



Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε έργα επεμβάσεων

Το Ιστορικό και η Σύνθεση

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 κατάλληλη εκπαιδευμένο προσωπικό.

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Ε.Σ.) συντίθεται από τσιμέντο, λεπτόκοκκο (ή και χονδρότερα) αδρανή και νερό, μπορεί δε να περιλαμβάνει και ειδικά πρόσμικτα ή πρόσθετα υλικά.

Το ιονολισμένο περιλαμβάνει, επιπροσθέτως χαλύβιδιες 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 υδατο-συντελεστής 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 ΕFNARC, [3, 4, 5] του ACI [6, 7, 8, 9, 10] και της Α.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) εφευρέθηκε 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 λεπτόκοκκο 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.

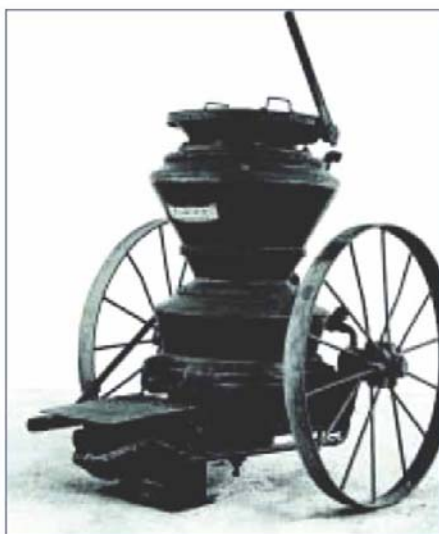
Όμως η αρχή έχει γίνει. Η ιδέα της σκυροδέτησης με εκτόξευση είχε γίνει πράξη. Ο Akeley την ονόμασε "Plaster Gun".

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 Gunitite.

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 σπράγγων, έχοντας το πλεονέκτημα της αποκλειστικής χρήσης της μηχανής και της ονομασίας του προϊόντος ως gunitite.



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]



Η συμμετοχή στα μεγαλύτερα ιδιωτικά & δημόσια έργα από το 1978 αποτελεί ΕΓΓΥΗΣΗ για την αποτελεσματικότητα των λύσεών μας!

ISO 9001:2000



2001
Υλικά για το σκυρόδεμα και μπετόντος με ινσιουλούς FORTA ΑΜΕΡΙΚΗΣ



1999
Υλικά για τις ενισχύσεις με σύνθετα πολυμερή S&P ΕΛΒΕΙΑΣ



1995
Υλικά για την αντιδιαβρωτική προστασία οπλισμών με CORTEC ΑΜΕΡΙΚΗΣ & TECNOCHEM ΙΤΑΛΙΑΣ



1994
Υλικά για τις στεγανώσεις θεμελίων με μεμβράνες HDPE-Μπετονίτη PARAMOUNT ΑΜΕΡΙΚΗΣ



1981
Υλικά για τις υπόγειες στεγανώσεις-επισκευές με TAMMS ΑΜΕΡΙΚΗΣ



1978
Υλικά για τις επισκευές με ρητινένδεσις SINMAST-TECNOLOGY



SINTECNO A.E.

ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ - ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ - ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Βιομηχανική τ.κ. 183 46 ΜΟΞΧΑΤΟ
τηλ. 210 4623516, 210 4620588, fax 210 4611501
www.sintecno.gr, e-mail: sintecno@olte.net.gr

από το 1978

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



Εικόνα 3: Οχτώδοντα 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 σπράγγων, 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 διηλού θηλάμου, 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, σκριβολογώντας, 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, αντικαθίσταται τον όρο «πνευματικά εφαρμόζόμενο κονίαμα», υιοθετείται από το ACI, το 1951, για να περιγράψει το νέο προϊόν που μπορεί πλέον να είναι κονίαμα ή σκυρόδεμα. Ξεκαθαρίζεται έτσι μια σύγχυση, που είχε αρχίσει να δημιουργείται στην πράξη, όταν, από κόποιους, 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 δοπέδου 1.0_2.0 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 χρησιμοποιείται. 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 εξήγηση των χημικών προσμίκτων η εξέλιξη της ήταν ραγδαία.

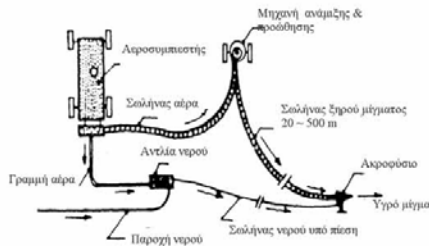
Ποιά από τις δύο μεθόδους είναι καλύτερη; Ποιά είναι καλύτερο, το κατασβίδι ή η πένσα; Εξαρτάται από την περίπτωση. Σήμερα, στα υπόγεια έργα, η μέθοδος της υγρής ανάμιξης είναι κυρίαρχη και ανταγωνίζεται την μέθοδο της ξηρής ανάμιξης σε αρκετές άλλες περιπτώσεις. Όμως σε έργα επισκευών και ενισχύσεων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

Μέθοδοι Παραγωγής

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

Στη μέθοδο **ξηρής ανάμιξης** το τσιμέντο και τα αδρανή αναμι-

γνύονται εν ξηρώ και το μίγμα εισάγεται σε μία ειδική 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 **υγρής 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 συνθέστερα με άντληση. Εκεί προστίθεται κάποιο επιταχυντικό υλικό, ενώ πρόσθετος πεπιεσμένος αέρας που εισάγεται στο ακροφύσιο αυξάνει την ταχύτητα και βελτιώνει τη διαδικασία εκτόξευσης του 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:

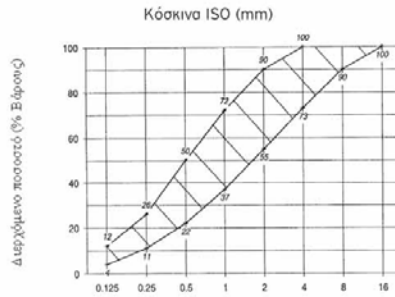
Στην ξηρά μέθοδο ο έλεγχος της ποσότητας του νερού ανάμιξης γίνεται στο ακροφύσιο εμπειρικά από το χειριστή, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογής στις ανά πάσα στιγμή διαφορετικές συνθήκες του έργου. Το σκυρόδεμα αποκτά υψηλότερες αντοχές από ότι με την υγρή ανάμιξη και μάλιστα σε μικρό χρονικό 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 υγρή 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 υγρή διαδικασία η σκόνη και το τσιμέντο που διαφεύγουν προς το περιβάλλοντα χώρο είναι σημαντικά μειωμένα σε σύγκριση με ότι συμβαίνει στην ξηρή διαδικασία. Γι' αυτό η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για χώρους που δεν αερίζονται επαρκώς όπως π.χ. στη κατασκευή υπογείων έργων (σπράγγων κλπ.). Αξίζει πάντως να επισημανθεί ότι πειραματικά αποτελέσματα ενός μεγάλου αριθμού δοκιμών [6,12] δείχνουν ότι στην περίπτωση ξηρής ανάμιξης, η διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας εκτοξευόμενου

σκυροδέματος-παλαιού στοιχείου είναι υπερδιπλάσια της αντίστοιχης αντοχής για υγρή ανάμιξη. Επίσης σημειώνεται ότι το κόστος των υλικών παραγωγής ενός m³ 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 προύγερση 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: Όρια 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/m³. Εξ' αλλού ο λόγος νερού προς τσιμέντο (N/T) δεν πρέπει να ξεπερνά το 0,55. Τα συνθέστερα όρια του λόγου N/T είναι 0,35 έως 0,45 για την ξηρά ανάμιξη και 0,40 έως 0,55 για την υγρή. 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 υγρή 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 θλιπτόκοκκων αδρανών απ' ότι στην θέση ανάμιξης επειδή τα κοντράτερα αδρανή έχουν υψηλότερο ποσοστό ανακλώμενου υλικού. Στην περίπτωση της ξηρής μεθόδου ανάμιξης, πρέπει να ανα-

γνωρίσουμε, 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 $N/T = 0.40$.

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, ως θεωρηθεί ότι η απαιτούμενη χαρακτηριστική αντοχή είναι = 25 MPa

Προεκτιμάται πυκνότητα Ε.Σ. 2300 Kg/m³

Ποσότητα τσιμέντου (Πιν. 1): 400 Kg/m³

Ποσότητα νερού 0,40 · 400 = 160 Kg/m³

Ποσότητα αδρανών 2300 - 400 - 160 = 1740 Kg/m³

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

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

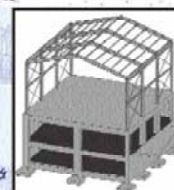
Στην παρασκευή του Ε.Σ. ως πρόσθετα μπορούν να χρησιμοποιηθούν: ιπτάμενη τέφρα, σκωρία ψυκαμίνων, οξειδία του πυριτίου και βελτιωτικά (όπως επιταχυντικά πήξης και σκληρυνσης, πρόσμικτα για την μείωση ή εξουδετέρωση της αμοιόλης ξήρανσης ή για αύξηση της πρόσφυσης, θιξοτροπικά πρόσμικτα που εμποδίζουν 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 ψυκαμίνων δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει το 30% του βόρους 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 Α.Σ.Τ.Μ. C1141.

Στην περίπτωση του ισοηλεκτρισμένου Ε.Σ. το μήκος των ινών δεν πρέπει να ξεπερνά το 50 mm και το 0,7 της εσωτερικής διαμέτρου των σωλήνων που χρησιμοποιούνται, εκτός αν αποδειχθεί από επιτόπου δοκιμές ότι δεν δημιουργείται πρόβλημα στην εκτόξευση και διάσπρωση 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 Α.Σ.Τ.Μ. 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 αποηλώνεται στο χέρι τότε η διύ-

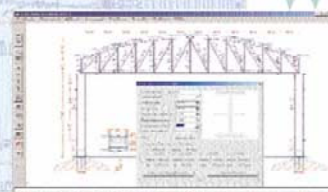
Statics2004

Το πρωτοποριακό πρόγραμμα
ανάλυσης & σχεδίασης κατασκευών

- Οπλισμένο Σκυρόδεμα
- Φέρουσα Τοιχοποιία
- Χάλυβας
- Δομική Ξυλεία
- Σύμμικτοι Φορείς
- ΕΚΩΣ, ΕΑΚ (νέες διατάξεις - 2003), EC3, EC5, EC6
- Πεπερασμένα Στοιχεία Πλάκας & Κοιτόστρωση επί ελαστικού εδάφους.
- Ειδικές Φορτίσεις (Οδησίες Γαιών, Ανεμοπίεση, Χιόνι)
- Σχεδίαση Ξυλοτύπων, Αναπτυσμάτων Οπλισμών
- On-line Help
- Συνεργασία με Αρχιτεκτονικά προγράμματα



Εγγύηση επιστροφής
χρημάτων εντός 60 ημερών
αν δεν είστε 100%
ικανοποιημένοι



Ειδικές τιμές για :
-Νέους Μηχανικούς
-Απόσυρση άλλων προγραμμάτων

Multisoft

<http://www.multisoft.gr>
ΑΘΗΝΑ: Γ' ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 120,
τηλ. 210-5233345, 8251526, e-mail: info@multisoft.gr
ΘΕΣΣ/ΝΙΚΗ: ΤΕΧΝΟΔΙΑΣΤΑΣΗ - ΣΥΓΓΡΟΥ 10,
τηλ. 2310-501960, 501970, infotech@otenet.gr
ΧΑΝΙΑ: τηλ. 28210-57017 ΛΑΡΙΣΑ: τηλ. 2410-532138
ΚΥΠΡΟΣ (ΛΕΜΕΣΣΟΣ) : τηλ. 562712,
e-mail: kolonias@spidernet.com.cy

γρωνα 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 ορανταπέντε (45) λεπτών από την αρχική ανάμιξη των υλικών της ενώ σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος ο χρόνος αυτός περιορίζεται σε 15 λεπτά [9]. Σε όλην περίπτωση το μίγμα ή το υπόλειμμα του πρέπει να απορρίπτεται. Αυτός ο χρονικός περιορισμός μπορεί να μειωθεί με την χρήση πρόσθετων ελέγχου της ενυδάτωσης, και δεν περιλαμβάνει τα συσκευασμένα αναμιγμένα υλικά εκτός και αν έχουν προδιυγρυνθεί. Όταν εφαρμόζεται η υγρή 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 σκυροδέμα. Πριν την έναρξη των εργασιών, το συνεργείο που θα ασχοληθεί με τις επεμβάσεις αυτού του 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 υγρής 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/μίν για κάθε m3 Ε.Σ./hr.

Όταν εφαρμόζεται η μέθοδος ξηρής ανάμιξης ο βασικός εξοπλισμός περιλαμβάνει:

- Μηχανή ξηρής ανάμιξης, σωλήνες προώθησης του υλικού και του νερού και ακροφύσιο εκτόξευσης,
- Αεροσυμπιεστή με ελάχιστη συμπιεστική ικανότητα (P): P=200+2,5(1+2h) (ΚΡα, m),

όπου 1 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 ακροφυσίου, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή ταχύτητα εκτόξευσης.

Πίνακας 2: Απαιτήσεις εξοπλισμού ξηρής ανάμιξης [4]

Απαιτ. Παραγωγή Ε.Σ. (m ³ /hr)	Απαιτήσεις παροχής πεπιεσμένου αέρα (m ³ /min)	Συνιστώμενη εσωτερική διάμετρος σωλήνων και ακροφυσίου (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.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κορέλο Ν., Δρίτσος Σ., Μονιζάρα Π. Και Κομπιτόλη Μ., (2001): Τεχνικές Αποκατάστασης Κτιρίων στην Πόλη μετά τον Σεισμό του 1993, 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Τόμος Β., σελ. 437-444, Θεσσαλονίκη.
2. ΥΠΕΧΩΔΕ, (2000): «Σχέδιο Προδιαγραφής για το Εκτοξευόμενο Σκυροδέμα», Έντυμ. Δελτίο ΤΕΕ, Τεύχ. 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-Cheeklist 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 Σκυροδέμα», σελ. 309, Βιβλ. Παπουτσήριου
13. Ε.Μ.Π., (1970): Συστάσεις για τις Επισκευές Καρτών Βθασμένων 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.Δ.Ε. (1997): «Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος-97», ΦΕΚ 315B/17-4-1997.

ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΕΣ ΧΩΡΙΣ ΑΛΚΑΛΙΑ

Η χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος εξηλιώθηκε την τελευταία δεκαετία, και παράλληλα με αυτό άνησε και ο τομέας των επιταχυντών πήξεως. Οι συνθέσεις επιταχυντές πήξεως (τόσο σε υγρή μορφή όσο και σε σκόνη) έχουν πολύ υψηλό ΡΗ με αποτέλεσμα να απαιτούν πολύ μεγάλη προσοχή και ιδιαίτερα μέτρα ασφαλείας κατά την εφαρμογή τους. Τα τελευταία χρόνια εμφανίστηκαν στην αγορά οικολογικοί επιταχυντές

χωρίς αλκάλια (Alkali-Free) που προσφέρουν υψηλές επιδόσεις χωρίς την παραμικρή επικινδυνότητα για τον χρήστη και το περιβάλλον. Ηδη πολλές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης επιτρέπουν μόνο την χρήση επιταχυντών Alkali-Free. Η ΜΑΡΠΕΪ υπήρξε πρωτοπόρος στον τομέα των επιταχυντών πήξεως χωρίς αλκάλια και σήμερα κατέχει παγκοσμίως το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς στον συγκεκριμένο τομέα.