

Σχολιασμός του σχεδίου Προδιαγραφής Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος και σχετικές προτάσεις με βάση δεδομένα ελέγχου ποιότητας από την επίβλεψη εφαρμογών εκτοξευόμενου σκυροδέματος στην Αθήνα.

Μ.Δ.Μιχαηλίδης
Χημικός Μηχανικός ΕΜΠ

Κ.Ι.Κουτσοπιάς
Χημικός Μηχανικός ΕΜΠ

Λέξεις κλειδιά: εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, έλεγχοι ποιότητας, επιταχυντές

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η παρούσα εργασία διαπραγματεύεται την επίδραση παραγόντων στην επίδοση και στην ποιότητα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος με βάση την εμπειρία από την εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε Τεχνικά Έργα, κυρίως σήραγγες, στην Αττική. Η ελληνική προδιαγραφή Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος είναι ακόμη σε μορφή σχεδίου και ακολουθεί το πνεύμα του ελληνικού Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ'97). Οι συγγραφείς προτείνουν αλλαγές στο σχέδιο προδιαγραφής με έμφαση στον έλεγχο ποιότητας μετά την εφαρμογή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Όλες οι προτάσεις θα πρέπει ίσως να τροποποιηθούν βάσει του προτεινομένου σχεδίου Ευρωπαϊκού Προτύπου για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα prEN 14487-1, μόλις αυτό οριστικοποιηθεί.

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΟΣ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το σχέδιο της ελληνικής Προδιαγραφής εκτοξευόμενου σκυροδέματος (ΠΕΣ) εισάγει δύο επίπεδα ελέγχου ποιότητας. Στο πρώτο επίπεδο του ελέγχου ποιότητας το σχέδιο ΠΕΣ ακολουθεί το πνεύμα του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος του 1997 (ΚΤΣ-97). Τα παρακάτω κριτήρια συμμόρφωσης για το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (ΕΣ) είναι παρόμοια με κριτήρια αποδοχής για το έτοιμο σκυρόδεμα. Το ΕΣ ελέγχεται με πυρήνες που λαμβάνονται από πανέλα, τα οποία παρασκευάζονται με δειγματοληψία επί τόπου του έργου, εφαρμόζοντας τα παρακάτω κριτήρια αποδοχής Α:

$$\begin{aligned} \bar{x}_6 &\geq f_{ck} + 1,6s \\ x_i &\geq f_{ck} - 2MPa \end{aligned} \quad (1)$$

όπου \bar{x}_6 = μέσος όρος έξι (6) αντοχών σε θλίψη, x_i = αντοχή σε θλίψη εκάστου δείγματος από τα έξι, f_{ck} = χαρακτηριστική αντοχή 28 ημερών (εκτός αν ο μελετητής μηχανικός έχει ορίσει ηλικία πρώιμων αντοχών), s = τυπική απόκλιση των έξι (6) αντοχών σε θλίψη.

Το δεύτερο επίπεδο ελέγχου ποιότητας απαιτεί τον έλεγχο σε πυρήνες που λαμβάνονται από ΕΣ που έχει ήδη τοποθετηθεί. Τα κριτήρια συμμόρφωσης Β στο δεύτερο επίπεδο ελέγχου φαίνονται παρακάτω και είναι σε συμφωνία με την Αμερικανική Προδιαγραφή ACI 506.2-91:

$$\begin{aligned} x_3 &\geq f_{ck} \\ x_i &\geq 0,85 f_{ck} \end{aligned} \quad (2)$$

2. Η ΕΡΓΟΤΑΞΙΑΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

Η χρήση της χαρακτηριστικής αντοχής (f_{ck}) στο σχέδιο ΠΕΣ τόσο στη μελέτη συνθέσεως όσο και στα κριτήρια αποδοχής, προϋποθέτει την ύπαρξη ενός ομοιόμορφα κατανεμημένου στατιστικού πληθυσμού. Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτό δεν αναταποκρίνεται στην πραγματικότητα εξαιτίας των εξής πρακτικών προβλημάτων: *ο χειριστής του εκτοξευτή στην εφαρμογή του ΕΣ πρέπει να είναι ο ίδιος άνθρωπος με αυτόν της μελέτης σύνθεσης, η ποσότητα του χρησιμοποιούμενου επιταχυντή είναι πολύ δύσκολο να ελεγχθεί, ο έλεγχος στις πρώτες ύλες είναι πολύ συχνά ανεπαρκής ή ανύπαρκτος, κλπ.*

Ως εκ τούτου η ανάγκη για αυστηρό έλεγχο ποιότητας φαίνεται ότι είναι ουσιαστική. Οι συγγραφείς πιστεύουν ότι μια πιθανή λύση θα ήταν η εφαρμογή των κριτηρίων αποδοχής που προτείνονται στο ACI 506.2. Τα κριτήρια αυτά ενσωματώνουν τις αβεβαιότητες των χρησιμοποιούμενων υλικών και πιθανές εσφαλμένες πρακτικές του χειριστή του εκτοξευτή.

2.1 Η επίδραση του συστήματος χειριστή εκτοξευτικού μηχανήματος

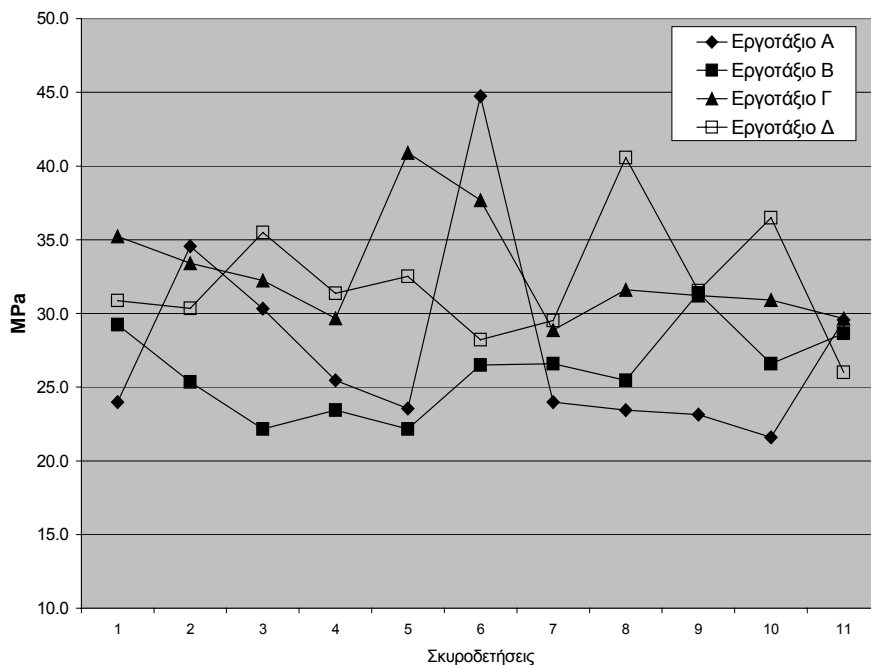
Από δεδομένα ελέγχου ποιότητας, η συλλογή των οποίων έγινε κατά την επίβλεψη εφαρμογής εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε εργοτάξια μεγάλου κατασκευαστικού έργου στην Αττική (Αττική Οδός) η ίδια αναλογία αναμίγματος εφαρμοζόμενη σε διαφορετικά συστήματα χειριστή – εκτοξευτικού μηχανήματος, την ίδια χρονική περίοδο και με τις ίδιες εξωτερικές συνθήκες, αποδίδει διαφορετικές μέσες αντοχές σε θλίψη και τυπικές αποκλίσεις. Τόσο στο ACI 506R-21 παρ. 4.2.1 όσο και στο ASTM C 1140-97 δίδεται έμφαση στην σημασία της επίδρασης του χειριστή στην ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Το αποτέλεσμα της επίδρασης του συστήματος χειριστή – εκτοξευτικού μηχανήματος μετρήθηκε με την αντοχή σε θλίψη σε ηλικία 24 ωρών και 28 ημερών. Ο έλεγχος ποιότητας έγινε κατά τη διάρκεια μακράς περιόδου και σύμφωνα με τις εσωτερικές διαδικασίες ελέγχου του έργου.

Η αναλογία του αναμίγματος που χρησιμοποιήθηκε και στα τέσσερα εργοτάξια φαίνεται στο παράρτημα Α. Στον πίνακα 1 παρατίθενται στατιστικά αποτελέσματα για τα εργοτάξια Α, Β, Γ, και Δ. Το διάγραμμα 1 δείχνει τις καμπύλες των αντοχών σε θλίψη σε ηλικία 28 ημερών. Οι τιμές στον πίνακα 1 και στο διάγραμμα 1 αντιστοιχούν σε αντοχές πυρήνων που ελήφθησαν από πανέλα δειγματοληψίας και έχουν αναγχθεί σε αντοχή κύβου ακμής 15 εκατοστών. Τόσο το διάγραμμα 1 όσο και ο πίνακας 1 οδηγούν σε ένα συμπέρασμα: *η ίδια αναλογία αναμίγματος ΕΣ δεν έχει την ίδια απόδοση σε διαφορετικά εργοτάξια.*

Πίνακας 1: Στατιστικά αποτελέσματα από τα εργοτάξια Α, Β, Γ και Δ.

Εργοτάξιο	Α	Β	Γ	Δ
Μέση αντοχή σε θλίψη 24 ωρών (Μ Pa)	14.0	12.0	16.5	14.7
Τυπική απόκλιση 24 ωρών (Μ Pa)	2.9	2.6	1.0	1.8
Μέση αντοχή σε θλίψη 28 ημερών (Μ Pa)	27.7	26.1	32.9	32.1
Τυπική απόκλιση 28 ημερών (Μ Pa)	6.9	2.9	3.7	4.1



Διάγραμμα 1: Αντοχή σε θλίψη σε ηλικία 28 ημερών

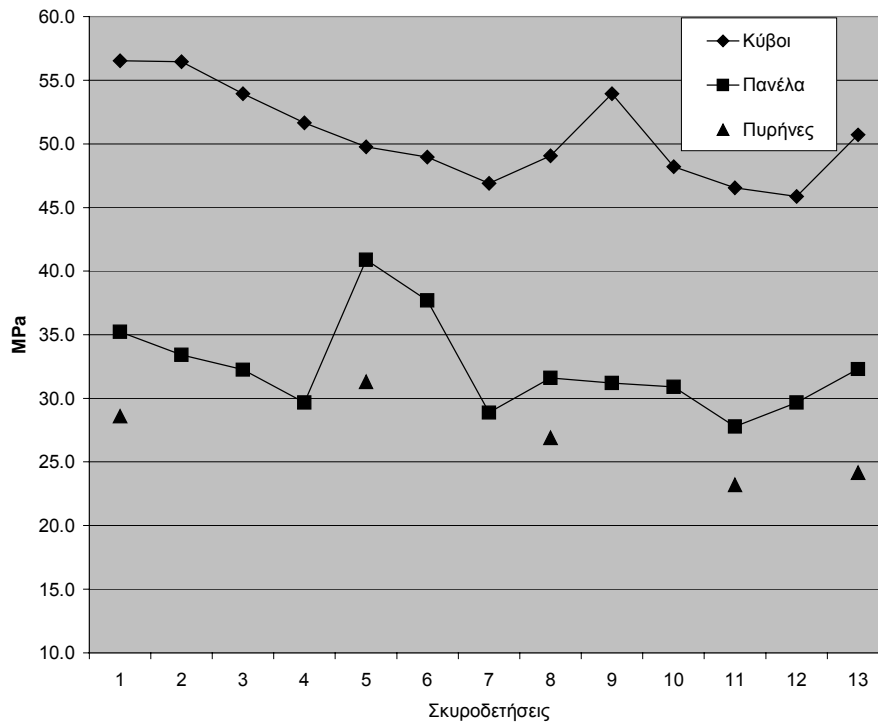
Επιπλέον παρατηρούμε υψηλές τιμές τυπικής αποκλίσεως σε κάθε εργοτάξιο, η οποία αποδίδεται σε αδυναμία ελέγχου της ποσότητας προστιθέμενου επιταχυντή. Οι συγγραφείς πιστεύουν ότι τα κριτήρια συμμόρφωσης A που φαίνονται στις σχέσεις (1)) δεν είναι εφαρμόσιμα σε πραγματικές συνθήκες και προτείνουν η ΠΕΣ θα πρέπει να κάνει χρήση μόνο των κριτηρίων αποδοχής B που φαίνονται στις σχέσεις (2). Με εφαρμογή του ελέγχου ποιότητας μόνο στο τελικό προϊόν (εφαρμοσμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα), τόσο ο χειριστής όσο και ο επιβλέπων θα αποφύγουν την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων επιταχυντή και την παραγωγή «ορφανών» πανέλων δειγματοληψίας, δηλαδή πανέλων χωρίς επιταχυντή.

2.2 Επίδραση της χρήσης επιταχυντή και της έλλειψης συντήρησης

Το διάγραμμα 2 δείχνει συγκριτικά την εξέλιξη των αντοχών σε ηλικία 28 ημερών μεταξύ ετοιμού σκυροδέματος (κυβικά δοκίμια), εκτοξευόμενου σκυροδέματος με χρήση επιταχυντή (πυρήνες από πανέλα με αναγωγή σε κυβικά δοκίμια) και τοποθετημένου σκυροδέματος στη σήραγγα (πυρήνες από σήραγγα με αναγωγή σε κυβικά δοκίμια).

Τα αποτελέσματα δείχνουν:

- Η χρήση του επιταχυντή επηρεάζει σημαντικά την αντοχή σε θλίψη μέχρι 25 έως 30 Μpa στην ηλικία των 28 ημερών.



Διάγραμμα 2: Η επίδραση της χρήσης του επιταχυντή και της έλλειψης συντήρησης.

- b) Η αυξημένη τυπική απόκλιση των αντοχών σε ηλικία 28 ημερών αποδίδεται στην χρήση επιταχυντή από τον χειριστή του εκτοξευτή κυρίως όσον αφορά στην δυνατότητά του να ελέγξει η να μην ελέγξει την προστιθέμενη ποσότητα επιταχυντή.
- c) Οι συνθήκες έλλειψης επαρκούς συντήρησης στη σήραγγα προκαλούν μείωση των αντοχών 28 ημερών μέχρι και 5 MPa. Βέβαια, οι μέθοδοι συντήρησης δεν είναι εύκολο να εφαρμοστούν μέσα σε σήραγγα. Μια πιθανή λύση θα ήταν η χρήση υλικών συντήρησης στο υγρό μίγμα αλλά είναι ακόμη ακριβή λύση για τα ελληνικά εργοταξιακά δεδομένα .

3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. “An Introduction to Sprayed Concrete”, The Sprayed Concrete Association
2. European Specification for Sprayed Concrete EFNARC.
3. ACI 506.2-95: Specification for Shotcrete.
4. ACI 506.3-91: Guide to Certification of Shotcrete Nozzle-men
5. ASTM C 1140-97: Standard Practice for Preparing and Testing Specimens from Shotcrete Test Panels.
6. Σχέδιο προδιαγραφής για το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα / ΥΠΕΧΩΔΕ, 2000.

7. Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-97), ΦΕΚ/315/Β/17.4.97
 8. Σχέδιο Ευρωπαϊκού Προτύπου για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (prEN 14487-1: Sprayed Concrete Part 1: Definitions, Specifications and Conformity, prEN 14488-1: Testing Sprayed Concrete-Part 1: Sampling fresh and hardened concrete)
-

Παράρτημα Α

Αναλογία αναμίγματος Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος

Υλικό	Περιεκτικότητα (kg / m ³ σκυροδέματος)	Παρατηρήσεις
Τσιμέντο (C)	450	W/C=0.44
Νερό (W)	222	
Άμμος	1218	
Γαμπίλι	514	
Υπερ-ρυστοποιητής	3.6	
Σταθεροποιητής	1.2~4.5	

Η κοκκομετρική καμπύλη των αδρανών βρίσκεται στη ζώνη E με μέγιστο κόκκο 1/2".

