

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ –  
ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗΣ,  
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΕΡΓΑ  
ΥΠΟΔΟΜΗΣ**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ:

**Σιάχου Τζενσίλα**

**Α.Μ. 5234**

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ – ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Δρ. Δημήτριος Μπάρος

Πανεπ. Υπότροφος Τ.Ε.Ι.

**ΠΑΤΡΑ, 2016**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ολοκληρώνοντας την Πτυχιακή Εργασία μου θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Εισηγητή και Επιβλέποντα της παρούσας εργασίας, Δρ. Μπάρο Δημήτριο, Πολιτικό Μηχανικό, Πανεπιστημιακό Υπότροφο του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας, για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, για τη συνεχή καθοδήγησή του και την υπομονή του.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου συνολικά για την ξεχωριστή συμβολή του καθενός στην ολοκλήρωση των σπουδών μου.

*Πάτρα, 2016*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας είναι η μελέτη μιας ειδικής κατηγορίας σκυροδέματος, του εκτοξευόμενου, καθώς και των βασικότερων εφαρμογών του στις σύγχρονες κατασκευές. Με στόχο την όσο το δυνατόν πληρέστερη και ομαλή παρουσίαση του θέματος, οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν και αξιολογήθηκαν οργανώνονται στο κείμενο αυτό ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται βασικές πληροφορίες για το σκυρόδεμα, όπως για τη δομή, τις ιδιότητες, τις ισχύουσες προδιαγραφές και τις κατηγορίες σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή.

Στη συνέχεια, το δεύτερο κεφάλαιο εστιάζει στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Συγκεκριμένα αναφέρονται και αξιολογούνται οι ιδιότητες, τα ιδιαίτερα συστατικά του, οι προδιαγραφές παραγωγής και χρήσης του, τα μηχανήματα και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται κατά την εφαρμογή του.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται συγκεκριμένα παραδείγματα εφαρμογής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε κτιριακά έργα και έργα υποδομής.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε.

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδάστριας:** Η κάτωθι υπογεγραμμένη σπουδάστρια έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κείμενου, έχω δε αναφέρει στη Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

**Η σπουδάστρια:**

Τζενσίλα Σιάχου

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	1
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	2
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ</b> .....	3
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	5
1.1 ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	5
1.2 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	7
1.3 ΕΙΔΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ.....	12
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ</b> .....	14
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ - ΟΡΙΣΜΟΙ .....	14
2.2 ΣΥΝΘΕΣΗ - ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ .....	16
2.2.1 ΣΥΝΘΕΣΗ .....	16
2.2.2 ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ.....	18
2.3 ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ.....	20
2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ .....	24
2.4.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΞΗΡΗΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ.....	25
2.4.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΓΡΗΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ .....	27
2.5 ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ .....	30
2.5.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ .....	30
2.5.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΛΙΚΟΥ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ.....	36
2.6 ΑΝΑΠΗΔΗΣΗ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ –	
ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ .....	41
2.6.1 ΑΝΑΠΗΔΗΣΗ .....	41
2.6.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΔΙΑΣΤΡΩΣΗΣ .....	45
2.7 ΥΓΙΕΙΝΗ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ .....	46
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ</b>	
<b>ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ</b> .....	48
3.1 ΓΕΝΙΚΑ .....	48
3.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ .....	51
3.2.1 ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΜΟΝΟΛΙΘΙΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ .....	54
3.2.2 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΡΓΟΥ – Η ΠΑΡΑΚΑΜΨΗ ΤΟΥ	
LUNGERN.....	60
3.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΕΡΓΑ .....	64
3.3.1 ΓΝΩΣΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ	
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ .....	67
3.3.2 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ	
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ.....	74

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>79</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>80</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Το σκυρόδεμα είναι τεχνητό υλικό που αποτελείται κατά βάση από αδρανή (χαλίκια και άμμο), συγκολλημένα μέσω του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού (νερό και τσιμέντο) σε μονολιθική μάζα. Τα υλικά κατασκευής πρέπει να είναι σύμφωνα με τα πρότυπα των Ευρωπαϊκών κανόνων και προτύπων (Πίνακας 1.1).

Πίνακας 1.1 Ευρωπαϊκά πρότυπα υλικών παρασκευής σκυροδέματος [1].

ΥΛΙΚΟ	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ ΙΣΧΥΟΣ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	ΚΤΣ 1997	ΦΕΚ 315/Β/17-04-97
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	ΕΛΟΤ EN 206-1	(ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ)
ΑΔΡΑΝΗ	ΕΛΟΤ EN 12620	2002
ΤΣΙΜΕΝΤΟ	ΕΛΟΤ EN 197-1	2000
ΝΕΡΟ	ΕΛΟΤ EN 1008	2002
ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ	ΕΛΟΤ EN 934-2	2001

Το σκυρόδεμα δεν είναι εφεύρεση του «σήμερα». Οι ακόλουθες χρονολογίες σταθμοί παρουσιάζουν την εξέλιξη του υλικού που οδήγησε σταδιακά στη σύγχρονη μορφή με την οποία γνωρίζει ευρεία χρήση σήμερα [1].

**7000 π.Χ.** Το αρχαιότερο γνωστό σήμερα σκυρόδεμα βρίσκεται στη νότια Γαλιλαία του Ισραήλ. Ανακαλύφθηκε το 1985 και αποτελείται από μίγμα ασβέστη και φυσικών λίθων(πέτρας).

**3000 π.Χ.** Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν άχυρα για να αυξήσουν την αντοχή πλίνθων κατά την ξήρανσή τους. Επίσης χρησιμοποιούσαν κονιάματα με γύψο και κονιάματα με ασβεστόλιθο σαν πρώτη ύλη στις κατασκευές τους.

**800 π.Χ.** Έλληνες, Κρήτες και Κύπριοι χρησιμοποιούσαν λάσπη κτισίματος που είχε πολύ υψηλότερες αντοχές από τις μετέπειτα Ρωμαϊκές εφαρμογές.

**300 π.Χ.- 476 μ.Χ.** Οι ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν ποζολάνες από την Pozzuoli, πόλη που βρισκόταν κοντά στο ηφαίστειο Βεζούβιος για να κτίσουν την Αππία Οδό, τα ρωμαϊκά λουτρά, το Κολοσσαίο, το Πάνθεο της ρώμης και τον αγωγό νερού στο Pont du Gard στη νότια Γαλλία. Χρησιμοποιούσαν επίσης ασβέστη ως υδραυλικό υλικό. Αναφέρονται συνθέσεις ενός (1) μέρους ασβέστη προς τέσσερα (4) μέρη άμμου. Ο Βιτρούβιος αναφέρει σύνθεση με δύο (2) μέρη ποζολάνης προς ένα (1) μέρος ασβέστη. Επίσης, το λίπος των ζώων, το γάλα και το αίμα τους αποτελούσαν τα «χημικά» πρόσμικτα της εποχής, χρησιμοποιούνταν δηλαδή ως υλικά που βελτιώνουν ιδιότητες της σύνθεσης.

**1200-1500 μ.χ.** Παρατηρείται πτώση της ποιότητας των υδραυλικών κονιών. Η χρήση ασβέστη και ποζολάνης σταματά έως το 1300.

**1779 μ.χ.** Ο Bry Higgins παρουσιάζει την ευρεσιτεχνία του για παραγωγή υδραυλικού τσιμέντου (stucco) για χρήση ως εξωτερικό επίχρισμα.

**1793 μ.χ.** Ο John Smeaton ανακαλύπτει ότι η ασβεστοποίηση ασβεστολιθικών πετρωμάτων που περιέχουν άργιλο παράγει ασβέστη που σκληραίνει κάτω από την επιφάνεια του νερού (υδραυλικός ασβέστης). Χρησιμοποιεί το υλικό αυτό για να ξανακτίσει το φάρο στο Eddystone της Κορνουάλης, του οποίου η κατασκευή άρχισε το 1756 αλλά δεν μπορούσε να προχωρήσει χωρίς την ύπαρξη συνδετικού υλικού που να μην επηρεάζεται από το νερό.

**1796 μ.χ.** Ο James Parker (Αγγλία) πατεντάρει ένα φυσικό υδραυλικό τσιμέντο που παρασκευάζει θερμαίνοντας (ασβεστοποιώντας) ακάθαρτο ασβεστόλιθο που περιέχει άργιλο. Το ονομάζει τσιμέντο Parker ή Ρωμαϊκό τσιμέντο.

**1812-1813.** Ο Γάλλος Luis Vicat παρασκευάζει συνθετικό υδραυλικό ασβέστη με θέρμανση συνθετικών μιγμάτων ασβεστόλιθου και αργίλου.

**1824.** Ο Άγγλος Joseph Aspdin ανακαλύπτει το τσιμέντο τύπου Πόρτλαντ. Θερμαίνει λεπτά τριμμένη κιμωλία και άργιλο σε κλίβανο ασβεστοποίησης ώσπου να φύγει το διοξείδιο του άνθρακα από το μίγμα. Το κρυσταλλωμένο παράγωγο της διαδικασίας αλέθεται στη συνέχεια και λαμβάνει την ονομασία τσιμέντο Πόρτλαντ, από τις εξαιρετικής ποιότητας πέτρες κτισίματος που εξορύσσονται στην περιοχή του Πόρτλαντ.

**1836.** Οι πρώτοι συστηματικοί έλεγχοι εφελκυστικής αντοχής γίνονται στη Γερμανία.

**1889.** Κτίζεται η πρώτη γέφυρα από σκυρόδεμα

**1891.** Ο George Bartholomew κατασκευάζει το πρώτο δρόμο από σκυρόδεμα στις ΗΠΑ στο Bellefontaine, OH. Υπάρχει ακόμα και σήμερα.

**1903.** Ο πρώτος ουρανοξύστης από σκυρόδεμα κατασκευάζεται στο Cincinnati του Οχάιο των ΗΠΑ.

**1945.** Πρώτη δημοσίευση στην Ελλάδα των μεταφρασμένων Γερμανικών DIN 1045 (Τεχνικά Χρονικά ΤΕΕ).

**1954.** Εκδίδεται ο πρώτος Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος στην Ελλάδα.

**1970-1981.** Υιοθετούνται οι Γερμανικές Κατηγορίες B25, B35

**1985.** Εκδίδεται ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΦΕΚ 266/B/9-5-85)

**1997.** Αναθεώρηση του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος με την έκδοση του ΚΤΣ 97 που δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ/315/B/17-4-97

**2002.** Προσαρμογή του ΚΤΣ-97 στα Ευρωπαϊκά πρότυπα. Εισάγονται οι κατηγορίες κάθισης S1-S5.

**2006.** Σύνθεση επιτροπής Αναθεώρησης του ΚΤΣ-97 σύμφωνα με τα πρότυπα του ΕΛΟΤ EN 206-1 (Δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ/1318/B/14-9-06).

Το οπλισμένο σκυρόδεμα έχει εδώ και δεκαετίες εδραιωθεί ως ο βασικός τρόπος κατασκευής όλων σχεδόν των κτιριακών εγκαταστάσεων και όχι μόνο (χρησιμοποιείται σε μεγάλη ποικιλία τεχνικών έργων) τόσο στην Ελλάδα όσο και παγκοσμίως. Μερικοί λόγοι που καθιέρωσαν το οπλισμένο σκυρόδεμα στις κατασκευές είναι [2]:

1. η πολύ καλή συνεργασία σκυροδέματος και χαλύβδινου οπλισμού,
2. η υψηλή θλιπτική αντοχή
3. η καλή σχέση κόστους και ποιότητας κατασκευής

Ωστόσο, κάποια μειονεκτήματα της χρήσης του οπλισμένου σκυροδέματος είναι:

1. η μεγάλη περίοδος κατασκευής σε σχέση με άλλες κατασκευές όπως ξύλινη και μεταλλική.
2. η μεγάλη εξάρτηση από τις καιρικές συνθήκες (παρασκευή σκυροδέματος, μεταφορά, σκυροδέτηση)
3. η μη γρήγορη και εύκολη αποκατάσταση ζημιών

## 1.2 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

### A. ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ [2].

Το τσιμέντο που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος είναι βιομηχανικό κοκκώδες υλικό με υδραυλικές ιδιότητες. Δηλαδή σκληραίνει όταν αναμιγνύεται με το νερό σχηματίζοντας προϊόντα αδιάλυτα στο νερό. Είναι γνωστό ότι το τσιμέντο αποτελεί από αρχαιοτάτων χρόνων εξαιρετη υδραυλική κονία με εξαιρετικές ιδιότητες. Χρησιμοποιείται ευρύτατα και σήμερα σε πολλές πρακτικές εφαρμογές, εκτός από την βιομηχανοποιημένη διαδικασία παραγωγής σκυροδέματος, καθώς εκτός από υψηλή υδραυλικότητα συνδυάζει και υψηλές αντοχές.

Ανάλογα με τη σύνθεσή τους, το βαθμό άλεσης και τα πρόσθετα υλικά, τα τσιμέντα κατατάσσονται σε διάφορους τύπους (Πίνακας 1.2). Σύμφωνα με τον ελληνικό κανονισμό τσιμέντων (EN 196-1) τα τσιμέντα χωρίζονται στους εξής τύπους:

- **Τύπος I (Τσιμέντο Portland).** Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από την άλεση του κλίνκερ με προσθήκη γύψου 2-3% και filler <3% κ.β.
- **Τύπος II (Τσιμέντο Portland με ποζολάνες).** Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που περιέχουν ποζολάνες. Το αδιάλυτο υπόλειμμα ανέρχεται σε ποσοστό 20% κ.β.
- **Τύπος III (Ποζολανικά τσιμέντα Portland).** Περιέχουν ποζολάνη σε ποσοστό μεγαλύτερο από εκείνα του τύπου II. Το αδιάλυτο υπόλειμμα ανέρχεται σε ποσοστό 20-40%. Παρουσιάζουν χαμηλότερη θερμότητα ενυδάτωσης, και ενδείκνυνται σε ογκώδη έργα (π.χ. υπερχειλιστές ΔΕΗ, φράγματα κλπ).
- **Τύπος IV (SR) (Τσιμέντο Portland ανθεκτικό στα θειικά άλατα).** Δεν περιέχουν ποζολάνες αλλά το αργιλικό τριασβέστιο ( $C_3A$ ) πρέπει να είναι μικρότερο του 3,5% και η περιεκτικότητα σε τριοξείδιο του θείου ( $SO_3$ ) να μην υπερβαίνει το 2,5%. Χρησιμοποιείται στην παρασκευή σκυροδέματος για κατασκευές που βρίσκονται σε πολύ διαβρωτικό περιβάλλον (πχ. Μονάδες βιολογικού καθαρισμού, σωλήνες αποχέτευσης).



**Πίνακας 1.2** Κατηγορίες τσιμέντου που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή σκυροδέματος [2]

ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
CEM I	Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM II	Σύνθετο Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM III	Σκωριοτσιμέντο
CEM IV	Ποζολανικό Τσιμέντο
CEM V	Σύνθετο Τσιμέντο

## B. ΤΟ ΝΕΡΟ [2]

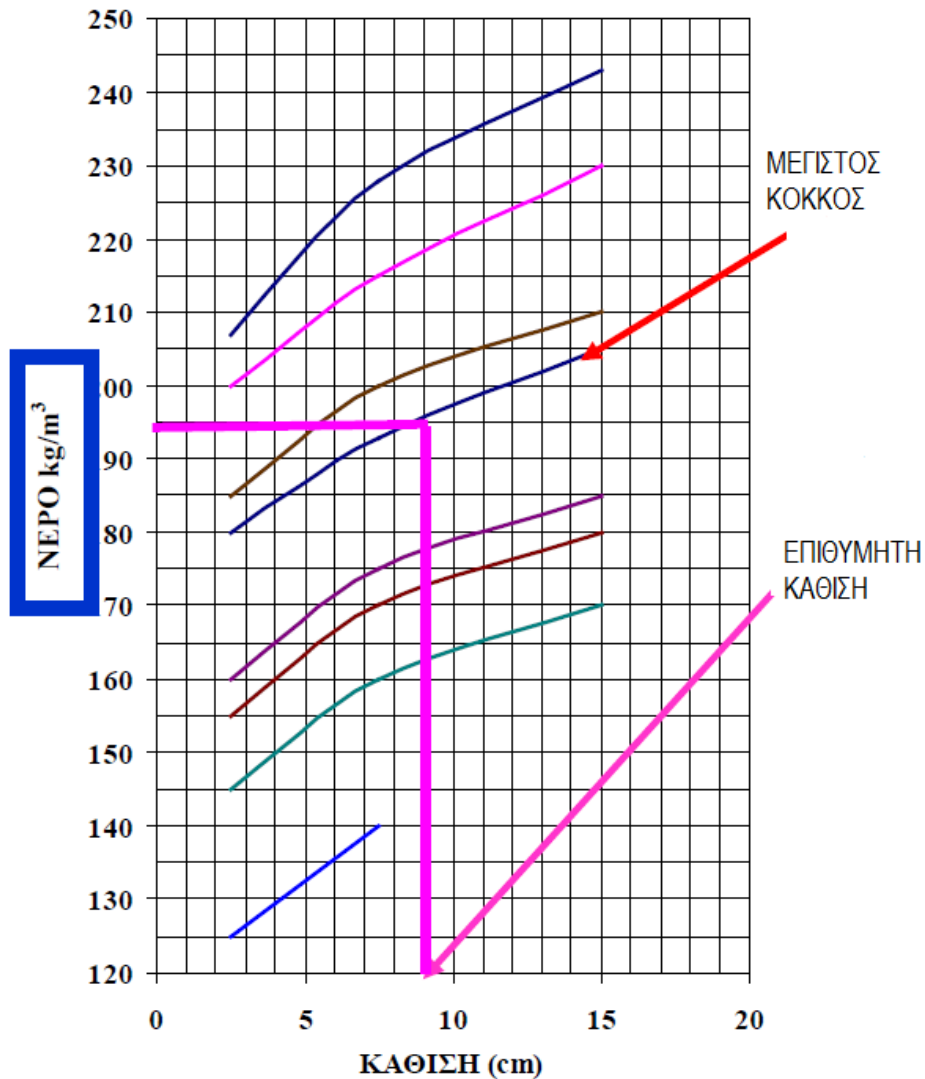
Ένα από τα κυριότερα συστατικά του σκυροδέματος είναι το νερό. Το νερό που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι πόσιμο, καθαρό και απαλλαγμένο από βλαπτικές ουσίες (οργανικά ή ανόργανα στερεά, θειικά άλατα, οξέα) σε μεγάλο ποσοστό γιατί μπορούν να βλάψουν την ποιότητα του σκυροδέματος και να προκαλέσουν διάβρωση του οπλισμού. Ο Νέος Κ.Τ.Σ. επιτρέπει την χρήση θαλασσινού νερού μίξης σε άοπλο φέρων σκυρόδεμα, αν η απαιτούμενη αντοχή αυξηθεί κατά 15%.

Ο λόγος τσιμέντου-νερού (υδατοτσιμεντοσυντελεστής) είναι μία ιδιαίτερα κρίσιμη παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη κατά τη μελέτη σύνθεσης ενός σκυροδέματος. Είναι σημαντικό να προσέξουμε την ποσότητα του νερού που θα βάλουμε στο μίγμα μας διότι περισσότερη ποσότητα από την ενδειγμένη θα μας δημιουργήσει ένα υδαρό μίγμα το οποίο θα καθυστερήσει να πήξει και θα χάσει αρκετά από την προβλεπόμενη αντοχή του.

Επίσης, άσχημα αποτελέσματα θα έχουμε και αν τοποθετήσουμε λιγότερη ποσότητα διότι δεν θα υπάρξει αρκετός τσιμεντοπολτός ώστε να αγκαλιάσει και να δέσει τα αδρανή μας. Παρακάτω (Εικόνα 1.1) παρουσιάζεται το διάγραμμα, με χρήση του οποίου και σύμφωνα με τον μέγιστο κόκκο των αδρανών και την επιθυμητή κάθιση μπορεί να βρεθεί η επιθυμητή ποσότητα νερού. Σημειώνεται ότι, η κάθιση είναι μια ιδιότητα του σκυροδέματος με βάση την οποία ποσοτικοποιείται την εργασιμότητα του μείγματος και προσδιορίζεται μέσω κατάλληλης δοκιμής.

Στον Πίνακα 1.3 παρουσιάζεται η σχέση νερού – τσιμέντου συναρτήσει πάντα του μέγιστου κόκκου των αδρανών.

**ΝΕΡΟ (kg/m<sup>3</sup>) ΓΙΑ ΔΙΑΦΕΡΕΣ ΚΑΘΙΣΕΙΣ ΣΕ  
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ ΚΟΚΚΟ**



**Εικόνα 1.1** Διάγραμμα εύρεσης ποσότητας νερού σύμφωνα με τον μέγιστο κόκκο των αδρανών και την επιθυμητή κάθιση του μείγματος [2].

**Γ. ΑΔΡΑΝΗ [2]**

Γενικά τα αδρανή (που ονομάζονται έτσι γιατί είναι από χημική άποψη αδρανή προς το τσιμέντο) προέρχονται απευθείας από τη φύση ή με συλλογή από ρέματα κλπ. (φυσικά ή συλλεκτά) ή από θραύση πετρωμάτων (θραυστά). Για τα κοινά σκυροδέματα και τις ελληνικές συνθήκες, τα καλύτερα αδρανή προέρχονται από ασβεστολιθικά ή πυριτικά πετρώματα.

Οι κόκκοι μπορεί να είναι στρογγυλοί, κυβόμορφοι, γωνιώδεις, πλακόμορφοι ή επιμήκεις. Από πλευράς εργασιμότητας καλύτεροι είναι οι στρογγυλοί ή κυβόμορφοι κόκκοι, ενώ από πλευράς μηχανικής αντοχής του σκυροδέματος, οι κόκκοι με ανώμαλη επιφάνεια. Δηλαδή συνολικά καλύτερα είναι τα θραυστά αδρανή με κόκκους που δεν είναι επιμήκεις και πλακοειδείς.

**Πίνακας 1.3** Τιμές του λόγου νερού – τσιμέντου ανάλογα με το μέγιστο κόκκο των αδρανών για συνήθη σκυροδέματα [2].

<b>Ο Κ.Τ.Σ. 97 ΓΙΑ ΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ</b>				
<b>ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΧΩΡΙΣ ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ</b>				
<b>ΕΠΙΧΡΙΣΜΕΝΟ</b>				
	<b>ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΚΟΚΚΟΣ</b>			
	<b>3/8"</b>	<b>1/2"</b>	<b>1"</b>	<b>1 1/2"</b>
	<b>ή</b>	<b>ή</b>	<b>ή</b>	<b>ή</b>
	<b>8 mm</b>	<b>16 mm</b>	<b>31,5 mm</b>	<b>63 mm</b>
<b>ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΛΟΓΟΣ</b>				
<b>ΝΕΡΟΥ / ΤΣΙΜΕΝΤΟ</b>	<b>0,70</b>	<b>0,70</b>	<b>0,70</b>	<b>0,70</b>
<b>N/T</b>				
<b>ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</b>				
<b>ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ</b>	<b>320</b>	<b>300</b>	<b>270</b>	<b>270</b>
<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>				

Τα αδρανή υλικά πρέπει να είναι:

- ανθεκτικά από σκληρά πετρώματα (γρανίτες και ασβεστόλιθοι)
- σταθερά ώστε να μην θρυμματίζονται εύκολα
- απαλλαγμένα από παιπάλη με διάμετρο μικρότερη από 0,075 mm καλά διαβαθμισμένα.
- καθαρά και απαλλαγμένα από φυτικές και άλλες επιβλαβείς προσμίξεις (πυλός, χημικά δραστικές ουσίες, άνθρακες).
- σταθερά στις καιρικές αλλαγές (μεταβολές θερμοκρασίας και υγρασίας).

#### Δ. ΠΡΟΣΘΕΤΑ [2]

Γενικά προστίθενται στο μείγμα ορισμένες χημικές ουσίες που λέγονται «πρόσθετα» ή «πρόσμικτα», με σκοπό τη βελτίωση, μέσω φυσικοχημικής αντίδρασης, ορισμένων ιδιοτήτων του σκυροδέματος. Σε σύγκριση με τα λοιπά συστατικά του σκυροδέματος, τα πρόσθετα έχουν σημαντικό, ανά μονάδα βάρους ή όγκου, κόστος. Οι κατηγορίες των πρόσθετων υλικών, είναι:

1. **Αερατικά**, που αναπύσσουν στη μάζα του σκληρυμένου σκυροδέματος μικροσκοπικές (0,02 – 0,2mm) φυσαλίδες με σκοπό την αύξηση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος σε κύκλους ζέστης- παγετού.
2. **Πρόσθετα επιταχυντικά της πήξης**, για σκυροδέτηση σε χαμηλές θερμοκρασίες.
3. **Πρόσθετα επιβραδυντικά της πήξης**, για σκυροδέτηση σε πολύ ζεστό καιρό.

4. **Ρευστοποιητικά ή υπερρευστοποιητικά πρόσθετα**, για αύξηση της ρευστότητας του νωπού σκυροδέματος. Είναι τα πιο χρήσιμα στην πράξη. Η χρήση τους είναι σχεδόν απαραίτητη για σκυροδέματα υψηλής ποιότητας, που αναγκαστικά περιέχουν λιγότερο νερό, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες. Όταν χρησιμοποιούνται υπερρευστοποιητικά πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η επίδραση τους στην ρευστότητα του μίγματος κατά κανόνα εξαφανίζεται μετά από 20-30 min από την προσθήκη τους στο μίγμα. Για τον λόγο αυτό, αν η ανάμειξη των υλικών του σκυροδέματος γίνεται σε εργοστάσιο ετοιμού σκυροδέματος και ακολουθεί μεταφορά στο έργο σε αυτοκίνητο- αναμικτήρα, ένα μέρος ή και το σύνολο του υπερρευστοποιητικού χρειάζεται να προστίθεται στο μείγμα όχι στο εργοστάσιο παραγωγής αλλά επιτόπου στο έργο, λίγο πριν τη σκυροδέτηση.

Όσον αφορά τις ιδιότητες του σκυροδέματος, προφανώς ιδιαίτερης σημασίας είναι η **αντοχή του σε θλίψη**. Μάλιστα, ανάλογα με την θλιπτική του αντοχή το σκυρόδεμα διακρίνεται στις κατηγορίες του Πίνακα 1.4. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν δύο είδη πρότυπων δοκιμών, το κυβικό που έχει οι ακμές του έχουν μήκος 150mm, το κυλινδρικό δοκίμιο έχει διάμετρο 150 και ύψος 3000mm.

**Πίνακας 1.4** Διάκριση σκυροδέματος σε κατηγορίες ανάλογα με τη θλιπτική αντοχή των προτύπων δοκιμών [2].

Κατηγορία σκυροδέματος	$F_{ck}$ , κυλινδρικό	$F_{ck}$ , κυβικό
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60

### 1.3 ΕΙΔΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ

#### (α) Ελαφροσκυρόδεμα [3]

Ανήκει στην κατηγορία των κυψελωτών τσιμεντοκονιαμάτων ως μείγμα από τσιμέντο, νερό και άλλα υλικά, χωρίς μεγάλα αδρανή, που χάρις στα κενά αέρα που εμπεριέχει έχει μικρότερο βάρος. Διαθέτει θερμομονωτικές ιδιότητες και χρησιμοποιείται για γεμίσματα δαπέδων (Εικόνα 1.2) με βάρος ( $1700 \text{ kg/m}^3$ ).



Εικόνα 1.2 Εφαρμογή ελαφροσκυροδέματος [3]

#### (β) Πολυμερικό σκυρόδεμα [4]

Είναι σκυρόδεμα / κονίαμα με προσθήκη γαλακτώματος φυσικού ή συνθετικού πολυμερούς και χρησιμοποιείται κυρίως για επισκευή δαπέδων ή καταστρωμάτων γεφυρών. Η επιτυχία των PMC (Polymers Modified Concrete) οφείλεται στην ενίσχυση της διεπιφανειακής ζώνης αδρανών – τσιμεντοπήγματος με τα πολυμερικά μόρια των συνθετικών latex. Ως πρώτες ύλες εκτός από το φυσικό latex τα συνήθως χρησιμοποιούμενα είναι polyvinylacetate, acrylics, styrene-butadiene, vinylidene chloride. Η αναλογία προσθήκης είναι συνήθως: στερεό πολυμερές / τσιμέντο = 0,10 έως 0,20 κατά βάρος. Μια τυπική δοσολογία τροποποιημένου με πολυμερή σκυροδέματος είναι:

Τσιμέντο	1 μέρος βάρους
Άμμος	2,5 – 3,0 μ.β.
Χονδρόκοκκο	1,4 – 2,0 μ.β.
Νερό	0,30 – 0,40
Polymer/τσιμέντο	0,10 – 0,20

Το πολυμερικό σκυρόδεμα έχει κάθιση 10-15 cm και διαστρώνεται σε υγρή καθαρή επιφάνεια σε πάχος 2,5 - 3,0 cm.

Στα τροποποιημένα με πολυμερή σκυροδέματα /κονιάματα εντάσσονται και:

- Το πολυμερικό σκυρόδεμα / κονίαμα εποξειδικής βάσης που βασίζεται στη χρήση εποξειδικών ρητινών ως συνδετικού μέσου των αδρανών, των οποίων ο μέγιστος κόκκος επιλέγεται ανάλογα με το πάχος της επικάλυψης ή του ανοίγματος της

ρωγμής. Με πολυμερικό κονίαμα σφραγίζονται ρωγμές ανοίγματος 0,08 – 6mm. Συνήθως οι δύο συστατικών ρητίνες προαναμιγνύονται πριν τη προσθήκη αδρανών. Η όλη εφαρμογή απαιτεί ιδιαίτερη εξοικείωση με τα υλικά και τη μεθοδολογία.

- Το methylmethacrylate concrete όπου τα αδρανή ανακατεύονται με το μονομερές το οποίο πολυμερίζεται επί τόπου με εισαγωγή καταλύτη.

Τα τροποποιημένα με πολυμερή σκυροδέματα /κονιάματα παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα :

- Εξαιρετική πρόσφυση
- Μεγάλη αντοχή σε θλίψη και κάμψη
- Μεγάλη αντοχή σε τριβή
- Σημαντικά αυξημένη ανθεκτικότητα σε προσβολή από χημικά αντιδραστήρια
- Σημαντική μείωση της διαπερατότητας και δημιουργίας προστατευτικής επικάλυψης οπλισμού από διάβρωση.

Ειδικότερα το methylmethacrylate σκυρόδεμα αναπτύσσει αντοχές πολύ υψηλές μέσα σε λίγες ώρες (35 MPa σε 2 ώρες), αλλά παρουσιάζει δυσκολίες η εφαρμογή του λόγω της τοξικότητας των συστατικών του μονομερούς και του καταλύτη.

Η ανάμιξη των υλικών γίνεται ρίχνοντας τα στερεά υλικά στο γαλάκτωμα που έχει προηγουμένως σχηματισθεί με το πολυμερές και το ήμισυ της δόσης του νερού. Ακολουθεί υγρή συντήρηση του σκυροδέματος για 24 ώρες και παραδίδεται για λειτουργία όταν η αντοχή του σε θλίψη είναι τουλάχιστον 21 MPa. Ο έλεγχος των κονιαμάτων γίνεται με κυβικά δοκίμια ακμής 51mm, ενώ των σκυροδεμάτων γίνεται με κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 76X 152mm.

#### **(γ) Σκυρόδεμα πολύ υψηλής αντοχής [5]**

Στις μέρες μας, σε διάφορες περιπτώσεις χρησιμοποιείται σκυρόδεμα με θλιπτική αντοχή 140 MPa ενώ σε ιδιαίτερες περιπτώσεις έχουν παρασκευαστεί και χρησιμοποιηθεί σκυροδέματα με πολύ υψηλότερη αντοχή. Τα σκυροδέματα αυτά χρησιμοποιούνται στη κατασκευή υψηλών κτιρίων, γεφυρών μεγάλων ανοιγμάτων και ειδικών κατασκευών (π.χ. πλατφόρμες αντλήσεως πετρελαίου). Στην επισκευή οδοστρωμάτων οδών ή αεροδρομίων, όπου απαιτείται άμεση παράδοση στην κυκλοφορία και μεγάλη αντοχή (6 - 12 ώρες) χρησιμοποιείται σκυρόδεμα με υψηλές απαιτήσεις και αντοχές στις πρώιμες ηλικίες.

Το μειωμένο ίδιο βάρος σε σχέση με τη φέρουσα ικανότητα των φορέων από το σκυρόδεμα αυτό, η ταχύτητα της κατασκευής, η μειωμένη χρήση αδρανών και επομένως η μειωμένη περιβαλλοντική επιβάρυνση, είναι μερικά από τα πλεονεκτήματά του, που συνδυάζονται με την βελτιωμένη ανθεκτικότητα και συχνά καταλήγουν σε μικρότερο τελικό κόστος. Έρευνα που έγινε από το Εργαστήριο της Ένωσης Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδας σε συνεργασία με το ΕΜΠ και αφορούσε τη μελέτη σύνθεσης παρασκευής σκυροδέματος πολύ υψηλής αντοχής, με κοινά ασβεστολιθικά αδρανή Αττικής, έφτασε αντοχή σε 28 ημέρες 100 MPa χωρίς πρόσμικτα, 110 MPa με πρόσμικτο τριμμένη φυσική ποζολάνη και 120 MPa με πρόσμικτο πυριτική παιπάλη. Σε άλλη εργασία αναφέρθηκε πρώιμη αντοχή σε 12 ώρες 55 MPa.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ - ΟΡΙΣΜΟΙ

Ως «εκτοξευόμενο σκυρόδεμα» (shotcrete ή gunitite ή sprayed concrete) ορίζεται το σκυρόδεμα που διαστρώνεται πάνω σε μία επιφάνεια με εκτόξευσή του από ακροφύσιο, ώστε να σχηματίζει σε αυτή στρώση με συνάφεια [6].

Τα τεράστια πλεονεκτήματα που προσφέρει το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, ως μέσον κατασκευής και αντιστήριξης, καθώς και οι συνεχείς τεχνολογικές εξελίξεις σε προϊόντα, εξοπλισμό αλλά και στη γνώση της εφαρμογής, το καθιστούν ένα πολύ σημαντικό και απαραίτητο εργαλείο για τα μεγάλα έργα υποδομής [7]. Ειδικότερα οι εξελίξεις στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υγρής ανάμιξης, έχουν συμβάλει σε σημαντικές εξελίξεις στην τεχνολογία των υπόγειων έργων. Ορισμένα τεχνικά έργα τα οποία ήταν αδύνατον να πραγματοποιηθούν με συμβατικές μεθόδους, βρίσκουν τώρα τον τρόπο υλοποίησής τους.

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή γκανάιτ (gunitite) δεν είναι νέα εφεύρεση. Οι πρώτες εργασίες με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, πραγματοποιήθηκαν στις ΗΠΑ από την εταιρία Cement-Gun Company, Allentown, το 1907. Η πρώτη μηχανή για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατασκευάστηκε στη Pensylvania από τον Carl Ethan Akeley, ιδιοκτήτη της παραπάνω εταιρίας, για να εκτοξεύει τσιμεντοκονίαμα πάνω σε πλέγμα με σκοπό να κατασκευάσει μοντέλα δεινοσαύρων. Μάλιστα, η εμπορική ονομασία gunitite, ήταν κατοχυρωμένη από την εταιρία αυτή για πολλά χρόνια.

Σήμερα λέγοντας gunitite εννοούμε εκτοξευόμενο τσιμεντοκονίαμα (δηλαδή κονίαμα με μέγιστο κόκκο αδρανούς 4,5 ή και 8 mm, ανάλογα με τη χώρα εφαρμογής), ενώ ως εκτοξευόμενο σκυρόδεμα εννοούμε ένα πραγματικό σκυρόδεμα που εκτοξεύεται, του οποίου βέβαια ο μέγιστος κόκκος δεν ξεπερνάει τα 16 mm.

Οι χρήσεις του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι πολλές. Συγκεκριμένα, εφαρμόζεται για:

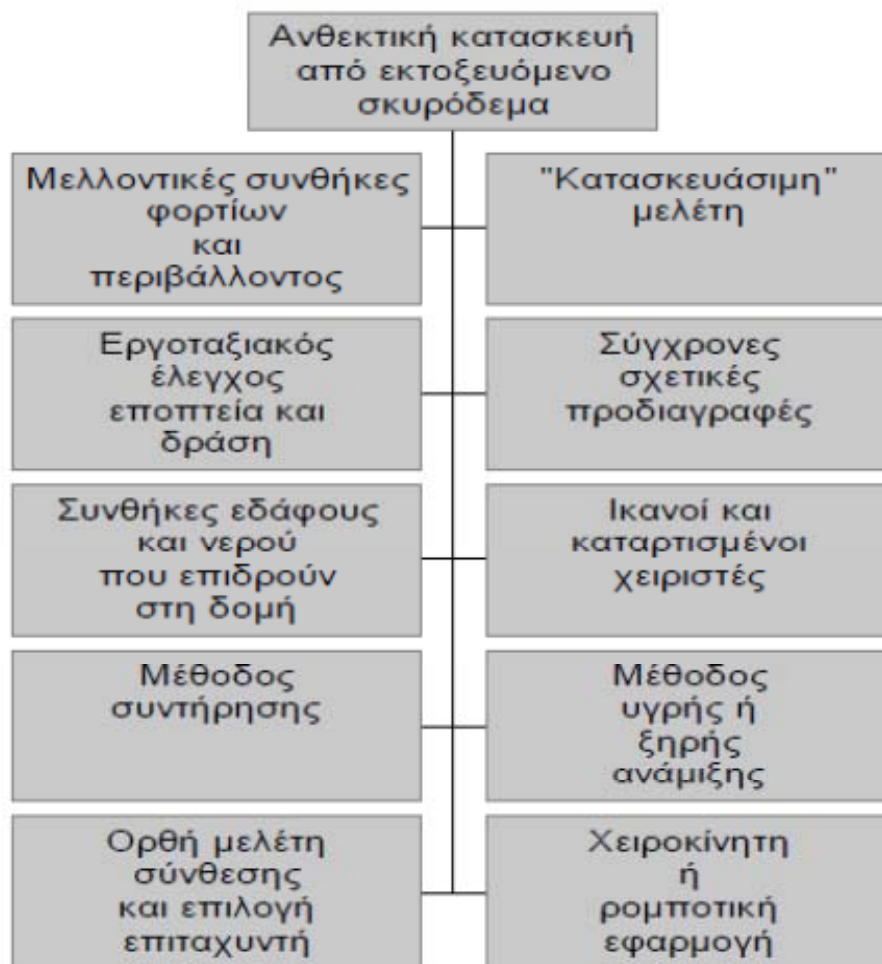
- σταθεροποίηση μετώπου σηράγγων
- σταθεροποίηση πρανών
- άμεση ή προσωρινή επένδυση σηράγγων
- μόνιμη επένδυση σηράγγων
- επισκευές ή ανακαινίσεις σηράγγων
- επισκευές ή/και ενισχύσεις κατασκευών (κτιριακών και άλλων).

Από τις παραπάνω οι δύο βασικότερες είναι η σταθεροποίηση εδαφών, είτε αυτά είναι πρανή αντιστήριξης είτε είναι σήραγγες και βέβαια, οι επισκευές και ενισχύσεις υφιστάμενων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος.

Σε σχέση με τη χρήση του συμβατικού σκυροδέματος, το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται σε αρκετά μικρότερες ποσότητες παγκοσμίως. Γενικά, ο αριθμός των χρηστών εκτοξευόμενου σκυροδέματος τόσο στην Ελλάδα όσο και παγκόσμια είναι αρκετά περιορισμένος. Παρ' όλα αυτά, οι εταιρίες παρασκευής έχουν εξελίξει την τεχνολογία, τον εξοπλισμό και τις μεθόδους ελέγχου του εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε πολύ μεγάλο βαθμό, ειδικά τα τελευταία 30 χρόνια. Μάλιστα, οι απαιτήσεις των σημερινών

τεχνικών έργων έχουν οδηγήσει σε ένα πολύ καλό ποιοτικά αποτέλεσμα σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια.

Στην Εικόνα 2.1 συνοψίζονται οι παράγοντες που επιδρούν στην ποιότητα μιας κατασκευής από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Όπως φαίνεται, η εκπαίδευση του προσωπικού που εμπλέκεται με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι σημαντικά και είναι πια πολύ πιο απαιτητική [8]. Ο αριθμός των εξειδικευμένων κατασκευαστών που ασχολούνται με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, μεγάλωσε κατά πολύ τα τελευταία χρόνια. Βέβαια, το φαινόμενο αυτό, περιέχει τον κίνδυνο της κακής ποιότητας εργασίας σε περίπτωση που το προσωπικό δεν έχει λάβει την απαραίτητη εκπαίδευση και στερείται εμπειρίας, φαινόμενο που παρατηρείται κυρίως στα μικρότερης σημασίας τεχνικά έργα. Είναι βέβαια σίγουρο ότι σε σχέση με την αρχή που έγινε το 1907, έχουν γίνει τεράστια βήματα, ίσως και άλματα, τόσο στην τεχνολογία του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, όσο και στην εφαρμογή του στις κατασκευές και την εκπαίδευση του προσωπικού.



**Εικόνα 2.1** Παράγοντες που καθορίζουν την ανθεκτικότητα μιας κατασκευής από Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα [7]

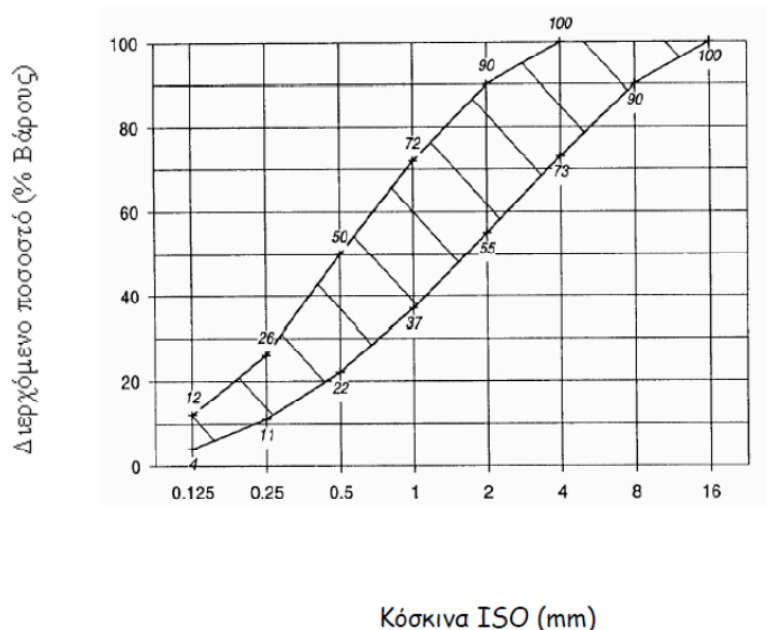


## 2.2 ΣΥΝΘΕΣΗ - ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ

### 2.2.1 ΣΥΝΘΕΣΗ

Η σύνθεση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος ακολουθεί αντίστοιχους κανόνες με αυτούς που ισχύουν για το συμβατικό έγχυτο σκυρόδεμα. Οι πληροφορίες που παρουσιάζονται στην ενότητα αυτή προέρχονται από το άρθρο «Το Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα σε Έργα Επεμβάσεων – Το ιστορικό και η σύνθεση», του καθηγητή. Σ. Η. Δρίτσου που έχει δημοσιευθεί στο τεύχος 320 του δελτίου του Σ.Π.Μ.Ε. [19]

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 (Εικόνα 2.2). Όταν χρησιμοποιείται η τεχνική της ξηρής ανάμιξης το ανώτερο τμήμα της παραπάνω περιοχής είναι καταλληλότερο ενώ η προύγρानση 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 2.2** Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών για χρήση σε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα [19]

Ως ελάχιστη ποσότητα τσιμέντου στο μίγμα θεωρείται η προβλεπόμενη στον Κ.Τ.Σ.-97, ανάλογα και με τις ειδικότερες απαιτήσεις. Πάντως δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερη από  $300 \text{ kg/m}^3$ . 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 [19]. 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 2.1 συσχέτισης αντοχής και αναλογίας τσιμέντου στο μίγμα και θεωρώντας  $N/T = 0,40$ .

**Πίνακας 2.1** Συσχέτιση αντοχής Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος με την ποσότητα τσιμέντου στο μίγμα (λόγος  $N/T_a = 0.40$ ) [19]

Αντοχή (MPa)	Ποσότητα τσιμέντου ( $kg/m^3$ )
20	370
25	400
30	450
35	500

Για παράδειγμα, ας θεωρηθεί ότι η απαιτούμενη χαρακτηριστική αντοχή είναι ίση με 25 MPa, οπότε:

Προεκτιμάται πυκνότητα Ε.Σ.  $2300 \text{ kg/m}^3$

Ποσότητα τσιμέντου (Πιν. 2.1):  $400 \text{ kg/m}^3$

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 παρασκευή του Ε.Σ. ως πρόσθετα μπορούν να χρησιμοποιηθούν: ιπτάμενη τέφρα, σκωρία υφικαμίνων, 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» 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 υφικαμίνων 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 Α.Σ.Τ.Μ. C1141. Αναλυτικές πληροφορίες για τα διάφορα

πρόσμικτα και τη χρήση τους παρουσιάζονται σε επόμενη ενότητα.

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 επί τόπου 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 A.S.T.M. 820. Το συνιστώμενο μήκος χαλύβδινων ινών είναι 25-35 mm.

Όταν προβλέπεται προδιύγρανση 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 διύγρανση θεωρείται μικρή. Αν το υλικό παραμένει σαν σβώλος η θραύεται αλλά διατηρεί το σχήμα του, η διύγρανση είναι ικανοποιητική. Αν η υγρασία αποπλένεται στο χέρι τότε η διύγρανση είναι υπερβολική. Σε κάθε περίπτωση το ξηρό ανάμιγμα με προδιύγρυνση 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 υπόλειμμά 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 προδιυγρυνθεί . Όταν εφαρμόζεται η υγρά μέθοδος τα παραπάνω χρονικά περιθώρια αυξάνονται σε ενενήντα λεπτά (90). Σε κάθε περίπτωση το συντομότερο είναι και το καλύτερο.

### **2.2.2 ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ**

Τα βασικά συστατικά του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι [6]:

- Τσιμέντο (0-8mm) 350-450 kg/m<sup>3</sup>
- Αδρανή
- Νερό
- Πρόσθετα (πυριτική παιπάλη)
- Πρόσμικτα (Μειωτές νερού, αερακτικά, ελεγκτές ενυδάτωσης)
- Επιταχυντές πήξης (4-6%)

Στον Πίνακα 2.2 συνοψίζονται τα πρότυπα που αφορούν τα υλικά και τις αναλογίες στους στη σύνθεση.

**Πίνακας 2.2** Πρότυπα για τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση εκτοξευόμενου σκυροδέματος [6]

Ενσωματούμενα υλικά	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ
<b>Τσιμέντο</b>	Η καταλληλότητα αποδεικνύεται για τσιμέντο που συμμορφώνεται με το πρότυπο EN 197-1:2000.
Αδρανή υλικά	Η καταλληλότητα αποδεικνύεται για αδρανή που συμμορφώνονται με το πρότυπο EN 12620:2002.
<b>Νερό</b>	Το νερό θα συμμορφώνεται προς το πρότυπο prEN 1008:2000
Πρόσμικτα	Τα πρόσμικτα θα συμμορφώνονται προς τα πρότυπα EN 934-2:2001 και/ή EN 934-5:2005 και EN 934-6:2001. <sup>1</sup>
Πρόσθετα περιλαμβανομένων και ορυκτών fillers και χρωμάτων)	Τα πρόσθετα θα συμμορφώνονται προς τις απαιτήσεις που εξειδικεύονται στο πρότυπο 206-1:2000.

#### (α) Αδρανή

Το ποσοστό των αδρανών που έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από 8mm δεν πρέπει να υπερβαίνει το 10% για να ελαχιστοποιηθεί η ανάκλαση και η διείσδυση στο ήδη τοποθετημένο σκυρόδεμα. Τα αδρανή μεγέθους παραπάνω από 12mm πρέπει να αποφεύγονται διότι μπορούν να φράξουν το ακροφύσιο.

#### (β) Τσιμέντο

Κυρίως χρησιμοποιείται τσιμέντο Portland. Η περιεκτικότητα σε τσιμέντο του μείγματος πρέπει κανονικά να είναι μεταξύ 350 και 450 kg/m<sup>3</sup> όπως αναφέρεται και παραπάνω. Για την ξηρή μέθοδο κυμαίνεται μεταξύ είναι μεταξύ 350 και 450 kg/m<sup>3</sup> ενώ για την υγρή 400 και 500 kg/m<sup>3</sup>. Η μέγιστη θερμοκρασία του τσιμέντου στις εγκαταστάσεις μίξης πρέπει να ανάμεσα στους 70°C και 50°C κατά την διάρκεια της μίξης. Το τσιμέντο πρέπει να είναι φρέσκο και αποθηκευμένο σε μια ξηρά περιοχή.

#### (γ) Νερό Ανάμειξης

Το νερό πρέπει να είναι πόσιμο και κατάλληλο από άλλες πηγές και πρέπει να ελεγχθεί ώστε να είναι καθαρό και απαλλαγμένο από σάκχαρα, έλαια και σωματίδια .

Ο λόγος N/T έχει μεγάλη σημασία τόσο στην επίτευξη ικανοποιητικής θλιπτικής αντοχής όσο και στη μείωση του βαθμού της αναπήδησης και κυμαίνεται μεταξύ 0,40 και 0,55 ανάλογα με τις προδιαγραφές του σκυροδέματος. Αναλυτικά:

- Λόγος N/T για υγρό σκυρόδεμα χαμηλών προδιαγραφών: < 0,55
- Λόγος N/T για υγρό σκυρόδεμα μεσαίων προδιαγραφών: < 0,50
- Λόγος N/T για υγρό σκυρόδεμα υψηλών προδιαγραφών: < 0,46

Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στην θερμοκρασία του νερού καθώς επηρεάζει την τελική θερμοκρασία του μείγματος.

#### (δ) Πρόσμικτα

- Επιταχυντικά πήξης: Όταν απαιτείται ταχεία πήξη π.χ. τούνελ.
- Πρόσφυση: Δεν απαιτούνται αλλά αν χρησιμοποιηθούν πρέπει να ακολουθηθούν οι οδηγίες των κατασκευαστών.

- Ποζολάνες: Διευκολύνουν την εργασιμότητα αλλά μπορεί να παρουσιαστεί καθυστέρηση στην ανάπτυξη της αντοχής.
- Αεροπροσθετικά: Συνίσταται μόνο στην υγρή διαδικασία για να συμπληρωθούν τα κενά.
- Σκωρία υψικαμίνων, οξειδία του πυριτίου

## 2.3 ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ

Σημαντικό ρόλο πλέον στη εξέλιξη της τεχνολογίας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος παίζουν τα πρόσθετα. Η χρήση τους βέβαια είναι ευρύτερη στην υγρή ανάμιξη παρά στην ξηρή ανάμιξη, λόγω της περιορισμένης χρήσης της δεύτερης. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα πρόσθετα εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Οι πληροφορίες για τα πρόσμικτα που παρουσιάζονται στην παράγραφο αυτή προέρχονται από το άρθρο «Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα: Ορισμοί, μέθοδοι, κανονισμοί, τεχνολογικές εξελίξεις» του Θεολόγου Παναγιωτίδη, Πολιτικού Μηχανικού [21].

Οι γενικές απαιτήσεις που υπάρχουν για τα παραπάνω πρόσμικτα είναι ως προς:

- Ομοιογένεια
- Πυκνότητα
- Χρώμα
- Τιμή ΡΗ
- Δρων συστατικό
- περιεκτικότητα σε αλκάλια
- ποσοστό (%) περιεκτικότητας ξηρού υλικού
- συνολικά (υδατοδιαλυτά) Cl-
- μη διαβρωτική ως προς τον χάλυβα συμπεριφορά

Οι ειδικές απαιτήσεις έχουν να κάνουν με:

- τη πτώση των θλιπτικών αντοχών (επιταχυντές)
- τη μείωση της ροής – slump (θιξοτροπικά πρόσμικτα)
- τον έλεγχο των χρόνων πήξης (αναστολείς ενυδάτωσης)
- τη μείωση των χρόνων πήξης (επιταχυντές)
- την αύξηση του άμεσου εφελκυσμού πρόσφυσης (βελτιωτικά πρόσφυσης)
- την αύξηση της ροής – slump (αναστολείς ενυδάτωσης).

### 1. Επιταχυντές πήξης.

Χρησιμοποιούνται για την μείωση του χρόνου πήξης, προκειμένου το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα να αποκτά υψηλότερες αρχικές αντοχές. Αυτό επιτρέπει να εφαρμόζονται αλληπάλληλες στρώσεις εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε πιο σύντομο χρόνο και σε μεγαλύτερα πάχη.

Οι επιταχυντές είναι απαραίτητο πρόσθετο του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, ειδικά σε αντιστηρίξεις πρανών και σε σήραγγες, όπου χωρίς αυτούς, η πρόσφυσή του πάνω στο υπόστρωμα θα ήταν αδύνατη. Από την άλλη πλευρά όμως παρουσιάζουν και ένα μεγάλο μειονέκτημα. Όπως είναι γνωστό από την τεχνολογία σκυροδέματος, με την επιτάχυνση της ενυδάτωσης του τσιμέντου για να επιτευχθούν πρόωρες αντοχές, μειώνονται οι αντοχές των 28 ημερών. Προκειμένου να διασφαλιστεί η καλύτερη δυνατή ποιότητα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, πρέπει η ποσότητα του επιταχυντή που

προστίθεται στο μίγμα να είναι η μικρότερη δυνατή και τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η συγκόλλησή του [21].

Οι επιταχυντές εκτοξευόμενου σκυροδέματος υπάρχουν σε ξηρή και σε υγρή μορφή. Σε ξηρή μορφή χρησιμοποιούνται μόνο στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ξηρής ανάμιξης, αλλά καθώς η τροφοδοσία τους συνήθως γίνεται με το χέρι, είναι αδύνατον να υπολογιστεί σωστά η τροφοδοτούμενη ποσότητα και έτσι παρουσιάζονται προβλήματα μεγάλης πτώσης αντοχών, ακόμα και 35% [21]. Ωστόσο, υπάρχουν πλέον αυτόματες μηχανές τροφοδοσίας οι οποίες μπορούν να δώσουν λύση στο πρόβλημα αυτό.

Από την άλλη πλευρά, οι επιταχυντές πήξης σε υγρή μορφή μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υγρής ανάμιξης όσο και σε αυτό της ξηρής ανάμιξης. Και στις δύο περιπτώσεις εισάγονται στο μίγμα στο ακροφύσιο είτε μαζί με την παροχή αέρα, είτε πλησίον αυτής στην περίμετρο του ακροφυσίου. Η πιο κρίσιμη παράμετρος εφαρμογής του επιταχυντή είναι η σωστή διασπορά του στους κόκκους του τσιμέντου και έτσι το σημείο εισαγωγής του παίζει σημαντικό ρόλο τη σωστή απόδοσή του.

Οι τύποι επιταχυντών υγρής μορφής οι οποίοι κυκλοφορούν στην αγορά είναι κατά βάση τρεις και διακρίνονται ως προς την χημική τους σύσταση [21].

(α) Πυριτικοί επιταχυντές (άλατα πυριτικού νατρίου).

Είναι ο παλαιότερος τύπος επιταχυντή. Η σωστή λειτουργία τους εξαρτάται άμεσα από τη ποσότητα νερού στο μίγμα και έτσι όσο περισσότερο είναι αυτό, τόσο μεγαλύτερη είναι και η δοσολογία τους. Το pH τους είναι συνήθως κάτω από 11,5 και θεωρούνται φιλικό στο περιβάλλον, αλλά η απ' ευθείας επαφή τους με το δέρμα πρέπει να αποφεύγεται και κατά τη διάρκεια της χρήσης τους πρέπει να χρησιμοποιούνται Μέσα Ατομικής Προστασίας (ειδικά γυαλιά, γάντια, φόρμες).

Η δοσολογία τους συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 4 - 7% κατά βάρος τσιμέντου στο μίγμα και σε αυτές τις δοσολογίες η πτώση των αντοχών των 28 ημερών σε σχέση με το δοκίμιο μάρτυρα δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 20%. Οι επιταχυντές αυτοί δεν δίνουν τόσο γρήγορη πήξη κατά τη διάρκεια των 2-4 πρώτων λεπτών ενώ η τελική τους πήξη είναι λίγο μεγαλύτερη από 30 λεπτά σε σχέση με άλλους. Στα μειονεκτήματά τους περιλαμβάνεται το ότι το μέγιστο πάχος στρώσης που μπορεί να πραγματοποιηθεί είναι 10 - 15 cm και επίσης ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θερμοκρασίες κάτω των 5°C.

(β) Αργιλικοί επιταχυντές (άλατα αργιλικού νατρίου ή αργιλικού καλίου).

Είναι ο τύπος επιταχυντή που χρησιμοποιείται ευρύτερα αυτή τη στιγμή (σχεδόν αποκλειστικά στα έργα υποδομής στην Ελλάδα). Οι επιταχυντές αυτοί έχουν πολύ γρήγορο χρόνο πήξης (τελική πήξη < 3,5 min) και μετά από 20 - 30 min από την εκτόξευση δίνουν τέτοια αντοχή (> 0,4 MPa) ώστε το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα να μπορεί να αντέξει το ίδιο βάρος του.

Έτσι είναι δυνατή η επίτευξη στρωμάτων πάχους από 20 - 40 cm σε μια εκτόξευση (κατά τη διάρκεια της εκτόξευσης γίνεται ένα αστάρωμα πάχους 6-10 cm και ακολουθούν αλληπάλληλες στρώσεις).

Από την άλλη πλευρά όμως προκαλούν μεγάλη πτώση στις τελικές αντοχές, η οποία κυμαίνεται από 30 - 50% σε σχέση με το δοκίμιο μάρτυρα, ενώ το pH είναι >13 με αποτέλεσμα να είναι πολύ καυστικοί και βλαβεροί για τον άνθρωπο και ειδικά για το

προσωπικό που ασχολείται με την εκτόξευση. Τέλος είναι αρκετά ευαίσθητοι σε σχέση με το τύπο τσιμέντου που χρησιμοποιείται.

Σε αρκετές χώρες του κόσμου, η χρήση αργιλικών επιταχυντών έχει απαγορευτεί, περισσότερο λόγω της καυστικότητάς τους και λιγότερο λόγω της πτώσης αντοχών.

(γ) Επιταχυντές ελεύθεροι αλκαλίων (Alkali Free).

Οι επιταχυντές ελεύθεροι αλκαλίων, δίνουν λύση στο πρόβλημα της καυστικότητας καθώς το pH τους κυμαίνεται μεταξύ 2,5 - 4,5 (το pH του δέρματος είναι 5,5) και η πτώση τελικής αντοχής που προκαλούν κυμαίνεται μεταξύ 5 - 10% σε σχέση με το δοκίμιο μάρτυρα χωρίς επιταχυντή. Η κατανάλωσή τους όμως κυμαίνεται μεταξύ 5 - 8% κατά βάρος τσιμέντου στο μίγμα και το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την αρκετά υψηλότερη τιμή τους σε σχέση με τους αργιλικούς επιταχυντές (περίπου 70-80% ακριβότεροι), φρενάρει μέχρι στιγμής την πλήρη επικράτησή τους έναντι των αργιλικών, ειδικά στην Ελλάδα.

Ένα ενδεικτικό παράδειγμα για τη χρήση τους στη χώρα μας είναι ότι ενώ κατά τη διάρκεια δοκιμών που έχουν πραγματοποιηθεί στις επεκτάσεις του Μετρό Αθηνών, τα αποτελέσματα αντοχών ήταν πρωτοφανή για την Ελληνική πραγματικότητα (αντοχές 28 ημερών μεταξύ 45 και 55 MPa για σκυρόδεμα C20/25) και το εργατικό προσωπικό ήταν εντυπωσιασμένο από τη φιλικότητα του υλικού σε σχέση με τους αργιλικούς επιταχυντές, εν τούτοις κανείς (εννοείται το Ελληνικό Δημόσιο) δεν είναι διατεθειμένος να πάρει επάνω του το κόστος αυτό [21].

Γενικά, η επίδραση των Μη-Αλκαλικών επιταχυντών στις αντοχές του σκυροδέματος είναι ιδιαίτερα θετική, αλλά είναι σημαντικό το θέμα του αυξημένου κόστους. Σε σχέση με τους Αργιλικούς επιταχυντές απαιτούν μεγαλύτερες καταναλώσεις για το ίδιο αποτέλεσμα και παράλληλα αυξημένο κόστος ανά κιλό τελικού προϊόντος. Το κόστος του Μη-Αλκαλικού επιταχυντή ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος μπορεί να είναι 3-4 φορές μεγαλύτερο σε σχέση με ένα αργιλικό επιταχυντή.

Οι Αλκαλικοί, Πυριτικοί, και Αργιλικοί Επιταχυντές περιέχουν ως δραστικό συστατικό ορισμένα αλκαλικά (βασικά) οξείδια του Νατρίου ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) ή του Καλίου ( $\text{K}_2\text{O}$ ). Η υψηλή αλκαλικότητα των συστατικών αυτών τα καθιστά επιβλαβή για την υγεία όσων έρχονται σε μακροχρόνια επαφή με αυτά. Ακόμα και οι πυριτικοί επιταχυντές που έχουν χαμηλότερη αλκαλικότητα από τους αργιλικούς, λόγω των υψηλών καταναλώσεων που χρησιμοποιούνται, μπορεί να είναι εξίσου επιβλαβείς.

## **2. Πυριτική παιπάλη**

Η πυριτική παιπάλη θεωρείται μια από τις πιο ενεργές ποζολάνες. Η χρήση της ως φίλλερ προσδίδει στο σκυρόδεμα πολύ μειωμένο πορώδες (μειωμένη περατότητα), αυξημένη αντοχή στα θειικά και ανθεκτικότητα στους κύκλους ψύξης απόψυξης. Γενικότερα, η πυριτική παιπάλη χρησιμοποιείται στο σκυρόδεμα για δύο λόγους:

- (α) ως υποκατάστατο του τσιμέντου, έτσι ώστε να μειωθεί η περιεκτικότητα του τσιμέντου στο μίγμα για οικονομικούς λόγους και
- (β) ως πρόσθετο έτσι ώστε να βελτιωθούν οι ιδιότητες του σκυροδέματος, τόσο κατά τη ζωπή όσο και κατά τη σκληρυμένη του φάση

Στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, η πυριτική παιπάλη χρησιμοποιείται περισσότερο ως πρόσθετο παρά ως υποκατάστατο, για να βελτιώσει τόσο το σκυρόδεμα αυτό καθ' αυτό, όσο και τις συνθήκες εκτόξευσης.

Η συνήθης δοσολογία της κυμαίνεται μεταξύ 5 – 10% κατά βάρος του τσιμέντου. Η σωστή χρήση της πυριτικής παιπάλης, προσδίδει στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα τις εξής ιδιότητες. [21]:

- Καλύτερη αντλησιμότητα (λιπαίνει το σύστημα άντλησης και εμποδίζει την εξίδρωση και το διαχωρισμό)
- Μειωμένη φθορά στο εξοπλισμό εκτόξευσης και στα λάστιχα
- Αυξημένη συνεκτικότητα του νωπού σκυροδέματος και μειωμένη κατανάλωση επιταχυντή, πράγμα ευεργετικό για τις τελικές αντοχές.
- Πολύ βελτιωμένη αντοχή πρόσφυσης τόσο στα διάφορα υποστρώματα όσο και μεταξύ διαδοχικών στρώσεων εκτοξευόμενου σκυροδέματος.
- Βελτιωμένες αντοχές
- Βελτιωμένη αντίσταση έναντι της αντίδρασης αλκαλίων-αδρανών
- Μειωμένο πορώδες
- Μειωμένη ανάκλαση (rebound)
- Βελτιωμένη αντίσταση στα θειικά

### **3. Πρόσθετα ελέγχου ενυδάτωσης του τσιμέντου**

Τα εργοτάξια των μεγάλων υπογείων έργων υποδομής λειτουργούν συνήθως σε 24ωρη βάση ενώ σε πολλές περιπτώσεις βρίσκονται σε αστικές περιοχές. Η 24ωρη παροχή σκυροδέματος σε τέτοια εργοτάξια είναι προβληματική. Από την άλλη πλευρά, η εργασιμότητα του σκυροδέματος κυμαίνεται μεταξύ 90 - 120 min. Οι ανάγκες των εργοταξίων για την αποθήκευση φρέσκου εκτοξευόμενου σκυροδέματος για να είναι δυνατή η χρήση του οποιαδήποτε ώρα της ημέρας και οποιαδήποτε ημέρα (ακόμα και τα Σαββατοκύριακα), οδήγησε στην ανάπτυξη χημικών προϊόντων ελέγχου της ενυδάτωσης του τσιμέντου.

Με την προσθήκη ποσότητας σταθεροποιητή (stabilizer), αναστέλλεται η ενυδάτωση του τσιμέντου για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το οποίο ανάλογα με τη ποσότητα που προστίθεται μπορεί να φτάσει και τις 3 ημέρες. Η επανέναρξη της ενυδάτωσης του τσιμέντου καθίσταται δυνατή με τη προσθήκη του επιταχυντή πήξης στο ακροφύσιο.

Το επαναστατικό αυτό σύστημα εφαρμόστηκε για πρώτη φορά παγκοσμίως στο Μετρό της Αθήνας με εκπληκτικά αποτελέσματα [21]. Κατασκευάστηκαν ειδικές δεξαμενές για την αποθήκευση εκτοξευόμενου σκυροδέματος, οι οποίες διέθεταν σύστημα συνεχούς ανάδευσης και δεν ήταν λίγες οι φορές που σκυρόδεμα που είχε παραδοθεί την Παρασκευή, εκτοξευόταν χωρίς κανένα πρόβλημα τη Κυριακή το απόγευμα.

Η συμβολή του παραπάνω συστήματος στην οργάνωση ενός εργοταξίου υπόγειου έργου είναι τεράστια και πλέον σε όλες τις εφαρμογές εκτοξευόμενου σκυροδέματος στα έργα υποδομής που γίνονται στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται αναστολείς ενυδάτωσης.

### **4. Ίνες οπλισμού**

Το σκυρόδεμα είναι ένα ψαθυρό υλικό. Τόσο το συμβατικό όσο και το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ρηγματώνονται για μεγάλη ποικιλία λόγων. Οι αιτίες που ρηγματώνεται το σκυρόδεμα, μπορεί να είναι τόσο λόγω φορτίσεων όσο και οικονομικές, αλλά συνήθως



αυτό συμβαίνει από την αδυναμία του υλικού να αναλάβει εφελκύστηκες τάσεις. Για να αποφευχθεί το φαινόμενο της ρηγμάτωσης, το σκυρόδεμα πρέπει να οπλιστεί.

Η χρήση των ινών τόσο στο συμβατικό, όσο κυρίως στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα. Το μικρό μέγεθός τους επιτρέπει την ομοιόμορφη διασπορά τους στην μάζα του σκυροδέματος και την ομοιόμορφη κατανομή των εφελκυστικών τάσεων, οπότε εξαφανίζεται το φαινόμενο της ρηγμάτωσης.

Ο κυριότερος λόγος της χρήσης των ινών στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, είναι το υλικό να γίνει πλάστιμο. Επίσης αυξάνεται η καμπτική αντοχή του. Μερικά ακόμα πλεονεκτήματα είναι τα εξής: [21]:

- Βελτιωμένη αντίσταση σε κρούση
- Βελτιωμένη αντίσταση σε απόξεση και διάβρωση
- Μειωμένη υδροπερατότητα και αντίσταση σε παγετό
- Βελτιωμένη ικανότητα πρόσφυσης σε σύγκριση με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με τη χρήση πλέγματος.

Οι ίνες δεν χρησιμοποιούνται στη μέθοδο ξηρής ανάμιξης, καθώς λόγω της μεγάλης ανάκλασης (rebound) η χρήση τους είναι αντισυμβατική.

Υπάρχουν ίνες γυαλιού, πλαστικές ίνες (polypropylene), ίνες άνθρακα και τέλος χαλύβδινες ίνες, που εμφανίζουν σήμερα την μεγαλύτερη χρήση. Τελευταίως χρησιμοποιούνται και πλαστικές ίνες υψηλής απόδοσης (High Performance Polypropylene- HPP) με πολύ καλά αποτελέσματα μέχρι στιγμής.

## 2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σήμερα για την εφαρμογή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στα τεχνικά έργα είναι δύο :

1. η μέθοδος ξηρής ανάμιξης και
2. η μέθοδος υγρής ανάμιξης.

Οι πληροφορίες που παρουσιάζονται στην ενότητα αυτή προέρχονται από την 5<sup>η</sup> Διάλεξη των Αλ. Σοφιανού και Χ. Μιχαηλίδη με θέμα το Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα [6].

Στη ξηρή ανάμιξη, το απαραίτητο νερό για την ενυδάτωση του τσιμέντου προστίθεται στο ακροφύσιο εκτόξευσης, ενώ στην υγρή ανάμιξη το σκυρόδεμα με το οποίο τροφοδοτείται η μηχανή εκτόξευσης, περιέχει ήδη το απαραίτητο νερό για την ενυδάτωση του τσιμέντου. Και οι δύο μέθοδοι έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε έργου και την εμπειρία του προσωπικού, θα πρέπει να επιλέγεται κατά περίπτωση η κατάλληλη μέθοδος.

Μέχρι και το 1970 περίπου, η μέθοδος ξηρής ανάμιξης κυριαρχούσε. Η μέθοδος υγρής ανάμιξης, παρουσίαζε φοβερά μειονεκτήματα με κυριότερο το ότι για να γίνει δυνατή η άντληση του μίγματος από τις αντλίες της εποχής, χρησιμοποιούνταν λόγοι νερού προς τσιμέντο που έφταναν ακόμα και το 1,0. Όπως ήταν φυσικό, οι αντοχές που επιτυγχάνονταν ήταν πολύ χαμηλές και γι' αυτό η μέθοδος υγρής ανάμιξης είχε θεωρηθεί αρκετά αναξιόπιστη.

Το σκηνικό άλλαξε εντελώς στη δεκαετία 1970 – 80. Τότε στις Σκανδιναβικές χώρες και κυρίως στη Νορβηγία, αναπτύχθηκε αλματωδώς η χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος υγρής ανάμιξης, κυρίως σε ότι είχε να κάνει με το μηχανικό εξοπλισμό και κατασκευάστηκαν οι πρώτες ρομποτικές μηχανές εκτόξευσης. Το αποτέλεσμα ήταν η αγορά στις Σκανδιναβικές χώρες να γυρίσει από 100% χρήση της μεθόδου ξηρής ανάμιξης σε 100% χρήση της μεθόδου υγρής ανάμιξης, μέσα σε 10 χρόνια.

Ο υπόλοιπος κόσμος ακολούθησε και σήμερα η μέθοδος υγρής ανάμιξης κυριαρχεί συντριπτικά. Παρακάτω παρουσιάζονται οι δύο μέθοδοι αναλυτικά και οι λόγοι που οδήγησαν στην επικράτηση της μεθόδου υγρής ανάμιξης έναντι αυτής της ξηρής.

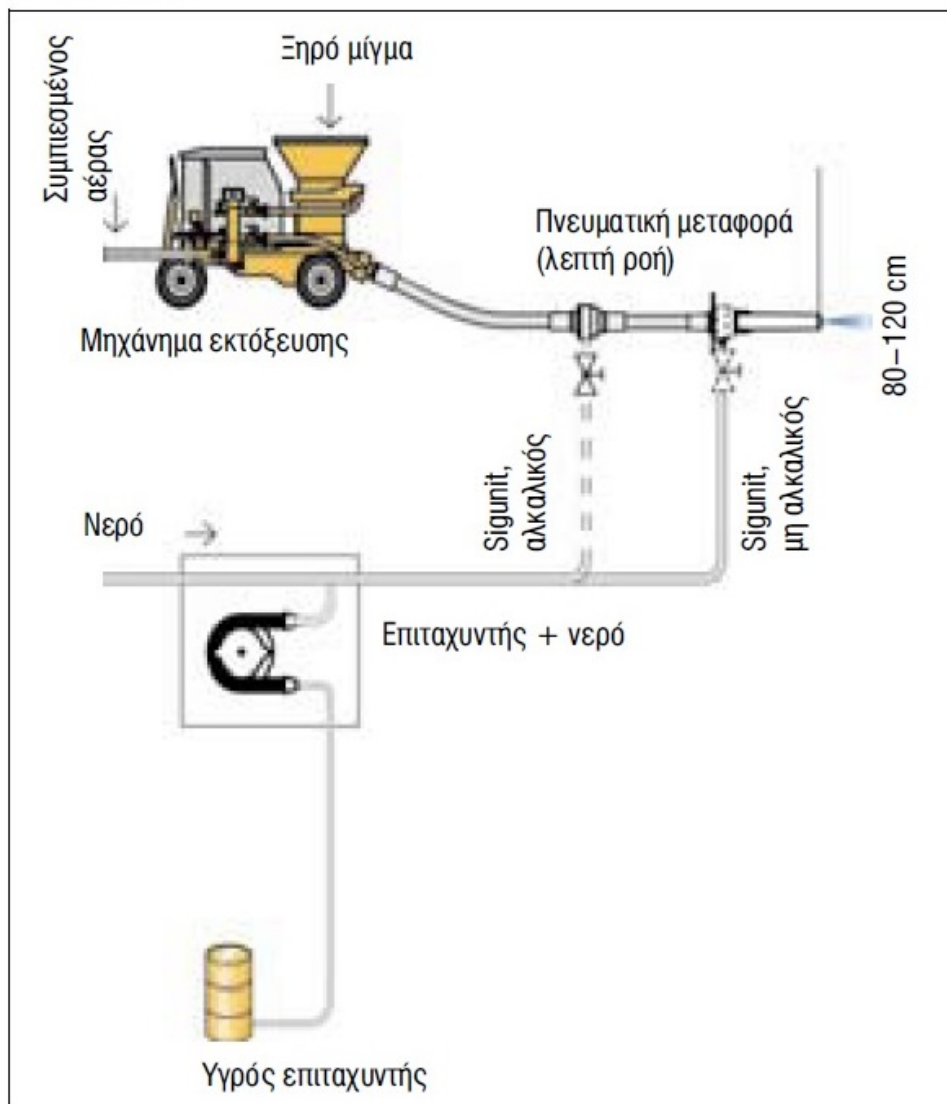
#### **2.4.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΞΗΡΗΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ**

Στην μέθοδο ξηρής ανάμιξης, αναμιγνύονται εν ξηρώ το απαραίτητο τσιμέντο, η άμμος και τα αδρανή και τροφοδοτούνται στη σκάφη της μηχανής εκτόξευσης, όπου με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα, το μίγμα παροχετεύεται προς το ακροφύσιο εκτόξευσης, όπου λίγο πριν την έξοδο εισάγεται και το απαραίτητο νερό. Η ρύθμιση της ποσότητας του νερού που μπαίνει στο μίγμα είναι αποκλειστική αρμοδιότητα του χειριστή του ακροφυσίου και δεν υπάρχει τυποποιημένος τρόπος μέτρησής της και συσχέτισής της με τη ποσότητα του τσιμέντου. Απλώς ο χειριστής ελέγχει αν δημιουργείται σύννεφο σκόνης κατά την εκτόξευση, οπότε το μίγμα χρειάζεται παραπάνω νερό ή το μίγμα είναι πολύ υδαρές και δεν προσφύεται στην υπό εκτόξευση επιφάνεια, οπότε πρέπει να μειωθεί το νερό. Η διαδικασία ξηρής ανάμιξης και ο εξοπλισμός που απαιτείται και χρησιμοποιείται παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 2.3.

Όπως γίνεται αντιληπτό, ο παραπάνω παράγοντας αποτελεί και το μεγαλύτερο μειονέκτημα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος ξηρής ανάμιξης. Η ανυπαρξία τρόπου μέτρησης της ποσότητας του νερού που εισάγεται στο τελικό μίγμα, συνεπάγεται μεγάλες διακυμάνσεις στη ποιότητα και στις αντοχές του τελικού προϊόντος.

Επίσης, ένα ακόμα μεγάλο μειονέκτημα είναι το μεγάλο ποσοστό του rebound (ανάκλαση), του υλικού δηλαδή που χάνεται καθώς ανακλάται στην υπό εκτόξευση επιφάνεια. Στη μέθοδο ξηρής ανάμιξης, χάνεται λόγω ανάκλασης περίπου το 25% του εκτοξευόμενου υλικού, ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις όπου το rebound φτάνει και το 50% .

Επίσης μεγάλο πρόβλημα είναι η δημιουργία σκόνης, ειδικά αν τα αδρανή που χρησιμοποιούνται είναι εντελώς ξηρά. Το γεγονός αυτό κάνει το εργασιακό περιβάλλον σχεδόν ανυπόφορο. Η σκόνη δημιουργείται τόσο στο σύστημα τροφοδοσίας όσο και στο ακροφύσιο. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με την τοποθέτηση ειδικών συλλεκτών στο σύστημα τροφοδοσίας και την προ-ύγρανση των αδρανών πριν την εισαγωγή τους στο σύστημα τροφοδοσίας.



**Εικόνα 2.3** Μέθοδος ξηρής ανάμιξης [6]

Η απόδοση των μηχανών εκτόξευσης ξηρής ανάμιξης είναι αρκετά χαμηλή σε σχέση με αυτή των μηχανών υγρής ανάμιξης και κυμαίνεται μεταξύ 6 και 10 m<sup>3</sup>/ώρα. Όπως γίνεται κατανοητό, στα μεγάλα έργα υποδομής, μέσες αποδόσεις της τάξεως των 8 m<sup>3</sup>/ώρα, είναι απαράδεκτες και αντισυμβατικές.

Τέλος, η ανάπτυξη των αντλιών εκτόξευσης ξηρής ανάμιξης ήταν κατά πολύ μικρότερη σε σχέση με αυτή της υγρής ανάμιξης, με αποτέλεσμα σήμερα η τεχνολογία τους να υπολείπεται σημαντικά σε σχέση με την αντίστοιχη των μηχανών που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο υγρής ανάμιξης που αναλύεται παρακάτω.

Ωστόσο η μέθοδος αυτή παρουσιάζει και κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με την ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδο υγρής ανάμιξης. Συγκεκριμένα, ξηρό ανάμιγμα μπορεί να παρασκευαστεί σε οποιοδήποτε σημείο με τη χρήση υλικών σε σάκους, και έτσι δεν υπάρχει ανάγκη χρήσης παρασκευαστηρίου έτοιμου σκυροδέματος. Επιπλέον, το ξηρό ανάμιγμα είναι ελαφροβαρές και έτσι μπορεί να τροφοδοτηθεί σε μεγάλη απόσταση από το σημείο τροφοδοσίας και, τέλος, ο μηχανικός εξοπλισμός για την εκτόξευση είναι κατά πολύ φτηνότερος από αυτόν της υγρής ανάμιξης. Οι λόγοι αυτοί έχουν οδηγήσει στο να χρησιμοποιείται η μέθοδος ξηρής ανάμιξης είτε σε χώρες όπου η τεχνολογική

ανάπτυξη είναι ακόμα χαμηλή είτε σε εργασίες μικρού όγκου, όπως οι επισκευές και ενισχύσεις. Θα πρέπει πάντως να αναφερθεί ότι η μέθοδος ξηρής ανάμιξης, όσον αφορά τις αντοχές και την ποιότητα του τελικού προϊόντος, θεωρείται πια αρκετά αναξιόπιστη σε σχέση με τη μέθοδο υγρής ανάμιξης.

#### **2.4.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΓΡΗΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ**

Στη μέθοδο υγρής ανάμιξης, η αντλία εκτόξευσης τροφοδοτείται με προϊόν παραγόμενο σε παρασκευαστήριο έτοιμου σκυροδέματος. Στο ακροφύσιο προστίθεται αέρας, κάνοντας δυνατή την εκτόξευση. Η παροχή αέρα κυμαίνεται μεταξύ 7 – 15 m<sup>3</sup>/min, ανάλογα με το αν εκτόξευση γίνεται χειροκίνητα ή ρομποτικά και με πίεση 7 bar. Η μεγάλη αυτή πίεση είναι απαραίτητη έτσι ώστε να υπάρξει καλή πρόσφυση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο υπόστρωμα αλλά και σωστή συμπίκνωση.

Όπως γίνεται κατανοητό, η χρήση ενός βιομηχανικά παραγόμενου προϊόντος, με σταθερό λόγο νερού προς τσιμέντο, συγκεκριμένη κοκκομετρία, τυποποιημένη ποιότητα τσιμέντου και αδρανών, οδηγεί σε μικρές αποκλίσεις από τον αρχικό σχεδιασμό και μελέτη του έργου. Αυτό αποτελεί και το σημαντικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου υγρής ανάμιξης.

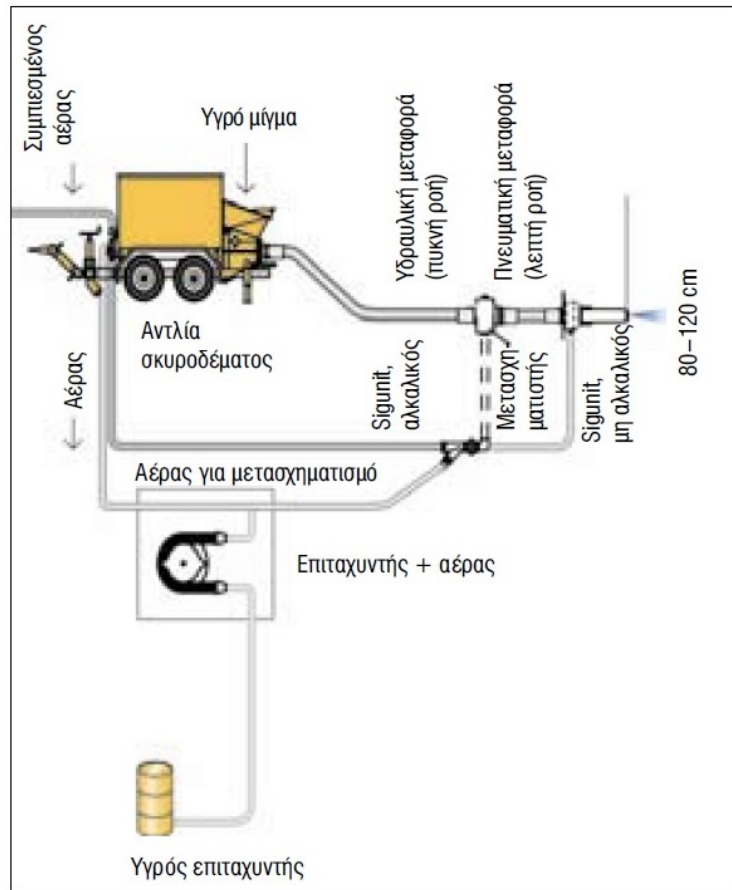
Με τη μέθοδο υγρής ανάμιξης, λόγω της ανάπτυξης των ρομποτικών μηχανών εκτόξευσης, μπορούν να επιτευχθούν αποδόσεις που εύκολα ξεπερνούν τα 20 m<sup>3</sup>/ώρα και αυτό με τη χρησιμοποίηση ενός μόνον χειριστή ακροφυσίου.

Σήμερα διατίθενται στην αγορά ρομποτικές μηχανές, στις οποίες εισάγονται τα γεωμετρικά στοιχεία της τελικής επιφάνειας και έπειτα αυτές σκανάρουν την προς εκτόξευση επιφάνεια με ακτίνες λέιζερ και εκτοξεύουν με ακρίβεια τη αναγκαία ποσότητα σκυροδέματος με ομοιόμορφο τρόπο. Το rebound στη μέθοδο αυτή είναι δραματικά μειωμένο και κυμαίνεται μεταξύ 5 – 10%. Επίσης το εργασιακό περιβάλλον είναι κατά πολύ βελτιωμένο σε σχέση με τη μέθοδο ξηρής ανάμιξης, καθώς δεν υπάρχει το πρόβλημα της σκόνης.

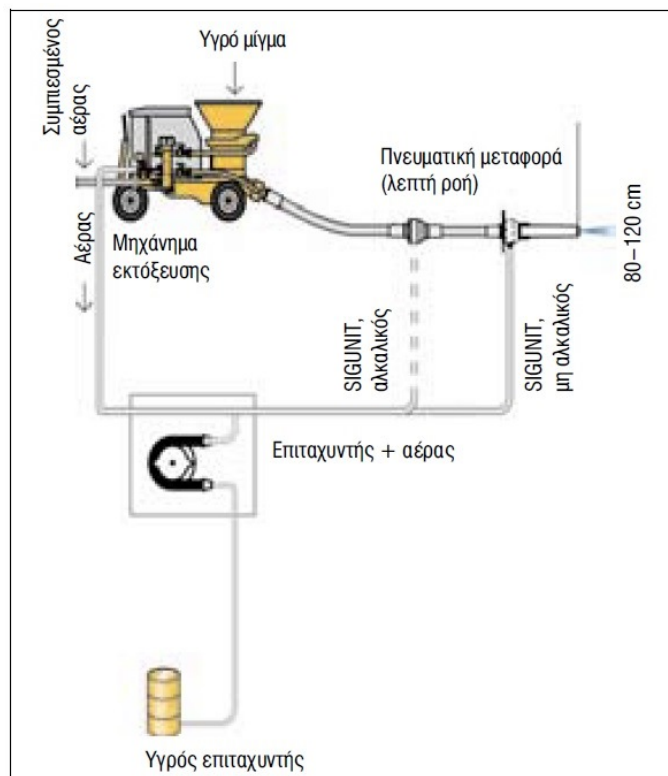
Το βασικότερο μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η περιορισμένη απόσταση από το σημείο τροφοδοσίας έως το σημείο εκτόξευσης, η οποία μπορεί να είναι έως περίπου 300 m.

Σε κάθε περίπτωση πάντως τα πλεονεκτήματα της μεθόδου υγρής ανάμιξης σε σχέση με τη μέθοδο ξηρής ανάμιξης είναι συντριπτικά (κυρίως το γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος είναι πολύ κοντά σε αυτά που προδιαγράφονται κατά τη μελέτη) και γι' αυτούς τους λόγους σε όλα τα μεγάλα έργα υποδομής χρησιμοποιείται η πρώτη.

Η μέθοδος υγρής ανάμιξης διακρίνεται περαιτέρω σε πυκνής και λεπτής ροής. Ανάλογα με τη διαδικασία που τελικά ακολουθείται τροποποιείται η διάταξη εκτόξευσης όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στις Εικόνες 2.4 και 2.5.



**Εικόνα 2.4** Υγρή εκτόξευση με τη μέθοδο της πυκνής ροής [6]



**Εικόνα 2.5** Υγρή εφαρμογή με τη μέθοδο λεπτής ροής [6].

Τέλος, στον Πίνακα 2.3 συνοψίζονται οι βασικές διαφορές των δύο μεθόδων εκτόξευσης του σκυροδέματος, που αφορούν δέκα διαφορετικά και κρίσιμα χαρακτηριστικά της εργασίας, αλλά και του τελικού αποτελέσματος και προϊόντος.

**Πίνακας 2.3** Κύρια χαρακτηριστικά και διαφορές των δύο μεθόδων εκτόξευσης του σκυροδέματος [7]

		<b>ΞΗΡΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</b>	<b>ΥΓΡΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</b>
<b>1</b>	Εργοτάξιο και εξοπλισμός	Χαμηλό συνολικό κόστος και απλή σχετικά διατήρηση	Μειωμένη τριβή στην αντλία και στο ακροφύσιο. Χαμηλή κατανάλωση αέρα. Πιθανή χρήση ρομπότ για τον ψεκασμό σκυροδέματος
<b>2</b>	Ανάμιξη	Μικρές ποσότητες αναμειγνύονται επί τόπου. Προαναμειγμένα συστατικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν που όμως δεν είναι συμβατό με την υγρασία και δεν περιέχουν ειδικές προσμίξεις.	Μπορεί να χρησιμοποιηθούν προαναμειγμένα συστατικά. Ενυδατωμένα συστατικά είναι αποδεκτά.
<b>3</b>	Αποτέλεσμα	Μέχρι 5 m <sup>3</sup> /hr	Μέχρι 10 m <sup>3</sup> /hr με χειροκίνητη χρήση. Μέχρι 20 m <sup>3</sup> /hr με ρομποτική χρήση
<b>4</b>	Ταχύτητα πρόσκρουσης	Υψηλή – καλή προσκόλληση και εύκολη χρήση σε αιωρούμενες επιφάνειες.	
<b>5</b>	Αναπήδηση	15-50% για τοίχους και οροφές. Η απώλεια τραχειών αδρανών προκαλεί μείωση αντοχής	Μπορεί να είναι 10% μικρότερη
<b>6</b>	Πρόσθετα	Επιταχυντές σε σκόνη προστίθενται στο μίγμα ή σε υγρή σκόνη στο ακροφύσιο. Έλεγχος ενυδάτωσης μπορεί να γίνεται σε προανεμιγμένα ξηρά συστατικά με τρόπο παρόμοιο με εκείνο που χρησιμοποιείται στην υγρή διαδικασία.	Συνήθης υγρός επιταχυντής προστίθεται στο ακροφύσιο. Ο έλεγχος ενυδάτωσης παρατείνει τη χρήση του υλικού μέχρι την στιγμή που ο ενεργοποιητής εισάγεται στο ακροφύσιο.
<b>7</b>	Σκόνη	Τα πιθανά προβλήματα ξεπερνιούνται με τη χρήση υγρών επιταχυντών και με τη διαβροχή των συστατικών	Γενικά δεν δημιουργείται σκόνη. Καλύτερη ορατότητα. Αποφεύγονται τα επίπεδα σκόνης που μπορούν να δημιουργηθούν

**Πίνακας 2.3** Κύρια χαρακτηριστικά και διαφορές των δύο μεθόδων εκτόξευσης του σκυροδέματος - συνέχεια [7]

		<b>ΞΗΡΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</b>	<b>ΥΓΡΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</b>
<b>8</b>	Ποιότητα	Υψηλή αντοχή πετυχαίνεται με χαμηλή αναλογία νερού και τσιμέντου	Χαμηλότερες αντοχές επιτυγχάνονται. Καλύτερη ανάμιξη και πιο συνεκτικό μίγμα
<b>9</b>	Ποσότητα	Ενδεδειγμένη για μικρές ποσότητες	Θεωρείται αντισυμβατική για ποσότητες μικρότερες των 10 m <sup>3</sup> γιατί ο εξοπλισμός χρειάζεται καθαρισμό μετά από κάθε χρήση. Ο έλεγχος ενυδάτωσης αναπτύχθηκε για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα
<b>10</b>	Ελαστικότητα του εξοπλισμού	Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για ψεκασμό σκόνης και για εκτόξευση υλικού σε υγρή επιφάνεια	Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την άντληση συμβατικού σκυροδέματος

## 2.5 ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ

### 2.5.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Σύμφωνα με το ΠΕΤΕΠ/12-03-02-00 [9], τα κριτήρια συμμόρφωσης για τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι:

- Πρώιμη αντοχή

Η συμμόρφωση της ανάπτυξης πρώιμης αντοχής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος που δοκιμάζεται με μέθοδο διείδυσης βελόνας σύμφωνα με το πρότυπο *prEN14488-2* (Πίνακας 2.4) επιτυγχάνεται αν η θλιπτική αντοχή  $f_c$  (MPa) που υπολογίζεται με το μέσο όρο τουλάχιστον 10 δοκιμών μετρημένης δύναμης διείδυσης  $F$  (N), εντός μιας ορισμένης περιόδου μετρήσεων, δεν υπερβαίνει το προκαθορισμένο πεδίο ανάπτυξης πρώιμης αντοχής. Τα όρια αυτά αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα (Πιν. 2.5). [9]

**Πίνακας 2.4** Μέθοδοι μέτρησης της πρώιμης αντοχής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και αποδεκτές τιμές [9]

Μέθοδος	Περιοχή τιμών αντοχής νεαρού σκυροδέματος MPa
prEN 14488-2 --- Μέθοδος A	0,2 - 1,2
prEN 14488-2 --- Μέθοδος B	3 - 16
EN 12504-3:2005	>10

**Πίνακας 2.5** Κριτήρια συμμόρφωσης της πρώιμης αντοχής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος για την περίπτωση της δοκιμής διείσδυσης [9]

Εύρος δοκιμής	Μέχρι 1,2 (MPa)	
Μέγιστος κόκκος αδρανών	8, 11 mm	16 mm
Αριθμός αποτελεσμάτων F (N)	Όχι μικρότερος από 10	
Θλιπτική αντοχή $f_c$ (Mpa)	$f_c = 0,0015F + 0,0182$	$f_c = 0,0018F - 0,0283$

Η συμμόρφωση της ανάπτυξης πρώιμης αντοχής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος που δοκιμάζεται με μέθοδο βλήτρου σύμφωνα με το πρότυπο *prEN14488-2* επιτυγχάνεται αν η θλιπτική αντοχή  $f_c$  (MPa) που υπολογίζεται με το μέσο όρο τουλάχιστον 10 δοκιμών μετρημένου βάθους διείσδυσης L (mm) ή του λόγου F/L (δύναμη εξόλκευσης F / βαθμός διείσδυσης L) εντός μιας ορισμένης περιόδου μετρήσεων δεν υπερβαίνει το προκαθορισμένο πεδίο ανάπτυξης πρώιμης αντοχής, όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 2.6.

**Πίνακας 2.6** Κριτήρια συμμόρφωσης της πρώιμης αντοχής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος για την περίπτωση της δοκιμής βλήτρου [9]

Εύρος δοκιμής	3 έως 16 (MPa)
Μέγιστος κόκκος αδρανών	8, 11 mm
Μετρούμενα αποτελέσματα	Βάθος διείσδυσης L mm δύναμη εξόλκευσης (Mpa)
Υπολογιζόμενη μέση τιμή	Λόγος $f / L$ (N/mm)
Αριθμός αποτελεσμάτων f(N)	Όχι μικρότερος από 10
Θλιπτική αντοχή $f_c$ (Mpa)	$f_c = 0,13F/L + 0,3511$

- Θλιπτική αντοχή

Εξετάζεται μέσω της δοκιμής θραύσης συμβατικών δοκιμών. Η συμμόρφωση της θλιπτικής αντοχής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος εκτιμάται σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 2.7 για:

- 1) Ομάδες “n” διαδοχικών αποτελεσμάτων δοκιμών  $X_n$  (Κριτήριο 1)
- 2) Κάθε ιδιαίτερο αποτέλεσμα δοκιμής  $X_i$  (Κριτήριο 2)

Στον Πίνακα 2.7,  $\delta$  είναι η τυπική απόκλιση από έξι τουλάχιστον δοκίμια.



**Πίνακας 2.7** Κριτήρια συμμόρφωσης της θλιπτικής αντοχής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος [9]

	Κριτήριο 1	Κριτήριο 2
Αριθμός “n” αποτελεσμάτων στην ομάδα	Μέσος όρος των “n” αποτελεσμάτων $X_n$ (MPa)	Κάθε ιδιαίτερο αποτέλεσμα δοκιμής $X_i$ (MPa)
Όχι λιγότερα από 15	$\geq f_{ck} + 1,48\delta$	$\geq 0,75 f_{ck}$
6 μέχρι 14	$\geq f_{ck} + 1,65\delta$	$\geq 0,75 f_{ck}$

Οι απαιτήσεις θλιπτικής αντοχής οδηγούν σε κατηγορίες εκτοξευόμενου σκυροδέματος κατά τα πρότυπα του EN 206 για το κλασσικό σκυρόδεμα. Έτσι υπάρχουν οι κατηγορίες εκτοξευόμενου σκυροδέματος π.χ. C 24/30, C32/40, C44/55 έτσι όπως ορίζονται στον παρακάτω Πίνακα 2.8.

**Πίνακας 2.8** Κατηγορίες θλιπτικής αντοχής εκτοξευόμενου σκυροδέματος [10]

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

Κατά τον επιτόπου έλεγχο της θλιπτικής αντοχής του Ε.Σ. τα δοκίμια που θα συλλεχθούν πρέπει να ικανοποιούν τις τιμές του παραπάνω πίνακα πολλαπλασιασμένες με τον μειωτικό συντελεστή 0,85 για να ληφθεί υπ’ όψιν η μείωση της αντοχής λόγω διαταραχής των δοκιμίων κατά την κοπή ενώ για να ληφθεί υπ’ όψιν η επίδραση του σχήματος στην αντοχή χρησιμοποιείται ο συντελεστής 0,80 για μετατροπή από κυβικά σε κυλινδρικά δοκίμια. Οι πυρήνες που λαμβάνονται θα έχουν 50 cm διάμετρο και 100 cm ύψος. Οι διορθωμένες τιμές παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 2.9.

**Πίνακας 2.9** Ελάχιστες Αντοχές πυρήνων ανάλογα με τη συμβατική κατηγορία θλιπτικής αντοχής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος [10]

Ελάχιστη θλιπτική αντοχή (MPa)							
Κατηγορία αντοχής	C24/30	C28/35	C32/40	C36/45	C40/50	C44/55	C48/60
Πυρήνας	20,5	24	27	30,5	34	37,5	41

Οι τιμές του παραπάνω πίνακα παριστάνουν τον μέσο όρο από 3 δείγματα που

συλλέχτηκαν στις 28 ημέρες (κατά το Ελληνικό σχέδιο, από κάθε πρισματικό δείγμα αποκόπτονται 2 πυρήνες). Κανένα δοκίμιο δεν πρέπει να δώσει αντοχή μικρότερη από το 75% του μέσου όρου (ενώ για το Ελληνικό σχέδιο κανένα δοκίμιο δεν πρέπει να δώσει αντοχή μικρότερη από το 85% του μέσου όρου).

Αν η τιμή της τυπικής απόκλισης που αναφέρθηκε έχει προκύψει από λιγότερα των 60 δοκιμίων όχι όμως και λιγότερα των 15, τότε η τιμή αυτή πριν εισαχθεί στην ανωτέρω σχέση, πρέπει να πολλαπλασιάζεται με τον αντίστοιχο συντελεστή του Πίνακα 2.10. Αν η τιμή της τυπικής απόκλισης (μετά τον πολλαπλασιασμό της με τον αντίστοιχο συντελεστή του Πίνακα 2.10) είναι μικρότερη από 3 MPa, τότε στην παραπάνω σχέση πρέπει να εισάγεται τιμή  $\delta = 3$  MPa [10].

**Πίνακας 2.10** Διορθωτικός συντελεστής για την τυπική απόκλιση  $\delta$  για την περίπτωση μικρού αριθμού δοκιμίων [10]

Αριθμός δοκιμίων	Συντελεστής πολλαπλασιασμού
15	1.27
20	1.18
30	1.09
40	1.05
50	1.02
60 ή περισσότερα	1.00

- Αντίσταση σε διείσδυση νερού

Ελέγχεται όπως στο συμβατικό σκυρόδεμα. Η συμμόρφωση επιτυγχάνεται όταν κάθε μετρούμενη τιμή  $X_i$  είναι μικρότερη από την απαιτούμενη.

Όταν απαιτείται η χρήση υδατοστεγανούς εκτοξευόμενου σκυροδέματος, η μέγιστη τιμή διείσδυσης σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 7031 είναι 50 mm και η μέση τιμή πρέπει να είναι μικρότερη από τα 20 mm.

Εναλλακτικά, η υδατοστεγανότητα μπορεί να προσδιορισθεί μετρώντας την διαπερατότητα του υλικού. Το Ε.Σ. θεωρείται υδατοστεγανές όταν ο συντελεστής διαπερατότητας είναι μικρότερος από  $10^{-12}$  m/s [10].

- Αντίσταση στον παγετό

Ελέγχεται όπως στο συμβατικό σκυρόδεμα. Η συμμόρφωση επιτυγχάνεται όταν κάθε μετρούμενη τιμή  $X_i$  είναι μικρότερη από την απαιτούμενη.

Για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που υπόκειται σε εναλλαγή ψύξης και απόψυξης σε μέτρια κορεσμένο περιβάλλον χωρίς αλάτι (EN 206) δεν χρειάζεται να γίνει κάποιος έλεγχος για αντοχή. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που υπόκειται σε πιο δυσμενείς συνθήκες (EN 206) πρέπει να εκπληρώνει τις απαιτήσεις για αντοχή σε παγετό όπως δίδονται στα:

- SS 137244 ή ASTM C 672 για αντίσταση στην δημιουργία αλάτων ανάλογα με την κατηγορία έκθεσης.
- ASTM C666 για αντίσταση σε εναλλαγή πάγου - απόψυξης.

- Αντοχή συνάφειας

Ελέγχεται όπως στο συμβατικό σκυρόδεμα. Η συμμόρφωση επιτυγχάνεται όταν καμία μέση τιμή  $X_n$  μιας ομάδας δοκιμών (κανονικά τρία δοκίμια) δεν είναι μικρότερα από την απαιτούμενη τιμή.

Εάν υπάρχουν απαιτήσεις για την αντοχή πρόσφυσης, οι τιμές που δίδονται στον Πίνακα 2.11 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υπόστρωμα από σκυρόδεμα ή βράχο.

**Πίνακας 2.11** Ενδεικτικές τιμές αντοχής πρόσφυσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος για έργα υποδομής [10]

Τύπος σκυροδέματος	Ελάχιστη αντοχή	Ελάχιστη αντοχή
	πρόσφυσης (MPa) προς το σκυρόδεμα	πρόσφυσης (MPa) προς τον βράχο
Με δομικές λειτουργίες	0.5	0.1
Χωρίς δομικές λειτουργίες	1.0	0.5

Οι ανωτέρω τιμές παριστάνουν τον μέσο όρο από 3 δείγματα που συλλέχτηκαν στις 28 ημέρες. Κανένα δοκίμιο δεν πρέπει να δώσει αντοχή μικρότερη από το 75% του μέσου όρου.

- Ποσότητα ινών

Η συμμόρφωση επιτυγχάνεται όταν καμία μέση τιμή μετρούμενης ποσότητας ινών από μια ομάδα τουλάχιστον έξι δοκιμών δεν είναι μικρότερη από  $V_f - 4 \text{ kg/m}^2$ , όπου  $V_f$  είναι η απαιτούμενη τιμή για την περιεκτικότητα ινών που έχει προσδιορισθεί με τις δοκιμές πριν από την έναρξη της κατασκευής.

- Μέγιστη καμπτική αντοχή αιχμής

Η συμμόρφωση για την μέγιστη καμπτική αντοχή αιχμής επιτυγχάνεται όταν:

- 1) Ο μέσος όρος από δοκιμές σε τρία δοκίμια ικανοποιεί τις απαιτήσεις καμπτικής αντοχής (πρότυπο prEN 12390-5 εάν πρόκειται για άοπλο σκυρόδεμα ή για σύγκριση με ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα τότε σύμφωνα με το πρότυπο prEN14488-3)
- 2) Κανένα ιδιαίτερο αποτέλεσμα δεν αποκλίνει περισσότερο από  $\pm 25\%$  από τον υπολογισμένο μέσο όρο.

- Παραμένουσα αντοχή

Η συμμόρφωση για την παραμένουσα αντοχή επιτυγχάνεται όταν κατά τη σχετική διαδικασία ελέγχου (όπως και στο συμβατικό σκυρόδεμα):

- 1) Τουλάχιστον δύο από τις τρεις δοκούς έχουν παραμένουσα αντοχή ίση ή μεγαλύτερη από τα όρια της προδιαγεγραμμένης παραμένουσας αντοχής, βλέπε παρακάτω Πίνακα 2.12.
- 2) Η τρίτη δοκός για το προδιαγεγραμμένο επίπεδο παραμόρφωσης σε κανένα σημείο δεν θα έχει παραμένουσα τάση που να είναι μικρότερη κατά 10% από

την τάση που αντιστοιχεί στα όρια της προδιαγεγραμμένης κατηγορίας παραμένουσας αντοχής.

**Πίνακας 2.12** Καθορισμός κλάσεων παραμένουσας αντοχής εκτοξευόμενου σκυροδέματος [9]

Περιοχή παραμορφώσεων		Αντοχή (ελάχιστη αντοχή MPa)			
Δοκός	Παραμόρφωση mm	S1	S2	S3	S4
D1	0.5-1	1	2	3	4
D2	0.5-2				
D3	0.4-4				

- Καμπτική αντοχή κατά την αστοχία

Η συμμόρφωση για την καμπτική αντοχή επιτυγχάνεται όταν, κατά τη συμβατική δοκιμή:

- 1) Ο μέσος όρος από δοκιμές σε τρία δοκίμια ικανοποιεί τις απαιτήσεις καμπτικής αντοχής
- 2) Κανένα ιδιαίτερο αποτέλεσμα δεν αποκλείει περισσότερο από  $\pm 25\%$  από τον υπολογισμένο μέσο όρο.

Όπου απαιτείται καμπτική αντοχή αυτή προσδιορίζεται σχεδόν μονοσήμαντα από την κατάταξη του Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος σε κατηγορίες σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα 2.13. Έτσι η ελάχιστη καμπτική αντοχή π.χ. για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C 36/45 είναι 4,2 (MPa). Οι τιμές του πίνακα αναφέρονται σε δοκίμια - δοκούς διαστάσεων 7,5 × 12,5 × 60 cm που διαμορφώθηκαν από πανέλα [10].

**Πίνακας 2.13** Ενδεικτικές τιμές ελάχιστης καμπτικής αντοχής συμβατικών δοκιμών εκτοξευόμενου σκυροδέματος [10]

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

- Μέτρο ελαστικότητας

Όταν το μέτρο ελαστικότητας (σε θλίψη, εφελκυσμό ή κάμψη) επηρεάζει την ικανότητα ή απαιτούμενη συμπεριφορά της κατασκευής, πρέπει να γίνεται επαλήθευση του πραγματικού μέτρου ελαστικότητας. Εάν υπάρχουν απαιτήσεις για θερμική συστολή και διαστολή, θα πρέπει να καθορίζονται από τον σχεδιαστή.

## 2.5.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΛΙΚΟΥ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ

Ο έλεγχος συμμόρφωσης αποτελείται από τον συνδυασμό ενεργειών και αποφάσεων, σύμφωνα με τους προκαταβολικά υιοθετημένους κανόνες συμμόρφωσης, προκειμένου να ελέγχεται η συμμόρφωση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος με τις προδιαγραφές. Όλες οι διαδικασίες που αναφέρονται στην παράγραφο αυτή περιγράφονται αναλυτικά και προέρχονται από το ΠΕΤΕΠ/12-03-02-00 [9].

Η συμμόρφωση θα εκτιμάται με δοκιμές πριν την έναρξη της κατασκευής καθώς επίσης και με δοκιμές κατά τη διάρκεια της κατασκευής και θα εφαρμόζεται σύμφωνα με την ταξινόμηση επιθεώρησης. Ο έλεγχος της διαδικασίας παραγωγής περιλαμβάνει τον έλεγχο της μεθόδου παραγωγής και τον έλεγχο του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Η συμμόρφωση ή η μη-συμμόρφωση θα κρίνονται με βάση τα κριτήρια συμμόρφωσης και θα ισχύουν τόσο για τις δοκιμές πριν την έναρξη της κατασκευής όσο και για τις δοκιμές κατά την παραγωγή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Αν τα αποτελέσματα των δοκιμών συμμόρφωσης δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις μπορεί να απαιτηθούν συμπληρωματικές δοκιμές σύμφωνα με το πρότυπο EN 12504-1:2000 σε πυρήνες που αποκόπτονται από την κατασκευή, ή συνδυασμός δοκιμών σε πυρήνες και μη καταστροφικών ελέγχων π.χ. σύμφωνα με το πρότυπο EN 12504-2:2001.

Για τους ελέγχους συμμόρφωσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος συνιστώνται οι παρακάτω κατηγορίες επιθεώρησης [9]:

- Κατηγορία επιθεώρησης 1
- Κατηγορία επιθεώρησης 2
- Κατηγορία επιθεώρησης 3

Η επιλογή της κατηγορίας θα βασίζεται στα χαρακτηριστικά του έργου και θα περιλαμβάνει τον βαθμό επικινδυνότητας και την απαιτούμενη τεχνική διάρκεια ζωής. Το πληροφοριακό προσάρτημα Α του prEN 14487-1:2002 περιέχει οδηγίες για την επιλογή της κατηγορίας επιθεώρησης.

### A. ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Ο έλεγχος της διαδικασίας παραγωγής περιλαμβάνει όλα τα μέτρα που είναι απαραίτητα για να διατηρείται και να ρυθμίζεται η ποιότητα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε συμφωνία με τις προδιαγεγραμμένες απαιτήσεις.

Ο έλεγχος της διαδικασίας παραγωγής θα συνδέεται με τα χαρακτηριστικά του έργου και θα περιλαμβάνει τον αριθμό επικινδυνότητας και την αναμενόμενη τεχνική διάρκεια ζωής.

Ο έλεγχος της διαδικασίας παραγωγής περιλαμβάνει τα ακόλουθα τμήματα [9]:

1. Έλεγχος συστατικών υλικών
2. Έλεγχος βασικού αναμίγματος
3. Ιδιότητες εκτοξευόμενου σκυροδέματος

#### (α) Έλεγχος συστατικών υλικών

Οι δοκιμές και οι απαιτούμενοι έλεγχοι των συστατικών υλικών παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 2.14.

**Πίνακας 2.14** Απαιτούμενοι έλεγχοι συστατικών υλικών του εκτοξευόμενου σκυροδέματος [9]

	Υλικό	Επιθεώρηση/Δοκιμή	Σκοπός	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας		
				Κατηγ.1	Κατηγ.2	Κατηγ.3
1	Τσιμέντα	Επιθεώρηση δελτίου παραλαβής(σύμφ. με EN206-1:2000)	Επιβεβαίωση τύπου και προέλευσης	Κάθε παραλαβή		
2	Αδρανή	Επιθεώρηση δελτίου παραλαβής	Επιβεβαίωση τύπου και προέλευσης	Κάθε παραλαβή		
3		Δοκιμή κοκκομετρικής ανάλυσης σύμφωνα με το EN 933-1 ή πληροφορίες του προμηθευτή	Επιβεβαίωση συμμόρφωσης με πρότυπη ή συμφωνημένη διαβάθμιση		Πρώτη παραλαβή από νέα πηγή	
4	Αδρανή	Δοκιμή για προσμίξεις ή πληροφορίες του προμηθευτή	Εκτίμηση παρουσίας και ποσότητας προσμίξεων		Πρώτη παραλαβή από νέα πηγή	
Σε περιπτώσεις αμφιβολιών ο έλεγχος των σχετικών υλικών θα γίνεται ανεξάρτητα από την κατηγορία επιθεώρησης.						
5	Πρόσμικτα	Επιθεώρηση δελτίου παραλαβής και της ετικέτας της συσκευασίας σύμφωνα με το EN 934-6:2001	Επιβεβαίωση ότι η αποστολή έχει όπως παραγγέλθηκε και έχει σημανθεί κατάλληλα	Κάθε παραλαβή		
6		Επιθεώρηση του πρόσμικτου	Για σύγκριση με τις δηλωμένες τιμές το κατασκευαστή	Κάθε παραλαβή		
7		Δοκιμή πυκνότητας σύμφωνα με ISO 758:1976	Για σύγκριση με τις δηλωμένες τιμές το κατασκευαστή	Σε περίπτωση αμφιβολιών		
8	Πρόσθετα σε μορφή χύδην κόνεως	Επιθεώρηση δελτίου παραλαβής	Επιβεβαίωση ότι η αποστολή έχει όπως παραγγέλθηκε και από την σωστή πηγή	Κάθε παραλαβή		
9	Πρόσθετα σε μορφή αιωρήματος	Επιθεώρηση δελτίου παραλαβής	Επιβεβαίωση ότι η αποστολή έχει όπως παραγγέλθηκε και από την σωστή πηγή	Κάθε παραλαβή		
10		Δοκιμή πυκνότητας σύμφωνα με ISO 758:1976	Επιβεβαίωση ομοιομορφίας		Κάθε παραλαβή	

**Πίνακας 2.14** Απαιτούμενοι έλεγχοι συστατικών υλικών του εκτοξευόμενου σκυροδέματος - συνέχεια [9]

	Υλικό	Επιθεώρηση/Δοκιμή	Σκοπός	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας		
				Κατηγ.1	Κατηγ.2	Κατηγ.3
11	Νερό	Δοκιμή σύμφωνα με EN1008:2002	Επιβεβαίωση ότι το νερό είναι ελεύθερο επιβλαβών συστατικών		Αν το νερό δεν είναι πόσιμο, όταν χρησιμοποιείται για πρώτη φορά νέα πηγή και στην περίπτωση αμφιβολιών	
12	Ίνες	Επιθεώρηση μήκους, διαμέτρου και σχήματος	Επιβεβαίωση ότι η αποστολή έχει όπως παραγγέλθηκε και από την σωστή πηγή	Κάθε παραλαβή		

(β) Έλεγχος βασικού αναμίματος

Ο έλεγχος του βασικού αναμίματος περιλαμβάνει τις δοκιμές που περιγράφονται στον Πίνακα 2.15.

(γ) Έλεγχος των ιδιοτήτων του εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Εφ' όσον απαιτείται από την μελέτη του έργου έλεγχος με δοκιμές, αυτός θα γίνεται σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 2.16.

Η συχνότητα εκτέλεσης των δοκιμών αναφέρεται σε κανονική κατάσταση συνεχούς παραγωγής. Τέσσερις φορές υψηλότερη συχνότητα δοκιμών θα εφαρμόζεται στη έναρξη μιας συνεχούς περιόδου εργασίας ή η κατά την εκτέλεση ορισμένων τμημάτων του έργου. Πάντως υπό κανονικές συνθήκες δεν απαιτούνται παραπάνω από δύο δοκιμές ανά εργάσιμη ημέρα.

Μετά από τέσσερα συνεχόμενα αποδεκτά αποτελέσματα θα εφαρμόζεται η κανονική συχνότητα δοκιμών.

Ο ελάχιστος ρυθμός δειγματοληψίας και δοκιμών για έλεγχο της παραγωγής θα είναι αυτός που δίνει τον υψηλότερο αριθμό δειγμάτων.

Οι ελάχιστες συχνότητες δειγματοληψιών για έλεγχο της παραγωγής ισχύουν για συνήθους έκτασης έργα. Για μικρά έργα θα εφαρμόζεται η λήψη και δοκιμή ενός τουλάχιστον δείγματος [9].

**Πίνακας 2.15** Απαιτούμενοι έλεγχοι βασικού αναμίγματος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος [9]

	Τύπος δοκιμής	Επιθεώρηση/Δοκιμή	Σκοπός	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας		
				Κατ.1	Κατ.2	Κατ.3
1	Συνεκτικότητα όταν χρησιμοποιείται υγρή μέθοδος	Δοκιμή σύμφωνα με EN 12350-2:1999 ή EN 12350-5:1999	Εκτίμηση της συμμόρφωσης με απαιτούμενη κλάση συνεκτικότητας και έλεγχος πιθανών αλλαγών στην περιεκτικότητα νερού	Στην αρχή της παραγωγής		
2	Περιεκτικότητα πρόσμικτων πλύν επιταχυντών	Καταγραφή προστιθέμενης ποσότητας	Έλεγχος περιεκτικότητας	Προαιρετικά	Κάθε παρτίδα	
3	Περιεκτικότητα πρόσθετων	Καταγραφή προστιθέμενης ποσότητας	Έλεγχος περιεκτικότητας	Προαιρετικά	Κάθε παρτίδα	
4	Περιεκτικότητα ινών	Σύμφωνα με prEN 14488-7		Κάθε παρτίδα		

**Πίνακας 2.16** Απαιτούμενοι έλεγχοι των ιδιοτήτων του εκτοξευόμενου σκυροδέματος [9]

	Τύπος δοκιμής	Επιθεώρηση/Δοκιμή σύμφωνα με	Κατ.1	Κατ.2	Κατ.3
<b>ΕΛΕΓΧΟΣ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ</b>					
1	Λόγος νερού:τσιμέντου (υγρή μέθοδος)	Με υπολογισμό ή με μέθοδο δοκιμής			Καθημερινά
2	Επιταχυντής	Με υπολογισμό από τις καταγραφές των προστιθέμενων ποσοτήτων			Καθημερινά
3	Ποσότητα ινών	Σύμφωνα με prEN14488-7	1/200m <sup>3</sup> ή 1/1000 m <sup>3</sup> ή ελάχιστο1(IS)	1/100m <sup>3</sup> ή 1/500 m <sup>3</sup> ή ελάχιστο2(IS)	1/50m <sup>3</sup> ή 1/250 m <sup>3</sup> ή ελάχιστο3(IS)



**Πίνακας 2.16** Απαιτούμενοι έλεγχοι των ιδιοτήτων του εκτοξευόμενου σκυροδέματος - συνέχεια [9]

	Τύπος δοκιμής	Επιθεώρηση/Δοκιμή σύμφωνα με	Κατ.1	Κατ.2	Κατ.3
<b>ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ</b>					
4	Δοκιμή αντοχής νεαρού εκτοξ. σκυροδέματος	prEN14488-2	1/5000m <sup>2</sup> ή ελάχιστο1(IS)	1/2000m <sup>2</sup> ή ελάχιστο2(IS)	1/1000m <sup>2</sup> ή ελάχιστο3(IS)
5	Θλιπτική αντοχή	ISO 4012:1978	1/500m <sup>3</sup> ή 1/2500 m <sup>3</sup> ή ελάχιστο1(IS)	1/100m <sup>3</sup> ή 1/500 m <sup>3</sup> ή ελάχιστο2(IS)	1/50m <sup>3</sup> ή 1/250 m <sup>3</sup> ή ελάχιστο3(IS)
6	Πυκνότητα σκληρυμένου σκυροδέματος	prEN14488-8	Όταν ελέγχεται η θλιπτική αντοχή		
7	Αντίσταση στην διείσδυση νερού	EN 12390-8:2000	1/1000m <sup>2</sup> ή ελάχιστο1(IS)	1/500m <sup>2</sup> ή ελάχιστο 2(IS)	1/2500m <sup>2</sup> ή ελάχιστο3(IS)
8	Αντίσταση στο παγετό	prEN14488-8	1/1000m <sup>2</sup> ή ελάχιστο1(IS)	1/500m <sup>2</sup> ή ελάχιστο 2(IS)	1/2500m <sup>2</sup> ή ελάχιστο3(IS)
9	Αντοχή συνάφειας	prEN14488-4	1/1000m <sup>2</sup> ή ελάχιστο1(IS)	1/500m <sup>2</sup> ή ελάχιστο 2(IS)	1/2500m <sup>2</sup> ή ελάχιστο3(IS)
Μέτρο ελαστικότητας κατά ISO 6784:1982					
<b>Έλεγχος ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος</b>					
10	Ποσότητα ιών	Στο σκληριμένο σκυρόδεμα με το prEN14488-7	Όταν ελέγχεται η θλιπτική αντοχή		
11	Παραμένουσα αντοχή	prEN14488-3		1/2000m <sup>2</sup> ή ελάχιστο2(IS)	1/500m <sup>2</sup> ή ελάχιστο3(IS)
12	Καμπτική αντοχή κατά την αστοχία	prEN14488-3	Όταν ελέγχεται η θλιπτική αντοχή		
13	Μεγιστη καμπτική αντοχή αιχμής	prEN14488-3	Όταν ελέγχεται η θλιπτική αντοχή		

## 2.6 ΑΝΑΠΗΔΗΣΗ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ – ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

### 2.6.1 ΑΝΑΠΗΔΗΣΗ

Η αναπήδηση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι ένα μεγάλο κόστος για το έργο. Από την πλευρά του εργολάβου είναι πολύ σημαντικό αυτή να περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατό. Το φαινόμενο της αναπήδησης εξαρτάται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες και γίνεται ακόμη πιο πολύπλοκο με τη χρήση των ινών.

Το σκυρόδεμα που τελικά καταναλώνεται συνολικά σε ένα έργο είναι σχεδόν πάντα μεγαλύτερο από αυτό που απαιτείται για την κατασκευή της επένδυσης και αυτό οφείλεται στις απώλειες. Από την πλευρά του εργολάβου του έργου μπορούμε να πούμε πως ισχύει η παρακάτω σχέση [17]:

Απώλειες σκυροδέματος = Αναπήδηση + Λιθογόμωση κενών + Απορριπτέο σκυρόδεμα

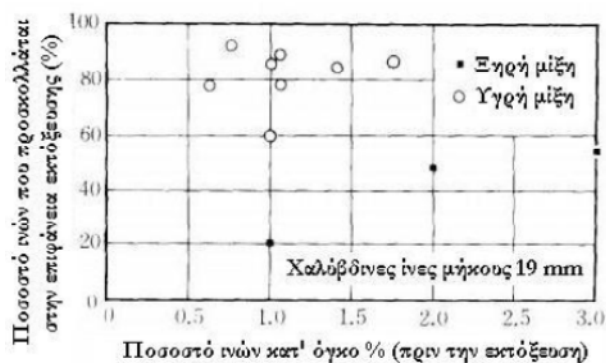
Το συνολικό σκυρόδεμα μπορεί να φθάνει το 150 έως το 200% της προβλεπόμενης ποσότητας και μέρος του πλεονάσματος αυτού οφείλεται στην αναπήδηση .

Στη μέθοδο της ξηρής μίξης εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι πολύ σημαντική η γνώση της αναπήδησης διότι το 20 έως το 40% του συνολικού υλικού χάνεται και πάνω από το 75% των ινών μπορεί να αναπηδήσουν.

Δυστυχώς, το υλικό που χάνεται ως αναπήδηση κυρίως αποτελείται από αδρανή και απώλεια αρκετού όγκου αδρανών κάνει το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα επιρρεπές σε μεταβολές του όγκου και σε φαινόμενα ρηγμάτωσης και ερπυσμού. Απώλεια ινών μέσω της αναπήδησης, μεταφράζεται σε μεγάλη απώλεια αντοχής σε θραύση, πλαστιμότητας και παραμένουσας αντοχής.

Η διαφορά μεταξύ ξηρής και υγρής μίξης, ως προς το ποσοστό της αναπήδησης, είναι εμφανής και από το διάγραμμα της Εικόνας 2.6 που απεικονίζει μετρήσεις για δεδομένες ίνες συγκριτικά και για τις δύο μεθόδους εκτόξευσης [17].

Οι θεωρίες ως προς την επιρροή των ινών στην αναπήδηση δεν ταυτίζονται απόλυτα. Ερευνητές αναφέρουν ότι το ινοπλισμένο σκυρόδεμα είχε μικρότερη αναπήδηση από το συμβατικό. Άλλοι απλά αναφέρουν ότι δεν υπάρχει καμία διαφορά μεταξύ τους (ACI, 506.1R-98). Ωστόσο, οι ερευνητές συμφωνούν στο ότι η αναπήδηση των ινών είναι μεγαλύτερη από αυτή των άλλων υλικών. Στην ξηρή μίξη, χρήση κάμερας πολύ υψηλής ταχύτητας έχει δείξει ότι οι περισσότερες ίνες βρίσκονται στην εξωτερική πλευρά του μίγματος, καθώς αυτό εκτοξεύεται με ταχύτητα. Πολλές από τις ίνες αυτές αποτυγχάνουν να φθάσουν στην επιφάνεια εκτόξευσης κι έτσι χάνονται σαν υλικό αναπήδησης [17].



**Εικόνα 2.6** Σύγκριση ξηρής και υγρής μίξης ως προς την αναπήδηση [17].

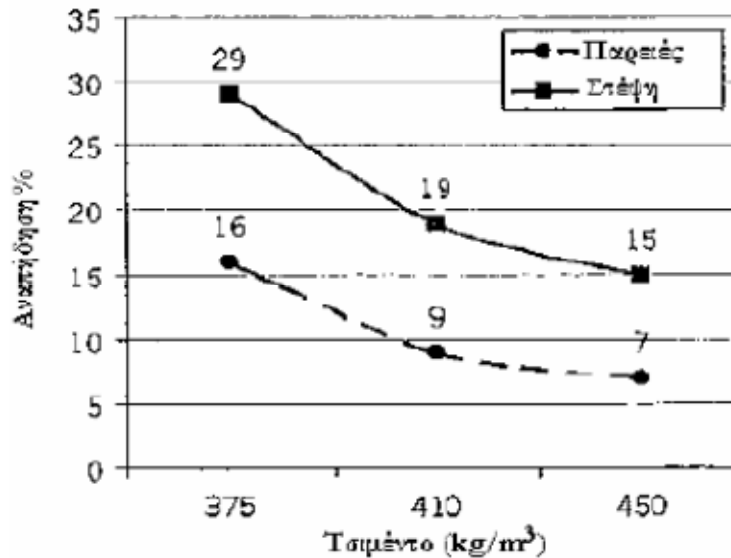
Ο μηχανισμός δημιουργίας του στρώματος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος έχει ως εξής [17]: Όλα τα υλικά κινούνται με πολύ μεγάλη ταχύτητα προς την επιφάνεια. Τα ελαφρύτερα (τσιμέντο, λεπτόκοκκα αδρανή, ίνες) κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα σε σχέση με τα βαρύτερα. Πρακτικά, αυτό που γίνεται είναι ότι στην αρχή της διαδικασίας, όλο το υλικό που εκτοξεύεται αναπηδά. Τελικά, δημιουργείται μια λεπτή στρώση από τσιμέντο, άμμο και νερό κι έτσι σταδιακά η αναπήδηση μειώνεται, ακόμη και κάτω από 20%. Εάν το σκυρόδεμα διαστρώνεται σε δύο στρώσεις, πάλι θα υπάρχει μια πρώτη φάση υψηλής αναπήδησης. Επίσης, αν γίνεται χρήση πλέγματος, η δόνηση που προκαλούν τα υλικά καθώς το χτυπούν, αυξάνει την αναπήδηση.

Τέλος, σε καμία περίπτωση δεν πρέπει το υλικό αναπήδησης να χρησιμοποιείται ξανά σαν δομικό υλικό, καθώς κάτι τέτοιο προκαλεί μείωση της ποιότητας και των μηχανικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος.

Η αναπήδηση στην ξηρή μίξη εξαρτάται από τρία βασικά στοιχεία, τη μίξη, την τεχνική εκτόξευσης και τη γεωμετρία της ίνας [17].

Η κύρια παράμετρος που σχετίζεται με το σχεδιασμό του μίγματος και την αναπήδηση, είναι η συνεκτικότητα του σκυροδέματος κατά την εκτόξευση. Αυτή ελέγχεται από την ποσότητα του νερού που προστίθεται από τον χειριστή του ακροφυσίου.

Μία άλλη παράμετρος που είναι ευρέως αποδεκτή ως προς την επιρροή της στην αναπήδηση είναι η ποσότητα του τσιμέντου, με τα μίγματα που είναι πλουσιότερα σε τσιμέντο να παρουσιάζουν μικρότερα ποσοστά αναπήδησης. Έρευνα από τον Austin (1995) σε οκτώ μίγματα εκτοξευόμενου σκυροδέματος, με δύο διαφορετικά ποσοστά τσιμέντου (αδρανή/τσιμέντο 1:3 και 1:4 αντίστοιχα) έδειξε ότι η αύξηση του τσιμέντου οδήγησε σε μείωση της αναπήδησης συνολικά όλων των υλικών κατά 5% (Εικόνα 2.7). Τέλος, η μέθοδος προσθήκης των ινών στο μίγμα δεν σημαντικό παίζει ρόλο στην αναπήδηση.



**Εικόνα 2.7** Μείωση της αναπήδησης με αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου στην υγρή μίξη [17].

Η κατανομή των αδρανών είναι παράγοντας που επηρεάζει την αναπήδηση. Τα πιο χονδρόκοκκα αδρανή τείνουν να αναπηδούν περισσότερο από τα λεπτόκοκκα (περίπου τέσσερις φορές περισσότερο). Έτσι, τα κλάσματα με μεγάλη περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα προτιμώνται έναντι των λεπτόκοκκων [17].

Μία προσθήκη που κέρδισε έδαφος στην ξηρή μίξη σκυροδέματος και είναι γνωστό ότι επηρεάζει την αναπήδηση είναι η πυριτική παιπάλη. Ο Austin (1995) αναφέρει ότι υπάρχει μία γραμμική σχέση που συνδέει τη συνολική αναπήδηση με την ποσότητα της ιπτάμενης τέφρας και συμπεραίνει ότι αντικατάσταση του τσιμέντου σε ποσοστό μόλις 10% από ιπτάμενη τέφρα οδηγεί σε μείωση της αναπήδησης κατά 6 έως 7%. Κατά τον Morgan (1988) αν το ποσοστό αντικατάστασης ανέβει σε 15%, τότε η μείωση της αναπήδησης ανεβαίνει κι αυτή σε ποσοστά πάνω από 15% [17].

Αν και οι επιταχυντές είναι γνωστό ότι μειώνουν την αναπήδηση στα υγρά μίγματα εκτοξευόμενου σκυροδέματος, το αποτέλεσμα που έχουν στην ξηρή μίξη δεν είναι ξεκάθαρο. Σύμφωνα με τους Melbey et. al (1995) αναφέρουν ότι οι επιταχυντές τείνουν να μειώνουν την αναπήδηση. Σύμφωνα με τον Schultz (1982) για τα υγρά μίγματα, οι επιταχυντές τείνουν να αυξάνουν την αναπήδηση των αδρανών ενώ σύμφωνα με άλλες μελέτες δεν υπάρχει επιρροή από τη χρήση επιταχυντών στην αναπήδηση [17].

Η δεύτερη κατηγορία παραμέτρων που επηρεάζουν την αναπήδηση αφορά την τεχνική εκτόξευσης. Το πιο σημαντικό στοιχείο της κατηγορίας αυτής είναι η ταχύτητα εκτόξευσης του υλικού. Και στον τομέα αυτό υπάρχει διάσταση απόψεων καθώς ταχύτητες εκτόξευσης της τάξης των 10 έως 100 m/s προτείνονται για βέλτιστα αποτελέσματα. Αν και ο ακριβής προσδιορισμός της καταλληλότερης ταχύτητας εκτόξευσης είναι δύσκολος και απαιτεί ειδικό εξοπλισμό (κάμερα υψηλής ταχύτητας), είναι γενικά αποδεκτό ότι για έναν δεδομένο μηχανικό εξοπλισμό εκτόξευσης, είναι η ταχύτητα ροής του αέρα που καθορίζει την ταχύτητα ροής των υλικών. Έτσι, ένας μετρητής της

ταχύτητας του αέρα είναι ιδιαίτερης σημασίας όργανο για την μέτρηση της ταχύτητας εκτόξευσης.

Ένας ακόμη παράγοντας που καθορίζει την αναπήδηση είναι το πάχος της απαιτούμενης επένδυσης. Έχει παρατηρηθεί ότι επενδύσεις μικρού πάχους παρουσιάζουν μεγαλύτερα ποσοστά αναπήδησης. Σύμφωνα με τον Parker (1976), για τα πρώτα 10 mm της επένδυσης το ποσοστό της αναπήδησης μπορεί να ανέρχεται ακόμη και σε 80% και έπειτα μειώνεται σταδιακά [17]. Επίσης, στα πρώτες στρώσεις της επένδυσης έχουμε υψηλό λόγο νερό/τσιμέντο, κι έτσι χαμηλές αντοχές.

Η θέση τέλος της εκτόξευσης επηρεάζει την αναπήδηση, με την κατακόρυφη εκτόξευση να είναι η δυσμενέστερη περίπτωση. Σύμφωνα με έρευνα σε πέντε διαφορετικά μίγματα που εκτοξεύθηκαν σε παρείς και σε οροφή, η ποσοστιαία αύξηση της αναπήδησης ανέρχεται σε 6%. Είναι βέβαια εδώ δεδομένο ότι τηρούνται ακριβώς οι κανόνες σωστής εκτόξευσης, δηλαδή ότι αυτή εκτελείται κατά το δυνατόν κατακόρυφα στην επιφάνεια εκτόξευσης και από τη σωστή απόσταση. Τέλος, κρίσιμο ρόλο στον περιορισμό της αναπήδησης παίζει και ο χειριστής του μηχανήματος, ο οποίος με τη γνώση και την εμπειρία του προσαρμόζει κάθε φορά το ακροφύσιο στην καλύτερη δυνατή θέση.

Τρίτος παράγοντας που παίζει σημαντικό επίσης ρόλο στην αναπήδηση είναι οι ίνες. Αν και δεν υπάρχει συμφωνία για το πώς ακριβώς η γεωμετρία των ινών επηρεάζει την αναπήδηση, παραμένει γεγονός ότι οι ίνες που χρησιμοποιούνται στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι ίδιες ή σχεδόν ίδιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στο έγχυτο. Αυτό έχει ως συνέπεια ότι δεν είναι ειδικά σχεδιασμένες για χρήση σε ξηρό μίγμα.

Έτσι υπάρχει ανάγκη για κατασκευή μιας ίνας ειδικά για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα η οποία θα του παρέχει μέγιστη δυσθραυστότητα αλλά θα παρουσιάζει και ελάχιστη αναπήδηση.

Σε πιο πρόσφατες μελέτες επισημάνθηκε ότι υπάρχει μία γραμμική σχέση που συνδέει την αναπήδηση των ινών με τον τροποποιημένο λόγο μορφής ( $l/d$ ). Από την πλευρά της δυσθραυστότητας είναι καλό να χρησιμοποιούνται ίνες με υψηλό λόγο μορφής. Αυτό όμως είναι αντιφατικό με την απαίτηση για χαμηλή αναπήδηση καθότι αυτή αυξάνει όσο αυξάνει και ο λόγος μορφής [17].

Για να μειωθεί η συνολική αναπήδηση πρέπει όλοι αυτοί οι παράγοντες να λαμβάνονται υπόψη και να τροποποιούνται για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων. Επιπλέον, η χρήση ποικίλων πρόσμικτων, όπως η ιπτάμενη τέφρα, η μικροπυριτία και ο μετακαολίνης, μειώνουν την αναπήδηση.

Ωστόσο η ακριβής επιρροή στο μέγεθος, στο σχήμα και στην κοκκομετρική κατανομή δεν είναι πλήρως κατανοητή. Τα ίδια ισχύουν και για τις προσπάθειες προσομοίωσης της κίνησης των υλικών του σκυροδέματος και των ινών, αλλά πολύ ακόμη προσπάθεια απαιτείται σε αυτόν τον τομέα.

Σύμφωνα με την ACI (506.1R) τα πιο αποτελεσματικά από τα παραπάνω, τα οποία ισχύουν και για το κοινό εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, είναι η μείωση της πίεσης του αέρα, η αύξηση του ποσοστού των λεπτομερών και η χρήση μικρότερων και παχύτερων ινών. Το ακροφύσιο της εκτόξευσης όταν είναι μεγάλης διαμέτρου εξασφαλίζει όχι μόνο περιορισμό της αναπήδησης αλλά και λιγότερη φθορά, καλύτερο αποτέλεσμα, οικονομία σε ενέργεια και αυξημένη ασφάλεια.

## **2.6.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΔΙΑΣΤΡΩΣΗΣ**

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 [20]:

### **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 [20]:

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.

## **2.7 ΥΓΙΕΙΝΗ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ**

Κατά την διάρκεια της εκτόξευσης το προσωπικό διατρέχει σοβαρό κίνδυνο υγείας λόγω της σκόνης που σχηματίζεται και την ρύπανση του αέρα. Για να μικραίνει το φορτίο σκόνης τα ακόλουθα μέτρα συνιστώνται [11]:

- Ξηρά ανάμιξη: χρήση υγρών αδρανών, κατάλληλος σχεδιασμός και απόσταση ακροφυσίων, περιεκτικότητα σε νερό
- Υγρή ανάμιξη: με μη αλκαλικά επιταχυντικά
- Μηχανικά εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- Ικανοποιητικός εξαερισμός

Οι κίνδυνοι τραυματισμού του δέρματος και των ματιών, μπορούν να αποτραπούν μέσω της αποβολής των ιδιαίτερα αλκαλικών προσμίξεων, ο προσωπικός εξοπλισμός προστασίας πρέπει να χρησιμοποιείται, όπως [11]:

- Κράνος
- Γάντια

- Προστατευτικά γυαλιά
- Μάσκα σκόνης (τύπου αναπνευστικών συσκευών - σε περίπτωση ανάγκης, ανάλογα με τη μέθοδο και τους όρους εφαρμογής)
- Φόρμες
- Ενισχυμένα toe-caps
- Ωτοασπίδες

Προφυλάξεις σε περίπτωση παρεμποδίσεων των σωλήνων και του ακροφυσίου. Όταν μια παρεμπόδιση εμφανίζεται, η λειτουργία του ακόλουθου εξοπλισμού πρέπει να διακοπεί [11]:

- Κύρια παροχή αέρα
- Μηχανή εκτόξευσης
- Παροχή αέρα στο ακροφύσιο

Πριν την αποσυναρμολόγηση των σωλήνων εξασφαλίζουμε τον σωλήνα που διοχετεύει τα υλικά και το ακροφύσιο από την ανεξέλεγκτη οπισθοχώρηση. Κανένας από το προσωπικό δεν βρίσκεται μπροστά από τη μάνικα κατά την αποσυναρμολόγηση ή μέχρι η πίεση στο σωλήνα υλικών υποχωρήσει.

Ασφάλεια των μανικών και των συζεύξεων [11]:

- Μόνο οι ειδικές ενισχυμένες και εγκεκριμένες μάνικες και συζεύξεις πρέπει να χρησιμοποιούνται.
- Όλες οι συζεύξεις/οι μάνικες πρέπει να ελέγχονται τακτικά και να αντικαθίστανται όταν χρειάζεται.

Οι τοπικοί κανονισμοί και τα πρότυπα για τα περιβαλλοντικά ζητήματα θα πρέπει να εφαρμόζονται και να ακολουθούνται.

- Επιδράσεις στο χώμα: Συνιστάται όσο το δυνατόν μείωση του ανακλώμενου υλικού και η διάθεση του σε εξουσιοδοτημένους χώρους.
- Επιδράσεις στο νερό: Δυσμενής αντίκτυπος στην ποιότητα νερού δεν έχει παρατηρηθεί.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα (Ε.Σ.) απαιτεί τη λήψη ιδιαίτερων μέτρων κατά την εφαρμογή του σε τεχνικά έργα, προκειμένου να μην υπάρξουν κακοτεχνίες και να προκύψει το επιθυμητό αποτέλεσμα, κυρίως όσον αφορά τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Στην παρούσα παράγραφο αναφέρονται κάποια μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται κατά την εφαρμογή του υλικού, όπως περιγράφονται στην εργασία «Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα» των Κουτρουβέλη Θ. και Παύλου Ε. από το 15<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών» [11].

Η επιφάνεια πάνω στην οποία θα εφαρμοστεί το Ε.Σ. πρέπει να έχει προετοιμαστεί κατάλληλα και να προστατεύεται ικανοποιητικά κατά την διάρκεια της εκτόξευσης. Γενικά, η επιφάνεια πρέπει να διαμορφώνεται με υλικά που θα είναι στερεά, αρκετά πυκνής δομής και να μην δονούνται κατά την διάρκεια της εκτόξευσης.

Σε περιπτώσεις επισκευών και ενισχύσεων, η κύρια επιφάνεια εφαρμογής του Ε.Σ. είναι από σκυρόδεμα. Η προετοιμασία της περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

- Αποκάλυψη των υπαρχόντων οπλισμών τουλάχιστον όσο χρειάζεται για να συγκολληθούν νέοι, με χρήση κατάλληλων παρεμβλημάτων.
- Αφαίρεση του σαθρού σκυροδέματος (παλαιό υλικό) καθώς και τμημάτων του που έχουν προσβληθεί με επιβλαβείς χημικές ουσίες, λάδια, γράσα και διαμόρφωση φωλεών και κοιλοτήτων για τον καλύτερο εγκιβωτισμό του Ε.Σ. Θα πρέπει επίσης να αφαιρεθούν οι τυχόν υπάρχουσες προεξοχές ώστε να αποφεύγονται απότομες διαφοροποιήσεις του πάχους της στρώσης του Ε.Σ.
- Εκτράχυνση του παλαιού σκυροδέματος με αμμοβολή, υδροβολή ή χρήση αερόσφυρας πολλαπλής κεφαλής (αεροματσάκονο). Απαγορεύεται η διαμόρφωση τραχείας επιφάνειας με χρήση «βίαιων» μηχανικών μεθόδων όπως πελέκημα, σκαπιτσάρισμα κλπ., καθώς με αυτές αναπτύσσονται μικρορηγματώσεις που θα προκαλέσουν μείωση της συνάφειας.
- Πλύση με άφθονο νερό υπό πίεση μέχρι τον κορεσμό του υπάρχοντος στρώματος σκυροδέματος και στέγνωμα ώστε να μην μείνει νερό στην επιφάνεια. Οι επιφάνειες πάνω στις οποίες θα ρίξουμε νερό θα πρέπει να στεγνώνονται ή να στραγγίζονται με στραγγιστήρια και να χρησιμοποιείται Ε.Σ. με επιταχυντικό πρόσθετο. Σε αντίθετη περίπτωση το Ε.Σ. δεν θα παραμείνει και θα αποκολληθεί.
- Σωλήνες ή άλλα εξαρτήματα που δεν βλάπτουν με φυσική ή χημική διαδικασία το Ε.Σ. μπορούν να ενσωματώνονται σε αυτό εκτός από τις περιπτώσεις όπου το υλικό κατασκευής τους είναι το αλουμίνιο. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να καλυφθούν με κατάλληλα υλικά που παρεμποδίζουν την αντίδραση αλουμινίου-σκυροδέματος ή την ηλεκτρολυτική αντίδραση χάλυβα-αλουμινίου.

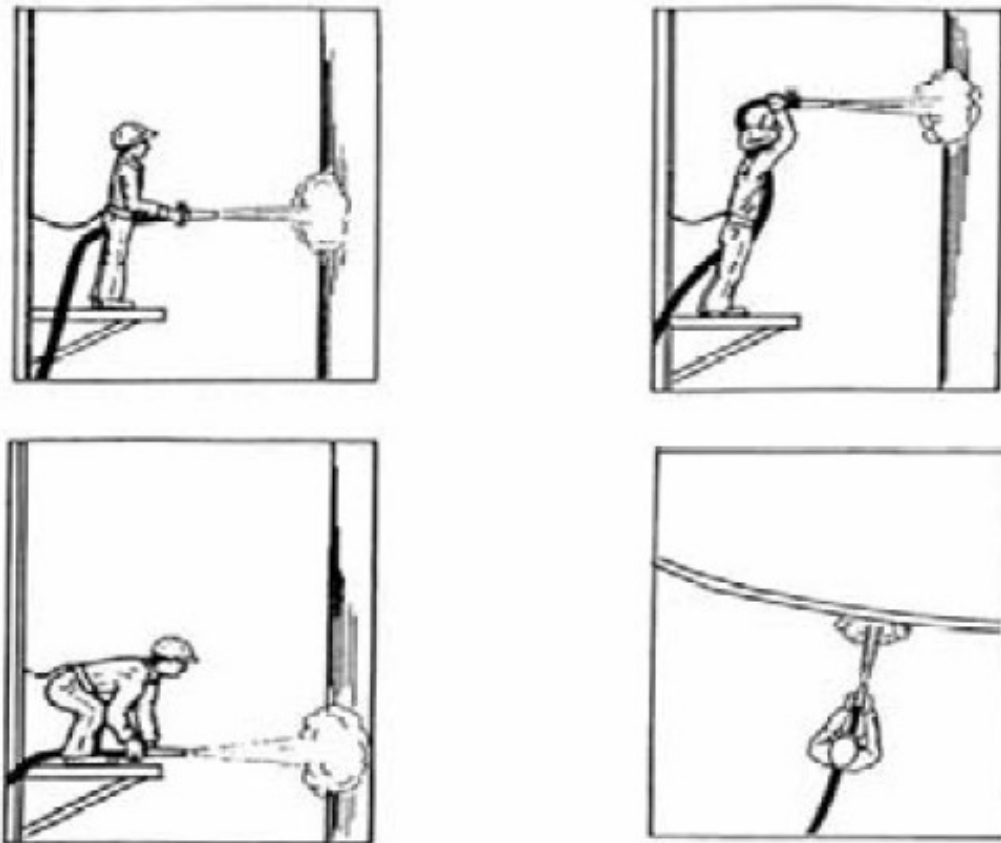
Η επιφάνεια βάσης θα πρέπει να έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη των 2°C και σε περίπτωση έκθεσης σε ισχυρούς ανέμους ή βροχή, να προστατευτεί κατάλληλα.

Η εκτόξευση του σκυροδέματος θα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε το τελικό προϊόν να έχει συμπαγή και πυκνή δομή, με κατάλληλη συνάφεια με την επιφάνεια της

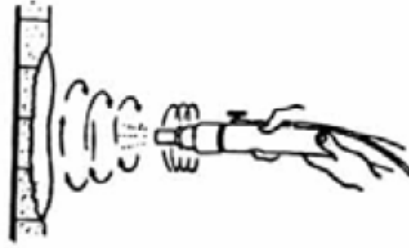
βάσης. Η τροφοδοσία του υλικού θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να τηρούνται οι αναλογίες των υλικών του τελικού μίγματος, επίσης να μην υπάρχουν εμφράξεις του εξοπλισμού και να διατηρείται μια σταθερή ροή στο ακροφύσιο.

Η θερμοκρασία του μίγματος πριν την εκτόξευση πρέπει να κυμαίνεται από 5-35°C, με συνιστώμενο εύρος θερμοκρασίας μεταξύ 10 και 25°C. Η απόσταση του ακροφυσίου από την επιφάνεια εφαρμογής θα πρέπει να είναι μεταξύ 0,5 έως 1 m. Η μέγιστη και η ελάχιστη επιτρεπόμενη απόσταση είναι 1,5 και 0,5 m αντίστοιχα.

Η κατεύθυνση της εκτόξευσης θα είναι κατά το δυνατόν κάθετη προς την επιφάνεια βάσης, με στόχο την ελαχιστοποίηση του ανακλώμενου υλικού. Κάθε στρώση θα δομείται με κατεύθυνση από κάτω προς τα πάνω και ο χειριστής θα συμπληρώνει το συνολικό πάχος της στρώσης με συνεχόμενες κυκλικές ή ελλειπτικές κινήσεις, χωρίς κινήσεις μπρος-πίσω (Εικόνες 3.1 και 3.2).



**Εικόνα 3.1** Σωστές θέσεις εκτόξευσης [20].



**Εικόνα 3.2** Επάλληλες μικρές κινήσεις του ακροφυσίου [20].

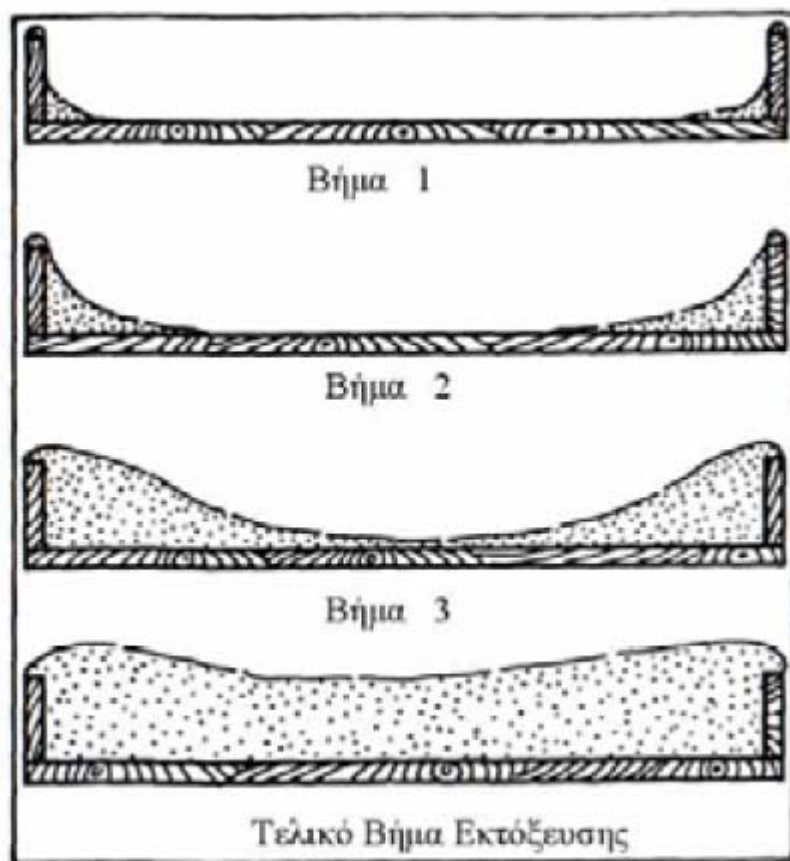
Το πάχος κάθε στρώσης Ε.Σ. όταν δεν χρησιμοποιούνται επιταχυντές πήξης συνιστάται να είναι:

- 10 mm σε στρώσεις οροφής και 20 mm σε κατακόρυφες στρώσεις, όταν περιλαμβάνονται οπλισμοί οι οποίοι θα καλύπτονται με πρόσθετα 10 mm.
- max 30 mm σε στρώσεις οροφής και max 50 mm σε κατακόρυφες στρώσεις όταν δεν περιλαμβάνονται οπλισμοί.

Κάθε πρόσθετη στρώση Ε.Σ. εκτοξεύεται όταν η προηγούμενη έχει αποκτήσει ικανοποιητική αντοχή. Ο χρόνος αναμονής για την επόμενη στρώση κυμαίνεται από 3-5 ώρες σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος 20°C όταν δεν χρησιμοποιούνται επιταχυντές πήξης. Όταν δε δημιουργούνται στον ξυλότυπο ή μεταλλότυπο εσωτερικές γωνίες, η εκτόξευση πρέπει να γίνεται από τις γωνίες και προς το κέντρο του καλουπιού (Εικόνα 3.3).

Όταν το σκυρόδεμα εκτοξεύεται προς τον οπλισμό, η μπροστινή πλευρά της ράβδου πρέπει να παραμείνει καθαρή και το εκτοξευόμενο υλικό να ρέει πίσω και γύρω από την ράβδο δημιουργώντας έτσι ένα συμπυκνωμένο σκυρόδεμα πίσω από αυτή. Κατά την εκτόξευση, ένα ποσοστό του υλικού που έχει εκτοξευθεί προς την επιφάνεια βάσης δεν προσκολλάται σε αυτή και αναπηδά εκτός της θέσης προσβολής.

Το υλικό της αναπήδησης δεν πρέπει ποτέ και για κανένα λόγο να καλυφθεί με Ε.Σ. θα πρέπει να απομακρύνεται από το έργο και απαγορεύεται να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή συμβατικού ή Ε.Σ. Για την διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας θα πρέπει να απομακρύνονται τα σωματίδια που έχουν προσκολληθεί ανεπαρκώς χρησιμοποιώντας μια μαλακή πλαστική βούρτσα, μία έως δύο ώρες μετά την εκτόξευση.



Εικόνα 3.3 Κατάλληλη διαδικασία εκτόξευσης σε εσωτερικές γωνίες [20].

### 3.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μπορεί να εφαρμοστεί για:

- Κατασκευή του κελύφους ή επισκευές σε μεγάλα έργα όπως σήραγγες (Εικόνα 3.4), φράγματα από σκυρόδεμα, λιμενικά έργα, γέφυρες.
- Την σταθεροποίηση πρανών και εκσκαφών (Εικόνες 3.5 και 3.6).
- Αποκατάσταση βλαβών λόγω πυρκαγιάς.

Όλα τα παραπάνω ισχύουν για κατασκευές οπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος ακόμα και σε περιοχές με σεισμό, αρκεί η έκταση των βλαβών να είναι μεσαία.

Στον Πίνακα 3.1 Συνοψίζονται οι απαιτήσεις που πρέπει να καλύπτει το υλικό για διάφορες περιπτώσεις εφαρμογών σε έργα υποδομής.

**Πίνακας 3.1** Απαιτήσεις από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ανά κατηγορία έργου [18]

Χρήση	Τυπικές απαιτήσεις
Σταθεροποίηση σε οροφές/ θόλους σε σήραγγες	Υψηλές πρώιμες αντοχές Χαμηλές τελικές αντοχές Υψηλή δυναμικότητα εκτόξευσης
Επένδυση σηράγγων με εκτοξευόμενο	Υψηλές πρώιμες αντοχές Υψηλές τελικές αντοχές Υψηλή στεγανότητα Υψηλή ανθεκτικότητα
Μεταλλεία	Υψηλές πρώιμες αντοχές Σφράγιση μετώπων εξόρυξης Χαμηλές έως μέτριες τελικές αντοχές
Υψηλή ή αυξημένη πυραντίσταση	Προστατευτική στρώση (χωρίς ανάγκη να φέρει φορτία) Υψηλή πρόσφυση Ανθεκτικό σε θερμοκρασίες πάνω από 1200° C
Σταθεροποίηση πρανών Σταθεροποίηση εκσκαφών	Ταχεία ανάπτυξη αντοχών Ευέλικτη χρήση Ευελιξία χρήσης για εκτόξευση μικρών όγκων σκυροδέματος
Επισκευές σηράγγων	Μακροπρόθεσμη ανθεκτικότητα Καλή πρόσφυση Χημική αντοχή Κατάλληλο μέτρο ελαστικότητας
Επισκευές φραγμάτων από σκυρόδεμα	Υψηλή ανθεκτικότητα σε λεπτές στρώσεις Χαμηλό μέτρο ελαστικότητας Χαμηλή αναπήδηση
Επισκευές σε λιμενικά έργα	Υψηλές μηχανικές αντοχές Υψηλή αντοχή σε χημικές επιδράσεις Χαμηλό μέτρο ελαστικότητας
Επισκευές γεφυρών	Το νέο σκυρόδεμα δε θα πρέπει να επηρεάζεται από δονήσεις λόγω κίνησης Ανθεκτικό σε παγετό και κύκλους πήξης/ τήξης



**Εικόνα 3.4** Εκτόξευση σκυροδέματος σε έργα σηράγγων [23].



**Εικόνα 3.5** Χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος για στήριξη πρανών [24].



**Εικόνα 3.6** Χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος για την κάλυψη κουρτίνας από οπλισμένο σκυρόδεμα [25].

### **3.2.1 ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΜΟΝΟΛΙΘΙΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μία ιδιαίτερα συνήθης εφαρμογή του Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος είναι σε έργα σηράγγων. Η παράγραφος αυτή παρουσιάζει τη μέθοδο κατασκευής μονολιθικού κελύφους σηράγγων με χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Το υλικό προέρχεται από την εργασία «Επενδύσεις σηράγγων μονολιθικού κελύφους με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα» του Θ. Παναγιωτίδη από το 15<sup>ο</sup> Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος [12].

Κατά τη μέθοδος κατασκευής μονολιθικού κελύφους, οι στατικές απαιτήσεις του φορέα της σήραγγας ικανοποιούνται από ένα μονολιθικό στοιχείο, το οποίο μπορεί να αποτελείται από μία ή περισσότερες στρώσεις.

Το πρακτικό αποτέλεσμα της παραπάνω μεθόδου είναι ότι όλο το σκυρόδεμα που θα χρησιμοποιηθεί για τη σήραγγα, θα λάβει μέρος στη τελικό φορέα. Συγκρινόμενα, σε σχέση με τη παραδοσιακή μέθοδο κατασκευής σηράγγων, όπου το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται στο μέτωπο της σήραγγας θεωρείται ως προσωρινή υποστήριξη, η οποία δεν συνυπολογίζεται στο τελικό φορέα, αυτή είναι πιθανόν η διαφορά με τη μεγαλύτερη σημασία.

Η υποστήριξη με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αποτελεί μια πολύ ευέλικτη κατασκευαστική μέθοδο, καθώς μπορεί να εφαρμοστεί ανεξάρτητα από τη γεωμετρία του φορέα, δεν χρειάζονται καλούπια, η συνεργασία της με άλλα στοιχεία όπως αγκύρια, μεταλλικά πλαίσια, ράβδοι οπλισμού κλπ. είναι άριστη, ενώ η τελική κατασκευή μπορεί να γίνει σε διάφορα στάδια, ανάλογα με τη περίπτωση. Η ευελιξία αυτή είναι και το κλειδί της νέας μεθόδου αναφορικά με τη μείωση κόστους και χρόνου, αλλά ταυτόχρονα είναι και ο λόγος που πρέπει να εφαρμοστεί ένα διαφορετικό πακέτο απαιτήσεων για την επιτυχημένη εφαρμογή της. Οι απαιτήσεις αυτές έχουν να κάνουν με τη σχεδιαστική μέθοδο υποστήριξης, το μοντέλο της σύμβασης που θα χρησιμοποιηθεί και τη δομή της

αλυσίδας: πελάτης - σύμβουλος πελάτη - επίβλεψη - ανάδοχος, ή οποία είναι κρίσιμη για την εξέλιξη των εργασιών.

Το σκυρόδεμα που θα χρησιμοποιηθεί σαν μέρος της τελικής επένδυσης, θα πρέπει οπωσδήποτε να έχει ικανοποιητική ποιότητα και ανθεκτικότητα. Έτσι, ο σωστός χειρισμός της εισροής νερού, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο για τη προσέγγιση της μεθόδου κατασκευής σηράγγων με μονολιθικό κέλυφος.

Εάν οι τοπικές συνθήκες στο μέτωπο προσομοιάζουν με έντονη βροχόπτωση, τότε η εφαρμογή της μεθόδου αυτής καθίσταται αδύνατη. Η συστηματική διάτρηση μπροστά από το μέτωπο σε συνδυασμό με την εφαρμογή της μεθόδου της προενεμάτωσης (pre-injection), μπορούν να δώσουν λύση σε αυτό το πρόβλημα. Το να βασιστεί κάποιος στη μέθοδο των προενεματώσεων και στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για να έχει μια τελείως στεγνή σήραγγα στη περίοδο χρήσης της, αποτελεί συνήθως ουτοπία. Σε ορισμένες σήραγγες μερικές σταγόνες μπορεί να είναι αποδεκτές, ενώ σε άλλες όχι. Η συνειδητοποίηση της κατάστασης αυτής από την αρχή, θα οδηγήσει στη λήψη των σωστών μέτρων και στην επιτυχία του αρχικού σχεδιασμού.

Σε σύγκριση με τη παραδοσιακή μέθοδο, με τη χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος σαν προσωρινή υποστήριξη (το πάχος και η ποιότητα του οποίου είναι πολύ κοντά στην ικανοποίηση της ολικής στατικής απαίτησης) και της τελικής επένδυσης με έγχυτο σκυρόδεμα μεγάλου πάχους, η χρήση της μεθόδου της επένδυσης σηράγγων με μονολιθικό κέλυφος από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, μπορεί να είναι έως και 50% οικονομικότερη. Ο λόγος που χρήση της δεν έχει γίνει ευρέως αποδεκτή έχει να κάνει περισσότερο με έλλειψη ενημέρωσης, συντηρητισμό αλλά και την υπέρβαση που πρέπει να γίνει για τη σωστή εφαρμογή της, η οποία πηγάζει από την ανάγκη για ολοκληρωτική στροφή τόσο στο τρόπο σκέψης όσο και στη πολιτική που εφαρμόζεται σε τέτοια έργα. Τα κύρια εμπόδια μπορούν να συνοψιστούν ως εξής [12]:

- Πολλά από τα στελέχη που λαμβάνουν αποφάσεις για λογαριασμό του Κυρίου του Έργου, συνήθως δεν είναι σε θέση να κρίνουν αυτά που τους προτείνει ο σύμβουλος του έργου και συνήθως απορρίπτουν οτιδήποτε μοιάζει να είναι πειραματικό.
- Μια φυσική και προφανής απόκλιση στη γνώση, ικανότητα και πρωτοβουλία μεταξύ των εταιριών συμβούλων, να παρακινήσουν και να προωθήσουν λύσεις διαφορετικές από αυτές που είναι γνωστές και αποδεδειγμένες στη τοπική κοινωνία. Έτσι, οι αρχές σχεδιασμού και οι τεχνικές προδιαγραφές, εμποδίζουν την ανάπτυξη πιο οικονομικών λύσεων, ακόμα και αν αυτές οι λύσεις προτείνονται κατά τη διαδικασία του διαγωνισμού.
- Συμβατικά τεύχη που αναπτύσσονται στη λογική της πάγιας μελέτης, συγκεκριμένων πρακτικών λύσεων και κλειστών ποσοτήτων, τα οποία δεν αφήνουν περιθώριο για προσαρμογές και βελτιώσεις. Τα συμβατικά τεύχη, δίνουν συνήθως μεγάλη προσοχή στις λεπτομέρειες, έτσι ώστε να προστατέψουν το κύριο του έργου από τους «κακούς» εργολάβους, χάνοντας έτσι την ευκαιρία να επενδύσουν θετικά πάνω στην εμπειρία του εργολάβου.

Η ανάγκη για υπόγειες κατασκευές, ειδικά στις αστικές περιοχές, αυξάνεται συνεχώς σε όλο τον κόσμο. Επίσης, η ανάγκη αυτή είναι συνήθως μεγαλύτερη από τα διαθέσιμα κεφάλαια. Και αυτό ισχύει τόσο για τις υπανάπτυκτες όσο και για τις ανεπτυγμένες χώρες.



Έτσι, αυτή η έλλειψη κεφαλαίων, είναι πιθανότερα ο σημαντικότερος λόγος για το ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για την έννοια της επένδυσης σηράγγων μονολιθικού κελύφους.

Η συνήθης πρακτική στο σχεδιασμό σηράγγων, είναι η χρησιμοποίηση των διερευνητικών διατρήσεων για την ποιότητα της εδαφικής μάζας σαν βάση για τη μελέτη. Η υπόθεση αυτή συνήθως συνδυάζεται με την αρχική (προσωρινή) υποστήριξη με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, η οποία ακολουθείται από τη μόνιμη υποστήριξη με έγχυτο σκυρόδεμα σε μεταγενέστερο στάδιο. Ανάμεσα στις δύο στρώσεις χρησιμοποιείται συνήθως μια στεγανοποιητική μεμβράνη από PVC. Η συνηθισμένη αυτή προσέγγιση, είναι υπέρ - συντηρητική, απαιτεί μεγάλο χρόνο κατασκευής και συμπερασματικά κοστίζει πολύ περισσότερο από αυτό που πραγματικά είναι απαραίτητο. Δύο από τους λόγους για το υψηλό κόστος είναι οι εξής [12]:

- Στις περισσότερες περιπτώσεις, η αρχική υποστήριξη είναι στατικά ισοδύναμη με τη τελική επένδυση, καθώς ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι τη τοποθέτηση της τελικής επένδυσης μπορεί να είναι αρκετοί μήνες.
- Η τελική επένδυση είναι προμελετημένη (συνήθως υπάρχει μία και μοναδική λύση για ολόκληρο το μήκος της σήραγγας, βασισμένο στις διερευνητικές διατρήσεις).

Πάρα πολλοί άνθρωποι που ασχολούνται με το χώρο των σηράγγων, έχουν συνειδητοποιήσει ότι μία λύση είναι οι επενδύσεις σηράγγων μονολιθικού κελύφους με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Πίσω από τη λύση αυτή, βρίσκεται η κοινή λογική, δηλαδή ότι το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται στο μέτωπο και αργότερα πίσω από αυτό, θεωρείται σαν μέρος της τελικής επένδυσης. Φυσικά, η λύση αυτή συνδυάζεται με αγκύρια, μεταλλικές δοκούς, πλαίσια και οπλισμό, όπου αυτά είναι απαραίτητα. Η μεγαλύτερη εμπειρία και ο μεγαλύτερος όγκος τέτοιου είδους εφαρμογών υποστήριξης, απαντώνται στις Σκανδιναβικές χώρες, όπου η προσέγγιση είναι κυρίαρχη μετά το Δεύτερο παγκόσμιο Πόλεμο, για πολλά χιλιόμετρα σήραγγας.

Μια μοντέρνα λύση με μονολιθικό κέλυφος για μία σήραγγα που διανοίγεται με τη κλασική μέθοδο drill & blast, υπολογισμένη με μέσες τιμές για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με μεταλλικές ίνες, συστηματική χρήση αγκυρίων και την εκσκαφή (υπολογίζοντας το σχετικό κόστος του drill & blast ίσο με 100), θα έδινε ένα συνολικό κόστος 225. Για την ίδια σήραγγα, το συνολικό κόστος διάνοιξης με τη παραδοσιακή μέθοδο (εκσκαφή -προσωρινή υποστήριξη - τελική επένδυση), θα έδινε ένα σύνολο που θα άγγιζε το 500.

Ο λόγος που παρατηρείται αυτή την ακραία διαφορά στο κόστος έχει να κάνει με τις ποσότητες σκυροδέματος. Ένα απλό παράδειγμα υπολογισμών δείχνει τη κατάσταση αυτή [12]:

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε να διανοίξουμε μια σήραγγα με τη μέθοδο drill & blast μέσα από μασίφ βραχώμαζα, που θα είχε σαν αποτέλεσμα υπερεκσκαφή της θεωρητικής διατομής της τάξεως του 15%. Έστω επίσης ότι το πάχος της τελικής επένδυσης είχε προδιαγραφεί στα 35 cm για καθαρή διάμετρο σήραγγας 8 m. Για απλοποίηση των υπολογισμών, το σχήμα της σήραγγας, θεωρείται κυκλικό με πλήρη επένδυση. Στη καθαρή διάμετρο των 8 m θα πρέπει να προσθέσουμε ακόμα 0,7 m για την τελική επένδυση καταλήγοντας σε θεωρητική διατομή εκσκαφής τα 8,7 m. Προσθέτοντας τώρα ένα 15% λόγω υπερεκσκαφής, η μέση διάμετρος ανεβαίνει στα 9,33 m, που δίνει μέσο πάχος επένδυσης από σκυρόδεμα 660 mm, δηλαδή 18,3 m<sup>3</sup> σκυροδέματος ανά μέτρο μήκους σήραγγας.

Στη περίπτωση που θα χρησιμοποιούσαμε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, ένα πάχος 200 mm από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα θα είχε σαν αποτέλεσμα τη κατανάλωση 5,7 m<sup>3</sup> ανά μέτρο μήκους σήραγγας. Το σκυρόδεμα αυτό θα ήταν οπλισμένο με μεταλλικές ίνες και θα συνδυαζόταν με αγκύρια και μεταλλικά πλαίσια, όπου αυτό θα ήταν απαραίτητο.

Στη σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων, είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι το μεγαλύτερο μέρος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος θα εφαρμοστεί ούτως ή άλλως (με τη χρήση αγκυρίων και πλαισίων), για τη διασφάλιση της ευστάθειας της σήραγγας μέχρι τη φάση της τελικής επένδυσης. Οι επιπρόσθετες εργασίες που θα πρέπει να γίνουν για λόγους ποιότητας και ανθεκτικότητας είναι αρκετά περιορισμένες.

Υπάρχουν ακόμα δύο παράγοντες που είναι σημαντικοί για τους υπολογισμούς [12]. Πρώτον, μπορεί να μειωθεί το περίγραμμα της εκσκαφής, αν επιλεγεί η μέθοδος του μονού κελύφους (τοπικές ανάγκες για επαύξηση του πάχους εφαρμογής μπορούν να αντιμετωπιστούν με τοπικές υπερεκσκαφές), μειώνοντας έτσι τον όγκο των εκσκαφών, όπως συνέβη με τον όγκο των σκυροδεμάτων. Δευτερευόντως, όπου υπάρχει ανάγκη τοπικά για ενίσχυση με πλαίσια, η μελέτη θα πρέπει να επιτρέπει τη τοποθέτηση των πλαισίων αυτών πάνω στο πραγματικό περίγραμμα της εκσκαφής και να μην βασίζεται σε προκατασκευασμένα πλαίσια με συγκεκριμένη διάμετρο, καθώς αλλιώς θα χρειαστεί μεγάλος όγκος ενεμάτων για τη πλήρωση των κενών και την πάκτωση των πλαισίων αυτών, όγκος ο οποίος είναι περιττός.

Για τη πλήρη αξιοποίηση της μεθόδου του μονού κελύφους, είναι προαπαιτούμενο να παραιτηθούμε από το προαποφασισμένο τρόπο τελικής επένδυσης. Η λύση είναι να εφαρμοστούν οι αρχές της Μεθόδου Παρατήρησης (Observational Method - OM).

Οι βασικές αρχές της μεθόδου αυτής, συνοψίζονται παρακάτω [12]:

- Οι κατηγορίες υποστήριξης του βράχου, θα πρέπει να σχεδιάζονται για τις αναμενόμενες διαφοροποιήσεις της βραχώμαζας, σαν πρόγνωση υποστήριξης βραχώμαζας (rock support prognosis). Σε αυτό τον τρόπο σχεδιασμού, οποιαδήποτε εμπειρική και υπολογιστική μέθοδος, θεωρείται απαραίτητη και χρήσιμη.
- Η επαλήθευση της πρόγνωσης αυτής, θα γίνεται μετά την εκσκαφή και τη τοποθέτηση της υποστήριξης, με οπτική παρατήρηση, καταγραφή των παραμορφώσεων, των τάσεων, των φορτίων, της πίεσης νερού και γενικά με οποιονδήποτε άλλο τρόπο θεωρείται απαραίτητος. Η προσαρμογή ή προσθήκη πρόσθετης υποστήριξης, όπου χρειάζεται τοπικά, υπόκειται και αυτή σε μεταγενέστερη επαλήθευση.
- Η πρόγνωση θα πρέπει να επικαιροποιείται από συνεχή τροφοδοσία στοιχείων από τα προηγούμενα βήματα, έτσι ώστε να αποφασίζονται πιθανές μικροδιορθώσεις.

Τα πλεονεκτήματα της Μεθόδου Παρατήρησης είναι προφανή. Το βουνό χρησιμοποιείται σαν ένα πλήρους κλίμακας εργαστήριο, όπου εμφανίζονται και αντιμετωπίζονται ένα πλήθος από γνωστές και άγνωστες παραμέτρους. Επιτρέπει μια ευέλικτη διαδικασία εργασίας, άμεση δράση όπου αυτό είναι απαραίτητο και ο τρόπος υποστήριξης προσαρμόζεται στις πραγματικές συνθήκες. Κανονικά, ο τρόπος αυτός δίνει λιγότερο συντηρητικές και φτηνότερες λύσεις. Φυσικά, οι διαφορετικοί τρόποι υποστήριξης θα πρέπει να ομογενοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο έτσι ώστε να καλύπτουν ένα λογικό μήκος σήραγγας, για την αποφυγή της πολύ συχνής αλλαγής μεθόδου η οποία μπορεί να επιφέρει αύξηση κόστους. Εάν θεωρείται εντελώς απαραίτητο να εφαρμοστεί μια πολύ συντηρητική μέθοδος υποστήριξης, μία επαληθευμένη και σίγουρη μέθοδος

υποστήριξης μπορεί να συμπληρωθεί από μία επιπρόσθετη επένδυση από σκυρόδεμα, για να δώσει έναν παραπάνω βαθμό ασφάλειας.

Παρατηρείται αρκετά συχνά το φαινόμενο, τα οφέλη μίας καλά σχεδιασμένης μελέτης σύνθεσης για την επίτευξη των απαιτήσεων αντοχής της δομής να αναιρούνται από ανεπαρκείς μεθόδους εφαρμογής. Προκειμένου να επιτευχθεί ανθεκτικό εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και να διασφαλιστεί η ικανοποίηση των απαιτήσεων της μελέτης από τις ιδιότητες του υλικού, η μέθοδος εφαρμογής θα πρέπει να συνάδει με τα ακόλουθα κριτήρια ώστε να επιτυγχάνεται ένα σκυρόδεμα υψηλής απόδοσης με ελάχιστη απόκλιση στην ποιότητα [12]:

- Θα πρέπει να παράγεται καλά αναμεμιγμένο και ομοιογενές σκυρόδεμα στο ακροφύσιο (ινών περιλαμβανομένων) και θα πρέπει να μην παρουσιάζει παλμικά φαινόμενα και μπλοκαρίσματα, μέσω αντλιών υγρής ανάμιξης.
- Η μετρημένη απώλεια αναπηδήσεως των αδρανών θα πρέπει να είναι μικρότερη του 10%, εφοδιάζοντας την επένδυση της σήραγγας με ένα υλικό κατάλληλα διαβαθμισμένο. Αυτό συνεπάγεται την ελάττωση φαινομένων αποκόλλησης, σκιών πίσω από το χαλύβδινο οπλισμό, ρηγματώσης λόγω συρρίκνωσης, και ανεπαρκούς μικροδομής.
- Η μετρημένη απώλεια αναπηδήσεως των ινών θα πρέπει να είναι μικρότερη του 20% έτσι ώστε να παρέχεται αποτελεσματικός έλεγχος των ρωγμών και δομική απόδοση, προσδίδοντας έτσι καλύτερη αντοχή στην επένδυση της σήραγγας.
- Οι αυτόματοι δοσομετρητές επιταχυντών που λειτουργούν συγχρονικά με την εκροή του σκυροδέματος θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κατά τρόπον ώστε να επιτρέπουν ακριβείς και σταθερούς ρυθμούς δοσολογίας.
- Χαμηλά επίπεδα σκόνης που επιτρέπουν την ύπαρξη καλύτερης ορατότητας για τους χειριστές εφαρμογής εκτοξευόμενου σκυροδέματος, ώστε να επιτυγχάνουν καλύτερο έλεγχο της εκτόξευσης.
- Στόχος του συστήματος θα πρέπει να είναι η μείωση του κινδύνου οι ανθρώπινες επιρροές να επιδρούν αρνητικά στην ποιότητα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Για παράδειγμα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αυτοκινούμενα μέσα ρομποτικής εκτόξευσης όπου είναι δυνατό, επιτρέποντας την εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος υψηλής ποιότητας, κατά τρόπον ασφαλέστερο και οικονομικότερο.
- Μία έτοιμη ποσότητα εκτοξευόμενου σκυροδέματος θα πρέπει να είναι διαθέσιμη προς εφαρμογή, ως ενδεχόμενη υποστήριξη κατά τη διάρκεια εκσκαφών στη σήραγγα. Αυτό μπορεί να διευκολυνθεί από τον έλεγχο της ενυδάτωσης του τσιμέντου με χρήση σταθεροποιητικών προσμίκτων.
- Σε περίπτωση σαθρού εδάφους και τρεχούμενων υπόγειων υδάτων, το σύστημα θα πρέπει να είναι προσαρμόσιμο, ώστε να παρέχει εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με χαρακτηριστικά άμεσης πήξης (αστραπιαία πήξη).
- Η μέθοδος εφαρμογής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος θα πρέπει να επιτρέπει την αποτελεσματική συντήρηση του σκυροδέματος, η οποία δε θα επηρεάζει αρνητικά τη συνοχή μεταξύ διαδοχικών στρώσεων, όπως με ενσωμάτωση προσμίκτων βελτίωσης σκυροδέματος.

Πολλοί από τους παράγοντες που προκαλούν υψηλές τιμές απώλειας αναπηδήσεως, χαμηλή συμπύκνωση, απώλεια δομικής απόδοσης και ως εκ τούτου αυξάνουν τις δαπάνες του έργου, αποδίδονται στην απόδοση των χειριστών εφαρμογής

του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, ιδίως στην απόδοση των χειροκίνητων συστημάτων ακροφυσίου που χρησιμοποιούν τη μέθοδο ξηρής ανάμιξης.

Η χρήση των σύγχρονων προσμίκτων που εφαρμόζονται στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υγρής ανάμιξης έχει περιορίσει σημαντικά τα φαινόμενα αυτά, επιτρέποντας στο τοποθετημένο σκυρόδεμα να παρουσιάζει αρχικά πλαστική συμπεριφορά. Για μερικά λεπτά μετά την εφαρμογή του, το νέο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μπορεί να απορροφηθεί και να συμπυκνωθεί πιο εύκολα από ότι κάποια υλικά γρήγορης ή αστραπιαίας πήξης. Η προσέγγιση αυτή μειώνει σημαντικά την απώλεια αναπηδήσεως και επιτρέπει την ευκολότερη επίτευξη επικάλυψης - ενθυλάκωσης του χάλυβα.

Με την έλευση των επενδύσεων από μόνιμο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, προέκυψε επίσης από τη βιομηχανία, μία απαίτηση για την παροχή υδατοστεγανούς εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Αυτό είναι πολύ σημαντικό στις σήραγγες στις οποίες έχει πρόσβαση το κοινό και στις σήραγγες των αυτοκινητοδρόμων, οι οποίες εκτίθενται σε συνθήκες ψύξης κατά τους χειμερινούς μήνες, καθώς επίσης και στις ηλεκτροδοτούμενες σιδηροδρομικές σήραγγες. Έχει αποδειχθεί ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, το μόνιμο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα παρουσιάζει εξαιρετικά χαμηλή διαπερατότητα (χαρακτηριστικά  $1 \times 10^{-14}$  m/s), παρ' όλα αυτά η είσοδος νερού εξακολουθεί να παρατηρείται σε κατασκευαστικούς αρμούς, σε σημεία όπου υπάρχει σφηνωμένος χάλυβας και ήλωση σε βράχο.

Παραδοσιακά χρησιμοποιούνται πολυμερή φύλλα μεμβράνης, όπου το σύστημα έχει αποδειχθεί ευαίσθητο στην ποιότητα θερμικά σφραγισμένων αρμών και στη γεωμετρία των σηράγγων, κυρίως σε διασταυρώσεις. Επίσης, όπου έχουν εγκατασταθεί φύλλα μεμβράνης πάνω από επένδυση εκτοξευόμενου σκυροδέματος, μπορούν να παρατηρηθούν τα ακόλουθα δυσμενή φαινόμενα [12]:

- Καθώς τα φύλλα μεμβράνης είναι στερεωμένα σε ένα σημείο, οι εκτοξευόμενες εσωτερικές επενδύσεις μπορεί να μην έχουν στενή επαφή μέσω της μεμβράνης με το υπόστρωμα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην ασύμμετρη φόρτιση της επένδυσης της σήραγγας.
- Για τη διευκόλυνση της εφαρμογής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στα φύλλα μεμβράνης, χρησιμοποιείται μία στρώση συγκολλημένου πλέγματος. Καθώς τα φύλλα μεμβράνης είναι στερεωμένα σε ένα σημείο, το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μεταξύ του πλέγματος και των φύλλων μεμβράνης είναι συχνά κατώτερης ποιότητας, και μπορεί να οδηγήσει σε ανησυχίες όσον αφορά στην αντοχή.
- Η αντοχή των δεσμών μεταξύ της εσωτερικής επένδυσης από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και των φύλλων μεμβράνης είναι ανεπαρκής και οδηγεί σε πιθανή αποδέσμευση, κυρίως στη στέψη του προφίλ της σήραγγας. Πρόκειται για επιβλαβή επίδραση όταν κατασκευάζονται μονολιθικές δομές.
- Καθώς η συνοχή της διεπαφής σκυροδέματος - φύλλων μεμβράνης είναι μικρή, τα υπόγεια νερά μπορεί να κυλήσουν κατά οποιονδήποτε ανεξέλεγκτο τρόπο. Σε περίπτωση διάρρηξης της μεμβράνης, τα υπόγεια νερά θα διαρρεύσουν αναπόφευκτα στην εσωτερική επιφάνεια της σήραγγας σε οποιοδήποτε κατασκευαστικό αρμό της επένδυσης ή ρωγμή, κατά ένα σημαντικό μήκος της επένδυσης της σήραγγας.

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών, έχουν δημιουργηθεί μία ψεκαζόμενες πολυμερείς μεμβράνες με βάση το νερό (ενδεικτικά DEGUSSA Masterseal 345) [12].

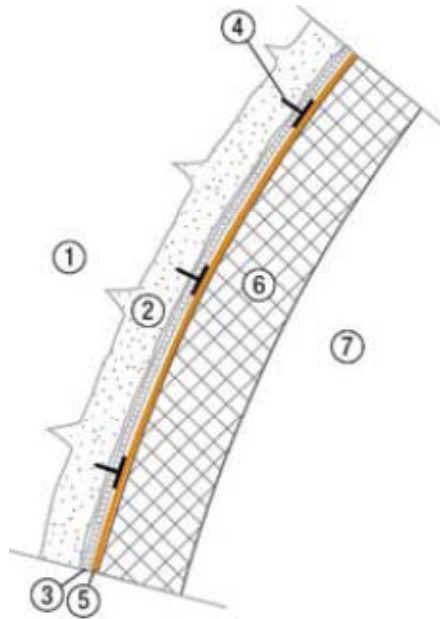
Η ψεκαζόμενες αυτές μεμβράνες αναπτύσσουν εξαιρετική συνοχή διπλής όψεως (0,8 έως 1,3 MPa), κάτι το οποίο επιτρέπει τη χρήση της σε σύνθετες κατασκευές, αποτρέποντας έτσι αποτελεσματικά τη δημιουργία των όποιων πιθανών αυλακιών υπόγειων νερών στη διεπαφή μεμβράνης-σκυροδέματος. Το προϊόν διαθέτει επίσης ελαστικότητα από 80 έως 140%, σε μία μεγάλη κλίμακα θερμοκρασιών, κάτι το οποίο του επιτρέπει να γεφυρώνει τις ρηγματώσεις που τυχόν δημιουργούνται στη δομή του σκυροδέματος. Καθώς έχει ως βάση το νερό και δεν περιέχει επικίνδυνα συστατικά, η χρήση και εφαρμογή του σε κλειστούς χώρους είναι ασφαλής. Το προϊόν μπορεί να εφαρμοστεί με ψεκασμό με χρήση μίας ελικοειδούς αντλίας και απαιτεί δύο χειριστές για εφαρμογή έως 50 m<sup>2</sup>/hr, ιδίως στις πιο σύνθετες γεωμετρίες σηράγγων, όπου η χρήση φύλλων μεμβράνης παρουσιάζει πάντα κάποιους περιορισμούς.

Σε εφαρμογές επενδύσεων μονού κελύφους, το υλικό εφαρμόζεται μετά την πρώτη στρώση του μόνιμου εκτοξευόμενου σκυροδέματος οπλισμένου με ίνες, όπου η επιφάνεια του τοποθετημένου σκυροδέματος πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο επίπεδη, ώστε να επιτρέπει μία οικονομική εφαρμογή της μεμβράνης, πάχους 3 mm κατ' ελάχιστον (καλύπτοντας επίσης όλες τις ίνες). Μία δεύτερη στρώση μόνιμου εκτοξευόμενου σκυροδέματος οπλισμένου με ίνες χάλυβα, μπορεί να εφαρμοστεί στη συνέχεια στο εσωτερικό. Καθώς η δύναμη συνοχής μεταξύ του στεγανωτικού και των δύο στρώσεων του μόνιμου εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι περίπου 1 MPa, η δομή μπορεί να δράσει μονολιθικά, με την ψεκαζόμενη μεμβράνη να παρουσιάζει αντοχή έως 15 bar. Καθώς η εφαρμογή αυτή δε λαμβάνει υπ' όψιν την αποστράγγιση νερού, η δεύτερη στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πρέπει να έχει μελετηθεί έτσι ώστε να αντέχει σε τυχόν υδροστατικά φορτία κατά τη διάρκεια εξυπηρέτησης της κατασκευής.

### **3.2.2 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΡΓΟΥ – Η ΠΑΡΑΚΑΜΨΗ ΤΟΥ LUNGERN**

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται λεπτομέρειες ενός ενδεικτικού υπογείου έργου (σήραγγας) που κατασκευάστηκε με χρήση Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος. Οι πληροφορίες προέρχονται από τη βιβλιογραφία [22]. Πρόκειται για τμήμα του αυτοκινητοδρόμου A8 που συνδέει την κεντρική Ελβετία (περιοχή της Λουκέρνης) με την περιοχή του Τουν. Μέρος του έργου αποτελεί η παράκαμψη του Lungern, ένα έργο συνολικού μήκους 4,25 km που διοχετεύει την κυκλοφορία μέσω του βουνού. Η σήραγγα έχει μήκος 3.57 km και δέχεται κυκλοφορία δύο κατευθύνσεων. Στην κύρια σήραγγα συνδέεται μία παράλληλη σήραγγα ασφαλείας, καθώς επίσης και τέσσερις προσβάσεις για συντήρηση. Τέλος, στο νότιο τμήμα της προβλέφθηκε κατά τη μελέτη και κατασκευή διαπλάτυνση του μετώπου με στόχο τη μετέπειτα σύνδεσή της με άλλη σήραγγα.

Μετά την εκσκαφή με τη μέθοδο drill & blast, η διπλή επένδυση του εσωτερικού της σήραγγας διαμορφώθηκε συμβατικά, με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για στήριξη του βράχου και έγχυτο για την εσωτερική, φέρουσα στρώση (Εικόνα 3.7). Η σήραγγα εξασφαλίστηκε από διαρροές νερού με χρήση πολυμερών μεμβρανών. Το σύστημα υδατοστεγανότητας σχεδιάστηκε για περίοδο χρήσης 80 ετών και για οι κατασκευές σκυροδέματος για 100 έτη.



**Εικόνα 3.7** Διαμόρφωση της επένδυσης της σήραγγας του Lungern – ως 2 και 6 σημειώνονται η εξωτερική και εσωτερική στρώση σκυροδέματος αντιστοίχως [22].

Σημειώνεται ότι στις τέσσερις προσβάσεις ασφαλείας, καθώς και στην προετοιμασία της σύνδεσης με τη μελλοντική σήραγγα, αλλά και στις εγκάρσιες συνδέσεις με τη σήραγγα ασφαλείας, το τόξο δε διαμορφώθηκε με έγχυτο σκυρόδεμα όπως στην κύρια σήραγγα, αλλά με Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα. Αυτό οδήγησε σημαντικές μειώσεις κόστους (βλέπε και προηγούμενη παράγραφο της εργασίας) αλλά δημιούργησε ιδιαίτερες απαιτήσεις από τον εργολάβο (με δεδομένη την αυξημένη δυσκολία εφαρμογής της μεθόδου).

Κατά την κατασκευή της σήραγγας, μετά την εκσκαφή, το μέτωπο σταθεροποιείται άμεσα με αγκύρια τριβής μήκους 5 m και η επιφάνειά του υποστηρίζεται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Εικόνα 3.8). Επιπλέον εργασίες σταθεροποίησης της περιοχής του μετώπου πραγματοποιούνται στη συνέχεια, οι οποίες περιλαμβάνουν την τοποθέτηση διπλού πλέγματος οπλισμού και νέας στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Τέλος, διαμορφώνεται μία λεπτή στρώση 3 cm από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που λειτουργεί ως φορέας (βάση) για τις μεμβράνες του συστήματος υδατοστεγανότητας.

Η στρώση – φορέας των μεμβρανών είναι απαραίτητο μέρος του συστήματος υδατοστεγανότητας. Για να επιτευχθεί μία αξιόπιστη και ανθεκτική σφράγιση θα πρέπει να τηρούνται αυστηρές προδιαγραφές. Στόχος της στρώσης είναι κυρίως να εξομαλύνει τις τραχείες και ασύμμετρες επιφάνειες των υποστρωμάτων, ώστε να είναι δυνατή η διάστρωση των μεμβρανών χωρίς πτυχώσεις και σε στενή επαφή με τα στρώματα αυτά. Οι παράμετροι που καθορίζουν την ποιότητα της στρώσης αυτής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος καθορίζονται από ειδικούς κανονισμούς. Τέτοιες παράμετροι είναι π.χ. η αποδεκτή ανομοιομορφία και ο μέγιστος κόκκος των αδρανών, τα οποία για τη συγκεκριμένη εφαρμογή πρέπει να είναι διπλής θραύσης. Σημαντικό είναι επίσης η επιφάνεια της στρώσης να μην έχει προεξοχές. Διαφορετικά, θα πρέπει να εφαρμοσθεί μία νέα, επιπλέον στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους τουλάχιστον 30 mm.



**Εικόνα 3.8** Υποστήριξη του μετώπου της σήραγγας του Lungern με αρχική στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος [22].

Οι απαιτήσεις που ορίστηκαν για τη στρώση – φορέα των υδατοστεγών μεμβρανών στο συγκεκριμένο έργο ήταν [22]:

- Απουσία χαλύβδινων ινών από την τελική επιφάνεια του εκτοξευόμενου σκυροδέματος
- Ελάχιστη ακτίνα 0,2 m
- Συντελεστής προεξέχοντος όγκου ως προς το βάθος  $\geq 10:1$
- Πάχος στρώσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος  $\geq 50$  mm
- Επιφανειακή τραχύτητα από 0 έως 8 mm
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας SC 2.

Η χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος για τη σταθεροποίηση της εκσκαφής απαιτεί τη λήψη κατάλληλων μέτρων στράγγισης (διευθέτησης) των υπογείων νερών, καθώς και εξασφάλισης της υδατοστεγανότητας του έργου. Ιδιαίτερα η στράγγιση πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επιβαρύνεται η κατασκευή από επιπλέον δράσεις λόγω του νερού. Για τη στράγγιση χρησιμοποιήθηκε ειδικού τύπου μεμβράνη από αφρώδες πολυαιθυλένιο, ενώ αντίστοιχα η υδατοστεγανότητα εξασφαλίστηκε μέσω ειδικών μεμβρανών από πολυμερή, που τοποθετήθηκαν όπως αναφέρθηκε παραπάνω ανάμεσα στις δύο στρώσεις σκυροδέματος. Η λεπτομερέστερη παρουσίαση των συστημάτων προστασίας από τα υπόγεια νερά ξεφεύγει από τους στόχους της εργασίας αυτής. Λεπτομέρειες μπορεί κανείς να αναζητήσει στη σχετική βιβλιογραφία [22].

Άλλο ένα ενδιαφέρον στοιχείο που έχει να κάνει με τη χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο συγκεκριμένο έργο είναι η αντιμετώπιση των κενών που πιθανόν δημιουργούνται όταν χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη τεχνική για την κατασκευή του κελύφους. Τα κενά αυτά οφείλονται στη συστολή ξήρανσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος του θόλου. Για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο, στα τμήματα της σήραγγας του Lungern που κατασκευάστηκαν εξ' ολοκλήρου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ελήφθησαν μέτρα (προεγκατάσταση σωληνώσεων και ελεγχόμενη δημιουργία κενών) ώστε να είναι δυνατή η πλήρωσή με ενεμάτωση μετά την οριστική κάθιση του σκυροδέματος.

Ιδιαίτερα μέτρα ελήφθησαν στο έργο και για τη μείωση της αναπήδησης. Χρησιμοποιήθηκαν πυκνά πλέγματα όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.9 που αγκυρώθηκαν σε συγκεκριμένες θέσεις σε μικρή απόσταση από την υδατοστεγή μεμβράνη, με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζεται κανάβος. Αρχικά έγινε αγκύρωση των πλεγμάτων στις θέσεις που προδιαγράφηκαν με χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Η αγκύρωση είναι απαραίτητη ώστε να αποφευχθεί η ταλάντωση του πλέγματος κατά την εκτόξευση της πρώτης στρώσης σκυροδέματος που θα μπορούσε να οδηγήσει σε διαχωρισμό και κακή ποιότητα του υλικού. Στη συνέχεια «γεμίζονταν» οι ενδιάμεσες περιοχές, ανάμεσα δηλαδή στους άξονες του κανάβου, με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ώστε να σχηματιστεί μία πρώτη «συνεχής» επιφάνεια από το υλικό. Ακολούθως, τοποθετήθηκαν αποστάτες στην πρώτη στρώση χαλύβδινου οπλισμού και συνεχίστηκε η σκυροδέτηση μέχρι την πλήρη κάλυψη της. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε η δεύτερη στρώση οπλισμού και συνεχίστηκε η εκτόξευση σκυροδέματος (δεύτερη στρώση) μέχρι το τελικό, επιθυμητό πάχος του στοιχείου θόλου, οπότε και γίνεται η διαμόρφωση (εξομάλυνση) της τελικής, εμφανούς εσωτερικής επιφάνειας της σήραγγας.

Όπως και στην πλειονότητα των έργων, η εκτόξευση έγινε με την υγρή μέθοδο πυκνής ροής, με χρήση συστήματος με ρομποτικό, αυτόματο βραχίονα με δυνατότητα κάθετης εκτόξευσης έως και 17 m. Για τη σύνθεση του σκυροδέματος ακολουθήθηκαν οι προδιαγραφές που αναφέρονται στον Πίνακα 3.2, ενώ στον Πίνακα 3.3 περιγράφονται οι διάφορες αντοχές που προδιαγράφηκαν ανάλογα με τη χρήση του υλικού στο έργο.

**Πίνακας 3.2** Βασικά στοιχεία της σύνθεσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε στη σήραγγα του Lungern [22]

Συστατικό	Ποσότητα
Τσιμέντο (kg)	400
Λόγος N/T	0,48
Μέγιστος κόκκος αδρανούς (mm)	8
Μειωτής νερού (%)	1
Επιταχυντής (%)	6





**Εικόνα 3.9** Το πλέγμα που χρησιμοποιήθηκε στο έργο της σήραγγας του Lungern για τον περιορισμό της αναπήδησης, κατά τη φάση της σκυροδέτησης του κανάβου [22].

**Πίνακας 3.3** Κατηγορίες αντοχής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε στη σήραγγα του Lungern [22]

Συστατικό	Κλάση εκτοξευόμενου σκυροδέματος	Κατηγορία θλιπτικής αντοχής
Αρχική υποστήριξη	SC2	C25/30
Υποστήριξη εκσκαφής	SC3	C25/30
Στρώμα φορέας της υδατοστεγούς μεμβράνης	SC2	C25/30
Εσωτερικό κέλυφος	SC4	C30/37

### 3.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΕΡΓΑ

Όπως γνωρίζουμε η πλειονότητα των κτιρίων στην Ελλάδα είναι κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος που κατασκευάστηκαν αρκετά πριν τη θέσπιση των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών. Είναι λογικό οι κατασκευές να ακολουθούν τον αντισεισμικό σχεδιασμό της εποχής που σχεδιάστηκαν και πολλές φορές κάποιες έχουν κατασκευαστεί εμπειρικά, χωρίς στατικούς υπολογισμούς [13].

Οι σεισμοί θέτουν σε ισχυρή δοκιμασία τις κατασκευές με αποτέλεσμα να προκαλούνται βλάβες που αποκαλύπτουν τόσο τις υπολογιστικές όσο και τις κατασκευαστικές ατέλειες των κτιρίων αυτών. Μια πολύ σημαντική αιτία εμφάνισης βλαβών από σεισμό στις κατασκευές είναι η αδυναμία εκτίμησης των χαρακτηριστικών της αναμενόμενης σεισμικής καταπόνησης κατά τη φάση σχεδιασμού του έργου.

Εκτός όμως από το σεισμό, βλάβες μπορούν να προκληθούν και από κάποια δυσμενή φορτία ή από ισχυρούς ανέμους που δεν λήφθηκαν σοβαρά υπ' όψη κατά τη φάση του σχεδιασμού της κατασκευής.

Διαπιστώνουμε ότι όσο εύκολη είναι η διαπίστωση των βλαβών ενός κτιρίου, τόσο δύσκολη είναι η αντιμετώπισή τους. Τα ερωτήματα που μπορεί να προκύψουν είναι πολλά και οι απαντήσεις τους δύσκολα βρίσκονται, όπως:

- Τι μέσα (υλικά, μέθοδοι, τεχνικές) διατίθενται για να επέμβει κανείς και κάτω από ποιες προδιαγραφές αυτά εφαρμόζονται;
- Ποιες κατασκευές έχουν προτεραιότητα να ενισχυθούν, και πώς θα προσδιοριστούν σε μεμονωμένη βάση;
- Μπορούν (ή αξίζει τον κόπο) να ενισχυθούν και μέχρι ποιο σημείο;
- Μήπως η λύση της κατεδάφισης και ανακατασκευής είναι προτιμότερη;
- Ποιο είναι το υπολογιστικό υπόβαθρο που είναι απαραίτητο στο μηχανικό για να τεκμηριώσει τις επιλογές του, και ποιες οι διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου των εργασιών;
- Ποια είναι η καταλληλότερη μέθοδος ενίσχυσης ενός κτιρίου;

Είναι απαραίτητο κάθε επιλογή επέμβασης στο κτίριο να αναλύεται τόσο από τεχνική πλευρά, όσο και από πλευρά κόστους και να συγκρίνεται με τις υπόλοιπες δυνατές λύσεις κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Το σημαντικότερο τμήμα μιας κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος είναι τα υποστυλώματα καθώς λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού πρέπει να οδηγούμαστε πρώτα σε αστοχία των δοκών. Οι βλάβες στα υποστυλώματα είναι από τις πιο συχνές και συγχρόνως οι σοβαρότερες αφού μπορεί να οδηγήσουν σε τμηματική ή ακόμη και ολική κατάρρευση της κατασκευής (Εικόνα 3.10). Έτσι συχνά ο μηχανικός οδηγείται στην ενίσχυση ή επισκευή των υποστυλωμάτων.



**Εικόνα 3.10** Αστοχία υποστυλώματος [13]

Η ενίσχυση ενός υποστυλώματος, αφορά την διαδικασία επέμβασης με την οποία θέλουμε να αυξήσουμε τη φέρουσα ικανότητα του ή γενικότερα να βελτιώσουμε τη συμπεριφορά του. Οι τεχνικές ενίσχυσης των υποστυλωμάτων μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με την αύξηση ή όχι της διατομής του υποστυλώματος.

Στην **πρώτη κατηγορία** ανήκουν οι τεχνικές στις οποίες δεν αυξάνεται η διατομή του υποστυλώματος και η ενίσχυση επιτυγχάνεται με ενεργή περίσφιγξη του στοιχείου. Η ενίσχυση αυτή μπορεί να γίνει με τη χρήση επικολλητών κολλάρων μεταλλικών ή FRP (Εικόνα 3.11), με τη χρήση προεντεταμένων κολλάρων από χάλυβα ή FRP (με τη μορφή ταινίας πακεταρίσματος), με τη χρήση σπειροειδούς οπλισμού, με ολόσωμο μανδύα από ινοπλισμένα πολυμερή ή ακόμη και με την τεχνική του μεταλλικού κλωβού.

Στην **δεύτερη κατηγορία** η ενίσχυση επιτυγχάνεται με αύξηση της διατομής του υποστυλώματος με νέες στρώσεις σκυροδέματος και νέους οπλισμούς, κατασκευάζοντας ένα μανδύα γύρω από το αρχικό στοιχείο. Στην περίπτωση αυτή βρίσκει εφαρμογή το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αντικαθιστώντας το συμβατικό που λόγω της φύσης της εργασίας και του περιορισμένου γενικά χώρου δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί. Συνοπτικά, ένα υποσύλωμα που πρόκειται να ενισχυθεί με μανδύα, αρχικά υποβάλλεται σε μία διαδικασία εκτράχυνσης της επιφάνειας του παλαιού σκυροδέματος, η οποία έχει προηγουμένως «καθαρισθεί» από σαθρό, φθαρμένο υλικό. Ακολούθως τοποθετείται και αγκυρώνεται όπως ορίζουν οι σχετικοί Κανονισμοί ο νέος οπλισμός (του μανδύα). Τέλος, με την πρέσα εκτοξεύεται το νέο σκυρόδεμα με σκοπό να ολοκληρωθεί η παρέμβαση (Εικόνα 3.12).



**Εικόνα 3.11** Επέμβαση με μεταλλικό κλωβό. [13]



**Εικόνα 3.12** Ενίσχυση υποστυλώματος με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος [13]

### **3.3.1 ΓΝΩΣΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ**

Οι τέσσερις περιπτώσεις που παρουσιάζονται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο δείχνουν τη χρησιμότητα του εκτοξευομένου σκυροδέματος στις ενισχύσεις κτιρίων. Οι πληροφορίες προέρχονται από την εργασία των Χατζηγιαννόπουλου Ι. και Μακρίδου Χ. για το 9<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο Επισκευές Κατασκευών [7].

Οι τέσσερις περιπτώσεις μελέτης είναι οι ακόλουθες:

- A) Το ξενοδοχείο και συνεδριακό κέντρο Hilton, στο San Jose, της Καλιφόρνιας: Τα τοιχεία του υπογείου είχαν αρχικά κατασκευαστεί από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα. Η χρήση του εκτοξευομένου σκυροδέματος ήταν η οικονομικότερη λύση. Επίσης αυτό το έργο συμπεριλαμβάνει την δεξαμενή αποθήκευσης νερού για το σύστημα προστασίας από πυρκαγιά.
- B) Η πλατεία Capitol στο Sacramento της Καλιφόρνιας: Αφορούσε την τοποθέτηση μεγάλων προκατασκευασμένων πλαισίων.
- Γ) Το κτίριο της Hewlett Packard στο Palo Alto της Καλιφόρνιας: Τα τοιχεία του υπογείου είχαν δημιουργηθεί από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκε και μείωσε κατά πολύ το κόστος και το χρόνο του έργου.
- Δ) Το Πανεπιστήμιο Stanford στο Palo Alto της Καλιφόρνιας: Αυτό το έργο είχε σημαντικό σεισμικό κίνδυνο, ήταν επίσης δύσκολο γιατί έπρεπε να ενσωματωθούν μεγάλες ποσότητες οπλισμού.

Πολλά στοιχεία είναι κοινά και στα τέσσερα έργα, στοιχεία όπως:

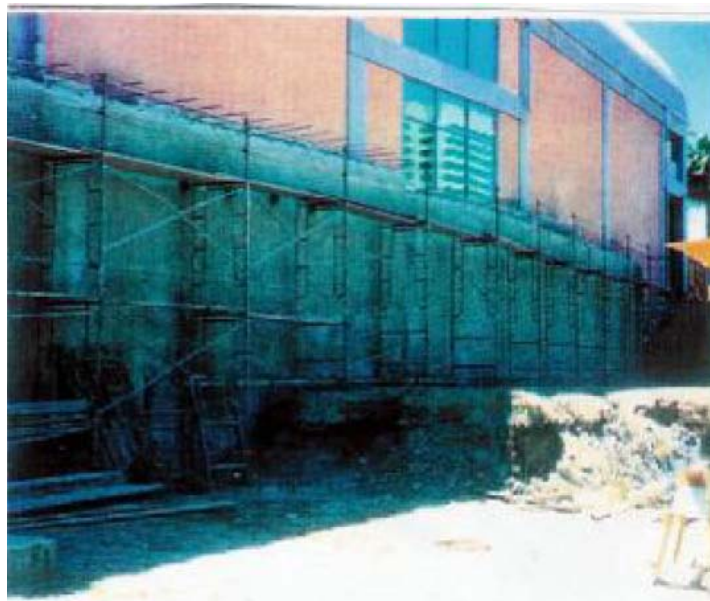
- Χρησιμοποιήθηκε η υγρή διαδικασία, με εξαίρεση την περίπτωση του Πανεπιστημίου Stanford όπου ελάχιστα χρησιμοποιήθηκε η ξηρή διαδικασία
- Η αντοχή σχεδιασμού ήταν 28 MPa
- Η παράδοση του υλικού γινόταν με φορητά έτοιμης ανάμιξης
- Η περιεκτικότητα σε τσιμέντο ήταν 390 Kgr/m<sup>3</sup>

#### **A) ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ HILTON**

Αυτό το έργο αφορούσε την ενίσχυση των θεμελίων και του υπογείου ενός 17-όροφου κτιρίου. Έγινε εγκιβωτισμός πάχους 235 έως 305 mm και ύψους 4,2 m δύο στρώσεων οπλισμού.

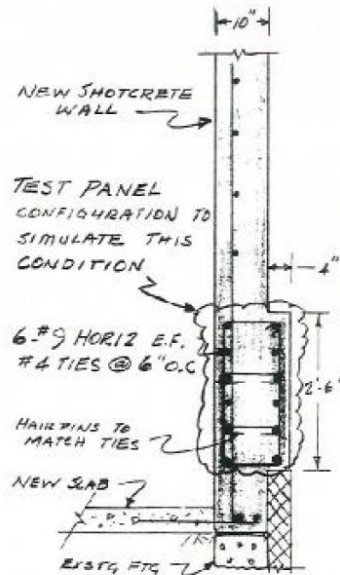
Μια εσωτερική δεξαμενή νερού, διαστάσεων : 6 m πλάτος, 24 m μήκος, 4 m ύψους και πάχους 254 mm χρησιμοποιείται σαν δεξαμενή αποθήκευσης νερού για το σύστημα προστασίας από πυρκαγιά. Αρχικά όλες οι μελέτες αφορούσαν στοιχεία από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα. Ο νότιος τοίχος είχε σχεδιαστεί να απέχει μόλις απόσταση από 305 mm έως 457 mm από το υπάρχον κέντρο συνεδριάσεων. Επειδή αυτός ο τοίχος δεν μπορούσε να διαστρωθεί από το εσωτερικό κατασκευάστηκε ένα εξωτερικό σύστημα από γύψο με μεταλλική υποστήριξη που προσκολλήθηκε στους τοίχους του συνεδριακού κέντρου και είχε συνδέσεις που μπορούσαν να αφαιρεθούν.

Όταν αφαιρέθηκαν οι συνδέσεις ο τοίχος παρέμεινε στη θέση του. Η νέα αυτή επιφάνεια δεν χρειαζόταν περαιτέρω μορφοποίηση και το μόνο που έπρεπε να γίνει ήταν να βαφτεί. Οι δυτικοί και βόρειοι τοίχοι μπόρεσαν να διαστρωθούν με εκσκαφή. Οι τοίχοι αυτοί και πάλι μορφοποιήθηκαν με μεταλλικά στηρίγματα που όμως στηριζόταν με προσωρινές ξύλινες συνδέσεις. Όταν σκλήρυνε το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα τότε τα προσωρινά στηρίγματα αφαιρέθηκαν (σε κάποιες περιπτώσεις τα μεταλλικά στοιχεία παρέμειναν, Εικόνα 3.13). Για τον ανατολικό τοίχο και το τοίχο της ράμπας χρησιμοποιήθηκαν κόντρα πλακέ για την μορφοποίησή τους.



**Εικόνα 3.13** Ένας από τους τοίχους του ξενοδοχείου Hilton όπου οι μεταλλικές υποστηρίξεις που χρησιμοποιήθηκαν παρέμειναν και δεν απομακρύνθηκαν [7]

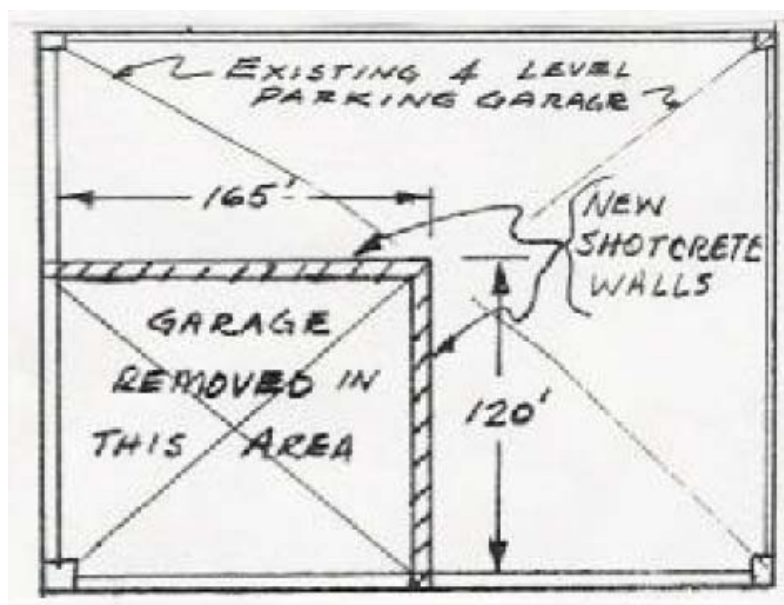
Η τοποθέτηση δεξαμενής νερού απαιτήσε των εγκιβωτισμό κάποιων χαλύβδινων υποστυλωμάτων σε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Ο οπλισμός που υπήρχε για την ενίσχυση του κτιρίου, ήταν ένα πρόβλημα. Για να προστατευτεί χρησιμοποιήθηκε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα χωρίς όμως κενά ή περιοχές άμμου. Παρακάτω (Εικόνα 3.14) παρουσιάζεται σε σκαρίφημα ο τρόπος εργασίας στο ξενοδοχείο Hilton.



Εικόνα 3.14 Ενδεικτικό σκαρίφημα των εργασιών στο ξενοδοχείο Hilton [7]

## B) ΠΛΑΤΕΙΑ CAPITOL

Αυτή η αποκατάσταση αφορούσε την καταστροφή ενός υπάρχοντος 4- ορόφου κτιρίου στάθμευσης, έτσι ώστε να δημιουργηθεί χώρος για την κατασκευή ενός κτιρίου γραφείων, όπως παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 3.15).



Εικόνα 3.15 Σκαρίφημα της πλατείας Capitol (όχι υπό κλίμακα) [7]



Λόγω του ελαχίστου χώρου που υπήρχε και του περιορισμένου χρόνου κατασκευής, οι νέοι τοίχοι κατασκευάστηκαν από σκυρόδεμα και είχαν διαστάσεις: 3,5 m πλάτος, 12 m ύψος και 235 mm πάχος. Υπήρχαν πολλές συνδέσεις στο έδαφος των νέων τοίχων μεταξύ τους αλλά και με τους προϋπάρχοντες.

Το κόστος κατασκευής ήταν μεγάλο και οδήγησε τον μηχανικό στην αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων. Για το λόγο αυτό επικράτησε σαν λύση το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που ήταν και η πλέον οικονομική. Ως οπλισμός χρησιμοποιήθηκαν δέσμες 4 ράβδων σε απόσταση 254 mm οριζόντια και δέσμες 4 ράβδων σε απόσταση 406 mm κατακόρυφα σε κάθε επιφάνεια. Οι Εικόνες 3.16 και 3.17 απεικονίζουν τους τοίχους από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε διάφορες φάσεις της κατασκευής του έργου.



**Εικόνα 3.16** Το έργο στην πλατεία Capitol όπου κατασκευάστηκαν δύο λεπτοί τοίχοι από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα [7]

### **Γ) ΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΤΗΣ HEWLETT PACKARD**

Το κτίριο έχει συνολικό εμβαδόν  $2320\text{m}^2$  και το υπόγειό του είναι εξ' ολοκλήρου κάτω από τη στάθμη του εδάφους. Οι τοίχοι του υπογείου ήταν διαστάσεων: πάχους από 457 έως 610mm και ύψος από 7,3m έως 7,9m, συνολικού εμβαδού  $1672\text{m}^2$  και αρχικά είχαν σχεδιαστεί από σκυρόδεμα κατασκευασμένο επί τόπου.

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκε γιατί η τελική διαμόρφωση τοίχων απαιτήσε μόνο τη μισή εργασία και ο χρόνος διάστρωσής του μειώθηκε στο μισό. Και μόνο ο χρόνος εργασίας που γλίτωσε ο εργολάβος ήταν ένα ενθαρρυντικό στοιχείο. Η εκσκαφή επέτρεψε τη διάστρωση του εκτοξευομένου σκυροδέματος πάνω σε κόντρα – πλακέ. Εξαιτίας των διαστάσεων και της απόστασης (δύο επίπεδα, ένα με πλέγμα 9 ράβδων και πλάτους 152mm και το δεύτερο με πλέγμα 4 ράβδων και πλάτους 305mm, των οπλισμών, κύριο μέλημά ήταν πως αυτός ο οπλισμός θα εγκιβωτιστεί σωστά.



**Εικόνα 3.17** Το έργο στην πλατεία Capitol στη φάση ολοκλήρωσης των τοιχείων, η χρωματική διαφορά είναι αποτέλεσμα της διαφορετικής τεχνικής αποπεράτωσης που χρησιμοποιήθηκε, για αρχιτεκτονικούς λόγους. [7]

Για τη σωστή διάστρωση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικά πλέγματα ειδικού τύπου (Εικόνα 3.18). Τα μεταλλικά αυτά πλέγματα έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι εύκολα να κατασκευαστούν και να τοποθετηθούν κυρίως κοντά στον οπλισμό και γύρω από τα υποστυλώματα. Επίσης ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι ότι τα πλέγματα αυτά μπορούν να εγκαταληφθούν στο τόπο του έργου, να μη γίνει δηλαδή απομάκρυνσή τους, χωρίς να δημιουργούν προβλήματα στην κατασκευή.

Η μέση παραγωγή σκυροδέματος που επετεύχθη ήταν της τάξεως των 54 έως 61m<sup>3</sup> ανά ημέρα και η διάστρωση έγινε σε σειρές πλάτους 1,2m.

Ιδιαίτερα μέτρα ελήφθησαν για την αποφυγή του υπερψεκασμού καθώς και για τον καθαρισμό των κόμβων μετά από κάθε διάστρωση. Για να είναι κάποιος κόμβος εύκολο να επαχρησιμοποιηθεί στο μέλλον, προτάθηκε η χρήση ενός προστατευτικού χαρτιού που με κλίση 45° θα προστατεύει τον κόμβο από τον υπερψεκασμό. Στο τέλος της διάστρωσης το χαρτί απομακρύνεται.

Η τελική μορφή των τοίχων, μετά την εκτόξευση του σκυροδέματος και πριν την κατασκευή των ακραίων υποστυλωμάτων παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.19.





**Εικόνα 3.18** Διάστρωση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο κτίριο της Hewlett Packard [7]



**Εικόνα 3.19** Διαστρωμένη επιφάνεια εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε τοίχους, πριν κατασκευή των ακραίων υποστυλωμάτων. Διακρίνονται και τα μεταλλικά ελάσματα που βοηθούν τη διάστρωση [7]

#### **Δ) ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ STANFORD**

Η επέμβαση στο κτίριο σχεδιάστηκε για να «αντέχει» υψηλά φορτία λόγω σεισμών. Τα τοιχεία που κατασκευάστηκαν κυμαίνονται σε πάχος από 457 έως 559 mm με βαρύ οπλισμό ενίσχυσης (Εικόνα 3.20). Για να διαστρωθεί σωστά το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα έπρεπε να τραχυνθούν οι υπάρχουσες επιφάνειες. Για τη διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας χρησιμοποιήθηκαν και προκατασκευασμένα πλαίσια. Το κενό μεταξύ της αρχικής επιφάνειας και της νέας στρώσης είναι της τάξεως των 1,6 mm. Όταν χρησιμοποιούνται προκατασκευασμένα πλαίσια καλό είναι να υπάρχουν τρεις χειριστές που θα διαστρώνουν ταυτόχρονα το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.. Αυτό γίνεται για να μην υπάρχουν κενά και περιοχές συγκέντρωσης άμμου. Η λύση του εκτοξευομένου σκυροδέματος ήταν η πλέον οικονομική και γι' αυτή την εφαρμογή.

Ο ρυθμός της διάστρωσης ήταν πολύ σημαντικός. Για να μειωθεί το κενό στη κορυφή των τοίχων η διάστρωση σε αυτό το σημείο έπρεπε να έχει πάχος 152 mm. Για παρόμοιους λόγους η διάστρωση πρέπει να γίνει υπό γωνία 45°.

Η τράχυνση της επιφάνειας έγινε με τη χρήση σφυριών έτσι ώστε να προκύψουν αυλάκια βάθους  $\pm 6$  mm.

Πάρθηκαν δοκίμια από πολλές περιοχές του έργου. Τα κενά που δημιουργήθηκαν από τη διαδικασία αυτή καλύφθηκαν με τη χρήση εποξειδικής ρητίνης. Λόγω του πυκνού οπλισμού (Εικόνα 3.21) και της ελάχιστης απόστασης που υπήρχε, η ικανότητα του χειριστή ήταν ένα πολύ σημαντικό στοιχείο. Καθημερινά γίνονται έλεγχοι ποιότητας. Επίσης έγιναν έλεγχοι και στα δοκίμια που ελήφθησαν από το έργο.



**Εικόνα 3.20** Ολοκληρωμένα τοίχεία στο έργο του Πανεπιστημίου Stanford [7]



**Εικόνα 3.21** Η χειρότερη περίπτωση όσον αφορά την πυκνότητα του οπλισμού στο έργο του πανεπιστημίου Stanford [7]

### **3.3.2 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ**

Αν και η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή του σε κτιριακά έργα αφορά τις επεμβάσεις σε υπάρχοντα, το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μπορεί να δώσει λύσεις και στην περίπτωση νέων κτιριακών κατασκευών. Οι φωτογραφίες που ακολουθούν (Εικόνες 3.22 έως και 3.28) προέρχονται από τη βιβλιογραφία [14] και παρουσιάζουν διάφορες φάσεις ενός τέτοιου έργου.



**Εικόνα 3.22** Τοποθέτηση ξυλοτύπου και οπλισμού στο προς κατασκευή στοιχείο (τοιχείο) [14]



**Εικόνα 3.23** Σταδιακή εκτόξευση σκυροδέματος στο στοιχείο [14]





**Εικόνα 3.24** Τμήμα του έργου κατά την εκτέλεση των εργασιών σκυροδέτησης [14]



**Εικόνα 3.25** Εκτόξευση σκυροδέματος, πρώτη στρώση [14]



**Εικόνα 3.26** Εκτόξευση της τελικής στρώσης [14]



**Εικόνα 3.27** Εξομάλυνση της τελικής επιφάνειας [14]



**Εικόνα 3.28** Γενική όψη του έργου μετά τη σκυροδέτηση [14]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για λόγους ταχύτητας, ευελιξίας και οικονομίας, αποκτά όλο και περισσότερη σημασία στην κατασκευή ή αποκατάσταση και ενίσχυση των τεχνικών έργων τις τελευταίες δεκαετίες.

Οι βασικές εφαρμογές του περιλαμβάνουν, στον τομέα των υποδομών, τα έργα υποστήριξης σηράγγων ή και κατασκευής του κελύφους αυτών και στα κτιριακά έργα τις επισκευές και ενισχύσεις, αλλά και την κατασκευή νέων έργων.

Οι σύγχρονες προδιαγραφές ρυθμίζουν όλες τις λεπτομέρειες που αφορούν τη σύνθεση και τα μηχανικά κλπ. χαρακτηριστικά του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Οι περισσότερες δοκιμές και διαδικασίες είναι αντίστοιχες με αυτές του συμβατικού σκυροδέματος, με διαφοροποιήσεις που σχετίζονται με τις ιδιαίτερες συνθήκες των έργων στα οποία χρησιμοποιείται το εκτοξευόμενο (π.χ. αυξημένες απαιτήσεις επιφανειακής σκληρότητας και υδατοστεγανότητας σε υπόγεια έργα).

Λόγω των ιδιαίτερων διαδικασιών παραγωγής και χρήσης του υλικού, οι διάφορες προδιαγραφές θέτουν συγκεκριμένες απαιτήσεις για τους ελέγχους του τελικού προϊόντος, την υγιεινή και ασφάλεια καθώς και την εξειδίκευση του προσωπικού.

Για τα έργα που χρησιμοποιείται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πρέπει να χρησιμοποιείται εξειδικευμένο προσωπικό. Ο χειριστής και ο εργολάβος πρέπει να είναι άτομα με μεγάλη εμπειρία έτσι ώστε το έργο να ολοκληρωθεί σωστά και μέσα στο χρόνο προγραμματισμού.

Οι νέες εξελίξεις που αφορούν τα πρόσθετα σκυροδέματος και τα συστατικά παραγωγής, τα τσιμέντα και τις μεθόδους εφαρμογής ανοίγουν ορίζοντες σε νέες εφαρμογές και καθιστούν δυνατή την παραγωγή εκτοξευόμενου σκυροδέματος για επίτευξη υψηλότερων απαιτήσεων αντοχής και ανθεκτικότητας και με ακόμα μικρότερο κόστος.

Η τελευταία παράμετρος, το χαμηλό κόστος δηλαδή, είναι και η κύρια αιτία για την οποία το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα έχει αντικαταστήσει το συμβατικό σε μεγάλα έργα όπως αυτά που παρουσιάστηκαν στην εργασία.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. <http://www.interbeton.gr/default.asp?pageid=38&langid=1>
- [2]. Σημειώσεις εργαστηριακού μαθήματος «Οπλισμένο Σκυρόδεμα», Θ. Γεωργόπουλος και Δ. Παγανός, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Τ.Ε.Ι. Πάτρας.
- [3]. [http://www.protesol.gr/index.php?option=com\\_glossary&Itemid=200&id=24&letter=%CE%93](http://www.protesol.gr/index.php?option=com_glossary&Itemid=200&id=24&letter=%CE%93)
- [4]. [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/P\\_KONIAMATA/ko6.4.htm](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko6.4.htm)
- [5]. [http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/uses-concrete/paron\\_skurodema\\_ypsilis\\_antoxis/](http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/uses-concrete/paron_skurodema_ypsilis_antoxis/)
- [6]. «Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα – Διάλεξη 5<sup>η</sup>», Αλ. Σοφιανός και Χ. Μιχαηλίδης, Αθήνα, 2012
- [7]. «Εκτοξεύοντας το σκυρόδεμα», Αλεξοπούλου Χριστίνα, 9ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών – 03»
- [8]. «Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα», Μαυρίδης Κυριάκος, 10ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών – 04»
- [9]. «Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υπογείων έργων και σηράγγων», Ελληνική Τεχνική Προδιαγραφή ΕΛΟΤ ΤΟ 1501-12-03-02-00:2009
- [10]. «Ποιοτικός έλεγχος εκτοξευόμενου σκυροδέματος», Δρόλιας Απόστολος και Κιούρτης Αθανάσιος, Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών»
- [11]. «Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα», Κουτρουβέλη Θεοφανώ και Παύλου Ευαγγέλια, 15ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών»
- [12]. Επενδύσεις σηράγγων μονολιθικού κελύφους με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα Θ. Β. Παναγιωτίδης, Πολιτικός Μηχανικός.
- [13]. «Ενίσχυση υποστυλωμάτων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος», Καΐρης Στέφανος και Χατζηβασιλειάδης Αναστάσιος, 14<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών»
- [14]. <http://www.saimm.co.za/Conferences/Shotcrete2009/06%20Structural%20Shotcrete%20Specifications.pdf>
- [15]. [http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/uses-concrete/paron\\_skurodema\\_ypsilis\\_antoxis/](http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/uses-concrete/paron_skurodema_ypsilis_antoxis/)
- [16]. «Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και περιπτώσεις εφαρμογής του», Χατζηγιαννόπουλος Ιωάννης και Μακρίδου Χριστίνα, 9ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών – 03»
- [17]. «Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην κατασκευή, αποκατάσταση και ενίσχυση τεχνικών έργων», Χαρίτου Δήμητρα, Καδόγλου Στυλιανός και Τοτολίδου Ευτυχία, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης
- [18]. Φυλλάδιο «Συστήματα Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος Sika Τεχνολογία και Προτάσεις για την παραγωγή Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος».
- [19]. «Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε έργα επεμβάσεων», Α μέρος, άρθρο του Στέφανου Η. Δρίτσου, Καθηγητή Πανεπ. Πατρών.
- [20]. «Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε έργα επεμβάσεων», Β μέρος, άρθρο του Στέφανου Η. Δρίτσου, Καθηγητή Πανεπ. Πατρών.

- [21]. «Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα: Ορισμοί, μέθοδοι, κανονισμοί, τεχνολογικές εξελίξεις»  
άρθρο του Θεολόγου Παναγιωτίδη, Πολιτικού Μηχανικού
- [22]. [http://www.tunnel-online.info/en/artikel/tunnel\\_2012-03\\_Lungern\\_Bypass\\_Sprayed\\_Concrete\\_Application\\_directly\\_onto\\_Polymer\\_1419500.html](http://www.tunnel-online.info/en/artikel/tunnel_2012-03_Lungern_Bypass_Sprayed_Concrete_Application_directly_onto_Polymer_1419500.html)
- [23]. [http://ektoxetineftis.com.gr/gallery\\_images/product\\_38\\_1da15f824165522869d860aae5a50e94.jpg](http://ektoxetineftis.com.gr/gallery_images/product_38_1da15f824165522869d860aae5a50e94.jpg)
- [24]. [http://ektoxetineftis.com.gr/gallery\\_images/product\\_38\\_4b3db1b6d160e489a7ce54a6bfa6786a.jpg](http://ektoxetineftis.com.gr/gallery_images/product_38_4b3db1b6d160e489a7ce54a6bfa6786a.jpg)