

**Η ΦΘΟΡΑ ΤΩΝ ΛΙΘΩΝ ΣΤΑ
ΜΝΗΜΕΙΑ –
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Παναγιώτης Θεουλάκης

Περιεχόμενα

1. Η φθορά των λίθων στην ατμόσφαιρα.
2. Οι λίθοι
3. Τα φαινόμενα (μηχανισμοί) φθοράς
4. Τυπολογία φθορών
5. Το περιβάλλον
6. Η επιλογή μέσων συντήρησης – Μεθοδολογική προσέγγιση
7. Καθαρισμοί
8. Σταθεροποίηση – στερέωση
9. Προστασία
10. Προληπτική συντήρηση (περιβαλλοντική προστασία)

ΛΙΘΟΙ

+

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ



**ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ
ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ**

Χαρακτηριστικά

- Είδος πετρώματος
- Ορυκτολογική σύσταση
- Ιστός
- Πορώδες, μικροδομή
- Μηχανική αντοχή
- Μέτρο ελαστικότητας
- Μικροσκληρότητα
- Αντοχή στην εκτριβή
- Παρουσία ασυνεχειών
- Τρόπος λατόμευσης
- Κατάσταση επιφάνειας
- Προγενέστερες επεμβάσεις

Γενικές Παράμετροι

- Θερμοκρασία
- Σχετική υγρασία
- Βροχοπτώσεις
- Άνεμοι
- Ηλιοφάνεια
- Σύσταση ατμόσφαιρας
- Απόσταση θάλασσας

Μικροκλίμα

- Προσανατολισμός
- Θέση στο μνημείο
- Μορφολογία επιφ.
- Γειτονικά υλικά
- Κλίμακα
- Τρόπος προσβολής

Μηχανισμοί

- Χημικός
- Ηλεκτροχημικός
- Φυσικός
- Βιολογικός

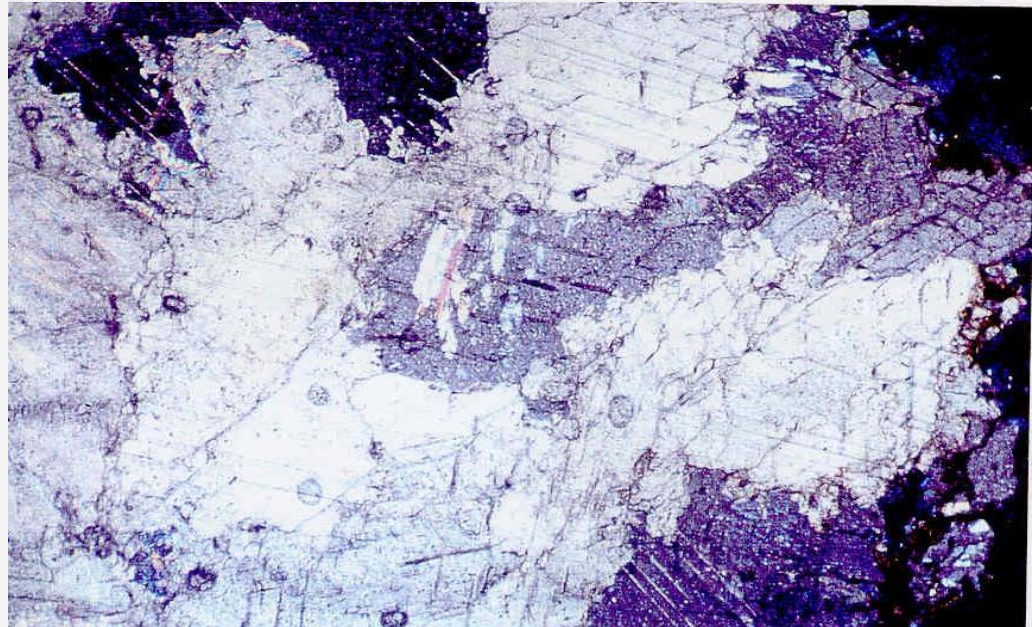
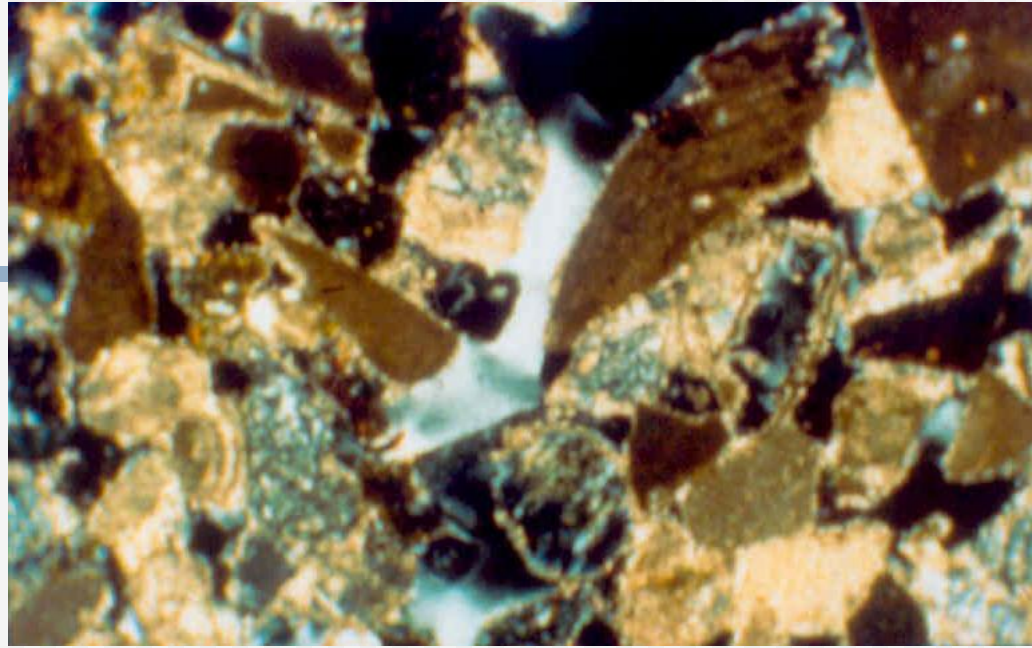
Τυπολογία - Μορφές

- Επικαθίσεις –
μαύρες κρούστες
- Γυψοποίηση
- Περικρυσταλλική
- Ρηγματώσεις
- Κυψέλωση
- Απολεπίσεις
- Βιολογικές κρούστες
- κ.ά.

ΟΙ ΛΙΘΟΙ

Χαρακτηριστικά

- Είδος πετρώματος
- Ορυκτολογική σύσταση
- Ιστός
- Πορώδες, μικροδομή
- Μηχανική αντοχή
- Μέτρο ελαστικότητας
- Μικροσκληρότητα
- Αντοχή στην εκτριβή
- Παρουσία ασυνεχειών
- Τρόπος λατόμευσης
- Κατάσταση επιφάνειας
- Προγενέστερες επεμβάσεις



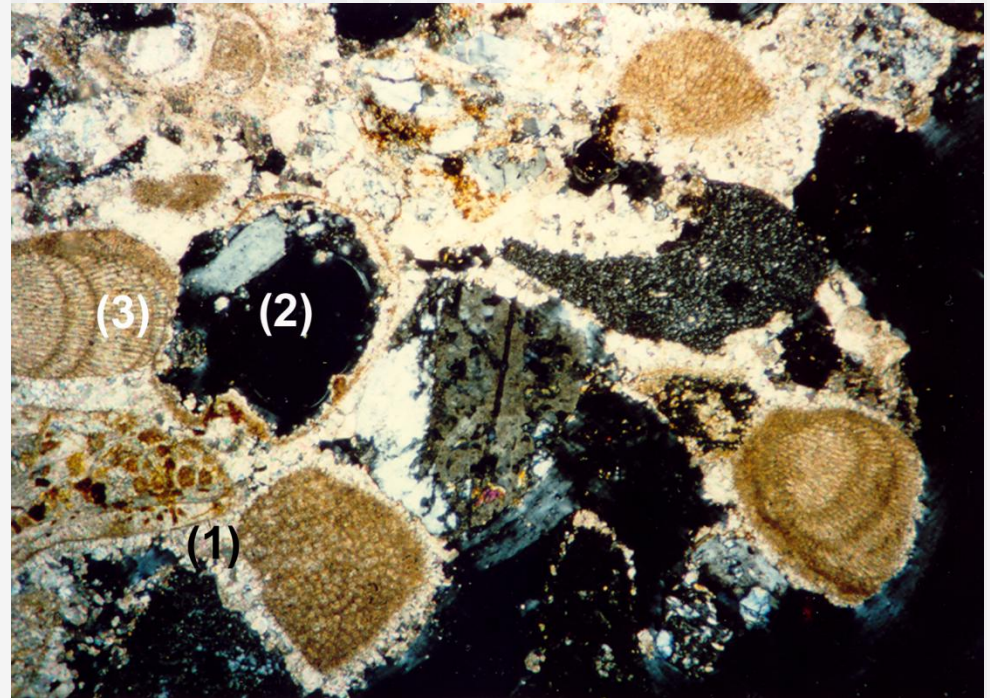
Κατηγορίες Πετρωμάτων

- Πυριγενή ή Μαγματικά
 - Πλουτώνια
 - Ηφαιστειακά
- Μεταμορφωσιγενή
- Ιζηματογενή
 - Κλαστικά ιζήματα
 - Χημικά ιζήματα
 - Βιογενή



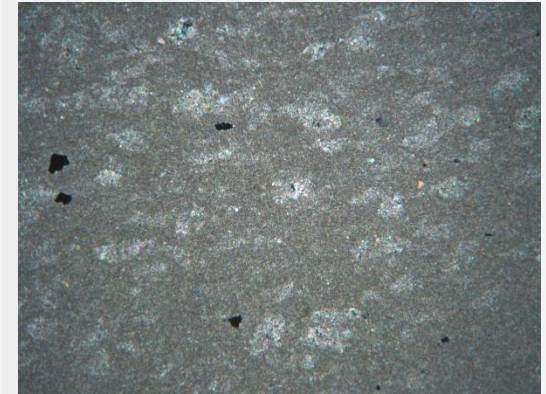
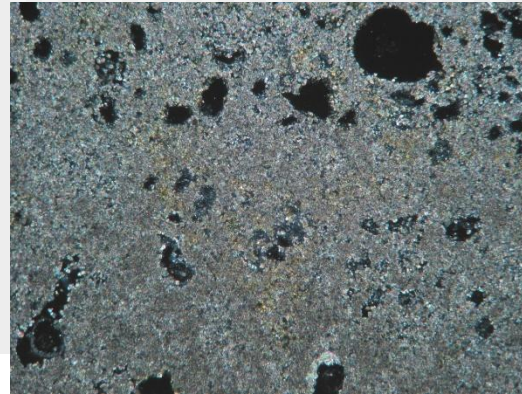
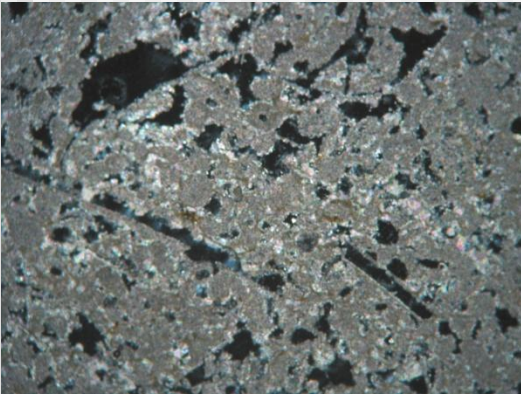
Μεσαιωνική Πόλη Ρόδου

Βιοκλαστικός ασβεστόλιθος



Μονή Δαφνίου

Μαργαϊκός ασβεστόλιθος – ψαμμιτο-μάργα



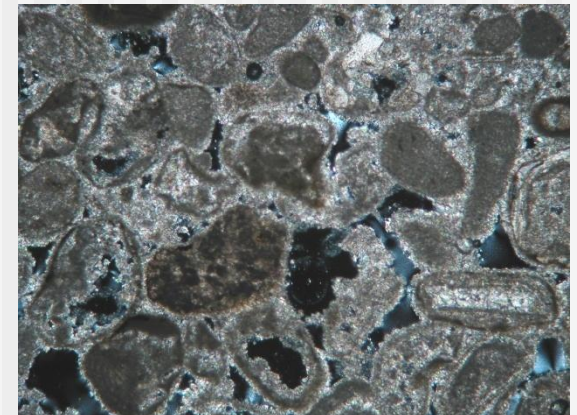
ΥΠΟΓΔΑΜΙΣ ΔΑΦΝΙΟΥ ΤΜΗΜΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΒΥΖΑΝΤ. ΜΝΗΜΕΙΩΝ 1η ΕΒΑ
ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ & ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΜΟΝΗΣ ΔΑΦΝΙΟΥ

ΔΙΕΥΘΥΝΤΡΙΑ ΔΑΦΝΙΜ Μ. ΦΟΥΝΤΟΥΚΟΥ ΑΡΧΙΤΕΚΤΩΝ ΜΕ Α' Β.
ΤΜ. ΜΕΛ. ΒΥΖ. ΜΝΗΜΕΙΩΝ: Ν. ΧΑΡΚΙΟΛΑΚΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΩΝ ΜΕ Α' Β.
ΟΜΑΔΑ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΝΙΚΟΣ ΔΕΛΜΗΚΟΛΑΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΩΝ ΜΕ Ο' Β.
ΑΝΔΡΟΝΙΚΗ ΜΙΛΙΤΑΔΟΥ Δρ. Πολιτικός Μηχανικός με Α' Β.
ΕΦΗ ΧΩΡΑΦΑ αρχιτέκτων ΕΛΕΝΗ ΣΑΡΟΓΙΑΝΝΗ πολ. Μηχανικός.

ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

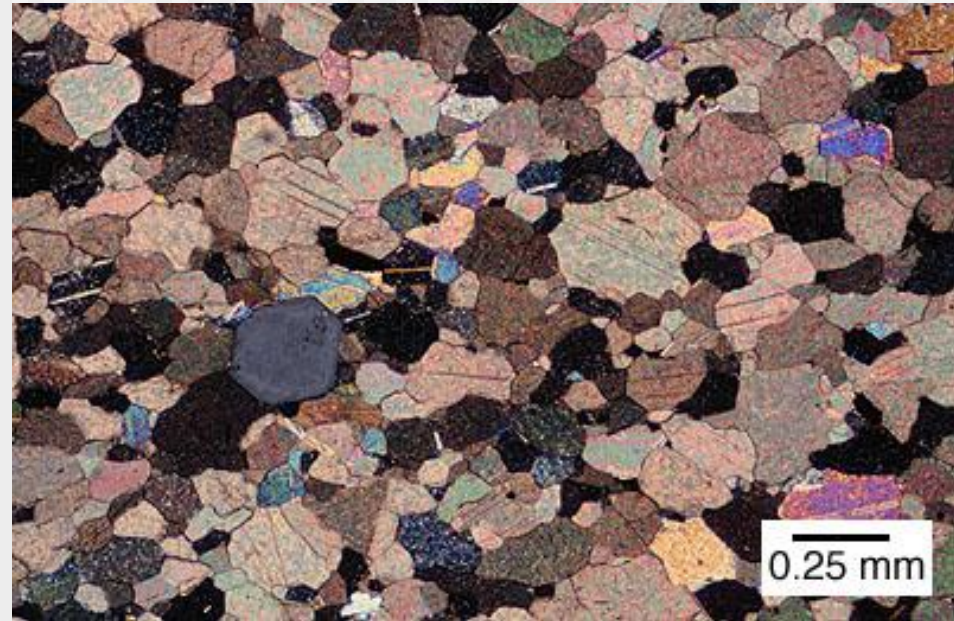
ΜΟΝΗ ΟΥΡΗ 1994-1995
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2002

ΣΥΜΒΟΥΛΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ
ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΕΠΙΧΡΟΝΙΜΗΣ ΣΤΟ
ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΟΥ
ΑΝΑΘΕΤΕΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΑΦΝΙΑ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ & ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΜΠ
ΜΕ ΕΠΙΧΡΟΝΙΜΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΤΩΝ ΑΝΑΦΟΡΩΣΩΝ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Α. ΓΕΩΡΓΙΩΠΟΥΛΟΣ



Ζωφόρος Παρθενώνα

Πεντελικό μάρμαρο



Παθολογία

Διάκριση αιτίων – διεργασιών – μορφών
φθοράς

- Μηχανικά
- Φυσικά
- Χημικά
- Βιολογικά

Φαινόμενα διάβρωσης με φυσικό χαρακτήρα

- Δράση του νερού (άμεση)
- Διάβρωση από τη δράση των διαλυτών αλάτων
- Θερμοκρασιακές μεταβολές - Πυρκαγιές
- Δράση του παγετού
- Διόγκωση και θιξότροπη συμπεριφορά των αργίλων
- Διόγκωση σιδηρών στοιχείων
- Μεταβολές στη γεωμετρία των κατασκευών - Συγκέντρωση φορτίων
- Προσβολή από σωματίδια που μεταφέρονται με τον άνεμο
- Δονήσεις
- Τυχηματικά συμβάντα

Φαινόμενα διάβρωσης με χημικό χαρακτήρα

- Χημικές δράσεις με ενδιαφέρον στη διάβρωση των λίθων (υδρόλυση, διάλυση, ιοντοανταλλαγή, οξειδοαναγωγή, κλπ).
- Προσβολή από το CO_2 που περνά στο νερό
- Σχηματισμός ανθρακικής κρούστας
- Διάβρωση σε ρυπασμένη ατμόσφαιρα
- Όξινη προσβολή και προσβολή εν ξηρώ. Προσβολή από το SO_2 , NO_x , HCl , HNO_3
- Επικαθίσεις αιωρουμένων σωματιδίων
- Σχηματισμός μαύρης κρούστας - διαφοροποιήσεις ανάλογα με το χαρακτήρα του μικροκλίματος
- Χημική εξαλλοίωση των αργιλοπυριτικών ορυκτών

Βιολογική φθορά

- Ο ρόλος των συνθηκών στην ανάπτυξη μικροοργανισμών
- Είδη μικροοργανισμών
- Μηχανισμοί διάβρωσης από βιολογική δραστηριότητα

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΒΙΟΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

■ ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

- ΕΚΔΟΡΕΣ, ΘΡΑΥΣΕΙΣ, ΑΠΟΔΟΜΗΣΗ ΚΛΠ, ΕΞ ΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

■ ΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

- ΟΡΓΑΝΙΚΑ & ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΟΞΕΑ
- ΧΗΛΙΚΑ ΣΥΜΠΛΟΚΑ
- ΕΝΩΣΕΙΣ ΜΕ ΑΛΚΑΛΙΚΗ ΔΡΑΣΗ
- ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗ
- ΕΝΖΥΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ
- ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ

Φαινόμενα και Τυπολογία Φθορών

Ρυπασμένη Ατμόσφαιρα

- Γλυπτά Παρθενώνας
- Πύλη Αδριανού
- Ναός Ηφαίστου, Αθήνα
- Γλυπτά Δήμου Αθηναίων

Φυσικό Παραθαλάσσιο Περιβάλλον

- Μεσαιωνική Πόλη Ρόδου
- Τράπεζα Ελλάδος, Ρόδος

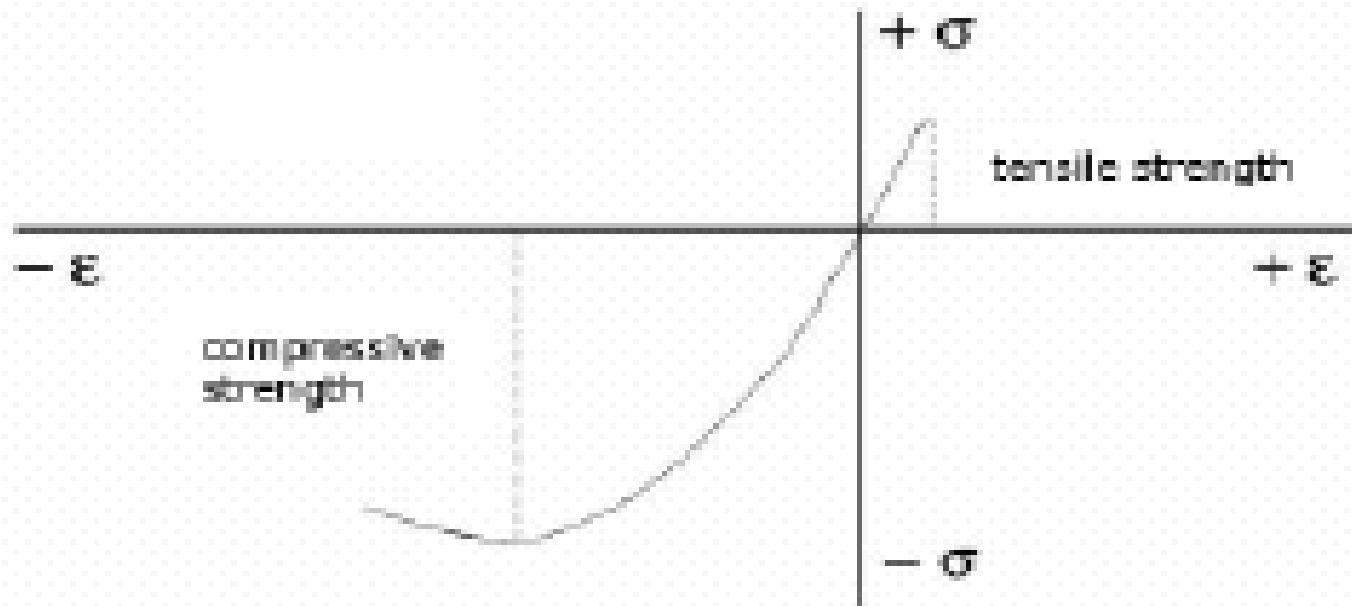
Φυσικό Ορεινό Περιβάλλον

- Επικούριος Απόλλωνας, Δωδώνη

Ανασκαφικό Περιβάλλον

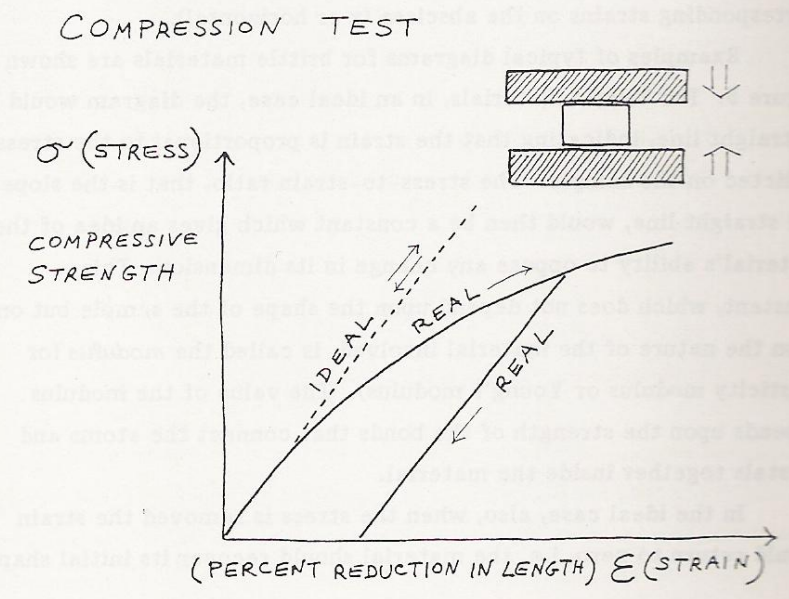
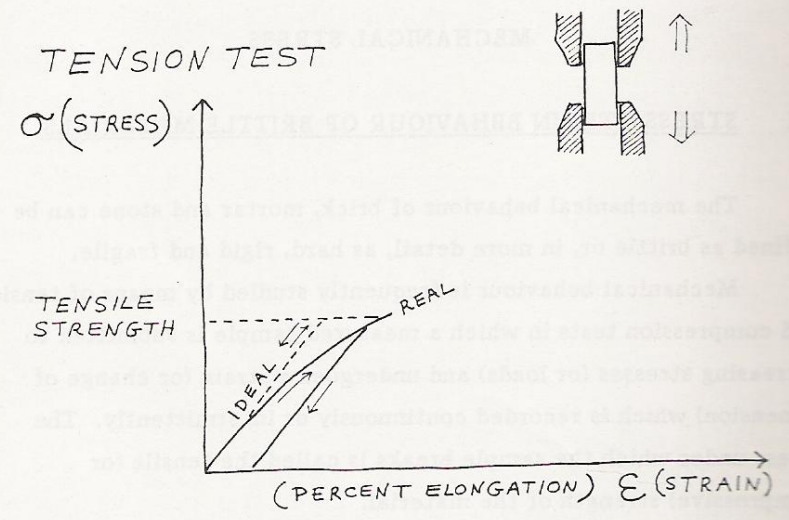
- Ερμής – Μαχάων, Αρχαία Μεσσήνη

Μηχανικά φορτία – συγκέντρωση τάσεων - ασυνέχειες

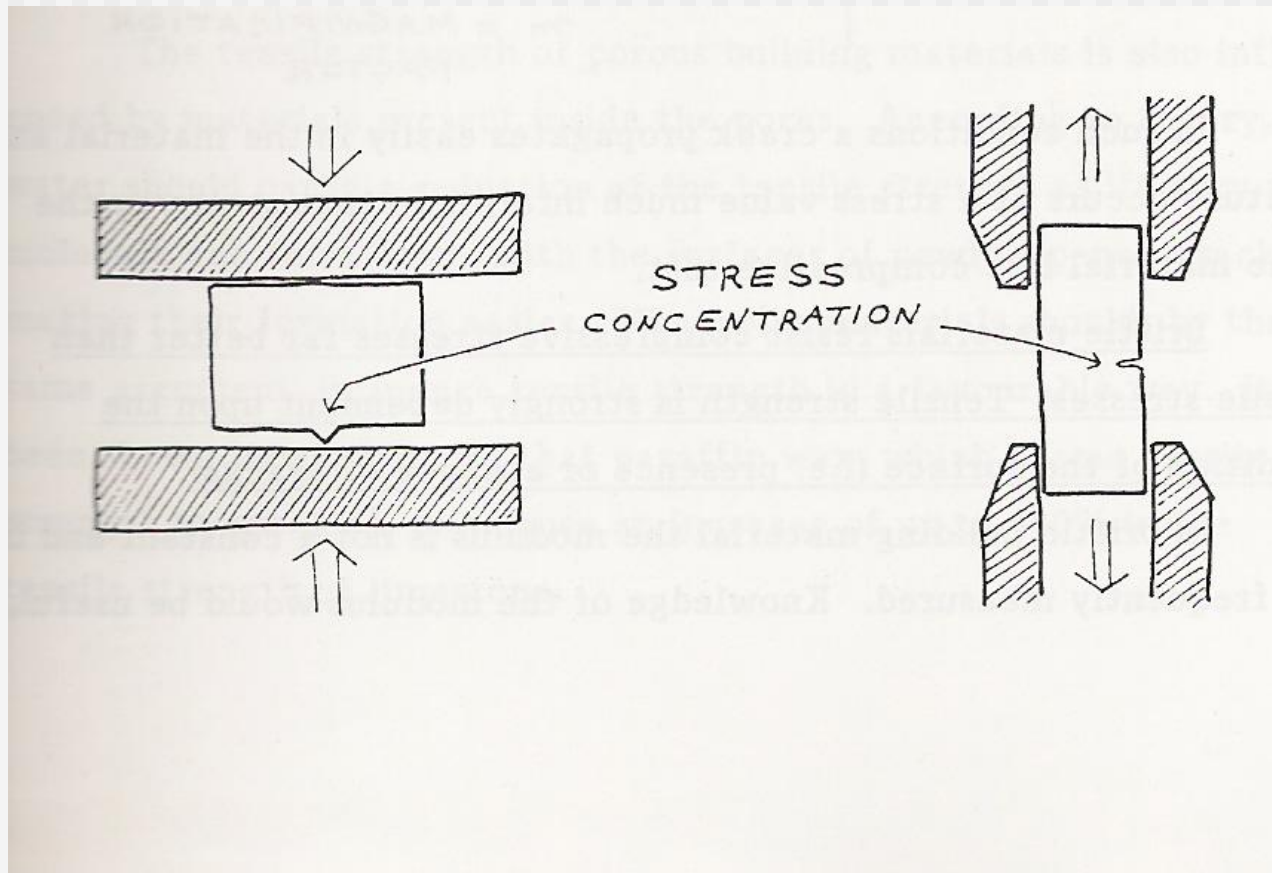


mechanical properties of brittle materials

FIGURE 5 STRESS-STRAIN DIAGRAMS OF BRITTLE MATERIALS

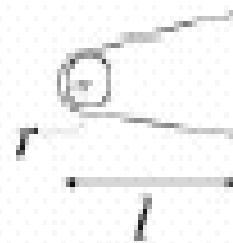
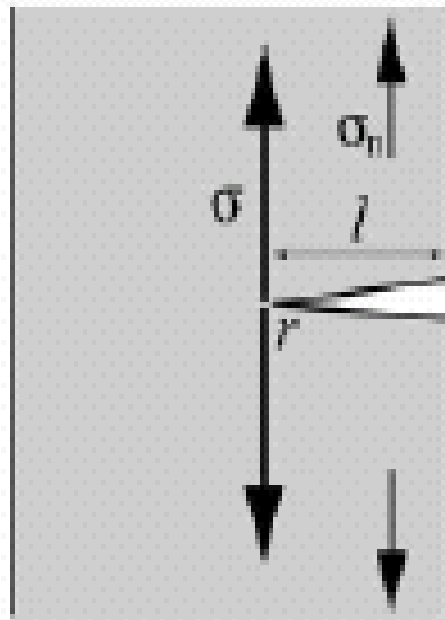


Μηχανικά φορτία – συγκέντρωση τάσεων - ασυνέχειες



Μηχανικά φορτία – συγκέντρωση τάσεων - ασυνέχειες

Figure 3.2



r = radius of curvature at the apex of the crack.
 l = depth of crack.

σ = stress at the crack apex

σ_n = average stress

k = stress intensity factor

$$\sigma = \left(1 + 2\sqrt{\frac{l}{r}}\right) \sigma_n$$

$$k = 1 + 2\sqrt{\frac{l}{r}}$$

stress concentration under tensile stress

Μηχανικά φορτία – συγκέντρωση τάσεων - ασυνέχειες

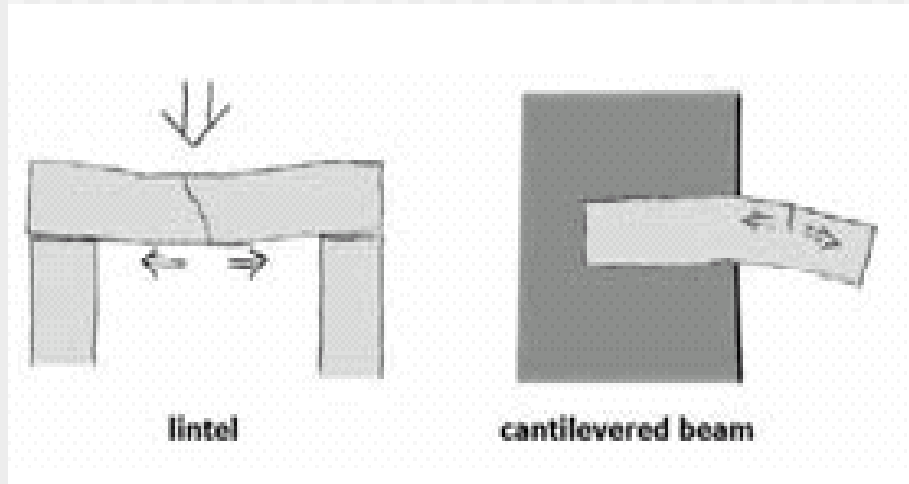
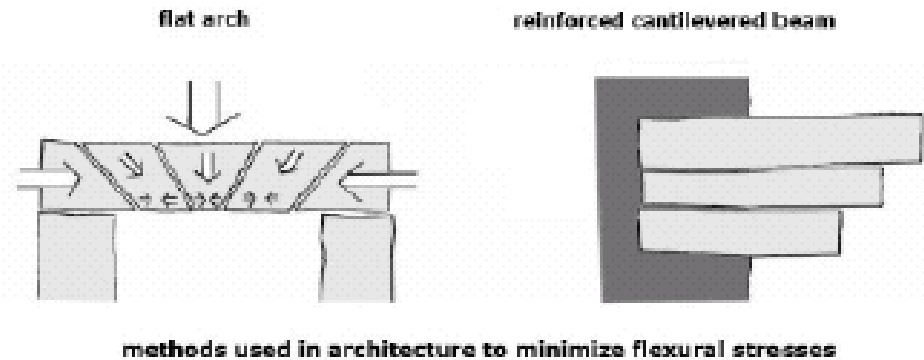


Figure 3.5

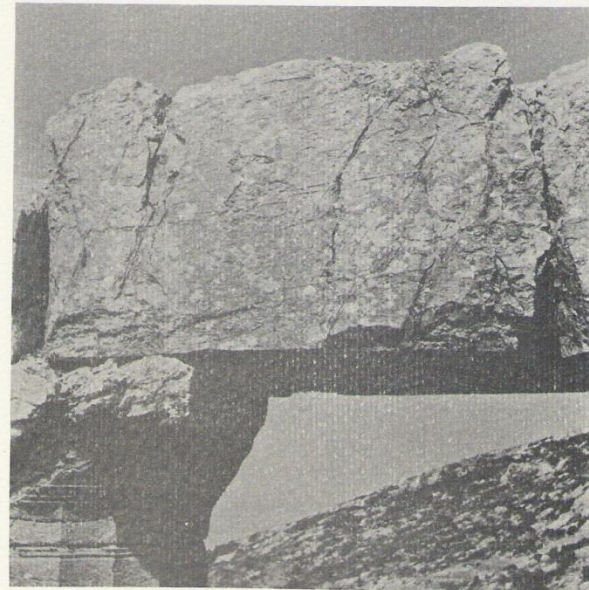


Θέατρο Δωδώνης

Θραύσεις εδωλίων



Ναός Επικουρίου Απόλλωνος



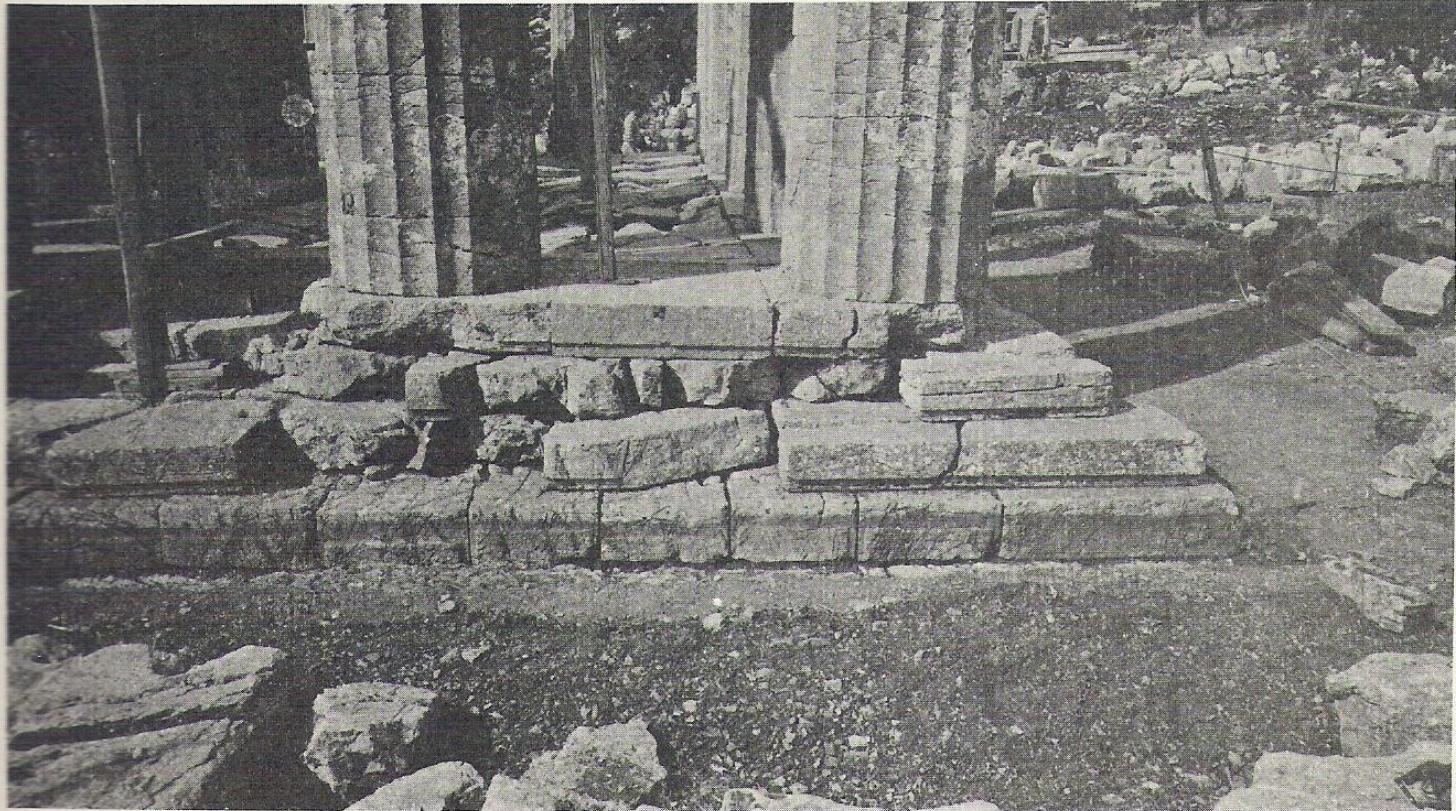
Ρηγμάτωση επιστυλίων. Φθορά και θραύση των αβάκων. Αρχείο της Διεύθυνσης Αναστήλωσης Αρχαίων Μνημείων.

Splitting and fracturing of architraves; deterioration and breakage on the abacus. *Archive of the Department of Restoration.*

Θέατρο
Δωδώνης



Ναός επικουρίου Απόλλωνος Θραύσεις των λίθων της κρηπίδας

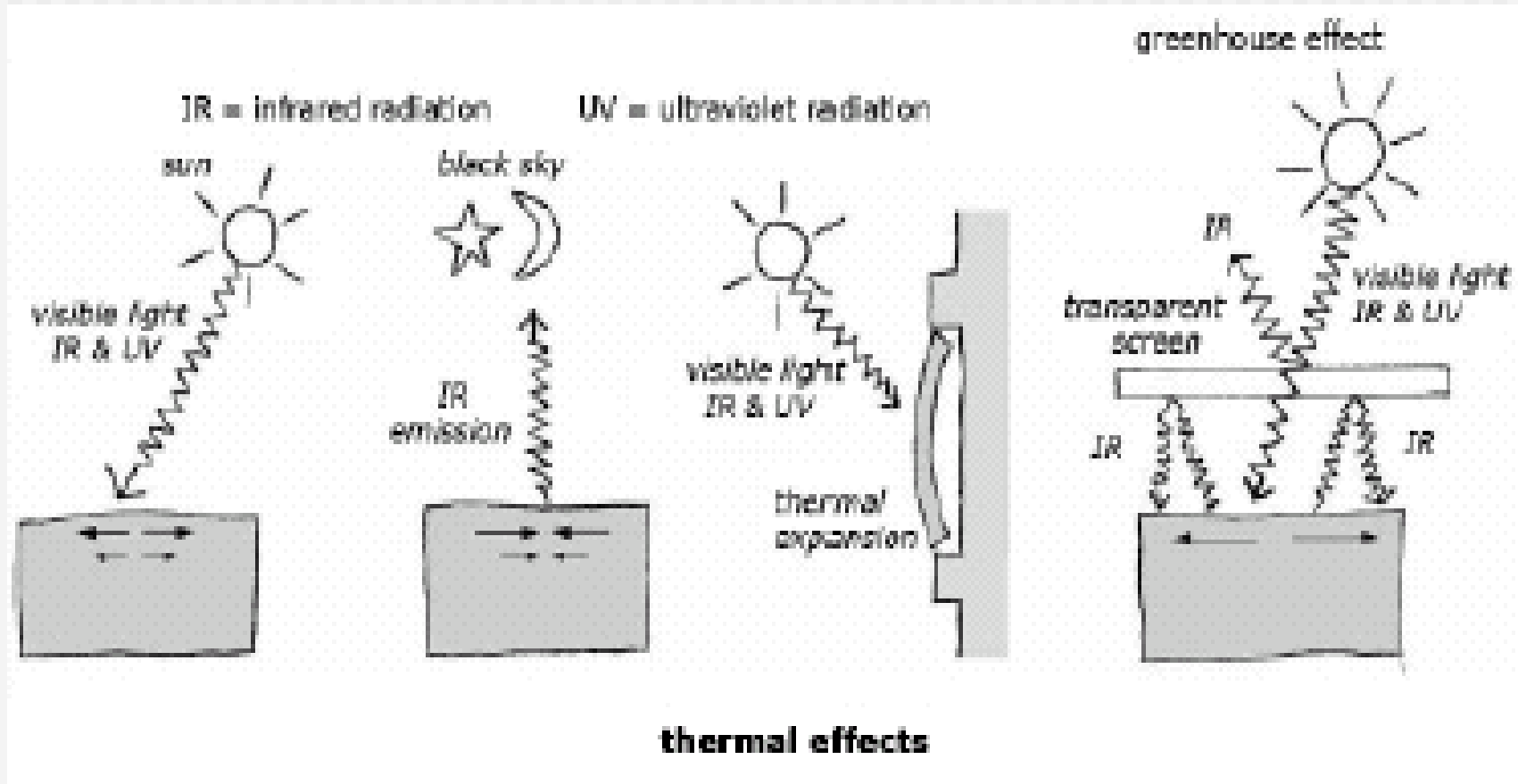


Οι θραύσεις, οι μετατοπίσεις και οι καθιζήσεις του στυλοβάτη έχουν ελαττώσει τη στατική ισορροπία του οικοδομήματος.

Αρχείο Ε.Σ.Ν.Ε.Α.

Breaks, displacement and settling of the stylobate have drastically reduced the static efficiency of the building. *Archive, C.P.T.A.E.*

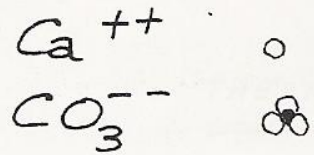
Θερμοκρασιακές μεταβολές – θερμικές συστολοδιαστολές



Η ανισοτροπία των ορυκτών

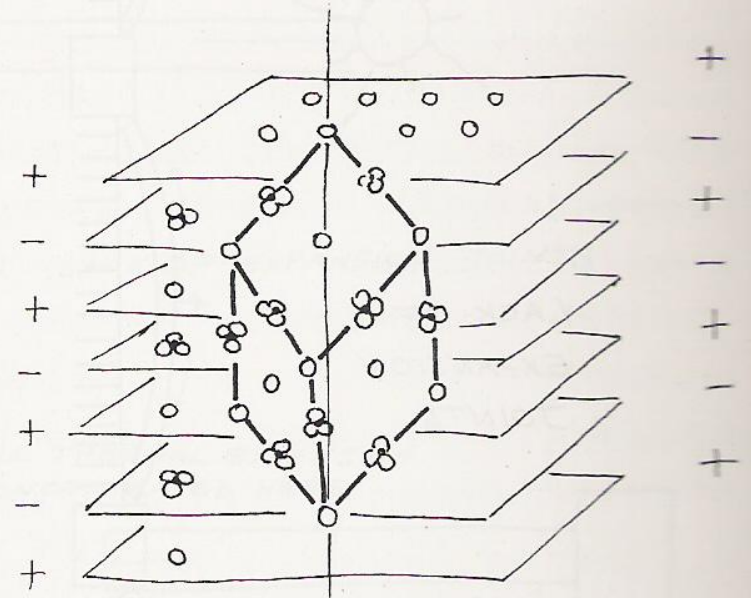


anisotropic thermal expansion of crystals



CONTRACTION
ON HEATING
→ ←

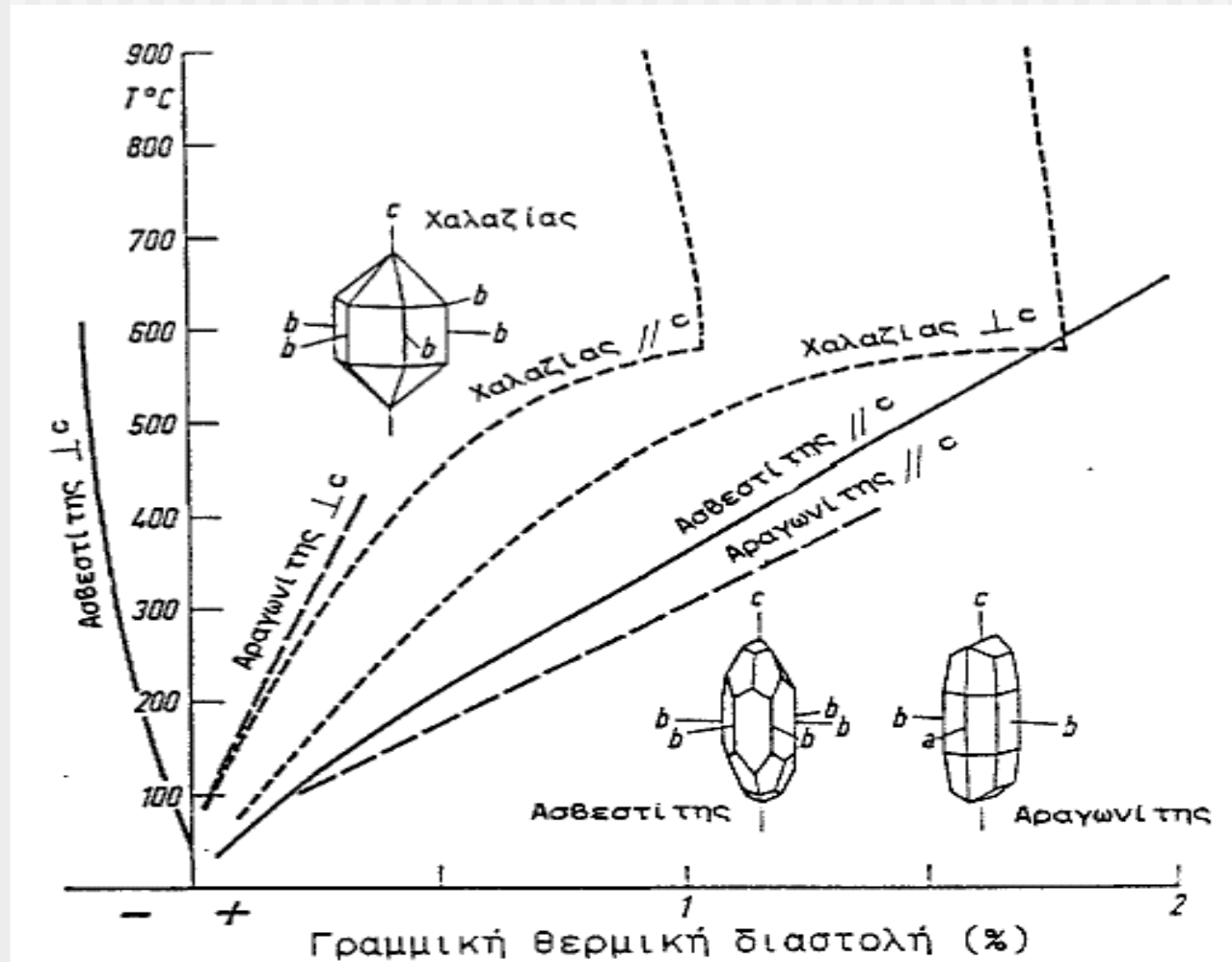
EXPANSION ON
HEATING



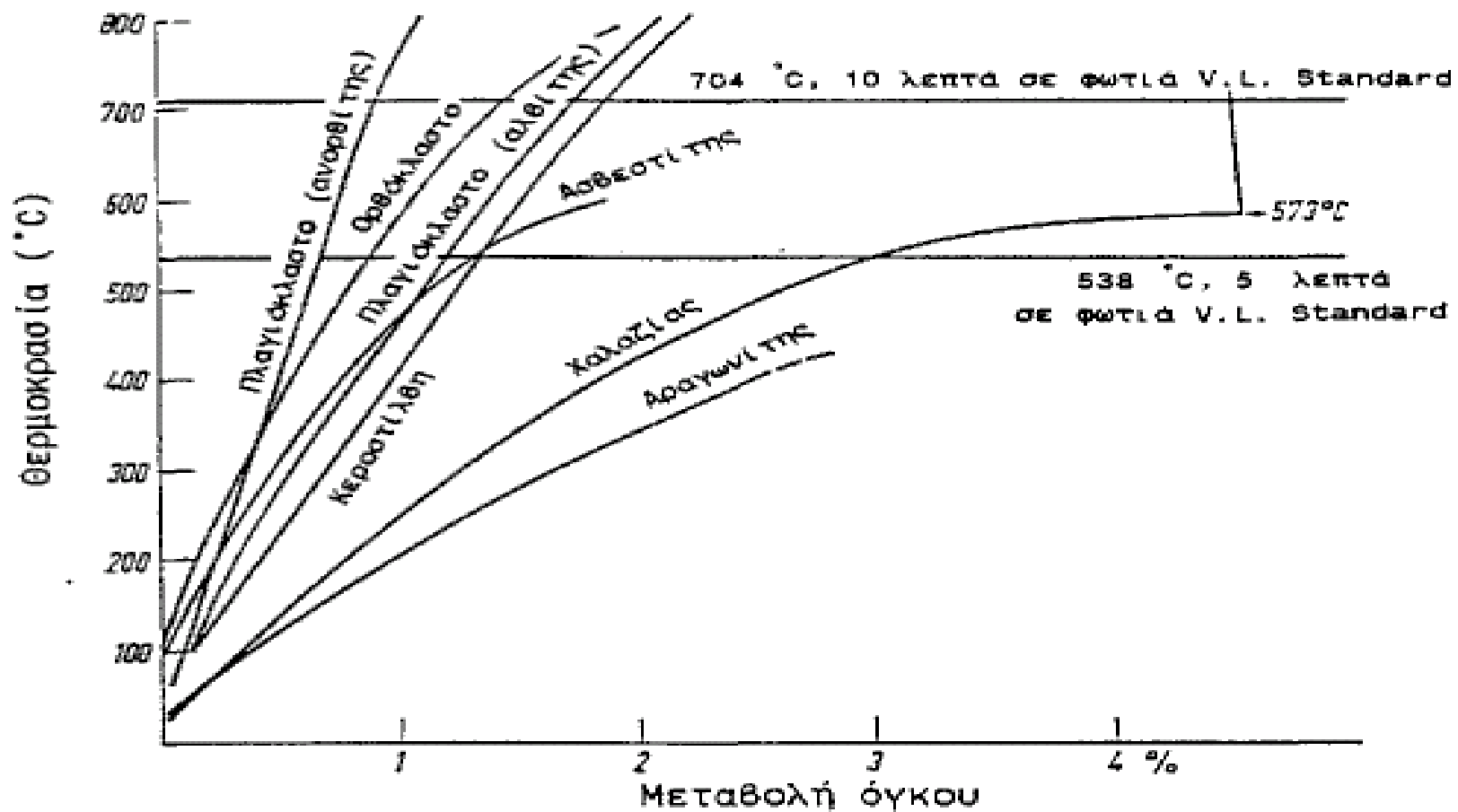
CALCITE CRYSTAL

C-axis

Διαγράμματα γραμμ. Θερμικής διαστολής ορυκτών



Θερμικές μεταβολές όγκου των ορυκτών



Συντελεστές γραμμ. θερμικής διαστολής ορισμένων υλικών

Thermal Expansion Coefficients Linear expansion per unit length per degree centigrade			
brick*	7×10^{-6}	carbon fibers	1.5×10^{-6}
stones	$6-9 \times 10^{-6}$	titanium	8×10^{-6}
cement concrete	$8-10 \times 10^{-6}$	iron	11×10^{-6}
wood, along fibers**	5×10^{-6}	copper, bronze	16×10^{-6}
wood, across fibers**	50×10^{-6}	stainless steel	16×10^{-6}
plastics, no filler	$60-100 \times 10^{-6}$	aluminum	24×10^{-6}
polyester/glass reinforced	$20-30 \times 10^{-6}$	lead	28×10^{-6}

* 7.2×10^{-6} is the thermal expansion coefficient of a modern brick facade to be considered in the calculation of the expansion joints, according to the American Concrete Institute (ACI); the thermal expansion of ancient bricks might be larger.

** The thermal expansion coefficients of different wood species are different; an average figure is presented here.

Απόσπαση του εξωτερικού στρώματος του κερατόλιθου στα εδώλια του θεάτρου της Δωδώνης λόγω ανάπτυξης διατμητικών τάσεων



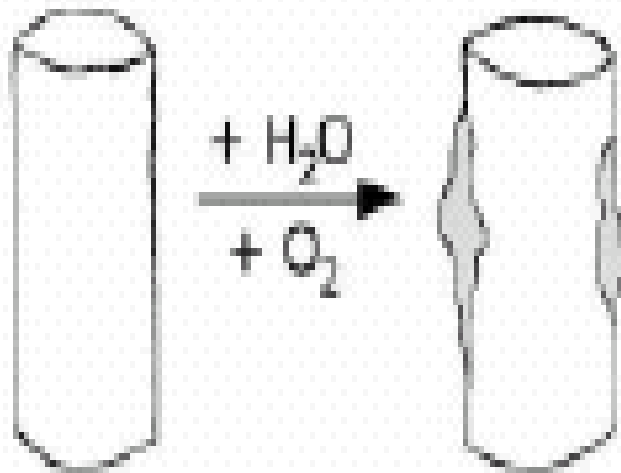
Θέατρο Δωδώνης

θερμοκρασιακές μεταβολές / γεωλογικές ασυνέχειες
→ διατμητικές τάσεις → αποκολλήσεις



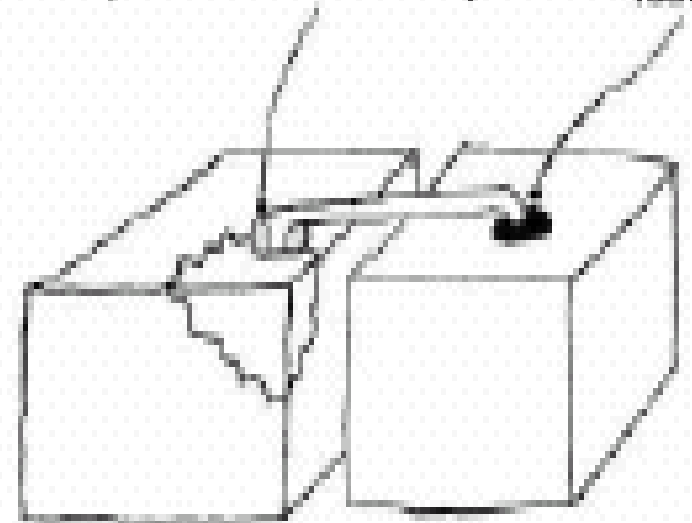
Διαρρήξεις από οξείδωση και διόγκωση μεταλλικών στοιχείων

volume increase of corroded iron



unprotected iron clamp

lead



stress caused by the corrosion of iron inside stone

Δημοτική Αγορά Χανίων





Τράπεζα
Ελλάδος
Ρόδος

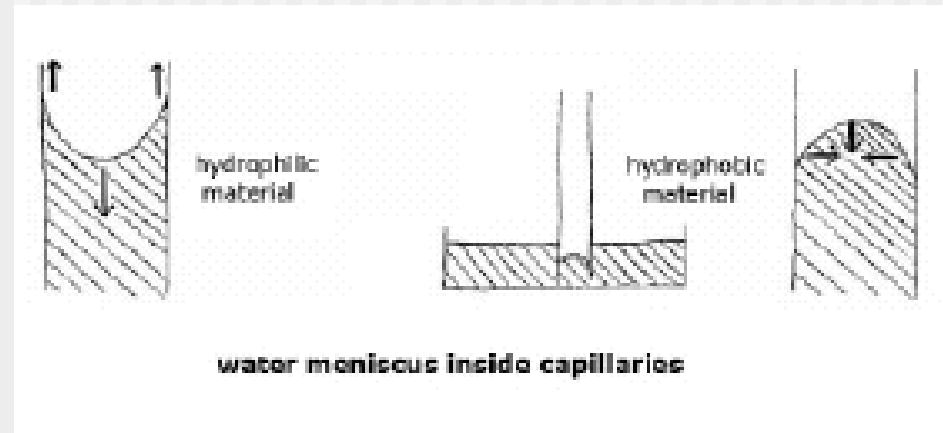
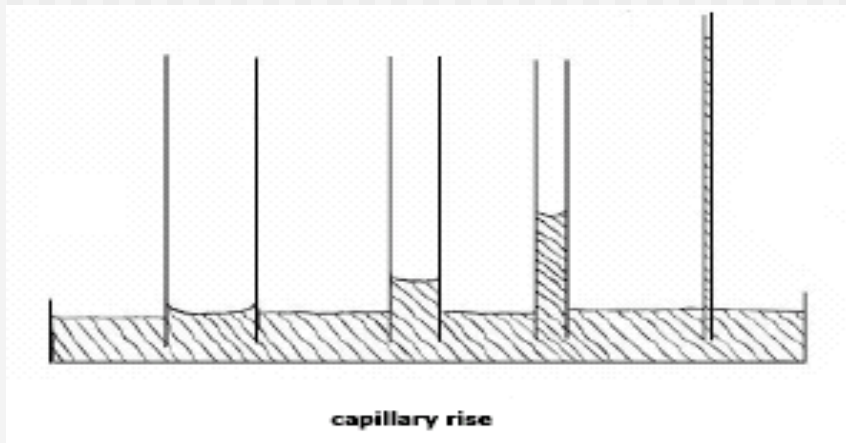


Δημοτικό Θέατρο Πειραιά

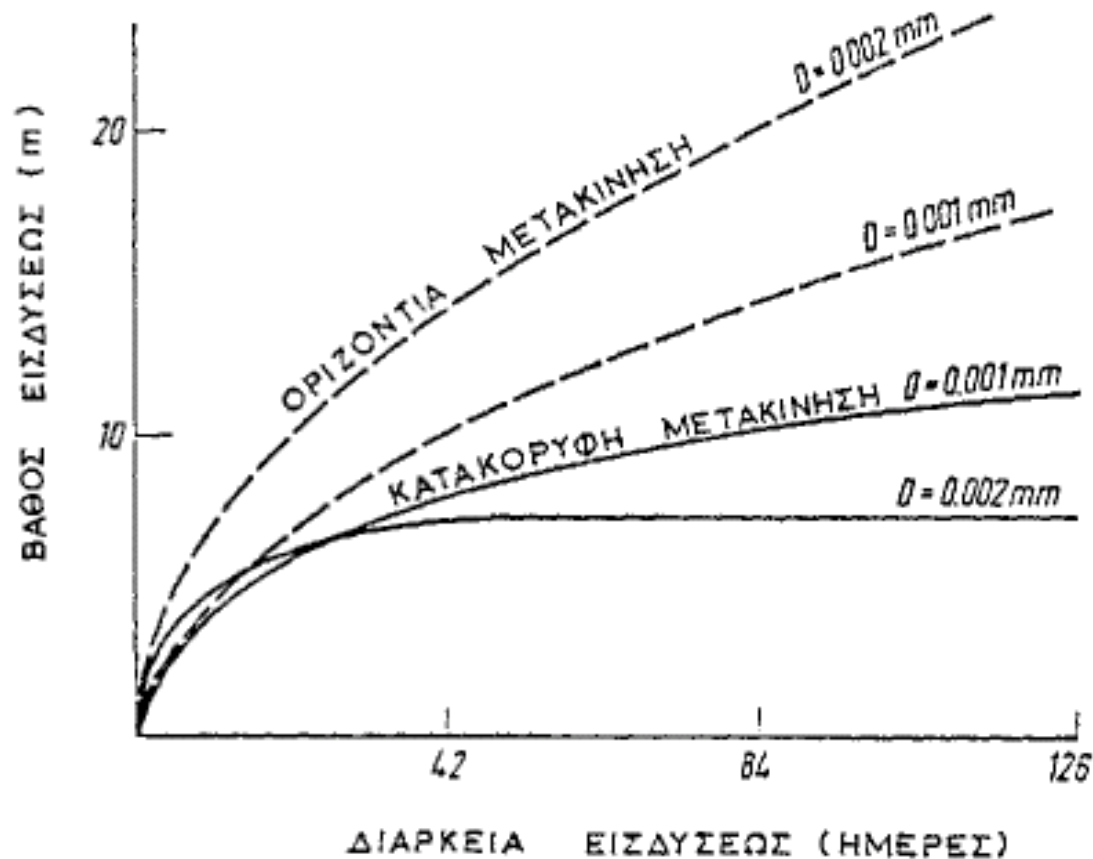




Δράση(εις) του νερού Τριχοειδή

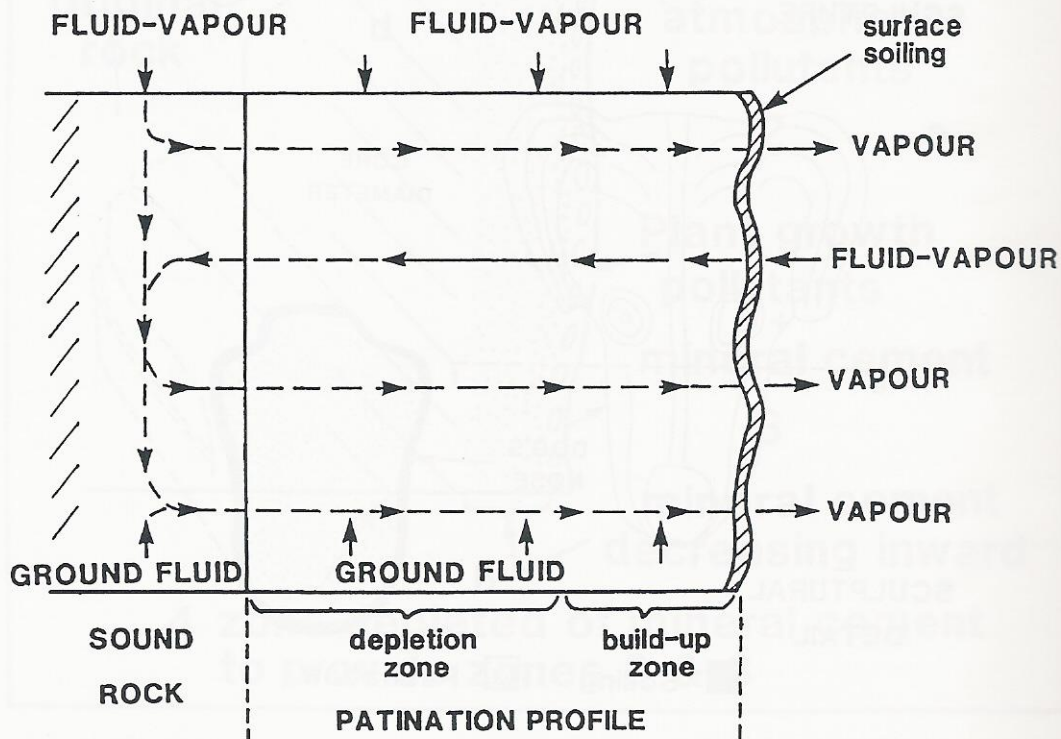


Μεταφορά του νερού δια των τριχοειδών

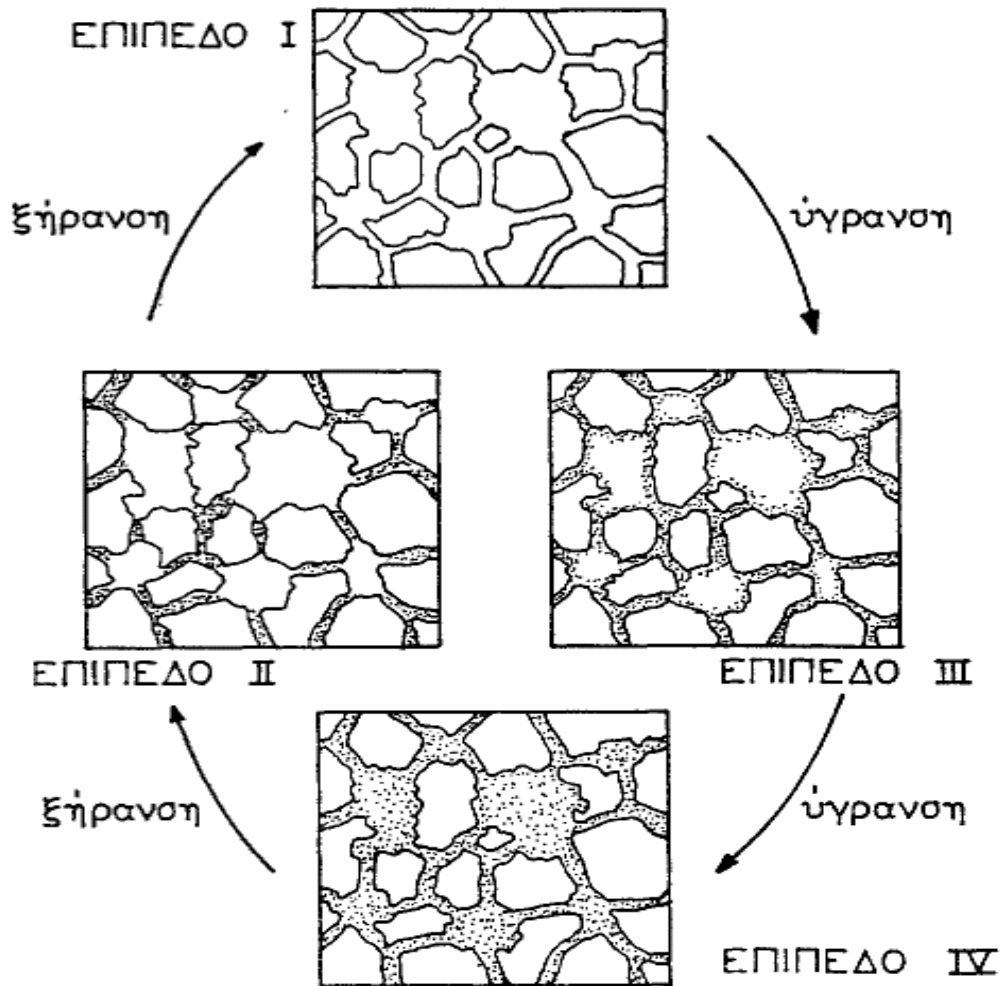


Οι κινήσεις του νερού στα εξωτερικά στρώματα των λίθων

INGRESS-EGRESS: WATER STATES DURING TRANSMISSION

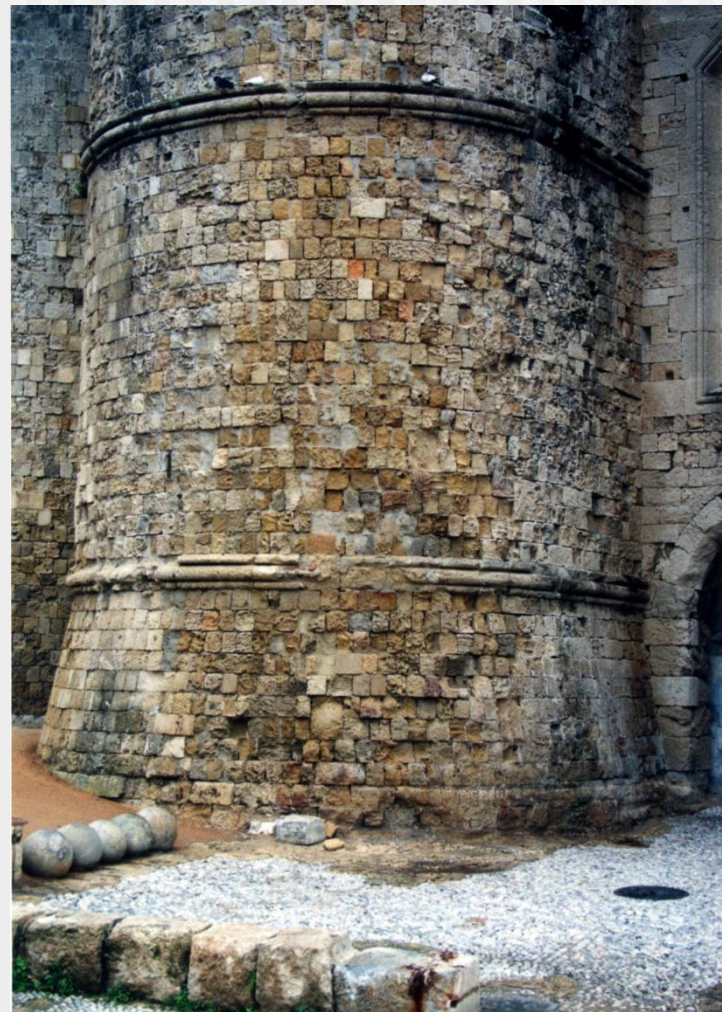


Κατανομή της υγρασίας σε πορώδες μέσο

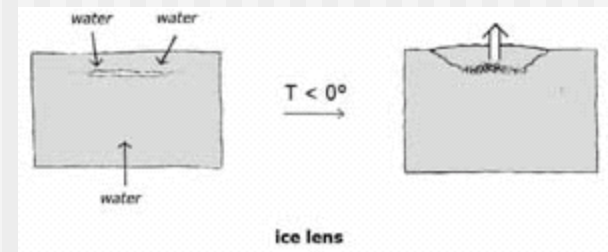
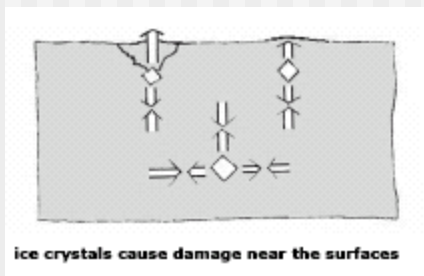
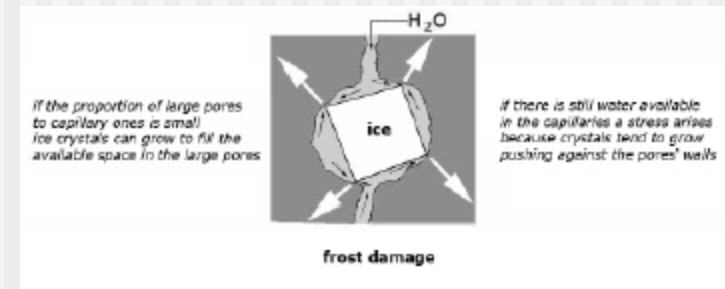
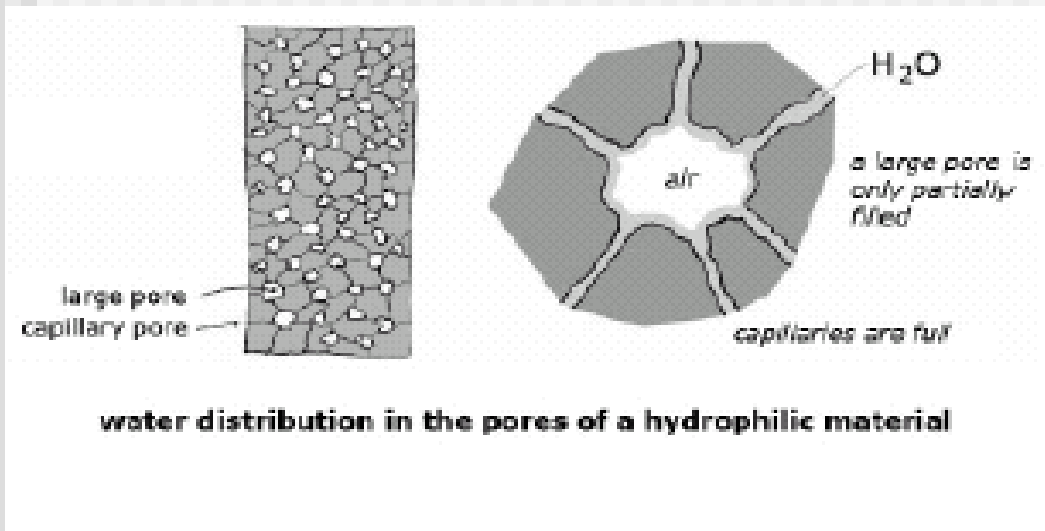


Μεσαιωνική πόλη

Θαλασσινή πύλη



Δράση του παγετού



Ναός επικουρίου Απόλλωνος

Σοβαρή
φθορά του
κιονόκρανου
και των
Επιστυλίων,
λόγω παγετού

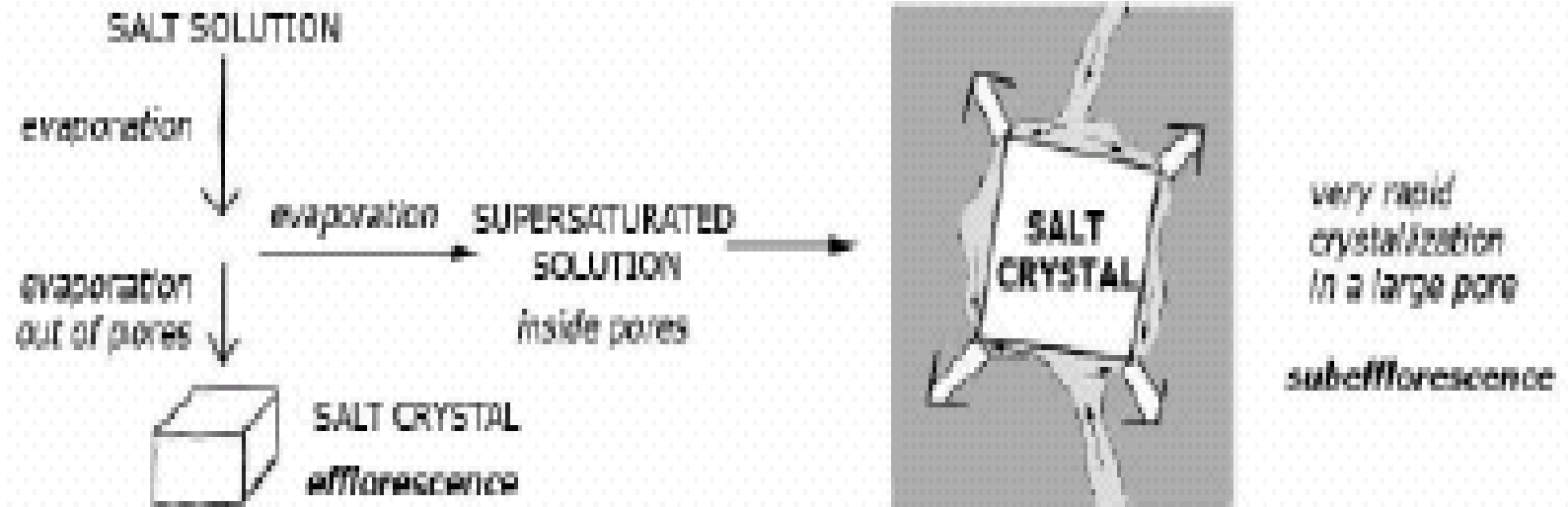


Ιερό της Δωδώνης

Δράση του παγετού και πυκνές γεωλογικές ασυνέχειες (στυλόλιθοι)

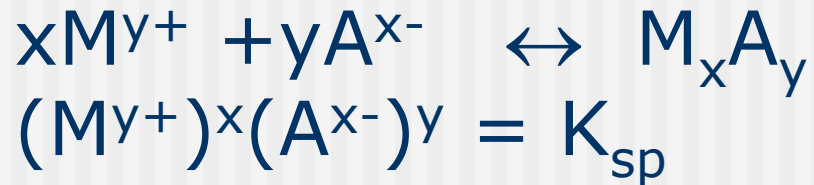


Κρυστάλλωση ευδιάλυτων αλάτων



salt crystallization

Η ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ ΣΕ ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΕΣΟ



$$(M^{y+}) = Y_M[M^{y+}]$$
$$(A^{x-}) = Y_A[A^{x-}]$$

Συνθήκη υπερκορεσμού:

$$(M^{y+})^x(A^{x-})^y = IAP \geq K_{sp}$$

$$RH_{eq} = PH_2O_s / PH_2O_w \times 100$$

PH_2O_s = πίεση ατμών του κορεσμένου αλατοδιαλύματος

PH_2O_w = πίεση ατμών του κορεσμένου αέρα

Συνθήκη για υπερκορεσμό και κατακρήμνιση
άλατος:

$$RH \leq RH_{eq}$$

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ

$$\Delta G = \Delta G_{\text{bulk}} + \Delta G_{\text{surf}}$$

$$\Delta G_{\text{bulk}} = -nRT \ln(IAP/K_{\text{sp}})$$

$$\Delta G_{\text{surf}} = \sigma \Delta A$$

ΔG_{bulk} : μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας που αντιστοιχεί στην αύξηση μάζας του κρυστάλλου

ΔG_{surf} : μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας που αντιστοιχεί στην αύξηση της επιφάνειας του κρυστάλλου

... ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

- ✓ Μαθηματική έκφραση για την ανάπτυξη κρυστάλλου όταν η αύξηση ελέγχεται από τη διάχυση ιόντων από το διάλυμα προς την επιφάνεια του κρυστάλλου:

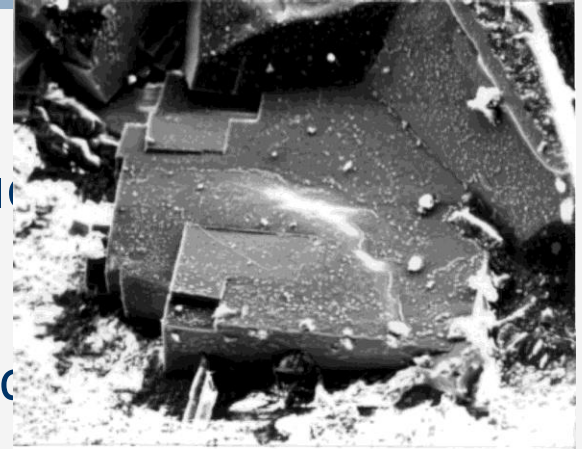
$$dm/dt = k_d A (C - C_i)$$

k_d = συντελεστής μεταφοράς μάζας κατά τη διάχυση

A = επιφάνεια του κρυστάλλου

C = συγκέντρωση του άλατος στο διάλυμα

C_i = συγκέντρωση του άλατος στη διεπιφάνεια κρυστάλλου - διαλύματος

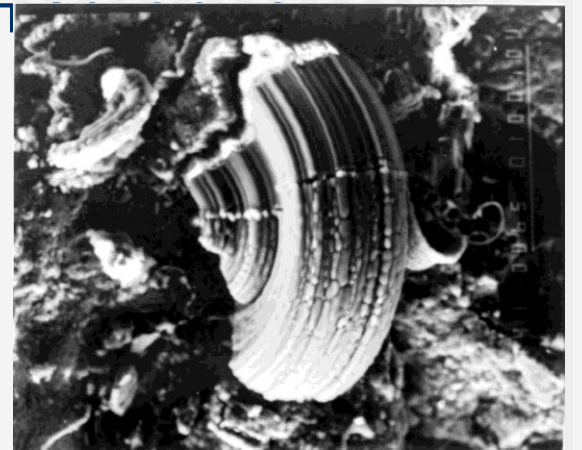


- ✓ Μαθηματική έκφραση για την ανάπτυξη κρυστάλλου, όταν η αύξηση ελέγχεται από τις αντιδράσεις στην επιφάνεια:

$$dm/dt = k_r A (C_i - C_s)$$

k_r = σταθερά ταχύτητας της αντίδρασης

C_s = συγκέντρωση κορεσμού



ΠΙΕΣΗ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗΣ

$$P = RT/V_s \ln(C/C_s)$$

P: πίεση που ασκείται από τον κρύσταλλο που αναπτύσσεται

R: παγκόσμια σταθερά των αερίων

T: απόλυτη θερμοκρασία

V_s : μοριακός όγκος του στερεού άλατος

C/C_s : λόγος υπερκορεσμού

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗΣ

Το ύψος της πίεσης που πρακτικά ασκείται εκφράζεται, μέσω αυτής της ανάλυσης, με την σχέση:

$$P = 2\sigma(1/r - 1/R)$$

σ : διεπιφανειακή τάση κρυστάλλου άλατος – διαλύματος

r : ακτίνα μικρού πόρου

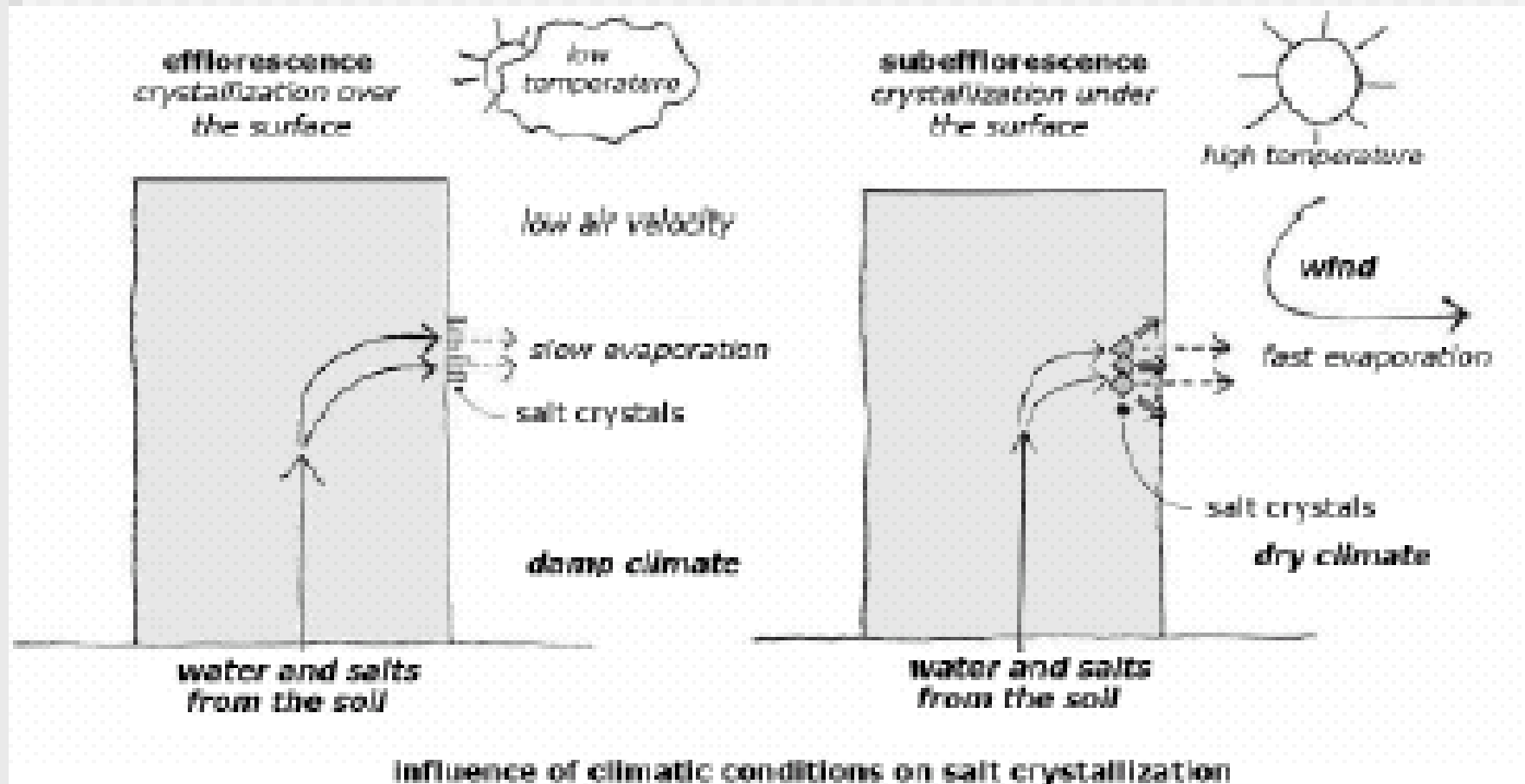
R : ακτίνα μεγάλου πόρου

Αν δεχθούμε $R > 10\mu\text{m}$, η πίεση κρυστάλλωσης που αναφέρεται σε κάθε μια από τις κλάσεις των μικρότερων πόρων (r_i) υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τη θεωρητική τιμή με τον παράγοντα V_{r_i}/V_R .

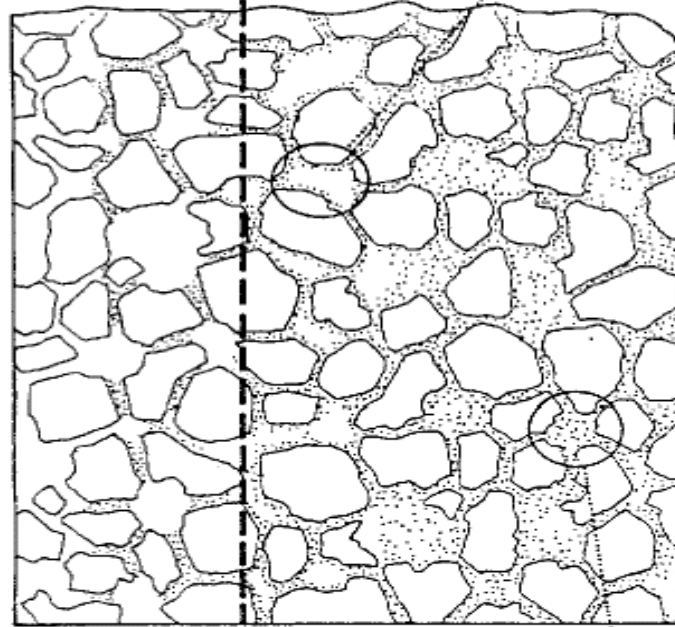
$$P_i = 2\sigma(1/r_i - 1/R) (V_{r_i}/V_R) \text{ και}$$

$$P = \sum P_i, \quad r_i < 10 \mu\text{m}$$

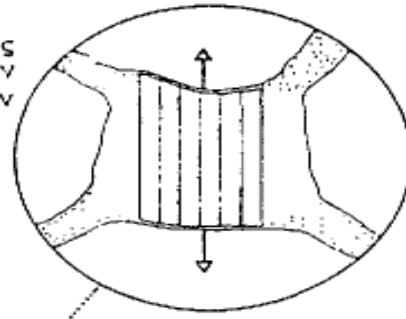
Μικροκλιματικές συνθήκες και κρυστάλλωση αλάτων



εξωτερική επιφάνεια



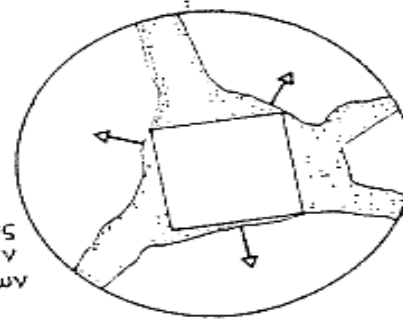
σχηματισμός
ραβδόμορφων
κρυστάλλων



Στοιβάδα
στοματικών
ορώ

έδαφος

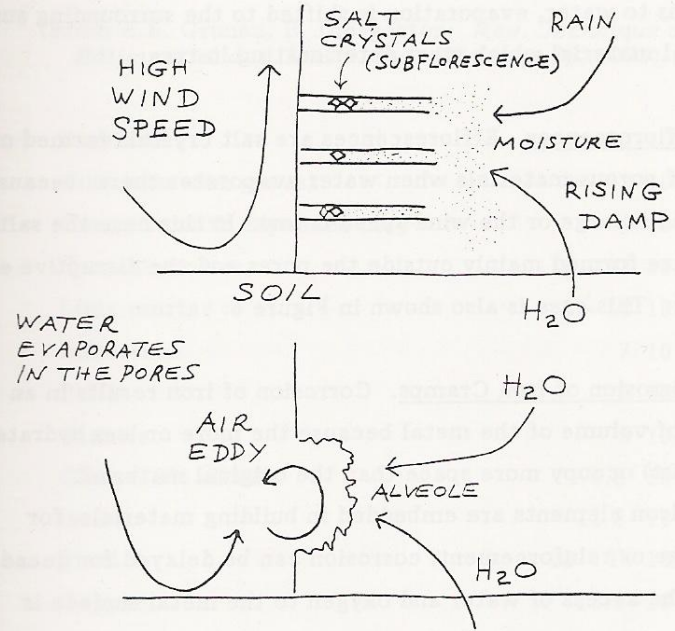
σχηματισμός
ισομετρικών
κρυστάλλων



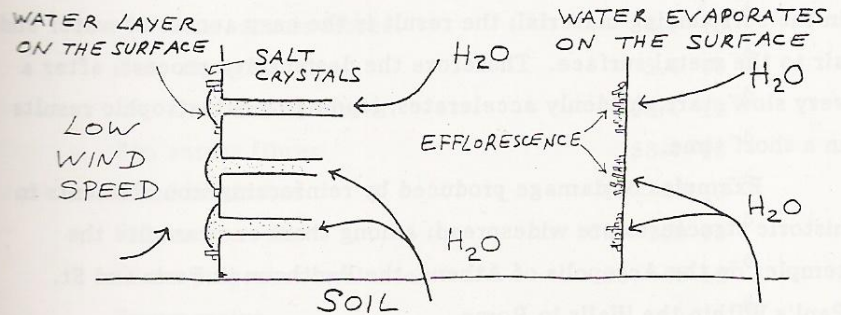
βροχή

ανερχόμενη
υγρασία

FIGURE 6 a) ALVEOLAR EROSION



b) EFFLORESCENCE



Εξανθήσεις αλάτων



Εξανθήσεις αλάτων (NaCl)





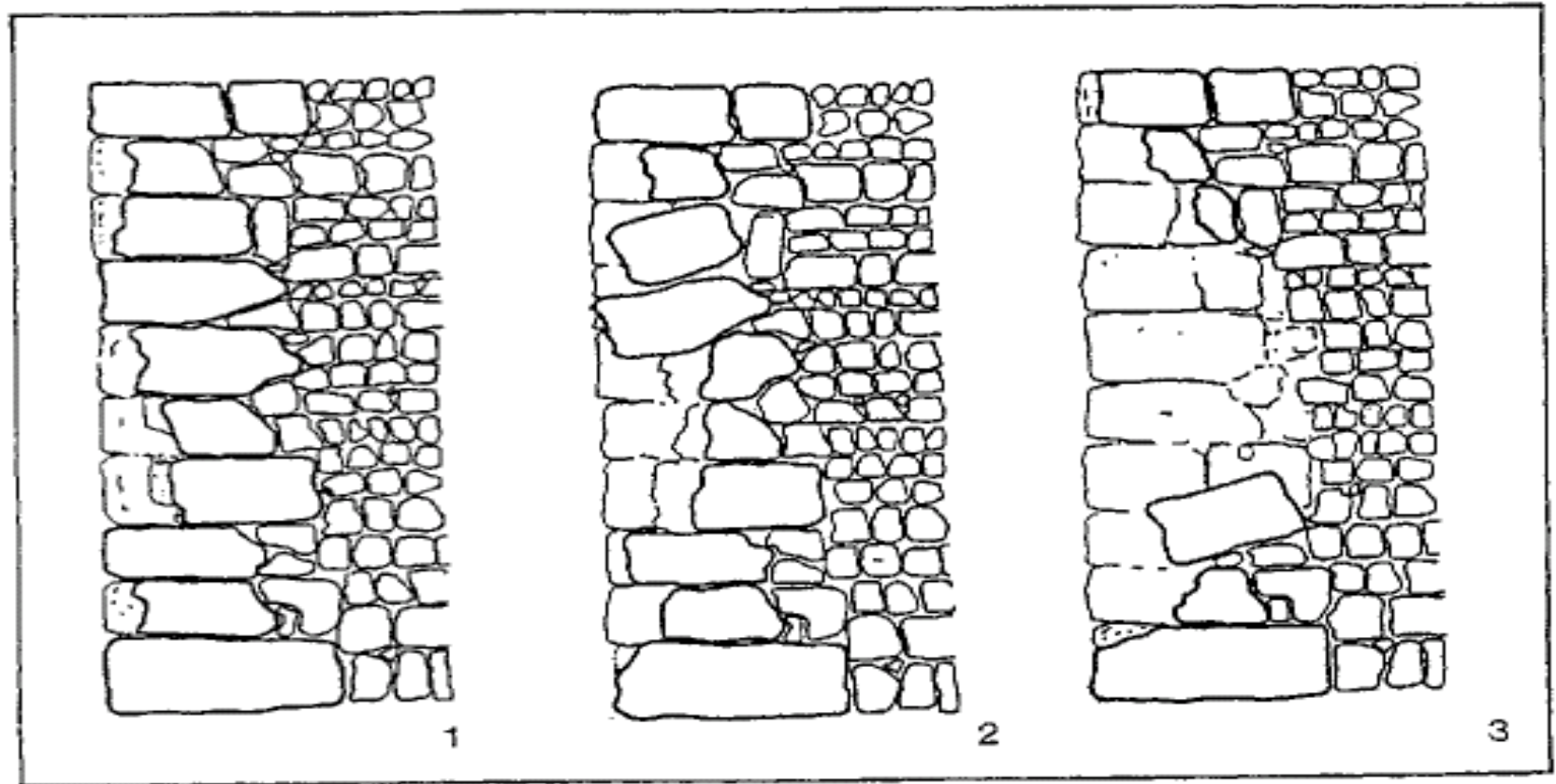
Φθορά (κυψέλωση) από την κρυστάλλωση NaCl

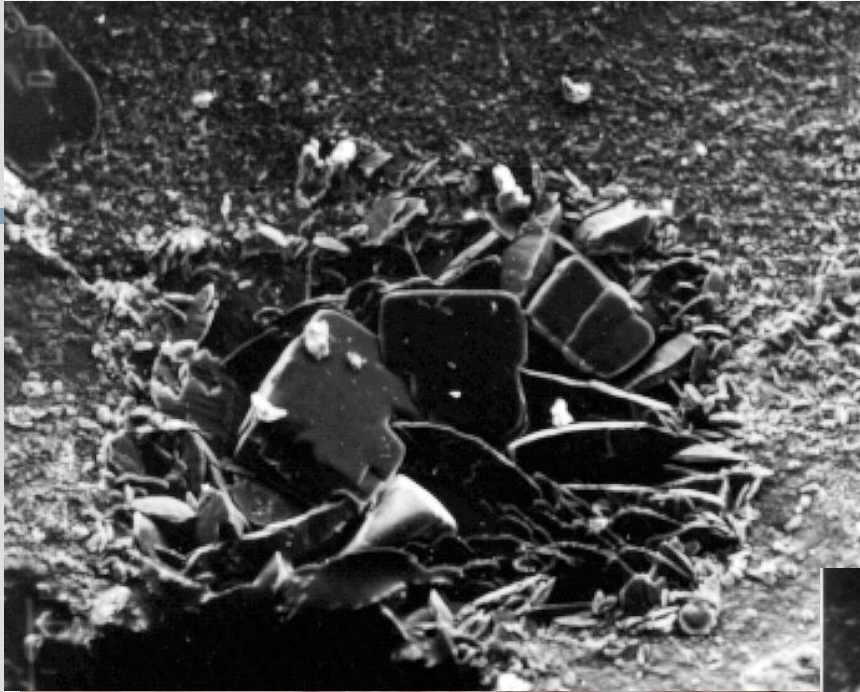


Φθορά από
μεταφορά και
κρυστάλλωση
αλάτων (NaCl)



Εξέλιξη της φθοράς σε κλίμακα τοιχοποιίας







Δράση αλάτων σε μάρμαρο

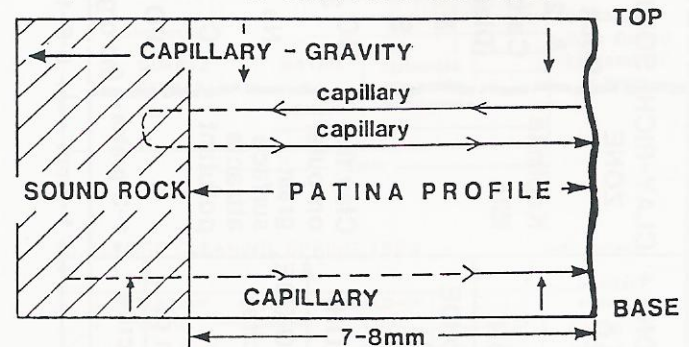
Αιωρούμενα σωματίδια από τη θάλασσα



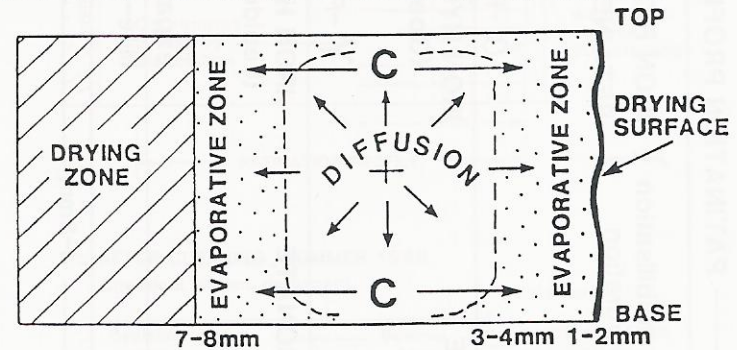
Έκπλυση & μεταφορά συστατικών στην εξωτερική επιφάνεια

FORCES OF FLUID TRANSMISSION & SALT BUILD UP

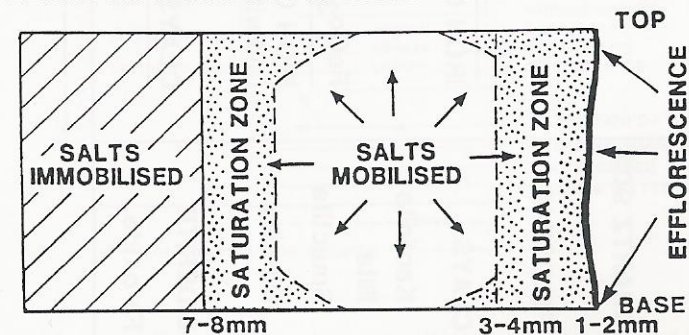
CAPILLARY & GRAVITY ACTION



DIFFUSION ACTION & EVAPORATIVE ZONES



SATURATION ZONES & SALT BUILD UP



SILICO ALUMINATES

non leachable components

SiO₂ silica

Al₂O₃ alumina

water + acids



SiO₂ · Al₂O₃ · H₂O

clay

leachable components

CaO calcium oxide

CaCO₃ *insoluble* or **CaSO₄ · 2 H₂O** *slightly soluble*

MgO magnesium oxide

water + acids

MgCO₃ *insoluble* or **MgSO₄ · 7 H₂O** *soluble*

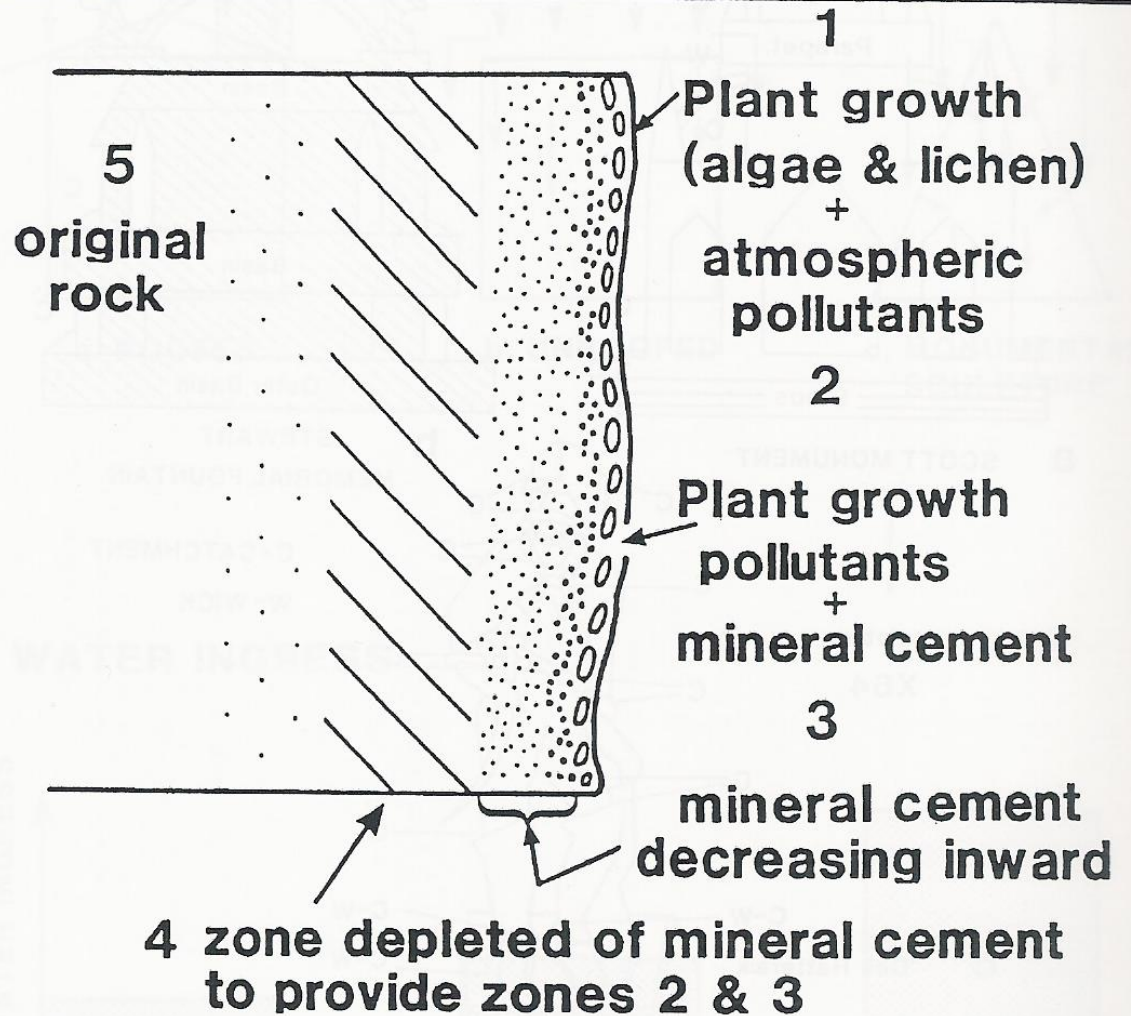
Na₂O sodium oxide

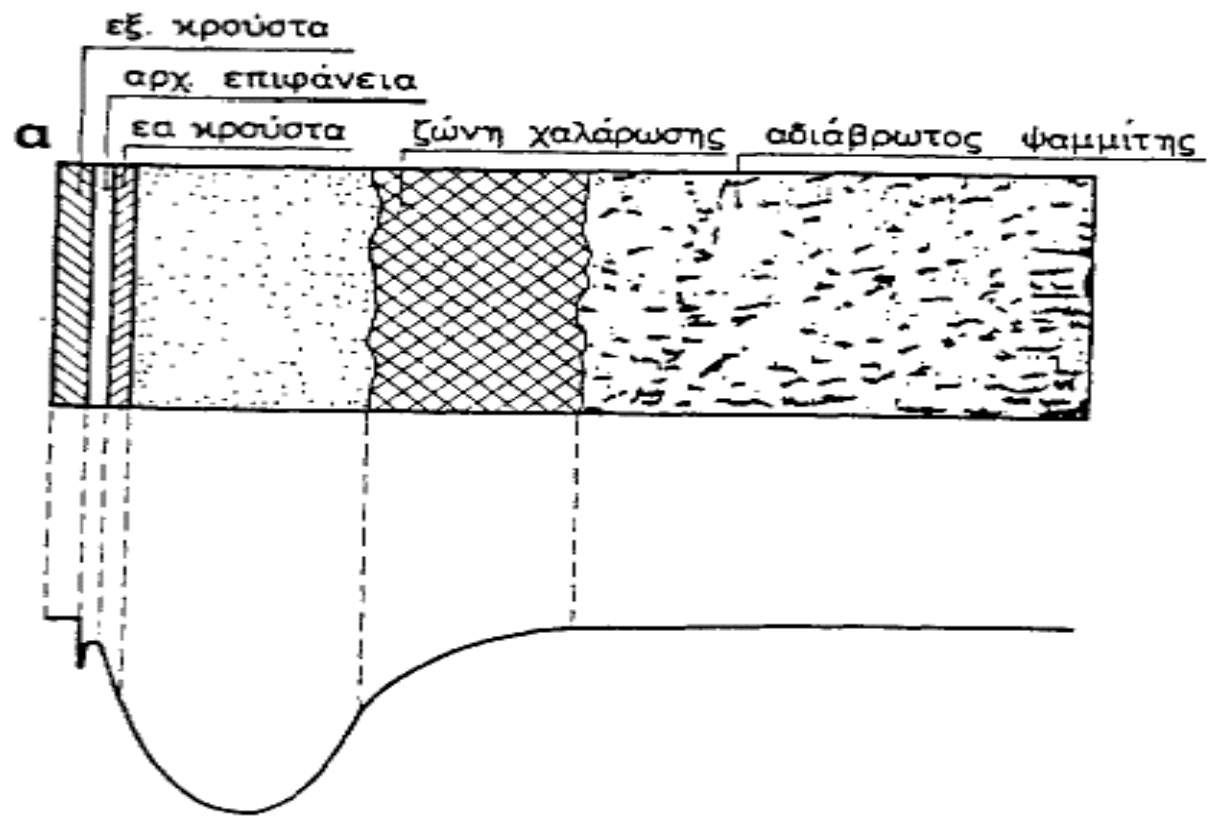
Na₂CO₃ *soluble* or **Na₂SO₄ · 10 H₂O** *soluble*

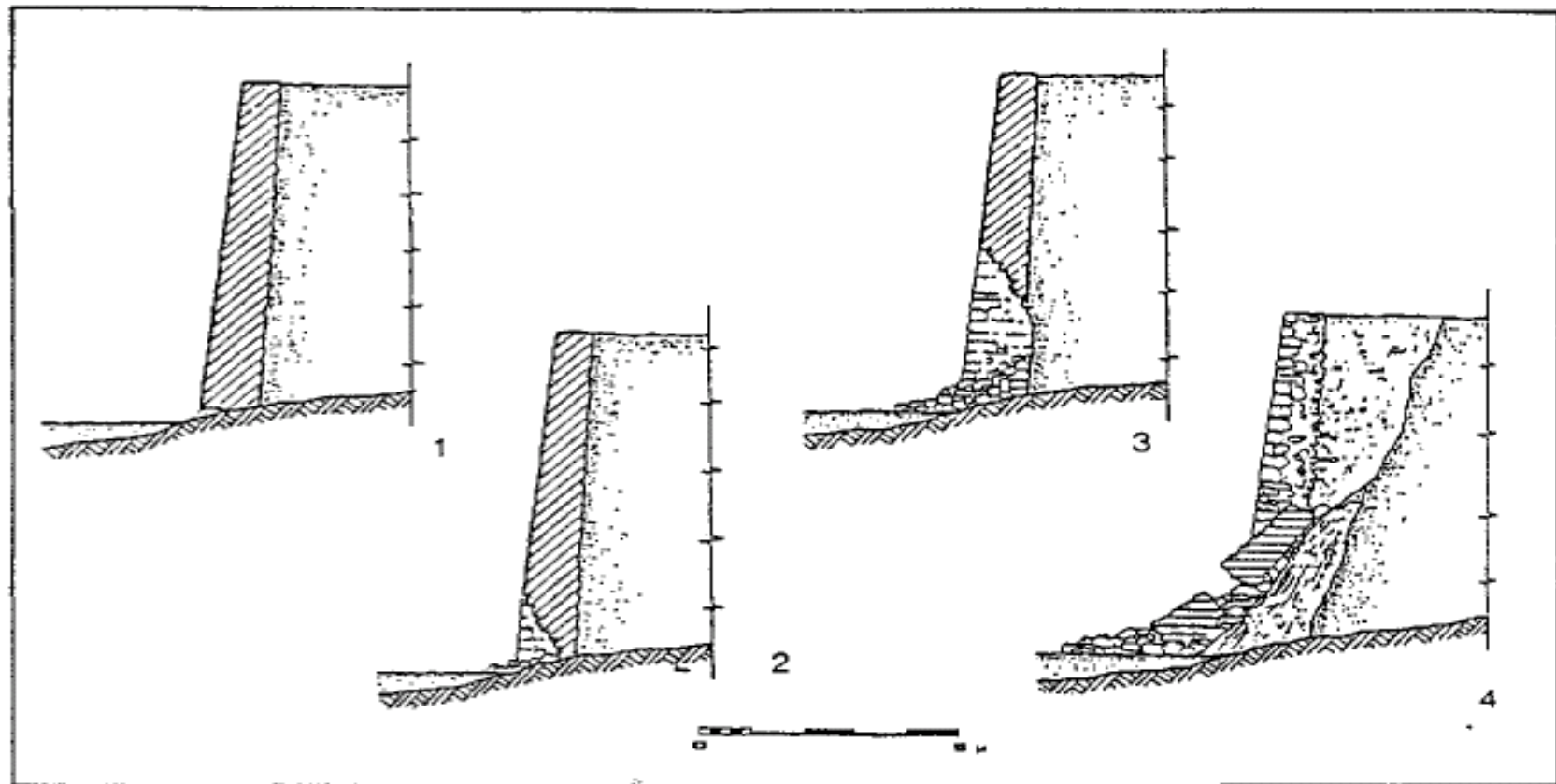
K₂O potassium oxide

K₂CO₃ *soluble* or **K₂SO₄ · H₂O** *soluble*

leaching of volcanic rocks by acid water



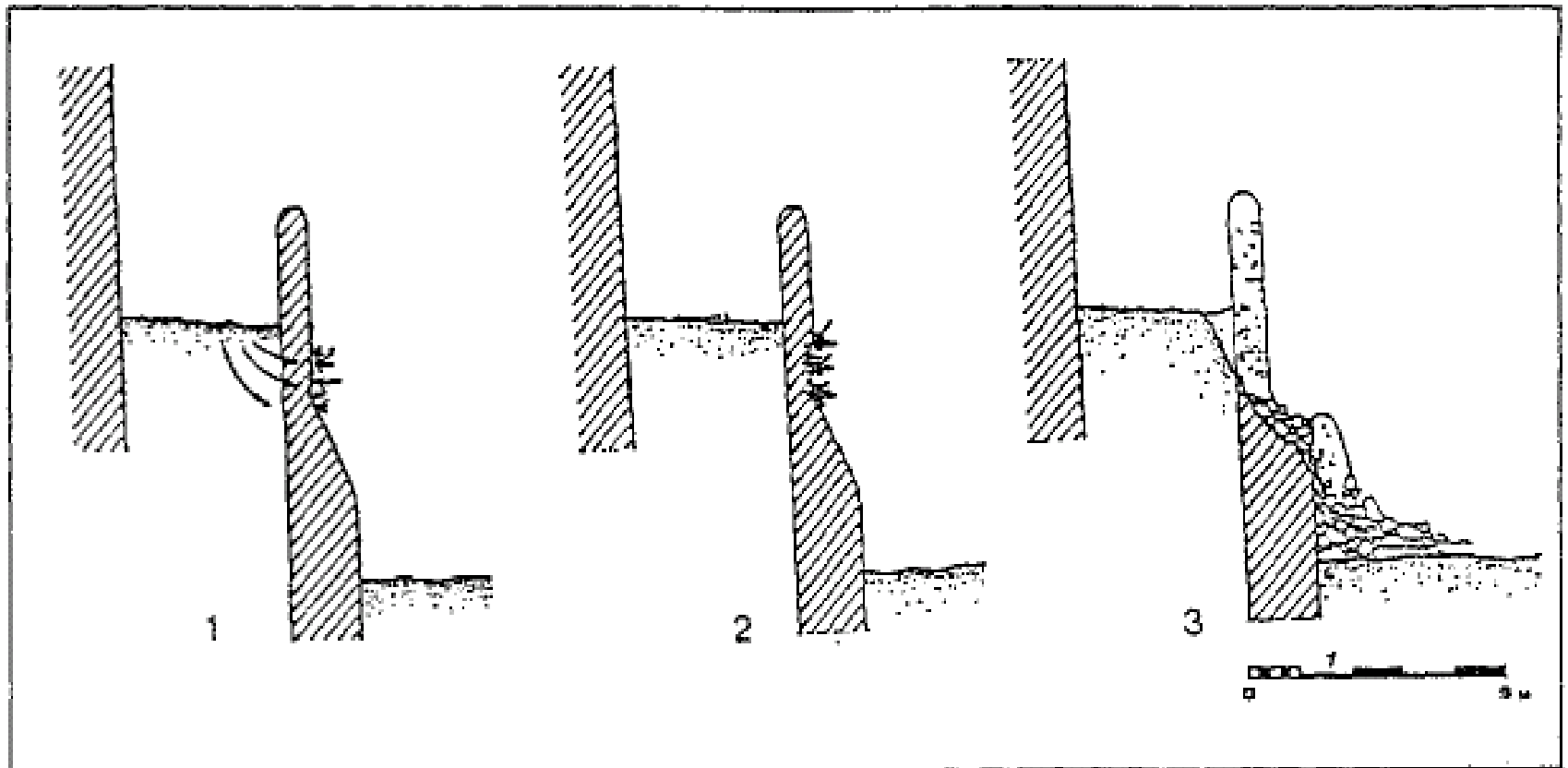




Μεσαιωνική τάφος Ρόδος



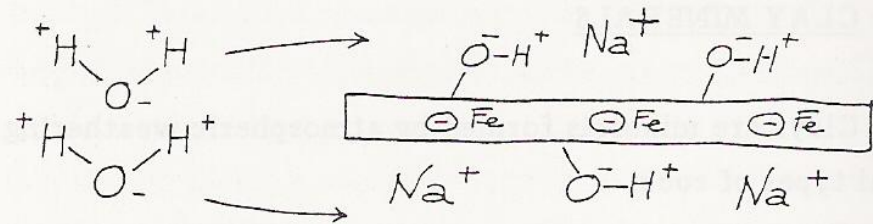
Μηχανισμός καταστροφής του προτειχίσματος



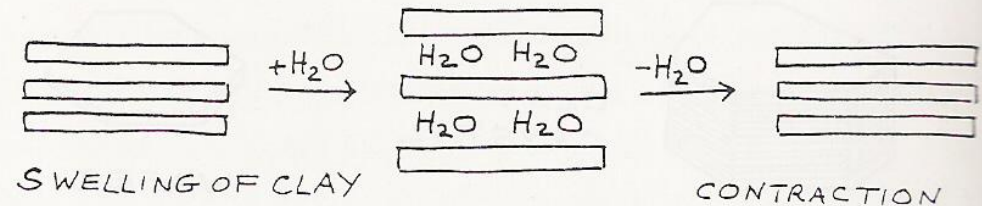




Ο ρόλος των αργίλων στη φθορά των λίθων

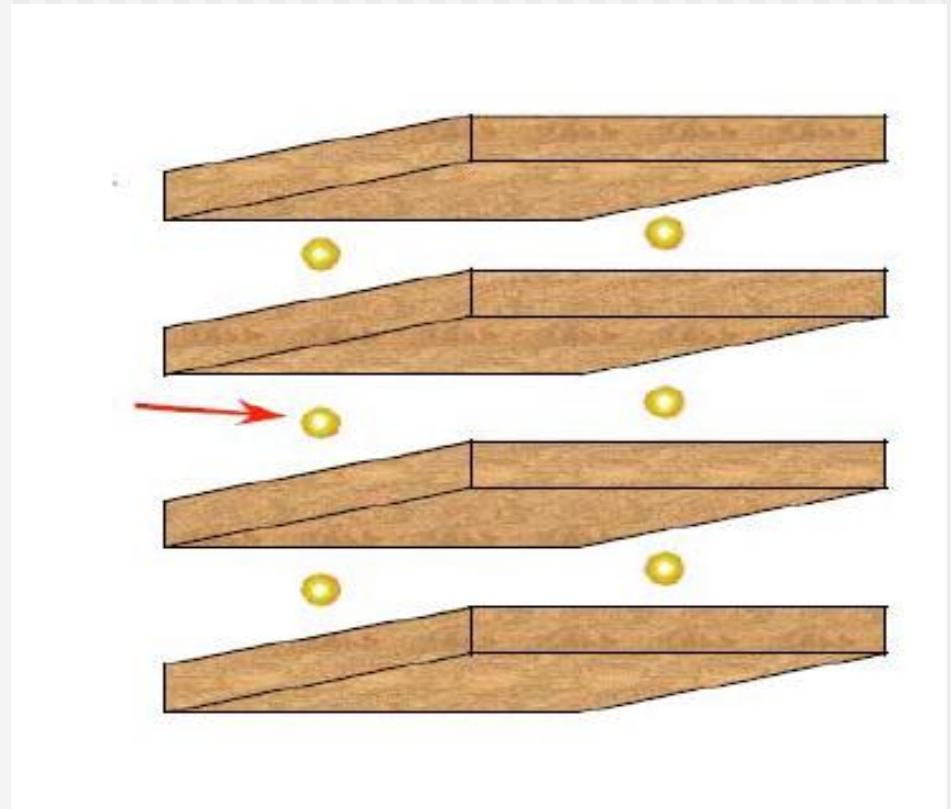


As a consequence, positive ions, like sodium in montmorillonite are frequently trapped between wafers and water is able to penetrate the crystal as it is attracted by the hydroxy groups.

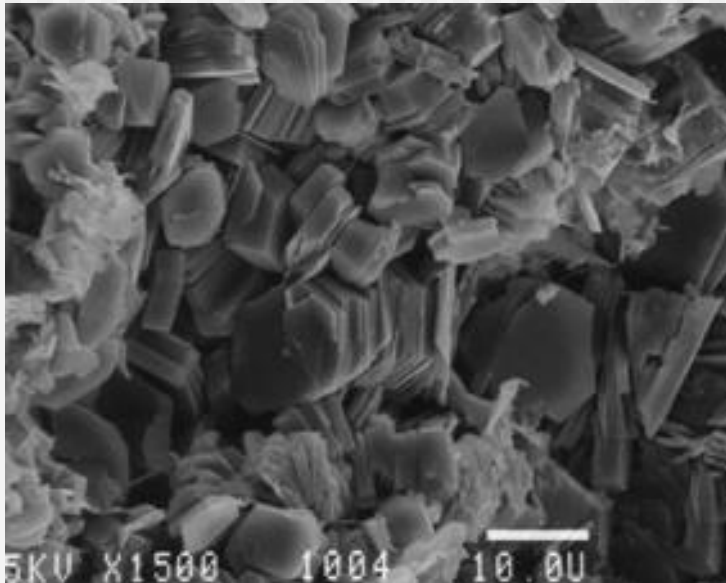


Η δομή των αργίλων

- Φυλλώδης δομή
- Τα στρώματα έχουν αρνητικό φορτίο λόγω της αντικατάστασης του Al^{3+} από Si^{4+}
- Τα κατιόντα K^+ και Na^+ είναι χαλαρά συνδεδεμένα μεταξύ των στρωμάτων κάνοντας το συνολικό φορτίο ουδέτερο

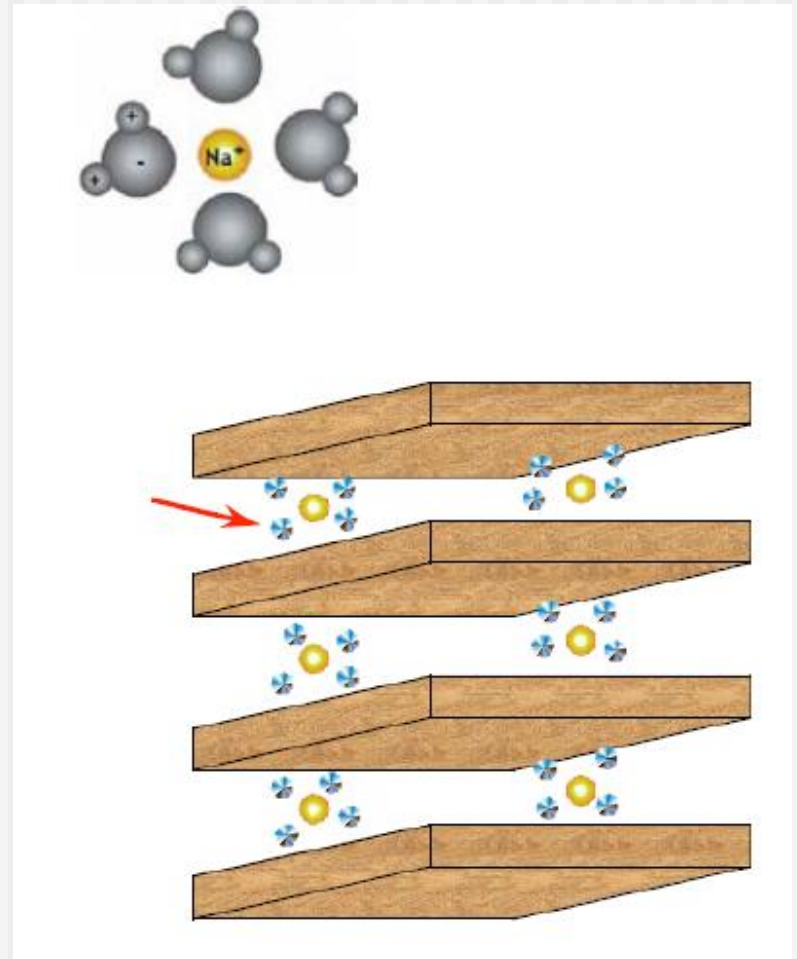


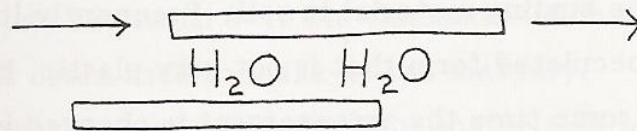
- Ο πηλός είναι μίγμα ορυκτών αργιλοπυριτικής συστάσεως και άλλων ενώσεων. Ορισμένες άργιλοι, όπως ο *ιλλίτης* και ο *μονμοριλλονίτης*, έχουν την ιδιότητα όταν προσροφούν νερό σε διαπλεγματικές θέσεις να διογκώνονται. Κατά την ξήρανση αποβάλλεται το νερό και οι άργιλοι συρρικνώνονται και μετατρέπονται σε σκόνη (θιξοτροπία) .



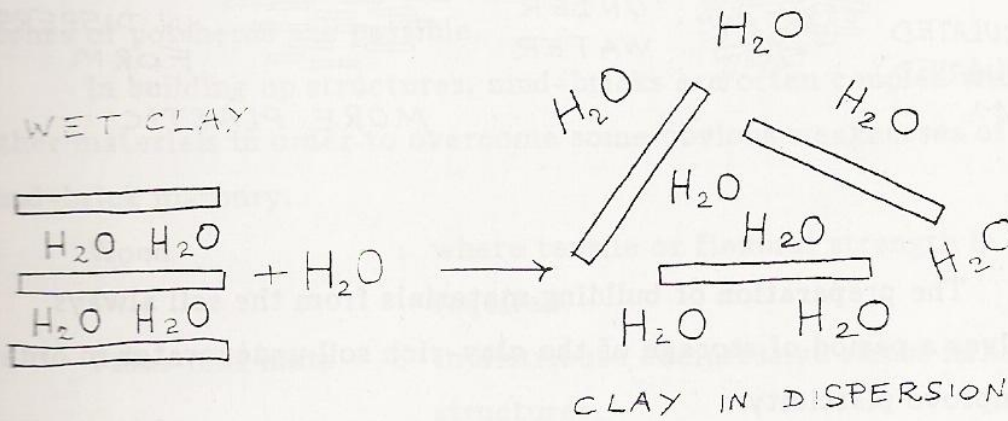
Εισβολή του νερού

- Το νερό εισβάλλει μεταξύ των στρωμάτων του πηλού
- Τα μόρια του νερού κυκλώνουν τα ιόντα (όπως όταν διαλύονται τα άλατα)
- Έτσι τα στρώματα διαχωρίζονται από το νερό

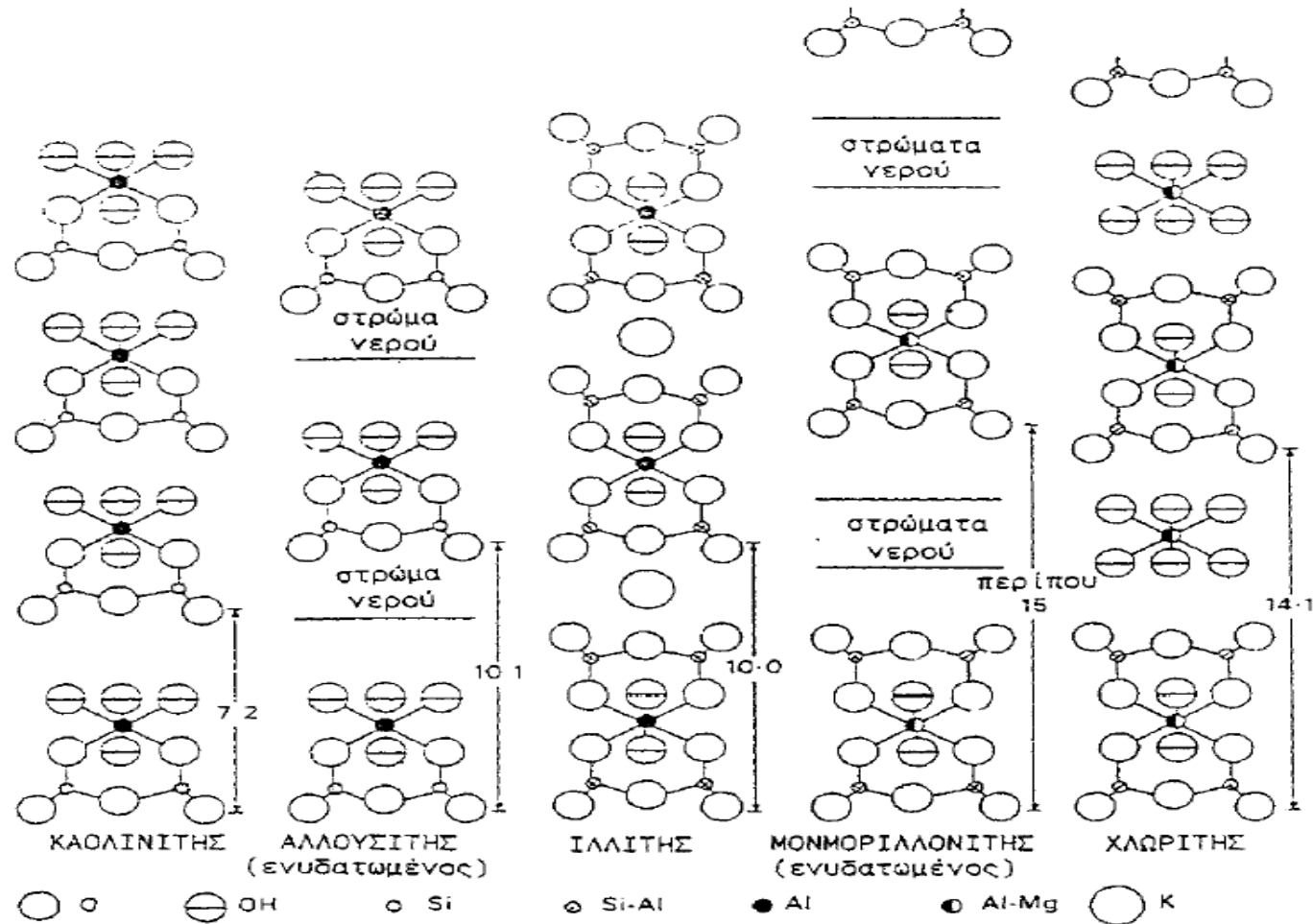




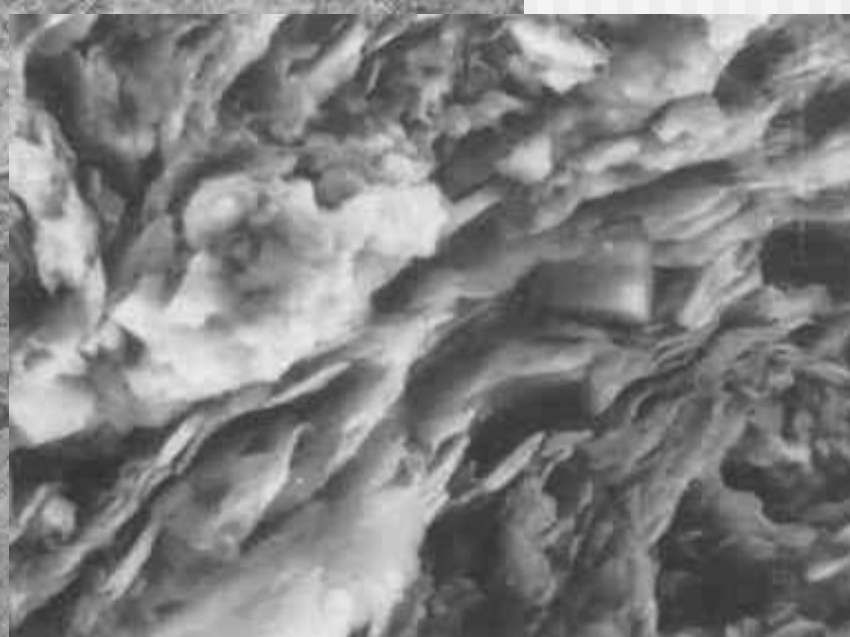
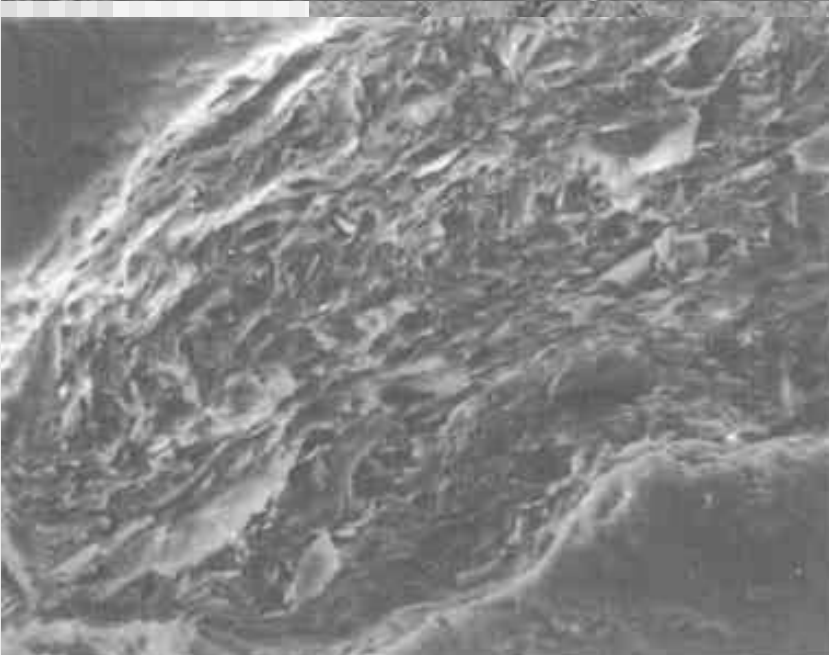
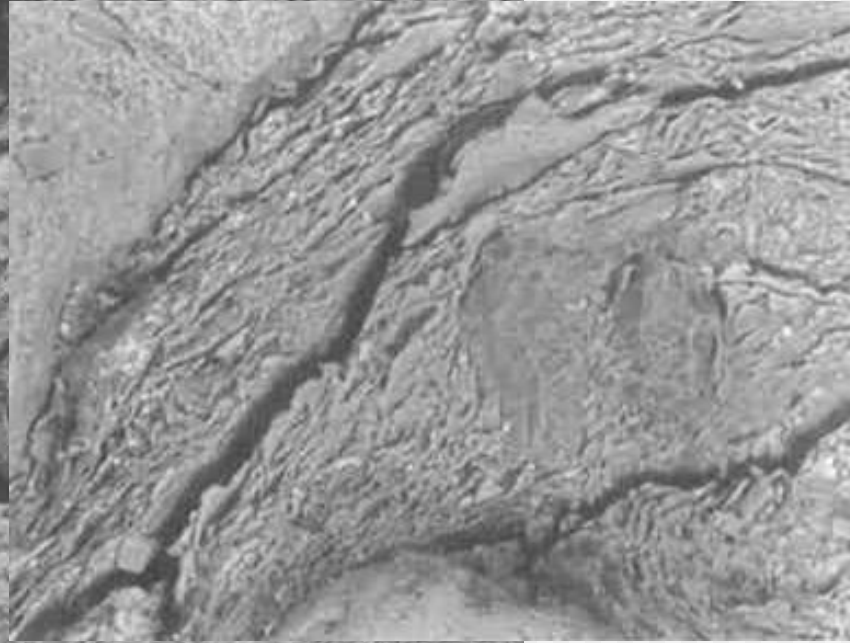
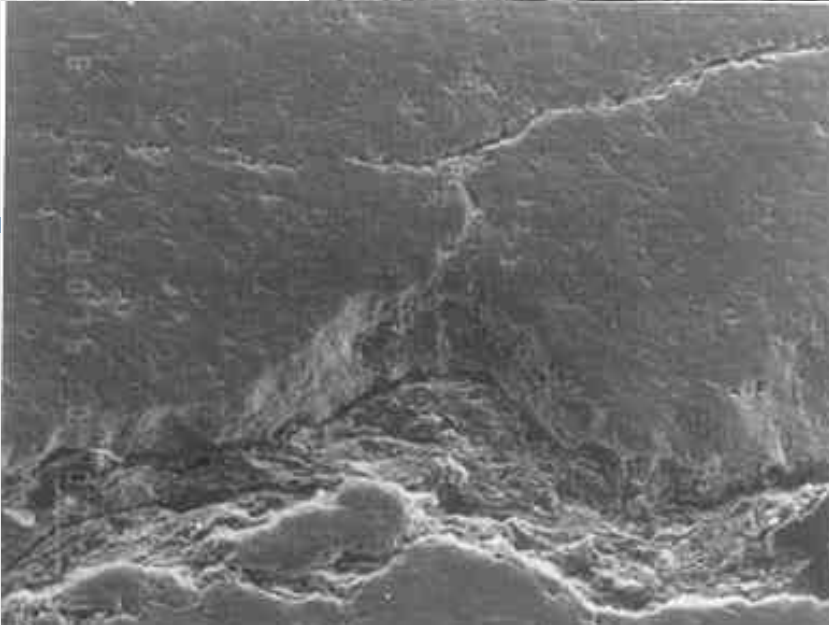
If more water is added to wet clay it is completely dispersed.



Ο ρόλος των αργίλων στη φθορά των λίθων



Σχήμα 4.4. Παράσταση της απορρόφησης μορίων νερού στη δομή ορισμένων αργίλων, σε διαπλεγματικές θέσεις[±].









Η εξέλιξη των φαινομένων φθοράς





十 E 1







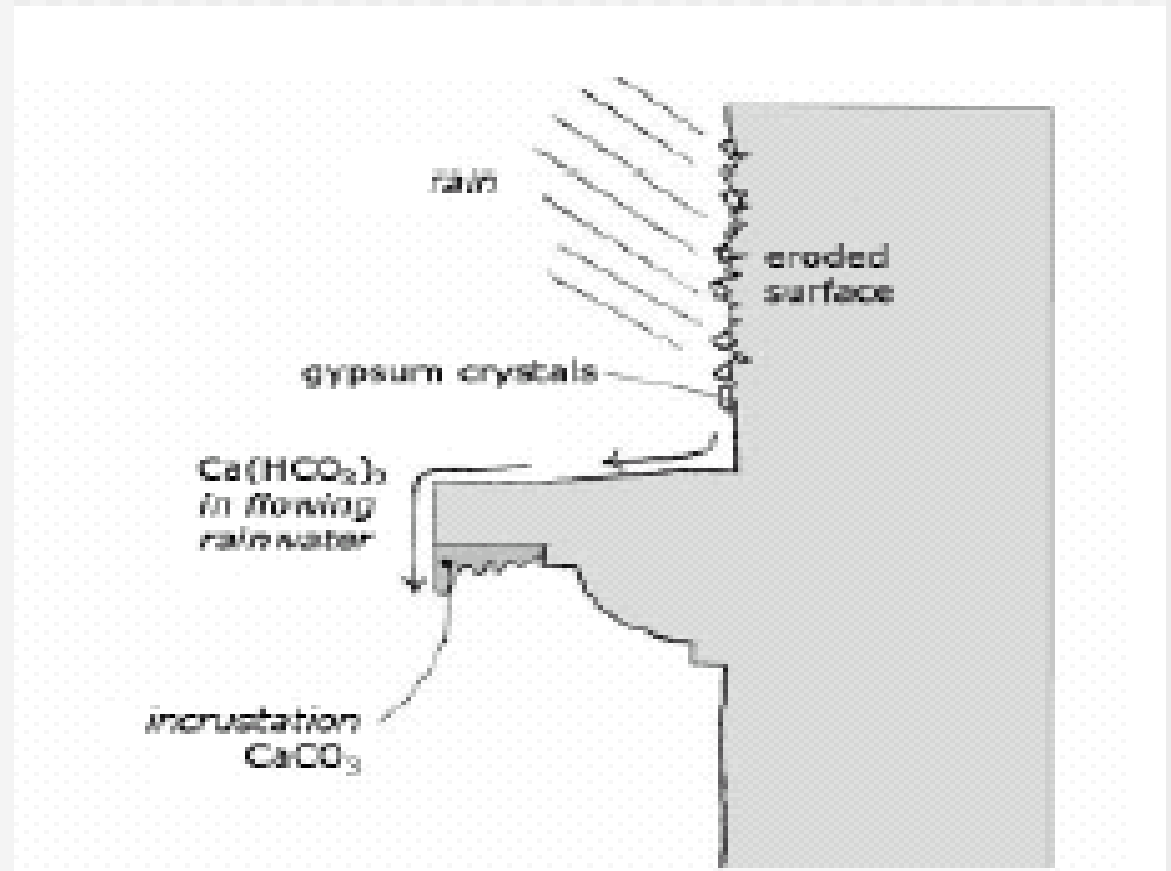


Όταν τα αργιλικά ορυκτά είναι
διάσπαρτα στη μάζα του λίθου ...

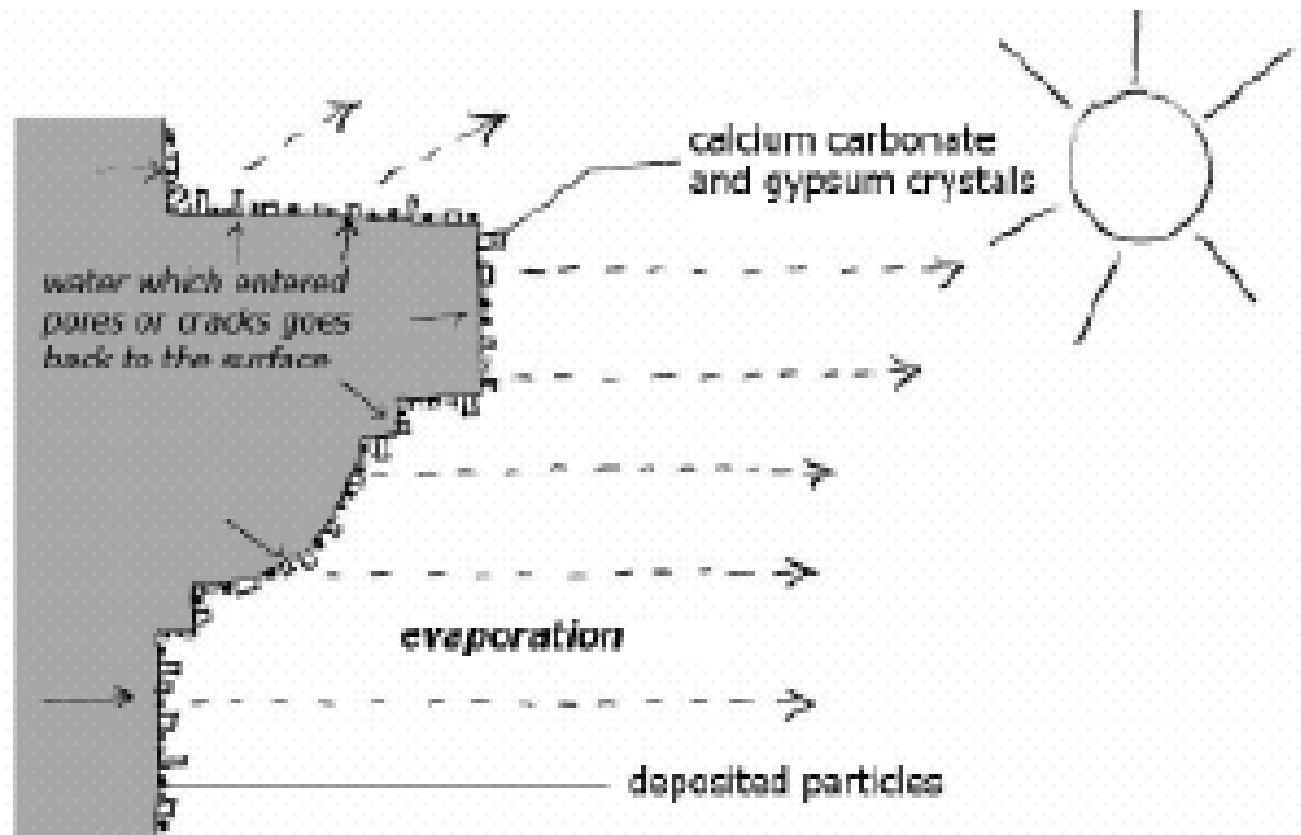




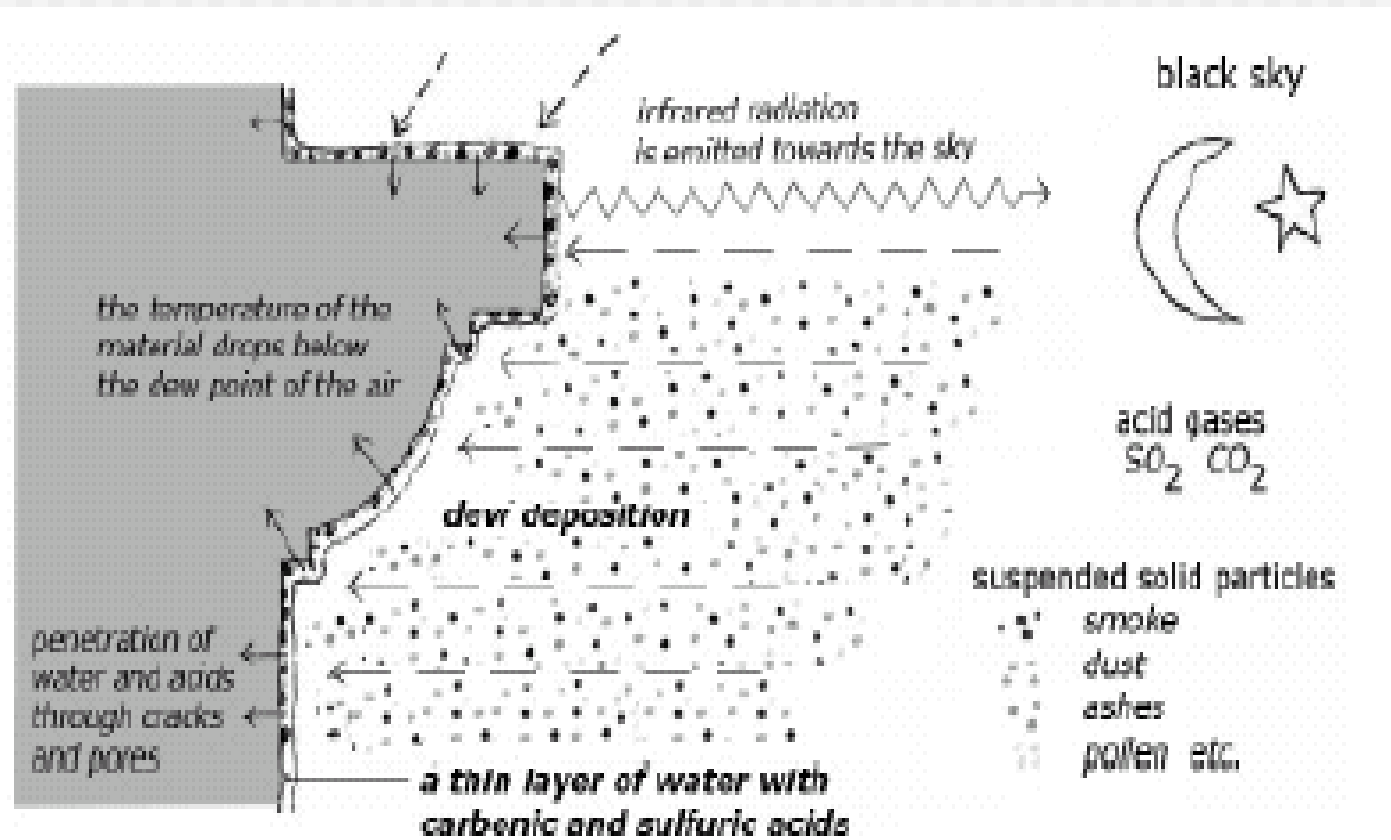
Λίθοι σε ρυπασμένη ατμόσφαιρα



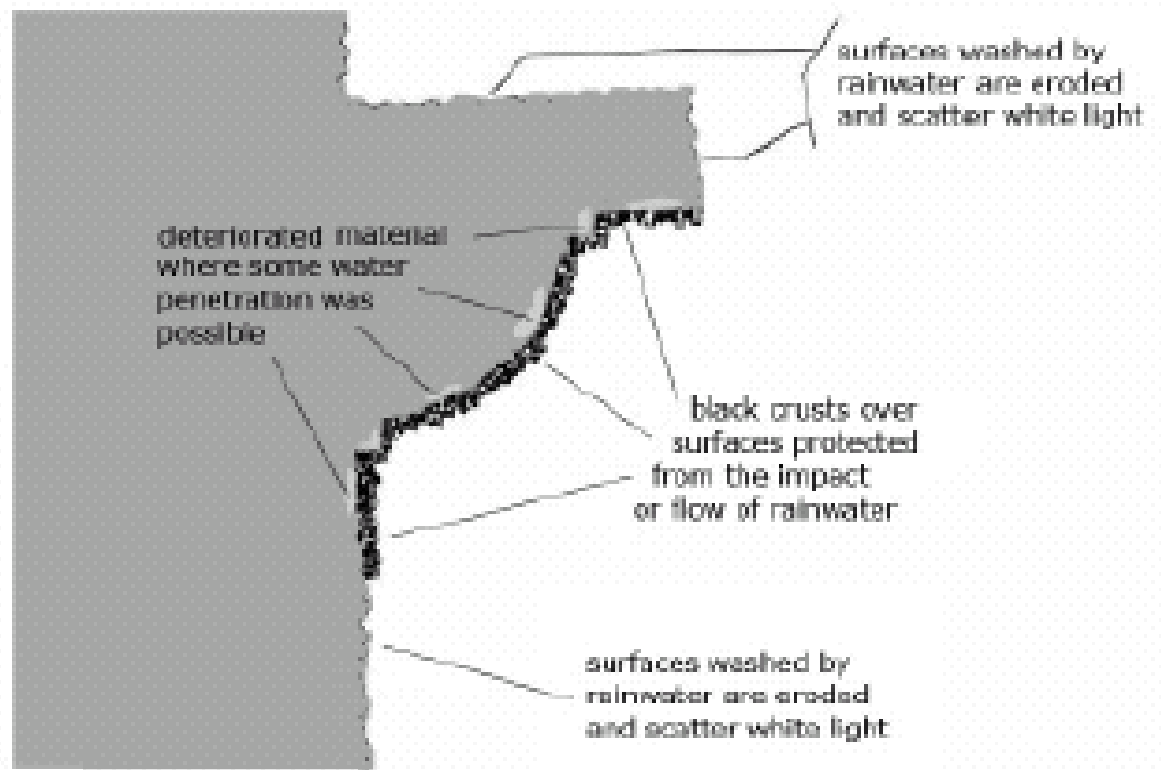
rain action on calcareous surfaces



wetting - drying cycle, evaporation phase

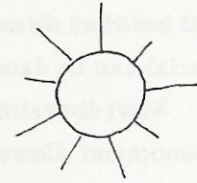
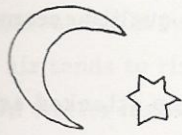


nocturnal condensation

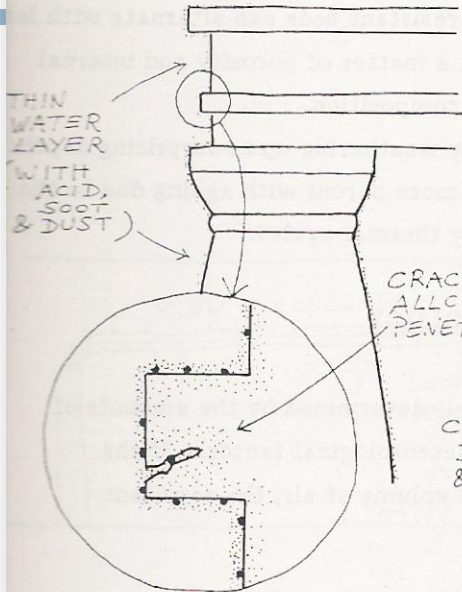


final result of a great number of dew/rain cycles

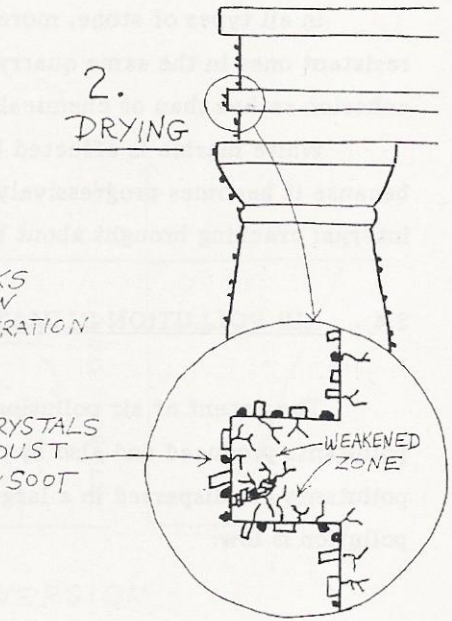
FIGURE 7



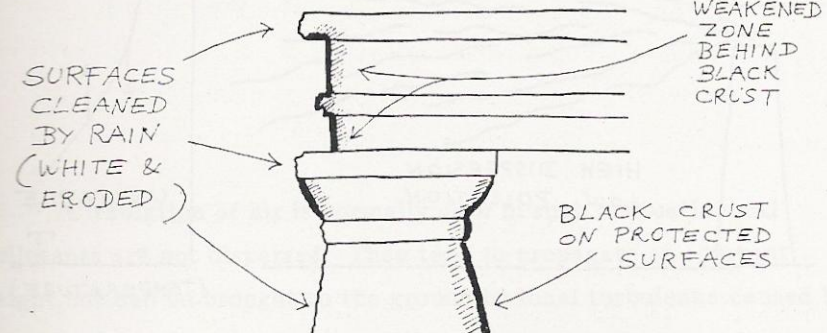
1. WETTING



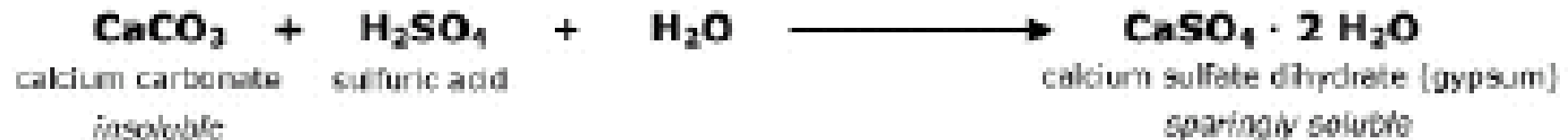
2. DRYING



3. WEATHERING (MANY CYCLES)

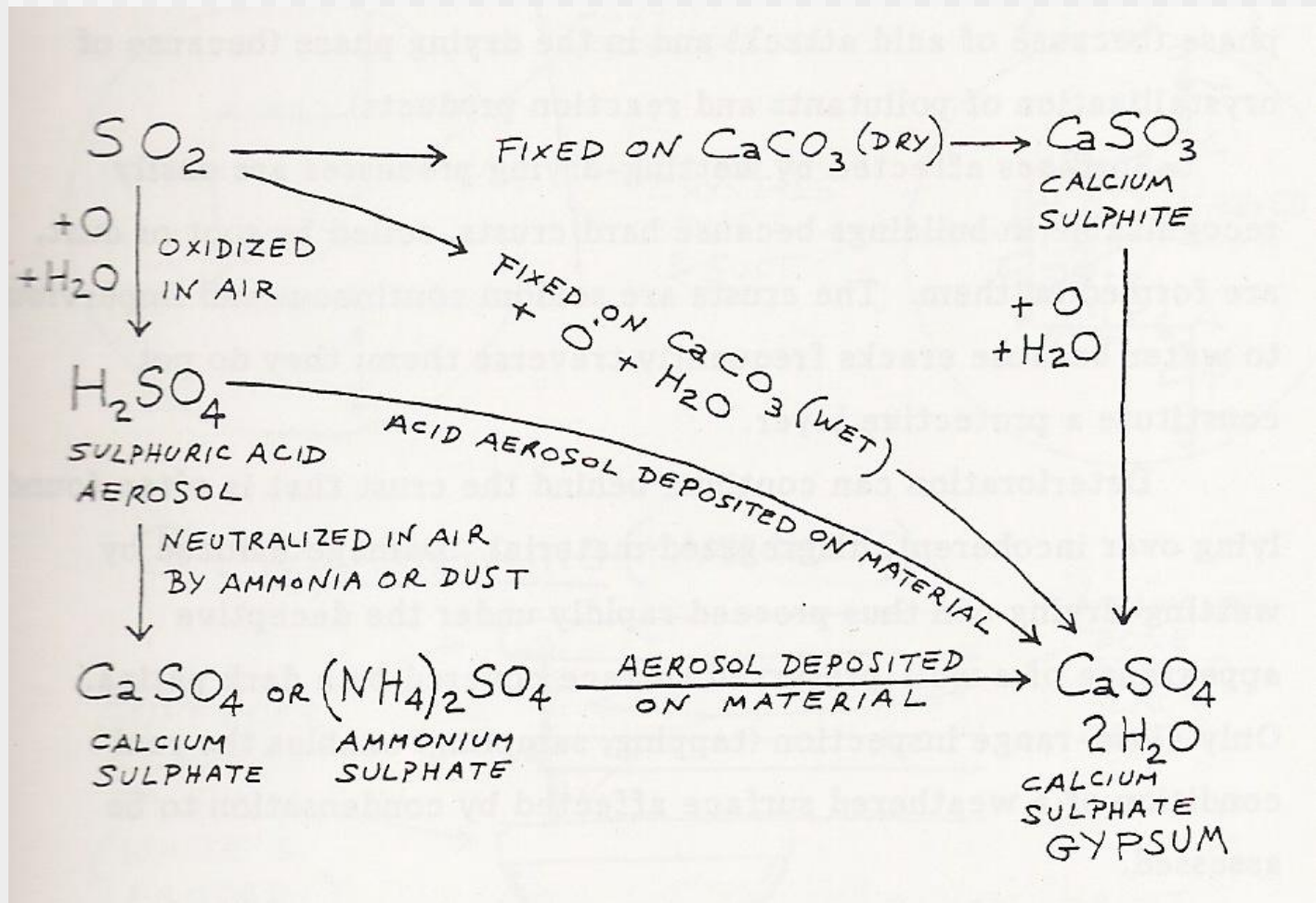


Αντιδράσεις όξινης προσβολής των ανθρακικών λίθων



acid attack of calcareous materials

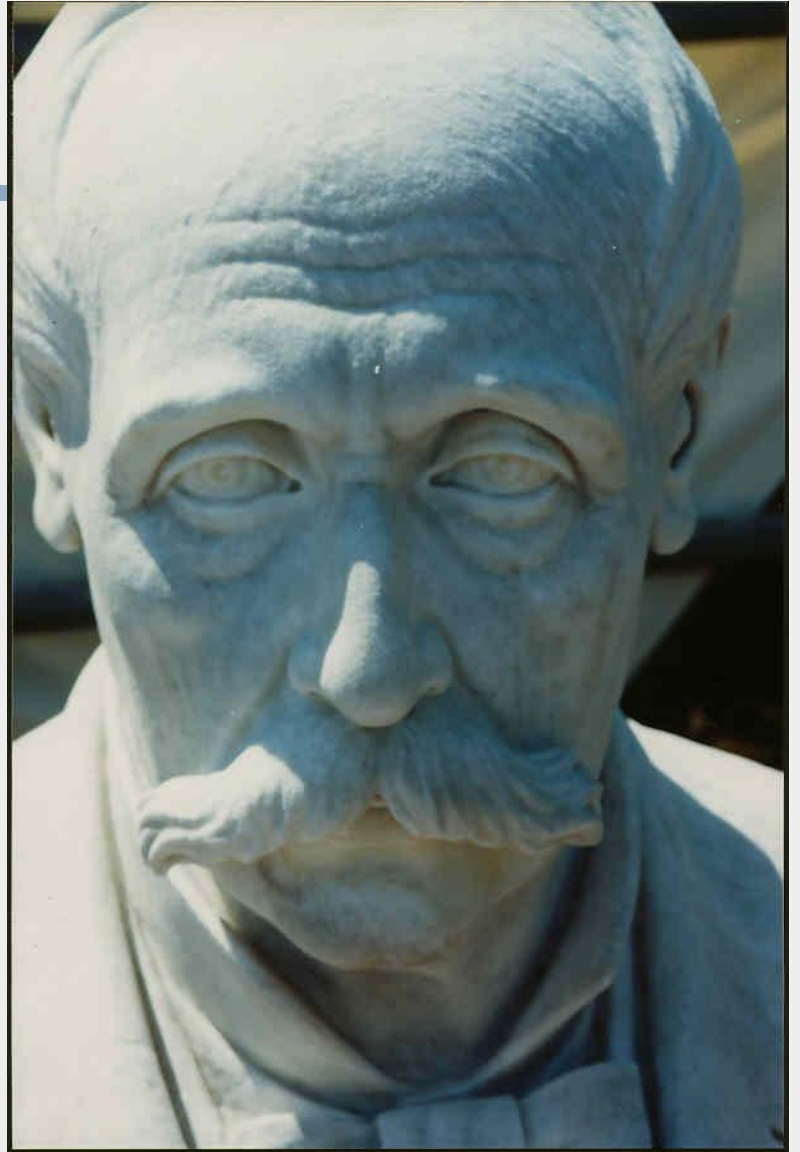
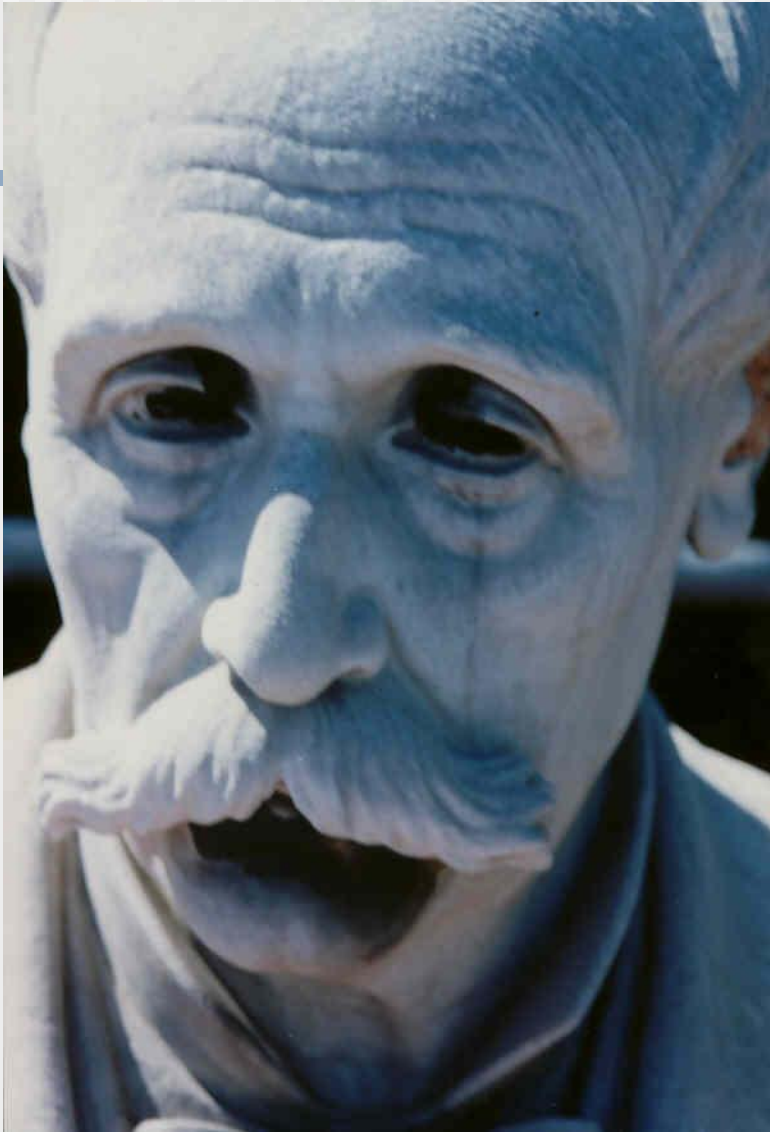
Οι δρόμοι του SO₂



Επικαθίσεις και όξινη προσβολή

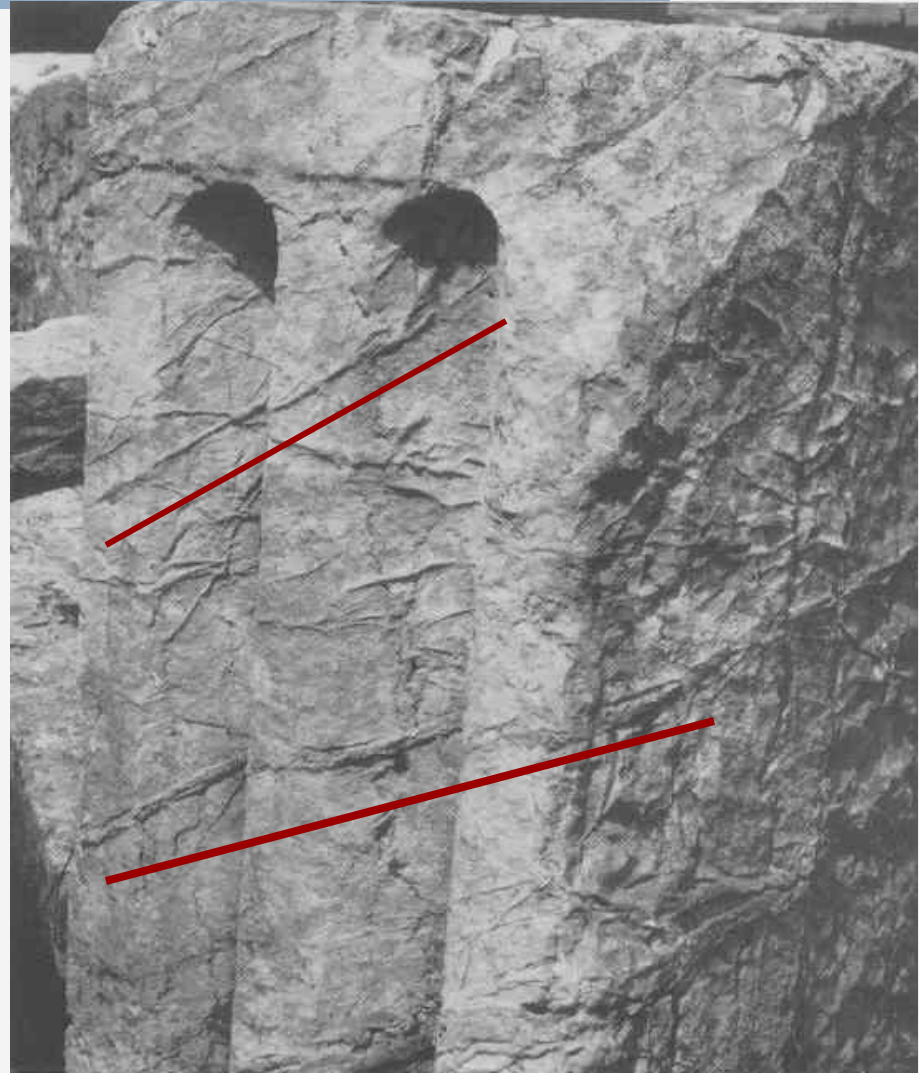








Το νερό της βροχής



Το νερό της βροχής



Συνδυασμός παραγόντων



Graffiti



Graffiti



ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΒΙΟΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

■ ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

- ΕΚΔΟΡΕΣ, ΘΡΑΥΣΕΙΣ, ΑΠΟΔΟΜΗΣΗ ΚΛΠ, ΕΞ ΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

■ ΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

- ΟΡΓΑΝΙΚΑ & ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΟΞΕΑ
- ΧΗΛΙΚΑ ΣΥΜΠΛΟΚΑ
- ΕΝΩΣΕΙΣ ΜΕ ΑΛΚΑΛΙΚΗ ΔΡΑΣΗ
- ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗ
- ΕΝΖΥΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ
- ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ

ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΒΟΛΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΟΡΓΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

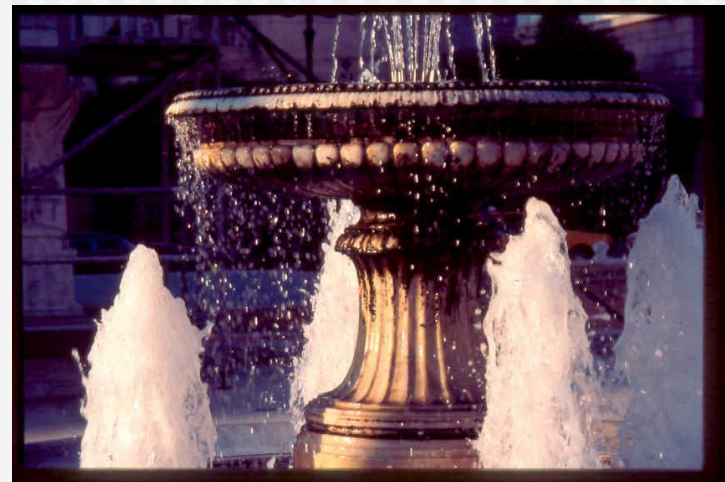
- ΤΑ ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ (ΧΑΡΤΙ, ΔΕΡΜΑ, ΞΥΛΟ, ΥΦΑΣΜΑ) ΠΡΟΣΒΑΛΛΟΝΤΑΙ ΕΥΚΟΛΟΤΕΡΑ ΑΠ'Ο ΤΟΥΣ ΕΤΕΡΟΤΡΟΦΟΥΣ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ
- Η ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΒΟΛΗ ΣΧΕΤΙΖΕΤΑΙ ΑΥΣΤΗΡΑ ΜΕ ΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΦΥΤΙΚΗ Η ΖΩΙΚΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
- ΤΑ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΥΛΙΚΑ ΕΠΟΙΚΟΥΝΤΑΙ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ ΑΠ'Ο ΑΥΤΟΤΡΟΦΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ
- Η ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ (ΡΥΠΑΝΣΗ, ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ, ΠΕΡΙΤΤΩΜΑΤΑ, ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΠΟΙΚΙΕΣ) ΕΥΝΟΕΙ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΤΕΡΟΤΡΟΦΩΝ ΜΙΚΡ/ΜΩΝ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΒΙΟΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

- ΑΝΑΠΤΥΞΕΙΣ ΦΥΚΩΝ, ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΒΡΥΩΝ ΣΕ ΒΙΟΚΛΑΣΤΙΚΟ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟ ΣΤΗ ΡΟΔΟ



- ΑΝΑΠΤΥΞΕΙΣ ΦΥΚΩΝ ΚΑΙ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ ΣΕ ΜΑΡΜΑΡΟ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ



ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑ

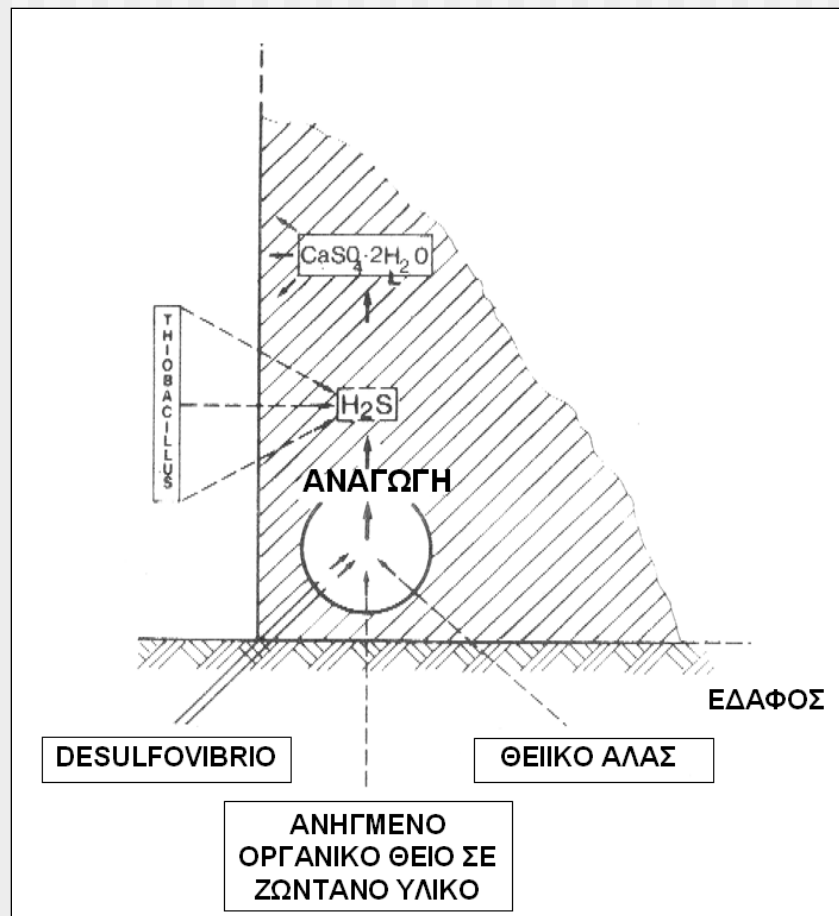








Παραγωγή θειικών αλάτων από το **Thiobacillus**



ΤΟ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

- **Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

- **ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ**



ΤΟ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

■ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ



■ ΕΔΑΦΟΣ



ΤΟ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

- Θερμοκρασία, T °C
- Σχετική υγρασία, RH%
- Βροχοπτώσεις, ύψος/ένταση
- Άνεμοι, διευθύνσεις/ένταση
- Ηλιοφάνεια
- Σύσταση ατμόσφαιρας
- Απόσταση θάλασσας
- Παρουσία αέριων ρύπων
- Παρουσία σωματιδιακών ρύπων

ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

- Τύπος εδάφους, σύσταση
- Γεωλογική συγκρότηση της άμεσης περιοχής
- Τοπικές υδρολογικές συνθήκες
- Υδρογεωλογικές συνθήκες
- Είδος και ποσότητα διαλυτών Αλάτων στο έδαφος
- Ικανότητα εδάφους να συγκρατεί νερό
- Πρόσθετη επιβάρυνση με διαλ. Άλατα π.χ. από καλλιέργειες

ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Εξαιρετικά σταθερή θερμοκρασία
- Εξαιρετικά σταθερή σχετική υγρασία
- Απουσία φωτός
- Παρουσία ορυκτών αλάτων στο εδαφικό νερό
- Περιορισμένη κυκλοφορία αέρα

ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥΝ ΤΗ ΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΩΣ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

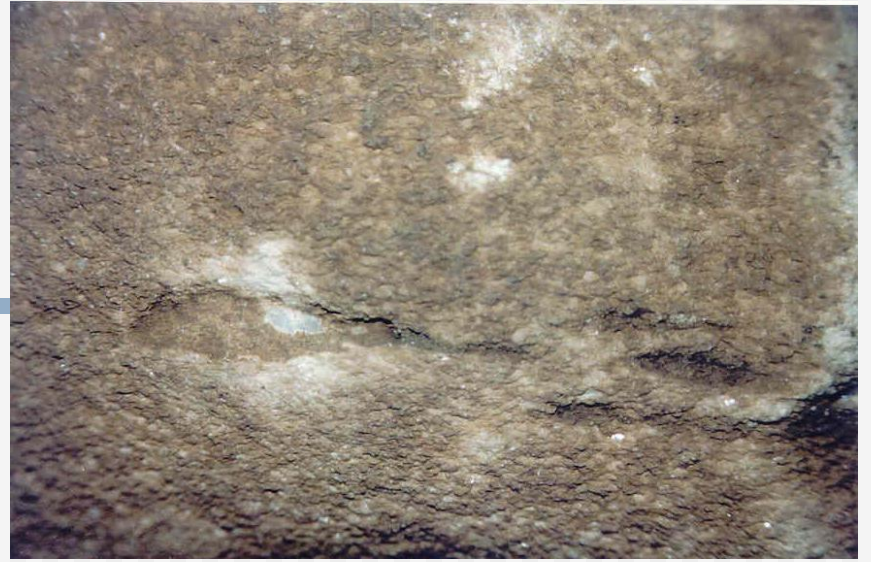
- Φύση του εδάφους – γεωλογικό υπόβαθρο
- Η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους
- Η πηγή τροφοδοσίας των υπογείων νερών
- Το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα
- Οι ετήσιες διακυμάνσεις του υδροφόρου ορίζοντα
- Η ποιότητα του εδαφικού νερού (pH, Eh, T °C, διαλυμένο οξυγόνο,)
- Περιεκτικότητα διαλυμένων ορυκτών αλάτων
- Μικροβιολογική δραστηριότητα

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

ΔΥΟ ΓΛΥΠΤΑ ΑΠ'Ο ΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΧΩΡΟ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ
ΜΕΣΣΗΝΗΣ

ΜΑΧΑΩΝ





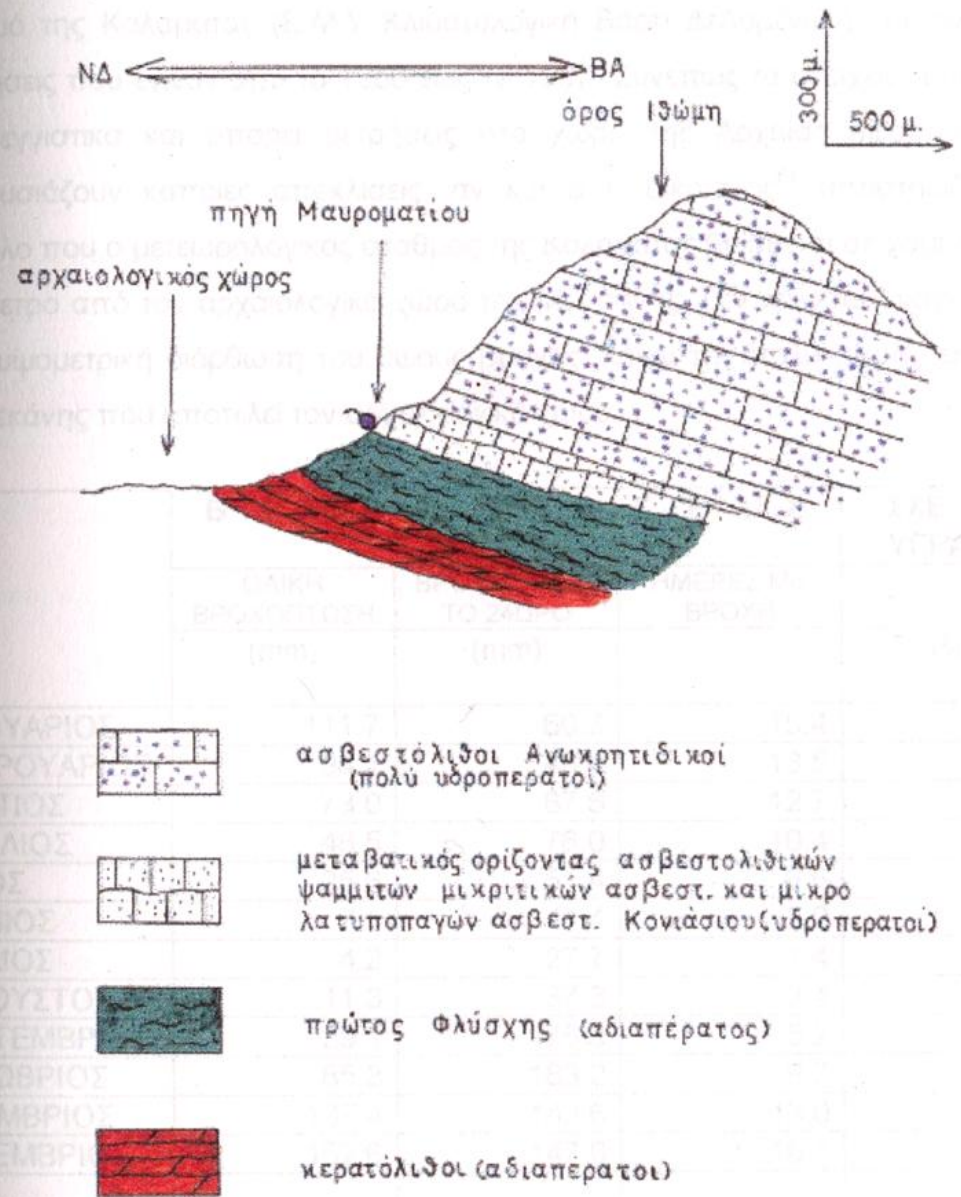
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

ΔΥΟ ΓΛΥΠΤΑ ΑΠΌ ΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΧΩΡΟ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ
ΜΕΣΣΗΝΗΣ

ΕΡΜΗΣ



ΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΗΣ ΑΝΑΣΚΑΦΗΣ



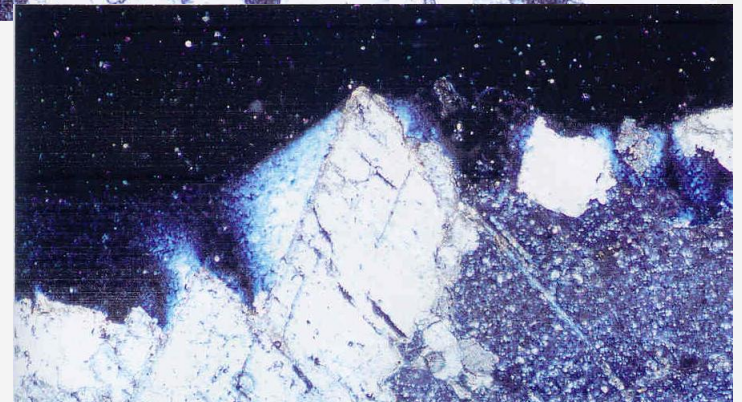
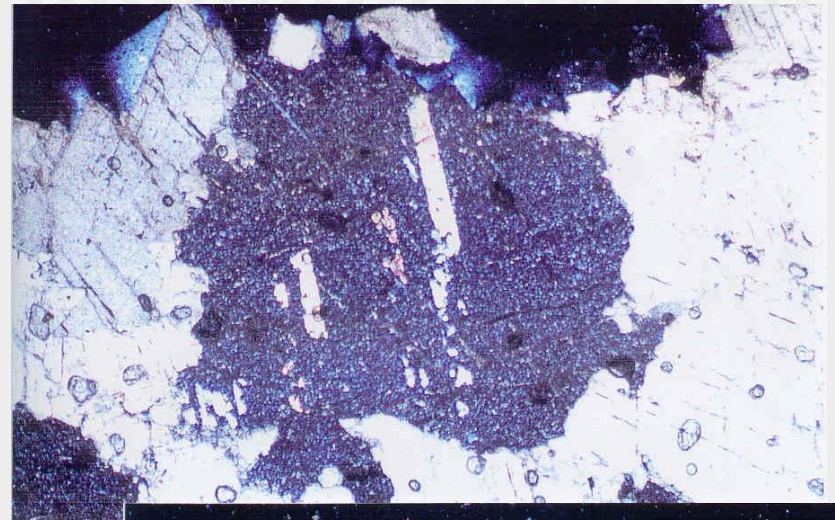
Σχήμα 4.3 Λιθολογική τομή πηγής Μαυροματίου. (Σχέδιο Π. Σαμπατακάκης, Ι.Γ.Μ.Ε.)

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΑΧΑΩΝ

ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ



ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

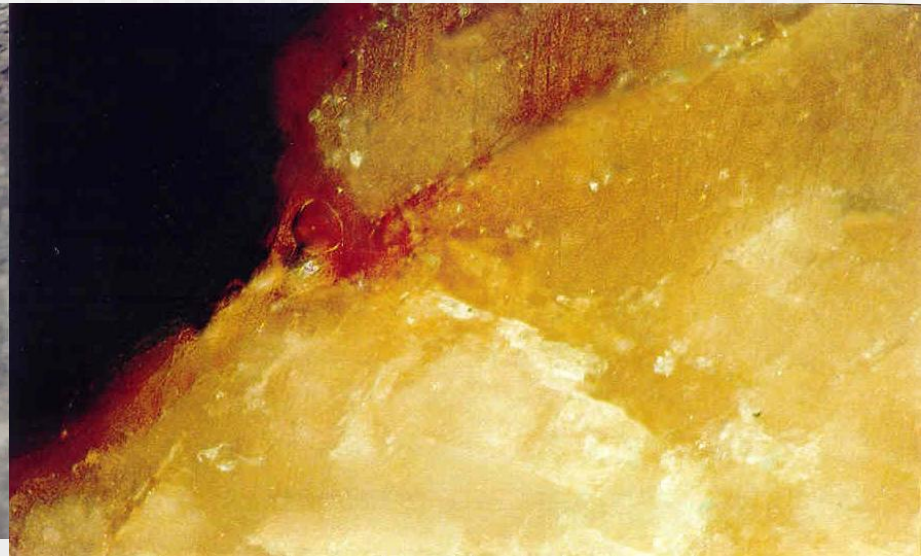


ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΑΧΑΩΝ

ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ



ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

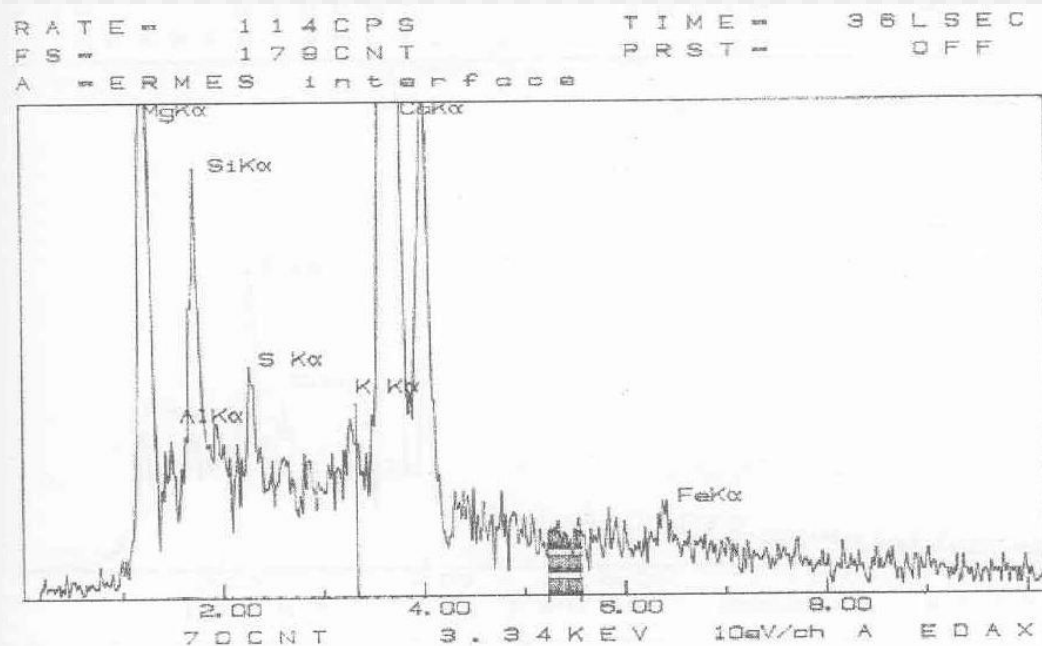


ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΑΧΑΩΝ

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ
ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ



ΜΙΚΡΟΑΝΑΛΥΣΗ

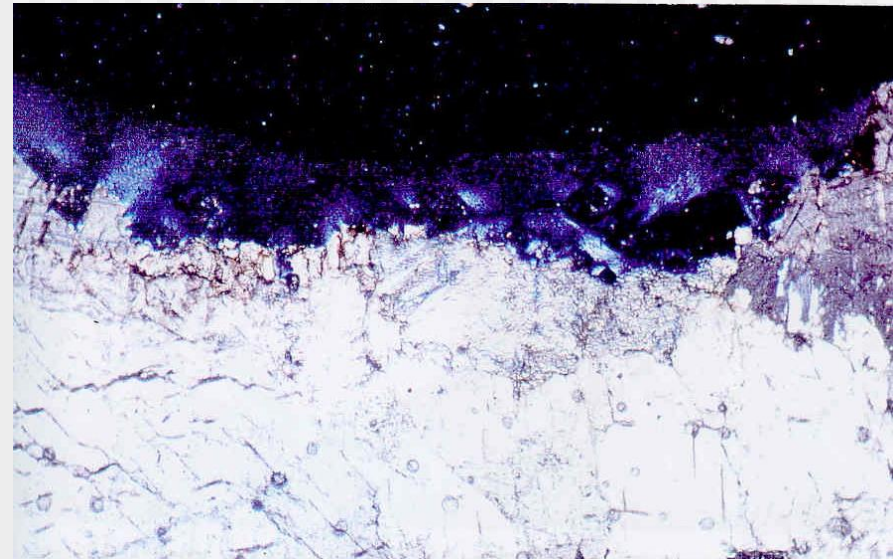


ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΕΡΜΗΣ

ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ



ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ



ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΕΡΜΗΣ

ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ



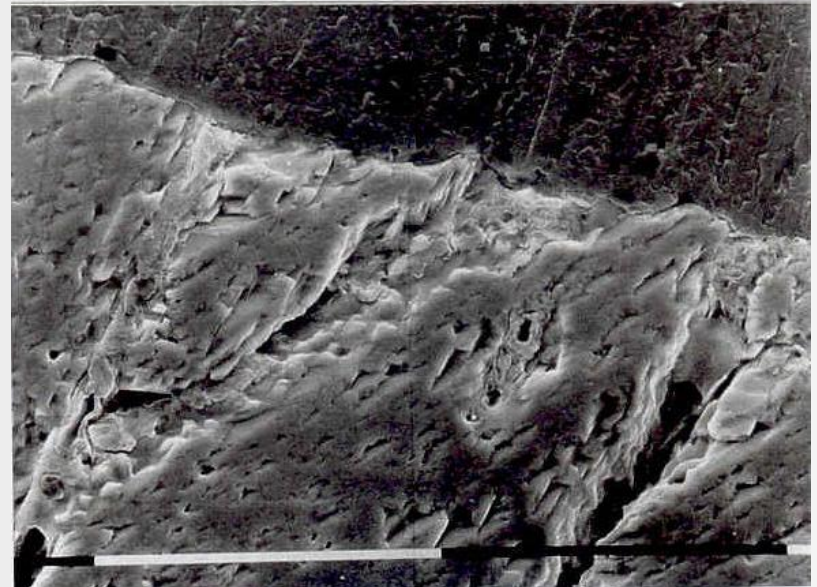
ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ



ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΕΡΜΗΣ



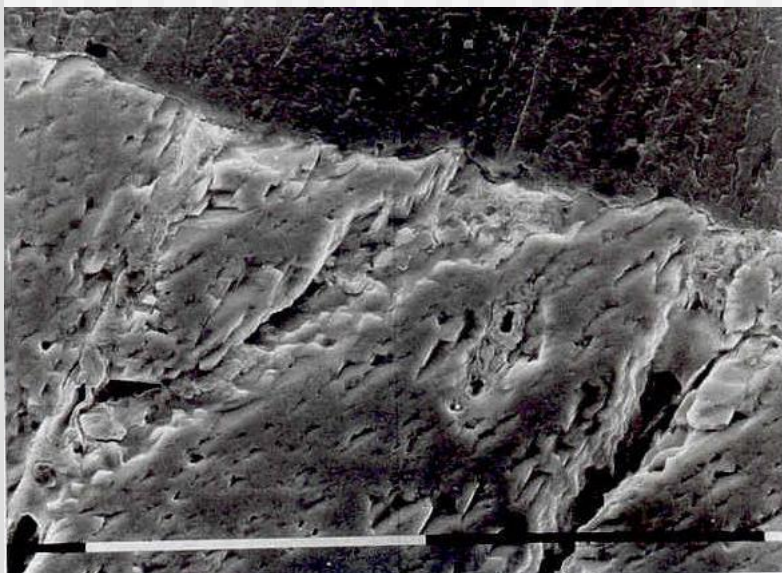
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ



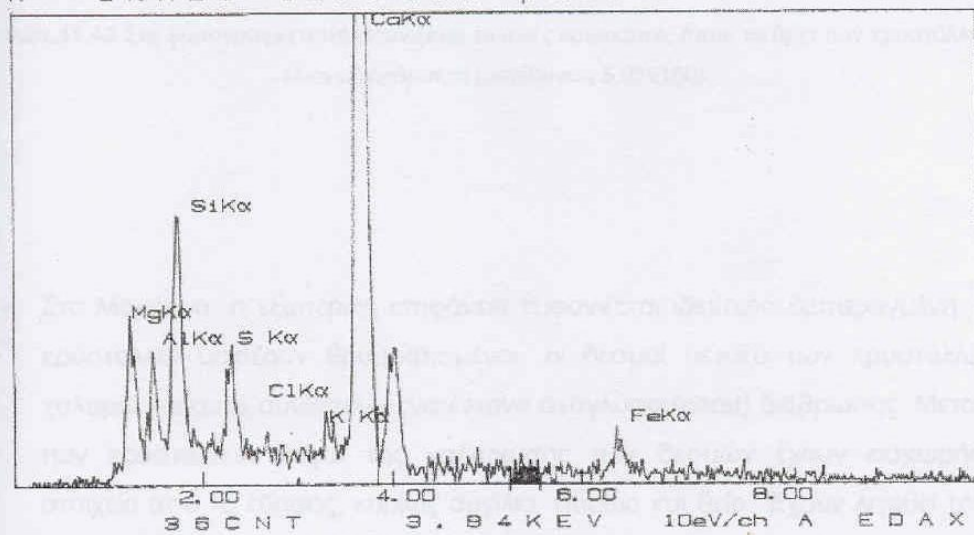
ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΕΡΜΗΣ

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ
ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ

ΜΙΚΡΟΑΝΑΛΥΣΗ

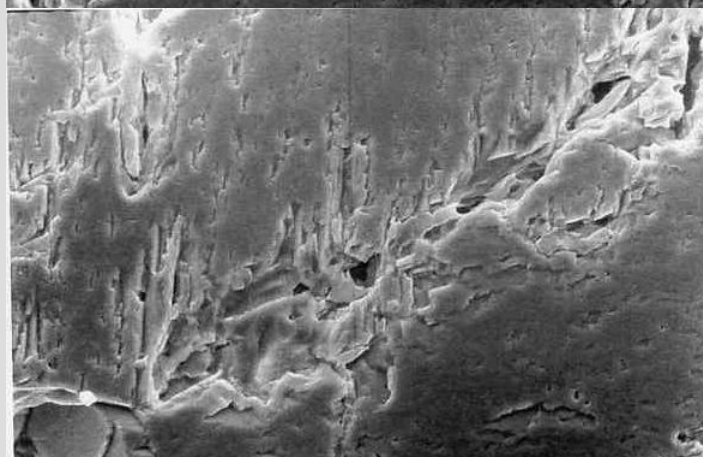
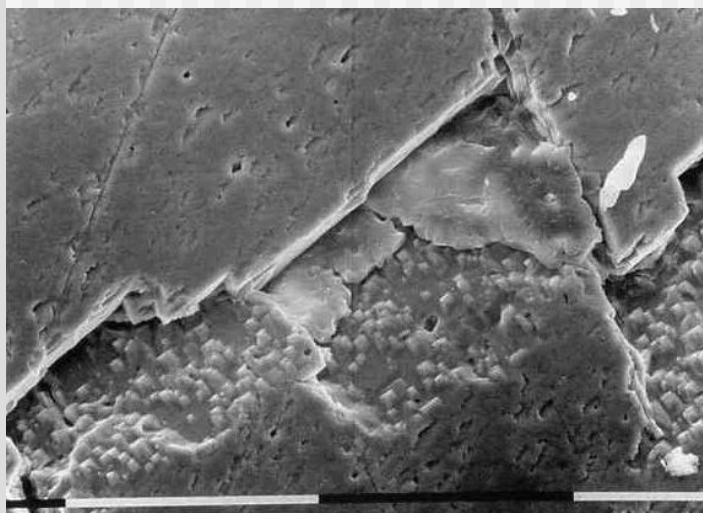


RATE = 9920 CPS TIME = 40 LSEC
FS = 220 CNT PRST = OFF
A = HERMES surface photo 5



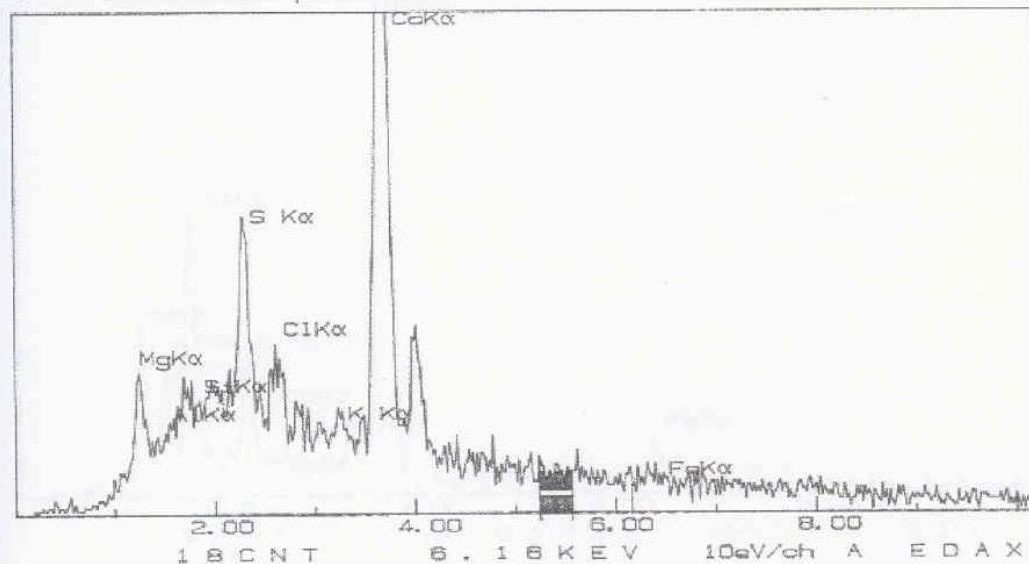
ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΕΡΜΗΣ

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ



ΜΙΚΡΟΑΝΑΛΥΣΗ

RATE = 1820 CPS TIME = 651 SEC
FS = 318 CNT PRST = OFF
A = HERMES photo 4



ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΣΜΗΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΜΝΗΜΕΙΑ

Επί μέρους εργασίες

- Απομάκρυνση στοιχείων από παλαιότερες επεμβάσεις
- Καθαρισμοί – αφαλατώσεις
- Στερεώσεις – ενισχύσεις
- Συγκολλήσεις – αποκατάσταση μονολιθικότητας
- Συμπληρώσεις – αποκατάσταση ακεραιότητας
- Αντικαταστάσεις μελών – στοιχείων
- Μέτρα για την αντιμετώπιση της υγρασίας - στεγανοποιήσεις
- Διάφορα προληπτικά μέτρα

ΓΙΑΤΙ Ο ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ; ΣΤΟΧΟΙ

- Απομάκρυνση των επικαθίσεων και των στοιχείων, εν γένει, που συμβάλλουν στην περαιτέρω διάβρωση της επιφάνειας.
- Αναβάθμιση - ανάδειξη των αισθητικών και ιστορικών αξιών του έργου, με την απομάκρυνση των παραγόντων που προκαλούν δυσχρωματισμό και την αποκάλυψη της αρχικής επιφάνειας και των λεπτομερειών της, των ιχνών από τα λιθοξοϊκά εργαλεία, των χαραγμάτων και των εγχρώμων επιφανειακών στρωμάτων.

ΑΡΧΕΣ - ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Ο καθαρισμός είναι μια επέμβαση μη αναστρέψιμη και γι' αυτό θα πρέπει να διέπεται από τις ακόλουθες γενικές αρχές:

- Η ταχύτητα καθαρισμού πρέπει να είναι ελεγχόμενη και με δυνατότητα άμεσης διακοπής.
- Να μην προκαλείται άμεσα ή έμμεσα φθορά στο υπόστρωμα, όπως π.χ. απώλεια αυθεντικού υλικού, διεύρυνση ρωγμών κλπ.
- Να μην παράγονται παραπροϊόντα που μπορούν να επηρεάσουν την κατάσταση του υποστρώματος.
- Να επιτρέπει τη διατήρηση της φυσικής πάτινας ή ανθρωπογενών στρωμάτων με ιστορική ή καλλιτεχνική αξία.

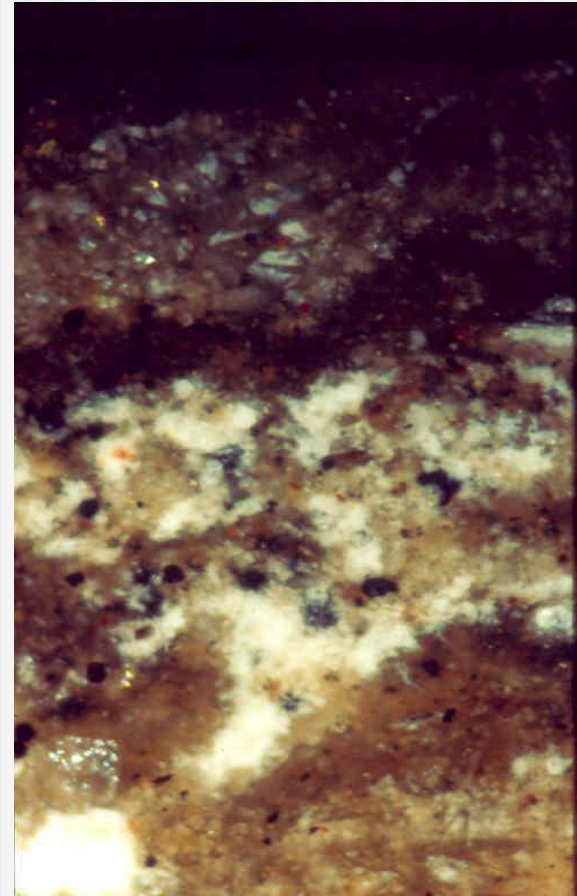
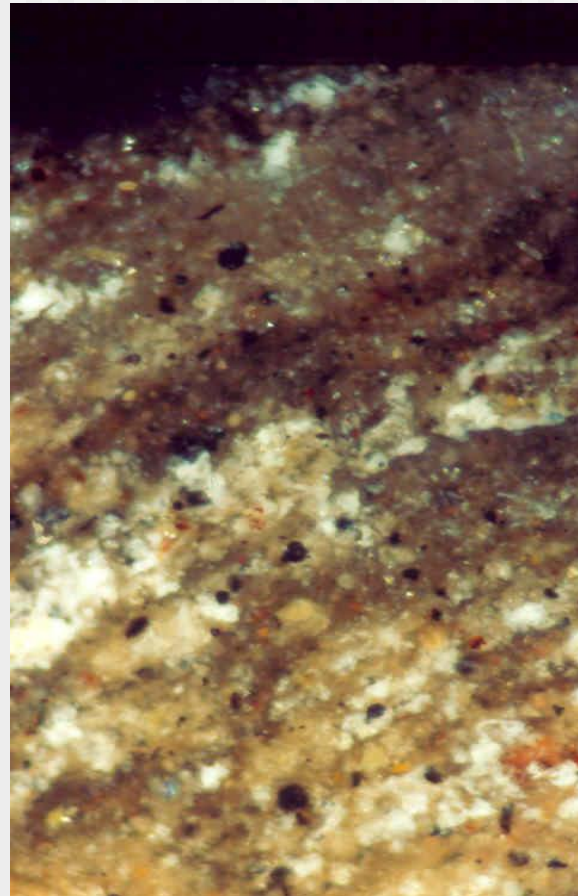
ΚΡΙΣΙΜΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ...

- Γιατί ο συγκεκριμένος καθαρισμός;
- Τι πρέπει να απομακρύνουμε;
- Τι δεν πρέπει να διαταράξουμε;
- Πως μπορούμε να τον εκτελέσουμε;
- Πως ελέγχουμε το αποτέλεσμα;
- Πόσο πρέπει να επιμείνουμε, δηλαδή;
- Τι θέλουμε ως τελικό αποτέλεσμα;

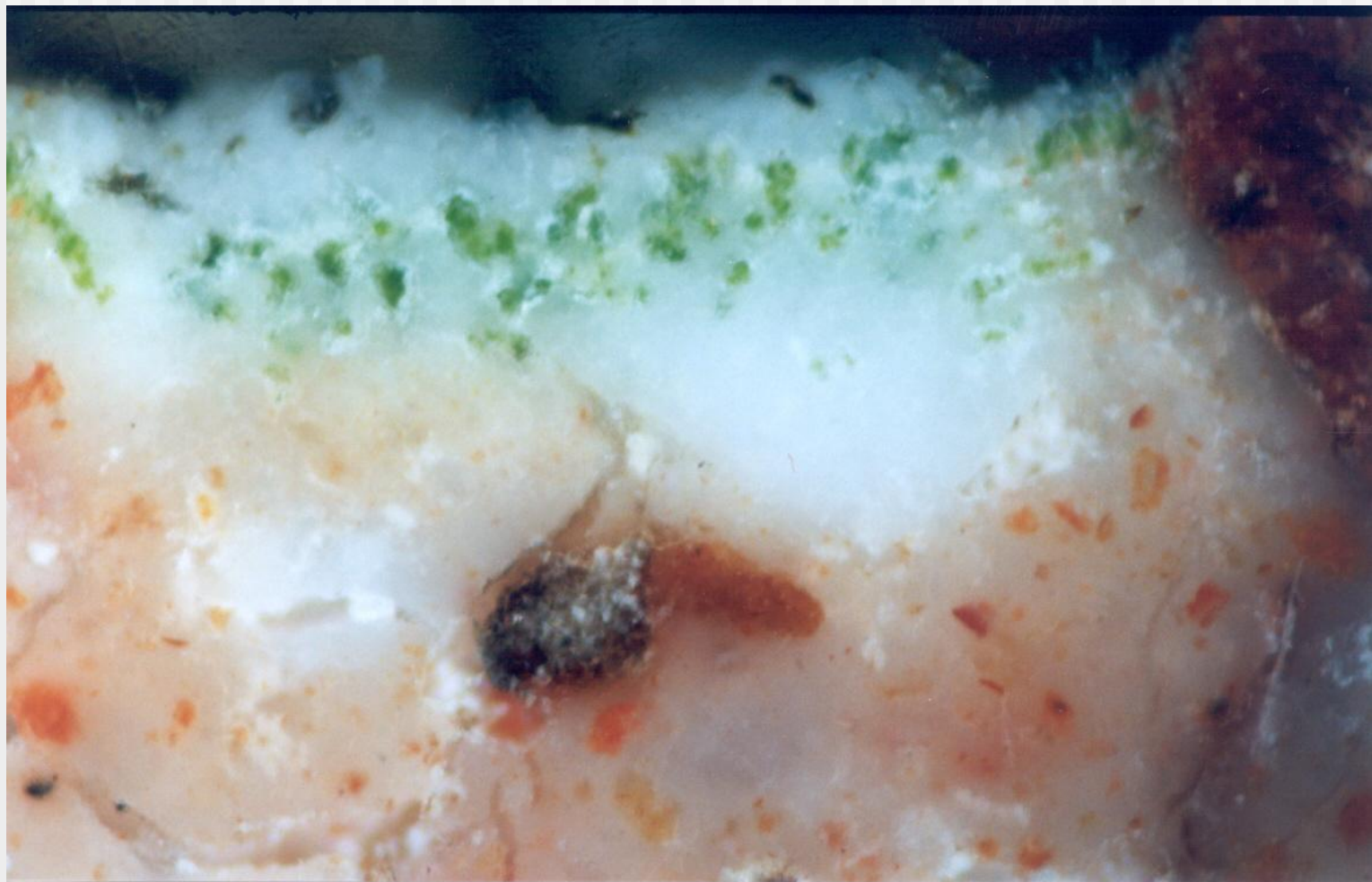
ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΝΑ ΕΧΟΥΜΕ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ

- Το είδος των επικαθίσεων και η σύνθεση της κρούστας γενικότερα
- Η χημική – ορυκτολογική σύσταση του λίθου.
- Το πορώδες του λίθου.
- Η κατάσταση της επιφάνειας από πλευράς συνεκτικότητας, ομαλότητας κλπ.
- Η παρουσία ιστορικών τεκμηρίων που πρέπει να διατηρηθούν.
- Κριτήρια και τεχνικές ελέγχου για την αξιολόγηση του αποτελέσματος του καθαρισμού.
- Το επιθυμητό αισθητικό αποτέλεσμα, στο σύνολο του έργου, μετά τον καθαρισμό.

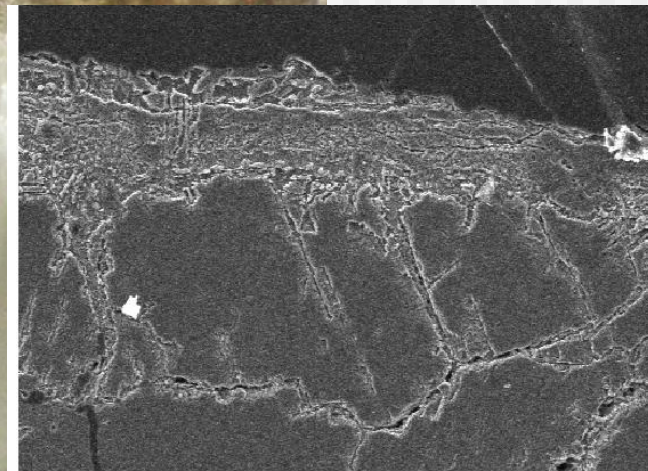
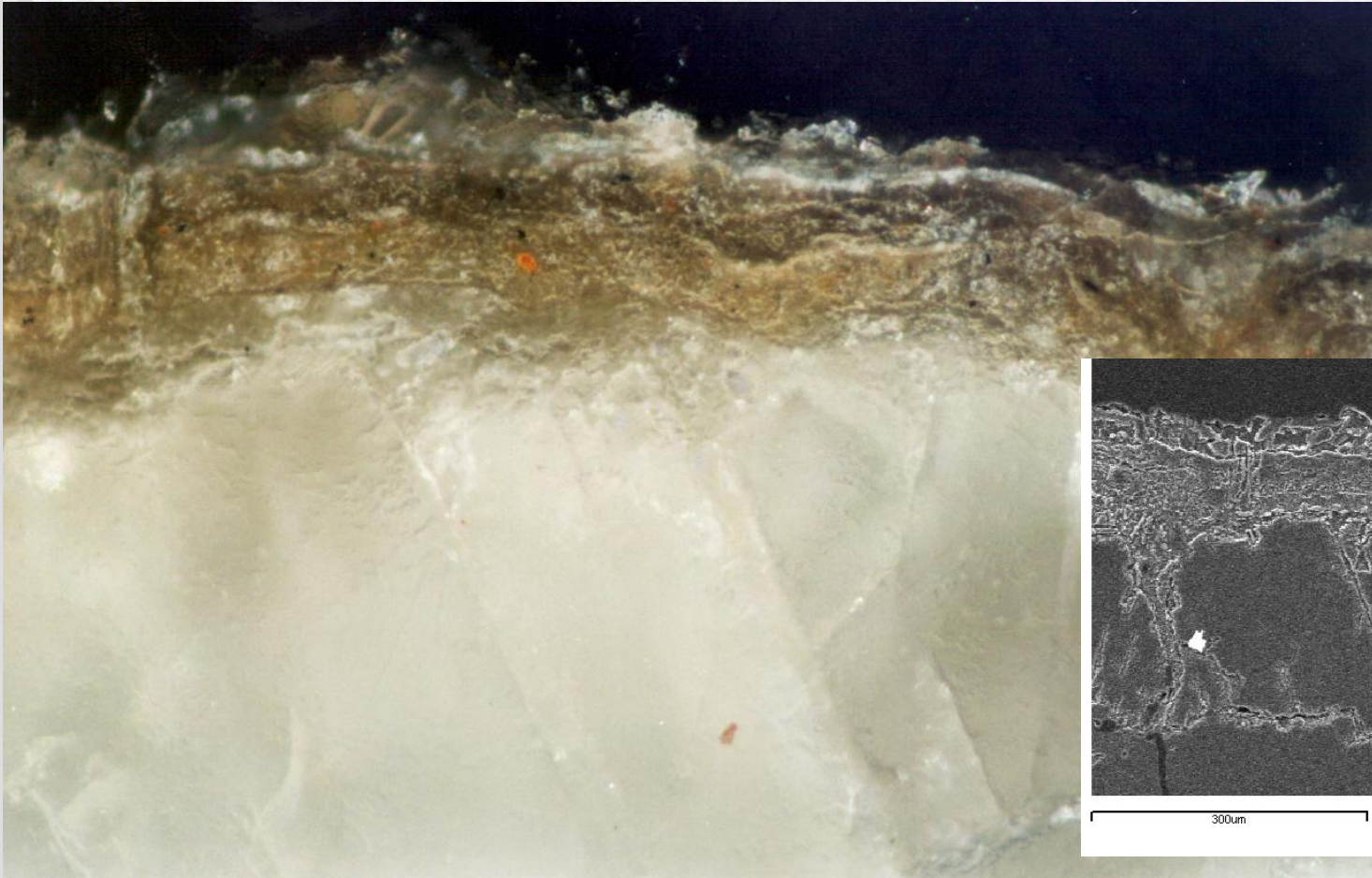
ΚΡΟΥΣΤΑ ΜΕ ΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΕΙΣ ΣΕ ΕΓΧΡΩΜΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ



ΑΝΑΠΤΥΞΕΙΣ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ



ΕΠΙΣΤΡΩΜΑ ΑΠΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ



300um

ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

- Μέθοδοι με βάση το νερό
- Μηχανικές μέθοδοι
- Χημικές μέθοδοι
- Επιθέματα με φορείς προσροφητικές αργίλους
- Καθαρισμός με Laser

ΤΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΤΩΝ ΛΙΘΩΝ, Η ΑΛΛΙΩΣ ΤΟ ΣΚΟΤΕΙΝΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

- Επικαθήσεις σωματιδίων από την ατμόσφαιρα.
- Προϊόντα διάβρωσης των αυθεντικών ορυκτών του λίθου (συνήθως γύψο, CaSO_4).
- Ανακρυσταλλώσεις δυσδιάλυτων αλάτων (συνήθως ανθρακικών, Ca, MgCO_3).
- Εξανθήσεις διαλυτών αλάτων (π.χ. NaSO_4 , NaCl).
- Αποικίες μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες, άλγη, λειχήνες).
- Λεκέδες και εμποτισμούς από οξείδια μεταλλικών στοιχείων.
- Υπολείμματα από προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΝΕΡΟ

- Υδροβολή (πρακτικά μηχανικός καθαρισμός)
- Εκνέφωση (μηχανική και χημική δράση)
- Ατμός (κυρίως χημική δράση σε συνδυασμό και με την υψηλή θερμοκρασία).

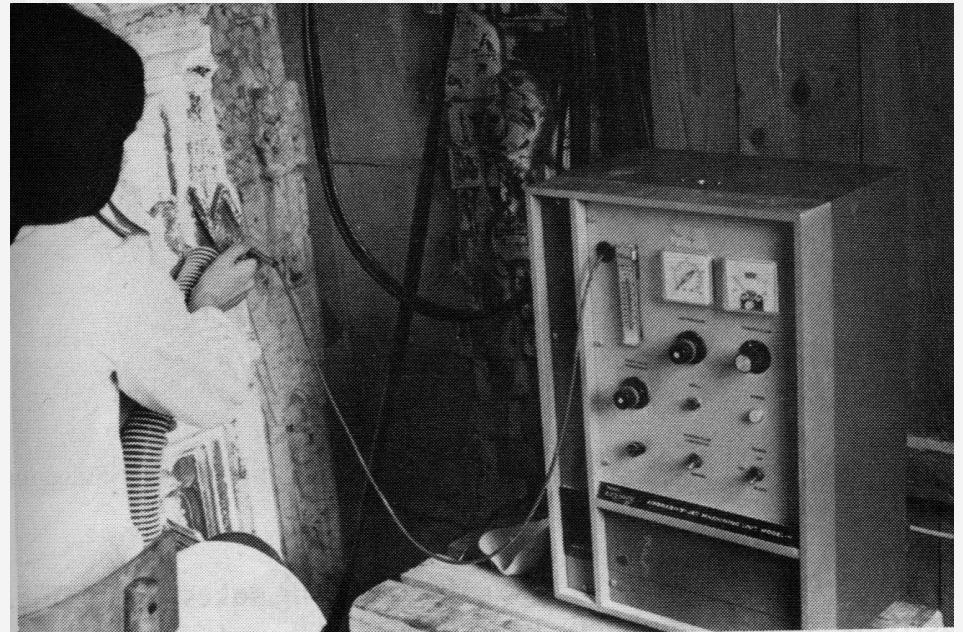
ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΤΜΟ



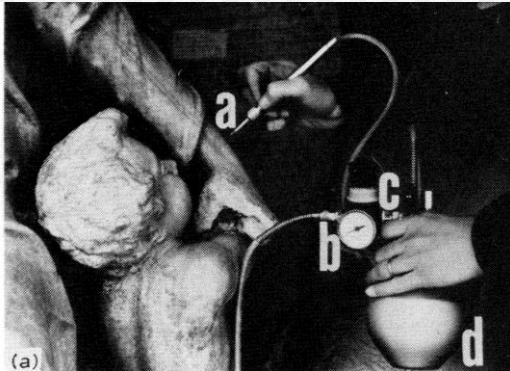
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

- Πνευματική ψηγματοβολή
- Υγρή ψηγματοβολή
- Μικροψηγματοβολή
- Διάφορα εργαλεία

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΗ ΨΗΓΜΑΤΟΒΟΛΗ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΨΗΓΜΑΤΟΒΟΛΗ



ΜΙΚΡΟΨΗΓΜΑΤΟΒΟΛΗ



ΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

- Όξινα διαλύματα
- Αλκαλικά διαλύματα
- Σύνθετα χημικά επιθέματα, με ελεγχόμενη αντίδραση

ΣΥΝΘΕΤΑ ΧΗΜΙΚΑ ΕΠΙΘΕΜΑΤΑ

- Φορέας με ροφητικές ικανότητες (αταπουλγίτης, σηπιόλιθος, τάλκης, κυτταρίνη-α, CMC)
- Συμπλοκοποιητής (EDTA)
- Ρυθμιστές του pH (όξινα ανθρακικά άλατα του Na^+ και του NH_4^+ , όταν έχουμε αλκαλικό υπόστρωμα)
- Τασιενεργός ουσία που δρα και ως απολυμαντικό (συνήθως άλας του τεταρτοταγούς αμμωνίου)
- Νερό

Εμποτισμοί από άλατα και οξειδία μεταλλών



Εμποτισμοί από άλατα και οξειδία μετάλλων

Ειδικά για την απομάκρυνση των οξειδίων του σιδήρου, χρησιμοποιούνται ακόμα οι παρακάτω συμπλοκοποιές ουσίες:

- Οξίνα φωσφορικά διαλύματα (σύμπλοκο $[\text{FeHPO}_4]^+$)
- Οξαλικά άλατα (σύμπλοκο $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$)
- Σαλικυλικά άλατα (σύμπλοκο $[\text{Fe}(\text{OC}_6\text{H}_4\text{COO})_3]^{3-}$)

Για τις κηλίδες των οξειδίων του σιδήρου χρησιμοποιούνται επίσης, υδατικό διάλυμα γλυκερίνης και όξινου κιτρικού νατρίου, ή θειοθειικού νατρίου, ή κιτρικού καλιονατρίου με ή χωρίς σιδηροκυανιούχο κάλιο²⁼⁶.

Οι λεκέδες από άλατα του χαλκού απομακρύνονται με διαλύματα ή πάστες:

- Αιθυλενοδιαμινοτετραοξικού νατρίου και ρυθμιστικού διαλύματος χλωριούχου αμμωνίου-αμμωνίας (pH=10).
- Υδροξειδίου του αργιλίου ή χλωριούχου αμμωνίου και αμμωνίας
- Κυανιούχου καλίου, που είναι όμως δηλητηριώδες.

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΙ ΜΕ LASER

- Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation (LASER)
- Ενίσχυση Φωτός με Εξαναγκασμένη Εκπομπή Ακτινοβολίας

Ιδιότητες της ακτινοβολίας Laser

- Μονοχρωματική
- Έχει κατευθυντικότητα
- Έχει λαμπρότητα
- Έχει μεγάλο βαθμό συμφωνίας

Τα μέρη που αποτελούν ένα τυπικό σύστημα Laser

- Οπτική κοιλότητα
- Ενεργό υλικό (στερεό, υγρό, αέριο ή και πλάσμα)
- Μηχανισμός διέγερσης ή άντλησης
- Δεύτερο σύστημα Laser
- Μηχανισμός ψύξης
- Σύστημα εξόδου της ακτινοβολίας

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΙ ΜΕ LASER



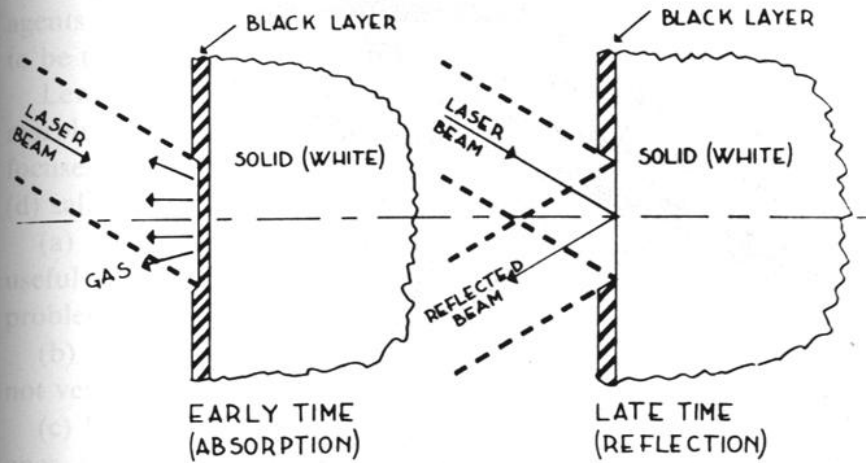
Παράμετροι που ελέγχουν το αποτέλεσμα και πρέπει να ρυθμισθούν

- Πυκνότητα ενέργειας ($F=E/S$)
- Απόσταση συγκεντρωτικού φακού, στη έξοδο της δέσμης, από την επιφάνεια
- Διάρκεια του παλμού (nsec)
- Συχνότητα των παλμών (Hz)
- Αριθμός των παλμών που θα δεχθεί κάθε σημείο

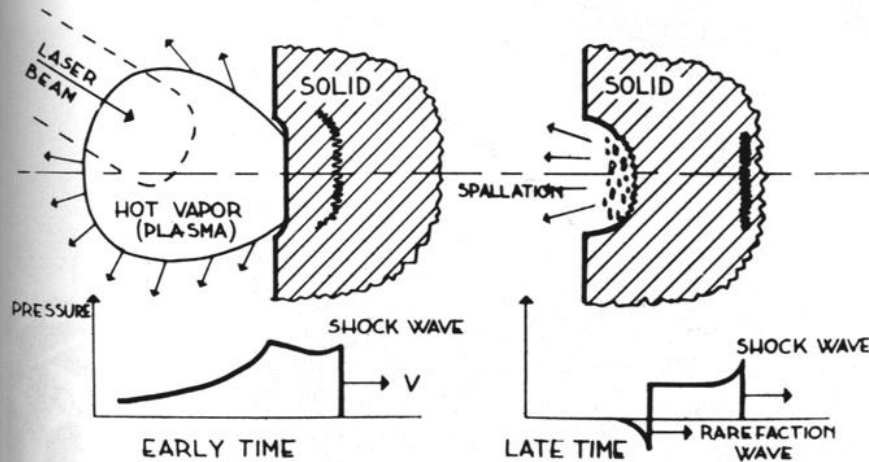
Αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας Laser με την ύλη

- Αποδόμηση (ablation)
 - Φωτοχημική αποδόμηση
 - Φωτοθερμική αποδόμηση
- Ρυθμός αποδόμησης W
(ablation rate, $\mu\text{m}/\text{pulse}$)
- Ενεργειακό κατώφλι αποδόμησης F_{th}
(ablation threshold, J/cm^2)
- Κατώφλι καθαρισμού F
(cleaning ablation threshold)

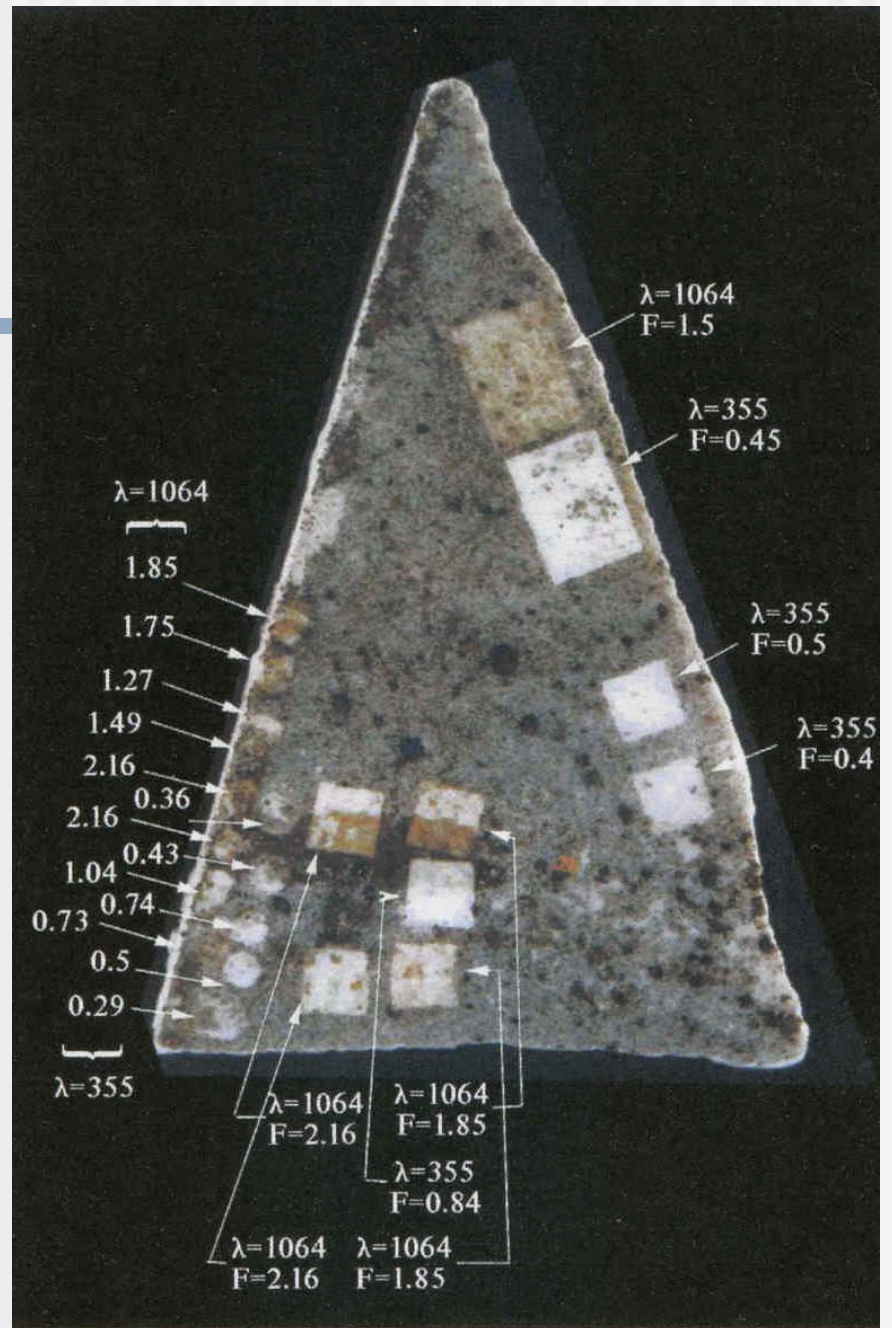
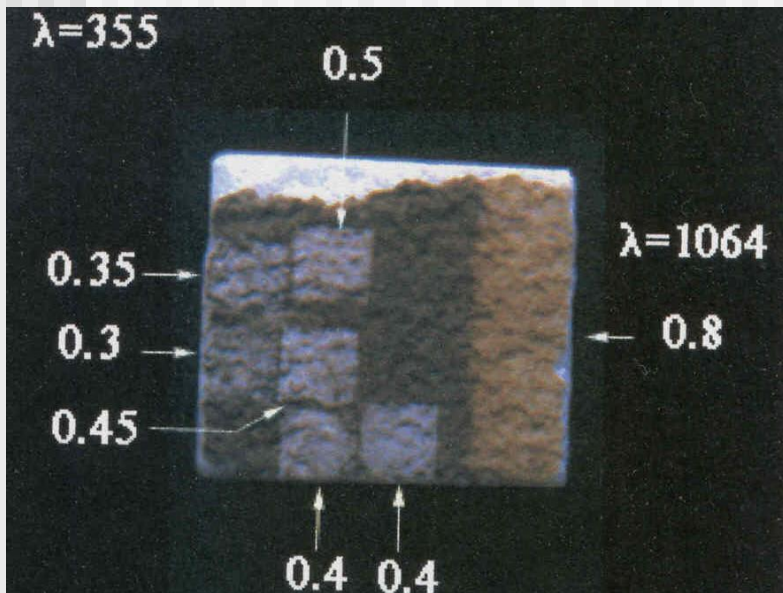
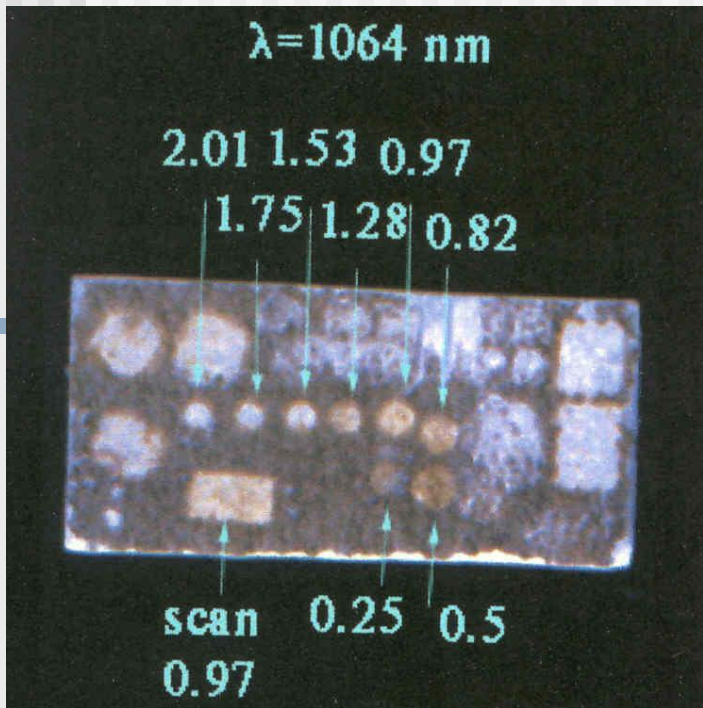
A
EFFECT OF LONG LASER PULSES (10^{-3} SEC)
ON MATERIAL SURFACES
 ($P_A \sim 10^4$ W/cm²)



B
EFFECT OF VERY SHORT LASER PULSES (10^{-8} SEC.)
ON MATERIAL SURFACES
 ($P_A \sim 10^9$ W/cm²)



**Η ΔΡΑΣΗ ΤΟΥ
 LASER
 ΣΧΗΜΑΤΙΚΑ**



Πλεονεκτήματα μεθόδου

- Απομάκρυνση ποικίλων επικαθίσεων
- Απομακρύνει ως το επιθυμητό όριο (αυτοπεριορισμός)
- Απόλυτος έλεγχος ως προς την έκταση - περιοχή του καθαρισμού
- Εν ξηρώ, χωρίς υπολείμματα
- Ασφαλής για τον χρήστη

Μειονεκτήματα της μεθόδου

- Άγνωστες επιπτώσεις στο υπόστρωμα από π.χ. φωτομηχανικές δράσεις
- Δυσχρωματισμοί από συγκεκριμένες ακτινοβολίες (IR)
- Άγνωστες μακροχρόνιες επιπτώσεις από τον καθαρισμό με laser

Παραδείγματα Καθαρισμών

- Παρθενώνας
- Ζάππειο
- Τράπεζα Ελλάδος

Η ΖΩΦΟΡΟΣ ΤΟΥ ΠΑΡΘΕΝΩΝΑ



Φωτ. 13. ΔΥΤΙΚΗ ΖΩΦΟΡΟΣ. Λίθος Δ.Ζ.ΧV. (Φωτ. Σ. Μαυρομμάτης)

Καθαρισμός – αξιολόγηση των μεθόδων

- Στόχος
- Κριτήρια επί τη βάσει των οποίων αξιολογούνται οι μέθοδοι
- Δοκιμές \Rightarrow αποτελέσματα \Rightarrow επεξεργασία (σύγκριση) των αποτελεσμάτων σε σχέση με τα κριτήρια

Στόχος

- Απομάκρυνση των επικαθίσεων και αποκάλυψη της αρχικής επιφάνειας και των λεπτομερειών της, όπως και των ιστορικών μαρτυριών (ίχνη αρχαίων εργαλείων, χρωστικές, χαράγματα, έγχρωμα επιφανειακά στρώματα)



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΧΑΡΤΟΥ ΡΑΦΗΣΗΣ

- ΕΠΙΛΕΡΜΙΔΑ¹
- ΕΠΙΣΤΡΩΜΑ¹

0 0,1 0,5 m

Χηρτ. Εργασίας επιφανειακού στρώματος

Α.Ζ.ΙV

Οπ. Κατερίνη Φροντιστικών Πη. 26/10/01

¹ Στις περιοχές που καλύπτονται από χροστίμα με αντεκροστούλλωσεις, δεν ήταν πάντα σωστή η χαρακτηριστική του υποστρώματος.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΧΑΡΤΟΥ ΡΑΦΗΣΗΣ

- ΕΠΙΧΛΩΣΤΕΣ ΑΙΘΑΛΗΣ
- ΟΜΟΧΡΟΜΟΦΗ ΚΡΟΥΣΤΑ ΜΕ ΚΑΛΗ ΠΡΟΦΗΓΗ ΣΤΙΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΞΧΡΩΜΩΣΕΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ
- ΜΑΥΡΗ ΚΡΟΥΣΤΑ ΜΕ ΑΝΑΚΡΥΣΤΑ-ΑΙΘΕΡΕΣ

0 0,1 0,5 m

Χηρτ. Επισκοπικός

Α.Ζ.ΙV

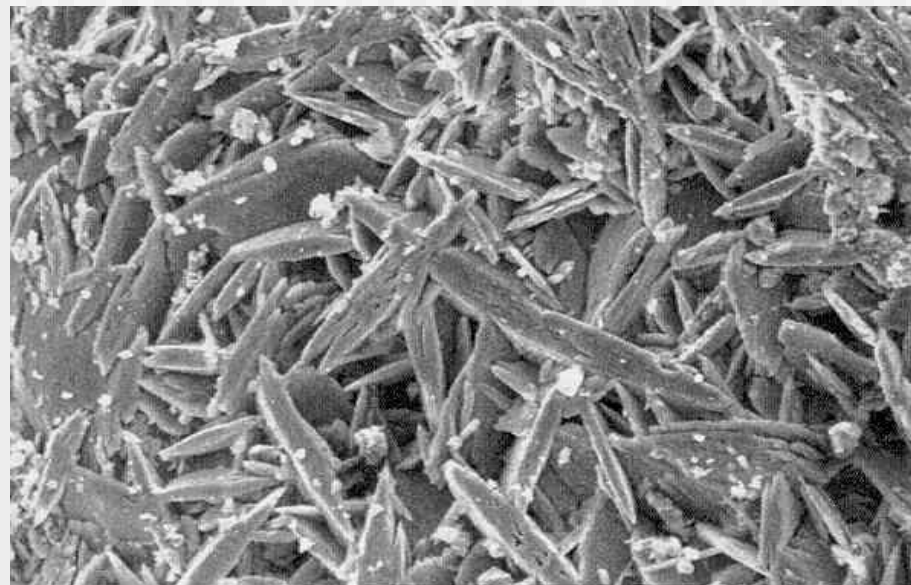
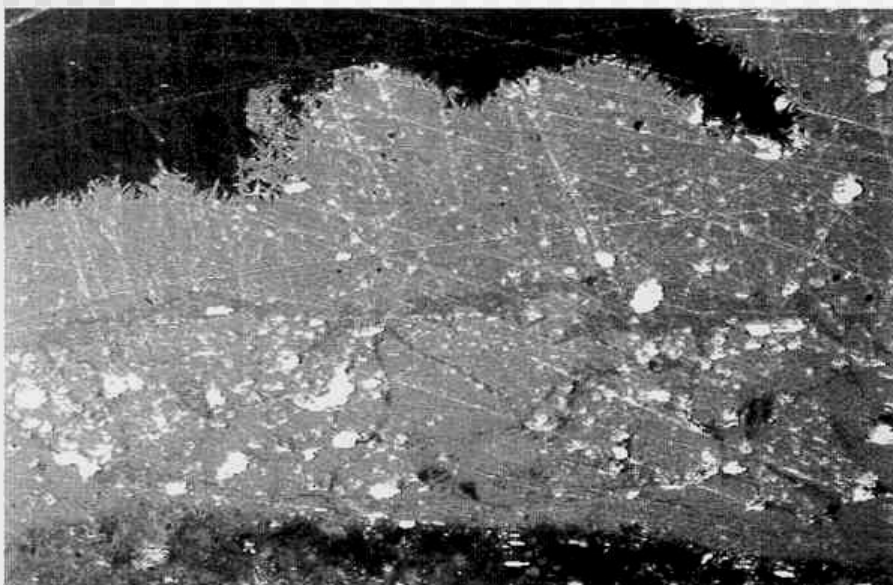
Οπ. Κατερίνη Φροντιστικών Πη. 22/10/2001



Φωτ. 31. Λίθος Δ.Ζ.Υ.ΙΙΙ. Επικαθίσεις αιθάλης, ομοιόμορφη, συμπαγής κρούστα και κρούστα με ανακρυσταλλώσεις σε έγχρωμα επιφανειακά στρώματα. (Φωτ. Σ. Μαυρομαμάτης)



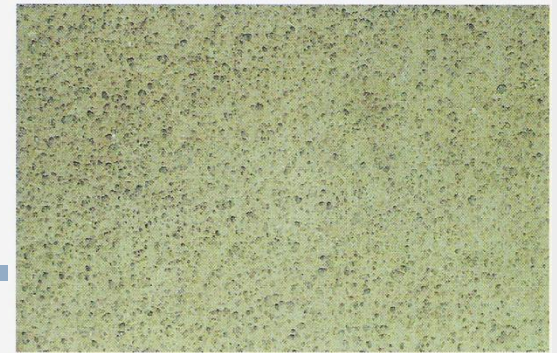
Φωτ. 29. Λίθος Δ.Ζ.Χ. Επικαθίσεις αιθάλης, ομοιόμορφη, συμπαγής κρούστα και κρούστα με ανακρυσταλλώσεις σε έγχρωμα επιφανειακά στρώματα. (Φωτ. Σ. Μαυρομαμάτης)



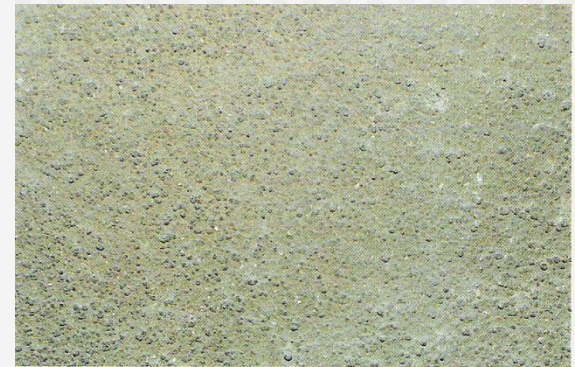
Χαλαρές επικαθίσεις

ομοιόμορφη συμπαγής
κρούστα

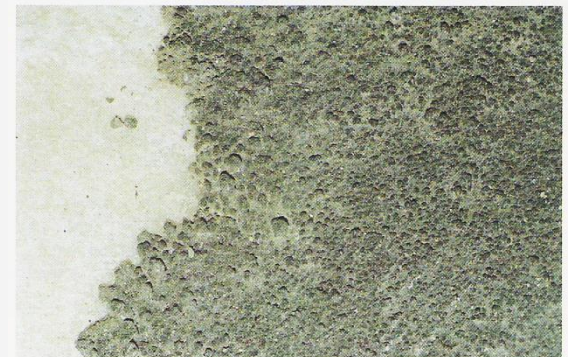
κρούστα με ανακρυσταλλώσεις



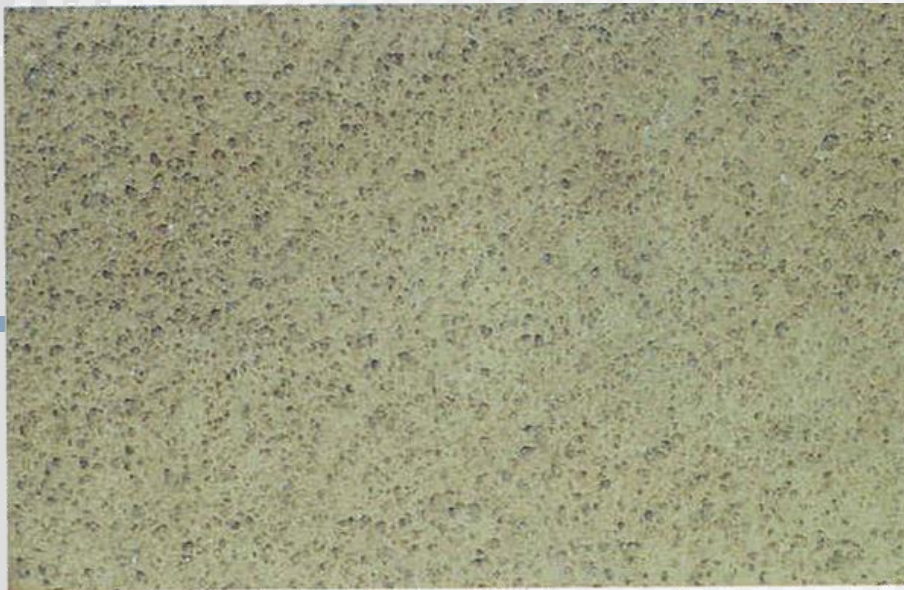
Φωτ. 121. Γείσο 14001/6. Επικαθίσεις αιθάλης σε μάρμαρο.



Φωτ. 122. Γείσο 14001/6. Κρούστα με καλή πρόσφυση στην επιφάνεια του μαρμάρου.



Φωτ. 123. Γείσο 14001/6. Κρούστα με ανακρυσταλλώσεις.



Φωτ. 121. Γείσο 14001/δ. Επικαθίσεις αιθάλης σε μάρμαρο.

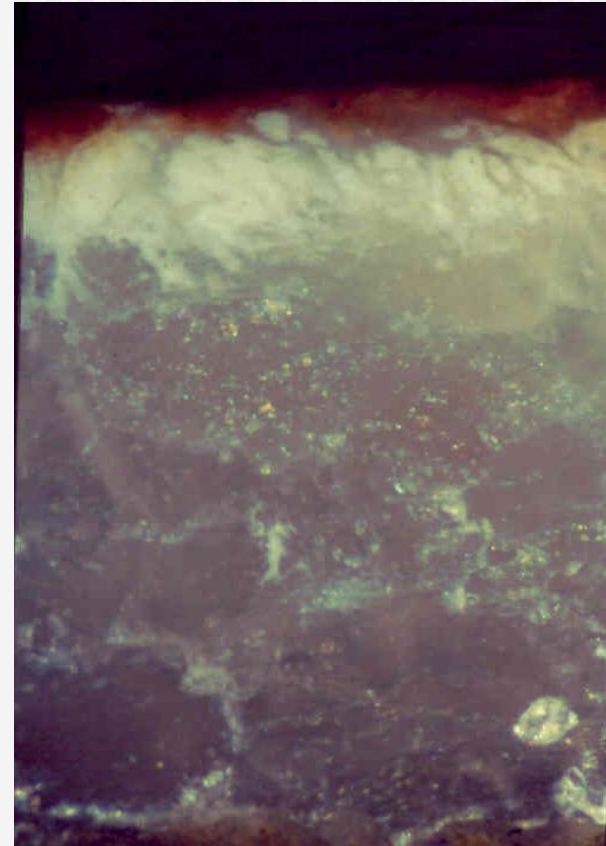
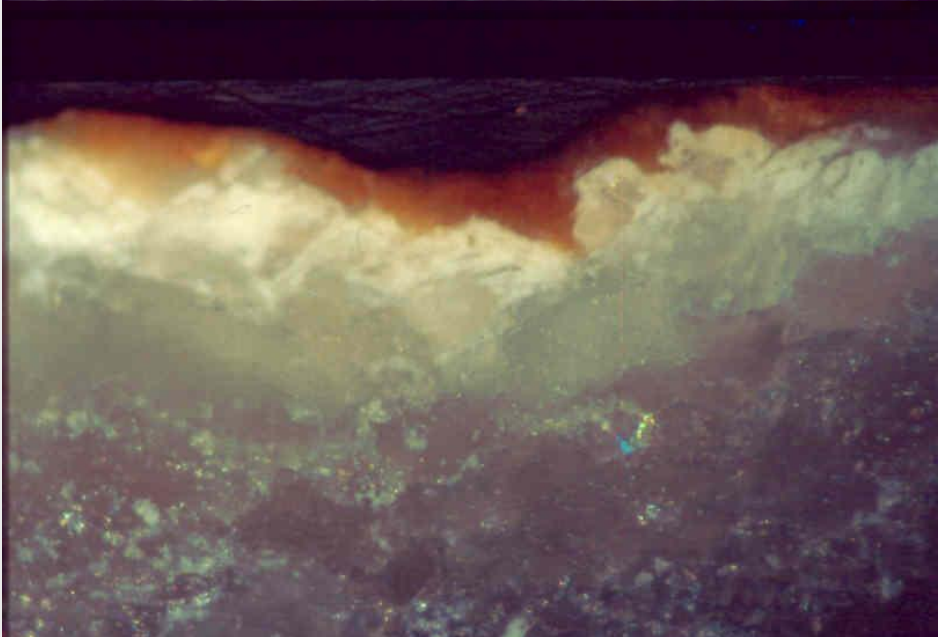


Φωτ. 122. Γείσο 14001/δ. Κρούστα με καλή πρόσφυση στην επιφάνεια του μαρμάρου.

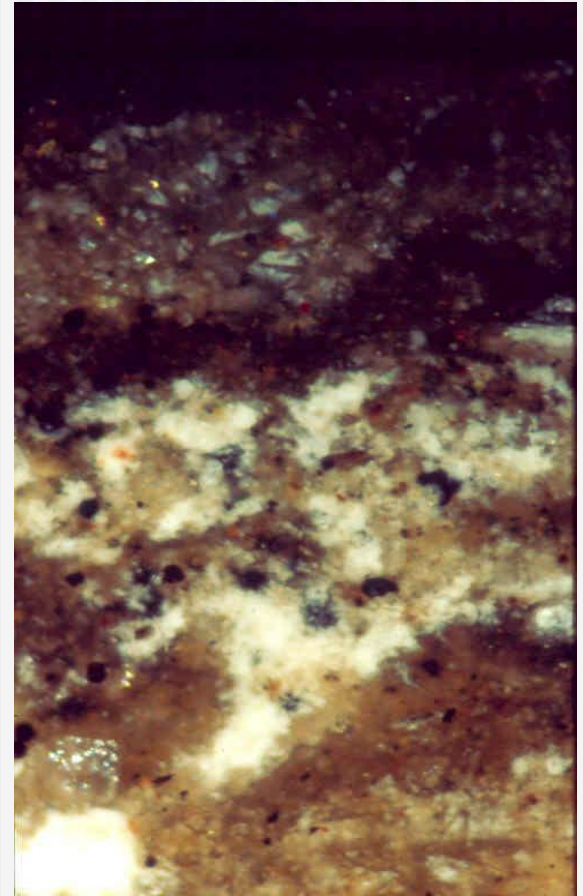
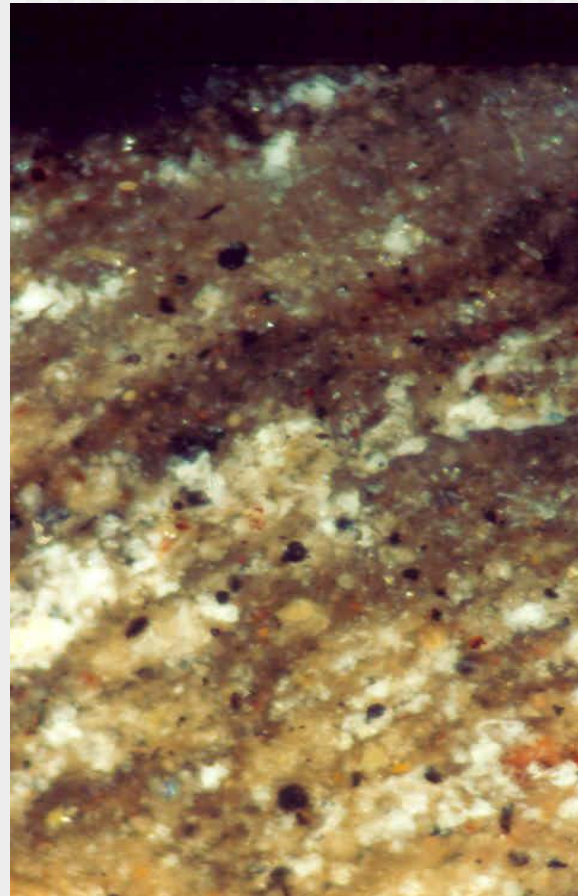


Φωτ. 123. Γείσο 14001/δ. Κρούστα με ανακρυσταλλώσεις.

ΕΠΙΚΑΘΗΣΕΙΣ ΑΙΘΑΛΗΣ



ΚΡΟΥΣΤΑ ΜΕ ΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΕΙΣ ΣΕ ΕΓΧΡΩΜΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ



Οι μέθοδοι καθαρισμού

- Μικροψηγματοβολή
- Επιθέματα με διάλυμα κορεσμένο σε ανθρακικό ασβέστιο
- Αναστροφή της γύψου
- Laser (Q-switched Nd:YAG).

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΕΠΙΘΕΜΑΤΑ

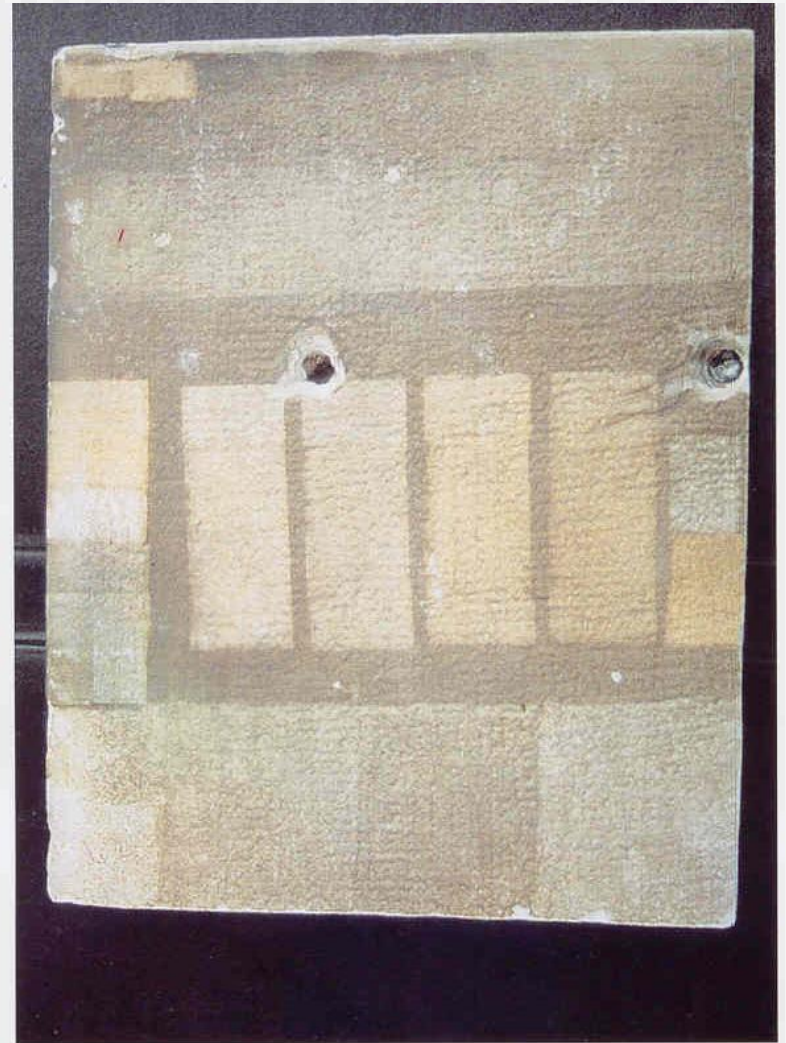
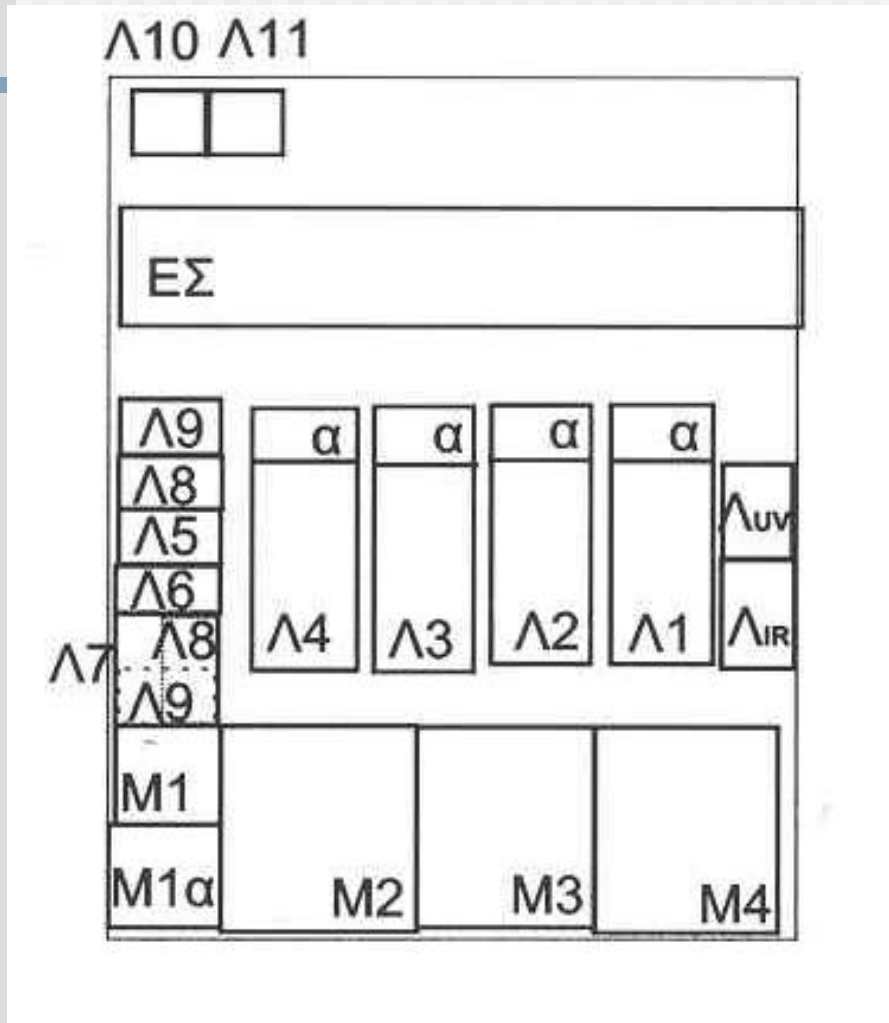


Φωτ. 52. Δοκίμιο Δ.Ζ.ΧΙΙ.3. Κατά τον καθαρισμό με τα επιθέματα.



Φωτ. 53. Δοκίμιο Δ.Ζ.ΧΙΙ.3. Μετά τον καθαρισμό με τα επιθέματα τάλκη, σεπιόλιθου και μπεντονίτη.

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΙ ΜΕ LASER, ΜΙΚΡΟΨΗΓΜΑΤΟΒΟΛΗ ΚΑΙ ΕΠΙΘΕΜΑΤΑ ΣΗΠΙΟΛΙΘΟΥ



Φωτ. 62. Δοκίμιο Δ.Ζ.ΧΙ.γ. Η επιφάνεια μετά τον καθαρισμό με λέιζερ, μικροψηγματοβολή και επίθεμα σελιόλιθου.

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

- Εξέταση της επιφάνειας με τη βοήθεια μικροσκοπικών και αναλυτικών μεθόδων
- Έλεγχος της τραχύτητας
- Μέτρηση των χρωματικών παραμέτρων
- Εξέταση της ροφητικής ικανότητας της επιφάνειας μετά τον καθαρισμό
- Έλεγχος της μακροχρόνιας συμπεριφοράς της

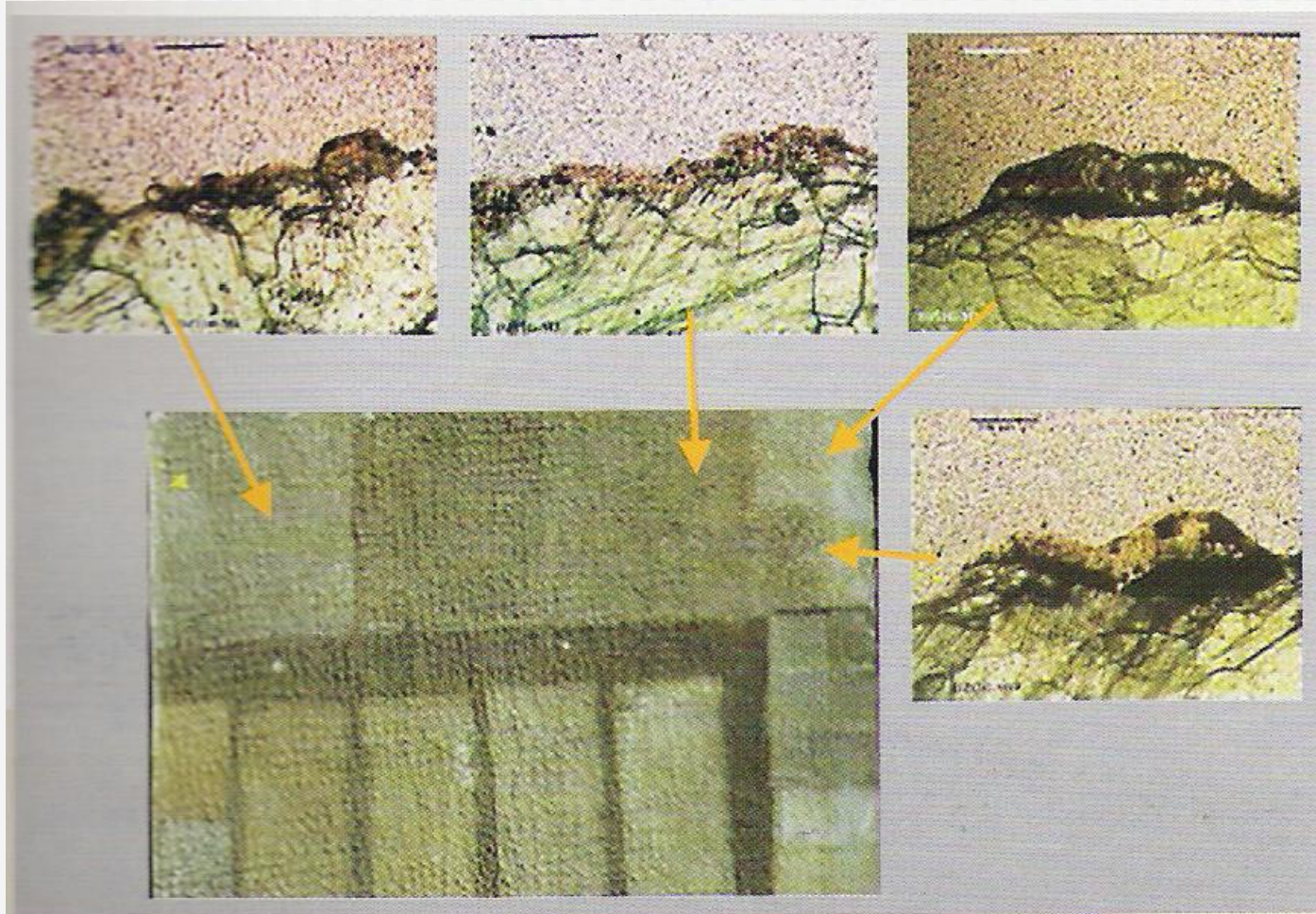
Φυσικοχημικές τεχνικές εξέτασης και ανάλυσης

- Στερεομικροσκόπιο
- Πολωτικό μικροσκόπιο
- Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο – μικροαναλυτής
- Περιθλασιμετρία ακτίνων X
- Μέτρηση χρωματικών παραμέτρων
- Θάλαμος αλατονέφωσης (τεχνητής γήρανσης)

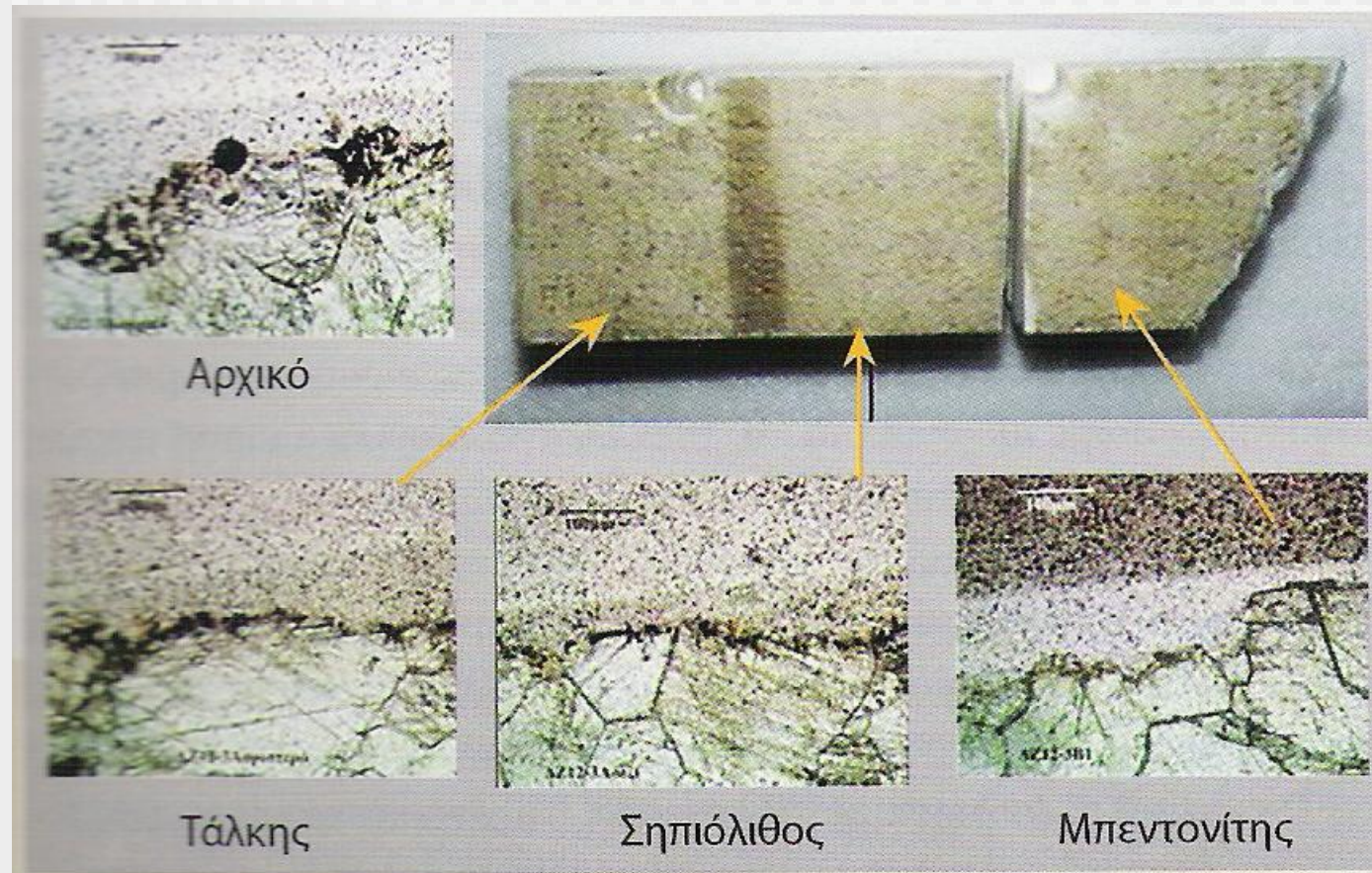
Καθορισμός της επιφάνειας αναφοράς

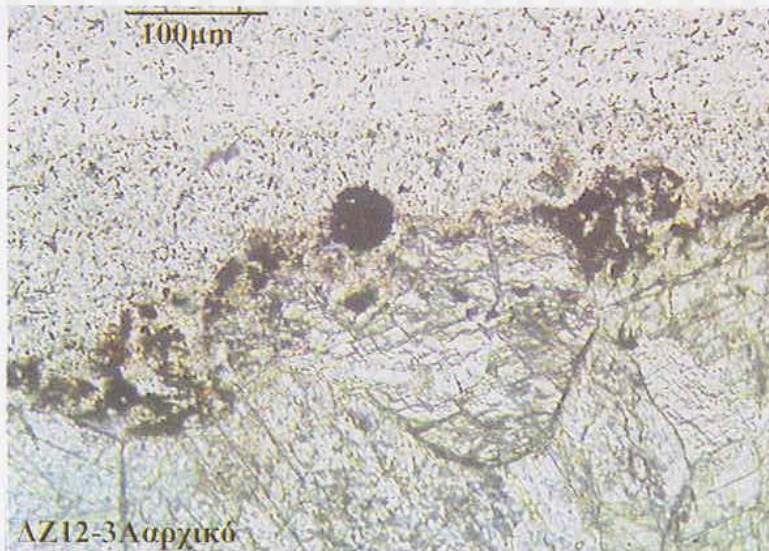
	L*	a*	b*
Περιοχές έκπλυσης της δυτικής ζωφόρου	70,44	2,78	13,3
Λίθοι νότιας ζωφόρου Μουσείου Ακροπόλεως	76,50	3,60	15,6
Λίθοι βόρειας ζωφόρου Μουσείου Ακροπόλεως	70,32	4	17
Δυτικοί κίονες Παρθενώνα	68,4	3,20	13
Δ.Ζ.Ι και Δ.Ζ.ΙΙ Βρετανικού Μουσείου	77,17	1,34	9,80
Νέο μάρμαρο	80,80	1,10	4,90

Αποτελέσματα μικροψηγματοβολή

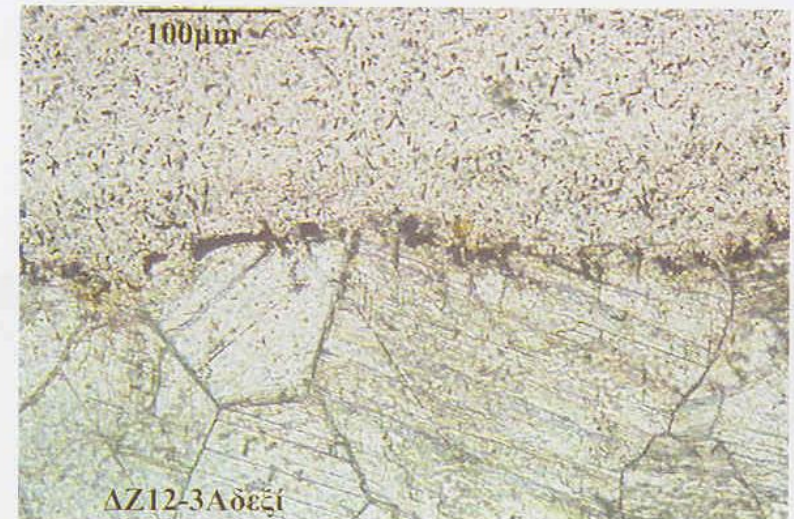


Αποτελέσματα ' κορεσμένα επιθέματα αργίλων

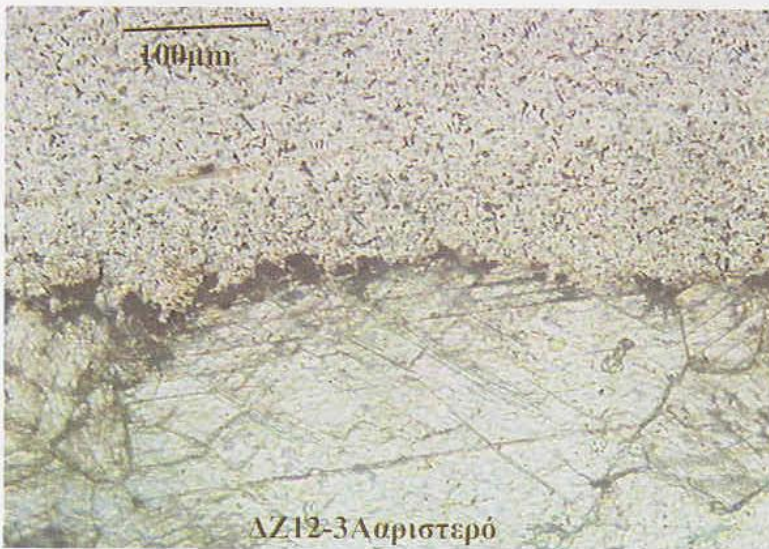




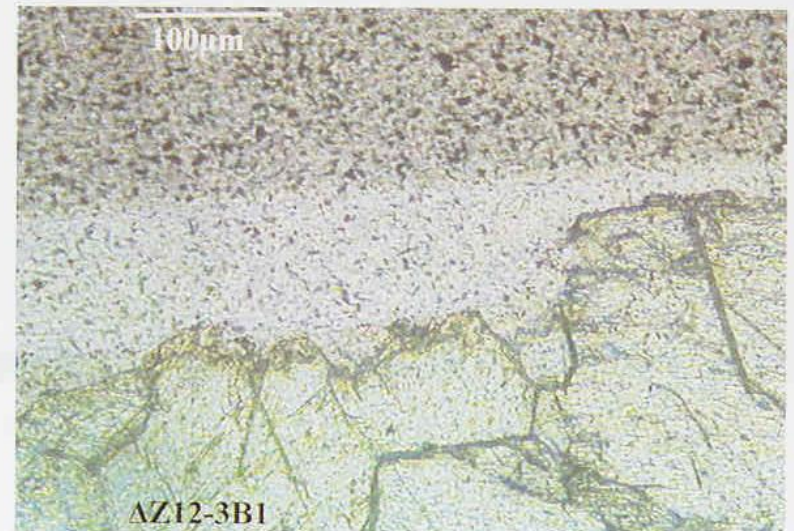
Φωτ. 58. Δοκίμιο Δ.Ζ.ΧΠ.3. Λεπτομέρεια της αρχικής επιφάνειας. (Πολωτικό μικροσκόπιο). (Φωτ. Ε. Δήμου)



Φωτ. 59. Δοκίμιο Δ.Ζ.ΧΠ.3. Μετά τον καθαρισμό με τάλκη. (Πολωτικό μικροσκόπιο). (Φωτ. Ε. Δήμου)

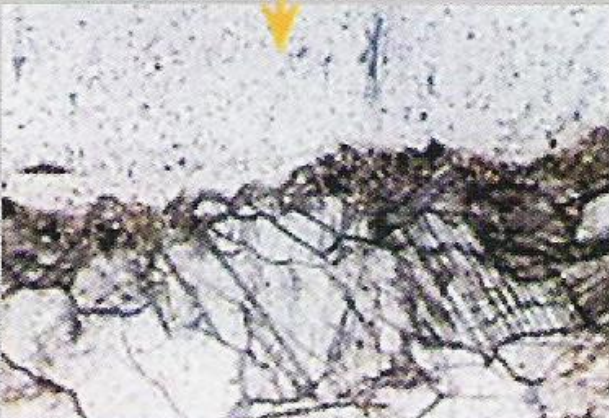


Φωτ. 60. Δοκίμιο Δ.Ζ.ΧΠ.3. Μετά τον καθαρισμό με σεπιόλιθο. (Πολωτικό μικροσκόπιο). (Φωτ. Ε. Δήμου)



Φωτ. 61. Δοκίμιο Δ.Ζ.ΧΠ.3. Μετά τον καθαρισμό με μπεντονίτη. (Πολωτικό μικροσκόπιο). (Φωτ. Ε. Δήμου)

Αποτελέσματα αναστροφή γυψοποίησης

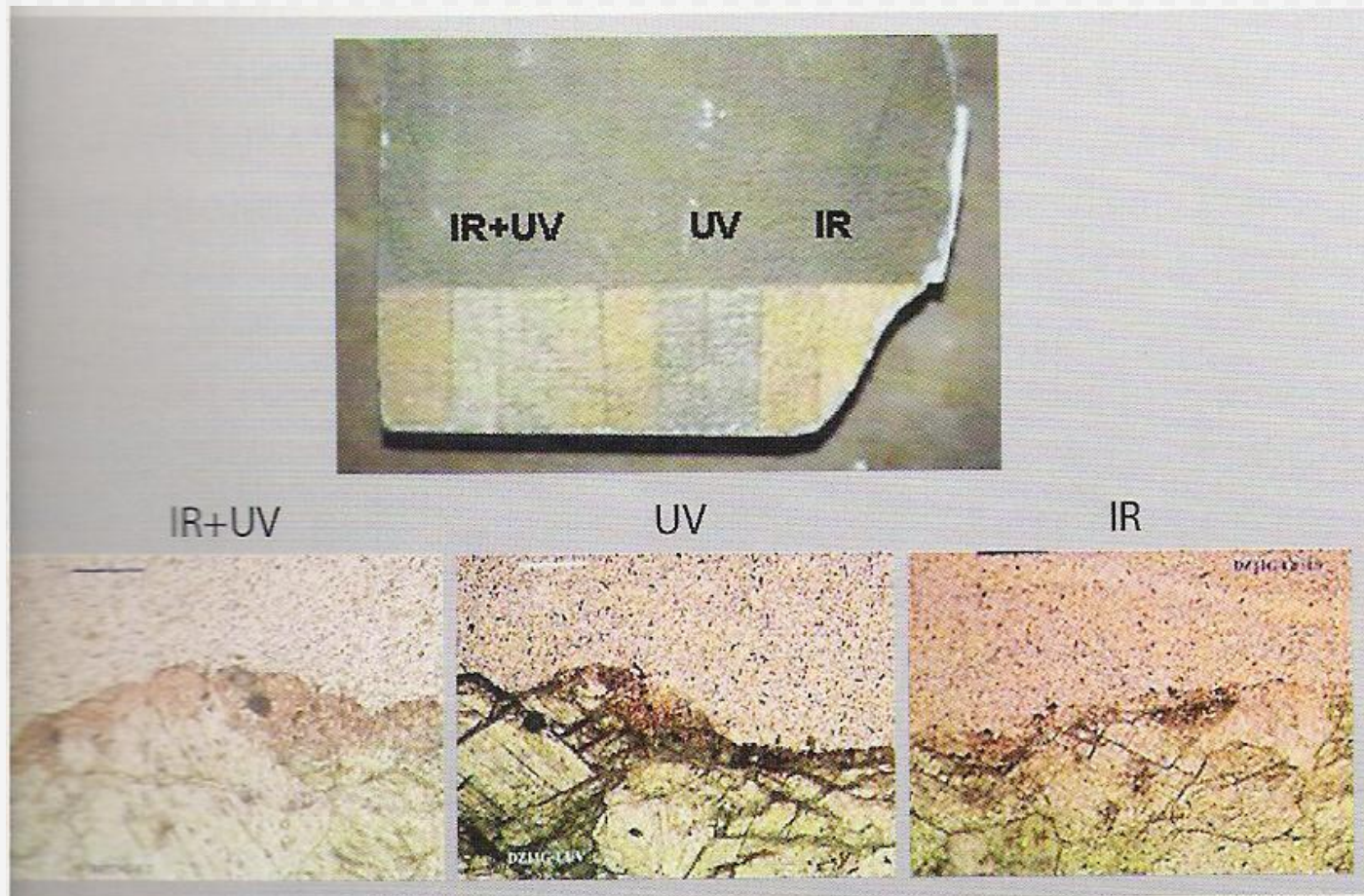


αρχικό



μετά από 52 εφαρμογές

Αποτελέσματα Laser



Εφαρμογή της μεθόδου



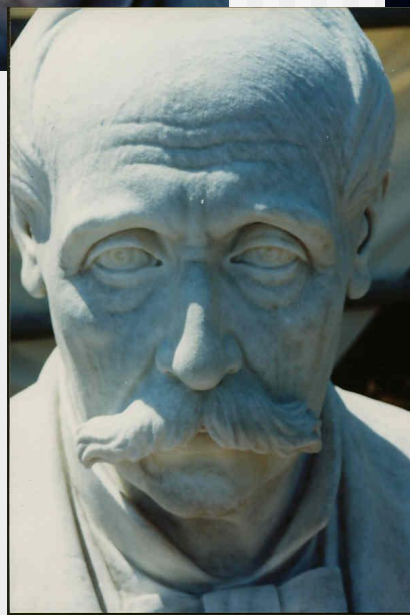
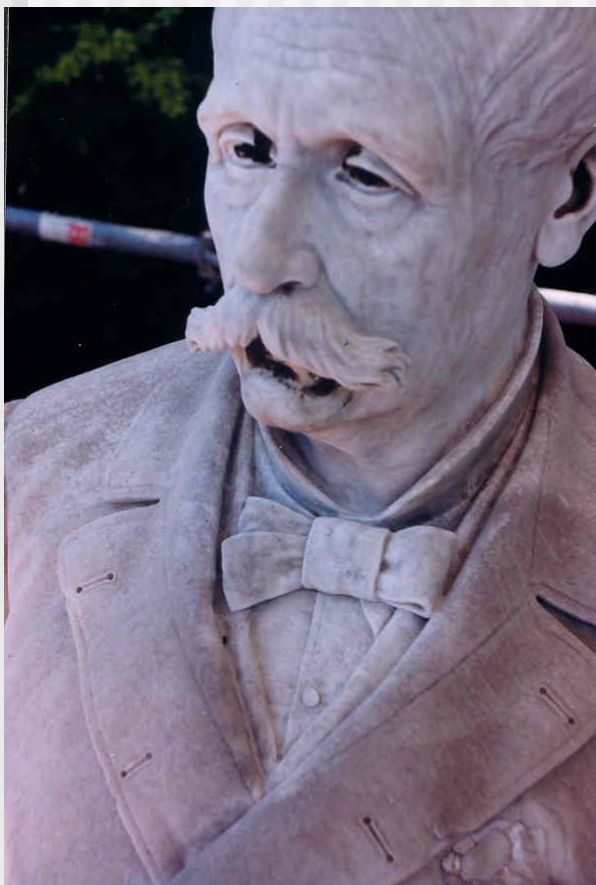
Μακροσκοπικά αποτελέσματα



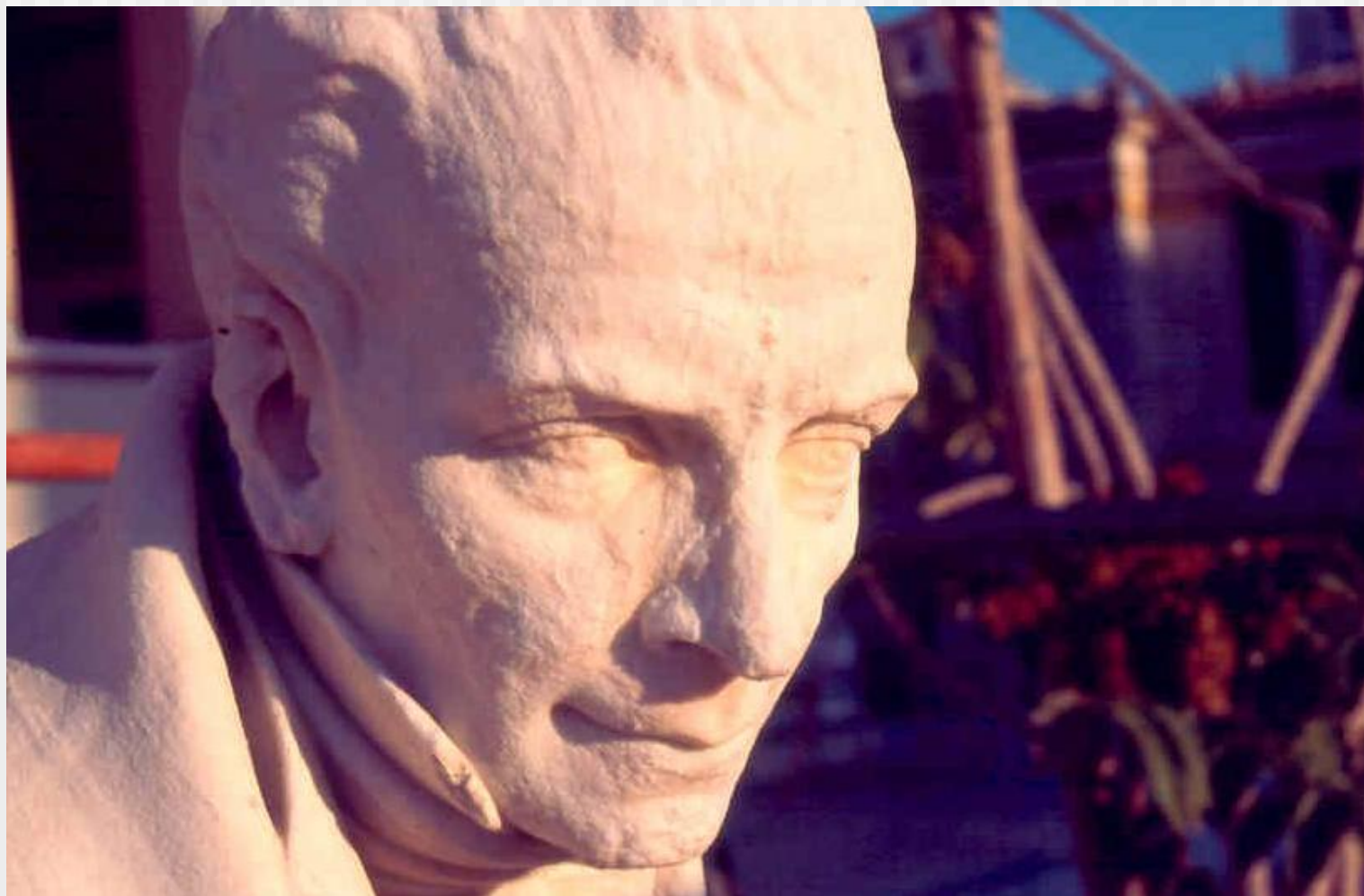
Ίχνη χρώματος

Ίχνη εργαλείων

ΤΑ ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΓΛΥΠΤΑ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ



ΕΣΦΑΛΜΕΝΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΥΔΡΟΒΟΛΗ



ΕΣΦΑΛΜΕΝΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΥΔΡΟΒΟΛΗ

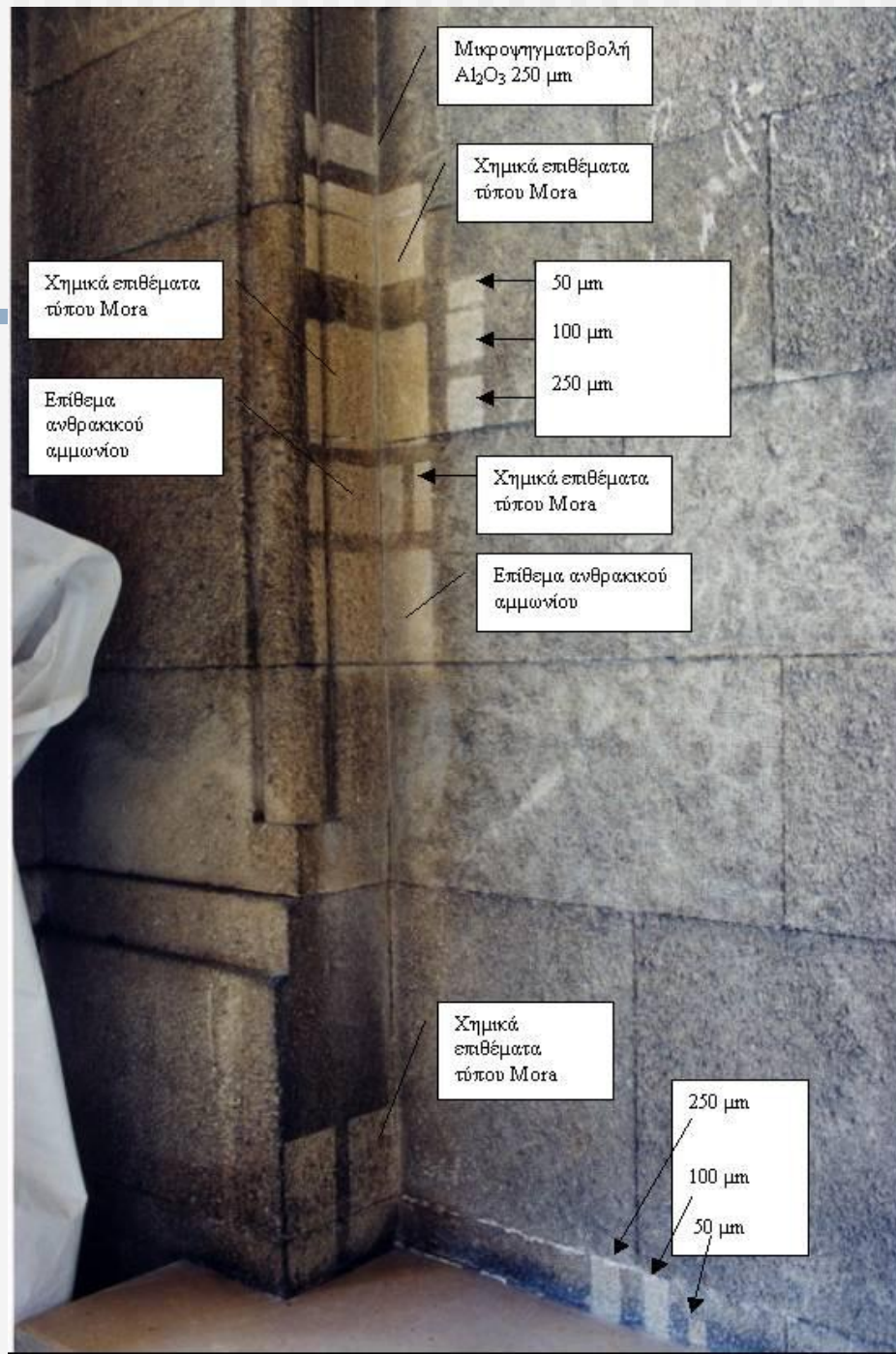


ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΚΑΘΗΣΕΩΝ ΣΕ ΠΩΡΟΛΙΘΟ

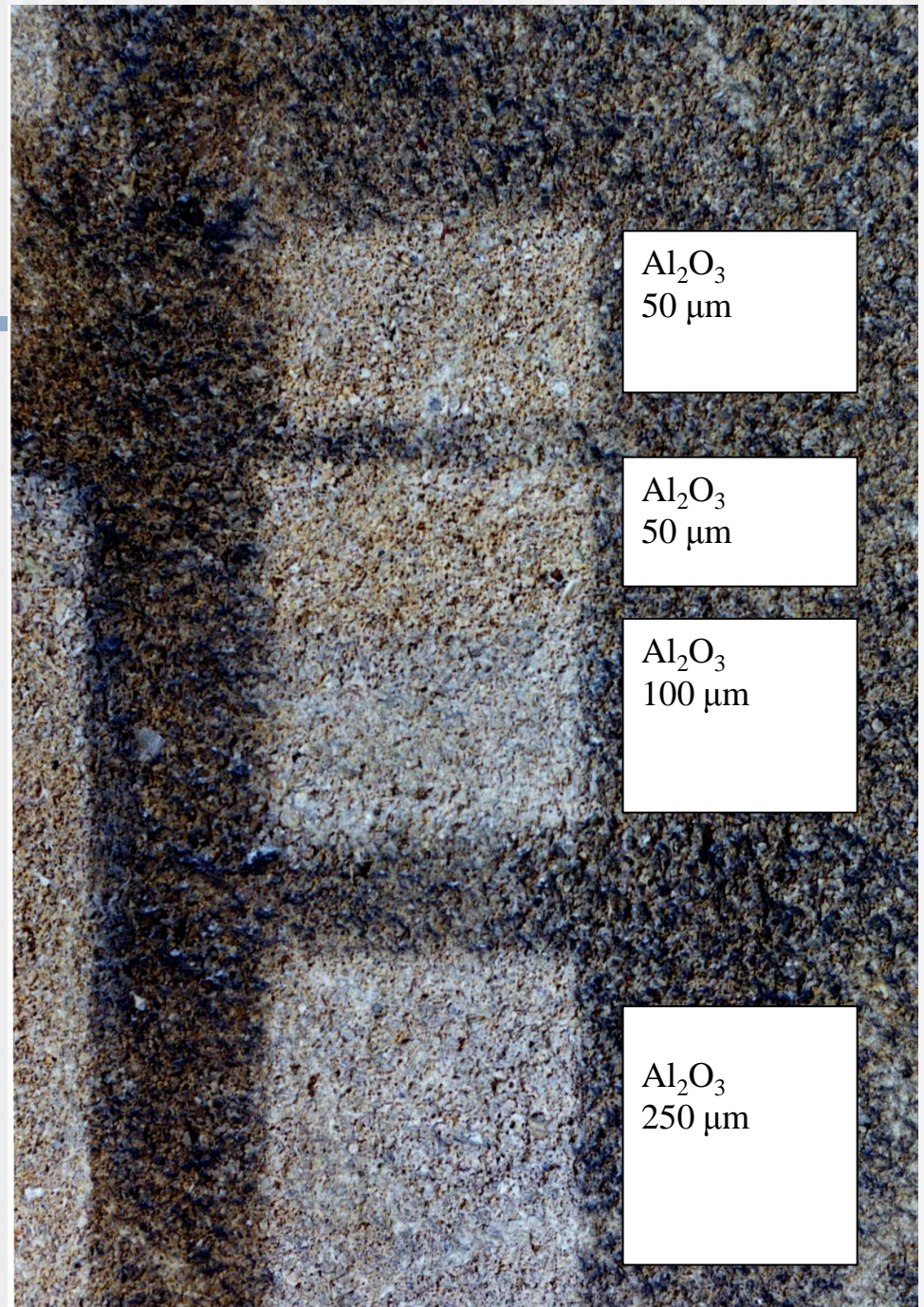
επιθέματα



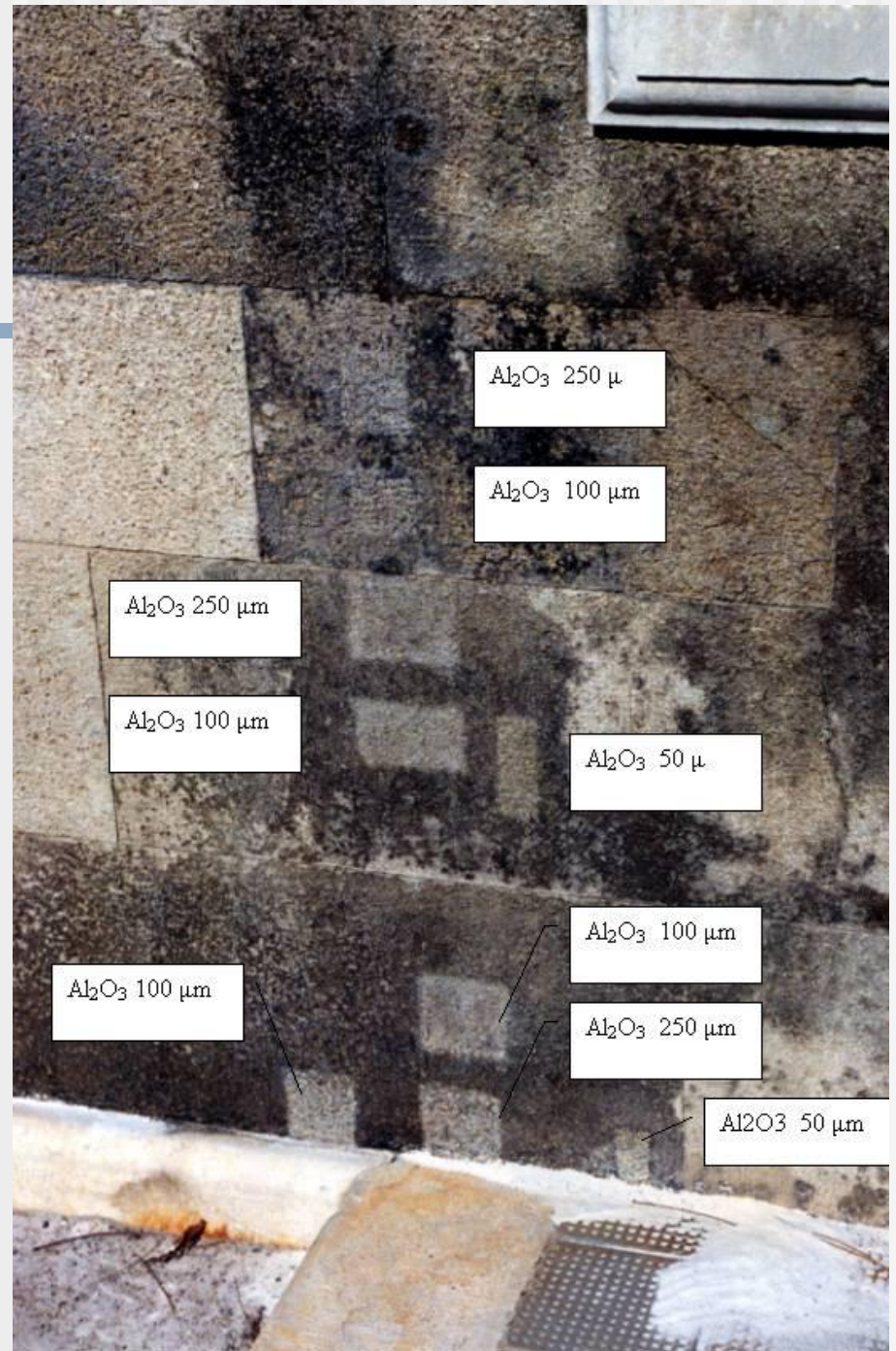
ΧΑΛΑΡΕΣ ΕΠΙΚΑΘΗΣΕΙΣ ΑΙΘΑΛΗΣ ψηγματοβολή



**ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΧΑΛΑΡΩΝ
ΕΠΙΚΑΘΗΣΕΩΝ ΜΕ
ΜΙΚΡΟΨΗΓΜΑΤΟΒΟΛΗ**



ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΚΑΘΗΣΕΙΣ



**ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ
ΑΝΑΠΤΥΞΕΩΝ ΜΕ ΒΙΟΚΤΟΝΑ**



ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ ΤΩΝ ΛΙΘΩΝ

Η φθορά των λίθων προκαλεί:

- Μείωση της συνοχής τους
- Υποβάθμιση της μηχανικής αντοχής
- Απώλεια υλικού- απομείωση των επιφανειών τους.

Οι επεμβάσεις συντήρησης αποσκοπούν:

- Αφ' ενός στη στερέωση του διαβρωμένου τμήματος
- Αφ' ετέρου στην προστασία του υγιούς με την έννοια της επιβράδυνσης του φαινομένου διάβρωσης.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ

- Αποκατάσταση της συνοχής μεταξύ των κόκκων (για κλαστικά ιζήματα, όπως οι πωρόλιθοι) και των κρυστάλλων (π.χ. μάρμαρα)
- Βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων των λίθων
- Ενίσχυση της ανθεκτικότητας έναντι των συγκεκριμένων εκάστοτε παραγόντων φθοράς
- Συμβατότητα ως προς τα αυθεντικά υλικά δομής.

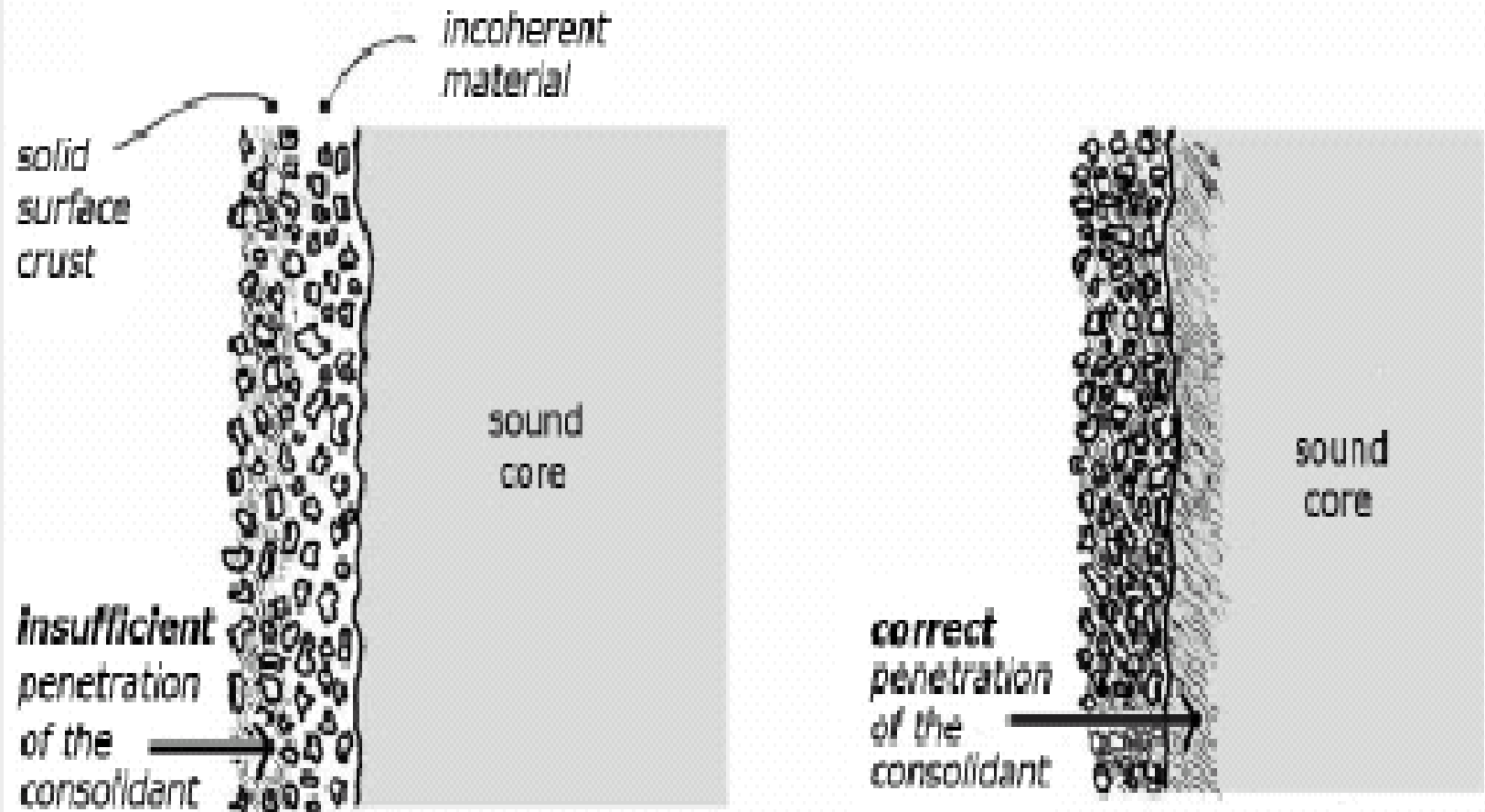
ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

- Ανθεκτικότητα στο χρόνο
- Ικανοποιητικό βάθος εμποτισμού
 - Ιξώδες στερεωτικού μέσου
 - Πορώδες λίθου
- Αποδεκτή μεταβολή των χαρακτηριστικών της μικροδομής και του συντελεστή διάχυσης της υγρασίας
- Φυσικομηχανική συμβατότητα
- Αποφυγή αισθητικών αλλοιώσεων

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ

- ΤΥΠΟΣ ΡΕΥΣΤΟΥ (ΔΙΑΛΥΜΑ-ΑΙΩΡΗΜΑ)
- ΠΟΡΩΔΕΣ ΛΙΘΟΥ
- ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ

Το βάθος εμποτισμού



depth of penetration of a consolidant

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ

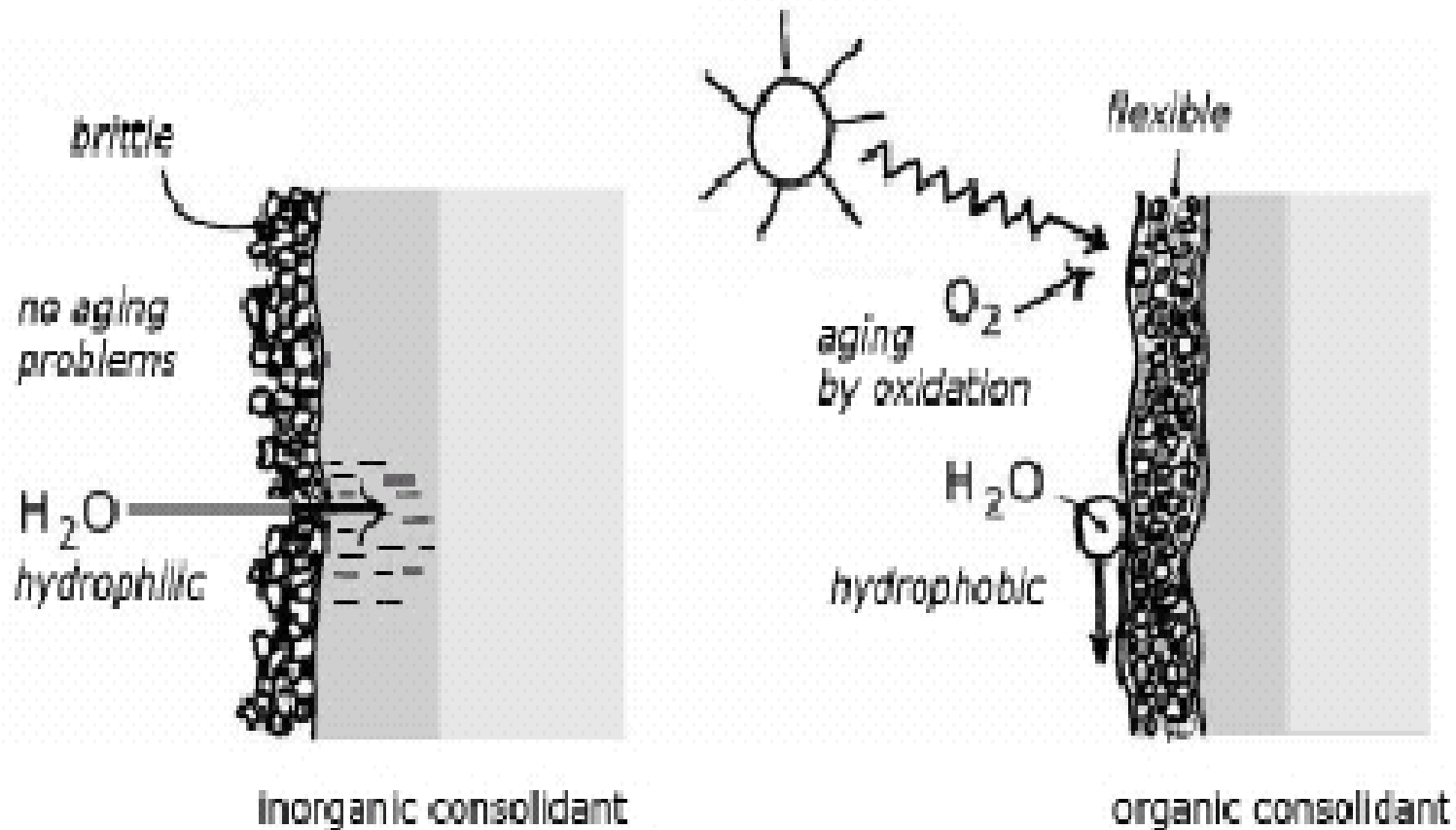
ΥΛΙΚΑ

- ΑΝΟΡΓΑΝΑ
- ΟΡΓΑΝΙΚΑ

ΤΕΧΝΙΚΕΣ

- ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕ ΕΠΑΛΕΙΨΗ
- ΨΕΚΑΣΜΟΙ
- ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ
- ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΥΠΟ ΚΕΝΟ
- ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΓΧΥΣΗ
- ΕΓΧΥΣΗ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ

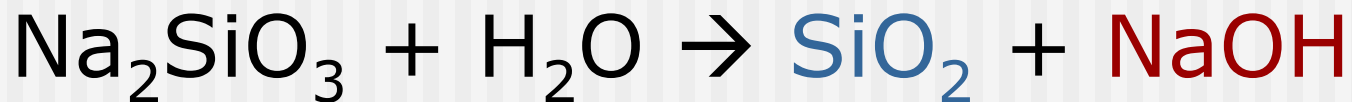
Ανόργανα – οργανικά υλικά στερέωσης



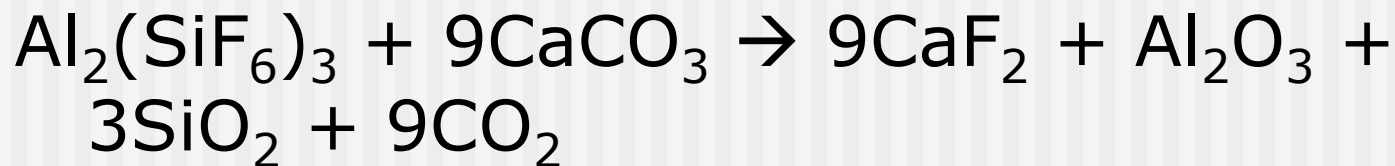
consolidation by impregnation

ΑΝΟΡΓΑΝΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

■ ΠΥΡΙΤΙΚΑ ΑΛΚΑΛΙΑ

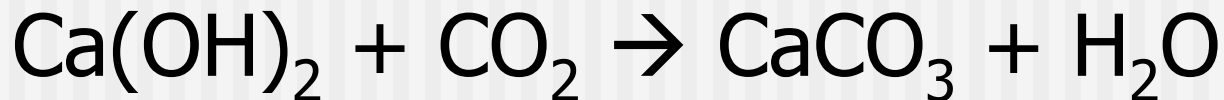


■ ΦΘΟΡΙΟΠΥΡΙΤΙΚΑ ΑΛΑΤΑ



Υδροξείδια αλκαλικών γαιών

- **Υδροξείδιο του ασβεστίου**



- **Υδροξείδια του στροντίου και του βαρίου**



Υδροξείδιο του Βαρίου

- $\text{NH}_2\text{CONH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2$
- $2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$
- $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
- $\text{Ba}(\text{OH})_2 + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{BaCO}_3$

ΔΡΑΣΗ ΑΝΟΡΓΑΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΤΙΚΩΝ

- ΜΕ ΕΠΙΤΑΞΙΑΚΗ ΑΠΟΘΕΣΗ
 - $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Ba}(\text{OH})_2$
- ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΛΙΘΟΥ
 - $\text{Al}_2(\text{SiF}_6)_3$

Οργανικά υλικά στερέωσης

- Βινυλικά πολυμερή
- Οργανικές ενώσεις του πυριτίου
- Ακρυλικά πολυμερή & συμπολυμερή
- Εποξειδικές ρητίνες
- Πολυεστέρες, πολυουραιθάνες
- Κεριά κλπ

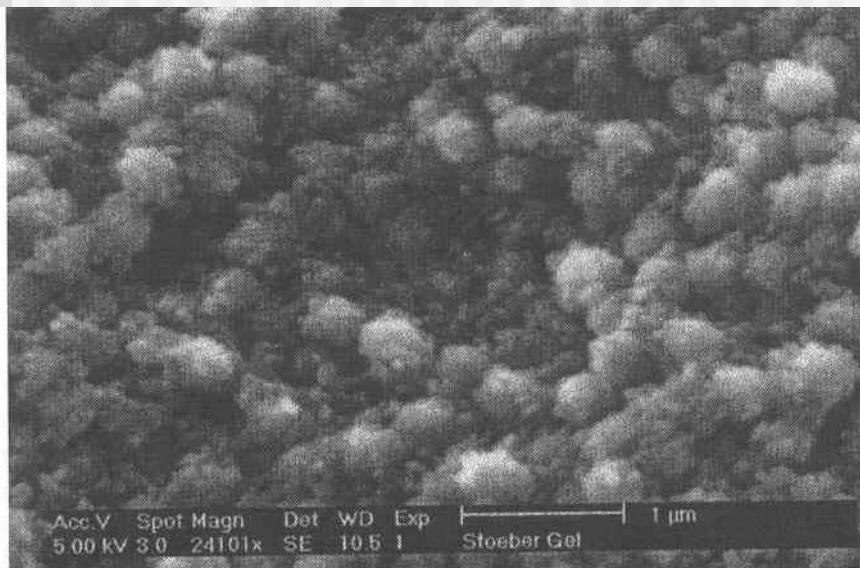


Fig. 2 Silica xerogel containing silica particles.

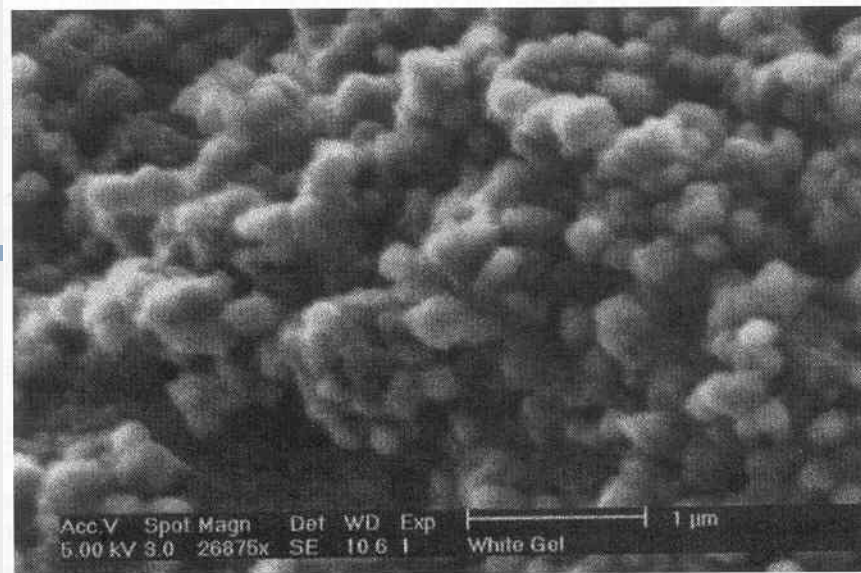


Fig. 3 Silica xerogel containing titania particles.

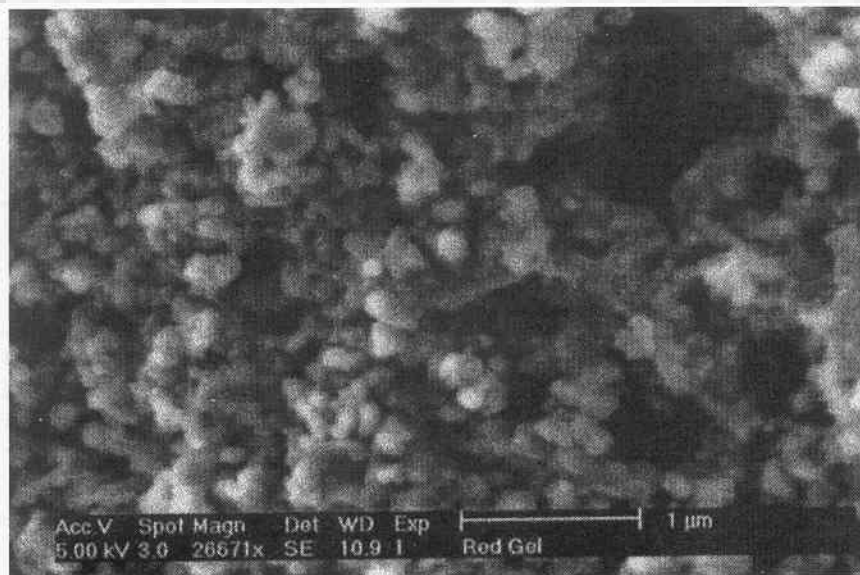
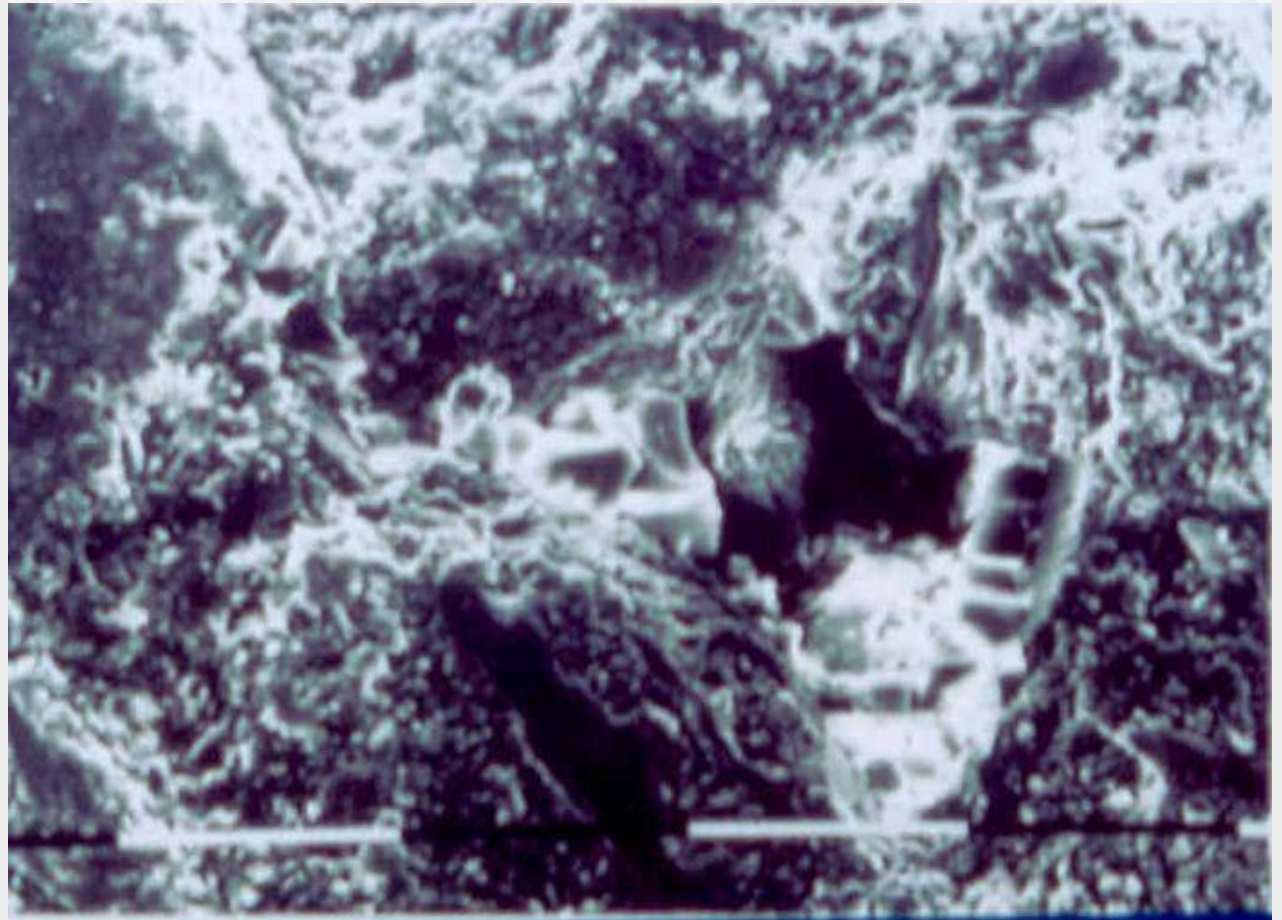


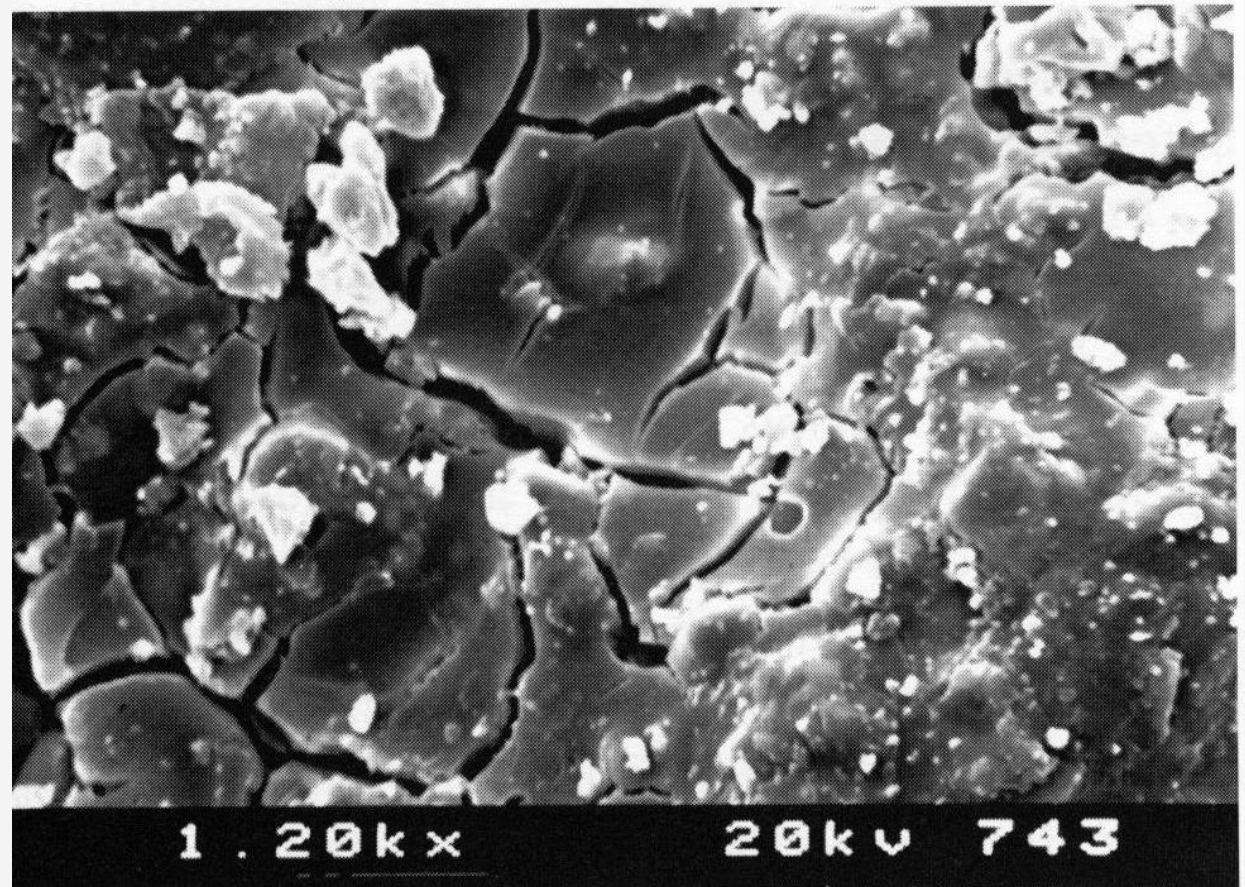
Fig. 4 Silica xerogel containing iron oxide particles.

**ΣΤΕΡΕΩΣΗ ΜΕ ΕΙΣΑΓΩΓΗ
ΝΑΝΟ-ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΩΝ
ΔΙΑΣΠΟΡΩΝ**

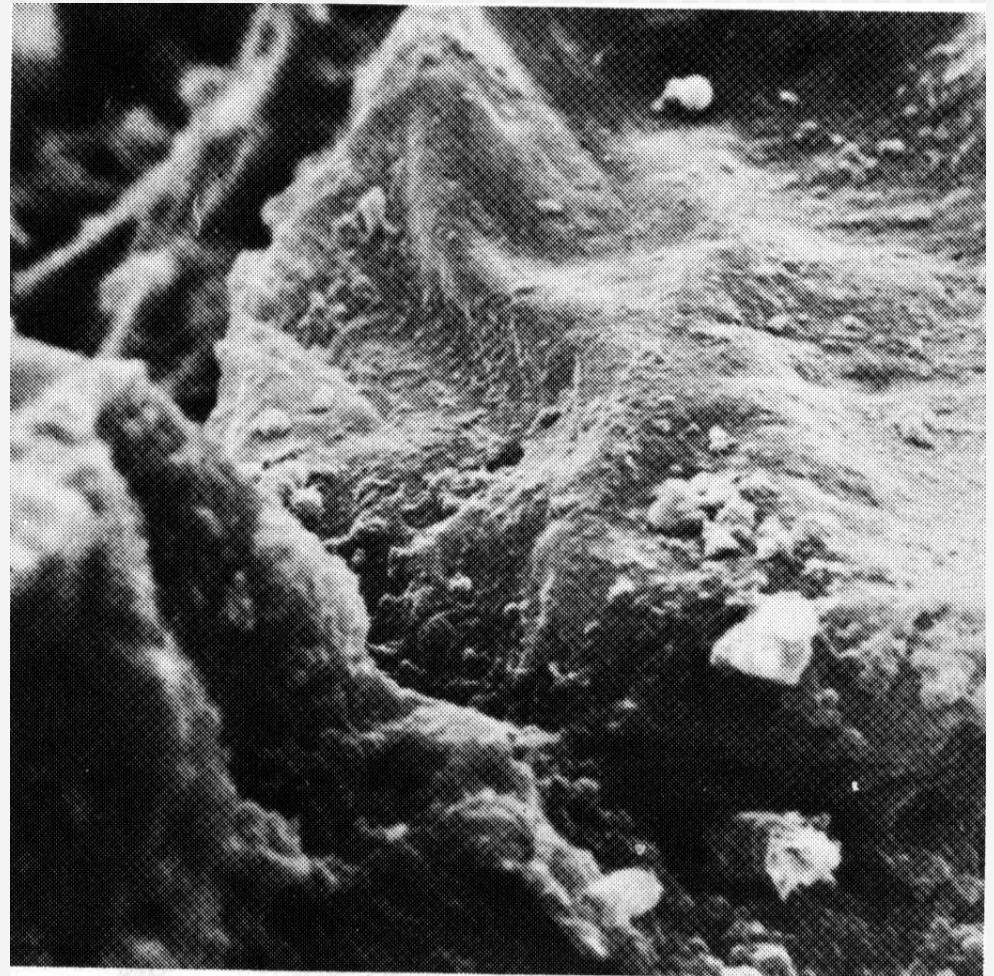
ΣΤΕΡΕΩΣΗ ΠΩΡΟΛΙΘΟΥ ΜΕ ΥΔΑΤΙΚΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΠΥΡΙΤΙΑΣ (LUDOX)

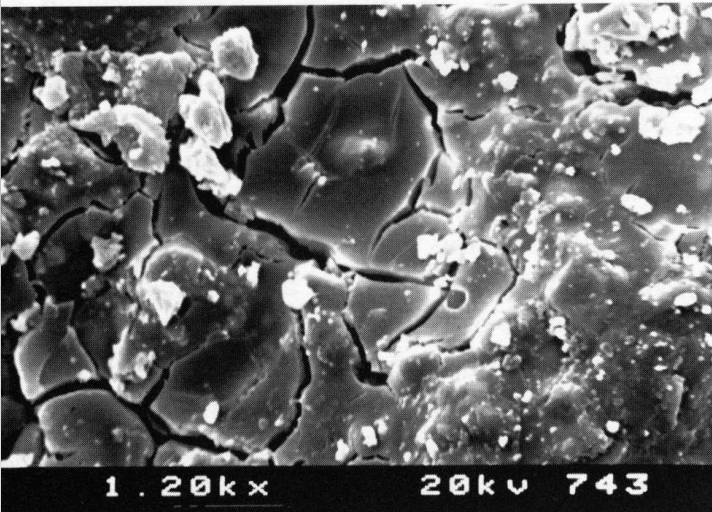
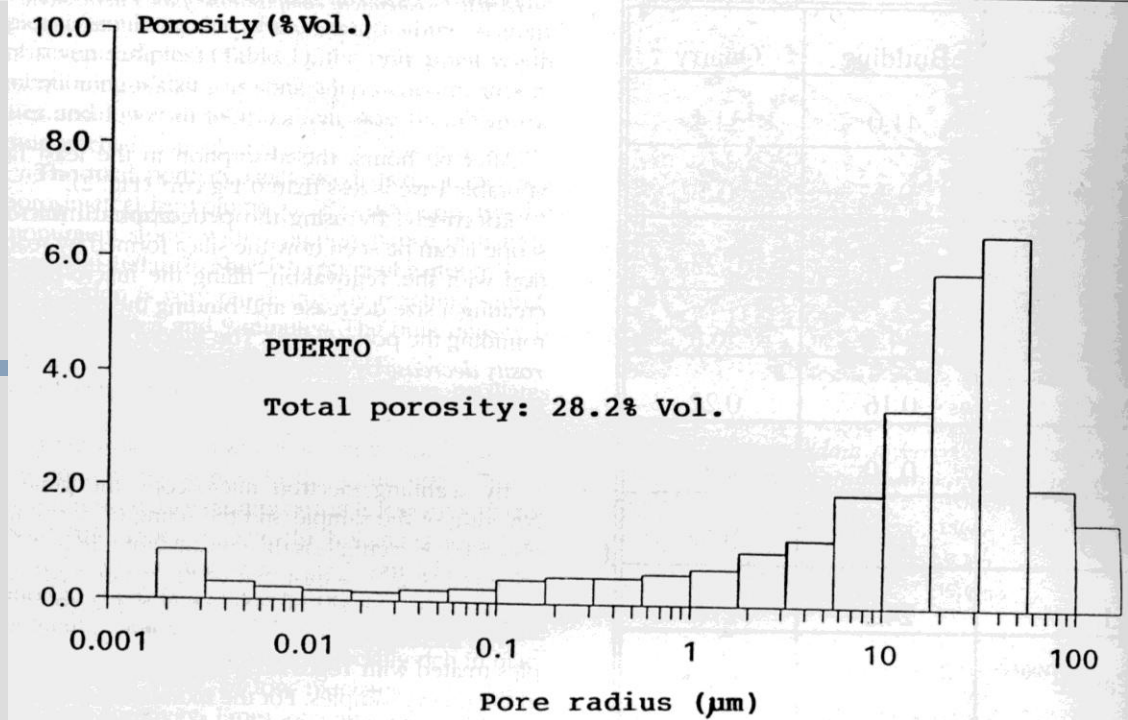


ΣΤΕΡΕΩΣΗ ΜΕ ΔΙΑΛΥΜΑ ΑΛΚΟΞΥΣΙΛΑΝΙΟΥ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ SiO₂

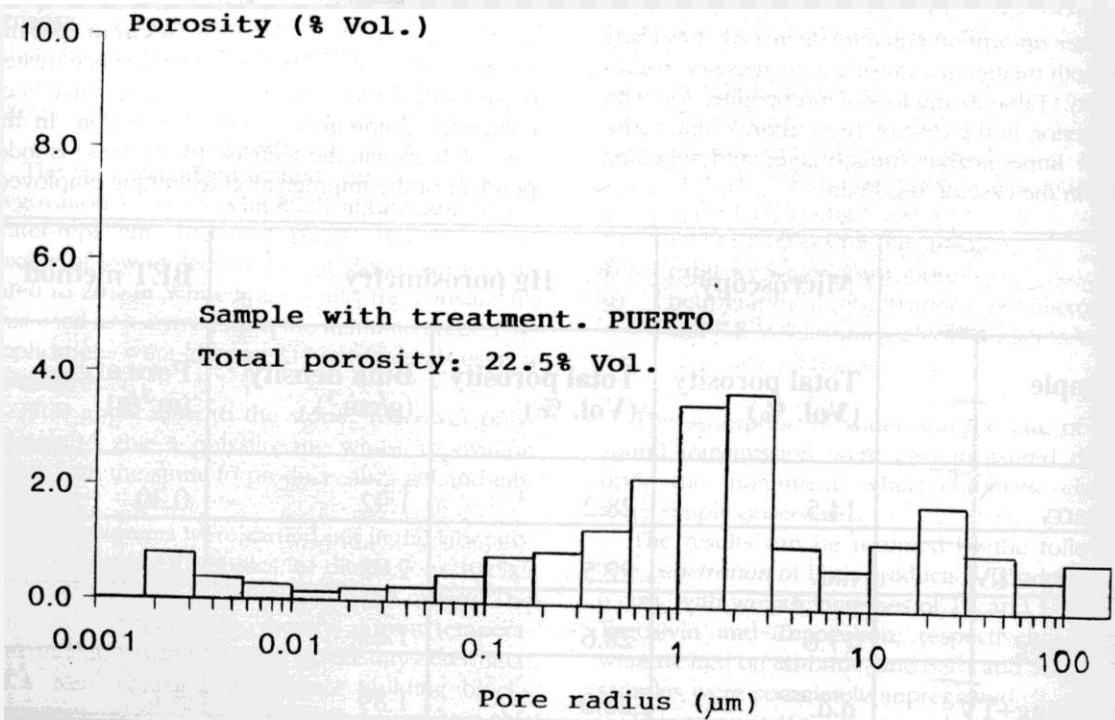


ΣΤΕΡΕΩΣΗ ΜΕ ΡΜΜΑ ΠΟΛΥΜΕΘΑΚΡΥΛΙΚΟ ΜΕΘΥΛΕΣΤΕΡΑ

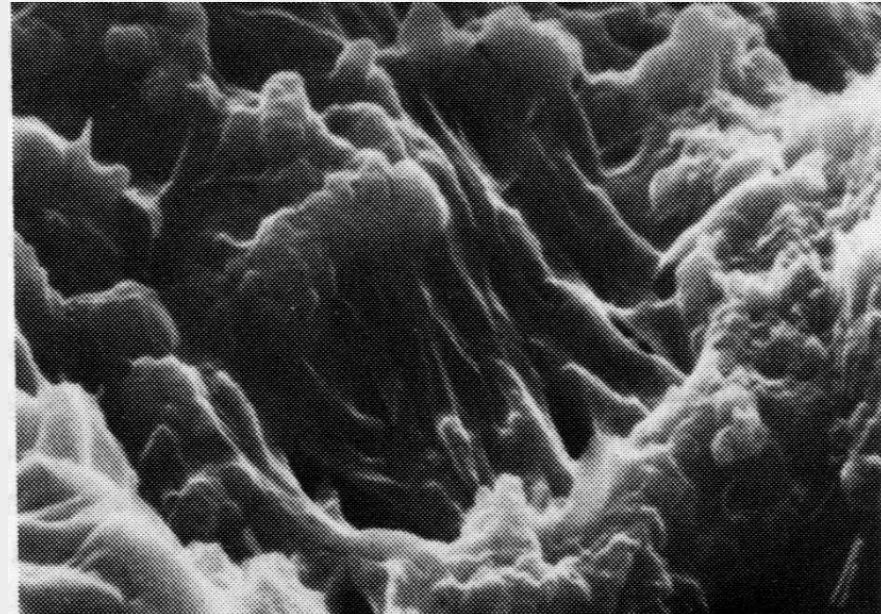
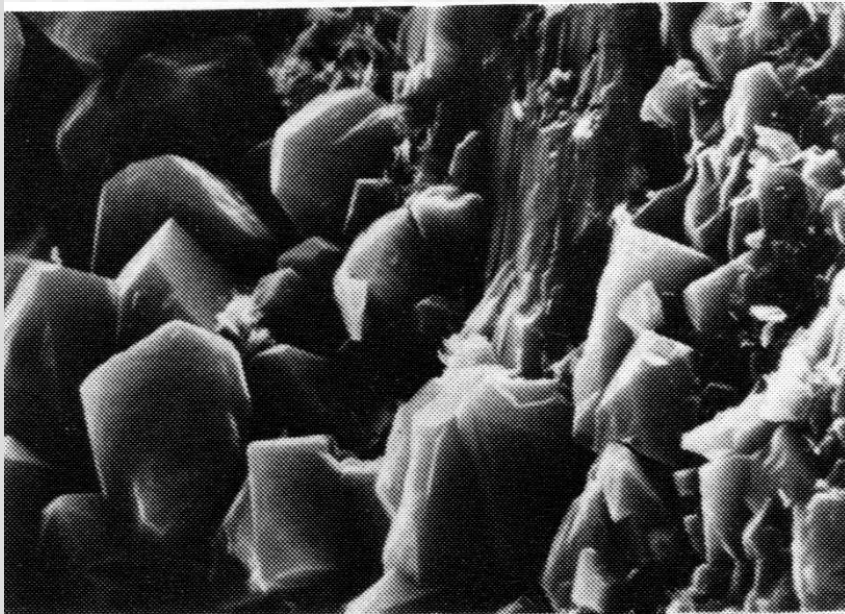




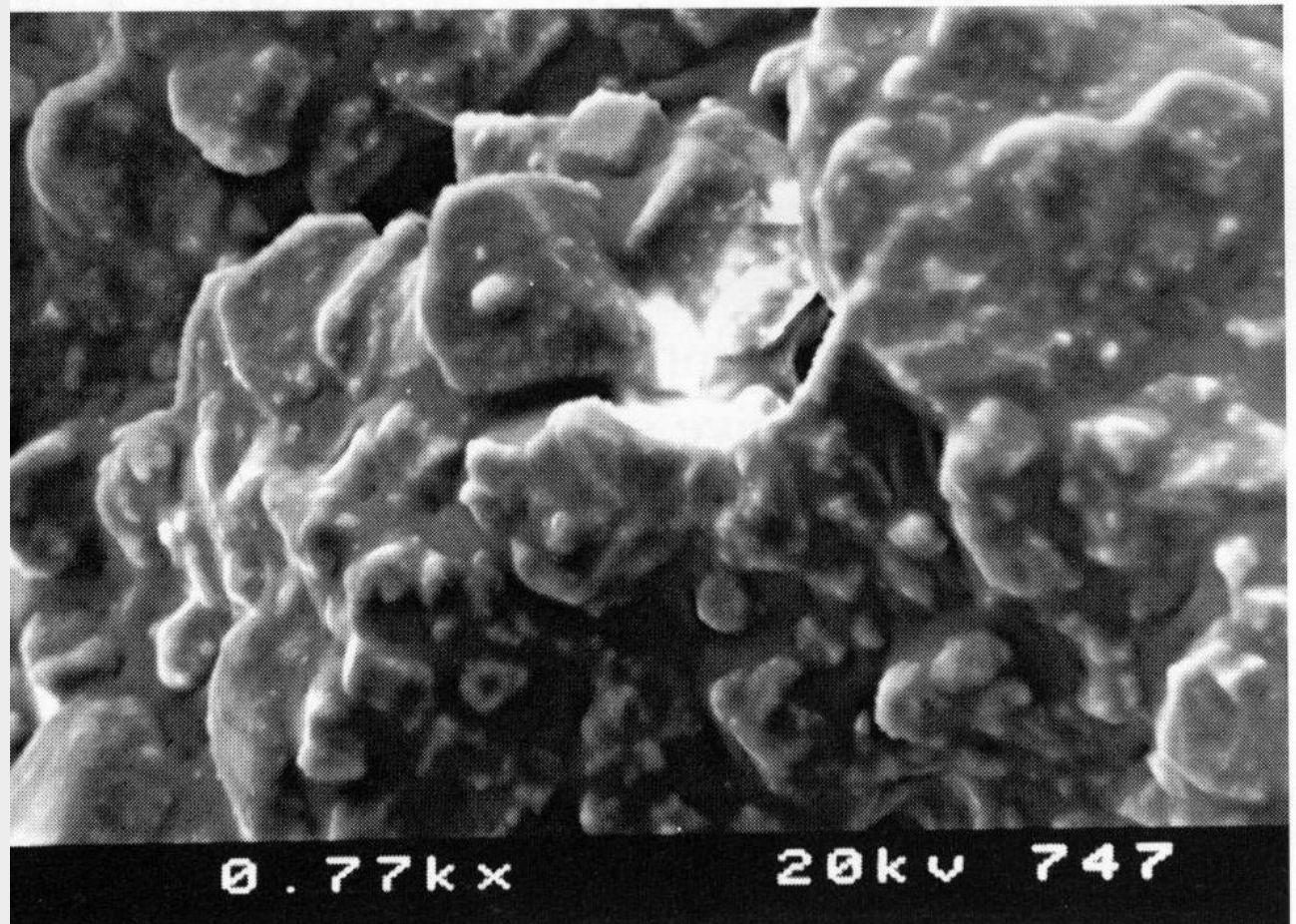
**ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΠΟΡΩΔΟΥΣ
ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ
ΑΛΚΟΞΥΣΙΛΑΝΙΟ**



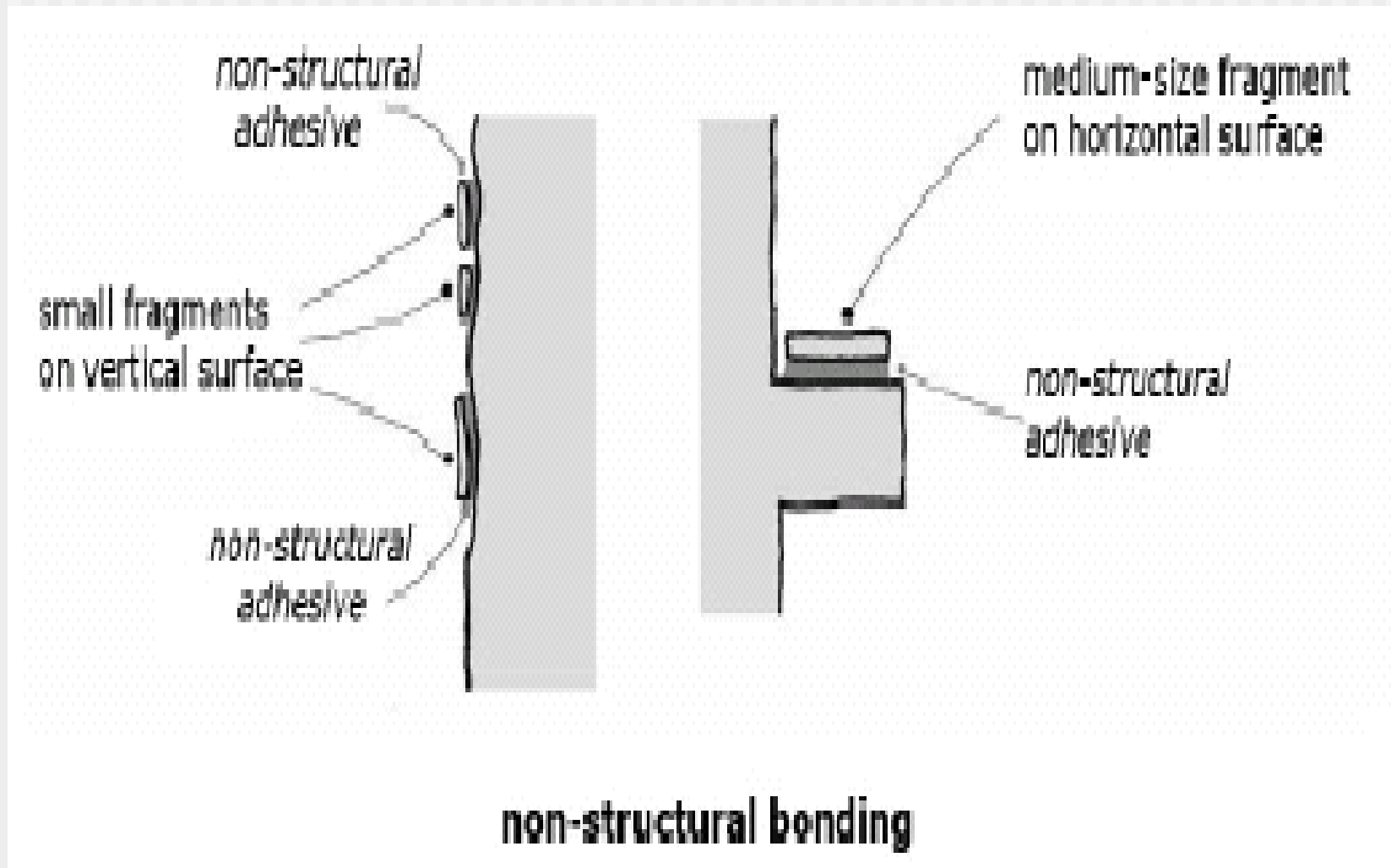
ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΡΕΓ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΟΓΛΥΚΟΛΗ



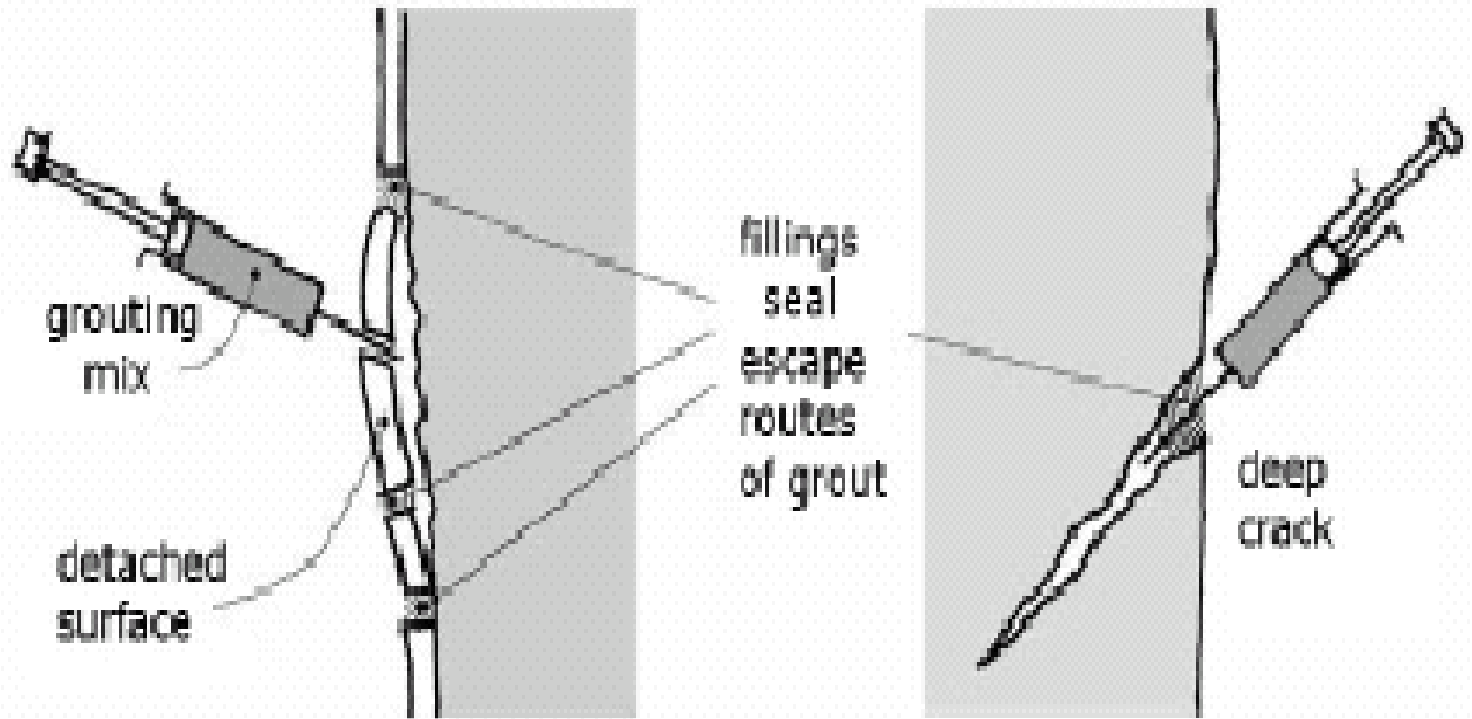
ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕ ΡΗΤΙΝΗ ΣΙΛΙΚΟΝΗΣ, ΠΟΛΥΣΙΛΟΞΑΝΙΟ



Μικροσυγκολλήσεις

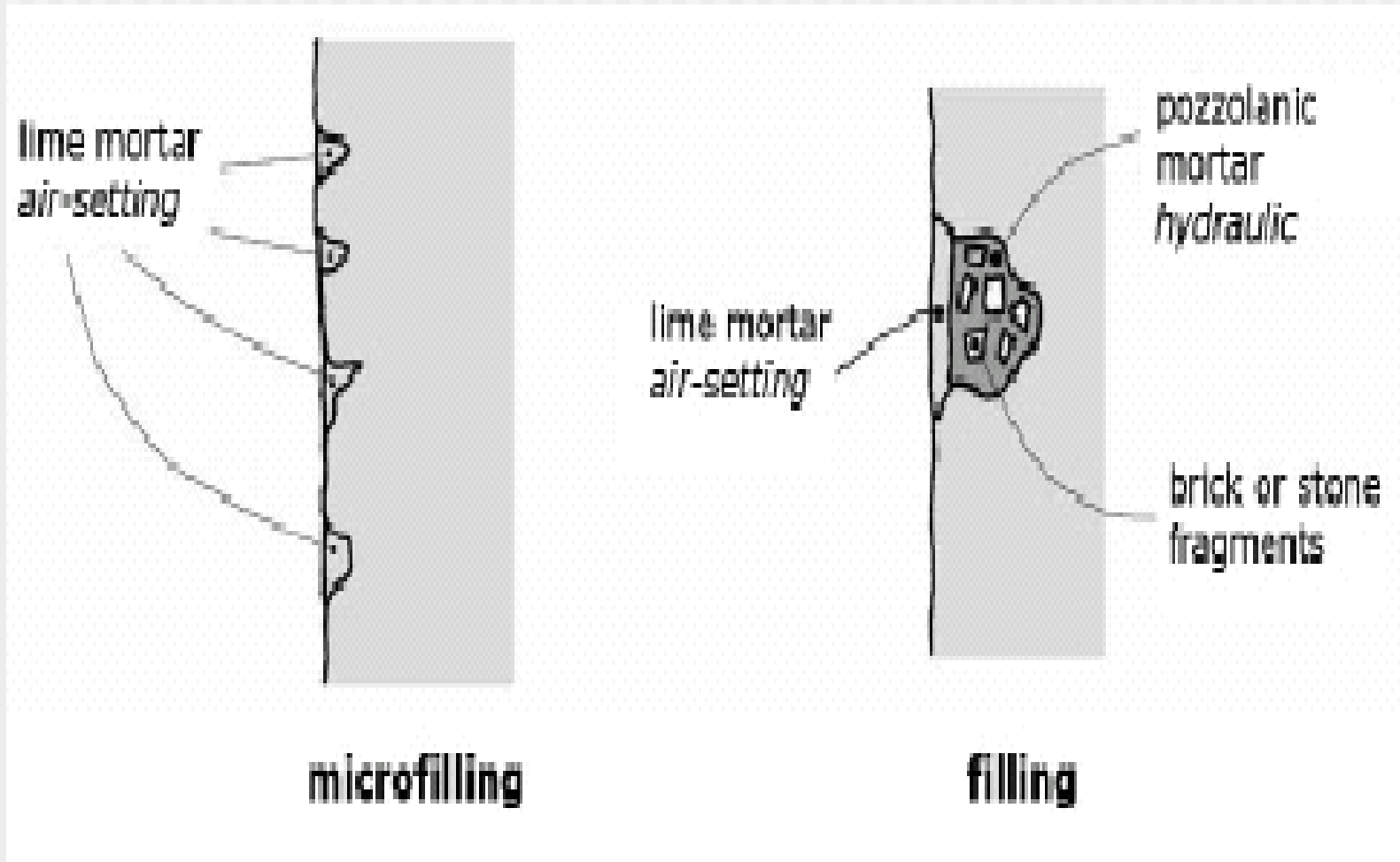


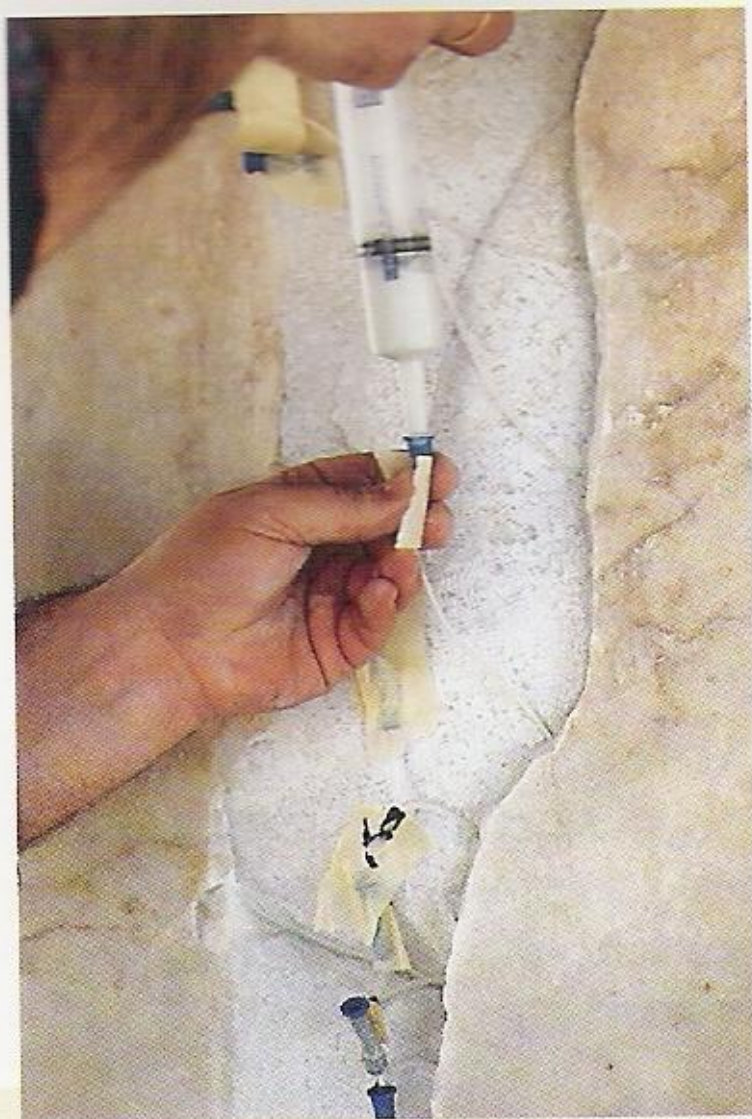
Εισαγωγή επιφανειακών ενεμάτων



surface grouting

Μικροσυμπληρώσεις με ρευστό / χυτό υλικό





4: Η διοχέτευση των υλικών πλήρωσης γίνεται από αναμονές, καθετήρες και βελόνες που έχουν τοποθετηθεί σε προσβάσιμα σημεία της ρωγμής ή της αποφλοιώσης.



1: Η στερέωση της επιφάνειας γίνεται με ψεκασμούς με αιώρημα υδροξειδίου του ασβεστίου και προσθήκη 6% ανθρακικού ασβεστίου.



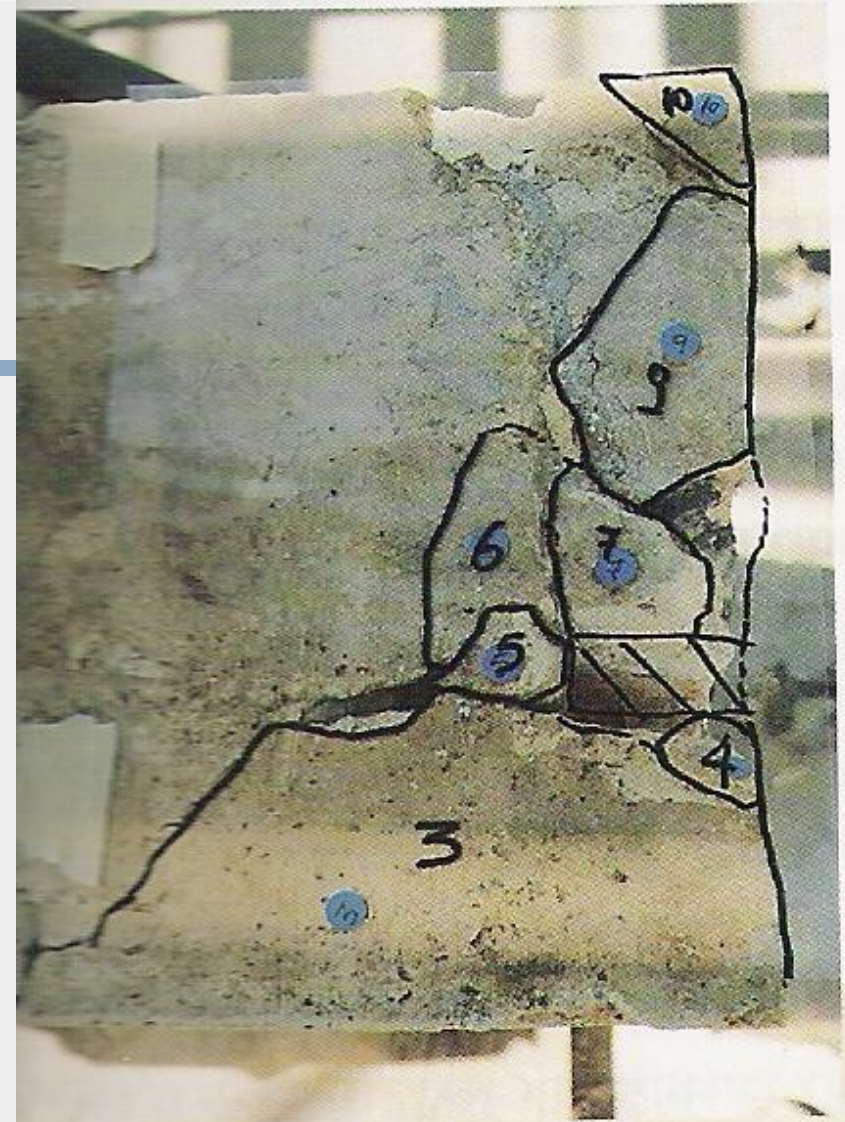
2: Η αφαίρεση των προηγούμενων κονιαμάτων γίνεται με λιθοξοϊκά εργαλεία.



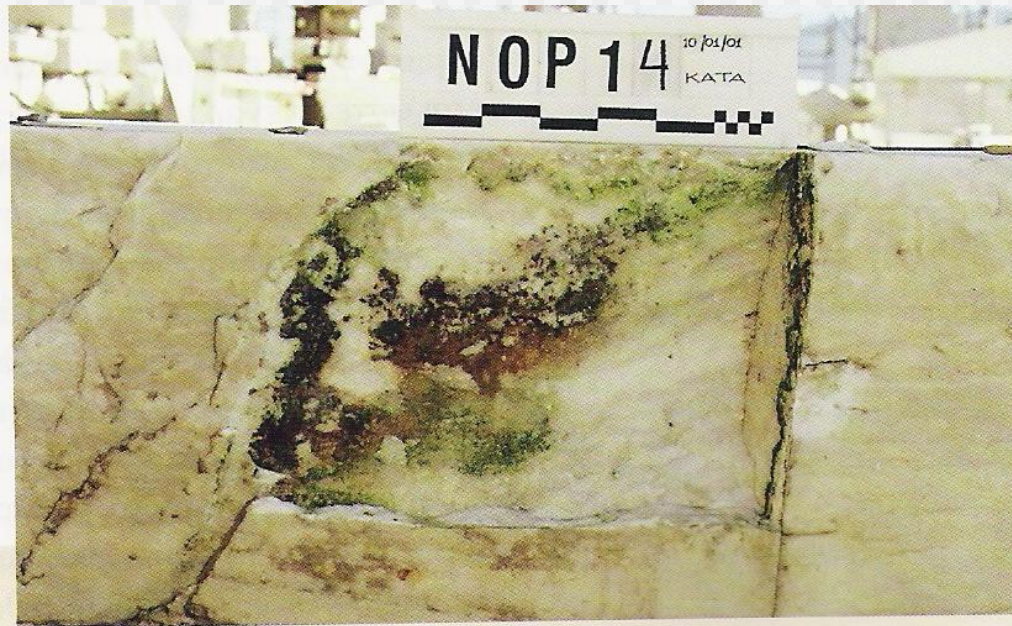
9: Η απομάκρυνση των οξειδωμένων καρφίδων επιτυγχάνεται με ασάλινο σωλήνα με πριονωτή άκρη (καροταρία), ο οποίος προσαρμόζεται σε περιστροφικό τρύπανο.



3: Ο καθαρισμός των ρωγμών και των αποφλοιώσεων γίνεται με οδοντιατρικά και χειρουργικά εργαλεία.



5: Πριν την απομάκρυνση των θραυσμάτων που κινδυνεύουν από πτώση γίνεται επτόπου αποτύπωση, ενώ στη συνέχεια αυτά αριθμούνται και απομακρύνονται.

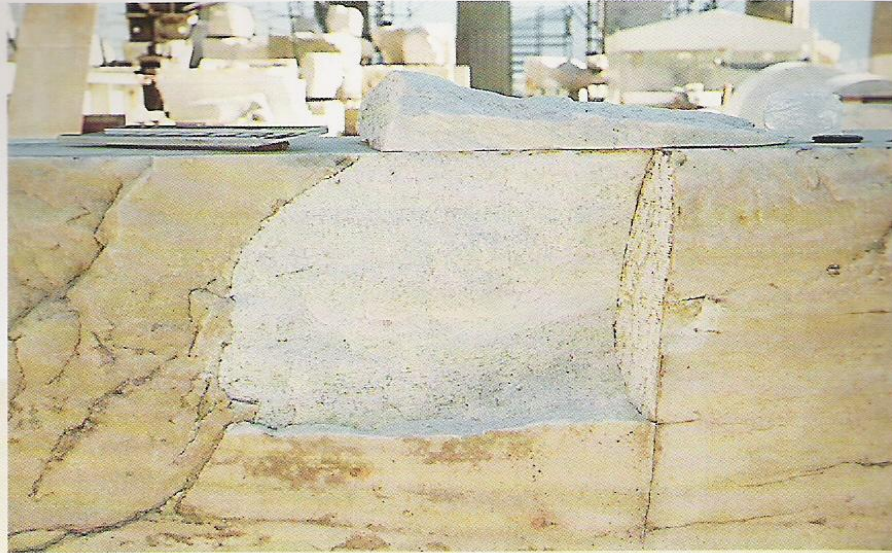


6: Μετά την απομάκρυνση του θραύσματος αποκαλύπτεται η ανάπτυξη βιολογικής παρουσίας στην επιφάνεια θραύσης.

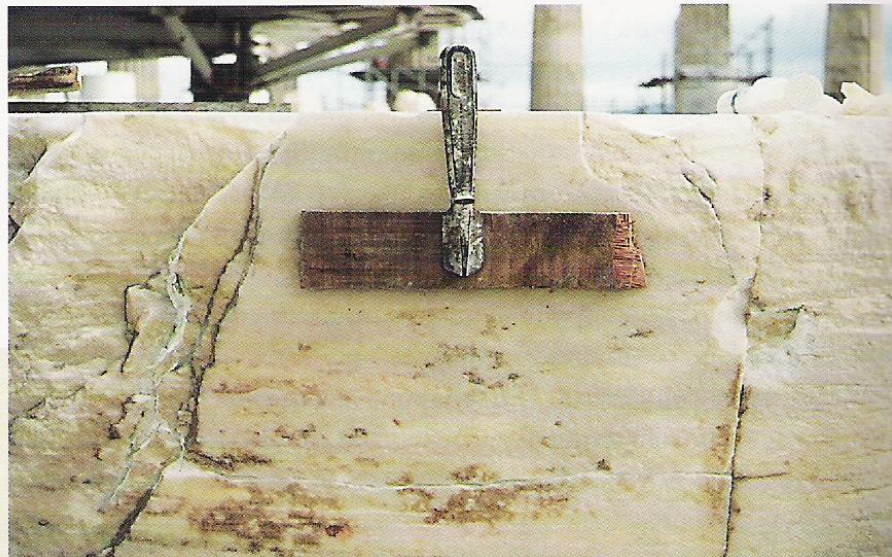


10: Διαδικασία συγκόλλησης θραυσμάτων: Η συγκόλληση του θραύσματος ενισχύεται με την τοποθέτηση δύο αφανών καρφίδων τιπανίου.

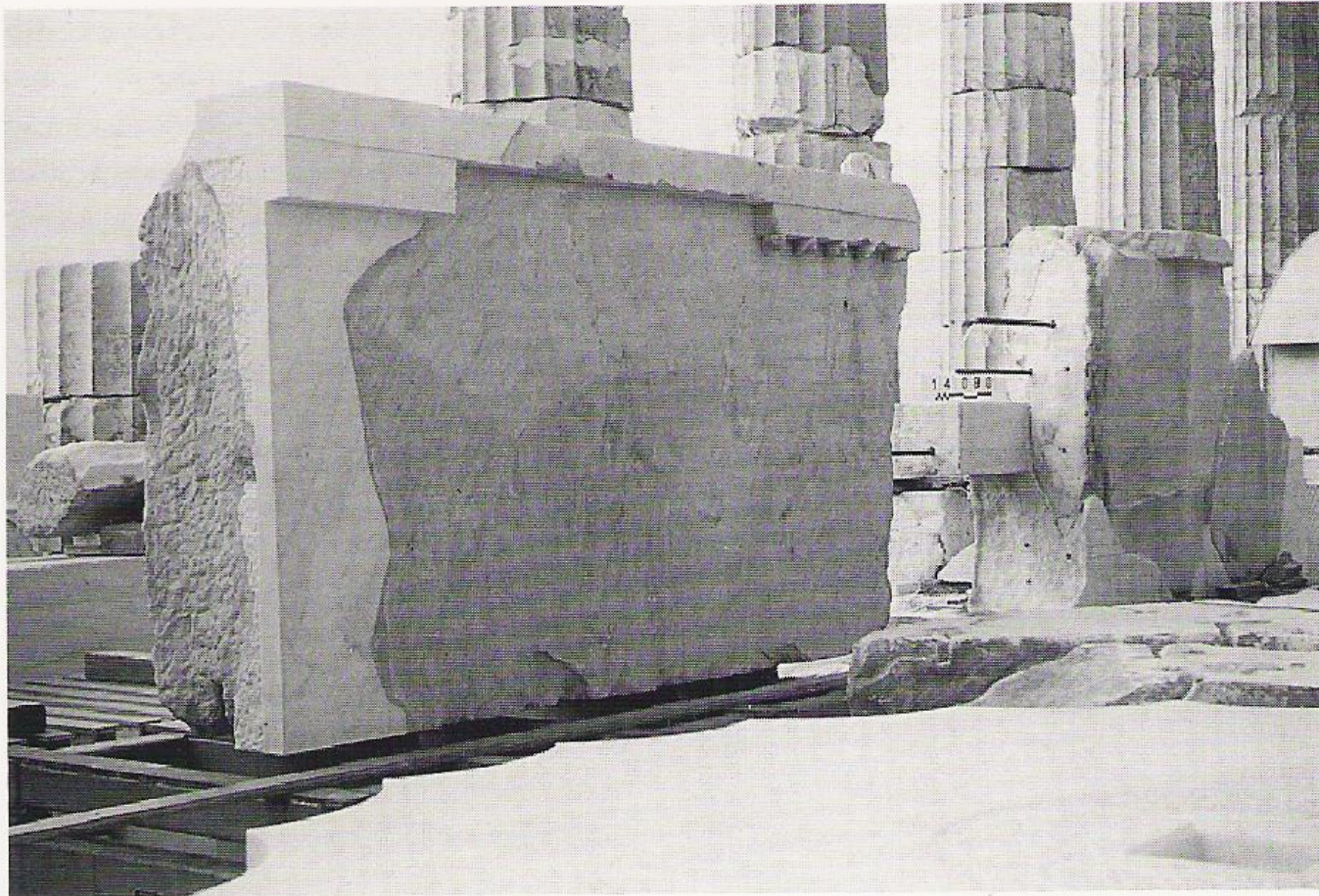
7: Διαδικασία συγκόλλησης θραυσμάτων:
Μετά τον καθαρισμό της με διάλυμα H_2O_2
10% κατ' όγκο, η επιφάνεια θραύσης προ-
ετοιμάστηκε με λιθοξοϊκά εργαλεία.



8: Διαδικασία συγκόλλησης θραυσμάτων:
Κατά τη συγκόλληση με αραιό τσιμεντο-
πολτό, όταν η επιφάνεια είναι κατακόρυ-
φη, συχνά χρειάζεται η τοποθέτηση σφι-
γκτήρων για την εξασφάλιση της σωστής
συναρμογής των θραυσμάτων.



Συμπλήρωση με μάρμαρο και προετοιμασία για δομική συγκόλληση με οπλισμό τιτανίου



Προετοιμασία λίθου για συγκόλληση



Η εξέλιξη των φαινομένων φθοράς



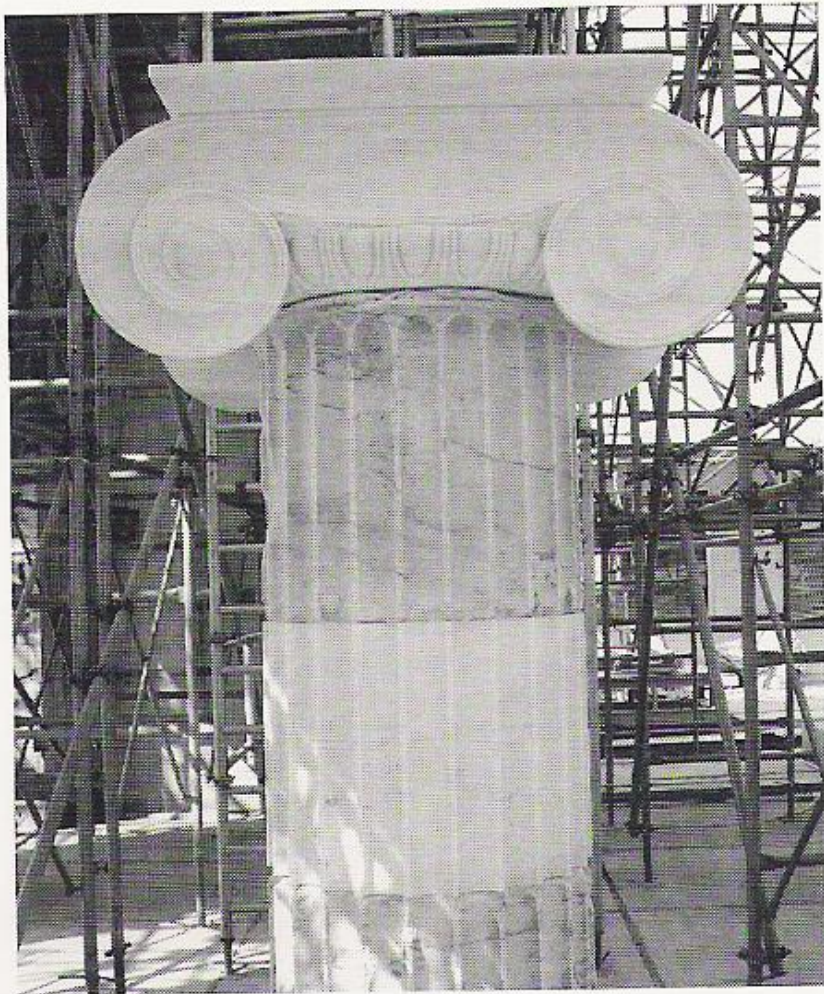
Συμπλήρωση με χυτό υλικό



Ο ναός επικουρίου Απόλλωνος

Βάση κίονα μετά την επέμβαση στερέωσης

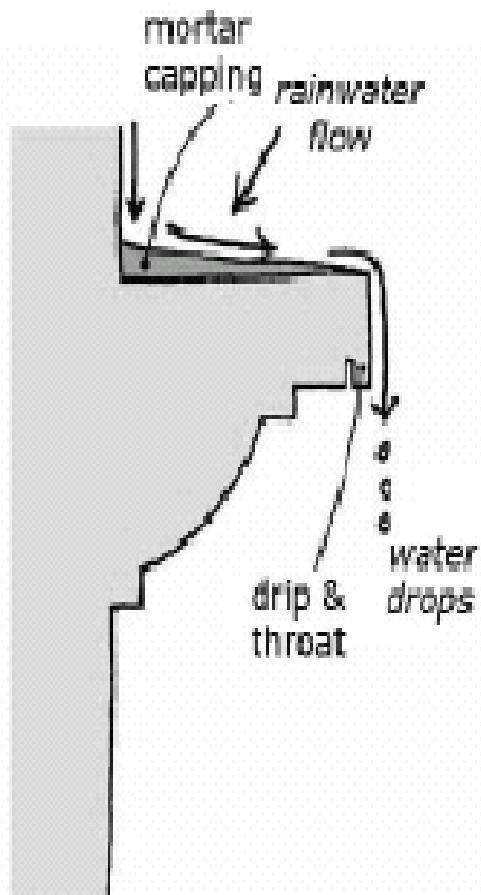




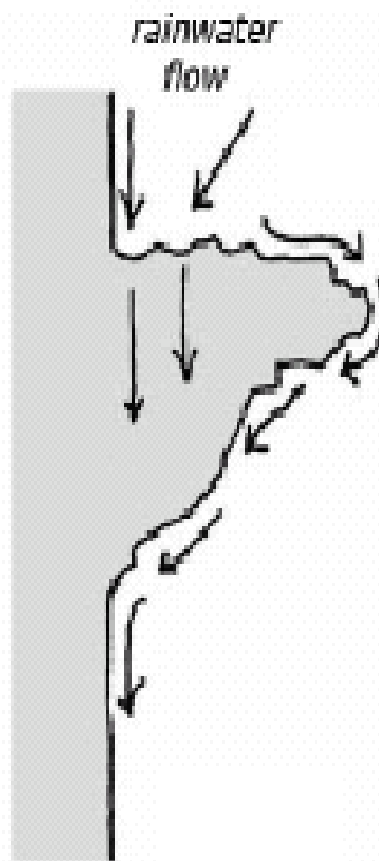
*Το ιωνικό κιονόκρανο τελειωμένο. Φωτ. Τ. Τανού-
λας, 2006*



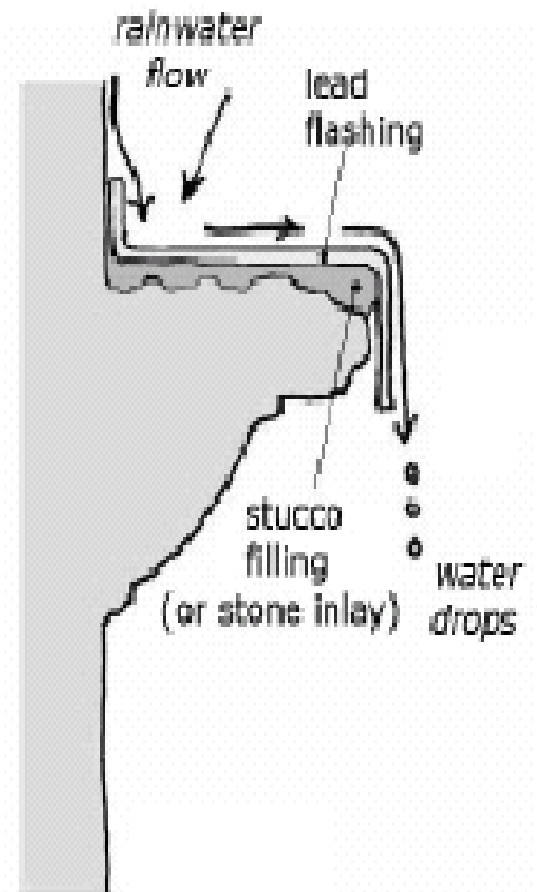
Άποψη του Ερεχθείου από ΝΔ το 1987. Φωτ. Σ. Μαυρομμάτης



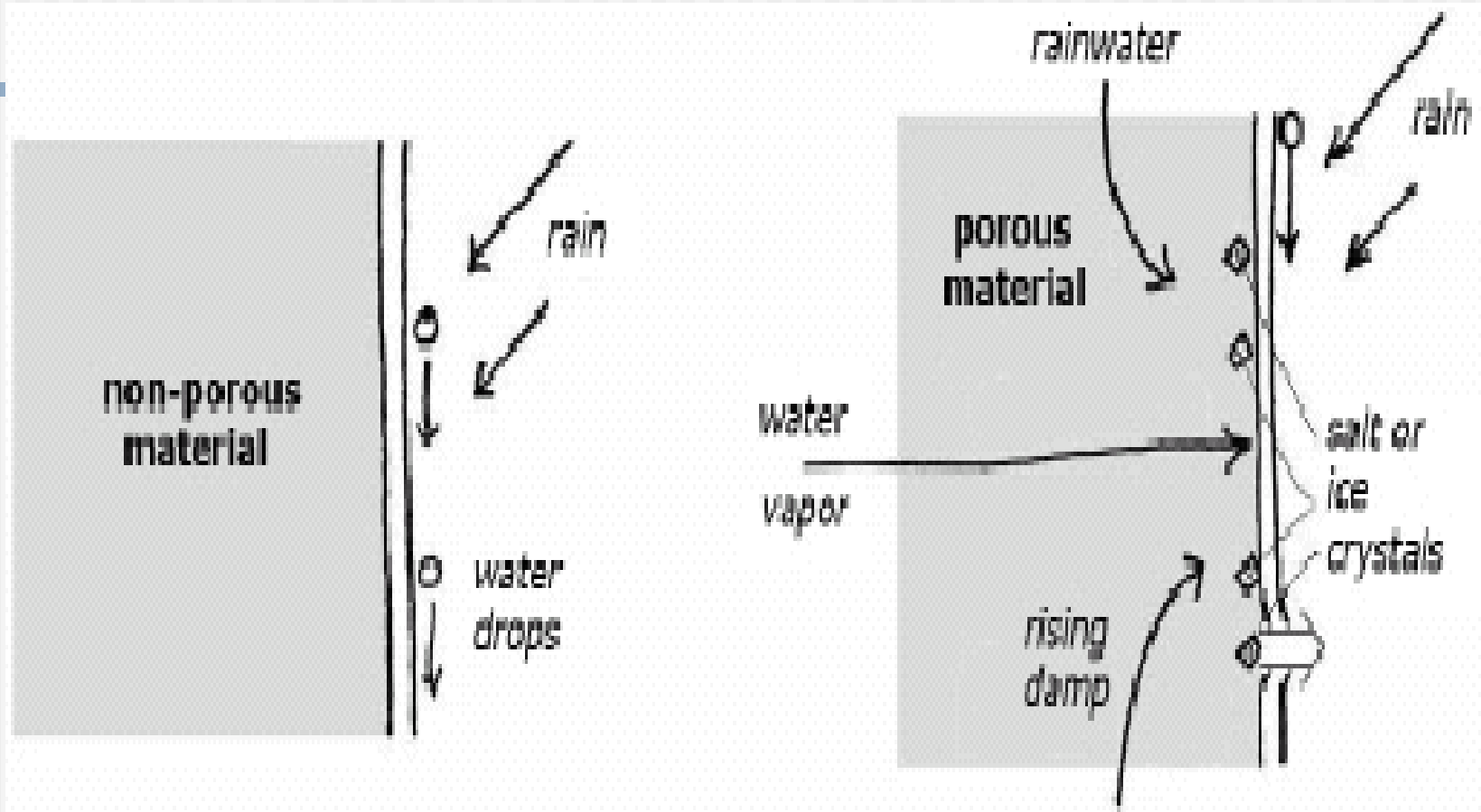
original cornice



deteriorated cornice



protection by lead flashing



hydrophobic films on porous and non-porous materials







Φθορές στον εσωτερικό διάκοσμο



Moisture

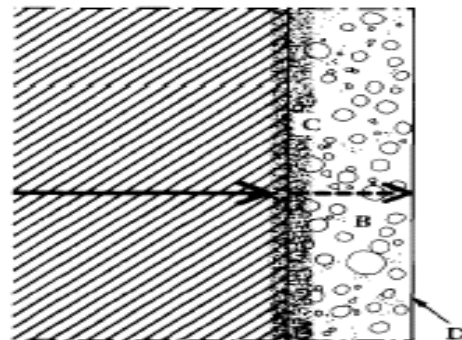
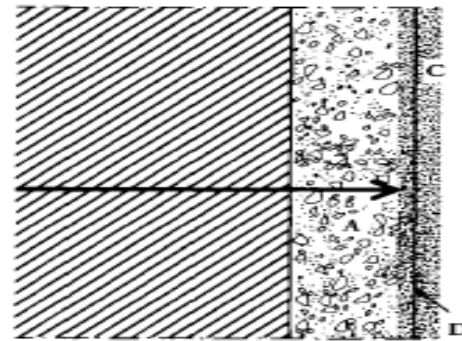


Figure 7a,b. Diagrams showing how the application of a layer of hydrophobic plaster will prevent soluble salts from being transported to the wall surface by liquid water. Key:

A lime plaster

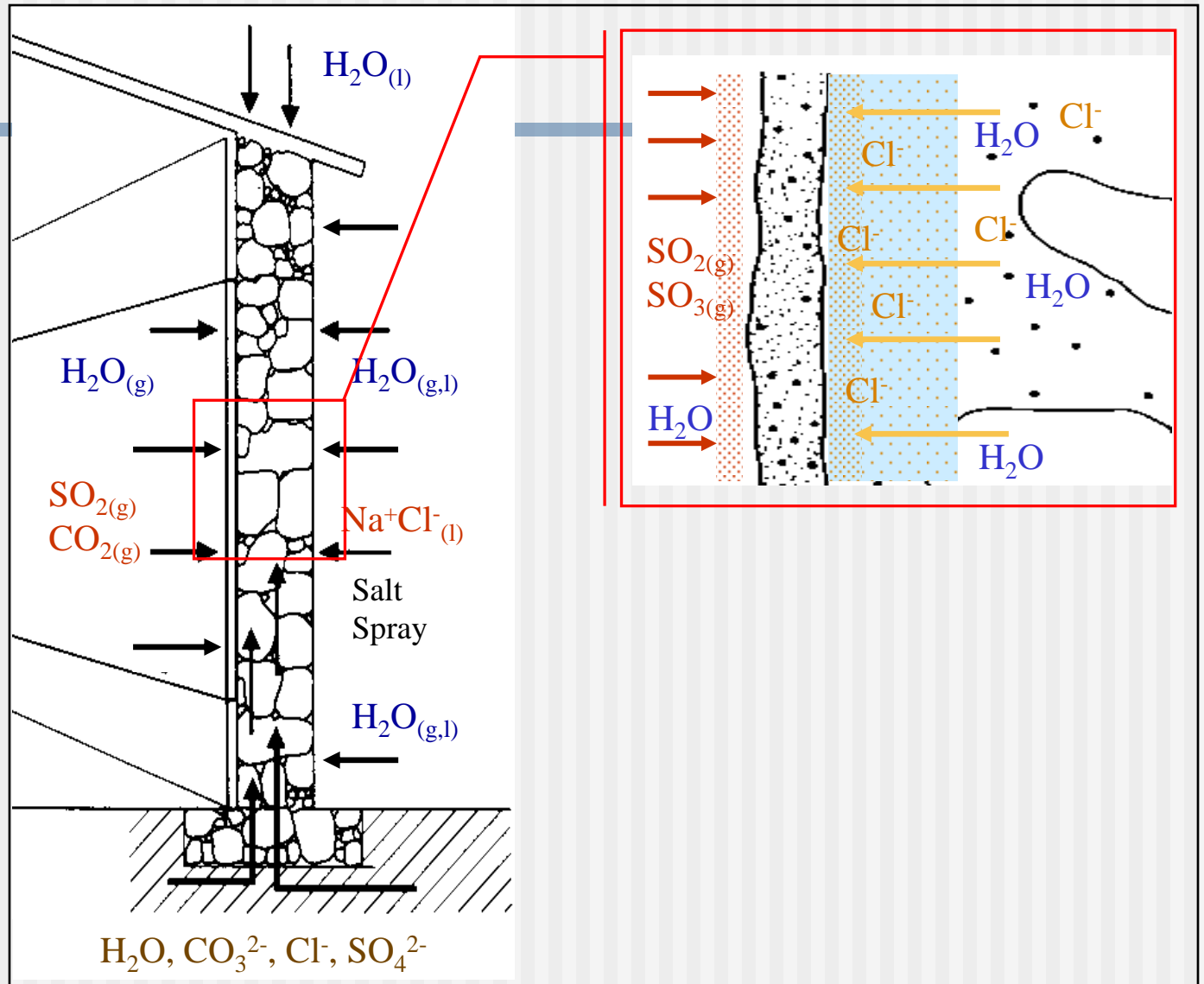
B hydrophobic plaster

C zone of crystallization

D wall surface

—————> liquid water

- - - - -> water vapor



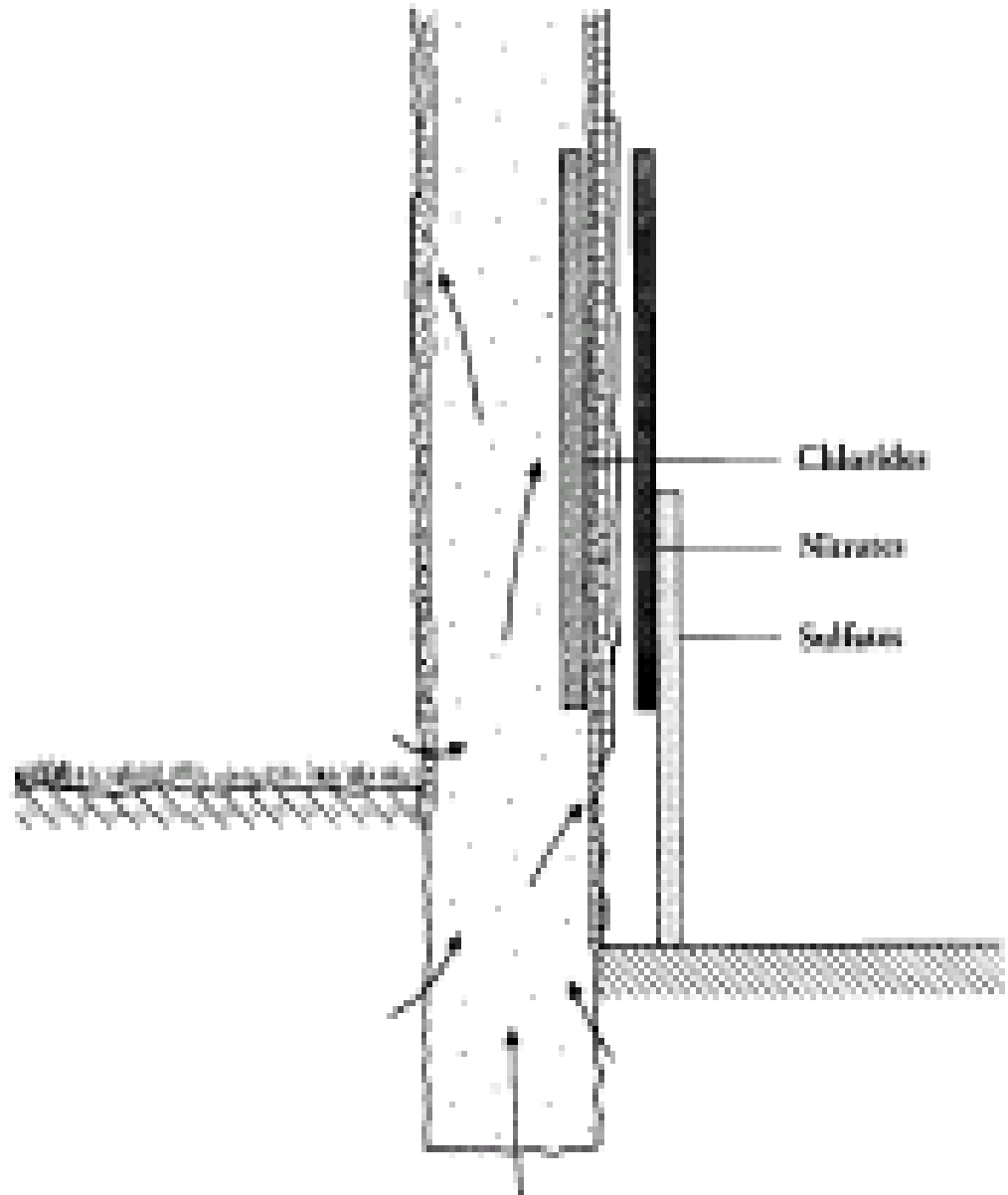
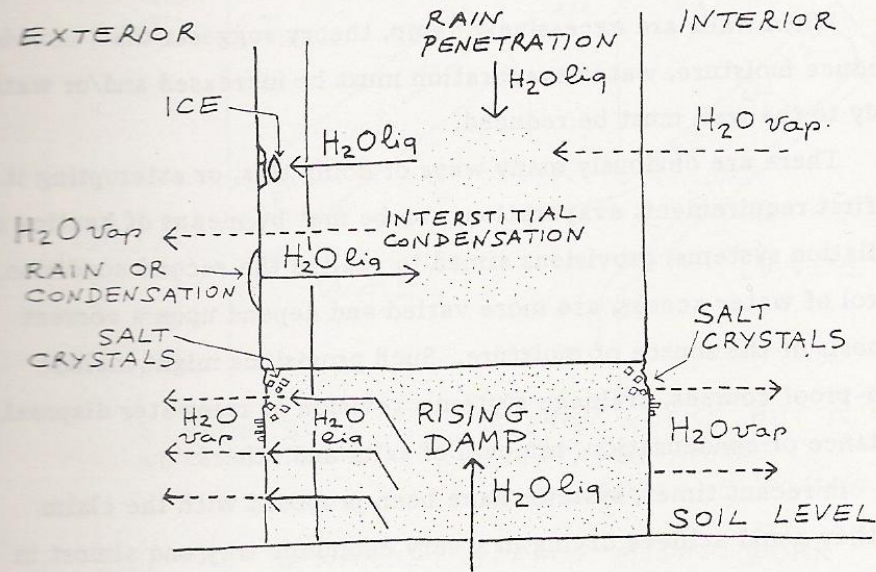
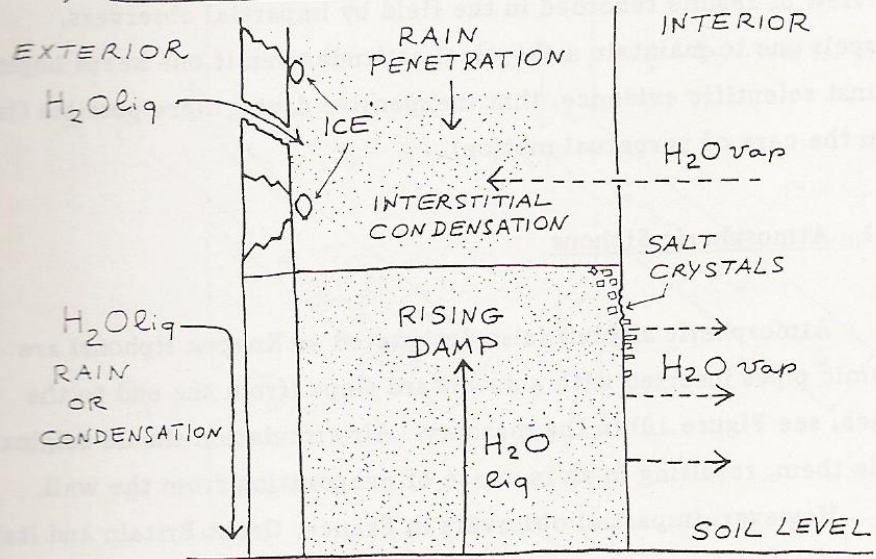


FIGURE 9. PLASTER

a) POROUS SACRIFICIAL SURFACE LAYER



b) IMPERMEABLE SURFACE LAYER



Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι που εφαρμόζονται για τον περιορισμό της υγρασίας στα διάφορα στοιχεία των κατασκευών είναι:

- Αποστράγγιση γύρω από τα θεμέλια, ή αδιαβροχοποίηση του εδάφους τριγύρω,
- οριζόντια στεγανοποίηση,
- ηλεκτροεξώσμωση,
- ατμοσφαιρικοί σιφωνες,
- εξαερισμός, προκειμένου για τον εσωτερικό χώρο του κτηρίου,
- στεγανό κονίαμα,

Η ενεργητική ηλεκτροεξώσμωση εφαρμόζεται με την επιβολή μεταξύ τοίχου και εδάφους αντίθετης ηλεκτρικής τάσης. Κατάλληλη τιμή της ηλεκτρικής τάσης είναι αυτή για την οποία η ταχύτητα ανόδου του νερού μηδενίζεται:

$$u = -KJ + K_E \cdot E = -K \frac{H}{L} + K_E \frac{U}{L} = 0, \quad H = U \frac{K_E}{K},$$

όπου: u : ταχύτητα ροής (ανόδου) του νερού
 K : συντελεστής διαπερατότητας (διαστάσεις ταχύτητας)
 J : υδραυλικός συντελεστής
 E : ένταση ηλεκτρικού πεδίου
 K_E : συντελεστής ηλεκτροσμωτικής διαπερατότητα ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)
 H : υδραυλική πίεση
 U : διαφορά δυναμικού (επιβαλλόμενου)
 L : θεωρούμενο μήκος

Οι τιμές του K κυμαίνονται ανάλογα με το υλικό:

ψαμμίτης $5 \times 10^{-7} - 3 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$

ασβεστόλιθος $2 \times 10^{-6} - 4 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$

τούβλο $4.8 \times 10^{-6} - 2.2 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$

Αντίστοιχα του K_E :

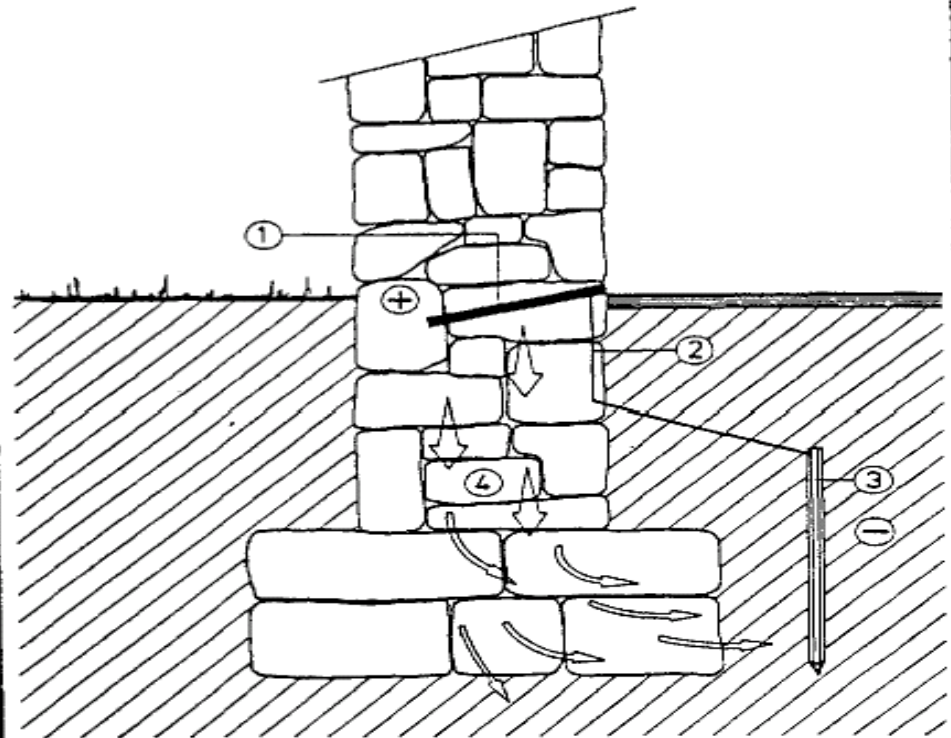
ψαμμίτης $1.3 \times 10^{-6} - 4.5 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$

τούβλο $2.8 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$.

Η ηλεκτροεξώσμωση προϋποθέτει στενούς πόρους του υλικού, έτσι ένα κριτήριο είναι: $K_E/K > 10 \text{ (cm/V)}$.

ELECTROOSMOSIS: FUNCTIONING DIAGRAM

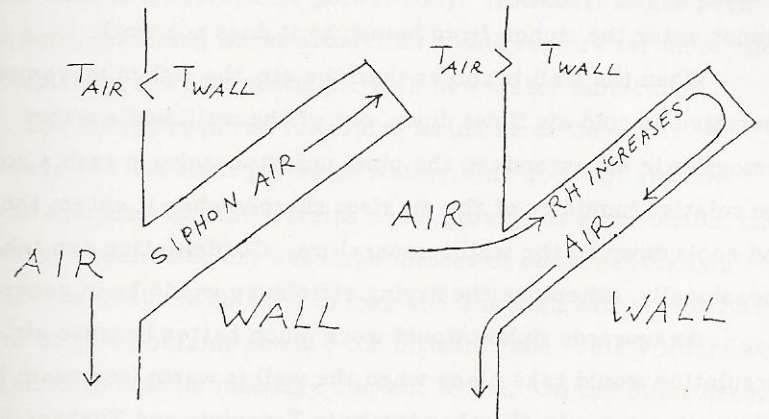
SCHEMATIC GRAPH DEPICTING AN ACTUAL WALL DRYING SYSTEM BY THE ACTIVE ELECTROOSMOTIC METHOD WITHOUT EXTERNAL ELECTRIC POWER FOLLOWING THE SWISS PATENTS OF ERNST/TRABER/ANDEREGG.



- 1 WALL ELECTRODE (ANODE)
- 2 CONNECTING CABLE
- 3 EARTH ELECTRODE (CATHODE)
- 4 FLOW DIRECTION OF THE CAPILLARY MOISTURE

FIGURE 10. ATMOSPHERIC SIPHONS

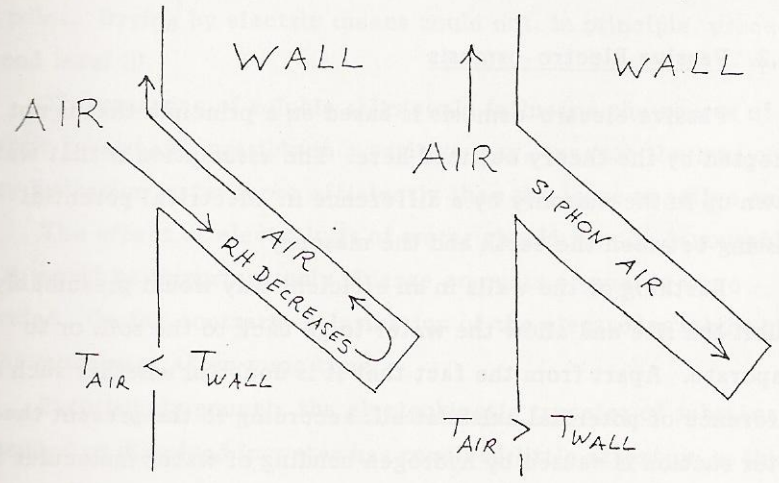
a) THE DOWNWARDS SIPHON IS NOT EFFICIENT



SIPHON DOES NOT WORK

SIPHON WORKS BUT R.H. INCREASES INSIDE IT (CONDENSATION IS POSSIBLE)

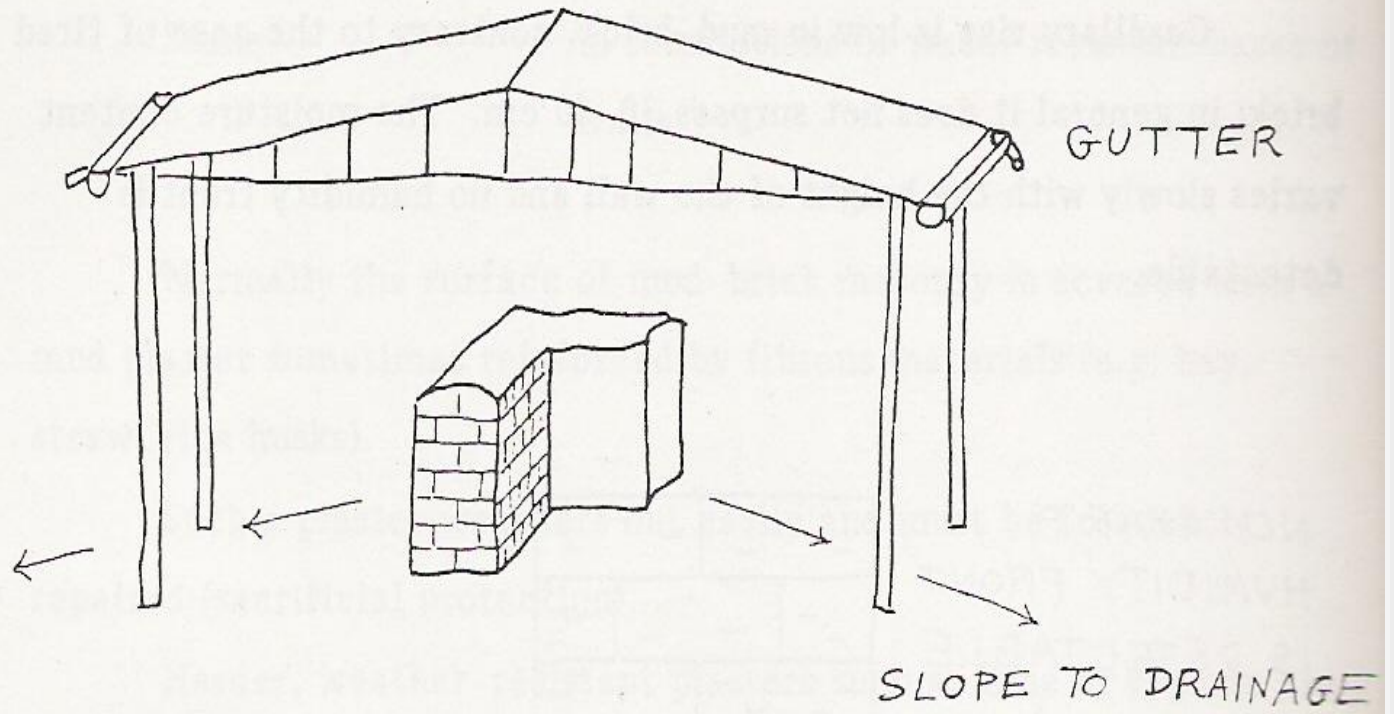
b) THE UPWARDS SIPHON MIGHT WORK (BUT HOW LARGE SHOULD IT BE?)

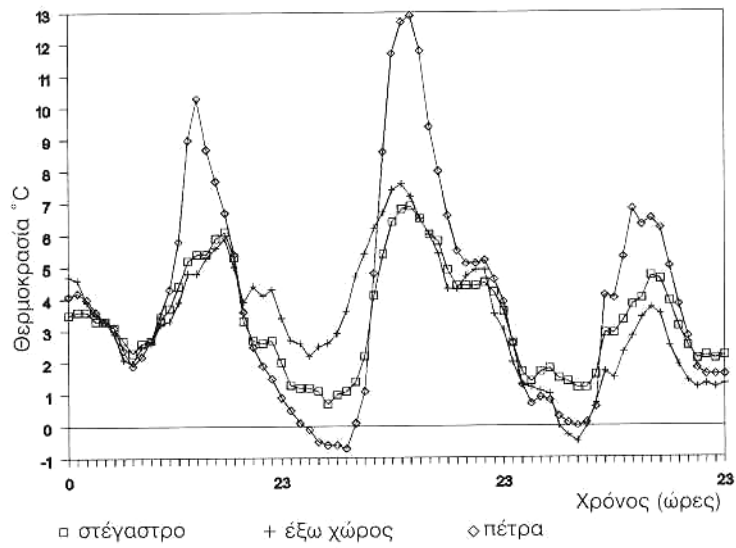


ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

- ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΑΛΑΤΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ
- ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΑΛΑΤΩΝ - ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ
- ΛΙΘΟΙ ΜΕ ΟΡΥΚΤΑ ΕΥΑΙΣΘΗΤΑ ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ
- ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΑΕΡΙΟΥΣ ΚΑΙ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ
- ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΕΝΤΟΝΑ ΚΑΙΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ
- ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ
- ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΤΥΧΗΜΑΤΙΚΑ ΣΥΜΒΑΝΤΑ

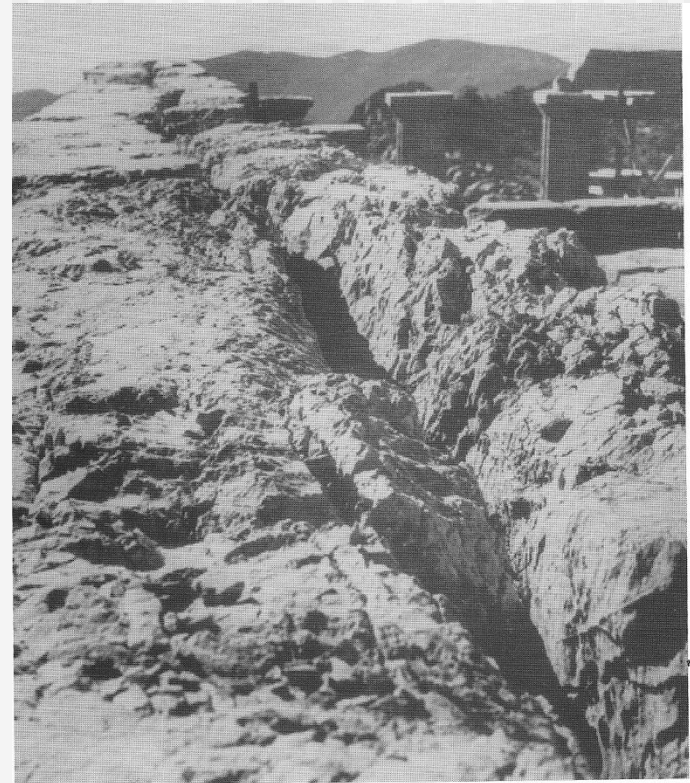
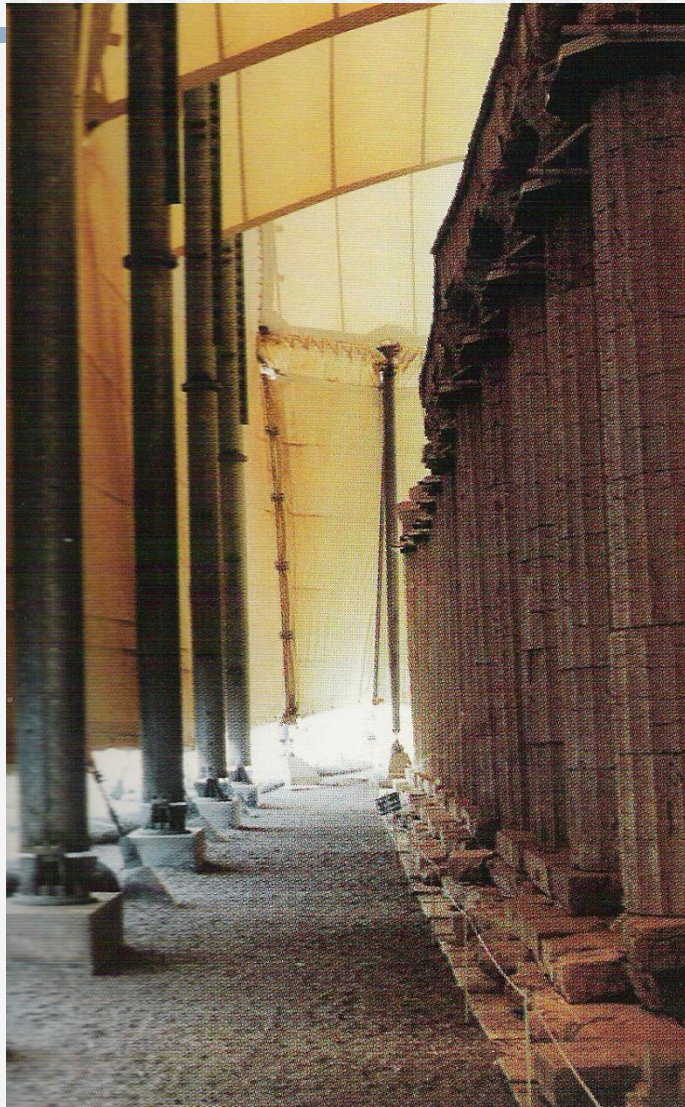
a. Total protection - shed



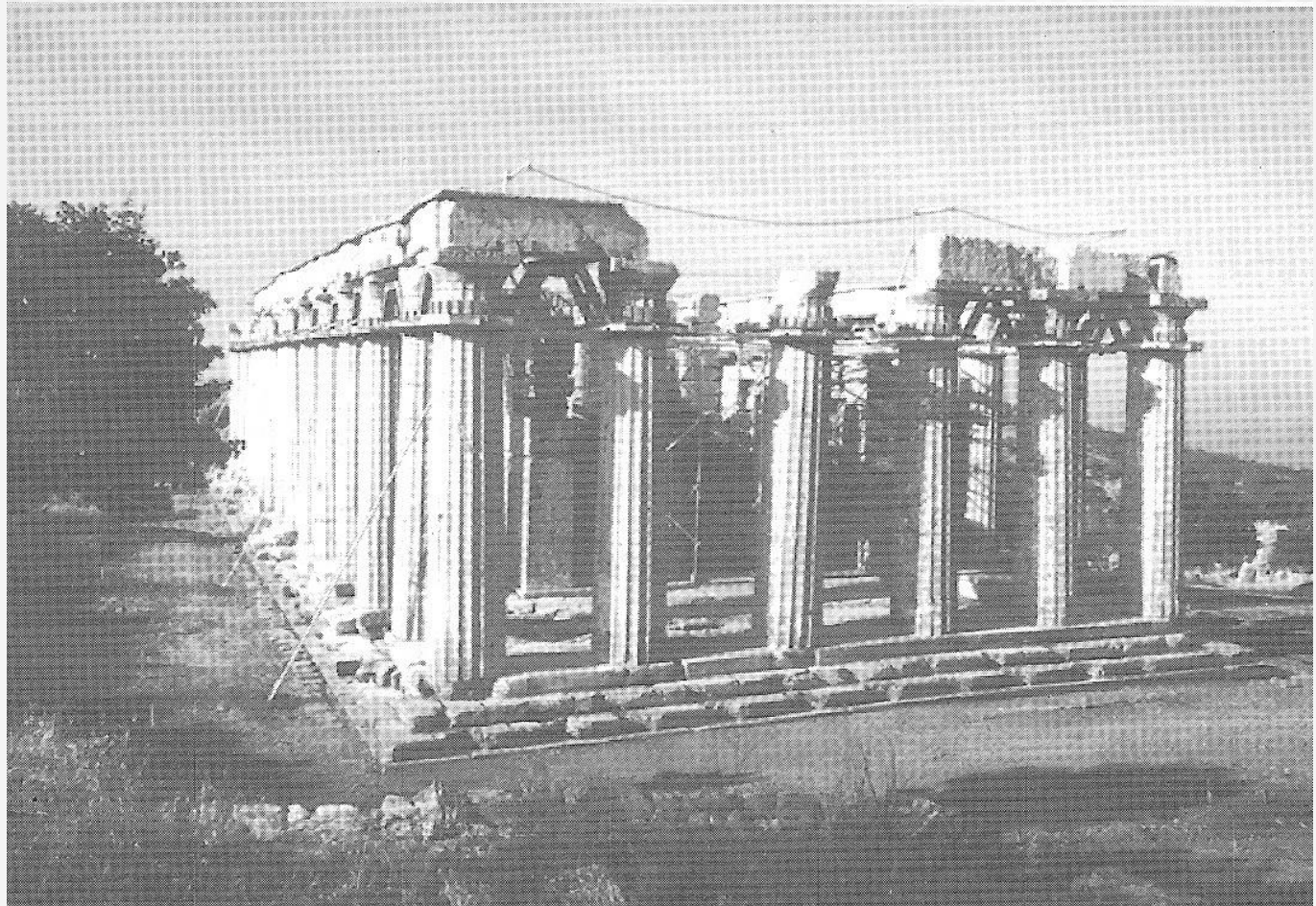


Το στέγαστρο

Η κατάσταση του επιστυλίου



Ο ναός επικουρίου Απόλλωνος στη δεκαετία του 1980



Ο ναός επικουρίου Απόλλωνος

Το αντισεισμικό ικρίωμα



