

# ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΦΘΟΡΑΣ ΥΛΙΚΩΝ (κωδ. μαθ.463)

## **ΜΑΘΗΜΑ 8**

4<sup>ο</sup> εξάμηνο (Εαρινό)

Ανώτατη Εκκλησιαστική Ακαδημία Αθηνών  
Πρόγραμμα Διαχείρισης Εκκλησιαστικών Κειμηλίων

# Βιβλιογραφία κυρίως αυτά κι άλλα



ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων»



ntua ACADEMIC OPEN COURSES

## Περιβαλλοντικά αίτια – Φαινόμενα και μηχανισμοί της φθοράς – Σχέση φθοράς και παθολογίας

Καθ. ΕΜΠ Αντωνία Μοροπούλου



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
Πολύπτυχο στην Κοινωνία της Γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ & ΑΝΑΓΕΙΝΟΜΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης


CAMPBELL • REECE  
URRY • CAIN • WASSERMAN • MINORSKY • JACKSON

# ΒΙΟΛΟΓΙΑ

ΤΟΜΟΣ Ι

Η ΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΖΩΗΣ – ΤΟ ΚΥΤΤΑΡΟ – ΓΕΝΕΤΙΚΗ

Μετάφραση: Θόδωρος Κοκκορόγιαννης, Βασιλική Βακάκη  
Επιστημονική επιμέλεια: Νίκος Μοσχονάς

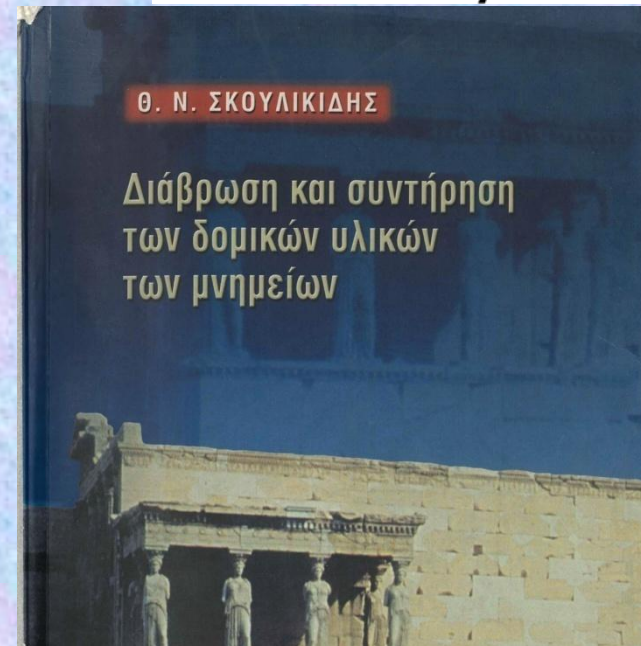


ntua ACADEMIC OPEN COURSES

## ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ (Λίθοι, Μάρμαρα)

Σχολή Χημικών Μηχανικών  
9<sup>ο</sup> Εξαμ. Χ-Μ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

**Καθ. Α. Μοροπούλου**





# ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

ΘΑ ΑΣΧΟΛΗΘΟΥΜΕ ΜΕ ΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ-ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥΣ ΦΘΟΡΑΣ:

- Χαρτιού
- Υφάσματος
- Ξύλου, ξυλόγλυπτου
- Φορητής Εικόνας
- Ελαιογραφίας
- Τοιχογραφίας
- Ψηφιδωτού
- Μετάλλου
- Κεραμικού
- **Πέτρας**

# ΠΕΡΙ ΠΕΤΡΑΣ

## ΠΕΤΡΕΣ ΚΑΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

---

Τα **ΟΡΥΚΤΑ** είναι τα φυσικά, ομογενή στερεά, τα οποία συνήθως σχηματίζονται με ανόργανες διαδικασίες, χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό ταξινομημένης ατομικής διατάξεως, και έχουν χημική σύσταση και φυσικές ιδιότητες, οι οποίες είτε είναι σταθερές είτε κυμαίνονται εντός ορισμένων ορίων.

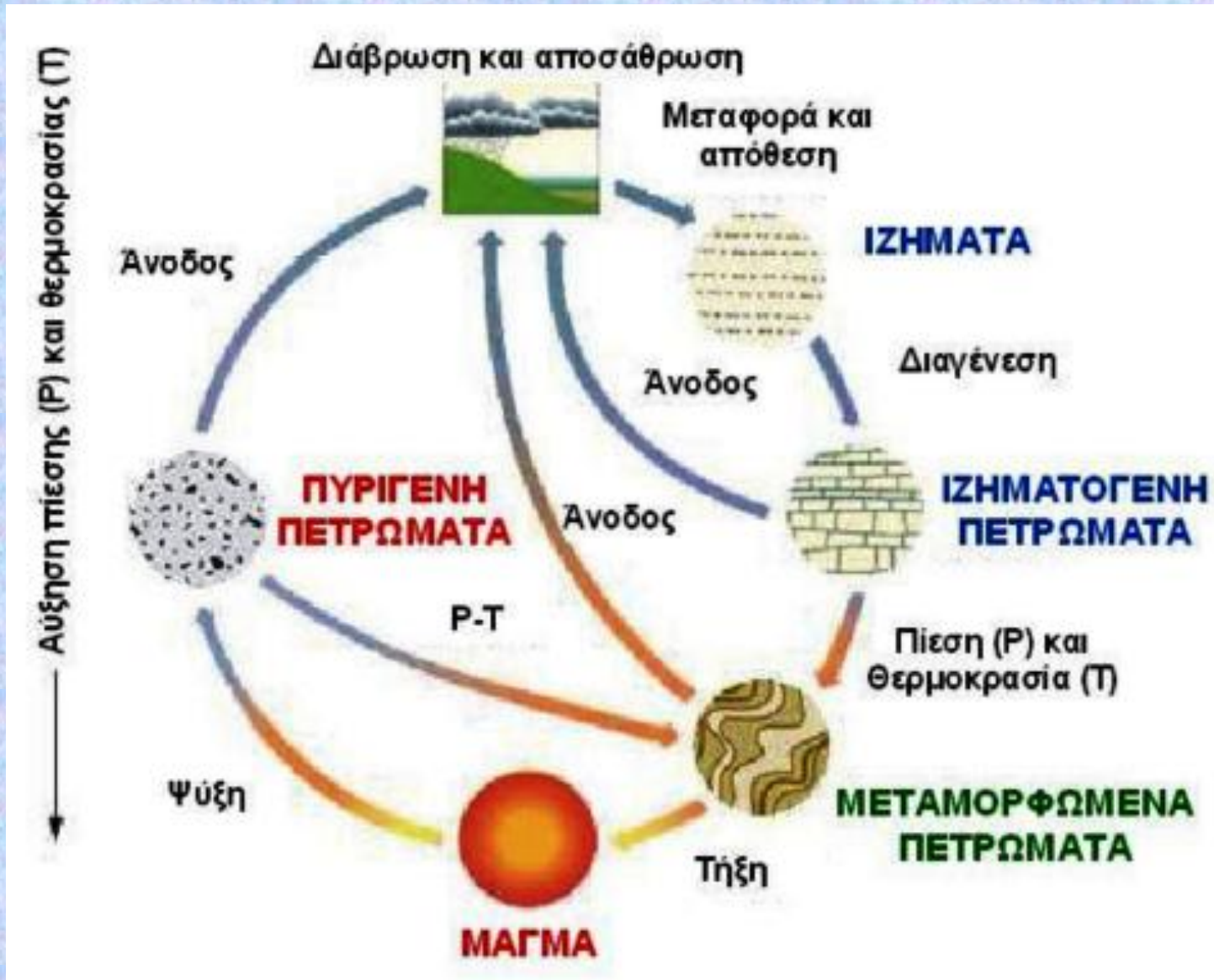
**ΠΕΤΡΩΜΑ** είναι το υλικό του στερεού φλοιού της γης, προϊόν γεωλογικών διεργασιών. Αποτελείται από ορυκτά, των οποίων οι ιδιότητες καθορίζουν και τις φυσικοχημικές του ιδιότητες.

**ΠΕΤΡΑ** είναι το κατεργασμένο από τον άνθρωπο πέτρωμα.

Τα πετρώματα διαχωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες με βάση την γεωλογική διεργασία από την οποία δημιουργούνται:

- Πυριγενή
- Ιζηματογενή
- Μεταμορφωμένα

# ΠΕΡΙ ΠΕΤΡΑΣ





# ΠΕΡΙ ΠΕΤΡΑΣ

## I-A.1 ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Πυριγενή πετρώματα είναι τα πετρώματα τα οποία δημιουργούνται μετά από στερεοποίηση του μάγματος.

Όταν η στερεοποίηση του μάγματος λαμβάνει χώρα αργά μέσα στον φλοιό σε βάθος, τα πετρώματα που δημιουργούνται ονομάζονται **ΒΑΘΥΓΕΝΗ Ή ΠΛΟΥΤΩΝΙΤΕΣ**, και καθώς η κρυστάλλωση είναι βραδεία οδηγεί στην δημιουργία μεσο/χονδρόκοκκων κρυστάλλων συχνά ορατών με γυμνό μάτι.

*Τέτοια πετρώματα είναι οι γρανίτες, οι διορίτες, οι συηνίτες, και οι γάββροι.*

Αντίθετα, όταν η στερεοποίηση λαμβάνει χώρα απότομα στην επιφάνεια του φλοιού της γης, τα πετρώματα που δημιουργούνται ονομάζονται **ΗΦΑΙΣΤΙΤΕΣ Ή ΕΚΡΗΞΙΓΕΝΗ**. Λόγω της απότομης ανόδου του μάγματος στην επιφάνεια, η θερμοκρασία του πέφτει απότομα και σχηματίζονται υαλώδεις ή μικροκρυσταλλικές μάζες.

*Τέτοια πετρώματα είναι ο βασάλτης, και ο ρυόλιθος.*

# ΠΕΡΙ ΠΕΤΡΑΣ

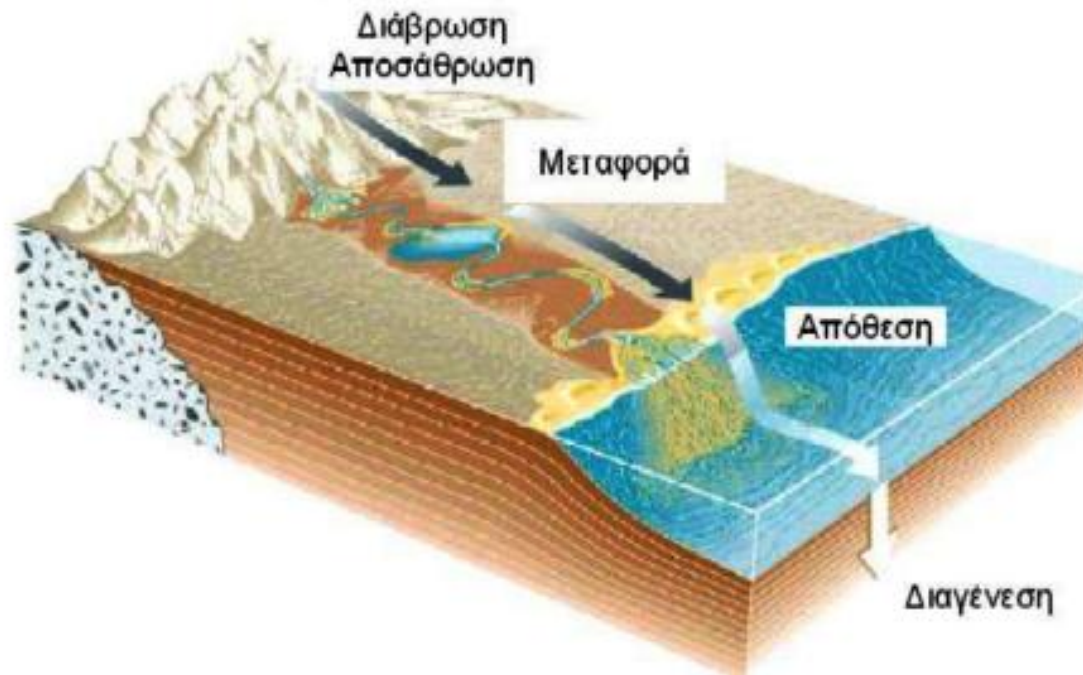
## Ι-Α.2. ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Τα ιζηματογενή πετρώματα σχηματίζονται από απόθεση ή καταβύθιση υλικών που βρίσκονται σε αιώρηση ή διάλυση μέσα σε ένα ρευστό μέσο (αέρας ή νερό) και τη μετέπειτα συγκόλληση των υλικών που αποτέθηκαν. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα, η διαστρωμάτωση υλικών και τα απολιθώματα που βρίσκονται μέσα στα ιζήματα.

# ΠΕΡΙ ΠΕΤΡΑΣ

## *Διαδικασίες σχηματισμού ιζηματογενών πετρωμάτων*

- Διάβρωση και αποσάθρωση: Καταστροφή προϋπαρχόντων πετρωμάτων από φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες
- Μεταφορά: Τα υλικά αποσάθρωσης μεταφέρονται με τον άνεμο και το νερό σε περιοχές απόθεσης οι οποίες μπορεί να είναι είτε κοντά είτε μακριά από την περιοχή παραγωγής των προϊόντων αποσάθρωσης
- Απόθεση: Τα υλικά που βρίσκονται σε αιώρηση ή διάλυση εναποτίθενται σε διαδοχικά στρώματα
- Διαγένεση: διαδικασία μετατροπής ενός χαλαρού ιζήματος σε συμπαγές πέτρωμα με την βοήθεια της πίεσης των υπερκείμενων στρωμάτων και της φυσικής συνδετικής ύλης





# ΠΕΡΙ ΠΕΤΡΑΣ

*Ανάλογα με τον τρόπο που πραγματοποιείται η όλη διαδικασία δημιουργίας των ιζηματογενών πετρωμάτων έχουμε τα ακόλουθα:*

- Μηχανικά ή κλαστικά ιζήματα: Συγκέντρωση θραυσμάτων ή φερτών υλικών διαφόρων μεγεθών, σχημάτων, και σύνθεσης, τα οποία είναι προϊόντα της αποσάθρωσης άλλων πετρωμάτων [τυπικά πετρώματα: ο ψαμμίτης, τα λατυποπαγή και τα κροκαλοπαγή, ο πηλόλιθος, η άργιλος, η μάργα κ.α.]
- Χημικά ιζήματα: Απόθεση ορυκτών από υδατικά διαλύματα με ανόργανες χημικές διαδικασίες [τυπικά πετρώματα: ο ασβεστόλιθος, ο δολομίτης, ο τραβερτίνης, ο όνυχας, ο γύψος, το ορυκτό άλας κ.α.]
- Οργανικά ή βιογενή ιζήματα: Συσσώρευση οργανικής προέλευσης υλικού- [τυπικά πετρώματα: η τύρφη, ο λιγνίτης, ο λιθάνθρακας, ο κοραλλιογενής, κελυφογενής ή βιοκλαστικός ασβεστόλιθος κ.α.]

# ΠΕΡΙ ΠΕΤΡΑΣ

## ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ



Η Ακρόπολη των Αθηνών είναι χτισμένη πάνω σε βράχο ασβεστολιθικής σύστασης.

Ο ασβεστόλιθος είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο πέτρωμα στην Ελλάδα και αποτελείται κυρίως από **ασβεστίτη** ( $\text{CaCO}_3$ ) με λιγότερο από 5% **αργιλικές προσμίξεις**. Η απόθεση του  $\text{CaCO}_3$  είναι είτε **χημική** π.χ. καθίζηση λόγω κορεσμού στο υδατικό διάλυμα, είτε **βιογενής** από τα σκελετικά στοιχεία ζωικών ή φυτικών οργανισμών. Οι ασβεστόλιθοι έχουν μεγάλο εύρος χρωμάτων και σύστασης που εξαρτώνται από την διαδικασία σχηματισμού τους.



Ασβεστόλιθος (αριστερά: χημικά ιζηματογενής, δεξιά: βιογενής)

# ΠΕΡΙ ΠΕΤΡΑΣ

## I-A.3. ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

### I-A.3.1. ΓΕΝΙΚΑ

- Μεταμορφωμένα πετρώματα είναι τα πετρώματα τα οποία *προκύπτουν από άλλα προϋπάρχοντα μετά από ιστολογικές, ορυκτολογικές και χημικές μεταβολές χωρίς όμως να υποστούν τήξη.*
- Τα πυριγενή και ιζηματογενή πετρώματα υπόκεινται σε αυξημένες πιέσεις και θερμοκρασίες, και στην δράση θερμών διαλυμάτων και αερίων όταν βρεθούν λόγω γεωλογικών διεργασιών σε μεγάλα βάθη (π.χ. λόγω εναπόθεσης πάνω από αυτά νέων ιζηματογενών πετρωμάτων ή λόγω μετακινήσεων των γεωλογικών πλακών) και ανακρυσταλλώνονται σε πιο σταθερές ορυκτές φάσεις.



# ΠΕΡΙ ΠΕΤΡΑΣ

## I-A.3.2. ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

### Μάρμαρο

- ❖ Το μάρμαρο έχει προέλθει από την μεταμόρφωση του ασβεστόλιθου.
- ❖ Αποτελείται κυρίως από **ασβεστίτη** ( $\text{CaCO}_3$ ), έχει σκληρότητα **3 κατά Mohs**, και ειδικό βάρος  $2,7 \text{ g/cm}^3$ .
- ❖ Εκτός από τον ασβεστίτη το μάρμαρο μπορεί να περιέχει **δολομίτη**, **ορυκτό σκληρότερο (3,5-4 κατά Mohs)**, και **βαρύτερο ( $2,9 \text{ g/cm}^3$ )**. Η παρουσία στο δολομίτη καθιστά την κατεργασία του μαρμάρου πιο δυσχερή και επιταχύνει την φθορά του. Επίσης, πολύ συχνά περιέχει και άλλες προσμίξεις (αιματίτης, σιδηροπυρίτης, κ.α.) που διασχίζουν με την μορφή φλεβών την μάζα του μαρμάρου.
- ❖ Τα μάρμαρα διακρίνονται σε **λεπτοκοκκώδη** (διάμετρος κρυστάλλου ασβεστίτη ( $d$ )=  $0,01-0,05 \text{ mm}$ ), **μεσοκοκκώδη** ( $d=0,6-2 \text{ mm}$ ) και **χονδροκοκκώδη** ( $d=2-6 \text{ mm}$ ) ανάλογα με το μέγεθος των κρυστάλλων του ασβεστίτη.
- ❖ Παρουσιάζει **μεγάλη αντοχή και ανθεκτικότητα στους παράγοντες φθοράς**, εξαιτίας της **μικροδομής** που παρουσιάζει (περίπου  $0,3\%$ ). Ωστόσο, **καταστρέφεται εύκολα από φωτιά** όπως και οι **κοινοί ασβεστόλιθοι**, γιατί περίπου στους  $900^\circ\text{C}$ , αποσυντίθεται το ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ) σε  $\text{CaO}$  και  $\text{CO}_2$ .
- ❖ Το χρώμα του μπορεί να είναι **λευκό, γκρι, ροζ, ή πράσινο**, με διάφορες μπάντες και φλέβες.

# ΠΕΡΙ ΠΕΤΡΑΣ

## Άργιλος

Τα κεραμικά υλικά βασίζονται στο αργιλώδες χώμα, που είναι και η πρώτη ύλη της κατασκευής τους. Το αργιλώδες χώμα ή άργιλος προέρχεται από τη διάλυση των πετρωμάτων σε πολύ λεπτά σωματίδια (σχεδόν σε μοριακή μορφή). Το μέγεθος των κόκκων της αργίλου διαφοροποιείται ανάλογα με την ποιότητα του υλικού. Η κυριότερη αιτία που προκάλεσε και συνεχίζει να προκαλεί τη διάλυση αυτών των πετρωμάτων είναι η κίνηση του νερού και του αέρα στην ατμόσφαιρα (δηλαδή τα διάφορα καιρικά φαινόμενα), και άλλες αιτίες όπως η διέλευση ενός ποταμού ή ενός χειμάρρου και σε μικρότερη κλίμακα κάποιες γεωλογικές αιτίες που προξένησαν πιέσεις και απότομες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας στα πετρώματα. Βασικά συστατικά του πηλού είναι το αργίλιο, το πυρίτιο και νερό μέσα στη χημική του σύνθεση. Η ονομασία του είναι ένυδρο πυριτικό αργίλιο ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Η καθαρότερη μορφή αργίλου είναι ο καολίνης.



Η ονομασία του είναι ένυδρο πυριτικό αργίλιο ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Η καθαρότερη μορφή αργίλου είναι ο καολίνης.



# ΠΕΡΙ ΠΕΤΡΑΣ

## ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΟΡΥΚΤΩΝ

Η αναγνώριση των ορυκτών γίνεται με τη βοήθεια ορυκτολογικών πινάκων. Σε αυτούς τους πίνακες περιέχονται όλα τα γνωστά ορυκτά ταξινομημένα με βάση ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες. Εκτός από το κρυσταλλικό σύστημα, άλλες απαραίτητες για τον προσδιορισμό ιδιότητές τους είναι η σκληρότητα, το χρώμα, η λάμψη, το ειδικό βάρος, η μορφή ανάπτυξης των εδρών, η σύσταση και η διάταξη των κόκκων, η αντοχή σε διάφορες καταπονήσεις κ.ά.

Για τις αναλύσεις των πετρωμάτων χρησιμοποιούνται έμμεσες μέθοδοι, οι οποίες δεν απαιτούν πολύ χρόνο. Από αυτές οι πιο ενδιαφέρουσες είναι η φλογοφωτομετρία, η ατομική απορρόφηση, η χρωματομετρία, η διαφορική θερμική ανάλυση, η μικροσκοπία, η μέθοδος του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης κ.ά. Επίσης, η απλή μέθοδος προσβολής των ορυκτών με αραιό διάλυμα υδροχλωρικού οξέος μπορεί να εφαρμοστεί στο ύπαιθρο, και τη χρησιμοποιούν οι γεωλόγοι και άλλοι τεχνικοί, για να διακρίνουν τον ασβεστίτη από το χαλαζία και, γενικότερα, τα πετρώματα ασβεστιτικής σύστασης από τα άλλα πετρώματα.

Η σκληρότητα των ορυκτών προσδιορίζεται συνήθως από την 10-βάθμη σκληρομετρική κλίμακα του Mohs. Είναι μέθοδος εμπειρική, η οποία χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της σκληρότητας των πετρωμάτων.

Αποτελείται από τα αναφερόμενα στον παρακάτω πίνακα δέκα ορυκτά, τα οποία είναι ταξινομημένα κατά σειρά σκληρότητας. Τα ορυκτά αυτά είναι: ο τάλκης, η γύψος, ο ασβεστίτης, ο φθορίτης, ο απατίτης, το ορθόκλαστο, ο χαλαζίας, το τοπάζιο, το κορούνδιο και ο αδάμας, και αντιπροσωπεύουν τους δέκα βαθμούς σκληρότητας της κλίμακας Mohs.



# ΠΕΡΙ ΠΕΤΡΑΣ

ΟΡΥΚΤΑ	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ
τάλκης	1
γύψος	2
ασβεστίτης	3
φθοριτής	4
απατίτης	5
ορθόκλαστο	6
χαλαζίας	7
τοπάζιο	8
κορούνδιο	9
αδάμας	10

*Σκληρομετρική κλίμακα Mohs*

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας ενός ορυκτού βασίζεται στην εύρεση με δοκιμές δύο ορυκτών της κλίμακας Mohs, από τα οποία το ένα χαράζει και το άλλο χαράζεται από το ορυκτό, του οποίου θέλουμε να προσδιορίσουμε τη σκληρότητα.

Πρόχειρα μέσα διάγνωσης της σκληρότητας των ορυκτών στο ύπαιθρο είναι το νύχι ή ένα κομμάτι γυαλί ή ένα μαχαίρι. Τα ορυκτά με σκληρότητα 1 έως 2 της κλίμακας Mohs χαράζονται με το νύχι. Τα ορυκτά με σκληρότητα 3 έως 5,5 χαράζονται με το μαχαίρι. Τα ορυκτά με σκληρότητα 6 δε χαράζονται με το μαχαίρι, αλλά ούτε και χαράζουν το γυαλί. Τέλος, τα ορυκτά με σκληρότητα 7 και άνω χαράζουν το γυαλί.

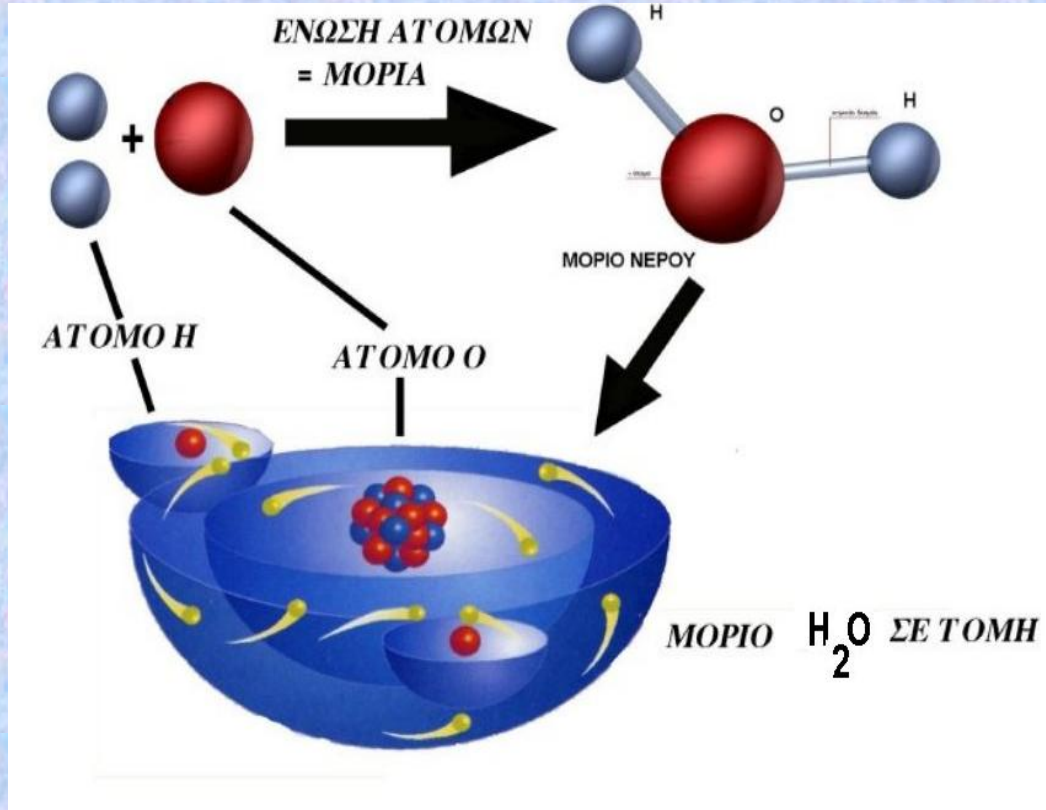
# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

## ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ:

- επίδραση του νερού
  - παγετός
  - διαλυτά άλατα
- ρύποι της ατμόσφαιρας
- ύπαρξη μεταλλικών συνδέσμων
- μηχανικές καταπονήσεις από θερμοκρασιακές μεταβολές
- βιολογικοί παράγοντες

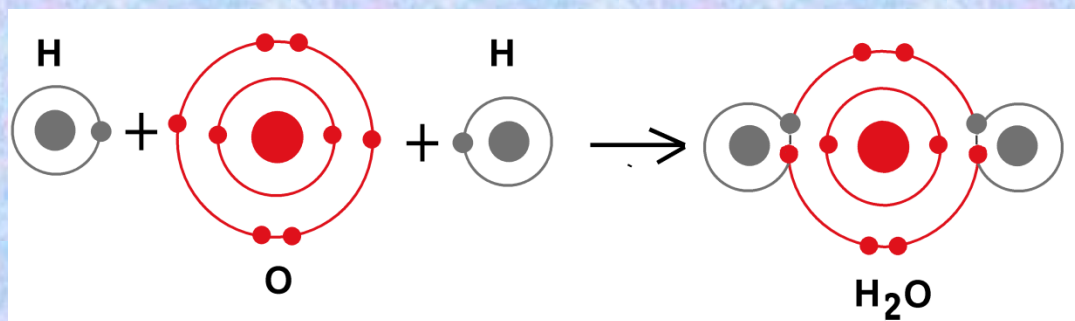
# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

Δομή του νερού, χημικοί δεσμοί μεταξύ των μορίων του νερού, χημικοί δεσμοί μεταξύ των μορίων νερού και άλλων υλικών



Το μόριο του νερού αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου κι ένα άτομο οξυγόνου. Το κάθε άτομο υδρογόνου έχει ένα θετικού φορτίου πρωτόνιο στον πυρήνα, κι ένα αρνητικό ηλεκτρόνιο, ενώ το άτομο οξυγόνου έχει 8 θετικού φορτίου πρωτόνια στον πυρήνα και 8 αρνητικά ηλεκτρόνια.

Το μόριο του νερού σχηματίζεται με ομοιοπολικό δεσμό μεταξύ ατόμων υδρογόνου με το άτομο οξυγόνου (δηλαδή με αμοιβαία συνεισφορά ηλεκτρονίων)- βλέπε αριστερά.

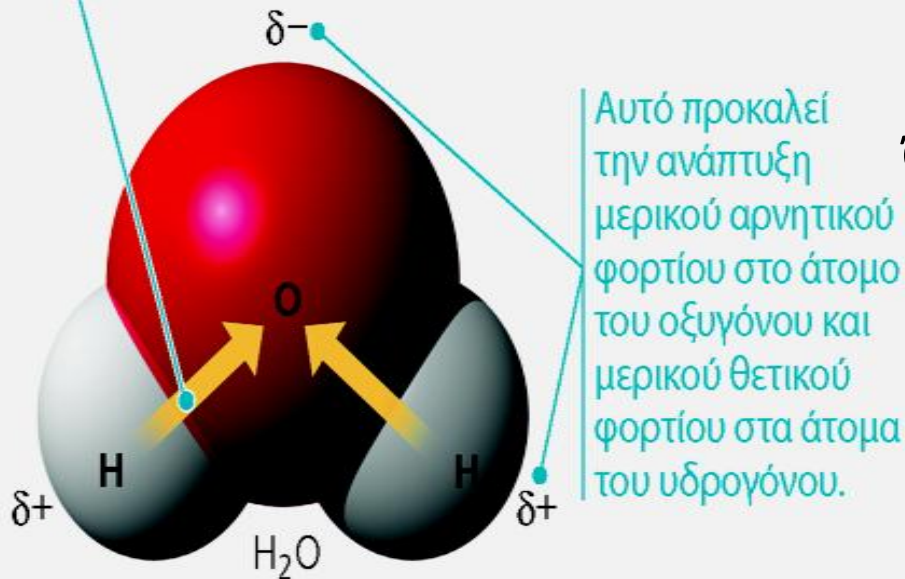




# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

Δομή του νερού, χημικοί δεσμοί μεταξύ των μορίων του νερού,  
χημικοί δεσμοί μεταξύ των μορίων νερού και άλλων υλικών

Επειδή το οξυγόνο (O) είναι πιο ηλεκτραρνητικό από το υδρογόνο (H), το ζεύγος των κοινών ηλεκτρονίων έλκεται περισσότερο προς το οξυγόνο.



▲ **Εικόνα 2.13** Πολικοί ομοιοπολικοί δεσμοί στο μόριο του νερού.

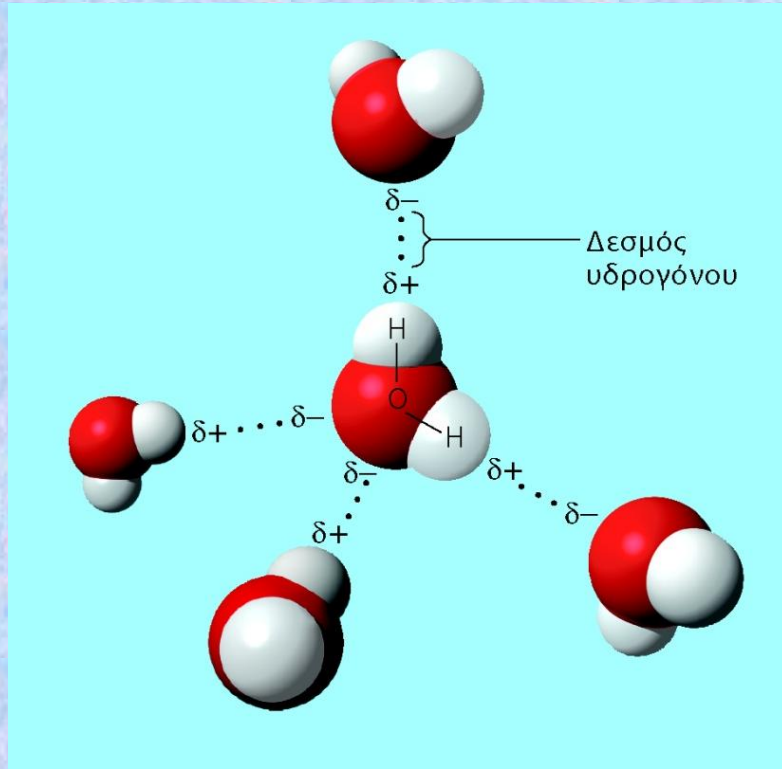
Το μόριο του νερού είναι **ηλεκτρικά ουδέτερο**, δηλαδή έχει όσα ηλεκτρόνια ( $1+1+8=10$ ), τόσα ακριβώς και πρωτόνια (10).

Όμως επειδή το οξυγόνο έχει την τάση να «τραβά» το κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων προς το μέρος του (είναι ηλεκτραρνητικότερο), δημιουργείται στο μόριο του νερού, τοπικά μία περιοχή λίγο πιο αρνητική ( $\delta^-$ ) και δύο τοπικές περιοχές λίγο πιο θετικές ( $\delta^+$ ).

Το φαινόμενο είναι τοπικό κι απομακρυνόμενοι πολύ από το μόριο, αυτό συμπεριφέρεται ως ηλεκτρικά ουδέτερο. Η συγκεκριμένη συμπεριφορά καθιστά το μόριο του νερού «πολικό», δηλαδή πολωμένο μόριο.

# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

Δομή του νερού, χημικοί δεσμοί μεταξύ των μορίων του νερού,  
χημικοί δεσμοί μεταξύ των μορίων νερού και άλλων υλικών



Όταν τώρα υπάρχουν πολλά μόρια νερού, τότε οι αντίθετα φορτισμένες περιοχές γειτονικών μορίων έλκονται, δημιουργώντας ασθενείς χημικούς δεσμούς που ονομάζονται **δεσμοί υδρογόνου\***.

Τέτοιοι χημικοί δεσμοί εκδηλώνονται είτε σε γειτονικά μόρια νερού, είτε ανάμεσα σε μόρια νερού και άλλα πολικά μόρια (π.χ. στο μόριο της ζάχαρης) αλλά και ανάμεσα σε μόρια του νερού και στα τοιχώματα ενός δοχείου που περιέχει το νερό. Για αυτό το νερό σχηματίζει σε ένα ευρύστομο δοχείο την διαμόρφωση του Σχ.58 (β) της επόμενης σελίδας.

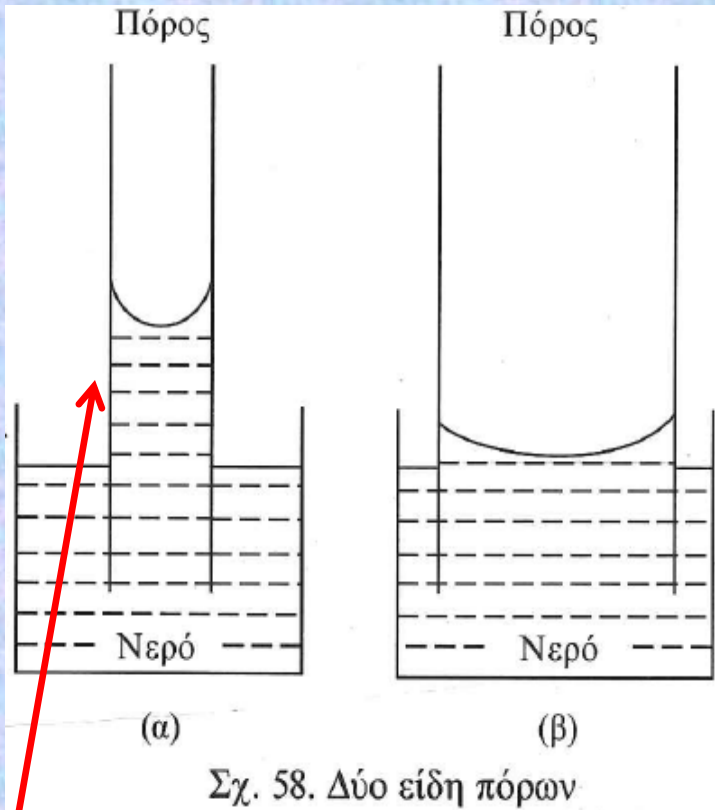
▲ **Εικόνα 3.2** Δεσμοί υδρογόνου μεταξύ μορίων νερού. Οι φορτισμένες περιοχές στο πολικό μόριο του νερού έλκονται από τις αντίθετα φορτισμένες περιοχές γειτονικών μορίων. Κάθε μόριο μπορεί να σχηματίσει δεσμούς υδρογόνου με πολλά άλλα μόρια νερού σε μια ακολουθία σχέσεων που μεταβάλλεται διαρκώς.

\*συναντιέται σε μόρια που έχουν υδρογόνο και κάποιο ηλεκτραρνητικό άτομο  
CAMPBELL – REECE, **ΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΜΟΣ I**, ΠΕΚ 2010



# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

Δομή του νερού, χημικοί δεσμοί μεταξύ των μορίων του νερού, χημικοί δεσμοί μεταξύ των μορίων νερού και άλλων υλικών



τριχοειδής αναρρίχηση

Οι δεσμοί υδρογόνου ανάμεσα στις τοπικά φορτισμένες περιοχές ( $\delta+$  και  $\delta-$ ) του μορίου του νερού και στις πολωμένες περιοχές των συστατικών των τοιχωμάτων των αγγείων ενός δένδρου μικρής διατομής (τριχοειδή) ή ενός πόρου μίας πέτρας πολύ μικρής διατομής ή ενός στενού δοχείου, είναι υπεύθυνοι για την αναρρίχηση του νερού, που κινείται προς τα πάνω, αντίθετα προς την έλξη της βαρύτητας-βλέπε Σχ.58α.

Έτσι ανεβαίνουν οι χυμοί από τις ρίζες ενός δένδρου στα ανώτερα στρώματα και η υγρασία από τα θεμέλια ενός λίθινου μνημείου ή ενός τοίχου σε μεγαλύτερα ύψη.

Το φαινόμενο είναι τόσο εντονότερο, όσο η διάμετρος του πόρου μικραίνει.

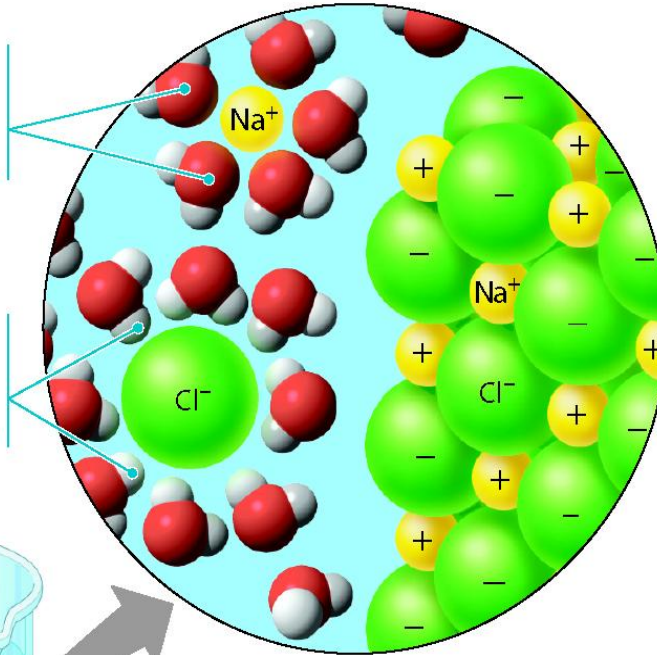


# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

Δομή του νερού, χημικοί δεσμοί μεταξύ των μορίων του νερού, χημικοί δεσμοί μεταξύ των μορίων νερού και άλλων υλικών

Οι αρνητικά φορτισμένες περιοχές του οξυγόνου στα μόρια του νερού έλκονται από τα κατιόντα νατρίου ( $\text{Na}^+$ ).

Οι θετικά φορτισμένες περιοχές των υδρογόνων στα μόρια του νερού έλκονται από τα ανιόντα χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ).



▲ **Εικόνα 3.7** Διάλυση μαγειρικού αλατιού σε νερό. Τα μόρια του νερού σχηματίζουν μια σφαίρα, το αποκαλούμενο κέλυφος ενυδάτωσης, γύρω από κάθε διαλυμένο ιόν.

**Το νερό είναι πολύ καλός διαλύτης σε πλήθος υλικών (αλλά όχι στην ολότητα των υλικών)**

Τα μόρια του νερού έλκονται ηλεκτρικά από τις φορτισμένες ή πολικές περιοχές διαφόρων ουσιών σχηματίζοντας δεσμούς με αυτές.

Στο νερό λοιπόν διαλύονται **ιοντικές ενώσεις** (όπως το αλάτι και τα ευδιάλυτα άλατα).

Επίσης στο νερό διαλύονται **πολικές ενώσεις** (όπως τα σάκχαρα όπου στο μόριο υπάρχουν ηλεκτραρνητικότερες και ηλεκτροθετικότερες περιοχές).

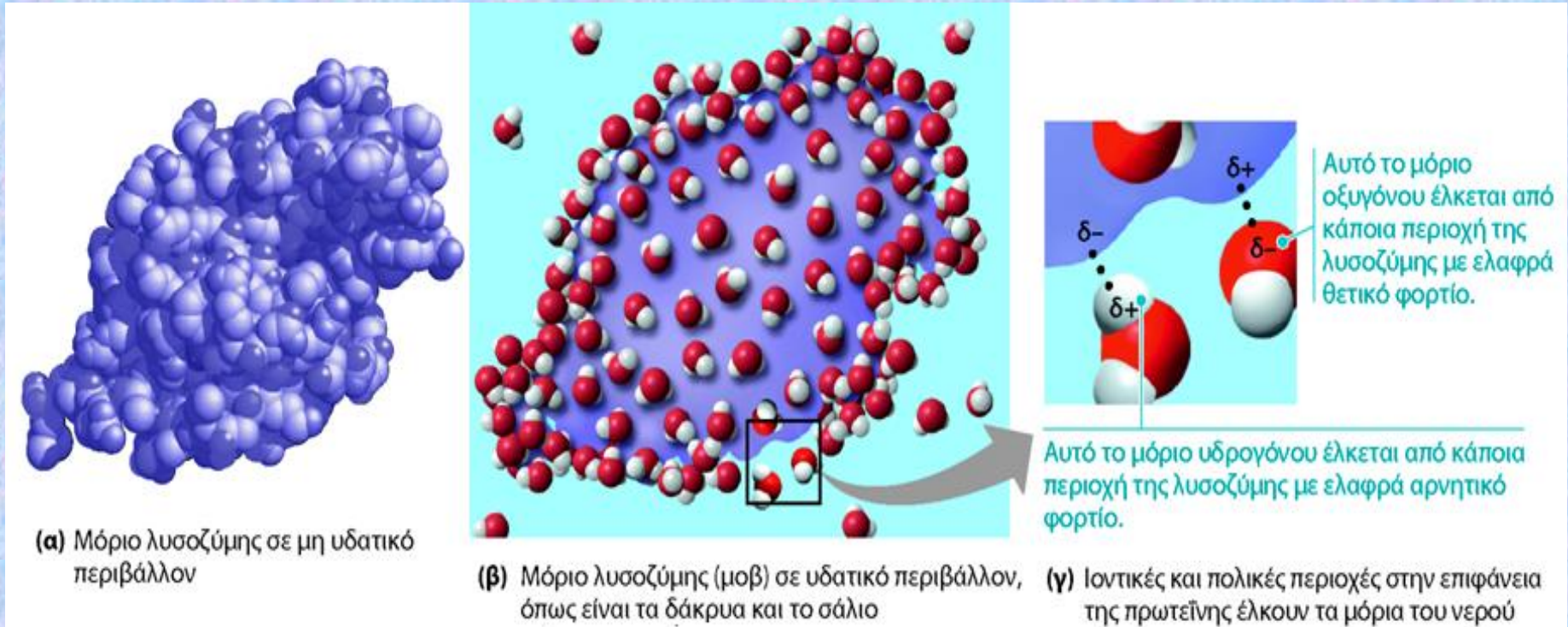
# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

Δομή του νερού, χημικοί δεσμοί μεταξύ των μορίων του νερού, χημικοί δεσμοί μεταξύ των μορίων νερού και άλλων υλικών

**Το νερό είναι πολύ καλός διαλύτης σε πλήθος υλικών (αλλά όχι στην ολότητα των υλικών)**

Επίσης στο νερό διαλύονται **μεγαλοενώσεις** –όπως οι **πρωτεΐνες** που στα υπερμεγέθη μόρια τους τυχαίνει να υπάρχουν τοπικές ιοντικές ή πολικές περιοχές (π.χ. η λυσοζύμη που δρα αντιβακτηριακά στο σάλιο και στα δάκρυα) . Όλες οι παραπάνω ουσίες λέγονται **υδρόφιλες**.

Οι μη πολικές ή οι μη ιοντικές ενώσεις λέγονται **υδρόφοβες** και στην πράξη απωθούν το νερό (π.χ. το λάδι)





# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

## Επίδραση του νερού (1)



**Το νερό και τα σχετιζόμενα με αυτό φαινόμενα αποτελούν την κυριότερη αιτία φθοράς της πέτρας.**

Το νερό εισχωρεί με 3 τρόπους στην πέτρα:

- i) Διαδικασία **τριχοειδούς αναρρίχησης** (νερό από το έδαφος προς τα πάνω-εξηγήσαμε πριν γιατί).
- ii) **Συμπύκνωση** των υδρατμών του αέρα.
- iii) **Διείσδυση** του νερού της βροχής (όταν η πέτρα έχει πόρους).

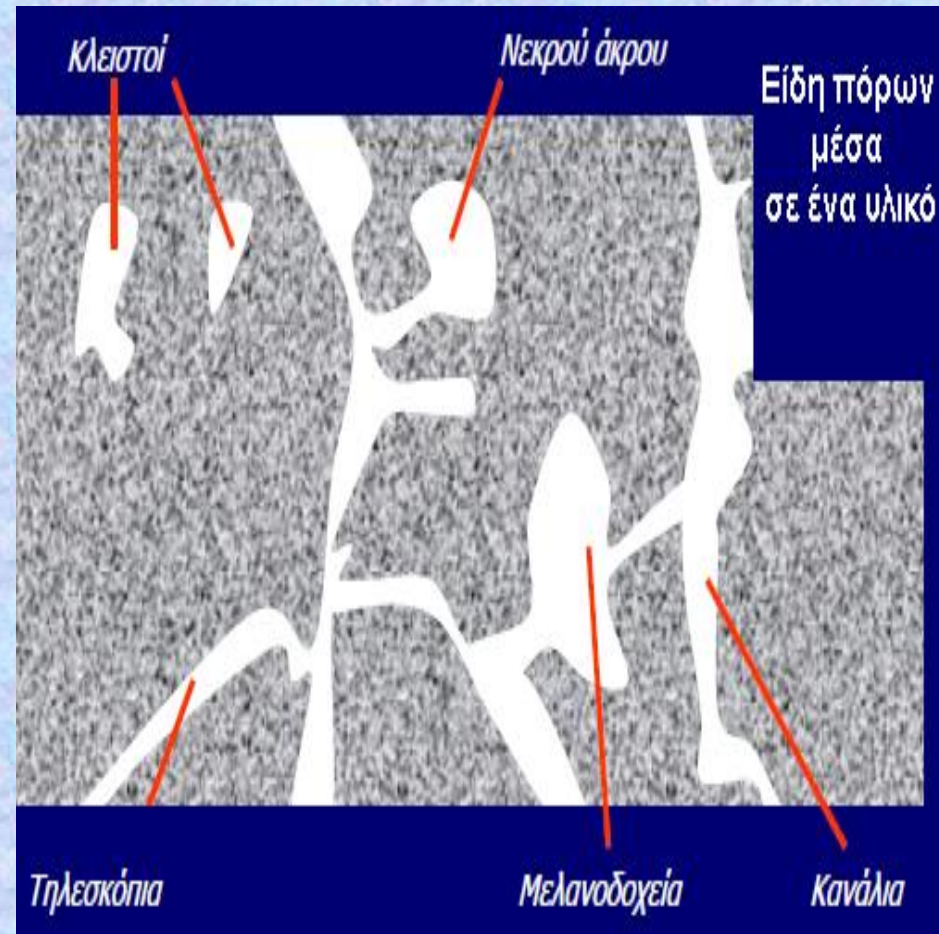
Η φθορά σχετίζεται ανάλογα με το πόσο μεγάλο είναι το πορώδες της πέτρας.



# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

## Επίδραση του νερού (2)

- **Πορώδες πέτρας:** το ποσό έκτασης της παρουσίας πόρων στην πέτρα, δηλαδή μικρών κενών χώρων σαν κανάλια, οι οποίοι είτε είναι ανοιχτοί (διαμπερείς από το ένα άκρο της πέτρας στο άλλο), είτε είναι κλειστοί, είτε ανοικτοί στο ένα άκρο, είτε επικοινωνούν σχηματίζοντας ένα δίκτυο (βλέπε εικόνα).



ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΑΙΤΙΑ-ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΦΘΟΡΑΣ-  
ΣΧΕΣΗ ΦΘΟΡΑΣ ΚΑΙ ΠΑΘΟΛΟΓΙΑΣ, (ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ, ΜΑΘΗΜΑΤΑ  
OPEN COURSES, ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΕΜΠ)

# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

## Επίδραση του παγετού

Μία απλοϊκή εξήγηση της φθοράς της πέτρας όταν το νερό που περιέχεται στη μάζα της παγώσει, είναι η αύξηση του όγκου που υφίσταται το νερό αν πέσει στους  $0^{\circ}$  C.

Βεβαίως υπάρχουν προτεινόμενοι μηχανισμοί που εμπλέκουν το πορώδες της δομής της πέτρας, την ταχύτητα εισχώρησης, την αντοχή της πέτρας κ.ά., στα οποία δεν θα αναφερθούμε καθότι είναι αρκετά περίπλοκα.

# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

## Επίδραση των διαλυτών αλάτων (1)

Η διάβρωση από τα άλατα που διαλύονται στο νερό είναι επικίνδυνη ακόμα κι όταν η πέτρα δεν έχει μεγάλο πορώδες.

Αντιμετωπίζεται δύσκολα κι ένας λόγος για αυτό είναι ότι τα ευδιάλυτα άλατα προέρχονται από πολλές πηγές. Άλλος λόγος είναι ότι από πέτρα σε πέτρα, ανάλογα με τις προσμίξεις και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της διαφέρει ο μηχανισμός δράσης τους.

Τα δυσδιάλυτα άλατα είναι αυτά που δεν διαλύονται στο νερό ή διαλύονται λίγο.

Τα ευδιάλυτα, όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενη παρουσίαση, δημιουργούν έντονες τάσεις-πιέσεις μέσα στους πόρους της πέτρας.

Τα πιο συχνά επιδρώντα άλατα είναι τα χλωριούχα ( $\text{Cl}^-$ ), τα θειικά ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), τα ανθρακικά ( $\text{CO}_3^{-2}$ ) και σπανιότερα τα νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) και από τα κατιόντα το ασβέστιο, το νάτριο, το κάλιο, και το μαγνήσιο.



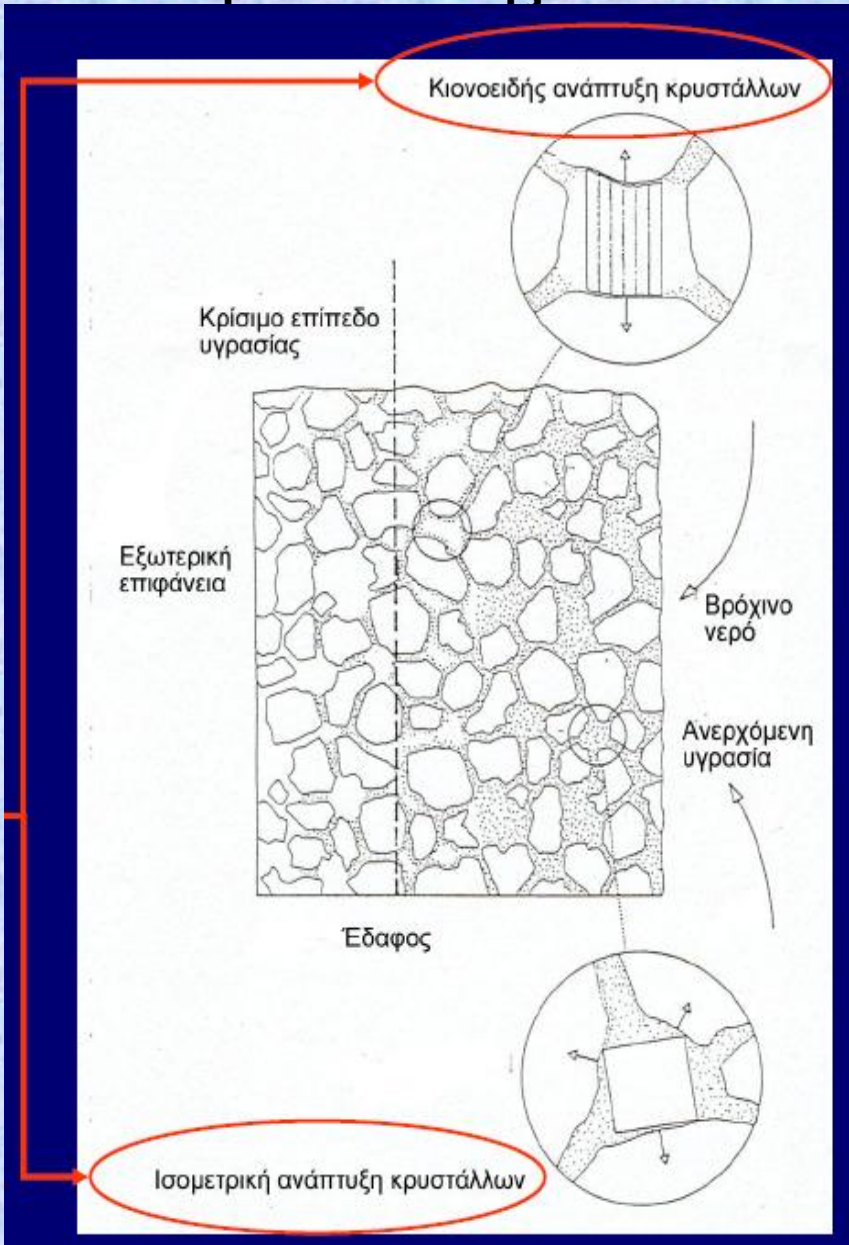
# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

## Επίδραση των διαλυτών αλάτων (2)

### Πηγές προέλευσης των αλάτων

- Τα **νερά του υπεδάφους** που ανεβαίνουν με τριχοειδή αναρρίχηση.
- Η **θάλασσα** (παρουσία κυρίως θεικών και χλωριούχων αλάτων). Τα άλατα της μπορεί υπό προϋποθέσεις να φτάσουν ακόμα και μέχρι 15 km στο εσωτερικό της στεριάς. Η περιεκτικότητα της θάλασσας σε αλάτι (χλωριούχο νάτριο) είναι 3,5%.
- Τα **δομικά υλικά** αποκαταστάσεων (τσιμέντο, άμμος κ.ά.) είναι από μόνα τους πηγές διαλυτών αλάτων κυρίως θεικών, ανθρακικών, πυριτικών.
- Η **ατμοσφαιρική ρύπανση** μέσω των ρυπαντών που καταλήγουν να γίνουν οξέα, προσβάλλει την πέτρα σχηματίζοντας άλατα κάποια εκ των οποίων είναι ευδιάλυτα.

## Μία απεικόνιση-μοντέλο της κρυστάλλωσης αλάτων



# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ- ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

## Επίδραση των διαλυτών αλάτων (3)

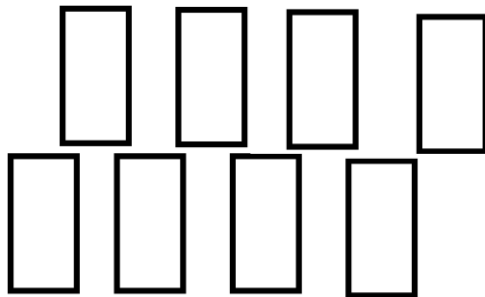
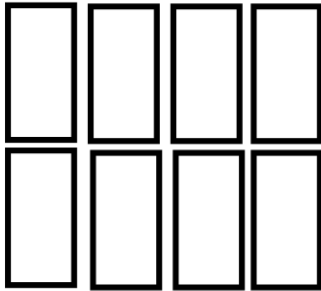
**Γιατί τα διαλυτά άλατα ασκούν πιέσεις στους πόρους;**  
Τα διαλυτά άλατα θειικό νάτριο ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), θειικό μαγνήσιο ( $\text{MgSO}_4$ ), θειικό ασβέστιο ( $\text{CaSO}_4$ ) αλλάζουν τη δομή του κρυστάλλου τους σε ορισμένες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας. Η αλλαγή του όγκου, αν είναι αυξητική δημιουργεί στο εσωτερικό των πόρων της πέτρας, όπως φαίνεται αριστερά, διαφόρων ειδών πιέσεις, ανάλογα με τη μορφή που έχει η νέα κρυσταλλική τους δομή.



# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

## Επίδραση των διαλυτών αλάτων (4)

### Α ΤΡΟΠΟΣ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗΣ



### Β ΤΡΟΠΟΣ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗΣ

Ειδικά τα **χλωριούχα άλατα** ως πιο ευκίνητα, διεισδύουν πιο επιθετικά στους πόρους. Επίσης με κάποιον περίπλοκο μηχανισμό φθείρουν τις αργλικές προσμίξεις της πέτρας, δηλαδή τις αποδομούν.

Μία συνήθης κατάληξη ορισμένων διαλυτών αλάτων είναι να μείνει μέσα στους πόρους. Άλλη συνήθης κατάληξη είναι ο συμπαρασυρμός τους στις εξόδους των πόρων στην επιφάνεια της πέτρας. Εκεί το νερό εξατμίζεται και τα άλατα επικάθονται στην επιφάνεια δημιουργώντας «εξανθήσεις»

2 διαφορετικοί τρόποι κρυστάλλωσης ενός άλατος. Ο δεύτερος καταλαμβάνει περισσότερο χώρο, άρα εντός στενού πόρου πέτρας θα ασκούσε πιέσεις.

# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

## Ατμοσφαιρικοί ρύποι (1)

$CO_2$

$CO$

$CH_4$

$N_2O$

$NO_2$  ( $NO_x$ )

$O_3$

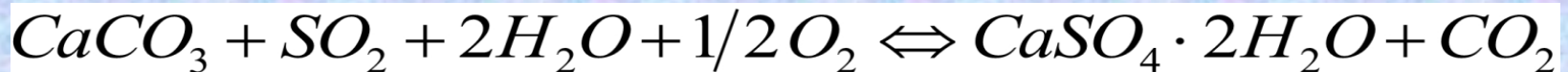
$SO_2$

$NH_3$

•Οι συνηθισμένοι ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι (πινακάκι αριστερά):

•Τα οξείδια του αζώτου και του θείου με την επίδραση νερού μετατρέπονται σε οξέα.

•Ακολουθως τα οξέα δρουν στην πέτρα και στα μάρμαρα. Π.χ. το θειϊκό οξύ που σχηματίζεται (από τα οξείδια του θείου και το νερό) επιδρά σε ανθρακικές ενώσεις (στο ανθρακικό ασβέστιο της πέτρας ή του μαρμάρου ή σε πυριτικές ή αργιλικές ενώσεις που περιέχονται ως κύριες προσμίξεις στην πέτρα) και τα μετατρέπει σε ευδιάλυτες ενώσεις που παρασύρονται από το νερό. Ενδεικτική είναι η μετατροπή του ανθρακικού ασβεστίου (μέσω θειϊκού οξέος) σε θειϊκό ασβέστιο (γύψο):

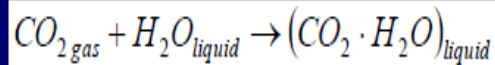




# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

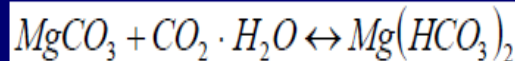
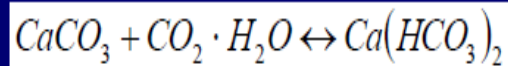
## Ατμοσφαιρικοί ρύποι (2)

Το  $CO_2$  διαλύεται στο βρόχινο νερό σύμφωνα με την αντίδραση:



το ανθρακικό οξύ,  $CO_2 \cdot H_2O$  (φυσικά διαλυμένο  $CO_2$ )

Το ασθενές όξινο διάλυμα που παράγεται από την διάλυση του  $CO_2$  στο βρόχινο νερό διαλύει το ανθρακικό ασβέστιο και ανθρακικό μαγνήσιο που βρίσκονται στους ασβεστόλιθους, το δολομιτικό μάρμαρο, τα ασβεστοκονιάματα και επιχρίσματα με ασβέστη, καθώς παράγονται ευδιάλυτες όξινες ανθρακικές ενώσεις



Το διοξείδιο του άνθρακα της ρυπασμένης και όχι μόνο ατμόσφαιρας, διαλυόμενο στο βρόχινο νερό,, σχηματίζει **ασθενές ανθρακικό οξύ** το οποίο επιδρά στην πέτρα δημιουργώντας το αρκετά διαλυτό **όξινο ανθρακικό ασβέστιο**. Όταν το νερό εξατμιστεί τότε το όξινο ανθρακικό ασβέστιο καταλήγει να γίνει πάλι ανθρακικό ασβέστιο, αλλά ανάλογα με τις συνθήκες μπορεί να κρυσταλλωθεί είτε σε μορφή **αραγωνίτη**, είτε σε μορφή **ασβεστίτη** (που έχουν διαφορετικά κρυσταλλικά χαρακτηριστικά) και επιπλέον εμφανίζεται στην επιφάνεια του μαρμάρου μία δομή σαν ζάχαρη «ζαχαροποίηση του μαρμάρου»

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΑΙΤΙΑ-ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΣΧΕΣΗ ΦΘΟΡΑΣ ΚΑΙ ΠΑΘΟΛΟΓΙΑΣ,  
(ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ, ΜΑΘΗΜΑΤΑ OPEN COURSES, ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΕΜΠ)

&

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ (Λαμπρόπουλου, Νταλούκα κ.ά., ΤΟΜΕΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ,  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ)

# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

## Διάβρωση από μεταλλικούς συνδέσμους

Κατά την κατασκευή πολλών λίθινων ή μαρμάρινων μνημείων ή κατά τις αναστηλώσεις χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικοί σύνδεσμοι (σιδερένιοι, χαλύβδινοι, ορειχάλκινοι κ.ά.) για να συγκρατήσουν διαφορετικά στοιχεία του έργου.

Οποιαδήποτε οξείδωση αυτών, αυξάνει των όγκο τους εντός του λίθινου ή μαρμάρινου μνημείου, δημιουργώντας ρωγμές και λεκέδες.

Η χρήση λιγότερο ευπαθών μετάλλων, όπως το τιτάνιο είναι επιθυμητή, αλλά το κόστος πολλές φορές είναι απαγορευτικό.



**ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ**  
(Λαμπρόπουλου, Νταλούκα κ.ά., ΤΟΜΕΑ  
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ, ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ  
ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ)



# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

Διάβρωση λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας δρουν έντονα στα λίθινα μνημεία. Η συνεχείς εναλλαγές της θερμοκρασίας (νύχτα, μέρα), καταπονούν το υλικό της πέτρας, προκαλώντας ρωγμές και σπασίματα.

**ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ**

(Λαμπρόπουλου, Νταλούκα κ.ά., ΤΟΜΕΑ  
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ, ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ  
ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ)

# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

## Βιολογικοί παράγοντες (1)

### ΙΙΙ-ΣΤ. ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Οι επιπτώσεις της βιολογικής διάβρωσης στις ορυκτές φάσεις:

*Αισθητική παρουσία του υλικού*

*Χημικές διεργασίες στην επιφάνεια των υλικών*

*Φυσικές διεργασίες στην επιφάνεια των υλικών*

Είδη

Βακτηρία, άλγη, μύκητες - ακτινομύκητες, λειχήνες, δέντρα και φυτά, πουλιά

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΑΙΤΙΑ-ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΣΧΕΣΗ ΦΘΟΡΑΣ ΚΑΙ ΠΑΘΟΛΟΓΙΑΣ, (ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ, ΜΑΘΗΜΑΤΑ OPEN COURSES, ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΕΜΠ)

&

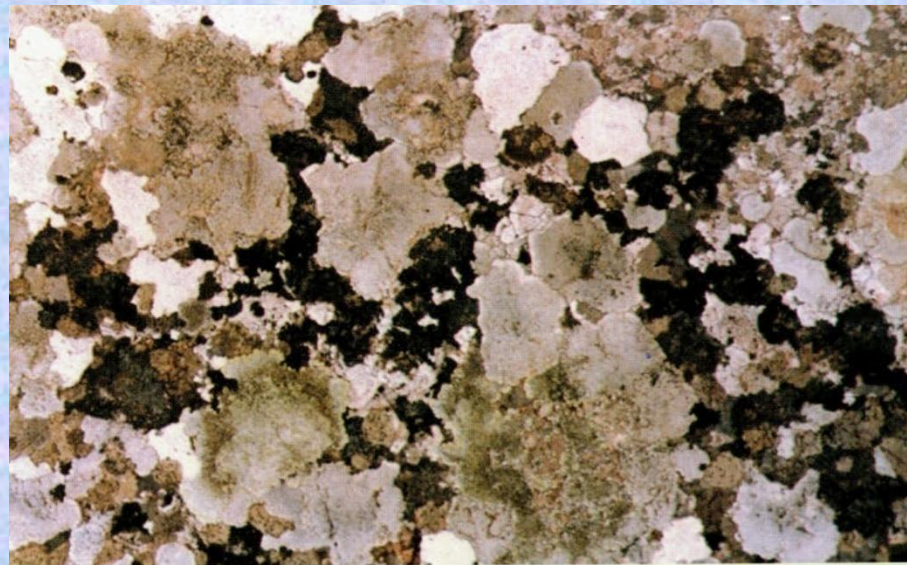
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ (Λαμπρόπουλου, Νταλούκα κ.ά., ΤΟΜΕΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ, ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ)



# ΠΕΡΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ



Βιολογικές επικαθίσεις. Αρχαιολογικός χώρος Νεμέας.



Βιολογικές επικαθίσεις. Αρχαιολογικός χώρος Επιδαύρου.

## Βιολογικοί παράγοντες (2)

Οι μικροοργανισμοί εκκρίνουν ως προϊόντα του μεταβολισμού τους οξέα ή αλκάλια. Αυτές οι ουσίες-εκκρίσεις συνδυαστικά με τους άλλους παράγοντες φθοράς, καθιστούν :

- Ευδιάλυτα τα υλικά των λίθινων μνημείων.
- Προκαλούν αύξηση του πορώδους.
- Διάβρωση και αποσάθρωση των πετρών.
- Λεκέδες στην επιφάνεια τους.
- Οι ρίζες των φυτών που τρυπώνουν ανάμεσα σε ανοίγματα και πόρους, ασκούν πιέσεις που οδηγούν σε ρωγμές.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΑΙΤΙΑ-ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΦΘΟΡΑΣ-ΣΧΕΣΗ ΦΘΟΡΑΣ  
ΚΑΙ ΠΑΘΟΛΟΓΙΑΣ, (ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ,  
ΜΑΘΗΜΑΤΑ OPEN COURSES, ΤΜΗΜΑ  
ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΕΜΠ)

&

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ  
(Λαμπρόπουλου, Νταλούκα κ.ά., ΤΟΜΕΑ  
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ, ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ  
ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ)