

# Self-healing Concrete Αυτοϊάσιμο Σκυρόδεμα



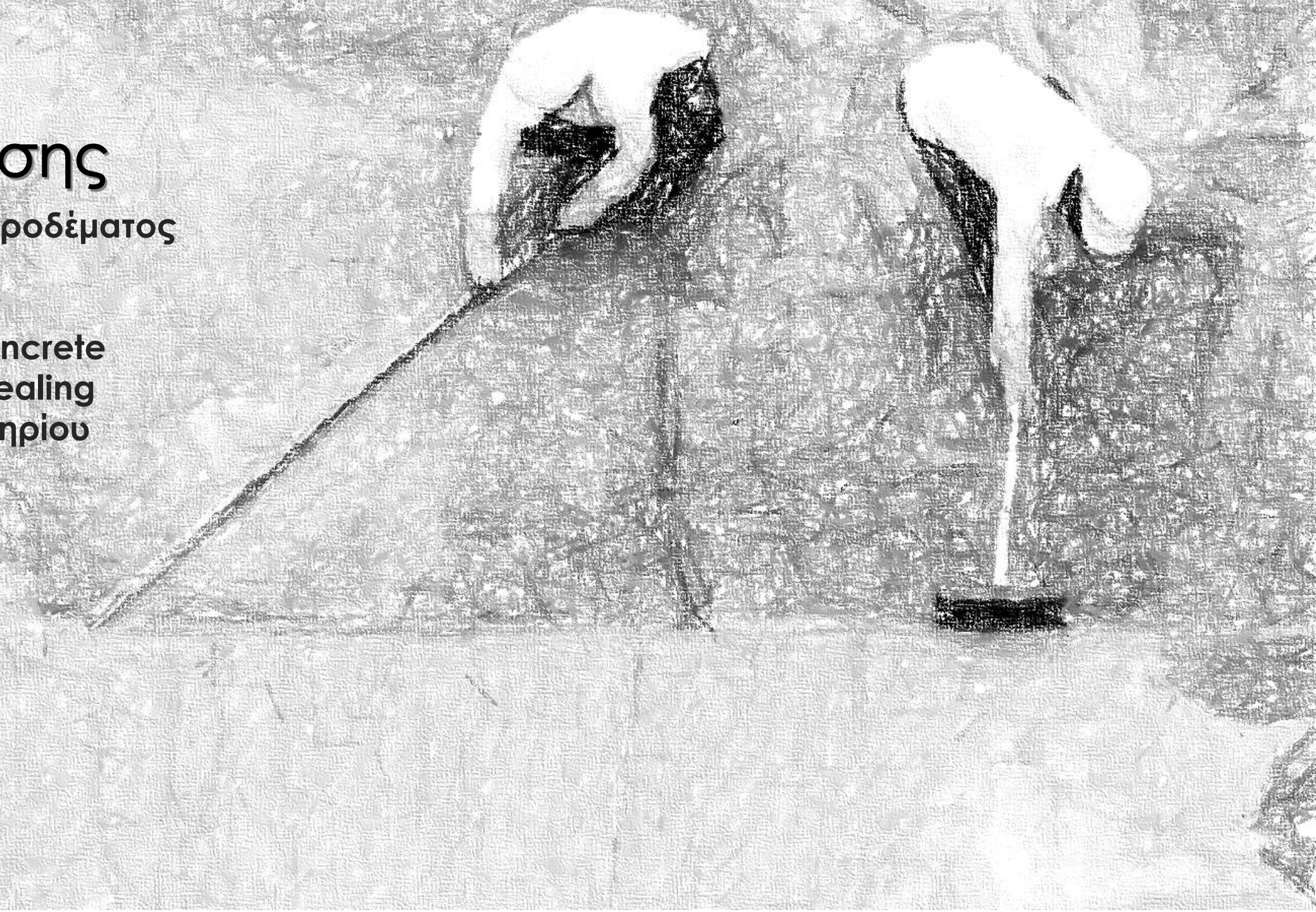
**Στεφανίδου Μαρία**, Καθηγήτρια Α.Π.Θ,  
Διευθύντρια Εργαστηρίου Δομικών Υλικών

**Τσαμπαλή Ευαγγελία**, Υποψήφια Διδάκτορας



# Δομή παρουσίασης

- Βιομηχανία Σκυροδέματος
- Σκυρόδεμα
- Παθολογία
- Self-healing concrete
- Μέθοδοι Self-healing
- Έρευνα εργαστηρίου



# ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ... βάση οικονομικών στοιχείων



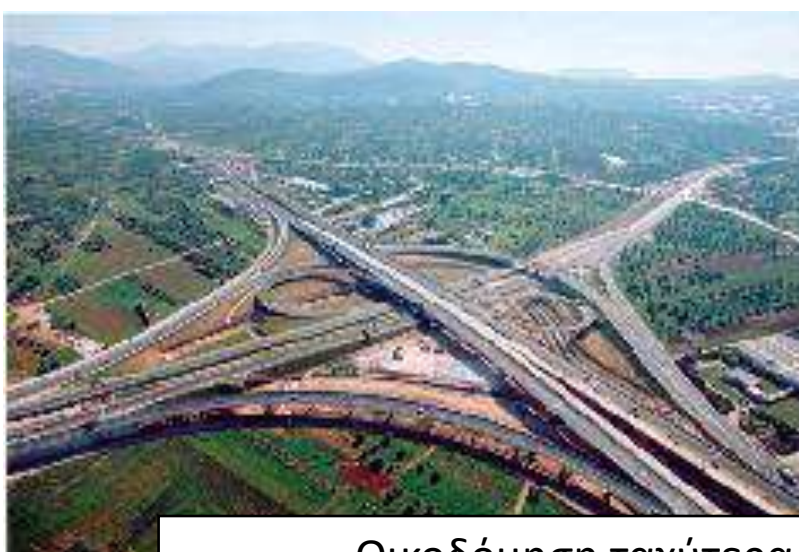
- **6%** του παγκόσμιου ΑΕΠ
- **8%** στις αναπτυσσόμενες χώρες
- **100 εκατομμύρια άτομα** απασχολούνται άμεσα
- **10 τρις δολάρια ΗΠΑ** ετήσια έσοδα



Μια επιπλέον επένδυση **1%** του ΑΕΠ σε υποδομές οδηγεί σε αύξηση **1,5%** του ΑΕΠ σε 4 χρόνια



# ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



Οικοδόμηση ταχύτερα, ψηλότερες κατασκευές, πιο αποδοτικό, με μεγαλύτερο χρόνο ζωής  
..... ΠΙΟ **ΑΝΘΕΚΤΙΚΕΣ**



# ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ:... ένα εξαιρετικά καλό δομικό υλικό.



**10 δις τόνοι τσιμέντου κάθε χρόνο:** το δεύτερο μεγαλύτερο χρησιμοποιούμενο υλικό παγκοσμίως δύο φορές περισσότερο από το σύνολο όλων των άλλων οικοδομικών υλικών

# Πως φτιάχνεται το τσιμέντο..???

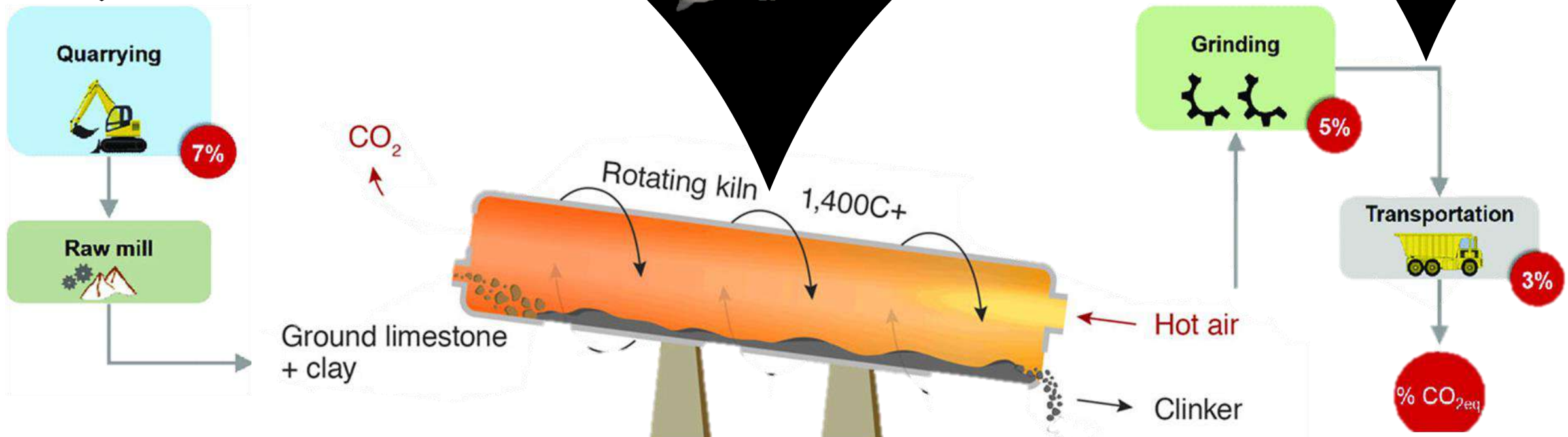
## Ασβεστόλιθος & Αργιλοπυριτικά Υλικά

- Εξόρυξη
- Θραύση
- Άλεση
- Έψηση

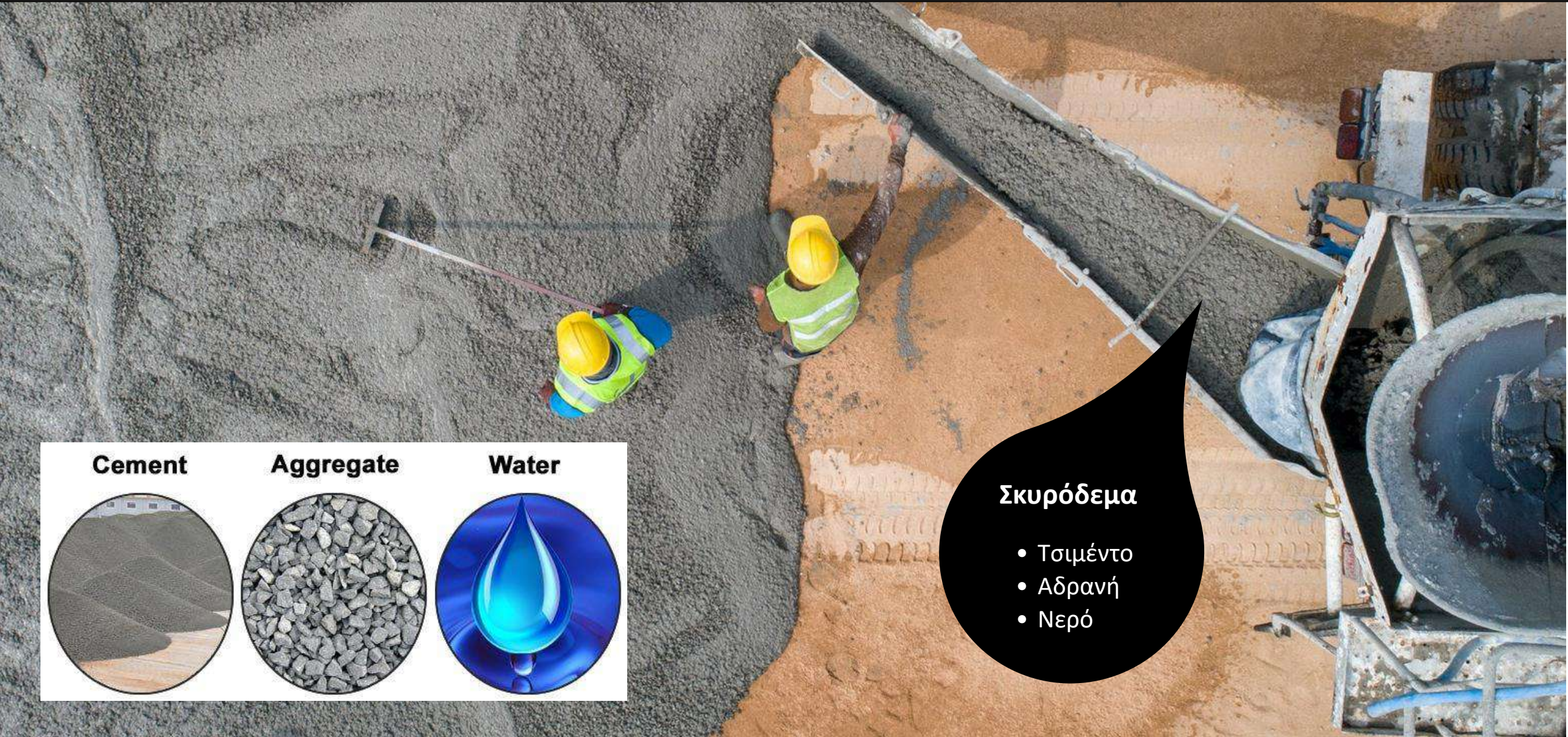
## Κλίνκερ




- Άλεση
- Άλεση με γύψο

## Τσιμέντο



# Πως φτιάχνεται το Σκυρόδεμα

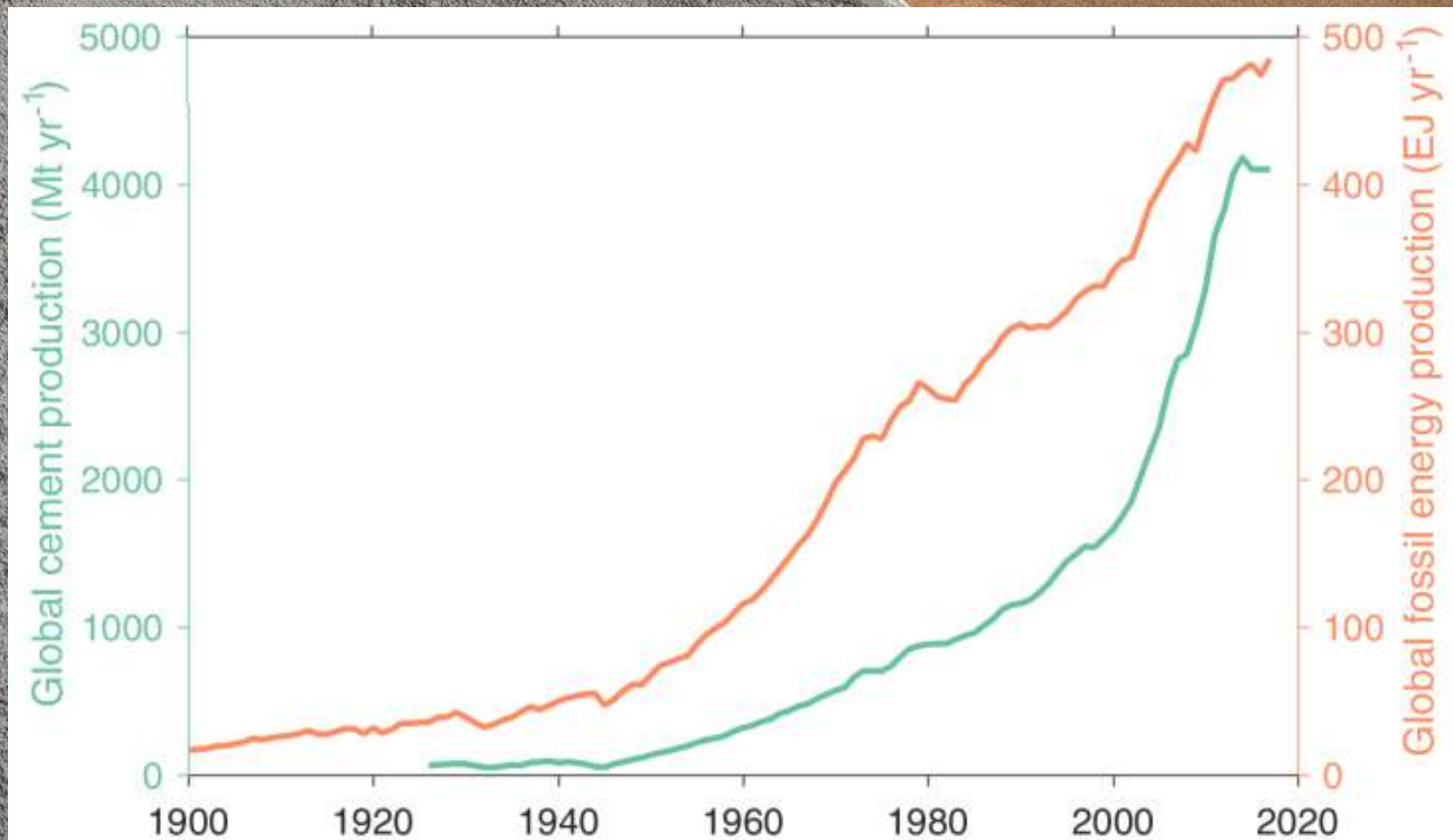


Cement	Aggregate	Water
		

**Σκυρόδεμα**

- Τσιμέντο
- Αδρανή
- Νερό

# Παραγωγή Τσιμέντου Παγκοσμίως

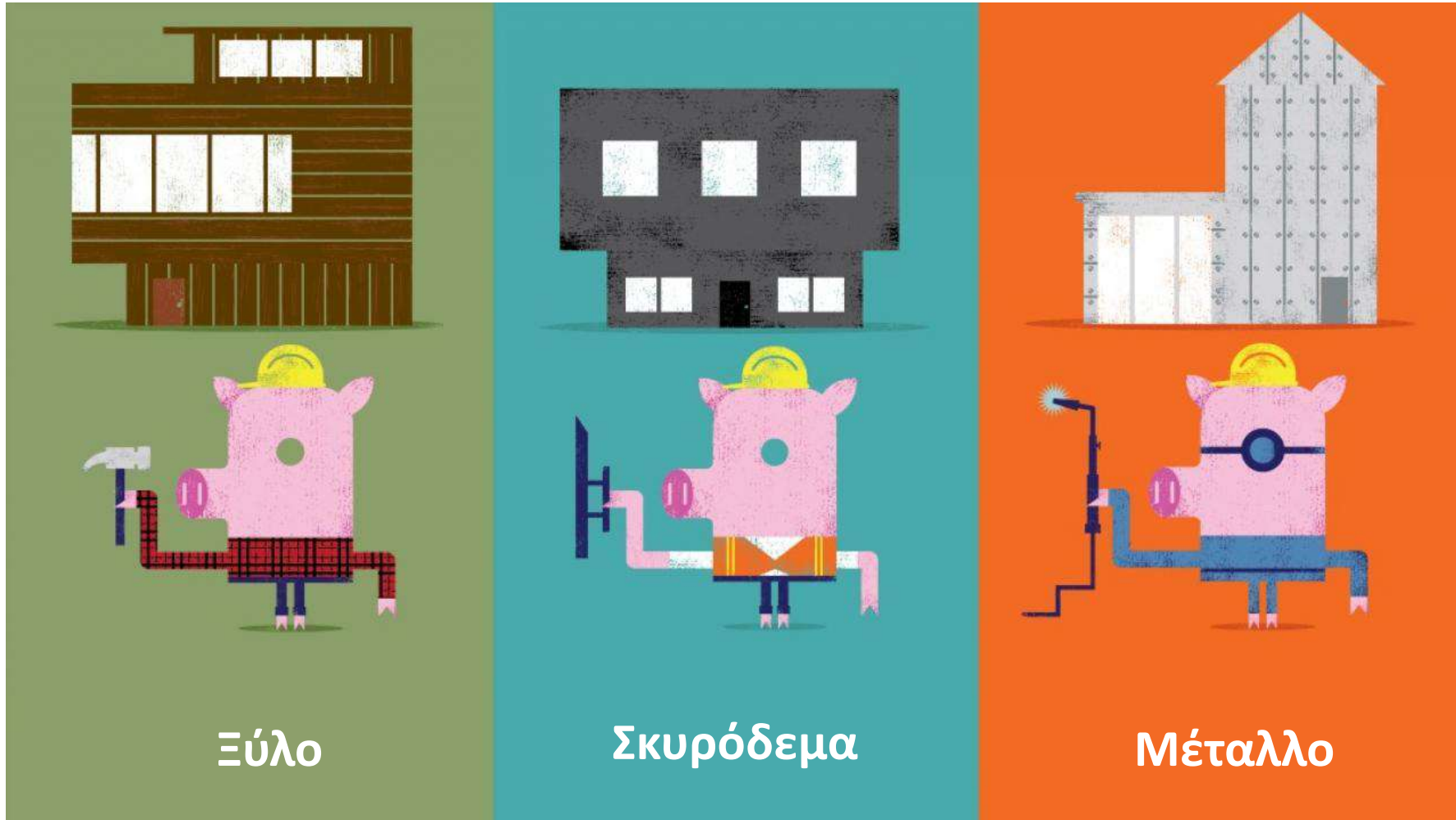


**Figure 1.** Global cement and fossil energy production to 2017 (USGS, 2014, 2018; Mohr et al., 2015; BP, 2018).

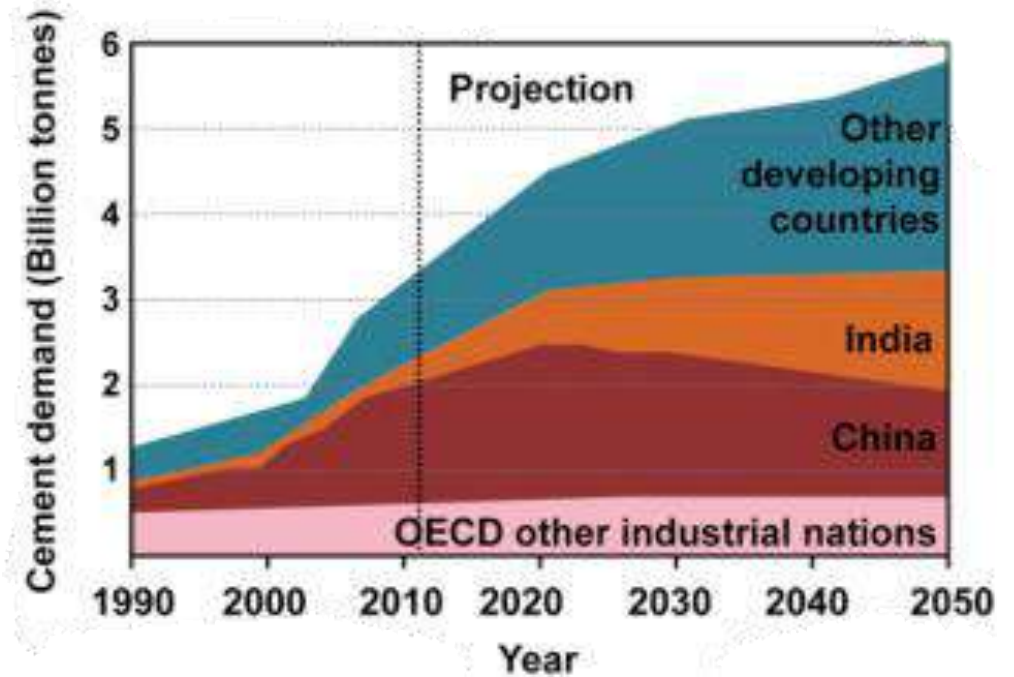
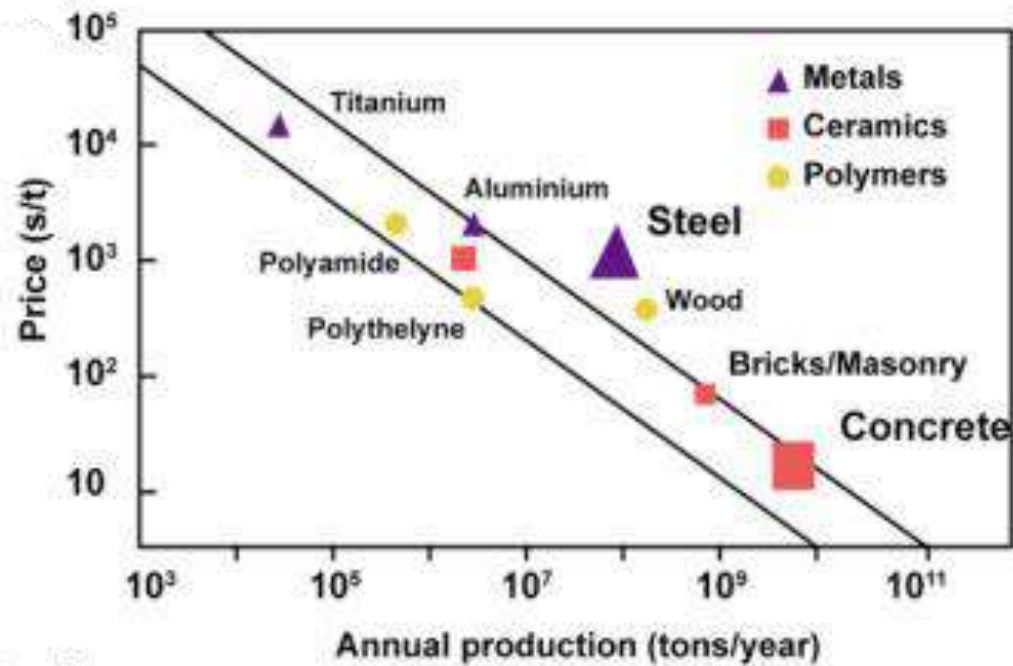




# Δομικά Υλικά



# Δομικά Υλικά



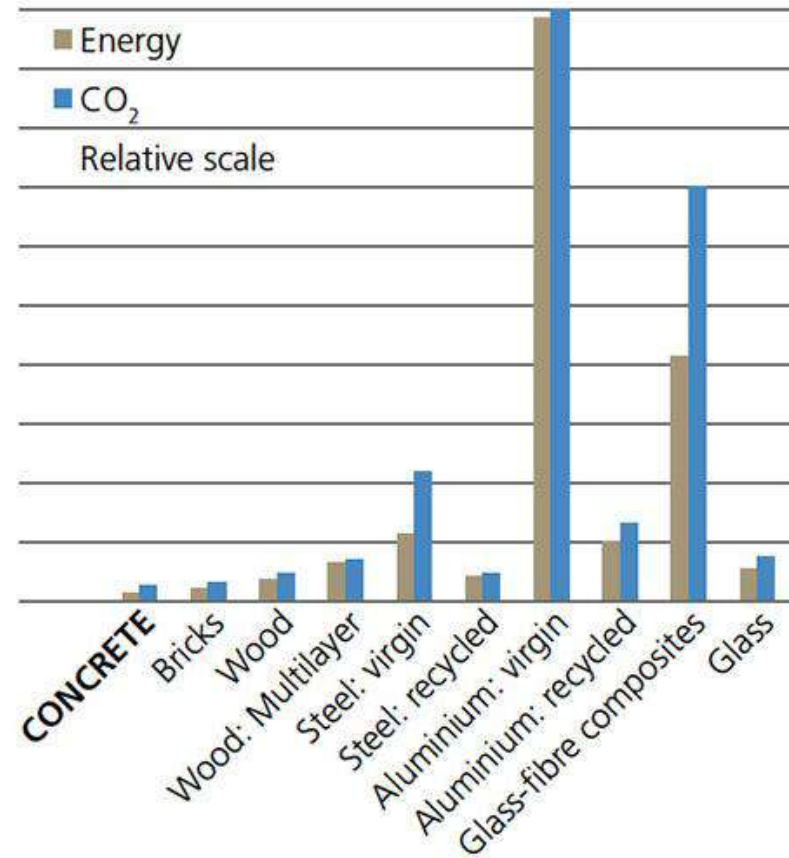
Source: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.107892>



# ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....« χαμηλό ενεργειακό αποτύπωμα »

Material	MJ/kg	kgCO <sub>2</sub> /kg
<b>CONCRETE</b>	<b>0.95</b>	<b>0.13</b>
Bricks	3.0	0.22
Wood	8.5	0.46
Wood: Multilayer	15	0.81
Steel: virgin	35.3	2.8
Steel: recycled	9.5	0.43
Aluminium: virgin	218	11.46
Aluminium: recycled	28.8	1.69
Glass-fibre composites	100	8.1
Glass	15.0	0.85

Source: ICE version 1.6a Hammond G.P. and Jones C.I 2008 Proc Instn Civil Engineers

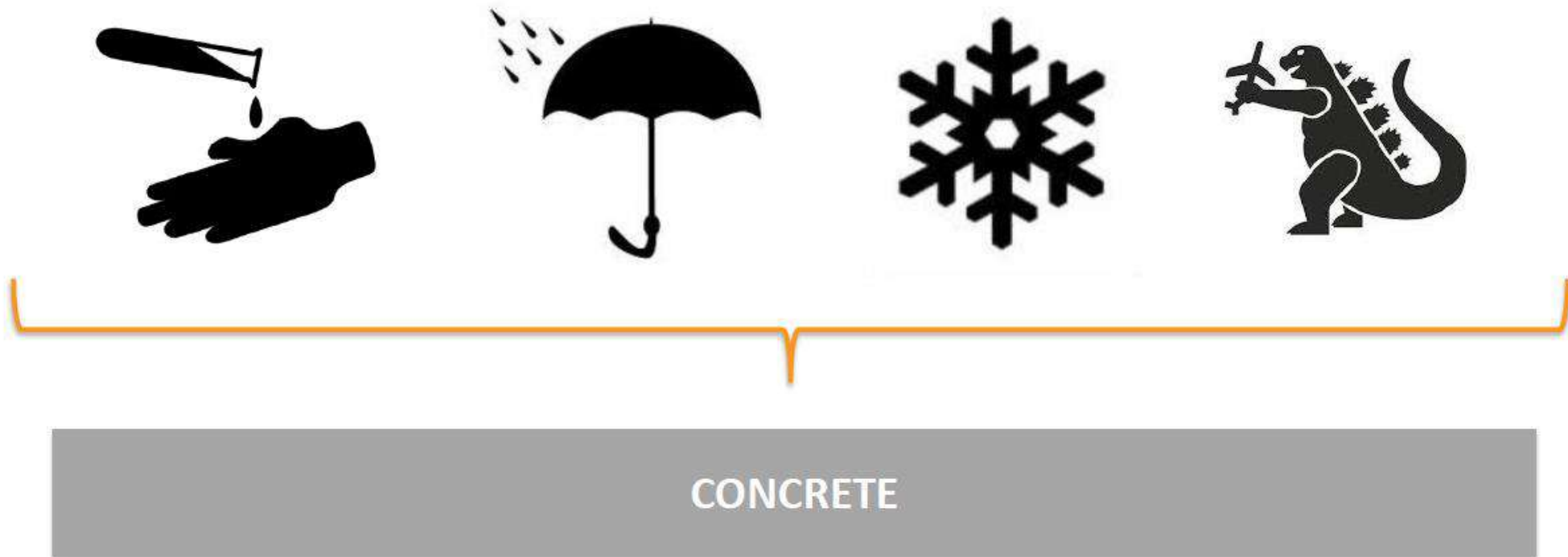


« **ΕΑΝ ΑΝΤΙΚΑΣΤΗΣΟΥΜΕ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΑΛΛΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ, ΘΑ ΕΧΟΥΜΕ.....ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ & ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ** »



# ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

«Η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος ορίζεται ως η ικανότητά του να αντιστέκεται στις καιρικές συνθήκες, στη χημική επίθεση, στην τριβή ή οποιαδήποτε άλλη διαδικασία φθοράς. Το ανθεκτικό σκυρόδεμα θα διατηρήσει την αρχική του μορφή, την ποιότητα και τη λειτουργικότητά του όταν εκτίθεται στο περιβάλλον του» (ACI 201.2R-10)



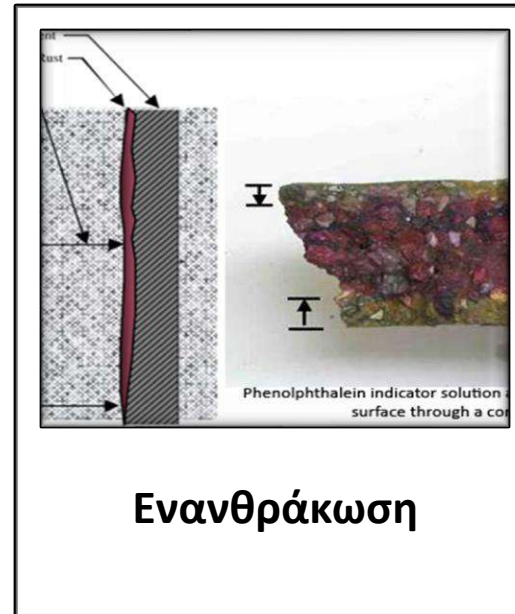
# Μηχανισμού φθοράς του σκυροδέματος



Διάβρωση



Ψύξη-Απόψυξη



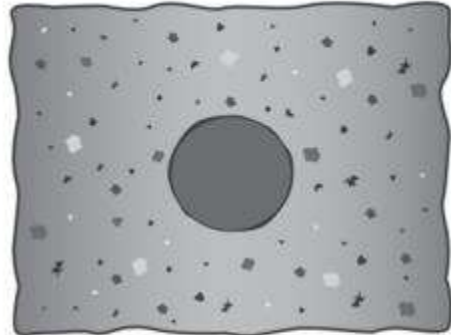
Ενανθράκωση



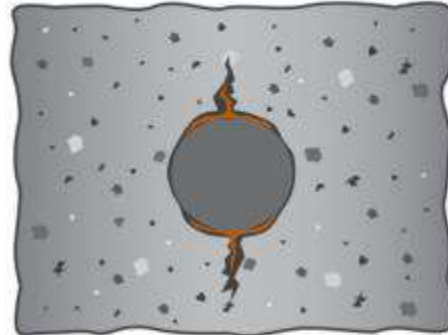
Επιθετικές χημικές ουσίες και υπόγεια ύδατα

# ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΜΕΙΩΝΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

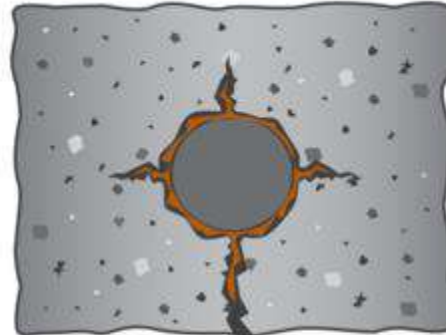
## ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ



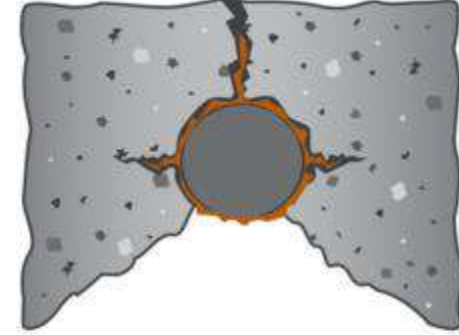
BEFORE CORROSION.



BUILD-UP OF  
CORROSION PRODUCTS.



FURTHER CORROSION.  
SURFACE CRACKS.  
STAINS.

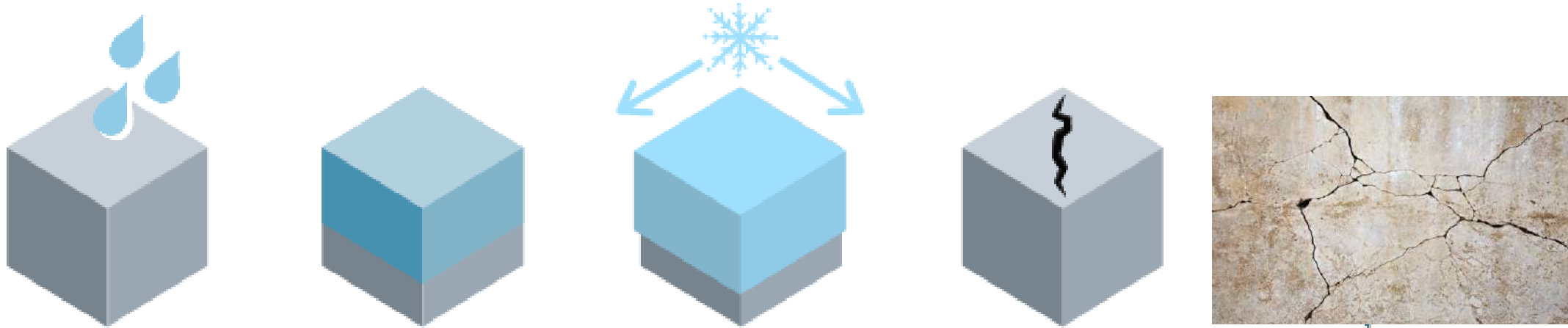


EVENTUAL SPALLING.  
CORRODED BAR.  
EXPOSED.

- Μέσω ρωγμών, κενών και πόρων, το σκυρόδεμα επιτρέπει στο νερό να διεισδύσει και να εισχωρήσουν διαβρωτικά χημικά που τελικά επιτίθενται στον χάλυβα.
- Μόλις ξεκινήσει η διάβρωση, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η έκταση της ζημιάς, καθώς μπορεί να συμβεί οπουδήποτε μέσα στο δίκτυο του οπλισμού.

# ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΜΕΙΩΝΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

## ΨΥΞΗ-ΑΠΟΨΥΞΗ

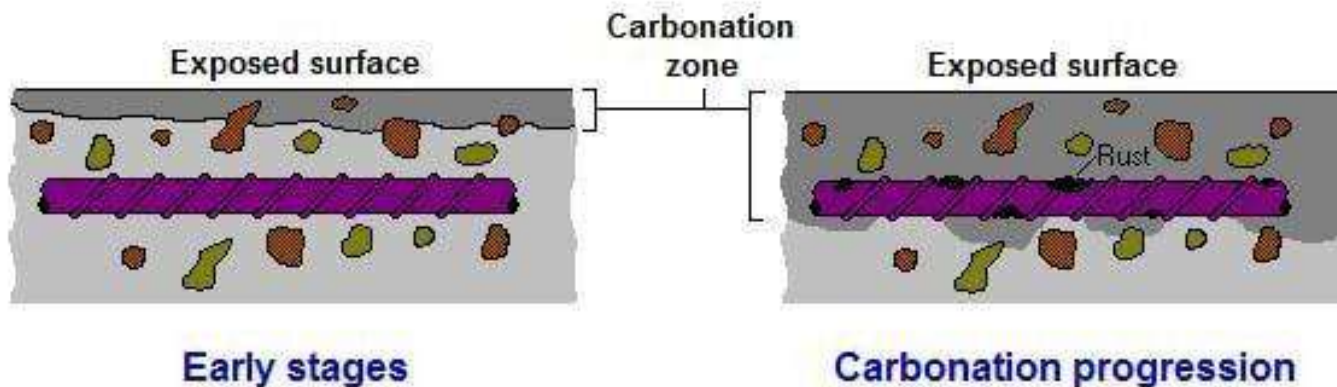
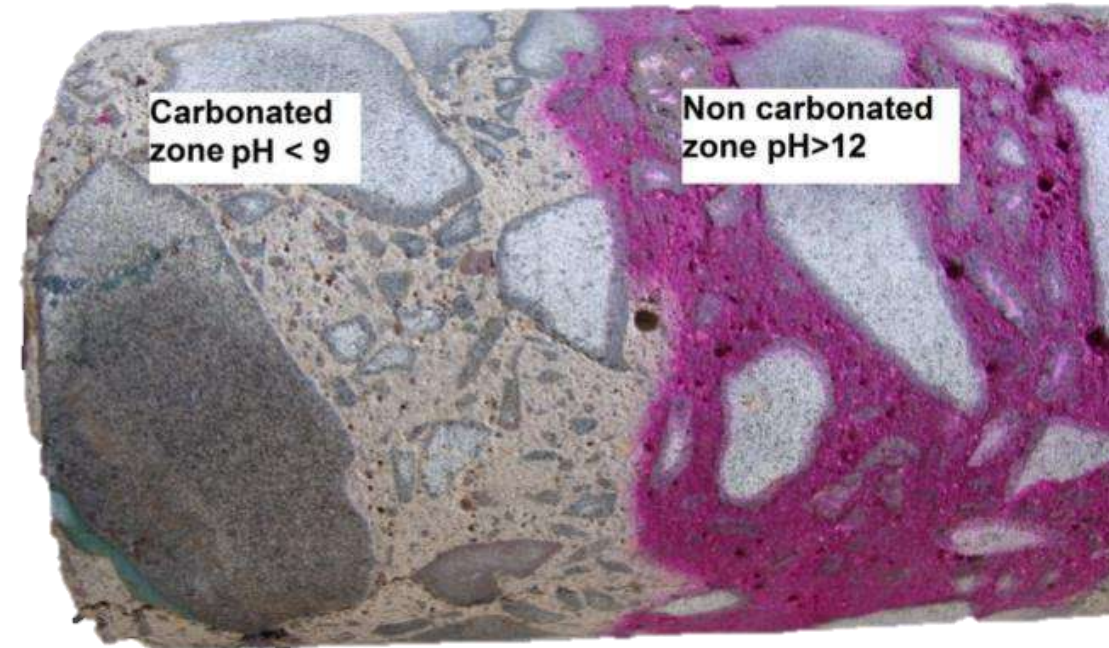


- Υπό συνθήκες ψύξης, **το νερό που παγιδεύεται** μέσα στο σκυρόδεμα μετατρέπεται σε πάγο και διαστέλλεται, **δημιουργώντας ρωγμές**.
- Όταν λιώνει ο πάγος, το νερό ταξιδεύει ακόμα πιο βαθιά στο σκυρόδεμα, όπου επαναλαμβάνεται ο ίδιος κύκλος ψύξης / απόψυξης.

# ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΜΕΙΩΝΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

## ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ

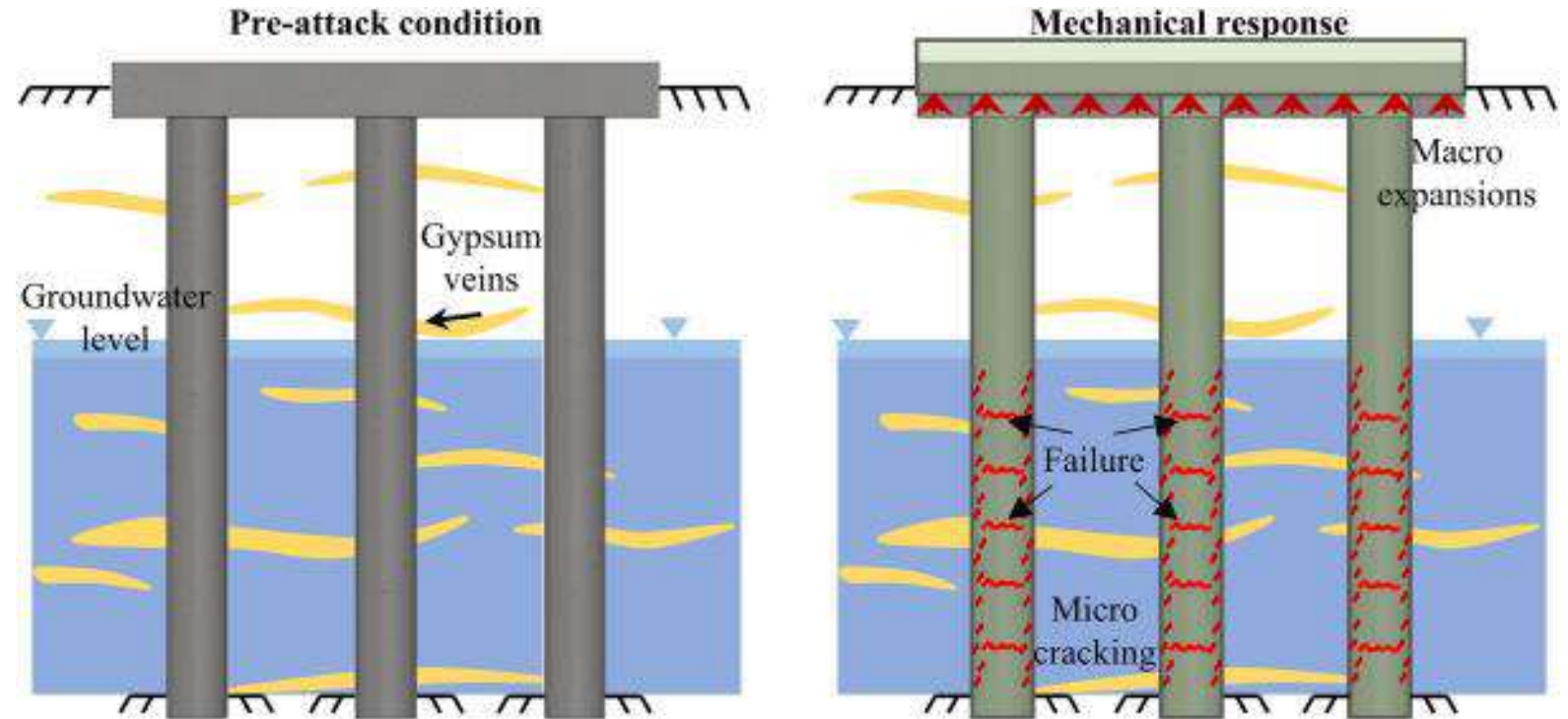
- Αυτή η αντίδραση **μειώνει το αλκαλικό περιβάλλον** σε σκυρόδεμα **μειώνοντας την τιμή του pH** και **καταστρέφοντας έτσι τη φυσική προστασία από τη διάβρωση**.
- Η ενανθράκωση του σκυροδέματος **συνδέεται με τη διάβρωση του οπλισμού** και με τη **συρρίκνωση**.



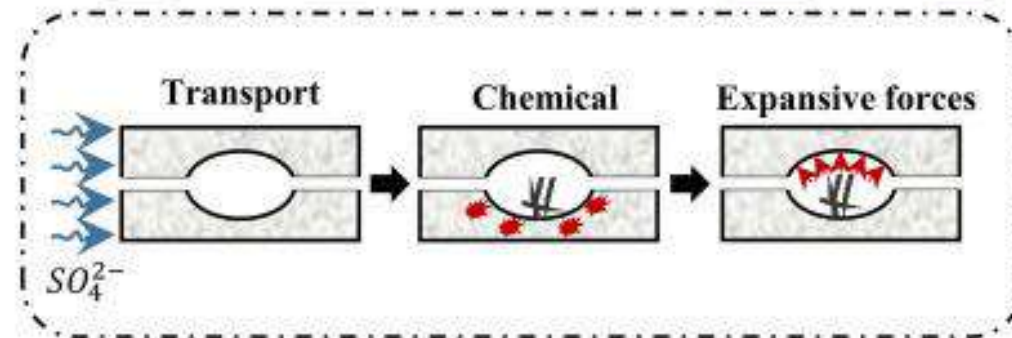


# ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΜΕΙΩΝΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

## ΕΠΙΘΕΤΙΚΕΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ



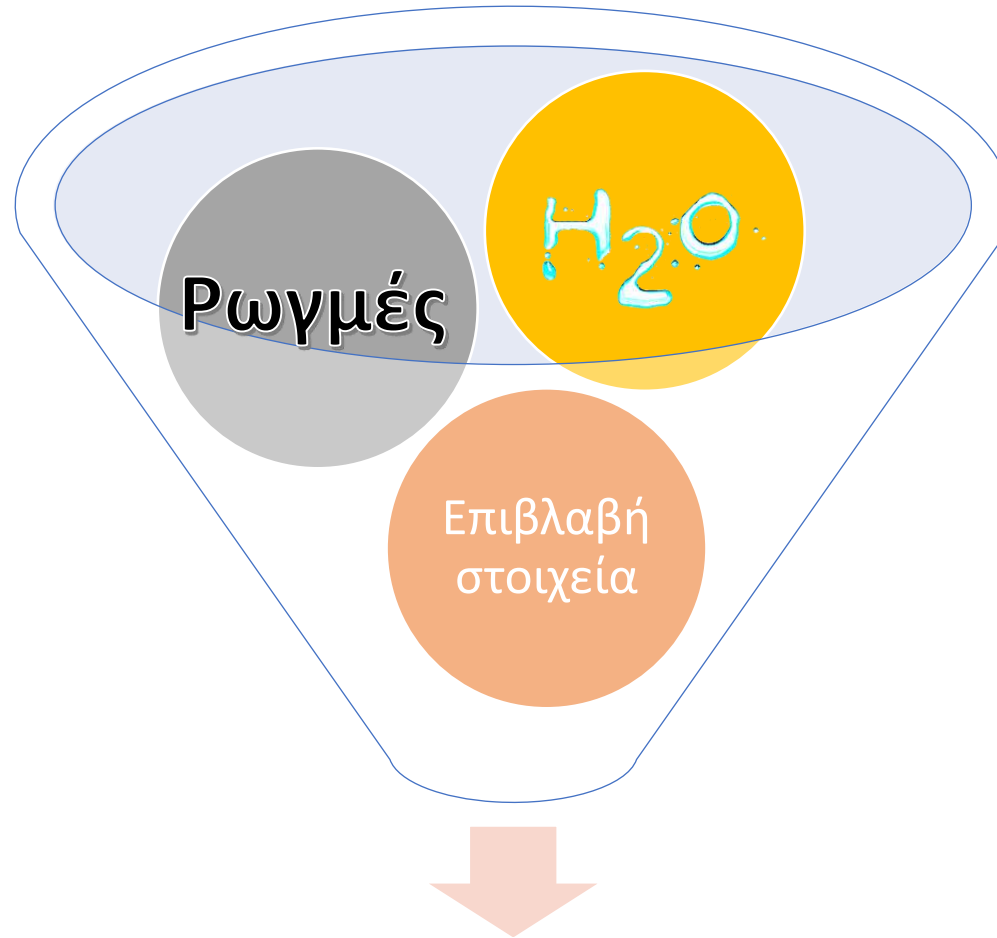
Pore level



Structural level



# ΠΟΙΟΣ ΕΙΝΑΙ Ο ΚΟΙΝΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ



Μείωση Ανθεκτικότητας

# Γεγονός.....Το σκυρόδεμα θα ραγίσει

Μία από τις ιδιότητες του σκυροδέματος είναι ότι **θα ραγίζει πάντα**.  
Με έναν καλό σχεδιασμό και καλή εφαρμογή, αυτή η **ρωγμή μπορεί να μειωθεί**, αλλά ακόμη και οι μικρές ρωγμές μπορούν να προκαλέσουν μεγάλα προβλήματα.



# Γεγονός.....Το σκυρόδεμα θα ραγίσει

Αν ρηγματωθεί μία φορά, η ρωγμή θα επιδεινωθεί ραγδαία αν δεν επιδιορθωθεί.



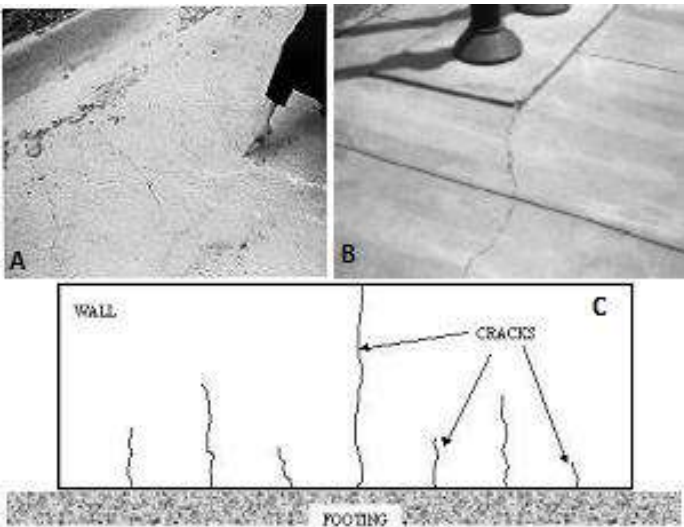
Οδηγήσει σε.....

- Μείωση αντίστασης σε ψύξη-απόψυξης.
- Μείωση αντοχής του ραγισμένου σκυροδέματος.
- Διάβρωση του χάλυβα.
- Πρόκληση σοβαρών ζημιών στη δομή του σκυροδέματος.

# Γεγονός.....Το σκυρόδεμα θα ραγίσει

Ευρωκώδικας 2: §7.3 – ModelCode2010: §7.6.4

Η ρωγμή είναι φυσιολογική σε δομές οπλισμένου σκυροδέματος που υπόκεινται σε κάμψη, διάτμηση, στρέψη ή τάση που προκύπτει είτε από άμεση φόρτωση είτε από περιορισμό σε επιβαλλόμενη παραμόρφωση.



## ΑΡΧΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΌ ΡΩΓΜΈΣ

Η ρωγμή περιορίζεται σε βαθμό που δεν θα βλάψει την ορθή λειτουργία ή την ανθεκτικότητα της κατασκευής ή θα προκαλέσει μεταβολή στην εμφάνισή της.

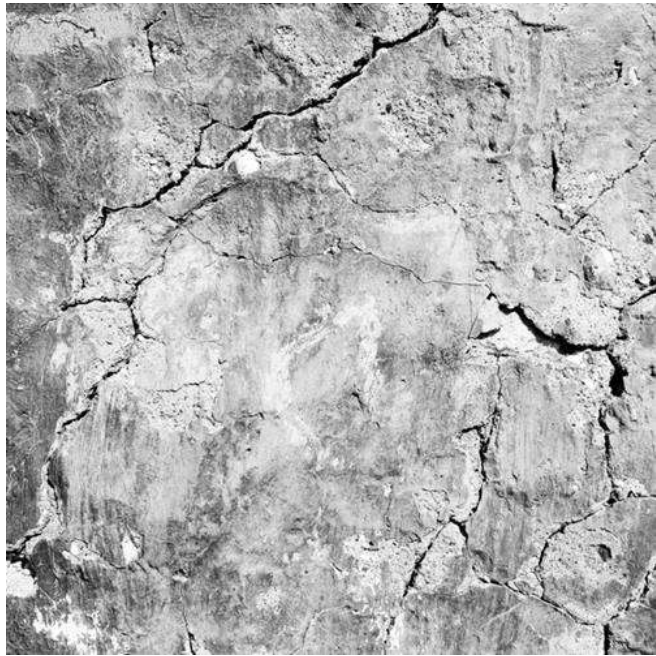
# Γεγονός.....Το σκυρόδεμα θα ραγίσει

Η επισκευή κατεστραμμένων κατασκευών είναι **δαπανηρή** και συχνά προκαλεί **δυσφορία**.



Η δομική ασφάλεια είναι μια σημαντική πτυχή για τις **θαλάσσιες κατασκευές**. Το διαβρωμένο σκυρόδεμα λόγω θαλασσινού νερού (αλάτι) μπορεί να είναι καταστροφικό για τις κατασκευές συγκράτησης νερού και θα μπορούσε να οδηγήσει σε υψηλό κόστος συντήρησης.

# Γεγονός.....Το σκυρόδεμα θα ραγίσει



**Ετήσιο κόστος επισκευής διάβρωσης επισκευής διάβρωσης: 2,5 USD ΤΡΙΣΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙΑ  
(3,4% Παγκόσμιο ΑΕΠ)**

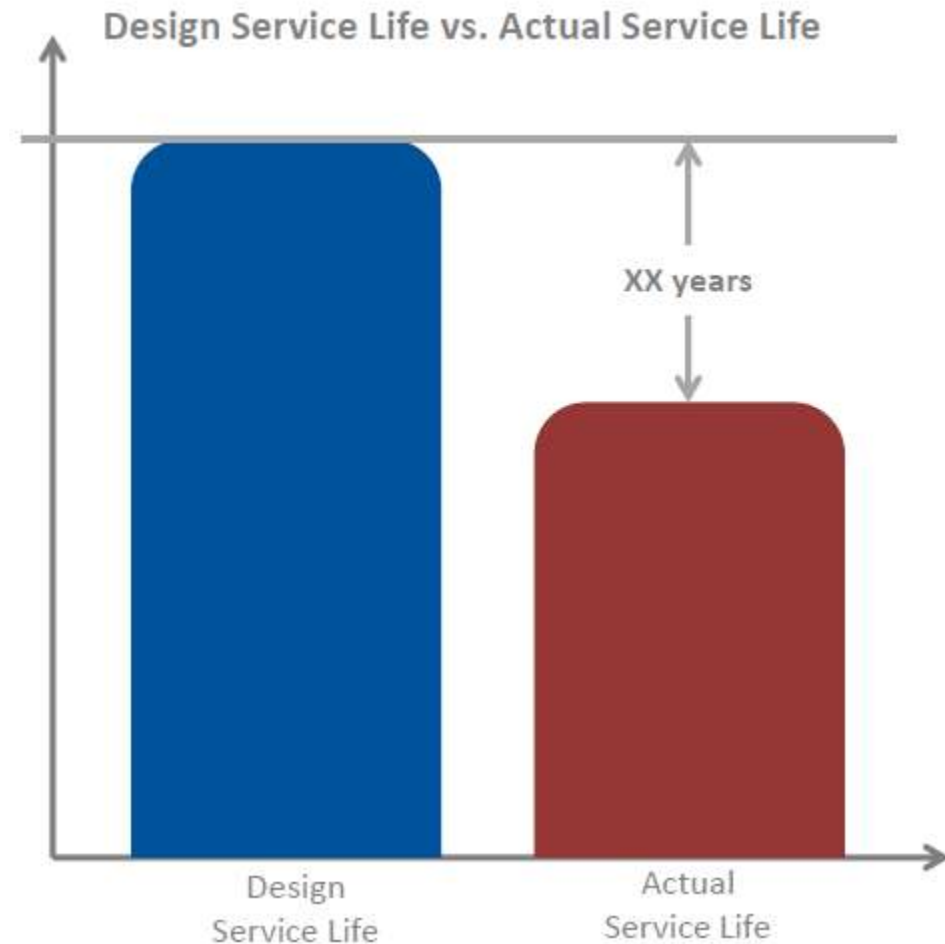


# Γεγονός.....Το σκυρόδεμα θα ραγίσει

[CONREPNET](#): Performance-based approach to the remediation of reinforced concrete structures: Achieving durable repaired concrete structures

- 50% των επισκευασμένων κατασκευών από σκυρόδεμα απέτυχε και πάλι,
- 25% εκ των οποίων τα πρώτα 5 χρόνια,
- 75% εντός 10 ετών
- 95% εντός 25 ετών.

Αυτό είναι απλώς ένα παράδειγμα της επείγουσας ανάγκης για μια βαθιά επανεξέταση της έννοιας και των διαδικασιών σχεδιασμού για νέες και επισκευασμένες δομές σε επιθετικά περιβάλλοντα λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις κόστους-αποτελεσματικότητας.

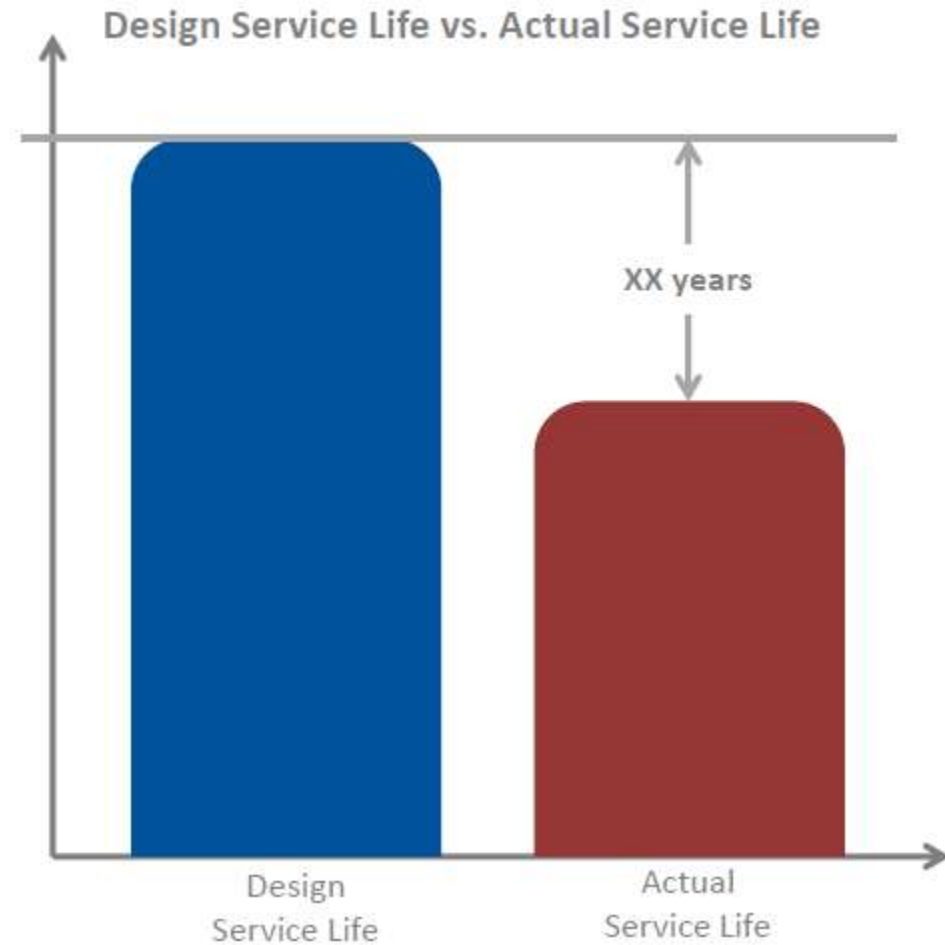




# ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Οι ανθεκτικές κατασκευές:

- **ελαχιστοποιούν** δραματικά το συνολικό **κόστος** επισκευής,
- **μεγιστοποιώντας** τον **συνολικό χρόνο**, **απόδοσης** της επένδυσης,
- ελαχιστοποιείται η διαφορά μεταξύ της αρχικής διάρκειας ζωής του σχεδιασμού.

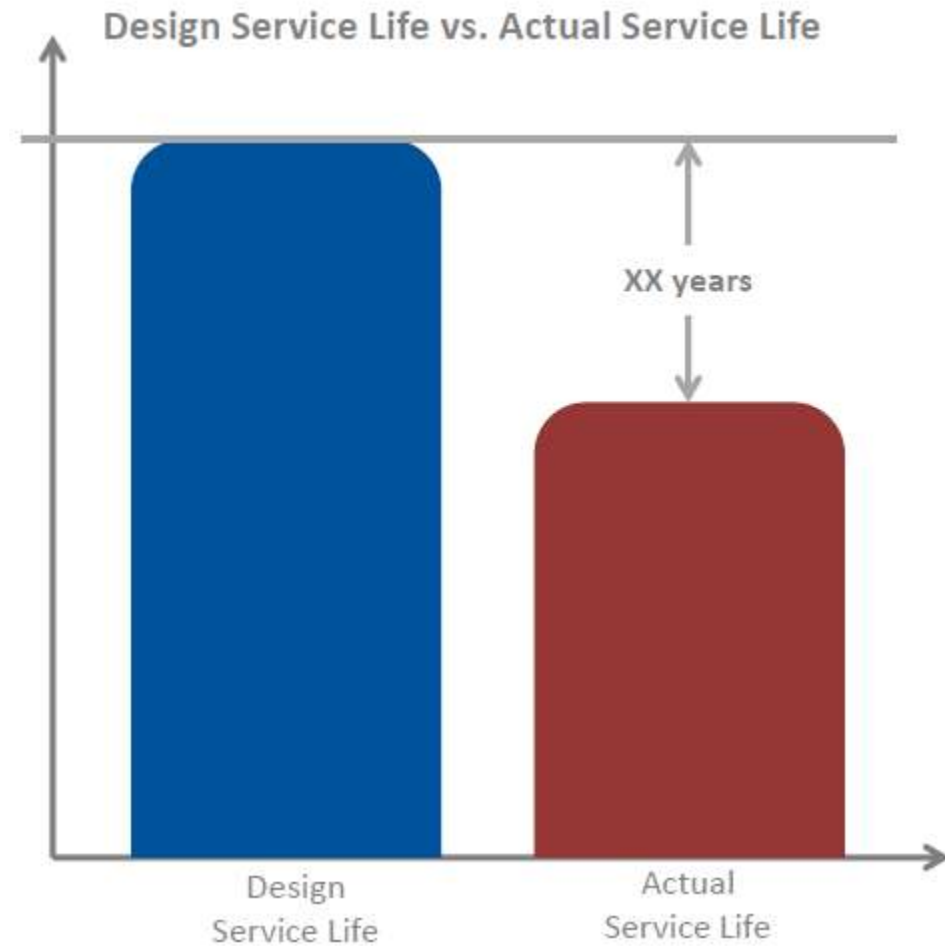


# Γιατί να λύσουμε αυτό το πρόβλημα....???

Το σκυρόδεμα θα συνεχίσει να είναι το πιο σημαντικό δομικό υλικό στην κατασκευή.

Είναι επιρρεπές σε ρωγμές.

- Το νερό εισχωρεί για να υποβαθμίσει το σκυρόδεμα και να **διαβρώσει το χαλύβδινο οπλισμό**.
- **Εφελκυστικές δυνάμεις** μπορεί να οδηγήσουν σε ρωγμές και αυτές μπορεί να εμφανιστούν σχετικά σύντομα μετά την κατασκευή στην κατασκευή.
- Η επισκευή συμβατικών κατασκευών από σκυρόδεμα συνήθως περιλαμβάνει την εφαρμογή κονιάματος σκυροδέματος που συνδέεται με την **επιφάνεια ζημιών**.



Δεν θα ήταν ωραίο εάν αυτές οι κατασκευές θα μπορούσαν να επισκευαστούν.....???

# ΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ



ΑΥΞΗΣΗ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



ΑΥΞΗΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

# ‘Αυτό-ιάσιμο Σκυρόδεμα’

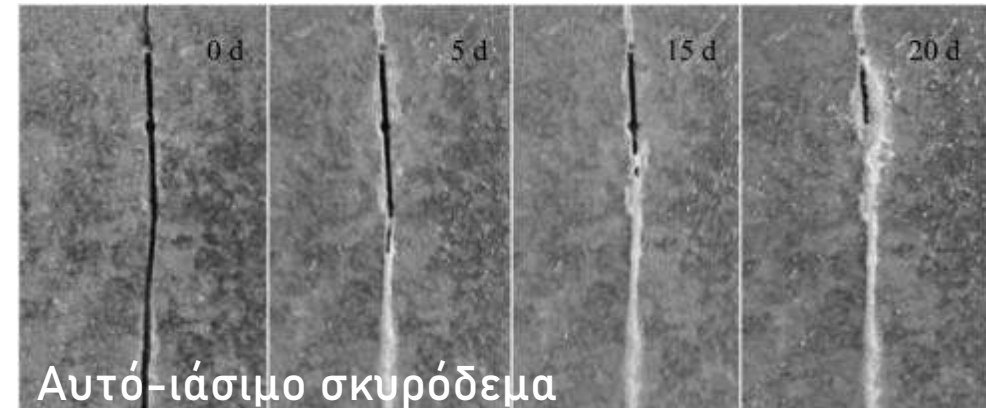
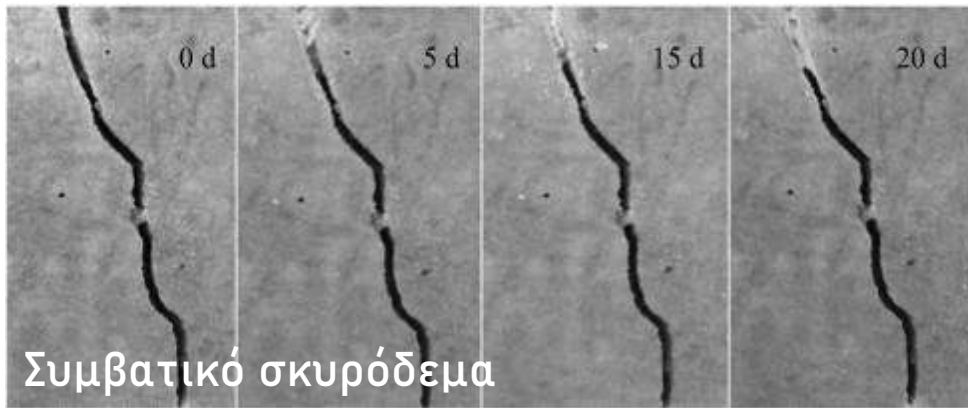


Αφού το νερό και οι ρωγμές αποτελούν αναπόφευκτους παράγοντες θα χρησιμοποιηθεί προς όφελος της κατασκευής

# ‘Αυτό-ιάσιμο Σκυρόδεμα’

## Ορισμός

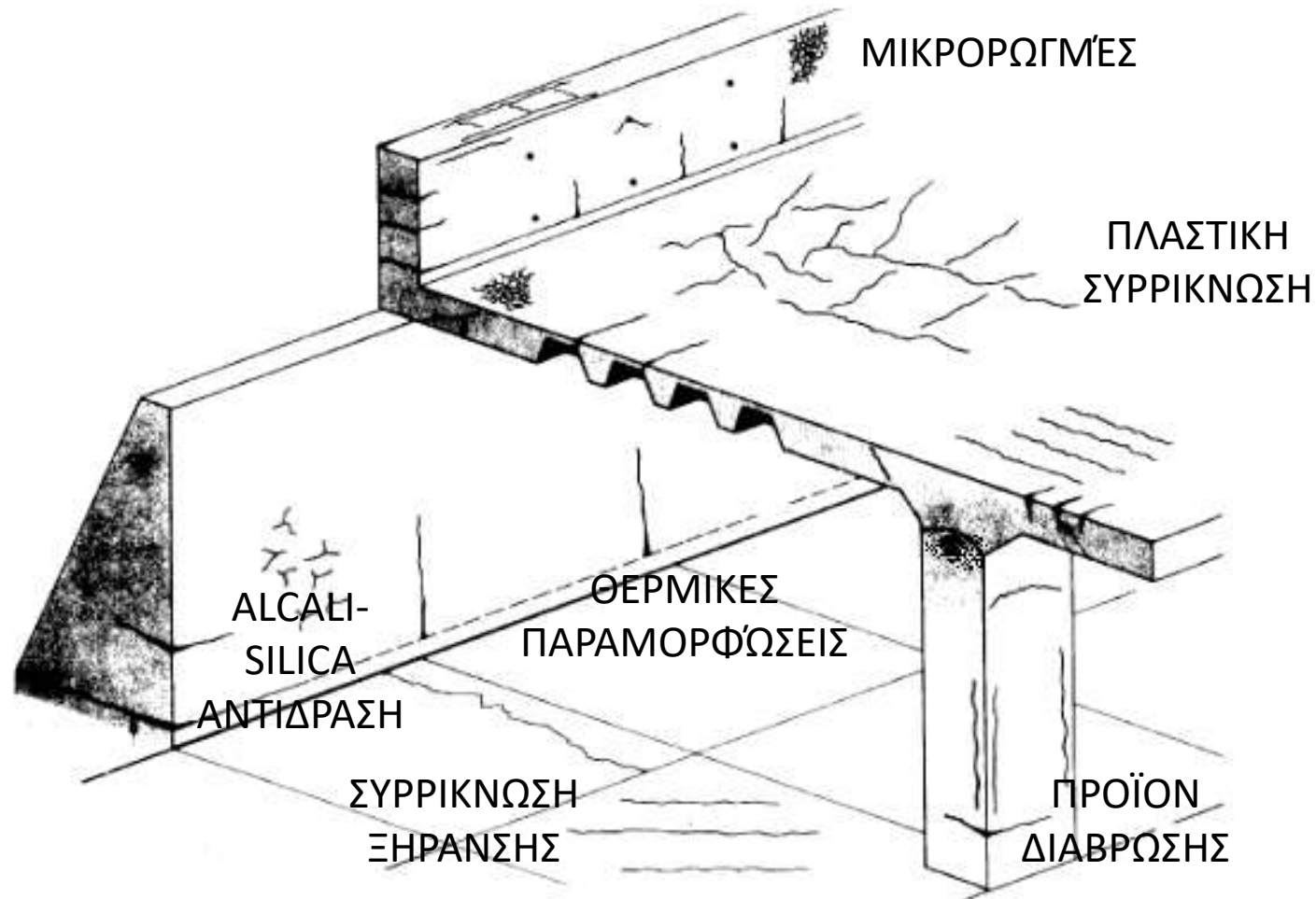
“Το αυτό-ιάσιμο σκυρόδεμα είναι σκυρόδεμα με την ικανότητα να επιδιορθώνει τις δικές του ρωγμές και ατέλειες”



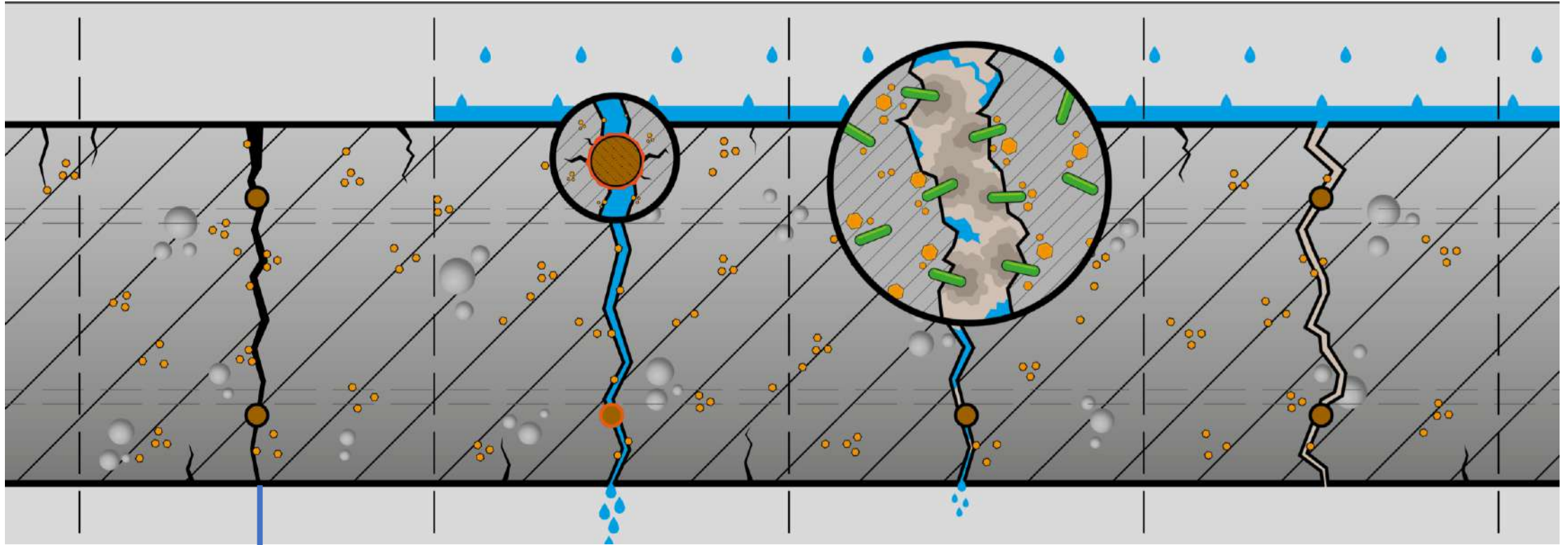
Η αυτογενής επούλωση του σκυροδέματος ανακαλύφθηκε από το **1836** από τη  
**Γαλλική Ακαδημία Επιστημών**

# Σε ποιες ρωγμές λειτουργεί

Ρωγμές μπορούν επίσης να προκληθούν από άλλες αιτίες, όπως η **πλαστική συρρίκνωση** ή από **διογκωτικές χημικές αντιδράσεις** μέσα στο σκληρυμένο σκυρόδεμα. Αυτές δεν ανήκουν στην κατηγορία που αναφερόμαστε.

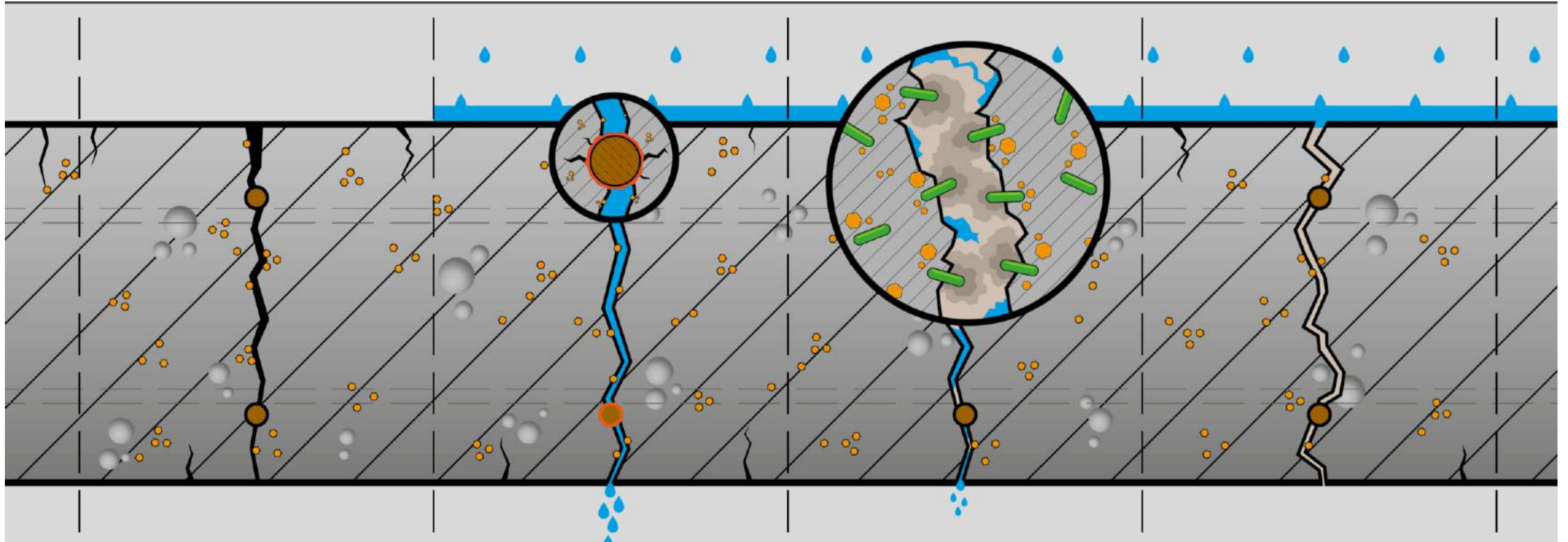


# Αυτό-ιάσιμο Σκυρόδεμα.....πως λειτουργεί



Όταν εμφανίζονται ρωγμές στο σκυρόδεμα, **πρόσθετα** θα διευκολύνουν ένα αυτόνομο σύστημα επισκευής.

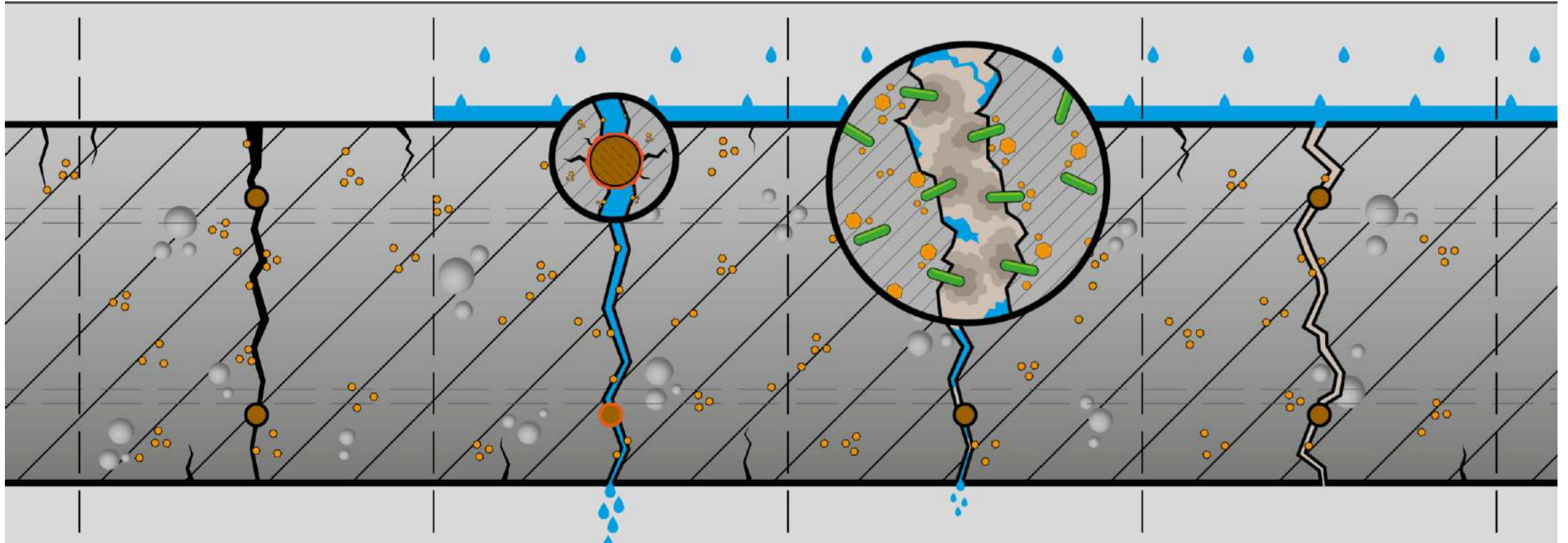
# Αυτό-ιάσιμο Σκυρόδεμα.....πως λειτουργεί



Τα συστατικά ενεργοποιούνται όταν έρχονται σε επαφή με **νερό** και **οξυγόνο**, τα οποία θα είναι παρόντα λόγω του πρωταρχικού σχηματισμού ρωγμών.

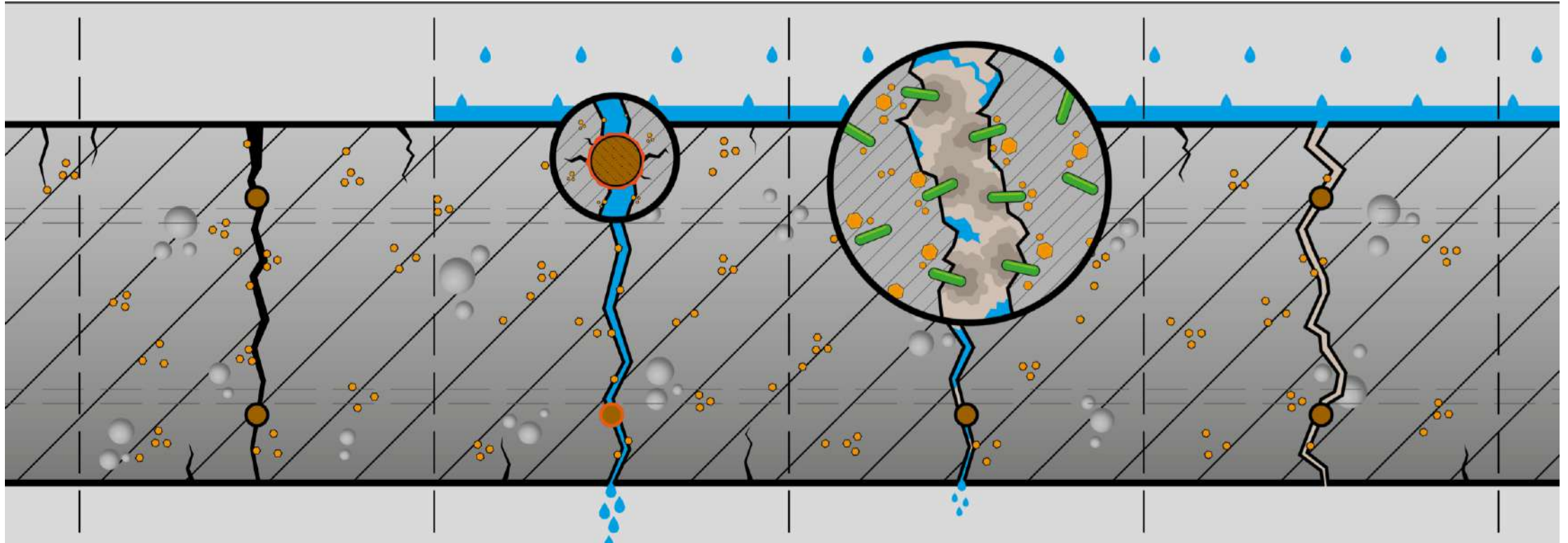


# Αυτό-ιάσιμο Σκυρόδεμα.....πως λειτουργεί



Αρχίζουν να παράγουν το υλικό ίασης.

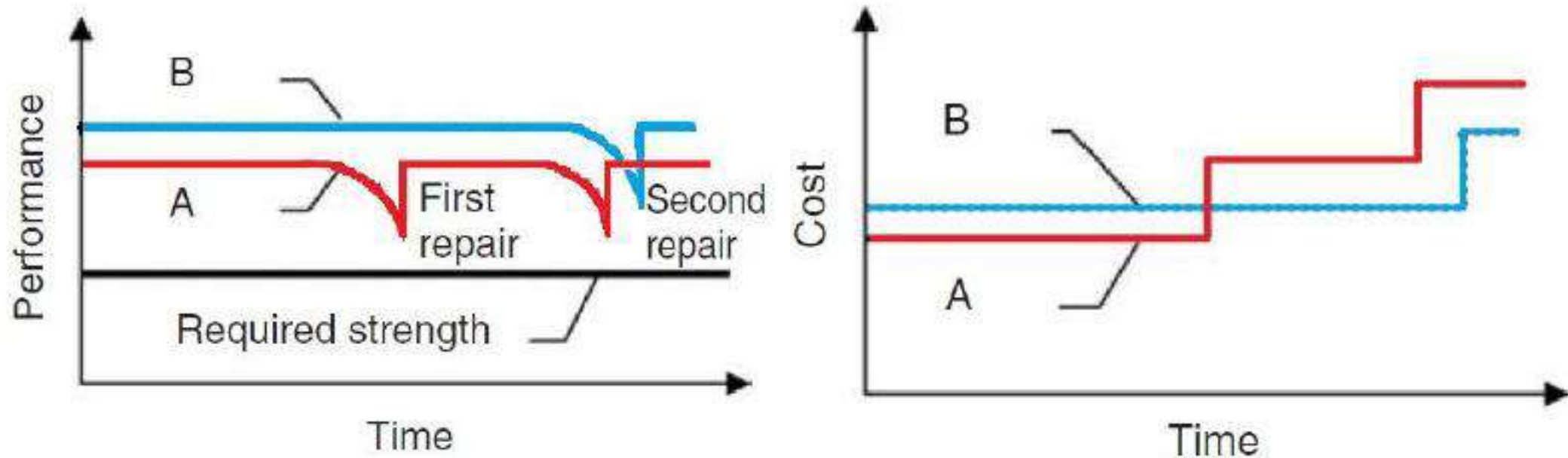
# Αυτό-ιάσιμο Σκυρόδεμα.....πως λειτουργεί



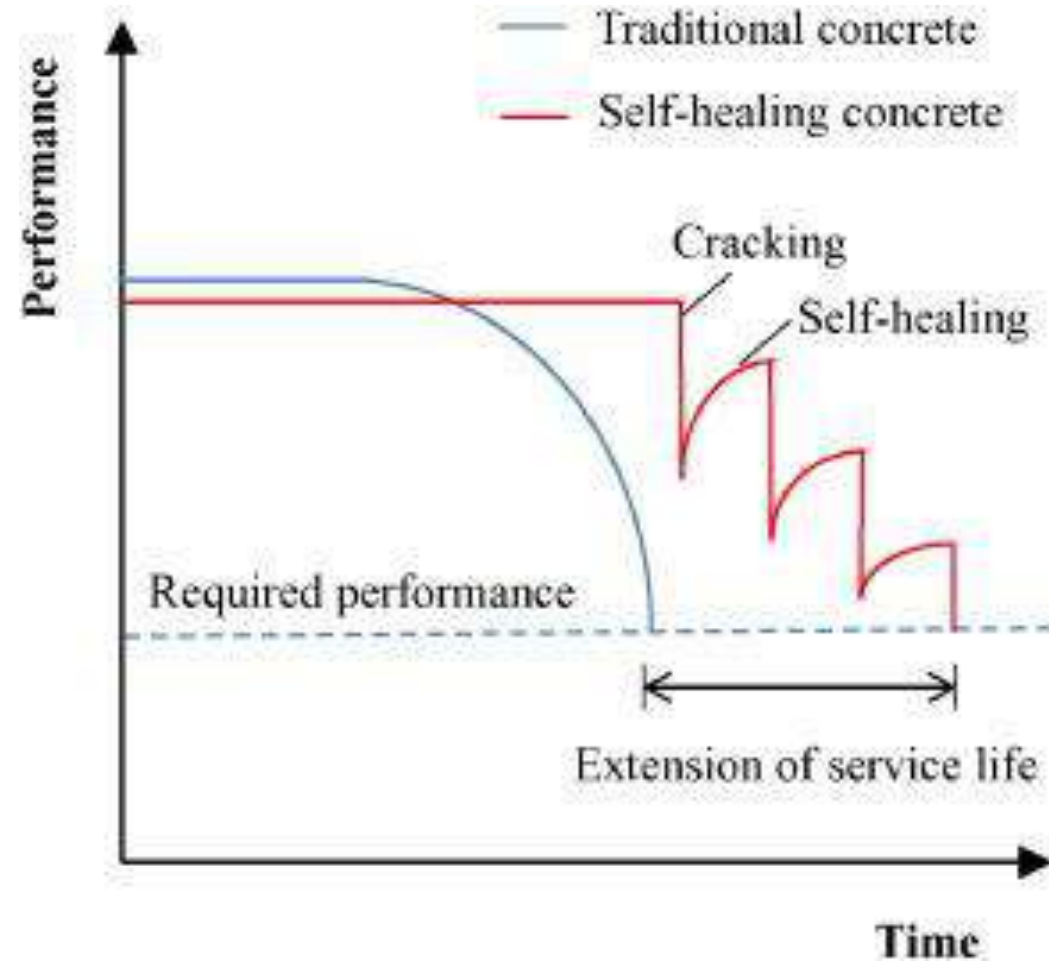
Τα ευρέως διασκορπισμένα συστατικά θα αρχίσουν να μετατρέπουν τα παρόντα θρεπτικά συστατικά σε **ανθρακικό ασβέστιο (ασβεστόλιθος)**, το οποίο τελικά θα σφραγίσει τη ρωγμή.

# Στόχος του Αυτό-ιάσιμου Σκυροδέματος

## Life Cycle προοπτική σκέψης

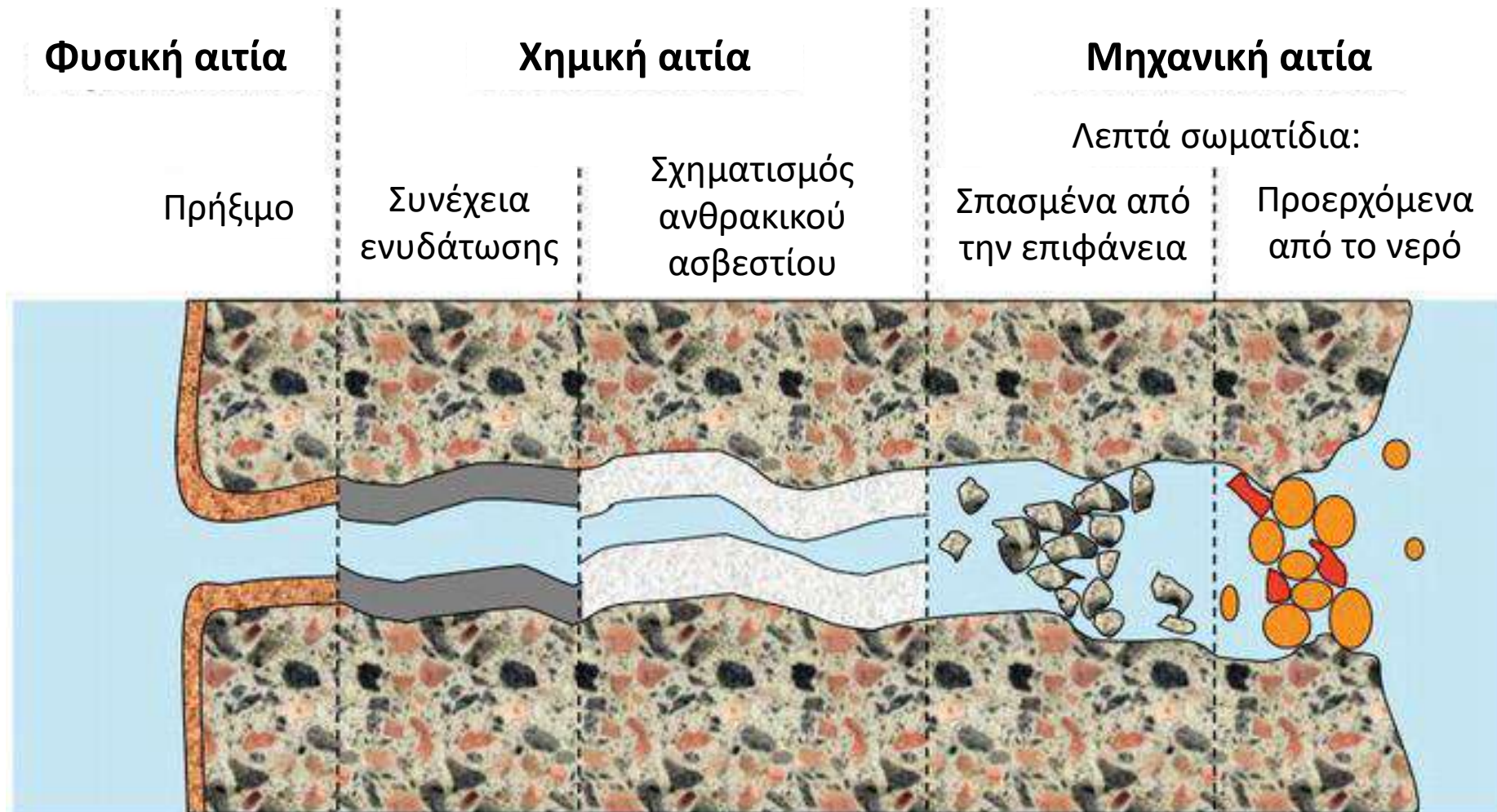


# Η αρχή του «Αυτό-ιάσιμου Σκυροδέματος»

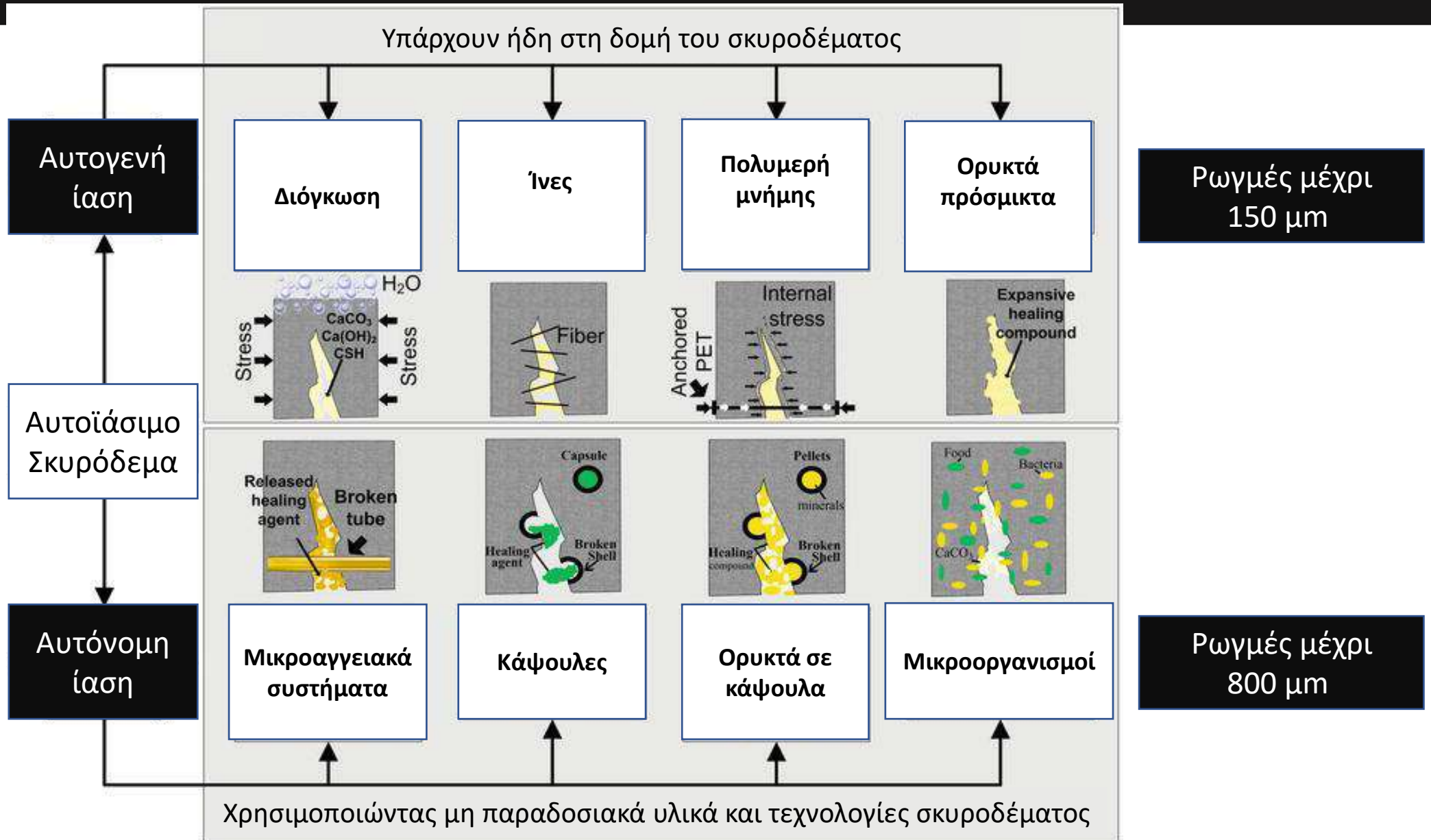


Source: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127515309515>

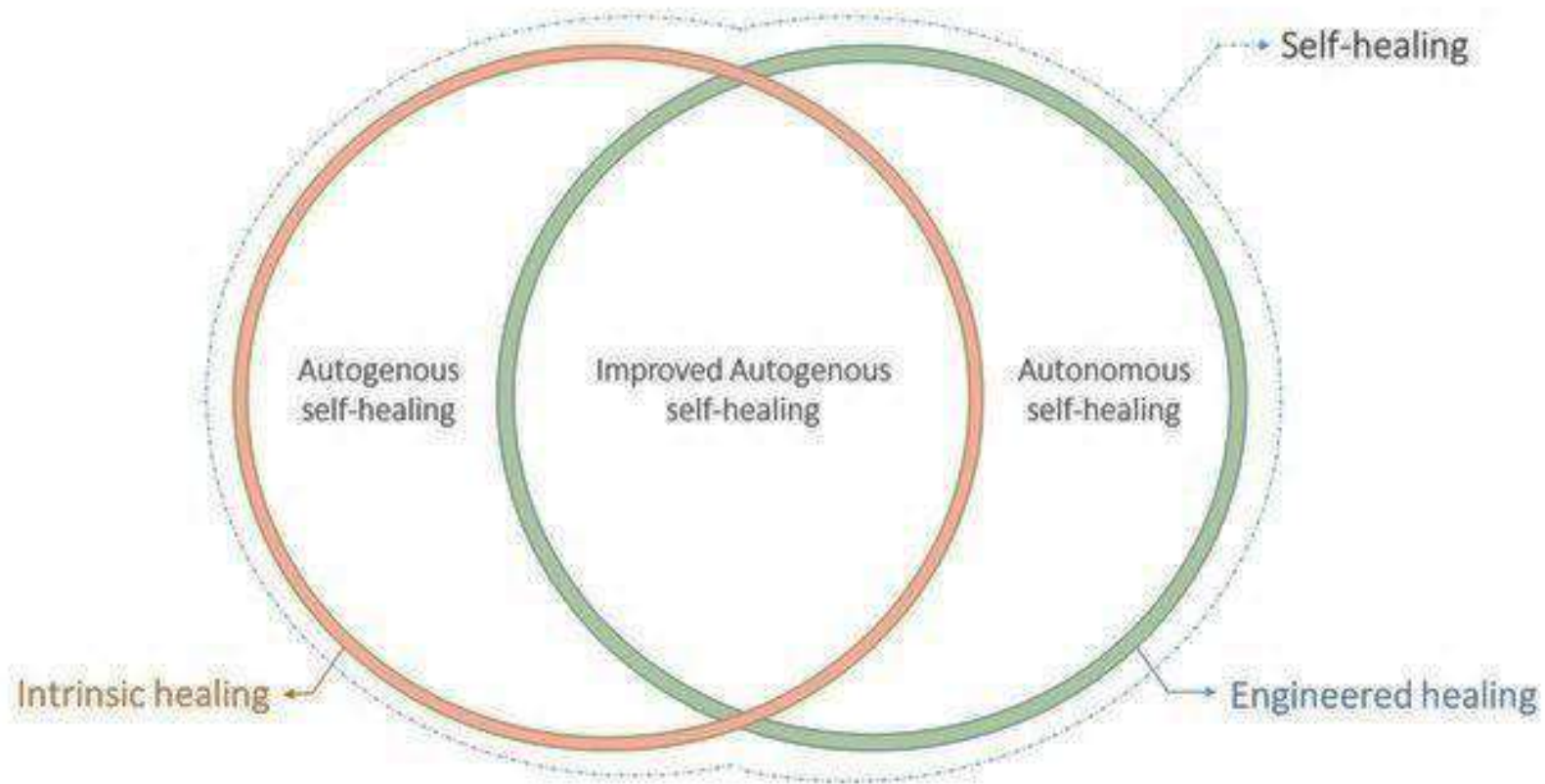
# Μέθοδοι αυτό-ίασης σκυροδέματος



# Μέθοδοι αυτό-ίασης σκυροδέματος



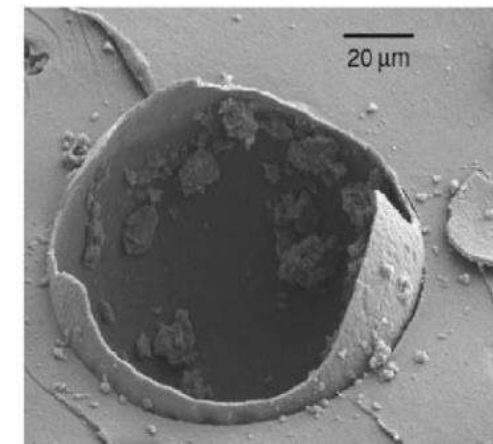
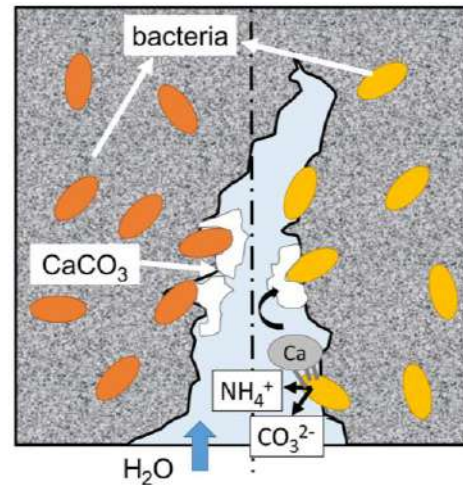
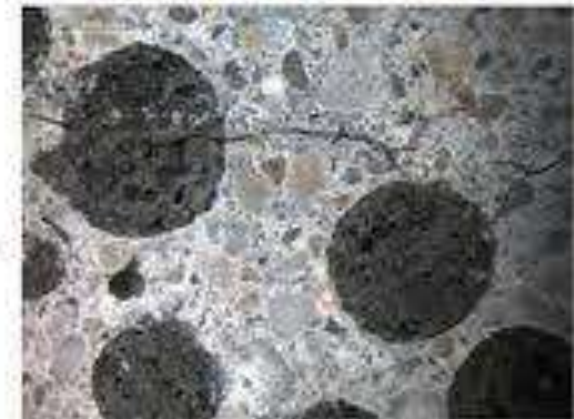
# Μέθοδοι αυτό-ίασης σκυροδέματος



# Μέθοδοι αυτό-ίασης σκυροδέματος

## Βακτήρια

- Τα σπόρια των βακτηρίων βλασταίνουν και αρχίζουν να τρέφονται με **γαλακτικό ασβέστιο** που καταναλώνει οξυγόνο.
- Το διαλυτό γαλακτικό ασβέστιο μετατρέπεται σε **αδιάλυτο ασβεστόλιθο**.
  - Ο αδιάλυτος ασβεστόλιθος αρχίζει να σκληραίνει.
- Γεμίζοντας έτσι τη ρωγμή.



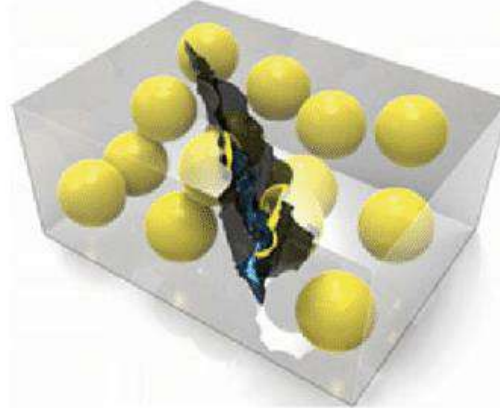


# Μέθοδοι αυτό-ίασης σκυροδέματος

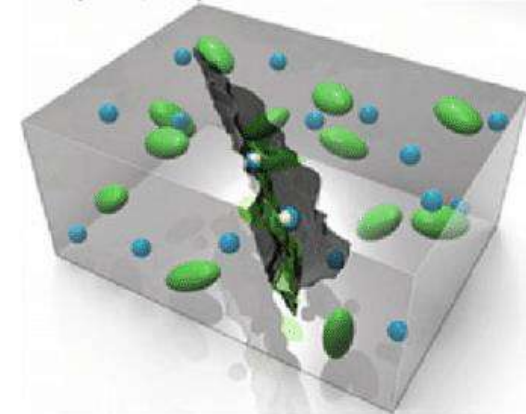
## Μικροενθυλάκωση

- Σε σύνθετα αυτοθεραπευτικά με βάση την κάψουλα, ο **θεραπευτικός παράγοντας** θα πρέπει να μπορεί να **ρέει** και να αποθηκεύεται στις κάψουλες.
- Σύμφωνα με μια πρόσφατη ανασκόπηση, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τέσσερις ομάδες

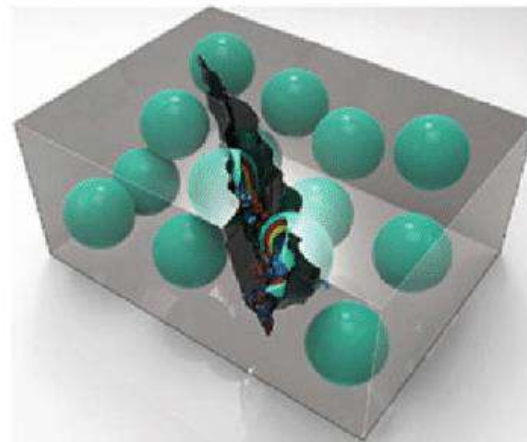
Single capsules



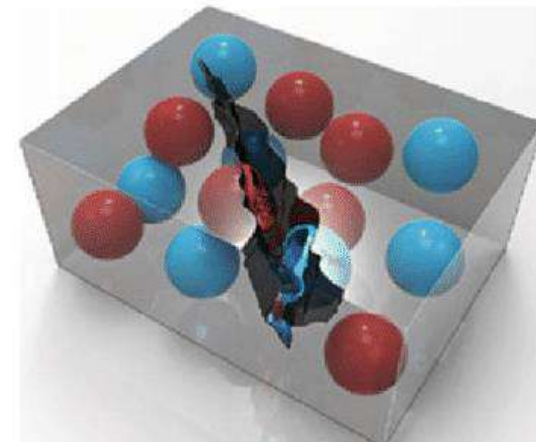
Phase-separated droplet/capsules



All-in-one capsules

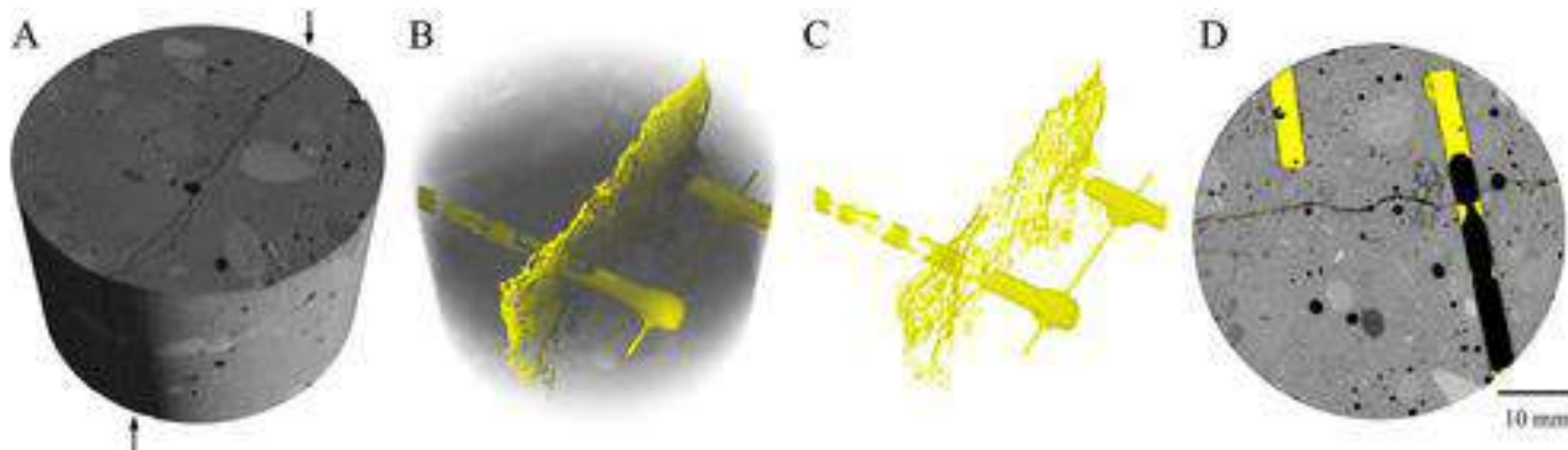
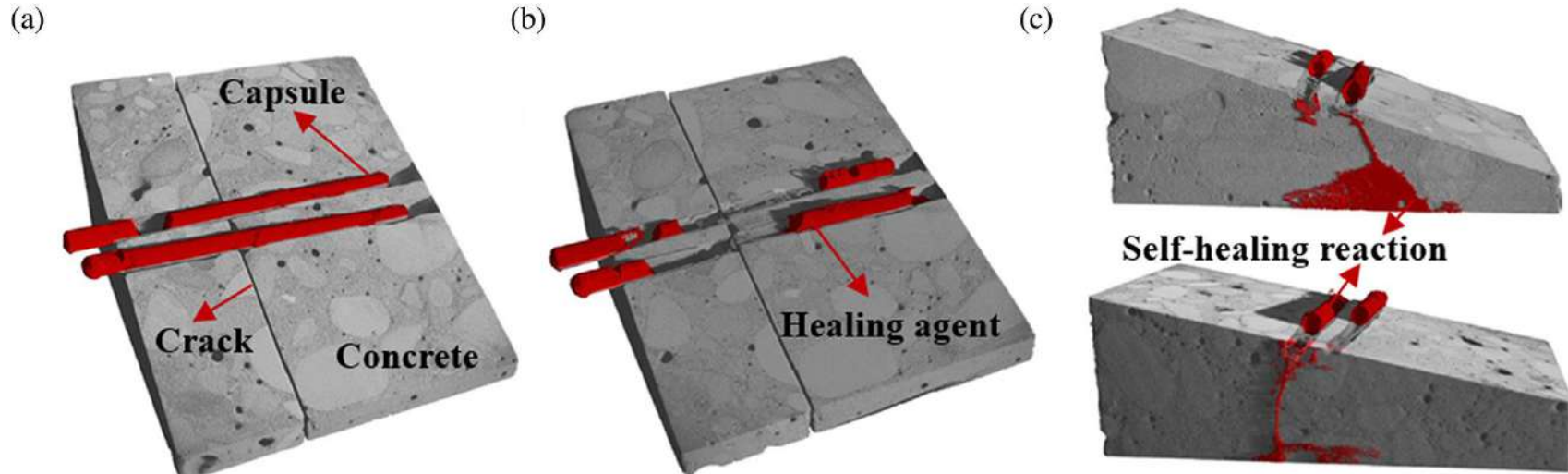


Double capsules



# Μέθοδοι αυτό-ίασης σκυροδέματος

## Μικροενθυλάκωση



# Μέθοδοι αυτό-ίασης σκυροδέματος

## Υπερ-απορροφητικά πολυμερή (SAP)

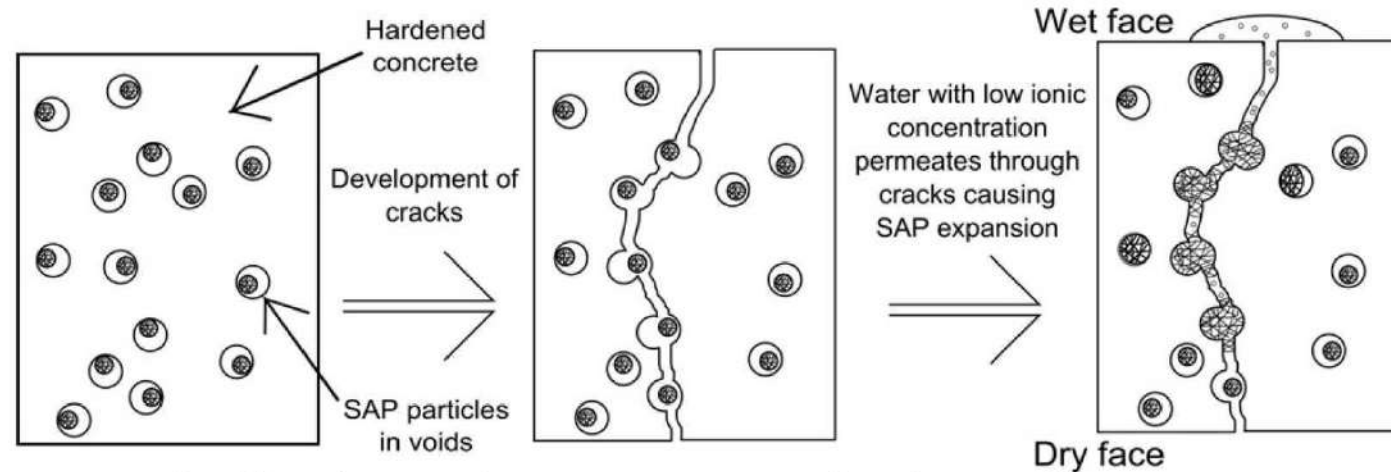
- **Διογκώνεται ελαφρά** αρχικά.
- Το σκυρόδεμα στερεώνεται και σκληραίνει, το SAP απελευθερώνει νερό και συρρικνώνεται, **αφήνοντας πίσω τους πόρους** με μεγέθη που κυμαίνονται από δεκάδες έως εκατοντάδες μικρά.
- Το SAP στη συνέχεια βρίσκεται **αδρανές**.
- Η είσοδος υγρασίας μέσω ρωγμών προκαλούν το SAP να διογκωθεί **πέρα από τον πόρο και στη ρωγμή**.
- Αυτό στη συνέχεια **μπλοκάρει τη ρωγμή και μειώνει τη ροή**.



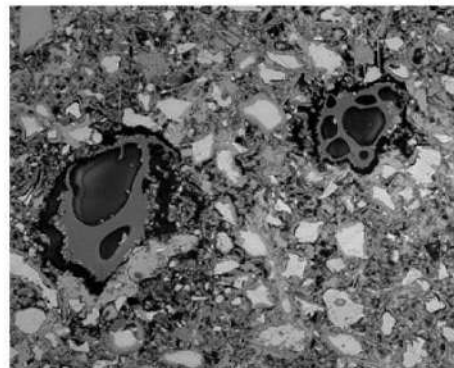
# Μέθοδοι αυτό-ίασης σκυροδέματος

## Υπερ-απορροφητικά πολυμερή (SAP)

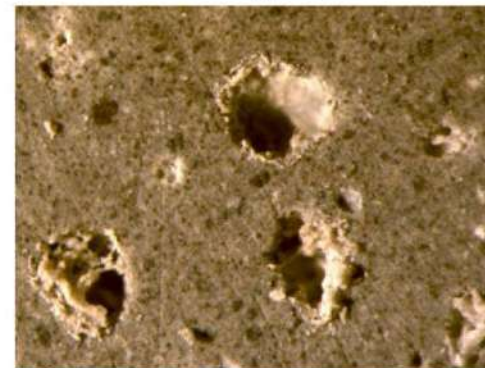
- **Διογκώνεται ελαφρά** αρχικά.
- Το σκυρόδεμα στερεώνεται και σκληραίνει, το SAP απελευθερώνει νερό και συρρικνώνεται, **αφήνοντας πίσω τους πόρους** με μεγέθη που κυμαίνονται από δεκάδες έως εκατοντάδες μικρά.
- Το SAP στη συνέχεια βρίσκεται **αδρανές**.
- Η είσοδος υγρασίας μέσω ρωγμών προκαλούν το SAP να διογκωθεί **πέρα από τον πόρο και στη ρωγμή**.
- Αυτό στη συνέχεια **μπλοκάρει τη ρωγμή και μειώνει τη ροή**.



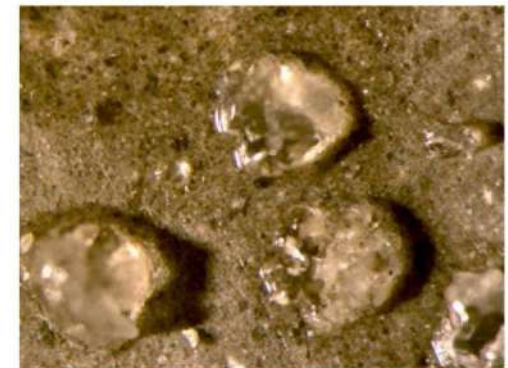
a) Self-sealing mechanism using superabsorbent polymer



b) BSE image



c) Dry SAP

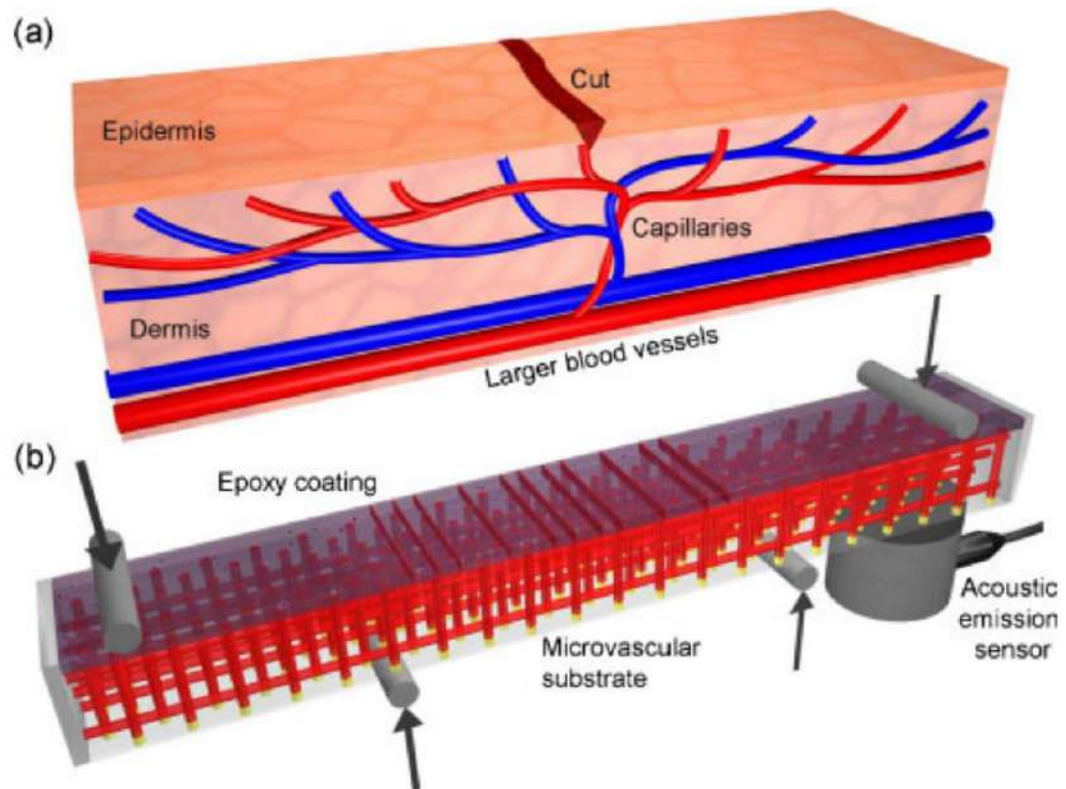


d) Swollen SAP

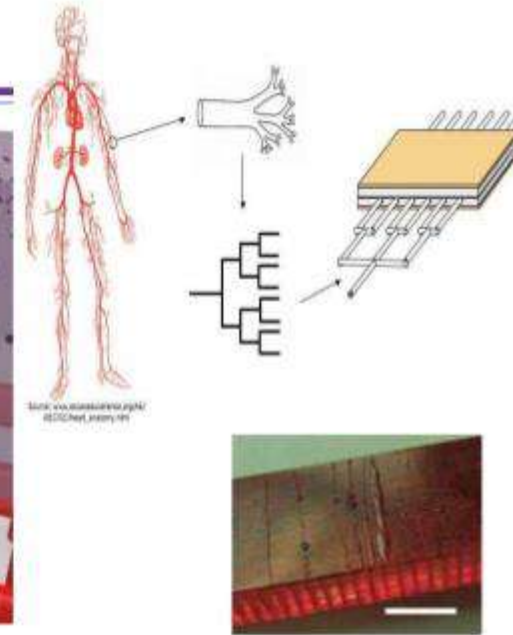
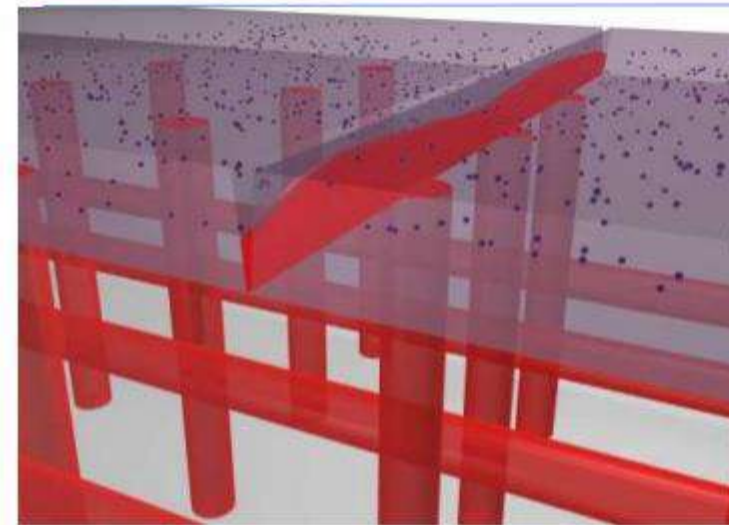
# Μέθοδοι αυτό-ίασης σκυροδέματος

## Μικροαγγειακό σύστημα

Για να ξεπεραστεί η δυσκολία του σύντομου εφοδιασμού του θεραπευτικού παράγοντα με βάση το μικροκάψο, εφαρμόζεται μια άλλη προσέγγιση παρόμοια με το βιολογικό αγγειακό σύστημα πολλών φυτών και ζώων.



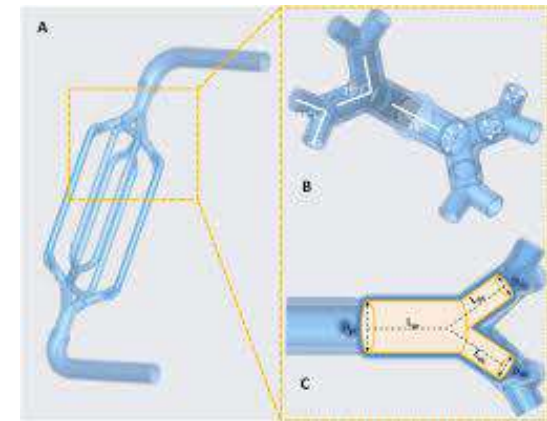
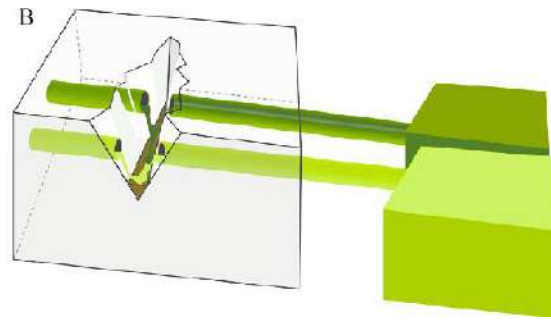
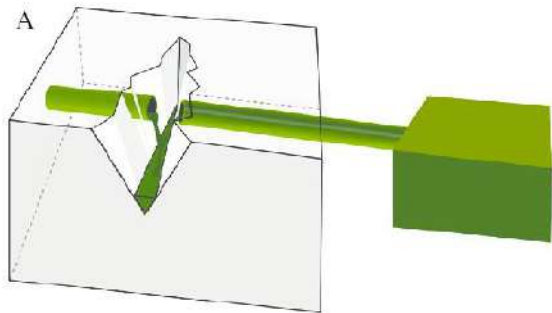
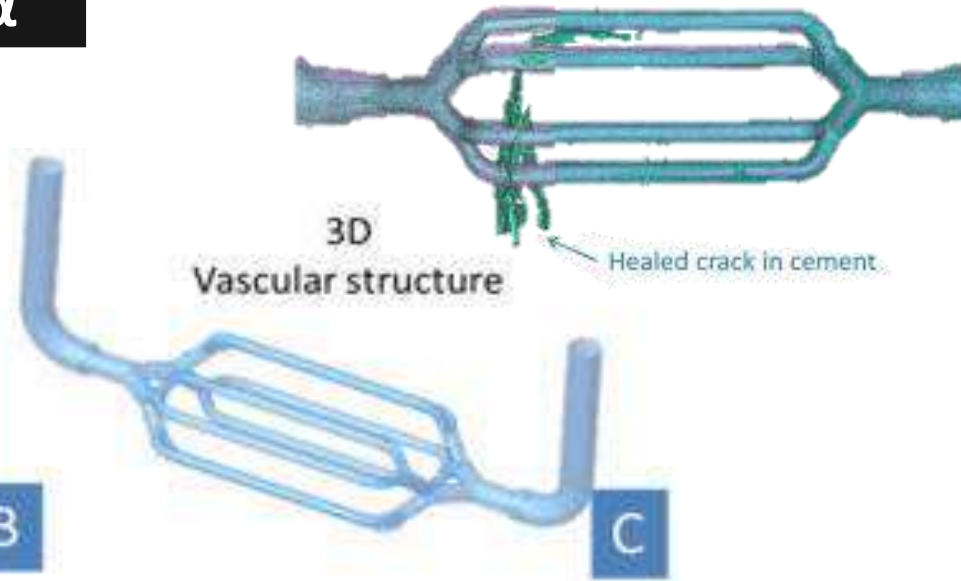
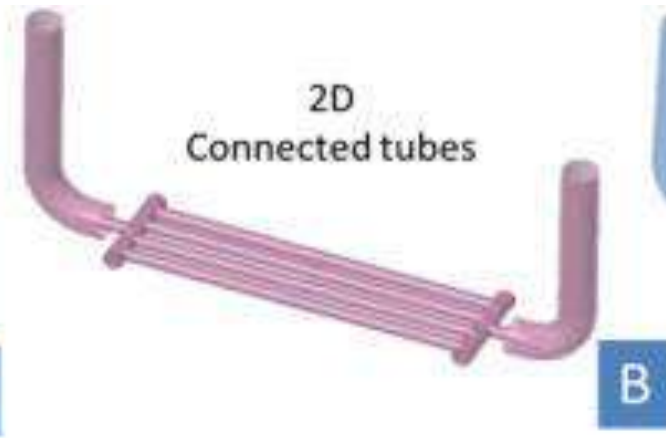
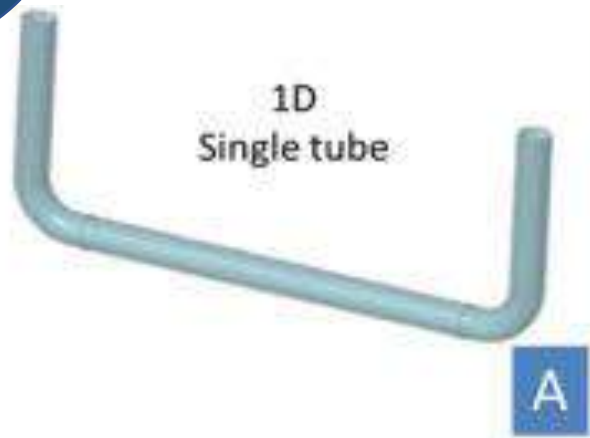
Microvascular System



# Μέθοδοι αυτό-ίασης σκυροδέματος

## Μικροαγγειακό σύστημα

Δομές που έχουν δοκιμασθεί σε σκυρόδεμα

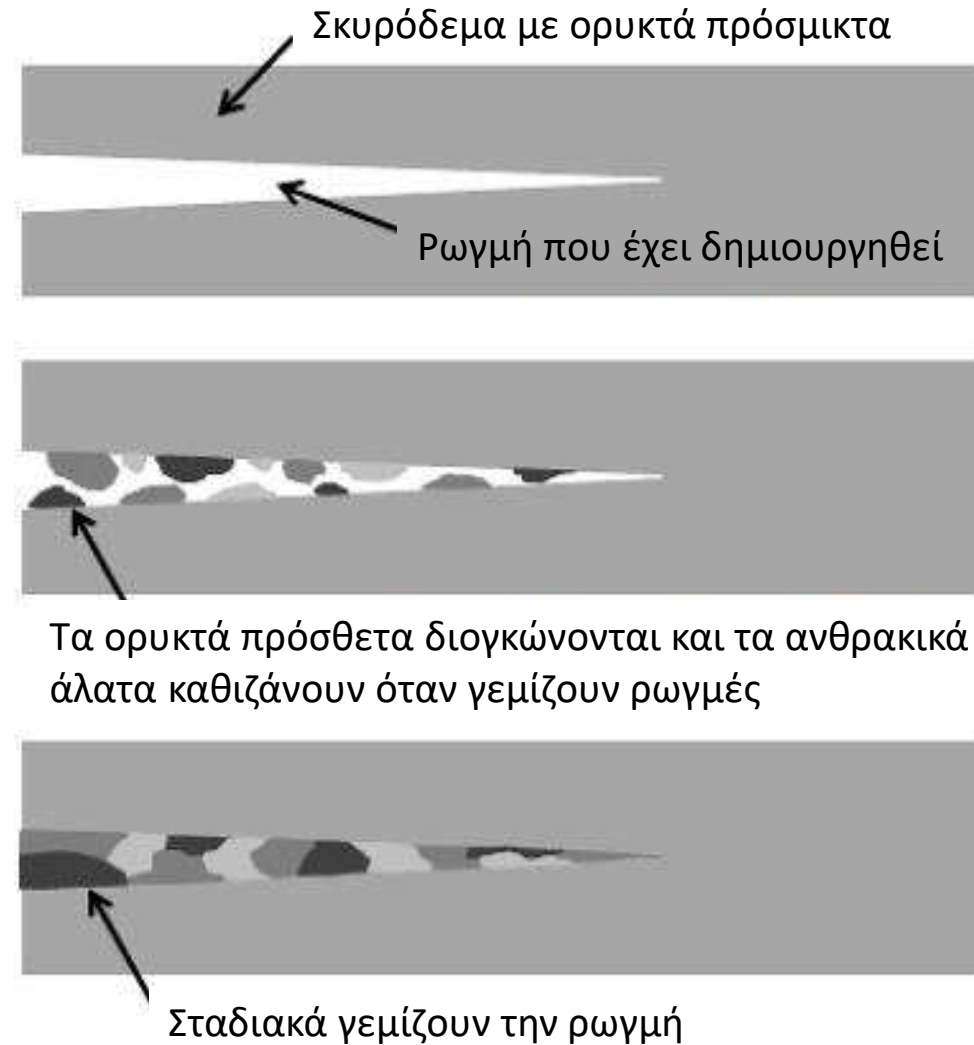


# Μέθοδοι αυτό-ίασης σκυροδέματος

## Ορυκτά πρόσμικτα

**Ανάμιξη ορυκτών και συμπληρωματικά τσιμεντοειδή υλικά (SCMs).** Τα στοιχεία που εισάγονται στο σκυρόδεμα μπορούν να βοηθήσουν τη διαδικασία αυτοθεραπείας με τους παρακάτω τρόπους:

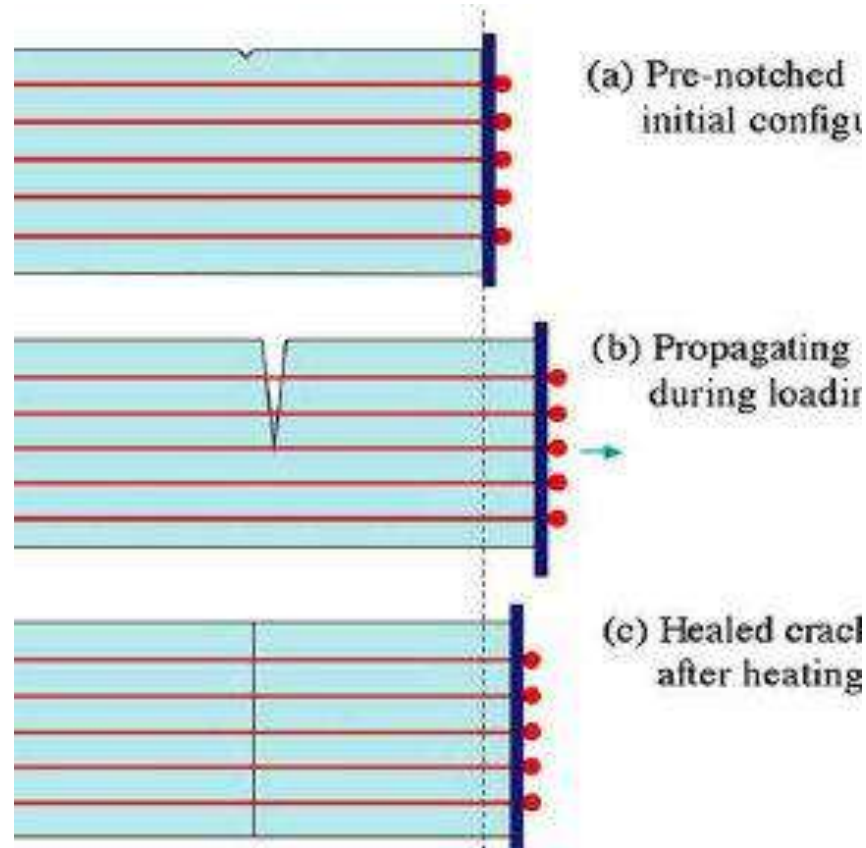
- Να **παραμείνει αφυδατωμένο** μετά το αρχικό στάδιο ανάμιξης του σκυροδέματος.
- Να υποστεί **αντίδραση και να παράγει εκτεταμένα ενυδατωμένα προϊόντα** που θα θεραπεύσουν τις ρωγμές.



# Μέθοδοι αυτό-ίασης σκυροδέματος

## Κραμάτων μνήμης σχήματος (SMAs)

Το **Shape Memory Alloys** είναι ένας τύπος **έξυπνου υλικού** που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σκυρόδεμα, δεδομένου ότι έχει μια μοναδική ιδιότητα **προσδιορισμού του προηγούμενου σχήματος** ακόμη και μετά από παραμόρφωση.



Χρήσης ηλεκτρικών ρευμάτων για τη θέρμανση των καλωδίων Shape Memory Alloy.

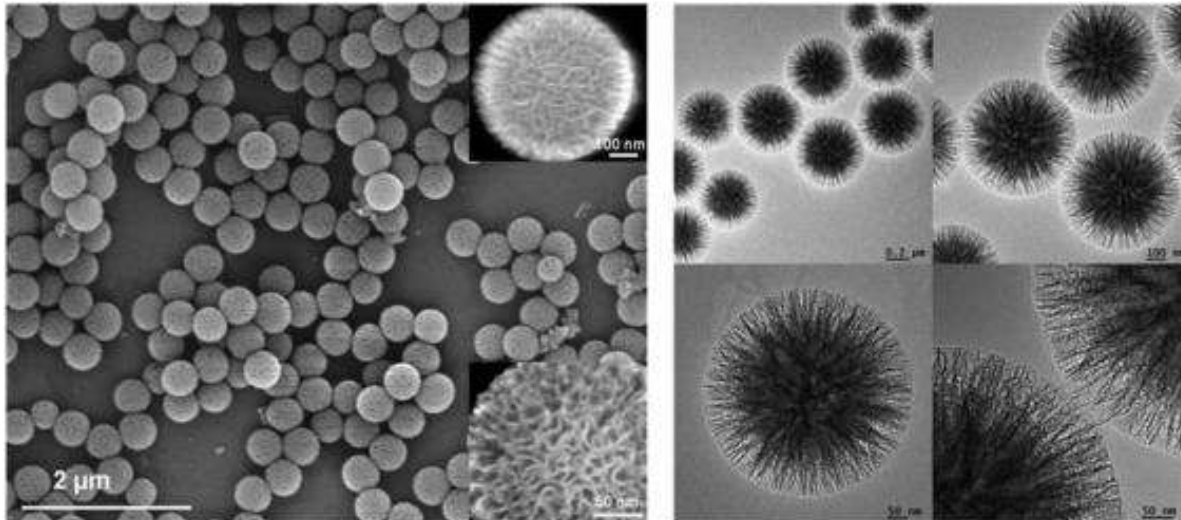




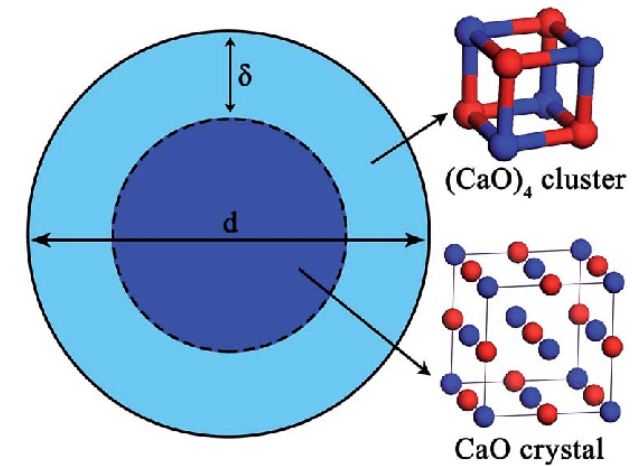
# Μέθοδοι αυτό-ίασης σκυροδέματος

## Νανοσωματίδια

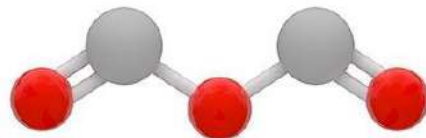
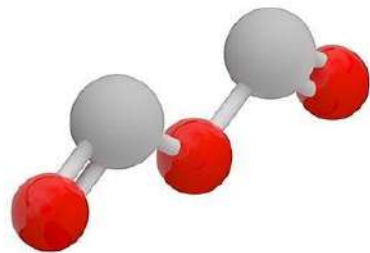
Νανο-πυρίτιο



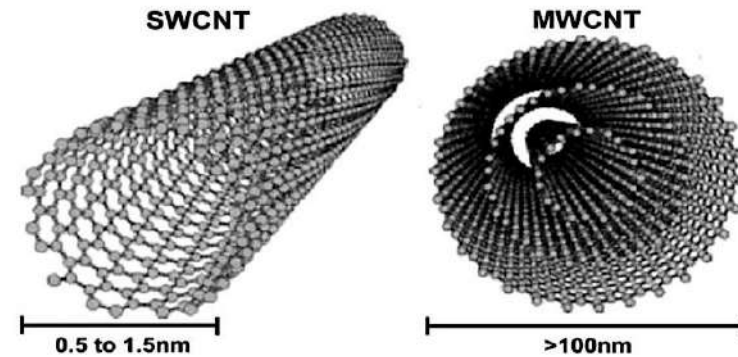
Νανο-ασβέστιο



Νανο-αλουμίνα



Νανο-σωλήνες άνθρακα



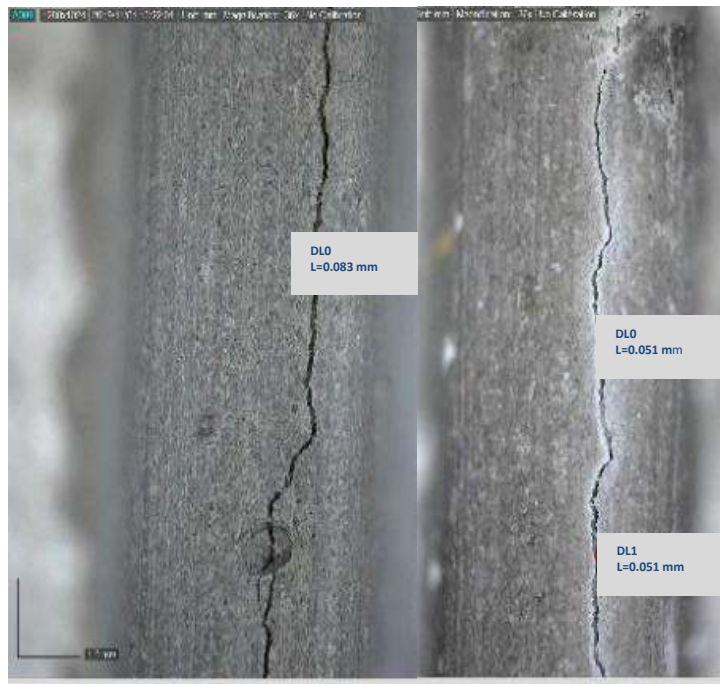
# Αυτό-ιάσιμο Σκυρόδεμα.. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

## Τσιμεντόπαστα με νανοϋλικά

Εικόνες μικροσκοπίου μετά από 14 ημέρες ίασης

0 days

14 days



Αναφοράς

0 days

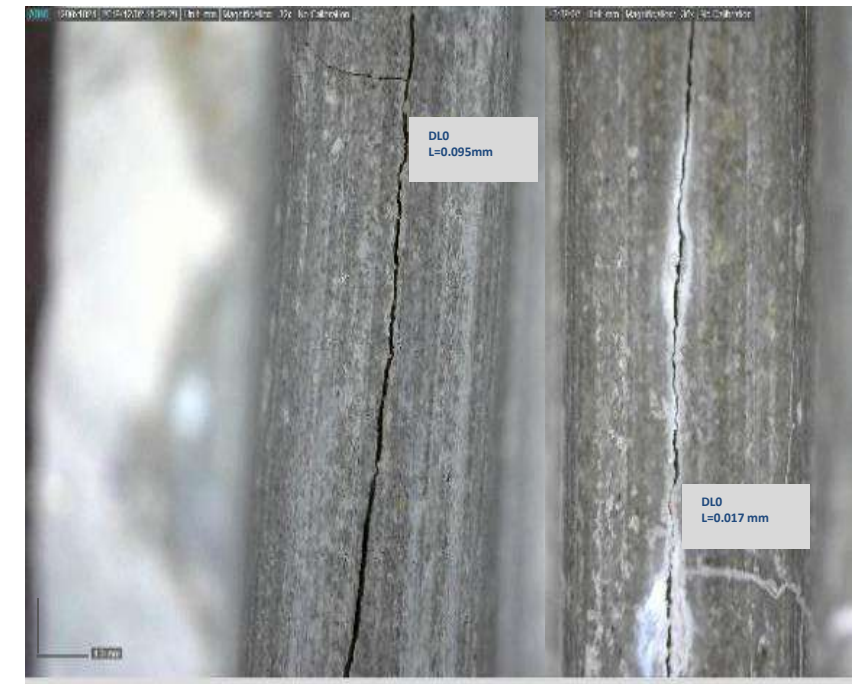
14 days



Αναφοράς + Νανό-ασβέστιο

0 days

14 days



Αναφοράς + Νανό-πυρίτιο

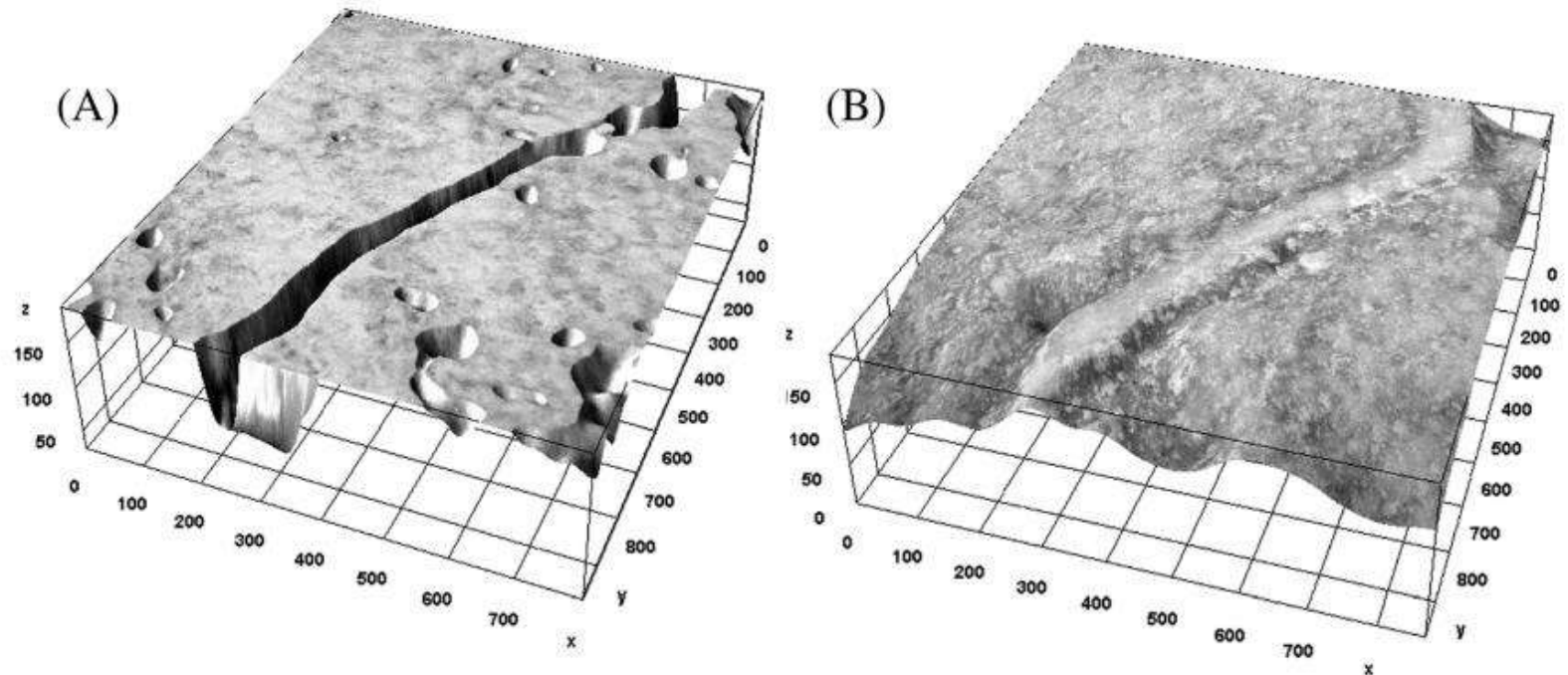
Source: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320369509?via%3Dihub>



# Μέθοδοι αυτό-ίασης σκυροδέματος

## Κρυσταλλίτες

- Τα κρυσταλλικά μείγματα (CA) είναι ένας ειδικός τύπος μειγμάτων **μείωσης της διαπερατότητας** (PRAs όπως αναφέρεται από την επιτροπή ACI 212).
- Είναι **υδρόφιλα** και αυτό τους κάνει να αντιδρούν εύκολα με νερό.
- Όταν λαμβάνει χώρα αυτή η αντίδραση, σχηματίζει **ανακρυσταλλώσεις** στους πόρους / ρωγμές.
- Οι κρυσταλλικές εναποθέσεις γίνονται μέρος της μήτρας του σκυροδέματος.



Source: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/mdp2.166>

# Απολογισμός

## Πλεονεκτήματα

- 1 Αυτο-επισκευή ρωγμών χωρίς εξωτερικό βοήθό.
- 2 Διατήρηση της αντοχής σε θλίψη και της αντοχής σε κάμψη.
- 3 Αντίσταση σε επιθέσεις ψύξης-απόψυξης.
- 4 Μείωση της διαπερατότητας του σκυροδέματος.
- 5 Μειώνει τη διάβρωση του χάλυβα.

## Μειονεκτήματα

- 1 Το κόστος ορισμένων μεθόδων είναι διπλάσιο από το συμβατικό σκυρόδεμα.
- 2 Τα κενά που αφήνουν οι κάψουλες αποτελούν το 20% του όγκου του σκυροδέματος.
- 3 Ο σχεδιασμός μίγματος αυτο-ιάσιμου σκυροδέματος δεν είναι ακόμα πιστοποιημένος.
- 4 Δεν καλύπτουν όλα τα είδη ρωγμών.



[Laboratory of Building Materials](#)



[Self-healing of cementitious materials, AUTH](#)