



ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ ΑΠΟ 100 ΧΡΟΝΙΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΑΠΟ ΤΟ Sika®-1 ΣΤΟ Sika® ViscoCrete®



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

04	Τεχνολογία σκυροδέματος - Βασικός οδηγός
08	Στεγανές κατασκευές σκυροδέματος
10	Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε διάβρωση
12	Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε παγετό & κύκλους ψύξης/απόψυξης
14	Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε θειικά
16	Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε φωτιά
18	Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε αλκαλοπυριτική αντίδραση
20	Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε απότριψη
22	Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε χημικά
24	Σκυρόδεμα υψηλών αντοχών
26	Σκυρόδεμα ελεγχόμενης συρρίκνωσης

ΤΑ ΟΦΕΛΗ ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ SIKA

Έχοντας ιδρυθεί από τον Kaspar Winkler το 1910, το όνομα Sika σήμερα είναι συνώνυμο των κατασκευαστικών λύσεων που προσφέρουν στεγανότητα και ανθεκτικότητα στις κατασκευές. Από το κονίαμα επίχρισης, που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στη στεγανοποίηση της παλιάς σιδηροδρομικής σήραγγας του Gotthard μέχρι τα ολοκληρωμένα συστήματα στεγανοποίησης για ευρεία γκάμα εφαρμογών, και την παροχή υλικών για τη νέα σήραγγα Gotthard, τη μεγαλύτερη σιδηροδρομική σήραγγα υψηλής ταχύτητας στον κόσμο, τα προϊόντα της Sika συμβάλλουν στην οικοδόμηση της επιτυχίας. Η παροχή ανθεκτικής σφράγισης έναντι διείσδυσης νερού, ενώ σε άλλες περιπτώσεις η αποτροπή διαρροής του πολύτιμου αυτού αγαθού αποτελούν δύο αντικρουόμενες απαιτήσεις με πολυπλοκότητα διεπαφών. Από το 1910 το σκυρόδεμα σαν υλικό έχει συμβάλει με βιώσιμο τρόπο στην ανάπτυξη της Sika, ενώ η ίδια η Sika έχει συνεργήσει με αξιοσημείωτο τρόπο στην εξέλιξη του σκυροδέματος ως ανθεκτικό δομικό υλικό!

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ - ΒΑΣΙΚΟΣ ΟΔΗΓΟΣ

ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΠΟΤΕΛΕΙ ΤΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥ ΑΙΩΝΑ, διαδραματίζοντας καίριο ρόλο στην κατασκευή κτιρίων και έργων υποδομής. Στη σημερινή εποχή η χρήση του σκυροδέματος είναι καθολική και η οικοδόμηση χωρίς αυτό είναι αδιανόητη.

Το σκυρόδεμα είναι ένα ιδιαίτερα ανθεκτικό υλικό με την προϋπόθεση του σωστού σχεδιασμού μείγματος, του σταθερού και συνεχούς ποιοτικού ελέγχου και του επαγγελματικού τρόπου σκυροδέτησης και ωρίμανσης. Έτσι μπορεί να ανθίσταται στην πλειοψηφία των καταπονήσεων που του επιβάλλονται. Οι κτιριακές κατασκευές και τα έργα υποδομής από σκυρόδεμα εκτίθενται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα καταπονήσεων και μηχανικών/φυσικοχημικών τάσεων, οι οποίες ξεκινούν σε πολύ πρώιμο στάδιο με την ενυδάτωση του τσιμέντου σε διαφορετικές κάθε φορά περιβαλλοντικές συνθήκες και συνεχίζουν καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της κατασκευής. Οι δυνάμεις, τα φορτία, οι θερμικές καταπονήσεις, το νερό, η μόλυνση, η διάβρωση, η κυκλοφορία, η απότριψη, οι κραδασμοί, η κόπωση και οι κρούσεις επιβάλλουν τεράστιες απαιτήσεις στην ικανότητα του σκυροδέματος να διαρκέσει στην πάροδο του χρόνου. Για να μπορέσει να αντισταθεί μακροπρόθεσμα σε όλους αυτούς τους παράγοντες υποβάθμισης, το σκυρόδεμα έχει σύμμαχο τους μειωτές νερού, οι οποίοι ως πρόσμικτα σκυροδέματος διαδραματίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο. Το ανθεκτικό σκυρόδεμα είναι πρώτα και κύρια σκυρόδεμα με υψηλή αντοχή. Όσο υψηλότερων αντοχών και πυκνότερης δομής είναι το σκυρόδεμα, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή του σε εξωγενείς επιθέσεις. Η αντοχή στο ανθεκτικό σκυρόδεμα εκφράζεται συχνά μέσω του λόγου Νερό προς Τσιμέντο (N/T) και οι υψηλές αντοχές μπορούν να επιτευχθούν μόνο με χαμηλό περιεχόμενο σε νερό. Συνεπώς, το χαμηλό νερό και η βελτιστοποιημένη σύνθεση του συνδετικού υλικού αποτελούν τους δύο πιο κρίσιμους παράγοντες για υψηλότερες αντοχές και απόδοσης σκυροδέματος. (Ως "Συνδετικό Υλικό" νοείται το τσιμέντο μαζί με τα τυχόν επιπλέον στερεά πρόσθετα όπως σκυρία, πυριτική πιαπάλη, ιπτάμενη τέφρα, ασβεστολιθικό φίλτηρ, κ.λπ.).

Μείωση νερού και πορώδες

Τα σύγχρονα πρόσμικτα σκυροδέματος μπορούν να μειώσουν την απαίτηση σε νερό στο κωπ σκυρόδεμα μέχρι και σε ποσοστό 40% χωρίς υποβάθμιση της εργασιμότητας. Ως αποτέλεσμα, το πορώδες της τσιμεντόπαστας μπορεί να μειωθεί έως και 75% με την προσθήκη υπερρευστοποιητή.

Επίδραση μείωσης νερού στην ποιότητα του σκυροδέματος

Υπολογισμός του περιεχόμενου νερού (απαιτούμενο για ενυδάτωση & επιπλέον ποσότητα)

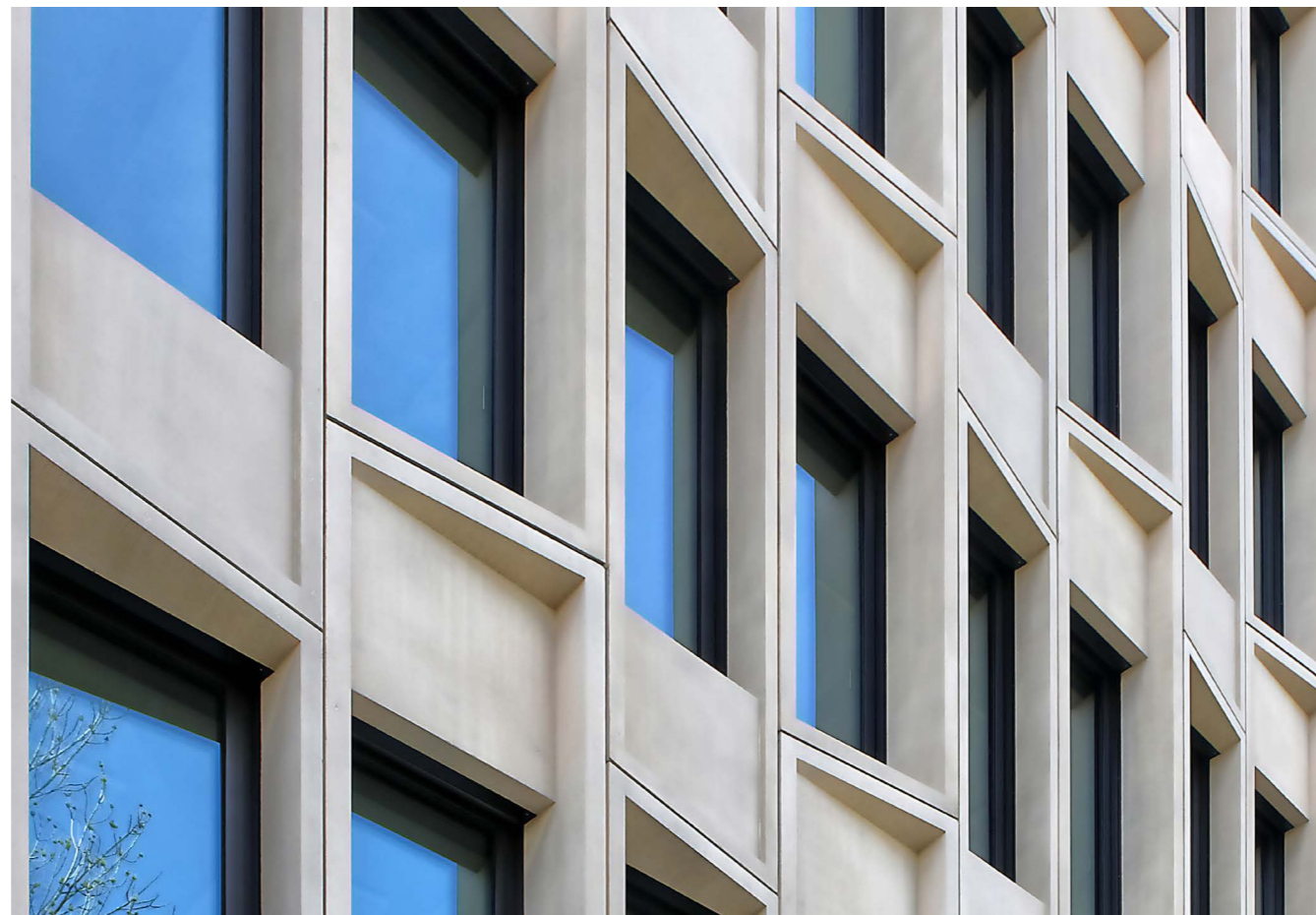
Μείγμα 1: Αρχικό μείγμα (μάρτυρας)

Περιεχόμενο τσιμέντο	320 kg/m ²
Χωρίς μείωση νερού στο μάρτυρα	0%
Περιεχόμενο νερό 192 lt	0,60 Λόγος N/T
Ποσοστό πόρων (στον όγκο του σκυροδέματος)	7,0%
Ποσοστό πόρων (στο συνδετικό υλικό)	24,0%

Μείγμα 2: Βελτιστοποιημένο περιεχόμενο σε νερό

Περιεχόμενο τσιμέντο	320 kg/m ²
Ποσοστό μείωσης νερού με χρήση μειωτή νερού/μειωτή νερού υψηλής δραστηριότητας	28%
Περιεχόμενο νερό 138 lt	0,43 Λόγος N/T
Ποσοστό πόρων (στον όγκο του σκυροδέματος)	1,7%
Ποσοστό πόρων (στο συνδετικό υλικό)	6,9%

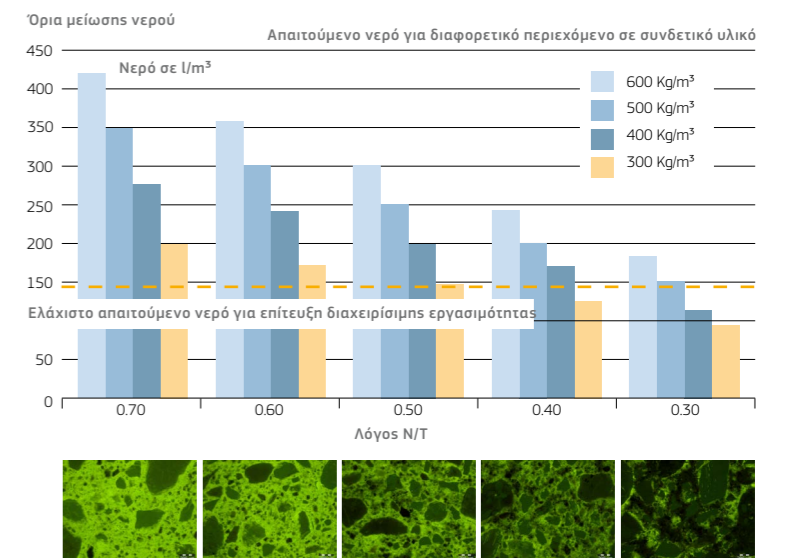
Σχήμα 1: Επίδραση της μείωσης νερού στο ποσοστό πόρων του σκυροδέματος



Τα όρια της μείωσης περιεχόμενου νερού στην πράξη

Όταν εξετάζεται το χαμηλό περιεχόμενο σε νερό για αύξηση αντοχών και ανθεκτικότητας στο σκυρόδεμα, οι απαιτήσεις επίδοσης πρέπει να ισορροπούνται με τις απαιτήσεις εργασιμότητας. Είναι σημαντικό να λαμβάνεται πάντα υπόψη ότι η ποιότητα των αδρανών έχει τεράστια επίδραση για την πλήρη αξιοποίηση της δυνατότητας μείωσης του περιεχόμενου νερού στο μείγμα.

Επίδραση του ελάχιστου απαιτούμενου νερού για διαφορετικό περιεχόμενο σε συνδετικό υλικό

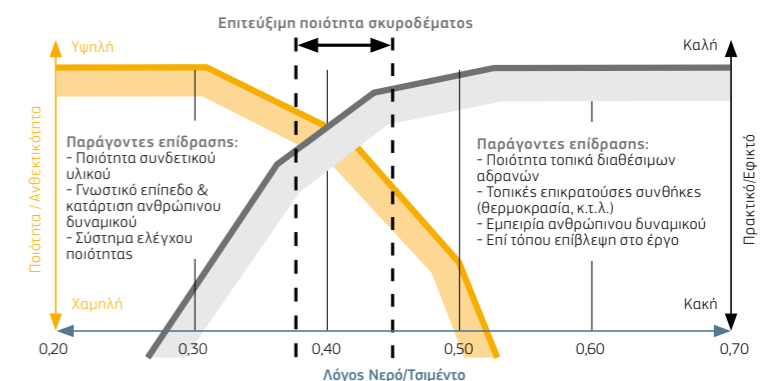


Σχήμα 2: Το δυναμικό μείωσης του νερού για την αύξηση της ανθεκτικότητας πρέπει να είναι συμβατό με τις πρακτικές τοποθετήσεις

Ανθεκτικότητα και εργασιμότητα

Η επίδραση των μειωτών νερού στην ανθεκτικότητα και την εργασιμότητα δεν μπορεί ποτέ να υποτιμηθεί. Ανθεκτικό σκυρόδεμα σημαίνει συνδυασμός χαμηλού λόγου Νερό/Τσιμέντο με ειδικά επιλεγμένα συστατικά στη σωστή ποσότητα, η οποία έχει προσαρμοστεί στις περιβαλλοντικές συνθήκες και στις απαιτήσεις επίδοσης. Ο συνδυασμός αυτός πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη μέθοδο σκυροδέτησης και τη διατήρηση του χρόνου εργασιμότητας που μπορεί να επιτευχθεί μόνο με χρήση του σωστού πρόσμικτου.

Προσδιορισμός λόγου Νερό/Τσιμέντο



Σχήμα 3: Επιτεύξιμη ποιότητα σκυροδέματος

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ - ΒΑΣΙΚΟΣ ΟΔΗΓΟΣ

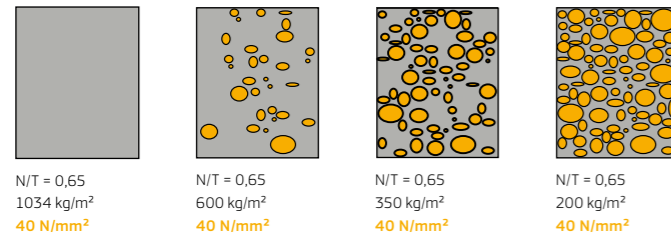
Βελτιστοποίηση πάστας μείγματος για διασφάλιση ανθεκτικού σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα είναι ένα μείγμα πάστας συνδετικού υλικού (τσιμέντο & πρόσθετα) και αδρανών. Η πάστα αποτελείται από συνδετικό υλικό και νερό. Η πάστα επικαλύπτει την επιφάνεια των αδρανών, μέσω μιας χημικής αντίδρασης που ονομάζεται ενυδάτωση. Στη συνέχεια η πάστα συνδετικού υλικού σκληραίνει και αναπτύσσει αντοχή. Προκειμένου να αυξηθεί η επίδοση του σκυροδέματος, επιλέγεται συχνά σαν λύση η αύξηση του συνδετικού υλικού. Στην πραγματικότητα αυτή η διαδικασία αναπόφευκτα αυξάνει την ποσότητα τσιμέντου, μειώνει τον όγκο των αδρανών και έχει μικρή επίδραση στην αντοχή του μείγματος. Είναι συχνά προτιμότερο να προσαρμόζεται ο όγκος της πάστας μειώνοντας την ποσότητα του νερού του μείγματος. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να επιτευχθεί ασφαλέστερα αύξηση της αντοχής και της ανθεκτικότητας του μείγματος.

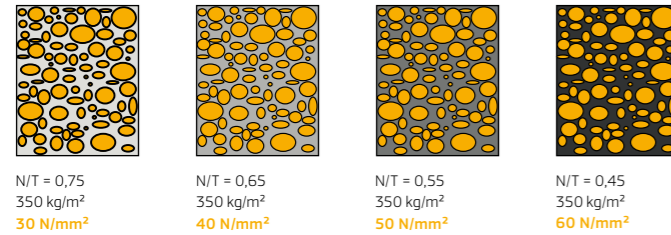
Για να παραχθεί ανθεκτικό μείγμα σκυροδέματος, θα πρέπει να δίνεται προσοχή στην επιλογή των κατάλληλων υλικών, στις κατάλληλες αναλογίες και τα οποία να είναι συμβατά με τη μέθοδο παραγωγής και τοποθέτησης του μείγματος. Ο σωστός σχεδιασμός του μείγματος είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης ανθεκτικότητας.

Η επίδραση του περιεχόμενου νερού και της ποσότητας σκυροδέματος στις ιδιότητες του σκυροδέματος

Σκυροδέματα με διαφορετικό **όγκο πάστας συνδετικού υλικού**, αλλά **ίδια ποιότητα πάστας** θα έχουν τις "ίδιες" μηχανικές αντοχές:

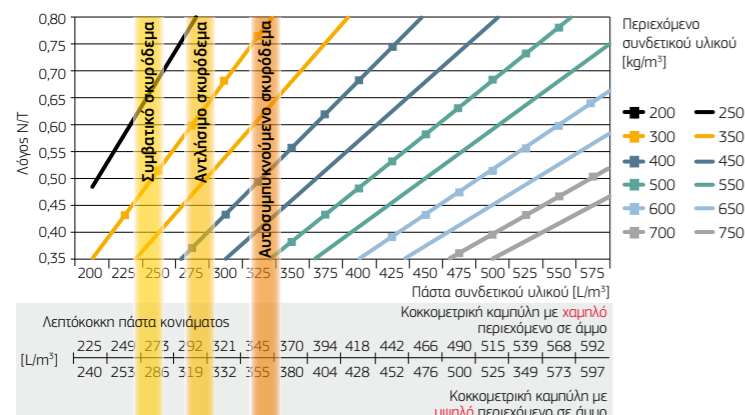


Σκυροδέματα με **διαφορετική ποιότητα πάστας συνδετικού υλικού** θα έχουν διαφορετικές μηχανικές αντοχές:



Σχήμα 4: Οπτικοποίηση του όγκου της πάστας του συνδετικού υλικού ανάλογα με το περιεχόμενο τσιμέντο και το λόγο N/T

Σύνθετη σχέση μεταξύ περιεχόμενου νερού, περιεχόμενου σε λεπτά υλικά και εργασιμότητα

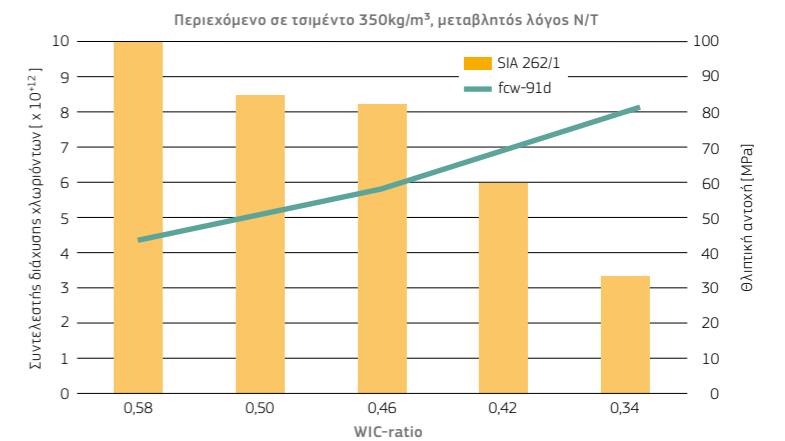


Σχήμα 5: Σχέση μεταξύ θλιπτικών αντοχών τσιμέντου συγκεκριμένου τύπου, εκφρασμένη σε σχέση με το λόγο N/T και την ποσότητα λεπτόκοκκης πάστας κονιάματος (L/m³) για συγκεκριμένο περιεχόμενο σε τσιμέντο (kg/m³)

Ελαχιστοποίηση διάχυσης χλωριόντων

Το σκυρόδεμα συχνά εκτίθεται σε επαφή με νερό, μέσα στο οποίο μπορεί να υπάρχουν επιθετικές μολυσματικές ουσίες. Το σκυρόδεμα, γενικά, έχει χαμηλή αντοχή σε χημική επίθεση που μπορεί να προκαλείται από έκπλυση, ενανθράκωση, χλωριόντα και θειικά. Αυτοί οι ρύποι διεισδύουν στο σκυρόδεμα μέσω πολλών διαφορετικών μηχανισμών μεταφοράς, συμπεριλαμβανομένης της διάχυσης, της τριχοειδούς αναρρόφησης, της διαπερατότητας του ίδιου του μείγματος, ή της ηλεκτρομεταφοράς και αντιδρούν με την τσιμεντόπαστα ή διαβρώνουν το καλύβδινο σπλισμό. Η μείωση του περιεχόμενου νερού και η τροποποίηση του συνδετικού υλικού θα αυξήσουν τη διαπερατότητα και θα βελτιώσουν τη χημική αντοχή του σκυροδέματος.

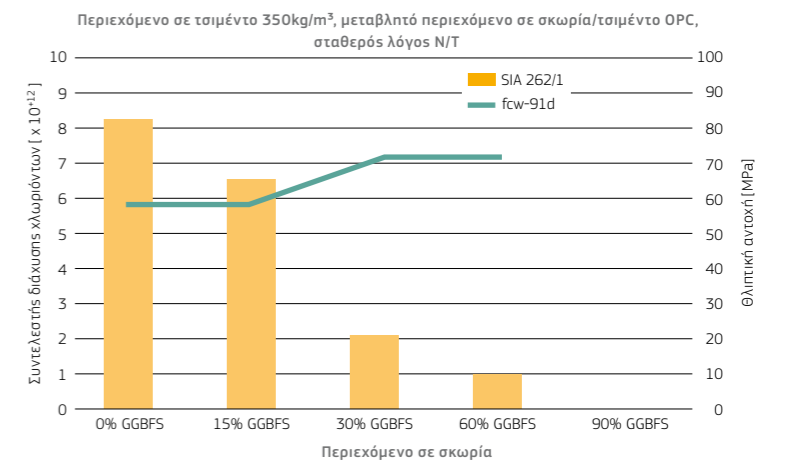
Η επίδραση του περιεχόμενου νερού στη διάχυση των χλωριόντων



Σχήμα 6: Δοκιμές σκυροδέματος σύμφωνα με SIA 262/1 Παράρτημα Β (παρόμοιο με την οδηγία NT BUILD 492)

Στις μέρες μας, το καθαρό τσιμέντο Portland έχει σχεδόν σταματήσει να χρησιμοποιείται αυτούσιο για περιπτώσεις υψηλών απαιτήσεων ανθεκτικότητας. Αντ' αυτού, η αντοχή του συνδετικού υλικού σε εξωγενείς επιθέσεις αυξάνεται σημαντικά με τη χρήση ειδικά επιλεγμένων προσθέτων (π.χ. ιπτάμενη τέφρα, σκωρία) και προσμίκτων βελτίωσης της απόδοσης (π.χ. μειωτές νερού υψηλής δραστηριότητας). Ο συντελεστής της ποσότητας συνδετικού υλικού προς το περιεχόμενο νερό αποτελεί έναν πολύ σημαντικό παράγοντα και είναι γνωστός ως λόγος συνδετικού υλικού/νερού (λόγος Σ/Ν).

Η επίδραση της σκωρίας υψικαμίνων στη διάχυση χλωριόντων



Σχήμα 6: Δοκιμές σκυροδέματος σύμφωνα με SIA 262/1 Παράρτημα Β (παρόμοιο με την οδηγία NT BUILD 492)

ΣΤΕΓΑΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ Η ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΙΑΣ ΣΤΕΓΑΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ απαιτεί συστηματική προσέγγιση. Η στεγανότητα μίας κατασκευής επιβάλλει την ικανοποίηση καθοριστικών απαιτήσεων για τον περιορισμό της διαπερατότητας του νερού, το οποίο μπορεί να διεισδύσει είτε μέσω του σκυροδέματος, είτε μέσω των αρμών, των λεπτομερειών, ή και των ρωγμών. Μακροπρόθεσμη λειτουργικότητας, ανθεκτικές, στεγανές κατασκευές σκυροδέματος μπορούν να υλοποιηθούν με την εφαρμογή ενός καλά σχεδιασμένου κατασκευαστικού συστήματος. Όλα τα εμπλεκόμενα τμήματα της κατασκευής θα πρέπει να αλληλεπιδρούν σωστά, ούτως ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα λαθών.



Οι προδιαμορφωμένες υδροφραγές Sika® Waterbars προορίζονται για τη στεγανοποίηση τόσο των διαστολικών, όσο και των κατασκευαστικών αρμών και μπορεί να ανθίστανται χαμηλή ή υψηλή πίεση νερού.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΑΥΞΗΣΗΣ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ:

Συστατικά	Περιγραφή	Πρόταση
Αδρανή	Αδρανή οποιασδήποτε ποιότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν	Αδρανή κάθε μεγέθους μπορούν να χρησιμοποιηθούν
Τσιμέντο	Οποιασδήποτε τύπου τσιμέντου που πληροί τα ισχύοντα πρότυπα	Στόχος είναι ο ελάχιστος δυνατός όγκος τσιμεντόπαστας, για τη συγκεκριμένη μέθοδο σκυροδέτησης 350 kg/m ³
Πρόσθετα	Ιπτάμενη τέφρα, σκωρία	Επαρκές περιεχόμενο σε λεπτόκακκα υλικά με προσαρμογή του περιεχομένου σε συνδετικού υλικού
Νερό	Φρέσκο ή ανακυκλωμένο νερό, που να πληροί τις απαιτήσεις καταλληλότητας	Λόγος Νερό/Τσιμέντο ανάλογα με τα ισχύοντα πρότυπα σε ό,τι αφορά στην τάξη περιβαλλοντικής έκθεσης ≤ 0,45
Πρόσμικτα σκυροδέματος	Υπερρευστοποιητής Ο τύπος του εξαρτάται από τις απαιτήσεις του έργου (διατήρηση εργασιμότητας, πρώιμες αντοχές, κ.α.) Στεγανοποιητικό πρόσμικτο	Sika® ViscoCrete® ή Sika® ViscoFlow® ή SikaPlast® Σειρά στεγανοποιητικών Sika® WT για μείωση υδατοαπορρόφησης ή/και κρυσταλλοποιητική δράση 0,60–1,50% 1,50%
Οδηγίες σκυροδέτησης	Βελτιωτικό ωρίμανσης	Προσεκτική τοποθέτηση και συμπίκνωση. Να ακολουθεί ωρίμανση για διασφάλιση της σωστής ποιότητας (συνεκτικότητα και σιβαρότητα) των επιφανειών. Sika® Antisol®
Σφράγιση αρμών	Σφράγιση διαστολικών αρμών, διεισδύσεων και κατασκευαστικών ατελειών	Sika® Waterbars Sikadur Combiflex® Συστήματα ενεμάτων Sika® Injection SikaSwell®
Συστήματα στεγανοποίησης	Συστήματα εύκαμπτων μεμβρανών στεγανοποίησης, μονής ή διπλής στρώσης με διαμερισματοποίηση	Sikaplan®/SikaProof®

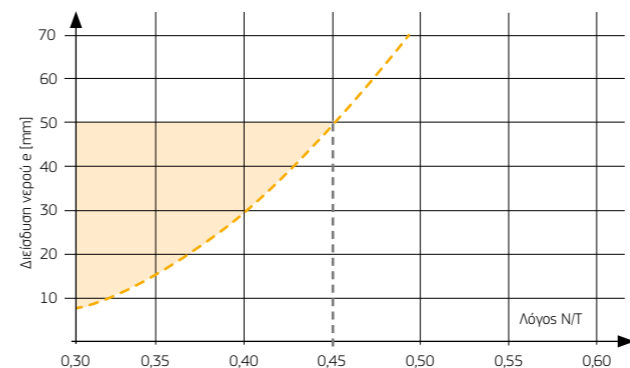
Πρότυπα αναφοράς, δημοσιεύσεις

- EN 1992-3: Design of liquid retaining and containing concrete structures
- DIN 1045: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Beuth-Verlag, Berlin
- DIN EN 206: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität (2001-07), Beuth-Verlag, Berlin
- DAFStb Heft 555 «Erläuterungen zur DAFStb-Richtlinie Wasserdurchlässige Bauwerke aus Beton»
- US Army Corps of Engineers (USACE) CRD- C48-73 "Permeability of Concrete"
- British Standard BS 1881 Part 122

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ ΑΠΟ 100 ΧΡΟΝΙΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η αδιαπερατότητα του σκυροδέματος σε νερό καθορίζεται από την αδιαπερατότητα της τσιμεντοειδούς μήτρας, δηλαδή από το τριχοειδές πορώδες της. Καθοριστικοί παράγοντες για το τριχοειδές πορώδες αποτελούν ο λόγος Νερό/Τσιμέντο και ο τύπος των ποζολανικών ή υδραυλικών υλικών του μείγματος που βρίσκονται σε λανθάνουσα κατάσταση. Ένας ισχυρός υπερρευστοποιητής χρησιμοποιείται για να μειώσει το λόγο Νερό/Τσιμέντο. Η δράση αυτή περιορίζει τον όγκο των τριχοειδών πόρων εντός της τσιμεντοειδούς μήτρας, ενώ συνεισφέρει και σε αύξηση της εργασιμότητας του σκυροδέματος. Οι πόροι αυτοί αποτελούν δυνητικά τις διαδρομές μέσα από τις οποίες θα εισχωρήσει το νερό εντός της μάζας του σκυροδέματος. Η επιλογή του υπερρευστοποιητή είναι σημαντική, καθώς θα διευκολύνει τον εργολάβο επί τόπου στο έργο κατά την τοποθέτηση του σκυροδέματος. Η τελική επιλογή θα γίνει λαμβάνοντας υπόψη κι άλλους παράγοντες, όπως την κατηγορία αρχικής εργασιμότητας, τις απαιτήσεις διατήρησης εργασιμότητας, τυχόν απαιτήσεις πρώιμων αντοχών ή το καλό τελικό φινίρισμα επιφάνειας. Τα πρόσμικτα μείωσης υδατοαπορρόφησης (στεγανοποιητικά) αντιδρούν με τα ιόντα ασβεστίου της τσιμεντόπαστας και παράγουν μία υδρόφοβη στρώση εντός των τριχοειδών πόρων. Η δράση τους αυτή φράσσει τους πόρους και παρέχει εποτελεσματική προστασία ακόμη και πίεση νερού 10 bar (100 μέτρα στήλη νερού). Επί τόπου στο έργο το σκυρόδεμα στο οποίο έχουν ενσωματωθεί τα πρόσμικτα αυτής της δράσης αντλείται και εγχύεται με συμβατικούς τρόπους. Όλες οι διαδικασίες που αφορούν στην τοποθέτηση, στη συμπίκνωση και στην ωρίμανσή του θα πρέπει να γίνονται σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς σωστής πρακτικής.

Το σωστό σύστημα σφράγισης αρμών (διαστολικοί και κατασκευαστικοί αρμοί) αποτελεί βασικό παράγοντα για τη διαμόρφωση μιας στεγανής κατασκευής. Η ακολουθία των τμημάτων σκυροδέτησης και οι διαστάσεις των στοιχείων που σκυροδετούνται πρέπει να ληφθούν υπόψη για να περιοριστεί ο κίνδυνος πλαστικής συρρίκνωσης. Σαν οδηγός, η αναλογία διαστάσεων των στοιχείων δε θα πρέπει να υπερβαίνει το 3:1, ειδικά σε ό,τι αφορά σκυροδέτηση τοίχων. Κάτι τέτοιο σημαίνει πως είναι αναπόφευκτη η διαμόρφωση κατασκευαστικών αρμών εντός της κατασκευής. Αφενός, ο σωστός σχεδιασμός των αρμών της κατασκευής είναι ουσιώδους σημασίας. Αφετέρου, η σωστή εφαρμογή του επιλεχθέντος συστήματος σφράγισης των αρμών της κατασκευής παίζει επίσης καθοριστικό ρόλο για τη διασφάλιση της στεγανότητάς της. Όταν υπάρχει διαρροή σε κατασκευή



Διείσδυση νερού υπό υδροστατική πίεση. Το όριο της διαπερατότητας του νερού για να είναι στεγανό το σκυρόδεμα ορίζεται ως το μέγιστο βάθος διείσδυσης νερού υπό συγκεκριμένη πίεση και για καθορισμένη χρονική περίοδο.

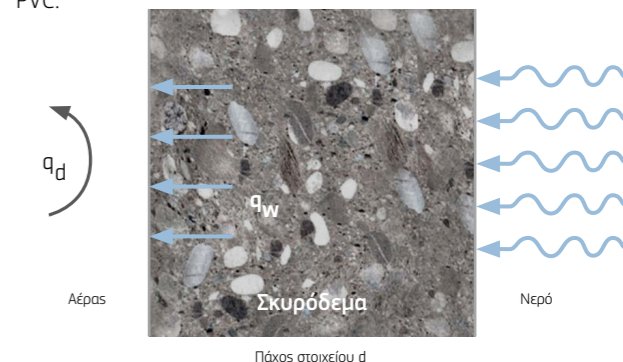


Η μέθοδος της διείσδυσης νερού υπό πίεση υπολογίζει το μέγιστο βάθος διείσδυσης νερού σε mm μετά από καθορισμένο χρονικό διάστημα και συγκεκριμένη πίεση (72 ώρες, πίεση 5 bar σύμφωνα με EN12390-8).

στεγανού σκυροδέματος, τότε συνήθως η αιτία είναι ο ανεπαρκής σχεδιασμός των αρμών της. Επιπλέον, θα πρέπει εκτός των αρμών να σφραγίζονται κι άλλες λεπτομέρειες, όπως οπές αποστατήρων στα καλούπια και διατρήσεις.

Ανάλογα με το επίπεδο προστασίας έναντι διείσδυσης νερού, ανάλογα δηλαδή με την υδροστατική πίεση και την προτιθέμενη χρήση της κατασκευής, υπάρχουν διαφορετικά συστήματα σφράγισης αρμών. Οι κατασκευαστικοί αρμοί (μη κινητικοί) συνήθως σφραγίζονται με χρήση υδρόφιλων προφίλ, τα οποία είναι διαθέσιμα σε διάφορα μεγέθη και διαστάσεις και διογκώνονται σε επαφή με το νερό. Τα προφίλ αυτά συνήθως διαθέτουν μία προστατευτική επιφανειακή επιστρώση για να περιοριστεί ο κίνδυνος πρόωρης διογκώσής τους, εάν για παράδειγμα λάβει χώρα βροχοπτώση πριν τη σκυροδέτηση.

Όταν μία κατασκευή απαιτεί υψηλό επίπεδο προστασίας, είναι διαθέσιμα ακόμη πιο εξελιγμένα συστήματα σφράγισης αρμών, τα οποία προσφέρουν συνδυασμό υδρόφιλων στοιχείων, αλλά διαθέτουν και δυνατότητα εισπίεσης ενέματος. Κάτι τέτοιο προσφέρει εξαιρετική δευτερεύουσα γραμμή άμυνας. Όπου υπάρχει απαίτηση διαμόρφωσης διαστολικών αρμών, αυτοί μπορούν να σφραγιστούν με ειδικά συστήματα σφράγισης αρμών βασισμένα σε ταϊνιά μεγάλης ευκαμψίας και μηχανικής αντοχής, η οποία επικολλάται εσωτερικά ή εξωτερικά στην επιφάνεια χρησιμοποιώντας εποξειδική ρητίνη. Επίσης είναι δυνατή και η χρήση των παραδοσιακών υδροφραγών βάσεων PVC.



Εμβάπτιση και μόνιμη επαφή με νερό. Το όριο της διαπερατότητας του νερού για να είναι στεγανό το σκυρόδεμα εκτιμάται σε g/m² x ώρες, με την προϋπόθεση πως η διαπερατότητα του νερού είναι χαμηλότερη από τον όγκο του εξαιτιζόμενου νερού, χωρίς πίεση, για συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ ΑΠΟ 100 ΧΡΟΝΙΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟ ΣΕ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΠΟΤΕΛΕΙ ΕΝΑ ΚΟΡΥΦΑΙΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ,

επίσης επειδή σε συνδυασμό με την ενίσχυση του χάλυβα προσφέρει τεράστια ικανότητα παραλαβής τάσεων. Ο συνδυασμός του χάλυβα με το σκυρόδεμα προσφέρει το πλεονέκτημα ότι υπό κανονικές συνθήκες η υψηλή τιμή pH του σκυροδέματος διαμορφώνει μία παθητική στρώση από υδροξείδια σιδήρου στην επιφάνεια του χάλυβα, η οποία τον προστατεύει από τη διάβρωση. Η ανθεκτικότητα του χάλυβα ωστόσο μπορεί να υποβαθμιστεί λόγω της παρουσίας υγρασίας και αλάτων. Έργα σε παράκτιες περιοχές, σε συνθήκες επιθετικών εδαφών ή σε περιοχές όπου χρησιμοποιούνται μέσα αποπάγωσης πρέπει να είναι μόνιμα προστατευμένα από τις συνέπειες της διάβρωσης του χάλυβα.



ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ:

Συστατικά	Περιγραφή	Πρόταση
Αδρανή	Αδρανή οποιασδήποτε ποιότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν	Αδρανή κάθε μεγέθους μπορούν να χρησιμοποιηθούν
Τσιμέντο	Οποιοσδήποτε τύπος τσιμέντου που πληροί τα ισχύοντα πρότυπα	Αντικατάσταση τσιμέντου έως και >60% με χρήση σκωρίας, πυριτικής παιπάλης και/ή ιπτάμενης τέφρας
Πρόσθετα	Ιπτάμενη τέφρα, σκωρία, πυριτική παιπάλη, φυσικές ποζολάνες	
Νερό	Φρέσκο ή ανακυκλωμένο νερό, που να πληροί τις απαιτήσεις καταλληλότητας	Λόγος Νερού/Τσιμέντο ανάλογα με τα ισχύοντα πρότυπα σε ό,τι αφορά στην τάξη περιβαλλοντικής έκθεσης <0,45
Πρόσμικτα σκυροδέματος	Υπερρευστοποιητής Ο τύπος του εξαρτάται από τις απαιτήσεις του έργου (διατήρηση εργασιμότητας, πρώιμες αντοχές, κ.α.) Αναστολέας διάβρωσης	Sika® ViscoCrete® ή Sika® ViscoFlow® ή SikaPlast® Sika® CNI Sika® FerroGard®-901 S 0,60 – 1,50% 13 – 40 kg/m ² 10 – 12 kg/m ²
Οδηγίες σκυροδέτησης	Βελτιωτικό ωρίμανσης	Προσεκτική τοποθέτηση και συμπίκνωση. Να ακολουθεί ωρίμανση για διασφάλιση της σωστής ποιότητας (συνεκτικότητα και στιβαρότητα) των επιφανειών. Sika® Antisol®
Σύστημα προστασίας	Επιφανειακή προστασία έναντι διείσδυσης χλωριόντων, CO ₂ και νερού	Η Sika προσφέρει ένα μεγάλο εύρος άκαμπτων και εύκαμπτων βαφών για αποτροπή της διείσδυσης νερού. Λύση Sika: Προστατευτικές βαφές Sikagard®

Πρότυπα αναφοράς, δημοσιεύσεις

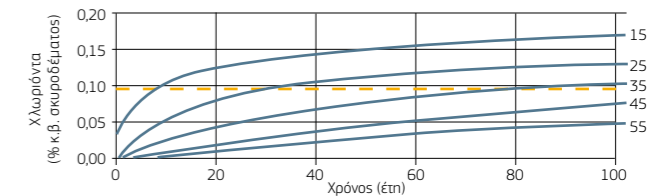
– ASTM C1202 – Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration
– ACI 222 – Protection of Metals in Concrete Against Corrosion
– ASTM C1582 / C1582M – Standard Specification for Admixtures to Inhibit Chloride-Induced Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete
"Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States" PUBLICATION NO. FHWA-RD-01-156;
Authors Gerhardus H. Koch, Michiel P.H. Brongers, and Neil G. Thompson, CC Technologies Laboratories, Inc., Dublin, Ohio Y. Paul Virmani U.S. Federal Highway Administration, Turner-Fairbank Highway Research Center, McLean, Virginia J.H. Payer Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio
– WT Build 492 – Chloride migration coefficient for: Concrete, Mortar and cement

Οι συνήθεις πρακτικές στην κατασκευή εξασφαλίζουν πως η διάβρωση του οπλισμού θα είναι περιορισμένη. Αυτές οι πρακτικές περιλαμβάνουν την τήρηση της ελάχιστης ποιότητας του σκυροδέματος (λόγος Νερό/Συνδετικό υλικό, περιεκτικότητα σε τσιμέντο, ελάχιστη αντοχή) και την τήρηση της ελάχιστης επικάλυψης οπλισμού.

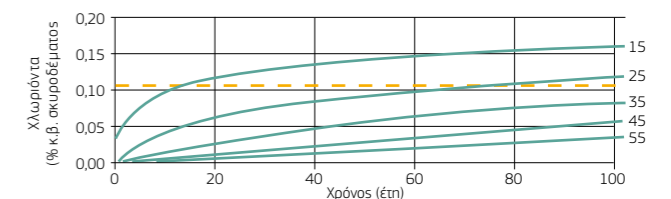
Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις, ειδικά σε περιβάλλοντα με υψηλά επίπεδα χλωριόντων (παγολυτικά άλατα, μολυσμένα εδάφη με θαλασσινό νερό ή ακόμη και μολυσμένα συστατικά του μείγματος σκυροδέματος), αυτές οι βασικές διαδικασίες προστασίας αποδεικνύονται ανεπαρκείς. Προκειμένου να αποφευχθεί η διάβρωση ή να καθυστερήσει η εκκίνησή της και έτσι να επεκταθεί η ζωή της κατασκευής, μπορούν να ληφθούν τέσσερα πρόσθετα μέτρα για την προστασία του χάλυβα από τη διάβρωση: αύξηση της ποιότητας του σκυροδέματος, χρήση αναστολέων διάβρωσης, αύξηση της επικάλυψης του οπλισμού και εφαρμογή προστατευτικών επιστρώσεων.

Η αύξηση της ποιότητας του σκυροδέματος σημαίνει μείωση του αριθμού και του μεγέθους των τριχοειδών πόρων. Έτσι αυξάνεται η πυκνότητα της τσιμεντοειδούς μήτρας του σκυροδέματος και ως αποτέλεσμα εμποδίζεται η μεταφορά χλωριόντων ή CO₂ στο σκυρόδεμα. Η μείωση του λόγου Νερό/Τσιμέντο μέσω της χρήσης μειωτών νερού υψηλής δραστηριότητας και συμπληρωματικών τσιμεντοειδών υλικών όπως ιπτάμενη τέφρα, πυριτική παιπάλη ή φυσικές ποζολάνες αποτελούν εναλλακτικές και προσφέρουν τεχνολογικές δυνατότητες βελτίωσης του μείγματος σκυροδέματος. Κατά την επιλογή βελτιωμένης ποιότητας σκυροδέματος για προστασία από διάβρωση, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην κατάλληλη τοποθέτηση και ωρίμανση. Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη η πιθανότητα συρρίκνωσης του μείγματος σκυροδέματος, καθώς μικρές ρωγμές μπορούν να επιτρέψουν τη διείσδυση χλωριόντων ή CO₂ μέχρι την επιφάνεια του χάλυβα οπλισμού, ανεξάρτητα από την πυκνότητα του μείγματος σκυροδέματος. Οι αναστολείς διάβρωσης ενσωματώνονται στο μείγμα σκυροδέματος κατά τη φάση ανάμιξης όλων των συστατικών. Οι αναστολείς διάβρωσης δεν επηρεάζουν σημαντικά την πυκνότητα σκυροδέματος ή την εισροή χλωριόντων ή CO₂, αλλά ενεργούν άμεσα στη διαδικασία διάβρωσης. Ως αναστολείς διάβρωσης μπορούν να οριστούν πρόσμικτα που ενεργούν με διάφορους τρόπους: είτε παρατείνοντας το χρόνο μέχρι την έναρξη της διάβρωσης, ή μειώνοντας το ρυθμό διάβρωσης του εγκιβωτισμένου χάλυβα ή και τα δύο, σε σκυρόδεμα που περιέχει χλωριόντα. Με άλλον ορισμό, ο αναστολέας διάβρωσης πρέπει να μειώνει το ρυθμό διάβρωσης και τη διαβρωμένη περιοχή των ράβδων οπλισμού σε σκυρόδεμα που περιέχει χλωριόντα. Τα κυριότερα προϊόντα που χρησιμοποιούνται σήμερα ως αναστολείς διάβρωσης είναι είτε προϊόντα βάσης νιτρώδους ασβεστίου, είτε οργανικής βάσης (αμινοεστέρες) αναστολείς διάβρωσης. Οι προστατευτικές επιστρώσεις εφαρμόζονται για τη μείωση της εισροής των χλωριόντων ή του διοξειδίου του άνθρακα. Οι επιστρώσεις μπορούν να εφαρμοστούν με έναν εκ των εξής τρόπων: είτε στην επιφάνεια του σκυροδέματος, είτε στις ίδιες τις ράβδους οπλισμού πριν αυτές εγκιβωτιστούν στο σκυρόδεμα.

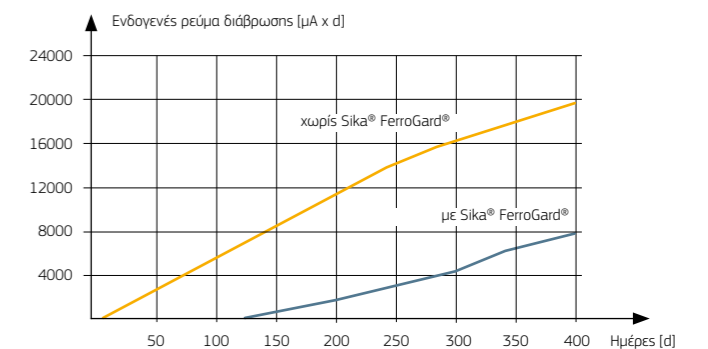
α) Σκυρόδεμα αναφοράς



β) Σκυρόδεμα με αναστολέα διάβρωσης



Προβλεπόμενη περιεκτικότητα σε χλωριόντα στο σκυρόδεμα με την πάροδο του χρόνου για α) σκυρόδεμα αναφοράς και β) σκυρόδεμα με αναστολέα διάβρωσης με τη μορφή πρόσμικτου. Πρόβλεψη για διαφορετικά πάχη επικάλυψης 15, 25, 35, 45 και 55mm, όπως υποδεικνύεται από τους αριθμούς δίπλα σε κάθε γραμμή. Οι διακεκομμένες μπλε γραμμές αντιπροσωπεύουν τις εκτιμώμενες κατώτατες τιμές περιεκτικότητας χλωριόντων.



Το τμήμα Έρευνας & Ανάπτυξης της Sika στη Ζυρίχη αξιολόγησε την αντιδιαβρωτική επίδραση του Sika® FerroGard® σε ρηγματωμένα δοκάρια από σκυρόδεμα. Τα δείγματα παράχθηκαν σύμφωνα με ASTM G 109 και υποβλήθηκαν σε κυκλική επεξεργασία με παγολυτικά άλατα οδοντοκασίας. Περιοδική μέτρηση του ρεύματος διάβρωσης επιβεβαίωσε την προστατευτική επίδραση του Sika® FerroGard®.



Βλάβη στην κατασκευή σκυροδέματος λόγω ανεπαρκούς κάλυψης του οπλισμού και χαμηλής ποιότητας σκυροδέματος

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟ ΣΕ ΠΑΓΕΤΟ & ΚΥΚΛΟΥΣ ΨΥΞΗΣ/ΑΠΟΨΥΞΗΣ

Η ΕΠΙΘΕΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΑΓΟΛΥΤΙΚΩΝ ΑΛΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

αποτελεί μία από τις πιο επιβλαβείς καταπονήσεις για τις κατασκευές σκυροδέματος, αν και υποτιμήθηκε για δεκαετίες και λόγω των περιοδικά υπερβολικών ποσοτήτων παγολυτικών αλάτων που εφαρμόζονταν. Μέσω κατάλληλης τεχνικής κατασκευής και τήρησης των βασικών τεχνολογικών μέτρων σχετικά με το σκυρόδεμα, το δομικό υλικό μπορεί να αποδείξει μόνιμα υψηλή αντοχή στον παγετό και στην ασκούμενη καταπόνηση λόγω παγολυτικών αλάτων.



ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ:

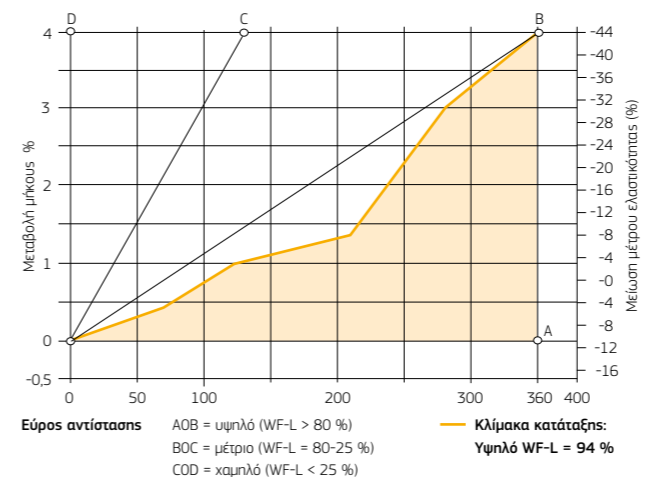
Συστατικά	Περιγραφή	Πρόταση
Αδρανή	Αδρανή οποιασδήποτε ποιότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν	Αδρανή κάθε μεγέθους μπορούν να χρησιμοποιηθούν
Τσιμέντο	Οποιοσδήποτε τύπος τσιμέντου που πληροί τα ισχύοντα πρότυπα. Καθαρό τσιμέντο Portland για μέγιστη αντίσταση στις καταπονήσεις.	Στόχος είναι η χρήση όσο το δυνατόν λιγότερης τσιμεντόπαστας στο μείγμα
Πρόσθετα	Για αυξημένη συνεκτικότητα και μείωση διαπερατότητας	SikaFume® έως μέγιστα 4%
Νερό	Καθαρό νερό, απαλλαγμένο από λεπτά υλικά και βλαβερές ουσίες.	Λόγος Νερού/Τσιμέντου ανάλογα με τα ισχύοντα πρότυπα σε ό,τι αφορά στην τάξη περιβαλλοντικής έκθεσης <0,45
Πρόσμικτα σκυροδέματος	Υπερρευστοποιητής Η δοσολογία του εξαρτάται από το μείγμα (η δοσολογία του υπερρευστοποιητή και του αερακτικού πρέπει να αλληλοπροσαρμόζονται).	Sika® ViscoCrete® ή ή Sika® ViscoFlow® ή SikaPlast® 0,60 – 1,50%
	Αερακτικό (χρόνος ανάμειξης περίπου 90 δευτερόλεπτα) Η απαιτούμενη δοσολογία αερακτικού εξαρτάται αυστηρά από το τσιμέντο και την περιεκτικότητα λεπτών στο κλάσμα της άμμου.	Δοσολογία Sika® Aer-Fine Περιεχόμενο κενών αέρα με: - αδρανή μέγιστης διαμέτρου 32 mm περίπου 3,0 – 5,0% - αδρανή μέγιστης διαμέτρου 16 mm περίπου 4,0 – 6,0%
Οδηγίες σκυροδέτησης	Το σκυρόδεμα με ανθεκτικότητα σε παγετό θα πρέπει να μεταφέρεται μόνο σε βαρέλες και θα πρέπει να αναμιγνύεται επαρκώς (περίπου 30 δευτερόλεπτα/m ³) πριν την ξεφόρτωση. Θα πρέπει να ακολουθεί η συνήθης μέτρηση αεροπεριεκτικότητας. Βελτιωτικό ωρίμανσης.	Προσεκτική τοποθέτηση και συμπίκνωση. Θα πρέπει να επακολουθεί μέθοδος ωρίμανσης για να διασφαλιστεί υψηλή ποιότητα (συνεκτικότητα και συνοχή) της επιφάνειας. Sika® Antisol®

Πρότυπα αναφοράς, δημοσιεύσεις

- Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton, Forschungsgesellschaft für Straßen-und Verkehrswesen (FGSV) 2004
- ACI 306R – Cold Weather Concreting
- ACI 201.2R – Guide to Durable Concrete, Chapter 1 – Freezing and Thawing of Concrete
- ASTM C 457 – Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete
- ASTM C666 / C666M – Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing

Ειδικά σε αυτοκινητοδρόμους, αλλά επίσης και σε κατασκευές που επιβαρύνονται ιδιαίτερα από την επαφή τους με νερό σε μορφή ψεκασμού ή σταγονιδίων, όπως τοίχοι αντιστήριξης, χώροι στάθμευσης, γέφυρες ή είσοδοι σπράγγων, καθώς και κτιριακές κατασκευές, οι εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες ασκούν μεγάλες τάσεις στην κατασκευή σκυροδέματος λόγω του νερού που παγώνει.

Στις περιοχές του σκυροδέματος κοντά στην επιφάνειά του, το νερό εισέρχεται εντός της μάζας του ως αποτέλεσμα της τριχοειδούς δράσης. Εάν το νερό παγώσει, αυξάνεται ο όγκος του λόγω της αλλαγής φυσικής κατάστασης κατά περίπου 10%. Αυτό σημαίνει ότι αναπτύσσεται υψηλή πίεση σε αυτά τα γεμάτα με νερό κενά. Ανάλογα με τις μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος (μεταφορά δυνάμεων εφελκυσμού), αυτή η πίεση μπορεί να οδηγήσει σε ελάχιστη μεταβολή του όγκου του ή σε λεπτές ρωγμές στη μικροδομή του σκυροδέματος. Τυχόν μεμονωμένη δημιουργία τάσης μπορεί να θεωρηθεί ασήμαντη, αλλά οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας όσο διαρκεί μία περίοδος ψύχους και για παρατεταμένο χρονικό διάστημα θα προκαλέσουν την άσκηση αυτής της τάσης αμέτρητες φορές. Μικρές ρωγμές μπορούν έτσι να οδηγήσουν σε αποφλοίωση της επιφάνειας σκυροδέματος, ενώ η περιοχή που έχει επηρεαστεί διευρύνεται όλο και περισσότερο μέχρι να επηρεαστεί τελικά ο οπλισμός ενίσχυσης. Τα παγολυτικά άλατα χρησιμοποιούνται πολύ συχνά για την αποτροπή του σχηματισμού πάγου σε πεζοδρόμια ή οδικές επιφάνειες. Αυτές οι ουσίες προκαλούν ταχέως την τήξη του πάγου σε επιφάνειες σκυροδέματος, δημιουργώντας μία διαδικασία η οποία αποσπά σημαντικό ποσό θερμότητας από το σκυρόδεμα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτό σημαίνει ότι σε περιοχές του σκυροδέματος κοντά στην επιφάνειά του, η θερμοκρασία πέφτει κατά περισσότερο από 10 °C μέσα σε 1 - 2 λεπτά. Η χρήση παγολυτικών αλάτων έχει ως αποτέλεσμα ακόμη μεγαλύτερες σημειακές τάσεις όταν το νερό παγώνει. Από την άποψη της τεχνολογίας σκυροδέματος, αυτή η τάση μπορεί να αντιμετωπιστεί με δύο βασικά μέτρα, αν και το καθένα από αυτά μεμονωμένα είναι ανεπαρκές. Από τη μία πλευρά, η περιεκτικότητα σε νερό του σκυροδέματος με υψηλή αντίσταση σε παγετό και παγολυτικά άλατα πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν χαμηλότερη. Αυτό μειώνει σημαντικά το ποσό του ελεύθερου νερού στη δομή του σκυροδέματος. Επιπλέον, για το νερό που παραμένει πάντα στη μάζα του σκυροδέματος πρέπει να παρέχεται χώρος για διαστολή, έτσι ώστε κατά την ψύξη του η αύξηση του όγκου να μπορεί να είναι διαχειρίσιμη χωρίς να



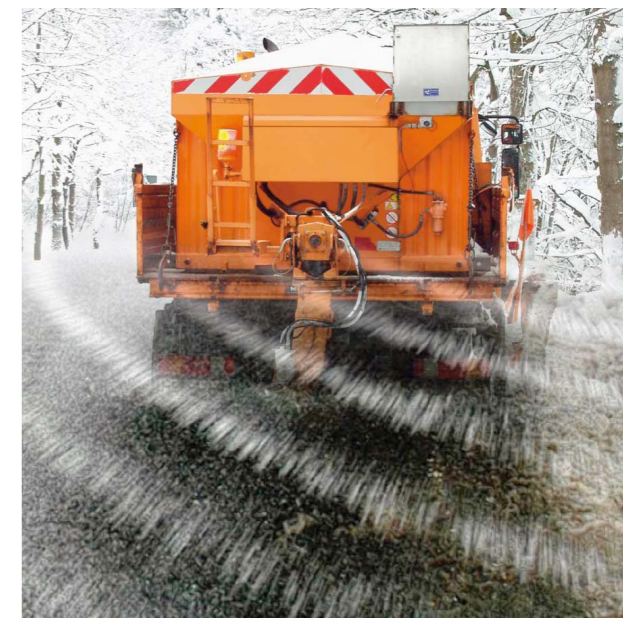
Μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος ελέγχου της αντοχής του σκυροδέματος σε παγετό και σε παγολυτικά άλατα περιλαμβάνει διαδοχική ψύξη και απόψυξη σε μπάνιο, με επακόλουθη μέτρηση της διαφοράς βάρους πριν και μετά τη δοκιμή.



Χωρίς ιδιαίτερη επιφανειακή διάβρωση

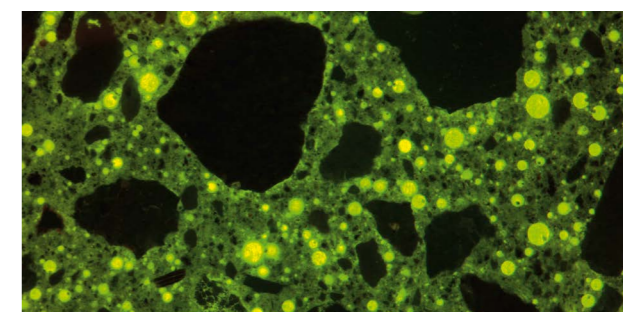


Ιδιαίτερα έντονη επιφανειακή διάβρωση



Τα ψεκασμένα παγολυτικά άλατα εντείνουν σημαντικά τη δράση κατά την ψύξη του νερού (πάγος) και συντελούν σε σημαντικά μεγαλύτερες βλάβες σε περιοχές σκυροδέματος κοντά στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

ασκούνται εσωτερικές τάσεις. Αυτά τα τεχνητά εισαγόμενα κενά αέρα, που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια της παραγωγής σκυροδέματος με την ενσωμάτωση αερακτικού, πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο λεπτά, κλειστά και σφαιρικά γίνεται και διαμέτρου 0,02 έως 0,3 mm. Τα κενά μεγέθους εκτός αυτού του εύρους δε συμβάλλουν στην αντοχή του σκυροδέματος σε παγετό. Η ποσότητα των εισαγόμενων κενών, η οποία μετράται με τη δοκιμή αερακτικότητας, εξαρτάται από την ποσότητα της τσιμεντόπαστας (15 - 20% του όγκου της τσιμεντόπαστας) και αντιστοιχεί στο 4-6% του όγκου του σκυροδέματος, που υπολογίστηκε πριν την τοποθέτησή του.



Τα τεχνητά εισαγόμενα κενά αέρα, που δημιουργούνται από αεροσυμπιεστή, διαμορφώνουν χώρο για διαστολή εντός της μάζας του σκυροδέματος για να επιτραπεί η κατά περίπου 10% αύξηση του όγκου του όταν το νερό γίνει πάγος.

Στη δοκιμή BE II σύμφωνα με το D-R 400, τα πρίσματα δοκιμής υπόκεινται σε εναλλασσόμενη φορτία μεταξύ + 20 °C και -20 °C, οπότε και μετράται η μεταβολή του μήκους τους. Ακολουθώντας αυτή η τιμή κατατάσσει το σκυρόδεμα σε μία εκ τριών περιοχών αντοχής (χαμηλή / μεσαία / υψηλή). Υπολογισμός σύμφωνα με ASTM C666.

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟ ΣΕ ΘΕΙΙΚΑ

ΣΤΙΣ ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΙΔΙΑΙΤΕΡΩΣ, το σκυρόδεμα καταπονείται από φορτία και διαρκή χρήση, αλλά και από επιδράσεις που προκύπτουν από το υπέδαφος, όπως μηχανικές και χημικές (επιθετικό νερό). Το σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται ωστόσο από την εξαιρετική του ανθεκτικότητα. Τα διαλύματα που περιέχουν θειικά άλατα, όπως σε φυσικά ή μολυσμένα υπόγεια ύδατα, αποτελούν μία απειλή για σημαντική υποβάθμιση του σκυροδέματος. Κάτι τέτοιο μπορεί τελικά να οδηγήσει σε απώλεια αντοχών, διόγκωση, αποφλοιώση στρώσεων και τελικά αποσάθρωση.



ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ:

Συστατικά	Περιγραφή	Πρόταση
Αδρανή	Αδρανή οποιασδήποτε ποιότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν	Αδρανή οποιουδήποτε μεγέθους μπορούν να χρησιμοποιηθούν
Τσιμέντο	Σύμφωνα με EN 206 για μεσαία έως υψηλή αντοχή σε θειικά ή με ASTM C 150 για τσιμέντα ανθεκτικά σε θειικά.	Στόχος είναι η χρήση όσο το δυνατόν λιγότερης τσιμεντόπαστας στο μείγμα
Πρόσθετα	Ιπτάμενη τέφρα, σκωρία, πυριτική παιπάλη, φυσικές ποζολάνες	SikaFume® 4,0–8,0%
Νερό	Σύμφωνα με το EN 206 ανάλογα με την κατηγορία περιβαλλοντικής έκθεσης Σύμφωνα με το ASTM ανάλογα με την κατηγορία περιβαλλοντικής έκθεσης	Λόγος Νερού/Τσιμέντο XA1 <0,55 XA2 <0,50 XA3 <0,45 Μέτρια τύπου 2 <0,50 Έντονη τύπου 5 <0,45 Ιδιαίτερα έντονη τύπου 5 <0,40
Πρόσμικτα σκυροδέματος	Υπερρευστοποιητής Ο τύπος του εξαρτάται από τις απαιτήσεις του μείγματος (εργασιμότητα, διατήρηση, πρώιμες αντοχές, κ.τ.λ.)	Sika® ViscoCrete® ή ή Sika® ViscoFlow® ή SikaPlast® 0,60–1,50%
Οδηγίες σκυροδέτησης		Προσεκτική τοποθέτηση και συμπίκνωση. Θα πρέπει να επακολουθεί μέθοδος ωρίμανσης για να διασφαλιστεί υψηλή ποιότητα (συνεκτικότητα και συνοχή) της επιφάνειας. Sika® Antisol® Βελτιωτικό ωρίμανσης
Σύστημα προστασίας/ειδικό σύστημα ωρίμανσης	Η αντοχή του σκυροδέματος σε χημικά είναι πολύ περιορισμένη. Κατάλληλες προστατευτικές επιστρώσεις μπορούν να προστατέψουν το σκυρόδεμα από τέτοιου είδους καταπόνηση.	Εφαρμογή βαφών Sikagard® σε προκατασκευασμένα στοιχεία επένδυσης σπράγγων αμέσως μετά την αποκαλούπιση τους

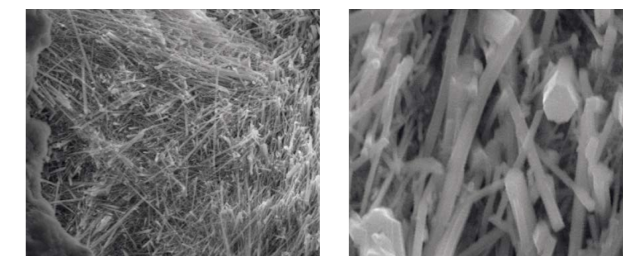
Πρότυπα αναφοράς, δημοσιεύσεις

– DIN EN 206: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Beuth-Verlag, Berlin
– ACI 201.2R – 08 Guide to Durable Concrete, Chapter 2 – Chemical attack
– ASTM C 452 – Standard Test Method for Potential Expansion of Portland-Cement Mortars Exposed to Sulfate
– ASTM C 1012 – Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution

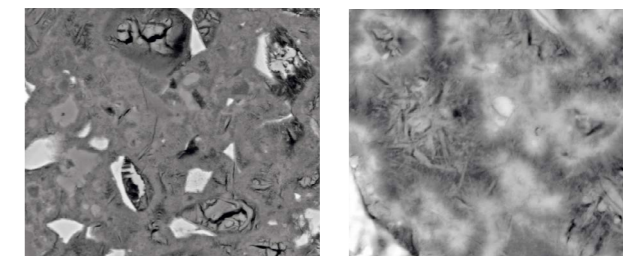
Ο προβλεπόμενος κύκλος ζωής μιας κατασκευής από σκυρόδεμα διασφαλίζεται μέσω σχεδιασμού και εφαρμογής κατάλληλου μείγματος σκυροδέματος, προσαρμοσμένου στις αναμενόμενες εκθέσεις και καταπονήσεις. Τα θειικά άλατα που περιέχονται στο νερό αντιδρούν με το αργιλικό τριασβέστιο (C3A) του τσιμέντου και σχηματίζουν ετρινγκίτη (ή και θαυμασίτη υπό ορισμένες συνθήκες), κρυστάλλους δηλαδή που προκαλούν αύξηση όγκου στο σκυρόδεμα. Αυτή η αύξηση όγκου έχει ως αποτέλεσμα άσκηση υψηλής εσωτερικής πίεσης στη δομή του σκυροδέματος, η οποία οδηγεί σε ρωγμές και αποφλοιώσεις. Μια τέτοια επίθεση κατατάσσεται μεταξύ των τύπων χημικών επιθέσεων που όταν ένα συμβατικό σκυρόδεμα εκτεθεί σε αυτές, χωρίς πρόβλεψη ειδικών προστατευτικών μέτρων, θα λάβουν χώρα σημαντικές βλάβες. Η εμπειρία από πραγματικά έργα καταδεικνύει ότι η απώλεια πρόσφυσης και αντοχών είναι συνήθως πιο σοβαρή από τη φθορά σκυροδέματος που προκύπτει από διόγκωση και τη ρηγμάτωση.

Η αντοχή του σκυροδέματος σε θειικά άλατα προσδιορίζεται από την αντοχή της τσιμεντόπαστας σε αυτά, καθώς και από την ικανότητά της να ανθίσταται στη διάχυση θειικών ιόντων στη μάζα της. Σκυρόδεμα που σχεδιάζεται ως ανθεκτικό σε θειικά άλατα πρέπει επομένως να χαρακτηρίζεται από υψηλή αδιαπερατότητα, καθώς και θλιπτική αντοχή. Επιπλέον πρέπει να χρησιμοποιούνται τσιμέντα με χαμηλό περιεχόμενο σε C3A και Al₂O₃. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η πιθανότητα για αντιδράσεις που μπορούν να επιβαρύνουν ακόμη περισσότερο την κατάσταση. Επιπλέον, η ενσωμάτωση στο μείγμα σκυροδέματος πυριτικής παιπάλης λειτουργεί θετικά, καθώς συμβάλλει σε υψηλότερη πυκνότητα της τσιμεντόπαστας σε συνδυασμό με ενισχυμένη πρόσφυση μεταξύ τσιμεντόπαστας και αδρανών, οδηγώντας έτσι σε υψηλότερη θλιπτική αντοχή. Η προσβολή από θειικά συγκαταλέγεται σε κατηγορίες έκθεσης χημικής προσβολής σύμφωνα με το πρότυπο EN 206. Επομένως, προσδιορίζεται η τάξη της έκθεσης μέσω της αναμενόμενης περιεκτικότητας σε θειικά άλατα του νερού που θα έρθει σε επαφή με το σκυρόδεμα. Ανάλογα με την τάξη της έκθεσης, είναι υποχρεωτική ελάχιστη περιεκτικότητα σε τσιμέντο σε συνδυασμό με μέγιστο λόγο Νερού/Τσιμέντο και είναι επιπλέον υποχρεωτική η χρήση τσιμέντου με υψηλή αντοχή σε θειικά. Στις σπράγγες, η ανθεκτικότητα με την πάροδο του χρόνου είναι καθοριστικής σημασίας και η προσβολή από θειικά αποτελεί μια διαρκή και δύσκολη περίπτωση καταπόνησης. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στην περίπτωση παραγωγής προκατασκευών στοιχείων επένδυσης σπράγγων, είτε με μέθοδο διάνοιξης TBM, είτε με χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ως μέθοδο προσωρινής υποστήριξης κατά τη συμβατική διάνοιξη. Σε εσκαφές στις οποίες αναμένεται έντονη επίθεση θειικών, είναι δύσκολο να ικανοποιηθούν όλες οι τεχνικές απαιτήσεις, εκτός κι εάν ληφθούν κατάλληλα μέτρα που να αφορούν στο σχεδιασμό του μείγματος σκυροδέματος. Για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, η χρήση μη αλκαλικών επιταχυντών είναι υποχρεωτική για να επιτευχθεί επαρκής αντοχή σε θειικά άλατα. Η βιομηχανοποιημένη και ταχεία παραγωγή τμημάτων επένδυσης σπράγγων επιβάλλει κύκλους παραγωγής διάρκειας μερικών ωρών, με μέγιστη θερμοκρασία ωρίμανσης τους 60 °C στο σκυρόδεμα. Αυτό είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί με χρήση τσιμέντων ανθεκτικών σε θειικά, λόγω του ότι αυτά τα τσιμέντα αναπτύσσουν με βραδύ ρυθμό αντοχές. Ένα μείγμα σκυροδέματος που περιέχει πυριτική παιπάλη και υπερρευστοποιητή πληροί τόσο τις απαιτήσεις παραγωγικότητας, όσο και αντοχής σε θειικά, αλλά αυτός ο

συνδυασμός σε σύνθεση σκυροδέματος το καθιστά ιδιαίτερα ευαίσθητο σε σωστή ωρίμανση λόγω κινδύνου ρωγμών. Με την εφαρμογή εποξειδικής προστατευτικής βαφής υδατικής βάσης αμέσως μετά την αποκαλούπιση των προκατασκευασμένων στοιχείων, τα τελικά στοιχεία επένδυσης σπράγγων είναι πλήρως απαλλαγμένα ρωγμών.



Κλασική μορφή επίθεσης θειικών που σχετίζεται με σχηματισμό ετρινγκίτη ή γύψου. Δεξιά απεικονίζονται οι κρυστάλλοι ετρινγκίτη που αναπτύσσονται σε ώριμη τσιμεντόπαστα που έρχεται σε επαφή με θειικά διαλύματα.



Πυρήνες ετρινγκίτη που σχηματίζονται σε ώριμη τσιμεντόπαστα. Η δεξιά εικόνα δείχνει τσιμεντόπαστα ηλικίας 2 ετών που εκτέθηκε σε επίθεση θειικών. Οι κορυφές των πυρήνων του ετρινγκίτη που σχηματίζονται εντός της μάζα των κρυστάλλων C-S-H είναι ορατές.



Η υποβάθμιση του σκυροδέματος λόγω της προσβολής από θειικά άλατα πριν και μετά την επαφή του με αυτά απεικονίζεται μέσω αύξησης του μήκους του πυρήνα σκυροδέματος, εξαιτίας της επίθεσης. Οι πρώτες ρωγμές είναι εμφανείς στο δοκίμιο.



Αμέσως μετά την ωρίμανση σε θάλαμο με ατμό, τα προκατασκευασμένα στοιχεία επένδυσης σπράγγων βάφονται με εποξειδική βαφή υδατικής βάσης, η οποία απορροφάται ακόμη και στον μικρότερο πόρο, διαμορφώνοντας μία σφραγιστική, προστατευτική επίστρωση.

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟ ΣΕ ΦΩΤΙΑ

Ο ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΥΠΑΡΧΕΙ ΠΑΝΤΑ ΚΑΙ ΠΑΝΤΟΥ. Ο επικείμενος κίνδυνος εξαρτάται από το επίπεδο της έκθεσης στη φωτιά και φυσικά διαφέρει εάν η απειλούμενη κατασκευή είναι υπόγειος πεζόδρομος, οδική σήραγγα ή υπόγειος χώρος στάθμευσης σε πολυώροφο κτίριο. Το σκυρόδεμα είναι το φέρον στοιχείο σχεδόν σε όλες τις κατασκευές και, ως εκ τούτου, διατρέχει υψηλό κίνδυνο, καθώς ολόκληρη η κατασκευή τελεί υπό κατάρρευση σε περίπτωση αστοχίας του. Το σκυρόδεμα συνεπώς πρέπει ανεξάρτητα από το σενάριο κινδύνου, να είναι κατάλληλα σχεδιασμένο ή προστατευμένο με εξωτερικά μέτρα, προκειμένου να εμποδίζεται η αστοχία του κατά την έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες σε περίπτωση πυρκαγιάς.



ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ:

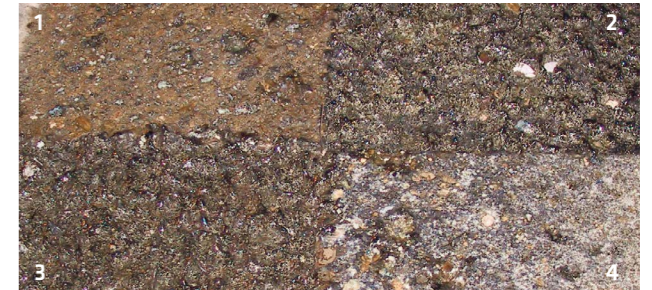
Συστατικά	Περιγραφή	Πρόταση
Αδρανή	Τα ασβεστολιθικά αδρανή - ασβεστόλιθος, δολομίτης, κ.λ.π. - τείνουν να αποδίδουν καλύτερα σε πυρκαγιά, καθώς ασβεστοποιούνται. Οι τύποι αδρανών που περιέχουν διοξείδιο του πυριτίου αποδίδουν λιγότερο καλά.	Αδρανή οποιουδήποτε μεγέθους μπορούν να χρησιμοποιηθούν
Τσιμέντο	Οποιοσδήποτε τύπος τσιμέντο πληροί τα ισχύοντα πρότυπα.	Στόχος είναι η χρήση όσο το δυνατόν λιγότερης τσιμεντόπαστας στο μείγμα
Νερό	Φρέσκο ή ανακυκλωμένο νερό που να πληροί τις απαιτήσεις σε ό,τι αφορά στην καθαρότητα της σύστασής του.	Λόγος Νερού/Τσιμέντο ανάλογα με τα πρότυπα σε ό,τι αφορά στην τάξη περιβαλλοντικής έκθεσης <0,48
Πρόσμικτα σκυροδέματος	Υπερρευστοποιητής Ο τύπος του εξαρτάται από τις απαιτήσεις του μείγματος (εργασιμότητα, διατήρηση, πρώιμες αντοχές, κ.τ.λ.) Ίνες πολυπροπυλενίου	Sika® ViscoCrete® ή Sika® ViscoFlow® ή SikaPlast® 1,5 – 2,0 kg/m ³ SikaFiber® PP 1,5–2,0 kg/m ³
Οδηγίες σκυροδέτησης		Προσεκτική τοποθέτηση και συμπίκνωση. Θα πρέπει να επακολουθεί μέθοδος ωρίμανσης για να διασφαλιστεί υψηλή ποιότητα (συνεκτικότητα και συνοχή) της επιφάνειας.
Παθητική πυροπροστασία σκυροδέματος	Εκτοξευόμενα ελαφροβαρή κονιάματα	Sikacrete®-213 F GR

Πρότυπα αναφοράς, δημοσιεύσεις

- ZTV-ING Teil 5: Tunnelbau
- ACI 216 - Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies
- ASTM E119 - Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials
- ÖVB Merkblatt, Schuttschichten für den erhöhten Brandschutz für unterirdische Verkehrsbauewerke, 2006
- VDV-Förderkreis, Fire Protection in vehicles and tunnels for public transport, 2005

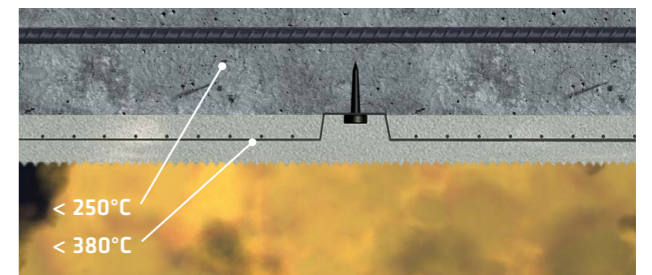
Το σκυρόδεμα είναι ένα κατασκευαστικό υλικό που προέρχεται από μη εύφλεκτα συστατικά όπως τσιμέντο, αδρανή και νερό. Η θερμική αγωγιμότητα του σκυροδέματος είναι περίπου 1,5-3,0 W/m°C, καθιστώντας το κατάλληλο ως προστατευτική "ασπίδα" έναντι φωτιάς, ικανό να αντέξει τις επιπτώσεις της άμεσης θερμότητας πριν ο εγκιβωτισμένος κάλυβας μαλακώσει μέχρι σημείου πιθανής δομικής κατάρρευσης. Η αντοχή στη φωτιά ορίζεται ως η ικανότητα μιας κατασκευής να εκπληρώσει τις απαιτούμενες λειτουργίες (παραλαβή ιδίου φορτίου και/ή απώλεια συνάφειας) για συγκεκριμένη έκθεση σε πυρκαγιά και για συγκεκριμένη χρονική περίοδο (ακεραιότητα κατασκευής). Η αντοχή στην πυρκαγιά ισχύει για τα δομικά στοιχεία ως σύνολο και όχι για το ίδιο το υλικό, αλλά οι ιδιότητες του υλικού επηρεάζουν την απόδοση των στοιχείων του οποίου αποτελούν τμήμα (Ευρωκώδικας 2). Τα μοντέλα χρόνου σε σχέση με την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία, συσχετίζουν τον τύπο του καυσίμου που καταναλώνεται, τον όγκο του καυσίμου, την επίδραση του εξαερισμού και την ακριβή τοποθεσία της πυρκαγιάς. Στις περισσότερες περιπτώσεις η θερμοκρασία της πυρκαγιάς αυξάνεται ραγδαία μέσα σε λίγα λεπτά, με αποτέλεσμα να λαμβάνει χώρα εκρηκτική αποφλοίωση λόγω του ότι η εγγενής υγρασία στο σκυρόδεμα μετατρέπεται σε ατμό και διαστέλλεται. Το πιο σοβαρό σενάριο πυρκαγιάς απεικονίζει η καμπύλη πυρκαγιάς RWS από τις Κάτω Χώρες (Ολλανδία) και αναπαριστά μία τεράστια έκταση πυρκαγιάς μέσα σε σήραγγα με καύσιμα υδρογονανθράκων.

Υπάρχουν διάφορες διαθέσιμες επιλογές για τη βελτίωση της αντοχής σε φωτιά του σκυροδέματος. Τα περισσότερα σκυροδέματα περιέχουν είτε καθαρό τσιμέντο Portland ή σύνθετο τσιμέντο, το οποίο αρχίζει να υποβαθμίζεται χάνοντας τις σημαντικές του ιδιότητες σε θερμοκρασίες άνω των 300 °C, ενώ αρχίζει να χάνει τα χαρακτηριστικά δομικής απόδοσής του σε θερμοκρασίες άνω των 600 °C. Φυσικά το βάθος της εξασθενημένης ζώνης σκυροδέματος μπορεί να κυμαίνεται από μερικά χιλιοστά έως πολλά εκατοστά ανάλογα με τη διάρκεια της φωτιάς και τις μέγιστες θερμοκρασίες που σημειώθηκαν. Αργιλικό τσιμέντο χρησιμοποιείται για την προστασία πυρίμαχων επενδύσεων που θα πρέπει να αντέξουν σε θερμοκρασίες έως και 1600 °C, καθώς παρουσιάζει την καλύτερη δυνατή απόδοση σε πυρκαγιά και διαθέτει εξαιρετική απόδοση σε θερμοκρασία άνω των 1000 °C. Η επιλογή των αδρανών θα επηρεάσει τις θερμικές τάσεις που αναπτύσσονται κατά την έκθεση μιας κατασκευής από σκυρόδεμα σε πυρκαγιά και μάλιστα σε σημαντικό βαθμό. Αδρανή ανθρακικού τύπου όπως ασβεστολιθικά και δολομιτικά τείνουν να αποδίδουν καλύτερα σε πυρκαγιά, καθώς ασβεστοποιούνται όταν θερμαίνονται, απελευθερώνοντας CO₂. Αυτή η αντίδραση απαιτεί θερμότητα (ενδόθερμη), απορροφώντας έτσι ένα ποσοστό της εξώθερμης αντίδρασης της καύσης. Τα πυριτικά αδρανή τείνουν να συμπεριφέρονται λιγότερο καλά σε περίπτωση φωτιάς. Υπό συνθήκες στις οποίες ο κίνδυνος δομικής κατάρρευσης είναι μη αποδεκτός, οι μελετητές εξετάζουν άλλους τρόπους προστασίας του σκυροδέματος από τις επιπτώσεις της φωτιάς. Οι εναλλακτικές λύσεις κυμαίνονται από τοπική αύξηση πάχους του σκυροδέματος, επένδυση με θερμικές ασπίδες επικαλυμμένες με διογκούμενες βαφές, χρήση προστατευτικών συστημάτων και ελαφροκονιαμάτων εφαρμοζόμενων με ψεκασμό. Ο σκοπός αυτών των παθητικών συστημάτων πυροπροστασίας εξαρτάται από τον τύπο της σήραγγας, καθώς και από τον ακριβή σχεδιασμό της.

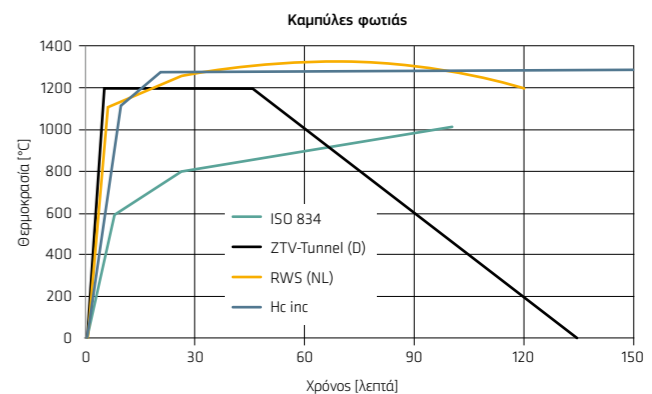


Δοκιμές έκθεσης σε φωτιά για σκυρόδεμα που περιέχει αδρανή διαφόρων τύπων. Με τις δοκιμές αυτές μπορούν να συγκριθούν η αποφλοίωση της επιφάνειας, η πυροσυσσωμάτωση και ένα εύρος ανάπτυξης θερμοκρασιών σε διαφορετικά βάθη

1 Γνεύσιο	Απρόσβλητη επιφάνεια	Χωρίς αποφλοίωση
2 Ασβεστόλιθος 1	Αποσάθρωση	17 mm αποφλοίωση
3 Γρανίτης	Απρόσβλητη επιφάνεια	25 mm αποφλοίωση
4 Ασβεστόλιθος 2	Αποσάθρωση	14 mm αποφλοίωση



Εάν ένα τμήμα της κατασκευής απαιτεί προστασία, συνιστάται η χρήση οπλισμού με μεταλλικό πλέγμα.



Αυτές οι καμπύλες ταξινόμησης έκθεσης σε πυρκαγιά προσομοιώνουν το θερμοκρασιακό προφίλ μιας πυρκαγιάς σε σήραγγα. Το παράδειγμα της καμπύλης RWS ορίζει τη μέγιστη έκθεση που μπορεί να αναμένεται στο χειρότερο σενάριο: Καθορίζεται ως πυρκαγιά ενός βυτιοφόρου με χωρητικότητα φορτίου 50m³ το οποίο είναι πλήρες κατά το 90% σε υγρό καύσιμο υδρογονανθράκων (βενζίνη).



Σήραγγα δοκιμών ευρείας κλίμακας Hagerbach (VSH), Ελβετία

Σε ειδικούς θαλάμους κλιβάνων μπορούν να αναπαρασταθούν οι τροχιές φωτιάς, να καταπονηθούν πάνελα και στη συνέχεια να λάβει χώρα αξιολόγηση. Η ανάπτυξη της θερμοκρασίας μετράται σε διάφορα βάθη και καταγράφεται.

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟ ΣΕ ΑΛΚΑΛΟΠΥΡΙΤΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

ΤΑ ΑΔΡΑΝΗ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ένα σημαντικό ποσοστό του συνολικού όγκου του σκυροδέματος. Η επιρροή τους στο φρέσκο και σκληρυμένο σκυρόδεμα είναι σημαντική. Για εξοικονόμηση κόστους και ενέργειας, οι παραγωγοί σκυροδέματος στοχεύουν στη χρήση αδρανών από όσο το δυνατόν πλησιέστερη πηγή προέλευσης (λατομείο). Πολύ συχνά, είτε λόγω έλλειψης διαθεσιμότητας αδρανών καλής ποιότητας, είτε λόγω τοποθεσίας της αναγειρόμενης κατασκευής, είτε λόγω προϋπολογισμού του έργου, χρησιμοποιούνται αδρανή υποδεέστερης ποιότητας. Η αλκαλοπυριτική αντίδραση, η οποία αφορά σε αντίδραση των αδρανών, παρουσιάζει μια ιδιαίτερη πρόκληση και μπορεί να επηρεάσει την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.



ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ:

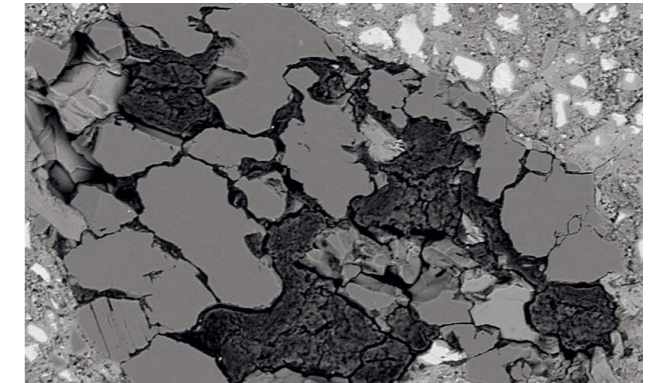
Συστατικά	Περιγραφή	Πρόταση
Αδρανή	Η πιθανότητα αλκαλοπυριτικής αντίδρασης των αδρανών πρέπει να προσδιορίζεται.	Αδρανή οποιουδήποτε μεγέθους μπορούν να χρησιμοποιηθούν
Τσιμέντο	Κατά προτίμηση τσιμέντα με υψηλό περιεχόμενο σε σκωρία ή ιπτάμενη τέφρα	Στόχος είναι η χρήση όσο το δυνατόν λιγότερης τσιμεντόπαστας στο μείγμα
Πρόσθετα	Πυριτική παιπάλη, ιπτάμενη τέφρα ή σκωρία υψικαμίνων	SikaFume® 3,0% – 6,0%
Νερό	Καθαρό νερό, χωρίς επιμολύνσεις	Λόγος Νερού/Τσιμέντο ανάλογα με τα πρότυπα σε ότι αφορά στην τάξη περιβαλλοντικής έκθεσης
Πρόσμικτα σκυροδέματος	Υπερρευστοποιητής Ο τύπος του εξαρτάται από τις απαιτήσεις του μείγματος (εργασιμότητα, διατήρηση, πρώιμες αντοχές, κ.τ.λ.). Μη αλκαλικός επιταχυντής στην περίπτωση εκτοξευμένου σκυροδέματος.	Sika® ViscoCrete® ή Sika® ViscoFlow® ή SikaPlast® 0,60 – 1,20% Sigunit®-AF 3,0% – 6,0%
Οδηγίες σκυροδέτησης	Βελτιωτικό ωρίμανσης	Προσεκτική τοποθέτηση και συμπίκνωση. Θα πρέπει να επακολουθεί μέθοδος ωρίμανσης για να διασφαλιστεί υψηλή ποιότητα (συνεκτικότητα και συνοχή) της επιφάνειας. Sika® Antisol®
Σύστημα προστασίας	Εκτός από τα ελεύθερα αλκάλια και τα δραστικά συστατικά που μπορεί να υπάρχουν στα αδρανή, για να λάβει χώρα αλκαλοπυριτική αντίδραση το σκυρόδεμα πρέπει να περιέχει υγρασία. Εάν η κατασκευή είναι εκτεθειμένη σε νερό, η επιφάνεια του σκυροδέματος πρέπει να προστατεύεται.	Η Sika διαθέτει στην γκάμα της διαφορετικά συστήματα, άκαμπα ή εύκαμπα για αποτροπή διείσδυσης νερού. Λύση Sika: Sikagard®, Sikaplan®

Πρότυπα αναφοράς, δημοσιεύσεις

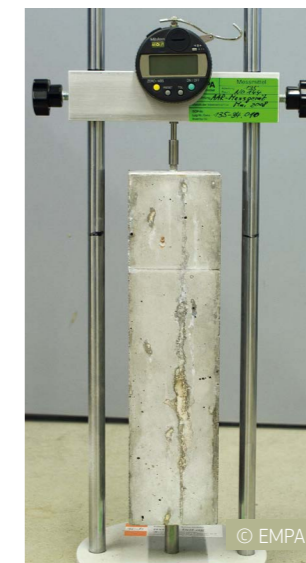
- ASTM C 1260 – Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method), ASTM Standards in Building Codes 681–85.
- ASTM C 1293 – Standard test method for concrete Adrån by determination of length change of concrete due to alkali-silica, ASTM Standards in Building Codes 686–691.
- AFNOR P18-594 Granulats: Méthodes d'essais de réactivité aux alcalis, Association Française de Normalisation, Paris, France.
- AFNOR P18-454 Béton: Réactivité d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali- réaction (essai de performance). Association Française de Normalisation, Paris, France.

Μεγάλα έργα υποδομής όπως φράγματα, οδοί αυτοκινητόδρομοι ή αεροδιάδρομοι απαιτούν τεράστιες ποσότητες αδρανών υλικών και πάντα επιδιώκεται η πηγή προέλευσής τους να βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από τα εργοτάξια. Ορισμένοι τύποι αδρανών μπορεί να παρουσιάσουν αυξημένο ή υψηλό κίνδυνο αλκαλοπυριτικής αντίδρασης. Η αλκαλοπυριτική αντίδραση είναι μια χημική αντίδραση που συμβαίνει μεταξύ του άμορφου διοξειδίου του πυριτίου στα αδρανή και του αλκαλικού διαλύματος των πόρων της τσιμεντοειδούς μήτρας. Η αντίδραση έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου του σκυροδέματος, προκαλώντας ρωγμές και θραύση όταν οι δυνάμεις που παράγονται υπερβαίνουν την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος. Βασικές συνθήκες για να λάβει χώρα αλκαλοπυριτική αντίδραση είναι να υπάρχει υγρασία μέσα στο σκυρόδεμα, το διάλυμα των πόρων να έχει υψηλή περιεκτικότητα σε αλκάλια και τα αδρανή να εμφανίζουν αυτή την τάση. Ο σωστός σχεδιασμός του μείγματος σκυροδέματος είναι κρίσιμος για την αποφυγή του φαινομένου αυτού. Η εκ των προτέρων επιλογή των σωστών λύσεων μπορεί να αποτρέψει τις ζημιές που προκύπτουν από την αλκαλοπυριτική αντίδραση, ακόμη και αν χρησιμοποιηθούν αδρανή με μεγάλη τάση συμμετοχής στην αντίδραση. Το κλίνκερ του τσιμέντου συνεισφέρει κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στα αλκαλικά συστατικά στο σκυρόδεμα. Όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα σε τσιμέντο, τόσο πιο αλκαλικό θα είναι το μείγμα. Τα σύνθετα τσιμέντα έχουν χαμηλότερο περιεχόμενο σε αλκάλια. Ο χαμηλός λόγος Νερού/Τσιμέντο θεωρείται βασικός παράγοντας για τη διαμόρφωση υψηλής πυκνότητας, στεγανού σκυροδέματος. Ένα σκυρόδεμα υψηλής πυκνότητας επιβραδύνει τη διάχυση των ελεύθερων αλκαλίων και τη διάχυση του νερού στα αδρανή. Για να λάβει χώρα αλκαλοπυριτική αντίδραση, πρέπει τα αδρανή να είναι ορυκτολογικής σύστασης ιδιαίτερα ευαίσθητης στα αλκαλικά συστατικά, όπως είναι ο πυριτικός ασβεστόλιθος, ο αμώδης ασβεστόλιθος, ο ασβεστόλιθος, το γνεύσιο και ο έντονα παραμορφωμένος χαλαζίτης. Υψηλού πορώδους, ρηγματωμένα, πολυκαιρισμένα ή σπασμένα αδρανή είναι πιο δραστικά από ότι αντίστοιχα με πυκνή δομή και στρογγυλεμένες επιφάνειες. Τα ποζολανικά πρόσθετα όπως η ιπτάμενη τέφρα, η σκωρία ή η πυριτική παιπάλη αντιδρούν με και καταναλώνουν ιόντα υδροξυλίου (αλκαλίων) κατά τη διάρκεια της αντίδρασης ενυδάτωσης. Αυτή η αντίδραση μειώνει την τιμή του pH του διαλύματος των πόρων, καταστέλλοντας την εμφάνιση αλκαλοπυριτικής αντίδρασης. Τα ποζολανικά πρόσθετα διαφέρουν ως προς το σχήμα και την αντιδραστικότητά τους ανάλογα με την πηγή τους, αλλά γενικά η επίδρασή τους είναι πιο σταθερή εάν ενσωματωθούν στο τελικό προϊόν τσιμέντου κατά τη διαδικασία άλεσης των συστατικών του, σε αντίθεση με την προσθήκη τους απευθείας στο μείγμα σκυροδέματος. Παραμένουν όμως μερικές διαφωνίες σχετικά με την αποδοτικότητα των προσθέτων στην επιβράδυνση της ταχύτητας με την οποία θα λάβει χώρα η αλκαλοπυριτική αντίδραση. Πρόσμικτα όπως οι συμβατικοί επιταχυντές για το εκτοξευμένο σκυρόδεμα μπορούν να εισάγουν σημαντικές ποσότητες αλκαλίων, αυξάνοντας σημαντικά τη δραστικότητα του διαλύματος των πόρων του σκυροδέματος. Σε περίπτωση αδρανών υλικών που θεωρούνται ευαίσθητα, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μη αλκαλικοί επιταχυντές. Η εμπειρία έχει δείξει ότι η χρήση ειδικών προσμίκτων μπορεί να περιορίσει την αλκαλοπυριτική αντίδραση, αποτρέποντας έτσι τη διόγκωση του σκυροδέματος. Μία επιπλέον πιθανή λύση αποτελεί η προσθήκη αερακτικού για διαμόρφωση τεχνητών κενών αέρα (χώρου

εκτόνωσης) για τα προϊόντα της αντίδρασης. Εάν η εμφάνιση αλκαλοπυριτικής αντίδρασης αποτελεί αντικείμενο μεγάλης ανησυχίας και με υψηλή πιθανότητα εμφάνισης, συνιστάται να λάβουν χώρα δοκιμές προκειμένου να καθορισθεί το δυναμικό εμφάνισής της.



Οι άμορφες κηλίδες πυριτίου εντός των αδρανών έχουν αντιδράσει με ιόντα αλκαλίων και σχηματίσαν gel που διογκώθηκε με την εισροή νερού. Τα αδρανή διογκώθηκαν ως επακόλουθο αυτής της δράσης και ρηγματώθηκαν, ενώ η άμορφη περιοχή (μαύρη, ρηγματωμένη μάζα) διογκώθηκε.



Η αύξηση του όγκου λόγω της τάσης που προκύπτει από την αλκαλοπυριτική αντίδραση γίνεται αντιληπτή μέσω της μέτρησης της μεταβολής του μήκους των δοκιμών. Συνήθως τα δοκίμια αποθηκεύονται σε έντονα συνθήκες καταπόνησης (θερμοκρασία, υγρασία, εφαρμοζόμενο φορτίο) προκειμένου να επιταχυνθεί η αντίδραση.



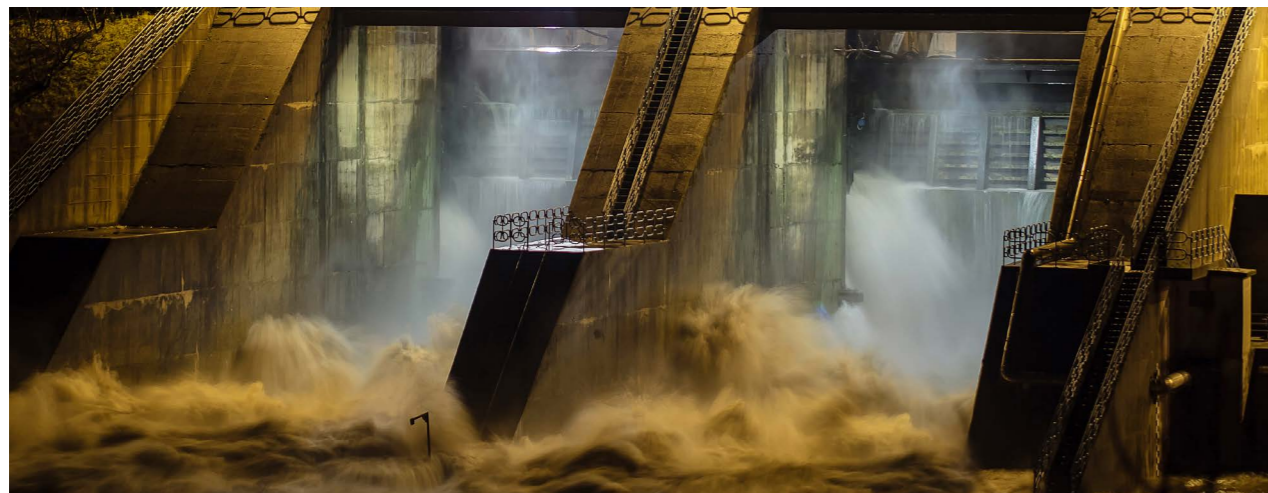
Η εμφάνιση της βλάβης λόγω αλκαλοπυριτικής αντίδρασης μπορεί να αξιολογηθεί πολύ καλά στην επιφάνεια σκυροδέματος του πυλώνα της γέφυρας που στεγνώνει βαθμιαία. Η βλάβη μπορεί να παρουσιαστεί μέσα σε χρόνια ή μόνο μετά από δεκαετίες.



Η βλάβη λόγω θεικών είναι συχνά ορατή μόνο μετά από δεκαετίες. Επομένως, η αποσάφηση του κινδύνου εμφάνισης της αλκαλοπυριτικής αντίδρασης είναι αναγκαία για την αξιόπιστη εκτίμηση των προστατευτικών μέτρων που πρέπει να ληφθούν εκ των προτέρων.

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟ ΣΕ ΑΠΟΤΡΙΨΗ

ΟΙ ΚΑΤΑΡΡΑΚΤΕΣ, ΤΑ ΦΑΡΑΓΓΙΑ ΚΑΙ ΟΙ ΚΟΙΛΑΔΕΣ είναι η μαρτυρία της φύσης για την αναμφισβήτητη δύναμη του νερού. Κατά κύριο λόγο στην τεχνική υδραυλική μηχανική, αλλά και στις ζώνες κυκλοφορίας με υψηλά φορτία ή σκληρά κυλινδρικού σχήματος στοιχεία, οι επιφάνειες από σκυρόδεμα υφίστανται σημαντική και ενίοτε εξαιρετικά εκτραχυντική καταπόνηση. Οι μηχανισμοί βλάβης εξαρτώνται συνεπώς κυρίως από τον τύπο του φορτίου. Ανάλογα εάν πρόκειται για επιφάνεια που εκτίθεται σε κυλινδρικής μορφής εκτράχυνση, απότριψη ή άλλου είδους επιθετικής μορφής μηχανική καταπόνηση, υπάρχει διαφοροποίηση των πιθανών μοτίβων βλάβης, καθώς και των προληπτικών μέτρων που πρέπει να ληφθούν ανά περίπτωση.



ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ:

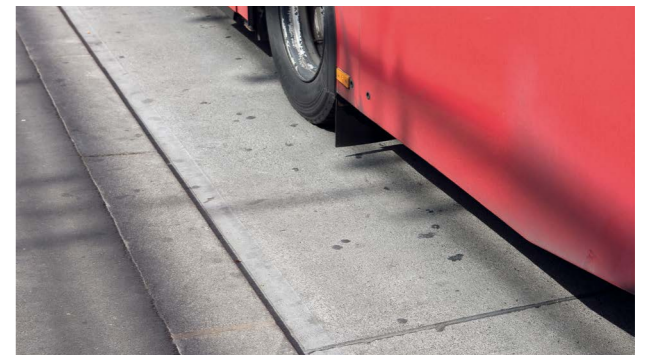
Συστατικά	Περιγραφή	Πρόταση
Αδρανή	Τα αδρανή που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να είναι της μέγιστης δυνατής σκληρότητας.	Αδρανή οποιουδήποτε μεγέθους μπορούν να χρησιμοποιηθούν
Τσιμέντο	Οποιοσδήποτε τύπος τσιμέντο πληροί τα ισχύοντα πρότυπα.	Στόχος είναι η χρήση όσο το δυνατόν λιγότερης τσιμεντόπαστας στο μείγμα
Πρόσθετα	Πυριτική παιπάλη για αυξημένη συνεκτικότητα	SikaFume® έως μέγιστα 8%
Νερό	Καθαρό νερό, χωρίς επιμολύνσεις	Λόγος Νερού/Τσιμέντο ανάλογα με τα πρότυπα σε ό,τι αφορά στην τάξη περιβαλλοντικής έκθεσης < 0,45
Πρόσμικτα σκυροδέματος	Υπερρευστοποιητής Ο τύπος του εξαρτάται από τις απαιτήσεις του μείγματος (εργασιμότητα, διατήρηση, πρώιμες αντοχές, κ.τ.λ.). Μεταλλικές ίνες	Sika® ViscoCrete® ή Sika® ViscoFlow® ή SikaPlast® 0,80 – 1,60% SikaFiber® Force 4 – 8 kg/m ³
Οδηγίες σκυροδέτησης	Βελτιωτικό ωρίμανσης	Προσεκτική τοποθέτηση και συμπίκνωση. Θα πρέπει να επακολουθεί μέθοδος ωρίμανσης για να διασφαλιστεί υψηλή ποιότητα (συνεκτικότητα και συνοχή) της επιφάνειας. Sika® Antisol®
Επιφανειακή επίστρωση	Επιφανειακός σκληρυντής για βελτίωση της επιφανειακής σκληρότητας Προστατευτική επίστρωση	SikaFloor® 0,3 – 1,5 mm

Πρότυπα αναφοράς, δημοσιεύσεις

- DAFStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ (2004)
- Betonabrasion im Wasserbau; Dr. Frank Jacobs; TFB Technische Forschung & Beratung für Zement und Beton, Wildeg Schweiz; TEC21 2004
- ACI 201.2R – 08 Guide to Durable Concrete, Chapter 8 – ABRASION
- ASTM C 779 – Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces
- ASTM C 1138 – Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete (Underwater Method)

Κατά την πάροδο των δεκαετιών και ακόμη και αιώνων, η έκθεση σε απότριψη μπορεί να επιφέρει τις βλάβες με τη μεγαλύτερη δυνατή ποικιλία μοτίβων. Τη μεγαλύτερη μορφή καταπόνησης αυτού του τύπου προκαλούν κυρίως η ποικιλία μεταξύ των κυλιόμενων φορτίων σε επιφάνειες με οδική κυκλοφορία, η βερία κυκλοφορία, συμπεριλαμβανομένων χαλύβδινων τροχών ή η έκθεση σε νερό, με ή χωρίς την πρόσθετη μεταφορά ιζήματος. Στις ζώνες κυκλοφορίας η ένταση, το βάρος και ο τύπος των τροχών είναι αποφασιστικής σημασίας για το συνολικό ασκούμενο φορτίο. Στην περίπτωση απότριψης λόγω νερού, σημαντικοί παράγοντες είναι η ταχύτητα ροής, η ποσότητα και ο τύπος των ιζημάτων. Προκειμένου να βελτιωθεί η αντοχή του σκυροδέματος σε απότριψη, στις περισσότερες περιπτώσεις η πρόβλεψη διαμόρφωσης σκληρής επιφάνειας αποτελεί την καταλληλότερη προσεγγιστική μέθοδο. Εάν, ωστόσο, ο χειρισμός της έκθεσης συμπεριλαμβάνει σημειακές κρούσεις ή κραδασμούς, τότε επιπλέον η ικανότητα απορρόφησης αυτών των μορφών καταπόνησης της επιφάνειας παίζει ρόλο και διαμορφώνει απαιτήσεις οι οποίες μπορεί να έρθουν σε αντίθεση με προληπτικά προστατευτικά μέτρα έναντι της καταπόνησης λόγω απότριψης. Η πιο κρίσιμη βασική αρχή των προληπτικών μέτρων είναι η εξειδικευμένη τοποθέτηση του σκυροδέματος (αποτροπή αυξημένης συγκέντρωσης λεπτών σωματιδίων στην επιφάνεια λόγω υπερβολικής δόνησης) και όσο το δυνατόν καλύτερη ωρίμανση, έτσι ώστε οι επιθυμητές ιδιότητες σκυροδέματος να μπορούν να είναι παρούσες κυρίως σε περιοχές κοντά στην επιφάνεια. Επιπλέον, η επιφάνεια πρέπει να προσφέρει τη χαμηλότερη δυνατή αντίσταση σε καταπόνηση λόγω εκτράχυνσης (τριψίμο). Επιφάνειες που είναι όσο το δυνατόν πιο επίπεδες προσφέρουν χαμηλή δυνατότητα για τέτοιου είδους καταπόνηση.

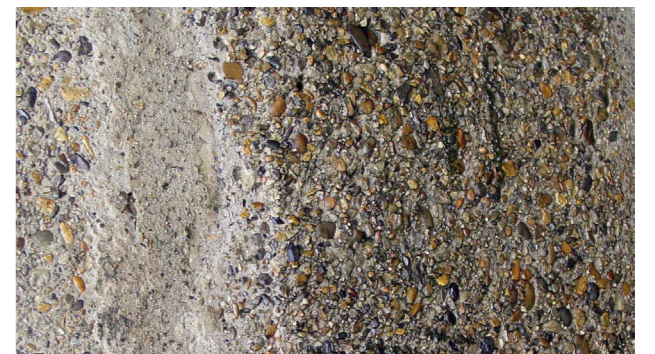
Η εξακρίβωση των μοτίβων ζημιών είναι μάλλον απλή και πραγματοποιείται με την εκτίμηση της τριψής που έχει λάβει χώρα στην επιφάνεια, της κατάστασης της τσιμεντοεπιμερίδας και των αδρανών κοντά στην επιφάνεια. Σκυρόδεμα με ενισχυμένη ή υψηλή αντοχή σε απότριψη πρέπει να σχεδιάζεται με θλιπτική αντοχή περίπου 50MPa. Η επιφάνεια μπορεί να ενισχυθεί σημαντικά έναντι της επιθετικής απότριψης μέσω της χρήσης πυριτικής παιπάλης και/ή επιφανειακού σκληρυντή. Προκειμένου να ενισχυθεί η αντοχή ενάντια σε κρούσεις ή σημειακές καταπονήσεις στην επιφάνεια, πρέπει να βελτιωθεί η σκληρότητα και η καμπτική αντοχή του σκυροδέματος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση ινών στο μείγμα του σκυροδέματος. Η ενσωμάτωση των ινών στο σκυρόδεμα θα βελτιώσει τη συνεκτικότητα της τσιμεντόπαστας, αλλά και επιπλέον θα ενισχύσει την πρόσφυση της με τα αδρανή του μείγματος. Τέλος, πρέπει να υπάρχει πρόσθετη διαφοροποίηση στο σχεδιασμό του μείγματος, αλλά και της σχεδιασμένης απόστασης, μεταξύ περιοχών που είναι κατασκευασμένες για να διευκολύνουν τη διασπορά της προσιπτόμενης ενέργειας. Σε αυτές τις περιοχές συνιστάται η χρήση υψηλής αντοχής, ισοπλισμένου με μεταλλικές ίνες σκυροδέματος, με θλιπτική αντοχή άνω των 80 MPa και αντίστοιχα υψηλή τιμή καμπτικής αντοχής. Κατά την κατασκευή πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό των ακμών. Είτε πρόκειται για αρμούς διαστολής σε αυτοκιντοδρόμους ή κατασκευαστικούς αρμούς σε υδραυλικές κατασκευές, αυτοί πρέπει συνήθως να χειρίζονται ειδικά - πρόβλεψη σωστής κατασκευής μόνο σε ό,τι αφορά στο σκυρόδεμα αποδεικνύεται συνήθως ανεπαρκής. Ειδικά προφίλ αρμών πρέπει να προβλέπονται και να ενσωματώνονται στην κατασκευή - συχνά κατασκευασμένα από χάλυβα.



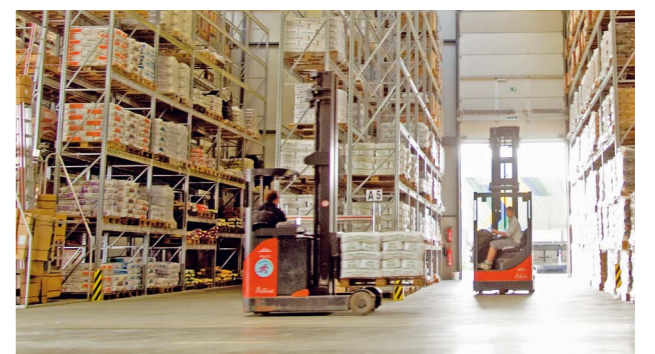
Οι αυτοκιντοδρόμοι από σκυρόδεμα και άλλοι δημόσιοι χώροι, ιδιαίτερα εκείνοι που αντιμετωπίζουν υψηλά επίπεδα όγκου κυκλοφορίας ή συγκεντρωμένα φορτία, υπόκεινται παράλληλα σε υψηλά μηχανικά φορτία αλλά επίσης και σε έντονη απότριψη, συχνά παρουσιάζοντας τον κίνδυνο μιας σμαλής, λείας επιφάνειας.



Ιδιαίτερα σε κατασκευές όπου το νερό πέφτει με ορμή, οι επιφάνειες από σκυρόδεμα υπόκεινται σε τεράστιες πρόσθετες καταπονήσεις από ρύπους, σκουπίδια, αιχμηρές ακμές και απότριψη, καθώς και πιθανές θερμικές καταπονήσεις λόγω έκθεσης σε παγετό.



Λόγω της συνεχούς έκθεσης, η λεπτή στρώση τσιμέντου διαβρώνεται σε αρχικό στάδιο και στη συνέχεια όλο και μεγαλύτερη επιφάνεια εκτεθειμένων αδρανών τρίβεται και τελικά αποκαλύπτεται από τη σκληρυμένη μάζα σκυροδέματος.



Οι επιφάνειες βιομηχανικών δαπέδων υπόκεινται επίσης σε έντονη απότριψη λόγω συνεχούς κύλισης τροχών και έντονων σημειακών φορτίων. Οι σκληρές βαφές σκυροδέματος και οι επιφανειακοί σκληρυντές μπορούν να βελτιώσουν την πρόσφυση των τροχών στο δάπεδο και να ελαχιστοποιήσουν τη φθορά.

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟ ΣΕ ΧΗΜΙΚΑ

ΤΟ ΝΕΡΟ ΕΙΝΑΙ ΠΗΓΗ ΖΩΗΣ καθώς και ένα σπάνιο αγαθό. Το καθαρό πόσιμο νερό πρέπει επομένως να προστατεύεται από τη μόλυνση, ενώ τα λύματα πρέπει να υποβάλλονται σε επεξεργασία πριν από τη διάθεσή τους σε σύστημα εκκένωσης. Τα ίδια τα λύματα καθώς και τα μέτρα επεξεργασίας τους συνεπάγονται χημική και βακτηριακή προσβολή για τις επιφάνειες από σκυρόδεμα. Μέσω συνετού προγραμματισμού και κατάλληλου σχεδιασμού μείγματος σκυροδέματος, οι επιφάνειες μπορούν να σχεδιαστούν για να παραμείνουν ανθεκτικές. Η αντοχή του σκυροδέματος σε χημική και μικροβιολογική προσβολή είναι ωστόσο περιορισμένη, και συνεπώς πρέπει να προβλεφθούν συστήματα προστασίας σε περίπτωση βαριάς έκθεσης.



ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ:

Συστατικά	Περιγραφή	Πρόταση
Αδρανή	Αδρανή οποιουδήποτε τύπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν	Αδρανή οποιουδήποτε μεγέθους μπορούν να χρησιμοποιηθούν
Τσιμέντο	Τσιμέντο ανθεκτικό σε θειικά Τσιμέντα με υψηλό περιεχόμενο σε ανθρακικό ασβέστιο Τσιμέντα που περιέχουν πυριτική πιαπάλη	Στόχος είναι η χρήση όσο το δυνατόν λιγότερης τσιμεντόπαστας στο μείγμα
Πρόσθετα	Silica fume, fly ash or ground granulated blast furnace slag	SikaFume® 3,0 – 6,0%
Νερό	Καθαρό νερό, χωρίς επιμολύνσεις	Λόγος Νερού/Τσιμέντο ανάλογα με τα πρότυπα < 0,45 σε ό,τι αφορά στην τάξη περιβαλλοντικής έκθεσης
Πρόσμικτα σκυροδέματος	Υπερρευστοποιητής Ο τύπος του εξαρτάται από τις απαιτήσεις του μείγματος (εργασιμότητα, διατήρηση, πρώιμες αντοχές, κ.τ.λ.).	Sika® ViscoCrete® ή Sika® ViscoFlow® ή SikaPlast® 0,80 – 1,60%
Ειδικά πρόσμικτα περιορισμού μικροβιολογικά επαγόμενης διάβρωσης		Sika® Control MIC 1 – 4%
Οδηγίες σκυροδέτησης		Προσεκτική τοποθέτηση και συμπίκνωση. Θα πρέπει να επακολουθεί μέθοδος ωρίμανσης για να διασφαλιστεί υψηλή ποιότητα (συνεκτικότητα και συνοχή) της επιφάνειας. Βελτιωτικό ωρίμανσης Sika® Antisol®
Σύστημα προστασίας	Η χημική αντοχή του σκυροδέματος είναι περιορισμένη. Εάν υπάρχει έκθεση που υπερβαίνει τα όρια, οι επιφάνειες από σκυρόδεμα μπορούν να προστατευθούν με χρήση ειδικών επιστρώσεων.	Η Sika διαθέτει ευρεία γκάμα λύσεων για αποτροπή της διείσδυσης χημικών στο σκυρόδεμα. Λύση Sika: Sikagard®, Sikafloor® & Sikalastic®

Πρότυπα αναφοράς, δημοσιεύσεις

- ACI 201.2R – 08 Guide to Durable Concrete, Chapter 6 - Chemical attack
- ASTM C 88 - Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate
- Cemsis Leaflet MB 01 Concrete erosion in biological basins in wastewater treatment facilities June 2010
- Chemischer Widerstand: DAFStb-Richtlinie, Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (2004)

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ ΑΠΟ 100 ΧΡΟΝΙΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Το νερό έχει τη μέγιστη αξία όταν χρησιμοποιείται για άρδευση γεωργικών καλλιεργειών και ως πόσιμο νερό. Παράλληλα με αυτές τις εφαρμογές, το νερό χρησιμοποιείται στη βιομηχανία, στη γεωργία, ως μέσο μεταφοράς και με ποικίλους άλλους τρόπους στην καθημερινή ζωή. Νερό και άλλα υγρά αντλούνται μέσω αγωγών και αποθηκεύονται σε δεξαμενές - αυτό ισχύει τόσο για το καθαρό νερό, όσο και για τα λύματα. Συνήθως οι δεξαμενές που χρησιμοποιούνται για αποθήκευση του πόσιμου νερού και του καθαρισμού των λυμάτων, και συχνά οι αγωγοί μεταφοράς, κατασκευάζονται από σκυρόδεμα. Πάνω απ' όλα στην επεξεργασία λυμάτων στις δεξαμενές καθίζησης, στις αερόβιες διεργασίες (αποσύνθεση οργανικών ουσιών), στη νιτροποίηση και απονιτροποίηση (μετατροπή αλουμινίου και νιτρικού άλατος) ή ακόμη και στη διαδικασία καθαρισμού, το σκυρόδεμα είναι κρίσιμο δομικό υλικό. Η πρόκληση λοιπόν είναι να σχεδιαστούν αυτές οι κατασκευές σκυροδέματος για να αντέχουν την έκθεση σε διάφορες χημικές ουσίες και ταυτόχρονα τις συνακόλουθες μηχανικές καταπονήσεις. Η χημική και μικροβιολογική ανθεκτική σύνθεση σκυροδέματος, η τακτική συντήρηση και ο καθαρισμός των δεξαμενών, πρέπει να είναι προσαρμοσμένες μεταξύ τους. Σε χώρους όπου η χημική αντοχή του σκυροδέματος είναι ανεπαρκής, πρέπει να υποστηριχθεί με εφαρμογή κατάλληλων προστατευτικών επιστρώσεων και βαφών. Η χημική αντοχή σε αυτή την περίπτωση σημαίνει αντοχή στη διάβρωση και στην αποσάθρωση του σκυροδέματος. Παράλληλα με τους γνωστούς τύπους καταστροφικής επίθεσης, όπως η ναοπιληξία (με και χωρίς παγολυτικά άλατα), η αλκαλοπυριτική αντίδραση (αντίδραση αλκαλικού πυριτίου), η έκθεση σε θειικά άλατα και η επιφανειακή απότριψη, ιδιαίτερα στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, η επιθετικότητα των χημικών και διαλυτών είναι περισσότερο κρίσιμη. Το νερό που επεξεργάζεται στις εγκαταστάσεις αυτές, ωστόσο, ποικίλει ιδιαίτερα για να μπορούμε να περιγράψουμε την επίθεση στις επιφάνειες από σκυρόδεμα ως ενιαία και σταθερή. Ιδιαίτερη σημασία, εκτός από τη γενική ποιότητα του νερού, έχει και η σκληρότητά του (°fh). Από τη μία πλευρά η επιφάνεια του σκυροδέματος εκτίθεται σε ένα κοκτέιλ χημικών ουσιών, ενώ από την άλλη υφίσταται και μηχανική καταπόνηση (π.χ. καθαρισμός υψηλής πίεσης). Με αυτόν τον τρόπο ξεπλένονται τα λεπτά υλικά που έχουν ήδη διαλυθεί, αλλά παραμένουν προσκολλημένα μέσα στη δομή του σκυροδέματος. Αυτή η όλη διαδικασία επιταχύνεται επιπρόσθετα με τη διαδικασία μείωσης της σκληρότητας του νερού (σκληρότητα <15°fh ή 8,4°dH) και μείωση του pH στην επιφάνεια του σκυροδέματος (π.χ. σε βιοφίλμ). Ο σχεδιασμός του σκυροδέματος, η ωρίμανση και κυρίως ο καθαρισμός της επιφάνειας πρέπει να προσαρμόζονται στην αντίστοιχη καταπόνηση. Ενώ για αντοχή σε μηχανικό καθαρισμό μία σκληρή και συμπαγής επιφάνεια σκυροδέματος θεωρείται βέλτιστη, για καταπονήσεις που προκαλούνται από χημικό καθαρισμό, είναι καλύτερη η ανεκτικότητα που διαθέτει ένα σκυρόδεμα με υψηλή περιεκτικότητα σε ασβεστίτη. Η χημική αντοχή του σκυροδέματος είναι περιορισμένη. Εάν τα γίνει υπέρβαση των ορίων έκθεσής του, οι επιφάνειες από σκυρόδεμα μπορούν να προστατευθούν μόνο με κατάλληλες επιστρώσεις.



Βαριά έκπλυση και βλάβη του δομικού σκυροδέματος παρατηρείται ιδιαίτερα στις ζώνες ψεκασμού και αυξομείωσης στάθμης των δεξαμενών βιολογικής επεξεργασίας.

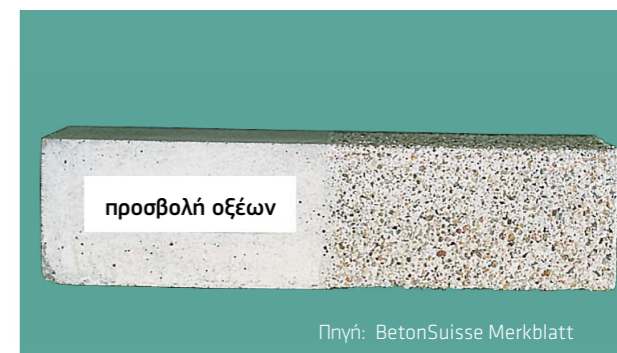


Οι προστατευτικές επιστρώσεις με βάση εποξειδική ρητίνη εφαρμόζονται σε ολόκληρη την επιφάνεια, ακολουθούμενες από επαναδιαμόρφωση της επιφάνειας σκυροδέματος με ανθεκτικό σε θειικά επισκευαστικό κονίαμα τροποποιημένο με πολυμερή.



Πηγή: BetonSuisse Merkblatt

Η προσβολή από θειικά προκαλείται κυρίως από τα θειικά άλατα που διαλύονται στο νερό. Μέσω της αντίδρασής τους με τη σκληρυμένη τσιμεντόπαστα, προκαλείται αύξηση του όγκου που καταστρέφει τη δομή.



Πηγή: BetonSuisse Merkblatt

Οι επιθέσεις όξινων διαλυμάτων που καταστρέφουν τις ενώσεις ασβεστίου από τη σκληρυμένη τσιμεντόπαστα μπορούν να προκληθούν από οξέα, ανταλλάγματα άλατα, φυτικά ή ζωικά λίπη ή έλαια. Η υποβάθμιση της ποιότητας του σκυροδέματος λαμβάνει χώρα συνήθως με πολύ αργό ρυθμό.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ ΑΠΟ 100 ΧΡΟΝΙΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΥΨΗΛΩΝ ΑΝΤΟΧΩΝ

ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΥΨΗΛΩΝ ΚΑΙ ΥΠΕΡΥΨΗΛΩΝ ΑΝΤΟΧΩΝ δεν είναι μόνο τεχνολογία αιχμής για την επιστημονική έρευνα, αλλά επίσης συνεχίζει να βρίσκει και νέες εφαρμογές στην πράξη. Είτε αφορά στο πάχος των κατασκευαστικών στοιχείων (π.χ. σχεδιασμός λεπτών στοιχείων) ή στη διαστασιολόγηση σε ακραίες συνθήκες (π.χ. σεισμικές καταπονήσεις), οι υψηλές και υψηλότερες ιδιότητες υλικού (αντοχή σε θλίψη και κάμψη, ελαστικότητα και ολκιμότητα) αποτελούν αντικείμενο τεχνολογίας σκυροδέματος. Η ανθεκτικότητα και η υψηλή αντοχή σκυροδέματος συνεπώς αλληλοεξαρτώνται.



ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ:

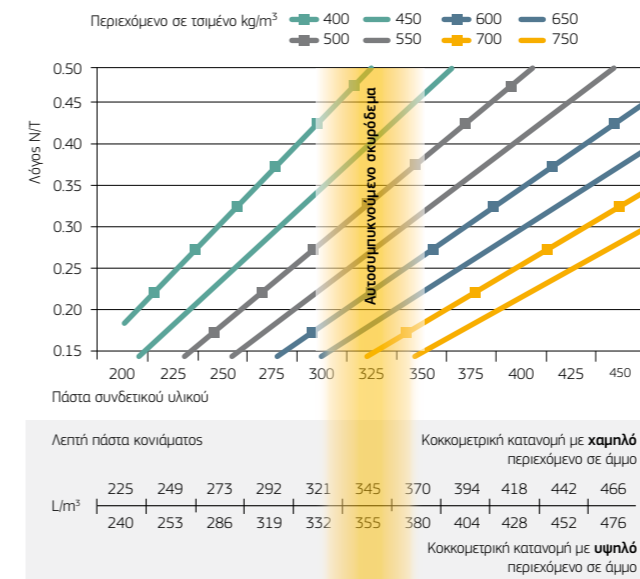
Συστατικά	Περιγραφή	Πρόταση
Αδρανή	Κορυφαία αντοχή μπορεί να επιτευχθεί με χρήση υψηλών αντοχών, θραυστών αδρανών	Κοκκομετρική καμπύλη ομαλής κατανομής και χαμηλό περιεχόμενο σε λεπτά
Τσιμέντο	Χρήση υψηλού περιεχόμενου τσιμέντου υψηλής αντοχής	Μερική αντικατάσταση τσιμέντου με σκωρία υψικαμίνων ή ιπτάμενη τέφρα
Πρόσθετα	Αυξημένη πρόσφυση μεταξύ αδρανών και τσιμεντόπαστας Χρήση πυριτικής παιπάλης	SikaFume® 5,0–10,0%
Νερό	Καθαρό νερό, χωρίς επιμολύνσεις	Λόγος Νερού/Τσιμέντο ανάλογα με τα πρότυπα σε ό,τι αφορά στην τάξη περιβαλλοντικής έκθεσης < 0,38
Πρόσμικτα σκυροδέματος	Υπερρευστοποιητής Ο τύπος του εξαρτάται από τις απαιτήσεις του μείγματος (εργασιμότητα, διατήρηση, πρώιμες αντοχές, κ.τ.λ.). Ίνες	Sika® ViscoCrete® 1,0–4,0% SikaFiber® (μεταλλικές) έως 150 kg/m ³
Οδηγίες σκυροδέτησης	Η ωρίμανση ξεκινά όσο το δυνατόν συντομότερα και παρατείνεται για δύο ημέρες σε στοιχεία σε εσωτερικούς χώρους ή για τρεις ημέρες σε στοιχεία σε εξωτερικούς χώρους, ιδιαίτερα σε μείγματα όπου έχει γίνει χρήση πυριτικής παιπάλης. Βελτιωτικό ωρίμανσης	Προσεκτική τοποθέτηση και συμπίκνωση. Θα πρέπει να επακολουθεί μέθοδος ωρίμανσης για να διασφαλιστεί υψηλή ποιότητα (συνεκτικότητα και συνοχή) της επιφάνειας. Sika® Antisol®

Πρότυπα αναφοράς, δημοσιεύσεις

– ACI 211.4R - Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cementitious and Other Cementitious Materials
– Technische Universität München, Hochfester Beton, 2004

Το σκυρόδεμα υψηλής αντοχής (High Strength Concrete) συνήθως ορίζεται από τη θλιπτική αντοχή του που κυμαίνεται μεταξύ 60 και 120MPa στις 28 ημέρες. Το σκυρόδεμα υπερυψηλής αντοχής (Ultra High Strength Concrete) έχει θλιπτική αντοχή πολύ περισσότερη των 150 MPa. Τα σκυροδέματα υψηλής αντοχής χαρακτηρίζονται από αυξημένη θλιπτική, εφελκυστική και καμπτική αντοχή, καθώς και ολκιμότητα, σε συνδυασμό με ενισχυμένη ανθεκτικότητα. Πυκνή τσιμεντόπαστα και με εξαιρετικά χαμηλή διαπερατότητα είναι χαρακτηριστικά που βελτιώνουν την αντοχή του σκληρυμένου σκυροδέματος. Επιπλέον, το σκυρόδεμα υψηλής αντοχής παρουσιάζει σημαντικά αυξημένη πρόσφυση μεταξύ της μήτρας του συνδετικού υλικού και των αδρανών. Υψηλότερη πυκνότητα συνδετικού υλικού επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας χαμηλό λόγο Νερού/Συνδετικό υλικό. Η πρόσφυση μεταξύ του συνδετικού υλικού και των αδρανών ενισχύεται μέσω της χρήσης ποζολανικών υλικών. Η συνολική συρρίκνωση αυτού του σκυροδέματος (συγκεκριμένα η χημική συρρίκνωση είναι υψηλότερη του συμβατικού, αλλά η συστολή ξήρανσης είναι χαμηλότερη). Οι παραμορφώσεις λόγω ερπυσμού είναι μειωμένες. Οι προκλήσεις είναι παρούσες σε όλη τη διαδικασία παραγωγής σκυροδεμάτων αυτού του τύπου. Ειδικά μείγματα με υψηλές συγκεντρώσεις συμβατικών α' υλών (τσιμέντα, πρόσθετα ή ίνες) και άλλων υλικών που προηγουμένως δεν ήταν γνωστή η χρήση τους στο σκυρόδεμα (κεραμικά αδρανή) πολύ συχνά σχεδιάζονται ως αυτοσυμπυκνούμενα. Τα πρόσμικτα σκυροδέματος δεν έχουν μόνο στόχο την εξαιρετικά υψηλή μείωση νερού. Η ρεολογική συμπεριφορά τέτοιων "σκληρών" μειγμάτων αποτελεί επίσης μια μεγάλη πρόκληση.

Το υψηλής αντοχής σκυρόδεμα προσφέρει ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων, λόγω των ευέλικτων τεχνικών χαρακτηριστικών του. Το βασικό πεδίο εφαρμογής του σήμερα είναι στο προκατασκευασμένο σκυρόδεμα. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για στοιχεία υψηλής θλιπτικής αντοχής, όπως υποστυλώματα και τοίχοι σε πολυώροφα κτίρια, ειδικά σε περιοχές εκτεθειμένες σε σεισμικές καταπονήσεις. Επιπλέον, απαιτούνται συχνά κατασκευές γεφυρών σχεδιασμένες με προεντεταμένο σκυρόδεμα με αυξημένη θλιπτική αντοχή. Με χρήση σκυροδεμάτων αυτών των προδιαγραφών διευκολύνεται ιδιαίτερα η κατασκευή γέφυρων με μεγάλο άνοιγμα και λεπτά στοιχεία.



Σε περιπτώσεις θλιπτικής αντοχής πάνω από 150 Μpa δεν αναφερόμαστε πλέον σε συμβατικό σκυρόδεμα. Τα κλασικά αδρανή για παράδειγμα έχουν αντικατασταθεί από λεπτά αδρανή κεραμικής προέλευσης και ολόκληρη η μήτρα του συνδετικού υλικού μόνο αμυδρά θυμίζει το κλασικό σκυρόδεμα. Στην εικόνα φαίνεται η ρεολογική συμπεριφορά ενός σκυροδέματος υψηλής επιτελεστικότητας αντοχής της τάξης των 200 ΜPa.



Τα κατασκευαστικά στοιχεία που υφίστανται έντονη καταπόνηση, όπως τα υποστυλώματα και οι δοκοί είναι κατασκευασμένα από σκυρόδεμα υψηλής αντοχής. Η υψηλή ανθεκτικότητά του σε εξωτερικές επιδράσεις καθιστά το σκυρόδεμα υψηλής αντοχής ιδανικό για εκτεθειμένα δομικά στοιχεία.

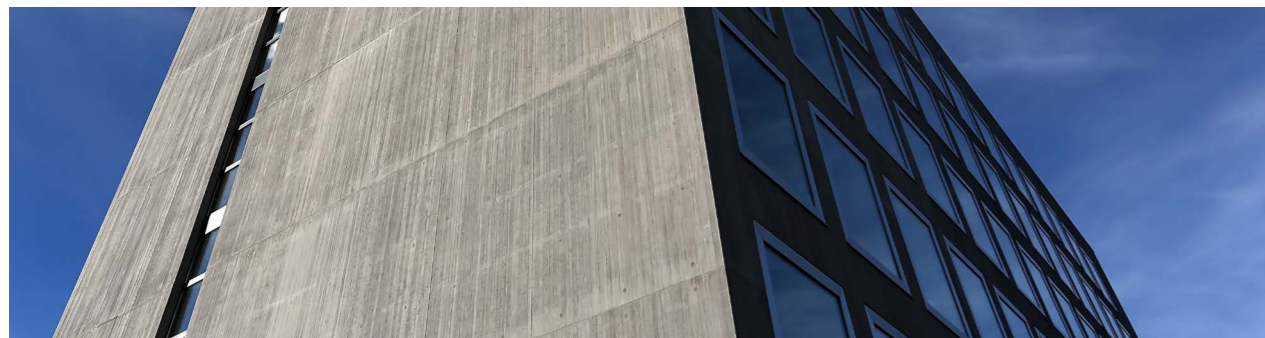
Οι κατασκευές που πρέπει να ανθίστανται σε ορισμένες σοβαρές καταπονήσεις απαιτούν χρήση σκυροδέματος υψηλής αντοχής. Παραδείγματα αποτελούν στοιχεία που υπόκεινται σε υψηλή μηχανική και χημική καταπόνηση, όπως βιομηχανικά δάπεδα, περιοχές κυκλοφορίας, υπεράκτιες κατασκευές ή εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Επιπλέον, απαιτείται σκυρόδεμα υψηλής αντοχής στην κατασκευή ειδικών κατασκευών όπως τα εργοστάσια παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας, οι πύργοι ψύξης ή οι καμινάδες.



Το υψηλής αντοχής και πάνω απ' όλα το υπερυψηλής αντοχής σκυρόδεμα είναι πρακτικά πάντα ενισχυμένο με ίνες (ινοπλισμένο). Ανάλογα με τις απαιτήσεις, χρησιμοποιούνται συνθετικές και/ή μεταλλικές ίνες σε μεγάλη ποσότητα. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί υψηλή καμπτική αντοχή του σκυροδέματος υψηλής επιτελεστικότητας. Κεντρικές σημασίες για την επίτευξη υψηλών μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού είναι ο στοχοθετημένος προσδιορισμός της έννοιας των λεπτών υλικών και του όγκου της πάστας τσιμέντου. Μόνο με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί η υψηλότερη δυνατή πυκνότητα της μάζας του σκυροδέματος.

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ

Η ΠΡΟΛΗΨΗ ΤΩΝ ΡΩΓΜΩΝ συμβάλλει στην ανθεκτικότητα των κατασκευών από σκυρόδεμα, επειδή οι ρωγμές θα προάγουν την είσοδο νερού και ρύπων στην κατασκευή. Οι υφιστάμενοι κατασκευαστικοί κώδικες ορίζουν όρια για το πλάτος των ρωγμών ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες θα εκτεθεί μία κατασκευή και την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής της. Ένας βασικός λόγος για την εμφάνιση ρωγμών στο σκυρόδεμα οφείλεται στη συρρίκνωση που σχετίζεται με την παραμόρφωσή του σε μικρή ηλικία. Αυτές οι ρωγμές όχι μόνο υπονομεύουν την αισθητική εμφάνιση, αλλά μπορούν να μειώσουν την αντοχή καθώς και τη λειτουργικότητα ενός στοιχείου σκυροδέματος. Υπάρχουν διάφοροι τύποι συρρίκνωσης και με τα σωστά μέτρα, τα διάφορα φαινόμενα μπορούν να ελεγχθούν.



ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ:

Συστατικά	Περιγραφή	Πρόταση
Αδρανή	Μεγάλος προβλεπόμενος όγκος αδρανών μπορεί να περιορίσει τη συστολή ξήρανσης	Αδρανή όλων των μεγεθών μπορούν να χρησιμοποιηθούν
Τσιμέντο	Προτιμώμενα τα συνδετικά υλικά με χαμηλό περιεχόμενο σε κλίνκερ	Στόχος είναι η χρήση όσο το δυνατόν λιγότερης τσιμεντόπαστας στο μείγμα
Νερό	Το χαμηλό περιεχόμενο σε νερό είναι προτιμώμενο για να περιορίσει την πλαστική συρρίκνωση και τη συρρίκνωση ξήρανσης. Σε περιπτώσεις λόγου N/T < 0,4 μπορεί να λάβει χώρα αυτογενής συρρίκνωση.	Λόγος N/T < 0,45
Πρόσμικτα σκυροδέματος	Υπερρευστοποιητές Ο τύπος του εξαρτάται από τις απαιτήσεις του μείγματος (εργασιμότητα, διατήρηση, πρώιμες αντοχές, κ.τ.λ.). Πρόσμικτο μείωσης συρρίκνωσης Οι ίνες πολυπροπυλενίου μικρού μήκους μπορούν να μειώσουν το φαινόμενο της πλαστικής συρρίκνωσης. Οι μεταλλικές ίνες θα διασφαλίσουν ομοιόμορφη κατανομή των ρωγμών. Οι συνθετικές μακροίνες μπορούν να συνεισφέρουν στη γεφύρωση των ρωγμών χάρις στην υψηλή ενέργεια παραμόρφωσής τους.	Sika® ViscoCrete® ή Sika® ViscoFlow® ή SikaPlast® 0,80 – 1,50% Sika® Control ή SikaFiber® PP 0,5 – 1,5% 1 – 3 kg/m ³ SikaFiber® (μεταλλικές) 20 – 40 kg/m ³ SikaFiber® Force 4 – 8 kg/m ³
Οδηγίες σκυροδέτησης και ωρίμανσης	Η ωρίμανση θα πρέπει να ξεκινά το δυνατόν συντομότερα και να παρατείνεται για όσο χρονικό διάστημα θα έχει σημαντική επιρροή στην πλαστική ξήρανση και συστολή ξήρανσης. Βελτιωτικό ωρίμανσης	Προσεκτική τοποθέτηση και συμπίκνωση. Θα πρέπει να επακολουθεί μέθοδος ωρίμανσης για να διασφαλιστεί υψηλή ποιότητα (συνεκτικότητα και συνοχή) της επιφάνειας. Sika® Antisol®

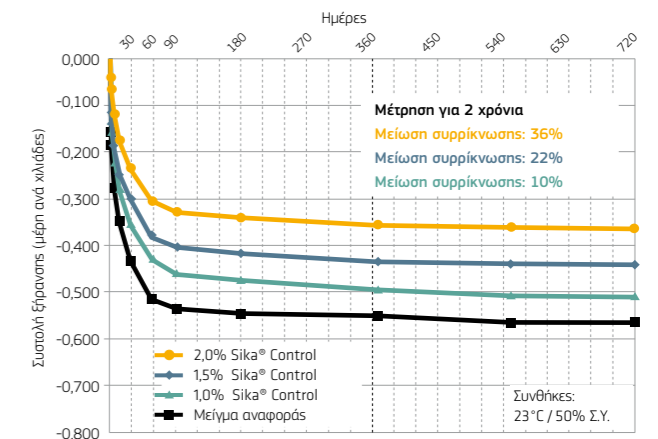
Πρότυπα αναφοράς, δημοσιεύσεις

- Aitcin, P.C et Al, Integrated view of shrinkage deformation, Concrete International, September, 1997.
- Al-Manaseer, Akthem et Al, conclusions of the ACI-RILEM Workshop on Creep and Shrinkage in Concrete Structures, ACI Concrete International, March, 1999.
- Helene, Paulo R.L, Carbonatación del Concreto y corrosión del acero de refuerzo. Asocreto, Memorias de la Reunión del Concreto, Cartagena, Septiembre 2000.
- Neville, Adams, Tecnología del concreto, IMCYC, México, 1984, Book 2.
- ACI 223R – Standard Practice for the Use of Shrinkage-Compensating Concrete

Η πρόληψη των ρωγμών συρρίκνωσης απαιτεί εξέταση πολλών παραγόντων που αρχίζουν με κατάλληλο δομικό σχεδιασμό και προδιαγραφές του σκυροδέματος και ολοκληρώνονται με καλή κατασκευή συμπεριλαμβανομένης της σωστής τοποθέτησης του σκυροδέματος, της συμπίκνωσης και της προσεκτικής ωρίμανσης. Η ταυτοποίηση διαφορετικών τύπων συρρίκνωσης οδηγεί στη λήψη κατάλληλων μέτρων όσον αφορά στη συγκεκριμένη τεχνολογία σκυροδέματος. Τύποι συρρίκνωσης σκυροδέματος περιλαμβάνουν τη χημική συρρίκνωση, την πλαστική συρρίκνωση, την αυτογενή συρρίκνωση, τη συρρίκνωση (συστολή) ξήρανσης και τη συρρίκνωση λόγω ενανθράκωσης. Οι πιο σημαντικοί τύποι με τις πιο σοβαρές επιπτώσεις είναι η χημική συρρίκνωση, η πλαστική συρρίκνωση και η συστολή ξήρανσης. Στην περίπτωση της χημικής συρρίκνωσης, τα προϊόντα ενυδάτωσης που έχουν παραχθεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ενυδάτωσης καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο από το συνολικό όγκο των αντιδρώντων υλών. Αυτό οδηγεί σε μείωση των συνολικών διαστάσεων των στοιχείων σκυροδέματος για όσο διάστημα το σκυρόδεμα είναι ακόμα μαλακό. Μετά την πήξη του σκυροδέματος, αυτή η μείωση του όγκου δημιουργεί μικρούς πόρους και ρωγμές. Ένα αποτελεσματικό μέτρο είναι η επανα-δόνηση του σκυροδέματος. Η πλαστική συρρίκνωση εκδηλώνεται μέσω μειώσεων του όγκου που προκαλείται από την εξάτμιση του νερού, οδηγώντας σε συστολή του σκυροδέματος προς όλες τις κατευθύνσεις. Το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της συρρίκνωσης λαμβάνει χώρα σε πρώιμα ηλικιακά στάδια σκυροδέματος και κυρίως στην οριζόντια διάσταση, κυρίως δηλαδή στην επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με τον αέρα. Αυτός είναι ένας από τους πιο κοινούς και σημαντικούς τύπους συρρίκνωσης. Οι παράγοντες που τον επηρεάζουν είναι η σχετική υγρασία, η θερμοκρασία και η ταχύτητα του ανέμου. Αυστηρότερες συνθήκες ξήρανσης αυξάνουν την τιμή συρρίκνωσης. Η παραμόρφωση της συρρίκνωσης διπλασιάζεται σε ταχύτητα ανέμου 1 m/s και είναι πέντε φορές υψηλότερη σε ταχύτητες ανέμου 3 m/s. Η πλαστική συρρίκνωση μπορεί να ελεγχθεί με την έναρξη της ωρίμανσης όσο το δυνατόν νωρίτερα, καθώς και τον περιορισμό της περιεκτικότητας σε νερό του μείγματος σκυροδέματος. Η αυτογενής συρρίκνωση αποτελεί μεταβολή του όγκου που εμφανίζεται μετά την αρχική πήξη του σκυροδέματος λόγω της ενυδάτωσης, δεδομένου ότι αυτή η διαδικασία απαιτεί νερό και συνεπώς μειώνει το εσωτερικά ελεύθερο νερό. Έχει το ίδιο αποτέλεσμα με την απώλεια νερού που προκαλείται από την επιφανειακή εξάτμιση (το σκυρόδεμα συρρικνώνεται). Μείγματα σκυροδέματος που έχουν λόγο Νερό/Τσιμέντο > 0,4 δεν επηρεάζονται από αυτό το φαινόμενο. Αυτό το είδος συρρίκνωσης αποκτά μεγαλύτερη σημασία με τη χρήση τύπων σκυροδέματος υψηλής αντοχής με πολύ χαμηλό λόγο Νερό/Τσιμέντο. Η συρρίκνωση ξήρανσης στο σκληρυμένο σκυρόδεμα συνήθως προκαλείται από εξάτμιση του νερού μέσω των υφιστάμενων τριχοειδών πόρων στην ενυδατωμένη τσιμεντόπαστα, ενώ το σκυρόδεμα συρρικνώνεται σε όλο του τον όγκο (όχι μόνο στην επιφάνεια). Η απώλεια νερού είναι μια προοδευτική διαδικασία που τείνει να σταθεροποιηθεί με το χρόνο, ανάλογα με τις διαστάσεις του δομικού στοιχείου. Οι κυριότεροι παράγοντες επηρεασμού είναι οι διαστάσεις του στοιχείου σκυροδέματος, η σχετική υγρασία περιβάλλοντος και ο λόγος Νερό/Τσιμέντο. Πιθανά μέτρα περιλαμβάνουν τη μείωση του όγκου της τσιμεντόπαστας και τη χρήση προσμίκτου μείωσης συρρίκνωσης.



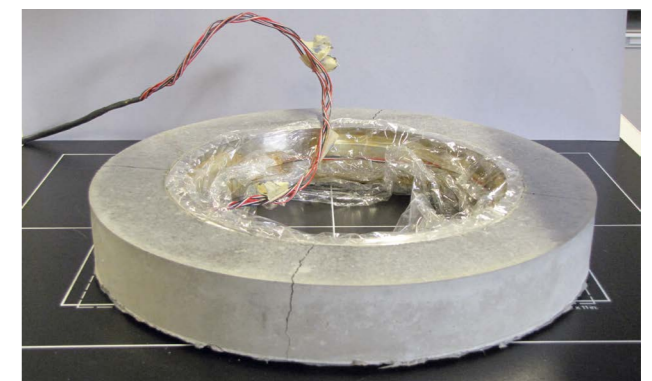
Η άμεση κάλυψη ή η ωρίμανση με άλλα μέσα των εκτεθειμένων επιφανειών από σκυρόδεμα αποτελεί το σημαντικότερο βήμα για την προστασία τους.



Συμπεριφορά συρρίκνωσης του σκυροδέματος που περιέχει πρόσμικτα μείωσης της συρρίκνωσης, μετρούμενη για 2 χρόνια για να ολοκληρωθεί η συρρίκνωση λόγω ξήρανσης.

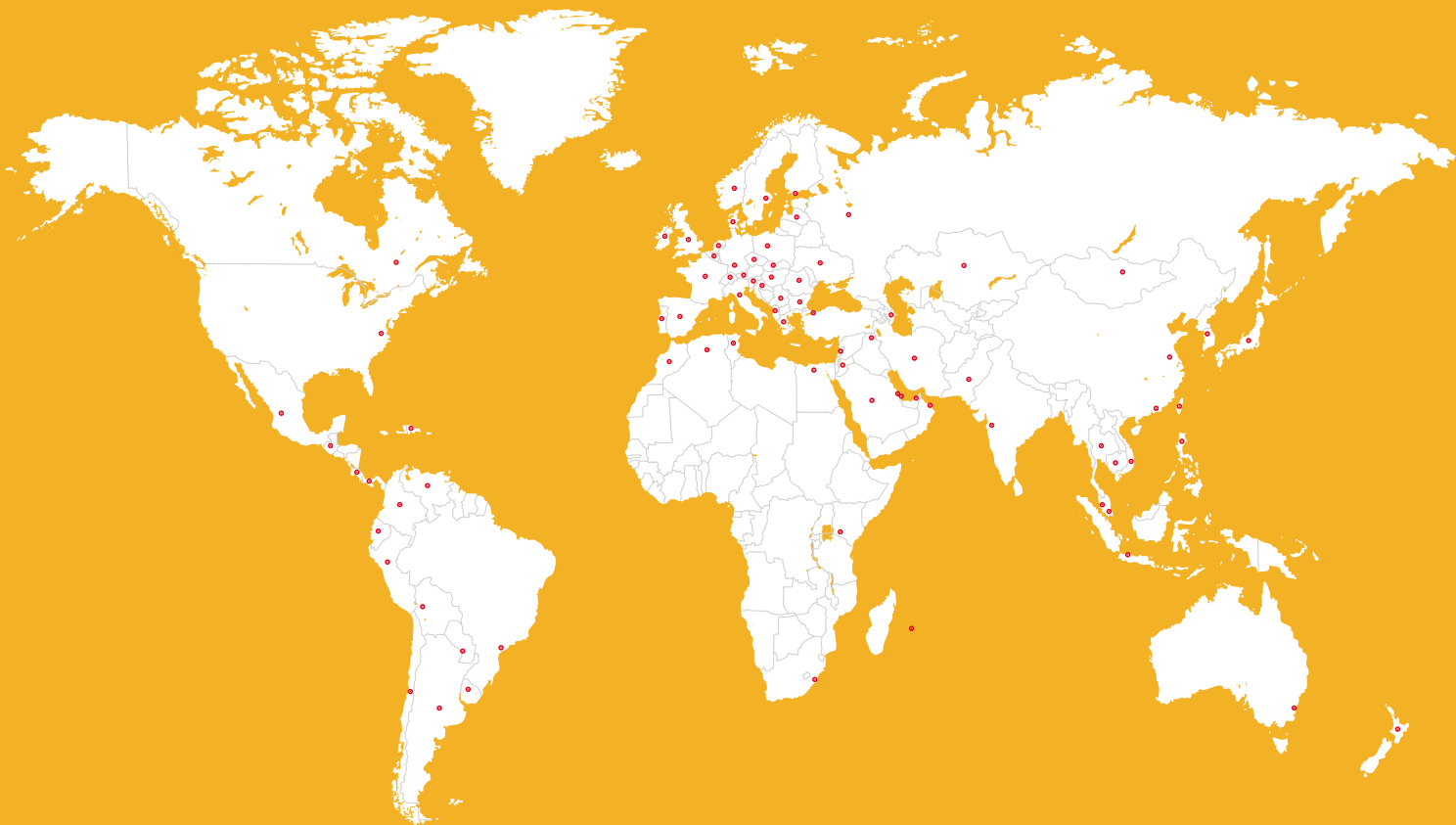


Ρωγμές λόγω πλαστικής συρρίκνωσης σε συγκεκριμένο οδόστρωμα που προκλήθηκε από ανεπαρκή προστασία της επιφάνειας από την πρόωξη ξήρανση.



Διεργαστηριακή σύγκριση από πειράματα στο Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο Τεχνολογίας στη Ζυρίχη για να καθοριστεί η απόδοση των προσμίκτων μείωσης της συρρίκνωσης σκυροδέματος.

ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑ - ΤΟΠΙΚΗ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ



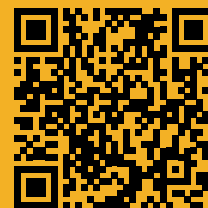
SIKA HELLAS ABEE

Η Sika AG ιδρύθηκε το 1910 και με έδρα την Ελβετία, είναι πλέον μια παγκοσμίου εμβέλειας εταιρεία εξειδικευμένων χημικών προϊόντων. Είναι προμηθευτής στο χώρο της οικοδομής και των κατασκευών, καθώς και στις βιομηχανίες παραγωγής και συναρμολόγησης αυτοκινήτων, λεωφορείων, φορτηγών, τρένων, αιολικής και ηλιακής ενέργειας, υλικών κτιριακών πρόσδεσμων κ.α. Η Sika είναι πρωτοπόρος σε υλικά που χρησιμοποιούνται στους τομείς της σφράγισης, συγκόλλησης, απόσβεσης, ενίσχυσης και προστασίας φερουσών κατασκευών. Η σειρά προϊόντων της Sika περιλαμβάνει υψηλής ποιότητας πρόσμικτα σκυροδέματος, εξειδικευμένα κονιάματα, σφραγιστικά και συγκολλητικά, υλικά ενισχύσεων και απόσβεσης δονήσεων, συστήματα δομτικής ενίσχυσης, βιομηχανικά δάπεδα, καθώς και συστήματα μόνωσης δωματίων και υπογείων.

Η Sika Hellas ιδρύθηκε το 1995. Έκτοτε, κατάφερε να τοποθετηθεί στις πρώτες επιλογές του Έλληνα μηχανικού για την επίλυση εξειδικευμένων προβλημάτων. Η εισαγωγή στην αγορά πρωτοποριακών υλικών, η διασφαλισμένη ποιότητα των προϊόντων της & η άρτια τεχνική υποστήριξη είναι τα βασικά χαρακτηριστικά της εταιρικής της ταυτότητας. Η εμπειρία της στην επίλυση τεχνικών προκλήσεων την έχει φέρει παρούσα στα πιο σπουδαία έργα. Μέσω της στενής συνεργασίας με τον τεχνικό & εμπορικό κόσμο σε όλη την Ελλάδα, η Sika Hellas επιτυγχάνει να μεταφέρει αυτήν την τεχνολογία αιχμής ακόμα και στο πιο απομακρυσμένο εργοτάξιο.



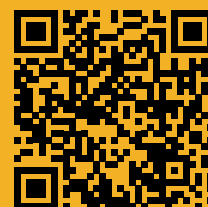
www.sika.gr



Sika Mobile Apps



Sika Social Media



Sika Smart City

Sika Hellas ABEE
Πρωτομαγιάς 15
145 68, Κρυονέρι
Αττική, Ελλάδα

Επικοινωνία
Τηλ. + 30 210 81 60 600
Fax + 30 210 81 60 606
Mail: sika@gr.sika.com



Τεχνική Εξυπηρέτηση
801 - 700 - 7452

BUILDING TRUST

