

Ευρωπαϊκός Κανονισμός Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος: Απαιτήσεις, Οδηγίες και Έλεγχοι

Α.Γ. Σακελλαρίου
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Το άρθρο αυτό αποτελεί ένα σχολιασμό του Ευρωπαϊκού Κανονισμού Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος της EFNARC δίνοντας ερμηνείες και επεξηγήσεις των απαιτήσεων του κανονισμού, κυρίως σ' αυτούς που δεν είναι συνηθισμένοι σ' αυτή την μορφή των κατασκευών από σκυρόδεμα. Εδώ περιγράφεται η συνολική διαδικασία από την επιλογή των υλικών μέχρι το τέλος των εργασιών εκτόξευσης. Το άρθρο αυτό φιλοδοξεί να εμφανιστεί σαν ένα ζωντανό εργαλείο χρήσιμο τόσο στο γραφείο του μελετητή όσο και στις εργασίες του εργοταξίου, επί τόπου.

1 ΓΕΝΙΚΑ

- Ο μόνος Ευρωπαϊκός Κανονισμός Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος που υπάρχει μέχρι σήμερα είναι αυτός της EFNARC (European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures). Ο Κανονισμός αυτός αναφέρεται στο σκυρόδεμα (και στο κονίαμα) το οποίο διαστρώνεται πνευματικά (με εκτόξευση). Ο όρος εκτοξευόμενο σκυρόδεμα καλύπτει τόσο την υγρή όσο και την ξηρή μέθοδο παραγωγής του. Ο Κανονισμός στηρίζεται κυρίως στις σχετικές Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές EN που αφορούν τόσο στα υλικά¹ όσο και στις δοκιμές ελέγχου των επιδόσεων² του σκυροδέματος.
- Ο Κανονισμός αναπτύσσεται σε 12 κεφάλαια. Εκεί αναλύονται οι απαιτήσεις για το Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα σε πέντε άξονες που έχουν να κάνουν με την μελέτη σύνθεσης, την διαδικασία εκτόξευσης, τις απαιτήσεις για το τελικό προϊόν, τις μεθόδους δοκιμών και τον ποιοτικό έλεγχο του προϊόντος.

2 ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η φιλοσοφία της μελέτης σύνθεσης είναι η ίδια με αυτήν του συνηθούς σκυροδέματος έτσι όπως αναλύεται στους Ευρωπαϊκούς και Εθνικούς κανονισμούς δηλαδή:

- **Συστατικά** (τσιμέντο, αδρανή, νερό αναμίξεως, χάλυβας, ίνες, πρόσμικτα, πρόσθετα, υλικά συντηρήσεως).
- **Απαιτήσεις ως προς τα συστατικά** (περιεκτικότητες, συμμορφώσεις με προδιαγραφές και άλλα κριτήρια, συνθήκες περιβάλλοντος: θερμοκρασίες, σχετική υγρασία κλπ).

¹ Οι κυριότερες Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές που αφορούν στα υλικά είναι οι εξής: Για τα τσιμέντα (EN 197), για τις Ιπτάμενες Τέφρες (EN 450), για το σκυρόδεμα (EN 206), για τα πρόσμικτα (EN 934), για το νερό (EN 1008), για τον χάλυβα (EN 10080), για τις μεταλλικές ίνες (ASTM A820)

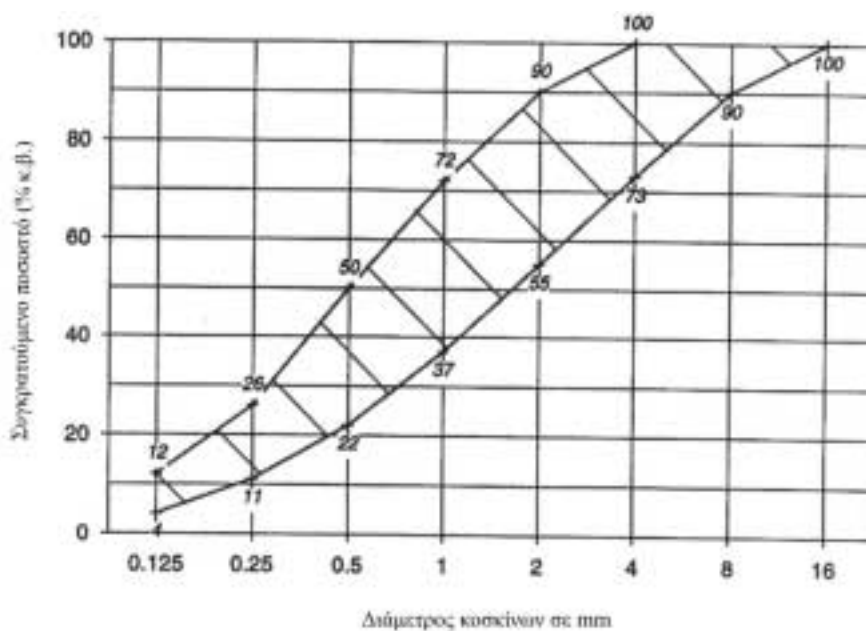
² Οι κυριότερες Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές που αφορούν στις δοκιμές είναι οι εξής: Δοκιμή θλιπτικής αντοχής (EN 4012), δοκιμή μέτρου ελαστικότητας (EN 6784), δοκιμή αντοχής πρόσφυσης (EN 1542), δοκιμή πυκνότητας (EN 6275), δοκιμή διαπερατότητας (EN 7031), πυρινοληψία – θλιπτική αντοχή (EN 7034), δοκιμή παγοπληξίας (ASTM C666 & 672)

- **Απαιτήσεις ως προς την ανθεκτικότητα σε διάρκεια –Durability** (χλωριόντα, ευαισθησία σε αλκαλοπυριτικές αντιδράσεις, κατηγορίες έκθεσης κλπ).
- **Καταλληλότητα αναμιγμάτων** (περιεκτικότητα σε τσιμέντο, λόγος νερού προς τσιμέντο, όρια θλιπτικής αντοχής, καμπτικής αντοχής, αντοχής σε πρόσφυση, δυσθραυστότητα, διαπερατότητα κλπ.)

Η ιδιαιτερότητα του ΕΣ εντοπίζεται σε ορισμένες παραμέτρους όπως:

Μέγιστη διάμετρος αδρανών και κοκκομετρική καμπύλη, επιταχυντές (πρόσμικτα για ανάπτυξη πολύ μεγάλης επιτάχυνσης πήξης και σκλήρυνσης), μεταλλικές ίνες (μήκος, λόγος μήκους προς διάμετρο, ποσότητα , επιδόσεις δυσθραυστότητας), χρόνοι πήξης, πρώιμες αντοχές και πρόσφυση στο υπόστρωμα.

Στο επόμενο σχήμα 1 δίνεται μια συμβουλευτική ζώνη κοκκομετρικής καμπύλης των αδρανών που συμμετέχουν στον σκελετό του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.



Σχήμα Νο 1: Ζώνη κοκκομετρικής καμπύλης αδρανών ΕΣ κατά ΕFNARC.

3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΟΞΕΥΣΗΣ

Η διαδικασία εκτόξευσης (προκαταρκτικές εργασίες πριν την εκτόξευση, εξοπλισμός εκτόξευσης, εμπειρία του χειριστή, εκτέλεση της εκτόξευσης και συντήρηση) αποτελεί ίσως **το «κλειδί»** της επιτυχίας μιας κατασκευής από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Προς τούτο το 1999 δημοσιεύθηκε βελτιωμένη έκδοση μόνο και μόνο για αυτό το τμήμα του κανονισμού. Η ανάλυση αυτού του κεφαλαίου όμως είναι έξω από τους σκοπούς αυτής της παρουσίασης. Ας σημειωθούν εδώ μόνο δύο πρόσθετες πληροφορίες: Η πρώτη αφορά στην εκπαίδευση των εμπλεκόμενων Μηχανικών με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Όλο και ισχυροποιείται η τάση επί τόπου επιμόρφωσης των μηχανικών (Training course), στην διαδικασία εκτόξευσης π.χ. σε φυσικής κλίμακας τούνελ στο Sargans της Ελβετίας από το εξειδικευμένο κέντρο CUC (International Centre for Geotechnics and Underground Construction). Η δεύτερη αφορά στην αναγκαιότητα ύπαρξης έμπειρων χειριστών μέσα από μόνιμες διαδικασίες

επιμόρφωσης και απόκτησης έγκυρων πιστοποιητικών. Έτσι π.χ. η τεχνική Επιτροπή της EFNARC, παρασκευάζει σήμερα ένα ολόκληρο σύστημα έκδοσης πιστοποιητικών για χειριστές εκτοξευόμενου σκυροδέματος (Nozleman Certification) με Ευρωπαϊκά κέντρα εκπαίδευσης, εκπαιδευτές, επιτροπές αξιολόγησης σε περιφερειακό και κεντρικό επίπεδο, ύλη εξετάσεων, επί τύπου επίδειξη ικανοτήτων, παροχή διπλωμάτων, επαναξιολογήσεις κλπ.

4 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΕΛΙΚΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ

Οι απαιτήσεις του τελικού προϊόντος έχουν να κάνουν με τα κριτήρια που έχουν τεθεί από τον σχεδιασμό του έργου και ζητούνται από την μελέτη καθορίζονται δε από τις συμβατικές υποχρεώσεις του έργου. Οι απαιτήσεις αυτές έχουν να κάνουν κυρίως με την θλιπτική αντοχή και όταν ζητούνται άλλες ιδιότητες (όπως π.χ. καμπτική αντοχή, μέτρο ελαστικότητας, αντοχή σε πρόσφυση, διαπερατότητα κ.λ.π.). Στην περίπτωση δε του εκτοξευόμενου σκυροδέματος με μεταλλικές ίνες έχουν να κάνουν με την περιεκτικότητα σε ίνες και με την ικανότητα σε δυσθραυστότητα προσδιοριζόμενη με διάφορους τρόπους.

Οι απαιτήσεις θλιπτικής αντοχής οδηγούν σε κατηγορίες εκτοξευόμενου σκυροδέματος κατά τα πρότυπα του EN 206 για το κλασσικό σκυρόδεμα. Έτσι υπάρχουν οι κατηγορίες εκτοξευόμενου σκυροδέματος π.χ. C 24/30, C32/40, C44/55 έτσι όπως ορίζονται στον παρακάτω πίνακα Νο 1.

Πίνακας Νο 1: Κατηγορία εκτοξευόμενου σκυροδέματος (κατ' αναλογία με το EN 206)

Χαρακτηριστική αντοχή (MPa)							
Κατηγορία σκυροδέματος	C24/30	C28/35	C32/40	C36/45	C40/50	C44/55	C48/60
Κυλινδρικά ¹ δοκίμια	24	28	32	36	40	44	48
Κυβικά ² δοκίμια	30	35	40	45	50	55	60

Ας σημειωθεί ότι, όπου απαιτείται καμπτική αντοχή αυτή προσδιορίζεται σχεδόν μονοσήμαντα από την κατάταξη του Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος σε κατηγορίες σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα Νο 1. Έτσι η ελάχιστη καμπτική αντοχή π.χ. για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C 29/30 είναι 3,4 (MPa) σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα Νο 2.

Πίνακας Νο 2: Καμπτική αντοχή σε δοκίμια εκτοξευόμενου σκυροδέματος διαστάσεων 7.5x12.5x60 cm που διαμορφώθηκαν από πανέλα.

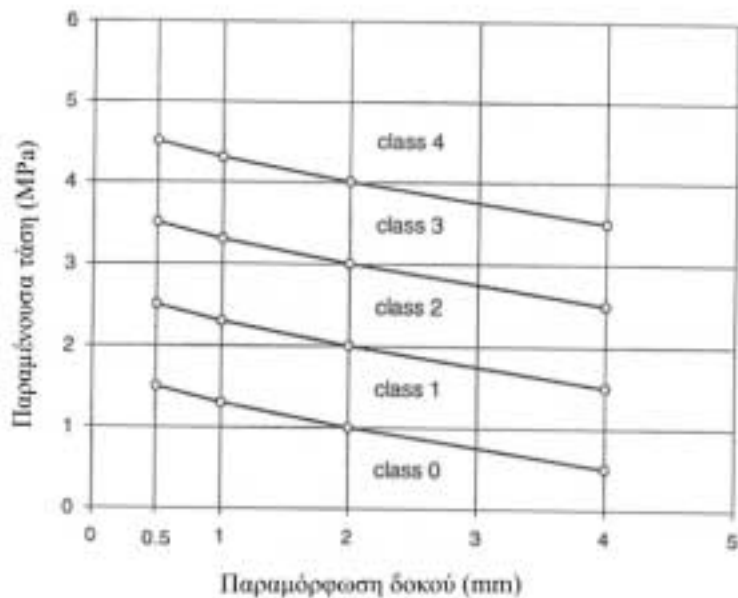
Ελάχιστη καμπτική αντοχή (MPa)			
Κατηγορία σκυροδέματος	C24/30	C36/45	C44/55
Καμπτική αντοχή	3,4	4,2	4,6

Για τις ανάγκες προσδιορισμού της δυσθραυστότητας ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός προτείνει αυτή να εκφραστεί είτε σαν κατηγορία παραμένουσας αντοχής μέσω δοκιμών αντοχής σε κάμψη στα τρίτα σε δοκούς διαστάσεων 7.5x12.5x60 cm είτε σαν κατηγορία απορρόφησης ενέργειας μέσω δοκιμών σε διαξονική κάμψη πλακών διαστάσεων 60x60x10 cm.

¹ Κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων διαμέτρου / ύψους: 5/10 cm προερχόμενα από πυρήνες είτε από πανέλα είτε από την κατασκευή.

² Κυβικά δοκίμια ελάχιστης διάστασης 6x6x6 cm προερχόμενα από πανέλα.

Ως προς τις κατηγορίες ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος μέσω της παραμένουσας αντοχής δίνονται 4 κατηγορίες έτσι όπως προσδιορίζονται στο σχήμα Νο 2.



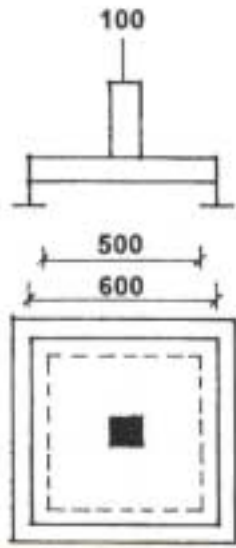
Σχήμα Νο 2: Καθορισμός δυσθραυστότητας μέσω κατηγοριών παραμένουσας αντοχής για ινοπλισμένα εκτοξευόμενα σκυροδέματα.

Ως προς τις κατηγορίες ινοπλισμένων εκτοξευόμενων σκυροδεμάτων μέσω της απορρόφησης ενέργειας δίνονται 3 κατηγορίες σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα Νο 3.

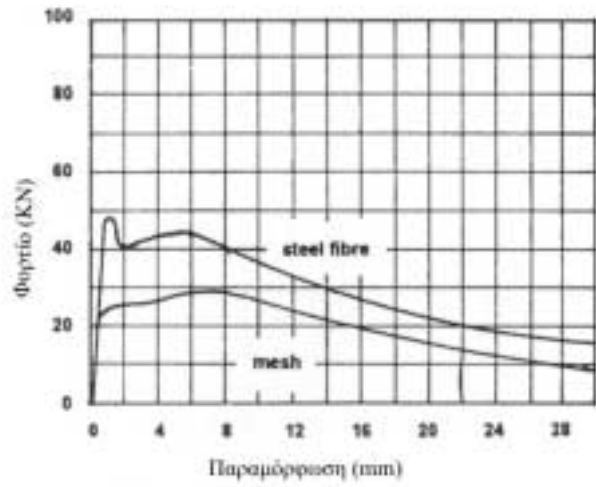
Πίνακας Νο 3: Καθορισμός δυσθραυστότητας μέσω κατηγοριών απορρόφησης ενέργειας για ινοπλισμένα εκτοξευόμενα σκυροδέματα.

Καθορισμός δυσθραυστότητας	Απορρόφηση ενέργειας σε Joule για παραμόρφωση πλακός μέχρι 25mm
a	500
b	700
c	1000

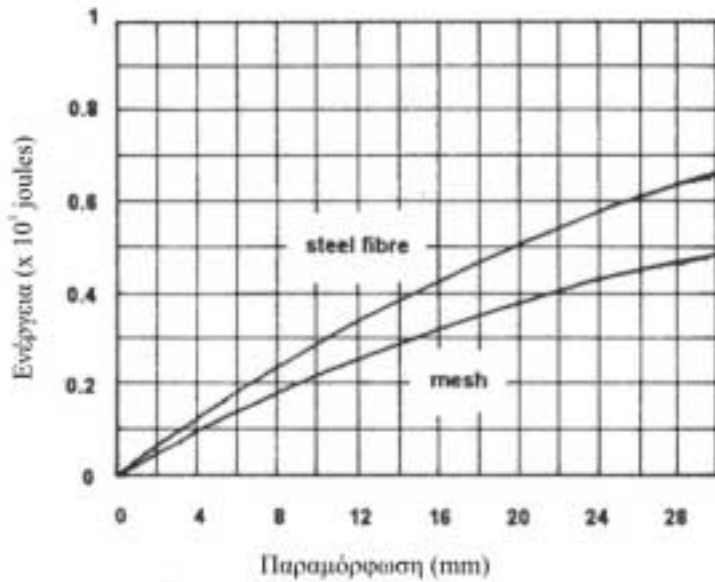
Στην συνέχεια δίνονται τρία σχήματα (No 3, No 4 και No 5) ένα με την διάταξη δοκιμής πλακός και δύο με τις καμπύλες :φορτίου – παραμόρφωσης και ενέργειας - παραμόρφωσης.



Σχήμα Νο 3: Διάταξη δοκιμής πλακός για καθορισμό δυσθραυστότητας μέσω απορρόφησης ενέργειας.



Σχήμα Νο 4: Παράδειγμα καμπυλών φορτίου – παραμόρφωσης για δοκιμή πλακός.



Σχήμα Νο 5: Παράδειγμα καμπυλών ενέργειας – παραμόρφωσης για δοκιμή πλακός.

5 ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Ο ποιοτικός έλεγχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος ορίζεται σαν ένας συνδυασμός πράξεων (actions) και αποφάσεων (decisions) που λαμβάνονται σε συμμόρφωση με προδιαγραφές και ελέγχους ώστε να εξασφαλιστεί ότι ΙΚΑΝΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΟΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ.

Ο ποιοτικός έλεγχος ανάλογα με την σπουδαιότητα του έργου (π.χ. το είδος σχεδιασμού, τον τύπο του έργου, τις επιπτώσεις από αστοχίες κλπ) καθορίζεται σε περιορισμένο, κανονικό ή εκτεταμένο. Στον εκτεταμένο ποιοτικό έλεγχο απαιτούνται ένα οργανόγραμμα για κάθε φάση εργασίας και ένας μηχανικός διασφάλισης ποιότητας αφιερωμένος στον ποιοτικό έλεγχο.

Οι δοκιμές που υποστηρίζουν τον ποιοτικό έλεγχο χωρίζονται στις προκαταρκτικές δοκιμές (όπου ελέγχονται οι απαιτούμενες ιδιότητες νωπού και σκληρυμένου ΕΣ) και στις δοκιμές κατά την εξέλιξη του έργου υπό μορφή ελέγχου παραγωγής (σύμφωνα με EN 206) και ελέγχου συμμόρφωσης (ως προς θλιπτική αντοχή, καμπτική αντοχή, αντοχή σε πρόσφυση, απορρόφηση ενέργειας, περιεκτικότητα σε ίνες, πάχος στρώσης κ.λ.π.).

Η συχνότητα των δοκιμών καθορίζεται ανάλογα με την κατάταξη του ποιοτικού ελέγχου σε περιορισμένο, κανονικό ή εκτεταμένο όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα Νο 4.

Πίνακας Νο 4: Συχνότητα δοκιμών για υποστήριξη του ποιοτικού ελέγχου.

Τύπος ελέγχου	Περιορισμένος	Κανονικός	Εκτεταμένος
Θλιπτική αντοχή	500	250	100
Καμπτική αντοχή		500	250
Τιμή παραμένουσας αντοχής		1000	500
Απορρόφηση ενέργειας		1000	500
Αντοχή σε πρόσφυση		500	250
Περιεκτικότητα ινών		250	100
Πάχος στρώσης	50	25	10
m^2 ανάμεσα σε διαδοχικές δοκιμές			

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος είναι ένας μοντέρνος κανονισμός βασισμένος στις πρόσφατες σχετικές Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές EN που αφορούν τόσο στα υλικά όσο και στις δοκιμές ελέγχου των επιδόσεων του τελικού προϊόντος. Εξετάζει τόσο τα ζητήματα καθορισμού σύγχρονης μελέτης σύνθεσης ελεγχόμενης ποιότητας όσο και παροχής οδηγιών για την επίτευξη και τον έλεγχο των αντοχών καθώς και τις προϋποθέσεις για αποτελεσματική εκτέλεση της μεθόδου εκτόξευσης. Παρέχει δε όλα εκείνα τα συστήματα ώστε το εκτοξευόμενο σκυροδέμα να θεωρείται σήμερα "μόνιμη" δομική υποστήριξη. Αποτελεί δε την βάση για συγκεκριμένες προδιαγραφές για νέα έργα σε παγκόσμια κλίμακα.

7 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1]. EFNARC. 1996. "European Specification for sprayed concrete".
- [2]. EFNARC. 1996. "Execution of spraying".
- [3]. EFNARC. 1999. "European Specification for sprayed concrete – Guidelines".
- [4]. EFNARC. 2002. "European Specification for sprayed concrete – Checklist for Specifiers and Contractors".

[5]. Σακελλαρίου Α. 2001. "Παρουσίαση του Ευρωπαϊκού Κανονισμού EFNARC για το Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα". Ημερίδα ΤΕΕ. Αθήνα.