** AK 449. Μετά τον καθαρισμό. Στερεοσκοπική παρατήρηση x6,7.

Οι δοκιμές με ατμοβολή έγιναν στα ίδια θραύσματα στα οποία εφαρμόστηκε προηγουμένως το επίθεμα EDTA Plus και Stonelab για 18 ώρες. Η ατμοβολή δοκιμάστηκε και σε επιφάνεια που είχε προηγουμένως εφαρμοσθεί επίθεμα και σε επιφάνεια που δεν είχε. Το αποτέλεσμα ήταν κοινό. Άρα δεν απαιτείται η εφαρμογή επιθέματος πριν από την ατμοβολή (βλ. AK 3295).



**Σχήμα 7.237.** AK 3295. Πριν την δοκιμή καθαρισμού.



**Σχήμα 7.238.** AK 3295. Μετά την εφαρμογή επιθεμάτων H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.



**Σχήμα 7.239.** AK 3295. Κατά τη δοκιμή καθαρισμού με ατμοβολή.



**Σχήμα 7.240.** AK 3295. Μετά τη δοκιμή καθαρισμού με ατμοβολή.



**Σχήμα 7.241.** ΑΚ 3295. Στερεοσκοπική παρατήρηση x6,7. Μετά τον καθαρισμό με ατμοβολή. Δεξιά διακρίνεται η περιοχή στην οποία εφαρμόστηκε η δοκιμή.



**Σχήμα 7.242.** ΑΚ 3295. Μετά τη δοκιμή καθαρισμού με ατμοβολή. Διακρίνονται οι δύο περιοχές στις οποίες εφαρμόστηκαν οι δοκιμές καθώς και το αποτέλεσμα του καθαρισμού.

## **8. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ**

Τα αποτελέσματα από τις δοκιμές καθαρισμού που πραγματοποιήθηκαν σε εργαστηριακή και πιλοτική κλίμακα, συγκεντρώθηκαν και παρουσιάζονται ανά κατηγορία αποθέσεων. Η αποτίμηση της κάθε μεθόδου έγινε με βάση τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων και των μακροσκοπικών χαρακτηριστικών που απέκτησε η επιφάνεια των θραυσμάτων μετά τις δοκιμές καθαρισμού. Οι μέθοδοι στη συνέχεια χαρακτηρίστηκαν με βάση την εξής κλίμακα:

**1. Μέθοδος αποτελεσματική.** Ο καθαρισμός ήταν επιτυχής. Αφαιρούνται οι αποθέσεις χωρίς να διαταράσσεται το υπόστρωμα. Διατηρείται το στρώμα της πάτινας.

**2. Μέθοδος μερικώς αποτελεσματική.** Ισχύει μία από τις παρακάτω περιπτώσεις:

- Το πάχος των αποθέσεων μειώνεται αλλά ο καθαρισμός δεν επιτυγχάνεται πλήρως.
- Απαιτείται η εφαρμογή συμπληρωματικής μεθόδου.
- Μπορεί να εφαρμοσθεί σε ειδικές υπό-περιπτώσεις.

**3. Μέθοδος μη αποτελεσματική.** Ισχύει μία από τις παρακάτω περιπτώσεις:

- Ο καθαρισμός δεν επιτυγχάνεται και οι αποθέσεις δεν αφαιρούνται.
- Η μέθοδος δεν είναι ήπια ενώ προκαλείται φθορά στο υπόστρωμα.

### **8.1 Υπόστρωμα μάρμαρο με δενδριτικές αποθέσεις**

**Η μέθοδος της μικροψηγματοβολής** με οξείδιο αλουμινίου σε μικρή κοκκομετρία, αποκλείστηκε εξ' αρχής γιατί δεν είναι δυνατή η εφαρμογή της στις περιορισμένες θέσεις που εμφανίζεται το είδος αυτό των αποθέσεων.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Μη αποτελεσματική*

**Η μέθοδος των σύνθετων χημικών επιθεμάτων** με σεπιόλιθο, δεν έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Οι αποθέσεις δεν αφαιρούνται, μειώνεται όμως το πάχος τους. Τα αποτελέσματα ήταν καλά στις περιπτώσεις όπου μετά την εφαρμογή των επιθεμάτων έγινε χρήση του ξέστρου υπερήχων. Στις δοκιμές αυτές οι δενδριτικές αποθέσεις αφαιρέθηκαν σε μεγαλύτερο βαθμό.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Μερικώς αποτελεσματική*

**Η μέθοδος του ξέστρου υπερήχων** σε χαμηλή ένταση επάνω σε διαβρεγμένη επιφάνεια και με τη χρήση ιαπωνικού χαρτιού ως μέσο διαχωρισμού, επιτυγχάνει καθαρισμό, αφήνει όμως υπολείμματα στην επιφάνεια. Η χρήση του εν ξηρώ δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Μερικώς αποτελεσματική*



**Η μέθοδος της ατμοβολής** δεν είχε κανένα αποτέλεσμα στην αφαίρεση των αποθέσεων.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Μη αποτελεσματική*

**Η μέθοδος του laser (Q-switched Nd:YAG laser@1064nm)** είχε πολύ καλό αποτέλεσμα με βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας  $0,62 \text{ J/cm}^2$ , 10 Hz και με ποικίλο αριθμό παλμών. Το υπόστρωμα δεν διαταράσσεται ενώ ο χρόνος που απαιτείται για την απομάκρυνση των αποθέσεων είναι μικρός.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Αποτελεσματική*

**Η μέθοδος του laser (Spectron laser system SL805 Nd:YAG laser@1064nm)** είχε τα καλύτερα αποτελέσματα με βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας  $1,7 \text{ J/cm}^2$ , διάρκεια παλμών 10 ns και με ποικίλο αριθμό παλμών. Το υπόστρωμα δεν διαταράσσεται ενώ ο χρόνος που απαιτείται για την απομάκρυνση των αποθέσεων είναι μικρός.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Αποτελεσματική*

## 8.2 Υπόστρωμα μάρμαρο με συνεκτικές αποθέσεις (κρούστες)

**Η μέθοδος της μικροψηγματοβολής** με οξείδιο αλουμινίου σε μικρή κοκκομετρία, δεν έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η επιφάνεια του υποστρώματος εμφανίζεται αδρή ενώ είναι πιθανό να προκληθεί φθορά στο υπόστρωμα σε περιοχές όπου η κρούστα παρουσιάζει μικρότερο πάχος.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Μη αποτελεσματική*

**Η μέθοδος των σύνθετων χημικών επιθεμάτων** με σεπιόλιθο, δεν απέδωσε καλά αποτελέσματα. Αν και οι χρόνοι που εφαρμόστηκαν ήταν αρκετά μεγάλοι, οι κρούστες δεν αφαιρέθηκαν αλλά και δεν μειώθηκε το πάχος τους.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Μη αποτελεσματική*

**Η μέθοδος του ξέστρου υπερήχων** σε χαμηλή ένταση επάνω σε διαβρεγμένη επιφάνεια και με τη χρήση ιαπωνικού χαρτιού ως μέσο διαχωρισμού, αφαιρεί σε ικανοποιητικό βαθμό τις κρούστες με αργιλοπυριτική σύσταση και μειώνει το πάχος των ασβεστιτικών.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Μερικώς αποτελεσματική*

**Η μέθοδος της ατμοβολής** δεν είχε κανένα αποτέλεσμα στην αφαίρεση των συνεκτικών αποθέσεων.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Μη αποτελεσματική*

**Η μέθοδος του laser (Q-switched Nd:YAG laser@1064nm)** είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα με βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας  $1,43 \text{ J/cm}^2$ , 10 Hz και με ποικίλο αριθμό παλμών. Μετά την εφαρμογή τους όμως παραμένουν υπολείμματα στην επιφάνεια του υποστρώματος και στις δύο περιπτώσεις αναγνωρισμένων συνεκτικών αποθέσεων, τα οποία όμως μπορούν να αφαιρεθούν με την τοπική χρήση του ξέστρου υπερήχων.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Μερικώς αποτελεσματική*

**Η μέθοδος του laser (Spectron laser system SL805 Nd:YAG laser@1064nm)** είναι η πιο αποτελεσματική από όλες τις μεθόδους που δοκιμάστηκαν. Οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας είναι  $3,8 \text{ J/cm}^2$ , διάρκεια παλμών 10 ns και με ποικίλο αριθμό παλμών. Το υπόστρωμα δεν διαταράσσεται ενώ η κρούστα απομακρύνεται χωρίς να παραμένουν σημειακά υπολείμματα. Απαιτείται προσοχή κατά την εφαρμογή του, γιατί η υψηλή ενέργεια λειτουργίας μπορεί να διαταράξει το υπόστρωμα στην περίπτωση όπου ο χειριστής επιμένει σε συγκεκριμένη περιοχή.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Αποτελεσματική*

### 8.3 Υπόστρωμα μάρμαρο με χαλαρές αποθέσεις και εμποτισμούς

**Η μέθοδος της μικροψηματοβολής** με οξείδιο αλουμινίου σε μικρή κοκκομετρία, αποκλείστηκε εξ' αρχής αφού οι εμποτισμοί δεν δημιουργούν επιφανειακό στρώμα. Η χρήση της μπορεί να προκαλέσει φθορά στο υπόστρωμα.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Μη αποτελεσματική*

**Η μέθοδος των σύνθετων χημικών επιθεμάτων** με σεπίολιθο, δεν επιτυγχάνει ικανοποιητικό καθαρισμό. Πραγματοποιήθηκαν όμως δοκιμές με επιθέματα υπεροξειδίου του υδρογόνου και αμμωνίας με χαρτοπολτό οι οποίες έδωσαν πολύ καλά αποτελέσματα. Το επίθεμα με υπεροξείδιο του υδρογόνου στις τεφρές επιφάνειες έχει ιδιαίτερος καλό αποτέλεσμα.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Αποτελεσματική*

**Η μέθοδος του ξέστρου υπερήχων** σε χαμηλή ένταση επάνω σε διαβρεγμένη επιφάνεια και με τη χρήση ιαπωνικού χαρτιού ως μέσο διαχωρισμού αποκλείστηκε εξ' αρχής για τους ίδιους λόγους που αποκλείστηκε και η χρήση της μικροψηματοβολής.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Μη αποτελεσματική*

**Η μέθοδος της ατμοβολής** είχε καλό αποτέλεσμα σε επίπεδες επιφάνειες χωρίς ή με μικρό ανάγλυφο. Οι εμποτισμοί απομακρύνονται χωρίς να διαταράσσεται το υπόστρωμα. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στις ανάγλυφες επιφάνειες όπου τα υψηλότερα σημεία δέχονται μεγαλύτερη ποσότητα ατμού με αποτέλεσμα τον ανομοιόμορφο καθαρισμό. Το μειονέκτημα αυτό μπορεί να εξλειφθεί με τη χρήση συσκευής στην οποία ελέγχεται η πίεση και η θερμοκρασία του ατμού.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Μερικώς αποτελεσματική*

**Η μέθοδος του laser (Q-switched Nd:YAG laser@1064nm)** είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα με συνθήκες λειτουργίας  $1,43 \text{ J/cm}^2$ , 10 Hz και με ποικίλο αριθμό παλμών. Οι εμποτισμοί αφαιρούνται πλήρως, χωρίς να διαταράσσεται το στρώμα της πάτινας και η επιφάνεια του υποστρώματος.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Αποτελεσματική*

**Η μέθοδος του laser (Spectron laser system SL805 Nd:YAG laser@1064nm)** είναι η πιο αποτελεσματική με βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας  $2,8 \text{ J/cm}^2$ , διάρκεια παλμών 10 ns και με ποικίλο αριθμό παλμών. Το υπόστρωμα δεν διαταράσσεται ενώ η κρούστα απομακρύνεται.

*Χαρακτηρισμός μεθόδου: Αποτελεσματική*

#### 8.4 Γενικές παρατηρήσεις

Από τη σύγκριση των μεθόδων προκύπτουν οι εξής γενικές παρατηρήσεις:

- Η επιφάνεια του μαρμάρου μετά τον καθαρισμό με τη μικροψηγματοβολή εμφανίζεται πιο αδρή.
- Σύμφωνα με το βαθμό ελέγχου των μεθόδων καθαρισμού αυτές κατατάσσονται ως εξής: laser, ξέστρο υπερήχων, μικροψηγματοβολή, ατμοβολή, σύνθετα χημικά επιθέματα.
- Από τη σύγκριση των χρόνων καθαρισμού, οι μέθοδοι των επιθεμάτων και του ξέστρου υπερήχων είναι οι βραδύτερες.
- Η συνδυασμένη εφαρμογή των μεθόδων καθαρισμού που εξετάστηκαν σχετίζεται άμεσα με την μορφή των αποθέσεων στο υπόστρωμα.
- Το ενδιαφέρον του καθαρισμού βρίσκεται στις ανάγλυφες επιφάνειες και ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην εφαρμογή των μεθόδων ώστε το αποτέλεσμα του καθαρισμού να είναι ομοιόμορφο σε όλη την επιφάνεια.
- Αν και η επιφάνεια αναφοράς καθορίστηκε με βάση το πάχος των αποθέσεων, οι τελευταίες παρουσιάζουν έντονη διαφοροποίηση των χρωματικών χαρακτηριστικών τους. Για το λόγο αυτό, είναι πιθανόν να μην μπορεί να επιτευχθεί πλήρως η χρωματική ομοιομορφία συνόλων τα οποία αποτελούνται από θραύσματα που παρουσιάζουν διαφορετικό είδος αποθέσεων.
- Όλες οι μέθοδοι καθαρισμού απαιτούν εξοπλισμό ατομικής προστασίας

## 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Από τις δοκιμές καθαρισμού που πραγματοποιήθηκαν σε όλα τα είδη αποθέσεων που αναγνωρίστηκαν, προτείνεται η χρήση του ξέστρου υπερήχων, των χημικών επιθεμάτων, της ατμοβολής και των laser.

### Για την αφαίρεση των δενδριτικών αποθέσεων:

Για τον καθαρισμό των θραυσμάτων από τους δενδριτικούς σχηματισμούς προτείνεται η χρήση του laser (Spectron laser system SL805 Nd:YAG laser@1064nm). Με το laser μπορεί ο χειριστής να εστιάσει αποκλειστικά και μόνον στις αποθέσεις περιορίζοντας την δράση της μεθόδου στα σημεία ενδιαφέροντος. Εάν μάλιστα συνεκτιμηθεί το γεγονός ότι το είδος των αποθέσεων έχει τυχαίο και ακανόνιστο σχήμα, η συγκεκριμένη μέθοδος έχει το πλεονέκτημα του επιλεκτικού καθαρισμού χωρίς τον κίνδυνο διατάραξης της παρακείμενης επιφάνειας. Εναλλακτικά, προτείνεται ο συνδυασμός του ξέστρου υπερήχων και των σύνθετων χημικών επιθεμάτων. Η απόδοση του laser καθώς και η ποιότητα του καθαρισμού είναι υψηλότερες από αυτές της προτεινόμενης εναλλακτικής μεθόδου.

Συγκεκριμένα:

- Σύμφωνα με τις εργαστηριακές δοκιμές, οι συνθήκες λειτουργίας του laser (Spectron laser system SL805 Nd:YAG laser@1064nm) που επιτρέπουν τον καθαρισμό των δενδριτικών αποθέσεων είναι Fluence  $1,7 \text{ J/cm}^2$ , διάρκεια παλμών 10 ns και με ποικίλο αριθμό παλμών σε διαβρεγμένη επιφάνεια.
- Στην περίπτωση που εφαρμοσθεί η εναλλακτική προτεινόμενη τεχνική, η διαδικασία που θα πρέπει να ακολουθηθεί είναι:
  - Διαβροχή της επιφάνειας με ατμό σε χαμηλή πίεση και χρήση του ξέστρου με πλατιά ακίδα, επάνω σε διπλό στρώμα ιαπωνικού χαρτιού. Η ένταση της δόνησης του ξέστρου υπερήχων θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2, σε κλίμακα 1-10.
  - Εφαρμογή επιθέματος EDTA 5% w/v για 1-2 ώρες, αναλόγως με την κατάσταση της επιφάνειας των θραυσμάτων και εν συνεχεία ξέπλυμα με άφθονο απιονισμένο νερό.
  - Επανάληψη της διαδικασίας καθαρισμού με το ξέστρο και τέλος,
  - Ξέπλυμα με άφθονο απιονισμένο νερό και τρίψιμο με τρίχινο, σκληρό πινέλο.
  - Κατά την χρήση του ξέστρου υπερήχων δεν θα πρέπει να επιδιώκεται η ολική αφαίρεση της δενδριτικής κρούστας άμεσα, αλλά η σταδιακή μείωση του πάχους της. Γενικά προτείνεται η χρήση μεγεθυντικού φακού ή μικροσκοπίου για τον καλύτερο έλεγχο της επέμβασης.

Η χρήση της δέσμης laser, όπως και του ξέστρου υπερήχων, απαιτεί εμπειρία από τον χειριστή, ιδιαίτερη προσοχή κατά την εφαρμογή και προστασία των εκτεθειμένων επιφανειών του υποστρώματος ώστε να μην προκαλείται φθορά σε αυτές.

### **Για την αφαίρεση των συνεκτικών αποθέσεων (κρούστες):**

Προτείνεται η χρήση του laser (Spectron laser system SL805 Nd:YAG laser@1064nm). Το είδος των αποθέσεων καθώς και το μεταβαλλόμενο πάχος τους καθιστούν τη μέθοδο του laser απόλυτα ικανοποιητική, εφόσον οι κρούστες αφαιρούνται χωρίς να διαταράσσεται το υπόστρωμα ενώ ο έλεγχος κατά την απομάκρυνση της κρούστας είναι επαρκής. Οι συνεκτικές αποθέσεις αφαιρούνται, μειώνοντας σταδιακά το πάχος τους οπότε εξαλείφεται ο κίνδυνος να προκληθεί φθορά στην επιφάνεια του μαρμάρου. Υπολείμματα των αποθέσεων μπορούν να απομακρυνθούν με τοπική εφαρμογή του laser και τη χρήση μεγεθυντικού φακού ή μικροσκοπίου. Η μέθοδος καθίσταται ιδανική στις περιπτώσεις όπου η επιφάνεια φέρει γλυπτό διάκοσμο και η ανάγκη για τη σταδιακή απομείωση των αποθέσεων είναι υψηλή. Εναλλακτικά, προτείνεται η εφαρμογή του ξέστρου υπερήχων. Η απόδοση του laser καθώς και η ποιότητα του καθαρισμού είναι υψηλότερες από αυτές της προτεινόμενης εναλλακτικής μεθόδου.

Συγκεκριμένα:

- Σύμφωνα με τις εργαστηριακές δοκιμές, οι συνθήκες λειτουργίας του laser (Spectron laser system SL805 Nd:YAG laser@1064nm) που επιτρέπουν τον καθαρισμό των συνεκτικών αποθέσεων είναι Fluence 3,8 J/cm<sup>2</sup>, διάρκεια παλμών 10ns και με ποικίλο αριθμό παλμών σε διαβρεγμένη επιφάνεια.
- Στην περίπτωση που εφαρμοσθεί το ξέστρο υπερήχων, η διαδικασία που θα πρέπει να ακολουθηθεί είναι όμοια με αυτή που περιγράφηκε για την αφαίρεση των δενδριτικών αποθέσεων. Οι αργιλοπυριτικής σύστασης κρούστες αφαιρούνται ικανοποιητικά με το ξέστρο υπερήχων, ενώ οι ασβεστιτικής σύστασης απαιτούν μεγάλη προσοχή και χρόνο.

Γενικά, οι ασβεστιτικές κρούστες είναι ιδιαίτερα σκληρές και παρουσιάζουν μεγάλη συνάφεια με το υπόστρωμα, γεγονός που δυσχεραίνει την αφαίρεσή τους. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να εκτιμηθεί επί τόπου και η προοπτική της μη αφαίρεσής τους σε ιδιαίτερες περιπτώσεις θραυσμάτων.

### **Για την αφαίρεση των χαλαρών αποθέσεων και των εμποτισμών:**

Για τον καθαρισμό των θραυσμάτων από τις χαλαρές αποθέσεις και τους εμποτισμούς προτείνεται η χρήση της ατμοβολής και των χημικών επιθεμάτων. Εναλλακτικά, προτείνεται η χρήση του laser, το οποίο όμως έδωσε εξίσου ικανοποιητικά αποτελέσματα

Συγκεκριμένα:

- Στις επίπεδες επιφάνειες ή επιφάνειες με μικρό ανάγλυφο, προτείνεται η χρήση συσκευής νέφωσης ατμού με ελεγχόμενη ρύθμιση πίεσης και θερμοκρασίας του ατμού και δυνατότητας επιλογής διατομής του ακροφυσίου. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στις ανάγλυφες επιφάνειες όπου τα υψηλότερα σημεία δέχονται μεγαλύτερη ποσότητα ατμού.

- Στις επιφάνειες με έντονο ανάγλυφο (πχ πτυχώσεις υφασμάτων) προτείνεται η τοπική εφαρμογή ροφητικών επιθεμάτων με υπεροξειδίο του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) 5% v/v για 20-30 min και εν συνεχεία ξέπλυμα με άφθονο απιονισμένο νερό. Η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί έως 2 φορές, με απαραίτητο έλεγχο της διαδικασίας κατά την εφαρμογή. Αναλόγως με την αρχική κατάσταση της επιφάνειας των θραυσμάτων, προτείνεται στο τελικό στάδιο η εφαρμογή ροφητικού επιθέματος EDTA 5% w/v για 3-24 ώρες, και εν συνεχεία ξέπλυμα με άφθονο απιονισμένο νερό.
- Η εφαρμογή του laser (Spectron laser system SL805 Nd:YAG laser@1064nm) με βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας  $2,8 J/cm^2$ , διάρκεια παλμών 10 ns και με ποικίλο αριθμό παλμών σε διαβρεγμένη επιφάνεια, έδωσε, επίσης, ικανοποιητικά αποτελέσματα. Όμως, η μεγάλη επιφάνεια των αποθέσεων - εμποτισμών σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος της μεθόδου καθιστούν την εφαρμογή του laser στη συγκεκριμένη περίπτωση, μη συμφέρουσα.

## 10. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΩΝ ΘΡΑΥΣΜΑΤΩΝ

Για τη συγκόλληση των θραυσμάτων προτείνεται η τεχνική που έχει καθιερωθεί με τις εργασίες συντηρήσεως των λίθων στα μνημεία της Ακρόπολης των Αθηνών (Κορρές κ.α., 1989, Φραντζή κ.α., 2008). Η τεχνική αυτή συνίσταται στη χρήση πολτού λευκού τσιμέντου Portland, με χαμηλή περιεκτικότητα θεικών, και ενίσχυση με τυφλές καρφίδες τιτανίου. Είναι, ουσιαστικά η ίδια μέθοδος που εφαρμόζεται και για τη συγκόλληση μεγάλων τεμαχίων. Στην περίπτωσή μας χρησιμοποιούνται, ανάλογα με το μέγεθος των προς συγκόλληση θραυσμάτων, καρφίδες διαμέτρου 2, 4 και 6 mm με εγκάρσιες εγκοπές ή σπείρωμα. Αφού ολοκληρωθεί η συγκόλληση με πίεση και συνεχή διατήρηση της υγρασίας, οι ρωγμές σφραγίζονται εξωτερικά με κονίαμα τσιμέντου – ασβεστιτικής άμμου, αναλογίας περίπου 1:5, με την προσθήκη, όπου κρίνεται απαραίτητο, της κατάλληλης ανόργανης χρωστικής.

Η εφαρμογή του τσιμέντου ως συγκολλητικού προτείνεται λόγω της ικανοποιητικής πρόσφυσης του στο μάρμαρο και της σχετικά μεγάλης φυσικο-μηχανικής (πορώδες, μηχανική αντοχή) συμβατότητάς του προς αυτό (Skoulikidis, 1972; Zambas et al. 1986). Παράλληλα, δεν έχει διαπιστωθεί η πρόκληση οιασδήποτε αλλοίωσης στα μάρμαρα από τη μακροχρόνια χρήση του στα μνημεία, ενώ ικανοποιεί σε σημαντικό βαθμό και το κριτήριο της αντιστρεπτότητας, σε αντίθεση με τη χρήση π.χ. οργανικών ρητινών που κρίνονται ακατάλληλες. Τέλος, επειδή το ίδιο το τσιμέντο είναι ανθεκτικό στην όξινη προσβολή και η συγκεκριμένη εφαρμογή δεν θέτει ιδιαίτερες απαιτήσεις ως προς απειλή αυτή, προτείνεται η χρήση θραυστής ασβεστιτικής άμμου στο κονίαμα σφράγισης. Ειδικά για τη συγκόλληση πολύ μικρών και ασθενών θραυσμάτων προτείνεται η χρήση αραιότερου τσιμεντοπολτού (Κορρές κ.α., 1989) στον οποίο μέρος του τσιμέντου θα μπορούσε να αντικατασταθεί με παιπάλη μαρμάρου (μέχρι 20%).

### Μεθοδολογία συγκόλλησης των θραυσμάτων:

- Καθαρισμός των επιφανειών θραύσης και απομάκρυνση των χαλαρών υλικών και των υπολειμμάτων μικροοργανισμών με νερό, υπεροξείδιο του υδρογόνου και λιθοξοϊκά και οδοντιατρικά εργαλεία.
- Διάνοιξη αντικριστών οπών για την τοποθέτηση καρφίδων τιτανίου, με περιστρεφόμενο αδαμαντοφόρο τρυπάνι. Οι οπές θα πρέπει να έχουν διάμετρο 2 mm μεγαλύτερη από την καρφίδα.
- Δοκιμαστική προσαρμογή των θραυσμάτων εν ξηρώ.
- Διαβροχή των επιφανειών προς συγκόλληση.
- Τοποθέτηση των καρφίδων (Η επιλογή της διατομής γίνεται εμπειρικά γι' αυτού του είδους τις επεμβάσεις και καθορίζεται από το μέγεθος και την κατάσταση των θραυσμάτων).
- Τοποθέτηση του πολτού στην επιφάνεια με πάχος 0,5-1 mm με προσοχή ώστε να γεμίζουν τα κενά.
- Συγκράτηση των θραυσμάτων στην θέση τους με άσκηση πίεσης.
- Αφαίρεση της περίσσειας του πολτού συγκόλλησης και σχολαστικό πλύσιμο των λίθινων επιφανειών με καθαρό νερό.
- Μετά την παρέλευση 2-3 ωρών (διάστημα που απαιτείται για να τραβήξει το κονίαμα) κάλυψη του λίθου με υγρό χαρτοβάμβακα και μεμβράνη πολυαιθυλενίου.

- Συντήρηση του κονιάματος για 28 ημέρες με συνεχή διατήρηση της υγρασίας, με ιδιαίτερη προσοχή στα πρώτα 24ωρα. Το στάδιο αυτό είναι εξαιρετικά κρίσιμο για την ωρίμανση του κονιάματος και την ανθεκτικότητά του στο χρόνο.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Θεουλάκης, Π. *Ναός Επικουρίου Απόλλωνος Βασσών: Η Συντήρηση των λίθων*. ΥΠ.ΠΟ.
- Θεουλάκης, Π. *Μελέτη στερέωσης και αποκατάστασης αρχαίου θεάτρου Δωδώνης, Προμελέτη αποκατάστασης των κερκίδων Κ1 και Κ2 της Α' ζώνης, Η συντήρηση των λίθων*. 2006.
- Παπακωνσταντίνου, Ε., Φραντζικινάκη Κ., Πουλή, Π., Ζαφειρόπουλος, Β. *Μελέτη αποκαταστάσεως του Παρθενώνος, Τόμος 7: Μελέτη καθαρισμού της δυτικής ζωφόρου*. ΥΠ.ΠΟ. 2002.
- Κορρές, Ν.Μ., Τογανίδης, Ν., Ζάμπας, Κ., Σκουλικίδης, Θ. κ.ά., *Μελέτη Αποκαταστάσεως του Παρθενώνος, Τόμος 2<sup>α</sup>*, Αθήνα 1989.
- Φραντζή Γ., Πάνου, Α., Τσιμερέκη, Α., Φραντζικινάκη, Κ., 2008. *Η συντήρηση της επιφάνειας στα μνημεία της Ακρόπολης*. Λίθος – Ημερίδα Συντήρησης, Αρχαιολογικό Μουσείο Θεσσαλονίκης.
- Andrew, C. et al, *Stone Cleaning: A Guide for Practitioners* Masonry Conservation Research Group, The Robert Gordon University, Aberdeen, The Robert Gordon University and Historic Scotland, 1994.
- Andrew, C. et al, *Stone Cleaning in Scotland*, 3 volumes with Research Summary and Literature Review, Historic Scotland and the Robert Gordon Institute of Technology, 1992.
- Ashurst, N., *Cleaning Historic Buildings, Volumes 1 and 2* Donhead, London, 1994.
- Ashurst, J. and Dimes, F.G., *Conservation of Building and Decorative Stone*, 2 volumes, Butterworth-Heinemann, 1990.
- Bowley, M.J., *Desalination of stone: a case study*, Building Research Station, April 1975.
- British Standards Institution BS 6270: Code of practice for cleaning and surface repair of buildings, Part 1* BSI, London, 1982. At the time of writing, this is being updated significantly by the BSI.
- British Standards Institution, BS 8221-1:2000 and BS 8221-2:2000, Code of practice for cleaning and surface repair of buildings; Part 1 Cleaning of natural stones, brick, and terracotta. BSI, London 2000.
- Cooper, M.I., Emmony, D.C., and Larson, J.H. *Characterization of laser cleaning of limestone*, *Optics and Laser Technology*, 27 (1), 1995, pp69-73.

- Cooper, M.I., and Larson, J.H. *The use of laser cleaning to preserve patina on marble sculpture*, *The Conservator*, 20, 1996.
- Moncrieff, A., and Weaver, G. *Science for Conservators Book 2: Cleaning*. Conservation Unit/Routledge 1987.
- Research Commission investigation: *Cleaning of Granite Buildings* (Report and Literature Review, Masonry Conservation Research Group, The Robert Gordon University), Historic Scotland, Edinburgh 1995.
- Research Commission investigation: *Biological Growths, Biocide Treatment, Soiling and Decay of Sandstone Buildings and Monuments in Scotland* (Report and Literature Review, Masonry Conservation Research Group, The Robert Gordon University). Historic Scotland, Edinburgh 1995.
- Skoulikidis, T. 1<sup>st</sup> International Symposium on the Deterioration and Protection of Building Stones, La Rochelle (France), 1972.
- Society for the Protection of Ancient Buildings (SPAB), *Technical Pamphlet 4: Cleaning Brick and Stone*, SPAB, London, 1994.
- Technical Advice Note 9: *Stone Cleaning Granite Buildings*. Historic Scotland, Edinburgh 1997.
- Technical Advice Note 10: *Biological Growths on Sandstone Buildings: Control and Treatment*. Historic Scotland, Edinburgh 1997.
- Torraca, G. *Solubility and solvents for conservation problems*. ICCROM, Rome 1978.
- Verges-Belmin, V., Pichot, C., and Oriol, G. *Elimination des croûtes noires sur marbre et craie; a quel niveau arrêter le nettoyage? Conservation of Stone and other Materials*, Thiel, MJ (ed), Proceedings of the International RILEM/UNESCO Congress, Paris 29 June - 1 July 1993 pp534-541.
- Weaver, M.E., and Matero, F.G. *Conserving Buildings: A Guide to Techniques and Materials* John Wiley, New York, 1993.
- Webster, R.G.M. *Stone Cleaning and the Nature, Soiling and Decay Mechanisms of Stone* Donhead, London, 1992.
- Woolfitt, C. *Lime Method Evaluation in English Heritage Research Transactions, Research and Case Studies in Architectural Conservation*, vol 2, Stone, James and James, London, 2000.
- Zambas, C., M. Ioannidou, A. Papanikolaou, IIC International Congress, Bologna, 1986, Proceedings pp. 138-141.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι . ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ**

### **Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης – Μικροαναλυτής ακτίνων Χ (SEM-EDX)**

JEOL JSM-5310  
Αναλυτής OXFORD-LINK Pentafet 6587  
Ένταση ρεύματος  $6 \times 10^{-10}$  A  
Χρόνος συσσώρευσης 300-100sec  
Επιταχυνόμενη τάση 20 kV

*Εργαστήριο Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης  
Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων & Έργων Τέχνης  
ΑΤΕΙ Αθήνας*

### **Οπτική Μικροσκοπία**

Πετρογραφικό μικροσκόπιο διερχόμενου και ανακλώμενου φωτός  
Leica DMLD 50x-400x  
Κάμερα Color View IIIu Soft Imaging System  
Λογισμικό: AnalySIS get IT

Στερεομικροσκόπιο  
Olympus 5261 10x-180x  
Κάμερα Sony ExWaveHAD  
Λογισμικό PVR PLUS

*Εργαστήριο Συντήρησης Λίθου  
Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων & Έργων Τέχνης  
ΑΤΕΙ Αθήνας*

### **Αναλώσιμα, μικροεξοπλισμός**

Αγωγιμόμετρο HI 8733- «HANNA INSTRUMENTS»  
PH-μετρο «METTLER TOLEDO»  
Strip tests και test-kits by Merck  
Οργανικοί διαλύτες  
Γυάλινα και πλαστικά σκεύη εργαστηρίων  
Μικροεργαλεία χειρός  
Dremel  
Δίσκοι κοπής λίθων  
Αναλώσιμα

### **Συσκευές laser**

Q-switched Nd:YAG (ElEn)

Laser system SL805 Nd:YAG (Spectron)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ . ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΘΕΜΑΤΩΝ

### **Mora**

H <sub>2</sub> O	100 ml
EDTA	2,5g
NaHCO <sub>3</sub>	6,0g
NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	6,0g
Desogen	1,0 ml

### **Mora modified**

H <sub>2</sub> O	100 ml
EDTA	2,5g
NaHCO <sub>3</sub>	2,0g
NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	4,0g
Desogen	1,0 ml

### **EDTA plus**

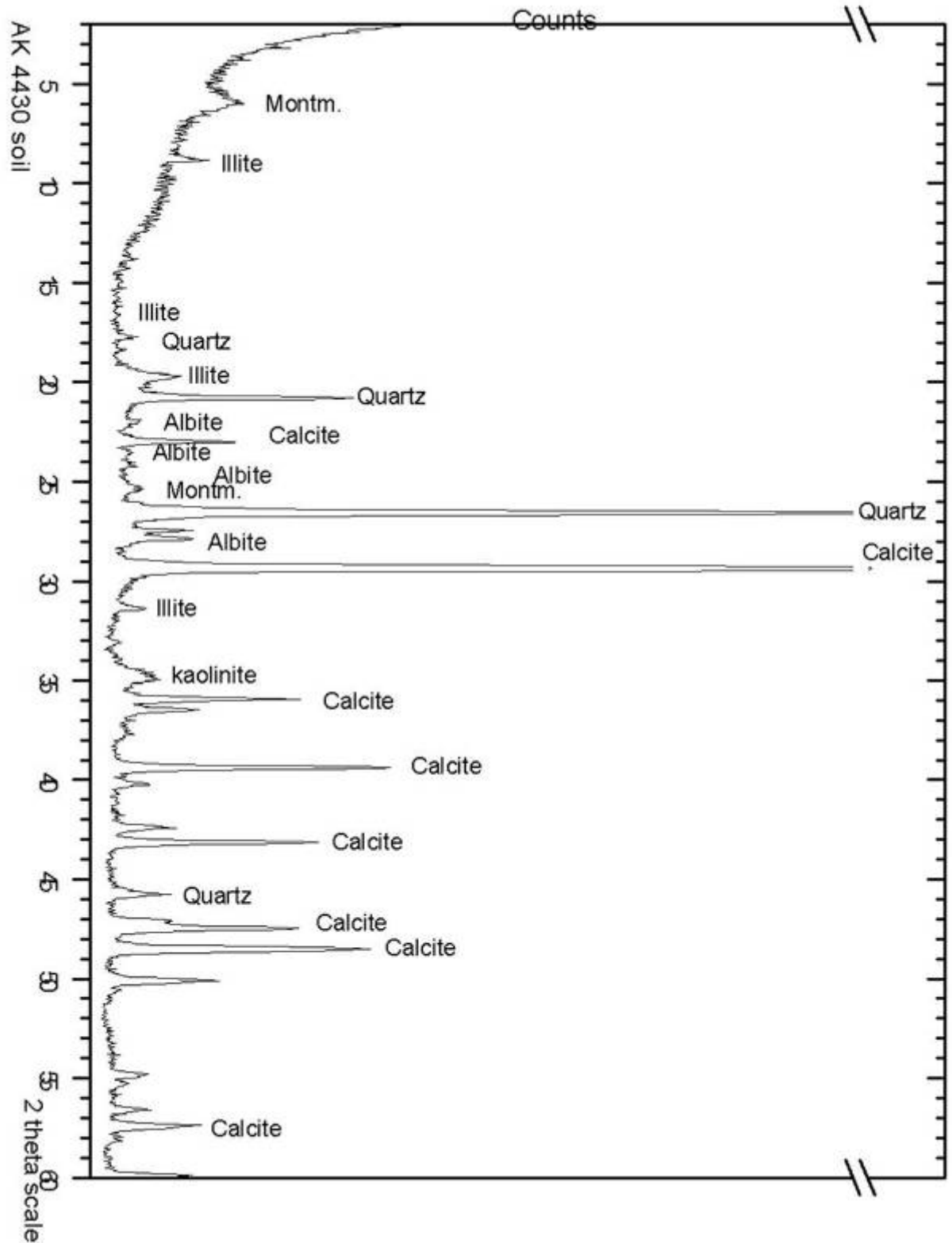
H <sub>2</sub> O	100 ml
EDTA	7,0g
NaHCO <sub>3</sub>	3,0g
NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	3,0g
Desogen	2,5 ml

### **StoneLab**

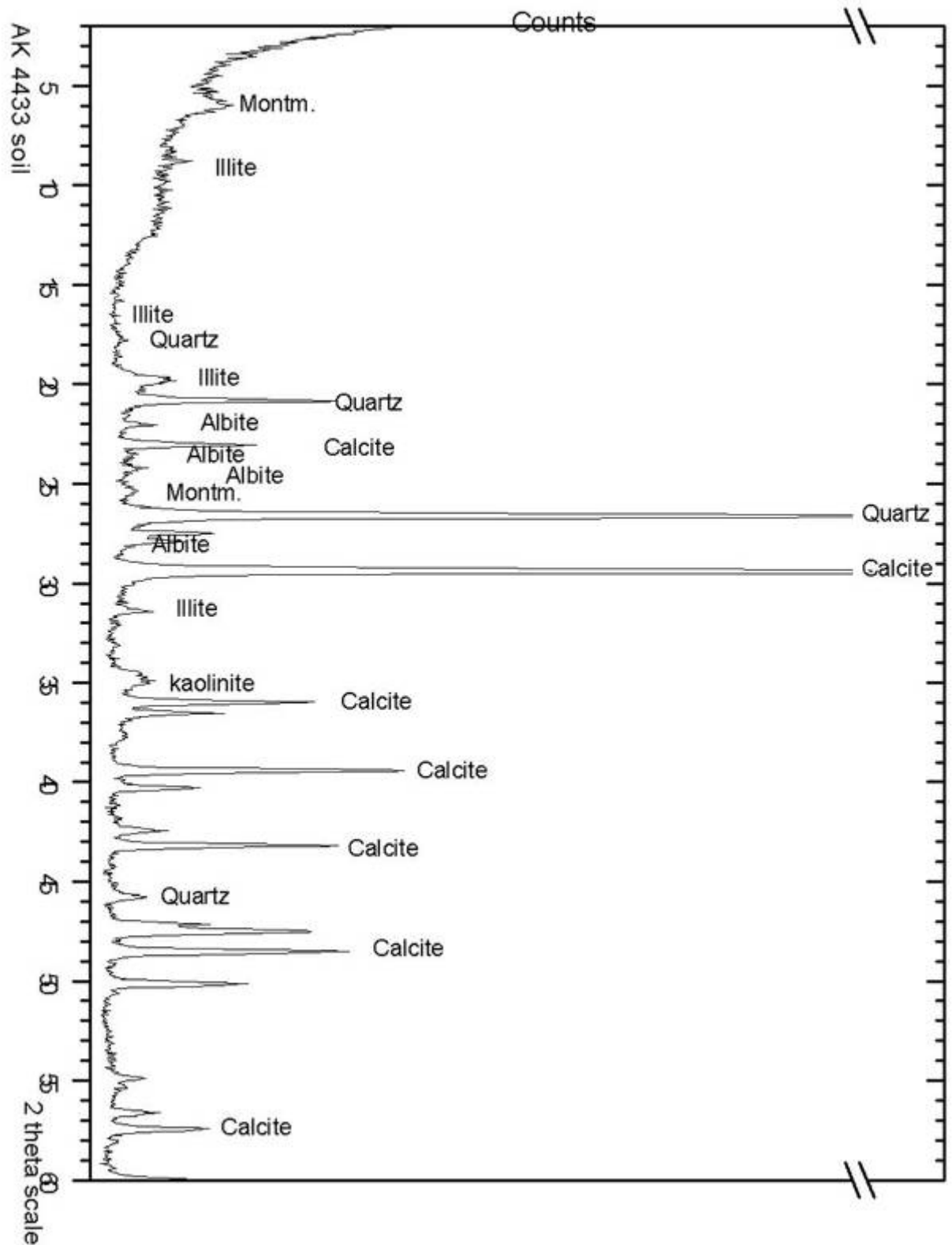
H <sub>2</sub> O	100 ml
EDTA	6,0g
NaHCO <sub>3</sub>	2,0g
NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	10,0g
Desogen	6,0 ml

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ . ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

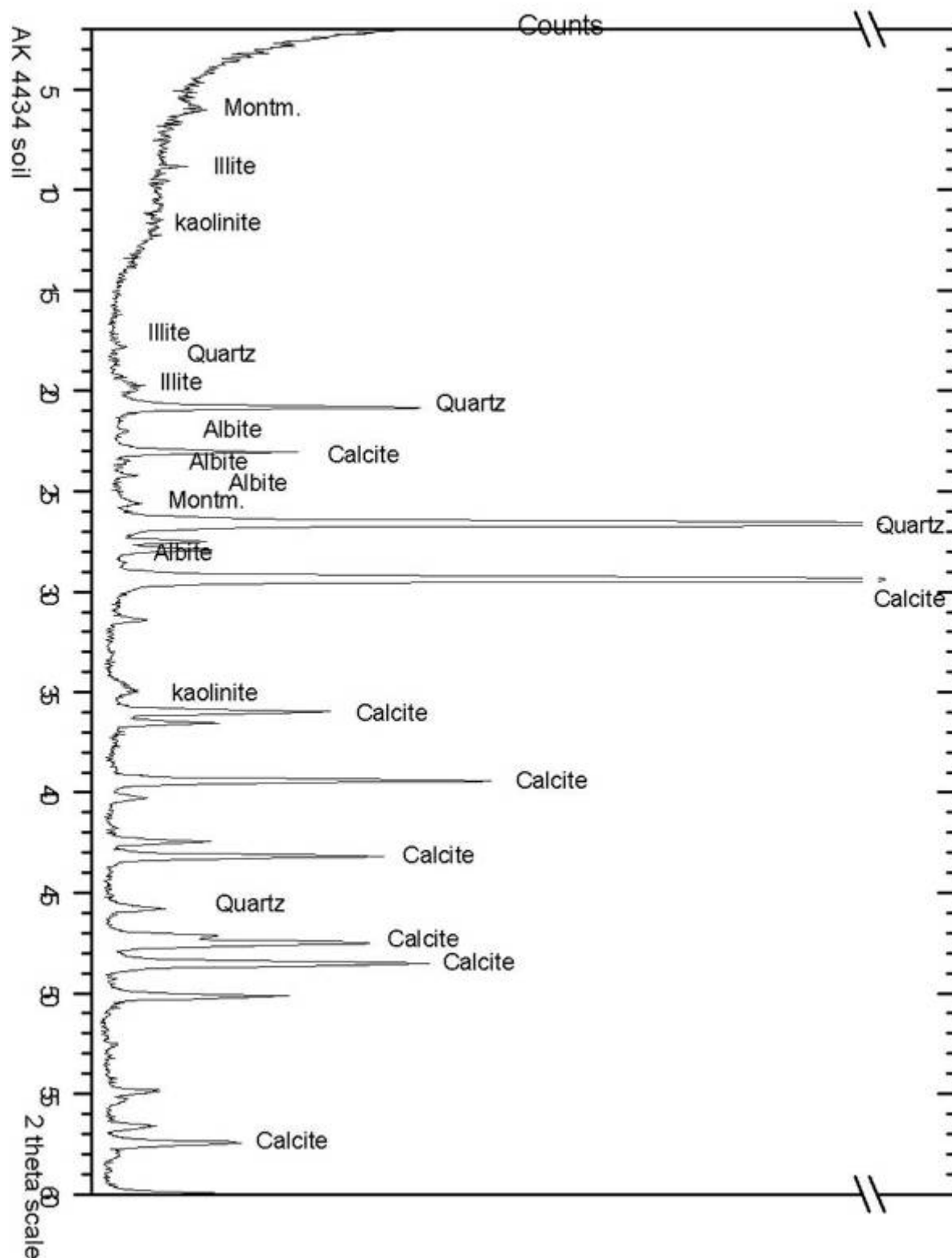
Ακτινοδιαγράμματα XRD σε δείγματα εδαφικού υλικού



Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD). Δείγμα χώματος. AK 4430. Διακρίνονται τα αργιλικά ορυκτά Μοντομυλονίτης ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), Ιλλίτης ( $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) και Καολινίτης ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) καθώς επίσης Ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ), Χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ) και Άστριοι (Αλβίτης κά)

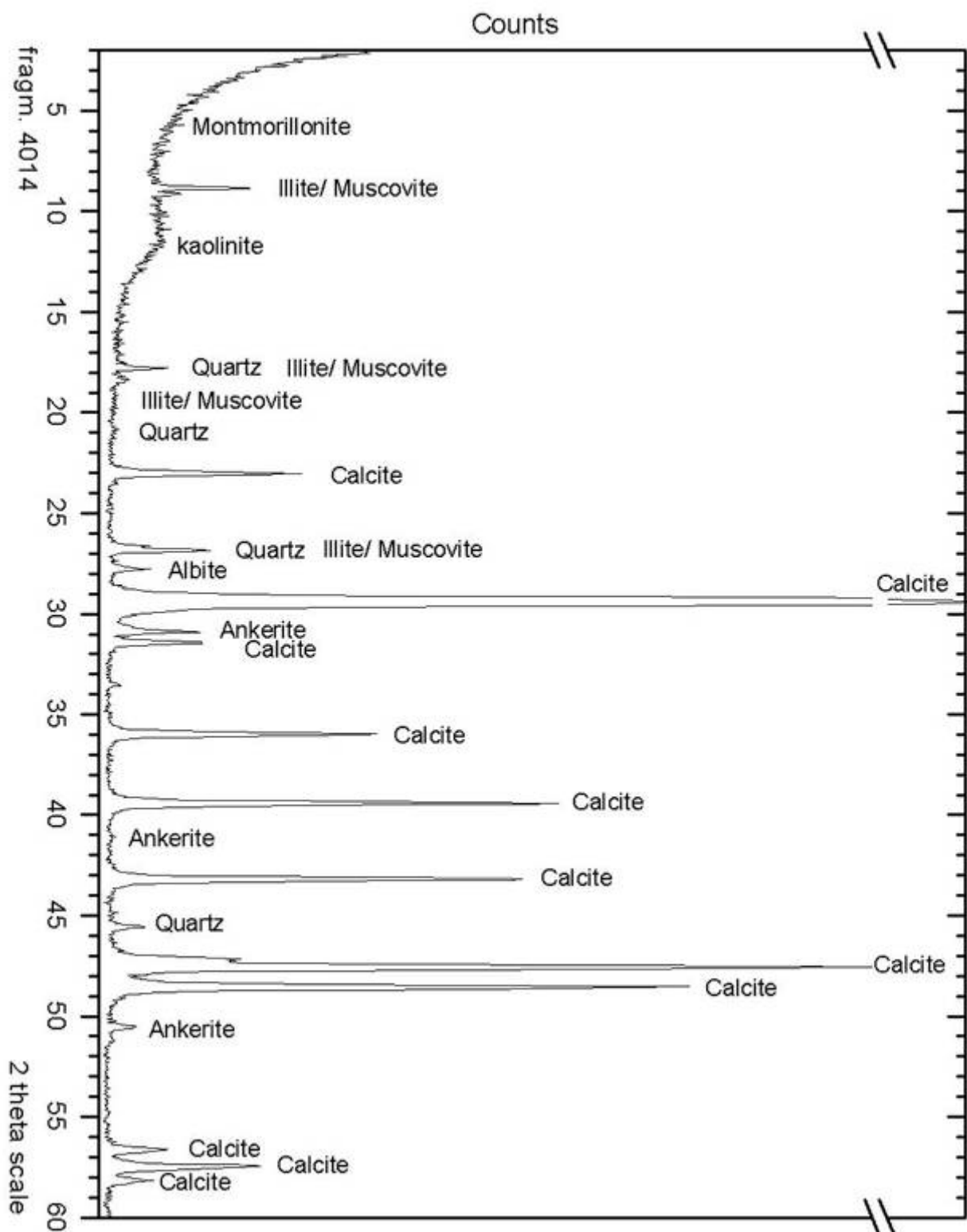


Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Δείγμα χώματος. AK 4433. Διακρίνονται τα αργιλικά ορυκτά Μοντμοριλονίτης ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), Ιλλίτης ( $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) και Καολινίτης ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) καθώς επίσης Ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ), Χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ) και Ασβίτης (Alβίτης κά)



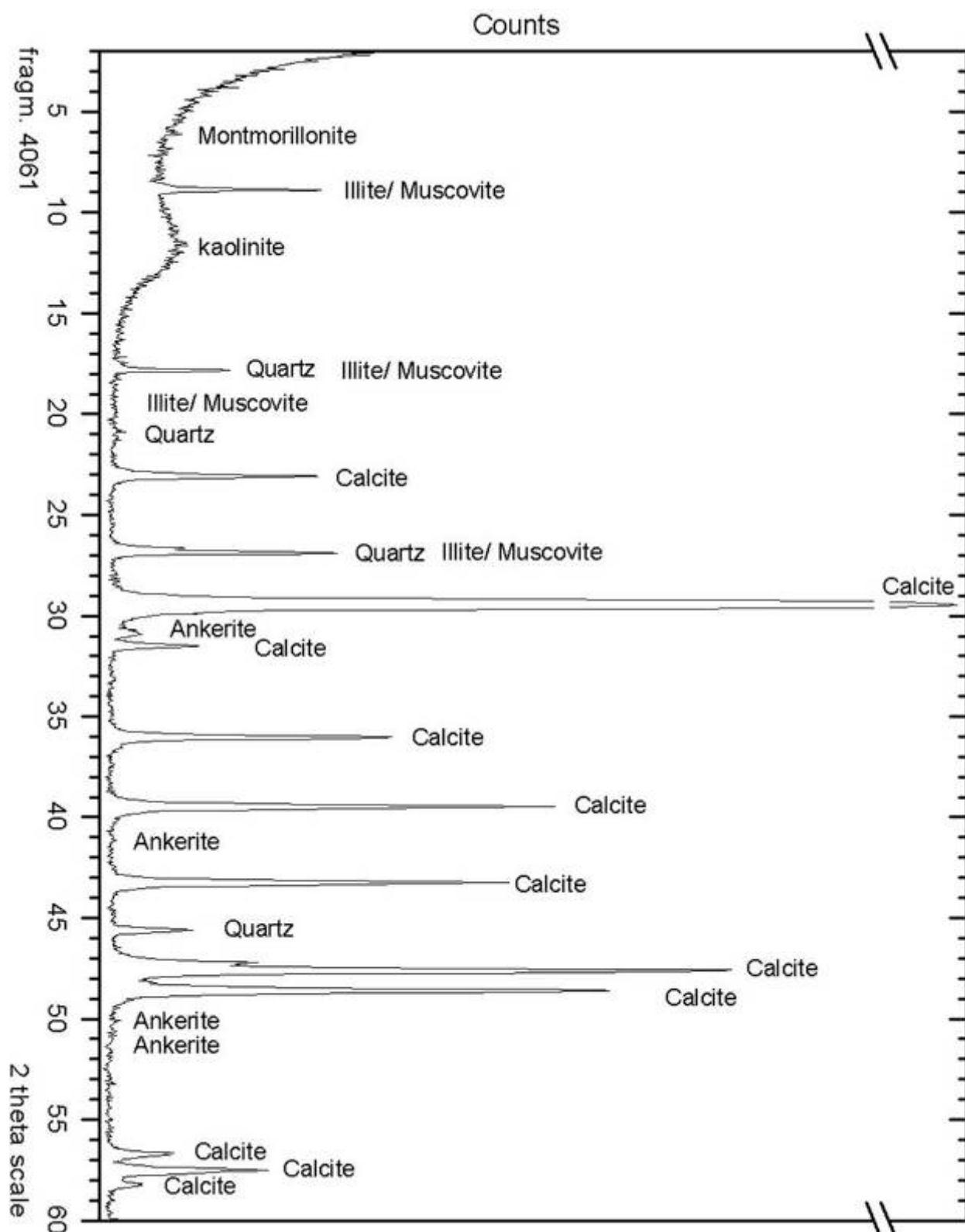
Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Δείγμα χώματος. AK 4434. Διακρίνονται τα αργιλικά ορυκτά Μοντομυλονίτης ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), Ιλλίτης ( $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) και Καολινίτης ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) καθώς επίσης Ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ), Χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ) και Αστριοί (Αλβίτης κά)

Ακτινοδιαγράμματα XRD σε δείγματα λίθου

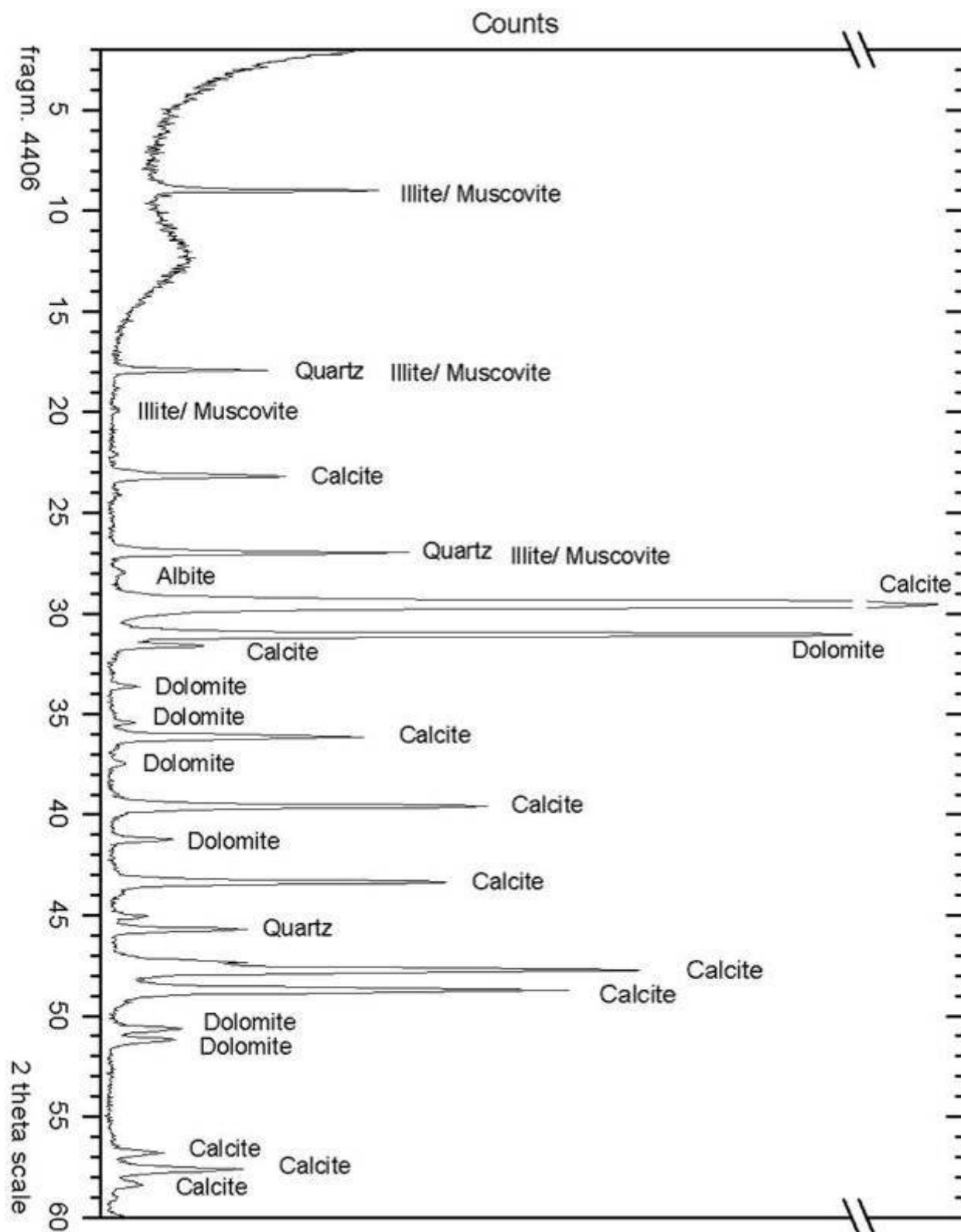


Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Δείγμα λίθου. AK 4014. Διακρίνονται τα ορυκτά Ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ), Χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ), Μοσχοβίτης ( $\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ ) και Ανκερίτης ( $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$ ). Τα αργλικά ορυκτά αφορούν σε αποθέσεις στην επιφάνεια του μαρμάρου

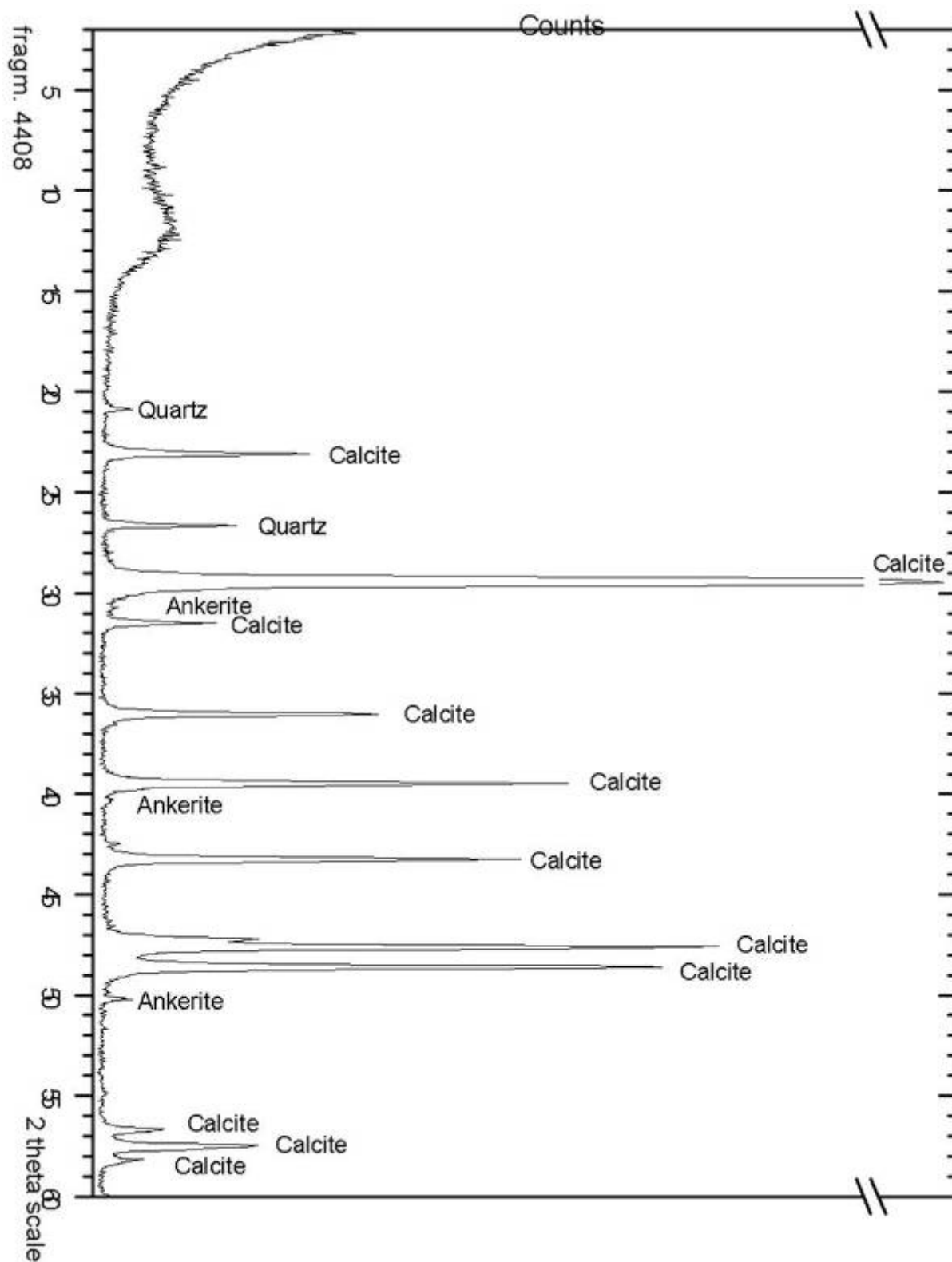




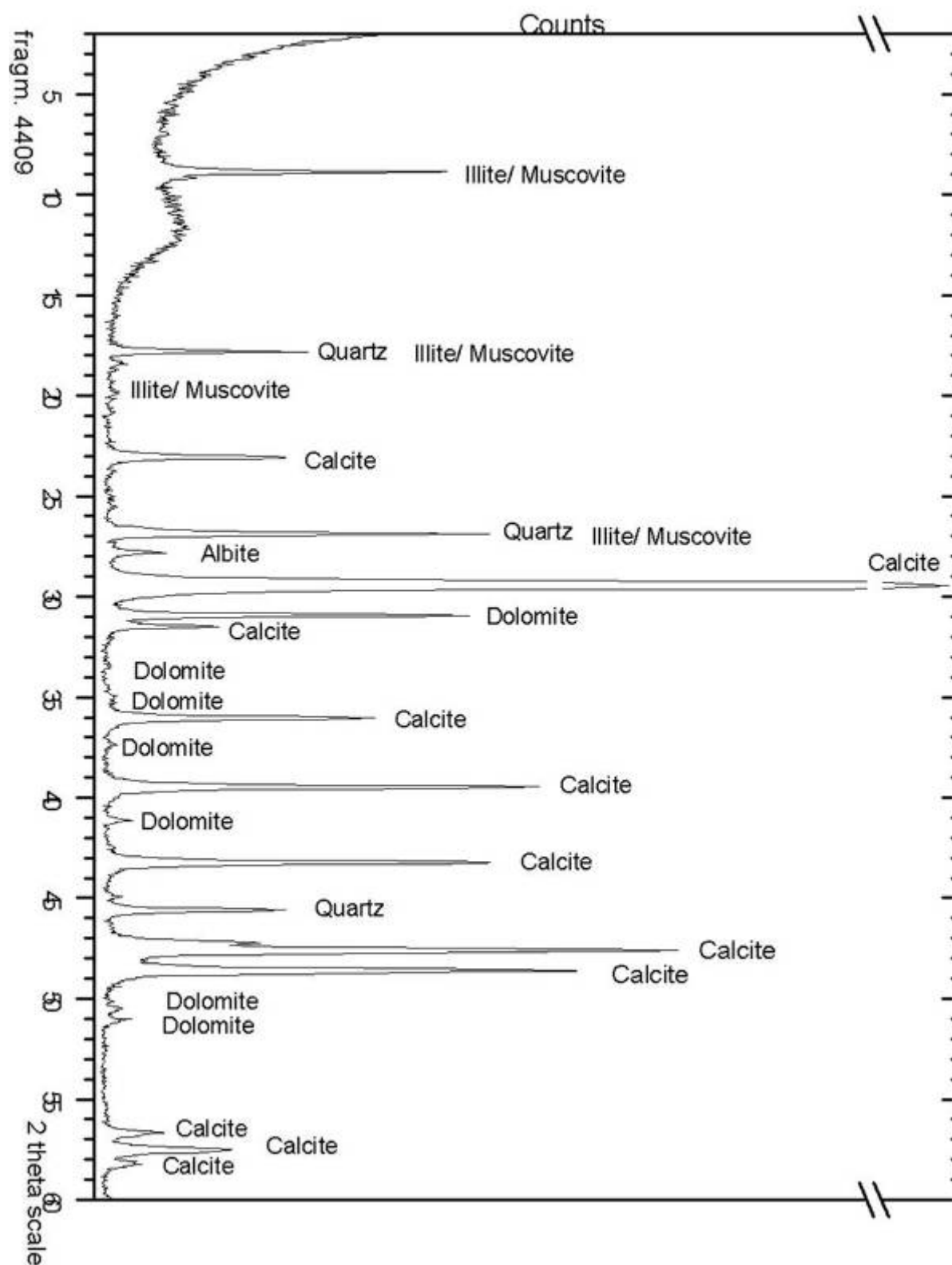
Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Δείγμα λίθου. AK 4061. Διακρίνονται τα ορυκτά Ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ), Χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ), Μοσχοβίτης ( $\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ ) και Ανκερίτης ( $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$ ). Τα αργιλικά ορυκτά αφορούν στο εδαφικό υλικό – αποθέσεις στην επιφάνεια του μαρμάρου



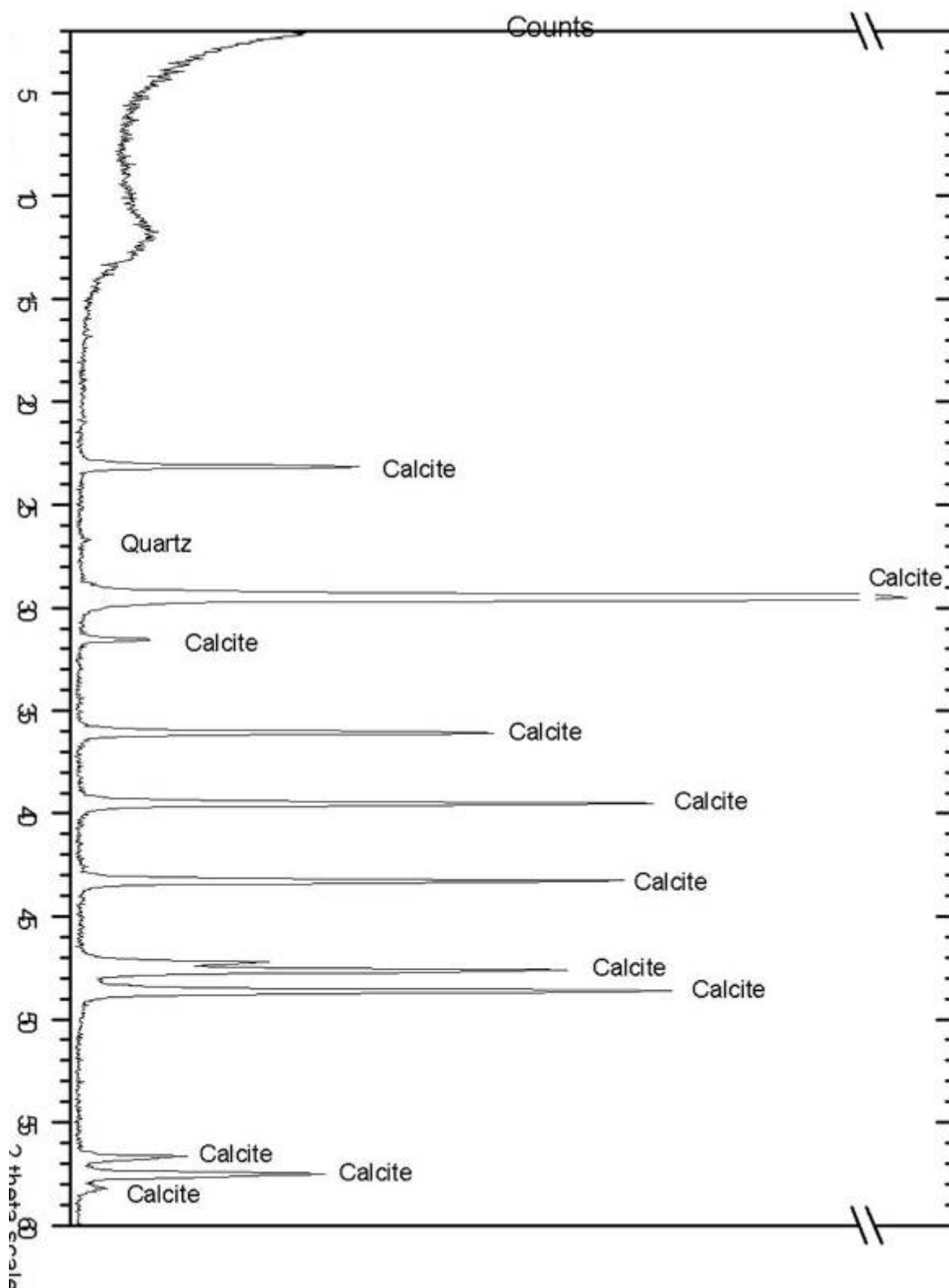
Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Δείγμα λίθου. AK 4406. Διακρίνονται τα ορυκτά Ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ), Δολομίτης ( $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$ ), Χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ) και Μοσχοβίτης ( $\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ ). Τα αργιλικά ορυκτά αφορούν στο εδαφικό υλικό – αποθέσεις στην επιφάνεια του μαρμάρου



Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Δείγμα λίθου. ΑΚ 4408. Διακρίνονται τα ορυκτά Ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ), Χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ) και Ανκερίτης ( $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$ ).

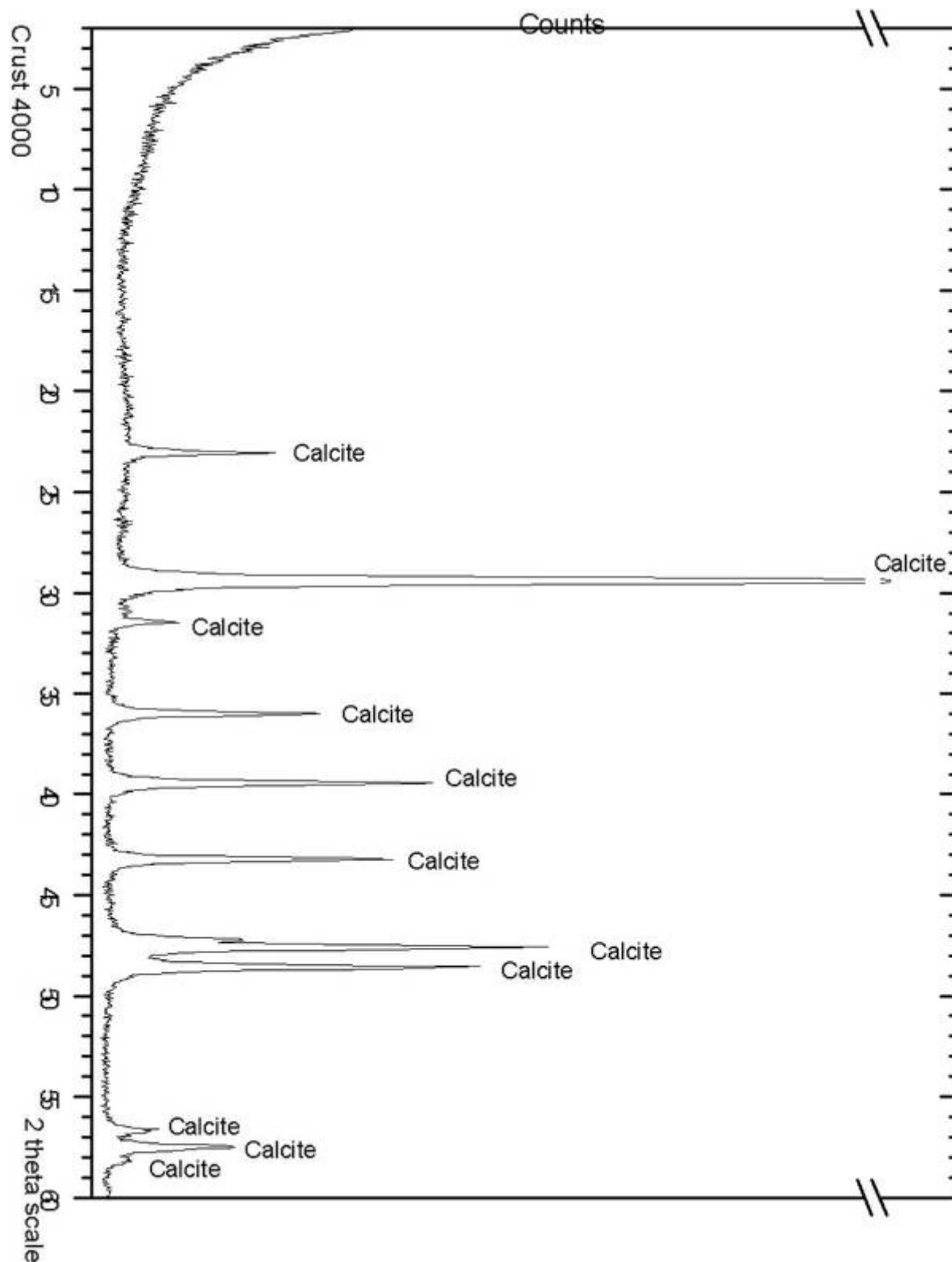


Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Δείγμα λίθου. AK 4409. Διακρίνονται τα ορυκτά Ασβεστίτης (CaCO<sub>3</sub>), Δολομίτης (CaCO<sub>3</sub>.MgCO<sub>3</sub>), Χαλαζίας (SiO<sub>2</sub>) και Μοσχοβίτης (Al<sub>2</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH,F)<sub>2</sub>).

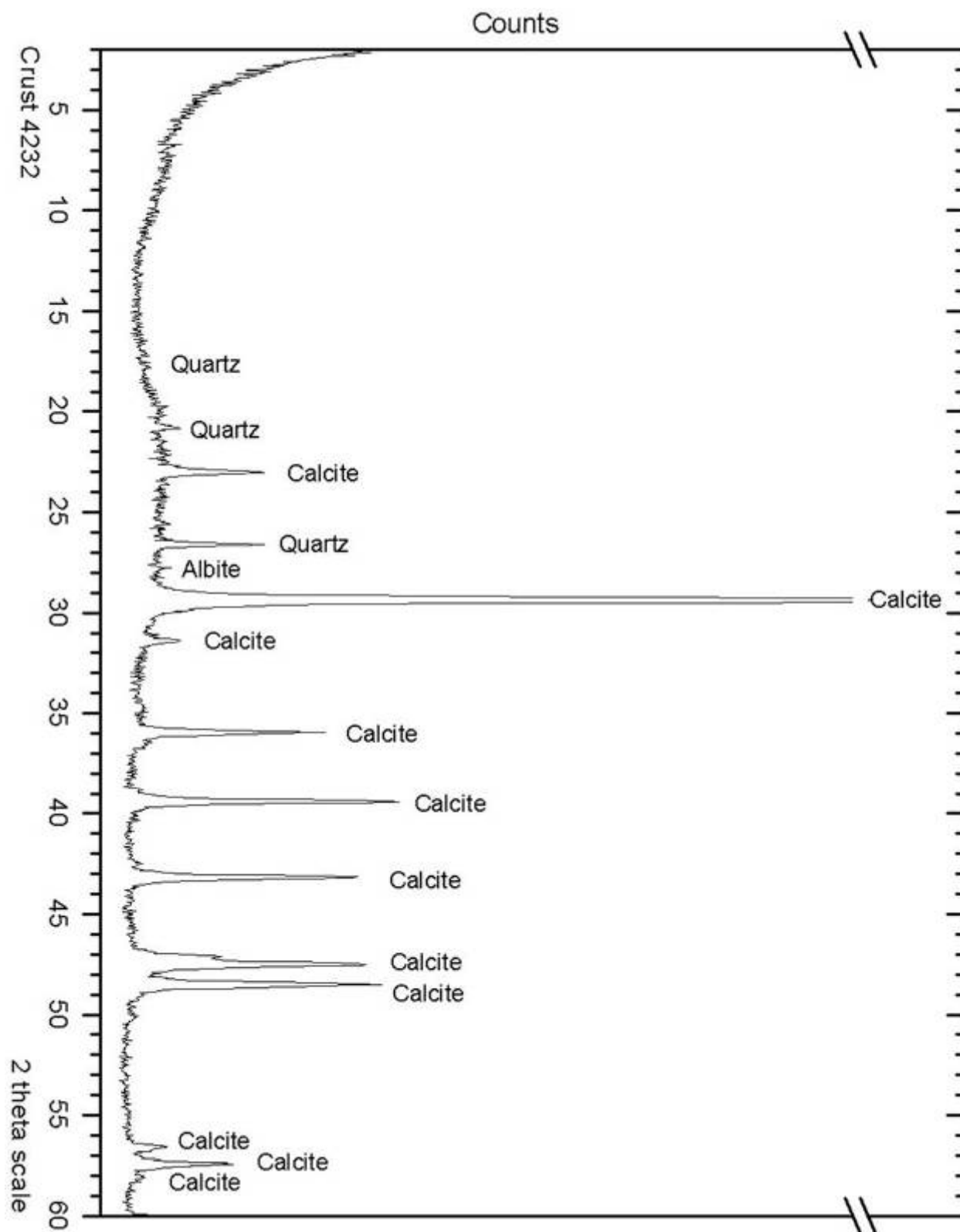


Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Δείγμα λίθου. ΑΚ 3945. Διακρίνεται το ορυκτό Ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ) και χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ) σε μικρό ποσοστό. Πρόκειται για λίθο ανθρακικής σύστασης από τον οποίο είναι κατασκευασμένα αρχιτεκτονικά μέλη

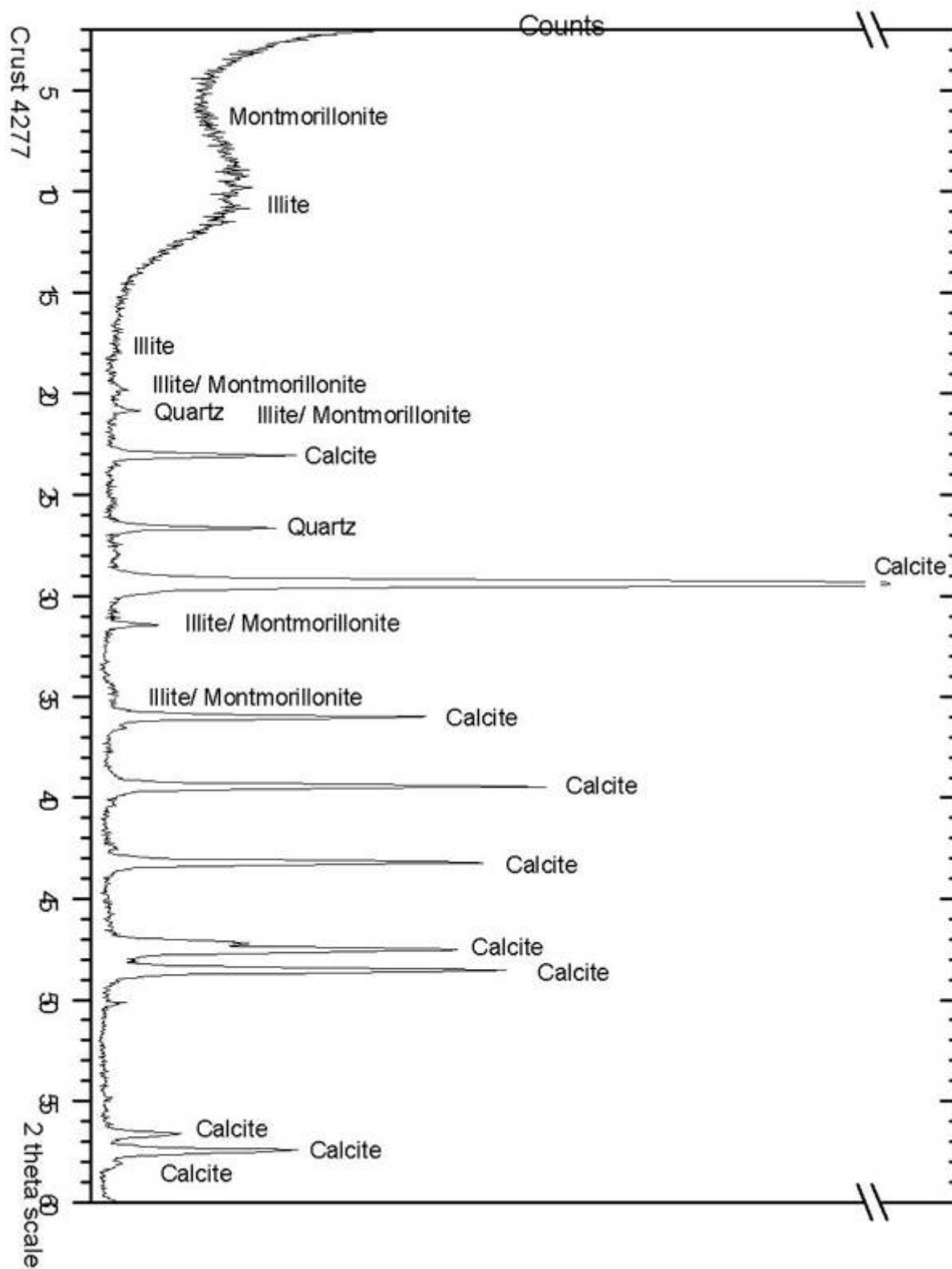
Ακτινοδιαγράμματα XRD σε αποθέσεις στην επιφάνεια του μαρμάρου



Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Δείγμα αποθέσεων. AK 4000. Πρόκειται για σκληρή κρούστα ασβεστιτικής σύστασης. Διακρίνεται το ορυκτό Ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ )

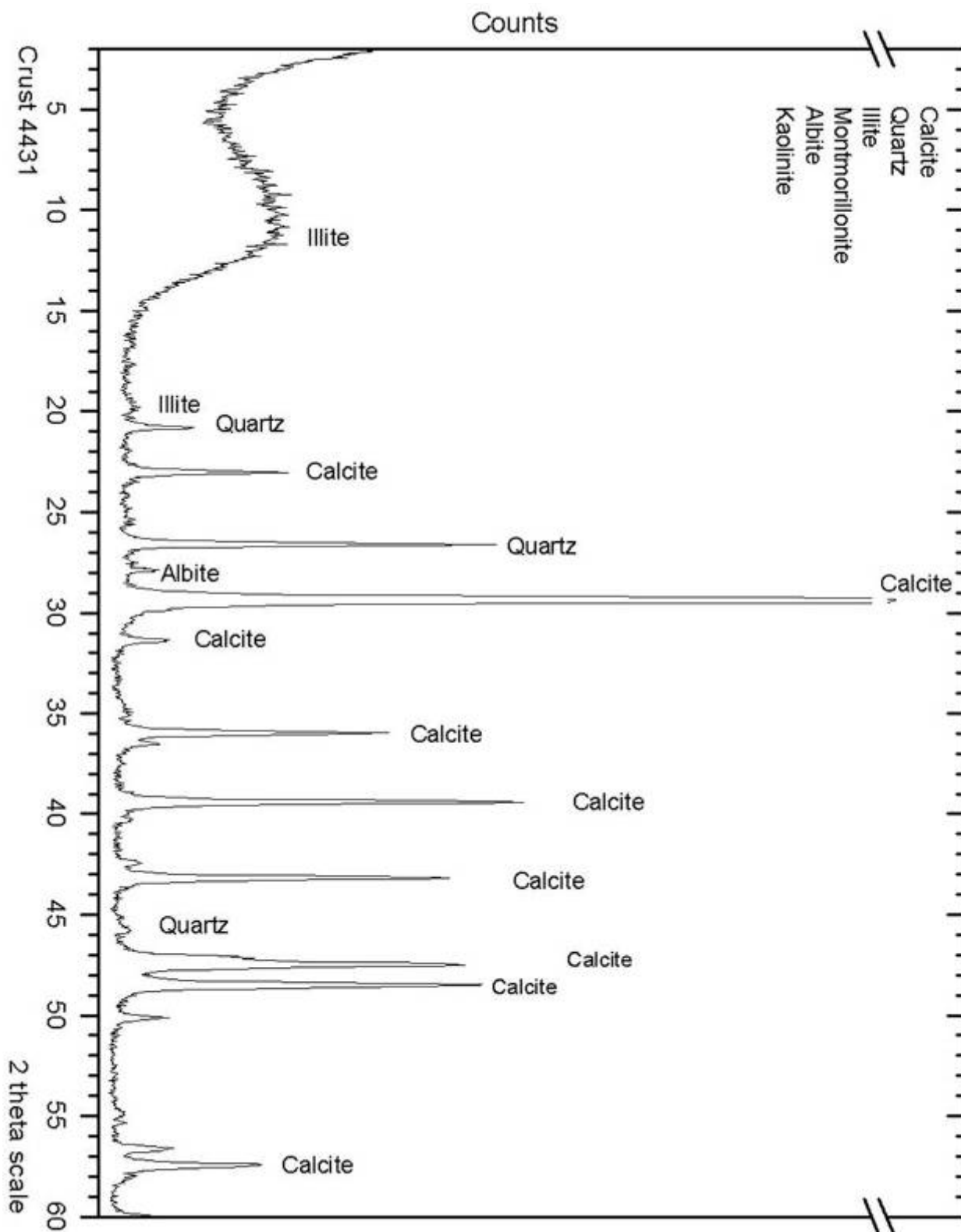


Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD). Δείγμα αποθέσεων. ΑΚ 4232. Διακρίνεται Ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ), Χαλαζίας και Άστριοι σε μικρό ποσοστό καθώς και άμορφο υλικό.



Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Δείγμα αποθέσεων. ΑΚ 4277. Διακρίνεται Ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ), Χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ), αργιλικά ορυκτά καθώς και άμορφο υλικό σε μικρό ποσοστό.





Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Δείγμα αποθέσεων. ΑΚ 4431. Διακρίνεται Ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ), Χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ), Αργιλικά ορυκτά και Άστριοι καθώς και άμορφο υλικό σε μικρό ποσοστό.