

**ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑΣ ΕΥ. ΛΙΑΜΠΑ
ΕΠΙ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΑΓ. ΒΛΑΣΙΟΥ 25 ΤΟΥ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΟΥ
ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ « ΜΙΧΑΛΟΓΛΕΪΚΑ » ΣΤΗΝ ΠΑΛΑΙΑ
ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΞΑΝΘΗΣ**

ΤΕΥΧΟΣ Β ΤΕΧΝΙΚΗ ΈΚΘΕΣΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΌΛΩΝ ΤΩΝ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ
ΤΩΝ ΌΨΕΩΝ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ :
ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΙ, ΛΙΘΙΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ,
ΞΥΛΙΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ, ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.



ΓΕΩΡΓΙΑ ΣΤΑΥΡΟΥ ΝΤΟΥΡΟΥΠΗ
ΣΥΝΤΗΡΗΤΡΙΑ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ
ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ ΜΗΤΡΩΟΥ ΤΟΥ ΥΠ.ΠΟ. 837

ΞΑΝΘΗ 12-2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	σελ.
ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	3
ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΩΝ ΌΨΕΩΝ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	12
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	13
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ - ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	13
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	18
ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΙ	18
ΛΙΘΙΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	18
ΞΥΛΙΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	19
ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	19
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	21
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΦΘΟΡΩΝ	22
ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΦΘΟΡΩΝ	44
ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	48
ΛΙΘΙΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	49
ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΙ.	50
ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	51
ΞΥΛΙΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	52
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1	53
ΠΑΘΟΓΟΝΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	54
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2	76
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	77
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	95

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το συγκρότημα κατοικιών «Μιχαλογλείκα» επί της οδού Αγ. Βλασίου 25 βρίσκεται στο παραδοσιακό οικισμό της πόλης της Ξάνθης. Ο παραδοσιακός οικισμός της Ξάνθης έχει χαρακτηριστεί διατηρητέος από το 1978. Περιλαμβάνει κτήρια λαϊκού και αστικού παραδοσιακού, νεοκλασικού και σκεπτικιστικού ρυθμού με μορφές που προήλθαν, εκτός από τις επιδράσεις της βαλκανικής παράδοσης και από τον τρόπο δόμησης και τις τότε νέες τεχνολογίες (κυρίως χρήση σιδήρου) άλλων χωρών όπως Αυστρία, Γαλλία, Ιταλία κ.α.. Η μεταφορά αυτή της τεχνογνωσίας και των ρυθμών γίνονταν παράλληλα με τις εμπορικές συναλλαγές των καπνεμπόρων, με την απασχόληση αλλοδαπών αρχιτεκτόνων που προσκαλούσαν για να σχεδιάσουν και να κατασκευάσουν τις καπναποθήκες και τις κατοικίες τους. Το συγκεκριμένο κτήριο αποτελεί τμήμα συγκροτήματος τεσσάρων κατοικιών με ενιαίο φέροντα οργανισμό, που ανήκε στην οικογένεια Μιχάλογλου και κατασκευάστηκε το 1897. Στην ίδια οικογένεια ανήκαν και τρία ακόμη αυτόνομα κτήρια: δυο στα βόρεια και ένα ανατολικά του συγκροτήματος, που δόθηκαν στις κόρες της οικογενείας και στον πρωτότοκο. Το σύνολο των κτισμάτων βρισκόταν σε ένα μεγάλο οικόπεδο που ρυμοτομήθηκε αργότερα για να κατασκευαστεί η οδός Αγ. Βλασίου.



Γενική άποψη του συγκροτήματος

Το 1840 έρχεται η οικογένεια Μιχάλογλου από την Ήπειρο στην Ξάνθη μέσω Αδριανούπολης και αγοράζει από τον Χαμδή Μπέη το οικόπεδο με τα δυο κονάκια που υπήρχαν σ' αυτό.

Η οικογένεια κατοικεί σ' αυτά και ασχολείται με το γενικό εμπόριο (καπνά, τρόφιμα, σιδηρικά).

Το 1870 μετά την καταστροφή της Γενισέας από πυρκαγιά μετακινείται ο πληθυσμός προς την Ξάνθη η οποία αναπτύσσεται σημαντικά.

Το 1894 γκρεμίζονται οι παλιές κατοικίες και το 1895 αρχίζει η κατασκευή του σημερινού συγκροτήματος που τελειώνει το 1897 οπότε διαμορφώνεται και ο εξωτερικός χώρος και κατόπιν κατασκευάζονται οι βοηθητικοί χώροι στην πίσω πλευρά (1898).

Μετά τον θάνατο του Κλεάνθη Ι. Μιχάλογλου η ιδιοκτησία περιέρχεται στη σύζυγο του Ελένη (1908). Λίγο αργότερα γίνεται η διάνοιξη της οδού Αγ. Βλασίου. Στο μεταξύ έχουν ανεγερθεί τα κτίρια των δυο αδελφών κοριτσιών και του πρωτότοκου (1910). Με το πρώτο

Βαλκανικό πόλεμο οι ιδιοκτήτες αποχωρούν από τις ιδιοκτησίες τους και το κτίσμα χρησιμοποιείται από τους Βούλγαρους σαν νοσοκομείο μέχρι το 1914. Το 1915 το κτίριο μετατρέπεται από τους Βούλγαρους σε Διοικητήριο Αιγαίου.

Το 1919 απελευθερώνεται η Ξάνθη και αρχίζει η διασυμμαχική κατοχή. Τότε επιστρέφουν και οι ιδιοκτήτες στα σπίτια τους.

Τον ίδιο χρόνο πεθαίνει ο Δημοσθένης Ι. Μιχάλογλου και το πρώτο σπίτι περιέρχεται στο υιό του Δημοσθένη. Με την απελευθέρωση της Ξάνθης (1920) γίνονται ενισχύσεις στην υπάρχουσα κατασκευή, κυρίως στο υπόγειο, και ο Ελληνογάλλος ζωγράφος Μπαλτατζής αρχίζει τις τοιχογραφίες στο δεύτερο κτήριο τις οποίες εγκαταλείπει στη μέση του 1930.

Στο μεταξύ το 1928 πεθαίνει ο Αριστείδης Ι. Μιχάλογλου και το δεύτερο σπίτι αναλαμβάνει η σύζυγος του Βικτόρια. Το 1932 πεθαίνει ο Πολύβιος Ι. Μιχάλογλου και το τρίτο σπίτι αναλαμβάνει η σύζυγος του Ανδρονίκη. Τέλος, το 1939 πεθαίνει η Ελένη Μιχάλογλου και το τέταρτο σπίτι αναλαμβάνουν κληρονόμοι.

Την εποχή αυτή (1940), ενόψει του Β' παγκόσμιου πολέμου κατασκευάζεται το καταφύγιο κάτω από την κατοικία του κ. Παπαϊωάννου.

Το 1941 οι ιδιοκτήτες φεύγουν ξανά από τα σπίτια τους προς Καβάλα, Θεσ/νικη και κατόπιν Μυτιλήνη, Κρήτη και νησιά του Αιγαίου.

Οι Βούλγαροι, στους οποίους παραχωρείται η Ξάνθη, χρησιμοποιούν το κτίριο σαν Ανώτατη Σχολή (1941- 44)

οπότε και αποχωρούν από την πόλη, ανοίγοντας εσωτερικούς διαδρόμους όπου υπήρχαν εντοιχισμένες ντουλάπες.

Το 1944 επιστρέφουν εκ νέου οι ιδιοκτήτες στις κατοικίες τους, τις ανεξαρτητοποιούν και τις επιδιορθώνουν.

Τη διαχείριση της ιδιοκτησίας έχουν οι χήρες των οικογενειών και ασχολούνται ξανά με γενικό εμπόριο.

Το 1949 πεθαίνει η Ανδρονίκη Μιχάλογλου, το 1955 πεθαίνει η Βικτόρια Μιχάλογλου και τα σπίτια περνούν σε χέρια κληρονόμων.

Το 1955 διαχωρίζονται οι όροφοι του τέταρτου σπιτιού και ενοικιάζεται το ισόγειο.

Το 1957 ο ζωγράφος κ. Κινής τελειώνει τις ημιτελείς τοιχογραφίες του θείου του Μπαλτατζή στο δεύτερο σπίτι και διακοσμεί τα δωμάτια με σταμπωτά.

Το 1958 το τέταρτο σπίτι κατοικείται ήδη ολόκληρο από την οικογένεια της κ. Όλγας Μιχαηλίδου-Μουχλιανίτου που είναι και σημερινή κάτοικος.

Το πρώτο σπίτι αγοράζεται από τον κ. Μιχαηλίδη Ηλία και την οικογένεια του το 1970.

Το 1980 σταματά η παροχή νερού από τις πηγές της οικογένειας Μιχάλογλου και το 1988 αρχίζουν να τοποθετούνται καυστήρες και σώματα για την θέρμανση των κατοικιών του συγκροτήματος.

Το 1984 πεθαίνει ο Χρήστος του Δημοσθένη Μιχάλογλου και το δεύτερο σπίτι περιέρχεται στην κ. Ευανθία Μιχάλογλου που διαμένει και σήμερα σ' αυτό.

Το 1989 η οικογένεια του κ. Τηλέμαχου Παπαϊωάννου αγοράζει το τρίτο σπίτι όπου και διαμένει μέχρι σήμερα.

Το πρώτο σπίτι αγοράστηκε το 1999 από την οικογένεια του κ. Ευάγγελου Λιάμπα.

ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ



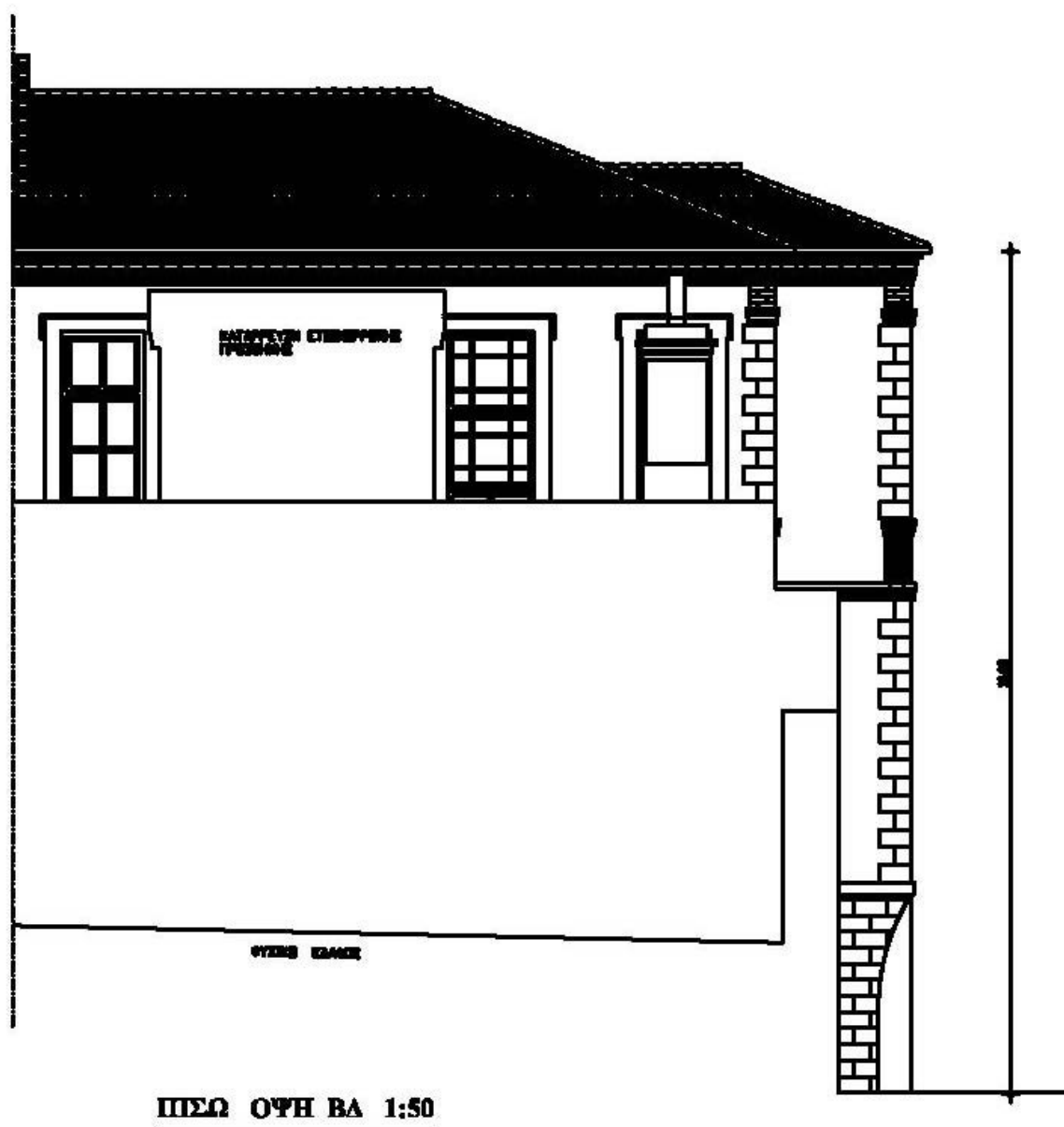


ΚΥΡΙΑ ΏΨΗ



ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ ΝΑ 1:50

ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ



ΠΙΣΩ ΟΨΗ

**ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ
ΤΩΝ ΟΨΕΩΝ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ**

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ – ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

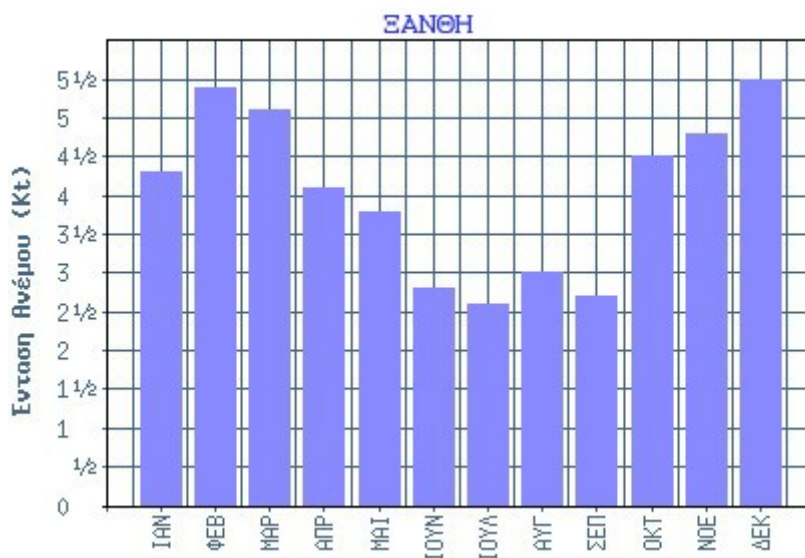
Οι μετεωρολογικές παράμετροι που επηρεάζουν τη διαμόρφωση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι : η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου, η ευστάθεια της ατμόσφαιρας και ειδικά για τους φωτοχημικούς ρύπους η ηλιοφάνεια, η βροχόπτωση, η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας και έμμεσα η θερμοκρασία.



ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΑΠΟ 1984 - 1997

1 ^ο Εξάμηνο	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ
Ελάχιστη Μηνιαία Θερμοκρασία	3.0	3.5	5.4	8.7	12.6	17.0
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία	6.8	7.2	9.3	13.4	17.7	23.0
Μέγιστη Μηνιαία Θερμοκρασία	9.9	10.5	12.8	16.8	21.1	26.8
2 ^ο Εξάμηνο	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Ελάχιστη Μηνιαία Θερμοκρασία	20.3	20.4	16.4	11.4	6.7	4.2
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία	26.5	26.3	22.4	17.2	11.4	8.0
Μέγιστη Μηνιαία Θερμοκρασία	29.7	29.5	25.9	20.9	14.6	11.0

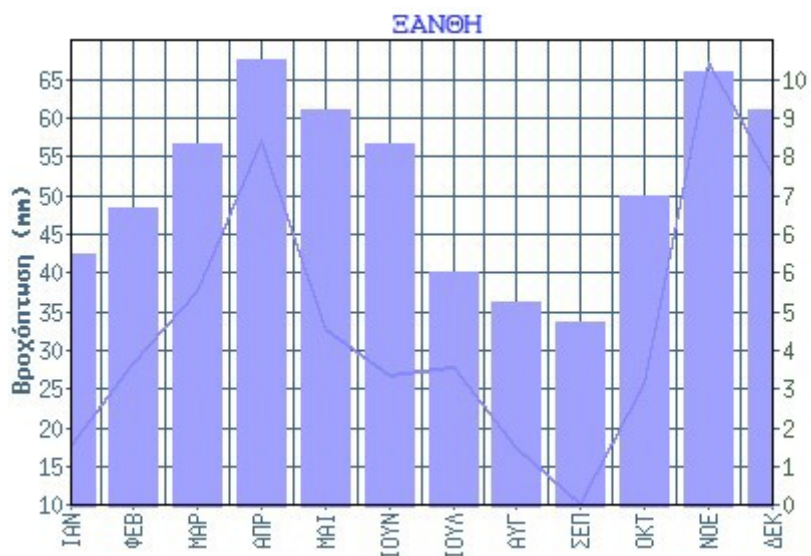
Σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες η θερμοκρασία παρουσιάζει σημαντικές αυξομειώσεις, με αποτέλεσμα τις συστολές – διαστολές και μηχανικές καταπονήσεις των δομικών υλικών.



ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΑΝΕΜΟΥ ΑΠΟ 1984 - 1997

1 ^ο Εξάμηνο	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ
Μέση Μηνιαία Διεύθυνση Ανέμων	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	Δ
Μέση Μηνιαία Ένταση Ανέμων	4.3	5.4	5.1	4.1	3.8	2.8
2 ^ο Εξάμηνο	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση Μηνιαία Διεύθυνση Ανέμων	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ
Μέση Μηνιαία Ένταση Ανέμων	2.6	3.0	2.7	4.5	4.8	5.5

Από τους πίνακες μεταβολής του ανέμου η επικρατούσα διεύθυνση του είναι βορειοδυτική. Οι άνεμοι του βόρειου τομέα είναι συνοπτικοί και έχουν συνήθως μεγάλη μέση ταχύτητα, συντελώντας έτσι καθοριστικά στη διάχυση των ρύπων.



ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ 1984 - 1997

1 ^ο Εξάμηνο	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ
Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση	17.9	28.6	37.9	57.1	32.8	27.0
Συνολικές Μέρρες Βροχής	5.9	7.0	8.5	10.5	9.3	8.5
2 ^ο Εξάμηνο	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση	28.0	17.5	10.4	25.9	67.4	52.7
Συνολικές Μέρρες Βροχής	5.5	4.8	4.3	7.3	10.2	9.3



ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΥΓΡΑΣΙΕΣ ΑΠΟ 1984 – 1997

1 ^ο Εξάμηνο	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ
Μέση Μηνιαία Υγρασία	64.9	65.0	66.6	65.8	67.8	67.8
2 ^ο Εξάμηνο	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση Μηνιαία Υγρασία	68.4	68.8	67.7	65.8	66.1	67.7

Οι τιμές της υγρασίας είναι παρόμοιες σε όλη τη διάρκεια του χρόνου το οποίο σημαίνει ότι η τιμή της σχετικής υγρασίας είναι γύρω στο 66 % , το οποίο σημαίνει ότι σε συνδυασμό με τα επίπεδα των βροχοπτώσεων υπάρχει αρκετή υγρασία στην περιοχή.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

A. ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΙ

Η λέξη «κεραμικό» προέρχεται από την λέξη «κέραμος», που σημαίνει καμένο υλικό ή πήλινο σκεύος. Τα προϊστορικά, τα ιστορικά και τα μοντέρνα κεραμικά κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες με βάση τη σύσταση, το ψήσιμο και την επιφανειακή επεξεργασία τους. Η συντήρηση των κεραμικών αντικειμένων ξεκίνησε το 1000 π.Χ. στην Κίνα και στην Ιαπωνία, όπως προκύπτει από μαρτυρίες χειρογράφων του 16ου αιώνα. Στην Ευρώπη η συντήρηση κεραμικών αντικειμένων εμφανίστηκε την περίοδο της Αναγέννησης και όταν άρχισαν οι πωλήσεις διάφορων έργων τέχνης κυρίως μεταξύ ευγενών.

Στη διάρκεια του 19ου αιώνα η τεχνική της κεραμικής σημείωσε μεγάλες προόδους. Η σύγχρονη κεραμική και αγγειοπλαστική δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, εκτός από την επιμελημένη επιλογή των πρώτων υλών και την επιστημονική τελειοποίηση του τρόπου παρασκευής και επεξεργασίας των κεραμικών.

Προέλευση των πηλών

Η πρώτη ύλη του πηλού των κεραμικών είναι οι άργιλοι, που είναι πολύπλοκα ορυκτά αργιλίου και πυριτίου με ασβέστιο, μαγνήσιο, σίδηρο, κάλιο, νάτριο και νερό. Οι άργιλοι είναι προϊόντα εξαλλοίωσης διάφορων ηφαιστειακών ορυκτών π.χ. ο καολινίτης με χημικό τύπο $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ προέρχεται από το γρανίτη που αποτελείται από αστρίους, από χαλαζία και από μαρμαρυγία.

Τα κεραμικά - τούβλα του κτιρίου θεωρούνται καλής ποιότητας, δεν είναι επικαλυμμένα με υάλωμα, η θερμοκρασία ψήσιματος κυμαίνεται από 1000-1100 °C, και παρουσιάζουν πορώδες 10 – 25 %.

B. ΛΙΘΙΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η πέτρα είναι ένα υλικό το οποίο ο άνθρωπος έχει χρησιμοποιήσει, από την προϊστορική εποχή, ως δομικό στοιχείο, ως όπλο, ως εργαλείο και ως μέσο καλλιτεχνικής έκφρασης, με σκοπό την εξυπηρέτηση φυσικών και πνευματικών αναγκών του. Επειδή η πέτρα είναι υλικό πολύ ανθεκτικό στη φθορά του χρόνου, έχουν διασωθεί ως τις μέρες μας πολύ αξιόλογα έργα αρχιτεκτονικής και γλυπτικής από πέτρα και αποτελούν σαφή τεκμήρια των πολιτισμών που έχουν προηγηθεί και τα έχουν δημιουργήσει.

Πετρώματα ονομάζονται τα ορυκτά ή οι ομάδες ορυκτών τα οποία αποτελούν μέρος του στερεού φλοιού της γης.

Τα πετρώματα ταξινομούνται με πολλούς τρόπους. Ως προς τη σύστασή τους διακρίνονται σε ομογενή ή ετερογενή. Ως προς τις φυσικές ιδιότητές τους ταξινομούνται σε πορώδη, σε συμπαγή, σε μη συμπαγή κ.τ.λ.. Η βασικότερη,

όμως, ταξινόμηση γίνεται με βάση τον τρόπο σχηματισμού τους, οπότε διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

1. πυριγενή ή εκρηξιγενή ή μαγματικά πετρώματα

2. ιζηματογενή πετρώματα

3. μεταμορφωσιγενή πετρώματα.

Τα πυριγενή πετρώματα σχηματίστηκαν από τη στερεοποίηση ρευστής και διάπυρης μάζας (μάγμα), η οποία προήλθε από το εσωτερικό της γης και στερεοποιήθηκε στους επιφανειακούς σχηματισμούς του στερεού φλοιού της.

Το μάγμα πολλές φορές κατά την άνοδό του δεν κατορθώνει να φθάσει μέχρι την επιφάνεια της γης και κάτω από συνθήκες υψηλής πίεσης ψύχεται και στερεοποιείται μέσα στο στερεό φλοιό. Τότε, τα πυριγενή πετρώματα που σχηματίζονται ονομάζονται πλουτώνια πυριγενή πετρώματα. Στην κατηγορία αυτή ανήκει ο γρανίτης που έχει χρησιμοποιηθεί ως δομικό και διακοσμητικό στοιχείο του κτιρίου.

Γ. ΞΥΛΙΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το ξύλο χρησιμοποιήθηκε από τον άνθρωπο από πολύ παλιά λόγω της διαθεσιμότητάς του, της σχετικά εύκολης επεξεργασίας του και του πλήθους των εφαρμογών που έχει. Ανάλογα με το είδος του αντικειμένου γινόταν και η επιλογή του κατάλληλου ξύλου. Μερικά από τα δέντρα που έχουν χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο για την ξυλεία τους είναι η δρυς (δένδρος, βελανιδιά, ρουπάκι), το έλατο, το πεύκο, το κυπαρίσσι, το λάρτζινο, η ελιά, η καρυδιά, η μελιά, η οξιά, η λεύκη, η φτελιά, ο πίκρος, η συκαμιά, ο πρίνος, το αμπέλι, ο λωτός, ο φοίνικας και ο έβενος. Μια πρώτη ταξινόμηση του ξύλου γίνεται με βάση την κατηγορία που ανήκει το δέντρο από το οποίο προέρχεται, δηλαδή από τα κωνοφόρα ή από τα πλατύφυλλα. Τα κωνοφόρα είναι το πεύκο, το κυπαρίσσι, το έλατο κ.τ.λ., που θεωρούνται σχετικά μαλακά ξύλα ενώ πλατύφυλλα είναι η δρυς, η λεύκη, η καρυδιά κ.τ.λ. και θεωρούνται σχετικά σκληρά ξύλα. Τα κύρια δομικά συστατικά του ξύλου είναι η κυτταρίνη, οι ημικυτταρίνες και η λιγνίνη. Σε μικρότερα ποσοστά το ξύλο περιέχει πυκτινικές ύλες, ενώσεις του αζώτου, άμυλο, σάκχαρα μικρού μοριακού βάρους, τερπένια, πολυφαινόλες, και ανόργανα άλατα. Η κυτταρίνη είναι ένα γραμμικό πολυμερές που αποτελείται από 7000 – 10000 μόρια γλυκόζης. Το ποσοστό της κυτταρίνης στα περισσότερα ξύλα από δέντρα εύκρατων κλιμάτων είναι 40 – 50 %.

Δ. ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο άνθρωπος αρχικά χρησιμοποίησε το σίδηρο όπως βρίσκεται στη φύση, σε «ελεύθερη» μορφή (μετεωριτικός σίδηρος με 5-26% Ni), και στη συνέχεια προχώρησε στην αναγωγή των ορυκτών του σιδήρου. Η παραγωγή του σιδήρου περιλαμβάνει τρία στάδια:

1. την εξόρυξη του μεταλλεύματος

2. την προστασία του ορυκτού

3. την εκκαμίνευση.

Τα κυριότερα ορυκτά του σιδήρου είναι:

Οξειδία:

α. αιματίτης: Fe_2O_3 (κόκκινο – καφέ χρώμα)

β. λειμωνίτης: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (καφέ χρώμα)

γ. μαγνητίτης: Fe_3O_4 (μαύρο χρώμα)

Ανθρακικά:

δ. σιδηρίτης: FeCO_3 (καφέ – γκρι χρώμα)

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Το κτίριο χωρίζεται σε τρεις ζώνες :

- α) την κατώτερη του υπογείου
- β) το ισόγειο
- γ) τον όροφο.

Η πρώτη αποτελεί τη βάση του κτιρίου, και είναι απλή από εμφανή αργολιθοδομή με μοναδική διακόσμηση μονολιθικά στοιχεία που πλαισιώνουν τα ανοίγματα (υπέρθυρα και πλαϊνά ανοιγμάτων). Στην ΝΔ πλευρά, λόγω κλίσης του εδάφους το τμήμα αυτό γίνεται ισόγειο και διαμορφώνεται προεξοχή του ορόφου στην πίσω εξωτερική γωνία του ΝΔ δωματίου ώστε να επιτευχθεί ο τετραγωνισμός της κάτοψης.

Η λιθοδομή των εξωτερικών τοίχων βρίσκεται σε πολύ καλή κατάσταση. Ο φέρων οργανισμός της στέγης επίσης δεν έχει υποστεί φθορές.

Αντίθετα στη φέρουσα τοιχοποιία υπάρχουν αποσασθρωμένα στοιχεία (τούβλα), αποκολλήσεις επιχρισμάτων και καθιζήσεις και απαιτούνται εκτεταμένες επεμβάσεις για την αποκατάσταση της.

Από τα εξωτερικά κουφώματα η θύρα εισόδου και οι μπαλκονόπορτες στον όροφο είναι πολύ διαβρωμένες. Από τα υπόλοιπα κουφώματα οι φεγγίτες είναι σε μέτρια ως καλή κατάσταση, αλλά οι κάσες των παραθύρων ιδιαίτερα στο κάτω μέρος και οι ποδιές, όπως και τα ανοιγόμενα φύλλα έχουν υποστεί φθορές σε σημαντικό βαθμό.

Τα κεραμίδια είναι σε σχετικά καλή κατάσταση αλλά έχουν μετακινηθεί με αποτέλεσμα την εισροή νερών εντός του κτιρίου.

Η αυλή προς το δρόμο περιβάλλεται από πέτρινο τοιχίο και σιδηρένια μασίφ κιγκλιδώματα, στα οποία είναι έντονη η διάβρωση του σιδήρου (προϊόντα διάβρωσης σιδήρου: αιματίτης). Η είσοδος στο χώρο γίνεται μέσω σιδερένιας αυλόθυρας με κίονες στα πλαϊνά και υπέρθυρο με κεραμικό διάκοσμο σε συνδυασμό με λίθο που είναι επικαλυμμένα με επίχρισμα (ασβεστοκονίαμα), το οποίο σε πολλά σημεία έχει αποκολληθεί. Επιπλέον η σιδερένια πόρτα έχει υποστεί διάβρωση, φθορές που οφείλονται σε ανθρώπινο παράγοντα (graffities), απώλεια υλικού στις ενώσεις και απώλεια βαφής. Τα ίδια προϊόντα διάβρωσης παρατηρούνται και στις μεταλλικές πόρτες στην πλάγια όψη του κτιρίου.

Τέλος, παρατηρούνται εκτεταμένες προηγούμενες επεμβάσεις στερέωσης των ακρογωνιαίων λίθων χρησιμοποιώντας σιδερένιους συνδέσμους. Η οξείδωση των σιδερένιων συνδέσμων είχε σαν αποτέλεσμα να δημιουργηθούν ρωγματώσεις, απώλειες και λεκέδες στο δομικό υλικό. Επίσης, συμπληρώσεις παρατηρούνται σε αρκετά σημεία της οπτοπλινθοδομής με πηλό.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΦΘΟΡΩΝ



Πλάγια όψη κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων σε πλάγια όψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων σε πλάγια όψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων σε πλάγια όψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στη πίσω όψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στη πίσω όψη του κτιρίου.



Ατμοσφαιρικοί ρύποι, απώλεια σοβά και προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης στην πίσω όψη του κτιρίου.



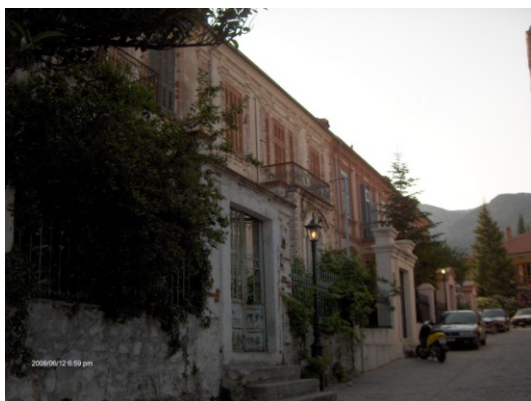
Ατμοσφαιρικοί ρύποι, απώλεια σοβά και προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης στην πίσω όψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων σε πλάγια όψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων σε πλάγια όψη του κτιρίου.



Πρόσοψη.



Πρόσοψη.



Πρόσοψη.



Μαύρη κρούστα, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις, graffiti και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις, graffiti's και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στην πρόσοψη του κτιρίου.



Οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις, graffiti's και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στη μεταλλική πόρτα της αυλής.



Οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, graffiti's και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στη μεταλλική πόρτα της αυλής.



Οξείδωση του μετάλλου, graffiti's και απώλειες βαφής στη μεταλλική πόρτα της αυλής.



Οξείδωση του μετάλλου, graffiti's και απώλειες βαφής στη μεταλλική πόρτα της αυλής.



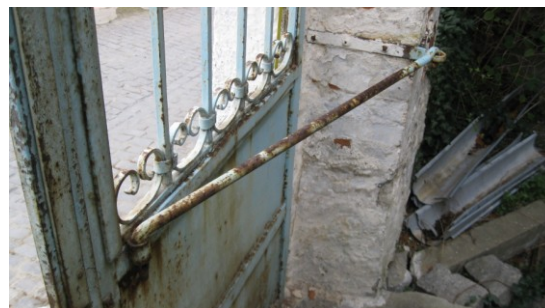
Οξείδωση του μετάλλου, graffiti's και απώλειες βαφής στη μεταλλική πόρτα της αυλής.



Οξείδωση του μετάλλου, graffiti's και απώλειες βαφής στη μεταλλική πόρτα της αυλής.



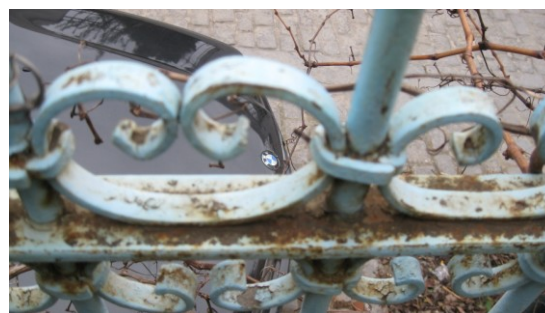
Οξείδωση του μετάλλου και απώλειες βαφής στη μεταλλική πόρτα της αυλής.



Οξείδωση του μετάλλου και απώλειες βαφής στη μεταλλική πόρτα της αυλής.



Οξείδωση του μετάλλου και απώλειες βαφής στη μεταλλική πόρτα της αυλής.



Οξείδωση του μετάλλου και απώλειες βαφής στα κιγκλιδώματα της αυλής.



**Οξείδωση του μετάλλου και απώλειες
βαφής στα κιγκλιδώματα της αυλής.**



**Οξείδωση του μετάλλου και απώλειες
βαφής στα κιγκλιδώματα της αυλής.**



**Οξείδωση του μετάλλου και απώλειες
βαφής στα κιγκλιδώματα της αυλής.**



**Οξείδωση του μετάλλου και απώλειες
βαφής στα κιγκλιδώματα της αυλής.**



Μαύρη κρούστα, οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στη πίσω όψη της μεταλλικής πόρτας της αυλής.



Μαύρη κρούστα, οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στη πίσω όψη της μεταλλικής πόρτας της αυλής.



Οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στη πίσω όψη της μεταλλικής πόρτας της αυλής.



Οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στη πίσω όψη της μεταλλικής πόρτας της αυλής.



Μαύρη κρούστα, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στη κεντρική πόρτα του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στη κεντρική πόρτα του κτιρίου.



Οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης και απώλειες ξύλινου υλικού στη κεντρική πόρτα του κτιρίου.



Οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, και απώλειες ξύλινου υλικού στη κεντρική πόρτα του κτιρίου.



Απώλεια βαφής, απώλεια ξύλινου υλικού και ίχνη δυο χρωμάτων βαφής σε λεπτομέρεια της κεντρικής πόρτας.



Απώλεια βαφής, απώλεια ξύλινου υλικού, οξείδωση μεταλλικών στοιχείων και ίχνη δυο χρωμάτων βαφής σε λεπτομέρεια της κεντρικής πόρτας.



Απώλεια βαφής, μαύρη κρούστα, απώλεια ξύλινου υλικού, οξείδωση μεταλλικών στοιχείων και ίχνη δυο χρωμάτων βαφής σε λεπτομέρεια της κεντρικής πόρτας.



Απώλεια βαφής, απώλεια ξύλινου υλικού, οξείδωση μεταλλικών στοιχείων και ίχνη δυο χρωμάτων βαφής σε λεπτομέρεια της κεντρικής πόρτας.



Απώλεια βαφής, μαύρη κρούστα, απώλεια ξύλινου υλικού, οξείδωση μεταλλικών στοιχείων και ίχνη δυο χρωμάτων βαφής σε λεπτομέρεια της κεντρικής πόρτας.



Απώλεια βαφής, απώλεια ξύλινου υλικού, οξείδωση μεταλλικών στοιχείων και ίχνη δυο χρωμάτων βαφής σε λεπτομέρεια της κεντρικής πόρτας.



Απώλεια βαφής, απώλεια ξύλινου υλικού και ίχνη δυο χρωμάτων βαφής σε λεπτομέρεια της κεντρικής πόρτας.



Απώλεια βαφής, απώλεια ξύλινου υλικού και ίχνη δυο χρωμάτων βαφής σε λεπτομέρεια της κεντρικής πόρτας.



Απώλεια βαφής, μαύρη κρούστα, απώλεια ασβεστοκονιάματος και οξείδωση μεταλλικών στοιχείων σε λεπτομέρεια της κεντρικής πόρτας.



Μαύρη κρούστα, απώλεια ασβεστοκονιάματος και οξείδωση μεταλλικών στοιχείων σε λεπτομέρεια της κεντρικής πόρτας.



Μαύρη κρούστα, απώλεια ασβεστοκονιάματος και ατμοσφαιρικοί ρύποι σε λεπτομέρεια της κεντρικής πόρτας.



Μαύρη κρούστα, απώλεια ασβεστοκονιάματος και ατμοσφαιρικοί ρύποι σε λεπτομέρεια της κεντρικής πόρτας.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα και απώλεια υλικού στο γρανίτη.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πρόσοψη του κτιρίου.



Οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, ατμοσφαιρικοί ρύποι και βιολογικές επικαθίσεις στην πρόσοψη του κτιρίου.



Οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πρόσοψη του κτιρίου.



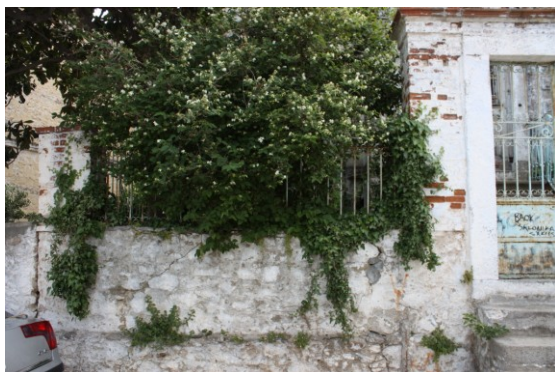
Μαύρη κρούστα, οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πλάγια όψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πλάγια όψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πλάγια όψη του κτιρίου.



Οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις, graffiti και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στην πρόσοψη της αυλής.



Λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πλάγια όψη του κτιρίου.



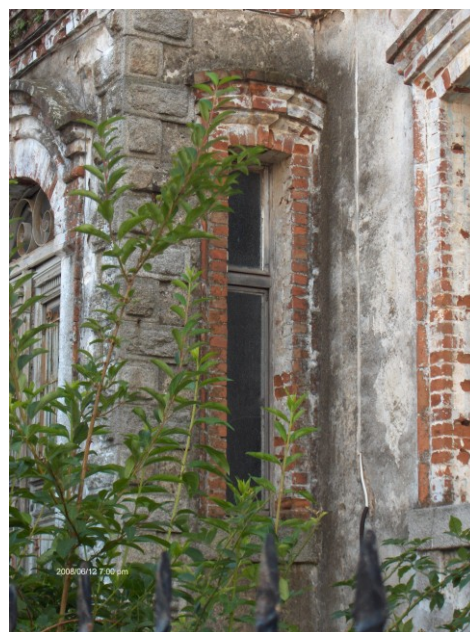
Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στην πλάγια όψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πλάγια όψη του κτιρίου.



Λεκέδες από οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στην πλάγια όψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ξύλινου υλικού στην πρόσοψη του κτιρίου.



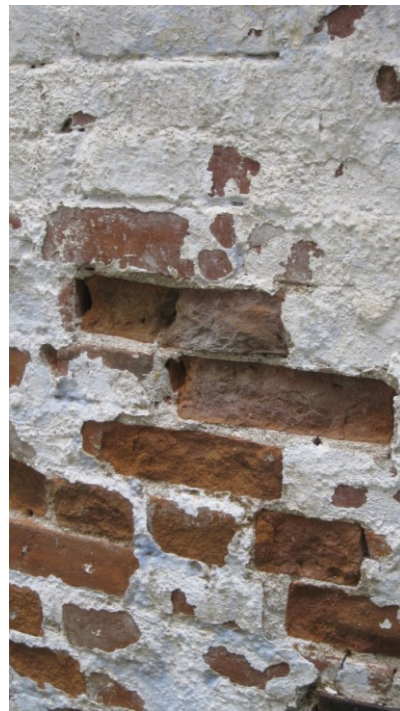
Μαύρη κρούστα, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στην πρόσοψη του κτιρίου.



Προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα και ατμοσφαιρικοί ρύποι, στην πρόσοψη του κτιρίου.



Ατμοσφαιρικοί ρύποι και βιολογικές επικαθίσεις στην πρόσοψη του κτιρίου.



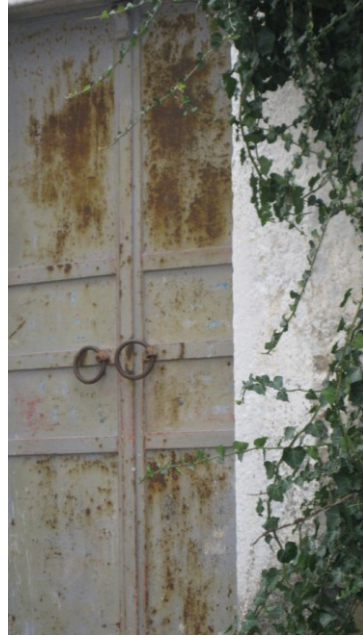
Προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στην πρόσοψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, βιολογικές επικαθίσεις και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στην πίσω όψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, οξείδωση μεταλλικών στοιχείων, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι και απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στην πλάγια όψη του κτιρίου.



Οξείδωση μεταλλικών στοιχείων και ατμοσφαιρικοί ρύποι στην πλάγια όψη του κτιρίου.



Απώλειες ασβεστοκονιαμάτων στη πίσω όψη του κτιρίου.



Μαύρη κρούστα, προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης, ατμοσφαιρικοί ρύποι, απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ίχνη διαφορετικών χρωμάτων βαφής στη πίσω όψη του κτιρίου.



**Απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ίχνη
διαφορετικών χρωμάτων βαφής στη πίσω όψη
του κτιρίου.**



**Απώλειες ασβεστοκονιαμάτων και ίχνη
διαφορετικών χρωμάτων βαφής στη πίσω όψη
του κτιρίου.**

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΦΘΟΡΩΝ

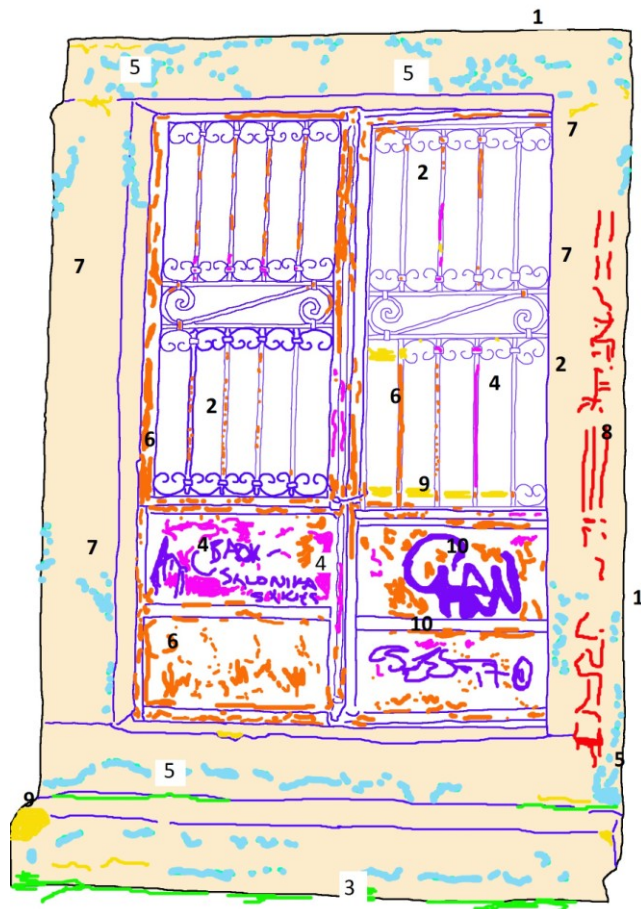


ΠΑΛΑΙΑ ΟΨΗ ΝΑ 1:50

- 1 ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΑΓΕΝΕΣΤΕΡΩΝ ΣΙΔΕΡΕΝΙΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ
- 2 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
- 3 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΙΣ ΧΩΜΑΤΟΣ
- 4 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΛΕΚΕΔΕΣ ΑΠΟ ΟΞΕΙΔΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ
- 5 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ
- 6 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ
- 7 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΥ
- 8 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ
- 9 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΜΑΥΡΗ ΚΡΟΥΣΤΑ

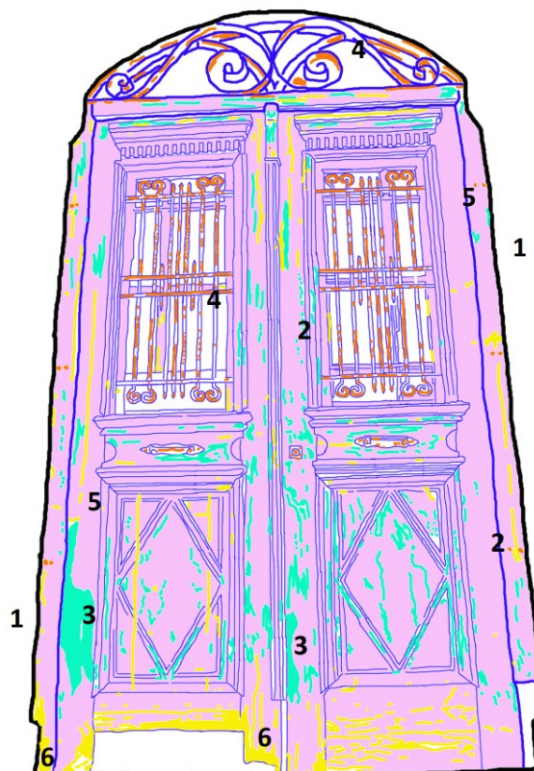


- 1 ■ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΙΣ
- 2 ■ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
- 3 ■ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΙΣ
- 4 ■ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΛΕΚΕΔΕΣ ΑΠΟ ΟΞΕΙΔΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ
- 5 ■ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ
- 6 ■ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΥ
- 7 ■ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ
- 8 ■ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΜΑΥΡΗ ΚΡΟΥΣΤΑ



ΠΡΟΣΟΨΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΘΥΡΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΚΗΠΙΟΥ ΣΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΟΨΗ.

- 1 ΒΑΣΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ
- 2 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ
- 3 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΙΣ
- 4 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΒΑΦΗΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥ
- 5 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ
- 6 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΥ
- 7 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ
- 8 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
- 9 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
- 10 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ GRAFFITIES



ΠΡΟΣΟΨΗ ΤΗΣ ΞΥΛΙΝΗΣ ΘΥΡΑΣ ΣΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΌΨΗ.

- 1 ΒΑΣΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ
- 2 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ
- 3 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΒΑΦΗΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ
- 4 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΥ
- 5 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΦΩΤΟΟΞΕΙΔΩΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ
- 6 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

**ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

ΓΕΝΙΚΑ

Οι επεμβάσεις συντήρησης των υλικών μπορούν να διακριθούν στους καθαρισμούς, τις στερεώσεις επιφανειών, την προστασία, τις συγκολλήσεις και τις συμπληρώσεις - αισθητική αποκατάσταση. Προφανώς σε κάθε επέμβαση για συντήρηση δεν περιλαμβάνονται απαραίτητα όλες οι παραπάνω κατηγορίες, ούτε υπάρχει ένα είδος επέμβασης που να μπορεί να εφαρμόζεται σε όλες τις περιπτώσεις. Για να καταλήξει κάποιος στη μεθοδολογία και στα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν απαιτείται εκτεταμένη έρευνα, διότι εξαρτώνται από το είδος και τη δομή του υλικού, τους παράγοντες που επιδρούν σ' αυτό και επηρεάζουν τη διαδικασία φθοράς, το βαθμό αλλοίωσής του και το περιβάλλον στο οποίο εκτίθεται. Ο τρόπος χρήσης ενός υλικού παίζει επίσης μεγάλο ρόλο στη συντήρηση του υλικού και έτσι για να κριθεί το αποτέλεσμα μιας επέμβασης συντήρησης από αισθητική και ποιοτική άποψη, πρέπει να γίνει αξιολόγηση της μεθόδου και του αποτελέσματος της χρήσης του υλικού.

1. ΛΙΘΙΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (Γρανίτης και ποταμίσις πέτρα υπογείου)

Καθαρισμοί.

Από τις μεθόδους καθαρισμών που αναφέρονται στο Παράρτημα 2 αναλυτικά, οι μέθοδοι καθαρισμού που προτείνονται είναι ουδέτερα απορρυπαντικά, ξέστρο υπερήχων και πάστες προσροφητικών αργίλων με χηλικούς συμπλοκοποιητές (πάστα AB57).

Σχετικά με την αξιολόγηση των τριών μεθόδων, το ξέστρο υπερήχων θεωρείται ως αποδοτικότερη και περισσότερο ποιοτική μέθοδος από πλευράς αισθητικής και επίδρασης στη μαύρη κρούστα στα λίθινα δομικά υλικά.

Η χρήση ουδέτερων απορρυπαντικών (Texapon) απομακρύνει χαλαρές επικαθίσεις (σκόνη, αιθάλη κ.λπ.) αλλά δεν έχει αποτελέσματα σε συμπαγείς επικαθίσεις (μαύρη κρούστα κ.λπ.).

Οι πάστες προσροφητικών αργίλων παρουσιάζουν σχετικά καλά αποτελέσματα σε περιπτώσεις συμπαγών επικαθίσεων (μαύρη κρούστα κ.λπ.) με αργά αποτελέσματα και απαίτηση πολλών επαναλήψεων.

Σε περιπτώσεις τσιμεντοκονιαμάτων, αυτά θα πρέπει να απομακρυνθούν με μηχανικό τρόπο χειροανακτικά (σφυρί - καλέμι ή άλλα μικροεργαλεία γλυπτικής) ή σε ακραίες περιπτώσεις με συσκευές μικροδονήσεων (ξέστρα υπερήχων με ροή νερού) δίνοντας την απαιτούμενη προσοχή.

Η απομάκρυνση διαλυτών αλάτων ειδικά από περιοχές με τσιμεντοκονιάματα, πραγματοποιούνται συνήθως με τη χρήση παστών ουδέτερου χαρτιού με απιονισμένο νερό και έχει πολύ καλά αποτελέσματα από πλευράς χρόνου, κλίσης καμπύλης και τελικής ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Η απομάκρυνση βιολογικών επικαθίσεων και των φυτών που έχουν αναπτυχθεί προτείνεται να γίνει με χρήση μηχανικού τρόπου (νυστέρια, βελόνα, κ.τ.λ.) σε συνδυασμό με διάφορα βιοκτόνα (DESOGEN).

Συγκολλήσεις.

Από τα υλικά συγκόλλησης που αναφέρονται στο Παράρτημα 2 αναλυτικά, προτείνεται να εφαρμοστεί κονίαμα λευκού τσιμέντου Portland και παιπάλης πηλοκονιάματος σε λεπτό καταμερισμό, σε αναλογία 1:1 και να χρησιμοποιηθούν σύνδεσμοι τιτανίου όπου κριθεί απαραίτητο.

Συμπληρώσεις - Αισθητική αποκατάσταση.

Από τα υλικά συμπλήρωσης που αναφέρονται στο Παράρτημα 2 αναλυτικά, προτείνεται να εφαρμοστεί κονίαμα λευκού τσιμέντου Portland και παιπάλης πηλοκονιάματος σε λεπτό καταμερισμό, σε αναλογία 1:1. Το είδος αυτό του κονιάματος χρησιμοποιείται ευρύτατα στον τομέα της συντήρησης μνημείων και αναφέρεται στην ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία.

Από μετρήσεις με χρωματόμετρο το χρώμα της περιοχής συμπλήρωσης παρεκκλίνει πολύ ελαφρά, αλλά η υφή μικροσκοπικά αλλά και μακροσκοπικά παρουσιάζει μεγάλη συνάφεια με το λίθινο δομικό υλικό.

Η αισθητική αποκατάσταση των λίθινων δομικών υλικών, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί με τη χρήση ανόργανων χρωστικών που θα προστεθούν στο αντίστοιχο κονίαμα που χρησιμοποιείται για τη συγκόλληση - συμπλήρωση των λίθινων δομικών στοιχείων. Σε περίπτωση επιφανειακής αισθητικής αποκατάστασης, προτείνεται να χρησιμοποιηθούν ανόργανες χρωστικές σε μέσο γαλάκτωμα ακρυλικής ρητίνης.

Στην περίπτωση του υπογείου προτείνεται η αποκάλυψη της αργολιθοδομής και η συντήρησή της με τις μεθόδους συντήρησης που προαναφέρθηκαν.

2. ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΙ

Καθαρισμοί.

Από τις μεθόδους καθαρισμών που αναφέρονται στο Παράρτημα 2 αναλυτικά, οι μέθοδοι καθαρισμού που προτείνονται είναι ουδέτερα απορρυπαντικά, ξέστρο υπερήχων και πάστες προσροφητικών αργίλων με χηλικούς συμπλοκοποιητές (πάστα E.D.T.A.).

Σχετικά με την αξιολόγηση των τριών μεθόδων, το ξέστρο υπερήχων θεωρείται ως αποδοτικότερη και περισσότερο ποιοτική μέθοδος από πλευράς αισθητικής και επίδρασης στη μαύρη κρούστα στους οπτόπλινθους.

Η χρήση ουδέτερων απορρυπαντικών (Texapon) απομακρύνει χαλαρές επικαθίσεις (σκόνη, αιθάλη κ.λπ.) αλλά δεν έχει αποτελέσματα σε συμπαγείς επικαθίσεις (μαύρη κρούστα κ.λπ.).

Οι πάστες προσροφητικών αργίλων παρουσιάζουν σχετικά καλά αποτελέσματα σε περιπτώσεις συμπαγών επικαθίσεων (μαύρη κρούστα κ.λπ.) με αργά αποτελέσματα και απαίτηση πολλών επαναλήψεων.

Σε περιπτώσεις τσιμεντοκονιαμάτων και ασβεστοκονιαμάτων, αυτά θα πρέπει να απομακρυνθούν με μηχανικό τρόπο χειροανακτικά (σφυρί - καλέμι ή άλλα μικροεργαλεία γλυπτικής) ή σε ακραίες περιπτώσεις με

συσκευές μικροδονήσεων (ξέστρα υπερήχων με ροή νερού), σε συνδυασμό με πάστες προσροφητικών αργίλων με χηλικούς συμπλοκοποιητές (πάστα E.D.T.A.) όπου χρειάζεται.

Η απομάκρυνση διαλυτών αλάτων ειδικά από περιοχές με τσιμεντοκονιάματα, πραγματοποιούνται συνήθως με τη χρήση παστών ουδέτερου χαρτιού με απιονισμένο νερό και έχει πολύ καλά αποτελέσματα από πλευράς χρόνου, κλίσης καμπύλης και τελικής ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Η απομάκρυνση βιολογικών επικαθίσεων και των φυτών που έχουν αναπτυχθεί προτείνεται να γίνει με χρήση μηχανικού τρόπου (νυστέρια, βελόνα, κ.τ.λ.) σε συνδυασμό με διάφορα βιοκτόνα (DESOGEN).

Τέλος, οι προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης θα πρέπει να απομακρυνθούν με τις μεθόδους συντήρησης που προαναφέρθηκαν και να αντικατασταθούν όπου και αν χρειάζεται με τα κατάλληλα υλικά που αναφέρονται παρακάτω.

Συμπληρώσεις - Αισθητική αποκατάσταση.

Από τα υλικά συμπλήρωσης που αναφέρονται στο Παράρτημα 2 αναλυτικά, προτείνεται να εφαρμοστεί πηλοκονίαμα ή αντικατάσταση στην περίπτωση μεγάλης απώλειας του όγκου (άνω του 60 %) κάποιων οπτόπλινθων (κυρίως για στατικούς λόγους). Το είδος αυτό του κονιάματος χρησιμοποιείται στον τομέα της συντήρησης μνημείων και αναφέρεται στην ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία.

Η αισθητική αποκατάσταση των κεραμικών δομικών υλικών, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί με τη χρήση ανόργανων χρωστικών που θα προστεθούν στο αντίστοιχο κονίαμα που χρησιμοποιείται για τη συγκόλληση - συμπλήρωση των κεραμικών δομικών στοιχείων. Σε περίπτωση επιφανειακής αισθητικής αποκατάστασης, προτείνεται να χρησιμοποιηθούν ανόργανες χρωστικές σε μέσο γαλάκτωμα ακρυλικής ρητίνης.

3. ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Καθαρισμοί.

Η απομάκρυνση των προϊόντων διάβρωσης των σιδερένιων στοιχείων και της προγενέστερης βαφής προτείνεται να γίνει με χρήση μηχανικού τρόπου (νυστέρια, βελόνα, κ.τ.λ.) σε συνδυασμό με διάφορα χημικά διαλύματα (υδατικό διάλυμα μυρμιγκικού οξέος 15 % κ.ό.).

Συμπληρώσεις.

Στις περιπτώσεις που παρατηρούνται απώλειες υλικού προτείνεται η χρήση σιδηρόστοκου.

Στερέωση - Προστασία - Αισθητική αποκατάσταση.

Για τη στερέωση των σιδερένιων στοιχείων προτείνεται να εφαρμοσθεί ένα πρώτο στρώμα ακρυλικού πολυμερούς (PARALOID B72) σε διάλυμα ακετόνης. Κατόπιν προτείνεται να εφαρμοσθεί σιλοξανικό αστάρι το οποίο είναι σχετικά καινούριο προϊόν και έχει την ικανότητα να είναι υδατοαπωθητικό και παράλληλα υδρατμοπερατό. Η δεύτερη ιδιότητα του είναι πολύ σημαντική, εξαιτίας της έντονης

υγρασίας που παρατηρείται στο χώρο. Τέλος, το τελικό στρώμα της βαφής θα εφαρμοσθεί ανάλογα με το χρώμα που θα επιλεγεί.

Τέλος, τυχών μεταλλικά στοιχεία που έχουν μετακινηθεί από την αρχική τους θέση θα πρέπει να επανατοποθετηθούν σε αυτήν.

4. ΞΥΛΙΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Καθαρισμοί.

Από τις μεθόδους καθαρισμών που αναφέρονται στο Παράρτημα 2 αναλυτικά, οι μέθοδοι καθαρισμού που προτείνονται είναι ουδέτερα απορρυπαντικά, μηχανικά μέσα και πάστες ουδέτερου χαρτιού με διαλύτες (ακετόνη, αιθυλική αλκοόλη ή μείγματα αυτών σε διάφορες αναλογίες).

Τέλος, οι προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης όπως βαφή και διάφορες συμπληρώσεις θα πρέπει να απομακρυνθούν με τις μεθόδους συντήρησης που προαναφέρθηκαν και να αντικατασταθούν όπου και αν χρειάζεται με τα κατάλληλα υλικά που αναφέρονται παρακάτω.

Συμπληρώσεις - Αισθητική αποκατάσταση.

Για της επεμβάσεις συγκόλλησης καταλληλότερα θεωρούνται τα γαλακτώματα οξικού πολυβινυλίου ως συνδετικό μέσο. Τα ξύλα που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να είναι ανάλογου είδους με το προϋπάρχον και η σύνδεση μεταξύ τους να γίνει με τη χρήση ξύλινων συνδέσμων στρογγυλής διατομής (καβίλιες), όπου απαιτούνται μεγάλα κομμάτια συμπλήρωσης. Σε περιπτώσεις ρωγμών και μικρότερων οπών προτείνεται η χρήση ξυλόστοκου.

Τέλος, προτείνεται η βαφή των ξύλινων στοιχείων στον επιθυμητό χρωματισμό, καθώς και η χρήση ειδικού βερνικιού που θα λειτουργεί σαν φίλτρο όταν ενσωματώσουν μέσα τους απορροφητές υπεριώδους ακτινοβολίας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΠΑΘΟΓΟΝΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

1. Υγρασία.

Η παρουσία του νερού αποτελεί την κυριότερη αιτία των περισσότερων φυσικών και χημικών μεταβολών στη δομή κάθε υλικού.

Το νερό μπορεί να εισχωρήσει μέσα στα πορώδη υλικά, με τη συμπύκνωση των υδρατμών του αέρα και με τη διείσδυση του νερού της βροχής, όταν υπάρχει σχετικά μεγάλο πορώδες στο υλικό και με τη διαδικασία της τριχοειδούς αναρρίχησης, όπου κινείται από το έδαφος προς τα πάνω και όταν φθάσει σε κάποια ελεύθερη επιφάνεια, αρχίζει να εξατμίζεται.

Στην ατμόσφαιρα, η σχέση της υπάρχουσας περιεκτικότητας σε υδρατμούς προς την κορεσμένη εκφρασμένη επί %, δίνει τη σχετική υγρασία, η οποία δεν ξεπερνά το ποσοστό 100%. Για να έχουμε συμπύκνωση των υδρατμών που περιέχονται στην ατμόσφαιρα, θα πρέπει η θερμοκρασία του περιβάλλοντος να είναι χαμηλότερη από το σημείο δρόσου της ατμόσφαιρας, δηλαδή τη θερμοκρασία κορεσμού των υδρατμών της ατμόσφαιρας. Γενικά το ποσό των περιεχομένων υδρατμών στην ατμόσφαιρα αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ αντίθετα ελαττώνεται με την ελάττωση της θερμοκρασίας.

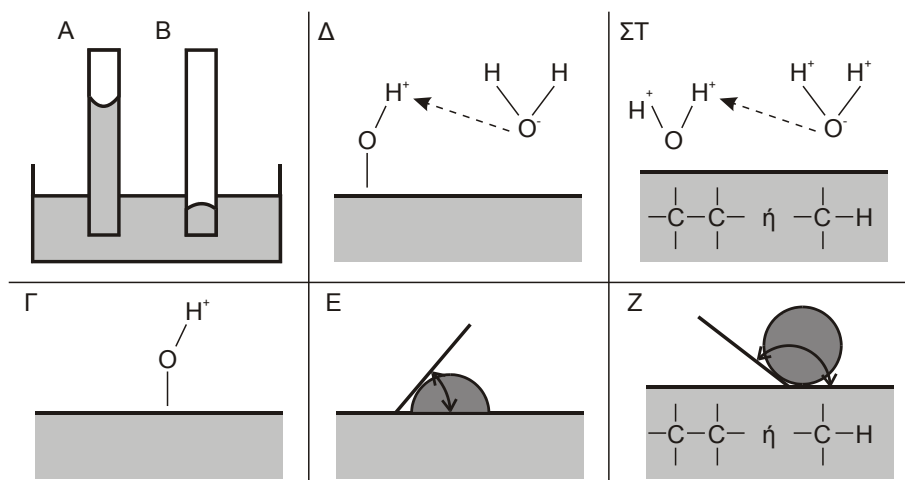
Συμπύκνωση υδρατμών μπορεί να συμβεί σε ένα περιβάλλον με υψηλή περιεκτικότητα σε υδρατμούς, είτε με μείωση της θερμοκρασίας είτε με αύξηση της ποσότητας υδρατμών, ώστε όταν ξεπεράσουν το σημείο κορεσμού. Στην περίπτωση κορεσμένου περιβάλλοντος σε υδρατμούς, το ποσό των υδρατμών που περιέχεται σε ένα κυβικό μέτρο αέρα είναι 9,32 g, για θερμοκρασία 10 °C, ενώ είναι 10,29 g, για θερμοκρασία 15 °C.

Υπάρχει μια άλλη περίπτωση στην οποία μπορεί να προκληθεί συμπύκνωση υδρατμών είναι η θερμική αδράνεια που παρουσιάζεται σε πορώδη υλικά, κατά τους διάφορους μήνες του χρόνου, όταν η θερμοκρασία των δομικών στοιχείων είναι μικρότερη από αυτή του αέρα, όπως συμβαίνει κατά τους μήνες από χειμώνα μέχρι καλοκαίρι. Έχουμε αποθήκευση νερού μέσα στο υλικό με μορφή υγρασίας, όταν ο ρυθμός εξάτμισης είναι μικρότερος από τον ρυθμό συμπύκνωσης του νερού μέσα στο υλικό.

Η συνεχής μετακίνηση νερού προς τις εξωτερικές επιφάνειες των υλικών δημιουργεί συσσώρευση αλάτων επάνω στις επιφάνειες, που σημαίνει ότι δημιουργείται φθορά της επιφάνειας του ίδιου του υλικού, με ανάπτυξη επιφανειακών τάσεων, δημιουργία μικρορωγμών, αποκόλληση κομματιών του υλικού και επομένως σταδιακή αποδιοργάνωση και φθορά του υλικού. Από την υγρασία επίσης αναπτύσσονται διάφοροι μικροοργανισμοί που προκαλούν περισσότερη φθορά στο πορώδες πέτρινο ή κεραμικό υλικό.

Τριχοειδής αναρρίχηση: Το νερό, είτε σε υγρή κατάσταση είτε σε κατάσταση υδρατμών, σε όλα τα πορώδη υλικά μπορεί να εισχωρήσει στο εσωτερικό τους, μέσα από τους πόρους. Οι πόροι που έχουν πολύ μικρή διάμετρο (1 - 100 μm) ενεργούν σαν τριχοειδείς σωλήνες και προκαλούν αναρρόφηση του νερού. Αυτό συμβαίνει επειδή υπάρχουν δυνάμεις συνάφειας μέσα στους τριχοειδείς σωλήνες μεταξύ του νερού και των τοιχωμάτων, που είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις συνάφειας μεταξύ των μορίων του νερού, οπότε το νερό τείνει να αναπτυχθεί σε όσο το δυνατόν

μεγαλύτερη επιφάνεια μέσα στο σωλήνα και προχωρεί μέσα στα τοιχώματά του υπερνικώντας ακόμα και τη δύναμη της βαρύτητας.



Τριχοειδής αναρρίχηση του νερού και επαφή του με υδρόφιλα και υδρόφοβα υλικά.

Στην περίπτωση αυτή, η επάνω επιφάνεια του νερού μέσα στον τριχοειδή σωλήνα είναι κοίλη (Α) και τα υλικά που έχουν τέτοιες ιδιότητες ονομάζονται υδρόφιλα. Το ύψος που μπορεί να φθάσει το νερό σε ένα τέτοιο σωλήνα είναι αντιστρόφως ανάλογο με τη διάμετρο του σωλήνα.

Αντίθετα, όταν οι δυνάμεις συνάφειας μεταξύ των μορίων του νερού είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις συνάφειας μεταξύ του νερού και των τοιχωμάτων του τριχοειδούς σωλήνα, η επάνω επιφάνεια του νερού μέσα στο σωλήνα είναι κυρτή (Β) και τα υλικά που έχουν τέτοιες ιδιότητες ονομάζονται υδρόφοβα. Η επιφάνεια των υδρόφιλων υλικών είναι πολωμένη από το ηλεκτρικό φορτίο που παρέχουν ομάδες υδροξυλίων (Γ).

Το νερό επίσης, έλκει το υδρογόνο και σχηματίζει πολωμένα μόρια νερού με αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο και επομένως αναπτύσσονται ασθενείς ηλεκτροστατικές δυνάμεις μεταξύ των διπλών του νερού και των πολωμένων επιφανειών του πετρώματος. Όταν έλθουν σε επαφή τα μόρια αυτά που έχουν επιφάνειες πολωμένες με υδροξύλια, αναπτύσσονται ελκτικές τάσεις, με συνέπεια τη συγκράτηση νερού επάνω στην επιφάνεια του υλικού (Δ). Στην περίπτωση αυτή, η γωνία που σχηματίζει η επιφάνεια του νερού με το επίπεδο του υλικού είναι μικρότερη της ορθής (Ε).

Επομένως, τα υδρόφιλα υλικά απορροφούν το νερό στο εσωτερικό των τριχοειδών με μία δύναμη που είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη διάμετρο των τριχοειδών. Στα υδρόφοβα υλικά, επειδή δεν υπάρχουν αλυσίδες, δεν υπάρχει ηλεκτρική φόρτιση στην επιφάνειά τους.

Τα μόρια του νερού που έρχονται σε επαφή με τέτοιες επιφάνειες, δεν τις υγραίνουν, αλλά ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν σταγόνες (ΣΤ). Στην περίπτωση αυτή, η γωνία που σχηματίζεται από την εξωτερική επιφάνεια της σταγόνας με την επιφάνεια του υλικού είναι πάντοτε μεγαλύτερη της ορθής (Ζ). Παράδειγμα υδρόφοβου υλικού είναι οι σιλικόνες καθώς και άλλα διάφορα πολυμερή.

Η τριχοειδής αναρρίχηση είναι γενικά ένα αυθόρμητο φαινόμενο και οφείλεται στην έλξη του νερού προς ορισμένες επιφάνειες. Η εξήγηση δεν οφείλεται σε φαινόμενα ηλεκτρικών δυναμικών, αν και η εφαρμογή ηλεκτρικής

τάσης μπορεί να μετριάσει το φαινόμενο προκαλώντας άλλου είδους μετακινήσεις των μορίων του νερού. Το ηλεκτρικό δυναμικό που αποκαθίσταται μεταξύ τοίχου και εδάφους σε ένα κτήριο - μνημείο μετά την αναρρίχηση του νερού, είναι πιθανό να εμποδίζει το φαινόμενο παρά να το ενισχύει.

Επειδή η τροφοδοσία του νερού με το φαινόμενο της τριχοειδούς αναρρίχησης εξαρτάται από το πάχος του τοίχου, το ύψος ανόδου είναι μεγαλύτερο για τοίχους με μεγαλύτερο πάχος, όταν τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά παραμένουν ίδια. Εξ άλλου η αρνητική επίδραση της βαρύτητας είναι αμελητέα σε σύγκριση με αυτή της εξάτμισης. Έτσι η κυκλοφορία του αέρα κοντά στις επιφάνειες επιταχύνει την εξάτμιση και προκαλεί υποβιβασμό της στάθμης της υγρασίας.

Σημαντικός παράγοντας στην τριχοειδή αναρρίχηση είναι τα διαλυτά άλατα που συγκεντρώνονται και κρυσταλλώνονται στις επιφάνειες εξάτμισης των τοίχων. Έτσι, εκτός από την αποσάθρωση που προκαλούν με το φαινόμενο της κρυστάλλωσης, δημιουργούν και προϋποθέσεις για την εκδήλωση του φαινομένου της ώσμωσης, που ενισχύει το φαινόμενο της τριχοειδούς αναρρίχησης. Επειδή η συσσώρευση και κρυστάλλωση των διαλυτών αλάτων είναι ένα φαινόμενο που εμφανίζεται συνεχώς, έτσι δεν αποκαθίσταται και μια ισορροπία στην αναρρίχηση. Τελικά, αν οι υπόλοιπες συνθήκες διατηρούνται σταθερές, το ύψος της τριχοειδούς αναρρίχησης είναι συνάρτηση της ηλικίας του τοίχου.

Η τριχοειδής αναρρίχηση του νερού και η μέγιστη ανύψωσή του μέσα στους τριχοειδείς σωλήνες προσδιορίζονται από τους τύπους που ακολουθούν.

Η ταχύτητα τριχοειδούς αναρρίχησης ενός υγρού δίνεται από τον τύπο:

$$U = \frac{dx}{dt} = \frac{r^2}{8.n.x} \left(p.g.x.\cos a + \frac{2.\gamma}{r} \right)$$

όπου: U : ταχύτητα ανύψωσης ($\text{cm}.\text{sec}^{-1}$).

r : μέση ακτίνα τριχοειδών (cm).

n : ιξώδες υγρού (cp).

γ : επιφανειακή τάση υγρού ($\text{dyn}.\text{cm}^{-1}$).

a : γωνία του τριχοειδούς με την κατακόρυφο (rads).

x : ύψος ανόδου του υγρού (cm).

p : πυκνότητα του υγρού ($\text{g}.\text{cm}^{-3}$)

Για την κατακόρυφη ανύψωση είναι $\cos a = -1$ και ο παραπάνω τύπος γίνεται:

$$U = \frac{dx}{dt} = \frac{r^2}{8.n.x} \left(\frac{2.\gamma}{r} - p.g.x \right)$$

Στην κατάσταση ισορροπίας, όπου είναι $U = 0$ και $x = x_{\max}$, το όριο ανύψωσης $x_{\max}$ δίνεται από τον τύπο:

$$x_{\max} = \frac{2.\gamma}{p.g.r}$$

Όταν το υγρό είναι το νερό, ο παραπάνω τύπος γίνεται:

$$x_{\max} = \frac{15 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2}{r}$$

αφού για το νερό ισχύει:

$$\rho = 1 \text{ g.cm}^{-3}.$$

$$g = 981 \text{ cm.sec}^{-2}.$$

$$\gamma = 73,05 \text{ dyn.cm}^{-1}.$$

$$n = 1,053 \text{ cp (1 cp = 0,01 g.cm}^{-1}.\text{sec}^{-1}) \text{ στους } 18 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Αν η ακτίνα r των τριχοειδών κυμαίνεται μεταξύ 1 μm και 10 μm , όπως για παράδειγμα σε πέτρινα δομικά υλικά, το $x_{\max}$ κυμαίνεται μεταξύ 1,5 m και 15 m, γεγονός που δεν ισχύει στην πράξη και μετριάζεται από τα φαινόμενα της εξάτμισης και των ηλεκτρωσμωτικών δυνάμεων των παρόντων διαλυμένων ιόντων. Τα δύο αυτά φαινόμενα επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό, το πρώτο αρνητικά και το δεύτερο θετικά την τριχοειδή αναρρίχηση σε ένα πορώδες υλικό.

Οι μηχανισμοί δράσης του νερού στη διάβρωση των αργιλοπυριτικών ορυκτών του υλικού είναι οι εξής:

α. Διόγκωση των αργίλων - Θιξοτροπία: Οι περισσότερες άργιλοι έχουν θιξοτροπικές ιδιότητες, που εκδηλώνονται με διαστολή κατά την ύγρανση και έχουν σαν αποτέλεσμα την μετατροπή τους σε λεπτή σκόνη κατά την ξήρανση.

Αρχικά οι άργιλοι καταστρέφονται σύμφωνα με τη βασική φυσικοχημική τους ιδιότητα, που είναι η διόγκωσή τους με απορρόφηση νερού. Οι διογκώσεις των αργίλων κυμαίνονται από 0,03% μέχρι 0,3% κατά την ενυδάτωσή τους και αντιστοιχούν σε θερμική διαστολή με άνοδο της θερμοκρασίας κατά 200 - 300 $^{\circ}\text{C}$. Με την αύξηση αυτή του όγκου των αργιλοπυριτικών με την πρόσληψη νερού, έχουμε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεγάλων μηχανικών τάσεων, με αποτέλεσμα σημαντική αποδιοργάνωση του υλικού που περιέχει αργιλοπυριτικές προσμίξεις.

Έχουν γίνει ορισμένες παρατηρήσεις σχετικά με τη διόγκωση και τις θιξοτροπικές ιδιότητες των αργιλοπυριτικών ορυκτών ανάλογα με το είδος τους. Έτσι για τον μοντμοριλλονίτη ($\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot n\text{H}_2\text{O}$), που αποτελεί κύριο συστατικό του μπετονίτη, έχει βρεθεί ότι διογκώνεται με υψηλή περιεκτικότητα σε ιόντα νατρίου (Na^+) και χαμηλή αναλογία ιόντων μαγνησίου προς ιόντα αργιλίου (Mg/Al), ενώ δεν διογκώνεται με υψηλή περιεκτικότητα ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}) και υψηλή αναλογία ιόντων μαγνησίου προς ιόντα αργιλίου (Mg/Al).

Για τον απταπουλγίτη ($\text{Mg}_5(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{O}_{20} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) έχει βρεθεί ότι δεν διογκώνεται, εξαιτίας της τρισδιάστατης δομής του, που περιέχει διπλή αλυσίδα από τετράεδρα ενωμένα στις κορυφές τους με άτομα μαγνησίου (Mg) και μερικά υποκατεστημένα από αργίλιο, σίδηρο (Al , Fe) και η οποία του δίνει έντονες ροφητικές ιδιότητες.

Για τον σεπιόλιθο ($\text{H}_4\text{Mg}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}$) έχει βρεθεί ότι παρουσιάζει διόγκωση και ροφητικές ιδιότητες. Το φαινόμενο της διόγκωσης παρατηρήθηκε ότι είναι

πιο έντονο στα βασικά πετρώματα, όπως βασάλτες, γάββρους και δολερίτες, ενώ είναι λιγότερο έντονο στα όξινα, όπως γρανίτες. Επίσης, πιο έντονη διαστολή παρατηρήθηκε σε υπερβασικούς σχίστες, που περιέχουν τάλκη, χλωρίτες και σερπεντίνη και στους σμηκτίτες.

β. Ιονεναλλακτική εξαλλοίωση: Όταν τα αργιλοπυριτικά ορυκτά του υλικού έλθουν σε επαφή με το νερό, συμβαίνουν διάφορες αντιδράσεις υδρόλυσης. Εδώ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το pH και στις περισσότερες περιπτώσεις το νερό έχει προδιάθεση για αντιδράσεις σε pH ανάμεσα στο 3 και 9.

Όταν τα αργιλοπυριτικά ορυκτά έλθουν σε επαφή με το όξινο νερό, τα ακόρεστα σθένη των μετάλλων στο πλέγμα έλκουν τα δίπολα του νερού, με αποτέλεσμα να σπάει η δομή τους και να προσλαμβάνουν ιόντα υδρογόνου αντικαθιστώντας ιόντα νατρίου, καλίου, ασβεστίου και μαγνησίου και καθώς συνεχίζεται η αλλοίωση χάνεται και το διοξείδιο του πυριτίου. Με τη διάλυση των πιο ευδιάλυτων συστατικών του υλικού, που είναι τα κατιόντα και το διοξείδιο του πυριτίου, επέρχεται εμπλουτισμός σε οξείδιο του αργιλίου και οξειδίων του σιδήρου που είναι δυσδιάλυτα.

Ο βαθμός υδρόλυσης επηρεάζεται από το κλίμα, τη θερμοκρασία και την ποσότητα των ιζημάτων. Επίσης, τα αποτελέσματα της αλλοίωσης αυξάνονται σχετικά με το πορώδες του υλικού και επομένως και με τον όγκο του νερού, που μπορεί να απορροφήσει το υλικό, καθώς και με το χρόνο επαφής του με το νερό.

Η διάλυση των κατιόντων και του διοξειδίου του πυριτίου του υλικού έχει σαν αποτέλεσμα να χαλάει η συνοχή των κόκκων του και η δομή των πρωτογενών πετρογενετικών ορυκτών. Στη συνέχεια, με το πέρασμα ενός μέρους των κατιόντων και του διοξειδίου του πυριτίου σε διάλυμα, αντιδρούν τα νάτριο, κάλιο με το διοξείδιο του πυριτίου, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μηχανικές τάσεις, οι οποίες δημιουργούν διόγκωση και πρόσθετες ρηγματώσεις στο υλικό. Τελικά αντιδρά το υπόλειμμα με ουσίες από την ατμόσφαιρα, κύρια νερό, διοξείδιο του άνθρακα και οξυγόνο και η επίδραση φυσικών και βιολογικών παραγόντων, οδηγούν στην εμφάνιση νέων δευτερογενών ορυκτών.

Κατά τη διαδικασία αυτή, έχουμε συνεχή ελάττωση των ασβεστίου, καλίου και νατρίου και εμπλουτισμό σε νερό, σίδηρο και αργίλιο. Με σχετικά ελεύθερη κυκλοφορία του νερού, η συνολική απώλεια μάζας μπορεί να φθάσει μέχρι και το 60% της ολικής ποσότητας των αργιλοπυριτικών προσμίξεων.

2. Διάβρωση των υλικών από βιολογικούς παράγοντες.

Όλα τα πορώδη υλικά ευνοούν την ανάπτυξη μικροοργανισμών στην επιφάνειά τους και η ανάπτυξη αυτή ευνοείται από διάφορες περιβαλλοντολογικές συνθήκες, ενώ οι σημαντικότεροι παράγοντες που υποβοηθούν τη βιολογική φθορά είναι τα χαρακτηριστικά του υλικού και το περιβάλλον στο οποίο είναι εκτεθειμένο.

Η διάβρωση από βιολογικούς παράγοντες είναι δευτερεύουσα απέναντι στα άλλα αίτια φθοράς σε συνθήκες ατμοσφαιρικής ρύπανσης και σε κλιματολογικές συνθήκες με βροχή και κρύο, ενώ κατέχει σημαντική θέση σε ζεστά και υγρά κλίματα χωρίς ατμοσφαιρική ρύπανση. Στη διάβρωση από βιολογικούς παράγοντες περιλαμβάνονται κύρια οι χημικές αλλοιώσεις που

προκαλούνται από τους μικροοργανισμούς, αλλά και αυτές που προκαλούνται από έντομα, πουλιά και από την ανάπτυξη των διαφόρων φυτών.

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες προβλημάτων που παρουσιάζονται για να αντιμετωπιστεί η βιολογική φθορά:

- 1. Εύρεση των παραγόντων που προκαλούν τη φθορά.**
- 2. Εύρεση των συνθηκών του περιβάλλοντος που ευνοούν την ανάπτυξή τους.**
- 3. Επιλογή, σε κάθε περίπτωση, των κατάλληλων βιοκτόνων και εκτίμηση των παρενεργειών και της αποτελεσματικότητάς τους.**

Για να προσδιοριστούν οι παράγοντες που προκαλούν τη φθορά αρχίζουμε από την παρατήρηση των μορφών αλλοίωσης που υπάρχουν στα αρχαιολογικά ευρήματα. Οι κυριότεροι βιολογικοί παράγοντες φθοράς του υλικού είναι οι αυτότροφοι μικροοργανισμοί και οι ετερότροφοι. Οι αυτότροφοι διακρίνονται σε χημιολιθότροφους, που μπορούν να οξειδώσουν μερικά ανόργανα υλικά και σε φωτοαυτότροφους, που παίρνουν ενέργεια από την φωτεινή ακτινοβολία.

Οι ετερότροφοι θεωρούνται δευτερεύοντες παράγοντες βιολογικής φθοράς, διότι επικάθονται στα αδρανή οργανικά υπολείμματα των αυτότροφων. Οι βιολογικοί μικροοργανισμοί αναπτύσσονται από το φως (οι φωτοσυνθετικοί), το οξυγόνο που είναι απαραίτητο για την αναπνοή των κυττάρων, το διοξείδιο του άνθρακα που είναι απαραίτητο για την παραγωγή οργανικών ενώσεων από τον άνθρακα και το νερό που είναι απαραίτητο για όλους τους οργανισμούς στις λειτουργίες μεταβολισμού τους. Τέλος θα πρέπει να τονισθεί ότι είναι απαραίτητα και ορισμένα ανόργανα άλατα που παράγονται από τα απολιθωμένα υλικά και για τους ετερότροφους οργανισμούς, οργανικοί άνθρακες.

Οι περισσότεροι διαδεδομένοι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται στην επιφάνεια των υλικών, είναι τα άλγη και η φθορά τους εξακριβώνεται εύκολα. Επιλέγουν υλικά με σχετικά μεγάλο πορώδες ή υλικά που έχουν ήδη διαβρωθεί και εισέρχονται μέσα σε μικρορωγμές και κάτω από μέρη που είναι μερικώς διαβρωμένα.

Τα άλγη κατά τη διάρκεια της αφομοίωσης παίρνουν διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα και μερικά είδη αποθηκεύουν ασβεστίτικα συστατικά από τα πετρώματα. Στη συνέχεια ελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο με την υγρασία μετατρέπει το ανθρακικό ασβέστιο στο σχετικά ευδιάλυτο όξινο ανθρακικό ασβέστιο που απομακρύνεται με τη διαβροχή. Επίσης τα άλγη παράγουν και θειικό οξύ που μετατρέπει το ανθρακικό ασβέστιο στο ευδιάλυτο θειικό ασβέστιο ή στην γύψο που επίσης απομακρύνονται με τη διαβροχή. Τα άλγη διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

α. Κυανά άλγη ή κυανοφύκη. Αξιοποιούν ακόμα και τις πιο μικρές ποσότητες φωτός, επειδή διαθέτουν χλωροφύλλη και άλλες μπλε και κόκκινες χρωστικές και επομένως προστατεύονται από τον έντονο ήλιο. Επίσης διαθέτουν υγροσκοπικό περίβλημα που τα προστατεύει από την ξηρασία, τα βοηθά να αξιοποιούν ακόμα και τις ελάχιστες ποσότητες νερού και να προσκολλώνται σε όλες τις επιφάνειες. Η ανάπτυξή τους ευνοείται από την παρουσία μη προσροφητικών αργίλων, όπως ο καολίνης, ενώ οι προσροφητικές άργιλοι, όπως ο ατταπουλγίτης, δεν τα ευνοούν.

β. Πράσινα άλγη ή χλωροφύκη. Οι συνθήκες που τα ευνοούν είναι η σταθερή υγρασία και όχι πολύ έντονο ηλιακό φως, με εξαίρεση μερικά είδη

που έχουν πορτοκαλί χρωστική και αναπτύσσονται σε πολύ έντονο φως. Επίσης αναπτύσσονται και διαβιούν σε pH 3,5-9, δηλαδή από όξινο ως πολύ βασικό περιβάλλον. Οι κρούστες που σχηματίζουν τα χλωροφύκη έχουν ανοιχτό πράσινο χρώμα και πολλές φορές αναπτύσσονται ανάμεσα σε αποικίες κυανοφυκών για καλύτερη προστασία. Σε ευνοϊκές συνθήκες αναπτύσσονται πολύ εύκολα, ενώ ευνοούνται και από το πλύσιμο.

γ. Κόκκινα φύκη. Είναι κυρίως θαλάσσια και μόνο ένα είδος έχει βρεθεί πάνω στο υλικό σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και πάντα σε χαμηλό φως.

Οι λειχήνες είναι επίσης διαδεδομένοι μικροοργανισμοί σε συνθήκες με μικρή μόλυνση περιβάλλοντος και διαθέτουν χαρακτηριστικό σχήμα και αρκετά έντονους χρωματισμούς. Επάνω στην πέτρινη επιφάνεια διακρίνονται σαν λεκέδες με χρώμα κίτρινο, πορτοκαλί, καφέ, γκριζο, άσπρο και ώχρα. Είναι πολύ ανθεκτικές σε ακραίες συνθήκες, με αποτέλεσμα να μην καταπολεμούνται εύκολα. Όταν το περιβάλλον είναι ρυπασμένο, συναντώνται μόνο επάνω σε υλικά που αντιδρούν με το διοξείδιο του θείου (ανθρακικό ασβέστιο). Τα ασβεστολιθικά υλικά υφίστανται διάβρωση από μερικές λειχήνες, διότι καταπονούνται μηχανικά (διαφορά στην διαστολή μεταξύ ένυδρης και άνυδρης μορφής) και υφίστανται χημική αλλοίωση με διάλυση του υλικού με οξαλικό οξύ και με διοξείδιο του άνθρακα. Υπάρχουν άλλες περιπτώσεις λειχήνων που δρουν προστατευτικά στο υλικό με το σχηματισμό κρούστας οξαλικού ασβεστίου, οπότε αν δεν είναι διατρητικές και δεν προκαλούν έντονο αισθητικό αποτέλεσμα δεν απαιτείται να απομακρύνονται. Υπάρχουν δύο **είδη βακτηρίων**, τα βακτήρια του κύκλου του θείου και του κύκλου του αζώτου, που συμβάλλουν στην αλλοίωση του υλικού και ο ρόλος τους είναι ακόμα αντικείμενο μελετών. Τα βακτήρια είναι μικροοργανισμοί μεγέθους 1-10 μ και αναπτύσσονται σε pH 8-8,5. Τα αυτότροφα βακτήρια αλλάζουν την τριχοειδή συμπεριφορά των κατωτέρων τμημάτων των κατασκευών που δεν αερίζονται αρκετά και οξειδώνουν θειούχες ενώσεις οι οποίες στη συνέχεια παράγουν θειικό οξύ που εισχωρεί στο υλικό, μετατρέπεται το ανθρακικό ασβέστιο σε θειικό ασβέστιο διαλύοντάς το και διαλύει τον περιεχόμενο χαλαζία. Στα ανώτερα μέρη των υλικών τα βακτηρίδια αποσυνθέτουν διάφορες οργανικές θειούχες και αζωτούχες ενώσεις, με αποτέλεσμα αρχικά την παραγωγή αμμωνίας και στη συνέχεια την παραγωγή θειικού και νιτρικού οξέος, τα οποία συμβάλλουν στην διαλυτοποίηση του ανθρακικού ασβεστίου και του χαλαζία του υλικού. Τα ετερότροφα βακτηρίδια παράγουν οργανικά οξέα που συμβάλλουν στην διαλυτοποίηση των ανθρακικών και των πυριτικών προσμίξεων των υλικών.

Υπάρχουν κύρια οι παρακάτω κατηγορίες βακτηρίων:

1. Τα νιτροαναγωγικά - αμμωνιοβακτήρια, που οξειδώνουν μορφές θείου που έχουν υποστεί αναγωγή, όπως το στοιχειακό, τα θειοκυανιούχα και τα θειοθειικά που είναι προϊόντα μεταβολισμού άλλων μικροοργανισμών. Μπορούν να είναι αυτότροφα ή ετερότροφα, υπάρχουν συχνά σε ασβεστόλιθους, ευνοούνται σε αναερόβιες συνθήκες και δεν επηρεάζονται από εφαρμογή υδρόφοβων.

2. Τα νιτροοξειδωτικά - νιτρωδοβακτήρια, που δεν συνυπάρχουν με τα θειοοξειδωτικά, είναι αυτότροφα, εμφανίζονται σπάνια σε αναερόβιες συνθήκες και στο έδαφος. Επίσης δεν επηρεάζονται αισθητά από την εφαρμογή υδρόφοβων.

3. Τα σιδηροοξειδωτικά, με περισσότερο συνηθισμένο να εμφανίζεται το *Thiobacillus ferrooxidans*.

4. Τα βακτήρια που προκαλούν μεταβολισμό στα ανθρακικά και δεν μπορούν να συνυπάρξουν με θειοβακίλλους και αμμωνιοβάκίλλους.

5. Τα θειοοξειδωτικά - θειοαναγωγικά, που μπορεί να είναι αυτότροφα, ημιαυτότροφα ή ετερότροφα και προκαλούν μεταβολισμό στο θείο και τα θειοαναγωγικά, τα οποία δεν υπάρχουν σε αναερόβιες συνθήκες. Σε ουδέτερο ή όξινο pH τα αυτότροφα προκαλούν μεταβολισμό στο θείο και στα θειοθειικά ($S_2O_3^{2-}$), ενώ τα ημιαυτότροφα μεταβολίζουν το θείο από τις οργανικές ενώσεις. Τα θειοαναγωγικά παράγουν υδρόθειο από μορφές θείου που έχουν οξειδωθεί. Τα θειοβακτήρια προκαλούν ζημιά στο υλικό με συγκεντρώσεις πάνω από 1000 βακτηρίδια/g. Έχουμε μεγάλες ποσότητες σε περιοχές με απολεπίσεις με μεγάλη παρουσία θειικών, ενώ έχουμε περιορισμένη παρουσία σε περιπτώσεις κυψέλωσης.

Οι μύκητες και οι ακτινομύκητες προκαλούν φθορά στο απολιθωμένο υλικό, η οποία όμως δεν μπορεί να προσδιορισθεί εύκολα τουλάχιστον όταν στην επιφάνεια δεν υπάρχουν οργανικά υπολείμματα, όπως π.χ. υπολείμματα από εφαρμογές προστασίας που έγιναν κατά το παρελθόν, οπότε στην περίπτωση αυτή οι μύκητες μπορούν να αποτελέσουν σημαντική αιτία φθοράς για το υλικό. Οι μύκητες αναπτύσσονται σε όξινο περιβάλλον με pH περίπου 5 - 5,5, τρέφονται με λίγο οργανικό υλικό, αντέχουν στην ξηρασία και στην έλλειψη ηλιακού φωτός και με ευνοϊκές συνθήκες μπορούν να εισχωρήσουν βαθιά μέσα στη μάζα του υλικού. Οι στρεπτομύκητες παρουσία θειούχων ενώσεων, παράγουν θειικό οξύ και επομένως προσβάλλουν και διαλυτοποιούν υλικά ασβεστιτικά, μαγνησιούχα, καλιούχα και πυριτικά. Επίσης τα περισσότερα είδη εκκρίνουν οργανικά οξέα, όπως κυρίως κιτρικό και οξαλικό οξύ, που διαβρώνουν το απολιθωμένο υλικό. Οι μύκητες συναντώνται λιγότερο στους τοίχους από ότι στο χώμα, ενώ στα ανώτερα μέρη των υλικών παρατηρείται τέλεια απουσία τους και κάθε είδος μύκητα παρουσιάζει και συγκεκριμένη δράση πάνω στο υλικό, όμως είναι πολύ χαρακτηριστικό ότι προκαλούν λεκέδες στην επιφάνεια και στη συνέχεια μετατρέπουν σε υδατοδιαλυτές ενώσεις διάφορα αδιάλυτα συστατικά, με αποτέλεσμα την απομάκρυνσή τους, την αύξηση του πορώδους και τελικά τη μείωση της αντοχής του υλικού.

3. Ατμοσφαιρική ρύπανση.

3α. Μαύρη Κρούστα. Η εξωτερική επιφάνεια των πέτρινων μνημείων που βρίσκονται σε μολυσμένη ατμόσφαιρα των πόλεων καλύπτεται από εναποθέσεις που προσφύονται και προσκολλώνται στο υπόστρωμα και παίρνουν χρώμα από γκρίζο μέχρι μαύρο. Γενικά οι επικαθίσεις είναι συνήθως:

α. Ορυκτολογικής προέλευσης, όπως χώμα, λάσπη, ασβεστολιθικά υλικά και άμμος.

β. Προϊόντα οικιακών και βιομηχανικών καύσεων, όπως στάχτη, επικαθίσεις καυσαερίων, πίσσα και αιθάλη.

γ. Βιολογικές επικαθίσεις, όπως άλγη, λειχήνες, βακτήρια, μύκητες κ.λπ..

Για να μπορούν να παραμείνουν αυτές οι εναποθέσεις, θα πρέπει να δημιουργούνται σε περιοχές του μνημείου που προφυλάσσονται από το νερό της βροχής και γενικά διαθέτουν διαφορετικό πάχος και δομή. Υπάρχουν διάφορα είδη εναποθέσεων στην πέτρινη επιφάνεια, όπως σε μορφή σκόνης, να είναι διατεταγμένες σε στρώματα, να είναι συνδεδεμένες χαλαρά με την

πέτρινη επιφάνεια ή λίγο προσκολλημένες σ' αυτή και άλλες ομοιογενείς, πολύ συμπαγείς και ισχυρά στερεωμένες στο πέτρινο υπόστρωμα, που ονομάζονται "μαύρες κρούστες".

Οι ελκτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ της πέτρας και των επικαθίσεων μπορεί να είναι ηλεκτροστατικής φύσης, δυνάμεις Van der Waals, δυνάμεις τριχοειδούς φαινομένου, δυνάμεις επιφανειακής τάσης και δυνάμεις δεσμών υδρογόνου. Στο εσωτερικό των μνημείων συνήθως δημιουργούνται κρούστες σε επίπεδες, πολύ εκτεθειμένες επιφάνειες, όπου οι επικαθίσεις είναι χαμηλές και εμφανίζονται σαν ομοιόμορφες λεπτές στιβάδες με πάχος από 0,5 - 3 mm, η σύστασή τους είναι λεία και συμπαγής και σκεπάζουν την πέτρα διατηρώντας την αρχική της μορφή. Στις περιοχές όμως που προφυλάσσονται από τις καιρικές συνθήκες, οι κρούστες είναι πολύ σκληρές, με πάχος 0,5 - 2 cm, έχουν εμφάνιση τραχειά και πορώδη και η πέτρα παίρνει μια πιο ανώμαλη όψη. Πάντα σχεδόν αυτές οι κρούστες προκαλούν σοβαρά φαινόμενα διάβρωσης του πέτρινου υλικού, που εμφανίζονται με μορφή απολεπίσεων, αποφλοιώσεων και εξογκωμάτων.

Με την πάροδο του χρόνου η μαύρη κρούστα γίνεται όλο και περισσότερο συμπαγής, σκληρή και λιγότερο πορώδης και στη συνέχεια ρηγματώνεται και σπάζει, εμφανίζοντας από κάτω το πέτρινο υλικό που έχει ήδη διαβρωθεί και αποσυντεθεί. Στις περιοχές που η μαύρη κρούστα αποκολλάται και πέφτει, στην πέτρινη επιφάνεια που εκτίθεται εκ νέου, στην ατμόσφαιρα, αρχίζει να σχηματίζεται πάλι νέα μαύρη κρούστα.

Στις ασβεστολιθικές πέτρες, η κρούστα είναι πολύ σκληρή σε ποσοστό 10% για σκληρές πέτρες και 50% για μαλακές πέτρες και παρουσιάζει τις παρακάτω φυσικές ιδιότητες: υψηλότερη πυκνότητα, χαμηλότερη διαπερατότητα στο νερό και ολική υποκατάσταση του ανθρακικού ασβεστίου με γύψο. Αυτές οι ιδιότητες αποτελούν αιτίες διάβρωσης της πέτρας διότι:

α. Η γύψος έχει μεγαλύτερο όγκο από αντίστοιχη ποσότητα ασβεστίτη και επομένως με τις διαφορές στον όγκο δημιουργούνται μηχανικές τάσεις στις ρωγμές και στους πόρους του πέτρινου υλικού.

β. Υπάρχει διαφορετικός συντελεστής θερμικής διαστολής - συστολής μεταξύ γύψου και ασβεστίτη, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μηχανικών τάσεων, όπου η διαστολή είναι μεγαλύτερη στην κορυφή της μαύρης κρούστας, εξαιτίας του μαύρου χρώματος και επομένως της μεγαλύτερης απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με τις λευκές επιφάνειες.

γ. Υπάρχει μικρότερη διαπερατότητα, που αυξάνει την κατακράτηση του νερού και επομένως προκαλεί περισσότερα διαβρωτικά αποτελέσματα.

δ. Όταν υπάρχει οργανική ύλη ευνοείται η ανάπτυξη μικροοργανισμών, όπως θειοβακτηρίων, νιτρωδοβακτηρίων, αλγών και λειχήνων.

Εξετάζοντας στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης μία τέτοια επιφανειακή κρούστα διαπιστώνουμε ότι αποτελείται από πολυάριθμα μικρά κομμάτια άνθρακα, με μορφή σφαιρική και διαφορετικών διαστάσεων. Από την καύση του πετρελαίου παράγονται τα πολύ πορώδη υλικά, ενώ από την καύση του άνθρακα παράγονται αυτά που είναι συμπαγή και διαθέτουν λεία επιφάνεια και δίνουν το μαύρο χρώμα της κρούστας. Επίσης σε διάφορες περιοχές υπάρχουν κρύσταλλοι γύψου, σιδηρούχες ενώσεις και σπανιότερα υπάρχουν μικροκρύσταλλοι ασβεστίτη, κρύσταλλοι χαλαζία και άλλων πυριτικών ενώσεων, περιοχές με μήκητες κ.ά..

Η γύψος εμφανίζεται είτε σε ομάδες με μορφή λεπιδοειδή είτε σε πρισματικούς κρυστάλλους με διάφορες διαστάσεις. Από τα οξείδια του σιδήρου, περισσότερο σημαντικός είναι ο μαγνητίτης και σε παραθαλάσσιο περιβάλλον, παρατηρούνται επίσης κρύσταλλοι χλωριούχου νατρίου, σε κυβική μορφή. Από την παρατήρηση λεπτών τομών πέτρινης επιφάνειας, που σκεπάζεται από μαύρη κρούστα στο μικροσκόπιο, αποδεικνύεται ότι η κρούστα αυτή πάντα αποτελείται από στρώματα και σταδιακά αυξάνεται από την επικάλυψη μικρομοριακών υλικών που είναι σε διασπορά στην ατμόσφαιρα.

Η μαύρη κρούστα δεν προσκολλάται απ' ευθείας στην επιφάνεια της πέτρας, αλλά σε ένα στρώμα γύψου, που είναι καθαρό ή αναμεμιγμένο με μικροκρυστάλλους ασβεστίτη και εισχωρεί μέσα στην πέτρα, κύρια στους πόρους και στις μικρορωγμές και κάνει την επιφάνειά της ακανόνιστα πορώδη. Έχει διαπιστωθεί ύπαρξη γύψου σε βάθος 8 - 10 cm σε χονδρόκοκκα μάρμαρα, ιδιαίτερα πορώδη και σε τέτοια υλικά παρατηρείται μια βαθειά εσωκρυσταλλική αποσύνθεση που προκαλεί την αποδιοργάνωση των κόκκων του ασβεστίτη και σταδιακή κονιοποίηση του υλικού. Αντίθετα, οι μαλακοί ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν ρηγματώσεις που συνοδεύονται από αποκολλήσεις κομματιών της πέτρας. Σε ασβεστόλιθους με μικρό πορώδες η εισχώρηση της γύψου είναι ελάχιστη και προκαλεί απολεπίσεις.

Συνολικά, συνήθως παρατηρούνται δύο επίπεδα γύψου, όπου το πρώτο αποτελείται από κρυστάλλους γύψου κανονικά σχηματισμένους μεγάλων διαστάσεων, περίπου 10 μ και το δεύτερο από μικροκρυσταλλική γύψο. Κάτω από τα δύο αυτά στρώματα υπάρχει ένα στρώμα από ανακρυσταλλωμένο ασβεστίτη, που αποτελείται από ισοδιαμετρικά άτομα μετρίων διαστάσεων και είναι καλά προσκολλημένο στην πέτρινη επιφάνεια. Όταν αποκολληθεί η επιφανειακή κρούστα, επειδή ο ασβεστίτης αυτός είναι ιδιαίτερα ενεργός, βοηθά στον γρήγορο επανασχηματισμό νέας κρούστας.

Από αναλύσεις που έγιναν με περίθλαση ακτίνων Χ (X.R.D.), για την ορυκτολογική σύσταση της μαύρης κρούστας διαπιστώθηκε η παρουσία γύψου, ασβεστίτη πιθανά από ανακρυστάλλωση και χαλαζία.

Επίσης βρέθηκε οξαλικό ασβέστιο, που προέρχεται από τη διαδικασία μεταβολισμού διαφόρων ειδών λειχήνων, από υπολείμματα επεξεργασίας του μαρμάρου με οξαλικό οξύ και σπανιότερα από οξαλικά άλατα του σιδήρου. Όταν στις μαύρες κρούστες περιέχονται προϊόντα από εκκρίσεις πουλιών (περιστεριών) διαπιστώθηκε η ύπαρξη όξινου φωσφορικού ασβεστίου ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) και όξινου φωσφορικού καλίου ($\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Αν και γενικά δεν έχουν γίνει πολλές φυσικοχημικές ποιοτικές αναλύσεις μαύρης κρούστας, έχει γενικά διαπιστωθεί ότι σ' αυτές περιέχονται πολλά στοιχεία, τα οποία είναι άμεσα συνδεδεμένα με το περιβάλλον του μνημείου.

Έχουν επίσης πραγματοποιηθεί ποσοτικές αναλύσεις στις μαύρες κρούστες με χρωματογραφία ή ατομική απορρόφηση. Στους 800 °C περίπου προκύπτει απώλεια υλικού σε ποσοστό 20 - 30%, που αντιστοιχεί σε οργανικά κατάλοιπα και άνθρακα. Το ασβέστιο κυμαίνεται σε ποσοστά 5 - 25% περίπου και τα θειικά κυμαίνονται, επίσης, σε υψηλά επίπεδα, με μέγιστες τιμές γύρω στο 30% ή μερικές φορές ακόμη μεγαλύτερες στο 50 - 60%. Τα χλωριούχα είναι σε ποσοστό αρκετά μεταβλητό και συνήθως χαμηλό γύρω στο 1%, διότι εξ αιτίας της υγροσκοπικότητάς τους τα διαλύματά τους τείνουν να εισχωρήσουν σε βάθος στην πέτρα.

Εξετάζοντας την προέλευση των διαφόρων συστατικών της μαύρης κρούστας διαπιστώνουμε ότι το ανθρακούχο υλικό προέρχεται από τα υπολείμματα των καύσεων των πετρελαιοειδών που βρίσκονται σε διασπορά στη ρυπασμένη ατμόσφαιρα των πόλεων, το ασβέστιο κύρια από το ασβεστολιθικό υλικό της πέτρας, ο σίδηρος από σιδηρούχα υλικά που περιέχονται στην πέτρα ή και από προϊόντα διάβρωσης σιδερένιων συνδέσμων, το νάτριο, το κάλιο και το μαγνήσιο από την αλατονέφωση από τη θάλασσα αλλά και από προσμίξεις της πέτρας, το αλουμίνιο και το πυρίτιο από τις αργιλοπυριτικές προσμίξεις της πέτρας και τελικά συστατικά όπως χρώμιο, νικέλιο, μαγνήσιο, ψευδάργυρος, μόλυβδος και βανάδιο που προέρχονται από βιομηχανικούς ρύπους που υπάρχουν σε διασπορά στην ατμόσφαιρα. Από τα ανιόντα, τα ανθρακικά και τα πυριτικά προέρχονται από συστατικά των πετρωμάτων, τα θειικά από βιομηχανικούς ρύπους, τα νιτρικά από βιολογικούς παράγοντες αλλά και από βιομηχανικούς ρύπους, τα χλωριούχα από το φυσικό περιβάλλον και τα οξαλικά - φωσφορικά είναι μάλλον βιολογικής προέλευσης.

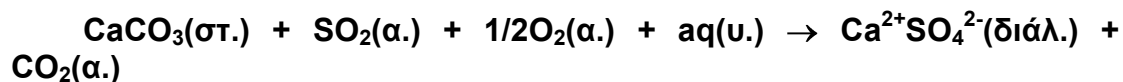
3β. Διάβρωση από το διοξείδιο του θείου.

Το SO₂ προέρχεται κύρια από την καύση του μαζούτ και του diesel και είναι ένα σχετικά σταθερό αέριο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, όταν δεν υπάρχει υγρασία και η ατμόσφαιρα είναι καθαρή. Με παρουσία όμως υγρασίας, ρυπαντών και ηλιακής ακτινοβολίας υφίσταται καταλυτική οξείδωση σε δύο περιπτώσεις σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Η ταχύτητα της καταλυτικής οξείδωσης εξαρτάται από τη φύση και τη συγκέντρωση του καταλύτη, τη συγκέντρωση του SO₂, τη θερμοκρασία, την υγρασία και το pH. Η κατάλυση γίνεται από ενώσεις του μαγγανίου, οξειδία του σιδήρου και του μολύβδου, τριοξείδιο του χρωμίου και πεντοξείδιο του βαναδίου. Επίσης, καταλυτικό ρόλο παίζουν η υγρασία, το ίδιο το CaCO₃ και η γύψος σε στερεή κατάσταση είτε σε διάλυμα. Στη συνέχεια το θειικό οξύ αντιδρά γρήγορα με το ανθρακικό ασβέστιο του ασβεστολίθου και του μαρμάρου και το διαλύει (όξινη προσβολή), όταν τα πέτρινα γλυπτά είναι εκτεθειμένα στο νερό της βροχής. Συνήθως η έννοια "όξινη προσβολή" περιλαμβάνει μαζί με τη δράση του θειικού οξέος και τη δράση του ανθρακικού οξέος, όπως περιγράφηκε προηγουμένως, και του νιτρικού οξέος, όπως θα περιγραφεί παρακάτω. Όταν όμως οι επιφάνειες των γλυπτών δεν έρχονται σε επαφή με το νερό της βροχής, μετατρέπονται σε γύψο (γυψοποίηση).

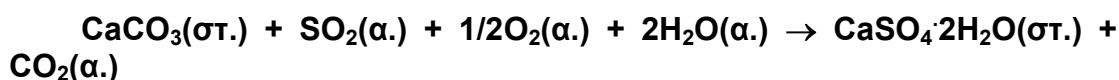
Η όξινη προσβολή γίνεται κατά την αντίδραση:



οπότε διαλύεται το υλικό με αντίστοιχη εξαφάνιση των γλυπτών λεπτομερειών που αντιδρούν περισσότερο με την έννοια ότι είναι τα περισσότερο ενεργά κέντρα

του. Η αντιμετώπιση της όξινης προσβολής γίνεται με το να αποφεύγεται τα γλυπτά να έρχονται σε επαφή με το νερό της βροχής (π.χ. στέγαση).

Η γυψοποίηση γίνεται κατά την αντίδραση:

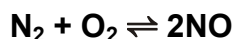


οπότε σχηματίζεται γύψος στην επιφάνεια του ασβεστίτη, η οποία επειδή είναι περισσότερο ευδιάλυτη από αυτόν, με τη βροχή διαλύεται με αντίστοιχη εξαφάνιση των γλυπτών λεπτομερειών. Η διαλυτότητα της γύψου είναι 2,4 g/lt στους 20 °C, ενώ η διαλυτότητα του ασβεστίτη είναι 0,02 g/l σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

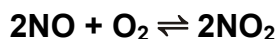
Η καταλυτική οξείδωση του SO_2 σε H_2SO_4 ευνοείται κύρια το χειμώνα λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας ρύπων στην ατμόσφαιρα από την οικιακή θέρμανση και την αυξημένη σχετική υγρασία. Η αμμωνία που υπάρχει σαν ρυπαντής σε κάθε βιομηχανική περιοχή προκαλεί τη μερική εξουδετέρωση του θειικού οξέος. Η ταχύτητα της αντίδρασης της γυψοποίησης εξαρτάται από την ποιότητα του μαρμάρου, την ενεργότητα της επιφάνειάς του, τις προσμίξεις και την κατανομή τους, την κοκκομετρική σύσταση του μαρμάρου, τη μερική πίεση του SO_2 , την υγρασία, τη θερμοκρασία και τη θέση της εκτεθειμένης επιφάνειας σε επαφή με την ατμόσφαιρα. Από τους ίδιους παράγοντες εξαρτάται και το πάχος του στρώματος της γύψου, που κατανέμεται ανομοιόμορφα στην επιφάνεια του μαρμάρου, λόγω της διαφορετικής ενεργότητας του κάθε σημείου του μαρμάρινου υλικού.

3γ. Διάβρωση από οξείδια του αζώτου.

Στην ατμόσφαιρα υπάρχει σε κανονικές συνθήκες μονοξείδιο του αζώτου (NO) σε μεγαλύτερες ποσότητες από το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) και σχηματίζεται από τις δράσεις μικροοργανισμών και τη χρήση λιπασμάτων στις διάφορες καλλιέργειες. Στη ρυπασμένη ατμόσφαιρα των μεγαλουπόλεων, τα παραπάνω αέρια παράγονται στις μηχανές εσωτερικής καύσης και φωτοχημικά. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 1200 °C πραγματοποιείται η αντίδραση:

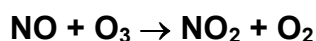


που είναι ενδόθερμη και επομένως ευνοείται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Στα καυσαέρια το NO οξειδώνεται σύμφωνα με την αντίδραση:

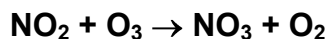


όπου η ισορροπία πηγαίνει προς τα αριστερά με αυξανόμενη την μερική πίεση του NO .

Στον αέρα το NO οξειδώνεται ταχύτερα από το ατμοσφαιρικό O_3 με τη φωτοχημική αντίδραση:



Το NO_2 με O_3 και φωτεινή ακτινοβολία δίνει NO_3 σύμφωνα με:



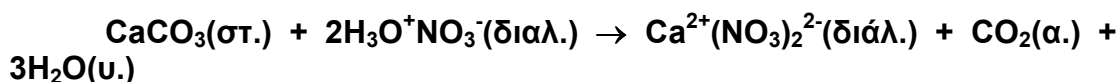
Στη συνέχεια τα NO_2 και NO_3 αντιδρούν μεταξύ τους και σχηματίζουν το N_2O_5 που είναι ο ανυδρίτης του HNO_3 σύμφωνα με:



Στη συνέχεια το N_2O_5 αντιδρά με H_2O και δίνει HNO_3 σύμφωνα με :

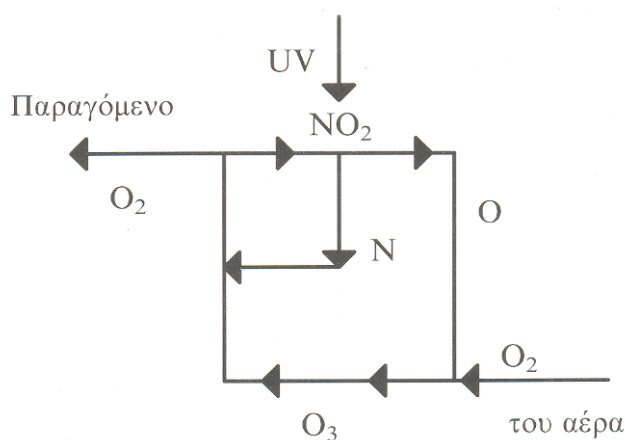


Στη συνέχεια το HNO_3 αντιδρά με το ασβεστολιθικό υλικό της πέτρας και παράγεται το πολύ διαλυτό $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ σύμφωνα με:



με αποτέλεσμα την διάλυση του υλικού και την εξαφάνιση των γλυπτών λεπτομερειών.

Γενικά ο φωτολυτικός κύκλος των NO_x παριστάνεται σχηματικά, με την επίδραση του οξυγόνου του αέρα και με την παρουσία των υπεριωδών ακτινοβολιών, ως εξής:



με αντιδράσεις κατά σειρά:



Στην ατμόσφαιρα των βιομηχανικών πόλεων, εκτός από τους αέριους ρυπαντές, αιωρούνται σε κολλοειδή ή αδρομερή διασπορά στερεά σωματίδια, όπως αιθάλη, οξειδία μετάλλων, άργιλοι, γύψος, τσιμέντο, CaCO_3 και άμμος που μεταφέρονται εύκολα από τον αέρα σε σκόνη (μέγεθος σωματιδίων 1 - 150 μ) ή σαν καπνός (μέγεθος σωματιδίων κάτω από 0,5 μ). Αυτά τα σωματίδια έχουν την τάση να επικαθίσουν στις επιφάνειες των κτηρίων

μεταφέροντας μαζί ροφημένους υδρατμούς και άλλους ατμοσφαιρικούς ρυπαντές, υγρούς ή αέριους. Με αυτό τον τρόπο τα κολλοειδή αυτά συστήματα μεταφέρουν τους ρυπαντές αυξάνοντας τη συγκέντρωσή τους στις επιφάνειες των κτηρίων και των μνημείων και καταλύουν την οξείδωση:



αφού οι περισσότεροι έχουν έντονες ημιαγωγικές ιδιότητες και προσροφούν το νερό.

Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι όλοι αυτοί οι ρυπαντές που υπάρχουν στην ρυπασμένη ατμόσφαιρα, εκτός από τη διάβρωση που προκαλούν στην πέτρα, προκαλούν και άσχημο αισθητικό αποτέλεσμα στις επιφάνειες και στις λεπτομέρειες των μνημείων. Οι επιφάνειες των πέτρινων μνημείων μαυρίζουν από την αιθάλη και τις μαύρες κρούστες και γίνονται κοκκινωπές από τα οξείδια του σιδήρου. Στα σημεία όπου το μνημείο βρέχεται από τα νερά της βροχής ξεπλένεται η γύψος, που είναι ελαφρά διαλυτή, με αποτέλεσμα να εξαφανίζονται οι γλυπτές λεπτομέρειες στα μνημεία. Αντίθετα, στα σημεία όπου το μνημείο δεν βρέχεται, η γύψος, μαζί με τις επικαθίσεις από την ατμόσφαιρα σχηματίζει τη μαύρη κρούστα, της οποίας ο καθαρισμός με τις συνηθισμένες μεθόδους θα επιφέρει πάλι την εξαφάνιση των γλυπτών λεπτομερειών, ενώ πολύ σύντομα αυτή η κρούστα θα ξανασχηματιστεί.

Αν επιδιώξουμε να κάνουμε μία σύγκριση μεταξύ της διάβρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων και των άλλων αιτιών φθοράς των πέτρινων υλικών, αρχικά διαπιστώνουμε ότι δεν προσδιορίζεται εύκολα η επιρροή της, αλλά αναμφίβολα επιταχύνει τη φθορά γενικά για τις ασβεστολιθικές πέτρες. Για παράδειγμα, αν θεωρήσουμε μία πέτρα με μεγάλο πορώδες και αρκετή ποσότητα αργιλοπηριτικών προσμίξεων, που έχουν διασταλεί ή ευαισθητοποιηθεί από την δράση του νερού, η δράση της μόλυνσης της ατμόσφαιρας θεωρείται δευτερεύουσα σε σχέση με αυτή του νερού ή άλλων παραγόντων.

Επίσης παρατηρήθηκαν επιφανειακές ρωγμές στο υλικό και περιοχές που έχουν αποκολληθεί και λείπουν, από τη δράση των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων.

4. Κρυστάλλωση διαλυτών αλάτων.

Υπάρχουν μορφές φθορών, λόγω της κρυστάλλωσης διαλυτών αλάτων, σε εναλλασσόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, που προέρχονται από την ατμοσφαιρική ρύπανση και τα δομικά υλικά και ως ένα βαθμό από το φαινόμενο της τριχοειδούς αναρρίχησης από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Η διάβρωση από τη δράση των διαλυτών αλάτων είναι μία από τις πιο επικίνδυνες μορφές διάβρωσης και επιδρά σε όλα τα πετρώματα, ακόμη και εκείνα που έχουν ελάχιστο πορώδες. Αρχικά, αντιμετωπίζεται πολύ δύσκολα, επειδή εμφανίζεται υπό διάφορες συνθήκες και τα διαλυτά άλατα προέρχονται από πολλές πηγές, με αποτέλεσμα να οδηγεί σε πλήρη αποδιοργάνωση του υλικού, επειδή αναπτύσσονται πολύ μεγάλες τάσεις στους πόρους του πέτρινου υλικού. Τα συχνότερα διαλυτά άλατα που δρουν στο υλικό είναι τα χλωριούχα και τα θειικά και ακολουθούν τα ανθρακικά, τα νιτρικά και πιο σπάνια τα νιτρώδη, ενώ από τα κατιόντα υπάρχουν το ασβέστιο, το νάτριο, το κάλιο και το μαγνήσιο.

Ο μηχανισμός δράσης των διαλυτών αλάτων διαφέρει σημαντικά από υλικό σε υλικό και οι πηγές προέλευσής τους είναι:

α. Τα νερά του υπεδάφους, που ανεβαίνουν με τριχοειδή αναρρίχηση συμπαρασύροντας μέσα από το έδαφος τα διαλυτά συστατικά των αργιλοπυριτικών κυρίως αλλά και των υπολοίπων υλικών. Τα υπόγεια νερά, ανάλογα με τα υλικά από τα οποία έχουν διέλθει, περιέχουν διαλυμένα και σε διάφορες αναλογίες κύρια τα παρακάτω ιόντα: νατρίου, καλίου, μαγνησίου, ασβεστίου, θειικά, ανθρακικά, χλωριούχα και πυριτικά.

β. Τα δομικά υλικά γενικά είναι από μόνα τους πηγές διαλυτών αλάτων, καθώς και τα κονιάματα που χρησιμοποιούνται στην οικοδομική. Το τσιμέντο π.χ. αποτελεί σημαντική πηγή διαλυτών αλάτων, θεικών κατά πρώτο λόγο, ανθρακικών και πυριτικών.

γ. Η ατμοσφαιρική ρύπανση με την παρουσία διοξειδίου του θείου (SO_2) και οξειδίων του αζώτου (NO_x), με τη δημιουργία θειικών, νιτρικών και χλωριούχων διαλυτών αλάτων.

Τα πιο συνηθισμένα διαλυτά άλατα που δρουν και διαβρώνουν τα υλικά είναι τα εξής:

ΑΛΑΣ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ
Αλίτης	NaCl
Ανταρκτικήτης	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Αρκανίτης	K_2SO_4
Αστρακανίτης	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Βασσανίτης	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$
Γλασερίτης	$(\text{Na}, \text{K})_2\text{SO}_4$
Γύψος	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Εξανδρίτης	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Επσομίτης	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Θερμονατρίτης	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Καλικινίτης	KHCO_3
Κιεζερίτης	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Μαγνησίτης	MgCO_3
Μιραβιλίτης	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Μπισοφίτης	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Νατρίτης	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Νιτράσβεστος	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Νιτρικό αμμώνιο	NH_4NO_3
Νίτρο	KNO_3
Νίτρο της Χιλής	NaNO_3
Νιτρομαγνησίτης	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Νεσκεονίτης	$\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Πικρομερίτης	$\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Πολυαλίτης	$\text{K}_2\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Συγγενίτης	$\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Συλβίτης	KCl
Τεναρδίτης	Na_2SO_4
Υδρομαγνησίτης	$\text{Mg}_5[\text{OH}(\text{CO}_3)_2]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Όταν στους πόρους ενός υλικού γίνεται διάλυση αλάτων, σε συνθήκες κορεσμού ή υπερκορεσμού, αρχίζουν να δημιουργούνται κρύσταλλοι μέσα στους πόρους. Οι κρύσταλλοι αυτοί αυξάνονται τροφοδοτούμενοι από τη διάλυση στο δίκτυο των τριχοειδών και επομένως εξασκούν πίεση στα τοιχώματά τους. Η πίεση αυτή θα είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι η σχέση ανάμεσα στην υπάρχουσα συγκέντρωση του άλατος και τη συγκέντρωση κορεσμού του και δίνεται από τον τύπο:

$$P = \frac{R.T}{V_s} \cdot \ln \frac{C}{C_s}$$

όπου:

P : η πίεση κρυσταλλοποίησης σε Atms.

R : η σταθερά των ιδανικών αερίων ίση με $0,082 \text{ lt.Atm.mole}^{-1} \cdot \text{grad}^{-1}$.

T : η απόλυτη θερμοκρασία σε $^{\circ}\text{K}$.

U_s : ο μοριακός όγκος του στερεού άλατος σε lt.mole^{-1} .

C : η παρούσα συγκέντρωση του άλατος σε mole.lt^{-1} .

C_s : η συγκέντρωση κορεσμού του άλατος σε mole.lt^{-1} .

Κατά το στέγνωμα του υλικού λαμβάνει χώρα η εναπόθεση των διαλυτών αλάτων και σχετίζεται άμεσα με τη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας, οπότε πρώτα εναποτίθενται τα δυσδιάλυτα άλατα CaCO_3 , MgCO_3 , $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, CaSO_4 και στη συνέχεια, ανάλογα με την σχετική υγρασία του περιβάλλοντος, εναποτίθενται τα ευδιάλυτα.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις RH% για τις διάφορες εναποθέσεις των διαφόρων διαλυτών αλάτων για θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C , ενώ ειδικά για το $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ για τους $18,5^{\circ}\text{C}$.

Κενό αέρα	0
K_2SO_4	97
KNO_3	95
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	92
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	90
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	87
KBr	84
Na_2SO_4	81
NaCl	75,3
NaNO_3	73,9
$\text{NaBr} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	58
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	56
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	50
$\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	44
$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	42
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	33
$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	29
LiCl	15
Νερό	100

Ο πίνακας αυτός έχει μεγάλη σημασία, όταν πρόκειται να εφαρμοστούν μέθοδοι για στέγνωμα υλικού, ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητες εναποθέσεις αλάτων. Όταν βέβαια κάποιο αλάτι φθάσει και ξεπεράσει το σημείο κορεσμού του μέσα στους πόρους, εναποτίθεται ανεξάρτητα από την υγρασία και το φαινόμενο της κρυσταλλοποίησης συνοδεύεται από αυτό της ενυδάτωσης, το οποίο επίσης συνεπάγεται μεταβολές στον όγκο.

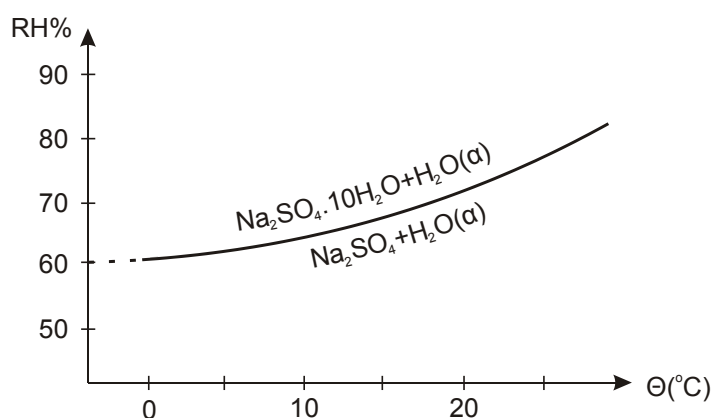
Τα περισσότερα άλατα μπορεί να υπάρχουν σε διάφορες καταστάσεις ενυδάτωσης και κάθε φάση έχει ένα πεδίο σταθερότητας που καθορίζεται από ορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας, πίεσης και υγρασίας. Έξω από το πεδίο αυτό, μπορεί να συνεχίζει να υπάρχει η ίδια φάση του αλάτος, αλλά καθίσταται μεταβατική.

Ενώ όμως μία ασταθής φάση μετασχηματίζεται σε σταθερή αυθόρμητα (π.χ. σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ο πάγος λιώνει), για να αρχίσει να μετασχηματίζεται μία μεταβατική φάση, πρέπει να συμβούν μεταβολές από το εξωτερικό περιβάλλον.

Το αλάτι άνυδρο θειικό νάτριο (Na_2SO_4) μπορεί να περάσει στην ένυδρη μορφή ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), αν η σχετική υγρασία είναι μεγαλύτερη από 75%, σύμφωνα με την αντίδραση:



Οι περιοχές κρυστάλλωσης του θειικού νατρίου δίνονται στο επόμενο διάγραμμα:



Περιοχές σταθερότητας του άνυδρου Na_2SO_4 και του $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας (V. Furland).

Επίσης το αλάτι $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ σε θερμοκρασία 20 °C μπορεί να μετασχηματιστεί σε $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, αν η σχετική υγρασία ξεπεράσει το 65%, ενώ αν η σχετική υγρασία ξεπεράσει το 75%, αρχίζει να δημιουργείται η φάση $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Σε κάθε φάση ενυδάτωσης αναφέρεται ένας ειδικός όγκος διαφορετικός σε σχέση με τον αρχικό ειδικό όγκο και επομένως όταν ο μετασχηματισμός από τη μία φάση στην άλλη γίνεται στο εσωτερικό των πόρων του υλικού, έχουμε φαινόμενα αύξησης όγκου, με αποτέλεσμα οι μηχανικές τάσεις που ασκούνται στα τοιχώματα των πόρων να ξεπερνούν την αντοχή τους, οπότε προκαλείται επιφανειακή αποδιοργάνωση του υλικού. Για παράδειγμα το θειικό νάτριο παρουσιάζει αύξηση όγκου της τάξης του 308%.

Η γύψος παρουσιάζει τις παρακάτω ένυδρες και μη μορφές:

CaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Το θειικό μαγνήσιο παρουσιάζει τις παρακάτω ένυδρες μορφές:

$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

με αντίστοιχη αύξηση του όγκου του κατά 170%.

Αν στους πόρους ενός υλικού υπάρχει ένα διαλυτό αλάτι, δημιουργείται το ίζημά του από την εξάτμιση του νερού και το φαινόμενο αυτό μπορεί να συμβεί στο εσωτερικό πορώδες ή στην εξωτερική επιφάνεια του υλικού. Για το φαινόμενο αυτό υπάρχουν δύο μηχανισμοί: η διάχυση των ατμών του νερού διαμέσου του ήδη στεγνού εξωτερικού στρώματος του υλικού και η μετατόπιση του διαλύματος μέσα στους πόρους από τις υγρές ακόμη εσωτερικές ζώνες προς τις εξωτερικές που στεγνώνουν.

Τα άλατα θα αρχίσουν να κρυσταλλοποιούνται στην εξωτερική επιφάνεια του υλικού, όταν η ταχύτητα διάχυσης των ατμών του νερού είναι μικρότερη από την ταχύτητα μετακίνησης του διαλύματος, οπότε το διάλυμα μπορεί να φθάσει στην εξωτερική επιφάνεια του υλικού. Αντίθετα η κρυσταλλοποίηση των αλάτων γίνεται κάτω από την επιφάνεια του πέτρινου υλικού, οπότε έχουμε υποεπιφανειακή εξάνθηση, ενώ στην πρώτη περίπτωση έχουμε επιφανειακή εξάνθηση. Οι υποεπιφανειακές εξανθήσεις δημιουργούν δυνάμεις στα στρώματα του υλικού που βρίσκονται κάτω από την επιφάνειά του, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται απολεπίσεις και αποκοπή επιφανειακών τεμαχιδίων. Οι εξανθήσεις εμφανίζονται πάντα στα όρια υγρής και στεγνής περιοχής και όπου υπάρχουν ρωγμές. Όταν το νερό διεισδύσει κάπου, εμφανίζονται οι εξανθήσεις εκεί που ξαναβγαίνει και συνήθως στην επιφάνεια του υλικού οι εξανθήσεις εμφανίζονται τον χειμώνα και εξαφανίζονται το καλοκαίρι.

Γενικά έχουμε διάφορες μορφές αλλοιώσεων, που εξαρτώνται από τις συνθήκες κρυσταλλοποίησης των αλάτων και από τα χαρακτηριστικά της δομής και του ιστού του πέτρινου υλικού. Η κυψέλωση εμφανίζεται με το σχηματισμό κοιλοτήτων, που συχνά είναι αρκετά βαθιές και συνοδεύεται από μεγάλες αποσυνθέσεις του υλικού. Παρατηρείται σε υλικά με μεγάλο πορώδες και πολλές φορές μπορεί να εξαφανιστούν οι λεπτομέρειες ή να προκληθούν απώλειες στους εσωτερικές συνδέσεις του υλικού. Για να προκληθεί κυψέλωση πρέπει να υπάρχουν ταυτόχρονα διάφοροι παράγοντες, όπως αυξημένο πορώδες, αυξημένη περιεκτικότητα σε άλατα πολύ διαλυτά και υγροσκοπικά και ισχυρές διαταραχές ανέμων σε επαφή με την πέτρινη επιφάνεια.

Με τις συνθήκες αυτές οι εναλλαγές των υδρατμών ανάμεσα στο υλικό και στον αέρα είναι πολύ γρήγορες και συνεχώς επαναλαμβανόμενες και επομένως συμβαίνουν συχνοί κύκλοι διάλυσης - κρυσταλλοποίησης και ενυδάτωσης - αφυδάτωσης των αλάτων. Οι διαταραχές των ανέμων, εκτός βασικά από την απαγωγή της θερμότητας, μπορούν να θέσουν σε κίνηση το υλικό που έχει αποσυνδεθεί λόγω των μηχανικών τάσεων που συνοδεύουν το φαινόμενο.

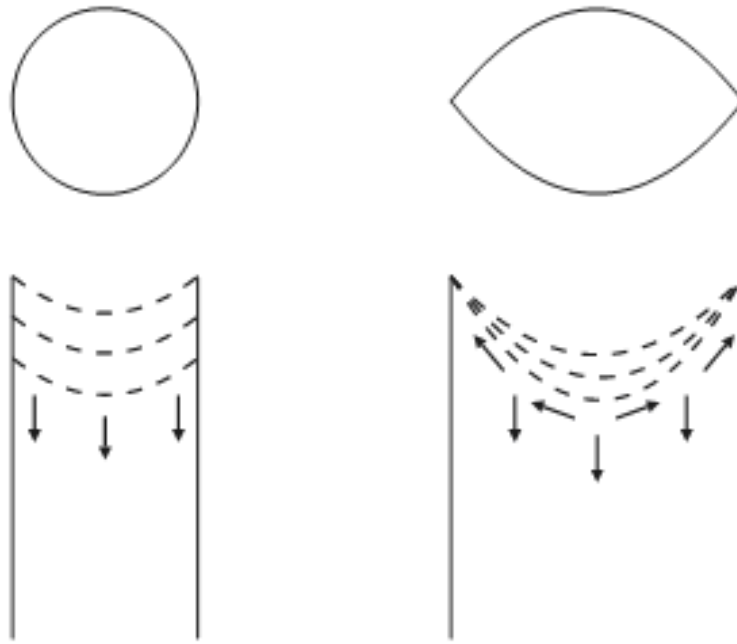
Τα χλωριούχα άλατα έχουν αρχικά το χαρακτηριστικό ότι είναι πιο ευκίνητα από τα θειικά και τα ανθρακικά, με αποτέλεσμα να διεισδύουν μέσα σε πόρους και ρωγμές όπου κρυσταλλώνονται και ασκούν μεγάλες μηχανικές

τάσεις. Επίσης καθιστούν μεγάλα συγκροτήματα αργίλων να "πέπτονται", δηλαδή να περνούν σε κολλοειδή αιωρήματα, οπότε διαλύονται οι άργιλοι του υλικού και συντελείται ταχύτερη απώλεια του υλικού. Τα θειικά και τα χλωριούχα άλατα διαλύουν το μαγνήσιο σε μαγνησιούχες προσμίξεις των υλικών. Τέλος, αυξάνουν την μη στοιχειομετρία των κρυστάλλων και έτσι συμβάλλουν στην καταστροφή του συνδετικού υλικού των κόκκων του υλικού.

Υπάρχουν πολλές θεωρίες για τον ρόλο των χλωριούχων αλάτων στις απολεπίσεις και στην κυψέλωση στην επιφάνεια του πέτρινου υλικού. Για να ξεκινήσει η απολέπιση σημαντικό ρόλο παίζει η οσμωτική πίεση του νερού με μεγάλη περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα, κύρια χλωριούχα και θειικά. Στην απολέπιση σημαντικό ρόλο κατέχει επίσης και η γύψος, της οποίας η διαλυτότητα αυξάνει σε μεγάλο βαθμό με την παρουσία NaCl , όπου η διαλυτότητα της γύψου στους $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ από $1,7\text{ g/l}$ σε απεσταγμένο νερό, γίνεται $5,3\text{ g/l}$ σε κορεσμένο διάλυμα NaCl .

Συχνά, αντί για κυψέλωση, δημιουργείται στην επιφάνεια του υλικού μία λεπτή σκληρή κρούστα, όπου κάτω από αυτήν το υλικό έχει χάσει εντελώς την συνοχή του και έχει αποδιοργανωθεί, οπότε στα σημεία που σπάει η κρούστα από κάποιο κτύπημα, το υλικό από κάτω "αδειάζει" με την μορφή λεπτής σκόνης μέχρι μεγάλο βάθος. Τέτοια επιφανειακή κρούστα ανθρακικού ασβεστίου δημιουργείται, όταν παρουσιάζεται έντονη παρουσία ανθρακικών αλάτων. Γενικά, ο καθοριστικός παράγοντας διάβρωσης ενός υλικού είναι ο ολικός όγκος των αλάτων που εναποτίθεται και όχι η φύση τους. Έτσι, μία ποσότητα NaCl προκαλεί ίδια ζημιά με ίδια ποσότητα Na_2SO_4 ή γύψου. Όταν τα τελευταία ανακυκλώνονται ανάμεσα στην υγρασία και στην ξηρασία, η διάβρωση προκαλείται από τη διάλυση και τη δημιουργία κρυστάλλων σε άλλη περιοχή.

Για να εξηγηθεί ο μηχανισμός των εξανθήσεων των διαλυτών αλάτων στην επιφάνεια του υλικού, οι υποθέσεις στηρίζονται στο γεγονός ότι η διατομή των πόρων δεν είναι ποτέ κυκλική (βλ. επόμενο σχήμα). Όταν υπάρχει κυκλική διατομή, κατά την εξάτμιση, ο μηνίσκος του διαλύματος των αλάτων στην έξοδο του τριχοειδούς μετατοπίζεται προς τα κάτω και επομένως τα ιόντα των διαλυτών αλάτων που παρουσιάζουν μεγάλη πυκνότητα στην επιφάνεια, διαχέονται προς τα κάτω. Αντίθετα, όταν υπάρχει ελλειπτική διατομή, στις άκρες του μεγάλου άξονα της έλλειψης και επομένως στα άκρα του μηνίσκου, έχουμε μετατόπιση προς τα πάνω με αποτέλεσμα να υπάρχει διάχυση ιόντων προς τα πάνω, οπότε σε αυτά τα σημεία επέρχεται κορεσμός των διαλυτών αλάτων και επομένως αρχίζει η εναπόθεσή τους. Γενικά η ένυδρη μορφή των διαλυτών αλάτων εμφανίζεται σε ψυχρό και υγρό καιρό.



Κατά το παρελθόν, υπήρχε η εντύπωση ότι η μηχανική δράση μικρών τεμαχιδίων σκόνης και άμμου που μεταφέρονταν από τον αέρα μπορούσε να σχηματίσει κυψελώσεις στην επιφάνεια του υλικού και για αυτό, αυτή η μορφή διάβρωσης των υλικών αναφερόταν με τον όρο "αιολική διάβρωση". Εκ των υστέρων βέβαια, διαπιστώθηκε ότι η διάβρωση αυτή είναι ένα είδος φθοράς κατά την οποία σημαντικότατο ρόλο παίζει η απαραίτητη παρουσία διαλυτών αλάτων. Επομένως δεν υπάρχει αυτοτελής μορφή τέτοιας διάβρωσης, αλλά αυτή υπάγεται στην διάβρωση από διαλυτά άλατα, αφού ο ρόλος του αέρα περιορίζεται στην απαγωγή θερμότητας και στην ξήρανση της επιφάνειας του υλικού, ενώ η αμμοβολή συμβάλλει μόνο στην έναρξη της δράσης. Όπως αναφέρθηκε στη διάβρωση από διαλυτά άλατα, όταν η ταχύτητα του αέρα είναι αρκετά μεγάλη, τότε το νερό, που περιέχει διαλυτά άλατα και κυκλοφορεί μέσα στους πόρους του υλικού, εξατμίζεται πριν φθάσει στην επιφάνειά του, με αποτέλεσμα τα άλατα να εναποτίθενται κάτω από τα επιφανειακά στρώματα δημιουργώντας υποεπιφανειακή αποσάθρωση.

Όταν επομένως πετρώματα, που περιέχουν υγρασία και διαλυτά άλατα, εκτίθενται συνέχεια σε ανέμους ή επιταχυνόμενη εξάτμιση του νερού, προκαλούνται λόγω της υποεπιφανειακής αποσάθρωσης μικρές κοιλότητες στην επιφάνεια του πέτρινου υλικού. Μέσα σ' αυτές τις κοιλότητες δημιουργούνται στροβιλισμοί του αέρα, που μεγαλώνουν ακόμα περισσότερο την ταχύτητά του και επομένως την εξάτμιση και στη συνέχεια και τα αποτελέσματα της επιφανειακής αποσάθρωσης, με συνεχόμενη αύξηση του όγκου των κοιλοτήτων και επομένως συνεχόμενη απώλεια πέτρινου υλικού. Επομένως, συνολικά η δράση του αέρα απλώς επιταχύνει τη φθορά με απαραίτητη προϋπόθεση την κρυστάλλωση των παρόντων διαλυτών αλάτων και τελικά ο όρος "αιολική διάβρωση" έχει αντικατασταθεί από τους όρους "κυψέλωση" και "απολέπιση", όπως και στην περίπτωση της δράσης των διαλυτών αλάτων.

5. Θερμοκρασιακές μεταβολές.

Υπάρχουν σημαντικές διαφορές στους συντελεστές θερμικής διαστολής μεταξύ των δομικών υλικών που συνυπάρχουν στο κτήριο, αλλά και μεταξύ περιοχών του ίδιου του υλικού και το αποτέλεσμα είναι σε απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές ή μεταβολές σε μικρά χρονικά διαστήματα να δημιουργούνται ρηγματώσεις και αποκολλήσεις υλικών.

6. Οξείδωση μεταλλικών στοιχείων.

Η χρήση των μεταλλικών στοιχείων στα περισσότερα μνημεία υπήρξε στην κατασκευή τους ή στις μεταγενέστερες αναστηλώσεις. Χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα μεταλλικοί σύνδεσμοι, οι οποίοι ήταν σιδερένιοι, χαλύβδινοι ή ορειχάλκινοι και είχαν σκοπό τη συγκράτηση των δομικών στοιχείων μεταξύ τους. Τα προϊόντα της διάβρωσης, όπως οξείδια του σιδήρου, παραμένουν στην επιφάνεια αυξάνοντας πολύ τον όγκο του συστήματος μέταλλο - προϊόντα διάβρωσης και προκαλώντας τελικά τη ρήξη του δομικού υλικού στο οποίο είναι εγκιβωτισμένος ο σύνδεσμος. Η διόγκωση δεν οφείλεται μόνο στη διαφορά των μοριακών όγκων των προϊόντων διάβρωσης των μετάλλων αλλά και στο μηχανισμό διάβρωσής τους, που έχει σαν βραδύτερο στάδιο τη διάχυση μεταλλοκατιόντων προς το διαβρωτικό περιβάλλον μέσα από το στρώμα του ήδη σχηματισμένου προϊόντος διάβρωσης, με τη δημιουργία γαλβανικού στοιχείου μεταξύ του μετάλλου και του διαβρωτικού περιβάλλοντος.

Ο σίδηρος υφίσταται αρκετά γρήγορη διάβρωση, η οποία εκδηλώνεται με την αύξηση του όγκου του και με το σχηματισμό στρωμάτων διάβρωσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να προκαλεί σημαντικές μορφές διάβρωσης, όπως να δημιουργηθούν ρωγμές στο δομικό υλικό, με αποτέλεσμα την απόσπαση κομματιών. Επίσης όταν υπάρχουν σύνδεσμοι από σίδηρο, τα προϊόντα οξείδωσής του εμποτίζουν το δομικό υλικό και του δίνουν ένα κοκκινωπό χρώμα με άσχημο αισθητικό αποτέλεσμα και δύσκολη απομάκρυνση.

7. Ανθρώπινοι παράγοντες φθοράς.

Υπάρχουν πολλές μορφές φθορών που οφείλονται στην επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα. Ο άνθρωπος μπορεί να προκαλέσει φθορές σαν κατασκευαστής των υλικών που χρησιμοποιούνται, σαν χρήστης και μελετητής, σαν συντηρητής και σαν επισκέπτης.

8. Ακτινοβολία.

Οι πιο κοινοί τρόποι φωτισμού είναι :

1. το ηλιακό φως : ο ήλιος εκπέμπει μεγάλες ποσότητες υπεριώδους, ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας.

2. οι λάμπες φθορισμού

3. οι λάμπες πυράκτωσης.

Οι χρωστικές με την επίδραση των ακτινοβολιών υφίστανται διάφορες επιδράσεις φωτοοξείδωσης, ανάλογα με το είδος της χρωστικής και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Οι αντιδράσεις αυτές επηρεάζονται από την παρουσία στο περιβάλλον οξυγόνου, ατμοσφαιρικών ρύπων, υγρασίας και θερμοκρασίας.

Από πλευράς επιδράσεων από την υπεριώδη ακτινοβολία τα δομικά υλικά διαιρούνται σε δυο βασικές κατηγορίες :

Τα ανόργανα υλικά, των οποίων η χημική δομή αποτελείται από απλούς δεσμούς ή οι δομικές τους μονάδες είναι μονομερή και δεν αποτελούνται από ανθρακικές αλυσίδες. Τέτοια είναι τα υλικά των **πέτρινων, κεραμικών, μεταλλικών, τοιχογραφιών**, ψηφιδωτών και γυάλινων αντικειμένων.

Τα οργανικά υλικά, των οποίων η χημική δομή αποτελείται από σύνθετους δεσμούς ή οι δομικές τους μονάδες είναι πολυμερή και αποτελούνται από ανθρακικές αλυσίδες με διάφορους υποκαταστάτες. Τέτοια είναι τα υλικά των **ξύλινων**, χάρτινων, ζωγραφικών σε ξύλο ή καμβά αντικειμένων.

Στην περίπτωση των ανόργανων υλικών, η επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι από ελάχιστη έως μηδενική. Αντίθετα, στην περίπτωση των οργανικών υλικών τα πράγματα διαφοροποιούνται σημαντικά και έχουμε σημαντικές διαβρωτικές επιδράσεις των υπεριωδών ακτινοβολιών. Ειδικά για τα **ξύλινα στοιχεία** με την επίδραση του ηλιακού φωτός και ιδιαίτερα της υπεριώδους ακτινοβολίας μπορούν να υποστούν επιφανειακή καταστροφή των δομικών του συστατικών. Το αποτέλεσμα είναι αρχικά ότι το ξύλο αποκτά ένα σχεδόν λευκό χρώμα και αργότερα, με την άνοδο στην επιφάνειά του των διαλυτοποιημένων παραγώγων της λιγνίνης, ένα γκρίζο ή μαύρο χρώμα. Η διαδικασία αυτή είναι φωτοοξειδωση που προκαλείται από τη δράση των ακτινοβολιών και συμβαίνει κυρίως σε ξύλινα αντικείμενα που βρίσκονται για μεγάλο χρονικό διάστημα εκτεθειμένα στο ηλιακό φως.

Εάν το ξύλο έχει **χρωματική επιφάνεια ή βερνίκι** τότε επιταχύνονται οι διαδικασίες φθοράς του. Αποτέλεσμα είναι η αλλοίωση του βερνικιού, των χρωστικών και του συνδετικού μέσου τους, ο αποχρωματισμός των ευαίσθητων οργανικών χρωμάτων, η ρωγμάτωση, η απολέπιση κ.τ.λ., μέχρι την ολοκληρωτική καταστροφή της ζωγραφικής επιφάνειάς του.

Τέλος το φως, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας που συνήθως επιφέρει, υποβοηθά τοπικά την αποβολή υγρασίας και τη συρρίκνωση του ξύλου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

1. Οι επικαθίσεις των διαφόρων δομικών υλικών θα πρέπει να απομακρυνθούν με τις κατάλληλες συμβατές και ανώδυνες μεθόδους καθαρισμών λίθων και κονιαμάτων και αυτές θα στηρίζονται στη χρήση απιονισμένου νερού και ειδικών συμβατών παστών καθαρισμού. Μετά από κάθε διαδικασία καθαρισμού θα πρέπει να πραγματοποιούνται μετρήσεις του pH και της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας των εκπλυμάτων, για την διαπίστωση συνολικής απομάκρυνσης όξινων ή αλκαλικών καταλοίπων του καθαρισμού αφ' ενός και διαλυτών αλάτων αφ' ετέρου. Επίσης θα πρέπει να πραγματοποιηθεί απομάκρυνση διαλυτών αλάτων από την επιφάνεια και τους πόρους των διαφόρων υλικών και αυτό θα πρέπει να γίνει με τη χρήση κομπρεσών απιονισμένου νερού και μετρήσεων της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας με αγωγιμόμετρο για τη διαπίστωση της περάτωσης της μεθόδου.

1α. Μηχανικές μέθοδοι καθαρισμού των υλικών.

- Ράντισμα με νερό: Είναι μέθοδος σχετικά εύκολη και χρησιμοποιείται ειδικά για την απομάκρυνση διαλυτών αλάτων, που είναι επικίνδυνα για τα πορώδη πετρώματα. Χρησιμοποιείται κύρια όταν οι επικαθίσεις είναι διαλυτές στο νερό και δεν είναι ισχυρά συνδεδεμένες με την πέτρινη επιφάνεια. Το νερό διαλύει το ανθρακικό ασβέστιο που περιέχεται στις σκληρές κρούστες. Αρχικά ραντίζεται η επιφάνεια με απιονισμένο νερό για να μαλακώσουν οι επικαθίσεις και μετά ακολουθεί τρίψιμο και ξέπλυμα. Τα υλικά δεν πρέπει να είναι πολύ διαβρωμένα και η μέθοδος δεν εγγυάται ολοκληρωτική απομάκρυνση των επικαθίσεων. Εξ άλλου καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες νερού που προκαλούν διάφορες μορφές διάβρωσης, όπως παγετό. Η χρονική διάρκεια του καθαρισμού ποικίλλει, ανάλογα με τη χημική φύση και το πάχος της κρούστας που θέλουμε να απομακρύνουμε. Για παράδειγμα, κρούστες πάχους 1 - 3 mm, με υψηλή περιεκτικότητα σε ασβεστίτη γύρω στο 20 - 30%, επάνω σε υλικά χρειάζονται 10 - 20 ώρες καθαρισμό δίνοντας ένα αρκετά ικανοποιητικό αποτέλεσμα.

- Νέφωση νερού: Εδώ εκτοξεύεται νερό υψηλής πίεσης 6 - 120 Atms, οπότε διογκώνεται η στιβάδα της κρούστας και στη συνέχεια τρίβεται και ξεπλένεται. Η μέθοδος απαιτεί μεγάλη προσοχή στα πορώδη πετρώματα, διότι υπάρχουν κίνδυνοι από παγετό σε κρύες εποχές. Με τη μέθοδο αυτή απομακρύνονται καλύτερα διαλυτά άλατα και σκληρές κρούστες, ενώ οι υψηλές πιέσεις που χρησιμοποιούνται είναι επικίνδυνες για τις πέτρινες επιφάνειες.

Επίσης η ροή του νερού μπορεί να προκαλέσει αποκολλήσεις τεμαχιδίων του διαβρωμένου υλικού και επομένως μπορεί εύκολα να απομακρύνει ακόμα και υγιή κομμάτια του προκαλώντας οπές και εκδορές. Έχουμε αύξηση στη διαλυτική ικανότητα του νερού, όταν χρησιμοποιείται σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία, το οποίο είναι θετικό για να διαλυθούν οι επικαθίσεις, αλλά και αρνητικό, διότι μπορεί παράλληλα να απομακρύνει και μέρος του πέτρινου υλικού. Ειδικά για τα υλικά με ασβεστολιθικές προσμίξεις ενισχύεται η φθορά που έχει προκληθεί από αιτίες που οφείλονται στο νερό. Γενικά, η μέθοδος αυτή προκαλεί μεγάλες απώλειες υλικού από την επιφάνεια του υλικού και γι' αυτό αποφεύγεται ακόμα και σε περιπτώσεις υγιών υλικών.

- **Ατμός νερού:** Εδώ εκτοξεύεται ατμός με πίεση 5 - 10 Atms και με θερμοκρασία 150 - 250 °C. Η μέθοδος αυτή έχει καλύτερα αποτελέσματα σε ανώμαλες επιφάνειες, όπου δεν επιτυγχάνει ο μηχανικός καθαρισμός. Πριν εφαρμοστεί η χρήση αυτής της μεθόδου, πρέπει να γίνουν δοκιμές αντοχής του υλικού σε υψηλή θερμοκρασία. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται σε δύο δράσεις:

1. Αρχικά ο ατμός μαλακώνει και διαλύει τη σκληρή κρούστα, η οποία με πίεση σπάζει ευκολότερα και

2. Υπάρχει διαφορετικός συντελεστής θερμικής διαστολής ανάμεσα στο υλικό και στην κρούστα και επομένως συντελεί στην ευκολότερη απομάκρυνσή της με τη θερμότητα. Επειδή όμως τα απολιθωμένα υλικά είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας, υπάρχει περίπτωση να προκληθούν σημαντικές φθορές, ειδικά σε περιοχές πολύ διαβρωμένες. Συνολικά η δράση του ατμού δεν είναι αρκετή για να απομακρυνθεί πλήρως η μαύρη κρούστα και έτσι είναι απαραίτητο να επακολουθήσει και ένας τελικός καθαρισμός με τρίψιμο.

Τελικά, οι τρεις αυτές μέθοδοι καθαρισμού με νερό είναι πολύ πιθανόν να προκαλέσουν αιτίες διάβρωσης στα υλικά των πετρωμάτων. Επομένως, δεν εφαρμόζονται όταν υπάρχει πιθανότητα απολέπισης ή αποκολλήσεων υλικού ή συχνός παγετός ή αν το υλικό είναι πορώδες. Στη συνέχεια, μπορεί να προκληθούν έμμεσοι κίνδυνοι, διότι η μέθοδος υποβοηθά την κυκλοφορία των διαλυτών αλάτων μέσα στους πόρους του υλικού, αντί για την έκπλυσή τους.

- **Μικροβολή:** Είναι μέθοδος, ίδια σε τεχνική με αυτήν της αμμοβολής και χρησιμοποιείται μια καλή λειαντική σκόνη από αλουμίνα ή μικρές χάντρες γυαλιού σε σκόνη, με χαμηλότερη σκληρότητα από το διοξείδιο του πυριτίου της άμμου και με μικρότερο μέγεθος, με αποτέλεσμα λιγότερη λείανση και ηπιότερη μηχανική δράση. Το ακροφύσιο, μέσα από το οποίο εκτοξεύεται η λειαντική σκόνη, είναι πάρα πολύ μικρό και επομένως το ρεύμα της σκόνης είναι μικρό, με αποτέλεσμα να ελέγχεται καλύτερα ο καθαρισμός. Σύμφωνα με το πάχος και τη σκληρότητα της κρούστας, αλλά και σύμφωνα με τη διάβρωση του υλικού και το είδος των επικαθίσεων ή των μαύρων κηλίδων, ρυθμίζεται η ροή αέρα - λειαντικής σκόνης. Για παράδειγμα για μια πολύ διαβρωμένη πέτρινη επιφάνεια με κηλίδες, απαιτείται 20 - 30% σκόνη και ροή του αέρα περίπου στο μηδέν, ενώ για υγιές υλικό με παχιά και σκληρή κρούστα απαιτείται 70% σκόνη και ροή του αέρα στο μέγιστο. Η μέθοδος εκτόξευσης μικροκόκκων αποτελεί σήμερα το μοναδικό τρόπο καθαρισμού πολύ κατεστραμμένων επιφανειών υλικού, όπου κάθε άλλη μέθοδος παρουσιάζεται ως επικίνδυνη. Συνήθως όμως σε τέτοιες περιπτώσεις, πριν τον καθαρισμό γίνεται ενίσχυση της επιφάνειας που πρόκειται να καθαριστεί, αν και με τον τρόπο αυτό υπάρχει περίπτωση να γίνει αδιάλυτη στο νερό η κρούστα που έχει συσσωρευτεί στην επιφάνεια.

- **Υπέρηχοι:** Η μέθοδος στηρίζεται στις μικροδονήσεις που προκαλεί το ξέστρο υπερήχων, οι οποίες προκαλούν την σταδιακή αποκόλληση των διαφόρων επικαθίσεων του μαρμάρινου δομικού υλικού.

- **Laser:** Η μέθοδος καθαρισμού με laser στηρίζεται στις υψηλές θερμοκρασίες (4.000 - 5.000 °K) που αναπτύσσονται σε υλικά με μικρή θερμική αγωγιμότητα και μεγάλη απορροφητικότητα, όταν ακτινοβολούνται με ακτίνες laser και ένα τέτοιο υλικό είναι και η μαύρη κρούστα, κυρίως εξ αιτίας της αιθάλης που περιέχει. Σε τόσο υψηλή θερμοκρασία η αιθάλη, τα διάφορα οξείδια και τα διάφορα άλατα εξαχνώνονται, ενώ η θερμοκρασία πέφτει

απότομα, μόλις εμφανιστεί η λευκή επιφάνεια του μαρμάρου με τη μεγάλη ανακλαστικότητα. Η θερμότητα που απορροφά το πέτρινο υλικό είναι μικρή και επομένως δεν υπάρχει κίνδυνος να προσβληθεί, όταν ο παλμός διαρκέσει μόνο μερικά μικρά ή χιλιοστά του δευτερολέπτου. Έχουμε μείωση της αποτελεσματικότητας της μεθόδου όταν υπάρχουν τραχείες επιφάνειες, ενώ η μέθοδος γενικά είναι πολύ καλή για τον καθαρισμό της μαύρης κρούστας. Έχει όμως υψηλό κόστος και αδυναμία για τον καθαρισμό επιφανειών με λεπτομέρειες, όπως αγάλματα ή κίονες, γιατί σε κάθε σημείο καθαρισμού χρειάζεται καινούργια εστίαση. Πολύ συχνά, η περιοχή για καθαρισμό πρέπει να υγραίνεται πριν, γιατί με την υγρασία σκουραίνει περισσότερο η κρούστα και απορροφά περισσότερη ακτινοβολία, ενώ σε ξηρή πέτρα παράγονται σκόνες επικίνδυνες για τους συντηρητές και τον περιβάλλοντα χώρο. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις, η μέθοδος να αφήσει μαύρα στίγματα, γι' αυτό ενδείκνυται περισσότερο για μαύρο ή σκοτεινό πέτρινο υλικό.

1β. Χημικές μέθοδοι καθαρισμού των υλικών.

Υπάρχουν πολύ λίγα χημικά προϊόντα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς κινδύνους και με βεβαιότητα για τον καθαρισμό του μαρμάρινου υλικού. Ανάμεσα σ' αυτά, υπάρχουν ορισμένες τασιενεργές ουσίες - ουδέτεροι σάπωνες που δρουν σαν απορρυπαντικά, ορισμένα άλατα που διαλύονται στο νερό σε ανάμειξη με αδρανείς ουσίες που εφαρμόζονται σε μορφή πάστας, προσροφητικές άργιλοι, ενώ όταν υπάρχουν οργανικές επικαθίσεις εφαρμόζονται διάφοροι οργανικοί διαλύτες.

- **Τασιενεργές ουσίες - σάπωνες.** Οι τασιενεργές ουσίες χρησιμοποιούνται, εδώ και αρκετά χρόνια, σαν απορρυπαντικά πάνω στο υλικό. Είναι οργανικά μακρομόρια που αποτελούνται από αλυσίδες ατόμων άνθρακα, με μία ή περισσότερες υδρόφιλες ομάδες και έντονα πολικές στη μια τους άκρη. Επομένως, λόγω της παραπάνω δομής τους, είναι συμβιβαστές με την υδατική και με την οργανική φάση. Παράλληλα, έχουν την ιδιότητα να αυξάνουν την επιφανειακή τάση και κάνουν την μια φάση να απλώνεται πάνω στην άλλη. Επομένως, όταν ένα τέτοιο απορρυπαντικό βρεθεί σε επαφή με μια λιπαρή υδρόφοβη ουσία, καταφέρνει να συνδυάσει τη λιπαρή αυτή ουσία με την υδρόφιλη ομάδα του, γεγονός που οδηγεί στην τελική απομάκρυνση της λιπαρής ουσίας. Οι σάπωνες είναι τα πρώτα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν σαν απορρυπαντικά και είναι άλατα των ανώτερων οργανικών οξέων με κάλιο ή νάτριο. Ανώτερα οργανικά οξέα συναντάμε στα έλαια και είναι συνήθως το ελαϊκό, το στεατικό και το παλμιτικό οξύ. Η παλιά τεχνική ήταν ότι τα έβραζαν αυτά με στάχτη, η οποία περιέχει ανθρακικό κάλιο και ανθρακικό νάτριο και γίνεται σαπωνοποίηση σύμφωνα με την αντίδραση:



όπου η υδρόφοβη ομάδα είναι η $\text{C}_{15}\text{H}_{31}-$ και η υδρόφιλη το $-\text{COO}-$.

Τα μακρομοριακά απορρυπαντικά έχουν το χαρακτηριστικό ότι είναι καλοί γαλακτωματοποιητές για τα λίπη και τα έλαια ενώ τα μικρομοριακά, με περίπου οκτώ άτομα άνθρακα, είναι καλοί αδιαβροχοποιητές. Έχουμε τρεις κατηγορίες τασιενεργών - απορρυπαντικών ουσιών: τα κατιοντικά, τα ανιοντικά και τα μη ιοντικά, τα οποία είναι και τα μόνα κατάλληλα για τον καθαρισμό της επιφάνειας του υλικού. Τα κατιοντικά διεισδύουν εύκολα μέσα στους πόρους, ειδικά όταν υπάρχει υγρασία που είναι αρνητικά φορτισμένη

και επομένως δεν δρουν σαν απορρυπαντικά. Τα ανιοντικά αντιδρούν με το ασβέστιο ή το μαγνήσιο του ασβεστίτη, της γύψου και του δολομίτη σχηματίζοντας αδιάλυτους σάπωνες που σταθεροποιούν τις λιπαρές επικαθίσεις. Τα περισσότερο συνηθισμένα απορρυπαντικά για καθαρισμό της επιφάνειας του υλικού είναι τα εξαμεταφοσφωρικά για επικαθίσεις σκόνης, η μεθυλοκυτταρίνη, τα αλκυλοβενζολοσουλφονικά και τα διμεθυλοαμυλβενζυλαμμώνια για τους ασβεστόλιθους. Τα παραπάνω κυκλοφορούν με διάφορα εμπορικά ονόματα, όπως π.χ. Texapon, Teepol κ.ά..

- **Ανθρακικά άλατα.** Οι ιδιότητες των ανθρακικών αλάτων σαν απορρυπαντικών ήταν από παλιά γνωστές. Στη συντήρηση του υλικού, για καθαρισμούς, το μόνο που χρησιμοποιείται αρκετά είναι το όξινο ανθρακικό αμμώνιο (NH_4HCO_3), το οποίο το ρυθμίζουμε σε αλκαλικότερο pH με την πρόσθεση αμμωνίας.

Στον καθαρισμό της επιφάνειας του υλικού, κατασκευάζουμε διάλυμα 7% κ.ό. όξινο ανθρακικό αμμώνιο προσθέτοντας με συνεχή ανάδευση χαρτοβάμβακο σε κομμάτια ή καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη, ώσπου να σχηματισθεί ένας πολτός που εφαρμόζεται απευθείας στην επιφάνεια του υλικού. Ο χρόνος δράσης καθώς και η πυκνότητα του διαλύματος εξαρτώνται από το είδος και την ποσότητα των ρύπων. Βέβαια το διάλυμα του όξινου ανθρακικού αμμωνίου δεν διατηρείται περισσότερο από 48 ώρες. Πολλές φορές, αντί για πάστα όξινου ανθρακικού αμμωνίου, χρησιμοποιείται και πάστα διαλύματος ανθρακικού αμμωνίου ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$), το οποίο δημιουργεί ελαφρά αλκαλικό περιβάλλον και ευνοεί την απομάκρυνση των διαλυτών αλάτων που υπάρχουν στις επικαθίσεις.

- **Πάστες για εφαρμογή στην επιφάνεια του υλικού.** Στις πάστες χρησιμοποιούνται κύρια τα ανθρακικά άλατα του αμμωνίου και του νατρίου (NH_4HCO_3 - NaHCO_3) και το αιθυλενοδιαμινοτετραοξικό οξύ (E.D.T.A.) ή το δινάτριο αλάτι του, που είναι περισσότερο ευδιάλυτο σε σχέση με το E.D.T.A.. Σαν αδρανή υλικά, που προστίθενται στα διαλύματα αυτά για τον σχηματισμό πάστας, είναι η μεθυλοκυτταρίνη, η καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη, μικρά κομμάτια χαρτιού και προσροφητικές άργιλοι. Συνήθως προτιμούνται τα αδρανή υλικά κυτταρίνης, διότι με αυτά κατασκευάζονται διαφανείς πάστες που ελέγχονται ευκολότερα και κοστίζουν φθηνότερα, σε σχέση με την ποσότητα που χρησιμοποιείται και επί πλέον οι άργιλοι με δεδομένη την υψηλή προσροφητική τους ικανότητα, απομακρύνουν πολύ γρήγορα το νερό από τις επιφάνειες καθαρισμού.

Η πυκνότητα της πάστας διαφοροποιείται ανάλογα με την περίπτωση, δηλαδή το είδος και το πάχος των επικαθίσεων. Ο χρόνος δράσης συνήθως μεταβάλλεται και για να παραταθεί, καλύπτεται η πάστα από φύλλο πολυαιθυλενίου, που εμποδίζει την εξάτμισή των υλικών της πάστας και του νερού και επομένως αυξάνεται η αποδοτικότητα του καθαρισμού. Συχνά, οι εφαρμογές της πάστας επαναλαμβάνονται, όταν το αποτέλεσμα δεν είναι το επιθυμητό. Με τη μακρόχρονη εφαρμογή της πάστας, πρέπει να δοθεί προσοχή για να μην προσβληθεί το ανθρακικό ασβέστιο του υλικού προκαλώντας επιφανειακή διάβρωση.

Μετά την απομάκρυνση της πάστας με μηχανικό τρόπο, συνήθως με σπάτουλα, ακολουθεί πλύσιμο της επιφάνειας με απιονισμένο νερό και με τη βοήθεια βούρτσας, ώστε να απομακρυνθούν τα υπολείμματα της πάστας και τα προϊόντα διάβρωσης, π.χ. διαλυτά άλατα που έχουν διαλυθεί ή έχουν

δημιουργηθεί. Πολλές φορές, όταν η επιφάνεια του υλικού είναι σαθρή, κάτω από την πάστα εφαρμόζεται απορροφητικό και στεγνό φύλλο χαρτοβάμβακα ή ιαπωνικού χαρτιού, οπότε δεν ταλαιπωρείται η σαθρή επιφάνεια του υλικού, απομακρύνεται ευκολότερα η πάστα από την επιφάνεια και δεν παραμένουν υπολείμματα επάνω σ' αυτή. Ένα επί πλέον πλεονέκτημα της πάστας είναι ότι μπορεί να τοποθετηθεί ακόμα και σε κάθετες επιφάνειες του πέτρινου υλικού.

Οι πάστες της κατηγορίας αυτής, που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό της επιφάνειας του υλικού, είναι παραλλαγές, ανάλογα με την περίπτωση καθαρισμού, της πάστας που χρησιμοποιήθηκε από το ζεύγος P. και L. Mora στο Istituto Centrale di Restauro της Ρώμης και είναι οι εξής:

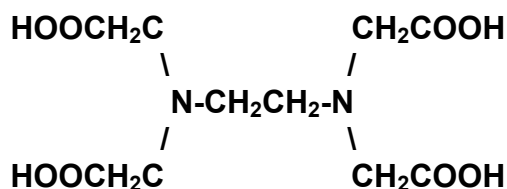
α. Πάστα Mora: H_2O : 100 cc, NH_4HCO_3 και NaHCO_3 : 6 g, E.D.T.A.: 2,5 g, Desogen: 1 g και καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη ή ουδέτερο χαρτί: 6 g.

β. Πάστα E.D.T.A.: H_2O : 100 cc, E.D.T.A.: 3 g, NaHCO_3 : 4 g, NH_4HCO_3 : 5 g, και καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη ή ουδέτερο χαρτί: 10 g.

γ. Πάστα AB57: H_2O : 100 cc, NH_4HCO_3 : 3 g, NaHCO_3 : 5 g, E.D.T.A.: 2,5 g, Desogen: 1 cc και καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη ή ουδέτερο χαρτί: 6 g.

Η ποσότητα του E.D.T.A. μπορεί να ποικίλει και σε μερικές περιπτώσεις φθάνει μέχρι 10 - 12,5 g, καθώς επίσης πολλές φορές προστίθενται αμμωνία (NH_3) και τριαιθανολαμίνη ($(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_3\text{N}$) διευκολύνοντας την διάλυση οξειδωμένων λιπαρών ενώσεων που πιθανόν να υπάρχουν στην κρούστα. Πολλές φορές αποφεύγεται η χρήση του όξινου ανθρακικού νατρίου (NaHCO_3) διότι παράγει διαλυτά άλατα του νατρίου που είναι διαβρωτικά για το απολιθωμένο υλικό.

Οι πάστες που περιέχουν E.D.T.A. χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση κρούστας από ανθρακικό ασβέστιο και άλλα αδιάλυτα άλατα του ασβεστίου, που σχηματίζεται σε υλικά θαμμένα στο έδαφος και όταν στεγνώσουν, σχηματίζουν μια κρούστα που απομακρύνεται εύκολα. Το E.D.T.A. με χημικό τύπο:



δημιουργεί σύμπλοκα με τα κατιόντα ασβεστίου, μαγνησίου, χαλκού, μολύβδου και δισθενούς και τρισθενούς σιδήρου και επομένως διαλύει όλα τα αδιάλυτα άλατά τους, συμπεριλαμβανομένων και του ανθρακικού ασβεστίου και των οξειδίων του σιδήρου. Η δράση του E.D.T.A. στη μαύρη κρούστα έγκειται στο σχηματισμό με το ασβέστιο ενός χηλικού συμπλόκου και διάλυσή του. Η δράση των όξινων ανθρακικών αλάτων έγκειται στο σχηματισμό αδιάλυτου ανθρακικού ασβεστίου, που απομακρύνεται, στη συνέχεια, μαζί με τη πάστα. Επίσης, η παρουσία των όξινων ανθρακικών αλάτων δημιουργεί αλκαλικό περιβάλλον, που ευνοεί την απομάκρυνση των διαλυτών αλάτων που περιέχονται στην κρούστα. Για παράδειγμα η πάστα AB57 έχει pH γύρω στο 7,5, ενώ η πάστα Mora διαλυτοποιεί καλύτερα τα άλατα, επειδή δημιουργεί πιο αλκαλικό περιβάλλον.

Το Desogen, είναι τασιενεργή ουσία και αλάτι του τεταρτοταγούς αμμωνίου και η ενέργειά του έγκειται στο ότι στη διεργασία του καθαρισμού, μειώνει την επιφανειακή τάση μεταξύ της κρούστας και του διαλύματος

κάνοντας ευκολότερη την απομάκρυνσή της, ενώ ταυτόχρονα είναι και μυκητοκτόνο. Πρέπει βέβαια να είναι εντελώς άχρωμο, για να αποφευχθούν πιθανοί λεκέδες στο υλικό.

Το τελευταίο ξέπλυμα της επιφάνειας, μετά την απομάκρυνση της πάστας, γίνεται με απιονισμένο νερό και στο τέλος ελέγχεται το pH του νερού που φεύγει από την επιφάνεια, για να διαπιστωθεί ότι είναι ίδιο με αυτό του απιονισμένου, ώστε να εξασφαλισθεί ότι στην επιφάνεια του υλικού δεν έχουν απομείνει αλκαλικά υπολείμματα που θα μπορούσαν να προκαλέσουν επιφανειακή φθορά. Επίσης, ελέγχεται και η αγωγιμότητα του νερού της έκπλυσης, ώστε να εξασφαλισθεί ότι στην επιφάνεια του υλικού δεν έχουν μείνει διαλυτά άλατα. Γενικά, ο καθαρισμός με κάποια πάστα είναι μέθοδος ελεγχόμενη, γρήγορη, ήπια και αποτελεσματική. Συνήθως όμως, αποφεύγεται σε πολύ πορώδη υλικά και σε πολύ διαβρωμένες επιφάνειες, διότι υπάρχει κίνδυνος να εισχωρήσουν τα αλκαλικά υλικά βαθιά μέσα στους πόρους.

- **Οργανικοί διαλύτες.** Οι οργανικοί διαλύτες χρησιμοποιούνται κύρια για την αφαίρεση χρωμάτων και λιπαρών ουσιών, που έχουν δημιουργήσει λεκέδες στην επιφάνεια του υλικού ή έχουν εμποτίσει τους πόρους του πέτρινου υλικού. Συχνά χρησιμοποιούνται αιθανόλη, ακετόνη, white spirit, 1,1,1-τριχλωροαιθάνιο κ.ά.. Οι οργανικοί διαλύτες χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση και συνήθως μετά από δοκιμές, με μεγάλη προσοχή, για τις αρνητικές επιδράσεις στην υγεία και επίσης με μεγάλη προσοχή να μην λεκιάσουν περισσότερο το υλικό, αν χρησιμοποιηθούν για πολλή ώρα και δεισδύσουν τα διαλυμένα λιπαρά ή χρώματα στους πόρους του υλικού. Κατά καιρούς, έχει χρησιμοποιηθεί και αμμωνία για διάλυση λιπών και ελαίων από την επιφάνεια του υλικού.

- **Χρήση προσροφητικών αργίλων.** Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται δύο άργιλοι ο σεπιόλιθος και ο ατταπουλγίτης, που είναι αργιλοπυριτικά μαγνησιούχα ορυκτά. Και τα δύο αυτά υλικά έχουν σχεδόν την ίδια χημική σύσταση και ορυκτολογική δομή και συγκεκριμένα είναι ένα εφυδατωμένο πυριτικό μαγνήσιο με διπλή αλυσίδα από πυρίτιο και οξυγόνο σε τετράεδρα, τα οποία είναι παράλληλα διατεταγμένα με τον άξονα μήκους του κρυστάλλου. Κάθε δεύτερος κρίκος της αλυσίδας αυτής συνδέεται με τον επόμενο μέσω ενός μορίου μαγνησίου και η δομή που προκύπτει αποτελείται από σειρές με λωρίδες ενωμένες, μόνο κατά μήκος, που εφάπτονται αφήνοντας κενά σε κανονικά διαστήματα. Έτσι οι κρύσταλλοι αυτοί είναι σαν βελόνες, με μήκος κατά μέσον όρο 1 μ και με διάμετρο 0,01 μ.

Η σημαντικότερη ιδιότητα των προσροφητικών αργίλων είναι ότι έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια της τάξης των 130 m²/g που είναι έντονα φορτισμένη και επομένως μπορούν να προσροφούν μεγάλες ποσότητες νερού ή άλλων υγρών και δυσανάλογες σε σχέση με το βάρος τους. Για παράδειγμα, 1 Kg ατταπουλγίτη μπορεί να προσροφήσει 1,5 Kg νερού, χωρίς να μεταβληθεί ο όγκος που καταλάμβανε σε ξηρή κατάσταση, δηλαδή το νερό γεμίζει τους άδειους χώρους στη δομή της αργίλου. Οι άργιλοι αυτές χρησιμοποιούνται για καθαρισμό προϊόντων βιολογικού μεταβολισμού, όπως λιπίδια βακτηριδίων, άλγη, μύκητες κ.ά., για απομάκρυνση διαλυτών αλάτων. Πολλές φορές είναι αποτελεσματικές στη διάλυση της κρούστας μικρού πάχους (το περισσότερο 1 mm), ενώ είναι απαραίτητες επαναλαμβανόμενες εφαρμογές, σε αρκετά μεγάλο αριθμό, για την αφαίρεση κρούστας που καλύπτει πέτρινες επιφάνειες εκτεθειμένες στο περιβάλλον. Ο καθαρισμός γίνεται τοποθετώντας στην

επιφάνεια του υλικού ένα πολτό από άργιλο και απιονισμένο νερό, που εναποτίθεται με σπάτουλα ή πινέλο.

Πολλές φορές στην επιφάνεια, πριν από την εφαρμογή της αργίλου, απλώνεται φύλλο ιαπωνικού χαρτιού είτε σε περιπτώσεις σαθρής επιφάνειας είτε αν αντιμετωπίζονται δυσκολίες για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων της αργίλου από τις λεπτομέρειες της επιφάνειας του υλικού.

Συνήθως, είναι χρήσιμο να προηγηθεί της τοποθέτησης της αργίλου στην επιφάνεια του υλικού ψεκασμός με απιονισμένο νερό ή ακόμα και μια πρώτη εφαρμογή με πινέλο ενός πολύ ρευστού αιωρήματος της ίδιας αργίλου σε νερό. Και σ' αυτή τη μέθοδο το νερό δρα διαλυτοποιώντας τα διαλυτά άλατα που περιέχονται στην κρούστα, ενώ η άργιλος χρησιμεύει μόνο για να διατηρήσει την κρούστα εμποτισμένη για μεγάλο χρονικό διάστημα και για να απορροφήσει τα άλατα και τα προϊόντα διάβρωσης που απομακρύνονται. Ο πολτός της αργίλου πρέπει να έχει πάχος, τουλάχιστον, 2-3 cm και για την δράση του απαιτείται διαφορετικός χρόνος ανάλογα με την κάθε περίπτωση επικαθίσεων, πρέπει όμως να ανανεώνεται κάθε 24 - 48 ώρες, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Όταν ο πολτός ξεραθεί, αρχίζει να ραγίζει δημιουργώντας κρακελαρίσματα και χάνει έτσι την επαφή του με την επιφάνεια του υλικού, οπότε αποκολλάται εύκολα απ' αυτή και απομακρύνεται μηχανικά με σπάτουλα συμπαρασύροντας και το υλικό που έχει απορροφήσει.

Σε περίπτωση που απαιτούνται μεγάλοι χρόνοι για να διαλυτοποιηθούν οι επικαθίσεις, ο πολτός της αργίλου μπορεί να καλυφθεί με φύλλο πολυαιθυλενίου, οπότε ελαττώνεται η εξάτμιση του νερού και επομένως επιβραδύνεται το στέγνωμα και το κρακελάρισμα του πολτού. Για σταδιακό στέγνωμα του στρώματος της αργίλου, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, ανοίγονται μικρές τρύπες στο φύλλο πολυαιθυλενίου.

Επίσης για να αποφευχθεί το ράγισμα και επομένως να παραταθεί η δράση της αργίλου, τοποθετούνται μέσα στην άργιλο, πριν από την εφαρμογή της, λεπτά κομμάτια ουδέτερου χαρτιού σαν οπλισμός. Μετά την απομάκρυνση του πολτού από την επιφάνεια του υλικού, απαιτείται έκπλυση με νερό, ώστε να αφαιρεθούν και να απομακρυνθούν τα υπολείμματα των επικαθίσεων.

Σε περιπτώσεις καθαρισμών και τα δύο είδη αργίλων δίνουν καλά αποτελέσματα, αν χρησιμοποιηθούν σε κατάλληλες κοκκομετρίες (100 - 200 Mesh). Έχει παρατηρηθεί ότι, ανάλογα με τις συνθήκες, το νερό τείνει να εξατμιστεί γρηγορότερα από τον σιπιδίλιο, συγκριτικά με τον ατταπουλγίτη και επομένως αυτός ραγίζει και αποκολλάται γρηγορότερα από το υλικό. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για απομάκρυνση κηλίδων από λιπαρές ουσίες, οξείδια του σιδήρου κ.ά., αν αντικατασταθεί το νερό με τους κατάλληλους, σε κάθε περίπτωση, διαλύτες ή αν στο διάλυμα του νερού προστεθούν οι κατάλληλες ουσίες. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν προκαλεί καμία φθορά στο απολιθωμένο υλικό, γεγονός που κάνει την εφαρμογή της κατάλληλη ακόμα και σε σπουδαία πετρώματα. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι επίσης το ότι η άργιλος, μετά από καλό πλύσιμο με νερό, μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί. Είναι όμως πολύ αργή μέθοδος, με ανεπαρκή αποτελεσματικότητα σε παχιές κρούστες, η οποία δεν μπορεί εύκολα να ελεγχθεί. Εξάλλου, στην περίπτωση πολύ πορωδών υλικών μπορεί να είναι δύσκολη η απομάκρυνση της αργίλου από την επιφάνεια του υλικού, χωρίς να εφαρμοσθεί μια ισχυρή μηχανική δράση. Εξάλλου, από άποψη

υγείας, η χρήση προσροφητικών αργίλων ενδείκνυται μόνο στην περίπτωση του σεπιόλιθου, διότι ειδικά ο ατταπουλγίτης θεωρείται καρκινογόνο υλικό.

- **Χρήση βιολογικού επιθέματος.** Η μέθοδος αυτή βρέθηκε και αναπτύχθηκε για να επιταχυνθεί και να επιτευχθεί ο καθαρισμός της επιφάνειας υλικών που είναι ευαίσθητα και διαβρωμένα, εκτεθειμένα στην ύπαιθρο, επάνω στην οποία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ψεκασμός νερού ή άλλη περισσότερο επώδυνη μέθοδος, χωρίς να υπάρξει κίνδυνος φθοράς. Κατά τη μέθοδο αυτή, εφαρμόζεται στην επιφάνεια του υλικού μια θιξοτροπική πάστα που περιέχει επαρκή ποσότητα σεπιόλιθου ή ατταπουλγίτη. Παρασκευάζεται διάλυμα με τα εξής συστατικά:

α. 1 lt νερό.

β. 50 g ουρία $((\text{NH}_2)_2\text{CO})$.

γ. 20 ml γλυκερίνη $((\text{CH}_2\text{OH})_2\text{CHOH})$.

στο οποίο στη συνέχεια προστίθεται η απαιτούμενη ποσότητα σεπιόλιθου ή ατταπουλγίτη, ώστε να σχηματισθεί μία θιξοτροπική πάστα. Η πάστα αυτή πρέπει να έχει πάχος τουλάχιστον 2 cm και καλύπτεται από φύλλο πολυαιθυλενίου καλά προσκολλημένο και κλεισμένο στις άκρες, για να μην εξατμίζεται το νερό που περιέχεται. Αφήνεται να δράσει στην επιφάνεια του υλικού για περίπου ένα μήνα, ανάλογα με την περίπτωση και στη συνέχεια μπορεί να απομακρυνθεί η κρούστα, μ' ένα απλό πλύσιμο. Τα τυχόν υπολείμματα που έχουν παραμείνει, έχουν μικρότερη συνάφεια με την πέτρινη επιφάνεια και απομακρύνονται εύκολα χρησιμοποιώντας κάποια μηχανική μέθοδο καθαρισμού, μαζί με απαλό τρίψιμο με απιονισμένο νερό.

Μετά την επεξεργασία αυτή, σκόπιμο είναι να ακολουθήσει απολύμανση της επιφάνειας του υλικού με ένα βιοκτόνο, για να αποφευχθούν φαινόμενα διάβρωσης προκαλούμενα από βακτήρια, που ίσως έχουν αναπτυχθεί και εάν το βιοκτόνο είναι διαλυτό στο νερό, μπορεί να προστεθεί σ' αυτό του τελικού πλυσίματος.

Ο μηχανισμός δράσης της πάστας αυτής δεν είναι ακόμα πολύ γνωστός, όμως μάλλον συνίσταται σε μια διαλυτική δράση που ασκείται από νιτρωδοβακτήρια, επάνω σε κρούστες, ενώ η παρουσία της γλυκερίνης, σαν τασιενεργού, παρεμποδίζει τη γρήγορη εξάτμιση του νερού της πάστας. Αυτό τουλάχιστον έχουν δείξει τα αποτελέσματα εργαστηριακών ερευνών που έχουν γίνει μέχρι σήμερα.

Απομάκρυνση βιολογικών επικαθίσεων.

Οι βιολογικές επικαθίσεις, όπως βρύα, άλγη, λειχήνες κ.λπ., αναπτύσσονται συχνά σε απολιθωμένα υλικά, όταν το περιβάλλον είναι ιδιαίτερα υγρό, υπάρχει σκιά, είναι βορινό και μαζεύονται νερά από διάφορες προελεύσεις. Οι μικροοργανισμοί ασκούν χημικές και μηχανικές δράσεις στο υλικό και προκαλούν την αποδιοργάνωση της επιφάνειας, διάφορα φαινόμενα διάβρωσης ή δημιουργούν χρωματικές κηλίδες. Ορισμένα είδη αλγών και βακτηρίων συγκεντρώνουν το σίδηρο από το εσωτερικό του υλικού στην επιφάνειά του, όπου οξειδώνεται ο σίδηρος αφήνοντας λεκέδες που δύσκολα απομακρύνονται. Επίσης οι λειχήνες, που συμβιώνουν με τα άλγη και τους μύκητες, εισχωρούν στις μικρορωγμές ασκώντας μηχανικές πιέσεις στα τοιχώματά τους ή εμποτίζουν την επιφάνεια και το εσωτερικό των πόρων με διαβρωτικά διαλύματα ανθρακικού και οξαλικού οξέος για τα αλκαλικά

απολιθωμένα υλικά. Υπάρχουν όμως και μερικές περιπτώσεις, όπου οι λειχήνες σχηματίζουν οξαλικό ασβέστιο και διαδραματίζουν σταθεροποιητικό ρόλο και επομένως, δεν πρέπει να καθαρίζονται.

Πριν από τον καθαρισμό των βιολογικών επικαθίσεων, απαιτείται πλήρης εργαστηριακή έρευνα, για να διαπιστωθεί η ταυτότητα και ο τύπος των μικροοργανισμών που έχουν αναπτυχθεί στην επιφάνεια του υλικού, έτσι ώστε να εφαρμοστούν τα κατάλληλα βιοκτόνα. Γενικά, τα χημικά σκευάσματα που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για τον καθαρισμό πρέπει αρχικά να είναι αποτελεσματικά, να είναι άχρωμα, να είναι μη τοξικά για τον άνθρωπο και να εμποδίζουν, για μεγάλο χρονικό διάστημα, την επιστροφή των μικροοργανισμών στην επιφάνεια του υλικού, χωρίς βέβαια να τη φθείρουν.

Συγκεκριμένα χημικά σκευάσματα για την καταπολέμηση των αλγών, κυανοφυκών και χλωροφυκών είναι αρχικά ενώσεις του τεταρτοταγούς αμμωνίου, όπως υαμίνη της Rohm and Haas, σε συνδυασμό με προσροφητικές αργίλους, όπως ο ατταπουλγίτης. Ένα τέτοιο βιοκτόνο είναι το Desogen, που είναι προϊόν της Ciba Geigy. Ένα προτέρημα αυτών των ενώσεων είναι ότι είναι αρκετά σταθερές και δρουν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επίσης βιοκτόνα με ικανοποιητικά αποτελέσματα κατά των αλγών είναι ενώσεις του χαλκού με αμμωνία καθώς και σύμπλοκα του χαλκού με υδραζίνη. Επίσης χρησιμοποιούνται φθοριοπυριτικά, βορικά άλατα, οργανοκασσιτερικές ενώσεις, σύμπλοκα του μολύβδου και αλογονοπαράγωγα. Από αυτά, το κάθε προϊόν είναι αποτελεσματικό για ορισμένα είδη μικροοργανισμών. Ειδικά η απομάκρυνση των κυανοφυκών από το υλικό είναι ιδιαίτερα δύσκολη, όταν υπάρχει κρούστα, δηλαδή επικαθίσεις κολλοειδών αιωρημάτων ατμοσφαιρικών ρυπαντών όπως σκόνη, οξείδια του σιδήρου, οξείδια του πυριτίου κ.λπ..

Τα περισσότερα βιοκτόνα, που υπάρχουν στο εμπόριο, είναι διαλυτά στο νερό και αρκούν διαλύματά τους 1 - 3% κ.ό. για να επιτευχθεί ολοκληρωτική απομάκρυνση των μικροοργανισμών από το υλικό. Συνήθως, οι εφαρμογές επαναλαμβάνονται, όσο είναι απαραίτητο, αλλά στο τέλος της διαδικασίας απαιτείται πλύσιμο με άφθονο απιονισμένο νερό, έτσι ώστε να απομακρυνθούν τα υπολείμματα του βιοκτόνου. Όταν υπάρχουν βιολογικές επικαθίσεις δυσκολότερες και σε μεγαλύτερη κλίμακα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο συμπυκνωμένα διαλύματα ή πάστες με προσροφητική άργιλο ή χαρτί ή μεθυλοκυτταρίνη, που αν χρειαστεί, πρέπει να παραμείνουν στην πέτρινη επιφάνεια για να δράσουν για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα (1 - 2 μέρες).

Στη Γερμανία, έχει εφαρμοστεί μία πειραματική μέθοδος απομάκρυνσης αλγών, κυανοφυκών και κυανοβακτηρίων, η οποία στηρίζεται σε υπεριώδεις ακτινοβολίες, με μήκος κύματος γύρω στα 250 nm. Οι ακτινοβολίες αυτές επιτυγχάνονται με λυχνίες των 40 W, σε απόσταση 10 - 20 cm από το υλικό και αφήνονται να δράσουν συνέχεια για μία εβδομάδα. Έτσι, αποφεύγεται η χρήση ουσιών επιβλαβών για τον άνθρωπο και επικίνδυνων για πολύ φθαρμένα απολιθωμένα υλικά. Απαιτούνται βέβαια, να ληφθούν ιδιαίτερες προφυλάξεις, διότι οι υπεριώδεις ακτινοβολίες είναι βλαβερές για το δέρμα και για τα μάτια.

Τα βρύα αναπτύσσονται συνήθως σε αργιλοπυριτικά υποστρώματα και εναποτίθενται επάνω σε υλικά σχηματίζοντας στις επιφάνειές τους εξογκώματα και επικαθίσεις ομοιόμορφες, πάχους μερικών εκατοστών και όχι πάντα καλά προσκολλημένες σ' αυτές.

Επομένως, πριν από την εφαρμογή του κατάλληλου βιοκτόνου, εφαρμόζεται συχνά μηχανική απομάκρυνσή τους. Καλά αποτελέσματα εναντίον των βρύων, αλγών και λειχήνων, έχουν δώσει το υδατικό διάλυμα 1 - 2% υποχλωριώδους λιθίου και βακτηριοκτόνα με ουδέτερο pH, όπως τα βιοκτόνα Lito 7 και Lito 3, που είναι προϊόντα της Ciba Geigy.

Για την απομάκρυνση των λειχήνων, έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί ουσίες που χρησιμοποιούνται και για τα άλγη, συγκεκριμένα βορικές και οργανοκασσιτερικές ενώσεις καθώς και τεταρτοταγείς αμίνες σε συνδυασμό με διάφορες προσροφητικές αργίλους, όπως σεπιόλιθο ή ατταπουλγίτη.

Για την απομάκρυνση των μυκήτων και των ακτινομυκήτων, πρώτα απαιτείται να γίνει αντιβιογράφημα και στη συνέχεια να προσδιορισθούν, κατά περίπτωση, τα αντιβιοτικά που θα χρησιμοποιηθούν. Τα περισσότερο συνηθισμένα είναι η αμπικιλίνη, η ιμιδαζολινυλουρία και το χλωριούχο βενζαλκόνιο.

Τα περισσότερο συνηθισμένα και αποτελεσματικά βιοκτόνα που υπάρχουν στο εμπόριο είναι το Desogen με δράση στα βακτήρια, χλωροφύκη και μύκητες, το Primatol M50 της Ciba Geigy, το Primatol 3588 της Ciba Geigy, το Vancide 51 της R.T. Vanderbilt Co. Inc. - U.S.A. κ.ά.. Όλα τα βιοκτόνα, αν και δεν είναι τοξικά για τον άνθρωπο, όπως αναφέρθηκε, πρέπει να χρησιμοποιούνται με μεγάλη προσοχή, διότι πολλές φορές μπορεί να προκαλέσουν ερεθισμό του δέρματος και αλλεργίες, ενώ μπορεί να είναι επικίνδυνα και για τα μάτια. Επομένως απαιτούνται, για την παρασκευή και για την χρήση τους, γάντια και γυαλιά και προηγουμένως να μελετώνται οι γενικοί κανόνες πρόληψης ατυχημάτων με την χρήση επιβλαβών χημικών προϊόντων.

Τέλος, θα πρέπει να τονισθεί ότι για τον καθαρισμό βιολογικών επικαθίσεων χρησιμοποιείται επίσης διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) 10 - 30% κ.ό. (perhydrol), που έχει έντονα οξειδωτικές ικανότητες και διαλύει την οργανική ύλη αναπτύσσοντας παράλληλα λευκαντική δράση σε χρωστικές που προέρχονται από λειχήνες. Σαν μειονέκτημα της δράσης του perhydrol θεωρείται η περίπτωση όπου το υλικό περιέχει προσμίξεις με οξείδια του δισθενούς σιδήρου (FeO), τα οποία θα οξειδωθούν σχηματίζοντας οξείδια του τρισθενούς σιδήρου που δίνουν κόκκινο χρώμα στην επιφάνεια του υλικού, στην περιοχή του καθαρισμού.

Απομάκρυνση των διαλυτών αλάτων από την επιφάνεια και τους πόρους των υλικών. Τα διαλυτά άλατα που υπάρχουν μέσα στους πόρους και στην επιφάνεια του υλικού είναι, όπως τονίσθηκε και προηγουμένως, πολύ βασικοί παράγοντες διάβρωσης. Επομένως η, κατά το δυνατόν, απομάκρυνσή τους είναι απαραίτητη. Εάν το αντικείμενο είναι μικρό και δεν έχει σαθρή επιφάνεια, μπορεί να γίνει πλήρης εμβάπτισή του σε απιονισμένο νερό, οπότε η συνεχής ροή του νερού και οι συχνές αλλαγές του να συμβάλλουν ώστε το αποτέλεσμα να είναι καλύτερο και ταχύτερο. Όταν όμως η επιφάνεια του υλικού δεν είναι αρκετά ανθεκτική και το ποσό των συσσωρευμένων αλάτων είναι μεγάλο, η μέθοδος αυτή πρέπει να αποφεύγεται, διότι μπορεί να προκαλέσει θρυμματισμό της επιφάνειας. Στο νερό που συλλέγεται μετά από κάθε αλλαγή, μετράται η αγωγιμότητα και όταν αυτή σταθεροποιηθεί σε χαμηλά επίπεδα, σταματούν οι εκπλύσεις και στεγνώνεται το υλικό.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα C ενός διαλύματος, που μετράται σε mhos ή siemens, εκφράζεται από τη σχέση:

$$C=1/R$$

όπου R : η ηλεκτρική αντίσταση που παρουσιάζει το διάλυμα και μετράται σε ohms.

Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός διαλύματος είναι η αγωγιμότητά του που υπολογίζεται στους $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ και με την βοήθεια δύο ηλεκτροδίων από πλατίνα με επιφάνεια 1 cm^2 και τα οποία απέχουν μεταξύ τους απόσταση 1 cm , οπότε η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα που μετράται με αγωγιμόμετρο θα έχει μονάδα mhos/cm² ή siemens/cm². Το απιονισμένο νερό για παράδειγμα, έχει ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα $5\text{ }\mu\text{mhos/cm}^2$, δηλαδή $5\cdot 10^{-6}\text{ mhos/cm}^2$ περίπου.

Όταν πρόκειται για μεγάλα υλικά με ανθεκτική επιφάνεια, για την απομάκρυνση των διαλυτών αλάτων της επιφάνειας γίνονται διαδοχικές πλύσεις με απιονισμένο νερό της επιφάνειας του υλικού. Σε περίπτωση όπου η επιφάνεια δεν είναι σαθρή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τρίψιμο με μαλακή βούρτσα.

Για την απομάκρυνση των διαλυτών αλάτων που βρίσκονται στους πόρους και επομένως διαδραματίζουν σημαντικότατο ρόλο στην διάβρωση, τοποθετούνται διαδοχικά στην επιφάνεια του υλικού κομπρέσες με κάποιο απορροφητικό υλικό εμποτισμένο με απιονισμένο νερό. Συνήθως εφαρμόζεται ένας πολτός από μία προσροφητική άργιλο, π.χ. σεπιόλιθο ή ατταπουλγίτη, με απιονισμένο νερό στην επιφάνεια του υλικού. Η άργιλος θα απορροφήσει τα διαλυτά άλατα με το νερό που περιέχει και θα τα απομακρύνει από τους πόρους του πέτρινου υλικού.

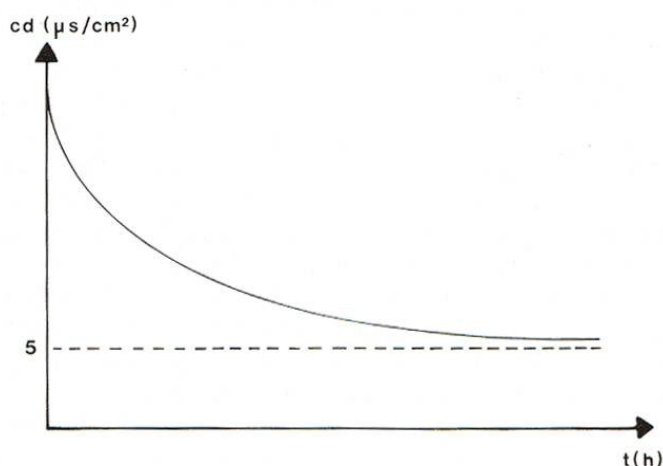
Επίσης, μία ευκολότερη μέθοδος, κατάλληλη και για υλικά με υψηλό πορώδες, είναι η χρήση κομπρεσών από χαρτοπολτό, χωρίς άλατα, με απιονισμένο νερό και η χρήση φίλτρων κυτταρίνης με απιονισμένο νερό. Υπάρχουν ειδικά φίλτρα κυτταρίνης για ασφαλάτωση υλικών τα οποία διαβρέχονται με απιονισμένο νερό, στη συνέχεια τινάζονται ελαφρά και μετά τοποθετούνται επάνω στην επιφάνεια του υλικού. Πολλές φορές, η κομπρέσα καλύπτεται με λεπτό φύλλο πολυαιθυλενίου για να διατηρηθεί υγρή για κάποιο χρονικό διάστημα και αφήνεται να στεγνώσει εντελώς. Η δράση της κομπρέσας με απιονισμένο νερό ενεργεί με δύο τρόπους. Αρχικά, το νερό εισχωρεί στους πόρους του υλικού και διαλύει τα άλατα που υπάρχουν. Στη συνέχεια, στη φάση της εξάτμισης και της ξήρανσης, έλκεται προς την εξωτερική επιφάνεια της κομπρέσας μεταφέροντας εκεί και τα άλατα που έχει διαλύσει.

Όταν η επιφάνεια του υλικού είναι σαθρή, απλώνεται προσεκτικά ουδέτερο χαρτί, πριν τοποθετηθεί η κομπρέσα. Όταν υπάρχουν επιφανειακές εξανθήσεις αλάτων, πρέπει να απομακρυνθούν πρώτα με πλύσεις με απιονισμένο νερό και με τρίψιμο με μαλακή βούρτσα, ώστε να αποφύγουμε πιθανή διαλυτοποίησή τους και στη συνέχεια πιθανή έγκλεισή τους μέσα στο υλικό, γεγονός που θα καθιστούσε λιγότερο αποτελεσματικό τον καθαρισμό.

Ο έλεγχος για απομάκρυνση των διαλυτών αλάτων από τους πόρους ή την επιφάνεια του υλικού γίνεται με τη μέτρηση της αγωγιμότητας του νερού στο οποίο βυθίζεται η κομπρέσα ή το φίλτρο κυτταρίνης. Συγκεκριμένα, όταν η κομπρέσα στεγνώσει και έχει απορροφήσει άλατα, βυθίζεται σε απιονισμένο

νερό με ειδική αγωγιμότητα γνωστή και όχι μεγαλύτερη από μερικά $\mu\text{S}/\text{cm}^2$. Αφήνεται βυθισμένη για κάποιο χρονικό διάστημα που θα επιτρέψει τη διάλυση των αλάτων που έχει απορροφήσει και στη συνέχεια μετράται η ειδική αγωγιμότητα αυτού του νερού. Μετρώντας τις ειδικές αγωγιμότητες από μία σειρά κομπρεσών του ίδιου βάρους θα προκύψει ότι οι τιμές της ειδικής αγωγιμότητας παρουσιάζουν μία σχετικά απότομη μείωση στις πρώτες εφαρμογές, ενώ στη συνέχεια τείνουν σε μία σταθερή τιμή. Όταν η αγωγιμότητα σταθεροποιηθεί σε χαμηλά επίπεδα σταματά και η τοποθέτηση των κομπρεσών στην επιφάνεια και κατόπιν στεγνώνεται το υλικό.

Η διαδικασία περιγράφεται συνήθως από το επόμενο διάγραμμα:



Διάγραμμα ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας - χρόνου, κατά την απομάκρυνση διαλυτών αλάτων από ένα πορώδες υλικό.

Απομάκρυνση επικαθίσεων από οξείδωση μεταλλικών συνδέσμων.

Για τη στερέωση των αρχιτεκτονικών μελών των διαφόρων μνημείων σε αναστηλώσεις, χρησιμοποιήθηκαν κατά το παρελθόν σιδερένια στηρίγματα ή σύνδεσμοι. Ο σίδηρος οξειδώνεται εύκολα και γρήγορα και διαβρώνεται αυξάνοντας τον όγκο του και έτσι προκαλεί θραύση στο πέτρινο υλικό αλλά και κηλίδες σκουριάς, επάνω στην επιφάνεια της πέτρας. Υπάρχει περίπτωση βέβαια τέτοιες κηλίδες να δημιουργηθούν από προσμίξεις ορυκτών του σιδήρου στο πέτρινο υλικό, όπως πυρίτες, αιματίτες και μαγνησίτες. Η κατάσταση επιδεινώνεται, αν η πέτρα είναι πορώδης οπότε εμποτίζεται από το νερό που τείνει να διασκορπίσει τα κολλοειδή αυτά υδατικά διαλύματα των οξειδίων του σιδήρου, από την πηγή τους, στην πέτρινη μάζα. Οι κηλίδες σκουριάς επομένως, σχηματίζονται στην επιφάνεια ή σε βάθος στην πέτρα και απομακρύνονται πολύ δύσκολα χρησιμοποιώντας επιφανειακά χημικά αντιδραστήρια υλικών που αντιδρούν με τον σίδηρο και τον διαλύουν, χωρίς να προκαλούν, σε καμία περίπτωση, φθορά στην ίδια την πέτρα. Το κατάλληλο αντιδραστήριο επιλέγεται ανάλογα με το αν οι πέτρες είναι ασβεστολιθικές ή αργιλοπυριτικές. Στις αργιλοπυριτικές, οι κηλίδες του σιδήρου απομακρύνονται εύκολα χρησιμοποιώντας αραιό διάλυμα φωσφορικού οξέος ή αλάτων του, το οποίο όμως αντιδρά με το αλκαλικό υλικό της πέτρας, αν πρόκειται για ασβεστολιθικό και άλατα του

υδροφθορικού και του κιτρικού οξέος. Η κατάσταση γίνεται πιο πολύπλοκη, όταν υπάρχουν κηλίδες σιδήρου σε ασβεστολιθικές πέτρες και μάρμαρα. Σε περιπτώσεις επιφανειακών κηλίδων με χρώμα κίτρινο ή καφέ, που οφείλονται σε ενώσεις του τρισθενούς σιδήρου και όχι σε ενώσεις του δισθενούς σιδήρου που είναι άχρωμες, χρησιμοποιείται ένα αραιό διάλυμα φωσφορικού αμμωνίου με pH περίπου 6, δηλαδή ελαφρά όξινο, αλλά απαιτείται προσοχή ώστε να ελαχιστοποιείται ο χρόνος επαφής του διαλύματος με την επιφάνεια της πέτρας, για να αποφεύγεται η διάβρωση του ανθρακικού ασβέστιου. Επειδή τα ασθενώς όξινα διαλύματα δε χρησιμοποιούνται σε ασβεστολίθους, προσπαθούμε το pH του διαλύματος να γίνει 7 - 8. Σε περιπτώσεις αργιλοπυριτικών πετρωμάτων, χρησιμοποιούνται διαλύματα οξαλικού οξέος ή οξαλικού νατρίου, που έχουν την ικανότητα να απομακρύνουν τον σίδηρο, όμως η αποτελεσματικότητά τους είναι μικρή. Γενικά, για την απομάκρυνση των οξειδίων του σιδήρου χρησιμοποιούνται οι εξής χημικές ενώσεις που σχηματίζουν σύμπλοκα:

α. Όξινα φωσφορικά διαλύματα που σχηματίζουν με τον σίδηρο το σύμπλοκο $[\text{FeHPO}_4]^+$.

β. Οξαλικά άλατα που σχηματίζουν με τον σίδηρο το σύμπλοκο $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$.

γ. Σαλικυλικά άλατα που σχηματίζουν το σύμπλοκο $[\text{Fe}(\text{OC}_6\text{H}_4\text{COO})_3]^{3-}$. Στη χρήση των σαλικυλικών αλάτων χρειάζεται προσοχή, γιατί τα σύμπλοκα που σχηματίζονται έχουν έντονα χρώματα και υπάρχει κίνδυνος τα έγχρωμα διαλύματα, που σχηματίζονται από τον καθαρισμό, να εμποτίσουν το πέτρινο υλικό και να σχηματίσουν νέες έγχρωμες κηλίδες στην πέτρινη επιφάνεια.

Εξάλλου, κατά καιρούς, χρησιμοποιήθηκε ένα διάλυμα 1 - 5% κ.ο. NH_4HF_2 που φέρνει καλά αποτελέσματα, αφού και αυτό συμπλοκοποιεί τις διάφορες ενώσεις του σιδήρου, για περιπτώσεις μόνο αργιλοπυριτικών πετρωμάτων, διότι έχει όξινο χαρακτήρα και διαβρώνει τα αλκαλικά ασβεστολιθικά υλικά. Για κηλίδες οξειδίων του σιδήρου, επίσης χρησιμοποιήθηκε υδατικό διάλυμα γλυκερίνης και όξινου κιτρικού ή θειοθειικού νατρίου ή κιτρικού καλιονατρίου με ή χωρίς σιδηροκυανιούχο κάλιο. Τα προηγούμενα αντιδραστήρια ανάγουν τον σίδηρο από τρισθενή σε δισθενή που είναι άχρωμος και επομένως αποχρωματίζουν τη σκουριά. Για το κιτρικό νάτριο, παρασκευάζουμε διάλυμα 5% κ.ό. με αντίδραση έντονα αλκαλική και το εφαρμόζουμε στην επιφάνεια της πέτρας με κομπρέσες από καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη ή χαρτοβάμβακο, για 24 ώρες. Η δράση του έγκειται στο σχηματισμό άχρωμου άλατος με τον σίδηρο.

Το αποτελεσματικότερο όμως υλικό και το πιο σύγχρονο για την απομάκρυνση, ακόμα και μεγάλων ποσοτήτων οξειδίων του σιδήρου, π.χ. όταν υπάρχουν σιδερένιοι σύνδεσμοι, είναι το θειογλυκολικό οξύ (HSCH_2COOH). Παρασκευάζεται διάλυμα 5% κ.ό., το οποίο εξουδετερώνεται με πυκνή αμμωνία (σχηματίζεται $\text{HSCH}_2\text{COONH}_4$) για να μην αντιδράσει με το αλκαλικό υλικό, π.χ. μάρμαρο, ασβεστόλιθος και η εξουδετέρωση παρακολουθείται με πεχάμετρο ή πεχαμετρικό χαρτί ή φαινολοφθαλείνη, μέχρι το διάλυμα να αποκτήσει $\text{pH}=7$. Στη συνέχεια, σχηματίζεται πάστα με χαρτί ή καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη, που εφαρμόζεται επάνω στις κηλίδες σιδήρου, μέχρι να σχηματισθεί ένα έντονο μώβ χρώμα. Τότε η πάστα πρέπει να απομακρυνθεί αμέσως, διότι υπάρχει κίνδυνος να γίνει μωβ και η επιφάνεια της πέτρας. Αν συμβεί κάτι τέτοιο, απαιτείται να αφαιρεθεί η βαμμένη επιφάνεια στο φως, για τον αποχρωματισμό του συμπλόκου που σχηματίστηκε μεταξύ

του σιδήρου και του θειογλυκολικού οξέος. Το θειογλυκολικό οξύ χρησιμοποιείται, εκτός από τον καθαρισμό της σκουριάς, για τη χαλάρωση σιδερένιων συνδέσμων που έχουν διαβρωθεί και έχουν σφηνωθεί βαθειά μέσα στην πέτρα, επειδή το σύμπλοκο που σχηματίζει με τον σίδηρο είναι πολύ σταθερό. Επίσης το θειογλυκολικό οξύ, μετά την εξουδετέρωσή του, είναι το μόνο μη όξινο προϊόν για την απομάκρυνση μεγάλων ποσοτήτων σκουριάς. Υπάρχει ένα μειονέκτημα στην περίπτωση του θειογλυκολικού οξέος: το ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπου υπάρχει μόλυβδος σε οποιαδήποτε μορφή, π.χ. μολυβδοχόηση, διότι σχηματίζει με τον μόλυβδο ένα αρκετά σταθερό σύμπλοκο με έντονο κίτρινο χρώμα.

Σε περιπτώσεις που υπάρχουν στις πέτρινες επιφάνειες κηλίδες χαλκού από μπρούτζινους συνδέσμους ή μπρούτζινα αγάλματα, προτείνονται αλκαλικές πάστες που περιέχουν αμμωνία (NH_3), η οποία σχηματίζει με το χαλκό το σύμπλοκο $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ με γαλάζιο χρώμα και τον απομακρύνει. Το γαλάζιο αυτό σύμπλοκο, που σχηματίζεται κατά τον καθαρισμό, πρέπει να απομακρύνεται αμέσως με έκπλυση με απιονισμένο νερό, διότι μπορεί να λεκιάσει την πέτρα. Για την απομάκρυνση κηλίδων χαλκού, κατά το παρελθόν, χρησιμοποιήθηκε μία πάστα που περιείχε χλωριούχο αμμώνιο (NH_4Cl), υδροξείδιο του αργιλίου ($\text{Al}(\text{OH})_3$) και τάλκη.

2. Η συγκόλληση των κομματιών του υλικού καθώς και η συμπλήρωση οπών, ρωγμών, σχισμών ή χαμένων τεμαχίων και περιοχών επανένωσης, αφορά την αισθητική αποκατάσταση ενός αρχιτεκτονικού μέλους και περιλαμβάνεται στις τελευταίες φάσεις της διαδικασίας τοποθέτησής του. Για τη σύνδεση των αποκολλημένων κομματιών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε κάποιο συγκολλητικό μόνο είτε διάφορα στηρίγματα, μαζί με το συγκολλητικό.

Η χρήση μεταλλικών συνδέσμων για τη στήριξη της συγκόλλησης είναι πολύ παλιά μέθοδος συντήρησης και το υλικό που χρησιμοποιείτο συχνότερα ήταν ο σίδηρος. Όμως, η εύκολη οξειδωση αυτού του μετάλλου από τη δράση του νερού προκαλεί σημαντικές φθορές στο υλικό εξαιτίας της αύξησης του όγκου του συνδέσμου μέσα στην οπή, από τον σχηματισμό προϊόντων οξειδωσης αλλά και της διάλυσής τους στους πόρους και στην επιφάνεια του υλικού. Οι σύνδεσμοι από ορείχαλκο και μπρούντζο, που χρησιμοποιούνται πιο συχνά σε σχέση με τους σιδερένιους, οξειδώνονται επίσης με την πάροδο του χρόνου.

Τα τελευταία χρόνια, προτιμάται η χρήση μετάλλων, όπως τιτάνιου ή ανοξείδωτου χάλυβα, που δεν οξειδώνονται και επομένως προσδίδουν μεγαλύτερη σταθερότητα στο υλικό και στη συγκόλληση. Η διατομή του συνδέσμου, καθώς και ο αριθμός των συνδέσμων εξαρτάται άμεσα από τα φορτία που εφαρμόζονται στα προς συγκόλληση τεμάχια, από την κλίση της επιφάνειας θραύσης, από την επιφάνεια των προς συγκόλληση τεμαχίων και από την κατάσταση διατήρησης των υλικών των. Πολλές φορές, σε περιπτώσεις μεγάλων τεμαχίων που δέχονται μεγάλα φορτία απαιτείται η στατική μελέτη της περιοχής, ενώ σε περιπτώσεις μικρών τεμαχίων με σχετικά μικρά φορτία η παρουσία ενός ή το πολύ δύο συνδέσμων τιτανίου διαμέτρου 6 mm προσδίδουν την επιθυμητή σταθερότητα στη συγκόλληση.

Πολλές φορές τον μεταλλικό σύνδεσμο περιβάλλει ένα κατάλληλο δομικό συγκολλητικό ή και κονίαμα. Γι' αυτό τον σκοπό παλαιότερα χρησιμοποιείτο μόλυβδος, ενώ πρόσφατα χρησιμοποιήθηκαν διάφορες ρητίνες, που ασκούν επίσης μία προστατευτική δράση στο μέταλλο, αφού παρεμποδίζουν την επαφή του με το νερό που διεισδύει μέσα στην πορώδη δομή του υλικού. Για τη σύνδεση κομματιών περιορισμένου βάρους χρησιμοποιήθηκαν πρόσφατα σύνδεσμοι από ρητίνες, που μοιάζουν με γυάλινες ράβδους. Οι ράβδοι αυτές έχουν σαν πλεονεκτήματα το μικρό βάρος, τη σχετική χημική σταθερότητα και την αντοχή σε έλξη, αλλά παράλληλα το μειονέκτημα της μεγάλης διαφοράς στο συντελεστή θερμικής διαστολής σχετικά με το υλικό. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί, με την προσθήκη της κατάλληλης παιπάλης από κάποιο ανόργανο υλικό.

Για τη σύνδεση ξύλινων τεμαχίων γίνεται με τη χρήση ξύλινων συνδέσμων στρογγυλής διατομής (καβίλιες), όπου απαιτούνται μεγάλα κομμάτια συμπλήρωσης. Σε περιπτώσεις ρωγμών και μικρότερων οπών προτείνεται η χρήση ξυλόστοκου.

Στις περιπτώσεις που παρατηρούνται απώλειες μεταλλικού υλικού προτείνεται η χρήση σιδηρόστοκου.

Για τη συγκόλληση τεμαχίων υλικών ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

Ανοίγουμε μία οπή στο κέντρο κάθε σπασμένης επιφάνειας ή όταν η επιφάνεια αυτή είναι μεγάλη ή το βάρος που θα δεχθεί η συγκόλληση μεγάλο,

ανοίγουμε περισσότερες οπές σε συμμετρικά σημεία και φροντίζουμε να συμπίπτουν οι οπές, για να μπορέσει να εισχωρήσει ο σύνδεσμος. Για την αντιστοιχία των οπών, ανοίγουμε τη μία οπή στη μία επιφάνεια χρησιμοποιώντας τρυπάνι, όχι κρουστικό και χαράσσουμε δύο διαγώνιες γραμμές επάνω στην επιφάνεια, που τέμνονται στο κέντρο της οπής. Φέρουμε σε επαφή τις δύο επιφάνειες και από τα άκρα των ευθειών του ενός κομματιού χαράσσουμε τις ευθείες στο δεύτερο. Το σημείο της τομής τους καθορίζει τη δεύτερη οπή. Σύμφωνα με μία άλλη μέθοδο, θέτουμε μία μικρή ποσότητα βρεγμένου πηλού στη θέση της οπής στο πρώτο κομμάτι και με την επαφή των δύο κομματιών σχηματίζεται η θέση της οπής στο δεύτερο κομμάτι. Στη συνέχεια, με το τρυπάνι ανοίγουμε αρχικά μικρή οπή και την μεγαλώνουμε σταδιακά αυξάνοντας το μέγεθος του τρυπανιού, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια. Το μέγεθος της οπής εξαρτάται από την ανθεκτικότητα του υλικού και από το πλάτος της επιφάνειας που παραμένει γύρω από την οπή.

Σε περιπτώσεις όπου το ένα κομμάτι είναι πολύ μικρότερο από το άλλο, στο μικρότερο κομμάτι η οπή γίνεται ελαφρά μεγαλύτερη, για να διορθωθεί ο τζόγος που πιθανά έχει δημιουργηθεί στο σύνδεσμο με αποτέλεσμα να μην κουμπώνουν καλά τα δύο κομμάτια. Όταν τα δύο κομμάτια είναι παρόμοια σε μέγεθος, τότε η μεγαλύτερη οπή γίνεται στο ένα από τα δύο. Πολλές φορές, ο σύνδεσμος γίνεται αγκαθωτός με λίμα, πριόνι ή τροχό, για να γαντζώνει καλύτερα. Οι επιφάνειες καθαρίζονται και αν είναι πολύ επίπεδες, αποκτούν ελαφρά ανώμαλη επιφάνεια με κτύπημα με κάποιο αιχμηρό εργαλείο και οι οπές καθαρίζονται καλά. Στη συνέχεια, γεμίζουμε τη μία οπή με κονίαμα ή συγκολλητικό και περνάμε πρώτα το σύνδεσμο στο ένα κομμάτι και τον αφήνουμε να στεγνώσει, ενώ όταν έχουμε κονίαμα, αφήνουμε κομπρέσα με απιονισμένο νερό γύρω από την οπή που μπήκε ο σύνδεσμος. Πολλές φορές στο κονίαμα ή στο συγκολλητικό ρίχνουμε σκόνη από το υλικό, που προέκυψε από το τρύπημα, για καλύτερη συνοχή και για να πάρει ο αρμός το χρώμα του υλικού. Στη συνέχεια, κολλάμε τα δύο κομμάτια θέτοντας κονίαμα ή συγκολλητικό στην δεύτερη οπή και στη μία επιφάνεια και σκουπίζουμε το κονίαμα ή το συγκολλητικό που έτρεξε στο σημείο συγκόλλησης. Αφήνουμε να στεγνώσει το συγκολλητικό ή το κονίαμα και στην περίπτωση του κονιάματος αφήνουμε γύρω από τον αρμό κομπρέσα με απιονισμένο νερό. Τελικά, στην συγκόλληση με κονίαμα, για να αποκτήσει ο αρμός την υφή της επιφάνειας του υλικού με πόρους, τοποθετούμε ένα γυαλόχαρτο και κτυπάμε ελαφρά.

Βέβαια, η εισαγωγή των συνδέσμων στο εσωτερικό του υλικού είναι επέμβαση αρκετά επώδυνη για το ίδιο το υλικό, αφού πρέπει να ανοιχθούν οπές στις δύο επιφάνειες συγκόλλησης και επομένως του προκαλεί μία εξασθένηση. Όταν είναι δυνατόν, αποφεύγονται τέτοιου είδους επεμβάσεις και προτιμάται η χρήση συγκολλητικών, χωρίς συνδέσμους. Συχνά σε περιπτώσεις συγκόλλησης πορωδών υλικών με μέτρια μηχανική αντοχή, απαιτείται να προηγηθεί στερέωση με το ίδιο το υλικό που χρησιμοποιείται για συγκόλληση, έτσι ώστε το συγκολλητικό να διεισδύσει αρκετά ανάμεσα στις δύο επιφάνειες για συγκόλληση. Σαν συγκολλητικά, εκτός από τα κονιάματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και συνθετικές ρητίνες του ίδιου τύπου με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για τη στερέωση του αντικειμένου, όπως ακρυλικές ρητίνες, σιλικόνες κ.λπ.. Βέβαια, το πρόβλημα με τα διάφορα πολυμερή συγκολλητικά είναι ότι προσβάλλονται από τις υπεριώδεις ακτίνες

και επομένως πρέπει να αποφεύγεται η παραμονή τους στην επιφάνεια του υλικού, όπου θα σχηματίσουν αντιαισθητικές κηλίδες. Για το λόγο αυτό, το πιο εξωτερικό μέρος της ρωγμής συμπληρώνεται με ένα προϊόν πιο σταθερό στις υπεριώδεις, όπως για παράδειγμα με μία ακρυλική ρητίνη μαζί με σκόνη από την ίδια το υλικό ή με κάποιο κονίαμα.

Οι μέθοδοι συμπλήρωσης και αισθητικής αποκατάστασης του πέτρινου υλικού θα πρέπει να περιλαμβάνουν τη χρήση υλικών, συμβατών και αντιστρεπτών, σύμφωνα με τα διεθνή δεδομένα συντήρησης και αποκατάστασης μνημείων.

3. Η εργασία της συμπλήρωσης - σφράγισης ρωγμών, πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή και πραγματοποιείται ακόμα και σε πολύ λεπτές ρωγμές, διότι αυτές αποτελούν δίοδο για τη διείσδυση διαφόρων διαβρωτικών παραγόντων. Η συμπλήρωση των κενών και των ρωγμών είναι απαραίτητη, διότι με τη στερέωση δεν μπορούν να κλείσουν σχισμές με άνοιγμα μεγαλύτερο από 0,1 - 0,2 mm και είναι απαραίτητο να πληρωθούν με κάποιο κονίαμα. Ένα καλό κονίαμα θα πρέπει να έχει καλή σύμφυση με την επιφάνεια του υλικού, να έχει ίδιο ή παραπλήσιο θερμικό συντελεστή με το πέτρινο υλικό, το πορώδες του να είναι ίδιο ή μεγαλύτερο από το πορώδες του πέτρινου υλικού, έτσι ώστε να επιτρέπεται η εξάτμιση των διαλυμάτων των αλάτων διαμέσου του κονιάματος και όχι διαμέσου του υλικού και αν παραστεί ανάγκη το κονίαμα να μπορεί να απομακρυνθεί χωρίς να της προκαλέσει ιδιαίτερη βλάβη. Γενικά, οι συμπληρώσεις πρέπει να διακρίνονται εύκολα και οι επιφάνειες αυτές να διατηρούν χρωματικά ένα τόνο χαμηλότερο σε σχέση με τις αρχικές. Το μέτρο στο οποίο πρέπει να είναι εκτεταμένη η συμπλήρωση κρίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά του υλικού και του αντικειμένου. Για τη συμπλήρωση χρησιμοποιούνται συνδετικά και αδρανή υλικά που θα πρέπει να έχουν χαρακτηριστικά χρώματος, πορώδους και μηχανικής αντοχής, όσο το δυνατόν, πλησιέστερα με τα αντίστοιχα του πέτρινου υλικού.

Σαν αδρανές υλικό χρησιμοποιείται πολλές φορές σκόνη γυαλιού ή χαλαζία ή σκόνη από το ίδιο το υλικό, με πιθανή προσθήκη μικρής ποσότητας ανόργανων χρωστικών, που θα πρέπει να είναι χημικά σταθερές, έτσι ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό χρώμα. Στην περίπτωση όπου δεν απαιτείται μεγάλη μηχανική αντοχή, χρησιμοποιείται, σαν αδρανές, σκόνη ασβεστόλιθου και η κοκκομετρία της σκόνης καθορίζεται σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά του πορώδους και της ομοιογένειας του υλικού. Η συμπλήρωση σε υλικά με μικρό πορώδες απαιτεί λεπτόκοκκες σκόνες με περιορισμένο φάσμα κοκκομετρίας, ενώ για υλικά χονδρόκοκκα, με μεγαλύτερο πορώδες, απαιτούνται σκόνες με κόκκους μετρίων διαστάσεων και πιο ανομοιογενείς.

Για τη συμπλήρωση μεγάλων κομματιών που λείπουν, απαιτείται αντίγραφο του μέρους που λείπει, μέσα στο οποίο θα χυθεί το κατάλληλο υλικό για συμπλήρωση. Σε περίπτωση κατά την οποία το μέρος που λείπει υπάρχει σε κάποιο συμμετρικό μέρος του υλικού, παίρνουμε αντίγραφο από αυτό το κομμάτι με γύψο, οπότε τοποθετούμε, ανάμεσα σε γύψο και υλικό, σαπουνάδα ή λεπτό στρώμα τάλκη ή παίρνουμε αντίγραφο με λάστιχο σιλικόνης.

Σε περίπτωση που το υλικό είναι αποσαθρωμένο επιφανειακά, πριν ρίξουμε το καλούπι, τοποθετούμε ειδικό λεπτό χαρτί το οποίο εφαρμόζουμε στην επιφάνεια του υλικού πιέζοντάς το με πινέλο βουτηγμένο σε απιονισμένο νερό. Το καλούπι ρίχνεται σε κομμάτια και μόλις στεγνώσει, τοποθετείται στο

μέρος που λείπει, όπου ρίχνεται το κονίαμα για συμπλήρωση, αφού περαστεί από μέσα το καλούπι με το χαρτί με ειδικό βερνίκι, ενώ στην περίπτωση καλουπιού από λάστιχο σιλικόνης, δεν τοποθετείται κανένα μονωτικό. Η επιφάνεια του υλικού, που θα έρθει σε επαφή με το κονίαμα, σκαλίζεται ελαφρά με κάποιο αιχμηρό εργαλείο για να δέσει με το κονίαμα.

Πολλές φορές τοποθετείται σύνδεσμος σε οπή στην προηγούμενη επιφάνεια, που συνεχίζει μέσα στο κονίαμα. Μέσα στο κονίαμα που χύνεται μέσα στο καλούπι τοποθετείται δονητής για να φεύγουν οι φυσαλίδες του αέρα. Όταν το μέρος που λείπει δεν υπάρχει σε αντίστοιχο συμμετρικό μέρος του υλικού, τότε κατασκευάζεται πρόπλασμα από πλαστελίνη ή πηλό ή γύψο. Επάνω στο πρόπλασμα ρίχνεται το καλούπι από γύψο ή από λάστιχο σιλικόνης (αρνητικό) και μέσα στο καλούπι κατασκευάζεται το μέρος που λείπει από κονίαμα (θετικό) τοποθετώντας το καλούπι στην περιοχή που λείπει. Υπάρχει περίπτωση το θετικό από το κονίαμα να κατασκευασθεί μακριά από το υπόλοιπο σώμα και να συγκολληθεί στην περιοχή που λείπει.

4. Η αισθητική αποκατάσταση του δομικού υλικού, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί με τη χρήση ανόργανων χρωστικών που θα προστεθούν στο αντίστοιχο κονίαμα που θα χρησιμοποιηθεί για τη συγκόλληση - συμπλήρωση των δομικών στοιχείων. Σε περίπτωση επιφανειακής αισθητικής αποκατάστασης, χρησιμοποιούνται ανόργανες χρωστικές σε μέσο γαλάκτωμα ακρυλικής ρητίνης.

Τέλος, προτείνεται η βαφή των ξύλινων και των μεταλλικών στοιχείων στον επιθυμητό χρωματισμό, καθώς και η χρήση ειδικού βερνικιού που θα λειτουργεί σαν φίλτρο όταν ενσωματώσουν μέσα τους απορροφητές υπεριώδους ακτινοβολίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. American Institute for Conservation, Code of ethics and standards of practice, A.I.C., 1979.
2. Amoroso G.G., Fassina V., Stone Decay and Conservation, Ed. Elsevier 1983.
3. Arnold A., "Behaviour of some soluble salts in stone deterioration", Πρακτικά "2ου διεθνούς συμποσίου επί της καταστροφής των λίθων εις κατασκευάς", Αθήνα, Σεπτέμβρης 1976.
4. Arnold A., "Nature and reactions of saline minerals in walls", Πρακτικά Διεθνούς Συμποσίου "The Conservation of Stone", Bologna, Οκτώβρης 1981.
5. Arnold A., "Soluble salts and stone weathering". Πρακτικά Διεθνούς Συμποσίου "The Conservation of Stone", Bologna, Ιούνιος 1975.
6. De Henau P., Dupas M., "Contribution a l' etude de l' alteration des monuments de l' acropole", Πρακτικά "2ου διεθνούς συμποσίου επί της καταστροφής των λίθων εις κατασκευάς", Αθήνα, Σεπτέμβρης 1976.
7. Delgado Rodrigues J., "Estimation of the content of clay minerals and its significance in stone decay", Πρακτικά "2ου διεθνούς συμποσίου επί της καταστροφής των λίθων εις κατασκευάς", Αθήνα, Σεπτέμβρης 1976.
8. Domasowski W., La conservation preventive de la pierre, UNESCO 1979 - 80.
9. Δρανδάκη Π., Μεγάλη Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια, Εκδοτικός Οργανισμός "Ο Φοίνις" Ε.Π.Ε..
10. Fassina V., Lazzarini L., Biscontin G., "Effects of atmospheric pollutants on the composition of black crusts deposited on venetian marbles and stones", Πρακτικά "2ου διεθνούς συμποσίου επί της καταστροφής των λίθων εις κατασκευάς", Αθήνα, Σεπτέμβρης 1976.
11. Frediani P., Malesani P.G., Vanucci S., "Weathering of florentine stones: sulfation and its determination", Πρακτικά "2ου διεθνούς συμποσίου επί της καταστροφής των λίθων εις κατασκευάς", Αθήνα, Σεπτέμβρης 1976.
12. Furlan V., Pancella R., "Proprietes d' un gres tendre traite avec des silicates d' ethyle et un polymere acrylique", Πρακτικά Διεθνούς Συμποσίου "The Conservation of Stone", Bologna, Οκτώβρης 1981.
13. Giaccone G., Velocchia - Rinaldi M.L., Giacobini C., "Forme biologiche delle alghe esistenti sulle sculture all' aperto", Πρακτικά Διεθνούς Συμποσίου "The Conservation of Stone", Bologna, Ιούνιος 1975.
14. Ιστορική και Εθνολογική Εταιρεία της Ελλάδος, Το Εθνικό Ιστορικό Μουσείο, Αθήνα 1990.
15. Lazzarini L. Laurenzi Tabasso M., Il restauro della pietra, Ed. Casa Editrice Dott. Antonio Milani, Padova 1986.
16. Lazzarini L., La pulitura dei materiali lapidei da costruzione e scultura - metodi industriali e di restauro, Ed. Casa Editrice Dott. Antonio Milani, Padova 1981.
17. Massari G.I., Risanamento igienico dei locali umidi, Ed. Hoepli 1981.
18. Μπίρη Η.Κ., "Αι Αθήναι από του 19^{ου} εις τον 20^{ον} αιώνα", Εκδ. Μέλισσα, Αθήνα 2005.
19. Paleni A., Curri S.B., "Attapulgis clay on cleaning, biological aggression control, desalination of stone", Πρακτικά "2ου διεθνούς συμποσίου επί της καταστροφής των λίθων εις κατασκευάς", Αθήνα, Σεπτέμβρης 1976.

20. Paully J.P., "Le role des chlorures dans les maladies alveolaire et desquamante", Πρακτικά "2ου διεθνούς συμποσίου επί της καταστροφής των λίθων εις κατασκευάς", Αθήνα, Σεπτέμβρης 1976.
21. Pauly J.P., "Maladie alveolaire; conditions de formation et d' evolution", Πρακτικά Διεθνούς Συμποσίου "The Conservation of Stone", Bologna, Ιούνιος 1975.
22. Pellerin F.M., "Influence de la dolomie dans un cas d' alteration de tunnel ferroviaire", Πρακτικά "2ου διεθνούς συμποσίου επί της καταστροφής των λίθων εις κατασκευάς", Αθήνα, Σεπτέμβρης 1976.
23. Pellizzer R., Sabatini G., "Rocks alteration in natural environment in understanding monuments degradation", Πρακτικά Διεθνούς Συμποσίου "The Conservation of Stone", Bologna, Ιούνιος 1975.
24. Phenix A., Synthetic Resins as Surface Coatings, Conference Reviews, Varnishes: Authenticity and Permanence, CIC, WAAC, Newsletter Vol. 17, No 1, 1995.
25. Shields J., Adhesives handbook, Ed. Butterworths 1984.
26. Skoulikidis Th., "Atmospheric corrosion of the concrete reinforcements and of the limestone and marbles of ancient monuments", The Electrochemical Society International Symposium on Atmospheric Corrosion, Hollywood, Miami, Florida, Οκτώβρης 1980.
27. Skoulikidis Th., Papakonstantinou P., Charalambous D., "Restauration d' anciens objets d' art en marbre deteriorés ; inversion de la sulfatation - utilisation de gypse et transformation en calcite", Πρακτικά "2ου διεθνούς συμποσίου επί της καταστροφής των λίθων εις κατασκευάς". Αθήνα, Σεπτέμβρης 1976.
28. Tite M.S., Methods of physical examination in Archaeology, Ed. Seminar Press, London and New York 1972.
29. Torraca G., Porous building materials. Materials science for architectural conservation, ICCROM 1988.
30. Winkler E.M., "Effect of case hardening in stone", Πρακτικά "3o congresso internazionale sul deterioramento e la conservazione della pietra", Venezia, Οκτώβρης 1979.
31. Λαμπρόπουλου Β.Ν., Διάβρωση και Συντήρηση της Πέτρας, Αθήνα 1992.
32. Λαμπρόπουλου Β.Ν., Κεραμικά, Τεχνολογία, Διάβρωση & Συντήρηση, Αθήνα 1996.
33. Λαμπρόπουλου Β.Ν., Περιβάλλον Μνημείων, Μουσείων και Αρχαιολογικών Χώρων, Αθήνα 2003.
34. Λαμπρόπουλου Β.Ν., Παπαθανασίου Θ., Νταλούκα Ευθ., Χατζηδάκη Μ., Συντήρηση Έργων Τέχνης, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο ΥΠΕΠΘ. Τόμος 1^{ος}
35. Λαμπρόπουλου Β.Ν., Παπαθανασίου Θ., Νταλούκα Ευθ., Χατζηδάκη Μ., Συντήρηση Έργων Τέχνης, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο ΥΠΕΠΘ. Τόμος 2^{ος}
36. Οικονόμου Χ., Τεχνολογία σκυροδέματος, Εκδόσεις Βιβλιοοικοδομική, Αθήνα 1978.
37. Σκουλικίδη Θ., Φυσικοχημεία Ι2, Διαλύματα, κολλοειδή, αδρομερή, Αθήνα 1980.
38. Σκουλικίδη Θ.Ν., Εφαρμοσμένη Ηλεκτροχημεία, Α' Διάβρωση και προστασία, Αθήνα 1980.
39. Σύμβαση της Γρανάδας, 1985.
40. Φτίκος Χ., Καλός Μ., Οδηγίες για την σύνταξη προδιαγραφών για κονιάματα. Αθήνα - Τ.Ε.Ε., Μάϊος 1985.

41. Χάρτα Αθηνών 1931.
42. Χάρτα Βενετίας, II Διεθνές Συνέδριο Αρχιτεκτόνων και Τεχνικών Ιστορικών Μνημείων, 25 - 31 Μαΐου 1964, Βενετία.
43. Χάρτα Ιταλίας, 1930.
44. Χατζηϊωάννου Θ.Π., Ποιοτική ανάλυση και χημική ισορροπία, Ο.Ε.Δ.Β., 1985.
45. www.minenv.gr
46. www.meteo.gr