

ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ , ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΤΟΥ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

ΘΕΟΔΩΡΟΥ ΧΑΡΗΣ

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται στοιχεία για το ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Πιο συγκεκριμένα αναφέρονται τα υλικά και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στο ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Στη συνέχεια γίνονται διάφορες συγκρίσεις του ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος όπως: σύγκριση έγχυτου – εκτοξευόμενου ινοπλισμένου σκυροδέματος και κοινού οπλισμένου σκυροδέματος με το ινοπλισμένο σκυρόδεμα. Επίσης βλέπουμε τις κυριότερες μηχανικές ιδιότητες του εκτοξευόμενου σκυροδέματος εφελκυστική (αξονικός εφελκυσμός, καμπτικός εφελκυσμός και αντοχή σε διάρρηξη), διατμητική και αντοχή σε κρούση. Τέλος παραθέτονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτή την εργασία.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έγχυτο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για επισκευές σε περιπτώσεις που μπορούν να χωρέσουν σχετικώς χονδρά αδρανή και σε επιφάνειες όπου μπορεί να σταθεί το επί τόπου χυνόμενο σκυρόδεμα π.χ. στο επάνω πέλμα πλακών ή δοκών ή μέσα σε τύπους για να αποτελέσει μανδύα υποστυλωμάτων ή παρειών δοκών ή και για να καλύψει τον τυχόν πρόσθετο οπλισμό ενίσχυσης. Αντίθετα όμως δεν χρησιμοποιείται σε κάτω πέλματα πλακών ή δοκών. Σε αντίθεση έρχεται το «εκτοξευόμενο ινοπλισμένο σκυρόδεμα» να καλύψει κάποιες ιδιότητες και χρήσεις που δεν υπάρχουν ή χαίρουν βελτίωσης.[1]

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα διακρίνεται ανάλογα με τον τρόπο ανάμειξης των υλικών σε υγρή ή ξηράς ανάμειξης, ανάλογα με τον τύπο των αδρανών σε χονδρόκοκκο και λεπτόκοκκο:

Ξηρά Ανάμειξη :Αναμιγνύονται καλά το τσιμέντο και τα αδρανή και τροφοδοτούνται σε μια συσκευή που λέγεται διανομέας. Το μείγμα εισάγεται στο σωλήνα διανομής με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα και στη συνέχεια εισέρχεται στο ακροφύσιο. Εκεί καταλήγει και ένας σωλήνας παροχής νερού ώστε να αναμιχθεί στιγμιαία με το μείγμα και το υλικό να εκτοξευθεί στην επιφάνεια εφαρμογής με μεγάλη ταχύτητα.

Υγρή Ανάμειξη :Αναμιγνύονται καλά το τσιμέντο, τα αδρανή και το νερό και προωθούνται στο ακροφύσιο όπως και στην ξηρά ανάμειξη. Στο ακροφύσιο προστίθεται, αν απαιτείται, επιταχυντικό πήξης και πρόσθετος πεπιεσμένος αέρας για να βελτιωθεί η διαδικασία και να αυξηθεί η ταχύτητα εκτόξευσης.[5],[6],[7]

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Πιο κάτω στο σχήμα 2.1 βλέπουμε στο α) μια πολύ παλιά μηχανή εκτοξευόμενου σκυροδέματος, στο β) μια καινούργια μηχανή εκτοξευόμενου σκυροδέματος και στη συνέχεια παρατηρούμε ποια είναι τα αποδεκτά υλικά για το ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.



α)



β)

Σχήμα 2.1: α) Παλιά μηχανή Ε.Σ[9] , β) Καινούρια μηχανή Ε.Σ [8]

Αποδεκτά υλικά:

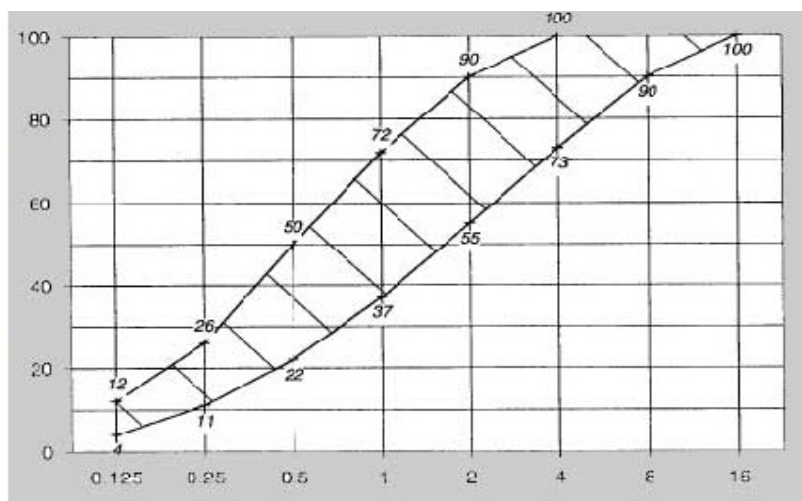
Τα υλικά πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις των ισχύοντων προτύπων και σχετικών Κανονισμών:

α) Τσιμέντο: Οι τύποι τσιμέντου που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι σύμφωνοι με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN-197-1, με καταλληλότητα για χρήση σε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

β) Νερό: Το νερό ανάμιξης και συντήρησης πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ΕΛΟΤ 345

γ) Αδρανή: Τα αδρανή πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της Παρ.4.3 του ΚΤΣ 97.

ΠΟΣΟΣΤΟ
ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΩΝ (%)



ΚΟΣΚΙΝΑ ISO(mm)

Σχήμα 2.2: Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών στο Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα[5]

δ) Ίνες : Στην περίπτωση του ινοπλισμένου Ε.Σ το υλικό των ινών μπορεί να είναι από γάλυβα, πολυμερές ή γυαλί. Το μήκος των ινών δεν πρέπει να ξεπερνά τα 50mm και το 0.7 της εσωτερικής διαμέτρου των σωλήνων που χρησιμοποιούνται, εκτός αν αποδειχθεί από επί τόπου δοκιμές ότι δεν δημιουργείται πρόβλημα στην εκτόξευση και διάστρωση του

υλικού. Το είδος και η ποσότητα των ινών προβλέπεται από τη μελέτη σύνθεσης. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ίνες από χάλυβα θα πρέπει να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις ASTM-820. Το συνιστώμενο μήκος χαλύβδινων ινών είναι 25-35mm. Για άλλα είδη ινών τα κριτήρια αποδοχής τους προδιαγράφονται στη μελέτη. Ελλείψει σχετικής προδιαγραφής τα κριτήρια διατυπώνονται πριν την έναρξη της σχετικής εργασίας από την Επίβλεψη. [2]

• f_{sk} : 1000-1200-2400Mpa

• $l_f = 2.5-3.0 \times$ μέγιστο κόκκο, $\Rightarrow \sim 30\text{mm}$

• $s < 0.45 l_f$. Για $l_f=30\text{mm} \Rightarrow \max s=13.50\text{mm}$

• Για $d_f=0.60\text{mm}$ η ελάχιστη δόση = $\rho_{fgs}=(\pi \cdot 0.602 \cdot 30/4)(1/13.503) \cdot 7800 \text{ kg/m}^3 = 27\text{kg/m}^3$

Όπου:

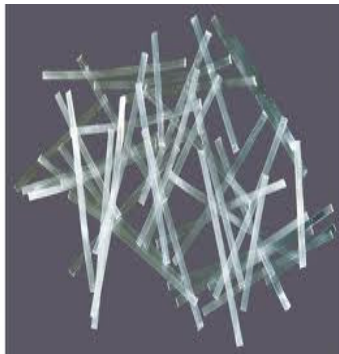
l_f =μήκος ίνας, d_f =διάμετρος ίνα και s =απόσταση μεταξύ των ινών

Λόγος μορφής l_f/d_f :

- >80 – Εξαιρετική συμπεριφορά
- >65 – Βελτιωμένη συμπεριφορά
- >45 – Τυπική συμπεριφορά



α



β



γ

Σχήμα 2.3: α)Γυάλινες ίνες, β)Ίνες από πολυμερή, γ)Χαλύβδινες ίνες [10]

ε)Πρόσθετα υλικά: Ως πρόσθετα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παρασκευή του Ε.Σ ιπτάμενη τέφρα,σκωρία υψικαμίνων,οξειδία του πυριτίου και βελτιωτικά(όπως επιταχυντικά πήξης και σκλήρυνσης,πρόσμικτα για την μείωση ή εξουδετέρωση της συστολής ξήρανσης ή για αύξηση της πρόσφυσης,θιξοτροπικά πρόσμικτα που εμποδίζουν το κρέμασμα ‘SAGGING’ του υλικού,κ.α),υπό τις προϋποθέσεις που αναφέρονται στην Παρ.4.5 του ΚΤΣ 97.[4]

3.ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

Οι ίνες οπλισμού πρέπει να διασκορπίζονται ομοιόμορφα στο νωπό σκυρόδεμα. Έτσι, μόνο όταν η παρασκευή του γίνεται με επιμέλεια θα προκύπτει ένα ομοιογενές υλικό, σύμφωνο με τις προδιαγραφές.

Η προσθήκη των ινών στο μίγμα του σκυροδέματος στοχεύει στη βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων του και ειδικότερα στη βελτίωση της αντοχής σε εφελκυσμό, σε διάτμηση και κρούση. Ουσιαστικά, οι ίνες μετατρέπουν το σκυρόδεμα από ψαθυρό υλικό σε πλαστικό και ο ρόλος ο οποίος καλούνται να παίξουν είναι να αποτρέψουν τη σε βάθος διάδοση των μικρορωγμών

Αν και οι βασικές αρχές που διέπουν το σκυρόδεμα, είτε είναι συμβατικά οπλισμένο, είτε με ίνες, υπάρχουν ορισμένες χαρακτηριστικές διαφορές μεταξύ τους:

- Οι ίνες διασκορπίζονται όπου διαστρώνεται και το σκυρόδεμα, μέσα σε μία δεδομένη διατομή, ενώ ο συμβατικός χαλύβδινος οπλισμός και το πλέγμα τοποθετούνται μόνο εκεί που χρειάζεται.
- Οι περισσότερες ίνες είναι σχετικά μικρού μήκους και με μικρή απόσταση μέσα στο μίγμα του σκυροδέματος, σε αντίθεση με το συμβατικό οπλισμό.
- Η επιφάνεια που καταλαμβάνει το πλέγμα είναι μεγαλύτερη από αυτήν που καταλαμβάνουν οι ίνες .[3]

3.1.Σύγκριση έγχυτου – εκτοξευόμενου ινοπλισμένου σκυροδέματος

Τα εύρη των αναλογιών των συστατικών για το έγχυτο ινοπλισμένο σκυρόδεμα με χαλύβδινες ίνες και για το αντίστοιχο εκτοξευόμενο ινοπλισμένο παρουσιάζονται στους πίνακες 3.1 και 3.2.

Πίνακας 3.1: Έγχυτο ινοπλισμένο σκυρόδεμα[3]

Υλικό	Κονίαμα	9.5 mm μέγιστος κόκκος αδρανούς (kg/m ³)	19 mm μέγιστος κόκκος αδρανούς (kg/m ³)
Τσιμέντο (kg/m ³)	415-710	355-590	300-535
Λόγος νερό/τσιμέντο	0.3-0.45	0.35-0.45	0.4-0.5
Λεπτομερές/Χονδρομερές υλικό(%)	100	45-60	45-55
Συγκρατούμενος αέρας(%)	7-10	4-7	4-6
Ίνες (%) κατ' όγκο			
Λείος χάλυβας	1-2	0.9-1.8	0.8-1.6
Παραμορφωμένος χάλυβας	0.5-1	0.4-0.9	0.3-0.8

Πίνακας 3.2: Ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα[3]

Υλικό	Μίγμα λεπτών αδρανών (kg/m ³)	Μίγμα με αδρανή 9.5mm (kg/m ³)
Τσιμέντο	446-559	445

Αμμογάλικο (<6.35mm)^α	1438-1679	697-880
Αδρανή με κόκκο 9.5mm		700-875
Χαλύβδινες ίνες^{β,γ}	35-157	39-150
Επιταχυντής	Ποικίλει	Ποικίλει
Λόγος νερό / τσιμέντο	0.40-0.45	0.40-0.45

α: Η άμμος περιείχε 5% υγρασία

β: 1% χαλύβδινες ίνες=78,6 kg/m³

γ: Εφόσον η αναπήδηση των ινών γενικά είναι μεγαλύτερη από αυτή των αδρανών, υπάρχει συνήθως μικρότερο ποσοστό ινών στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην τελική του θέση.

Αξίζει να επισημανθεί εδώ ότι το ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αναπτύσσει διαφορετικά μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά σε σχέση με το έγχυτο σκυρόδεμα. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην δομή τους. Στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα οι ίνες, λόγω της μεθόδου διάστροφης, κατανέμονται, με μικρές αποκλίσεις, σε ένα τυχαίο διδιάστατο μοντέλο, σε αντίθεση με την τυχαία αλλά τριδιάστατη κατανομή που αποκτούν στο έγχυτο σκυρόδεμα. Αυτό εισάγει το ζήτημα της ανισοτροπίας στο υλικό κι έχει σίγουρα επιρροή στην ικανότητα ενίσχυσης του σκυροδέματος από τις ίνες. Οι ίνες με μικρό λόγο μορφής δυσκολότερα αναπτύσσουν μια διδιάστατη κατανομή, η οποία είναι γενικά και η προτιμότερη.[3]

Αυτό που πρακτικά συμβαίνει, όπως έχει παρατηρηθεί, είναι ότι πολλές ίνες δεν εκτείνονται πάντα κάθετα σε σχέση με τις ρωγμές ή μπορεί ακόμη και να έχουν λιγότερο από το απαιτούμενο μήκος πάκτωσης, αδυνατώντας έτσι να αναπτύξουν ισχυρό δεσμό. Έτσι, μόνο ένα μικρό ποσοστό των ινών που προστίθενται μπορούν τελικά να ανθίστανται αποτελεσματικά σε καμτικές και εφελκυστικές τάσεις. Για να προσδιοριστεί αριθμητικά, κατά το δυνατόν, το ποσοστό των ινών αυτών, ορίζεται ο «συντελεστής ενεργότητας». Αυτός θα είναι περίπου 0,4 για ένα τυπικό διδιάστατο μοντέλο και μόλις μεταξύ του 0,25 και 0,3 για ένα αντίστοιχο τριδιάστατο. Η τιμή αυτού του συντελεστή εξαρτάται από το μήκος των ινών και το μήκος πάκτωσής τους. Συνεπώς, από μια άλλη οπτική γωνία, φαίνεται ότι η ενίσχυση του σκυροδέματος με ίνες δεν είναι πολύ αποδοτική μέθοδος για την επίτευξη των επιθυμητών μηχανικών χαρακτηριστικών του τελικού υλικού,σε σχέση με το έγχυτο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.[3]

3.2.Σύγκριση κοινού οπλισμένου σκυροδέματος με το ινοπλισμένο σκυρόδεμα .

Οι πρακτικές διαφορές του κοινού οπλισμένου σκυροδέματος με το ινοπλισμένο σκυρόδεμα φαίνονται στον πίνακα 3.3.

<u>Οπλισμένο σκυρόδεμα</u>	<u>Ινοπλισμένο σκυρόδεμα</u>
Παρασκευάζεται από χονδρόκοκα υλικά και μεταφέρεται στη θέση του με αντλία.	Αποτελείται από λεπτόκοκα υλικά και μπορεί να μεταφέρεται στη θέση του με εκτόξευση
Χρησιμοποιείται κυρίως επιβραδυντής για να διατηρηθεί μέχρι το πολύ 2 ώρες	Προστίθεται κυρίως επιταχυντής την ώρα που είναι έτοιμο να εκτοξευθεί στην θέση εργασίας

Έχει την ανομοιογένεια των δυο υλικών αποτελούμενο από σίδηρο και σκυρόδεμα	Αποτελεί μαζί με τις ίνες ομοιογενές υλικό γιατί μπορεί να αναμειγνύεται ομοιόμορφα.
Εργάζεται κυρίως στην Ελαστική Περιοχή	Εργάζεται κυρίως στην Πλαστική Περιοχή
Κατάλληλο για στατικά κυρίως φορτία	Κατάλληλο για μεταβαλλόμενα φορτία
Αναλαμβάνει τα φορτία συνήθως πολύ αργά	Αναλαμβάνει τα φορτία πολύ γρήγορα, αμέσως
Μικρή ικανότητα σε κρούση & ανθεκτικότητα	Μεγάλη αντοχή σε κρούση & ανθεκτικότητα
Έχει μειωμένη αντοχή σε φθορές τριβής	Έχει αυξημένες αντοχές σε φθορές τριβής
Ρηγματώσεις αμέσως μετά την διάστρωση	Καθόλου σχεδόν ρήγματα μετά την διάστρωση
Ρήγματα εφελκυσμού μετά την φόρτιση	Μειωμένα ρήγματα ακόμη και μετά την φόρτιση
Μικρές παραμορφώσεις αλλά με ρήγματα	Μεγάλες παραμορφώσεις με λίγα μόνο ρήγματα
Αυξημένη συρρίκνωση και ερπυσμός	Μειωμένες βλάβες από συρρίκνωση κα ερπυσμό
Ελέγχεται στο εργοστάσιο κυρίως κατά την παραγωγή του	Ελέγχεται στο εργοτάξιο επειδή εκεί μπαίνει ο επιταχυντής
Μπορεί να ελεγχθεί και κατά την διανομή του στο εργοτάξιο με διαφορά κάθισης	Δεν μπορεί να ελεγχθεί αλλού επειδή περιέχει σταθεροποιητή και δεν είναι ενεργό
Η διάρκεια ζωής του είναι μόνο 1.30' ώρες από την φόρτωση του στο εργοστάσιο	Η διάρκεια ζωής του μπορεί να υπερβαίνει τις 12 ώρες λόγω ανάμιξης σταθεροποιητή
Μπορεί να φθάσει και μέχρι τις δύο ώρες αν έχει αναμιχθεί επιβραδυντικό	Μπορεί όμως να φθάσει και τις δύο ή τρεις ημέρες αν απαιτηθεί λόγω ειδικών εργασιών
Συνήθως μπορεί να περιέχει αδρανή με κόκκο 36 mm αλλά και μέχρι 63 mm	Συνήθως μπορεί να περιέχει αδρανή μέχρι 12 ή και 16 mm ανάλογα με το μηχάνημα
Το τσιμέντο συνήθως αρχίζει από 270 kg και φθάνει 350 kg εκτός ορισμένων εργασιών	Το τσιμέντο κατά βάρος συνήθως κυμαίνεται από 350 kg και μέχρι 450 kg
Ο λόγος Νερό / Τσιμέντο ανάλογα με τις εργασίες κυμαίνεται από 0.70 - 0.50	Ο λόγος Νερού / Τσιμέντο ανάλογα με τις εργασίες κυμαίνεται από 0.50- 0.35
Γίνεται χρήση δονητών για να αποκτηθεί μεγαλύτερη πυκνότητα σκυροδέματος	Δεν γίνεται χρήση δονητών αλλά εκτοξεύεται με μεγάλη πίεση στην επιφάνεια

Πίνακας 3.3: Διαφορές του κοινού οπλισμένου σκυροδέματος με το ινοπλισμένο σκυρόδεμα, [3]

4. ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ , ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΡΟΥΣΗ[3]

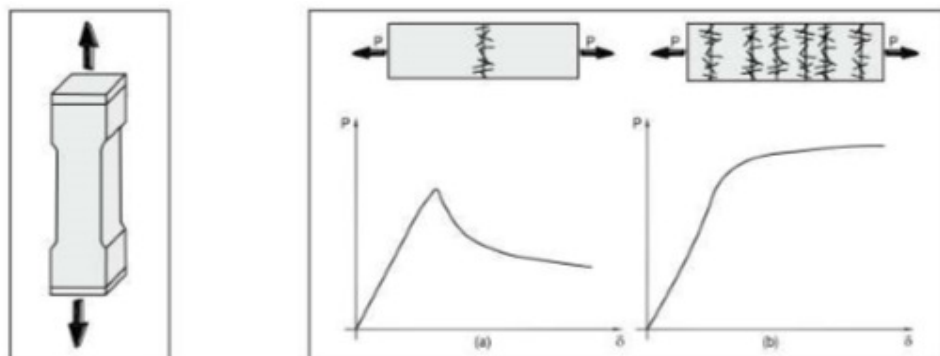
4.1. ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Είναι απαραίτητο να γίνει διαχωρισμός ανάμεσα στους διάφορους τύπους εφελκυστικής τάσης (αξονικός εφελκυσμός, καμπτικός εφελκυσμός και αντοχή σε διάρρηξη), διότι κάθε δοκιμή μπορεί να δώσει διαφορετικά αποτελέσματα παραμόρφωσης.

4.1.1. ΑΝΤΟΧΗ ΑΞΟΝΙΚΟΥ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ

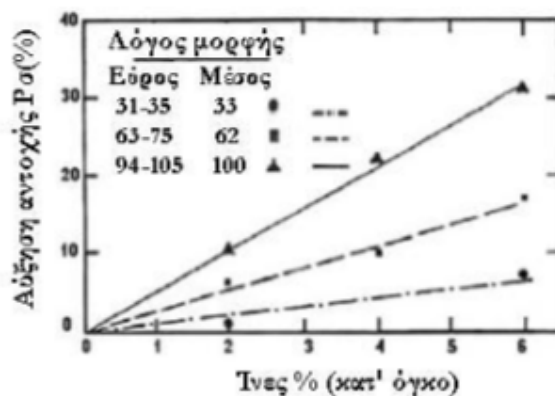
Η συμπεριφορά του ινοπλισμένου σκυροδέματος σε αξονικό εφελκυσμό επηρεάζεται σημαντικά από την παρουσία των ινών, ειδικά στην φάση που ακολουθεί την πρώτη ρωγμή.

Στα πειραματικά αποτελέσματα, μόνο για προσθήκες ινών από 1.5-2% και πάνω παρατηρείται σημαντική αύξηση της μέγιστης τιμής του φορτίου.[3]



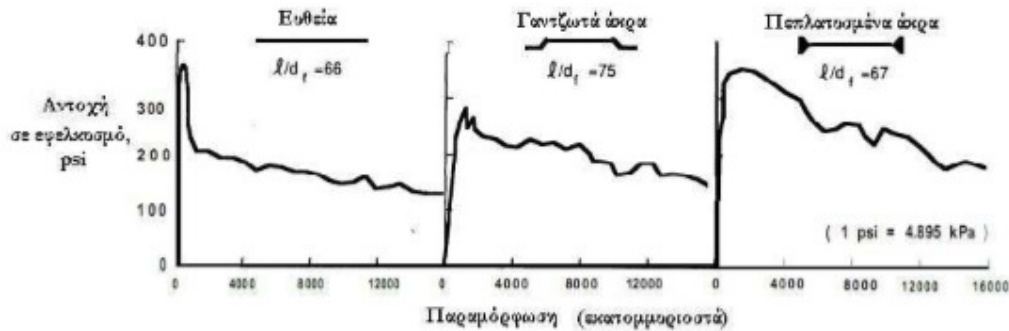
Σχήμα 4.1: Δοκιμή αξονικού εφελκυσμού και επιρροή αποτελεσμάτων από την περιεκτικότητα σε ίνες.

Οι ίνες που είναι προσανατολισμένες κατά τη φορά της εφελκυστικής τάσης μπορούν να αυξήσουν κατά πολύ την αντοχή σε αξονικό εφελκυσμό, σε ποσοστό έως 133% για 5% ευθείες και ομαλές ίνες. Παρολαυτά, για ίνες με τυχαίο προσανατολισμό, η αύξηση της αντοχής γίνεται από ελάχιστη έως και 60%, όπως φαίνεται και από το σχήμα 4.2 .



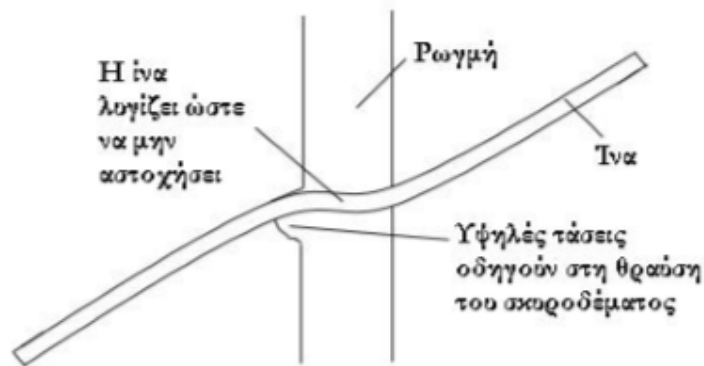
Σχήμα 4.2: Επιρροή της ποσότητας και του λόγου μορφής των ινών στην εφελκυστική αντοχή [3]

Σύμφωνα με την ACI, δεν υπάρχουν πρότυπες δοκιμές για τη μέτρηση της καμπύλης τάσης-παραμόρφωσης σε συνθήκες αξονικού εφελκυσμού. Έτσι, οι καμπύλες που προκύπτουν θα εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων και το μέγεθος των δοκιμίων, ο τύπος της μηχανής κλπ. Τυπικά παραδείγματα τέτοιων καμπυλών είναι όπως παρακάτω (σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3: Καμπύλες τάσης-παραμόρφωσης για ινοπλισμένα σκυροδέματα (ίνες 1.73% κ.ό.)[3]

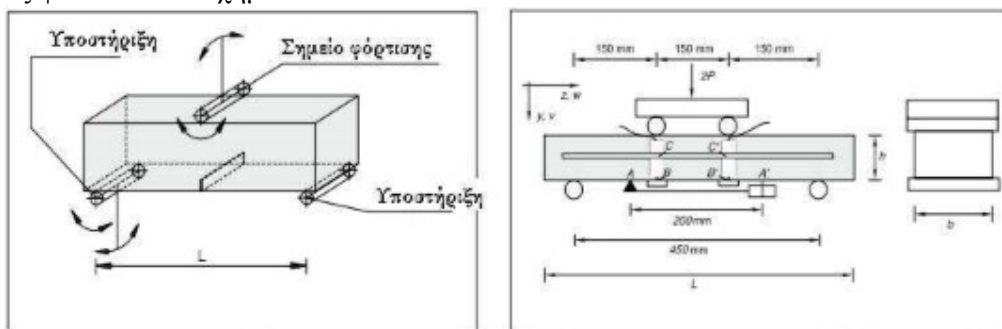
Το πτωτικό κομμάτι της καμπύλης επηρεάζεται από τις παραμέτρους της ενίσχυσης, δηλαδή τη γεωμετρία, το ποσοστό και το λόγο μορφής των ινών. Εάν μόνο μια ρωγμή δημιουργηθεί στο δοκίμιο, τότε η παραμόρφωση συγκεντρώνεται εκεί και η παραμόρφωση μετά τη ρωγμή πρέπει να μεταφράζεται με προσοχή στην περιοχή της καμπύλης μετά τη θραύση.



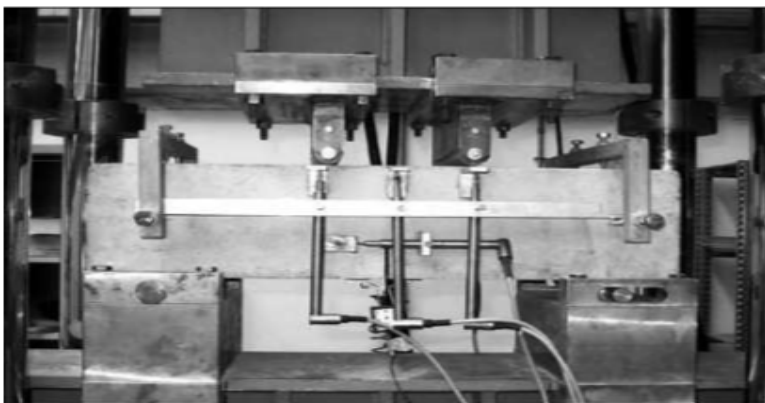
Σχήμα 4.4: Θρυμματισμός του σκυροδέματος που επιφέρει μείωση της δύναμης « γεφύρωσης » της ίνας[3]

4.1.2.ΑΝΤΟΧΗ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΚΑΜΨΕΩΣ

Οι δοκιμές κάμψεις εκτελούνται σε δοκούς και πλάκες. Η διάταξη της δοκιμής κάμψης για δοκούς φαίνεται στο σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.5: Μέτρηση καμπτικής αντοχής με τη δοκιμή τριών και τεσσάρων σημείων[3]



Σχήμα 4.6: Δοκιμή κάμψης τεσσάρων σημείων [3]

Η αντοχή στην πρώτη ρωγμή, σύμφωνα με τον κανονισμό UNI 11039 δίδεται από τη σχέση:

$$f = \frac{P \times l}{b \times (h - a_0)}$$

Όπου: f = αντοχή πρώτης ρωγμής

l = η απόσταση μεταξύ των υποστηριγμάτων, στην κάτω πλευρά

h = το ύψος της δοκού

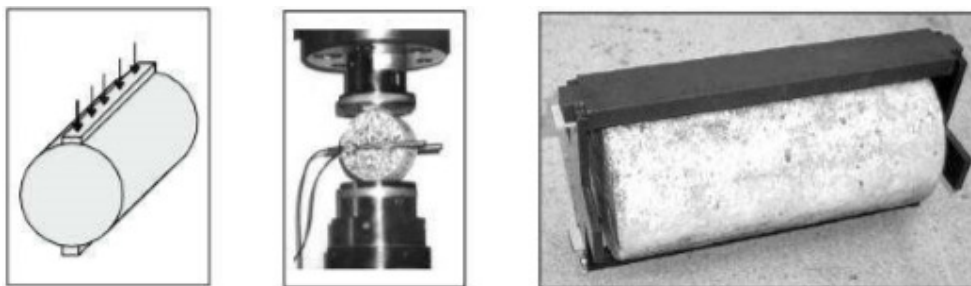
a_0 = το βάθος της χάραξης, στο κάτω μέρος του δοκιμίου

Όλες οι παραπάνω διαστάσεις είναι σε χιλιοστά και εξαρτώνται από τους εκάστοτε κανονισμούς, σύμφωνα με τους οποίους εκτελείται η δοκιμή.

4.1.3. ANTOXH SE DIAPRHΞH

Η αντοχή σε διάρρηξη του ινοπλισμένου σκυροδέματος παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με την αντοχή σε αξονικό εφελκυσμό. Παρολαυτά, η προσθήκη ινών μόνο για την αύξηση της εφελκυστικής αντοχής δεν είναι η κατάλληλη επιλογή .

Η προσθήκη των ινών χάλυβα αυξάνει την αντοχή του σκυροδέματος σε εφελκυσμό λόγω διάρρηξης αναλογικά με τα αποτελέσματα δοκιμών αξονικού εφελκυσμού. Από δοκιμές αναφέρεται βελτίωση της αντοχής διαρρήξεως περίπου 30%, για περιεκτικότητα σε ίνες 8% κατά βάρος. Αυτές οι τιμές προήλθαν από δοκίμια κυβικά αλλά και κυλινδρικά. Άλλες δοκιμές έμμεσου εφελκυσμού, έδειξαν γρήγορη μείωση στο φορτίο μετά την πρώτη ρωγμή, ενώ οι δοκιμές κάμψης σε δοκίμια ίδιων χαρακτηριστικών (περιεκτικότητα σε ίνες, ποιότητα σκυροδέματος, κτλ.) αποκάλυψαν μια σχεδόν όλκιμη συμπεριφορά. Εξαιτίας του γεγονότος ότι είναι αδύνατον να καθοριστεί η εντατική κατάσταση στο εσωτερικό του υλικού στις δοκιμές διάρρηξης, σε αντίθεση με τις δοκιμές αξονικού εφελκυσμού, καμπύλες φορτίου - παραμόρφωσης δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν εδώ για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τη συμπεριφορά του υλικού μετά την αστοχία. Τέλος, εφόσον κυλινδρικά δοκίμια μπορούν να αφαιρεθούν από τις προϋπάρχουσες κατασκευές, χωρίς μεγάλη δυσκολία, οι δοκιμές διαρρήξεως μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ένα πιθανό μέσο παρακολούθησης της εφελκυστικής αντοχής κατά τη διάρκεια της κατασκευαστικής φάσης.[3]



Σχήμα 4.7:Διάταξη δοκιμών έμμεσου εφελκυσμού [3]

4.2. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Όπως και στην περίπτωση του άοπλου σκυροδέματος, η διατμητική αντοχή του ινοπλισμένου σκυροδέματος καθορίζεται από την εφελκυστική αντοχή του υλικού. Τα στοιχεία από ινοπλισμένο σκυρόδεμα, χωρίς συμβατικούς χαλύβδινους οπλισμούς, φυσιολογικά επηρεάζονται από διατμητικές τάσεις, οι οποίες τα οδηγούν μέχρι την αστοχία. Αυτό βρίσκει εφαρμογή, για παράδειγμα στις δοκούς με μήκος τέσσερις φορές μεγαλύτερο από το ύψος τους. Εάν οι χαλύβδινοι οπλισμοί χρησιμοποιούνται για να παραλάβουν τις εφελκυστικές τάσεις, οι ίνες χάλυβα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μεταφορά της διατμητικής τάσης.

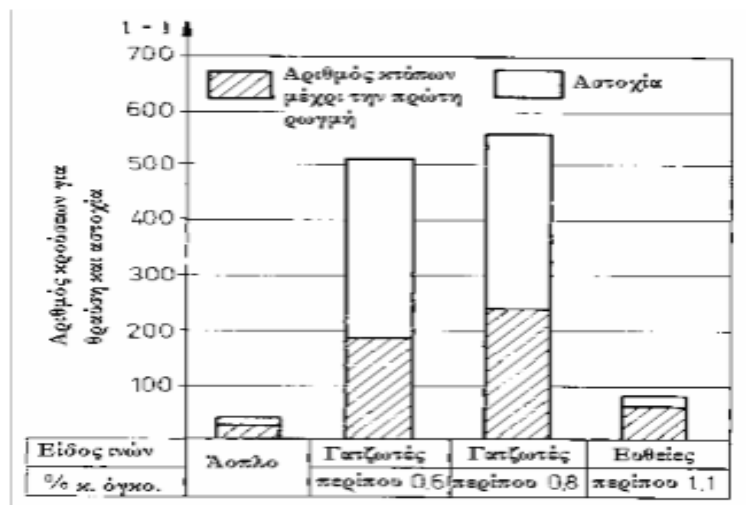
Δοκιμές έχουν δείξει ότι υπάρχει σημαντική αύξηση στη διατμητική αντοχή με τη χρήση των ινών. Αυτή η αύξηση μπορεί να εξηγηθεί από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Οι ίνες χάλυβα διανέμονται ομοιόμορφα στο σκυρόδεμα και η απόσταση μεταξύ τους είναι μικρότερη αυτής των οπλισμών χάλυβα. Κατά συνέπεια, μπορούν άμεσα να επιβραδύνουν την ανάπτυξη των ρωγμών.
- Οι ίνες χάλυβα αυξάνουν την αντοχή της πρώτης ρωγμής και την τελική εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος.
- Η μείωση του πλάτους των ρωγμών βελτιώνει τη διάδοση της διάτμησης εκατέρωθεν της ρωγμής.

4.3. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΡΟΥΣΗ

Το κύριο χαρακτηριστικό της αντοχής στην κρούση είναι η αύξηση της ενέργειας θραύσεως. Η αύξηση της αντοχής στην κρούση στα ινοπλισμένα σκυροδέματα είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του άοπλου σκυροδέματος. Ο λόγος για το γεγονός αυτό βρίσκεται στην ενέργεια που απαιτείται για την εξόλκευση των ινών. Αυτή η αυξανόμενη αντοχή συνοδεύεται από μεγαλύτερη αντίσταση στη διάρρηξη και θρυμματοποίηση του υλικού.

Η αύξηση της ενέργειας θραύσεως στα ινοπλισμένα σκυροδέματα με ίνες χάλυβα κατά τη δοκιμή κρούσης είναι 2.5 έως 3.5 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του άοπλου σκυροδέματος (για σύνηθες σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, ACI 544, IR-96). Δοκιμές κρούσης έχουν δείξει ότι ο αριθμός των κτύπων που απαιτείται για να σπάσει το σκυρόδεμα εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε ίνες και από το λόγο μορφής, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.59. Παρατηρούμε επίσης ότι η χρήση ινών με σύστημα αγκύρωσης έχει μεγαλύτερη επιρροή απ' ό,τι η αύξηση του ποσοστού των ινών στο μίγμα .



Σχήμα 4.8:Επιρροή των ινών στην αντοχή σε κρούση[3]

Η συμπεριφορά του υλικού σε κρουστικές φορτίσεις (εκρήξεις, πτώσεις τεμαχών κλπ) χαρακτηρίζεται από την αντοχή και την ενέργεια θραύσης.Ο αριθμός των κρούσεων που χρειάζονται για την αστοχία του ινοπλισμένου σκυροδέματος είναι μερικές εκατοντάδες συγκρινόμενες με τις 30 ή 50 χτύπους για το συμβατικό σκυρόδεμα .[3]

5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ

Τελικά βλέπουμε ότι το ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα εργάζεται κυρίως στην Πλαστική περιοχή σε αντίθεση με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που εργάζεται στην Ελαστική περιοχή.Επίσης το ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μπορεί να έχει μεγάλες παραμορφώσεις και μικρά ρήγματα.Τα υλικά του εκτοξευόμενου και του έγχυτου ινοπλισμένου σκυροδέματος διαφέρουν και ανάλογα διαφέρουν και τα ποσοστά των ινών τους.Για προσθήκες ινών από 1.5-2% και πάνω παρατηρείται σημαντική αύξηση της μέγιστης τιμής του φορτίου. προσθήκη των ινών χάλυβα αυξάνει την αντοχή του σκυροδέματος σε εφελκυσμό λόγω διάρρηξης αναλογικά με τα αποτελέσματα δοκιμών αξονικού εφελκυσμού.Επίσης δοκιμές έχουν δείξει ότι υπάρχει σημαντική αύξηση στη διατμητική αντοχή με τη χρήση των ινών. Τέλος η αύξηση της αντοχής στην κρούση στα ινοπλισμένα σκυροδέματα είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του άοπλου σκυροδέματος.

6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Δρίτσος Σ.,(2002) “Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”, Εκδόσεις Παν. Πατρών, Πάτρα
- [2] Σοφιανός Α.Ι,σε συνεργασία με Μ. Μιχαηλίδη Χ.Μ., (Διάλεξη 3η & 4η ,Αθήνα 5 & 12 Μαρτίου 2009)“ Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα ”
- [3] Ρουσάκης Γρηγόρης,(2010) Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία με θέμα:“Ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα”: σελίδες 103-120 και 133-156
- [4] Υπουργείο ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ,(ΠΕΤΕΠ:14-01-14-00:Ε1/2004)
- [5] Μαυρίδης Κυριάκος,(10ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών – 04», Μάρτιος 2004),“Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα”

- [6] Γεωργακοπούλου Μαριάννα, (12ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών», Φεβρουάριος 2006),“ Ενίσχυση στοιχείων με ινοπλισμένο σκυρόδεμα από χάλυβα και πλαστικά υλικά ”
- [7] Sprayed Concrete. Repair of concrete structures 1987. pp 72-87
- [8] www.ektoxetine.com.gr (Λήψη Φωτογραφικού Υλικού)
- [9] www.proshotconcrete.com (Λήψη Φωτογραφικού Υλικού)
- [10] www.forta-ferro.com (Λήψη Φωτογραφικού Υλικού)