

Διάβρωση και χλωριόντα

Chloride induced corrosion



Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον:
Μηχανισμός Διάβρωσης



Βελονοειδής διάβρωση οπλισμού χάλυβα (5 έτη)

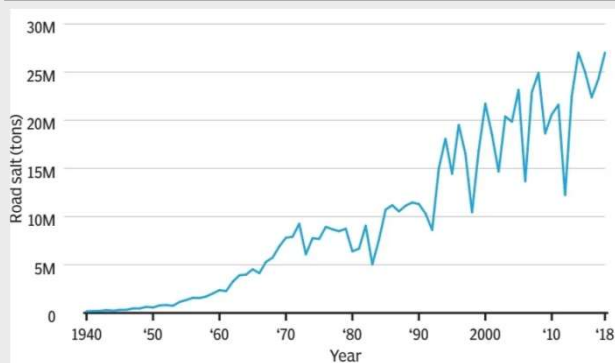
353

Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Πηγές Cl⁻

- ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ
 - Μέσα στη θάλασσα
 - Διαβρέχεται από τη θάλασσα
 - Έκθεση σε αερομεταφερόμενα σταγονίδια
- Αντι-παγωτικά άλατα
- Βιομηχανικά άλατα
- Από PVC μετά από πυρκαγιά
- Από τα αδρανή (θαλασσινή άμμος)
- Νερό ανάμιξης (θαλασσινό ή υφάλμυρο)
- Από Πρόσθετα που περιέχουν χλωριο

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Πηγές Cl⁻ ΑΝΤΙ-ΠΑΓΩΤΙΚΑ ΑΛΑΤΑ



*1940-1953: "Highways, railroads, and other dust and ice control", 1954-1971: "States, counties, and other political subdivisions", 1972-1984: "Highway use", 1985-2016: "Ice control and/or stabilization", 2017-18: Estimates

Source: U.S. Geological Survey

CARLIE PROCELL/USA TODAY NETWORK

Διαρκώς αυξανόμενη η χρήση από το 1950

- Κυρίως NaCl
- Δευτερευόντως MgCl και CaCl₂.

Διαλύονται στον πάγο (Cl⁻) και το διάλυμα τους εισέρχεται στους πόρους του σκυροδέματος μέσω διάχυσης.

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

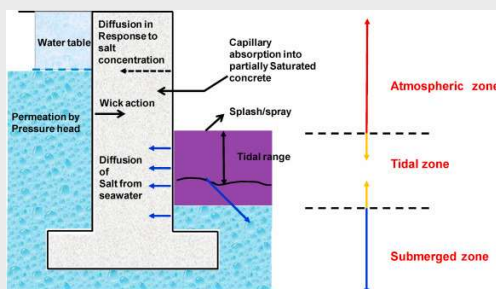
Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Πηγές Cl⁻ Θαλάσσιο περιβάλλον

Κατασκευές κοντά στη θάλασσα υπόκεινται σε επίθεση χλωριόντων.

Δείσδυση μέσω διάχυσης.

Το θαλασσινό νερό περιέχει:

- NaCl
- MgCl₂
- KCl



Πηγή: <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.102074>

Κατάσκευές σε ακτίνα 3 km επίσης υπόκεινται σε επίθεση χλωριόντων, μέσω αερομεταφοράς.

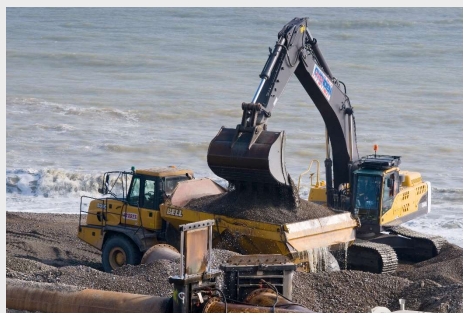
Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Πηγές Cl⁻ Συστατικά του αναμίγματος

Πρόσμικτα CaCl₂ σαν επιταχυντές και ενισχυτικά αντοχής μέχρι και τα 70's .

Η χρήση είναι πλέον απαγορευμένη.

Θαλάσσια αδρανή: Έκπλυση πριν τη χρήση.

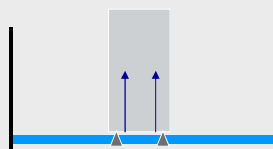


Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Πηγές Cl⁻ Μηχανισμός διείσδυσης

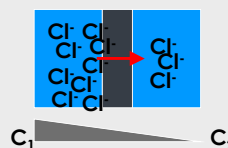
Με συνδυασμό των δυο μηχανισμών (βλ. εισαγωγή) :

1. Απορρόφηση σε ξηρό σκυρόδεμα μέχρι κορεσμού του. Στη συνέχεια,



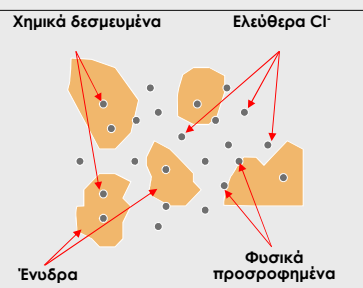
2. Διάχυση. Ισχύει ο 2 νόμος του Fick :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$



Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Πηγές Cl⁻ Μορφή χλωριόντων



Χημικά δεσμευμένα

Αντιδρούν με τις ένυδρες ενώσεις του τσιμέντου και δημιουργούν νέες χημικές (ένυδρες) ενώσεις.

Με αυτό τον τρόπο «ακίνητοποιούνται»

Friedell Salts.

Η δέσμευση είναι ανάλογη της περιεκτικότητας σε Al₂O₃ (Ι.Τ. και Σκωρία).

Ελεύθερα Χλωριόντα

Διαθέσιμα παντού μέσω μηχανισμού διάχυσης

Αποτελούν τη βασική πηγή για τη διάβρωση του σπλισμού

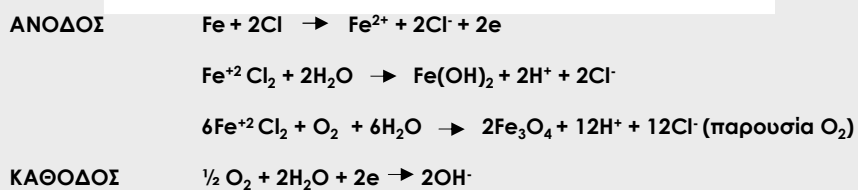
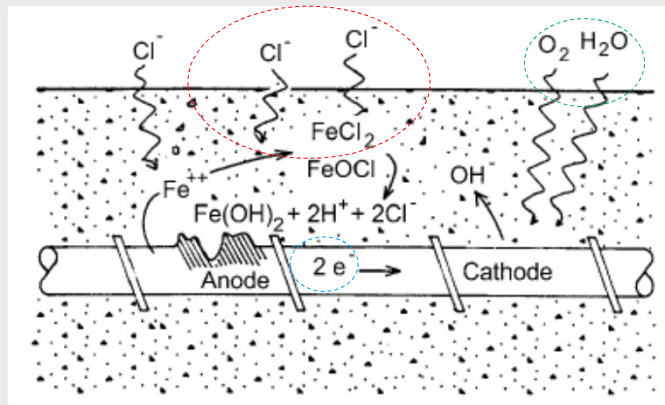
Φυσικά προσροφημένα

Ασθενής δέσμευση από τις ένυδρες φάσεις του τσιμέντου

Παραμένουν ενεργά για τη διάβρωση του σπλισμού

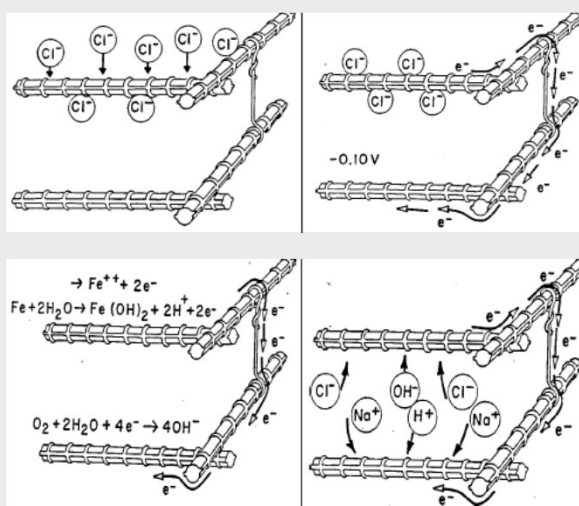
Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

**Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον:
Μηχανισμός Διάβρωσης- Δράση Cl⁻**

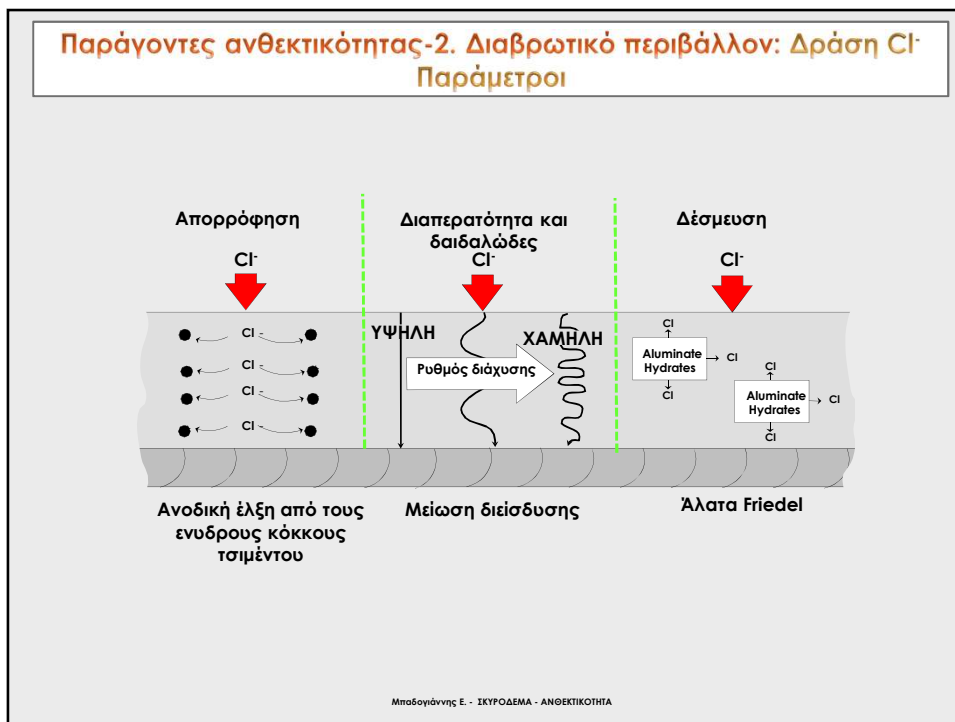
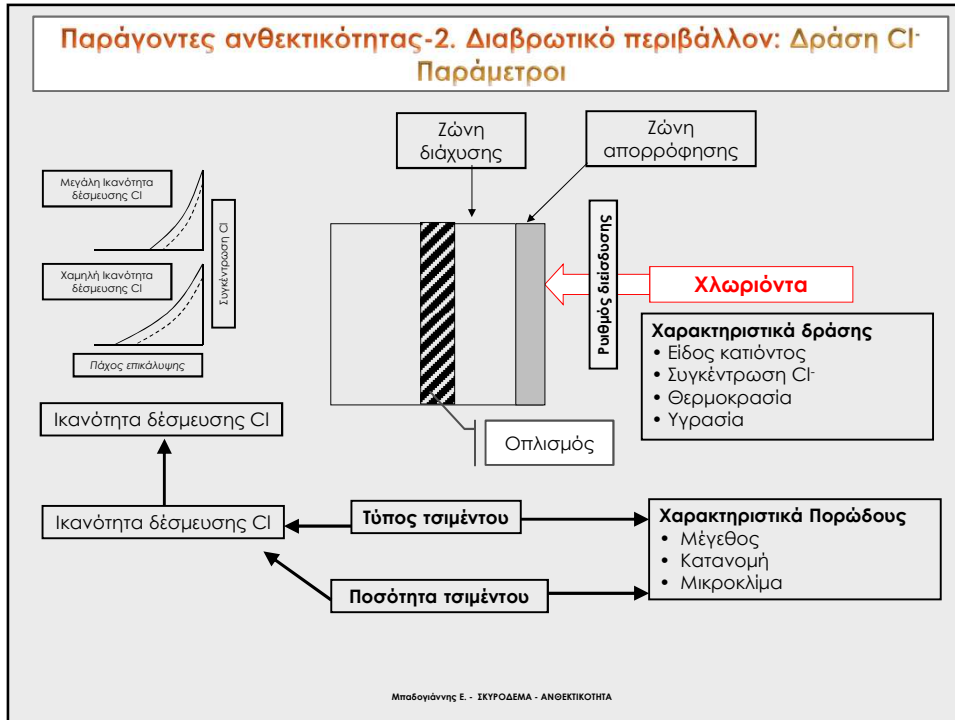


Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

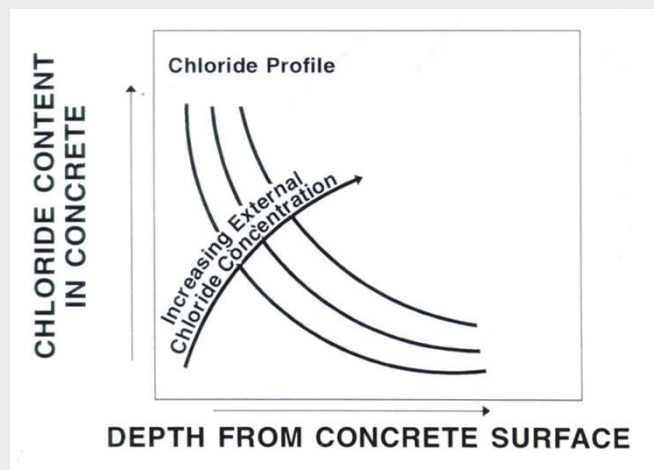
**Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον:
Μηχανισμός Διάβρωσης- Δράση Cl⁻ / Γαλβανικό στοιχείο**



Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ



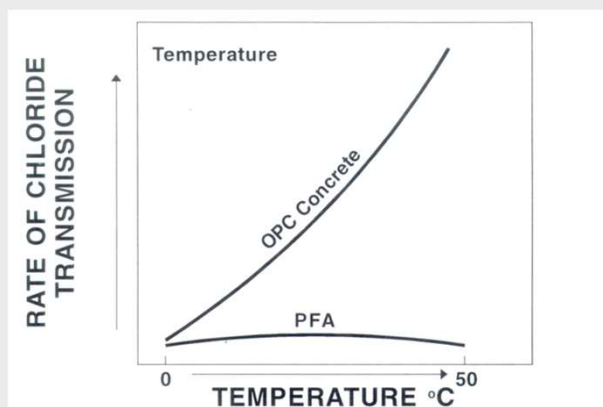
Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Δράση Cl⁻
Παράμετροι



Επίδραση της συγκέντρωσης Cl στο βάθος διείσδυσης

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

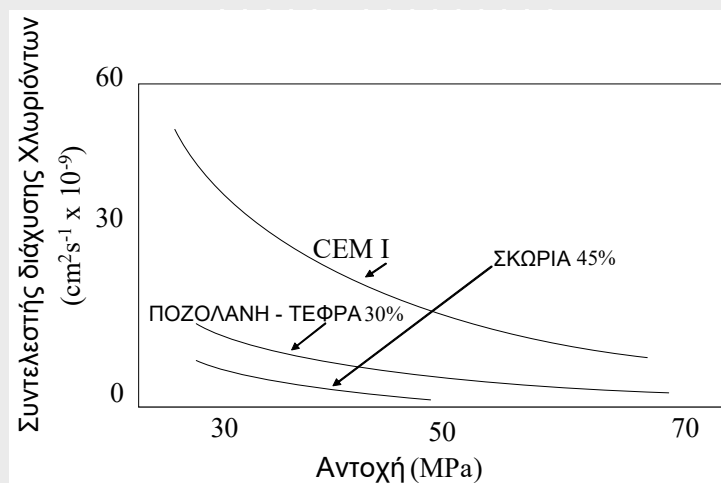
Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Δράση Cl⁻
Παράμετροι



Επίδραση της θερμοκρασίας και του είδους τσιμέντου ρυθμό διείσδυσης

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Δράση Cl⁻ Παράμετροι



Επίδραση του είδουςτσιμέντου ρυθμό διάχυσης

Μπασιγιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Δράση Cl⁻ Παράμετροι

Η ποσότητα των Cl⁻ που θα βρεθεί στο σκυρόδεμα είναι κρίσιμο μέγεθος για τη διάβρωση του χάλυβα και προδιαγράφεται.

Έχουν προδιαγραφεί όρια και επίπεδα συγκέντρωσης Cl⁻:

- Cl⁻ / OH ratio,
- Συνολική συγκέντρωση Cl⁻
- Cl⁻ , διαλυτά σε όξινο περιβάλλον
- Cl⁻ υδατοδιαλυτά (ελεύθερα).

Μπασιγιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

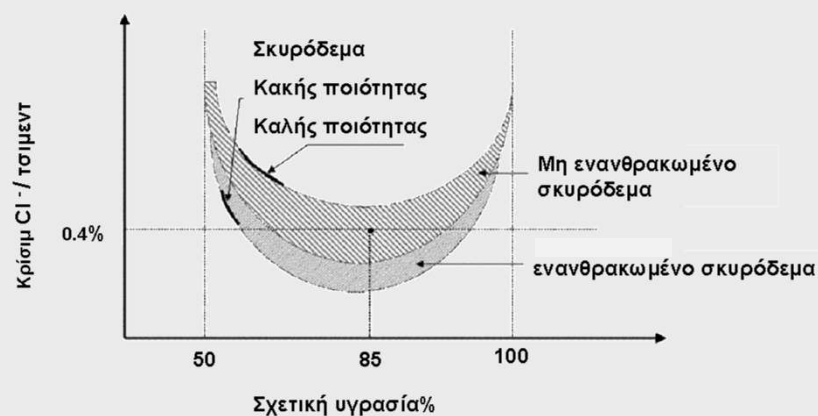
Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Δράση Cl⁻ Παράμετροι

Η συνολική συγκέντρωση Cl⁻ είναι η χειρότερη περίπτωση από πλευρά σχεδιασμού και συνήθως στα πρότυπα προδιαγράφονται τα όρια:

Χαμηλού κινδύνου	< 0.4% κ.β. τσιμέντου
Μέσου κινδύνου	0.4% έως 1.0%
Υψηλού κινδύνου	>1.0%

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

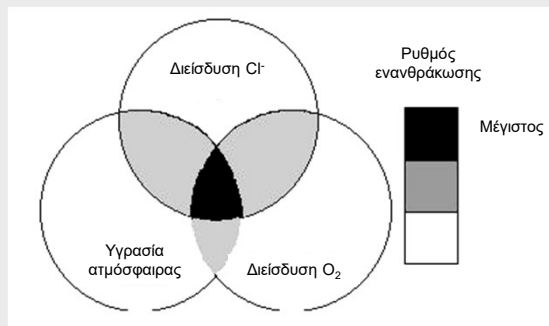
Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Δράση Cl⁻ Παράμετροι



Το κρίσιμο όριο χλωριόντων εξαρτάται από την υγρασία και μικραίνει (δυσμενέστερο) όταν υπάρχει ενανθράκωση

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Δράση Cl⁻ Παράμετροι

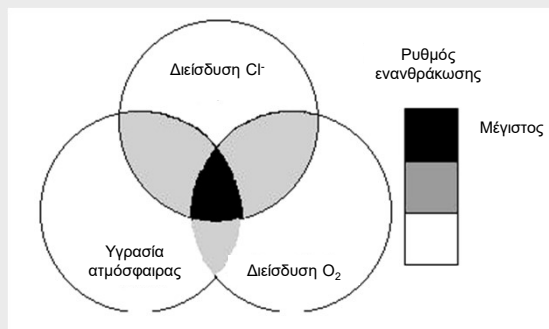


Φυσικές μέθοδοι: Μείωση μέσου πορώδους, κατανομή πόρων, διασύνδεση πόρων.

Χημικές μέθοδοι: Εξασφάλιση υψηλού βαθμού δέσμευσης Cl⁻

Μπασιγιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Δράση Cl⁻ Παράμετροι



Φυσικές μέθοδοι: Μείωση μέσου πορώδους, κατανομή πόρων, διασύνδεση πόρων.

Χημικές μέθοδοι: Εξασφάλιση υψηλού βαθμού δέσμευσης Cl⁻

Μπασιγιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

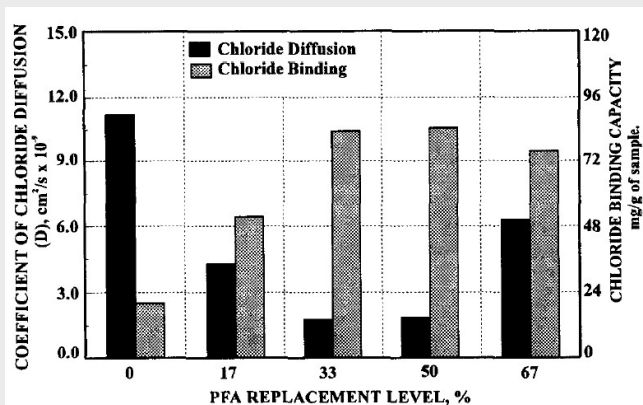
Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Δράση Cl^- δέσμευση Cl^-

Η χρήση πρόσθετων στο σκυρόδεμα όπως η ιπτάμενη τέφρα, η σκωρία και ο μετακαολίνης αυξάνει τον βαθμό δέσμευσης Cl^- , καθώς:

1. Αυξάνεται η περιεχόμενη αλούμινα (Al_2O_3).
2. Βελτιώνεται το πορώδες και το δαιδαλώδες του.
3. Αυξάνεται ο βαθμός φυσικής προσρόφησης

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

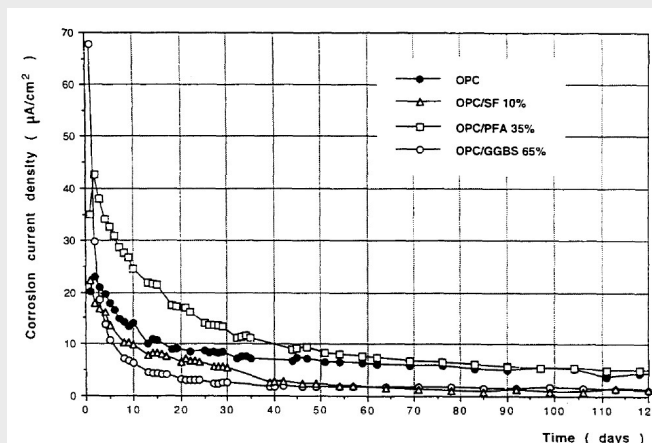
Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Δράση Cl^- Παράμετροι



Επίδραση του ποσοστού Ι.Τ. στον συντελεστή δέσμευσης Cl^- (πηγή [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(97\)00146-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(97)00146-4))

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

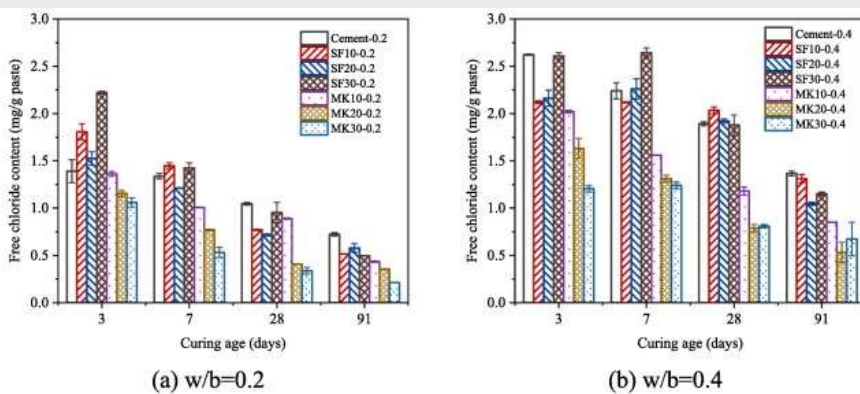
Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Δράση Cl⁻ δέσμευση Cl⁻



Επίδραση του προσθέτου στην πυκνότητα ρεύματος διάβρωσης (πηγή: [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(90\)90083-A](https://doi.org/10.1016/0008-8846(90)90083-A))

Μπασιγιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Δράση Cl⁻ δέσμευση Cl⁻



Επίδραση του προσθέτου στη δέσμευση Cl⁻ (πηγή: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129110>)

Μπασιγιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες Ανθεκτικότητας

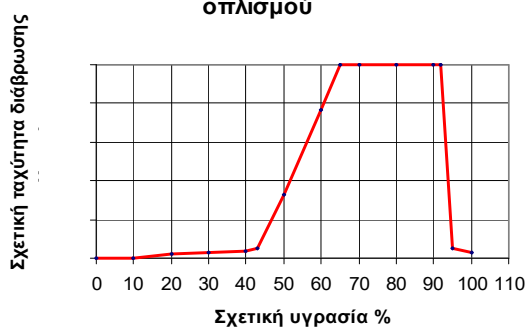
Εξαρτάται από τέσσερις βασικούς παράγοντες:

Υλικά	→	Τσιμέντο, αδρανή, οπλισμός
Υλοποίηση	→	Τεχνική εργασία*
Συντήρηση (Περιβάλλον)	→	Υγρασία, θερμοκρασία
Σχεδιασμό	→	Σχέδια και λεπτομέρειες

Μπασιγιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΔΙΑΒΡΩΣΗ – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ – % ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Επιρροή της υγρασίας στην
ταχύτητα(κίνδυνο) διάβρωσης
οπλισμού

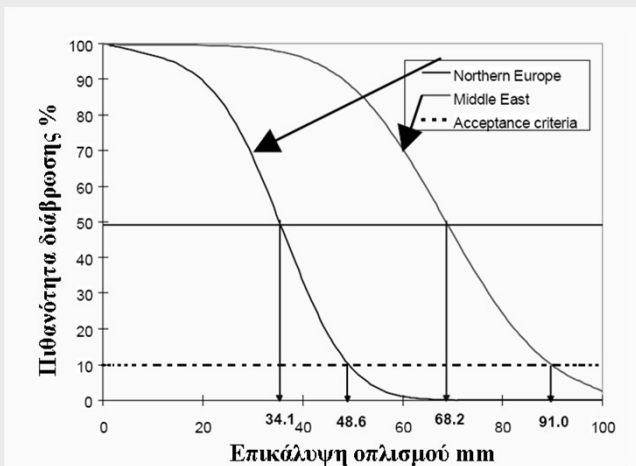


Μπασιγιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

37
9

Μπασιγιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΔΙΑΒΡΩΣΗ – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ – ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



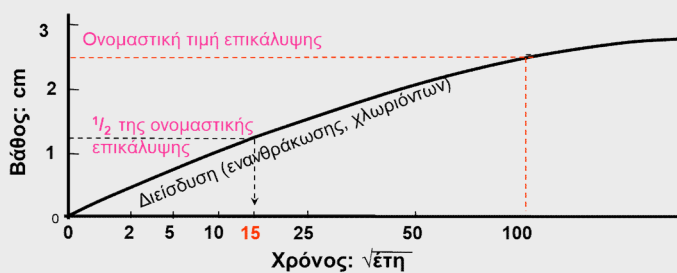
Μετά από 50 χρόνια, για να έχουμε πιθανότητα διάβρωσης οπλισμού <math><10\%</math> (διακεκομμένη γραμμή) θα πρέπει η επικάλυψη να είναι:

- >48 mm για τις χώρες της Β. Ευρώπης
- >91 mm για τις χώρες της Μ. Ανατολής

38
0

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ - ΜΠΑΔΟΓΙΑΝΝΗΣ Ε.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ – ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

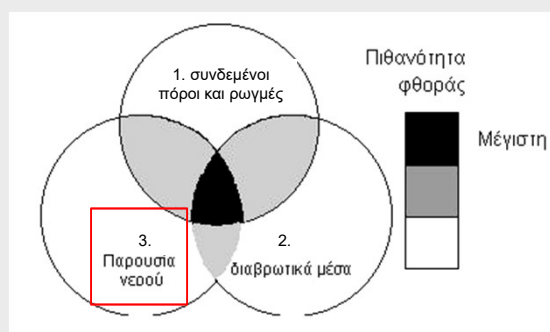


Λάθη στην επικάλυψη οπλισμών προκαλούν σημαντική μείωση της ανθεκτικότητας

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ - ΜΠΑΔΟΓΙΑΝΝΗΣ Ε.

Παράγοντες ανθεκτικότητας

Σε επίπεδο υλικού και συνθηκών έκθεσης



382

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες ανθεκτικότητας - 3.ΝΕΡΟ

- ✓ Επηρεάζει το πορώδες (ο υψηλός λόγος w/c αυξάνει την παρουσία τριχοειδών πόρων).
- ✓ Αποτελεί το μέσο διάχυσης των διαβρωτικών συστατικών στους πόρους του σκυροδέματος.
- ✓ Αποτελεί τον διαλύτη των διαβρωτικών μέσων.
- ✓ Συμμετέχει στην αντίδραση διάβρωσης του οπλισμού και στην καταστροφή της παθητικής του προστασίας.
- ✓ Συμμετέχει στην αλκαλοπυριτική αντίδραση και στην ενανθράκωση.

Απουσία νερού, δεν προχωράει σχεδόν καμία δράση φθοράς

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

 **Κ.Ε.ΔΙ.ΒΙ.Μ.**
Κέντρο Επιμόρφωσης
και Διά Βίου Μάθησης

Δράση κύκλων ψύξης-απόψυξης

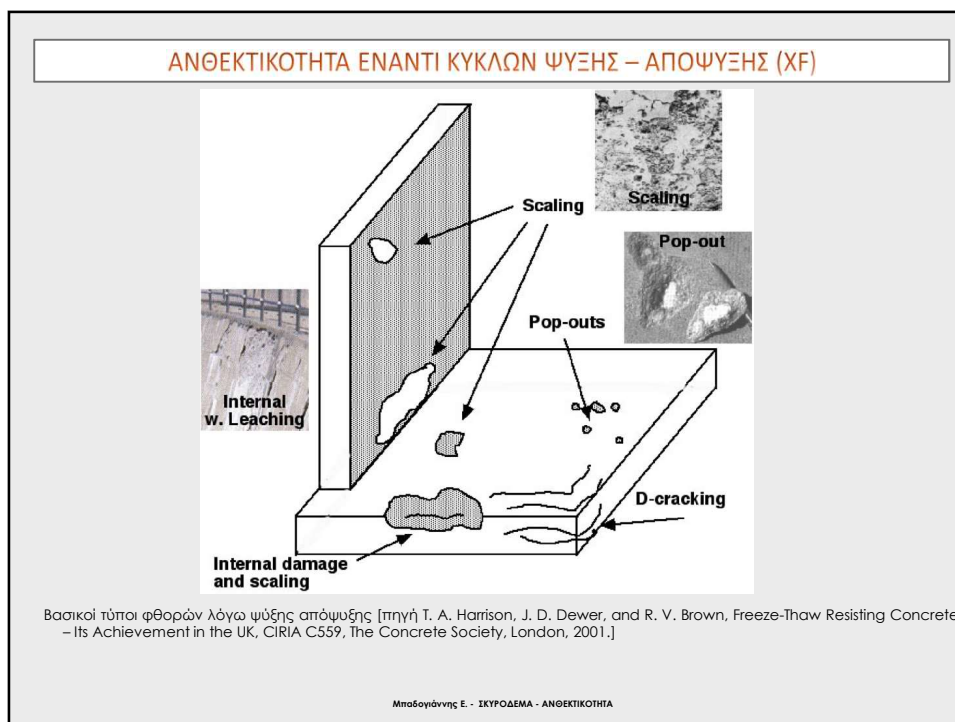
Freeze & Thaw cycles action



Παράγοντες ανθεκτικότητας - 3.ΝΕΡΟ: κύκλοι ψύξης-απόψυξης



Μποδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ



ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΚΛΩΝ ΨΥΞΗΣ – ΑΠΟΨΥΞΗΣ (XF)

- Γενική επιφανειακή αποκόλληση σκυροδέματος (scaling)
- Αποκόλληση πάστας ή κονιάματος λόγω υπέρβασης της τάσης συνάφειας μεταξύ επιφανείας και υποστρώματος
- Επιταχύνεται από την τριβή – κυκλοφορία οχημάτων

The microscopic image shows a highly porous and irregular surface texture, characteristic of concrete scaling. The word 'Scaling' is printed at the bottom of the image.

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΚΛΩΝ ΨΥΞΗΣ – ΑΠΟΨΥΞΗΣ (XF)

Εκρηκτική αποκόλληση (Pop Outs)

- Κατά τόπους κωνικές αποκολλήσεις
- Κυρίως εντοπίζεται γύρω από τα μεγάλα αδρανή
- $\phi 50 * 15 \text{ mm}$
- Όταν δεν ανιχνεύονται μεγάλα αδρανή πρόκειται για απλές αποκολλήσεις

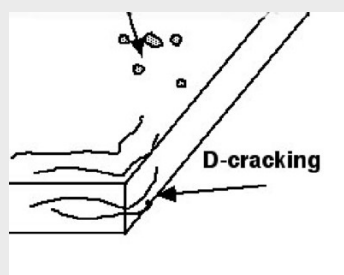


Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΚΛΩΝ ΨΥΞΗΣ – ΑΠΟΨΥΞΗΣ (XF)

D-cracking

- Ρωγμές κυρίως σε δάπεδα στις ακμές τους που εμφανίζονται υπό έντονες συνθήκες υγρασίας
- Προηγείται η εκρηκτική αποφλοιώση των χοντρότερων αδρανών

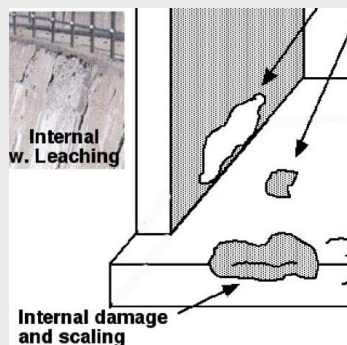


Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΚΛΩΝ ΨΥΞΗΣ – ΑΠΟΨΥΞΗΣ (XF)

Εσωτερική αποκόλληση

- Αστοχία κονιάματος και όχι χονδρών αδρανών
- Ενδέχεται να σχετίζεται με επίδραση κύκλων σε νωπό ή νεαρό σκυρόδεμα
- Εμφανίζεται στην επιφάνεια, σε γωνίες, σε ακμές και όπου το σκυρόδεμα είναι πολύ υγρό.



Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΚΛΩΝ ΨΥΞΗΣ – ΑΠΟΨΥΞΗΣ (XF): ο ρόλος του νερού

- Το νερό (διάλυμα) των πόρων του σκυροδέματος αλλάζει όγκο κατά τους κύκλους ψύξης απόψυξης
- Η εναλλαγή (κύκλοι ψύξης – απόψυξης είναι αυτή που προκαλεί τη βλάβη και όχι η απλή ψύξη του νερού.
- Ωστόσο η ψύξη του νερού, επηρεάζει:
 - Νωπό σκυρόδεμα
 - Σκληρημένο σκυρόδεμα

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΚΛΩΝ ΨΥΞΗΣ – ΑΠΟΨΥΞΗΣ (XF)

Μηχανισμός

Ψύξη →

ΝΩΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Διακοπή ενυδάτωσης τσιμέντου

ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ:

Πρώιμη ηλικία: Διατάραξη δομής τσιμεντοπολτού/Απώλεια αντοχής

Ωριμη ηλικία: διόγκωση του νερού (+9%) των πόρων/δημιουργία εσωτερικών ρωγμών (ωστόσο, μεγαλύτερη μηχανική αντίσταση στο φαινόμενο)

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΚΛΩΝ ΨΥΞΗΣ – ΑΠΟΨΥΞΗΣ (XF) - ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

- Δομική ακεραιότητα, αντοχή
- Πρώτες ύλες και μεταξύ τους αναλογία
 - Καθαρότητα αδρανών
 - Είδος τσιμέντων
 - Ν/Τ
- Τεχνολογία κατασκευής, επιπέδωση, τελείωμα, συντήρηση.
- Περιβάλλον (ηλικία κατά την έκθεση, ένταση, κ.α.)
- Ποσότητα νερού και ευκολία διείσδυσης,

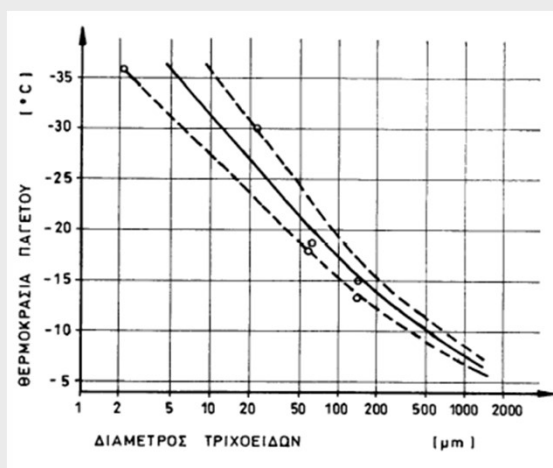
Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΚΛΩΝ ΨΥΞΗΣ – ΑΠΟΨΥΞΗΣ (ΧΦ) - ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

- Ρυθμός μεταφοράς θερμότητας
- Συγκέντρωση αδιάλυτων αλάτων στους πόρους - Τάση ατμών (εξισορρόπηση)
- Πίεση που αναπτύσσεται στον πόρο (μικρό μέγεθος πόρου => $\Theta < -78^{\circ}\text{C}$)

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΚΛΩΝ ΨΥΞΗΣ – ΑΠΟΨΥΞΗΣ (ΧΦ) - ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ



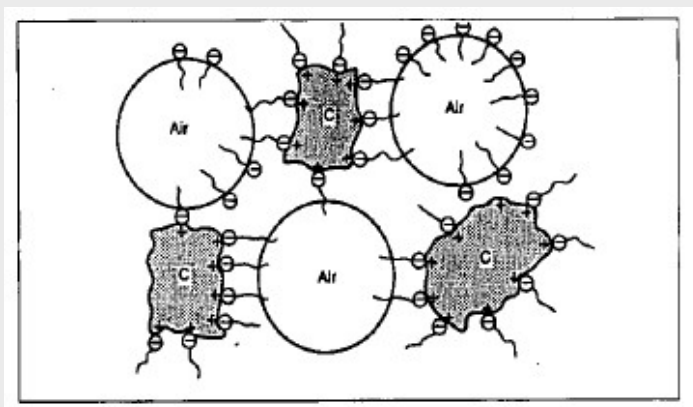
Σχέση θερμοκρασίας παγετού και πορώδους

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΚΛΩΝ ΨΥΞΗΣ – ΑΠΟΨΥΞΗΣ (XF)

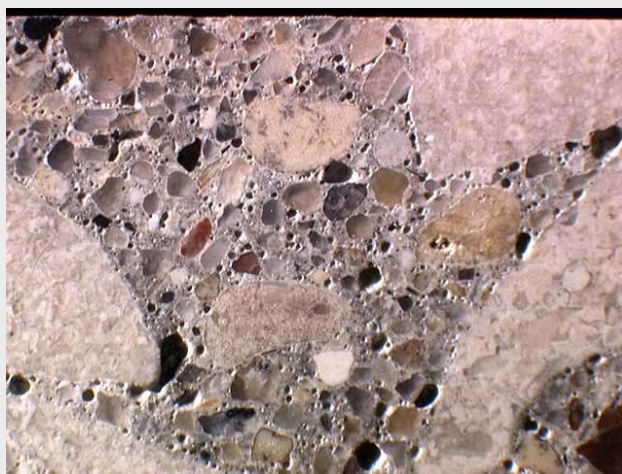
Αντιμετώπιση:

χρήση αερακτικών ουσιών, βελτίωση (▼) πορώδους



Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΚΛΩΝ ΨΥΞΗΣ – ΑΠΟΨΥΞΗΣ (XF)



- Διάμετρος φυσαλίδων 0.2 - 0.5 mm
- Απόσταση μεταξύ φυσαλίδων >0.2mm

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΚΛΩΝ ΨΥΞΗΣ – ΑΠΟΨΥΞΗΣ (XF) – ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ

Σε επίπεδο σχεδιασμού και μελέτης

1. Διασφάλιση της απορροής νερού
2. Αποτροπή εισροής νερού
3. Συντήρηση

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΚΛΩΝ ΨΥΞΗΣ – ΑΠΟΨΥΞΗΣ (XF) – ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ

1. Διασφάλιση καλής (ταχείας) απορροής νερού:

- Επιφάνειες με κατάλληλο φινίρισμα
- Κατάλληλη ρήση
- Κανάλια απορροής με τακτική συντήρηση
- Συντήρηση σκυροδέματος
- Κανάλια αποστράγγισης εδάφους
- Κατάλληλη σύνθεση σκυροδέματος

Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΚΛΩΝ ΨΥΞΗΣ – ΑΠΟΨΥΞΗΣ (XF) – ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ

2. Αποτροπή εισροής νερού:

- Αποστράγγιση εδάφους
- Στεγανοποίηση επιφανείας

3 .Συντήρηση:

- Επιθεώρηση
- Επισκευή
- Διασφάλιση απορροής
- Απομάκρυνση χιονιού

Μπαδογιάννης Ε. - ΙΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Ανθεκτικότητα έναντι χημικών δράσεων

Durability against chemical attack

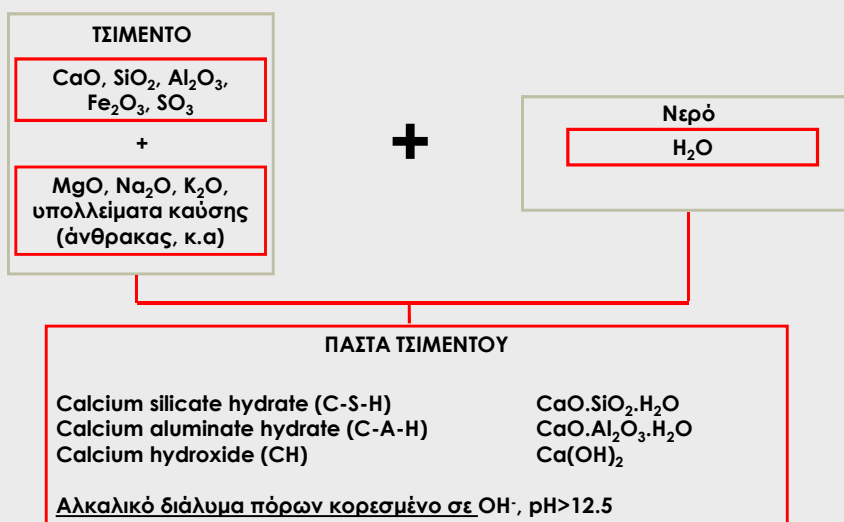


Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Δράση Χημικών

- Το σκυροδέμα αντιστέκεται έναντι χημικών δράσεων που προέρχονται από το περιβάλλον.
- Η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος εκφράζεται με το ρυθμό αποσύνθεσης τους από τη δράση των χημικών
- Τα χημικά μεταφέρονται από το περιβάλλον προς το υλικό μέσω των μηχανισμών μεταφοράς μάζας (απορρόφηση, διάχυσης, κτλ)
- Η παρουσία νερού είναι απαραίτητη προκειμένου να συμβούν τα φαινόμενα
- Η χημική αποδόμηση του σκυροδέματος εκτός από τη εξασθένηση της ανθεκτικότητάς του οδηγεί σε άλλες δράσεις υποβάθμισης effects.

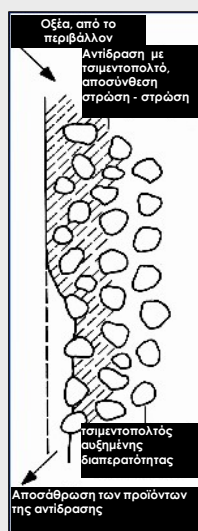
Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Δράση Χημικών



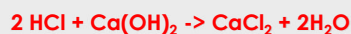
Μπαδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ-2. ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΧΗΜΙΚΗ ΠΡΟΣΒΟΛΗ (ΧΑ) – ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΟΞΕΩΝ



Τα οξέα αντιδρούν με τα προϊόντα ενυδάτωσης του τσιμεντοπολτού και τον αποσυνθέτουν στρώση-στρώση

Χημική δράση (ενδεικτικά):



Καταστρέφεται η δομή του τσιμεντοπολτού - αυξάνεται η διαπερατότητα του

Τα προϊόντα των αντιδράσεων απομακρύνονται εύκολα με διάλυση ή τριβή

• Πηγές οξέων: Αγροτικό περιβάλλον, Βιομηχανικό περιβάλλον, Διάδρομοι αεροδρομίων, Δεξαμενές βιολ. Καθαρισμού, εδάφη εξυγίανσης, Δεξαμενές χημικών, Αέρια χώνευσης αποβλήτων, Αέρια καύσης

Μποδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΩΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον Χημική
προσβολή (ΧΑ) – Επίδραση Οξέων – Παράμετροι δραστηριότητας

Ισχύς

- $\text{pH} < 6.5$, ισχυρής δράση
- $\text{pH} < 5.5$, μέτριας ισχύος
- $\text{pH} = 4.5$, πολύ μεγάλης ισχύος

Είδος οξέος

- Είδος ανιόντων : Cl^- , SO_4

Διαλυτότητα

$$R = a \cdot t^{0.5}$$

• R = ρυθμός δράσης – αποσύνθεσης (mm/day)

• t = χρόνος (days)

• a = σταθερά εξαρτώμενη από τις φυσικές-χημικές ιδιότητες του σκυροδέματος

Συγκέντρωση οξέως και αλάτων

- Η συγκέντρωση του οξέως
- Η συγκέντρωση του διαλυτού και αδιάλυτου στερεού (ιζήματος)

404

Μποδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΩΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Αλκαλοπυριτική Αντίδραση

Χημικές Δράσεις

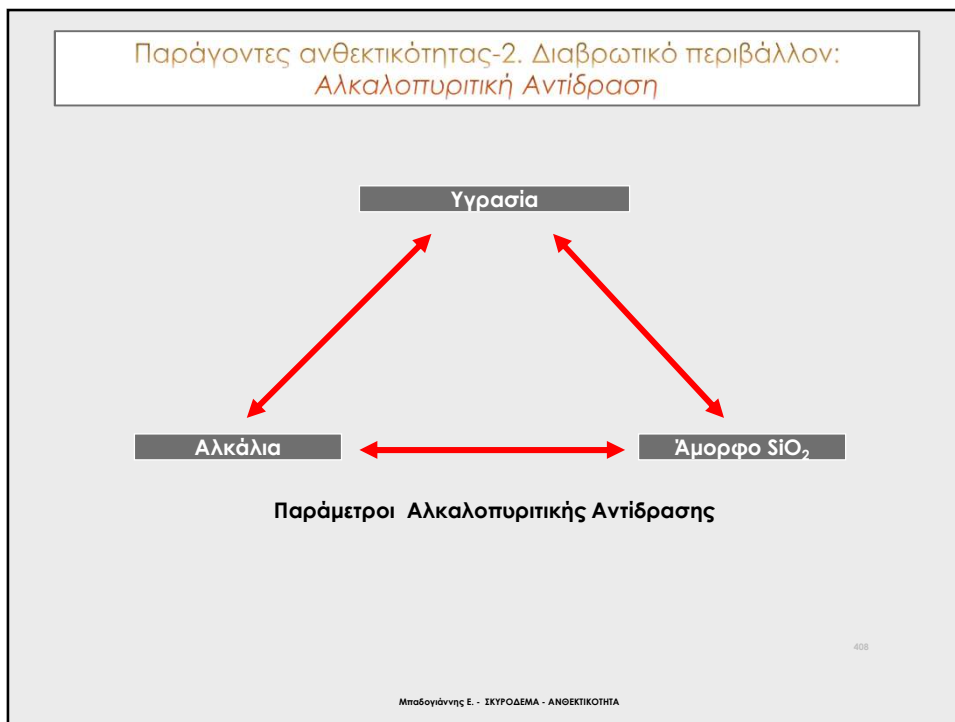
- Αντίδραση πυριτίου (**άμορφου**) αδρανών με αλκάλια τσιμέντου →
Λευκό παχύρρευστο πήγμα (silica gel) →
Απορρόφηση **νερού** →
Διόγκωση
- Δράση
 $2\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{SiO}_3 \rightarrow 2\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}$

Φυσικές Δράσεις

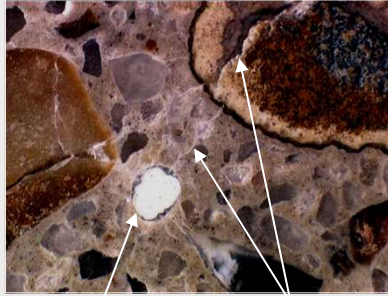
Διείσδυση μέσω του πορώδους αλκαλίων και νερού

407

Μποδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

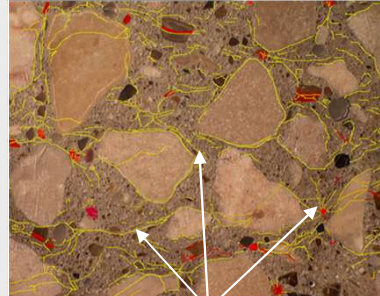


Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον: Αλκαλοπυριτική Αντίδραση



Σχηματισμός gel και διόγκωση

Τοπική ρηγμάτωση



Εκτεταμένη ρηγμάτωση εξαιτίας του διάσπαρτου σχηματισμού και της αντίστοιχης διόγκωσης

Μποδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

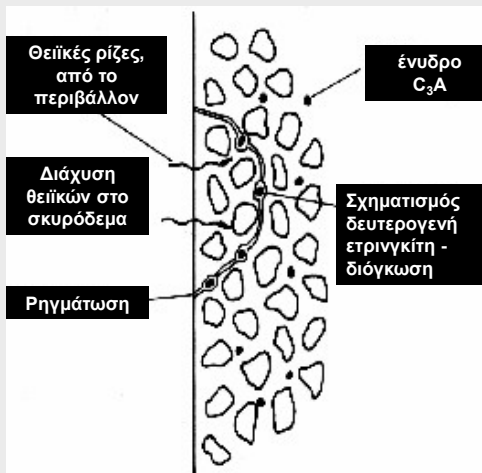
Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον Χημική προσβολή (ΧΑ) – επίδραση SO_4^{2-} – Ετρινγκίτης / Ταουμασίτης

Χημικές Δράσεις

1. Αντίδραση SO_4^{2-} με $Ca(OH)_2 \rightarrow pH \downarrow$
2. Αντίδραση SO_4^{2-} με $C-S-H \rightarrow \nabla$ αντοχών
3. Αντίδραση SO_4^{2-} με $C_3A \rightarrow$ δευτερογενής ετρινγκίτης $(CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O) \rightarrow \blacktriangle$ όγκου
4. Μετατροπή ετρινγκίτη/αντίδραση SO_4^{2-} με $C-S-H, Ca^{2+}, CO_2, CO_3^{2+} \rightarrow$ ταουμασίτης $(CaCO_3 \cdot CaSO_4 \cdot CaSiO_3 \cdot 15H_2O) \rightarrow \nabla$ αντοχών

Φυσικές Δράσεις

Διείσδυση μέσω του πορώδους θεικών ριζών (SO_4^{2-}), ανθρακικών ριζών (CO_3^{2+}), CO_2



Μποδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον Χημική προσβολή (ΧΑ) – επίδραση SO_4^{2-} – Ετρινγκίτης / Ταουμασίτης

Προέλευση θειικών ριζών (SO_4^{2-}):

- Na_2SO_4 , K_2SO_4 , $MgSO_4$, $CaSO_4$
- σύσταση σκυροδέματος,
- περιβάλλον (νερό, έδαφος, θαλάσσιο περιβάλλον, βιομηχανία, χωματερές κ.α.),

Προέλευση C-S-H, C_3A : ενυδάτωση τσιμέντου, κλίνκερ

Προέλευση Ca^{2+} : $Ca(OH)_2$, ενυδάτωση τσιμέντου, ασβεστόλιθος

Προέλευση ανθρακικών ριζών (CO_3^{2+}): σύσταση σκυροδέματος (αδρανή, ασβεστολιθικά τσιμέντα), περιβάλλον (νερό, έδαφος, κ.α.)

Προέλευση CO_2 : περιβάλλον (ατμόσφαιρα, νερό, έδαφος, κ.α.)

411

Μποδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον Χημική προσβολή (ΧΑ) – επίδραση SO_4^{2-} – Ετρινγκίτης / Ταουμασίτης



Υποστόλωμα μετά την επίδραση θειικών

- Χαρτογράφηση των ρωγμών
- Εμφάνιση λευκών ιχνών
- Πλήρης αποσάθρωση σκυροδέματος

412

Μποδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παράγοντες ανθεκτικότητας-2. Διαβρωτικό περιβάλλον *Ενυδάτωση κρυσταλλικών CaO, MgO*

- **CaO, MgO**: προϊόντα διάσπασης ασβεστολίθου 700 - 1000°C.
- Δεσμεύονται στις φάσεις του κλίνκερ κατά την κλινκεροποίηση (~1400°C)
- Ένα μέρος τους παραμένει ελεύθερο
- Αντίδραση ελ. κρυσταλλικού **CaO, MgO** με **νερό** → Διόγκωση

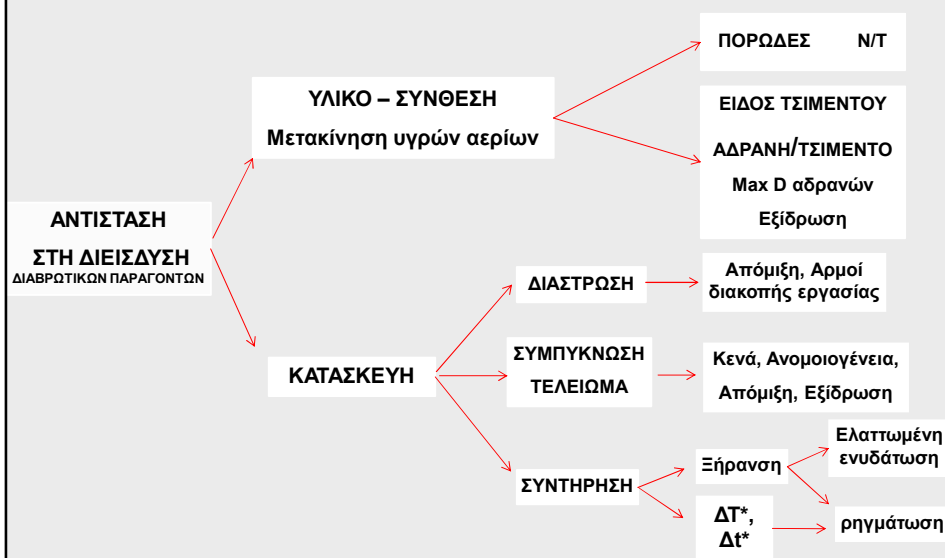
Μικρός κίνδυνος για ποσοστά < 6 % (προδιαγραφή ASTM)

Τα τσιμέντα πλέον περιέχουν ελεύθερο CaO, MgO σε ποσοστά < 1 %

413

Μποδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΩΣΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΕ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ



* ΔΤ, Δt θερμοκρασιακή διαφορά (ομοιόμορφης ή ανομοιόμορφης κατανομής κατά το πάχος της διατομής αντίστοιχα)

Μποδογιάννης Ε. - ΣΚΥΡΩΣΕΜΑ - ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ