

# Συνθετικές ίνες στο έτοιμο σκυρόδεμα

## Τι είναι το ινοπλισμένο σκυρόδεμα;

Το σκυρόδεμα ειδικής σύνθεσης, στο οποίο πλέον των συνήθων συστατικών του (τσιμέντο, αδρανή, νερό, πρόσμικτα) ενσωματώνονται διασκορπισμένες ίνες με σκοπό τη βελτίωση των μηχανικών του χαρακτηριστικών, όπως η εφελκυστική αντοχή του, η αντίσταση σε ρηγμάτωση και η αντοχή σε κρούσεις και κόπωση.

## Είδη και κατηγορίες ινών για ινοπλισμένο σκυρόδεμα

Βάσει του Ευρωπαϊκού προτύπου EN 14889 οι ίνες που χρησιμοποιούνται κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το είδος του υλικού τους σε χαλύβδινες και συνθετικές. Οι χαλύβδινες ίνες περιγράφονται στο πρότυπο EN 14889-1 και οι συνθετικές στο EN 14899-2. Βάσει αμερικανικών προτύπων ταξινομούνται ομοίως σε χαλύβδινες και συνθετικές. Το ASTM A820/A820M-16 αφορά τις χαλύβδινες ίνες και το ASTM D7508/D750M τις συνθετικές.

Ανάλογα με τη γεωμετρία τους, και συγκεκριμένα τη διάμετρο της διατομής τους, ταξινομούνται σε:

- **μικροΐνες με διάμετρο < 0,30 mm**
- **μακροΐνες με διάμετρο > 0,30 mm**

Οι μικροΐνες, χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο μικρορωγμών και τη μείωση της πλαστικής συρρίκνωσης, καθώς λειτουργούν νωρίς χρονικά, κατά τη φάση πήξης του σκυροδέματος, και δεν αντικαθιστούν σε καμία περίπτωση τον χαλύβδινο οπλισμό. Αντίθετα, οι μακροΐνες λειτουργούν αργότερα χρονικά, συνήθως μετά την πήξη του σκυροδέματος όπου, κατά τη δημιουργία ρωγμών, ανακόπτουν την εξάπλωσή τους και ελέγχουν το εύρος τους, αυξάνοντας την πλαστιμότητά του σκυροδέματος. Σε αρκετές περιπτώσεις ο μακροΐνες μπορούν να αντικαταστήσουν μέρος του χαλύβδινου οπλισμού.

## Τι είναι οι συνθετικές ίνες;

Οι συνθετικές ίνες που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση του έτοιμου σκυροδέματος αποτελούνται από ειδικές πρώτες ύλες που παρουσιάζουν μακροχρόνια ανθεκτικότητα στο αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος. Οι ίνες αυτές κατασκευάζονται από πολυμερή υλικά όπως το πολυπροπυλένιο, το νάιλον ή το πολυαιθυλένιο και προστίθενται στο σκυρόδεμα στη μονάδα παραγωγής, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η πλήρης ανάμειξή τους και να μεγιστοποιείται η βελτιωτική δράση τους.

Η INTERBETON Δομικά Υλικά Α.Ε. διαθέτει ινοπλισμένα σκυροδέματα με συνθετικές ίνες με την εμπορική ονομασία INTERFIBER, σε όλες τις κατηγορίες αντοχής.

## Ποιά σημαντικά πλεονεκτήματα προσφέρει το INTERFIBER;

Το ινοπλισμένο με συνθετικές ίνες έτοιμο σκυρόδεμα INTERFIBER έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα, στην πλαστική (έως και ~6 ώρες από τη διάστρωση) αλλά και στη σκληρυμένη φάση του. Τα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν:

- Μείωση των ρηγματώσεων από πλαστική καθίζηση
- Μείωση των ρηγματώσεων από πλαστική συρρίκνωση
- Μειωμένη υδατοαπορροφητικότητα
- Αυξημένη επιφανειακή αντοχή σε κρούση, θρυμματισμό και απότριψη
- Μεγαλύτερη απορρόφηση ενέργειας
- Αντίσταση σε εκρηκτική αποφλοίωση λόγω πυρκαγιάς

## Πλεονεκτήματα στην πλαστική φάση του INTERFIBER

Τις πρώτες ώρες μετά τη διάστρωση το σκυρόδεμα παραμένει πλαστικό και υφίσταται σημαντικές εσωτερικές τάσεις λόγω της μεταβολής του όγκου του από την απώλεια νερού στον αέρα, στον ξυλότυπο και στο έδαφος. Αυτές οι ογκομετρικές μεταβολές μπορεί να οδηγήσουν σε ρωγμές πλαστικής συρρίκνωσης, λόγω αδυναμίας του νωπού σκυροδέματος να παραλάβει τις αναπτυσσόμενες εφελκυστικές τάσεις.

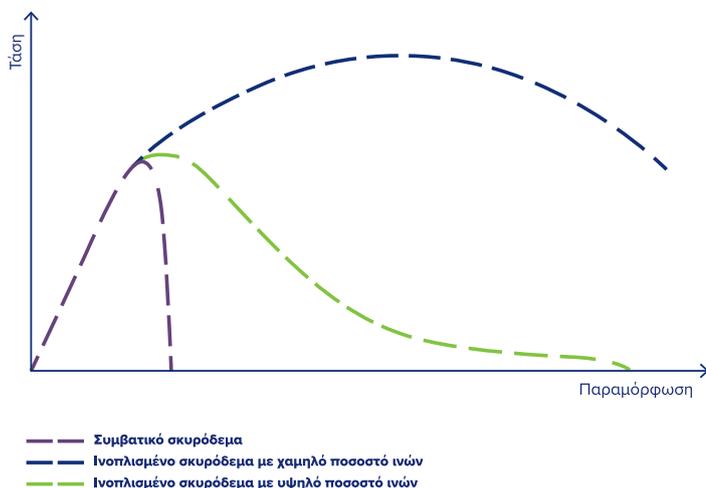
Η ανάπτυξη αυτών των μικρορωγμών παρεμποδίζεται μέσω της μηχανικής εμπλοκής των συνθετικών ινών που περιέχει το INTERFIBER. Επιπλέον, οι συνθετικές ίνες δημιουργούν ένα τρισδιάστατο χωρικό πλέγμα που ενισχύει δομικά το σκυρόδεμα, μειώνοντας την πιθανότητα εμφάνισης ρηγματώσεων λόγω πλαστικής καθίζησης.

Τέλος, η ομοιόμορφη κατανομή των ινών στη μάζα του INTERFIBER αποτρέπει τον σχηματισμό τριχοειδούς δικτύου, το οποίο προκαλείται από τη μετακίνηση του νερού του σκυροδέματος προς την επιφάνεια (φαινόμενο εξίδρωσης σκυροδέματος). Έτσι, το INTERFIBER παρουσιάζει σημαντικά μειωμένη υδατοαπορροφητικότητα, δηλαδή χαμηλότερο πορώδες από συμβατικό σκυρόδεμα, χάρη στη δράση των συνθετικών ινών που μειώνουν τον σχηματισμό και τη διάδοση μικρορωγμών και αποτρέπουν δημιουργία μεγάλων τριχοειδών διαδρόμων λόγω εξίδρωσης.

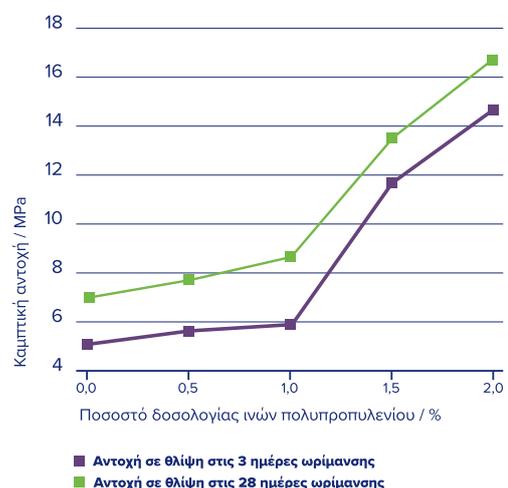
## Πλεονεκτήματα στη σκληρυμένη φάση του INTERFIBER

Τα πλεονεκτήματα των συνθετικών ινών του INTERFIBER στην πλαστική φάση του σκυροδέματος συμβάλλουν και στην σκληρυμένη φάση του. Η αποτροπή ρηγμάτωσης στα πρώιμα στάδια του νωπού σκυροδέματος μειώνει την τάση για αυξημένη ρηγμάτωση και στην σκληρυμένη κατάσταση. Έτσι το INTERFIBER προσφέρει μειωμένη υδατοαπορροφητικότητα, αυξημένη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας, ανθεκτικότητα έναντι υψηλών θερμοκρασιών και αντοχή σε κρούση, θρυμματισμό και απότριψη.

**Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων για συμβατικό και ινοπλισμένο σκυρόδεμα**



**Διάγραμμα καμπτικής αντοχής-περιεκτικότητας συνθετικών ινών στο σκυρόδεμα στις 3 & 28 ημέρες ωρίμανσης**



Καθώς το σκυρόδεμα αναπτύσσει εφελκυστικές τάσεις, είτε λόγω καμπτικών φορτίων ή υγροθερμικών και ογκομετρικών μεταβολών, αυτές μπορεί να υπερβούν την εφελκυστική του αντοχή και να προκαλέσουν ρηγμάτωση. Η ειδικά μελετημένη σύνθεση του INTERFIBER με συνθετικές προσφέρει τα εξής σημαντικά οφέλη:

- Αναχαίτιση της εξάπλωσης των ρωγμών.
- Ανακατανομή των τάσεων σε μεγαλύτερη επιφάνεια.
- Διατήρηση της συνοχής στην εσωτερική δομή του σκυροδέματος.

Η ικανότητα του INTERFIBER να αντέχει σε δυνάμεις που προκαλούν θρυμματισμό λόγω σύνθλιψης, οφείλεται ακριβώς στις συνθετικές ίνες. Όταν ένα μη ινοπλισμένο σκυροδέμα συμπιέζεται, θρυμματίζεται και αστοχεί από τη στιγμή που εμφανίζεται η πρώτη ρηγμάτωση. Αντίθετα, οι συνθετικές ίνες του INTERFIBER αποτρέπουν φαινόμενα θρυμματισμού, διότι «κρατούν» το σκυροδέμα.

Όταν το συμβατικό σκυροδέμα εκτεθεί σε υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. πυρκαγιά) μπορεί να συμβεί το φαινόμενο της εκρηκτικής αποφλοιώσης, όπου τμήματα του σκυροδέματος αποσπώνται βίαια λόγω της πίεσης ατμών που αναπτύσσεται στους πόρους. Οι συνθετικές ίνες του INTERFIBER μειώνουν αισθητά τον κίνδυνο εκρηκτικής αποφλοιώσης, διότι:

- Λιώνουν σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (~160–170°C).
- Δημιουργούν μικρές διόδους («κανάλια-διαδρόμους») μέσα στη μάζα του σκυροδέματος καθώς λιώνουν.
- Αυτοί οι δίοδοι επιτρέπουν τη διαφυγή ατμών και συνεισφέρουν στην εκτόνωση της αναπτυσσόμενης πίεσης λόγω αύξησης της θερμοκρασίας στην εσωτερική δομή του σκυροδέματος.

#### Δοκιμή εκρηκτικής αποφλοιώσης σε δοκίμια σκυροδέματος\*



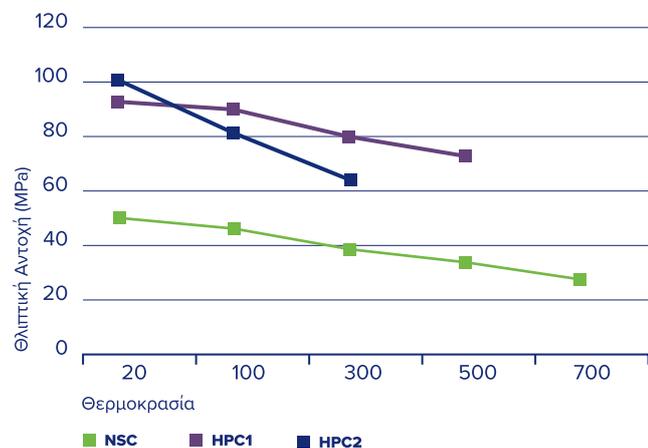
Συμβατικό σκυροδέμα

Σκυροδέμα με ίνες πολυπροπυλενίου

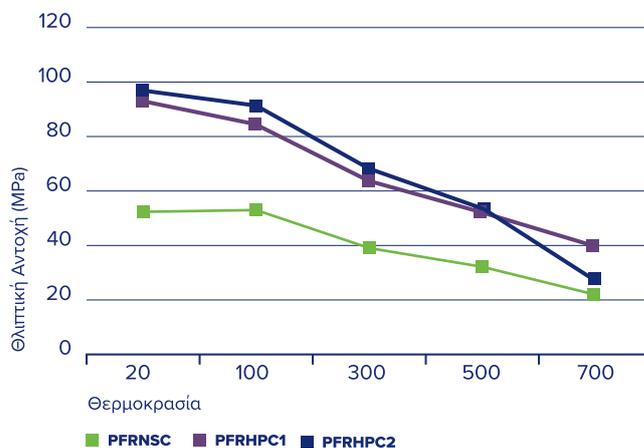
\*Πηγή: Shuttleworth, 2001

#### Εναπομένουσα θλιπτική αντοχή μειγμάτων διαφορετικών κατηγοριών αντοχής\*

##### Μείγματα χωρίς ίνες



##### Μείγματα με ίνες πολυπροπυλενίου



\*Sideris et al, 2003

Η αυξημένη αντοχή στην απότριψη είναι επίσης άμεσο αποτέλεσμα των συνθετικών ινών που περιέχει το INTERFIBER. Η παρουσία τους δεν αυξάνει τον λόγο νερού προς τσιμέντου (ν/τ) στην επιφάνεια του σκυροδέματος εξαιτίας του φαινομένου της εξίδρωσης. Στο INTERFIBER ο λόγος N/T παραμένει όσο το δυνατόν σταθερός στην επιφάνεια του. Ταυτόχρονα, ο περιορισμός φαινομένων «καθίζησης» των αδρανών στο INTERFIBER συμβάλλει περαιτέρω στη σταθεροποίηση του λόγου N/T στην επιφανειακή στρώση. Είναι γνωστό ότι χαμηλότερος λόγος N/T στην επιφάνεια συνεπάγεται σε αυξημένη αντοχή στην απότριψη.

Επίσης, το υψηλό μέτρο ελαστικότητας των συνθετικών ινών και η προηγμένη τεχνολογία τους προσφέρει στο INTERFIBER την ικανότητα να λειτουργεί ως αποσβεστήρας (αμορτισέρ) σε κρουστικά φορτία, απορροφώντας περισσότερη ενέργεια και αυξάνοντας την αντοχή σε κρούση του σκυροδέματος.

## Συμπεράσματα

Οι συνθετικές ίνες επιτρέπουν στο INTERFIBER να αναπτύξει σημαντικά καλύτερη ανθεκτικότητα σε βάθος χρόνου με βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά, σε σύγκριση με ένα συμβατικό σκυρόδεμα, διότι:

- Μειώνουν σημαντικά την πιθανότητα εμφάνισης ρηγματώσεων λόγω πλαστικής καθίζησης και πλαστικής συρρίκνωσης.
- Αυξάνουν σημαντικά τη δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας και την επιφανειακή αντοχή σε κρούση, θρυμματισμό και απότριψη.
- Μειώνουν σημαντικά την υδατοαπορροφητικότητα (μειωμένο τριχοειδές πορώδες).
- Αυξάνουν την ανθεκτικότητα έναντι υψηλών θερμοκρασιών (πυρκαγιάς)

## Πότε το INTERFIBER είναι η Ιδανική Επιλογή

- Σε σκυροδετήσεις σε μεγάλες κλίσεις (π.χ. στέγες) και σε τοιχία, όπου το INTERFIBER διατηρεί τη δομή του χάρη στο εσωτερικό ενισχυτικό πλέγμα συνθετικών ινών.
- Για μείωση φαινομένων ρηγμάτωσης εξαιτίας πλαστικής καθίζησης και συρρίκνωσης.
- Για μείωση του τριχοειδούς πορώδους (υδατοαπορροφητικότητας), ιδίως σε εμφανή σκυροδέματα.
- Σε έργα που απαιτούν ανθεκτικότητα σε χημική προσβολή.
- Για μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε έργα που κατασκευάζονται κοντά στη θάλασσα, επιλέξτε INTERFIBER Mare, το ειδικά σχεδιασμένο έτοιμο ινοπλισμένο σκυρόδεμα για παραθαλάσσιες εφαρμογές.
- Για μεγαλύτερες μηχανικές αντοχές, όπως αντίσταση σε κρούση, απότριψη και θρυμματισμό.
- Για μεγαλύτερη ανθεκτικότητα έναντι πυρκαγιάς

## Περιορισμοί και μη ενδειγμένες χρήσεις του INTERFIBER

- Για τον περιορισμό ρηγματώσεων που προκαλούνται από εξωτερικά φορτία.
- Για την αντικατάσταση του χαλύβδινου οπλισμού που έχει προβλεφθεί βάσει μελέτης.
- Για τη μείωση του πάχους του δαπέδου ή εδαφόπλακας.
- Για την αύξηση της απόστασης μεταξύ των αρμών.
- Για τη μείωση της διατομής σε φέροντα δομικά μέλη, όπως κολόνες, τοιχία, δοκοί.

## Βιβλιογραφία

**CEN (2006) EN 14889-1:** *Fibres for concrete – Part 1: Steel fibres – Definitions, specifications and conformity.* Brussels: European Committee for Standardization.

**CEN (2006) EN 14889-2:** *Fibres for concrete – Part 2: Polymer fibres – Definitions, specifications and conformity.* Brussels: European Committee for Standardization.

**CEN (2007) EN 14845-1:** *Test methods for fibres in concrete – Part 1: Reference concretes.* Brussels: European Committee for Standardization.

**CEN (2006) EN 14845-2:** *Test methods for fibres in concrete – Part 2: Effect on concrete.* Brussels: European Committee for Standardization.

**ΕΛΟΤ (2009) ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-12-04-01-00:** *Μόνιμη επένδυση σηράγγων από έγχυτο επί τόπου σκυρόδεμα.* Αθήνα: Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης.

**NRMCA (n.d.) CIP 24:** *Synthetic Fibers for Concrete.* National Ready Mixed Concrete Association.

**American Concrete Institute (2007) ACI 506.1R:** *Guide to Shotcrete.* Farmington Hills, MI: ACI.

**American Concrete Institute (2018) ACI 544.4R-18:** *Guide to Design with Fibre-Reinforced Concrete.* Farmington Hills, MI: ACI.

**CEN (2004) EN 1992-1-1 Eurocode 2:** *Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings.* Brussels: European Committee for Standardization.

**CEN (2004) EN 1992-1-2 Eurocode 2:** *Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design.* Brussels: European Committee for Standardization.

**CEN (2005) EN 14487-1:** *Sprayed concrete – Part 1: Definitions, specifications and conformity.* Brussels: European Committee for Standardization.

**fib (2013) fib Model Code for Concrete Structures – Chapter 5: Materials, 5.6 Fibres / Fibre Reinforced Concrete.** Lausanne: Fédération internationale du béton.