

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε έργα επεμβάσεων

Α! ΜΕΡΟΣ

Το Ιστορικό, η Σύνθεση και η Προετοιμασία

Γενικά

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (sprayed concrete ή shotcrete ή gunitite) που χρησιμοποιείται σε έργα επεμβάσεων, είναι σκυρόδεμα λεπτής διαβάθμισης αδρανών που σκυροδετείται με εκτόξευση. Η εφαρμογή του απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό.

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Ε.Σ.) συντίθεται από τσιμέντο, λεπτόκοκκα (ή και χονδρότερα) αδρανή και νερό, μπορεί δε να περιλαμβάνει και ειδικά πρόσμικτα ή πρόσθετα υλικά. Το ινοπλισμένο περιλαμβάνει, επιπροσθέτως χαλύβδινες ή πλαστικές ίνες ή ίνες από γυαλί.

Σήμερα η χρήση του Ε.Σ. σε εργασίες επεμβάσεων είναι κυρίαρχη, ανεξαρτήτως από το είδος του φέροντος οργανισμού της κατασκευής. Στοιχεία από μετασεισμικές επεμβάσεις, μετά από τους τελευταίους ισχυρούς σεισμούς στην χώρα μας [1], δείχνουν ότι οι εργασίες Ε.Σ. αποσπούν το μεγαλύτερο οικονομικό μερίδιο σε σύγκριση με τις άλλες τεχνικές επεμβάσεων και καλύπτουν ποσοστό της τάξεως του 30% του συνολικού κόστους των επεμβάσεων του φέροντος οργανισμού των κτιρίων. Σε κατασκευές με φέροντα οργανισμό από Οπλισμένο Σκυρόδεμα το ποσοστό αυτό ξεπερνά το 40%.

Η ευρύτατη χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στις επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος ή ακόμα και κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία οφείλεται κυρίως στα παρακάτω τέσσερα χαρακτηριστικά του:

1. Το Ε.Σ. έχει **υψηλή Θλιπτική αντοχή**, επειδή ο υδατοσυντελεστής Ν/Τ είναι χαμηλός και επειδή επιτυγχάνεται υψηλή συμπύκνωση λόγω της μεγάλης ταχύτητας εκτόξευσης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι αντοχές της τάξης των 50 ΜΡα βρίσκονται μέσα στα πλαίσια συνήθους εφαρμογής της τεχνικής και ότι αντοχές μέχρι 30 ΜΡα επιτυγχάνονται σχετικά εύκολα.
2. Η μεγάλη ταχύτητα εκτόξευσης παρέχει δυνατότητα **πολύ καλής πρόσφυσης** με το υλικό βάσης. Οι διαστάσεις των κόκκων των αδρανών παρέχουν μεγάλη ικανότητα διείσδυσης μέσα στις μικροανωμαλίες της επιφάνειας βάσης, η οποία συνήθως έχει προηγουμένως εκτραχυνθεί.
3. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα **αυτοστηρίζεται**, δηλαδή δεν απαιτείται η χρήση ξυλοτύπου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και στο κάτω μέρος οριζοντίων στοιχείων.
4. Η **εγκατάσταση είναι κινητή** και σε συνδυασμό με το είδος του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται επιτρέπει τη σκυροδέτηση σε δύσκολες και δυσπρόσιτες θέσεις. Χαρακτηριστικά μπορεί να αναφερθεί ότι "αν υπάρχει χώρος για έναν άνθρωπο και ένα λάστιχο, μπορούμε να σκυροδετήσουμε".

Όμως παρά την ευρύτατη χρήση του υλικού, εξακολουθεί να υπάρχει σύγχυση στους μηχανικούς και τα συνεργεία που χρησιμοποιούν το Ε.Σ., κυρίως λόγω της απουσίας ενός Κανονιστικού πλαισίου για την εφαρμογή του ή έστω μιας σαφούς προδιαγραφής εφαρμογής σε έργα επεμβάσεων. Μία προσπάθεια που ξεκίνησε πριν μερικά χρόνια από το ΥΠΕΧΩΔΕ και κατέληξε στο «Σχέδιο Προδιαγραφής για το Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα» (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2000), αν και ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη, δεν ήταν προσανατολισμένη για έργα Επισκευών και Ενισχύσεων και δεν ολοκληρώθηκε. Το τοπίο θα αποσαφηνιστεί πλήρως όταν οριστικοποιηθεί η παραπάνω προδιαγραφή και ολοκληρωθεί μία αντίστοιχη προσπάθεια που γίνεται σήμερα από το Ι.Ο.Κ. στα πλαίσια σύνταξης των «Προσωρινών Εθνικών Τεχνικών Προδιαγραφών» για Έργα Αποκατάστασης από Σεισμούς.

Στο κείμενο που ακολουθεί, γίνεται μια προσπάθεια να δοθεί ένας οδηγός για εφαρμογή του Ε.Σ. σε έργα επεμβάσεων χρησιμοποιώντας ως κύριο υλικό τα συμπεριλαμβανόμενα στο παραπάνω Σχέδιο Προδιαγραφής και τροποποιώντας το κατά την κρίση μου με βάση: (α) τις σχετικές Ευρωπαϊκές και Αμερικανικές Οδηγίες της EFNARC, [3, 4, 5] του ACI [6, 7, 8, 9, 10] και της A.S.T.M. [11] και (β) την Ελληνική βιβλιογραφία [12, 13] καθώς και εμπειρία από εφαρμογές σε έργα επεμβάσεων.

Το Ιστορικό

Η πρώτη μηχανή εκτοξευόμενου σκυροδέματος (Εικόνα 1) επινοήθηκε το 1907 από τον Carl Akeley στην Αμερική και τον Δεκέμβριο του 1910 παρουσιάστηκε στην έκθεση τσιμέντου στην Ν. Υόρκη. Ήταν μια μηχανή ξηράς ανάμιξης που χρησιμοποιούσε μίγμα από λεπτόκοκκα αδρανή (άμμο) και τσιμέντο, και χρησιμοποιήθηκε στις εργασίες ανακατασκευής της όψης του Field Museum του Σικάγου. Μπόρεσε να λειτουργήσει μόνο μια ώρα και μετά το υλικό «μπλοκάρισε» στους σωλήνες. Όμως η αρχή έχει γίνει. Η ιδέα της σκυροδέτησης με εκτόξευση είχε γίνει πράξη. Ο Akeley την ονόμασε "Plaster Gun". Όταν στην συνέχεια τα δικαιώματα εκμετάλλευσης της μηχανής μεταφέρονται σε μια κατασκευαστική εταιρία στο Allentown η μηχανή γίνεται γνωστή ως Cement Gun, η εταιρία μετονομάζεται σε Cement Gun Company και το προϊόν που ήταν ένα «πνευματικά εφαρμοζόμενο κονίαμα» καθιερώνεται ως Gunite . Στις εικόνες 1 και 2 παρουσιάζονται οι φωτογραφίες από την πρωτότυπη μηχανή του Carl Akeley καθώς και μία από τις πρώτες μηχανές που άρχισαν να κυκλοφορούν στην αγορά. Η Cement Gun Company, εξελίχθηκε ραγδαία σε έναν μεγάλο κατασκευαστικό οργανισμό αναλαμβάνοντας μεγάλα έργα σε όλη την Β. Αμερική με αντικείμενο τις επισκευές κτιρίων και γεφυρών, και τις κατασκευές σιράγγων, έχοντας το πλεονέκτημα της αποκλειστικής χρήσης της μηχανής και της ονομασίας του προϊόντος ως gunite.



Εικόνα 1: Η πρώτη μηχανή εκτοξευόμενου Σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε από τον Carl Akeley το 1907 (φώτο του J.J. Shideler, Portland Cement Association), [14]



Εικόνα 2: Μία από τις πρώτες μηχανές του Ε.Σ. που βγήκε στην αγορά το 1914, [15]

Οι φωτογραφίες στις Εικόνες 3 και 4 μας πηγαίνουν πίσω σ' εκείνη την εποχή. Προσέξτε τον χειριστή στην Εικόνα 4. Ο όρος «χειριστής» είναι μάλλον αδόκιμος μιά και το πιστόλι εκτόξευσης είναι προσαρμοσμένο στο κεφάλι!



Εικόνα 3: Ογδόντα χρόνια πριν. Συνεργείο έτοιμο για εργασία [16]



Εικόνα 4: Εκτόξευση σκυροδέματος το 1919 για κατασκευή δεξαμενής νερού [17].

Όταν στην συνέχεια, άρχισαν να αναγνωρίζονται τα μεγάλα πλεονεκτήματα της τεχνικής σε ειδικά έργα, όπως σε έργα επεμβάσεων ή κατασκευές σιράγγων, η τεχνική πέρασε γρήγορα τον Ατλαντικό (γύρω στο 1925) και διαδόθηκε ραγδαία στην Ευρώπη και σ' όλο τον άλλο κόσμο. Το 1950 κυκλοφορούσαν 5000 μηχανές και είχαν κατασκευαστεί έργα σε περισσότερες από 120 χώρες.

Αυτήν την περίοδο η σκυτάλη περνάει σε Ευρωπαϊκά χέρια. Ο George Senn, στην Ελβετία, ανατρέπει την λογική της μηχανής διπλού θαλάμου, που είχε διατηρηθεί από την εποχή του Akeley και δημιουργεί μια μηχανή που χρησιμοποιεί, για την ανάμιξη και προώθηση του μίγματος, έναν τύπο Αρχιμήδειου κοχλία, μειώνοντας έτσι τις ιδιαίτερα αυξημένες απαιτήσεις δεξιοτήτων και μυϊκής δύναμης του χειριστή. Επιπροσθέτως, ενώ μέχρι τότε μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μόνο λεπτόκοκκα υλικά, τώρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αδρανή με μέγιστη διάμετρο 25 mm, χωρίς να είναι ανάγκη να είναι ξηρά ενώ η παραγωγή μπορεί να φτάσει τα 3 m³ την ώρα. Είναι ίσως η πρώτη φορά που, ακριβολογώντας, μπορούμε να μιλάμε για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, μια και μέχρι τότε το ξηρό μίγμα ήταν μόνο άμμος και τσιμέντο. Έτσι ο όρος «Shotcrete» που είχε πρωτοχρησιμοποιηθεί το 1930, από τον Αμερικανικό Σύνδεσμο Μηχανικών Σιδηροδρόμων, αντικαθιστώντας τον όρο «πνευματικά εφαρμοζόμενο κονίαμα», υιοθετείται από το ACI, το 1951, για να περιγράψει το νέο προϊόν που μπορεί πλέον να είναι κονίαμα ή σκυρόδεμα. Ξεκαθαρίζει έτσι μια σύγχυση, που είχε αρχίσει να δημιουργείται στην πράξη, όταν, από κάποιους, ο όρος "Shotcrete" χρησιμοποιείτο για να περιγράψει μίγματα με χοντρότερα αδρανή απ' ότι το "gunite" το οποίο εθεωρείτο για μίγματα άμμου και τσιμέντου. Σήμερα ο όρος "Shotcrete" εξακολουθεί να έχει την έννοια που δόθηκε το 1951. Ορίζεται δηλαδή ως «... το σκυρόδεμα ή το κονίαμα που εκτοξεύεται με μεγάλη ταχύτητα σε μια επιφάνεια» [6] ανεξάρτητα από την μέθοδο παραγωγής του.

Μετά λίγα χρόνια (το 1957), ο τύπος της μηχανής άλλαξε και την θέση της πήρε η μηχανή περιστρεφόμενου κάδου που αναπτύχθηκε από την Meynadier & Cie AG, στην Ζυρίχη, που αποτελεί τον τύπο της μηχανής που έχει επικρατήσει σήμερα στην πράξη. Οι σύγχρονες μηχανές αυτού του τύπου έχουν βάρος 500 έως 1500 Kg, καταλαμβάνουν επιφάνεια δαπέδου 1.0x2.0 m., και το ύψος τους είναι περίπου 1.50 m. Έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιούν αδρανή με κόκκο μέχρι και 20 mm, και η παραγωγή τους μπορεί να ξεπεράσει το 10 m³/h. Το κόστος τους κυμαίνεται από 10.000 έως 20.000 Ευρώ.

Τις τελευταίες 2 δεκαετίες, η εισαγωγή των χημικών προσμίκτων στο σκυρόδεμα έδωσε νέα ώθηση στην τεχνική. Η δυνατότητα επιτάχυνσης της πήξης και σκλήρυνσης του σκυροδέματος ή της ανάπτυξης της αντοχής ή η αύξηση της πρόσφυσης κ.α., ήταν ισχυρά πλεονεκτήματα για την τεχνική λόγω της φύσης των έργων που εχρησιμοποιείτο. Οι δυνατότητες αυτές επέτρεψαν την ανάπτυξη της μεθόδου της υγρής ανάμιξης στην οποία το νερό δεν προστίθεται πλέον στο

ακροφύσιο αλλά στο μίγμα. Η μέθοδος αυτή πρωτοεμφανίστηκε την δεκαετία του 70, και με την εξάπλωση των χημικών προσμίκτων η εξέλιξή της ήταν ραγδαία.

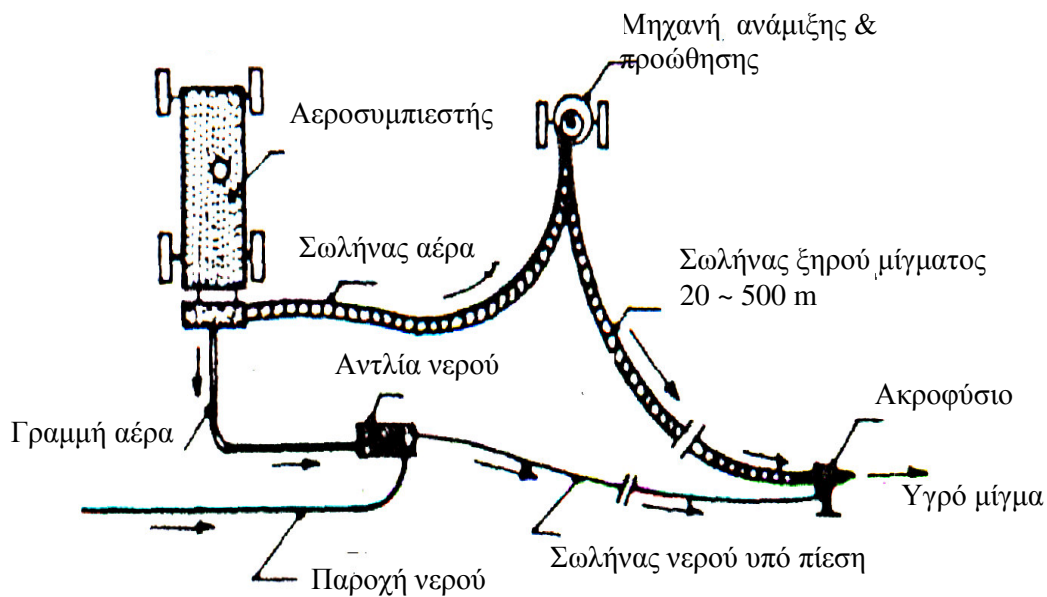
Ποιά από τις δύο μεθόδους είναι καλύτερη; Ποιό είναι καλύτερο, το κατσαβίδι ή η πένσα; Εξαρτάται από την περίπτωση. Σήμερα, στα υπόγεια έργα, η μέθοδος της υγράς ανάμιξης είναι κυρίαρχη και ανταγωνίζεται την μέθοδο της ξηράς ανάμιξης σε αρκετές άλλες περιπτώσεις. Όμως σε έργα επισκευών και ενισχύσεων η μέθοδος της ξηράς ανάμιξης εξακολουθεί να είναι μακράν πρώτη.

Μέθοδοι Παραγωγής

Οι συνήθεις μέθοδοι παραγωγής Ε.Σ. είναι η ξηρά και η υγρά μέθοδος ανάμιξης.

Στη μέθοδο **ξηράς ανάμιξης** το τσιμέντο και τα αδρανή αναμιγνύονται εν ξηρώ και το μίγμα εισάγεται σε μία ειδικά γι' αυτό το σκοπό σχεδιασμένη μηχανή (μηχανή ανάμιξης και προώθησης) . Η προώθηση του μίγματος γίνεται με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα στο σωλήνα διανομής και στη συνέχεια στο ακροφύσιο. Στην είσοδο του ακροφυσίου είναι προσαρμοσμένο το άκρο μιας παροχής νερού, που ελέγχεται από το χειριστή. Από εκεί το νερό εισάγεται με πίεση στο ακροφύσιο και αναμιγνύεται με τα άλλα συστατικά. Τέλος το υλικό εκτοξεύεται από το ακροφύσιο με μεγάλη ταχύτητα προς την επιφάνεια βάσης. Στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται μια σχηματική αναπαράσταση μιας τυπικής διάταξης της παραπάνω εγκατάστασης.

Στη μέθοδο **υγράς ανάμιξης**, αρχικά αναμιγνύονται πλήρως τα αδρανή, το τσιμέντο, και το νερό και το μίγμα εισάγεται σε μια ειδικά σχεδιασμένη μηχανή (μηχανή ανάμιξης και προώθησης). Η προώθηση του μίγματος προς το ακροφύσιο γίνεται είτε πνευματικά όπως και στην ξηρά ανάμιξη είτε συνηθέστερα με άντληση. Εκεί προστίθεται κάποιο επιταχυντικό υλικό, ενώ πρόσθετος πεπιεσμένος αέρας που εισάγεται στο ακροφύσιο αυξάνει την ταχύτητα και βελτιώνει τη διαδικασία εκτόξευσης που ακολουθεί.



Εικόνα 5 : Τυπική εγκατάσταση για την ξηρά μέθοδο [6]

Αν θέλαμε να συγκρίνουμε τις δύο διαδικασίες παραγωγής εκτοξευόμενου σκυροδέματος θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

Στην **ξηρά μέθοδο** ο έλεγχος της ποσότητας του νερού ανάμιξης γίνεται στο ακροφύσιο εμπειρικά από το χειριστή, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογής στις ανά πάσα στιγμή διαφορετικές συνθήκες του έργου. Το σκυρόδεμα αποκτά υψηλότερες αντοχές από ότι με την υγρά ανάμιξη και μάλιστα σε μικρό χρονικό διάστημα. Επίσης ο εξοπλισμός είναι κατάλληλος για χρήση σε μεγάλες αποστάσεις από τη θέση εγκατάστασης (μέχρι 150 m), ενώ το κόστος της συνολικής εγκατάστασης δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό, και είναι πολύ χαμηλότερο από το αντίστοιχο κόστος της υγρής διαδικασίας.

Στην **υγρά μέθοδο** η ποσότητα νερού ελέγχεται στον αναμικτήρα οπότε μπορεί να μετράται επακριβώς, και υπάρχει μεγαλύτερη εγγύηση για τη πλήρη ανάμιξη του νερού με τα άλλα συστατικά. Όταν χρησιμοποιείται η υγρά διαδικασία η σκόνη και το τσιμέντο που διαφεύγουν προς το περιβάλλοντα χώρο είναι σημαντικά μειωμένα σε σύγκριση με ότι συμβαίνει στην ξηρά διαδικασία. Γι' αυτό η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για χώρους που δεν αερίζονται επαρκώς όπως π.χ. στη κατασκευή υπογείων έργων (σηράγγων κλπ.).

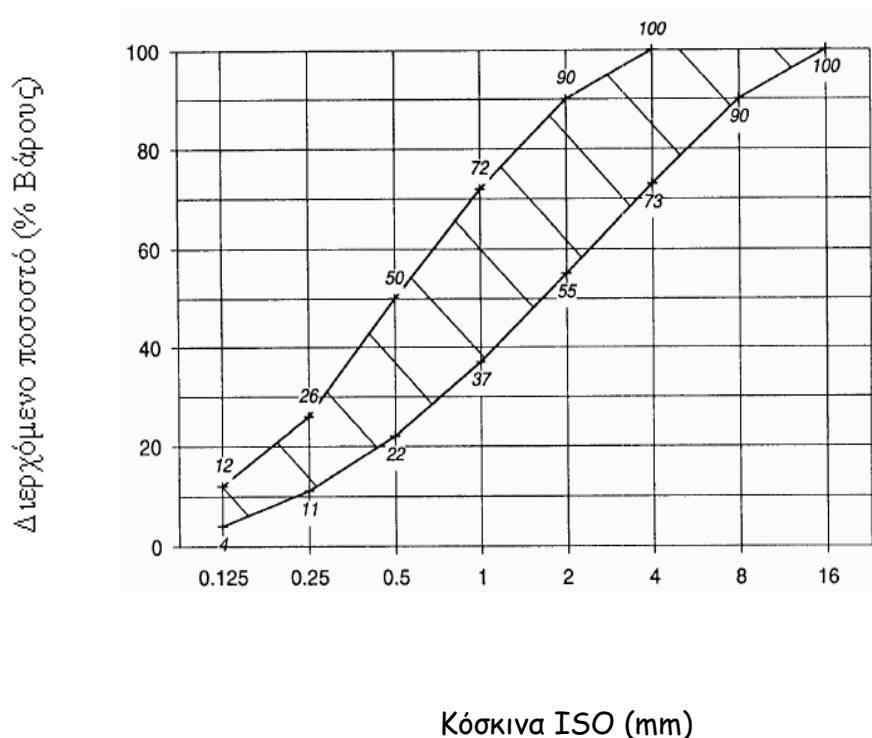
Αξίζει πάντως να επισημανθεί ότι πειραματικά αποτελέσματα ενός μεγάλου αριθμού δοκιμών [6,12] δείχνουν ότι στην περίπτωση ξηράς ανάμιξης, η διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας εκτοξευόμενου σκυροδέματος-παλαιού στοιχείου είναι υπερδιπλάσια της αντίστοιχης αντοχής για υγρά ανάμιξη. Επίσης σημειώνεται ότι το κόστος των υλικών παραγωγής ενός m^3 εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι

σημαντικά μικρότερο στην περίπτωση της υγρής διαδικασίας επειδή τότε το ανακλώμενο (και συνεπώς άχρηστο) υλικό είναι λιγότερο.

Εν κατακλείδι συγκρίνοντας συνολικά τις δύο μεθόδους γίνεται φανερό ότι σε έργα επισκευών και ενισχύσεων η ξηρά μέθοδος εν γένει πλεονεκτεί σαφώς έναντι της υγρής.

Σύνθεση

Η σύνθεση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος ακολουθεί αντίστοιχους κανόνες με αυτούς που ισχύουν για το συμβατικό έγχυτο σκυρόδεμα. Το μίγμα επιλέγεται με μέγιστο κόκκο που δεν ξεπερνά τα 12 mm ενώ το κλάσμα των αδρανών με κόκκο μεγαλύτερο από 8 mm δεν πρέπει είναι μεγαλύτερο από 10%. Επιπροσθέτως, το μίγμα των αδρανών πρέπει να βρίσκεται εντός της σκιασμένης περιοχής του διαγράμματος που προτείνεται από την EFNARC στην Εικόνα 6 [3]. Όταν χρησιμοποιείται η τεχνική της ξηρής ανάμιξης το ανώτερο τμήμα της παραπάνω περιοχής είναι καταλληλότερο ενώ η προύγρυνση των αδρανών συμβάλλει στην ομαλότερη ροή του υλικού και μείωση της σκόνης. Πάντως η φυσική υγρασία των αδρανών πρέπει να είναι μικρότερη από 6% του βάρους τους.



Εικόνα 6: Ορια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών για χρήση σε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, [3]

Ως ελάχιστη ποσότητα τσιμέντου στο μίγμα θεωρείται η προβλεπόμενη στον Κ.Τ.Σ.-97 [18], ανάλογα και με τις ειδικότερες απαιτήσεις. Πάντως δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερη από 300 Kg/m^3 . Εξ' άλλου ο λόγος νερού προς τσιμέντο (N/T) δεν πρέπει να ξεπερνά το 0.55. Τα συνηθέστερα όρια του λόγου N/T είναι 0.35 έως 0.45 για την ξηρά ανάμιξη και 0.40 έως 0.55 για την υγρά. Οι ακριβείς ποσότητες νερού και τσιμέντου πρέπει να προσδιορίζονται από την μελέτη σύνθεσης, ανάλογα με την απαιτούμενη θλιπτική αντοχή (ή και από άλλα ειδικότερα χαρακτηριστικά) του τελικού προϊόντος.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται η υγρά μέθοδος ανάμιξης, ο προσδιορισμός των αναλογιών σύνθεσης, ανάλογα με την απαιτούμενη θλιπτική αντοχή, μπορεί να γίνει με διαδικασίες αντίστοιχες με αυτές που χρησιμοποιούνται και για το συμβατικό αντλήσιμο σκυρόδεμα. Στο υπολογισμό πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη ότι στη θέση πρόσπτωσης, το Ε.Σ., έχει υψηλότερο ποσοστό τσιμέντου και λεπτόκοκκων αδρανών απ' ότι στην θέση ανάμιξης επειδή τα χοντρότερα αδρανή έχουν υψηλότερο ποσοστό ανακλώμενου υλικού.

Στην περίπτωση της ξηράς μεθόδου ανάμιξης, πρέπει να αναγνωρίσουμε, ότι δεν υπάρχει μια τυποποιημένη διαδικασία προσδιορισμού των αναλογιών σύνθεσης. Μπορεί πάντως να βασιστεί κανείς, στις καθιερωμένες αρχές της Τεχνολογίας Σκυροδέματος καθώς και στην προγενέστερη εμπειρία από σχετικά έργα, όπως για παράδειγμα είναι τα δεδομένα θλιπτικής αντοχής για γνωστές συνθέσεις που έχουν παραχθεί στο παρελθόν σε παρόμοια έργα από το ίδιο συνεργείο ή τον ίδιο χειριστή, χρησιμοποιώντας ίδιου τύπου αδρανή.

Ελλείψει σχετικών δεδομένων, μια αρχική χονδρική εκτίμηση των αναλογιών σύνθεσης θα μπορούσε να γίνει με βάση τον παρακάτω Πίνακα συσχέτισης αντοχής και αναλογίας τσιμέντου στο μίγμα και θεωρώντας $N/T \approx 0.40$.

Πίνακας 1: Χονδρική συσχέτιση ποσότητας τσιμέντου και αντοχής Ε.Σ. ξηράς ανάμιξης

f_{ck} (MPa)	Ποσότητα τσιμέντου (Kg/m ³)
20	370
25	400
30	450
35	500

Για παράδειγμα,ας θεωρηθεί ότι η απαιτούμενη χαρακτηριστική αντοχή είναι $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

Προεκτιμάται πυκνότητα Ε.Σ. 2300 Kg/m^3

Ποσότητα τσιμέντου (Πιν. 1): 400 Kg/m^3

Ποσότητα νερού $0.40 \times 400 = 160 \text{ Kg/m}^3$

Ποσότητα αδρανών $2300 - 400 - 160 = 1740 \text{ Kg/m}^3$

Οι ποσότητες νερού και τσιμέντου τελικά διορθώνονται ανάλογα με την επιφανειακή υγρασία των αδρανών.

Στην βιβλιογραφία [6], συνιστάται η επιβεβαίωση του αποτελέσματος της επιλεγείσας αρχικώς σύνθεσης με δοκιμαστική εκτόξευση πριν την έναρξη εκτέλεσης του έργου και η διόρθωσή της εφόσον απαιτηθεί.

Στην παρασκευή του Ε.Σ. ως πρόσθετα μπορούν να χρησιμοποιηθούν: 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 Κ.Τ.Σ.-97. Πάντως η προσθήκη ιπτάμενης τέφρας ή σκωρίας υψικαμίνων δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει το 30% του βάρους του καθαρού τσιμέντου (Portland) ενώ το αντίστοιχο όριο για τα οξειδία πυριτίου είναι 15%. Οι επιταχυντές πήξης πρέπει να συμφωνούν με τις απαιτήσεις της προδιαγραφής A.S.T.M. C1141.

Στην περίπτωση του ινοπλισμένου Ε.Σ. το μήκος των ινών δεν πρέπει να ξεπερνά τα 50 mm και το 0.7 της εσωτερικής διαμέτρου των σωλήνων που χρησιμοποιούνται, εκτός αν αποδειχθεί από επι τόπου δοκιμές ότι δεν δημιουργείται πρόβλημα στην εκτόξευση και διάστρωση του υλικού. Το είδος και η ποσότητα των ινών προβλέπεται από την μελέτη σύνθεσης. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ίνες από χάλυβα θα πρέπει να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις A.S.T.M. 820. Το συνιστώμενο μήκος χαλύβδινων ινών είναι 25-35 mm.

Όταν προβλέπεται προδιύγνωση των αδρανών, η επάρκεια της εκτιμάται με έναν επιτόπου πρόχειρο έλεγχο δημιουργίας «σβώλου στην παλάμη». Μικρή ποσότητα μίγματος συμπιέζεται ισχυρά κλείνοντας την παλάμη. Όταν ανοίγοντας την παλάμη το μίγμα θρυμματίζεται σε διακριτά κομμάτια, η διύγνωση θεωρείται μικρή. Αν το υλικό παραμένει σαν σβώλος η θραύεται αλλά διατηρεί το σχήμα του, η διύγνωση είναι ικανοποιητική. Αν η υγρασία αποπλένεται στο χέρι τότε η διύγνωση είναι υπερβολική. Σε κάθε περίπτωση το ξηρό ανάμιγμα με προδιύγνωση πρέπει να εφαρμόζεται όσο το δυνατόν γρηγορότερα.

Ο χρόνος ανάμιξης του μίγματος προδιαγράφεται από τον Κατασκευαστή του εξοπλισμού ανάμιξης και πρέπει να εξασφαλίζει πλήρη ομοιογένεια του προϊόντος και καλές συνθήκες εκτόξευσης.

Ο χρόνος εργασιμότητας του μίγματος εξαρτάται από την τεχνική παραγωγής και τα ειδικότερα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται. Όταν εφαρμόζεται η ξηρά μέθοδος, η εκτόξευση μιας μάζας σκυροδέματος πρέπει να ολοκληρώνεται εντός σαρανταπέντε (45) λεπτών από την αρχική ανάμιξη των υλικών της ενώ σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος ο χρόνος αυτός περιορίζεται σε 15 λεπτά [9]. Σε άλλη περίπτωση το μίγμα ή το υπόλειμμα του πρέπει να απορρίπτεται. Αυτός ο χρονικός περιορισμός μπορεί να μειωθεί με χρήση πρόσθετων ελέγχου της

ενυδάτωσης, και δεν περιλαμβάνει τα συσκευασμένα αναμιγμένα υλικά εκτός και αν έχουν προδιυγρανθεί . Όταν εφαρμόζεται η υγρά μέθοδος τα παραπάνω χρονικά περιθώρια αυξάνονται σε ενενήντα λεπτά (90). Σε κάθε περίπτωση το συντομότερο είναι και το καλύτερο.

Απαιτήσεις Προσωπικού και Εξοπλισμού

Το τεχνικό προσωπικό που θα ασχοληθεί με την εφαρμογή της μεθόδου πρέπει να έχει αποδεδειγμένη εμπειρία, σε έργα επισκευών και ενισχύσεων που περιελάμβαναν εργασίες με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Πριν την έναρξη των εργασιών, το συνεργείο που θα ασχοληθεί με τις επεμβάσεις αυτού τους είδους, είναι σκόπιμο να εκτελεί δοκιμαστική εκτόξευση Ε.Σ., από την οποία θα πιστοποιείται η ικανότητα του προσωπικού και ειδικότερα του χειριστή του ακροφυσίου για την έντεχνη εκτέλεση της εργασίας. Ως οδηγός για την παραπάνω πιστοποίηση μπορεί να χρησιμοποιείται η σχετική οδηγία του ACI [7].

Ο εξοπλισμός τον οποίο πρέπει να διαθέτει το συνεργείο για την άρτια εκτέλεση της εργασίας εξαρτάται από την μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή του Ε.Σ.

• Όταν εφαρμόζεται η μέθοδος **υγράς ανάμιξης** ο βασικός εξοπλισμός περιλαμβάνει:

- Μηχανή ανάμιξης (αν το μίγμα παρασκευάζεται στο εργοτάξιο)
- Αντλία και σωλήνες προώθησης υγρού μίγματος και ακροφύσιο εκτόξευσης
- Αεροσυμπιεστή με συμπιεστική ικανότητα (πίεση λειτουργίας) της τάξεως των 700 Κρα. Η ικανότητα παροχής αέρα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,5 m³ αέρα/μιν για κάθε m³ Ε.Σ./hr.

• Όταν εφαρμόζεται η μέθοδος **ξηράς ανάμιξης** ο βασικός εξοπλισμός περιλαμβάνει:

- Μηχανή ξηράς ανάμιξης, σωλήνες προώθησης του υλικού και του νερού και ακροφύσιο εκτόξευσης.
- Αεροσυμπιεστή με ελάχιστη συμπιεστική ικανότητα (P):

$$P=200+2,5(l+2h) \text{ (KPa, m)},$$

όπου l το μήκος του σωλήνα προώθησης του υλικού (που δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 20 m) και h η μέγιστη διαφορά ύψους της θέσης εκτόξευσης από την θέση του αεροσυμπιεστή .

Η οριζόντια απόσταση ακροφυσίου και μηχανής ανάμιξης δεν πρέπει να ξεπερνά τα 500 m ενώ η μέγιστη διαφορά ύψους είναι 100 m.

Η ταχύτητα προώθησης του ξηρού υλικού στον σωλήνα πρέπει να είναι της τάξεως 40-60 m/sec και η πίεση του νερού στο ακροφύσιο πρέπει να είναι μεταξύ 400 και 4000 ΚΡα.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται, ανάλογα με τις απαιτήσεις παραγωγής Ε.Σ., οι απαιτήσεις παροχής αέρα και η συνιστώμενη διάμετρος του σωλήνα προώθησης

και του ακροφύσιου, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή ταχύτητα εκτόξευσης.

Πίνακας 2: Απαιτήσεις εξοπλισμού ξηράς ανάμιξης [4]

Απαιτ. Παραγωγή Ε.Σ. (m ³ /hr)	Απαιτήσεις παροχής πεπιεσμένου αέρα (m ³ /min)	Συνιστώμενη εσωτερική διάμετρος σωλήνων και ακροφύσιου (mm)
1	3	25
2	4-5	32
4	8-10	40
6	12-14	50
9	17-20	65

Η ικανότητα παροχής πεπιεσμένου αέρα του αεροσυμπιεστή συνιστάται να ξεπερνά τουλάχιστον κατά 50% τις κατά περίπτωση απαιτήσεις.

Προετοιμασία Επιφάνειας Διάστρωσης

Η επιφάνεια πάνω στην οποία θα εφαρμοστεί το Ε.Σ. πρέπει να προετοιμάζεται και να προστατεύεται κατά τη διάρκεια της εκτόξευσης. Τα υλικά που την διαμορφώνουν και θα έρθουν σε επαφή με το Ε.Σ. πρέπει να είναι στερεά, πυκνής δομής και να μη δονούνται κατά τη διάρκεια της εκτόξευσης. Η προετοιμασία της επιφάνειας πάνω στην οποία θα γίνει η εκτόξευση εξαρτάται από τον τύπο του δομικού υλικού της και εκτελείται ως ακολούθως:

α) Επιφάνεια Σκυροδέματος

Οι διαδικασίες προετοιμασίας επιφάνειας σκυροδέματος πρέπει να εξασφαλίζουν ένα στερεό υπόβαθρο, το οποίο θα έχει την ικανότητα να αναπτύξει επαρκή πρόσφυση και σύνδεση με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Όπου υπάρχει θραυσμένο ή σε μεγάλη έκταση ρηγματωμένο ή σαθρό σκυρόδεμα, αυτό θα απομακρύνεται εντελώς. Επίσης θα απομακρύνεται όποιο τμήμα σκυροδέματος έχει προσβληθεί με επιβλαβείς χημικές ουσίες, λάδια ή γράσσα. Η διαδικασία προετοιμασίας της επιφάνειας σκυροδέματος, πάνω στην οποία θα γίνει η εκτόξευση, εξαρτάται από το προβλεπόμενο από την μελέτη απαιτούμενο βάθος εκτράχυνσης. Εάν δεν αναφέρεται διαφορετικά στην μελέτη, οι μέθοδοι που επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν είναι η υδροβολή, η αμμοβολή και η χρήση αερόσφυρας πολλαπλής κεφαλής (αεροματσάκονο). Διαδικασίες εκτράχυνσης της επιφάνειας βάσης με χειρονακτικές μεθόδους ισχυρής τοπικής κρούσης όπως, π.χ. πελέκημα ή χρήση σφυριού και καλεμιού πρέπει να αποφεύγονται, επειδή η συνάφεια που προσφέρουν

είναι μικρή. Δύο είναι κυρίως οι λόγοι της μειωμένης συνάφειας. Ο πρώτος είναι ότι με αυτές τις τεχνικές είναι πολύ δύσκολο ή αδύνατο να επιτευχθεί εκτράχυνση στο σύνολο της επιφάνειας βάσης (επειδή κάποια τμήματα αναπόφευκτα δεν θα εκτραχυνθούν). Ο δεύτερος λόγος είναι ότι δημιουργούνται μικρορηγματώσεις ακριβώς κάτω από την προετοιμαζόμενη επιφάνεια οι οποίες προκαλούν μείωση της συνάφειας και επιταχύνουν την εκδήλωση ατελειών και ελαττωμάτων στην περιοχή. Εφόσον οι συνθήκες εργασίας το επιτρέπουν συνιστάται η χρήση της υδροβολής κατά προτεραιότητα και έπεται η χρήση της αμμοβολής. Πριν την εκτόξευση του σκυροδέματος η επιφάνεια θα καθαρίζεται με καθαρό πεπιεσμένο αέρα. Ακολούθως το υφιστάμενο σκυρόδεμα θα υγραίνεται μέχρι κορεσμού με νερό υπό χαμηλή πίεση (πίεση δικτύου), χωρίς επικαθήσεις νερού στην επιφάνεια. Στην περιοχή εκτόξευσης σκυροδέματος πάνω σε στρώση νεαρής ηλικίας (όχι μεγαλύτερης από εβδομήντα δύο (72) ώρες από την αρχική πήξη του) η προετοιμασία θα περιορίζεται στην απομάκρυνση επιφανειακών ενχύσεων τσιμέντου, υλικών αναπήδησης και άλλων χαλαρών υλικών. Η αρχική πήξη μπορεί να ελέγχεται με την εισαγωγή ενός καρφιού μέσα στη στρώση του νωπού Ε.Σ.

β) Επιφάνεια Τοιχοποιίας

Για τις επιφάνειες τοιχοποιίας ακολουθούνται αντίστοιχες διαδικασίες με αυτές που αναφέρθηκαν προηγουμένως για επιφάνειες από σκυρόδεμα, στοχεύοντας στην εξασφάλιση ενός στερεού υπόβαθρου, το οποίο θα έχει την ικανότητα να αναπτύξει επαρκή πρόσφυση και σύνδεση με το Ε.Σ. Όπου υπάρχουν θραυσμένα ή σε μεγάλη έκταση ρηγματωμένα ή σαθρά τμήματα τοιχοποιίας, αυτά θα αποκαθίσταται κατάλληλα πριν την εφαρμογή του Ε.Σ. Οι αρμοί της τοιχοποιίας είναι σκόπιμο να διευρύνονται εκτός εάν προβλέπεται διαφορετικά από την μελέτη.

Πριν τη εκτόξευση του σκυροδέματος η επιφάνεια θα καθαρίζεται με καθαρό πεπιεσμένο αέρα. Ακολούθως η τοιχοποιία θα υγραίνεται μέχρι κορεσμού.

γ) Επιφάνεια Χάλυβα

Όταν η εκτόξευση γίνεται σε στοιχεία από χάλυβα (οπλισμούς ή άλλα χαλύβδινα στοιχεία), η επιφάνεια τους πρέπει να είναι καθαρή, απαλλαγμένη από κάθε πρόσθετο υλικό (όπως ρινίσματα, σκουριά, λάδια, γράσσο, πάγο, υλικό αναπήδησης, χρώμα), που μπορεί να εμποδίσει την ανάπτυξη της συνάφειας μεταξύ Ε.Σ. και χάλυβα. Το υλικό της αναπήδησης από γειτονικές περιοχές πρέπει να απομακρύνεται όσο είναι ακόμη νωπό και μαλακό με βούρτσα ή υδροβολή με φροντίδα να μην επηρεαστεί το σχετικά νεαρό υφιστάμενο σκυρόδεμα. Λεπτά χαλύβδινα στοιχεία ή ράβδοι οπλισμού πρέπει να στερεώνονται με ασφάλεια για την αποφυγή δονήσεώς τους κατά τη διάρκεια της εκτόξευσης, που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια πρόσφυσης ή κατάρρευση στρώσης του νωπού σκυροδέματος.

δ) Επιφάνεια Καλουπιών

Τα καλούπια είναι η μόνη κατηγορία επιφανειών υποβάθρου η οποία δεν απαιτεί την ανάπτυξη αντοχής συνάφειας με το Ε.Σ. Πριν την εκτόξευση θα απομακρύνονται από τα καλούπια όλα τα ξένα σώματα (σκληρυμένο σκυρόδεμα, ξύλα, χαρτιά, πολυστερίνη, κλπ.). Αν το καλούπι είναι υδατοαπορροφητικό τότε είτε θα διαβρέχεται μέχρι κορεσμού, είτε θα χρησιμοποιείται ένα υλικό που θα δημιουργεί φράγμα στην απώλεια νερού προς το καλούπι.

Τα καλούπια πρέπει να είναι στερεωμένα με ασφάλεια, ώστε να αποφεύγεται οποιαδήποτε δόνηση κατά τη διάρκεια της εκτόξευσης. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του καλουπιού θα προβλέπουν τη δυνατότητα διαφυγής του αέρα και την απομάκρυνση του υλικού της αναπήδησης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θερμές ευχαριστίες απευθύνονται στον Ο.Α.Σ.Π. για την χρηματοδότηση του Εφηρμοσμένου Ερευνητικού Προγράμματος «Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών», στα πλαίσια του οποίου διαμορφώθηκε το μεγαλύτερο τμήμα του παραπάνω κειμένου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Καρέλα Ν., Δρίτσος Σ., Μαντζιάρα Π. και Καμπιτάκη Μ., (2001): "Τεχνικές Αποκατάστασης Κτιρίων στην Πάτρα μετά τον Σεισμό του 1993", 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Τόμος Β., σελ. 437-444, Θεσσαλονίκη.
2. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., (2000) : "Σχέδιο Προδιαγραφής για το Εκτοξευμένο Σκυρόδεμα", Ενημ. Δελτίο ΤΕΕ, Τευχ. 2114, σελ. 64-81.
3. EFNARC (1996): "European Specification for Sprayed Concrete", www.efnarc.org
4. EFNARC (1999a) : "European Specification for Sprayed Concrete - Guidelines for Specifiers and Contractors", www.efnarc.org
5. EFNARC (1999b): "European Specification for Sprayed Concrete- Checklist for Specifiers and Contractors", www.efnarc.org
6. ACI Committee 506 (1990): "Guide to Shotcrete", ACI Manual of Concrete Practice, Report 506R-90.
7. ACI Committee 506 (1991): "Guide to Certification of Shotcrete Nozzlemen", ACI Practice, Report 506.3R-91
8. ACI Committee 506 (1998): "Committee Report on Fiber Reinforced Shotcrete" , ACI Practice, Report 506.1R-98.
9. ACI Committee 506 (1995): "Specification for Shotcrete" ACI Practice, Report 506.2-95.

10. ACI Committee 506 (1994): "Guide for the Evaluation of Shotcrete", ACI Practice, Report 506.4R-94.
11. ASTM C1140: "Preparing and Testing Specimens from Shotcrete Test Panels".
12. Δρίτσος Σ. (2000, 2001): "Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα", σελ. 309, Βιβλ. Παπασωτηρίου
13. Ε.Μ.Π., (1978): "Συστάσεις για τις Επισκευές Κτιρίων Βλαμμένων από Σεισμό", Αθήνα.
14. Teichert P., (2002), "Carl Akeley - A Tribute to the Founder of Shotcrete", Shotcrete Magazine, Summer 2002, pp. 10-12.
15. Teichert P., (2003), "Dry-mix Guns", Shotcrete Magazine, Winter 2003, pp. 4-6.
16. Yogy G.D., (2002), "The History of Shotcrete", Winter 2002, pp. 20-23.
17. Yogy G.D., (2000), "The History of Shotcrete", Fall 2000, pp. 28-29.
18. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. (1997): "Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος -97", ΦΕΚ 315B/14-7-1997.

Το Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα σε Έργα Επεμβάσεων

Β! ΜΕΡΟΣ

Η Προετοιμασία και η Εκτόξευση

Προετοιμασία Επιφάνειας Διάστρωσης

Η επιφάνεια πάνω στην οποία θα εφαρμοστεί το Ε.Σ. πρέπει να προετοιμάζεται και να προστατεύεται κατά τη διάρκεια της εκτόξευσης. Τα υλικά που την διαμορφώνουν και θα έρθουν σε επαφή με το Ε.Σ. πρέπει να είναι στερεά, πυκνής δομής και να μη δονούνται κατά τη διάρκεια της εκτόξευσης. Η προετοιμασία της επιφάνειας πάνω στην οποία θα γίνει η εκτόξευση εξαρτάται από τον τύπο του δομικού υλικού της και εκτελείται ως ακολούθως:

α) Επιφάνεια Σκυροδέματος

Οι διαδικασίες προετοιμασίας επιφάνειας σκυροδέματος πρέπει να εξασφαλίζουν ένα στερεό υπόβαθρο, το οποίο θα έχει την ικανότητα να αναπτύξει επαρκή πρόσφυση και σύνδεση με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Όπου υπάρχει θραυσμένο ή σε μεγάλη έκταση ρηγματωμένο ή σαθρό σκυρόδεμα, αυτό θα απομακρύνεται εντελώς. Επίσης θα απομακρύνεται όποιο τμήμα σκυροδέματος έχει προσβληθεί με επιβλαβείς χημικές ουσίες, λάδια ή γράσσα. Η διαδικασία προετοιμασίας της επιφάνειας σκυροδέματος, πάνω στην οποία θα γίνει η εκτόξευση, εξαρτάται από το προβλεπόμενο από την μελέτη απαιτούμενο βάθος εκτράχυνσης. Εάν δεν αναφέρεται διαφορετικά στην μελέτη, οι μέθοδοι που επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν είναι η υδροβολή, η αμμοβολή και η χρήση αερόσφυρας πολλαπλής κεφαλής (αεροματσάκονο). Διαδικασίες εκτράχυνσης της επιφάνειας βάσης με χειρονακτικές μεθόδους ισχυρής τοπικής κρούσης όπως, π.χ. πελέκημα ή χρήση σφυριού και καλεμιού πρέπει να αποφεύγονται, επειδή η συνάφεια που προσφέρουν είναι μικρή. Δύο είναι κυρίως οι λόγοι της μειωμένης συνάφειας. Ο πρώτος είναι ότι με αυτές τις τεχνικές είναι πολύ δύσκολο ή αδύνατο να επιτευχθεί εκτράχυνση στο σύνολο της επιφάνειας βάσης (επειδή κάποια τμήματα αναπόφευκτα δεν θα εκτραχυνθούν). Ο δεύτερος λόγος είναι ότι δημιουργούνται μικρορηγματώσεις ακριβώς κάτω από την προετοιμαζόμενη επιφάνεια οι οποίες προκαλούν μείωση της συνάφειας και επιταχύνουν την εκδήλωση ατελειών και ελαττωμάτων στην περιοχή. Εφόσον οι συνθήκες εργασίας το επιτρέπουν συνιστάται η χρήση της υδροβολής κατά προτεραιότητα και έπεται η χρήση της αμμοβολής. Πριν την εκτόξευση του σκυροδέματος η επιφάνεια θα καθαρίζεται με καθαρό πεπιεσμένο αέρα. Ακολούθως το υφιστάμενο σκυρόδεμα θα υγραίνεται μέχρι κορεσμού με νερό υπό χαμηλή πίεση (πίεση δικτύου), χωρίς επικαθήσεις νερού στην επιφάνεια. Στην περιοχή εκτόξευσης σκυροδέματος πάνω σε στρώση νεαρής ηλικίας (όχι μεγαλύτερης από εβδομήντα δύο (72) ώρες από την αρχική πήξη του) η προετοιμασία θα περιορίζεται στην

απομάκρυνση επιφανειακών ενχύσεων τσιμέντου, υλικών αναπήδησης και άλλων χαλαρών υλικών. Η αρχική πήξη μπορεί να ελέγχεται με την εισαγωγή ενός καρφιού μέσα στη στρώση του νωπού Ε.Σ.

β) Επιφάνεια Τοιχοποιίας

Για τις επιφάνειες τοιχοποιίας ακολουθούνται αντίστοιχες διαδικασίες με αυτές που αναφέρθηκαν προηγουμένως για επιφάνειες από σκυρόδεμα, στοχεύοντας στην εξασφάλιση ενός στερεού υποβάθρου, το οποίο θα έχει την ικανότητα να αναπτύξει επαρκή πρόσφυση και σύνδεση με το Ε.Σ. Όπου υπάρχουν θραυσμένα ή σε μεγάλη έκταση ρηγματωμένα ή σαθρά τμήματα τοιχοποιίας, αυτά θα αποκαθίσταται κατάλληλα πριν την εφαρμογή του Ε.Σ. Οι αρμοί της τοιχοποιίας είναι σκόπιμο να διευρύνονται εκτός εάν προβλέπεται διαφορετικά από την μελέτη.

Πριν τη εκτόξευση του σκυροδέματος η επιφάνεια θα καθαρίζεται με καθαρό πεπιεσμένο αέρα. Ακολούθως η τοιχοποιία θα υγραίνεται μέχρι κορεσμού.

γ) Επιφάνεια Χάλυβα

Όταν η εκτόξευση γίνεται σε στοιχεία από χάλυβα (οπλισμούς ή άλλα χαλύβδινα στοιχεία), η επιφάνεια τους πρέπει να είναι καθαρή, απαλλαγμένη από κάθε πρόσθετο υλικό (όπως ρινίσματα, σκουριά, λάδια, γράσσο, πάγο, υλικό αναπήδησης, χρώμα), που μπορεί να εμποδίσει την ανάπτυξη της συνάφειας μεταξύ Ε.Σ. και χάλυβα. Το υλικό της αναπήδησης από γειτονικές περιοχές πρέπει να απομακρύνεται όσο είναι ακόμη νωπό και μαλακό με βούρτσα ή υδροβολή με φροντίδα να μην επηρεαστεί το σχετικά νεαρό υφιστάμενο σκυρόδεμα. Λεπτά χαλύβδινα στοιχεία ή ράβδοι οπλισμού πρέπει να στερεώνονται με ασφάλεια για την αποφυγή δονήσεώς τους κατά τη διάρκεια της εκτόξευσης, που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια πρόσφυσης ή κατάρρευση στρώσης του νωπού σκυροδέματος.

δ) Επιφάνεια Καλουπιών

Τα καλούπια είναι η μόνη κατηγορία επιφανειών υποβάθρου η οποία δεν απαιτεί την ανάπτυξη αντοχής συνάφειας με το Ε.Σ. Πριν την εκτόξευση θα απομακρύνονται από τα καλούπια όλα τα ξένα σώματα (σκληρυμένο σκυρόδεμα, ξύλα, χαρτιά, πολυστερίνη, κλπ.). Αν το καλούπι είναι υδατοαπορροφητικό τότε είτε θα διαβρέχεται μέχρι κορεσμού, είτε θα χρησιμοποιείται ένα υλικό που θα δημιουργεί φράγμα στην απώλεια νερού προς το καλούπι.

Τα καλούπια πρέπει να είναι στερεωμένα με ασφάλεια, ώστε να αποφεύγεται οποιαδήποτε δόνηση κατά τη διάρκεια της εκτόξευσης. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του καλουπιού θα προβλέπουν τη δυνατότητα διαφυγής του αέρα και την απομάκρυνση του υλικού της αναπήδησης.

Εκτόξευση Σκυροδέματος

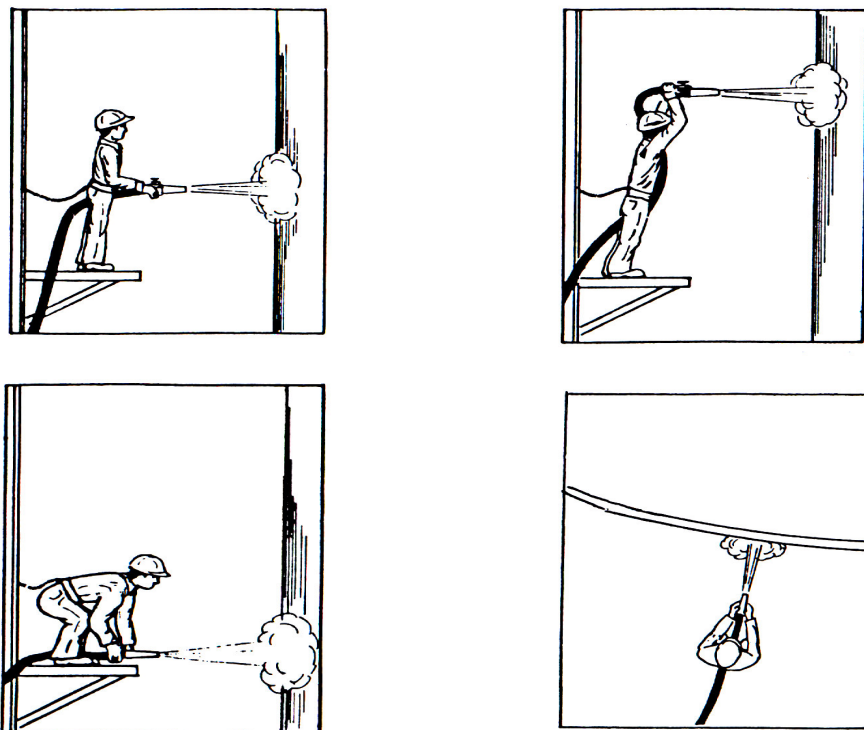
Η εκτόξευση του σκυροδέματος πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το τελικό προϊόν να έχει συμπαγή και πυκνή δομή, επαρκώς επικολλημένη στην επιφάνεια του υποβάθρου, όπου αυτό υπάρχει. Η ποιότητα του επί τόπου απολαμβανόμενου σκυροδέματος εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τον χειριστή του ακροφυσίου, τον έλεγχο του νερού και του επιταχυντικού προσθέτου του μίγματος, την πίεση του αέρα, την απόσταση του ακροφυσίου από την προσβαλλόμενη επιφάνεια, την ταχύτητα εξόδου των υλικών από το ακροφύσιο και τις τεχνικές χρήσεως του ακροφυσίου. Ειδικότερα:

α) Η τροφοδοσία του υλικού θα είναι τέτοια ώστε να τηρούνται οι αναλογίες των υλικών του τελικού μίγματος, να μην υπάρχουν εμφράξεις του εξοπλισμού και να διατηρείται μία σταθερή ροή του υλικού στο ακροφύσιο. Όταν η ροή είναι ασυνεχής ή μεταβαλλόμενης ποσότητας ή όταν ο χειριστής του ακροφυσίου επιφέρει αλλαγές στην ποσότητα του νερού, τότε το ακροφύσιο θα κατευθύνει τη ροή μακριά από τη θέση εκτόξευσης μέχρι την αποκατάσταση σταθερών συνθηκών υλικού και τροφοδοσίας.

β) Η θερμοκρασία του μίγματος πριν την εκτόξευσή του και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου δεν πρέπει να είναι κάτω από 5°C ή πάνω από 35°C. Το συνιστώμενο εύρος θερμοκρασίας είναι μεταξύ 10°C και 25°C. Για θερμοκρασίες που βρίσκονται εκτός του συνιστώμενου εύρους αλλά εντός του αποδεκτού απαιτείται η λήψη κατάλληλων μέτρων προσαρμογής της θερμοκρασίας των συστατικών του μίγματος όπως η προθέρμανση ή πρόψυξη των αδρανών ή/και του νερού ανάμιξης ή η θερμική προστασία του χώρου εργασίας. Για θερμοκρασίες περιβάλλοντος εκτός του αποδεκτού εύρους εφαρμόζονται αναλόγως οι διατάξεις των παρ. 12.8 και 12.9 του Κ.Τ.Σ.-97 [18].

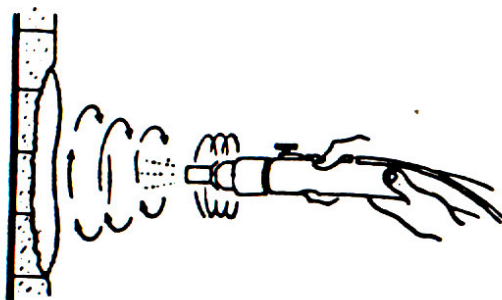
γ) Η ταχύτητα με την οποία το υλικό εξέρχεται από το ακροφύσιο και η απόστασή του από την επιφάνεια εκτόξευσης θα πρέπει να είναι οι βέλτιστες, ώστε η συμπύκνωση της εκτοξευόμενης στρώσης και η πρόσφυση στην επιφάνεια του υποβάθρου να μεγιστοποιούνται και η αναπήδηση να ελαχιστοποιείται. Η απόσταση του ακροφυσίου από την προσβαλλόμενη επιφάνεια συνιστάται να είναι μεταξύ 0.5 m και 1.0 m. Η ελάχιστη και η μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση είναι 0.5 m και 1.5 m αντίστοιχα.

δ) Η κατεύθυνση του ακροφυσίου και της εκτόξευσης θα είναι κατά το δυνατόν κάθετη προς την επιφάνεια εκτόξευσης, με στόχο την ελαχιστοποίηση του ανακλώμενου υλικού (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Σωστές θέσεις εκτόξευσης [6]

ε) Κάθε στρώση θα δομείται με κατεύθυνση από τα κατώτερα τμήματα προς τα ανώτερα και ο χειριστής θα συμπληρώνει το συνολικό πάχος της στρώσης με επάλληλες κυκλικές ή ελλειπτικές κινήσεις του ακροφυσίου χωρίς κινήσεις μπρός - πίσω, σε διαδοχικά «περάσματα» (Εικόνα 8).



Εικόνα 8: Οι στρώσεις συμπληρώνονται με επάλληλες μικρές κυκλικές ή ελλειπτικές κινήσεις του ακροφυσίου [6]

στ) Όταν χρησιμοποιείται η ξηρά διαδικασία, ο έλεγχος της ποσότητας του νερού από τον χειριστή, απαιτεί ειδική εκπαίδευση και εμπειρία. Για καλύτερο έλεγχο η πίεση του νερού στο ακροφύσιο θα πρέπει να ξεπερνά την πίεση του αέρα

τουλάχιστον κατά 100-200 kPa [6]. Πρακτικά θα μπορούσε κανείς να εκτιμήσει ότι η ποσότητα νερού είναι σωστά επιλεγμένη όταν το υλικό φαίνεται ελαφρά γυαλιστερό. Μεγαλύτερη ποσότητα του νερού έχει ως συνέπεια την αδυναμία μέρους του υλικού να παραμείνει στην θέση όπου εκτοξεύτηκε χωρίς το υλικό να «κρεμάει» ή «κυλάει». Αντίθετα όταν χρησιμοποιείται μικρότερη ποσότητα νερού το υλικό έχει σκούρα και αμμώδη επιφάνεια χωρίς να γυαλίζει. Η μικρή ποσότητα νερού (μικρότερη από την απαιτούμενη) δεν θα πρέπει να θεωρηθεί πλεονέκτημα για την αντοχή επειδή ο λόγος N/T προκύπτει μειωμένος. Αντίθετα, έχει ως συνέπεια την κακή συμπίκνωση και την κατά περιοχές συσσώρευση αδρανών, την αδύναμη σύνδεση των στρώσεων, την κακής ποιότητας τελική επιφάνεια και τελικά την μειωμένη αντοχή. Δείγματα από εργασίες εκτοξευόμενου σκυροδέματος στην πράξη έδειξαν ότι το συνηθέστερο σφάλμα του χειριστή στην εκτίμηση της ποσότητας του νερού, βρίσκεται προς την πλευρά της επιλογής λιγότερου νερού. Η συνήθης επιθυμητή ρευστότητα επιτυγχάνεται για τιμές κάθισης του υλικού μεταξύ 35 και 75 mm.

ζ) Σε κάθε πέραςμα ή ανά στρώση δεν πρέπει να τοποθετείται περισσότερο υλικό από αυτό που μπορεί να προσκολληθεί με ασφάλεια χωρίς να παρουσιάζεται παραμόρφωση λόγω ολίσθησής του ή χαλάρωση της στρώσης. Ο χειριστής θα πρέπει να έχει πάντα τον έλεγχο του εφαρμόσιμου πάχους του υλικού και να μην υπερβαίνει αυτά τα όρια. Το πάχος κάθε στρώσης Ε.Σ. (όταν δεν χρησιμοποιούνται επιταχυντές πήξης), συνιστάται να είναι τέτοιο ώστε:

α) Όταν περιλαμβάνονται οπλισμοί να καλύπτονται οι ράβδοι τουλάχιστον 10 mm σε στρώσεις οροφής και 20 mm σε κατακόρυφες στρώσεις.

β) Όταν δεν περιλαμβάνονται οπλισμοί:

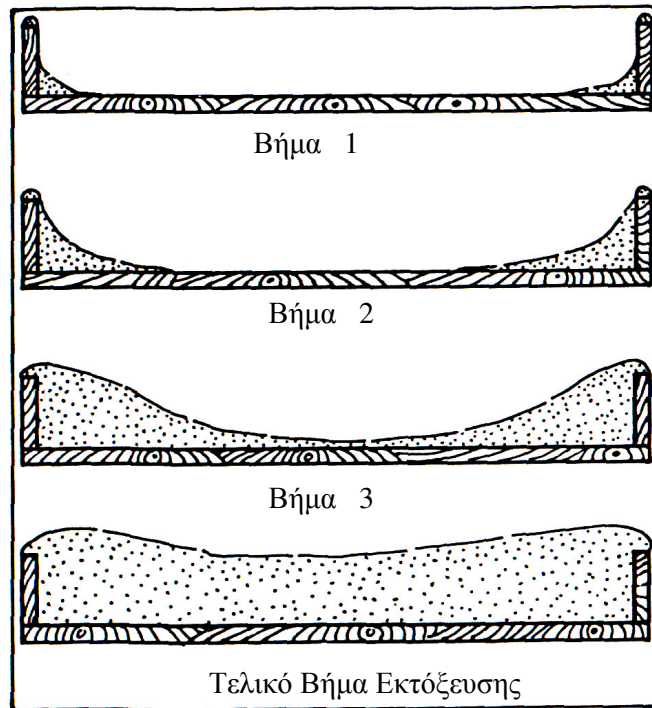
max 30 mm σε στρώσεις οροφής

max 50 mm σε κατακόρυφες στρώσεις

Κάθε πρόσθετη στρώση Ε.Σ. εκτοξεύεται όταν η προηγούμενη έχει αποκτήσει ικανοποιητική αντοχή. Σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος γύρω στους 20°C, όταν δεν χρησιμοποιούνται επιταχυντές πήξης ο χρόνος αναμονής για την σκυροδέτηση της επόμενης στρώσης είναι μεταξύ 3 και 5 ώρες.

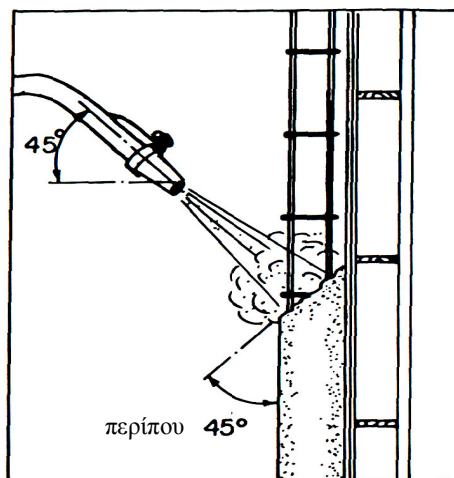
η) Μεγάλες κοιλότητες, σπηλαιώσεις ή ρήγματα της επιφάνειας εκτόξευσης πρέπει να γεμίζουν προσεκτικά με Ε.Σ. πριν την εφαρμογή της κύριας στρώσης.

θ) Εφόσον υπάρχουν εσωτερικές γωνίες στην επιφάνεια διάστρωσης ή γενικά σε περιοχές επιρρεπείς στην παγίδευση υλικού αναπήδησης η εκτόξευση θα αρχίζει από εκεί και το μέτωπο εργασίας θα απομακρύνεται πάντα με κατά μήκος κλίση από αυτές τις περιοχές (Εικόνα 9) [6].



Εικόνα 9: Κατάλληλη διαδικασία εκτόξευσης σε εσωτερικές γωνίες [6]

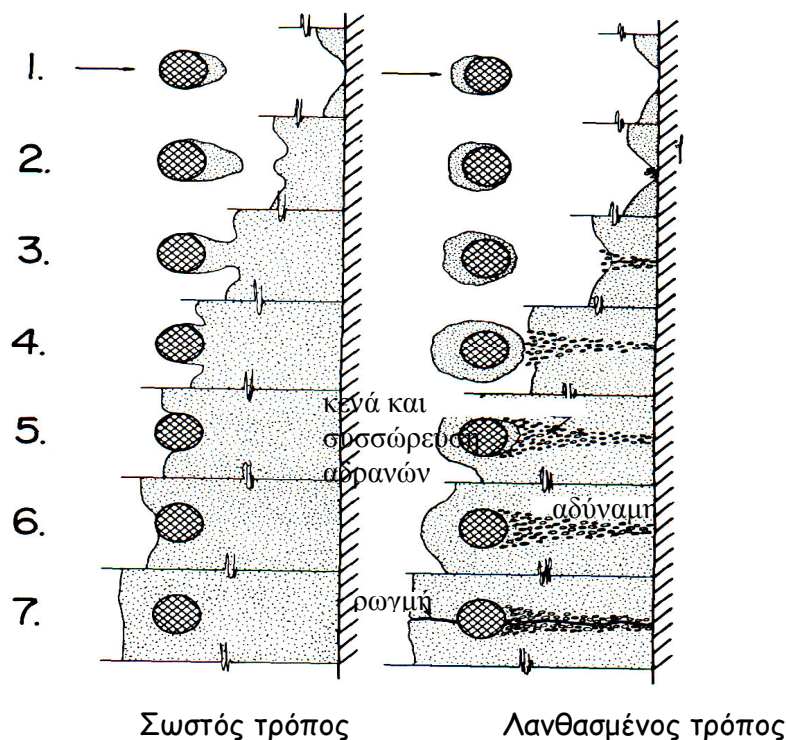
ι) Όταν εφαρμόζεται μονή στρώση μεγάλου πάχους (πάνω από 150 mm) θα εφαρμόζεται τεχνική εκτόξευσης τύπου «ράμπας» κατά την οποία η στρώση δομείται με μια γωνία κορυφής περίπου 45° η οποία επιτρέπει στο υλικό της αναπήδησης να κυλάει προς τα έξω (Εικόνα 10) [6]:



Εικόνα 10: Συνιστώμενος τρόπος εκτόξευσης για μεγάλα πάχη [6]

ια) Όταν η εκτόξευση γίνεται παρουσία ράβδων οπλισμού, συνιστάται να μειώνεται η απόσταση του ακροφυσίου από την επιφάνεια και να επιλέγεται ελαφρά απόκλιση της γωνίας εκτόξευσης από την ορθή ώστε το σκυρόδεμα να περνά και να συγκρατείται πίσω από τις ράβδους. Έτσι για οριζόντιες ράβδους η εκτόξευση πρέπει να γίνεται από στάθμη λίγο χαμηλότερα ή υψηλότερα από αυτήν της αντίστοιχης ράβδου, ενώ για κατακόρυφες ράβδους λίγο αριστερότερα ή δεξιότερα. Όταν η δέσμη συναντά δύο στρώσεις οπλισμού τα προβλήματα εντείνονται και μάλιστα ακόμα περισσότερο όταν οι οπλισμοί είναι πυκνοί. Στην περίπτωση ύπαρξης οπλισμού σε μεγάλο πάχος διατομές, στον εξοπλισμό θα περιλαμβάνεται διάταξη πεπιεσμένου αέρα ή μηχανή αναρρόφησης, η οποία θα επιτρέπει στο χειριστή της να ακολουθεί το χειριστή του ακροφυσίου και να απομακρύνει αμέσως κάθε υλικό αναπήδησης που πιθανόν να συσσωρεύεται πίσω από τον οπλισμό.

Όταν το σκυρόδεμα εκτοξεύεται προς τον οπλισμό, το μέτωπο της ράβδου θα πρέπει να παραμένει καθαρό χωρίς προσκόλληση σκυροδέματος, το δε εκτοξευόμενο υλικό πρέπει να ρέει γύρω και πίσω από τις ράβδους, δημιουργώντας έτσι ένα συμπακνωμένο σκυρόδεμα πίσω από αυτές. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στην Εικόνα 11, η επικόλληση σκυροδέματος στο μέτωπο της ράβδου, είναι η απαρχή δημιουργίας ασυμπύκνωτης περιοχής πίσω από την ράβδο και ως εκ τούτου αποτελεί ένδειξη λανθασμένου τρόπου εκτόξευσης. Για την αποφυγή κενών ή ασυμπύκνωτων περιοχών πίσω από ράβδους οπλισμού, απαιτείται κατ' ελάχιστον ένα κενό 20 mm πίσω από τις ράβδους για να υπάρξει η δυνατότητα εγκιβωτισμού τους στο Ε.Σ.



Εικόνα 11 : Εκτόξευση παρουσία οπλισμού [6]

Για τον ίδιο λόγο συνιστάται η αποφυγή χρήσης ινοπλισμένου Ε.Σ. με χαλύβδινες ίνες όταν στην εκτοξευόμενη στρώση εγκιβωτίζονται ράβδοι οπλισμού. Χαλύβδινες ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν γίνεται εκτόξευση σε στρώσεις έξω από ράβδους οπλισμού. Αν από την μελέτη προβλέπεται η χρήση ινοπλισμένου σκυροδέματος που εγκιβωτίζουν ράβδους οπλισμού θα πρέπει να γίνει ιδιαίτερη τεχνική προδιαγραφή για την εκτέλεση της εκτόξευσης.

ιβ) Για την καθοδήγηση στην διαμόρφωση των ευθυγραμμίων μπορούν να χρησιμοποιούνται οδηγοί από λεπτά σύρματα τα οποία δεν επηρεάζουν την διαδικασία της εκτόξευσης. Τα σύρματα αυτά πρέπει να έχουν υψηλή εφελκυστική αντοχή, διάμετρο 0.8 ή 1 mm, και τοποθετούνται (σφιχτά τεντωμένα) στις γωνίες, στις προβολές των διατομών και σε επίπεδες επιφάνειες σε διαστήματα συνήθως 0.6 έως 1m.

Για την καθοδήγηση στην διαμόρφωση καμπύλων επιφανειών, μπορούν να χρησιμοποιούνται χαλύβδινες ράβδοι διαμέτρου 6mm οι οποίες θα κάμπτονται στην απαιτούμενη καμπυλότητα και θα στερεώνονται κατάλληλα. Επίσης είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ξύλινα πηχάκια με διαστάσεις της τάξεως 25 × 50 mm που θα συνδέονται με τραβέρσες ανά 0.6 έως 1 m.

ιγ) Για καθοδήγηση στην διαμόρφωση του προβλεπόμενου από την μελέτη πάχους πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικά στοιχεία που προσαρμόζονται στις απαιτήσεις κάθε ειδικής περίπτωσης εφαρμογής. Τα στοιχεία αυτά μπορεί να είναι μετρητές ή ανιχνευτές βάθους.

Ως μετρητές βάθους χρησιμοποιούνται μικροί μεταλλικοί ή πλαστικοί δείκτες που προσκολλώνται ή εγκαθιστώνται κάθετα στην επιφάνεια εκτόξευσης σε κατάλληλα διαστήματα και ύψη. Δίνουν ένα εγκατεστημένο οδηγό του πάχους του Ε.Σ. , τοποθετημένοι ακριβώς κάτω από την τελικά διαμορφούμενη επιφάνεια της στρώσης και εγκαταλείπονται μέσα στη στρώση υπό την προϋπόθεση ότι δεν επηρεάζουν αρνητικά τα χαρακτηριστικά της στρώσης. Ανιχνευτές βάθους είναι συνήθως λεπτές ράβδοι ή σιδηρά σύρματα κατάλληλης διαμέτρου, τα οποία έχουν σηματοδοτεί με ενδείξεις πάχους για το Ε.Σ. και χρησιμοποιούνται όπου υπάρχει μεγαλύτερο εύρος ανοχών στις απαιτήσεις της τελικής επιφάνειας και είναι αποδεκτή η ύπαρξη αντίστοιχων οπών στη δημιουργούμενη στρώση. Οι ανιχνευτές εισάγονται στο Ε.Σ. μέχρι το υπόβαθρο, καταγράφοντας το βάθος.

ιδ) Όταν σταματά η εκτόξευση, ο χειριστής διακόπτει πρώτα την τροφοδοσία του υλικού, και όταν πλέον ο αέρας εκτοξεύεται καθαρός, διακόπτεται η παροχή νερού και τέλος η παροχή του αέρα.

ιε) Η περιοχή του μετώπου εργασίας πρέπει να προστατεύεται με κατάλληλα μέσα (όπως πετάσματα, κλπ.) για να εξασφαλιστούν συνθήκες καλής εκτόξευσης (χωρίς επιρροή από τις καιρικές συνθήκες), αλλά και για να προστατευτούν οι γειτονικές περιοχές από τα υλικά αναπήδησης, τη σκόνη, κλπ.

Διαμόρφωση Τελικής Επιφάνειας

Για την διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας απομακρύνονται τα σωματίδια που έχουν προσκολληθεί ανεπαρκώς, με χρήση μιάς μαλακής πλαστικής βούρτσας όταν θα έχει αρχίσει η αρχική σκλήρυνση της ψευδο-πήξης συνήθως μία έως δύο ώρες μετά την εκτόξευση. Απαγορεύεται οιαδήποτε εργασία που μπορεί να διαταράξει τον ιστό του Ε.Σ., πέραν της ανωτέρω, όπως πήχιασμα, αφαίρεση οδηγών, αλφάδιασμα, κλπ. για διάστημα 48 ωρών μετά την εκτόξευση.

Όταν από την μελέτη προβλέπεται «τελική επίστρωση» για την κάλυψη των κυματισμών ή των κενών της αρχικής επιφάνειας που προέκυψε από την εκτόξευση ή για να δοθεί ο επιθυμητός εξωτερικός χρωματισμός ή για να καλυφθούν τα ίχνη ινών στην περίπτωση του ινοπλισμένου Ε.Σ., η σύνθεση περιλαμβάνει περισσότερο λεπτόκοκκο υλικό και περισσότερο νερό και προσδιορίζεται από ειδική προς τούτο μελέτη σύνθεσης. Ελλείψει της ειδικής μελέτης, ως μέγιστος αποδεκτός κόκκος αδρανών του μίγματος «τελικής επίστρωσης» θα μπορούσε να θεωρηθεί το $\frac{1}{2}$ του πάχους της επίστρωσης και η ποσότητα του νερού ανάμιξης θα μπορούσε να αυξηθεί μέχρι και 50%.

Συντήρηση

Η συντήρηση αρχίζει αμέσως μετά την ολοκλήρωση της εκτόξευσης και διαρκεί για χρονικό διάστημα που εξαρτάται από τις συνθήκες περιβάλλοντος και τις ειδικές απαιτήσεις του έργου. Το χρονικό αυτό διάστημα θα καθορίζεται από τη μελέτη και δεν θα είναι μικρότερο από επτά (7) ημέρες. Όταν δεν αναφέρεται διαφορετικά στην μελέτη το χρονικό διάστημα λαμβάνεται δέκα τέσσερις (14) ημέρες.

Η απαραίτητη για τη συντήρηση υγρασία εξασφαλίζεται:

- Με μεθόδους που απαγορεύουν ή επιβραδύνουν την εξάτμιση του νερού του μίγματος, όπως ο ψεκασμός με ειδικά υγρά που σχηματίζουν επιφανειακή μεμβράνη, η επικάλυψη με λινάτσες, άμμο, και αδιάβροχα φύλλα, ή η ενσωμάτωση στο σκυρόδεμα ειδικών υλικών (στην φάση ανάμιξης) που δημιουργούν ένα εσωτερικό διάφραγμα, κλπ.
- Με μεθόδους που αντικαθιστούν το νερό που εξατμίζεται όπως διαβροχή κατάκλιση της περιοχής, κλπ.

Επιτρέπεται να γίνει φυσική συντήρηση του Ε.Σ., χωρίς δηλαδή να γίνουν οι παραπάνω αναφερόμενες ενέργειες συντήρησης όταν η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος διατηρείται πάνω από 95% κατά το χρόνο συντήρησης.

Η συντήρηση πρέπει να αρχίζει αμέσως μετά την ολοκλήρωση της εκτόξευσης, ώστε να καλύψει τις απαιτήσεις που δημιουργούνται λόγω της γρήγορης εξέλιξης της διαδικασίας ενυδάτωσης, από την χρήση επιταχυντικών προσθέτων. Εάν χρησιμοποιείται Ε.Σ. με προσθήκη συμπληρωματικών συνδετικών υλικών όπως πυριτική παιπάλη, ιπτάμενη τέφρα, κλπ. και επειδή τα υλικά αυτά γενικώς έχουν μεγαλύτερη περίοδο ενυδάτωσης από το τσιμέντο Portland, θα λαμβάνεται μέριμνα για την κάλυψη όλης της περιόδου αυτής με διαδικασίες επαρκούς συντήρησης.

Συντήρηση με μεμβράνη που σχηματίζεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος με ψεκασμό, εν γένει δεν επιτρέπεται, εφ' όσον πρόκειται να διαστρωθεί άλλη στρώση Ε.Σ. Επιτρέπεται μόνο αν από επί τόπου δοκιμές τεκμηριωθεί ότι η παραπάνω διαδικασία δεν μειώνει την συνάφεια μεταξύ των στρώσεων. Εάν για οποιοδήποτε λόγο απαιτηθεί εκτόξευση σκυροδέματος σε επιφάνεια στρώσης που έχει συντηρηθεί με ψεκαζόμενη μεμβράνη τότε αυτή θα απομακρύνεται με χρήση υδροβολής ή αμμοβολής ή με άλλο όμοιο αποτελεσματικό τρόπο.

Σε έργα που είναι δύσκολο να επιτευχθεί συνεχής συντήρηση με τις διαδικασίες που αναφέρθηκαν προηγουμένως, μπορεί να γίνει αποδεκτή μετά από έγκριση της Επίβλεψης, μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία του ψεκασμού του σκυροδέματος με νερό, τουλάχιστον κάθε δύο (2) ώρες τις πρώτες 7 ημέρες μετά την σκυροδέτηση και κάθε τέσσερις (4) ώρες για τις επόμενες 7 ημέρες καθ' όλη την διάρκεια του 24ώρου (ημέρα και νύχτα). Ο ψεκασμός θα αρχίζει αμέσως μετά τις εργασίες εκτόξευσης και θα εκτελείται με προσοχή για αποφυγή καταστροφής της επιφανειακής στρώσης.

Ανακλώμενο και Υπερψεκαζόμενο Υλικό

Το ανακλώμενο (rebound) και το υπερψεκαζόμενο (overspray) υλικό είναι ανεπιθύμητα προϊόντα της εκτόξευσης. Αποτελεί κύριο μέλημα του χειριστή η ελαχιστοποίησή τους.

Το **ανακλώμενο υλικό** περιέχει μεγάλο ποσοστό από τα χονδρότερα αδρανή και μειώνεται προοδευτικά όσο αυξάνει το πάχος της στρώσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Είναι υλικό που δεν πρέπει ποτέ να καλυφθεί με Ε.Σ. και επειδή δεν επιτρέπεται να επαναχρησιμοποιηθεί αυξάνει το κόστος παραγωγής του τελικού προϊόντος. Επιπρόσθετα σημειώνεται, ότι το αυξημένο ποσοστό του ανακλώμενου υλικού, όπως και του υπερψεκαζόμενου δημιουργούν δυσμενείς συνθήκες εργασίες για τον χειριστή της εκτόξευσης. Εξάλλου αύξηση του ανακλώμενου υλικού πέρα από αυτή που έχει εκτιμηθεί στη μελέτη σύνθεσης, τροποποιεί τις αναλογίες των υλικών στο τελικό προϊόν και αυξάνει την συστολή ξήρανσης επειδή μειώνονται τα χονδρόκοκκα αδρανή. Αν η εκτόξευση γίνει σε θέσεις που δεν έχει απομακρυνθεί το ανακλώμενο ή το υπερψεκαζόμενο υλικό δημιουργούνται περιοχές μειωμένης αντοχής και κακής συνάφειας.

Το ποσοστό του ανακλώμενου υλικού εξαρτάται ιδιαίτερα από τη θέση της επιφάνειας όπου γίνεται η εκτόξευση. Έτσι, για εργασίες οροφής, το ποσοστό του ανακλώμενου υλικού μπορεί να φθάσει μέχρι και 50% ενώ το πιο μικρό ποσοστό λαμβάνεται για εργασίες δαπέδου. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υγράς ανάμιξης τα αντίστοιχα ποσοστά είναι πολύ μικρότερα (της τάξης του 30-40% της ξηράς ανάμιξης). Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα ποσοστά του ανακλώμενου υλικού για διάφορες θέσεις της επιφάνειας βάσης [6].

Πίνακας 3: Ποσοστά ανακλώμενου υλικού [6]

Εκτοξευόμενη Επιφάνεια	Ξηρά Ανάμιξη	Υγρά Ανάμιξη
Δάπεδα	5-15%	0-5%
Κεκλιμένοι ή κατακόρυφοι τοίχοι	15-25%	5-10%
Οροφή	25-50%	10-20%

Το **υπερψεκαζόμενο υλικό** είναι υλικό που διαχέεται πέρα από την θέση διάστρωσης και αποτελείται από λεπτόκοκκα αδρανή και τσιμέντο. Επικολλάται στην επιφάνεια βάσης, δημιουργεί συσσωματώματα με τους οπλισμούς και εφόσον σκληρυνθεί πριν γίνει η εκτόξευση στις θέσεις που βρίσκεται, μειώνει την συνάφεια του εκτοξευόμενου σκυροδέματος με το παλαιό σκυρόδεμα και τους οπλισμούς.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θερμές ευχαριστίες απευθύνονται στον Ο.Α.Σ.Π. για την χρηματοδότηση του Εφηρμοσμένου Ερευνητικού Προγράμματος «Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών», στα πλαίσια του οποίου διαμορφώθηκε το μεγαλύτερο τμήμα του παραπάνω κειμένου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Καρέλα Ν., Δρίτσος Σ., Μαντζιάρα Π. και Καμπιτάκη Μ., (2001): "Τεχνικές Αποκατάστασης Κτιρίων στην Πάτρα μετά τον Σεισμό του 1993", 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Τόμος Β., σελ. 437-444, Θεσσαλονίκη.
2. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., (2000) : "Σχέδιο Προδιαγραφής για το Εκτοξευμένο Σκυρόδεμα", Ενημ. Δελτίο ΤΕΕ, Τευχ. 2114, σελ. 64-81.
3. EFNARC (1996): "European Specification for Sprayed Concrete", www.efnarc.org
4. EFNARC (1999a) : "European Specification for Sprayed Concrete - Guidelines for Specifiers and Contractors", www.efnarc.org
5. EFNARC (1999b): "European Specification for Sprayed Concrete- Checklist for Specifiers and Contractors", www.efnarc.org
6. ACI Committee 506 (1990): "Guide to Shotcrete", ACI Manual of Concrete Practice, Report 506R-90.
7. ACI Committee 506 (1991): "Guide to Certification of Shotcrete Nozzlemen", ACI Practice, Report 506.3R-91

8. ACI Committee 506 (1998): "Committee Report on Fiber Reinforced Shotcrete" , ACI Practice, Report 506.1R-98.
9. ACI Committee 506 (1995): "Specification for Shotcrete" ACI Practice, Report 506.2-95.
10. ACI Committee 506 (1994): "Guide for the Evaluation of Shotcrete", ACI Practice, Report 506.4R-94.
11. ASTM C1140: "Preparing and Testing Specimens from Shotcrete Test Panels".
12. Δρίτσος Σ. (2000, 2001): "Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα", σελ. 309, Βιβλ. Παπασωτηρίου
13. Ε.Μ.Π., (1978): "Συστάσεις για τις Επισκευές Κτιρίων Βλαμμένων από Σεισμό", Αθήνα.
18. Teichert P., (2002), "Carl Akeley - A Tribute to the Founder of Shotcrete", Shotcrete Magazine, Summer 2002, pp. 10-12.
19. Teichert P., (2003), "Dry-mix Guns", Shotcrete Magazine, Winter 2003, pp. 4-6.
20. Yoggy G.D., (2002), "The History of Shotcrete", Winter 2002, pp. 20-23.
21. Yoggy G.D., (2000), "The History of Shotcrete", Fall 2000, pp. 28-29.
18. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. (1997): "Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος -97", ΦΕΚ 315B/14-7-1997.

Το Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα σε Έργα Επεμβάσεων
Γ! ΜΕΡΟΣ
Έλεγχοι και Ασφάλεια

Έλεγχοι

Τέσσεροι κύριοι τύποι ελέγχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις εφαρμογές Ε.Σ.. Ο οπτικός, ο γεωμετρικός, ο μηχανικός (κρουστικός) και ο εργαστηριακός.

Μπορούν ίσως να χρησιμοποιηθούν και άλλες μορφές ελέγχου όπως (όπως π.χ. οι μη καταστροφικές μέθοδοι με χρήση κρουσιμέτρου ή υπερήχων ή θερμογραφικοί), (βλ. ACI 506.4R-94). Όμως μέχρι σήμερα απουσιάζει παντελώς από τη βιβλιογραφία οποιαδήποτε τεκμηρίωση για τη χρήση τους σε εργασίες από Ε.Σ.. Εξάλλου η αξιοπιστία τους εξαρτάται από τα ειδικότερα χαρακτηριστικά της εκτιμώμενης εργασίας (όπως π.χ. το πάχος του Ε.Σ., το είδος και το πάχος του υλικού του υποστρώματος), ενώ η επιτόπου βαθμονόμηση τους, πιθανόν να είναι αδύνατη.

Η χρήση τους, θα ήταν λογικό να προβλέπεται μόνο για τον έλεγχο ομοιομορφίας χαρακτηριστικών σε διαφορετικές θέσεις εκτόξευσης. Για τον έλεγχο αντοχής θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μόνο στις περιπτώσεις αδυναμίας εφαρμογής των εργαστηριακών ελέγχων και εφόσον προηγουμένως επιτευχθεί βαθμονόμηση.

α) Οπτικός Έλεγχος

Ο οπτικός έλεγχος γίνεται επιτόπου του έργου και αφορά τον εντοπισμό κακοτεχνιών, πριν, μετά και κατά τη διάρκεια εκτόξευσης κάθε στρώσης σκυροδέματος.

- Πριν την εκτόξευση, ο οπτικός έλεγχος περιλαμβάνει την αποδοχή των συνθηκών έναρξης της εκτόξευσης. Ο έλεγχος της κατάστασης των ενσωματούμενων υλικών (όπως η ύπαρξη πιθανών συσσωματωμάτων άμμου, η αποδεκτή προδιύγρανση των αδρανών εφόσον προβλέπεται, η πιθανή οξείδωση των ινών χάλυβα, κ.α.) σύμφωνα με τα αναφερθέντα στην παρ. 3.3, αποτελεί μέρος της διαδικασίας. Επίσης περιλαμβάνεται ο έλεγχος της καταλληλότητας της επιφάνειας του υποστρώματος όπως έχει προέλθει είτε από επεξεργασία του αρχικού στοιχείου είτε από προγενέστερη στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

- Κατά την διάρκεια της εκτόξευσης ο έλεγχος περιλαμβάνει την εφαρμογή των κανόνων έντεχνης εκτέλεσης της εργασίας με στόχο τον έγκαιρο εντοπισμό κακοτεχνιών και θα επιτρέπει άμεσες διορθωτικές παρεμβάσεις για αποκατάσταση των ελαττωμάτων πριν την ολοκλήρωση της εκτόξευσης κάθε στρώσης. Ως τέτοιες πιθανές κακοτεχνίες ενδεικτικά αναφέρονται: ο εγκλωβισμός ανακλώμενου υλικού, η συσσώρευση υπερψεκαζόμενου υλικού, η επικόλληση και έναρξη πήξης υπερψεκαζόμενου υλικού επί ράβδων οπλισμού ή άλλων χαλύβδινων στοιχείων πριν γίνει η διάστρωση στην περιοχή, η δημιουργία κενών ή φωλεών, η ανεπαρκής επικάλυψη των ράβδων οπλισμού ή των χαλύβδινων στοιχείων, η δημιουργία

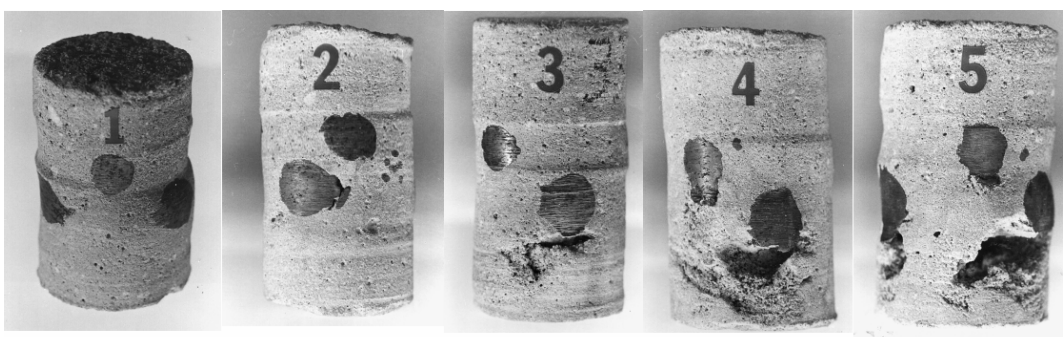
αδύναμων περιοχών λόγω απόμιξης του σκυροδέματος (ιδίως πίσω από ράβδους οπλισμού ή άλλα χαλύβδινα στοιχεία) κ.α.

• Ο έλεγχος μετά το πέρας της εκτόξευσης περιλαμβάνει τον εντοπισμό κακοτεχνιών, την επί τόπου σήμανσή τους και την επί των σχεδίων απεικόνισή τους. Κακοτεχνίες, όπως αυτές που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο στάδιο καθώς και η εκτεταμένη ρηγμάτωση λόγω συστολής ξήρανσης είναι πιθανές και σ' αυτό το στάδιο. Στις Αμερικανικές Προδιαγραφές [9], προβλέπεται μιά λεπτομερέστερη κατηγοριοποίηση της ποιότητας του παραχθέντος προϊόντος με βάση τον οπτικό έλεγχο των δοκιμίων - καρότων, που ούτως ή άλλως αποκόπτονται για να γίνουν οι εργαστηριακοί έλεγχοι.

Στοιχεία τα οποία αξιολογούνται για την κατηγοριοποίηση είναι:

- α) Η διάκριση στρώσεων Ε.Σ. εντός της μάζας του τελικού προϊόντος καθώς και η παρουσία αδρανών υλικών μεταξύ των στρώσεων (όταν αυτές διακρίνονται).
- β) Η ύπαρξη και το μέγεθος συσσωματωμάτων αδρανών υλικών
- γ) Η ύπαρξη και το μέγεθος κενών ή φωλεών
- δ) Η ύπαρξη και το μέγεθος συσσωματωμάτων αδρανών υλικών ή κενών ή πορώδους υλικού γύρω από τους οπλισμούς, και
- ε) Η κατάσταση των οριακών επιφανειών του Ε.Σ. είτε μετά την αφαίρεση των καλουπιών είτε στις διεπιφάνειες σύνδεσης με την επιφάνεια του υποστρώματος.

Διακρίνονται πέντε κατηγορίες ποιότητας Ε.Σ. που βαθμολογούνται με τιμές από το 1 μέχρι το 5 ανάλογα με το είδος των ελαττωμάτων που εμφανίζουν. Παραπλεύρως (Εικόνα 12), παρουσιάζεται μια πιθανή οπτική εικόνα των πέντε κατηγοριών και στην συνέχεια δίνονται τα αποδεκτά ελαττώματα για κάθε κατηγορία, όπως προκύπτουν από οπτικό έλεγχο παράπλευρης επιφάνειας καρότων με συμβατικές διαστάσεις $D=H=100\text{ mm}$.



Εικόνα 12: Κατηγοριοποίηση ποιότητας Ε.Σ. με βάση τον οπτικό έλεγχο. Πιθανές εικόνες των πέντε κατηγοριών [9]

Ε.Σ. Κατηγορίας 1

Στα δοκίμια:

- Δεν υπάρχουν διαστρωματώσεις του υλικού ή αμμώδεις περιοχές
- Μικρά κενά με μέγιστη διάμετρο 3 mm και μήκος μέχρι 6 mm είναι αποδεκτά.
- Θύλακες άμμου ή κενά πίσω από ράβδους οπλισμού δεν είναι αποδεκτά.
- Η επιφάνεια επαφής με τα καλούπια ή με το υπόστρωμα είναι υγιής χωρίς κενά ή αμμώδη υφή.

Ε.Σ. Κατηγορίας 2

Στα δοκίμια:

- Δεν υπάρχουν διαστρωματώσεις σε περισσότερες από 2 στρώσεις Ε.Σ. ή αμμώδεις περιοχές με διαστάσεις μεγαλύτερες από 3 mm πάχος επί 25 mm μήκος.
- Το ύψος, το βάθος και το πλάτος των κενών δεν ξεπερνά τα 9 mm
- Πορώδεις περιοχές πίσω από ράβδους οπλισμού, δεν ξεπερνούν τα 12 mm σε κάθε κατεύθυνση εκτός κατά μήκος των ράβδων
- Η επιφάνεια επαφής με τα καλούπια ή με το υπόστρωμα είναι υγιής χωρίς κενά ή αμμώδη υφή.

Ε.Σ. Κατηγορίας 3

Στα δοκίμια:

- Δεν υπάρχουν διαστρωματώσεις σε περισσότερες από δύο στρώσεις ή αμμώδεις περιοχές με διαστάσεις μεγαλύτερες από 4,5 mm πάχος επί 30 mm μήκος.
- Υπάρχει ένα μεγάλο κενό ή θύλακας άμμου ή μία διαστρωμάτωση που περιέχει άμμο σε πάχος που δεν ξεπερνά τα 15 mm και μήκος 30 mm.
- Η επιφάνεια επαφής με τα καλούπια ή με την επιφάνεια βάσης είναι αμμώδης με κενά ή υπερψεκαζόμενο υλικό με πάχος που δεν ξεπερνά το 1,5 mm.

Ε.Σ. Κατηγορίας 4

Στα δοκίμια:

- Διαπιστώνονται δύο ελαττώματα όπως αυτά που αναφέρονται στην κατηγορία 3
- Υπάρχει ένα ελάττωμα όπως αυτά που περιγράφονται στην κατηγορία 3, με μέγιστη διάσταση 25mm κάθετα στην όψη του δοκιμίου και μέγιστο πλάτος 36 mm.
- Η επιφάνεια επαφής με τα καλούπια ή την επιφάνεια βάσης είναι αμμώδης με κενά ή υπερψεκαζόμενο υλικό με πάχος που δεν ξεπερνά τα 3 mm.

Ε.Σ. Κατηγορίας 5

Δοκίμια που δεν εκπληρούν τα κριτήρια των κατηγοριών 1 έως 4, όντας χαμηλότερης ποιότητας, κατατάσσονται στην κατηγορία 5.

Σημειώνεται ότι κάθε δοκίμιο που εμφανίζει ελάττωμα με μεγαλύτερες διαστάσεις από αυτές που αναφέρονται παραπάνω κατατάσσεται στην αμέσως χαμηλότερη κατηγορία Ε.Σ..

Ως κατηγορία του τελικού προϊόντος θεωρείται η μέση τιμή του συνόλου των δοκιμών καρότων που έχουν εξεταστεί.

Η επέμβαση θεωρείται αποδεκτή όταν κατά τον οπτικό έλεγχο δεν διαπιστωθούν κακοτεχνίες ή αυτές είναι ελάχιστες και επισκευάσιμες. Εφόσον προβλέπεται η προαναφερθείσα κατηγοριοποίηση του Ε.Σ., η αποδεκτή κατηγορία πρέπει να προδιαγράφεται στην μελέτη ανάλογα με τις ειδικότερες απαιτήσεις του έργου. Πάντως ως γενικός κανόνας θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι η μέση τιμή δεν πρέπει να ξεπερνά το 2.5, ενώ κάθε ανεξάρτητο δοκίμιο δεν πρέπει να ξεπερνά το 3. Προφανώς το ίδιο κριτήριο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για την πιστοποίηση καταλληλότητας του χειριστή.

β) Γεωμετρικός Έλεγχος

Ο γεωμετρικός έλεγχος γίνεται επιτόπου του έργου και αφορά τον εντοπισμό αποκλίσεων από την προβλεπόμενη στην μελέτη γεωμετρία των κατασκευαζομένων στοιχείων. Ο έλεγχος περιλαμβάνει το, κατά θέσεις, πάχος των στοιχείων ως και την επιπεδότητα, κατακορυφότητα ή καμπυλότητα της τελικής επιφάνειας.

Ο γεωμετρικός έλεγχος γίνεται συνήθως στο τέλος της εργασίας, μπορεί όμως να απαιτηθεί και σε ενδιάμεσα στάδια. Τα όρια των αποκλίσεων από τις προβλεπόμενες διαστάσεις της μελέτης εξαρτώνται από το είδος του δομικού στοιχείου και τις ειδικότερες απαιτήσεις. Αν τα όρια αυτά απουσιάζουν η τάξη μεγέθους τους θα μπορούσε να εκτιμηθεί ως το 0.5% της μεγαλύτερης διάστασης του δομικού στοιχείου επί του οποίου γίνεται η επέμβαση και πάντως λιγότερο από 20 mm.

γ) Μηχανικός (Κρουστικός) Έλεγχος

Ο μηχανικός (κρουστικός) έλεγχος γίνεται επί τόπου και αφορά την στερεότητα και συνοχή της επεμβάσεως. Γίνεται με ελαφρές κρούσεις με σφυρί βάρους 1.00 Kg. Ελέγχεται η δημιουργία ρωγμών στην διεπιφάνεια επεμβάσεως, καθώς και ο ήχος από τις κρούσεις. Περιοχές στις οποίες δημιουργούνται ρωγμές ή ο ήχος είναι υπόκωφος, σημαίνονται επί τόπου και απεικονίζονται στα αντίστοιχα σχέδια.

Ο μηχανικός (κρουστικός) έλεγχος γίνεται στο τέλος ή/και σε ενδιάμεσα στάδια εκτέλεσης της εργασίας.

Η επέμβαση θεωρείται αποδεκτή όταν κατά τον κρουστικό έλεγχο δεν δημιουργούνται ρωγμές στην διεπιφάνεια Ε.Σ. και υποστρώματος, και ο ήχος δεν είναι υπόκωφος.

δ) Εργαστηριακός Έλεγχος

Ο εργαστηριακός έλεγχος περιλαμβάνει δύο κατηγορίες δοκιμών.

Η πρώτη κατηγορία (E1), αφορά δοκιμές που γίνονται σε δοκίμια - καρότα που αποκόπτονται από φαντωματικά δοκίμια με ελάχιστες διαστάσεις 600× 600 × 120

mm, στα οποία έχει γίνει εκτόξευση σκυροδέματος ειδικώς και μόνο για την λήψη δοκιμών. Τα φατνώματα τοποθετούνται κατακόρυφα και η εκτόξευση γίνεται οριζόντια με τον ίδιο εξοπλισμό, τεχνική, πάχος στρώσης ανά πέρασμα, απόσταση εκτόξευσης χειριστή μηχανήματος κτλ. που θα χρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια διάστρωσης του Ε.Σ. στο έργο.

Η δεύτερη κατηγορία (E2), αφορά δοκιμές που γίνονται σε δοκίμια - καρότα που αποκόπτονται από το παραχθέν προϊόν στην εργασία επέμβασης.

Η κατηγορία δοκιμών E1 έχει ως κύριο στόχο τον έλεγχο ικανοποίησης των κριτηρίων συμμόρφωσης για την προβλεπόμενη χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του Ε.Σ.. Μπορεί όμως να αφορά και άλλες ιδιότητες ή χαρακτηριστικά, ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου. Ως τέτοια χαρακτηριστικά μπορεί να είναι το μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη ή σε εφελκυσμό, η αντοχή σε κάμψη, η δυσθραυστότητα ή άλλες ειδικότερες ιδιότητες όπως η πυκνότητα, η αντίσταση σε παγετό ή η διαπερατότητα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι σχετικές έγκυρες προδιαγραφές είτε των Ευρωπαϊκών Προτύπων π.χ. η EN 6275 για την πυκνότητα και η EN6784 για το μέτρο ελαστικότητας ή άλλες (εφόσον έχουν εκδοθεί στην φάση εκτέλεσης του έργου), είτε άλλων Οργανισμών (π.χ. η ASTM C78 για την αντοχή σε κάμψη, η ASTM C1018 για την δυσθραυστότητα, η ISO 7031 για την διαπερατότητα).

Οι εργαστηριακές δοκιμές κατηγορίας E2 γίνονται για δύο κύριους λόγους: (α) την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής του Ε.Σ. έτσι όπως διαστρώθηκε και συντηρήθηκε στις πραγματικές συνθήκες του έργου επειδή είναι πιθανόν να είναι διαφορετική από την αντοχή των δοκιμών που λαμβάνονται από τα φατνώματα και (β) τον έλεγχο εξασφάλισης επαρκούς συνάφειας μεταξύ του Ε.Σ. και του στοιχείου επί του οποίου έγινε η εκτόξευση. Επιπλέον, θα μπορούσε να γίνει και ο προσδιορισμός άλλων χαρακτηριστικών ή ιδιοτήτων όπως π.χ. η περιεκτικότητα των ινών, εφόσον χρησιμοποιείται Ε.Σ. οπλισμένο με ίνες.

Σε όλες τις περιπτώσεις η ονομαστική διάμετρος κάθε πυρήνα πρέπει να είναι 100 mm με επιτρεπτή απόκλιση ± 5 mm. Το μήκος του δοκιμίου πρέπει να είναι ίσο με τη διάμετρο του με επιτρεπτή απόκλιση $\pm 10\%$. Για δοκιμές κατηγορίας E2, σε όσες περιπτώσεις οι διαστάσεις των εξ Ε.Σ. στοιχείων δεν επιτρέπουν την λήψη πυρήνων - δοκιμών με τις προβλεπόμενες διαστάσεις, τα δοκίμια μπορούν να ληφθούν με μικρότερες διαστάσεις υπό την προϋπόθεση ότι τεκμηριώνεται αξιόπιστα η αναγωγή των αντοχών τους σε δοκίμια με τις προβλεπόμενες διαστάσεις.

Για κάθε έργο πρέπει να προδιαγράφεται η συχνότητα των δειγματοληψιών, και το είδος των εργαστηριακών ελέγχων. Ο έλεγχος της θλιπτικής αντοχής με εργαστηριακές δοκιμές κατηγορίας E1 θεωρείται υποχρεωτικός σε κάθε περίπτωση. Όμως είναι σκόπιμο να γίνονται (και πρέπει να επιδιώκονται) και οι έλεγχοι κατηγορίας E2 για την θλιπτική αντοχή και την συνάφεια.

Η συχνότητα των δειγματοληψιών και το πλήθος των φατνωματικών δοκιμών πρέπει να εξασφαλίζει αντιπροσωπευτικότητα από το ελεγχόμενο προϊόν. Αν οι εργασίες διακόπτονται για μεγάλο χρονικό διάστημα ή γίνονται αλλαγές στις

αναλογίες ανάμιξης ή στο προσωπικό ή στον εξοπλισμό, οι δειγματοληψίες πρέπει να αφορούν κάθε ξεχωριστό ανάμιγμα ή περίοδο σκυροδέτησης. Εφόσον δεν γίνονται τέτοιου είδους αλλαγές, συνήθως παρασκευάζεται ένα φατνωματικό δοκίμιο για κάθε ξεχωριστή ημέρα που γίνεται σκυροδέτηση [2,9]. Στην σπάνια (για έργα επεμβάσεων) περίπτωση, που η ποσότητα του Ε.Σ. σε μία μέρα, ξεπερνά τα 40 m³, τα φατνωματικά δοκίμια εκείνη την ημέρα αυξάνονται αναλογικά [9].

Σε κάθε περίπτωση, δοκίμια με εμφανή ελαττώματα δεν θα χρησιμοποιούνται στους εργαστηριακούς ελέγχους.

Έλεγχος Θλιπτικής Αντοχής

Στο Σχέδιο προδιαγραφής για το Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα [2], ο έλεγχος της θλιπτικής αντοχής με εργαστηριακές δοκιμές κατηγορίας E1, προτείνεται να γίνεται με βάση τους παρακάτω κανόνες αποδοχής:

$$\bar{X}_n = \sum_{i=1}^n X_i \geq f_{ck} + 1.6 S \quad \text{Πρώτος κανόνας} \quad (1)$$

και $X_i \geq f_{ck} - 2 \text{ (MPa)}$ Δεύτερος κανόνας (2)

όπου

f_{ck} είναι η χαρακτηριστική αντοχή του Ε.Σ. που προδιαγράφεται στην μελέτη

X_i είναι η θλιπτική αντοχή κάθε δοκιμίου - πυρήνα ανηγμένη στα δοκίμια αναφοράς της αντοχής f_{ck}

\bar{X}_n είναι η μέση τιμή έξι διαδοχικών X_i

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2}{n-1}} \quad \text{είναι η τυπική απόκλιση των τιμών } X_i$$

Σε μεγάλα έργα, τα παραπάνω κριτήρια συμμόρφωσης ελέγχονται ανά εξάδες, μετά την συμπλήρωση έξι διαδοχικών δειγματοληψιών.

Με βάση το ίδιο σχέδιο, στην περίπτωση που ελέγχεται η θλιπτική αντοχή με εργαστηριακές Δοκιμές κατηγορίας E2, οι κανόνες αποδοχής θα μπορούσαν να περιγραφούν ως ακολούθως:

$$\bar{X}_n = \sum_{i=1}^n X_i \geq f_{ck} \quad \text{Πρώτος κανόνας} \quad (1)$$

$$X_i \geq 0.75 f_{ck} \quad \text{Δεύτερος κανόνας} \quad (2)$$

όπου

X_i είναι η θλιπτική αντοχή κάθε δοκιμίου - πυρήνα με κατάλληλη αναγωγή τα δοκίμια αναφοράς της αντοχής f_{ck}

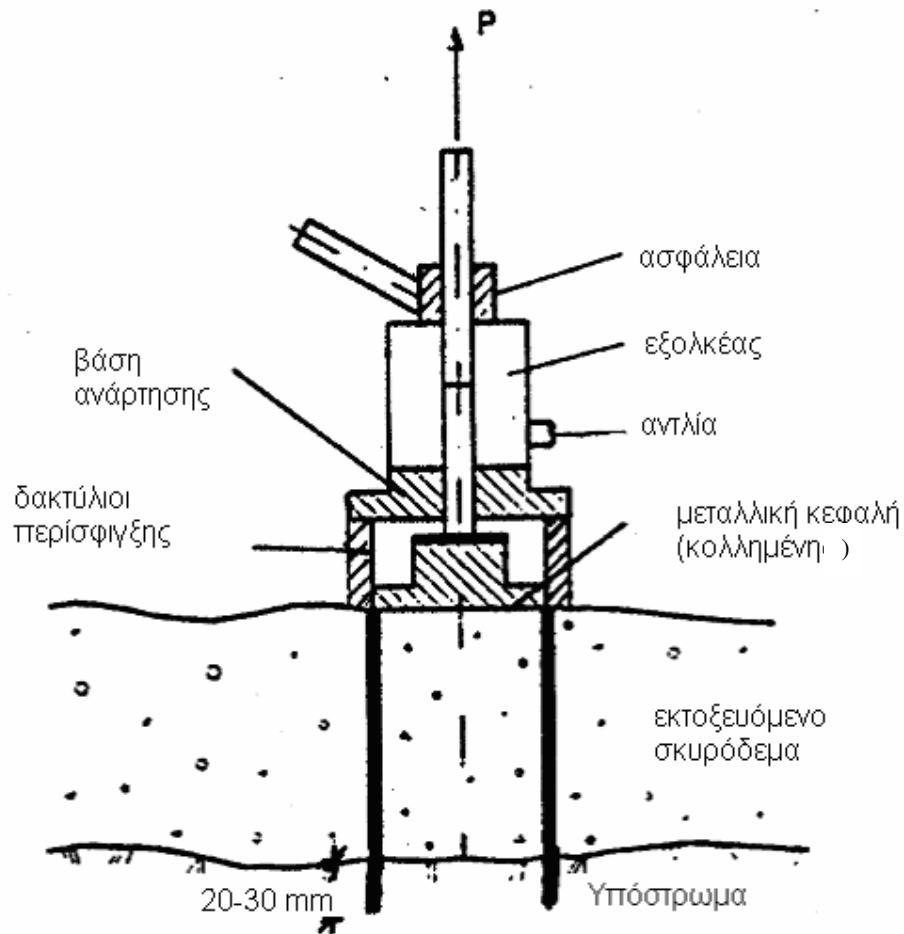
\bar{X}_n είναι η μέση τιμή των X_i για το σύνολο των (n) δοκιμίων που λαμβάνονται.

Είναι προφανές ότι σε πολύ μικρά έργα, δεν είναι πάντα εφικτό να γίνει ο έλεγχος που περιγράφεται για τις δοκιμές κατηγορίας E1, λόγω του μεγάλου πλήθους δοκιμίων που απαιτούνται. Θα ήταν επομένως λογικό, σ' αυτές τις περιπτώσεις, που δεν είναι και πολύ σπάνιες σε έργα επεμβάσεων, να χρησιμοποιούνται ως κανόνες αποδοχής, οι ίδιοι κανόνες που χρησιμοποιούνται και για τις δοκιμές κατηγορίας E2. Εξ' άλλου αυτού του τύπου κανόνες προτείνονται, ως γενικής εφαρμογής, στις Ευρωπαϊκές και Αμερικανικές Προδιαγραφές [3,9]. Οπωσδήποτε το θέμα πρέπει να θεωρείται ανοικτό μέχρι να οριστικοποιηθεί η Ελληνική Προδιαγραφή για το Ε.Σ.

Όταν κατά τον έλεγχο της θλιπτικής αντοχής που γίνεται με εργαστηριακές δοκιμές κατηγορίας είτε E1 είτε E2, δεν ικανοποιείται ένας τουλάχιστον κανόνας αποδοχής, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία επανελέγχου: Από την περιοχή του έργου που προέρχεται το δοκίμιο με την μικρότερη αντοχή λαμβάνονται δύο πυρήνες των οποίων ο μέσος όρος αντικαθιστά την αντοχή X_i του ασθενέστερου δοκιμίου και ελέγχονται οι κανόνες αποδοχής.

Έλεγχος Συνάφειας

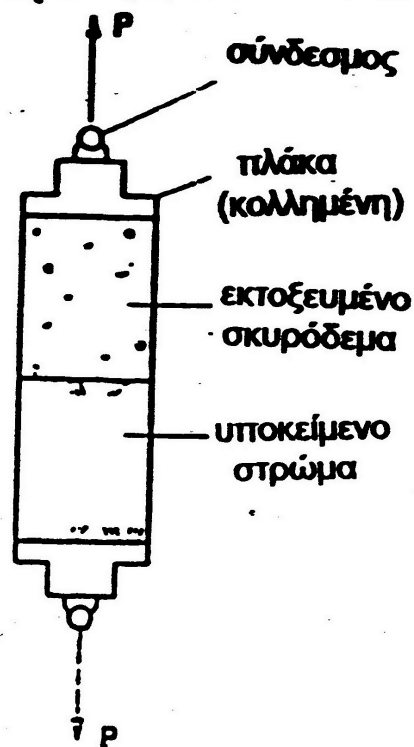
Ο έλεγχος συνάφειας, του Ε.Σ. με το στοιχείο επί του οποίου γίνεται η εκτόξευση, πραγματοποιείται με εξόλκευση διαχωρισμένου δείγματος σύμφωνα με την διαδικασία που παρουσιάζεται στην συνέχεια και όπως ενδεικτικά απεικονίζεται στην Εικόνα 13.



Εικόνα 13: Έλεγχος Συνάφειας επί τόπου του έργου με διαχωρισμό δείγματος [3].

Στο από Ε.Σ. στοιχείο διαχωρίζεται, με περιστροφικό δράπανο, που είναι εφοδιασμένο με κατάλληλο κοπτικό, ένας κύλινδρος διαμέτρου 50 έως 100 mm που φτάνει 20 mm περίπου εντός του υποστρώματος. Στην εξωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου επικολλάται, κεντρικά, μεταλλική κεφαλή, κάθετα προς τον άξονα του κυλίνδρου επί της οποίας προσαρμόζεται εξολκέας και εφαρμόζεται.

Στις περιπτώσεις που το υπόστρωμα είναι από σκυρόδεμα και έχει μικρό πάχος, μπορεί ο διαχωρισμός του κυλίνδρου να είναι διαμπερής. Στις περιπτώσεις αυτές το δείγμα που αποκόπτεται, (αποτελούμενο από το εκ σκυροδέματος υπόστρωμα και το Ε.Σ.) συσκευάζεται, περισφίγγεται με ταινία και μεταφέρεται στο εργαστήριο με τρόπο απολύτου προστασίας από κραδασμούς και δοκιμάζεται σε καθαρό εφελκυσμό. Η εφαρμογή της εφελκυστικής δύναμης γίνεται μέσω δύο μεταλλικών πλακών που επικολλώνται για τον σκοπό αυτό στις δύο απέναντι βάσεις του κυλινδρικού δοκιμίου κάθετα προς τον άξονα του (Εικόνα 14).



Εικόνα14: Εργαστηριακός Έλεγχος Συνάφειας με αποκοπή δείγματος στις περιπτώσεις υποστρώματος με μικρό πάχος [3]

Η επέμβαση θεωρείται αποδεκτή όταν κατά τον σχετικό έλεγχο που γίνεται με οποιονδήποτε από τους παραπάνω τρόπους, σε τρεις τουλάχιστον θέσεις του έργου, η αστοχία, σε κάθε δοκίμιο που ελέγχεται, δεν πραγματοποιείται στην διεπιφάνεια Ε.Σ. και υποστρώματος. Αν η αστοχία γίνει στην διεπιφάνεια, θα πρέπει η εκτιμώμενη τάση συνάφειας για κάθε δοκίμιο να προκύπτει μικρότερη από μία ανεκτή τιμή που θα προδιαγράφεται στην μελέτη. Αν δεν προδιαγράφεται στην μελέτη, ως ανεκτή τιμή θεωρείται το $1/20$ της απαιτούμενης χαρακτηριστικής τιμής θλιπτικής αντοχής του Ε.Σ. και τουλάχιστον το 1 MPa.

Αν τα αποτελέσματα της δοκιμής συνάφειας δεν ικανοποιούν το σχετικό κριτήριο αποδοχής, ο έλεγχος συνεχίζεται σε δύο νέες θέσεις γειτονικών περιοχών για κάθε δοκίμιο που κρίθηκε ανεπαρκές. Αν και πάλι δεν ικανοποιείται το σχετικό κριτήριο αποδοχής, ο έλεγχος θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι ικανοποιείται αν η τιμή συνάφειας κάθε ανεπαρκούς δοκιμίου ξεπερνά το 75% της ανεκτής τιμής, ενώ η μέση τιμή του συνόλου των δοκιμών ικανοποιεί το κριτήριο. Σε δοκίμια που δεν

αστόχησαν στην διεπιφάνεια, ως τάση συνάφειας, για τον προσδιορισμό της μέσης τιμής, λαμβάνεται η εφελκυστική τάση αστοχίας του δοκιμίου.

Άλλοι έλεγχοι

Στην περίπτωση που από την μελέτη απαιτείται ο προσδιορισμός και άλλων χαρακτηριστικών πλὴν της θλιπτικής αντοχής και της συνάφειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος οι σχετικές διαδικασίες ελέγχου θα πρέπει να προδιαγράφονται στην μελέτη.

Διορθωτικά Μέτρα

Σε κάθε περίπτωση που τα αποτελέσματα του οπτικού, μηχανικού (κρουστικού) ή εργαστηριακού ελέγχου αποδείξουν ότι το παραχθέν προϊόν δεν έχει τα απαιτούμενα προδιαγεγραμμένα χαρακτηριστικά, τα στοιχεία των ελέγχων αξιολογούνται από τον μελετητή. Ο μελετητής είναι αρμόδιος να διερευνήσει την δυνατότητα και να προτείνει άλλη κατάλληλη μέθοδο επανελέγχου και αξιολόγησης του υπό αμφισβήτηση τμήματος του έργου. Αν και πάλι δεν ικανοποιούνται οι έλεγχοι ο μελετητής είναι αρμόδιος να προτείνει τις αναγκαίες διορθωτικές ενέργειες, στην έκταση που απαιτεί η ασφάλεια και λειτουργικότητα του Έργου.

Πιθανοί Κίνδυνοι και Αντιμετώπισή τους

Πέραν από τους συνήθεις κινδύνους που εμφανίζονται στις εργασίες όλων των οικοδομικών έργων, όπως αυτοί που αφορούν την μεταφορά, απόθεση και διακίνηση υλικών και εξοπλισμού, την χρήση ικριωμάτων, την χρήση εργαλείων χειρός ή ηλεκτροκίνητων, ως ειδικότεροι κίνδυνοι κατά την εκτέλεση των εργασιών εκτοξευμένου σκυροδέματος επισημαίνονται:

- (α) Ο κίνδυνος υγείας των εργαζομένων λόγω της αιωρούμενης σκόνης και της ρύπανσης του αέρα,
- (β) Ο κίνδυνος για βλάβη στο δέρμα και τα μάτια λόγω ερεθισμού από πρόσμικτα υψηλής αλκαλικότητας.
- (γ) Ο κίνδυνος εκρηκτικής αστοχίας των συνδέσμων και των σωληνώσεων προώθησης του υλικού,
- (δ) Ο κίνδυνος για το προσωπικό στην περίπτωση προσπάθειας απεγκλωβισμού υλικού στις σωληνώσεις και στο ακροφύσιο.

Οι εργαζόμενοι πρέπει σε κάθε περίπτωση να είναι εφοδιασμένοι με μέσα ατομικής προστασίας: Κεφαλής (κράνος), Ματιών (γυαλιά), Χειρών (γάντια), Ποδιών (μπότες εργασίας) και Ωτοασπίδες (όταν κρίνεται απαραίτητο).

Όταν εκτελείται η εκτόξευση σκυροδέματος, ο χώρος εργασίας πρέπει να αερίζεται επαρκώς και οι εργαζόμενοι να φορούν φόρμα πλήρους προστασίας του σώματος και να έχουν πλήρη κάλυψη κεφαλής. Εφιστάται η προσοχή στην λήψη μέτρων περιορισμού της σκόνης. Σε κάθε περίπτωση και ειδικότερα στην περίπτωση που χρησιμοποιείται η ξηρά μέθοδος ανάμιξης σε κλειστούς χώρους, και ο αερισμός

του χώρου κρίνεται ανεπαρκής, οι εργαζόμενοι πρέπει να φορούν κράνος προστασίας με εξωτερική παροχή αέρα για την αναπνοή. Ο παρεχόμενος αέρας πρέπει να διέρχεται από φίλτρο για την συγκράτηση των αερούμενων σωματιδίων.

Επίσης απαιτείται καθημερινή επιθεώρηση της κατάστασης των σωληνώσεων της εγκατάστασης και της αρτιότητας προσαρμογής των συνδέσμων.

Στην περίπτωση εγκλωβισμού του υλικού στις σωληνώσεις ή στο ακροφύσιο ακολουθούνται οι παρακάτω ενέργειες:

- Διακόπτονται οι παροχές αέρα και νερού καθώς και η λειτουργία της μηχανής ανάδευσης
- Σταθεροποιείται ο σωλήνας προώθησης του υλικού και το ακροφύσιο για προστασία από πιθανές ανεξέλεγκτες παλινδρομήσεις
- Αποσυναρμολογούνται οι συνδέσεις όταν η πίεση στον σωλήνα έχει υποχωρήσει προσέχοντας να μην βρεθούν άτομα του προσωπικού μπροστά από το στόμιο των σωλήνων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θερμές ευχαριστίες απευθύνονται στον Ο.Α.Σ.Π. για την χρηματοδότηση του Εφηρμοσμένου Ερευνητικού Προγράμματος «Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών», στα πλαίσια του οποίου διαμορφώθηκε το μεγαλύτερο τμήμα του παραπάνω κειμένου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Καρέλα Ν., Δρίτσος Σ., Μαντζιάρα Π. και Καμπιτάκη Μ., (2001): "Τεχνικές Αποκατάστασης Κτιρίων στην Πάτρα μετά τον Σεισμό του 1993", 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Τόμος Β., σελ. 437-444, Θεσσαλονίκη.
2. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., (2000) : "Σχέδιο Προδιαγραφής για το Εκτοξευμένο Σκυρόδεμα", Ενημ. Δελτίο ΤΕΕ, Τευχ. 2114, σελ. 64-81.
3. EFNARC (1996): "European Specification for Sprayed Concrete", www.efnarc.org
4. EFNARC (1999a) : "European Specification for Sprayed Concrete - Cuidelines for Specifiers and Contractors", www.efnarc.org
5. EFNARC (1999b): "European Specification for Sprayed Concrete- Checklist for Specifiers and Contractors", www.efnarc.org
6. ACI Committee 506 (1990): "Guide to Shotcrete", ACI Manual of Concrete Practice, Report 506R-90.
7. ACI Committee 506 (1991): "Guide to Certification of Shotcrete Nozzlemen", ACI Practice, Report 506.3R-91

8. ACI Committee 506 (1998): "Committee Report on Fiber Reinforced Shotcrete" , ACI Practice, Report 506.1R-98.
9. ACI Committee 506 (1995): "Specification for Shotcrete" ACI Practice, Report 506.2-95.
10. ACI Committee 506 (1994): "Guide for the Evaluation of Shotcrete", ACI Practice, Report 506.4R-94.
11. ASTM C1140: "Preparing and Testing Specimens from Shotcrete Test Panels".
12. Δρίτσος Σ. (2000, 2001): "Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα", σελ. 309, Βιβλ. Παπασωτηρίου
13. Ε.Μ.Π., (1978): "Συστάσεις για τις Επισκευές Κτιρίων Βλαμμένων από Σεισμό", Αθήνα.
22. Teichert P., (2002), "Carl Akeley - A Tribute to the Founder of Shotcrete", Shotcrete Magazine, Summer 2002, pp. 10-12.
23. Teichert P., (2003), "Dry-mix Guns", Shotcrete Magazine, Winter 2003, pp. 4-6.
24. Yoggy G.D., (2002), "The History of Shotcrete", Winter 2002, pp. 20-23.
25. Yoggy G.D., (2000), "The History of Shotcrete", Fall 2000, pp. 28-29.
18. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. (1997): "Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος -97", ΦΕΚ 315B/14-7-1997.