

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΕΙΔΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΣΟΦΙΑ ΚΟΛΙΑΒΑΣΙΛΗ - ΣΟΦΙΑ ΔΑΣΚΑΛΑΚΗ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΔΙΟΝΥΣΗΣ ΜΠΗΣΚΙΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2009

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΙΔΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΣΟΦΙΑ ΚΟΛΙΑΒΑΣΙΔΗ - ΣΟΦΙΑ ΔΑΣΚΑΛΑΚΗ
ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΙΟΝΥΣΗΣ ΜΠΙΣΚΙΝΗΣ**

ΠΑΤΡΑ 2009

Περιεχόμενα

I.	Περίληψη	1
II.	Εισαγωγή	3
<u>III. Μέρος Α</u>		
1.	Ειδικά σκυροδέματα	9
1.1	Αντλήσιμο σκυρόδεμα	9
1.1.1	Σύνθεση	9
1.1.2	Εργασιμότητα – Συνεκτικότητα	11
1.2	Σκυρόδεμα για περιοχές με κίνηση οχημάτων	11
1.3	Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής	12
1.4	Σκυρόδεμα υποβρύχιων κατασκευών	14
1.4.1	Σύνθεση	15
1.5	Ελαφροσκυρόδεμα	15
1.5.1	Παραγωγή Ελαφροσκυροδέματος	16
1.5.2	Πυκνότητα	17
1.6	Σκυρόδεμα με αυξημένη πυραντίσταση	18
1.6.1	Η παραγωγή και τα συστατικά του σκυροδέματος με αυξημένη πυραντίσταση	19
1.6.2	Μηχανισμοί συμπεριφοράς σε φωτιά	19
1.7	Σκυρόδεμα επένδυσης σηράγγων	20
1.7.1	Παραγωγή και σύνθεση	20
1.8	Αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα διαμόρφωσης εξωτερικών χώρων	21
1.8.1	Περιγραφή υλικού	21
1.8.2	Πλεονεκτήματα χρήσης	21
1.9	Σκυρόδεμα πλήρωσης ορυγμάτων - κοιλοτήτων	22
1.9.1	Περιγραφή υλικού	22
1.9.2	Πλεονεκτήματα χρήσης	22
1.10	Ινοπλισμένο σκυρόδεμα	23
1.10.1	Γενικά	23
1.10.2	Παραγωγή	25
1.10.2.1	Σύνθεση Ινοπλισμένου σκυροδέματος	25
1.10.2.2	Ιδιότητες Ινοπλισμένου σκυροδέματος	27
1.10.3	Εφαρμογές Ινοπλισμένου σκυροδέματος	29
1.10.4	Τρόποι εφαρμογής	29
1.10.4.1	Αεροστατική εφαρμογή	29
1.10.4.2	Μέθοδος αρχικής ανάμειξης	30
1.10.4.3	Μέθοδος ψεκασμού (εκτοξευόμενο ινοπλισμένο σκυρόδεμα)	30
1.10.4.4	Στερεοποίηση	30

2. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	31
2.1 Γενικά	31
2.2 Ιστορικό	32
2.3 Τεχνικές μέθοδοι εκτόξευσης Εκτοξευόμενου σκυροδέματος	35
2.3.1 Ξηρή μέθοδος	35
2.3.2 Υγρή μέθοδος	36
2.4 Σύνθεση Εκτοξευόμενου σκυροδέματος	40
2.4.1 Τσιμέντο και νερό	42
2.4.2 Αδρανή	43
2.4.3 Πρόσθετα – Πρόσμικτα	45
2.4.4 Τυπική μελέτη σύνθεσης	48
2.5 Απαιτήσεις αντοχής	51
2.5.1 Περιεκτικότητα σε χλώριο	51
2.5.2 Περιεκτικότητα σε αλκάλιο	51
2.6 Απαιτήσεις σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες	52
2.7 Προετοιμασία επιφάνειας διάστρωσης	52
2.7.1 Επιφάνεια σκυροδέματος	52
2.7.2 Επιφάνεια τοιχοποιίας	54
2.7.3 Επιφάνεια χάλυβα	54
2.7.4 Επιφάνεια καλουπιών	55
2.8 Εκτόξευση σκυροδέματος	56
2.9 Διαμόρφωση τελικής επιφάνειας	66
2.10 Συντήρηση	66
2.11 Ανακλώμενο και υπερψεκαζόμενο υλικό	68
2.12 Έλεγχοι	69
2.12.1 Οπτικός έλεγχος	70
2.12.2 Γεωμετρικός έλεγχος	74
2.12.3 Μηχανικός (κρουστικός) έλεγχος	75
2.12.4 Εργαστηριακός έλεγχος	75
2.12.5 Έλεγχος θλιπτικής αντοχής	79
2.12.6 Έλεγχος συνάφειας	81
3. Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (Self-Compacting concrete)	84
3.1 Γενικά	84
3.2 Χαρακτηριστικά σύνθεσης και αναλογίες	87
3.3 Ιδιότητες εφαρμοσμένης μηχανικής στο Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα	93
3.3.1 Σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα	93
3.3.2 Ερπυσμός	95
3.3.3 Συντελεστής θερμικής επέκτασης	95
3.3.4 Αντίσταση πυρκαγιάς	96
3.3.5 Ικανότητα διάρκειας	97
3.4 Κατηγορίες Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος	99

3.4.1 Το Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με βάση την μέθοδο σύνθεσης	99
3.4.2 Το Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με βάση τον βαθμό συμπύκνωσης	100
3.5 Ιδιότητες νωπού Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος	102
3.6 Ιδιότητες στερεού Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος	108
3.7 Πλεονεκτήματα Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος	109
3.8 Ανάμιξη Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος	112
3.8.1 Εγκαταστάσεις ανάμιξης	112
3.8.2 Φορτηγά ανάμιξης	113
3.9 Η μεταφορά, η άντληση και η συντήρηση του Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος	115
3.9.1 Η μεταφορά	115
3.9.2 Επίβλεψη κατά την διάστρωση και ικανότητες προσωπικού	116
3.9.3 Η άντληση και η συντήρηση του Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος	116
3.9.4 Σχέδιο εγκιβωτισμού	119
3.9.5 Τοποθέτηση Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος	123
3.9.6 Ολοκλήρωση πλακών	126
3.10 Προκατασκευασμένα προϊόντα από Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα	127
3.10.1 Προδιαγραφή για προκατασκευασμένα προϊόντα	127
3.10.2 Σχέδιο μιγμάτων Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος για τα προκατασκευασμένα προϊόντα	128
3.10.3 Φόρμες	129
3.10.4 Παραγωγή προκατασκευασμένων προϊόντων σε εργοστάσια	129
3.10.5 Τοποθέτηση Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος στην προκατασκευή	130
3.11 Πειραματική αξιολόγηση μερικών παραμέτρων ανθεκτικότητας του Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος	131
3.12 Συστάσεις για μελέτη και κατασκευή	133
3.13 Εφαρμογές Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος στην Ευρώπη	136
3.14 Σύγκριση κόστους	140
3.15 Συμπεράσματα Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος	141
4. Κυλινδρούμενο σκυρόδεμα	142
4.1 Γενικά	142
4.2 Αντικείμενο εργασιών	142
4.3 Χαρακτηριστικά υλικών	147
4.4 Μέθοδος εκτέλεσης της εργασίας	151

4.4.1	Εργαστηριακή μελέτη σύνθεσης κυλινδρούμενου σκυροδέματος	151
4.4.2	Δοκιμαστικό τμήμα	153
4.4.3	Ανάμιξη	155
4.4.4	Μεταφορά και διάστρωση	156
4.4.5	Συμπύκνωση	158
4.4.6	Θερμοκρασιακοί περιορισμοί	159
4.4.7	Συντήρηση και προστασία – σύνδεση μεταξύ στρώσεων	161
4.5	Κριτήρια αποδοχής τελειωμένης εργασίας	166
4.5.1	Έλεγχος αντοχής κυλινδρούμενου σκυροδέματος	166
4.5.2	Έλεγχος συμπύκνωσης	167
4.5.3	Έλεγχος αδρανών	170
4.5.4	Έλεγχος υγρασίας	170
4.5.5	Έλεγχος θερμοκρασίας διαστρωμένου μίγματος	170
IV. ΜΕΡΟΣ Β		
5.	Νέες μέθοδοι παραγωγής σκυροδέματος	173
5.1	Οι τάσεις στην αγορά	173
5.2	Απαιτήσεις για τον εξοπλισμό μιας μονάδας παραγωγής σκυροδέματος	175
5.2.1	Κατηγορία “Α”	175
5.2.2	Κατηγορία “Β”	176
5.2.3	Κατηγορία “Γ”	177
5.3	Παραγωγική διαδικασία – πιστοποιητικά	179
5.3.1	Κατηγορία “Α”	180
5.3.2	Κατηγορία “Β”	181
5.3.3	Κατηγορία “Γ”	182
5.4	Κριτήρια αποδοχής εργασιών	187
5.5	Προστασία εργαζομένων	187
5.6	Παραγωγή αδρανών υλικών σκυροδέματος από ανακύκλωση και άλλες δευτερογενείς πηγές	197
5.6.1	Γενικά	197
5.6.2	Μέθοδοι ανακύκλωσης παλαιών σκυροδεμάτων	200
5.6.2.1	Αυτοφερόμενα συγκροτήματα ανακύκλωσης	201
5.6.2.2	Μόνιμα συγκροτήματα ανακύκλωσης.	202
5.6.3	Διαδικασία παραγωγής	207
5.6.4	Επανάκτηση υλικών από υπολείμματα σκυροδέματος	214
5.6.5	Ανακύκλωση υπολειμμάτων σκυροδέματος στη βιομηχανία προκατασκευών	216
5.6.6	Οικονομική θεώρηση	217
V.	Βιβλιογραφία	219

I. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να διερευνήσει συνοπτικά το γνωστικό αντικείμενο: «Ειδικές κατηγορίες σκυροδέματος και νέες μέθοδοι παραγωγής».

Στο πρώτο μέρος της εργασίας γίνεται αναφορά σε ορισμένες κατηγορίες ειδικών σκυροδεμάτων αναλύοντας τις συνθέσεις, τα χαρακτηριστικά, τα πλεονεκτήματα και τις χρήσεις τους. Αναλυτικότερα τα ειδικά σκυροδέματα τα οποία πραγματεύεται η εργασία είναι τα εξής: Αντλήσιμο σκυρόδεμα, Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, Σκυρόδεμα υποβρύχιων κατασκευών, Ελαφροσκυρόδεμα, Σκυρόδεμα με αυξημένη πυραντίσταση, Σκυρόδεμα επένδυσης σηράγγων, Αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα διαμόρφωσης εξωτερικών χώρων, Σκυρόδεμα πλήρωσης ορυγμάτων – κοιλοτήτων και Ινοπλισμένο σκυρόδεμα.

Στο πρώτο μέρος της εργασίας γίνεται επίσης εξέταση των επιμέρους ειδικών σκυροδεμάτων: Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (κεφ. 2), Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (SCC) (κεφ. 3), Κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (RCC) (κεφ. 4).

Για το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αναφέρονται ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά σχετικά με τις ιδιότητες και τις χρήσεις του. Παρουσιάζονται τα υλικά, ο απαιτούμενος εξοπλισμός, τα λαμβανόμενα μέτρα συντήρησης και οι απαραίτητοι έλεγχοι για την διαπίστωση της ποιότητας και την εκτίμηση βασικών χαρακτηριστικών.

Όσον αφορά το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά σύνθεσής του και οι ιδιότητες στη εφαρμοσμένη μηχανική καθώς και αυτές του νωπού και στερεού σκυροδέματος. Αναλύονται οι κατηγορίες του και οι μέθοδοι παραγωγής του. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στα προκατασκευασμένα στοιχεία αλλά και σε διάφορες εφαρμογές του στην Ευρώπη.

Σχετικά με το κυλινδρούμενο σκυρόδεμα, η εργασία, εστιάζει στην κατασκευή φραγμάτων, αναλύοντας τα χαρακτηριστικά των υλικών σύνθεσης του, τις μεθόδους εκτέλεσης των εργασιών για την κατασκευή, αλλά και τους απαραίτητους ελέγχους για την διαπίστωση της ποιότητας και της εκτίμησης των βασικών χαρακτηριστικών του.

Το δεύτερο τμήμα της εργασίας περιλαμβάνει νέες μεθόδους παραγωγής σκυροδέματος με κινητά και μόνιμα συγκροτήματα, αναλύοντας τις απαιτήσεις για το εξοπλισμό των μονάδων και την παραγωγική διαδικασία. Αναφέρεται εκτενέστερα στην νέα μέθοδο παραγωγής αδρανών υλικών σκυροδέματος από ανακυκλωμένα υλικά.

II. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λέξη σκυρόδεμα προέρχεται από τη σύνδεση δύο λέξεων: «σκύρα» (μικρά κομμάτια σπασμένης πέτρας, χαλίκια) και «δένω».

Το σκυρόδεμα είναι ένα υλικό που παρέχει πολλά πλεονεκτήματα στην κατασκευή δομικών στοιχείων και ογκωδών τεχνικών έργων. Παράγεται με την ανάμειξη κατάλληλου μίγματος αποτελούμενο από:

- Αδρανή υλικά
- Τσιμέντο
- Νερό
- Βελτιωτικά πρόσθετα-πρόσμικτα

Οι αυστηρές διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος του 1997 προβλέπουν τις ελάχιστες δοσολογίες των πρώτων υλών ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της προβλεπόμενης εφαρμογής του σκυροδέματος.

Το σκυρόδεμα θεωρείται το οικονομικότερο και ασφαλέστερο οικοδομικό υλικό. Είναι πολύ εύπλαστο, αφού μπορεί, όταν είναι νωπό, να λάβει οποιαδήποτε μορφή, χαρακτηρίζεται δε από ιδιαίτερες ιδιότητες που προσφέρουν ανθεκτικότητα και προστασία σε διάφορα δυσμενή περιβάλλοντα. Σε συνεργασία με ράβδους από χάλυβα μπορεί να δώσει στοιχεία και κατασκευές, που επιδεικνύουν υψηλή αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό.

Με τη σημερινή του μορφή πρωτοχρησιμοποιήθηκε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ενώ μετά το 1950 η χρήση του γενικεύτηκε, καθιστώντας το σήμερα το κυριότερο, παγκοσμίως, υλικό κατασκευών με τη μορφή του οπλισμένου σκυροδέματος.

Θεωρείται το οικονομικότερο και ασφαλέστερο οικοδομικό υλικό, με εξαιρετική σχέση κόστους-παρεχόμενων ιδιοτήτων. Επειδή το έτοιμο σκυρόδεμα έχει πολύ μικρή διάρκεια ζωής (εντός 11/2 ώρας από την παρασκευή του πρέπει να χρησιμοποιηθεί), η βιομηχανία του σκυροδέματος απαρτίζεται από πολλές μικρές παραγωγικές μονάδες εγκατεστημένες στα περίχωρα των

αστικών κέντρων, ώστε η πρόσβαση στα εργοτάξια να είναι εύκολη και γρήγορη.

Το έτοιμο σκυρόδεμα διακινείται με ειδικά αυτοκίνητα, τα οποία έχουν περιστρεφόμενες «βαρέλες», όπου το προϊόν αναδεύεται συνεχώς κατά τη μεταφορά του, εξασφαλίζοντας έτσι τη διατήρηση των ποιοτικών και τεχνολογικών χαρακτηριστικών του.

Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το 1756, ο Βρετανός John Smeaton ανακαλύπτει το Μπετόν (υδραυλικό τσιμέντο), αλλά ο συμπατριώτης του Joseph Aspdin, το 1824, είναι αυτός που δημιουργεί το πρώτο πραγματικά τεχνητό τσιμέντο. Το ενισχυμένο με σίδερα μπετόν, θα ανακαλυφθεί αργότερα, το 1867, από τον Παριζιάνο κηπουρό Joseph Monier.

Η λέξη «τσιμέντο» προέρχεται από το «opus caementitum» όπως λεγόταν το δεμένο με ηφαιστειακή σκόνη σκυρόδεμα που χρησιμοποιούσαν οι Ρωμαίοι. Το γεγονός ότι το χρησιμοποιούσαν σε διάσημα οικοδομήματα τους, όπως το Πάνθεον και το Κολοσσαίο, τους καθιέρωσε παγκοσμίως ως τους πρώτους που το χρησιμοποίησαν. Υπάρχει, όμως, και μια άλλη εκδοχή, που δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη. Το 1978 αναλύθηκε δείγμα μιας αδιάβροχης μεμβράνης, που κάλυπτε δεξαμενή 600κυβικών μέτρων στην αρχαία πόλη της Καμίρου, στη Ρόδο και ανακαλύφθηκε ότι πρόκειται για τσιμέντο σχεδόν όμοιο και ίσως καλύτερο από το γνωστό σε όλους μας «Portland», ηλικίας 3000 ετών (περίπου 900 π.Χ.). Πολλοί εικάζουν ότι οι αρχαίοι Ρόδιοι ανακάλυψαν το θαυμαστό αυτό υλικό εξετάζοντας τη τέφρα, με την οποία σκέπασε τη Θήρα και το νοτιοανατολικό Αιγαίο η φοβερή έκρηξη του ηφαιστείου της.

Οι πρώτες εφαρμογές του οπλισμένου σκυροδέματος πραγματοποιήθηκαν το 1902 στη κατασκευή δύο γεφυρών στο Κηφισό, ενώ το πρώτο κτίριο από

οπλισμένο σκυρόδεμα ήταν η επτάώροφη οικοδομή ιδιοκτησίας Γιάνναρου στη πλατεία Συντάγματος το 1917. Η πολυκατοικία αυτή, που εκμεταλλευόταν τις δυνατότητες που έδινε το νέο υλικό ήταν και η αιτία για την επιβολή των πρώτων περιοριστικών μέτρων στα ύψη των κτιρίων της Αθήνας. Όταν στο μοντέρνο κίνημα το μπετόν άρχισε συνειδητά να εφαρμόζεται στη κατασκευή, οι αρχιτέκτονες επικεντρώθηκαν κυρίως στις δομικές του εφαρμογές. Η δομική συνέπεια στη κατασκευή, συνδυασμένη με τη λειτουργικότητα έγινε μια βασική ηθική προϋπόθεση της μοντέρνας αρχιτεκτονικής με διαχρονική ισχύ ως σήμερα. Δύσκολα άλλο υλικό μπορεί να αντέξει στις πιέσεις όπως μπορεί το σκυρόδεμα, ενώ, σε συνδυασμό με το σίδηρο και το χάλυβα, αντέχει και στις εντάσεις. Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η απόδειξη ότι το μπετόν συνεργάζεται έξοχα με άλλα υλικά και οι τελικές του επιφάνειες μπορούν να επεξεργαστούν και να βαφούν όπως επιθυμεί ο κατασκευαστής.

Θα αναφερθούμε χρονολογικά στα κυριότερα στάδια της εξέλιξης των Κανονισμών – Προδιαγραφών – Προτύπων για το σκυρόδεμα στη χώρα μας, από το 1949 έως το 2005.

- 1949 Πρώτη δημοσίευση στα τεχνικά χρονικά του Τ.Ε.Ε. μετάφρασης των γερμανικών DIN 1045 (Μάιος 1949).
- 1954 Κανονισμός οπλισμένου σκυροδέματος (Β.Δ./54).
Κύβοι 20 x 20 x 20cm. Δειγματοληψία : 3 κύβοι στα 200m³.
- 1959 Πρότυπη Τεχνική Προδιαγραφή: ΠΤΠ-504. Εισαγωγή κυλινδρικών δοκιμίων (15 x 30cm) και των αμερικανικών κοσκίνων, καρότα διαμέτρου 10cm (4") .
- 1970-1981 Πρώτη εμφάνιση του σχεδίου προτύπου ΤΕΕ/ΕΝΟ για έτοιμο σκυρόδεμα, μετέπειτα Σχεδίου Προτύπου ΕΛΟΤ-346 (1981). Εμφάνιση των γερμανικών κατηγοριών Β25, Β35 (Βn 250, Βn 350) όπου ο μέσος όρος των τριών δοκιμίων έπρεπε να υπερβαίνει την ονομαστική αντοχή κατά 5 MPa (50 kp/cm²) και κανένα δοκίμιο κάτω από αυτήν.

- 1985 Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος: ΚΤΣ-85, δημοσίευση στο ΦΕΚ/266/Β/9.5.85 . Σύνταξη από επιτροπή του ΚΕΔΕ/Υ.Δ.Ε., υπό τον Π.Κουφόπουλο. Εισαγωγή έννοιας χαρακτηριστικής αντοχής (f_{ck}), τυπικής απόκλισης (s) και Κριτηρίων Συμμόρφωσης.
- 1997 Αναθεώρηση Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος : ΚΤΣ-97. Δημοσίευσή του στο ΦΕΚ/315/Β/17.4.97. Καθιέρωση κυβικών δοκιμίων 15 x 15 x 15cm, κατάργηση του δοκιμίου ακμής 20cm και των ελληνικών κοσκίνων. Καθιέρωση του $MPa (N/mm^2) = 10,2 \text{ kp/cm}^2$. Πιστοποιητικά αντοχής να συνοδεύουν τους τίτλους κυριότητας.
- 2002 Προσαρμογή των ΚΤΣ-97 στα Ευρωπαϊκά πρότυπα για τσιμέντο ΕΛΟΤ EN 197-1 και ΕΛΟΤ EN 196. Νέες κατηγορίες κάθισης S, S2, S3, S4, S5, νέοι χρόνοι αφαίρεσης ξυλοτύπων (§11.6 του ΚΤΣ-97/2002). Δημοσίευση στο ΦΕΚ/537/Β/1.5.02).
- 2003-2005 Σταδιακή ισχύς των νέων Ευρωπαϊκών Προτύπων για Αδρανή (ΕΛΟΤ EN 12620) από Μάιο 2003, για τα πρόσθετα σκυροδέματος (ΕΛΟΤ EN934-2) από Ιανουάριο 2004. Ισχύς του ΕΛΟΤ EN 206-1 για σκυρόδεμα από Ιούλιο 2004, παράλληλα με τον ΚΤΣ-97/2002, εν αναμονή της Κοινής Υπουργικής Απόφασης (ΚΥΑ) από Υπουργεία Ανάπτυξης και ΠΕΧΩΔΕ για την εφαρμογή του στην χώρα μας. Υποχρέωση σήμανσης CE (CE mark) για τσιμέντο (2002) και αδρανή, πρόσθετα από το 2004. Ορισμός ΕΛΟΤ ως κοινοποιημένου φορέα για τα αδρανή (CE mark) το 2005. Σε αναμονή προσαρμογής – αναθεώρησης του ΚΤΣ-97/2002 από τον ΚΕΔΕ και του Εθνικού Προσαρτήματος στο ΕΛΟΤ EN 206-1 από τον ΕΛΟΤ.
- 1981-2005 Πλήθος Εγκυκλίων (Ε-21/1981, Ε-58/1985, Ε-7/1997) και ΦΕΚ/332/Β/28.3.01, ΦΕΚ/279/Β/3.3.2005, που αντίστοιχα εγκρίνονται, καταργούνται, νέες Υπουργικές Αποφάσεις που συνέχως μπαίνουν στη ζωή μας για το σκυρόδεμα.

- 2006 Αναμονή αναθεώρησης του ΚΤΣ-97 (2002) για εισαγωγή μεθόδων Ελέγχου με EN (EN 12350 και EN 12390 κ.λ.π.)

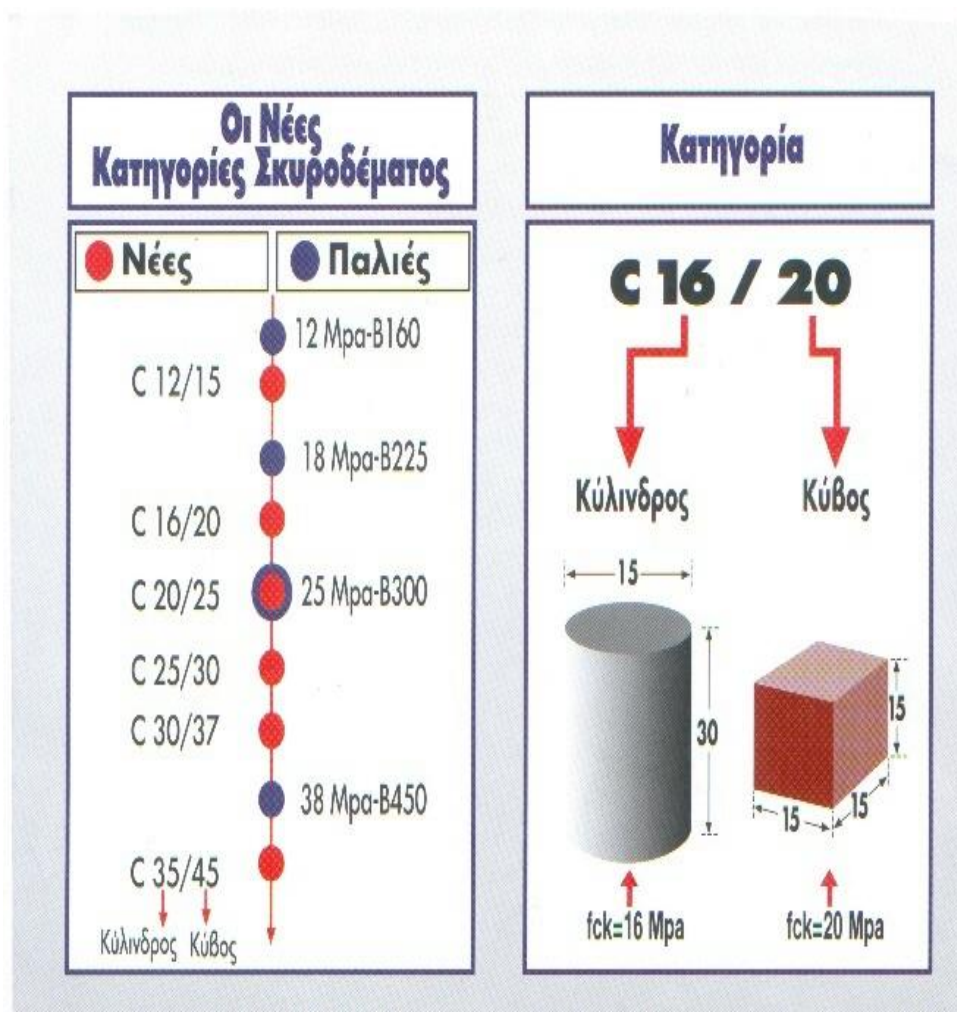
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με τον κανονισμό τεχνολογίας Σκυροδέματος του 1997, οι νέες κατηγορίες σκυροδέματος χαρακτηρίζονται από το γράμμα c (Concrete=σκυρόδεμα) και ακολουθούν δύο αριθμοί. Ο πρώτος αναφέρεται στην χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου και ο δεύτερος σε δοκίμιο μορφής κύβου (π.χ. C 16/20). Το κυλινδρικό δοκίμιο έχει ύψος 30 cm και διάμετρο 15 cm, ενώ το κυβικό έχει ακμή 15 cm.

Χαρακτηριστική αντοχή είναι η τιμή εκείνη της αντοχής για την οποία υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί μικρότερη αντοχή σε ένα τυχαίο δοκίμιο.

Στους πίνακες που ακολουθούν αναφέρονται οι παλιές και νέες κατηγορίες σκυροδέματος, ενώ παράλληλα αποτυπώνεται ο μεταξύ τους συσχετισμός.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	F_{ck},ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ	F_{ck}, ΚΥΒΟΥ
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60



Ο κανονισμός τεχνολογίας σκυροδέματος του 1997 προβλέπει σκυρόδεμα ειδικών απαιτήσεων ανάλογα με το περιβάλλον χρήσης και περιλαμβάνει:

- § Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε επιφανειακή φθορά
- § Σκυρόδεμα μειωμένης υδατοπερατότητας
- § Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε χημικές προσβολές
- § Σκυρόδεμα μέσα σε νερό
- § Σκυρόδεμα στη θάλασσα
- § Σκυρόδεμα σε παραθαλάσσιο περιβάλλον

III. ΜΕΡΟΣ Α

1. ΕΙΔΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ

1.1 ΑΝΤΛΗΣΙΜΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το αντλήσιμο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται στις μέρες μας σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές και για πολλές διαφορετικές απαιτήσεις. Μία κατάλληλη μελέτη σύνθεσης είναι απαραίτητη έτσι ώστε το σκυρόδεμα να αντληθεί χωρίς διαχωρισμό και φραγή των σωληνώσεων.

1.1.1 Σύνθεση

- Αδρανή

§ Μέγιστος κόκκος $\varnothing < 1/3$ της εσωτερικής διαμέτρου του σωλήνα

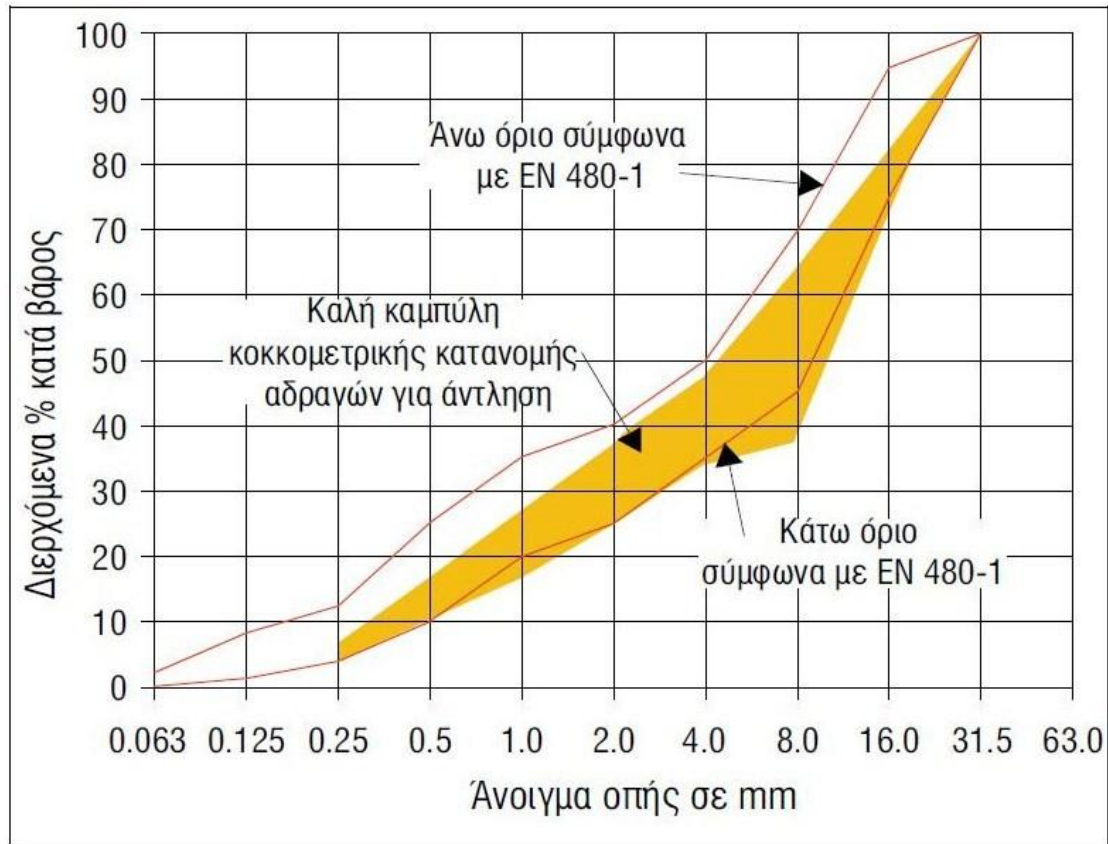
§ Το συνδετικό υλικό στο μίγμα που πρόκειται να αντληθεί πρέπει να έχει καλή συνοχή για να αποφευχθεί διαχωρισμός του σκυροδέματος κατά την άντληση.

Μέγιστος κόκκος \varnothing	Στρογγυλεμένα αδρανή	Θραυστά αδρανή
8mm	500 kg/m ³	525 kg/m ³
16mm	425 kg/m ³	450 kg/m ³
32mm	375 kg/m ³	400 kg/m ³

Πίνακας 1.1. Τυπικές τιμές για περιεκτικότητα σε λεπτά αδρανή (αδρανή μεγέθους $\leq 0,125\text{mm}$) σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-1:2000

Καμπύλη κοκκομετρικής διαβάθμισης: Το αντλήσιμο σκυρόδεμα πρέπει να συντίθεται από διακριτά επί μέρους κλάσματα αδρανών εάν αυτό είναι δυνατόν.

Η συνεχούς διαβάθμισης κοκκομετρική κατανομή είναι πολύ σημαντική. Η περιεκτικότητα σε αδρανή μεγέθους 4-8mm πρέπει να διατηρείται χαμηλά, αλλά δε θα πρέπει να υπάρχουν ασυνέχειες στη διαβάθμιση.



- Τσιμέντο

Μέγιστος κόκκος Ø	Στρογγυλεμένα αδρανή	Θραυστά αδρανή
8mm	380 kg/m ³	420 kg/m ³
16mm	330 kg/m ³	360 kg/m ³
32mm	300 kg/m ³	330 kg/m ³

Πίνακας 1.2: Συνιστώμενο ελάχιστο περιεχόμενο τσιμέντο

- Λόγος Νερού/ Συνδετικού υλικού

Εάν το περιεχόμενο νερό είναι πολύ υψηλό, τότε προκαλείται διαχωρισμός και απόμιξη κατά την άντληση, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε φραγή των

σωληνώσεων. Το περιεχόμενο νερό πρέπει πάντα να μειώνεται με χρήση υπερρευστοποιητών.

1.1.2 Εργασιμότητα – Συνεκτικότητα

Το νωπό σκυρόδεμα πρέπει να έχει ικανοποιητική εργασιμότητα με καλή εσωτερική συνοχή. Ιδανικά, η εργασιμότητα του σκυροδέματος θα πρέπει να καθοριστεί από το βαθμό συμπύκνωσης.

1.2 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΚΙΝΗΣΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Το σκυρόδεμα για περιοχές με κίνηση οχημάτων έχει πολλές εφαρμογές και πολύ συχνά χρησιμοποιείται ως εναλλακτική λύση στην ασφαλτόστρωση, εξαιτίας της ανθεκτικότητάς του και άλλων πλεονεκτημάτων του.

Οι χρήσεις σκυροδέματος για περιοχές με κίνηση οχημάτων:

- Συμβατική οδοποιία
- Οδικοί δακτύλιοι
- Διάδρομοι αεροδρομίων
- Βιομηχανικά δάπεδα

Όταν το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για αυτές τις εφαρμογές, η στρώση σκυροδέματος ενεργεί ως στρώση καταπόνησης από φορτία και ως τελική στρώση φθοράς. Για να ικανοποιηθούν και οι δύο αυτές απαιτήσεις, το σκυρόδεμα πρέπει να έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Υψηλή καμπτική αντοχή
- Αντοχή σε κύκλους πήξης/τήξης
- Καλή αντιολισθηρότητα
- Χαμηλή φθορά από τριβή

Η σύνθεση αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για να επιτευχθούν οι επιθυμητές απαιτήσεις. Τα κριτήρια επιλογής των διαφόρων συστατικών είναι για καθένα από αυτά:

- Αδρανή

- § Χρήση μιγμάτων με χαμηλό περιεχόμενο σε λεπτά υλικά

- § Χρήση ισορροπημένης κοκκομετρικής καμπύλης αδρανών

- § Χρήση θραυστών ή μερικώς θραυστών αδρανών αυξάνει την αντλιοσθηρότητα και την καμπτική αντοχή.

- Τσιμέντο

- § Δοσολογία 300 – 350 kg/m³, συνήθως CEM I 42.5

- Πρόσθετα

- § Η πυριτική παιπάλη χρησιμοποιείται σε περιοχές με έντονη κυκλοφορία οχημάτων ή για αύξηση της ανθεκτικότητας γενικώς

- § Αύξηση της αντλιοσθηρότητας με καρβίδιο πυριτίου ή φολίδων σκληρυντών στην επιφάνεια.

Το σκυρόδεμα για περιοχές με κίνηση οχημάτων είναι ένα ειδικό σκυρόδεμα και τα ακόλουθα σημεία απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή:

- § Μεγάλες περιοχές συνήθως κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας μηχανήματα διάστρωσης. Η συνεκτικότητα πρέπει να είναι κατάλληλη για τον τύπο του μηχανήματος.

- § Αυξημένη αντλιοσθηρότητα επιτυγχάνεται με αυλακώσεις ή με φινίρισμα με βούρτσα

- § Πλήρης και σωστή ωρίμανση είναι απαραίτητη.

1.3 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Σκυροδέματα μεγάλης θλιπτικής αντοχής (>60 Mpa) κατηγοριοποιούνται στην ομάδα σκυροδεμάτων υψηλής ποιότητας και χρησιμοποιούνται σε πολλές

κατασκευές. Χρησιμοποιούνται συχνά στην κατασκευή υποστρωμάτων που φέρουν μεγάλα φορτία και για παραγωγή πολλών προϊόντων σε μονάδες προκατασκευών.

Στη συμβατική μέθοδο παραγωγής σκυροδέματος υψηλής αντοχής, το μίγμα και τα υλικά του απαιτούν ιδιαίτερη φροντίδα, όπως και η τοποθέτησή του.

- Αδρανή υψηλής αντοχής με κατάλληλη επιφάνεια κόκκου (γωνιώδης) και μειωμένο μέγεθος κόκκου αδρανούς (<32mm)
- Πολύ στεγανός και συνεπώς υψηλής αντοχής τσιμεντοπολτός λόγω σημαντικής μείωσης του περιεχόμενου νερού
- Ειδικά συνδετικά υλικά με μεγάλη αύξηση αντοχής και καλή πρόσφυση στα αδρανή (πυριτική παιπάλη)
- Χρήση μαλακού σκυροδέματος με πρόσμικτα σκυροδέματος για να εξασφαλίσουμε μέγιστη διαφυγή αέρα.

CEM I 52.5	450 kg/m ³
Πυριτική παιπάλη	45 kg/m ³
Αδρανή	Θραυστή πυριτική ασβεστόλιθος 0-16mm
Ενεργός λόγος N/T	0.28
Αντοχές 7 ημερών	95 Mpa
Αντοχές 28 ημερών	110 Mpa
Αντοχές 90 ημερών	115 Mpa

Πίνακας 1.3: Παράδειγμα σύνθεσης

Πολλά διαφορετικά εναλλακτικά μίγματα για σκυροδέματα (και κονιάματα) υψηλής αντοχής αναπτύσσονται ταυτόχρονα με τα συμβατικά μίγματα σκυροδεμάτων. Κοινό στοιχείο σε όλα αποτελεί η έρευνα για συστατικά υψηλής αντοχής και ελάχιστο περιεχόμενο σε νερό. Ειδικοί τύποι αδρανών, κοκκομετρίες αυτών και υπερρευστοποιητές χρησιμοποιούνται για επίτευξη των υψηλών αντοχών.

Η ανάπτυξη αντοχών επίσης ενισχύεται από νέες τεχνικές ξήρανσης και σκλήρυνσης (όπως η σκλήρυνση με συμπίεση). Τα σκυροδέματα που παράγονται με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να φτάσουν αντοχές της τάξης των 150 Μpa έως και πάνω από 200 Μpa. Να σημειωθεί ιδιαίτερος ότι:

- Το σκυρόδεμα υψηλών αντοχών είναι πάντα εξαιρετικά στεγανό
- Για το λόγο αυτό η ωρίμανση του σκυροδέματος υψηλής αντοχής είναι ακόμη σημαντικότερη από ότι συνήθως (ανεπαρκής παροχή υγρασίας από το εσωτερικό του σκυροδέματος)
- Το σκυρόδεμα υψηλών αντοχών είναι επίσης εύθρυπτο εξαιτίας της αντοχής του και της αυξημένης ακαμψίας (επίπτωση στις ιδιότητες διάτμησης)
- Μειώνοντας το περιεχόμενο του νερού κάτω από 0.38, ορισμένοι κόκκοι τσιμέντου ενεργούν ως κόκκοι αδρανών, διότι δεν μπορεί να ενυδατωθεί όλη η ποσότητα τσιμέντου
- Εκτός από τσιμέντο Portland, στα σκυροδέματα υψηλής αντοχής χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες λανθανόντων υδραυλικών και ποζολανικών υλικών, τα οποία έχουν εξαιρετικές ιδιότητες μακροπρόθεσμης ανάπτυξης αντοχών.

1.4 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Όπως υπονοεί και η ονομασία, το σκυρόδεμα υποβρύχιων κατασκευών τοποθετείται κάτω από τη στάθμη του νερού, π.χ. για:

- Σκυροδετήσεις σε λιμάνια
- Βάσεις γεφυρών σε ποτάμια
- Κατασκευές βιομηχανιών χρήσης νερού κτλ.
- Έργα του μετρό

- Βαθιά φρεάτια επί ασταθούς εδάφους, όπου πτώση του επιπέδου του νερού στο εσωτερικό του εδάφους μπορεί να οδηγήσει σε υδραυλική ανύψωση του εδάφους κτλ.

1.4.1 Σύνθεση

- Αδρανή

§ Χρήση κατάλληλων αδρανών για αντλήσιμα μίγματα

(Ø 0-32mm). Λεπτά υλικά μαζί με τσιμέντο > 400 kg/m³

- Τσιμέντο

§ ελάχιστο περιεχόμενο τσιμέντο 350 kg/m³

- Ειδικές απαιτήσεις

Μία αξιόπιστη μέθοδος τοποθέτησης του σκυροδέματος σε υποβρύχιες κατασκευές με ελάχιστες απώλειες είναι η κατασκευαστική μέθοδος με «tremie pipes». Το σκυρόδεμα τοποθετείται κατευθείαν μέσω ενός σωλήνα διαμέτρου Ø 20-40cm εντός του ήδη τοποθετημένου σκυροδέματος. Ο σωλήνας ανέρχεται συνεχώς, αλλά η κάτω μεριά πρέπει πάντα να παραμένει επαρκώς εμβαπτισμένη στο σκυρόδεμα για να μην εισέλθει το νερό μέσα στο σωλήνα.

Μία άλλη μέθοδος που επίσης χρησιμοποιείται σήμερα είναι η άντληση ενός κατάλληλου μίγματος για υποβρύχιες κατασκευές, διαμέσου μιας συμβατικής αντλίας σκυροδέματος. Και εδώ πάλι, η απόληξη του σωλήνα πρέπει να παραμένει εμβαπτισμένη μέσα στο νωπό σκυρόδεμα.

Όσο ο ρυθμός ροής του νερού αυξάνεται, τόσο περισσότερη έκπλυση μπορεί να παρατηρηθεί. Οι ελάχιστες συνθήκες ροής είναι οι καλύτερες

1.5 ΕΛΑΦΡΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Με τον όρο αυτό περιγράφονται σκυροδέματα και κονιάματα χαμηλής πυκνότητας. Το βάρος τους μειώνεται είτε με χρήση αδρανών χαμηλής

πυκνότητας, είτε με την τεχνητή δημιουργία κενών στη μάζα του σκυροδέματος.

Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται κυρίως από την εφαρμογή του ελαφροσκυροδέματος και τις απαιτούμενες ιδιότητές του. Εφαρμόζεται σε:

- Θερμομονώσεις
- Κατασκευές μικρού βάρους (ταβάνια, τοίχοι, καταστρώματα γεφυρών, πλάκες)
- Προκατασκευασμένα προϊόντα
- Σκυρόδεμα εξομάλυνσης
- Σκυρόδεμα πλήρωσης

Τα χαρακτηριστικά των ελαφροσκυροδεμάτων είναι:

- Μείωση της πυκνότητας του νωπού σκυροδέματος
- Μείωση της πυκνότητας του σκληρυμένου σκυροδέματος
- Σε περίπτωση που ελαφροσκυρόδεμα χρησιμοποιείται ως σκυρόδεμα πλήρωσης με χαμηλές απαιτήσεις φερόντων φορτίων, π.χ. για διαστασιολογική σταθερότητα, συνήθως παράγονται σκυροδέματα και κονιάματα υψηλού πορώδους (αεριο-ελαφροσκυροδέματα)
- Σε περίπτωση που απαιτείται ελαφροσκυρόδεμα με καλές μηχανικές ιδιότητες (π.χ. θλιπτική αντοχή), χρησιμοποιούνται ειδικά αδρανή (πολύ πορώδη από τη φύση τους αλλά πολύ σταθερά διαστασιολογικώς).

1.5.1 Παραγωγή Ελαφροσκυροδέματος

- Τα πορώδη και ελαφρά υλικά, όπως διογκούμενη άργιλος, πρέπει να προβρέχονται έτσι ώστε να αποφευχθεί πολύ μεγάλη απορρόφηση του νερού του σκυροδέματος από τα αδρανή κατά την ανάμιξη

- Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται πολύ ρευστό σκυρόδεμα λόγω κινδύνου απόμιξης
- Ελαφροσκυρόδεμα χαμηλού ειδικού βάρους $< 1600 \text{ kg/m}^3$ μπορεί να είναι δύσκολο να αντληθεί
- Ο σωστός χειρισμός δονητών είναι πολύ σημαντικός για να αποφευχθεί εγκλεισμός αέρα
- Απαιτείται ταχεία και ολοκληρωμένη ωρίμανση. Κατάλληλες μέθοδοι περιλαμβάνουν ψεκασμό νερού και κάλυψη με φύλλα προστασίας ή ψεκασμό με βελτιωτικά ωρίμανσης. Χωρίς κατάλληλη ωρίμανση υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας ρωγμών λόγω υπερβολικών διαφορών θερμοκρασίας ξήρανσης.
- Αφρώδη σκυροδέματα συχνά συρρικνώνονται σημαντικά και παρουσιάζουν χαμηλή διαστασιολογική σταθερότητα

Συστατικά για την παραγωγή ελαφροσκυροδέματος:

- Διογκούμενα αργιλικά πετρώματα
- Διογκούμενα σφαιρίδια πολυστυρενίου
- Πριονίδια, σκόνη τριψίματος ξύλου
- Ειδικά πρόσμικτα για εισαγωγή μεγάλων ποσοτήτων σταθερών κενών αέρα

1.5.2 Πυκνότητα

Βασιζόμενοι στο μίγμα και τα συστατικά που χρησιμοποιούνται, λαμβάνουμε τις ακόλουθες κατηγορίες πυκνότητας και ιδιοτήτων:

Ειδικά αδρανή	Πυκνότητα πάνω από 1800kg/m ³	Υψηλές μηχανικές ιδιότητες
Διογκούμενα αργιλικά πετρώματα	Πυκνότητα πάνω από 1500kg/m ³	Περιορισμένες μηχανικές ιδιότητες
Προϊόντα παραγωγής κενών	Πυκνότητα πάνω από 1200kg/m ³	Χωρίς μηχανικές ιδιότητες (εύκολη παραγωγή ελαφροσκυροδέματος)
	Πυκνότητα πάνω από 1500kg/m ³	Πορώδες ελαφροσκυρόδεμα με χαμηλές μηχανικές ιδιότητες
Αφρογόνα	Πυκνότητα πάνω από 800kg/m ³	Χωρίς μηχανικές ιδιότητες όπως το κονίαμα πλήρωσης
Διογκούμενο πολυστυρένιο	Πυκνότητα πάνω από 800kg/m ³	Χαμηλές μηχανικές ιδιότητες

1.6 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΑΥΞΗΜΕΝΗ ΠΥΡΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Το σκυρόδεμα με αυξημένη ή μεγάλη πυραντίσταση είναι σκυρόδεμα του οποίου οι ιδιότητες βελτιώνονται έτσι ώστε αυτό να μπορεί να ανταπεξέλθει στις προκαθορισμένες υψηλές θερμοκρασιακές συνθήκες. Το σκυρόδεμα από μόνο του δεν μπορεί να καεί, αλλά πάνω από ορισμένες θερμοκρασίες χάνει αρχικά τις μηχανικές του ιδιότητες και ακολούθως τη μορφή του. Χωρίς τη λήψη ειδικών μέτρων το σκυρόδεμα είναι συνήθως ανθεκτικό σε θέρμανση περίπου έως τους 800°C. Το σκυρόδεμα με υψηλή πυραντίσταση χρησιμοποιείται για:

- Περιοχές κινδύνου σε κλειστές κατασκευές (έξοδοι κινδύνου σε σήραγγες)
- Γενικώς αυξημένη πυραντίσταση σε έργα υποδομής
- Επικαλύψεις με πυραντίσταση για δομικά στελέχη

Γενικώς το νωπό σκυρόδεμα συμπεριφέρεται όπως το συμβατικό σκυρόδεμα κατά την τοποθέτηση. Το σκληρυμένο σκυρόδεμα έχει λίγο βραδύτερη ανάπτυξη αντοχών από το συμβατικό, αλλά τελικώς οι ιδιότητες του είναι ίδιες.

1.6.1 Η παραγωγή και τα συστατικά του σκυροδέματος με αυξημένη πυραντίσταση

Η παραγωγή του δε διαφέρει από εκείνη του συμβατικού σκυροδέματος. Η διαδικασία ανάμιξης πρέπει να ελέγχεται λόγω των ιών που συνήθως περιλαμβάνονται και είναι καλύτερο για τη μελλοντική πυραντίσταση του σκυροδέματος εάν αυτό μπορεί να ξηραθεί όσο το δυνατόν περισσότερο.

Η επίτευξη της μέγιστης πυραντίστασης βασίζεται στη σύνθεση των χρησιμοποιούμενων αδρανών. Κυρίως αυξάνεται σημαντικά με χρήση ειδικών αδρανών και χρήση πλαστικών ιών (πολυπροπυλενίου). Τέλος, η χρήση επιλεγμένης άμμου βελτιώνει την πυραντίσταση του τσιμεντοπολτού.

1.6.2 Μηχανισμοί συμπεριφοράς σε φωτιά

Το νερό σε τριχοειδή και κενά εξατμίζεται σε θερμοκρασίες γύρω από το σημείο βρασμού του νερού (100°C). Ο ατμός χρειάζεται περισσότερο χώρο λόγω της διόγκωσής του και για αυτό ασκεί πίεση εντός της δομής του σκυροδέματος. Ο τσιμεντοπολτός αρχίζει να αλλοιώνεται σε θερμοκρασίες περίπου 700°C. Η επίδραση των αδρανών εξαρτάται κυρίως από την προέλευσή τους και ξεκινά περίπου στους 600°C. Το σκυρόδεμα αρχίζει να «λιώνει» περίπου στους 1200°C.

1.7 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Οι σύγχρονες μέθοδοι κατασκευής σήραγγων σε ασταθή υποστρώματα κάνουν χρήση προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος τα οποία άμεσα φέρουν φορτία ως εσωτερικές επενδύσεις της σήραγγας. Τα προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος, τα οποία αποκαλούνται τομείς σήραγγας (tunnel segments), επιτελούν αυτή τη λειτουργία.

1.7.1 Παραγωγή και σύνθεση

Λόγω του πλήθους και του μεγάλου βάρους τους, οι τομείς σήραγγας παράγονται σχεδόν πάντα κοντά στην είσοδο της σήραγγας σε εξειδικευμένες εγκαταστάσεις προκατασκευής. Τα στοιχεία αυτά πρέπει να πληρούν προδιαγραφές υψηλής ακρίβειας. Η χρήση χαλύβδινων καλουπιών μεγάλου βάρους αποτελεί κανόνα κατά την παραγωγή τους. Επειδή η αποκαλούπωση λαμβάνει χώρα μετά από 5-6 ώρες και το σκυρόδεμα πρέπει να έχει ήδη θλιπτική αντοχή $>15\text{N/mm}^2$, **η επιτάχυνση ανάπτυξης των αντοχών είναι βασική.**

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για να γίνει αυτό. Κατά τη μέθοδο θέρμανσης με ατμό (ανακύκλωση θερμότητας), το σκυρόδεμα θερμαίνεται στους $28-30^\circ\text{C}$ κατά την ανάμιξη (με ζεστό νερό ή ατμό), τοποθετείται στο καλούπι και φινιρείται. Ακολούθως θερμαίνεται για περίπου 5 ώρες σε θάλαμο θέρμανσης στους $50-60^\circ\text{C}$ για να αποκτήσει την απαραίτητη για την αποκαλούπωση αντοχή.

- Αδρανή

§ Συνήθως 0-32mm στο εύρος του μεγέθους σύμφωνα με EN480-1

- Τσιμέντο

§ Περιεχόμενο τσιμέντο 325 ή 350 kg/m^3

§ CEM I 42.5 ή 52.5

- Τοποθέτηση

Το μίγμα νωπού σκυροδέματος έχει την τάση να πήζει γρήγορα λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και με τον τρόπο αυτό η σωστή συμπίκνωση και το τελείωμα της επιφάνειας γίνεται δυσκολότερα.

Λόγω της ταχείας βιομηχανοποιημένης παραγωγής, συνήθως το νωπό παραγόμενο σκυρόδεμα είναι πλαστικό. Η απαιτούμενη αρχική αντοχή μπορεί να επιτευχθεί μόνο με χαμηλό λόγο νερού/τσιμέντο, ο οποίος πρέπει να είναι πάντα <0.48 .

1.8 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

1.8.1 Περιγραφή υλικού

Πρόκειται για εργοστασιακό σκυρόδεμα ειδικής σύνθεσης, στην επιφάνεια του οποίου εμφανίζονται επιλεγμένα αδρανή κατόπιν ειδικής επεξεργασίας. Η επεξεργασία αυτή βασίζεται στην τεχνική της «απενεργοποίησης» του τσιμέντου στην επιφάνεια του σκυροδέματος ή της χημικής απογύμνωσης του νωπού σκυροδέματος. Συνίσταται στην επιβράδυνση της πήξης της επιφανειακής τσιμεντόπαστας, την απομάκρυνση της, με χρήση νερού υπό πίεση και της αποκάλυψη των αδρανών.

1.8.2 Πλεονεκτήματα χρήσης

Εδώ και μερικά χρόνια οι επιστρώσεις με χρήση σκυροδέματος αποτελούν συνηθισμένη επιλογή σε δάπεδα εξωτερικών χώρων σε ιδιωτικά και σε δημόσια έργα. Το αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα αποτελεί είδος επίστρωσης εξωτερικών χώρων με υψηλό αισθητικό αποτέλεσμα. Παρουσιάζει πλήθος πλεονεκτημάτων όπως:

- Οικονομία χρόνου και χρήματος

- Προσαρμογή του κόστους ανάλογα με τις απαιτήσεις του τελικού χρήστη (αισθητικές και οικονομικές)
- Ανταγωνιστικού κόστους σε σχέση με συμβατικές επιστρώσεις
- Ασφάλεια
- Καθαριότητα και καλύτερη οργάνωση του έργου
- Δημιουργία μεγάλων επιφανειών χωρίς συνεχείς ενώσεις και αρμούς
- Προσαρμοστικότητα και ελευθερία αισθητικού αποτελέσματος

1.9 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ – ΚΟΙΛΟΤΗΤΩΝ

1.9.1 Περιγραφή υλικού

Πρόκειται για είδη αυτοσυμπυκνούμενων προϊόντων σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται, στην πλήρωση των ορυγμάτων – τάφρων – κοιλοτήτων. Αποτελούνται από αδρανή υλικά (άμμος, χονδρόκοκκα αδρανή), τσιμέντο ή υδραυλική κονία. Σύμφωνα με το ACI (American Concrete Institute) 116R ονομάζονται υλικά ελεγχόμενης χαμηλής θλιπτικής αντοχής γιατί η αντοχή τους σε θλίψη δεν ξεπερνά τα 8,3 MPa. Ανάλογα με την θλιπτική τους αντοχή μπορούν να έχουν περισσότερες από μία τυπικές εφαρμογές.

Η πιο διαδεδομένη εφαρμογή είναι αυτή της «επίχωσης» ορυγμάτων (backfills) στην οποία απαιτείται πολύ χαμηλή αντοχή (από 0,3 έως 2,1MPa) ώστε να τηρούνται οι συνθήκες επανεκσκαφής του προϊόντος. Όταν η θλιπτική αντοχή του προϊόντος είναι κοντά στο άνω όριο των 8,3 MPa είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί σε φέρουσες πληρώσεις (Structural fills).

1.9.2 Πλεονεκτήματα χρήσης

Στις διασταυρώσεις ορυγμάτων όπως και στα μικρού πλάτους ορύγματα, η συμπύκνωση των υλικών επανεπίχωσης γίνεται πολύ δύσκολη έως αδύνατη.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ανάγκη επανάληψης των εργασιών σε σύντομο χρονικό διάστημα. Το σκυρόδεμα πλήρωσης ορυγμάτων – κοιλοτήτων αποτελεί άριστη λύση για τα προβλήματα αυτά.

1.10 ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

1.10.1 Γενικά

Το σκυρόδεμα που συντίθεται από υδραυλικά τσιμέντα, λεπτόκοκκα ή/και χονδρόκοκκα αδρανή και ασυνεχείς διακριτές ίνες ορίζεται ως ινοπλισμένο σκυρόδεμα. Οι ίνες είναι μικρού μήκους, της τάξης των μερικών εκατοστών, και διαμέτρου που είναι συνήθως κλάσμα του χιλιοστού και διασκορπίζονται στη μάζα του υλικού κατά την ανάμιξη των συστατικών του, σε ποσοστό της τάξης του 1-3% κ.ο. Συνήθως παρασκευάζονται από χάλυβα, πολυπροπυλένιο ή γυαλί, ενώ εφαρμογές βρίσκουν και ίνες από άλλα υλικά, όπως ο άνθρακας, η αραμίδη, ο πολυεστέρας, το νάιλον, και φυσικά υλικά, όπως το ξύλο. Ο βασικός ρόλος των ινών στο σκυρόδεμα είναι η αύξηση της παραμόρφωσης του υλικού κατά την αστοχία (που σχετίζεται με εφελκυστικές τάσεις) και ο περιορισμός γενικά της ρηγμάτωσης (π.χ. λόγω συστολής ξήρανσης), ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις επιτυγχάνεται και (μικρή συνήθως) αύξηση της αντοχής σε εφελκυσμό. Αποτέλεσμα είναι κυρίως η αύξηση της δυσθραυστότητας του υλικού, δηλαδή της ικανότητας του να απορροφήσει ενέργεια κατά την παραμόρφωση, που αντιπροσωπεύεται από το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη φορτιού-παραμόρφωσης. Το εμβαδόν αυτό είναι συχνά 10-40 φορές μεγαλύτερο για το ινοπλισμένο σκυρόδεμα από ότι στο άοπλο. Τα τελευταία χρόνια οι χρήσεις του ινοπλισμένου σκυροδέματος έχουν επεκταθεί σε παρά πολλές κατηγορίες έργων πολιτικού μηχανικού λόγω των βελτιωμένων μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων του σε σύγκριση με το συμβατικό άοπλο σκυρόδεμα.

Οι συνήθεις τύποι ινών που χρησιμοποιούνται είναι από γυαλί ή αραμιδίδιο (που συχνά αναφέρεται ως κέβλαρ) ή άνθρακα με πολύ μικρή διάμετρο, της τάξης των 5 – 25 μm . Ως εκ τούτου τα υλικά αυτά παρουσιάζουν δύο επιπλέον σημαντικά πλεονεκτήματα. Έχουν εξαιρετικά υψηλή αντοχή σε διάβρωση και δεν επηρεάζονται από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

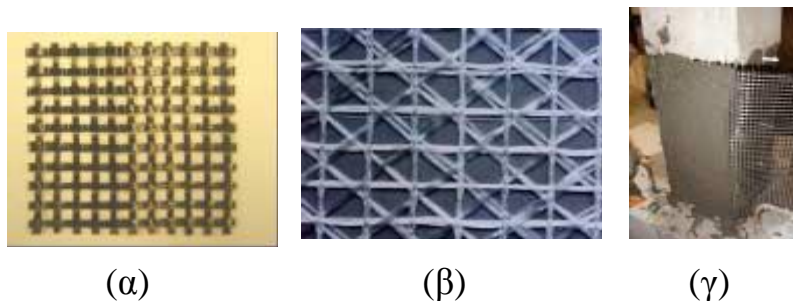
Στον πίνακα 1 αξίζει να παρατηρηθεί το μικρό βάρος, η υψηλή αντοχή αλλά και η μικρή παραμόρφωση αστοχίας των σύνθετων υλικών σε σχέση με τον χάλυβα. Επίσης, για την περίπτωση ινών άνθρακα, πρέπει να επισημανθούν οι σχετικά μεγάλες τιμές του μέτρου ελαστικότητας καθώς και οι ιδιαίτερα μικρές τιμές της παραμόρφωσης αστοχίας τους. Είναι δε χαρακτηριστικό ότι στις περιπτώσεις υψηλού και πολύ υψηλού μέτρου ελαστικότητας οι παραμορφώσεις αστοχίας είναι δραματικά μικρές.

Η χρήση τους στην κατασκευή απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, σύνεση και σχολαστική επιβεβαίωση των μηχανικών τους χαρακτηριστικών σε βάθος χρόνου.

Χαρακτηριστικό	ΙΟΠ-Άνθρακας	ΙΟΠ-Αραμιδίου	ΙΟΠ-Γυαλιού
Ανθεκτικότητα σε διάρκεια	Πολύ καλή	Καλή	Οριακή
Αντοχή σε κόπωση	Πολύ καλή	Καλή	Οριακή
Ανθεκτικότητα σε αλκαλικό περιβάλλον	Πολύ καλή	Καλή	Ακατάλληλο υλικό
Αντοχή σε κρούση	Μικρή	Πολύ καλή	Καλή
Αντοχή σε φθορά λόγω τριβής	Μέτρια	Πολύ καλή	Καλή
Γαλβανικό φαινόμενο	Ναι	Όχι	Όχι
Αντοχή σε υπεριώδεις ακτινοβολίες	Καλή	Μικρή	Καλή
Πυκνότητα ($\text{kg}/\text{m}^3 \times 10^3$)	~1,80	~2,50	~1,50
Κόστος (συγκριτικά μεταξύ τους)	Υψηλό	Μέτριο	Χαμηλό

Πίνακας 1.4. Ποιοτική αξιολόγηση ινοπλισμένων πολυμερών

Τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται σήμερα στην κατασκευή με ποικίλες μορφές. Αρκετές είναι εξειδικευμένες επιλογές για ειδικές περιπτώσεις, ενώ πολλές βρίσκονται στο στάδιο διερεύνησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι για την κάλυψη ειδικών απαιτήσεων έχουν ήδη κατασκευαστεί αρκετές ολόσωμες κατασκευές από σύνθετα υλικά. Για εφαρμογές τους σε συνλειτουργία με άλλα συμβατικά δομικά υλικά, όπως το σκυρόδεμα και η τοιχοποιία, θα μπορούσαν να ξεχωρίσουν οι ράβδοι ή πλέγματα ως οπλισμός σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος στις νέες κατασκευές.



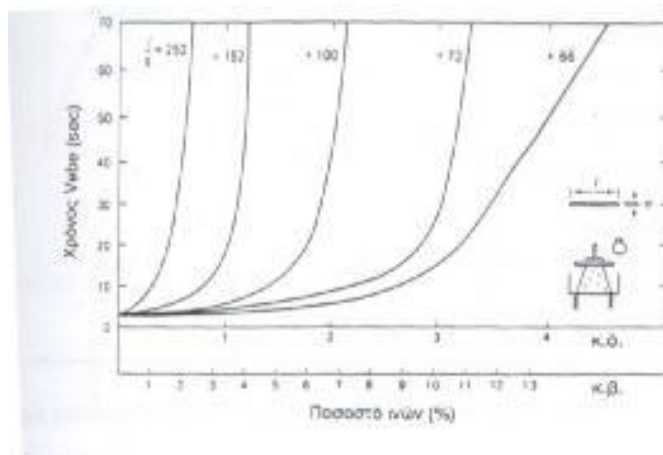
Εικόνα 1.1. Πλέγματα ινών (α) δύο διευθύνσεων και (β) τεσσάρων διευθύνσεων. (γ) Εφαρμογή ινοπλεγμάτων σε κονίαμα στη βάση υποστυλώματος.

1.10.2 Παραγωγή

1.10.2.1 Σύνθεση Ινοπλισμένου σκυροδέματος

Η χρήση ινών στο σκυρόδεμα επιφέρει γενικά μείωση της εργασιμότητας, που είναι ανάλογη του ποσοστού ινών. Η σημαντική μείωση της ρευστότητας του νωπού σκυροδέματος, ακόμα και για μικρά ποσοστά ινών, είναι χαρακτηριστική, αρκεί να αναφερθεί ότι ποσοστό ινών χάλυβα ή γυαλιού γύρω στο 1,5% κ.ο. μπορεί να μειώσει την κάθιση από 200mm σε 25mm, χωρίς όμως να μειώνεται αναλογικά και η ευκολία διασταύρωσης ή συμπύκνωσης. Γι' αυτό η δόκιμη κάθισης θεωρείται ακατάλληλη για τη μέτρηση της εργασιμότητας του σκυροδέματος, ενώ πιο κατάλληλη θεωρείται η δόκιμη Vebe. Η επίδραση του

λόγου μήκους προς διάμετρο της ίνας (l/d) και του ποσοστού ινών χάλυβα στο χρόνο Vebe δίνεται στο Σχ.1.1.



Σχ.1.1 Επίδραση ποσοστού ινών και λόγου μήκους προς διάμετρο στο χρόνο Vebe

Είναι σαφές ότι αύξηση των παραμέτρων αυτών έχει δυσμενή αποτελέσματα για την εργασιμότητα, ενώ όπως προαναφέρθηκε βελτιώνει τη μηχανική συμπεριφορά. Επίσης έχει αποδειχθεί ότι, τουλάχιστον για ίνες χάλυβα, λόγοι (l/d) πάνω από 100 προκαλούν αλληλεμπλοκές ινών και συσσωματώσεις που επιφέρουν ανομοιογένεια στη μάζα του σκυροδέματος, γι' αυτό και πρέπει να αποφεύγονται. Γενικά ο λόγος ($l/d=100$) καθώς και το ποσοστό ινών 2% κ.ο. θεωρούνται άνω όρια για τις ίνες χάλυβα.

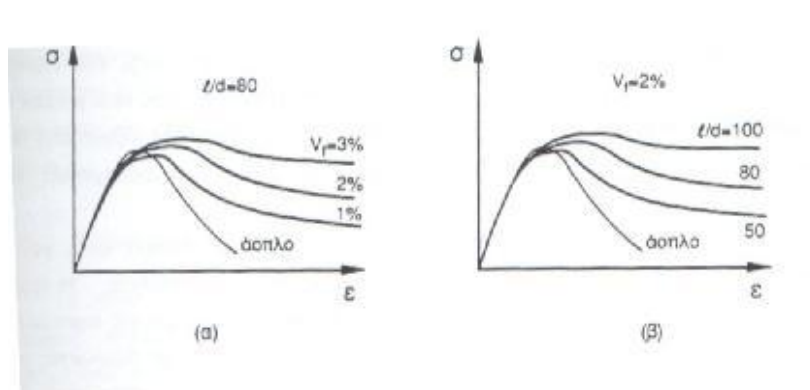
Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει αρνητικά την εργασιμότητα του ινοπλισμένου σκυροδέματος είναι η αύξηση του μέγιστου κόκκου αδρανών, που δεν πρέπει να ξεπερνά τα 20mm. Τέλος, οι απαιτήσεις για καλή εργασιμότητα περιλαμβάνουν τη χρήση προσθέτων (π.χ. αερακτικά, ρευστοποιητικά), την αύξηση της ποσότητας τσιμεντοπολτού και τη χρήση ινών που είναι κολλημένες μεταξύ τους (ανά ομάδες των 10-30) με υδατοδιάλυτη κολλά.

Για σύγκριση με το άοπλο σκυρόδεμα πρέπει η απαιτούμενη ποσότητα τσιμεντοπολτού να είναι μεγαλύτερη στο ινοπλισμένο σκυρόδεμα από ότι στο άοπλο. Γενικά, σε σύγκριση με το άοπλο, το ινοπλισμένο σκυρόδεμα έχει περισσότερο τσιμέντο, μεγαλύτερο ποσοστό λεπτών αδρανών και χονδρά

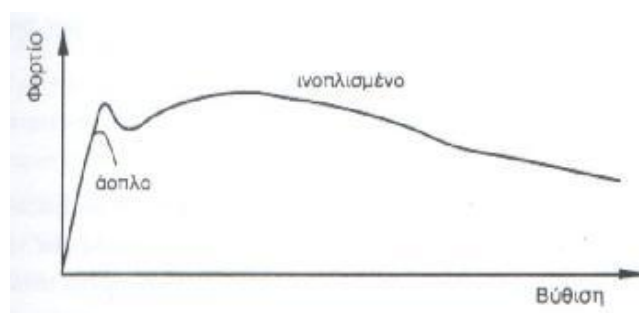
αδρανή με μικρότερο κόκκο. Για κάθε τύπο ιών η βέλτιστη σύνθεση προσδιορίζεται με διαδοχικές δοκιμές, φροντίζοντας να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις αντοχής, εργασιμότητας και ανθεκτικότητας σε διάρκεια.

1.10.2.2 Ιδιότητες Ινοπλισμένου σκυροδέματος

Όπως αναφέρεται και παραπάνω, η αύξηση αντοχής του σκυροδέματος λόγω προσθήκης ιών είναι μικρή. Η αντοχή σε θλίψη αυξάνεται από ελάχιστα έως καθόλου (μάλιστα μπορεί και να μειωθεί όταν προκαλείται σημαντική μείωση της εργασιμότητας), ενώ οι αντοχές σε εφελκυσμό και κάμψη αυξάνονται λίγο περισσότερο. Η ευεργετική δράση των ιών αφορά βασικά τη δυσθραυστότητα, που αυξάνεται με το ποσοστό των ιών και το λόγο l/d . Χαρακτηριστικά της επίδρασης των ιών στη μηχανική συμπεριφορά του σκυροδέματος είναι τα αποτελέσματα των Σχ.1.2-1.3, που αφορούν σκυροδέματα οπλισμένα με λείες ίνες χάλυβα.



Σχ. 1.2. Επίδραση (α) ποσοστού ιών χάλυβα και (β) λόγου l/d στη θλιπτική αντοχή.



Σχ. 1.3. Επίδραση ινών στη συμπεριφορά σε κάμψη.

Λόγω της σημαντικής δυσθραυστότητας, το ινοπλισμένο σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται από αντοχή σε κρούση που ξεπερνά κατά πολύ αυτήν του άοπλου, μέχρι και τέσσερις φορές, ανάλογα με το ποσοστό και τον τύπο ινών (οι παραμορφωμένες ίνες δίνουν, γενικά, ευνοϊκότερα αποτελέσματα). Για τον ίδιο λόγο, αυξημένη είναι και η αντοχή σε κόπωση, κατά 30-90% περίπου έναντι αυτής του άοπλου. Εδώ σημειώνεται και η μείωση του πλάτους των ρωγμών λόγω κόπωσης.

Η επίδραση των ινών στο μέτρο ελαστικότητας είναι αμελητέα, ενώ μερικές φορές μπορεί να γίνει και δυσμενής, λόγω μείωσης της εργασιμότητας που μπορεί να επιφέρει εγκλωβισμένο αέρα. Οι παραμορφώσεις λόγω συστολής ξήρανσης και ερπυσμού είναι περίπου οι ίδιες με τις αντίστοιχες του άοπλου σκυροδέματος, ενώ γενικά ο έλεγχος της ρηγμάτωσης είναι καλύτερος.

Η ανθεκτικότητα του ινοπλισμένου σκυροδέματος σε διάρκεια είναι γενικά πολύ καλή, κυρίως λόγω μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε τσιμέντο. Η τυχόν διάβρωση των ινών χάλυβα είναι μόνον επιφανειακή και χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις, επειδή η διάμετρος των ινών είναι μικρή, και επομένως οι τάσεις λόγω διόγκωσης που προκαλούν τα οξειδία σιδηρού είναι αμελητέες. Οι δυσμενείς επιπτώσεις του αλκαλικού περιβάλλοντος του σκυροδέματος στις ίνες γυαλιού Ε επεκτείνονται και σε άλλους τύπους ινών, όπως είναι οι περισσότερο φυσικές ίνες και οι ίνες από ορισμένα συνθετικά πολυμερή.

1.10.3 Εφαρμογές Ινοπλισμένου σκυροδέματος

Η ραγδαία εξέλιξη στην τεχνολογία του FRC (Fiber Reinforced Concrete) μεγάλωσε κατά πολύ μεγάλο βαθμό το εύρος των εφαρμογών. Στον επόμενο πίνακα συνοψίζονται μερικές από αυτές ανάλογα με το είδος των ινών.

Τύπος ινών	Εφαρμογές
Γυαλί	Επίχριση τοίχων πληρώσεως, σωλήνες υπονόμων, κελύφη, κονιάματα, πλαίσια τύπου sandwich, συστήματα περίφραξης.
Χάλυβας	Κυψελωτές μονάδες οροφής, επικάλυψη πεζοδρομίων, καταστρώματα γεφυρών, σωλήνες, διάδρομοι αεροδρομίων, δοχεία πίεσης, κατασκευές ανθεκτικές σε ανεμοριπές, επενδύσεις τούνελ, κατασκευή φλοιού πλοίου.
Πολυπροπυλένιο	Πάσσαλοι θεμελίωσης, προενταμένοι πάσσαλοι, επίχριση πλαϊσίων, επιράμματα δρόμων, μανδύες για υποβρύχιους σωλήνες.
Αμίαντος	Πλέγματα, σωλήνες, μονωτικά υλικά, πυρίμαχα υλικά, ελάσματα οροφής, επένδυση τοίχων.
Άνθρακας	Πτυχωτές μονάδες για κατασκευή ορόφων, μεμβρανοειδείς κατασκευές μονής και διπλής καμπυλότητας, σανίδες.
Φυσικές ίνες (καρύδας, sisal, bamboo, ζαχαροκάλαμο)	Σε κατασκευές χαμηλού κόστους – αντιπαρέρχεται στη μεγάλη ζήτηση κατοικίας σε τριτοκοσμικές χώρες, διαχωριστικοί τοίχοι.

Πίνακας 1.5. Εφαρμογές ανάλογα με τον τύπο ινών

1.10.4 Τρόποι εφαρμογής

1.10.4.1 Αεροστατική εφαρμογή

Αυτή η μέθοδος είναι βολική όταν οι ίνες περιέχονται σε λιγότερο από 1% κ.ο. Οι ίνες και το κονίαμα αντλούνται και εκτοξεύονται σε αυτή τη μέθοδο.

1.10.4.2 Μέθοδος αρχικής ανάμιξης

Αυτή είναι μια συμβατική μέθοδος ανάμιξης. Αυτή η μέθοδος βρέθηκε να είναι λιγότερο αποτελεσματική από ότι η μέθοδος του ψεκασμού. Σε αυτή τη μέθοδο οι ίνες είναι αναμεμιγμένες στο κύλινδρο ανάμιξης μαζί με τσιμέντο πριν ή μετά τη προσθήκη νερού. Οι ίνες προστίθενται με μικρή προσθήκη. Η εργασιμότητα εξαρτάται από το μέγεθος του συνόλου, όγκος ινών κ.α.

1.10.4.3 Μέθοδος ψεκασμού (Εκτοξευόμενο Ινοπλισμένο Σκυρόδεμα)

Σε αυτή τη μέθοδο το τσιμεντοκονίαμα και οι ίνες ψεκάζονται ταυτόχρονα πάνω στο καλούπι. Είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος εφαρμογής στην Ελλάδα.

1.10.4.4 Στερεοποίηση

Για στερεοποίηση, χρησιμοποιείται συνήθως λεπτός δονητής. Παρόλα αυτά, ο δονητής δεν ενδείκνυται καθότι μπορεί να αφήσει τρύπες στην επιφάνεια τους σκυροδέματος.

2. ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

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



Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα συντίθεται από τσιμέντο, λεπτόκοκκα ή χονδρόκοκκα αδρανή και νερό, μπορεί δε να περιλαμβάνει και ειδικά πρόσμικτα ή πρόσθετα υλικά.

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

- Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα έχει υψηλή θλιπτική αντοχή, επειδή ο υδατοσυντελεστής N/T είναι χαμηλός και επειδή επιτυγχάνεται υψηλή συμύκνωση λόγω της μεγάλης ταχύτητας εκτόξευσης.
- Η μεγάλη ταχύτητα εκτόξευσης παρέχει τη δυνατότητα πολύ καλής πρόσφυσης με το υλικό βάσης. Οι διαστάσεις των κόκκων των αδρανών παρέχουν μεγάλη ικανότητα διείσδυσης μέσα στις μικροανωμαλίες της επιφάνειας βάσης, που συνήθως έχει προηγουμένως εκτραχυνθεί.
- Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αυτοστηρίζεται, δηλαδή, δεν απαιτείται η χρήση ξυλότυπου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και στο κάτω μέρος οριζόντιων στοιχείων.

- Η εγκατάσταση είναι κινητή και σε συνδυασμό με το είδος του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται επιτρέπει τη σκυροδέτηση σε δύσκολες και δυσπρόσιτες θέσεις.

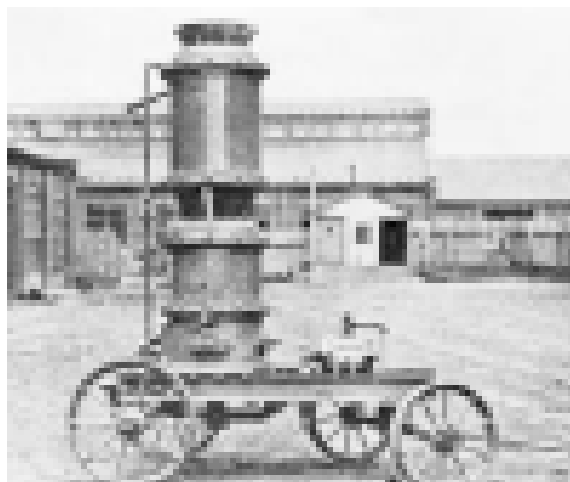
2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Η πρώτη μηχανή εκτόξευσης σκυροδέματος επινοήθηκε το 1907 από το Carl Akeley στην Αμερική και τον Δεκέμβριο του 1910 παρουσιάστηκε στην έκθεση του τσιμέντου στην Ν. Υόρκη. Ήταν μια μηχανή ξηράς ανάμειξης που χρησιμοποιούσε μείγμα από λεπτόκοκκα αδρανή (άμμο) και τσιμέντο. Χρησιμοποιήθηκε στις εργασίες ανακατασκευής της όψης του Field Museum του Σικάγο. Μπόρεσε να λειτουργήσει μόνο μία ώρα και μετά το υλικό «μπλοκάρησε» στους σωλήνες.



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

Όταν στην συνέχεια τα δικαιώματα εκμετάλλευσης της μηχανής μεταφέρονται σε μία κατασκευαστική εταιρεία στο Allentown η μηχανή γίνεται γνωστή ως Cement Gun, η εταιρεία μετονομάζεται σε Cement Gun Company και το προϊόν που ήταν ένα κονίαμα που καθιερώθηκε ως Gunitite.



Εικόνα 2.1. Η πρώτη μηχανή εκτοξευόμενου σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε από τον Carl Akeley το 1907.



Εικόνα 2.2. Μία από τις πρώτες μηχανές εκτοξευόμενου σκυροδέματος που βγήκε στην αγορά το 1914.

Στις εικόνες 2.1 και 2.2 παρουσιάζονται οι φωτογραφίες από την πρωτότυπη μηχανή του Carl Akeley καθώς και μία από τις πρώτες μηχανές που άρχισαν να κυκλοφορούν στην αγορά. Η Cement Gun Company εξελίχθηκε ραγδαία σε ένα μεγάλο κατασκευαστικό οργανισμό αναλαμβάνοντας μεγάλα έργα σε όλη την Β. Αμερική με αντικείμενο τις επισκευές κτιρίων και γεφυρών, και τις κατασκευές σηράγγων, έχοντας το πλεονέκτημα της αποκλειστικής χρήσης της μηχανής και της ονομασίας του προϊόντος ως Gunitite. Όταν στην

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

Αυτή την περίοδο η σκυτάλη περνάει σε ευρωπαϊκά χέρια. Ο George Senn, στην Ελβετία, ανατρέπει την λογική της μηχανής διπλού θαλάμου, που είχε διατηρηθεί από την εποχή του και δημιουργεί μια μηχανή που χρησιμοποιεί, για την ανάμειξη και προώθηση του μείγματος, έναν τύπο Αρχιμήδειου κοχλία, μειώνοντας έτσι τις ιδιαίτερα αυξημένες απαιτήσεις δεξιοτήτων και μυικής δύναμης του χειριστή. Επιπροσθέτως, μπορούσαν πλέον να χρησιμοποιηθούν αδρανή με μέγιστη διάμετρο 25 mm, χωρίς να είναι ανάγκη να είναι ξηρά, ενώ η παραγωγή μπορούσε να φτάσει τα 3 m³ την ώρα. Είναι ίσως η πρώτη φορά που, ακριβολογώντας, μπορούμε να μιλήσουμε για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, μια και μέχρι τότε το ξηρό μείγμα ήταν μόνο άμμος και τσιμέντο. Έτσι ο όρος «Shotcrete» που είχε πρωτοχρησιμοποιηθεί το 1930, από τον Αμερικανικό Σύνδεσμο Μηχανικών Σιδηροδρόμων, υιοθετείται από το ACI, το 1951, για να περιγράψει το νέο προϊόν που μπορεί πλέον να είναι κονίαμα ή σκυρόδεμα.

Αργότερα το 1957, ο τύπος της μηχανής άλλαξε και την θέση της πήρε η μηχανή περιστρεφόμενου κάδου που αναπτύχθηκε από την Meynadier & Cie AG, στην Ζυρίχη, που αποτελεί τον τύπο της μηχανής που έχει επικρατήσει σήμερα στην πράξη. Οι σύγχρονες μηχανές αυτού του τύπου έχουν βάρος 500 έως 1500 κιλά, καταλαμβάνουν επιφάνεια δαπέδου 1-2 μέτρα, και το ύψος τους είναι περίπου 1,50 μέτρα. Έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιούν αδρανή με κόκκο μέχρι 20 mm, και η παραγωγή τους μπορεί να ξεπεράσει τα 10m³/hr. Το κόστος των μηχανών αυτών κυμαίνεται από 10.000 – 20.000 Ευρώ.

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η εισαγωγή των χημικών πρόσμικτων στο σκυρόδεμα έδωσε νέα ώθηση στην τεχνική. Η δυνατότητα επιτάχυνσης της

πήξης και σκλήρυνσης του σκυροδέματος ή της ανάπτυξης της αντοχής ή η αύξηση της πρόσφυσης κ.α., ήσαν ισχυρά πλεονεκτήματα για την τεχνική λόγω της φύσης των έργων που χρησιμοποιείτο. Οι δυνατότητες αυτές επέτρεψαν την ανάπτυξη της μεθόδου της υγρής ανάμειξης στην οποία το νερό δεν προστίθεται πλέον στο ακροφύσιο αλλά στο μείγμα. Η μέθοδος αυτή πρωτοεμφανίστηκε την δεκαετία του 70 και με την εξάπλωση των χημικών πρόσμικτων η εξέλιξη της ήταν ραγδαία.

2.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΟΞΕΥΣΗΣ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα διακρίνουμε δύο βασικές μεθόδους, αυτήν της ξηρής εκτόξευσης και αυτή της υγρής εκτόξευσης. Από το 1990 και έπειτα εξαπλώθηκε η εφαρμογή της υγρής εκτόξευσης στην Ελλάδα κυρίως λόγω των εμπειριών του «ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΩΝ».

2.3.1 Ξηρή μέθοδος

Στην ξηρή μέθοδο το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αποτελείται από μείγμα αδρανών και τσιμέντου με προκαθορισμένη αναλογία και ενδεχομένως επιταχυντή σε σκόνη. Το μείγμα τροφοδοτείται σε ειδικά σχεδιασμένη μηχανή και εισάγεται σε ρεύμα αέρος με υψηλή ταχύτητα και με αυτόν τον τρόπο μεταφέρεται διαμέσου εύκαμπτων σωλήνων σε ακροφύσιο. Στο ακροφύσιο αυτό προστίθεται νερό και ενδεχομένως επιταχυντής σε υγρή μορφή στο ρεύμα των υλικών για την ενυδάτωση του τσιμέντου και την ανάπτυξη της κατάλληλης συνεκτικότητας έτσι ώστε το ρεύμα του υλικού να μπορεί να εκτοξεύεται με υψηλή ταχύτητα, στη θέση του και η πρόσκρουση να επιτυγχάνει συμπύκνωση του υλικού.

Η προσθήκη των πρόσθετων μπορεί να γίνει σε μορφή σκόνης στο ξηρό μείγμα, σε υγρή μορφή μαζί με το νερό ή σε ξεχωριστή εισαγωγή στο ακροφύσιο η προσθήκη ινών μπορεί να γίνει στο ξηρό μείγμα.

Η ξηρά μέθοδος μπορεί με κατάλληλο εξοπλισμό να εφαρμοστεί τόσο σε έργα που απαιτούν ελεγχόμενους χαμηλούς ρυθμούς για λεπτές στρώσεις ή ακανόνιστα σχήματα και δομές όσο και σε έργα όπως κατασκευή σήραγγας ή ενίσχυση πρανών, όπου απαιτείται μεγάλος ρυθμός εκτόξευσης.

Το ακροφύσιο γενικά, είναι κατευθυνόμενο χειρωνακτικά και η ροή των υλικών διευθύνεται από τον χειριστή που επίσης καθορίζει το ποσό του νερού που προστίθεται. Η ποσότητα του νερού μπορεί να μεταβάλλεται σε συγκεκριμένα όρια, αφού η πολύ μικρή ποσότητα νερού δεν επιτρέπει στο μείγμα να δημιουργήσει με την πρόσκρουση στην επιφάνεια, μια ομογενή μάζα, ενώ μεγάλη ποσότητα νερού κάνει το μείγμα πολύ εργάσιμο με αποτέλεσμα να μην έχει ευστάθεια μετά την πρόσκρουση στην επιφάνεια.

Συχνά χρησιμοποιούνται βραχίονες εκτόξευσης με τηλεχειρισμό σε περιπτώσεις που το περιβάλλον δεν είναι ασφαλές για τον χειριστή και σε περιπτώσεις που πρέπει να καλυφθούν επιφάνειες σε μεγάλα ύψη.

Τυπικοί λόγοι αδρανών προς τσιμέντο είναι 3,5/1 έως 4/1 κατά βάρος. Επειδή η αναπήδηση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος αποτελείται κυρίως από αδρανή το σκυρόδεμα που επικολλάται στην επιφάνεια είναι πιο πλούσιο σε τσιμέντο από το αρχικό ανάμειγμα.

2.3.2 Υγρή μέθοδος

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην υγρή μέθοδο αποτελείται από ένα μείγμα τσιμέντου και αδρανών που αναμιγνύεται με νερό πριν από την άντληση του, δια μέσου σωλήνα προς το ακροφύσιο εξαγωγής.

Για την προώθηση του υλικού χρησιμοποιείται αέρας υψηλής πίεσης και το σκυρόδεμα κατά την πρόσκρουση του στην επιφάνεια συμπυκνώνεται με την βοήθεια της ίδιας της ορμής του υλικού.

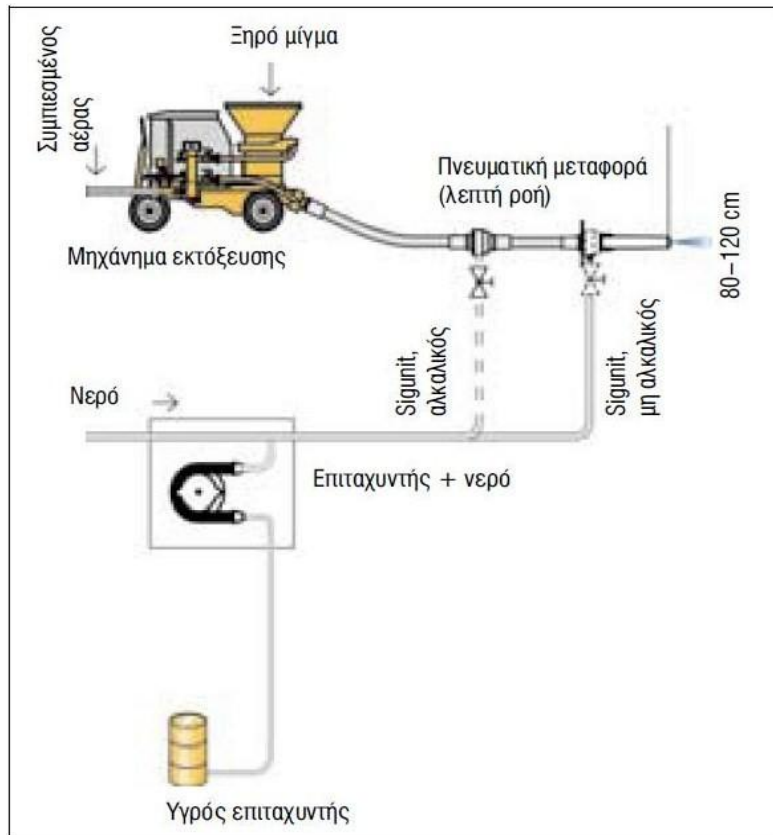
Στην υγρή μέθοδο ο λόγος νερού προς τσιμέντο μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια και με την χρήση ρευστοποιητών μπορεί κανείς εύκολα να πετύχει λόγο νερού προς τσιμέντο, της τάξεως του 0,40, με ότι συνεπάγεται αυτό για υψηλές αντοχές.

Οι απαιτήσεις για αντοχή σκυροδέματος μπορούν να καθοριστούν με παρόμοιο τρόπο όπως και στο συμβατικό σκυρόδεμα αν και στο ΕΣ με την υγρή μέθοδο οι υψηλές αντοχές επιτυγχάνονται κυρίως με την υψηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο. Συνήθως σε μελέτες σύνθεσης ΕΣ με την υγρή μέθοδο καθορίζουν την περιεκτικότητα σε τσιμέντο στην περιοχή των 350 kg/m^3 έως 450 kg/m^3 και οι επιταχυνόμενες αντοχές σε κυβικά δοκίμια είναι συνήθως στην περιοχή των 40 N/mm^2 με 60 N/mm^2 στις 28 μέρες χωρίς χρήση. Με την χρήση πρόσθετων που ελέγχουν την ενυδάτωση του τσιμέντου, ο χρόνος χρήσεως του ΕΣ με την υγρή μέθοδο εκτείνεται μέχρι και τις 72 ώρες επιτρέποντας στο σύστημα να έχει μεγάλη ευελιξία και καθιστώντας πλέον μη απαραίτητο τον καθαρισμό του συστήματος μετά από κάθε εφαρμογή.

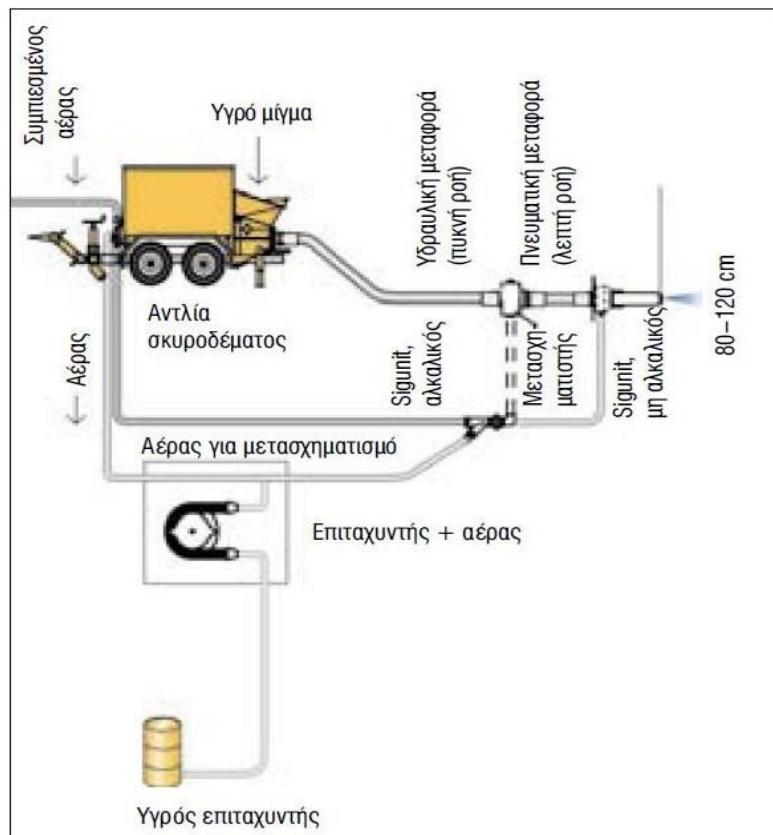
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται περιληπτικά οι βασικότεροι παράγοντες επιλογής της μεθόδου ανάμιξης.

Παράγων	Ξηρά ανάμειξη	Υγρή ανάμειξη
Εξοπλισμός	Χαμηλή ολική επένδυση. Συντήρηση σχετικά απλή και αραιή	Λιγότερος επί τόπου εξοπλισμός. Λιγότερη φθορά στην αντλία, στις σωλήνες και στο ακροφύσιο. Λιγότερο από 60% κατανάλωση πιεσμένου αέρα.
Μίξη	Στο εργοτάξιο ή στο εργοστάσιο έτοιμα αναμεμειγμένα ξηρά συστατικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αλλά δεν μπορούν να παραμείνουν ανοικτά σε ύφυγρο ή υγρό περιβάλλον. Η συμπεριφορά βλάπτεται από την υγρασία της άμμου.	Ακριβής ανάμειξη στην μονάδα ανάμειξης. Χρήση έτοιμου σκυροδέματος. Αποδεκτή η υγρή άμμος.
Παραγωγή	Σπανίως ξεπερνά επί τόπου τα 5 m ³ /h. Μπορεί να μεταφερθεί σε μεγαλύτερες αποστάσεις απ' ό,τι τα υγρά μείγματα.	Μεγαλύτερη από ότι αντίστοιχες μηχανές ξηρής μείξης. 2 – 10 m ³ /h από ακροφύσιο χειριστή ως 20 m ³ /h με βραχίονα χειρισμού.
Αναπήδηση	Μπορεί να είναι 15 – 40% από κατακόρυφα τοιχώματα και 20 – 50% από την οροφή. Δημιουργεί θύλακες αναπήδησης. Η απώλεια αδρανών κάνει τη συμφωνία με την μελέτη της σύνθεσης δύσκολη, και το προστιθέμενο τσιμέντο είναι συνήθως πολύ.	Χαμηλή κάτω του 10% για σωστό μείγμα. Μη δημιουργία θυλάκων αναπήδησης. Μικρή απώλεια αδρανών.
Ποιότητα	Υψηλότερη αντοχή λόγω του υψηλού λόγου N/T. Λιγότερο ομοιογενές καθόσον η προσθήκη νερού κανονίζεται από τον χειριστή και την ασυνεχή προώθηση του υλικού.	Δυσκολία επίτευξης υψηλής αντοχής λόγω του υψηλότερου λόγου N/T. Πιο ομοιογενής ποιότητα.
Ταχύτητα κρούσης	Υψηλή, με καλή πρόσφυση και ευκολότερη χρήση στην οροφή.	Γενικά επαρκής για τα υπόγεια έργα.
Πρόσθετα	Σα σκόνη στο μείκτη ή στην χοάνη. Υγρά στο ακροφύσιο.	Γενικά σε υγρή μορφή στο ακροφύσιο.
Σκόνη	Μεγάλη παραγωγή σκόνης που μπορεί να μειωθεί με 5 – 15% προϋγρανση, ή με μετακίνηση του δακτυλίου του νερού προς τα πίσω του ακροφυσίου.	Πολύ μικρή ποσότητα. Καλύτερη ορατότητα. Κανένας κίνδυνος δημιουργίας στρώσεων από την σκόνη.
Άλλη χρήση	Αμμοβολή	Άντληση σκυροδέματος.

Πίνακας 2.1. Παράγοντες επιλογής της διαδικασίας μείξης



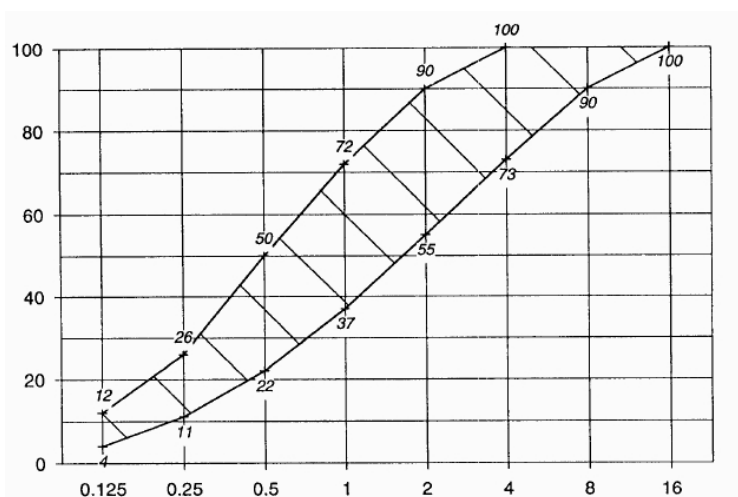
Εικόνα 2.3. Τυπική εγκατάσταση για την ξηρά μέθοδο



Εικόνα 2.4. Τυπική εγκατάσταση για την Υγρή μέθοδο

2.4 ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η σύνθεση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος ακολουθεί αντίστοιχους κανόνες με αυτούς που ισχύουν για το συμβατικό έγχυτο σκυρόδεμα. Το μείγμα επιλέγεται με μέγιστο κόκκο που δεν ξεπερνά τα 12mm ενώ το κλάσμα των αδρανών με κόκκο μεγαλύτερο από 8mm δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 10%. Επιπροσθέτως, το μείγμα των αδρανών πρέπει να βρίσκεται εντός της σκιασμένης περιοχής του διαγράμματος που προτείνεται από την EFNARC. Όταν χρησιμοποιείται η τεχνική της ξηράς ανάμειξης το ανώτερο τμήμα της παραπάνω περιοχής είναι καταλληλότερο, ενώ η προύγκραση 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.



Κόσκια ISO (mm)

Εικόνα 2.5. Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών για χρήση σε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Ως ελάχιστη ποσότητα τσιμέντου στο μείγμα θεωρείται η προβλεπόμενη στον Κ.Τ.Σ.-97 ανάλογα με τις ειδικότερες απαιτήσεις. Πάντως δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερη από 300 kg/m^3 . Εξάλλου ο λόγος νερού προς τσιμέντο (N/T)

δεν μπορεί να ξεπερνά το 0,55. Τα συνηθέστερα όρια του λόγου N/T είναι από 0,35 έως 0,45 για την ξηρά ανάμειξη, και 0,40 έως 0,55 για την υγρά. Οι ακριβείς ποσότητες νερού και τσιμέντου πρέπει να προσδιορίζονται από την μελέτη σύνθεσης ανάλογα με την απαιτούμενη θλιπτική αντοχή του τελικού προϊόντος. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται η υγρά μέθοδος ανάμειξης 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. Στον υπολογισμό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι στην θέση πρόσπτωσης το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα έχει υψηλότερο ποσοστό τσιμέντου και λεπτόκοκκων αδρανών απ' ότι στην θέση ανάμειξης, επειδή τα χονδρότερα αδρανή έχουν χαμηλότερο ποσοστό ανακλώμενου υλικού.

Στην περίπτωση της ξηράς μεθόδου ανάμειξης, πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι δεν υπάρχει 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 το δεδομένο 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.

Ελλείπει σχετικών δεδομένων, μια χονδρική εκτίμηση των αναλογιών σύνθεσης θα μπορούσε να γίνει με βάση τον παρακάτω πίνακα συσχέτισης αντοχής και αναλογίας τσιμέντου στο μείγμα, και θεωρώντας $N/T = 0,40$.

2.4.1 Τσιμέντο και νερό

Τσιμέντα Portland διαφόρων τύπων είναι εξίσου επιτρεπτά. Η επιλογή του τύπου του τσιμέντου εξαρτάται συνήθως από την συμβατότητα τους με τους επιταχυντές που βρίσκονται στην διάθεσή μας. Ο βέλτιστος χρόνος πήξης επιτυγχάνεται με τον πιο συμβατό συνδυασμό τσιμέντου και επιταχυντή πράγμα το οποίο απαιτεί εργαστηριακές δοκιμές. Εφόσον υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης από θειικά τότε απαιτείται τσιμέντο ανθεκτικό σε αυτά. Εφόσον χρησιμοποιηθεί τσιμέντο ταχείας πήξης είναι πιθανό να μην χρειασθεί επιταχυντικό πρόσθετο. Το νερό του μείγματος πρέπει να είναι καθαρό, απαλλαγμένο από αιωρούμενη ίλυ ή οργανικά υλικά και από αλκαλικά ή άλλα διαλυμένα ορυκτά άλατα. Νερό που ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κανονισμών σκυροδέματος είναι αποδεκτό (Παρ. 4.4 του Κ.Τ.Σ- 97).

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 0,45. Η ποσότητα τσιμέντου εξαρτάται από την απαίτηση αντοχής για τον μέγιστο κόκκο αδρανών. Μη αναγκαία μεγάλη απαίτηση αντοχής απαιτεί υπερβολικά μεγάλη αναλογία τσιμέντου που έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλη συστολή ξήρανσης και ρηγμάτωση.

Για ξηρά μείγματα η ποσότητα τσιμέντου Portland θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ των παρακάτω ορίων:

Λεπτό εκτοξευόμενο σκυρόδεμα		
μέγιστος κόκκος αδρανών	0 – 4 mm	450 – 600 kg/m ³
Μέσο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα		
μέγιστος κόκκος αδρανών	0 – 8 mm	350 – 450 kg/m ³
Αδρό εκτοξευόμενο σκυρόδεμα		
μέγιστος κόκκος αδρανών	0 – 15 mm	300 – 350 kg/m ³

Για υγρά μείγματα η περιεκτικότητα σε νερό στοχεύει συνήθως σε μια κάθιση μεγαλύτερη από 50 mm. Όταν η κάθιση ξεπερνά τα 150 έως 175 mm, χάνεται η συνοχή και τα χονδρόκοκκα αδρανή τείνουν να διαχωρίζονται. Η περιεκτικότητα σε τσιμέντο του επί τόπου σκυροδέματος είναι πάντα μεγαλύτερη από αυτή του εκτοξευόμενου μείγματος, λόγω της μεγαλύτερης αναπήδησης των αδρανών από αυτή του τσιμέντου. Τούτο εμφανίζεται ιδιαίτερα στην περίπτωση της εφαρμογής της ξηράς μεθόδου προς την οροφή. Η αντοχή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος εξαρτάται από τις αναλογίες του μείγματος και την περιεκτικότητα σε νερό και τούτο απαιτεί ικανότητα του χειριστή. Κατά την μέθοδο ξηράς μείξης η ποσότητα του νερού ελέγχεται από τον χειριστή του ακροφυσίου, ενώ στην υγρά μέθοδο ο χειριστής της εγκατάστασης ανάμειξης θα πρέπει να ρυθμίζει την σωστή ποσότητα νερού.

Οποσδήποτε μία ποσότητα αναπήδησης δεν μπορεί να αποφευχθεί. Λόγω αυτής της αναπήδησης η επί τόπου σύνθεση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος θα διαφέρει από το αρχικό μείγμα. Αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την προετοιμασία του μείγματος ώστε να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη ποιότητα επί τόπου. Η σύνθεση του μείγματος επί τόπου εξαρτάται από την αρχική σύνθεση, το σχεδιασμό του ακροφυσίου, την ταχύτητα πρόσκρουσης, την ικανότητα του χειριστή, την επιφάνεια εφαρμογής, την ποσότητα και τον τύπο των πρόσθετων, τον οπλισμό, την απόσταση του ακροφυσίου από την επιφάνεια και την γωνία ψεκασμού.

2.4.2 Αδρανή

Αυτά θα πρέπει να συμφωνούν με τις προδιαγραφές ΕΛΟΤ 408. Η κοκκομετρική τους διαβάθμιση θα πρέπει να είναι συνεχής χωρίς έλλειψη ή υπερβολή σε οποιοδήποτε μέγεθος. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται βέλτιστη συμπύκνωση με αποτέλεσμα πυκνό υλικό, στεγανότητα, υψηλή θλιπτική αντοχή και ελαχιστοποίηση της αναπήδησης. Αδρανή από σχιστώδη υλικά ή που

περιλαμβάνουν επιμήκεις κόκκους τείνουν να μειώσουν την συμπύκνωση. Άλλωστε οι επιμήκεις κόκκοι έχουν πολύ μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια από αυτή που έχουν οι στρογγυλεμένοι, με αποτέλεσμα τα μείγματα που περιέχουν τους πρώτους να είναι πτωχά σε τσιμέντο. Λόγω της αναπήδησης γίνεται από μόνη της διαβάθμιση του μείγματος με την απώλεια κυρίως των μεγάλων κόκκων και η πράξη έχει δείξει ότι και αδρανή με κακή διαβάθμιση είναι δυνατό να δώσουν ποιοτικά καλό εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, μολονότι η ποσότητα αναπήδησης είναι μεγαλύτερη από όσο είναι αποδεκτό. Οι σημερινές προδιαγραφές τείνουν περισσότερο να είναι απαιτήσεις συμπεριφοράς. Η ζώνη Δ της κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών με μέγιστο κόκκο αδρανών $\Phi 15$ είναι συνήθως αποδεκτή για όλες τις κατασκευές από σκυρόδεμα.

Το ποσοστό υγρασίας των λεπτών και χονδρών αδρανών πριν την ανάμειξη τους με τσιμέντο πρέπει να είναι μεταξύ 3% και 6%. Διακυμάνσεις στην υγρασία κατά την τροφοδότηση καταλήγουν σε διακυμάνσεις στην τροφοδότηση από το ακροφύσιο με αποτέλεσμα την χειροτέρευση της ποιότητας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Για τον έλεγχο της υγρασίας θα πρέπει να γίνεται χρήση της φυσικής ιδιότητας της αποστράγγισης των κοκκωδών αδρανών. Η υγρασία συγκρατείται κυρίως στην άμμο, όμως όλα τα κλάσματα μπορούν να αποστραγγίζονται εφόσον κείνται σε επίπεδο από όπου το νερό μπορεί να διαφεύγει. Εφόσον η άμμος είναι ξηρή θα πρέπει να διαβρέχεται και να αναμειγνύεται σε ποσοστό υγρασίας 8% πριν από την μείξη της με το χονδρόκοκκο αδρανές, η δε υγρασία θα πρέπει να ελέγχεται πριν από την ανάμειξη με το τσιμέντο. Πολύ υγρά μείγματα τσιμέντου – αδρανών βουλώνουν τους σωλήνες προσαγωγής και αυξάνουν τον ρυθμό ενυδάτωσης πέρα από τα αποδεκτά όρια. Ένα πολύ ξηρό μείγμα παρουσιάζει πρόβλημα διαβροχής στο ακροφύσιο με αύξηση της σκόνης και μείωση της συμπύκνωσης. Συσκευές διαβροχής τοποθετημένες στις μεταφορικές ταινίες που οδηγούν στην μηχανή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς.

Μονάδες μεταφοράς και ανάμειξης έχουν αναπτυχθεί για την ανάμειξη αδρανών και τσιμέντου μέσα στις σήραγγες για άμεση τροφοδότηση της μηχανής εκτόξευσης. Οι σωστές αναλογίες και η μεταφορά επιτυγχάνονται είτε με βαθμονομημένους ατέρμονες κοχλίες που τροφοδοτούν με τα διάφορα υλικά κατ' όγκο, ώστε να δημιουργηθεί ένα καθορισμένο μείγμα τσιμέντου και αδρανών, είτε με μεταφορικούς ιμάντες που μεταφέρουν από διαφορετικές αποθήκες τσιμέντο, άμμο και χονδρόκοκκα αδρανή. Το επιταχυντικό δεν πρέπει να προστίθεται στο ξηρό μίγμα πριν από την είσοδο του στην μηχανή εκτόξευσης. Η μηχανική τροφοδότηση με ατέρμονα κοχλία είναι πολύ αποτελεσματική ενώ ο δονητικός τύπος τείνει να βουλώνει επειδή τα επιταχυντικά είναι υγροσκοπικά. Τα υγρά επιταχυντικά πρέπει να αναμειγνύονται με το νερό πριν αυτό κατευθυνθεί στο ακροφύσιο.

2.4.3 Πρόσθετα – Πρόσμικτα

Τα επιταχυντικά χημικά πρόσθετα χρησιμοποιούνται στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ώστε να αποκτά αυτό γρηγορότερα αντοχή και να μπορεί να φέρει φορτία της σήραγγας σε πρώιμα στάδια της διάνοιξης. Εκτός αυτού μειώνουν το βαθμό της αναπήδησης των αδρανών και επιτρέπουν την δημιουργία παχύτερων στρώσεων ανά ψεκασμό, την εκτόξευση σε υγρές επιφάνειες με μικρή ροή και την χρήση της μεθόδου υγρής μίξης για εκτόξευση προς την οροφή. Συχνά στις σήραγγες απαιτούνται, από τις προδιαγραφές, χρόνοι αρχικής πήξης 3 λεπτά, τελικής πήξης 10 λεπτά, και ανάπτυξης αντοχής 5 MPa στις πρώτες 8 ώρες.

Αυτά και ακόμη αυστηρότερα κριτήρια μπορούν να επιτευχθούν με την προσεκτική επιλογή ενός κατάλληλου συνδυασμού τσιμέντου και επιταχυντή. Η εκτίμηση της καταλληλότητας του επιταχυντή θα πρέπει να γίνεται πριν από την έναρξη της κατασκευής, καθόσον πολλοί επιταχυντές είναι ασυμβίβαστοι με διάφορα τσιμέντα. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην ποσότητα της δόσης του επιταχυντή καθόσον όλοι οι επιταχυντές μειώνουν λιγότερο ή περισσότερο την

τελική αντοχή του σκυροδέματος. πολλοί από τους σύγχρονους επιταχυντές επιφέρουν πολύ μικρότερη μείωση της τελικής αντοχής του σκυροδέματος. Η συνήθης δόση των επιταχυντών είναι περίπου 2% του τσιμέντου κατά βάρος, αν και δόσεις 7% χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται εξαιρετικά γρήγορη σκλήρυνση.

Στη μέθοδο ξηράς μείξης η αντοχή έχει μεγάλες διακυμάνσεις καθόσον οι ποσότητες του νερού και του επιταχυντή μετρούνται στο χέρι. Οι δόσεις κρατούνται όσο το δυνατό πιο χαμηλές λόγω του κόστους του πρόσθετου και λόγω της μείωσης που επιφέρουν τα ανόργανα πρόσθετα στην τελική αντοχή του σκυροδέματος. Επί τόπου χρησιμοποιούνται δύο ειδών περιεκτικότητες πρόσθετου, μία χαμηλή για συνήθη χρήση, και μία υψηλότερη για την κατασκευή μιας αρχικής επένδυσης πολύ μικρού πάχους σε δύσκολες συνθήκες με νερά ή σε χαλαρό έδαφος. Στην πρώτη περίπτωση δεν πρέπει η αντοχή να μειώνεται περισσότερο από 30% σε σχέση με το αντίστοιχο σκυρόδεμα χωρίς την χρήση του πρόσθετου. Στην δεύτερη περίπτωση η απώλεια στην τελική αντοχή δεν έχει σημασία εφόσον σημασία έχει η προσωρινή σταθεροποίηση του εδάφους και η υδρομάστευση, ενώ τα φορτία πρόκειται να αναληφθούν από τις στρώσεις εκτοξευόμενου σκυροδέματος που θα ακολουθήσουν.

Κατά τα τελευταία χρόνια έχει γίνει σημαντική πρόοδος στον εξοπλισμό διανομής του επιταχυντή είτε με μορφή σκόνης είτε σε υγρή μορφή. Τούτο έχει σαν αποτέλεσμα την καλύτερη διασπορά του επιταχυντή μέσα στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Το πάχος της στρώσης και η ταχύτητα πήξης ρυθμίζονται από αξιόπιστες μετρητικές αντλίες επιταχυντή. Οι μονάδες μέτρησης συνδέονται μηχανικά ή υδραυλικά με την αντλία προώθησης. Κατά τον τρόπο αυτό ο λόγος των ποσοτήτων παραμένει σταθερός ακόμα και όταν η ποσότητα της παραγωγής αλλάζει, με αποτέλεσμα την υψηλή ποιότητα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος ανεξαρτήτως της προσοχής που δίνει ο χειριστής του ακροφυσίου. Στην περίπτωση χρήσης σάκων ξηρής πρόσμειξης η διασπορά του επιταχυντή είναι εξαιρετικά καλή. Με την προσεκτική επιλογή συμβατών

τσιμέντων και επιταχυντών και κατάλληλου εξοπλισμού διανομής είναι δυνατό να αποφεύγονται τα συνήθη προβλήματα κατά την χρήση των επιταχυντών. Τελευταία η χρήση Πυριτιακού καπνού (silica fume) στην τεχνική του εκτοξευόμενου σκυροδέματος έχει μειώσει την ανάγκη χρήσης επιταχυντών, ειδικότερα κατά την εφαρμογή της μεθόδου ξηρής μείξης, όταν απαιτείται δημιουργία παχέων στρώσεων ή αντίσταση νωπού εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε ξέπλυμα.

Ο ψεκασμός επάνω σε σκληρές επιφάνειες δημιουργεί μεγαλύτερη αναπήδηση των αδρανών από τον ψεκασμό σε σχετικά μαλακότερες επιφάνειες. Εφόσον ψεκάζονται αλληπάλληλες στρώσεις θα πρέπει να υπολογίζονται οι σωστές ποσότητες των πρόσθετων κάθε φορά. Κατά τον ψεκασμό σε κατακόρυφα τοιχώματα η δόση των πρόσθετων θα είναι μικρότερη από ότι κατά τον ψεκασμό της οροφής. Κατά τον ψεκασμό του δαπέδου είναι συχνά δυνατή η μη χρήση πρόσθετων.

Εκτός των επιταχυντών στο σκυρόδεμα προστίθεται μια ποικιλία από πρόσθετα ή πρόσμικτα υλικά, ειδικότερα μάλιστα στα υλικά της υγρής μείξης, προκειμένου να βελτιώνουν την αντοχή, την πρόσφυση, την συνεκτικότητα, την αντίσταση στον παγετό, την τήξη και την αποτριβή, να παρεμποδίζουν την οξείδωση και να μειώνουν την αναπήδηση.

Οι συμπυκνωμένοι Πυριτιακοί καπνοί και Σιδηροπυριτικές τέφρες, που είναι βασικά τα ίδια υλικά με ελαφρά διαφορετικές χημικές συνθέσεις, είναι παραπροϊόντα της βιομηχανίας Πυριτικών Μετάλλων και Σιδηροπυριτικών κραμάτων. Τα υλικά αυτά κάποτε απορρίπτονταν σαν απορρίμματα, σήμερα όμως είναι χρήσιμα προϊόντα που πολλές φορές κοστίζουν περισσότερο από το τσιμέντο. Ο Πυριτιακός καπνός έχει υψηλές ποζολανικές ιδιότητες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για μερική αντικατάσταση του τσιμέντου. Η χρήση πυριτιακού καπνού θα πρέπει να συνδυάζεται με υπερρευστοποιητές για την επίτευξη της απαιτούμενης εργασιμότητας.

Οι μειωτές νερού χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της εργασιμότητας του υγρού μείγματος εκτοξευόμενου σκυροδέματος, τη συνεκτικότητα του υγρού μείγματος στην πλαστική κατάσταση και την αντλησιμότητα. Οι υπερρυστοποιητές είναι μειωτές νερού υψηλής δράσης, που διαφέρουν χημικά από τους κοινούς μειωτές νερού ή τους κοινούς ρυστοποιητές. Χρησιμοποιούνται είτε για να αυξήσουν την αντοχή, είτε για να αυξήσουν σημαντικά την εργασιμότητα χωρίς να μειώσουν την αντοχή. Οι μειωτές νερού και οι υπερρυστοποιητές είναι πρόσμικτα που χρησιμοποιούνται συχνά και μόνο για την επίτευξη υψηλής ποιότητας εκτοξευόμενου σκυροδέματος υγρής μείξης.

Τα πρόσθετα από πολυμερή γαλακτώματα προστίθενται στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ξηρής ανάμειξης για να αποδώσουν σε αυτό ειδικά απαιτούμενες ιδιότητες, όπως βελτίωση της πρόσφυσης, μείωση της περατότητας, αντίσταση στην δράση των χλωριδίων, αύξηση της ανθεκτικότητας σε συνθήκες παγετού και τήξης, αντίσταση στην κρούση, προστασία του χάλυβα και βελτίωση της αντοχής. Τα αερακτικά πρόσμικτα χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα θα εκτίθεται σε εναλλασσόμενες συνθήκες παγετού και τήξης.

2.4.4 Τυπική μελέτη σύνθεσης

Μία τυπική μελέτη σύνθεσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος φαίνεται παρακάτω.

- Αδρανή υλικά

Η κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου είναι η ακόλουθη:

Μέγεθος οπής κόσκινου	Διερχόμενα ποσοστά βάρους %	
	Άμμος	Σύνθεση
#4	100	100
#8	75	75

#16	53	53
#30	39	39
#50	27	27
#100	19	19

Η κοκκομετρική καμπύλη της άμμου έχει σχεδιαστεί στο παρακάτω διάγραμμα.

Η παιπάλη της άμμου, το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο Νο 200 είναι 16%.

- Δοκιμαστικές συνθέσεις

Οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σαν υλικό (τρόπος συμπύκνωσης, προσθήκη επιταχυντών κλπ.) απαιτούν συνδυασμό δοκιμών, τόσο στο εργαστήριο όσο και στο εργοτάξιο.

Μετά από σειρά δοκιμών, προέκυψε ότι η καλύτερη σύνθεση για το σκυρόδεμα που ζητείται αποτελείται από 100% άμμο κατά βάρος ξηρών υλικών με 430 kg/m³ τσιμέντο CEM II/B-M (W-LL) 32.5N και πρόσμικτα με εμπορικές ονομασίες POZZOLITH 132 και RHEOBUILT 1-2 με αναλογία 0,50 kg ανά 100 kg τσιμέντου και 0,64 kg ανά 100 kg τσιμέντου αντίστοιχα.

Το αντίστοιχο δοκιμαστικό μίγμα έδωσε τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Λόγος N/T	0,534
Κάθιση 0+10 min	11 cm
Αέρας	5.7%
Πλαστικότητα	Καλή
Φαινόμενο βάρος συμπυκνωμένου μίγματος	2238 kg/m ³

Ο μέσος όρος αντοχής σε θλίψη των κυβικών δοκιμών ακμής 15 cm που έγιναν από αυτό το μίγμα βρέθηκε ίσος με 29,8 MPa σε ηλικία 7 ημερών και 39,1 MPa σε ηλικία 28 ημερών.

- Αναλογίες σύνθεσης

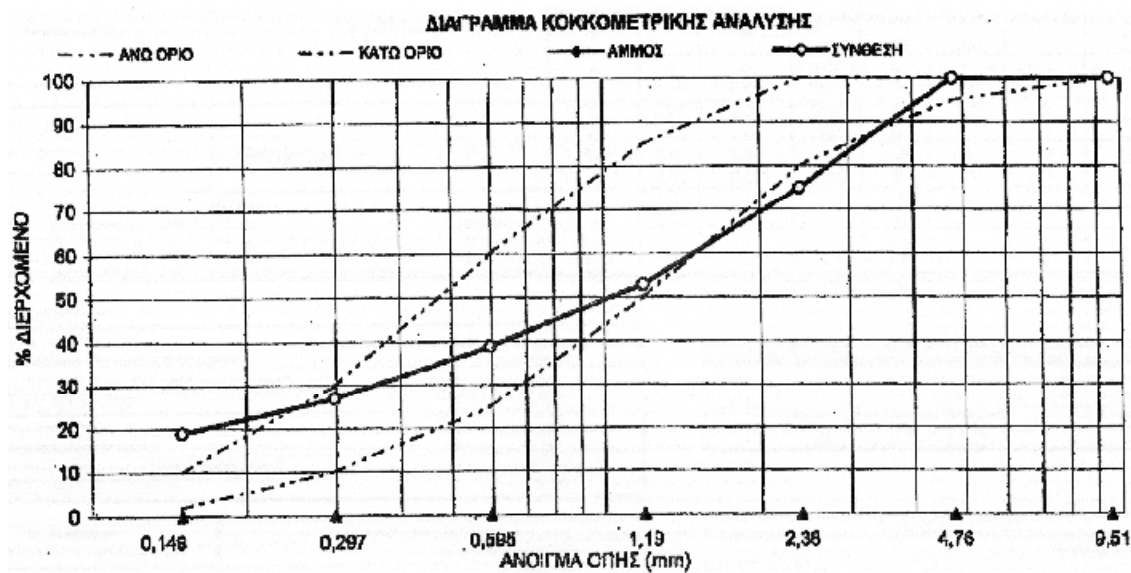
Από τα προηγούμενα προκύπτουν οι ακόλουθες ποσότητες υλικών για την παρασκευή 1 m³ νωπού και συμπυκνωμένου σκυροδέματος.

Τσιμέντο CEM II/B-M (W-LL) 32.5N	430 kg
Άμμος	1555 kg
Νερό	230 λίτρα
POZZOLITH 132	2,2 kg
RHEOBUILT 1-2	2,8 kg

Κόσκινα	Άνοιγμα οπής	ACI		-	-	-	άμμος	-	Σύνθεση
		Άνω όριο	Κάτω όριο						
#100	0,149	2	10				19		19
#50	0,297	10	30				27		27
#30	0,595	25	60				37		39
#16	1,19	50	85				53		53
#8	2,38	80	100				75		75
#4	4,78	95	100				100		100
3/8*	9,51	100	100				100		100
Συμμετοχή στο μίγμα (%)							100		

Πίνακας 2.2. Κοκκομετρική διαβάθμιση

- Διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης



2.5 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Προκειμένου να παραχθεί ανθεκτικό σκυρόδεμα το οποίο προστατεύει την ενίσχυση χάλυβα από τη διάβρωση και αντέχει στις συνθήκες εργασίας και περιβάλλοντος, χρειάζεται να λάβουμε υπ' όψη τους παρακάτω παράγοντες:

- επιλογή των κατάλληλων συστατικών τα οποία να μη βλάπτουν το σκυρόδεμα και
- επιλογή μιας σύνθεσης σκυροδέματος η οποία ικανοποιεί όλα τα απαιτούμενα κριτήρια.

2.5.1 Περιεκτικότητα σε χλώριο

Η περιεκτικότητα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε χλώριο δε θα πρέπει να ξεπερνάει τις τιμές που ορίζονται στο ENV 206 παράγραφος 5.5.

2.5.2 Περιεκτικότητα σε αλκάλιο

Η περιεκτικότητα των αδρανών σε αλκάλιο θα πρέπει να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις των ισχυουσών εθνικών κριτηρίων προκειμένου να αποφευχθεί πιθανή αντίδραση αλκαλίου πυριτίου.

2.6 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΙΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα θα πρέπει να τηρεί τις επιτρεπόμενες τιμές περιβαλλοντικής έκθεσης όπως αυτές ορίζονται στο κεφάλαιο 5 του EN 206 και στις σχετικές οδηγίες με εξαίρεση τα εξής:

- Ο μέγιστος λόγος νερού / τσιμέντου δε θα πρέπει να υπερβαίνει το 0,55
- Η ελάχιστη περιεκτικότητα σε τσιμέντο θα πρέπει να αντιστοιχεί σε 300 kg/m^3
- Η ανθεκτικότητα στο ψύχος καθορίζεται από τον έλεγχο ψύξης- απόψυξης και όχι από την ελάχιστη περιεκτικότητα σε αέρα
- Οι ελάχιστες απαιτήσεις κάλυψης σχετίζονται με την ενίσχυση με ράβδους και πλέγμα και όχι με τις ίνες χάλυβα.

2.7 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΔΙΑΣΤΡΩΣΗΣ

Η επιφάνεια πάνω στην οποία θα εφαρμοστεί το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πρέπει να προετοιμάζεται κατάλληλα και να προστατεύεται κατά την διάρκεια της εκτόξευσης. Τα υλικά που θα έρθουν σε επαφή με το σκυρόδεμα πρέπει να είναι στερεά, πυκνής δομής και να μην δονούνται κατά την διάρκεια της εκτόξευσης. Η προετοιμασία της εξαρτάται από τον τύπο του δομικού υλικού και συνιστάται να εκτελείται ως ακολούθως:

2.7.1 Επιφάνεια σκυροδέματος

Οι διαδικασίες προετοιμασίας επιφάνειας σκυροδέματος πρέπει να εξασφαλίζουν ένα στερεό υπόβαθρο, το οποίο θα έχει την ικανότητα να αναπτύξει επαρκή πρόσφυση και σύνθεση με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Όπου υπάρχει θραυσμένο ή σε μεγάλη έκταση ρηγματωμένο ή αποσαθρωμένο σκυρόδεμα, αυτό θα απομακρύνεται εντελώς. Επίσης θα απομακρύνεται όποιο τμήμα σκυροδέματος έχει προσβληθεί με επιβλαβείς χημικές ουσίες, λάδια ή γράσο. Η διαδικασία προετοιμασίας της επιφάνειας σκυροδέματος, πάνω στην οποία θα γίνει η εκτόξευση, εξαρτάται από το προβλεπόμενο από την μελέτη απαιτούμενο βάθος εκτράχυνσης. Αν δεν αναφέρεται διαφορετικά στην μελέτη, οι μέθοδοι που επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν είναι η υδροβολή, η αμμοβολή και η χρήση αερόσφυρας πολλαπλής κεφαλής. Διαδικασίες εκτράχυνσης της επιφάνειας βάσης με χειρωνακτικές μεθόδους ισχυρής τοπικής κρούσης, όπως, π.χ. πελέκημα ή χρήση σφυριού και καλεμιού πρέπει να αποφεύγονται, επειδή η συνάφεια που προσφέρουν είναι μικρή. Δύο είναι κυρίως οι λόγοι της μειωμένης συνάφειας. Ο πρώτος είναι ότι με αυτές τις τεχνικές είναι πολύ δύσκολο ή αδύνατο να επιτευχθεί εκτράχυνση στο σύνολο της επιφάνειας βάσης. Ο δεύτερος είναι ότι δημιουργούνται μικρορυγματώσεις ακριβώς κάτω από την προετοιμαζόμενη επιφάνεια, που 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 έπειτα 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 72 ώρες από την αρχική πήξη του) η προετοιμασία θα περιορίζεται στην απομάκρυνση επιφανειακών εκχύσεων τσιμέντου, υλικών αναπήδησης, και άλλων χαλαρών υλικών. Η αρχική πήξη μπορεί να ελέγχεται

με την εισαγωγή ενός καρφιού μέσα στην στρώση του νωπού εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

2.7.2 Επιφάνεια τοιχοποιίας

Για τις επιφάνειες τοιχοποιίας ακολουθούνται αντίστοιχες διαδικασίες με αυτές που αναφέρθηκαν προηγουμένως για επιφάνειες από σκυρόδεμα, στοχεύοντας στην εξασφάλιση ενός στέρεου υπόβαθρου, το οποίο θα έχει την ικανότητα να αναπτύξει επαρκή πρόσφυση και σύνδεση με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Όπου υπάρχουν θραυσμένα ή σαθρά τμήματα τοιχοποιίας, αυτά θα αποκαθίσταται κατάλληλα πριν την εφαρμογή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. οι αρμοί της τοιχοποιίας είναι σκόπιμο να διευρύνονται εκτός αν προβλέπεται διαφορετικά από την μελέτη.

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

2.7.3 Επιφάνεια χάλυβα

Όταν η εκτόξευση γίνεται με στοιχεία από χάλυβα (οπλισμούς ή χαλύβδινα στοιχεία) η επιφάνειά τους πρέπει να είναι καθαρή, απαλλαγμένη από κάθε πρόσθετο υλικό (όπως ρινίσματα, σκουριά, λάδια, γράσο, πάγο, υλικό αναπήδησης, χρώμα), που μπορεί να εμποδίσει την ανάπτυξη της συνάφειας μεταξύ εκτοξευόμενου σκυροδέματος 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 δονήσεων τους κατά τη

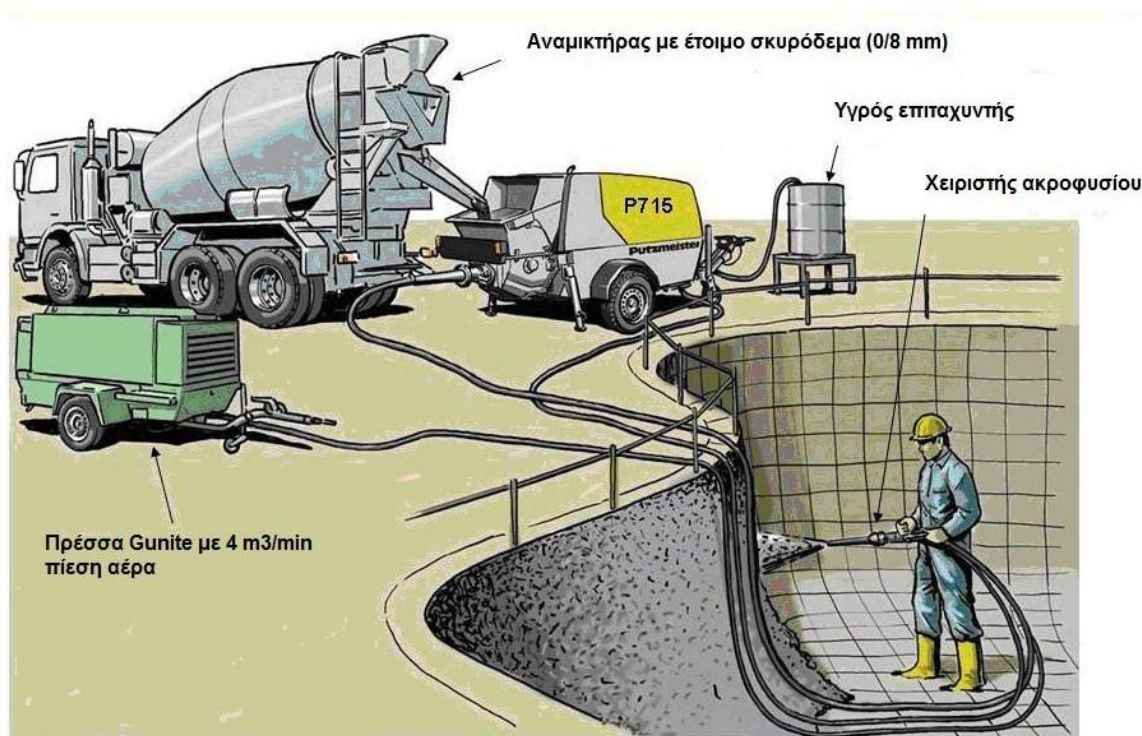
διάρκεια της εκτόξευσης, που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια πρόσφυσης ή κατάρρευση στρώσης του νωπού σκυροδέματος.

2.7.4 Επιφάνεια καλουπιών

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

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

2.8 ΕΚΤΟΞΕΥΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



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

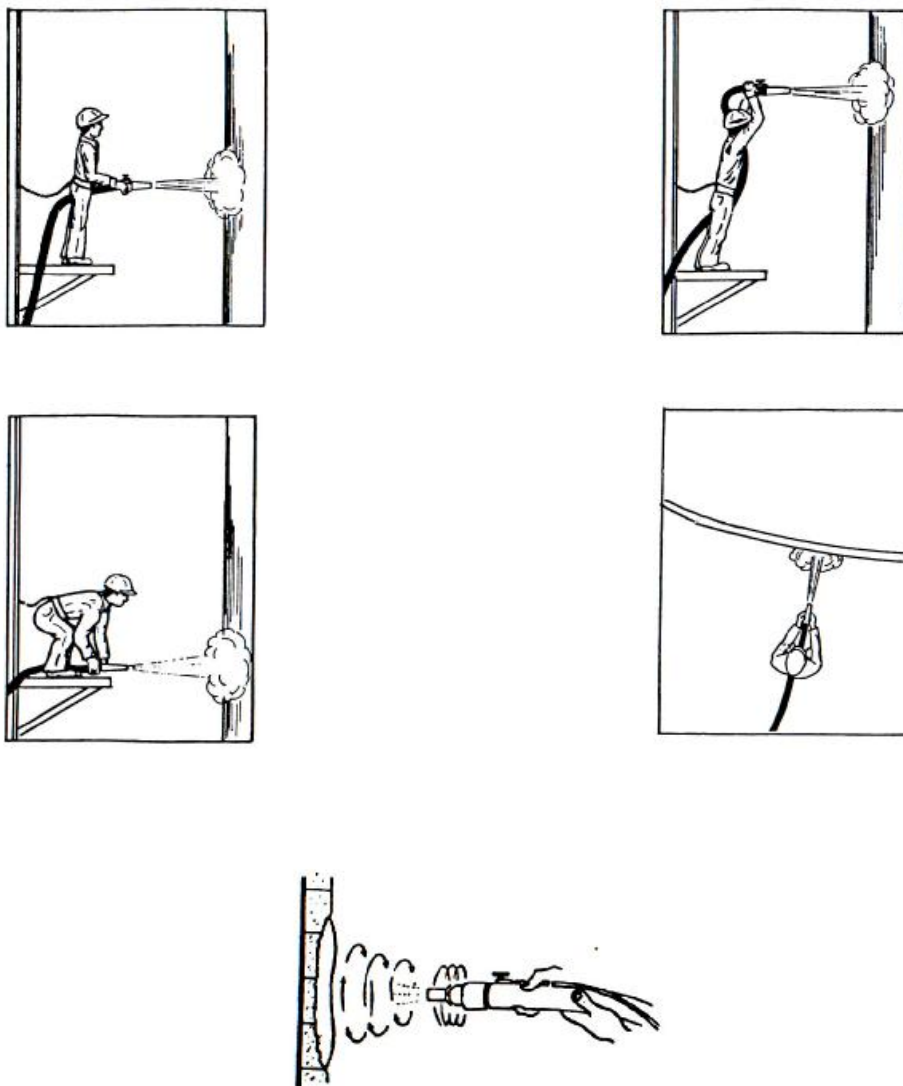
Η τροφοδοσία του υλικού θα είναι τέτοια ώστε να τηρούνται οι αναλογίες των υλικών του τελικού μίγματος, να μην υπάρχουν εμφράξεις του εξοπλισμού και να διατηρείται μια σταθερή ροή του υλικού στο ακροφύσιο. Όταν η ροή είναι ασυνεχής ή μεταβαλλόμενης ποσότητας ή όταν ο χειριστής του ακροφυσίου επιφέρει αλλαγές στην ποσότητα του νερού, τότε το ακροφύσιο θα

κατευθύνει την ροή μακριά από τη θέση εκτόξευσης μέχρι την αποκατάσταση σταθερών συνθηκών υλικού και τροφοδοσίας.

Η θερμοκρασία του μείγματος πριν την εκτόξευσή του και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου, δεν πρέπει να είναι κάτω από 5°C ή πάνω από 35 °C. Το συνιστώμενο εύρος θερμοκρασίας είναι μεταξύ 10 °C και 25 °C. Για θερμοκρασίες που βρίσκονται εκτός του συνιστώμενου εύρους αλλά εντός του αποδεκτού, απαιτείται η λήψη κατάλληλων μέτρων προσαρμογής της θερμοκρασίας των συστατικών του μίγματος όπως η προθέρμανση ή πρόμιξη των αδρανών ή/και του νερού ανάμιξης ή η θερμική προστασία του χώρου εργασίας. Η αποδοχή των παραπάνω μέτρων απαιτεί την έγκριση της Επίβλεψης. Για θερμοκρασίες περιβάλλοντος εκτός του αποδεκτού εύρους εφαρμόζονται αναλόγως οι διατάξεις των παρ. 12.8 και 12.9 του ΚΤΣ-97.

Η ταχύτητα με την οποία το υλικό εξέρχεται από το ακροφύσιο και η απόσταση του από την επιφάνεια εκτόξευσης θα πρέπει να είναι οι βέλτιστες, ώστε η συμπύκνωση της εκτοξευόμενης στρώσης και η πρόσφυση στην επιφάνεια του υποβάθρου να μεγιστοποιούνται και η αναπήδηση να ελαχιστοποιείται. Η απόσταση του ακροφυσίου από την προσβαλλόμενη επιφάνεια συνιστάται να είναι μεταξύ 0,5m και 1,0m. Η ελάχιστη και η μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση είναι 0,5 m και 1,5 m αντίστοιχα.

Η κατεύθυνση του ακροφυσίου και της εκτόξευσης θα είναι κατά το δυνατόν κάθετη προς την επιφάνεια εκτόξευσης με στόχο την ελαχιστοποίηση του ανακλώμενου υλικού.



Εικόνα 2.6: Οι στρώσεις συμπληρώνονται με επάλληλες μικρές κυκλικές ή ελλειπτικές κινήσεις του ακροφυσίου.

Κάθε στρώση θα δομείται από τα κατώτερα τμήματα προς τα ανώτερα και ο χειριστής θα συμπληρώνει το συνολικό πάχος της στρώσης με επάλληλες κυκλικές ή ελλειπτικές κινήσεις του ακροφυσίου χωρίς κίνηση μπρος-πίσω σε διαδοχικά «περάσματα».

Σε κάθε πέρασμα ή ανά στρώση δεν πρέπει να τοποθετείται περισσότερο υλικό από αυτό που μπορεί να προσκολληθεί με ασφάλεια χωρίς να παρουσιάζεται παραμόρφωση λόγω ολίσθησής του ή χαλάρωση της στρώσης. Ο χειριστής θα πρέπει πάντα να έχει τον έλεγχο του εφαρμόσιμου πάχους του υλικού και να μην υπερβαίνει αυτά τα όρια. Το πάχος κάθε στρώσης

εκτοξευόμενου σκυροδέματος (όταν δεν χρησιμοποιούνται επιταχυντές πήξης) συνιστάται να είναι:

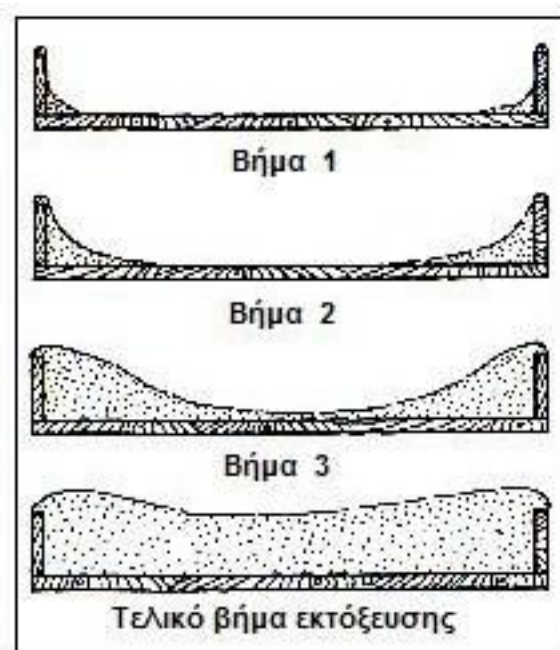
- Όταν περιλαμβάνονται οπλισμοί να καλύπτονται οι ράβδοι τουλάχιστον 10mm σε στρώσεις οροφής και 20mm σε κατακόρυφες στρώσεις.
- Όταν δεν περιλαμβάνονται οπλισμοί:
 - § max 30mm στρώσεις οροφής
 - § max 50mm σε κατακόρυφες στρώσεις.

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

Το υλικό της αναπήδησης δεν πρέπει ποτέ και για οποιοδήποτε λόγο να καλυφθεί με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Το υλικό αυτό θα απομακρύνεται από το έργο και θα εξασφαλίζεται ο αποκλεισμός της πιθανότητας επαναχρησιμοποίησεως του για παραγωγή εκτοξευόμενου ή συμβατικού σκυροδέματος.

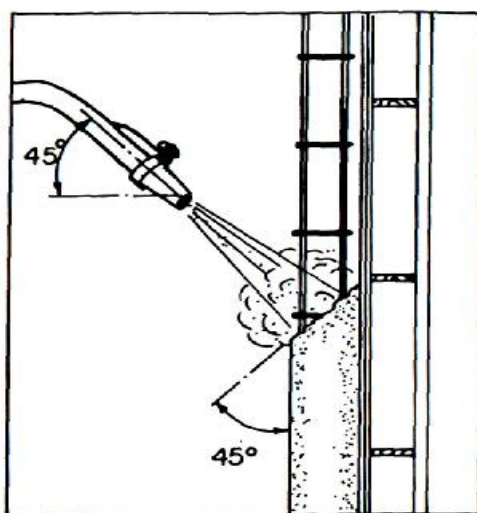
Μεγάλες κοιλότητες, σπηλαιώσεις ή ρήγματα της επιφάνειας εκτόξευσης πρέπει να γεμίζουν προσεκτικά με Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα πριν την εφαρμογή της κύριας στρώσης.

Εφόσον υπάρχουν εσωτερικές γωνίες στην επιφάνεια διάστρωσης ή γενικά σε περιοχές επιρρεπείς στην παγίδευση υλικού αναπήδησης η εκτόξευση θα αρχίζει από εκεί και το μέτωπο εργασίας θα απομακρύνεται πάντα με κατά μήκος κλίση από αυτές της περιοχές.



Εικόνα 2.7. Κατάλληλη διαδικασία εκτόξευσης σε εσωτερικές γωνίες

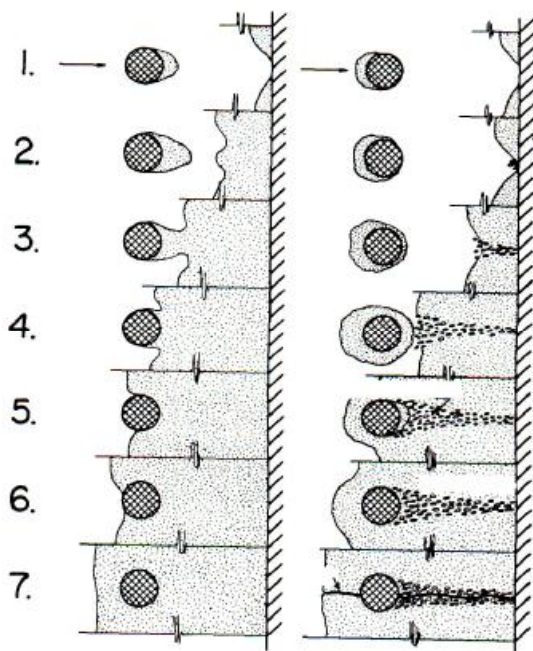
Όταν εφαρμόζεται μονή στρώση μεγάλου πάχους (πάνω από 150mm) θα εφαρμόζεται η τεχνική εκτόξευσης τύπου «ράμπας», κατά την οποία η στρώση δομείται με μια γωνία κορυφής περίπου, που επιτρέπει στο υλικό της αναπήδησης να κυλάει προς τα έξω.



Εικόνα 2.8. Συνιστώμενος τρόπος εκτόξευσης για μεγάλα πάχη

Όταν η εκτόξευση γίνεται σε επιφάνειες που έχει διαστρωθεί πλέγμα οπλισμών, συνιστάται να μειώνεται η απόσταση του ακροφυσίου από την επιφάνεια και να επιλέγεται ελαφρά απόκλιση της γωνίας εκτόξευσης από την ορθή ώστε το σκυρόδεμα να περνά και να συγκρατείται πίσω από τις ράβδους του πλέγματος. Στην περίπτωση ύπαρξης οπλισμών μεγάλης διαμέτρου ή και συγκεντρωμένου οπλισμού, η εκτόξευση του σκυροδέματος πίσω από τις ράβδους γίνεται με γωνία που μπορεί να αποκλίνει από την ορθή, είτε σε πολύ μικρότερες αποστάσεις από τις συνήθειες. Στην περίπτωση ύπαρξης οπλισμού σε μεγάλο πάχος διατομές στον εξοπλισμό θα περιλαμβάνεται διάταξη πεπιεσμένου αέρα η οποία θα επιτρέπει στο χειριστή της να ακολουθεί το χειριστή του ακροφυσίου και να απομακρύνει αμέσως κάθε υλικό αναπήδησης που πιθανόν να συσσωρεύεται πίσω από τον οπλισμό.

Όταν το σκυρόδεμα εκτοξεύεται προς τον οπλισμό το μπροστινό μέτωπο της ράβδου θα πρέπει να παραμείνει καθαρό χωρίς προσκόλληση σκυροδέματος, το δε εκτοξευόμενο υλικό πρέπει να ρέει γύρω και πίσω από τις ράβδους, δημιουργώντας έτσι ένα συμπυκνωμένο σκυρόδεμα πίσω από αυτές, (εικόνα 2.9). Για την αποφυγή κενών ή ασυμπύκνωτων περιοχών πίσω από ράβδους οπλισμού απαιτείται κατ' ελάχιστον ένα κενό 20 mm πίσω από τις ράβδους για να υπάρξει η δυνατότητα εγκιβωτισμού τους στο Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα. Για τον ίδιο λόγο συνιστάται η αποφυγή χρήσης ινοπλισμένου Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος με χαλύβδινες ίνες όταν στην εκτοξευόμενη στρώση εγκυβωτίζονται ράβδοι οπλισμού. Χαλύβδινες ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν γίνεται εκτόξευση σε στρώσεις έξω από ράβδους οπλισμού. Η παραπάνω διαδικασία εφαρμογής ινοπλισμένου Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος παρουσία οπλισμών, θα πρέπει να προδιαγράφεται στην μελέτη, διαφορετικά απαιτείται η αποδοχή της από την επίβλεψη.



Σωστός τρόπος Λανθασμένος τρόπος

Εικόνα 2.9: Εκτόξευση παρουσία οπλισμού

Για την καθοδήγηση στην διαμόρφωση των ευθυγραμμιών πρέπει να χρησιμοποιούνται οδηγοί από λεπτά σύρματα τα οποία δεν επηρεάζουν την διαδικασία της εκτόξευσης. Τα σύρματα αυτά έχουν υψηλή εφελκυστική αντοχή, διάμετρο 0,8 ή 1 mm, και τοποθετούνται με ακρίβεια στις γωνίες, στις προβολές των διατομών και σε διαστήματα συνήθως 0,6 έως 1m σε επίπεδες επιφάνειες. Για την αποφυγή υπερβολικών δονήσεων κατά την εκτόξευση και την επεξεργασία της επιφάνειας τα σύρματα πρέπει να τεντώνονται σφικτά. Ο τρόπος στερεώσεως θα δοκιμάζεται και κατά περίπτωση, ανάλογα με την εμπειρία του προσωπικού, μπορεί να απαιτηθεί η χρήση σφικτήρων, ελατηρίων ή άλλων κατάλληλων διατάξεων.

Για την καθοδήγηση στην διαμόρφωση καμπύλων επιφανειών πρέπει να χρησιμοποιούνται χαλύβδινες ράβδοι διαμέτρου 6mm που θα κάμπτονται στην απαιτούμενη καμπυλότητα και θα στερεώνονται κατάλληλα. Όπου είναι απαραίτητο και δυνατόν να χρησιμοποιηθούν άκαμπτοι οδηγοί που θα είναι λωρίδες από ξύλινα πηχάκια μέγιστων διαστάσεων 25x50 mm που συνδέονται με τραβέρσες ανά 0,6 έως 1m.

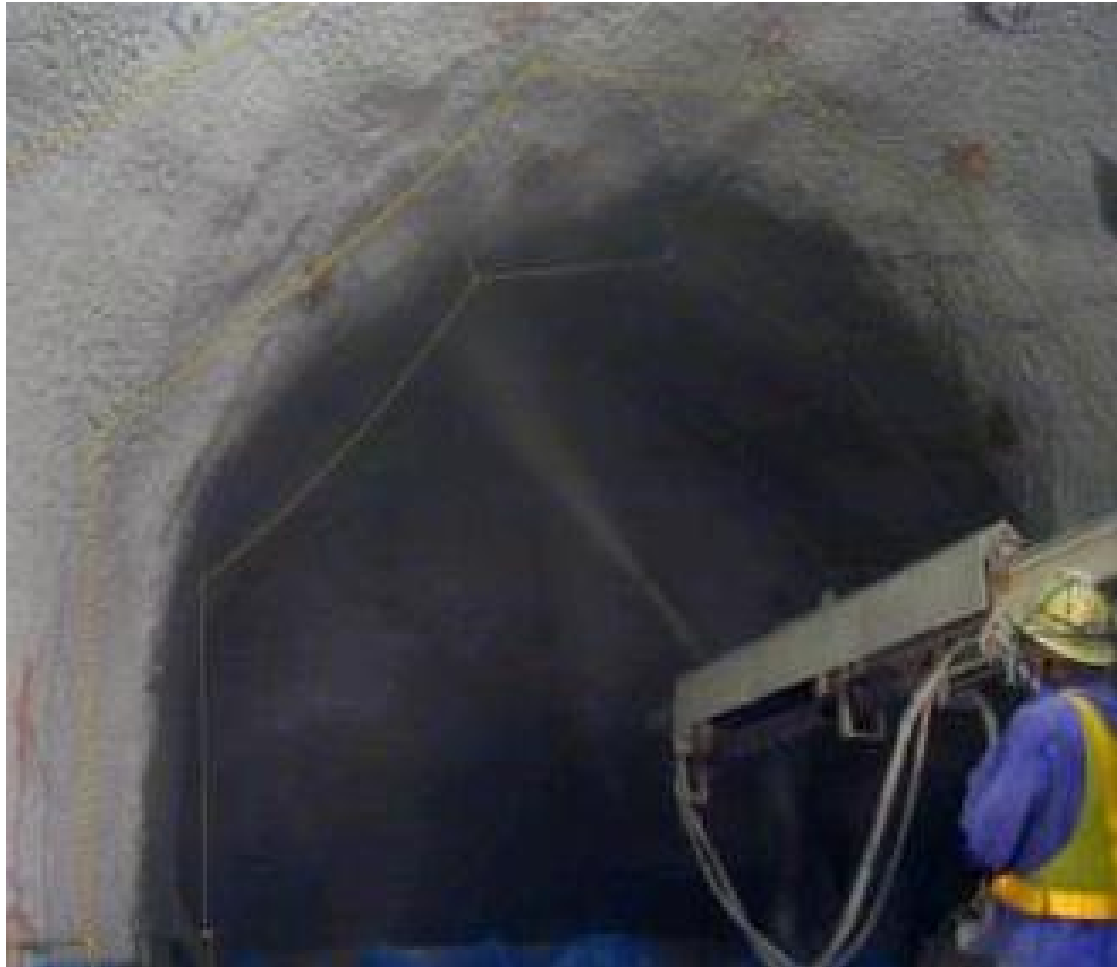
Για καθοδήγηση στην διαμόρφωση του προβλεπόμενου από την μελέτη πάχους, πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικά στοιχεία που προσαρμόζονται στις απαιτήσεις κάθε ειδικής περίπτωσης εφαρμογής και η αποδοχή τους υπόκειται στον επιβλέποντα μηχανικό ή στην υπηρεσία. Τα στοιχεία αυτά είναι:

- Μετρητές βάθους που είναι μικροί μεταλλικοί δείκτες που προσκολλώνται ή εγκαθιστώνται κάθετα στην επιφάνεια εκτόξευσης σε κατάλληλα διαστήματα και ύψη. Δίνουν ένα εγκατεστημένο οδηγό του πάχους του Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος, τοποθετημένοι ακριβώς κάτω από την τελικά διαμορφούμενη επιφάνεια της στρώσης και εγκαταλείπονται μέσα υπό την προϋπόθεση ότι δεν την επηρεάζουν με οποιοδήποτε τρόπο.
- Ανιχνευτές βάθους αποτελούμενοι από σιδηρά σύρματα κατάλληλης διαμέτρου, που έχουν σηματοδοτεί με ενδείξεις πάχους για το Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα και χρησιμοποιούνται όπου υπάρχει μεγαλύτερο εύρος ανοχών στις απαιτήσεις της τελικής επιφάνειας και είναι αποδεκτή η ύπαρξη αντίστοιχων οπών στην δημιουργούμενη στρώση. Οι ανιχνευτές εισάγονται στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μέχρι το υπόβαθρο καταγράφοντας το βάθος.

Η περιοχή του μετώπου εργασίας πρέπει να προστατεύεται με κατάλληλα μέσα (όπως πετάσματα) γιατί οι καιρικές συνθήκες όπως αέρας ή βροχή μπορούν να επηρεάσουν την εκτόξευση, αλλά και τις γειτονικές κατασκευές από τα υλικά αναπήδησης, η σκόνη, κλπ.



Εικόνα 2.10. Εκτόξευση χωρίς την χρήση robot



Εικόνα 2.11. Εκτόξευση με χρήση robot

2.9 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

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

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

2.10 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

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

Η απαραίτητη για την συντήρηση υγρασία εξασφαλίζεται:

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

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

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

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

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

2.11 ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΟ ΚΑΙ ΥΠΕΡΨΕΚΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ

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

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

Το ποσοστό του ανακλώμενου υλικού εξαρτάται ιδιαίτερα από την θέση της επιφάνειας που γίνεται η εκτόξευση. Έτσι, για εργασίες οροφής, το ποσοστό

του ανακλώμενου υλικού μπορεί να φτάσει μέχρι και 50% ενώ το πιο μικρό ποσοστό λαμβάνεται για εργασίες δαπέδου. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υγράς ανάμειξης, τα αντίστοιχα ποσοστά είναι μικρότερα, της τάξης του 30-40% της ξηράς ανάμειξης. Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται τα ποσοστά του ανακλώμενου υλικού για διάφορες θέσεις της επιφάνειας βάσης.

Εκτοξευόμενη επιφάνεια	Ξηρά ανάμιξη	Υγρά ανάμιξη
Δάπεδα	5 – 15%	0 – 5%
Κεκλιμένοι ή κατακόρυφοι τοίχοι	15 – 25%	5 – 10%
Οροφή	25 – 50%	10 – 20%

Πίνακας 2.3. Ποσοστά ανακλώμενου υλικού

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

2.12 ΈΛΕΓΧΟΙ

Για την διαπίστωση της ποιότητας και την εκτίμηση βασικών χαρακτηριστικών του εκτοξευόμενου σκυροδέματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν τέσσερις κύριοι τύποι ελέγχου. Ο οπτικός, ο γεωμετρικός, ο μηχανικός (κρουστικός) και ο εργαστηριακός. Μπορούν ίσως να χρησιμοποιηθούν και άλλες μορφές ελέγχου, όπως οι μη καταστροφικές μέθοδοι με χρήση κρουσίμετρου ή υπερήχων ή θερμογραφίες. Όμως μέχρι σήμερα

απουσιάζει παντελώς από την βιβλιογραφία οποιαδήποτε τεκμηρίωση για την χρήση τους σε εργασίες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Εξάλλου η αξιοπιστία του εξαρτάται από τα ειδικότερα χαρακτηριστικά της εκτιμώμενης εργασίας (όπως π.χ. το πάχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, το είδος και το πάχος του υλικού του υποστρώματος), ενώ η επί τόπου βαθμονόμηση τους, πιθανόν να είναι αδύνατη.

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

2.12.1 Οπτικός έλεγχος

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

- Πριν την εκτόξευση, ο οπτικός έλεγχος περιλαμβάνει την αποδοχή των συνθηκών έναρξης της εκτόξευσης. Ο έλεγχος της κατάστασης των ενσωματούμενων υλικών (όπως η ύπαρξη πιθανών συσσωμάτων άμμου, η αποδεκτή προδιαγραφή των αδρανών εφόσον προβλέπεται, η πιθανή οξείδωση των ιών χάλυβα, κ.α.) αποτελεί μέρος της διαδικασίας. Επίσης περιλαμβάνεται ο έλεγχος της καταλληλότητας της επιφάνειας του υποστρώματος όπως έχει προέλθει από επεξεργασία του αρχικού στοιχείου, είτε από προγενέστερη στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος.
- Κατά την διάρκεια της εκτόξευσης ο έλεγχος περιλαμβάνει την εφαρμογή των κανόνων έντεχνης εκτέλεσης της εργασίας με στόχο τον έγκαιρο εντοπισμό κακοτεχνιών και θα επιτρέπει άμεσες διορθωτικές παρεμβάσεις

για αποκατάσταση των ελαττωμάτων πριν την ολοκλήρωση της εκτόξευσης κάθε στρώσης. Ως τέτοιες πιθανές κακοτεχνίες ενδεικτικά αναφέρονται: ο εγκλωβισμός ανακλώμενου υλικού, η συσσώρευση υπερψεκαζόμενου υλικού, η επικόλληση και έναρξη πήξης υπερψεκαζόμενου υλικού επί ράβδων οπλισμού ή άλλων χαλύβδινων στοιχείων πριν γίνει η διάστρωση στην περιοχή, η δημιουργία κενών, η ανεπαρκής επικάλυψη των ράβδων οπλισμού ή των χαλύβδινων στοιχείων, η δημιουργία αδύναμων περιοχών λόγω ανάμειξης του σκυροδέματος κ.α.

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

Στοιχεία που αξιολογούνται για την κατηγοριοποίηση είναι:

- Η διάκριση στρώσεων εκτοξευόμενου σκυροδέματος του τελικού προϊόντος και η παρουσία αδρανών υλικών μεταξύ των στρώσεων (όταν αυτές διακρίνονται).
- Η ύπαρξη και το μέγεθος συσσωματωμάτων αδρανών υλικών.
- Η ύπαρξη και το μέγεθος κενών ή φωλέων.
- Η ύπαρξη και το μέγεθος των συσσωματωμάτων αδρανών υλικών ή κενών ή πορώδους υλικού γύρω από τους οπλισμούς.
- Η κατάσταση των οριακών επιφανειών του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, είτε μετά την αφαίρεση των καλουπιών, είτε στις διεπιφάνειες σύνδεσης με την επιφάνεια του υποστρώματος.

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



Εικόνα 2.12. Κατηγοριοποίηση ποιότητας Ε.Σ. με βάση τον οπτικό έλεγχο. Πιθανές εικόνες των πέντε κατηγοριών.

Κατηγορίες εκτοξευόμενου σκυροδέματος:

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας 1:

Στα δοκίμια:

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

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας 2:

Στα δοκίμια:

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

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας 3:

Στα δοκίμια:

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

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας 4:

Στα δοκίμια:

- § Διαπιστώνονται δύο ελαττώματα όπως αυτά που αναφέρονται στην κατηγορία 3.
- § Υπάρχει ένα ελάττωμα, όπως αυτά που περιγράφονται στην κατηγορία 3, με την μέγιστη διάσταση 25 mm κάθετα στην όψη του δοκιμίου και μέγιστο πλάτος 36 mm .

§ Η επιφάνεια επαφής με τα καλούπια ή την επιφάνεια βάσης είναι αμμώδης με κενά ή υπερψεκαζόμενο υλικό με πάχος που δεν ξεπερνά τα 3 mm.

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας 5:

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

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

Ως κατηγορία του τελικού προϊόντος θεωρείται η μέση τιμή του συνόλου των δοκιμίων καρότων που έχουν εξεταστεί. Η επέμβαση θεωρείται αποδεκτή όταν κατά τον οπτικό έλεγχο δεν διαπιστωθούν κακοτεχνίες ή αυτές είναι ελάχιστες και επισκευάσιμες. Εφόσον προβλέπεται η προαναφερθείσα κατηγοριοποίηση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, η αποδεκτή κατηγορία πρέπει να προδιαγράφεται στην μελέτη ανάλογα με τις ειδικότερες απαιτήσεις του έργου. Πάντως ως γενικός κανόνας θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι η μέση τιμή δεν πρέπει να ξεπερνά το 2,5, ενώ κάθε ανεξάρτητο δοκίμιο δεν πρέπει να ξεπερνά το 3. Προφανώς το ίδιο κριτήριο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για την πιστοποίηση καταλληλότητας του χειριστή.

2.12.2 Γεωμετρικός έλεγχος

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

Ο γεωμετρικός έλεγχος γίνεται συνήθως στο τέλος της εργασίας, μπορεί όμως να απαιτηθεί και σε ενδιάμεσα στάδια. Τα όρια των αποκλίσεων από τις

προβλεπόμενες διαστάσεις της μελέτης εξαρτώνται από το είδος του δομικού στοιχείου και τις ειδικότερες απαιτήσεις. Αν τα όρια αυτά απουσιάζουν, η τάξη μεγέθους τους θα μπορούσε να εκτιμηθεί ως το 0,5% της μεγαλύτερης διάστασης του δομικού στοιχείου επί του οποίου γίνεται η επέμβαση και πάντως λιγότερο από 20 mm.

2.12.3 Μηχανικός (κρουστικός) έλεγχος

Ο μηχανικός έλεγχος γίνεται επί τόπου και αφορά την στερεότητα και συνοχή της επεμβάσεως. Γίνεται με ελαφρές κρούσεις με σφυρί βάρους 1,00 kg. Ελέγχεται η δημιουργία ρωγμών στην διεπιφάνεια επεμβάσεων, καθώς και ο ήχος από τις κρούσεις. Περιοχές στις οποίες δημιουργούνται ρωγμές ή ο ήχος είναι υπόκωφος, σημαίνονται επί τόπου και απεικονίζονται στα αντίστοιχα σχέδια. Ο μηχανικός έλεγχος γίνεται στο τέλος ή/και σε ενδιάμεσα στάδια εκτέλεσης της εργασίας. Η επέμβαση θεωρείται αποδεκτή όταν κατά τον κρουστικό έλεγχο δεν δημιουργούνται ρωγμές στην διεπιφάνεια εκτοξευόμενου σκυροδέματος και υποστρώματος, και ο ήχος δεν είναι υπόκωφος.

2.12.4 Εργαστηριακός έλεγχος

Ο εργαστηριακός έλεγχος περιλαμβάνει δύο κατηγορίες δοκιμών. Η πρώτη κατηγορία (E1), αφορά δοκιμές που γίνονται σε δοκίμια – καρότα που αποκάμπτονται από φατνωματικά δοκίμια με ελάχιστες διαστάσεις 600x600x120mm, στα οποία έχει γίνει εκτόξευση σκυροδέματος ειδικώς και μόνο για την λήψη δοκιμίων. Τα φατνώματα τοποθετούνται κατακόρυφα και η εκτόξευση γίνεται οριζόντια με τον ίδιο εξοπλισμό, τεχνική, πάχος στρώσης ανά πέρασμα, απόσταση εκτόξευσης χειριστή μηχανήματος κ.λ.π., που θα χρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια διάστρωσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο έργο.

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

Η κατηγορία δοκιμών E1 έχει ως κύριο στόχο τον έλεγχο ικανοποίησης των κριτηρίων συμμόρφωσης για την προβλεπόμενη χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Μπορεί όμως να αφορά και άλλες ιδιότητες ή χαρακτηριστικά, ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου. Ως τέτοια χαρακτηριστικά μπορεί να είναι το μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη ή σε εφελκυσμό, η αντοχή σε κάμψη, η δυσθραυστότητα ή άλλες ειδικότερες ιδιότητες όπως η πυκνότητα, η αντίσταση σε παγετό ή η διαπερατότητα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι σχετικές έγκυρες προδιαγραφές είτε των Ευρωπαϊκών Προτύπων (π.χ. E.N.6275 για την πυκνότητα, EN 6784 για το μέτρο ελαστικότητας ή άλλες (εφόσον έχουν εκδοθεί στην φάση εκτέλεσης του έργου), είτε άλλων Οργανισμών (π.χ. ASTM C78 για την αντοχή σε κάμψη, ή ASTM C1018 για την δυσθραυστότητα, ή ISO 7073 για την διαπερατότητα).



Εικόνα 2.13. Δοκίμια που αποκάμπτωνται από ειδικά φατνώματα για λήψη πυρήνων.

Οι εργασιακές δοκιμές κατηγορίας E2 γίνονται για δύο κυρίως λόγους: α) την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, έτσι όπως διαστρώθηκε και συντηρήθηκε στις πραγματικές συνθήκες του έργου, επειδή είναι πιθανό να είναι διαφορετική από την αντοχή των δοκιμίων που λαμβάνονται από τα φαντώματα, και β) τον έλεγχο εξασφάλισης επαρκούς συνάφειας μεταξύ του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και του στοιχείου επί του οποίου έγινε η εκτόξευση. Επιπλέον, θα μπορούσε να γίνει και ο προσδιορισμός άλλων χαρακτηριστικών ή ιδιοτήτων όπως π.χ. η περιεκτικότητα των ινών, εφόσον χρησιμοποιείται το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ίνες. Σε όλες τις περιπτώσεις η ονομαστική διάμετρος κάθε πυρήνα πρέπει να είναι 10 mm με επιτρεπτή απόκλιση +5 mm. το μήκος του δοκιμίου πρέπει να είναι ίσο με την διάμετρό του με επιτρεπτή απόκλιση +10%. Για δοκιμές κατηγορίας E2, σε όσες περιπτώσεις οι διαστάσεις των εξ. εκτοξευόμενου σκυροδέματος στοιχείων δεν επιτρέπουν την λήψη πυρήνων – δοκιμίων με τις προβλεπόμενες διαστάσεις, τα δοκίμια μπορούν να ληφθούν με μικρότερες διαστάσεις υπό την προϋπόθεση ότι τεκμηριώνεται αξιόπιστα η αναγωγή των αντοχών τους σε δοκίμια με τις προβλεπόμενες διαστάσεις.



Εικόνα 2.14. Όργανο πυρηνοληψίας.

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

Η συχνότητα των δειγματοληψιών και το πλήθος των φατνωματικών δοκιμών πρέπει να εξασφαλίζει αντιπροσωπευτικότητα από το ελεγχόμενο προϊόν. Αν οι εργασίες διακόπτονται για μεγάλο χρονικό διάστημα ή γίνονται αλλαγές στις αναλογίες ανάμειξης ή στο προσωπικό ή στον εξοπλισμό, οι δειγματοληψίες πρέπει να αφορούν κάθε ξεχωριστό ανάμειγμα ή περίοδο σκυροδέτησης. Εφόσον δεν γίνονται τέτοιου είδους αλλαγές, συνήθως παρασκευάζεται ένα φατνωματικό δοκίμιο για κάθε ξεχωριστή ημέρα που γίνεται σκυροδέτηση. Στην σπάνια (για έργα επεμβάσεων) περίπτωση που η ποσότητα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε μια μέρα, ξεπερνά τα 40 m³, τα φατνωματικά δοκίμια εκείνη την ημέρα αυξάνονται αναλογικά.

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



Εικόνα 2.15. Πυρηνοληψία: Λήψη καρótων από σήραγγα

2.12.5 Έλεγχος θλιπτικής αντοχής

Στο σχέδιο προδιαγραφής για το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, ο έλεγχος της θλιπτικής αντοχής με εργαστηριακές δοκιμές κατηγορίας E1, προτείνει να γίνεται με βάση τους παρακάτω κανόνες αποδοχής:

$$\bar{x}_n = \sum_{i=1}^n x_i \geq f_{ck} + 1.6S \quad \text{Πρώτος κανόνας}$$

Και $x_i \geq f_{ck} - 2(MPa)$ Δεύτερος κανόνας

Όπου

f_{ck} : είναι η χαρακτηριστική αντοχή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος που προδιαγράφεται στην μελέτη.

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

\bar{x}_n : είναι η μέση τιμή έξι διαδοχικών x_i .

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

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

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

$$\bar{x}_n = \sum_{i=1}^n x_i \geq f_{ck} \quad \text{Πρώτος κανόνας}$$

Και $x_i \geq 0.75 f_{ck}$ Δεύτερος κανόνας

Όπου:

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

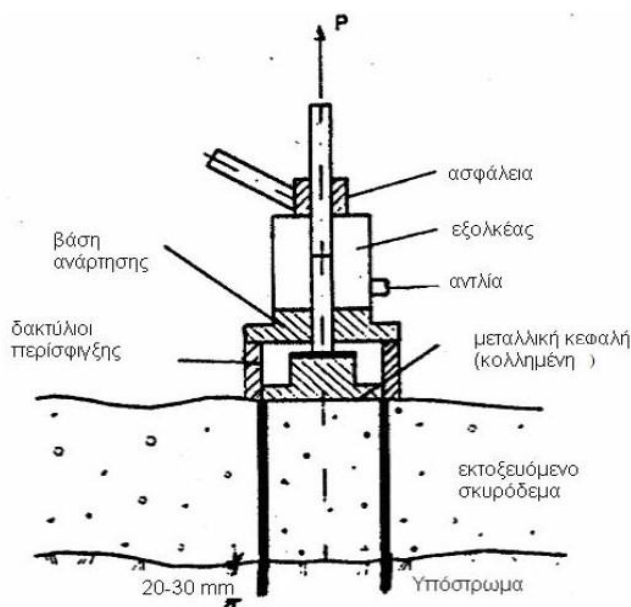
\bar{x}_n : είναι η μέση τιμή των x_i για το σύνολο των (n) δοκιμίων που λαμβάνονται.

Είναι προφανές ότι σε πολύ μικρά έργα, δεν είναι πάντα εφικτό να γίνει ο έλεγχος που περιγράφεται για τις δοκιμές κατηγορίας E1, λόγω του μεγάλου πλήθους δοκιμών που απαιτούνται. Θα ήταν επομένως λογικό, σε αυτές τις περιπτώσεις, που δεν είναι πολύ σπάνιες σε έργα επεμβάσεων, να χρησιμοποιούνται ως κανόνες αποδοχής, οι ίδιοι κανόνες που χρησιμοποιούνται για τις δοκιμές κατηγορίας E2. Εξάλλου αυτού του τύπου κανόνες προτείνονται, ως γενικής εφαρμογής, στις Ευρωπαϊκές και Αμερικανικές Προδιαγραφές. Οποσδήποτε το θέμα πρέπει να θεωρείται ανοιχτό μέχρι να οριστικοποιηθεί η Ελληνική Προδιαγραφή για το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

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

2.12.6 Έλεγχος συνάφειας

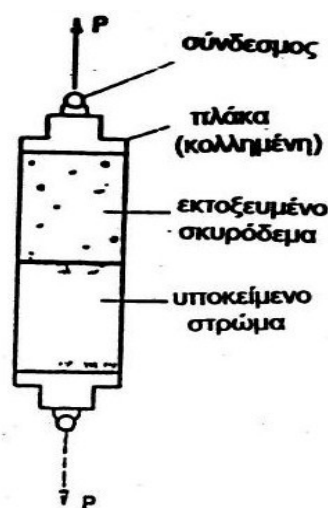
Ο έλεγχος συνάφειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος με το στοιχείο επί του οποίου γίνεται η εκτόξευση, πραγματοποιείται με την εξόλκευση διαχωρισμένου δείγματος σύμφωνα με την διαδικασία που παρουσιάζεται στην συνέχεια και όπως ενδεικτικά απεικονίζεται στην εικόνα.



Εικόνα 2.16. Έλεγχος συνάφειας επί τόπου του έργου με διαχωρισμό δείγματος

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

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



Εικόνα 2.17. Εργαστηριακός έλεγχος συνάφειας με αποκοπή δείγματος στις περιπτώσεις υποστρώματος με μικρό πάχος

Η επέμβαση θεωρείται αποδεκτή όταν κατά τον σχετικό έλεγχο που γίνεται με οποιονδήποτε από τους παραπάνω τρόπους, σε τρεις τουλάχιστον θέσεις του έργου, η αστοχία, σε κάθε δοκίμιο που ελέγχεται, δεν πραγματοποιείται στην διεπιφάνεια εκτοξευόμενου σκυροδέματος και υποστρώματος.

Αν η αστοχία γίνει στην διεπιφάνεια, θα πρέπει η εκτιμώμενη τάση συνάφειας για κάθε δοκίμιο να προκύπτει μικρότερη από μια ανεκτή τιμή που θα προδιαγράφεται στην μελέτη. Αν δεν προδιαγράφεται στην μελέτη, ως ανεκτή τιμή θεωρείται το 1/20 της απαιτούμενης χαρακτηριστικής τιμής θλιπτικής αντοχής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και τουλάχιστον το 1 MPa. Αν τα αποτελέσματα της δοκιμής συνάφειας δεν ικανοποιούν το σχετικό κριτήριο αποδοχής, ο έλεγχος θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι ικανοποιείται αν η τιμή συνάφειας κάθε ανεπαρκούς δοκιμίου ξεπερνά το 75% της ανεκτής τιμής, ενώ η μέση τιμή του συνόλου των δοκιμίων ικανοποιεί το κριτήριο. Σε δοκίμια που δεν αστόχησαν στην διεπιφάνεια, ως τάση συνάφειας, για τον προσδιορισμό της μέσης τιμής, λαμβάνεται η εφελκυστική τάση αστοχίας του δοκιμίου.

3. ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (Self – Compacting Concrete)

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Με το πέρασμα των χρόνων το ενδιαφέρον για το απλό σκυρόδεμα επεκτάθηκε και στις ιδιότητες της επιφάνειάς του. Τα πρώτα παραδείγματα εμφανούς σκυροδέματος ήταν ακατέργαστες επιφάνειες κατευθείαν από το καλούπι, ενώ σήμερα υπάρχει μια ευρεία «γκάμα» μεθόδων, ώστε να ελέγχεται και να τροποποιείτε η τελική του εμφάνιση. Σήμερα, χρησιμοποιούνται πολλές τέτοιες τεχνικές, όπως η επεξεργασία με οξύ, η αμμοβολή, η σφυρήλατη τράχυνση, το ξεχόντρισμα κ.α.. Η επεξεργασία του σκυροδέματος μπορεί να είναι τέτοια, ώστε να φαίνεται σα να έχει εμφυτευτεί σε αυτό φωτογραφία.

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα είναι μία κατηγορία σκυροδέματος που εμφανίστηκε στον τεχνικό κόσμο στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Από τότε κερδίζει συνεχώς έδαφος και ενσωματώνεται στην σύγχρονη κατασκευαστική πραγματικότητα. Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα είναι ένας τύπος σκυροδέματος που ρέει στους ξυλότυπους χωρίς να παρουσιάσει διαχωρισμό, παραμένει ομοιογενές με αποτέλεσμα να μπορεί να γεμίσει ομοιόμορφα και πλήρως όλα τα σημεία του ξυλότυπου ρέοντα αποκλειστικά και μόνο λόγω του ίδιου βάρους του, χωρίς ανάγκη δόνησης ή συμπύκνωσης ή κάποιου άλλου είδους εξωτερική ενέργεια.

Όπως όλα τα είδη σκυροδέματος, έτσι και το αυτοσυμπυκνούμενο δεν είναι τυποποιημένο. Για αυτόν το λόγο κάθε τύπος αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος πρέπει να σχεδιάζεται έχοντας υπ' όψη τις συνθήκες του έργου που θα εφαρμοστεί. Ο καθορισμός των αναλογιών των συστατικών που θα χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή του εξαρτάται από τις δομικές απαιτήσεις της κατασκευής όπως το σχήμα, οι διαστάσεις, η πυκνότητα του οπλισμού και οι συνθήκες κατασκευής. Στις συνθήκες κατασκευής περιλαμβάνονται οι μέθοδοι μεταφοράς, τοποθέτησης, φινιρίσματος και αγωγής του σκυροδέματος.

Η ικανότητα του να αυτοσυμπυκνώνεται μόνο του, χωρίς δόνηση, το κάνει να ξεχωρίζει από τα άλλα σκυροδέματα. Όλες οι υπόλοιπες επιδόσεις του υπολογίζονται σαν να επρόκειτο για ένα συνήθη τύπο σκυροδέματος.

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα δημιουργήθηκε για να αντιμετωπίσει συγκεκριμένα προβλήματα, όπως:

- Ατέλειες συμπύκνωσης και δόνησης
- Ελλιπής σχεδίαση των κατασκευών που καθιστά αδύνατη την σωστή συμπύκνωση του σκυροδέματος
- Απαιτήσεις για ανθεκτικότητα στο χρόνο.

Το Phaeno Science Centre, επιστημονικό κέντρο στο Wolfsburg της Γερμανίας, συνολικής επιφάνειας 12.631τ.μ. είναι το μεγαλύτερο κτίριο που κατασκευάστηκε από ΑΣΣ (Self-compacting concrete) στην Ευρώπη. Χωρίς το νέο αυτό τύπο σκυροδέματος, οι διαφορετικές μορφές του κτιρίου θα ήταν δύσκολο να επιτευχθούν. Περισσότερα από 40.000 κομμάτια σκυροδέματος συνθέτουν το κτίριο, κάθε ένα από τα οποία έχει παραχθεί με εξαιρετική ακρίβεια σε προηγμένα προγράμματα computer. Ο κύριος όγκος του κτιρίου υψώνεται πάνω από το έδαφος με τη βοήθεια μιας σειράς από μπετονένιους κώνους, δημιουργώντας ένα τεχνητό περιβάλλον, που λειτουργεί ως δημόσιος χώρος στο επίπεδο του δρόμου. Ο ρευστός χώρος που δημιουργείται στο εσωτερικό του παραπάνω κτιρίου, αλλά και στο άμεσο περιβάλλον του, δε θα μπορούσε να έχει επιτευχθεί με άλλο υλικό εκτός από το σκυρόδεμα.



Εικόνα 3.1. Phaeno Science Centre

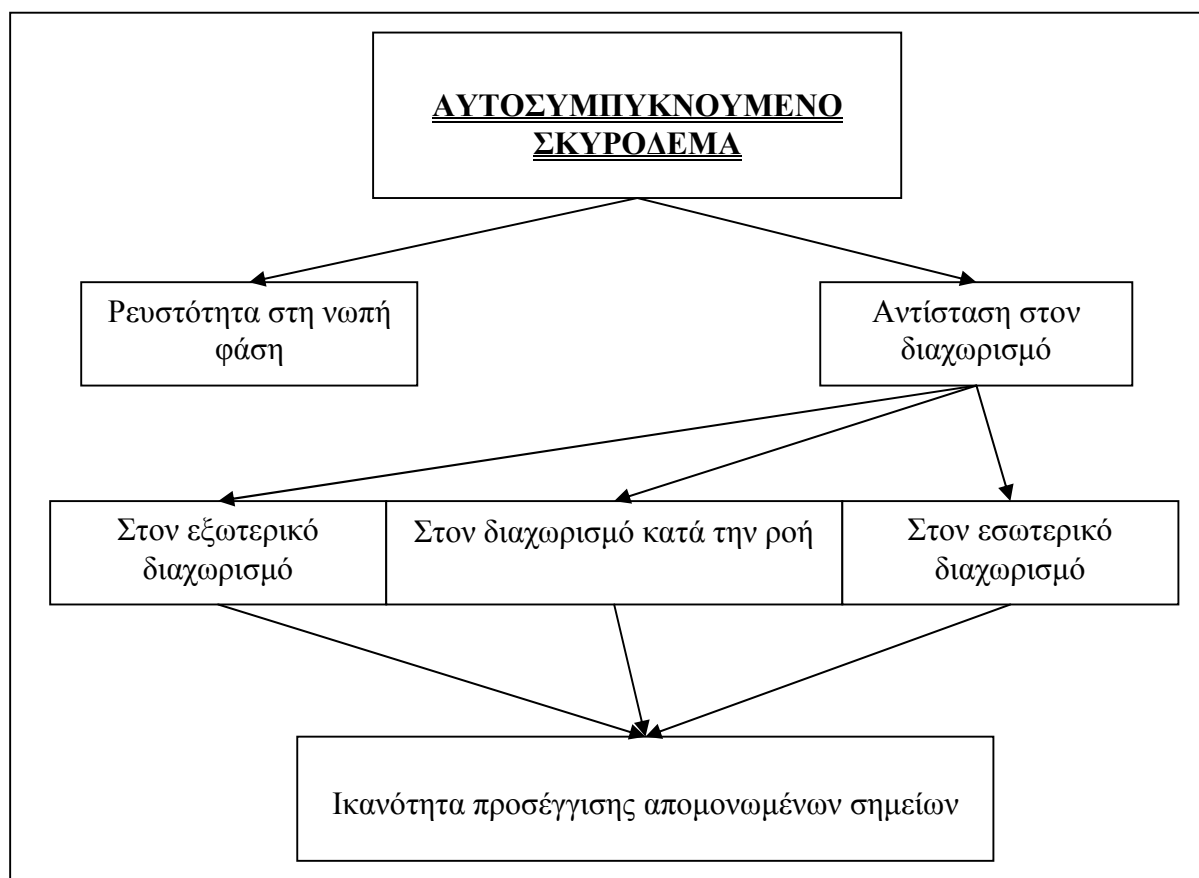
Αν και είναι δύσκολο να αντιληφθούμε πλήρως, ο τρόπος που κοιτάζουμε σήμερα τα πράγματα είναι διαφορετικός από αυτόν που τα κοιτάζαμε πριν μια δεκαετία. Είμαστε πιο εξοικειωμένοι με περίεργα σχήματα αφού οι οπτικές εικόνες είναι πλουσιότερες σε μια οθόνη υπολογιστή παρά σε μια τυπωμένη σελίδα.

Το σκυρόδεμα σε σχέση με άλλα οικοδομικά υλικά συμβάλλει σχετικά λιγότερο στην εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα, είναι ένα υλικό που προέρχεται από φυσικά υλικά, δεν χρειάζεται ειδικές επικαλύψεις και μπορεί εύκολα να καθαριστεί με οργανικές ουσίες. Η διαδικασία παρασκευής του κύριου συστατικού του όμως δεν παύει να ευθύνεται για το 5-10% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Παγκοσμίως παράγονται ετησίως 2,35 δις τόνοι τσιμέντου – αρκετοί για να χτίσει ο κάθε άνθρωπος από 1 κυβικό μέτρο μπετόν. Αν μπορούσαμε να μειώσουμε τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται κατά τη παρασκευή του, μόνο κατά 10%, τότε η Γη

θα κέρδιζε 5,2% από το σύνολο των εκπομπών, κάτι που αντιστοιχεί στο 1/5 του στόχου που είχε θέσει το Πρωτόκολλο του Κιότο.

3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα πρέπει να χαρακτηρίζεται από μεγάλη ρευστότητα στην νωπή φάση και χωρίς τάσεις διαχωρισμού. Αυτό συνεπάγεται ότι το σκυρόδεμα, όσον αφορά τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του, πρέπει να έχει σχετικά υψηλή συνεκτικότητα και χαμηλό πλαστικό ιξώδες. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του EN 206-1:2000 και να μην περιέχουν επιβλαβή συστατικά που μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα, την ανθεκτικότητα και την διάβρωση του οπλισμού.



- **Τσιμέντο:**

Χρησιμοποιούνται όλοι οι τύποι τσιμέντου που συμμορφώνονται με τις προδιαγραφές του Ευρωπαϊκού Προτύπου και έχουν αποδειχθεί κατάλληλοι για την παραγωγή αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Μια τυπική δοσολογία είναι 350-450kg τσιμέντου ανά κυβικό μέτρο. Δοσολογίες μεγαλύτερες μπορεί να προκαλέσουν συρρίκνωση ενώ μικρότερες μόνο αν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με πρόσθετα όπως πυριτική παιπάλη, ποζολάνες, ιπτάμενη τέφρα κ.ά. Ανάλογα με τον τύπο του τσιμέντου έχουμε και διαφορετικές συνθέσεις αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

- **Αδρανή:**

Τα αδρανή θα συμμορφώνονται με το Πρότυπο EN 12620:2002. Το μέγεθος των αδρανών εξαρτάται από την εφαρμογή και συνήθως είναι μικρότερο των 20mm. Το κατ' όγκο ποσοστό των χονδρόκοκκων αδρανών (με μέγιστη διάμετρο 25mm) οφείλει να περιορίζεται στα 340 lt για 1 m³, σε περίπτωση που σταθεί εμπόδιο στην διέλευση από πυκνές διατάξεις οπλισμών. Το κατ' όγκο ποσοστό των λεπτόκοκκων αδρανών μαζί με το τσιμέντο πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 170-200lt/m³, ώστε αυτή η αυξημένη ποσότητα πάστας να αγκαλιάζει τους κόκκους των αδρανών και να εμποδίζει την απώλεια ρευστότητας του μίγματος. Η περιεκτικότητα των αδρανών σε υγρασία πρέπει να παρακολουθείται και να συνυπολογίζεται ώστε η ποιότητα του παραγόμενου σκυροδέματος να παραμένει σταθερή. Όσον αφορά την άμμο με μέγεθος κόκκου 0,125-4mm, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή κοινού σκυροδέματος, είναι κατάλληλη για την παρασκευή αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

- **Νερό ανάμιξης:**

Το νερό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή κοινού σκυροδέματος και συμμορφώνεται με το Πρότυπο EN 1008:2002 έχει αποδειχθεί κατάλληλο και για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα.

- **Πρόσθετα:**

Χρησιμοποιούνται για την εξασφάλιση ικανοποιητικών ρεολογικών χαρακτηριστικών και παράλληλα την μείωση του κινδύνου διαχωρισμού. Τα κυριότερα πρόσθετα είναι τα εξής:

§ Παιπάλη πετρωμάτων, με διάμετρο κόκκων $< 0,125\text{mm}$ κατά EN 12820:2002

§ Ιπτάμενη τέφρα, με ποσοστό διερχόμενο από το κόσκινο $45\mu\text{m} > 75\%$ κατά EN 450-1:2005, όπου είναι υλικό με ποζολανικές ιδιότητες πολύ λεπτής διαβάθμισης.

§ Πυριτική παιπάλη, κατά EN 13263-1:2005, όπου είναι υλικό εξαιρετικά λεπτόκοκκο με μέγεθος σωματιδίων 100 φορές μικρότερα από αυτά του τσιμέντου (περίπου $< 1\mu\text{m}$) ώστε να προσκολλάται επιφανειακά στα αδρανή και να γεμίζει τα κενά μεταξύ των σωματιδίων του τσιμέντου, προσδίδοντας συνεκτικότητα στο μίγμα.

§ Σκωρία υψικαμίνων, κατά B8 6699:1992, όπου είναι υλικό λεπτότατο προερχόμενο από κονιορτοποίηση παραπροϊόντων υψικαμίνων σιδηρομεταλλευμάτων.

§ Πληρωτικά γυαλιού, ανακυκλωμένο γυαλί με μέγιστο κόκκο $0,1\text{mm}$.

§ Χρωστικές ουσίες, που χρησιμοποιούνται με βάση το EN 12878:2005.

- **Πρόσμικτα:**

Διακρίνονται στους υπερρευστοποιητές και στους ευρέως φάσματος υδατικούς μειωτήρες. Οι υπερρευστοποιητές είναι θεμελιώδεις συστατικό του αυτοσυμπυκνούμενου για την εξασφάλιση της κατάλληλης εργασιμότητας. Οι ευρέως φάσματος υδατικοί μειωτήρες καθώς μειώνουν το νερό αυξάνουν το λόγο N/T, άρα και την αντοχή, ενώ αποκαθίσταται η εργασιμότητα και η συνεκτικότητα. Η δραστηριότητα τους εξαρτάται από τον τύπο τους, την χρονική στιγμή εισαγωγής τους στο μίγμα, τη δοσολογία τους, τον λόγο N/T, την κοκκομετρική διαβάθμιση, το είδος των υπολοίπων τσιμεντοειδών υλικών, την θερμοκρασία του σκυροδέματος κ.ά.

- **Ρυθμιστικοί παράγοντες ιξώδους:**

Αποτελούν καινοτομία για το πεδίο των χημικών του σκυροδέματος, επιτρέποντας την παρασκευή αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων πληρωτικών. Συνήθως προστίθενται σε ποσοστό 0,1-0,2% κ.β. τσιμεντοειδών υλικών και διακρίνονται σε δύο τύπους. Στα βελτιωτικά άντλησης και στα διαλύματα πολυαιθυλενίου-γλυκόζης.

- **Αερακτικά:**

Η προσθήκη αερακτικού στο μίγμα του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος προσφέρει προστασία έναντι ψύξης-απόψυξης και πρέπει να γίνεται αμέσως μετά την προσθήκη του υπερρευστοποιητή.

- **Ίνες:**

Οι μεταλλικές και πολυμερείς ίνες έχουν χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, αλλά μπορούν να μειώσουν την ικανότητα ροής και την διάβαση της δυνατότητας αυτής. Οι δοκιμές απαιτούνται επομένως για να καθιερώσουν το βέλτιστο τύπο, το μήκος και την

ποσότητα και για να δώσουν όλες τις απαραίτητες ιδιότητες στο νωπό σκυρόδεμα. Οι πολυμερείς ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν τη σταθερότητα του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, δεδομένου ότι βοηθούν στην αποτροπή του ραγίσματος λόγω της πλαστικής διακένωσης του σκυροδέματος. Ίνες από χάλυβα χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ρηγμάτων και για να τροποποιήσουν την ολκιμότητα/την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Οι μακριές πολυμερείς δομικές ίνες βελτιώνουν την αντίσταση σε πυρκαγιά και τη αντίσταση σε διαχωρισμό. Το μήκος και η ποσότητά τους επιλέγονται ανάλογα με τις δομικές απαιτήσεις. Εάν χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατο της κανονικής ενίσχυσης, ο κίνδυνος παρεμπόδισης δεν ισχύει πλέον αλλά πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η χρησιμοποίηση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με ίνες σε σχέση με την κανονική ενίσχυση αυξάνει σημαντικά τον κίνδυνο παρεμπόδισης. Περιεκτικότητες μέχρι και 30kg/m^3 ινών χάλυβα δεν υποβαθμίζουν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ενώ για ίνες πολυπροπυλενίου η μέγιστη περιεκτικότητα είναι 1kg/m^3 .



Εικόνα 3.2. Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με ίνες από χάλυβα

Λόγος νερού/πούδρα: 0,8-1,1 κατ' όγκον
Συνολική ποσότητα λεπτού υλικού: 160-240 lt (400-600 kg)/m ³
Περιεκτικότητα χονδρόκοκκων αδρανών: 28-35% του συνολικού όγκου του μίγματος
Ποσότητα νερού: Δεν υπερβαίνει τα 200 lt/m ³
Περιεκτικότητα άμμου: Ισορροπεί τον όγκο των υπόλοιπων συστατικών

Πίνακας 3.1. Ενδεικτικές αναλογίες υλικών αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος

3.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΤΟ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Μερικές από τις ιδιότητες της εφαρμοσμένης μηχανικής, που ισχύουν για το κοινό σκυρόδεμα ισχύουν και για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα. Όμως λόγω της διαφορετικής σύστασης και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του υπάρχουν κάποιες συγκρίσιμες ιδιότητες και κάποιες τυχόν διαφορές. Αυτά συνήθως καλύπτονται από τις ασφαλείς υποθέσεις στις οποίες βασίζεται η κατασκευή.

Η διάρκεια, η ικανότητα μιας συγκεκριμένης κατασκευής να αντισταθεί στις περιβαλλοντικές καταστάσεις κατά τη διάρκεια της ζωής της χωρίς να εξασθενήσει απαραίτητα η απόδοσή της, λαμβάνεται υπόψη συνήθως με τη διευκρίνιση των περιβαλλοντικών κατηγοριών. Αυτό οδηγεί στις περιοριστικές τιμές της συγκεκριμένης σύνθεσης και τις ελάχιστες συγκεκριμένες καλύψεις στην ενίσχυση. Στο σχέδιο συγκεκριμένων κατασκευών οι μηχανικοί μπορούν να αναφερθούν σε διάφορες ιδιότητες, οι οποίες είναι μέρος της προδιαγραφής. Οι πιο σχετικές είναι:

- Η θλιπτική αντοχή
- Το μέτρο ελαστικότητας
- Η εφελκυστική αντοχή
- Ο ερπυσμός
- Ο συντελεστής θερμικής επέκτασης
- Η αντίσταση σε πυρκαγιά και
- Η ικανότητα σε διάρκεια

3.3.1 Σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα

Τόσο η θλιπτική αντοχή του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, όσο και η εξέλιξη της συναρτήσεως του χρόνου είναι απολύτως συγκρίσιμες με τα

αντίστοιχα μεγέθη του κοινού σκυροδέματος, όταν η βάση σύγκρισης είναι ο λόγος νερού προς τσιμεντοειδή υλικά.

Βάσει πειραμάτων που έγιναν με σκοπό τη σύγκριση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με συμβατικό σκυρόδεμα, ίδιας ονομαστικής θλιπτικής αντοχής από 40 έως 80 MPa, σε δείγματα υποστυλωμάτων διαστάσεων 235 x 235 x 1400mm, προέκυψαν τα παρακάτω στοιχεία.

Συγκεκριμένα, για κοινό σκυρόδεμα ονομαστικής αντοχής 50 MPa παρατηρήθηκε γραμμική μείωση καθ' ύψος του δείγματος, τόσο της θλιπτικής αντοχής του όσο και του μέτρου ελαστικότητας του. Από τον πυρήνα που λήφθηκε από την βάση του δείγματος βρέθηκε $f_c=53$ MPa και $E_c=37$ GPa ενώ από τον πυρήνα της κορυφής $f_c=46$ MPa και $E_c=36$ GPa. Σε αντίθεση με το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα που παρουσίασε ομοιόμορφη κατανομή των ιδιοτήτων του, με τη θλιπτική αντοχή του να κυμαίνεται από 45-47 MPa και το μέτρο ελαστικότητας E_c να ισούται με 29GPa. Επίσης, προέκυψε ότι το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα έχει μεγαλύτερη ολκιμότητα σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα.

Αξίζει να αναφερθούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την χρήση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος σε γέφυρες. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε απότομη αύξηση της θλιπτικής αντοχής την 3^η μέρα μετά την σκυροδέτηση, η οποία πλησιάζει το 80% της 28^{ης} μέρας. Σε σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα η θλιπτική αντοχή του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος την 3^η μέρα ήταν σχεδόν 100% μεγαλύτερη. Ακόμα από τα πειράματα που έγιναν αναφέρεται μία αύξηση του μέτρου ελαστικότητας της τάξης του 30-45% πάνω από αυτή του συμβατικού.

Τόσο η εφελκυστική αντοχή του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος από διάρρηξη, όσο και η σχέση της με την θλιπτική αντοχή του είναι απολύτως συγκρίσιμες με τα αντίστοιχα μεγέθη του κοινού σκυροδέματος, όταν βάση της σύγκρισης είναι ο λόγος νερού προς τσιμεντοειδή υλικά.

3.3.2 Ερπυσμός

Ο ερπυσμός ορίζεται ως η βαθμιαία αύξηση στην παραμόρφωση με το χρόνο για μια σταθερή εφαρμοσμένη πίεση, λαμβάνοντας υπόψη άλλες χρονικά εξαρτημένες παραμορφώσεις που δεν συνδέονται με την εφαρμοσμένη πίεση, δηλ. διακένωση, διόγκωση και θερμική παραμόρφωση.

Η συμπίεση μειώνει τις δυνάμεις προσυμπίεσης στα συγκεκριμένα στοιχεία και προκαλεί μια αργή μεταφορά του φορτίου. Ο ερπυσμός πραγματοποιείται στην κόλλα τσιμέντου και επηρεάζεται από το πορώδες του που συσχετίζεται άμεσα με την αναλογία νερού/τσιμέντου. Κατά τη διάρκεια της ενυδάτωσης, το πορώδες της κόλλας του τσιμέντου μειώνεται για ένα δεδομένο σκυρόδεμα, συνεπώς ο ερπυσμός μειώνεται καθώς η δύναμη αυξάνεται. Ο τύπος τσιμέντου είναι σημαντικός εάν η ηλικία που θα φορτίζεται η κατασκευή καθορίζεται. Τα τσιμέντα που ενυδατώνουν γρηγορότερα θα έχουν την υψηλότερη δύναμη στην ηλικία της φόρτωσης, μιας χαμηλότερης αναλογίας πίεσης/δύναμης και ενός χαμηλότερου ερπυσμού. Λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας της κόλλας τσιμέντου, ο συντελεστής ερπυσμού για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα μπορεί να αναμένεται να είναι υψηλότερος από ότι για το κανονικό σκυρόδεμα ίδιας αντοχής, αλλά τέτοιες διαφορές είναι μικρές και καλυμμένες από τις ασφαλείς υποθέσεις στους πίνακες και στους τύπους που παρέχονται στο Eurocode.

3.3.3 Συντελεστής θερμικής επέκτασης

Ο συντελεστής της θερμικής επέκτασης του σκυροδέματος είναι η πίεση που παράγεται στο σκυρόδεμα μετά από αλλαγή θερμοκρασίας.

Ο συντελεστής της θερμικής επέκτασης του σκυροδέματος ποικίλλει σε σχέση με τη σύνθεση, την ηλικία και την περιεκτικότητα σε υγρασία. Δεδομένου ότι ο όγκος του σκυροδέματος περιλαμβάνει το σύνολο, η χρησιμοποίηση ενός συνόλου με έναν χαμηλότερο συντελεστή θερμικής

επέκτασης θα μειώσει το συντελεστή της θερμικής επέκτασης του προκύπτοντος σκυροδέματος. Η μείωση του συντελεστή της θερμικής επέκτασης οδηγεί σε μια ανάλογη μείωση της ενίσχυσης ελέγχου ρωγμών. Ενώ η σειρά του συντελεστή της θερμικής επέκτασης είναι από 8 έως 13 microstrains/K, το EN 1992-1-1 δηλώνει ότι, εκτός αν υπάρχει διαθέσιμη κάποια ακριβέστερη πληροφορία, μπορεί να ληφθεί 10 έως 13 microstrains/K. Το ίδιο πράγμα μπορεί να υποτεθεί στην περίπτωση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

3.3.4 Αντίσταση πυρκαγιάς

Το σκυρόδεμα είναι μη-εύφλεκτο υλικό το οποίο δεν βοηθάει στην εξάπλωση της φωτιάς. Δεν παράγει καπνό, τοξικά αέρια ή άλλα προϊόντα και εκπομπές κατά την καύση του. Έχει χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που το καθιστά άριστη ασπίδα κατά της πυρκαγιάς για παρακείμενα διαμερίσματα και υπό τυπικές συνθήκες πυρκαγιάς, διατηρεί μεγάλο ποσοστό της αντοχής του. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει απονείμει στο σκυρόδεμα τον υψηλότερο συντελεστή πυρκαγιάς (δηλαδή το χαρακτήρισε ως το καλύτερο υλικό κατά της φωτιάς).

Η αντίσταση πυρκαγιάς του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι παρόμοια με το κανονικό σκυρόδεμα. Γενικά το σκυρόδεμα χαμηλής διαπερατότητας μπορεί να είναι περισσότερο επιρρεπές σε διαχωρισμό αλλά η δριμύτητα εξαρτάται από το συνολικό τύπο, τη συγκεκριμένη ποιότητα και την περιεκτικότητα σε υγρασία. Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα μπορεί εύκολα να επιτύχει τις ίδιες απαιτήσεις με το υψηλής αντοχής σκυρόδεμα χαμηλής διαπερατότητας και έτσι θα αποδώσει με παρόμοιο τρόπο με οποιοδήποτε κανονικό υψηλής αντοχής σκυρόδεμα σε περίπτωση πυρκαγιάς.

Η χρήση των ιών πολυπροπυλενίου στο σκυρόδεμα έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματική στη βελτίωση της αντίστασης του διαχωρισμού. Ο

μηχανισμός θεωρείται ότι οφείλεται στις ίνες που λειώνουν και που απορροφώνται στη μήτρα του τσιμέντου. Τα κενά ινών παρέχουν έπειτα τις θέσεις επέκτασης για τον ατμό, μειώνοντας κατά συνέπεια τον κίνδυνο διαχωρισμού. Οι ίνες πολυπροπυλενίου έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς με το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα.

3.3.5 Ικανότητα διάρκειας

Η διάρκεια μιας συγκεκριμένης δομής συνδέεται πολύ με την διαπερατότητα του στρώματος επιφάνειας, καθώς αυτό παρεμποδίζει την είσοδο των επιβλαβών (CO₂, χλωρίδιο, θειικό άλας, νερό, οξυγόνο, αλκάλια, οξέα, κ.λπ.). Στην πράξη, η διάρκεια εξαρτάται από την επιλογή των υλικών, τη συγκεκριμένη σύνθεση, από το βαθμό επίβλεψης κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης, της συμπίεσης, και της συντήρησης.

Η έλλειψη συμπύκνωσης της επιφάνειας, από προβλήματα κατά την δόνηση σε στενά σημεία μεταξύ του ξυλότυπου και των ράβδων σιδήρου του οπλισμού ή άλλων ένθετων (π.χ. συρματόσχοινα προέντασης) έχει αναγνωριστεί ως κύριος παράγοντας χαμηλής αντοχής οπλισμένου σκυροδέματος εκτεθειμένου σε επιθετικό περιβάλλον. Η αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος είναι ένας από τους κύριους λόγους για την εξέλιξη του SCC στην Ιαπωνία.

Παραδοσιακά το σκυρόδεμα υποβάλλεται σε συμπίεση μέσω της δόνησης, η οποία είναι μια ασυνεχής διαδικασία. Στην περίπτωση της εσωτερικής δόνησης, ακόμα και όταν εκτελείται σωστά, ο όγκος του σκυροδέματος μέσα στον τομέα της επιρροής του δονητή δεν λαμβάνει την ίδια ενέργεια συμπίεσης. Ομοίως, στην περίπτωση της εξωτερικής δόνησης, η συμπίεση που προκύπτει είναι ουσιαστικά ετερογενής, ανάλογα με την απόσταση στα σημεία που δονείται.

Το αποτέλεσμα της δόνησης είναι, επομένως, ένα σκυρόδεμα ανομοιόμορφα συμπιεσμένο στη δομή του και, επομένως, με διαφορετικές διαπερατότητες, γεγονός το οποίο ενισχύει την εκλεκτική είσοδο των επιθετικών ουσιών. Φυσικά, οι συνέπειες της μη ομοιογενούς δόνησης (διαχωρισμός κ.λπ.) έχουν ένα αρνητικό αποτέλεσμα στη διαπερατότητα και, ως εκ τούτου, στη διάρκεια.

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με τις σωστές ιδιότητες θα είναι απαλλαγμένο από εκείνες τις ανεπάρκειες και θα οδηγήσει σε ένα υλικό με χαμηλή και ομοιόμορφη διαπερατότητα, που προσφέρει τα λιγότερα αδύνατα σημεία για τις επιβλαβείς ουσίες του περιβάλλοντος και, ως εκ τούτου, της μεγαλύτερης διάρκειας. Η σύγκριση της διαπερατότητας μεταξύ αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος και κανονικού σκυροδέματος με δόνηση θα εξαρτηθεί από την επιλογή των υλικών και του λόγου νερού/τσιμέντου.

Υπάρχουν μέθοδοι διερεύνησης, καθορισμένες είτε από εθνικά πρότυπα είτε με πρότυπα προτεινόμενα από το RILEM, της διαπερατότητας του σκυροδέματος, είτε στο εργαστήριο είτε στο χώρο εργασίας, ως δείκτες αντοχής.

- EN1992-1 και EN206-1 οι οποίοι καθορίζουν την αντοχή του σκυροδέματος με βάση περιβαντολογικές διαβαθμίσεις που οδηγούν την σύνθεση του σκυροδέματος σε οριακές τιμές και την επικάλυψη του οπλισμού σε πολύ χαμηλές τιμές.

3.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα κατηγοριοποιείται ανάλογα με τη μέθοδο σύνθεσής του αλλά και ανάλογα τον βαθμό συμπίκνωσης.

3.4.1 Το Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με βάση την μέθοδο σύνθεσης

- Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα τύπου κονίας: Οι αναλογίες του μίγματος είναι τέτοιες ώστε να ικανοποιείται η απαίτηση της αυτοσυμπύκνωσης, μειώνοντας τον λόγο νερού προς λεπτόκοκκα ($d < 0,1\text{mm}$) και να υπάρχει επαρκής αντίσταση σε διαχωρισμό. Έτσι μειώνεται η πλαστικότητα η οποία όμως αποκαθίσταται με την προσθήκη υπερρευστοποιητών και αερακτικών. Τέτοιου τύπου ήταν τα πρώτα μίγματα αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.
- Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με βάση τον ρυθμιστικό παράγοντα για το ιξώδες: Σε μίγματα χαμηλής ποσότητας συνδετικών κονιών, η αντίσταση σε διαχωρισμό εξασφαλίζεται με προσθήκη ρυθμιστή ιξώδους, ακόμα και λίγο πριν την διάστρωση. Η απαιτούμενη πλαστικότητα και πάλι εξασφαλίζεται από τους υπερρευστοποιητές και τα αερακτικά. Αυτός ο τύπος σκυροδέματος αποτελεί εξέλιξη του σκυροδέματος στις υποβρύχιες σκυροδετήσεις.
- Συνδυασμένος τύπος αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος: Η ρευστότητα του επιτυγχάνεται με βάση τα λεπτόκοκκα όπως και στον πρώτο τύπο. Παρουσιάζονται όμως σημαντικές ποιοτικές διακυμάνσεις ανάλογα σε αυτήν ανάλογα με τις αυξομειώσεις στην επιφανειακή υγρασία των αδρανών και την κοκκομετρική διαβάθμιση του λεπτόκοκκου κλάσματος. Αυτές οι διακυμάνσεις ελαχιστοποιούνται με χρήση ρυθμιστή ιξώδους.

3.4.2 Το Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με βάση τον βαθμό συμπίκνωσης

- Κατηγορία 1: Για δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα, όπου οι ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών είναι μικρότερες από 60mm ή η ποσότητα του οπλισμού υπερβαίνει τα 350kg/m³.
- Κατηγορία 2: Για δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα, όπου οι ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών του είναι ενδιάμεσα στα 60mm και 200mm ή η ποσότητα του οπλισμού είναι από 100 έως 350kg/m³.
- Κατηγορία 3: Για δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα, όπου οι ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών του είναι μεγαλύτερες από 200mm ή η ποσότητα του οπλισμού είναι μικρότερη από 100kg/m³.

Μια τυπική αναλογία συστατικών για την παρασκευή του συνδυασμένου τύπου αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος σε Ευρώπη, Αμερική, Ιαπωνία παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

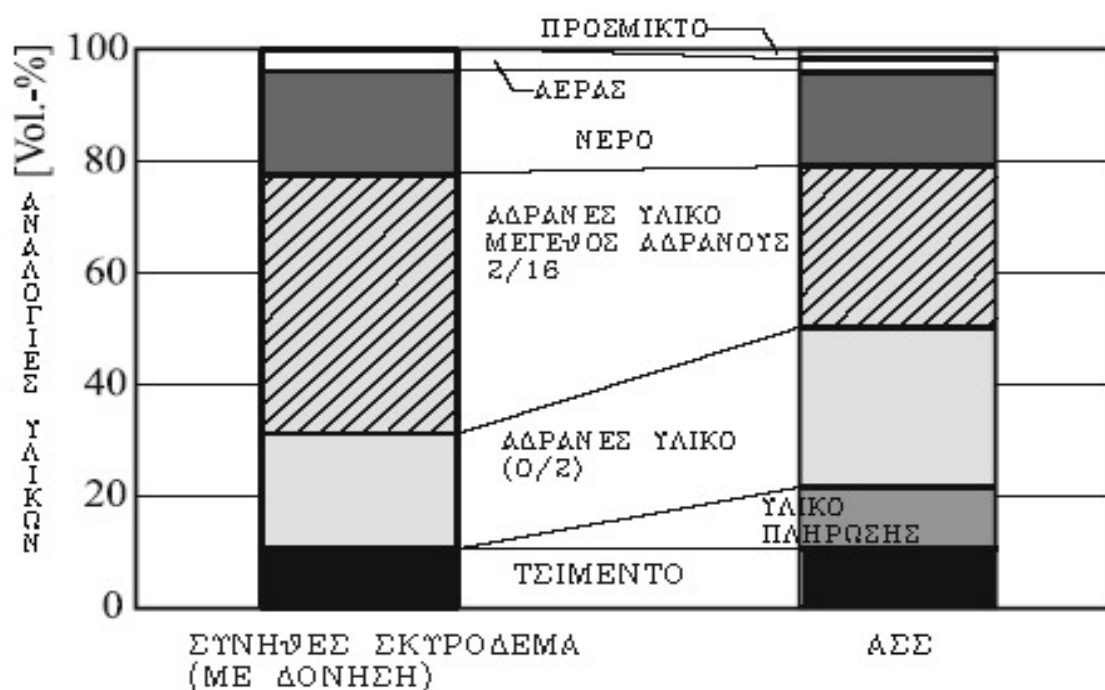
Συστατικά	Ευρώπη	Αμερική	Ιαπωνία
Νερό	200 kg	154 kg	175 kg
Τσιμέντο τύπου Portland	310 kg	416 kg	298 kg
Ιπτάμενη τέφρα	190 kg	0	206 kg
Λεπτόκοκκα Αδρανή	700 kg	1015 kg	702 kg
Χονδρόκοκκα Αδρανή	750 kg	892 kg	871 kg
Υδατικοί μειωτήρες	6,5 kg	2616 ml	10,6 kg
Ρυθμιστικοί παράγοντες Ιξώδους	7,5 kg	542 ml	0,0875 kg

Πίνακας 3.2: Τυπικές αναλογίες συστατικών για συνδυασμένο τύπο αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

Πρέπει να τονιστεί ότι το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα δεν είναι τυποποιημένο, επειδή πρέπει πρώτα να καθοριστούν οι δομικές απαιτήσεις και οι ειδικές συνθήκες του έργου στο οποίο θα εφαρμοσθεί. Ωστόσο υπάρχουν κανονισμοί όπως οι EFCA, EFNARC, οι οποίοι δίνουν διάφορες αναλογίες συστατικών. Ο ΠΕΤΕΠ (Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές) προτείνει τις αναλογίες του μίγματος με βάση τον EFNARC. Η σύνθεση κατά EFNARC δίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

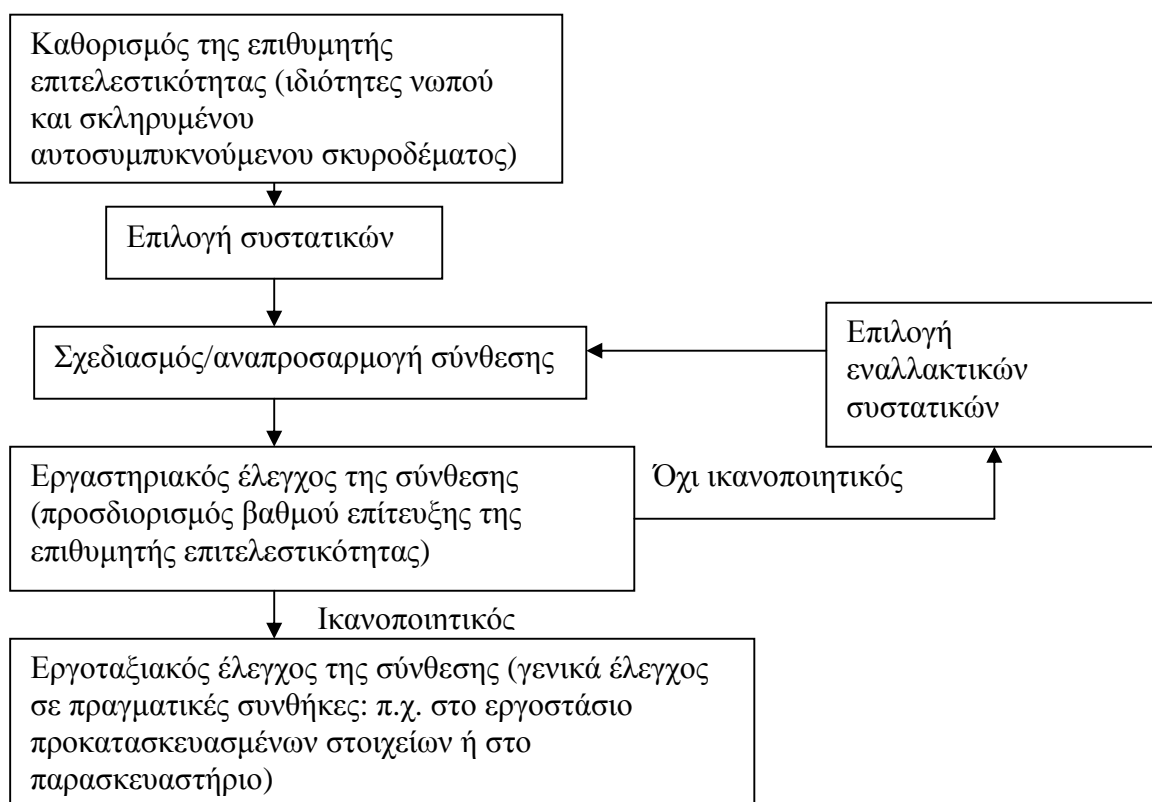
Λόγος νερού/τσιμέντου	0,8-1,10 κατ' όγκο
Συνολική ποσότητα σε κονία	160-240lt/m ³ ή 400-600kg/m ³
Περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα αδρανή	280-350lt/m ³
Περιεκτικότητα σε τσιμέντο	350-450kg/m ³
Περιεκτικότητα σε νερό	<200lt/m ³
Περιεκτικότητα σε πάστα	>400lt/m ³
Περιεκτικότητα σε άμμο	50% κ.β. των συνολικών αδρανών

Πίνακας 3.3: Σύνθεση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος κατά EFNARC.



Εικόνα 3.3 : Σχηματική απεικόνιση της αναλογίας των υλικών για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα σε σχέση με αυτές ενός κοινού σκυροδέματος.

Παρόλα αυτά όποια και να είναι η μέθοδος η οποία επιλέγεται για την διεξαγωγή της μελέτης σύνθεσης, τα βασικά βήματα μίας διαδικασίας προσδιορισμού των αναλογιών ανάμιξης για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα δίνονται στο παρακάτω σχήμα.



3.5 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΩΠΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Το βασικό χαρακτηριστικό του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι οι ιδιότητες που έχει όσο είναι ακόμα νωπό, καθώς στη στερεή του κατάσταση παρουσιάζει περίπου όμοιες ιδιότητες με αυτές του κοινού σκυροδέματος. Οι ιδιότητες του, όπως προαναφέρθηκαν είναι :

- Ροή αποκλειστικά λόγω του ίδιου βάρους του, χωρίς δόνηση

- Ροή μέσω στενών ανοιγμάτων και πλήρωση ξυλοτύπων με πυκνό σπλισμό
- Διατήρηση ομοιογένειας κατά την μεταφορά και τη διάστρωση.



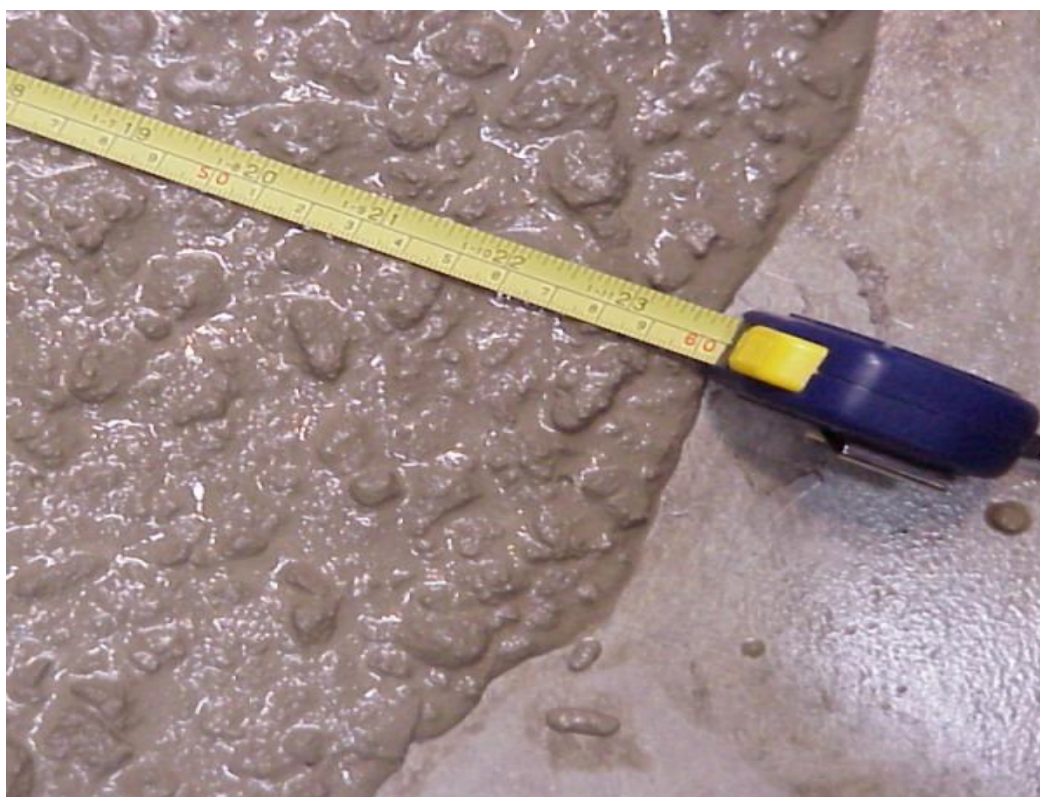
Εικόνες 3.4-3.5: Ρεολογική ικανότητα του Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος

Εκτός από αυτές τις βασικές ιδιότητες, για συγκεκριμένες εφαρμογές παρασκευάζονται μίγματα με αντίσταση σε απόπλυση και απαλλαγμένες από ατέλειες ελεύθερες επιφάνειες. Για την εκτίμηση των παραπάνω ιδιοτήτων δεν υπάρχει κάποια ομογενοποιημένη δοκιμή που να τις ελέγχει και τις δύο ταυτόχρονα. Οι κυριότερες δοκιμές είναι:

- Δοκιμές εξάπλωσης slump-flow: Με αυτόν τον τρόπο αξιολογείται η ικανότητα οριζόντιας ανεμπόδιστης ροής του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος για μίγματα όπου τα χονδρόκοκκα αδρανή έχουν $d_{\max} < 40\text{mm}$. Ο εξοπλισμός είναι ο ίδιος με της δοκιμής κάθισης του κοινού σκυροδέματος. Η διαφορά είναι ότι το σκυρόδεμα του δοκιμίου δεν δονείται, και αντί να μετριέται η κάθιση της κορυφής της μάζας του σκυροδέματος σε σχέση με την κορυφή του μεταλλικού κώνου, μετριέται η διάμετρος του κύκλου εξάπλωσης του σκυροδέματος, η οποία αποτελεί μέτρο της ικανότητας πλήρωσης του νωπού αυτοσυμπυκνούμενο σκυροδέματος, δηλαδή δείχνει την ταχύτητα της ρευστότητας του. Έτσι ένα αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με ικανοποιητική απόδοση πρέπει να έχει ένα υψηλό slump-flow ούτως ώστε η εξάπλωσή του σε διάμετρο 500mm (ή την τελική τιμή του slump) να επιτευχθεί σε ένα χρόνο από 10 έως 15 δευτερόλεπτα. Η μέθοδος αυτή είναι πιο διαδεδομένη λόγω της απλότητάς της.

<u>Μέθοδος Slump-flow</u>	
	<u>Αυτοσυμπυκνούμενο</u>
<u>Μέση Διάμετρος(D)</u>	<u>600mm < D < 750mm</u>
<u>Χρόνος (t)</u>	<u>5-12 sec ready-mix</u> <u>20-35 precast</u>

Πίνακας 3.4: Χαρακτηριστικά μεθόδου Slump-flow



Εικόνες 3.6-3.7: Δοκιμή εξάπλωσης Slump-flow

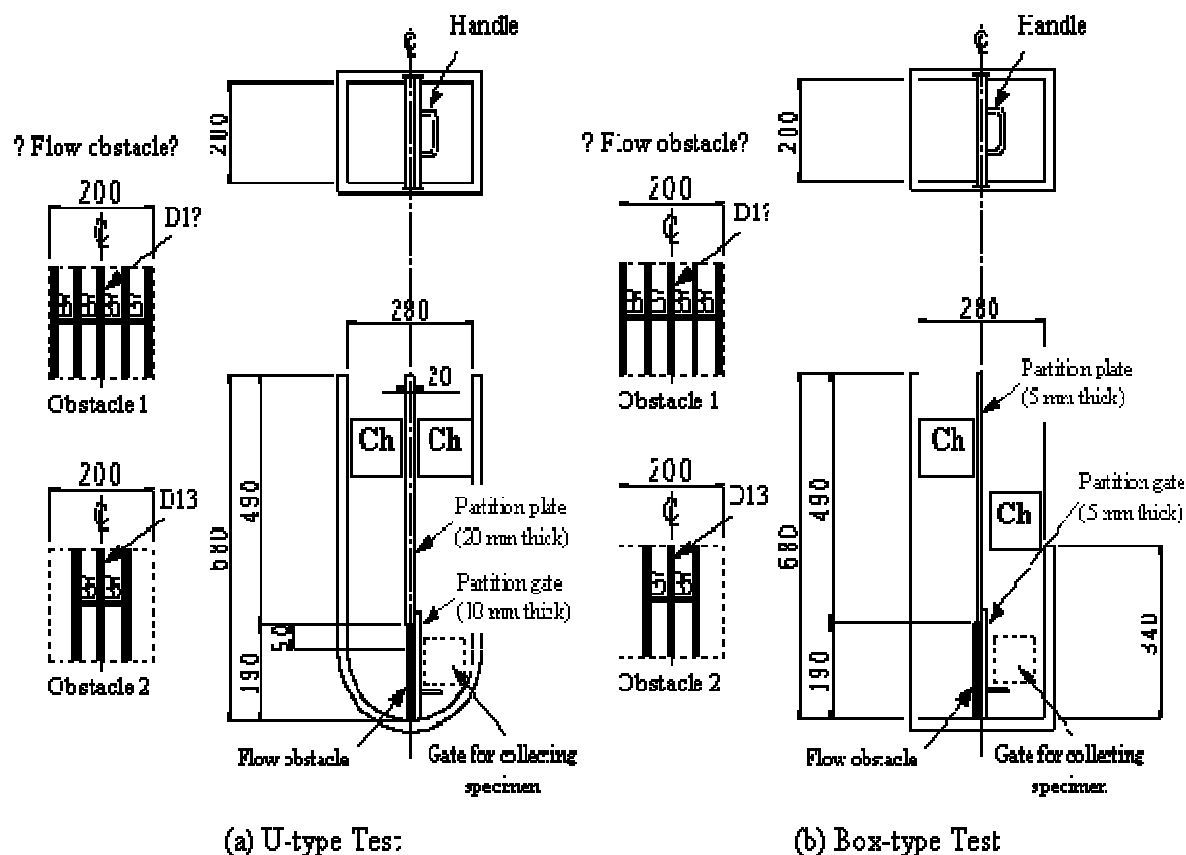
- Δοκιμή V-Funnel: Είναι μία μέθοδος που εκτιμά την αντίσταση διαχωρισμού, χρησιμοποιώντας μία χοάνη σχήματος V και μετρώντας το χρόνο απορροής του μίγματος, για χονδρόκοκκα αδρανή με $d_{\max} < 25\text{mm}$.



Εικόνα 3.8: Δοκιμή V-funnel

- Δοκιμή T-50: Άλλη μία δοκιμή που εκτιμά την αντίσταση διαχωρισμού. Εδώ υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για να εξαπλωθεί σε κύκλο διαμέτρου 500mm, στην δοκιμή εξάπλωσης που προαναφέρθηκε. Χαρακτηριστικές τιμές για τυπικά μίγματα αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος δίνουν χρόνο T-50 περίπου 2-5 δευτερόλεπτα.
- Δοκιμή U-box και δοκιμή L-Box: Είναι μέθοδοι της ικανότητας ροής του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος μέσω εμποδίων, για μίγματα όπου τα χονδρόκοκκα αδρανή έχουν $d_{\max} < 25\text{mm}$. Η συσκευή U-box αποτελείται από ένα μεταλλικό κουτί σε σχήμα U με δύο θαλάμους. Για να εμποδίζεται η ελεύθερη ροή από τον ένα θάλαμο στον άλλο παρεμβάλλεται μία εσχάρα

οπλισμού, το μέγεθος και η πυκνότητα του οποίου εξαρτώνται από την ρευστότητα που απαιτείται. Καθώς το μίγμα μετακινείται και ανεξάρτητα από τον τύπο της εσχάρας οπλισμού η μέθοδος μετρά το ύψος H του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος στον δεύτερο θάλαμο σε συνάρτηση με τον χρόνο που χρειάζεται για να φθάσει εκεί. Επίσης μετράται η περιεκτικότητα χονδρόκοκκων αδρανών ανά m^3 στην περιοχή της εσχάρας (G). Η τιμή G συγκρίνεται στην συνέχεια με την χαρακτηριστική τιμή G_0 ώστε να εκτιμηθεί η ικανότητα του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος για αντίσταση στον διαχωρισμό και κίνηση σε περιορισμένο χώρο. Ο λόγος G/G_0 πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 0,9. Η συσκευή L-box μετρά την ίδια ιδιότητα του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με οριζόντιο οπλισμό. Το σκυρόδεμα εγχύεται μέσα σε ένα μεταλλικό κουτί σχήματος L. Η ροή του αυτοσυμπυκνούμενου περιορίζεται από μεταλλικές οριζόντιες ράβδους. Μετρώνται η ταχύτητα κίνησης του σκυροδέματος, το ποσοστό των αδρανών που συγκρατώνται και ο χρόνος που χρειάζεται το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα μέχρι να ολοκληρώσει την διαδρομή.



Εικόνα 3.9. Δοκιμή U-box και L-box

3.6 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Τα βασικά συστατικά του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι πρακτικά τα ίδια με αυτά του κοινού δονούμενου σκυροδέματος πέραν της ανάμιξης και βέβαια της χρήσης ειδικών προσμίκτων και προσθέτων όπως φάνηκε παραπάνω. Εργαστηριακοί έλεγχοι αλλά και πρακτικές εφαρμογές απέδειξαν ότι οι ιδιότητες του στερεού αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι πράγματι παρόμοιες με αυτές του κοινού σκυροδέματος, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Λόγος νερό/τσιμέντο (%)	25-40
Περιεκτικότητα αέρα (%)	4,5-6
Θλιπτική Αντοχή (ηλικία 28 ημερών)(MPa)	40-80
Θλιπτική Αντοχή (ηλικία 96 ημερών)(MPa)	55-100
Εφελκυστική Αντοχή	2,4-4,8
Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	30-36

Πίνακας 3.5: Ιδιότητες στερεού Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος

3.7 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα χάρη στην υψηλή του σταθερότητα και ρευστότητα, μπορεί να αυξήσει το επίπεδο της αντοχής και να μεγιστοποιήσει την αξιοπιστία της κατασκευής ανεξάρτητα από το εργατικό δυναμικό, την ποιότητα των συστημάτων έγχυσης και την διαθεσιμότητα των δονητικών μηχανημάτων. Χάρη στην αυξημένη αντίσταση στον εξωτερικό διαχωρισμό αλλά και στην ικανότητα του μίγματος να εξαπλώνεται μόνο του, εξασφαλίζεται η μη δημιουργία μικροφυσσαλίδων στην δομή του και η σωστή κατανομή των αδρανών, για την επίτευξη αυξημένων μηχανικών αντοχών και υψηλού βαθμού ανθεκτικότητας των κατασκευής.

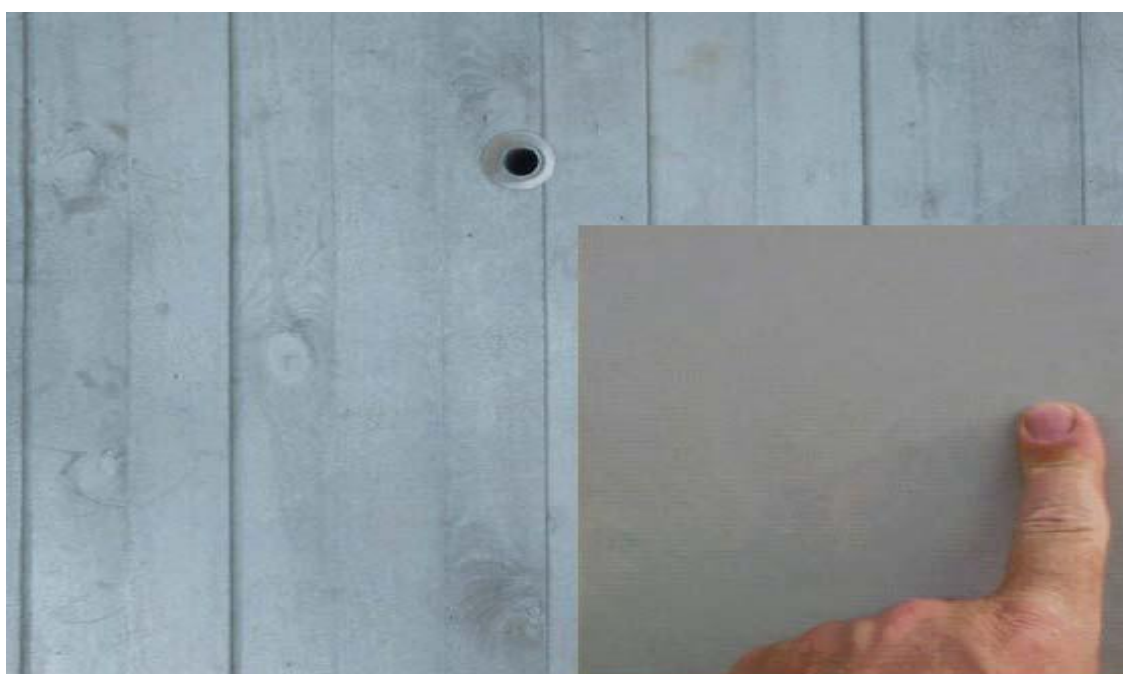
Το σημαντικότερο πλεονέκτημα που προκύπτει από την χρήση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι η μείωση του χρόνου αποπεράτωσης της κατασκευής χάρη στην ταχύτητα που είναι δυνατόν να γίνει η διάστρωση του σκυροδέματος ως συνέπεια της πλήρους απαλοιφής της χρήσης συστημάτων δόνησης. Η χρήση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος μπορεί να μειώσει τον χρόνο κατασκευής μεγάλων έργων σε ποσοστό μέχρι και 20-25% αλλά και φυσικά να αυξήσει την ποιότητα στην κατασκευή από πλευράς

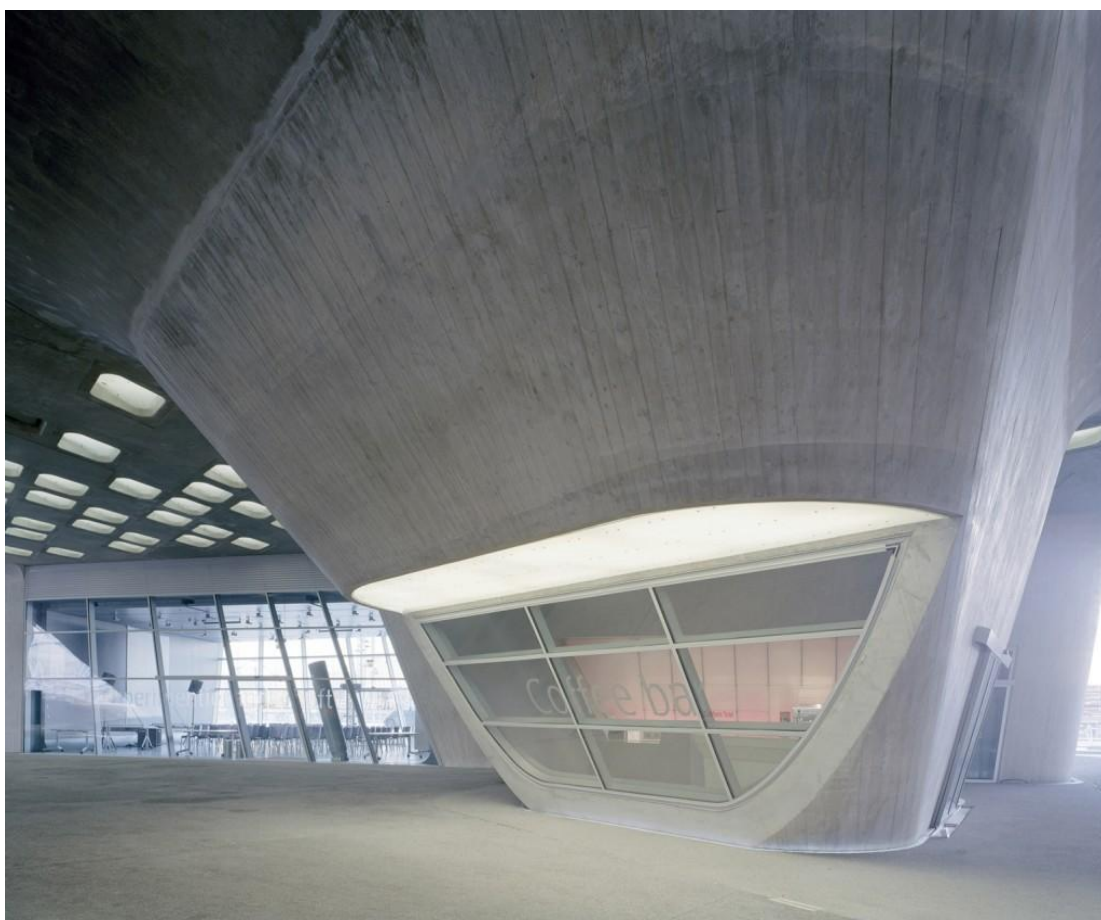
σωστής συμπύκνωσης, αισθητικών αποτελεσμάτων και καλύτερων συνθηκών εργασίας.

Η εφαρμογή του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος οδηγεί στην υιοθέτηση πρωτοποριακών κατασκευαστικών τεχνικών, βασισμένες στην έγχυση του σκυροδέματος από την βάση του ξυλότυπου και όχι από ψηλά, ή την χρήση σωλήνων με βαλβίδες από όπου διοχετεύεται το σκυρόδεμα με σκοπό να ελέγχεται με ακρίβεια η πλήρωση του ξυλοτύπου. Επίσης παρέχεται η δυνατότητα σκυροδέτησης μελών περίπλοκης γεωμετρίας και πυκνού οπλισμού.

Οι συνέπειες της χρήσης δονητικών μηχανημάτων στον ανθρώπινο οργανισμό είναι γνωστές, αλλά και τα φαινόμενα μείωσης της ακοής που εμφανίζονται στο προσωπικό των εργοταξίων. Έτσι η εξάλειψη της δόνησης και η μείωση του θορύβου που συνεπάγεται η χρήση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος αποτελούν σημαντικό παράγοντα στην μείωση των εργατικών ασθενειών και ιδιαίτερα στην ποιότητα ζωής των εργαζομένων στην κατασκευή.

Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα από την χρήση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος στην κατασκευή αποτελεί η βελτιστοποίηση της ποιότητας των εμφανών σκυροδεμάτων.





Εικόνες 3.10-3.12: Αισθητικό τελείωμα του Αυτοσυμπκνούμενου σκυροδέματος (EFNARC et al., 2005)

3.8 ΑΝΑΜΙΞΗ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα δεν υπάρχει σαφής συστηματοποίηση ως προς την σειρά με την οποία θα τοποθετηθούν τα υλικά στον αναμκτήρα, αφού η βέλτιστη ακολουθία δεν εξαρτάται μόνο από την σύνθεση αλλά και από το είδος του εξοπλισμού του εκάστοτε παρασκευαστηρίου.

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα πρέπει να αναμιγνύεται περισσότερο χρονικό διάστημα από το συμβατικό σκυρόδεμα, λόγω του χαμηλού λόγου νερού/λεπτόκοκκα. Εμπειρικά, το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα πρέπει να αναμιγνύεται για τουλάχιστον 120 sec. Όλοι οι τύποι αναμκτών θεωρούνται κατάλληλοι για την ανάμιξή του, όπως ο «διπλός άξονας» και ο «οριζόντιος άξονας» σε συγκροτήματα παραγωγής αλλά και η απευθείας ανάμιξη σε φορτηγά ανάμιξης-μπετονιέρες. Η διαδικασία της τοποθέτησης των συστατικών στον κάδο ανάμιξης πρέπει να γίνεται αφού έχει προηγηθεί η έγχυση τουλάχιστον του 90% του νερού που απαιτείται. Ο όγκος του μίγματος δεν πρέπει να υπερβαίνει το 70% της χωρητικότητας του αναμκτήρα ώστε να αποφύγουμε τυχόν υπερφόρτωση.

Σημαντικός είναι ο χρόνος προσθήκης του υπερρρευστοποιητή στο μίγμα. Συνήθως προτείνεται να εισάγεται πρώτα ποσότητα ίση με τα 2/3 της συνολικής ποσότητας του υπερρρευστοποιητή και το υπόλοιπο χημικό πρόσμικτο να προστίθεται σε χρόνο μεγαλύτερο των 45sec.

3.8.1 Εγκαταστάσεις ανάμιξης

Η υψηλή περιεκτικότητα σε κόλλες και η ρευστότητα του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος μπορούν να καταστήσουν δυσκολότερο να επιτύχει ένα ομοιόμορφο μίγμα χαμηλότερης συνέπειας. Η κύρια δυσκολία είναι

ο σχηματισμός των αμιγών «σφαιρών» των συστατικών και μόλις διαμορφωθούν αυτοί δεν αναλύονται εύκολα. «Σφαίρες» είναι πιθανότερο να εμφανιστούν στους αναμίκτες (ιδιαίτερα στους αναμίκτες φορτηγών). Αυτό το πρόβλημα μπορεί να αποφευχθεί με επεξεργασία κατά δεσμίδες του σκυροδέματος μέχρι να αναμιχθεί ομοιόμορφα. Η προσθήκη παραπάνω νερού και υπερρευστοποιητή θα αυξήσει τη συνέπεια στο απαραίτητο επίπεδο αποφεύγοντας την δημιουργία σφαιρών. Η προσθήκη του στη μίξη, κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας κατά δεσμίδες, είναι σημαντικός δεδομένου ότι μπορεί να αλλάξει την αποτελεσματικότητα. Μια τυποποιημένη διαδικασία πρέπει να υιοθετηθεί μετά από τις δοκιμές και αυτή η διαδικασία θα πρέπει να ακολουθείται αυστηρά προκειμένου να μειωθεί η δυνατότητα διαφορών μεταξύ τους. Λόγω της ισχυρής επίδρασης των σύγχρονων υπερρευστοποιητών, είναι σημαντικό οι διανομείς να γνωρίζουν πως αν χρειάζεται η χειρωνακτική προσθήκη υπερρευστοποιητή, η μέτρηση της δόσης γίνεται από ένα βαθμολογημένο εμπορευματοκιβώτιο ή από έναν ακριβή εξοπλισμό διανομής.

Κατά την παραγωγή υπάρχουν αρκετοί παράγοντες, δρώντας ατομικά ή συλλεκτικά, που συμβάλλουν στις αποκλίσεις της ομοιομορφίας. Οι κύριοι παράγοντες είναι οι αλλαγές στην αρχική υγρασία των αδρανών, στη διαβάθμιση των αδρανών καθώς και στις αποκλίσεις των διαφόρων παρτίδων ανάμειξης. Διαφορές στις ιδιότητες μπορούν επίσης να παρατηρηθούν όταν παρουσιάζονται παρτίδες από διαφορετικά υλικά. Επειδή δεν είναι πάντα δυνατό να αναγνωριστούν άμεσα οι συγκεκριμένες αιτίες, προτείνεται να γίνονται ρυθμίσεις στην συνοχή με την ρύθμιση του επιπέδου του υπερρευστοποιητή.

3.8.2 Φορτηγά ανάμειξης

Οι αναμίκτες φορτηγών είναι πιθανό να απαιτήσουν τον πρόσθετο χρόνο μίξης για αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα δεδομένου ότι είναι λιγότερο

αποδοτικοί από τους αναμίκτες εγκαταστάσεων. Ο διαχωρισμός του φορτίου σε δύο ή περισσότερες δεσμίδες μπορεί να βελτιώσει στη μίξη την αποδοτικότητα. Το τύμπανο αναμικτών φορτηγών και η μίξη των λεπίδων είναι ιδιαίτερα σημαντικοί για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα και πρέπει να επιθεωρούνται τακτικά. Η περιστροφική ταχύτητα του τυμπάνου κατά τη διάρκεια του κύκλου μίξης πρέπει να συμμορφωθεί με τις συστάσεις του κατασκευαστή αλλά η ταχύτητα μίξης του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος θα πρέπει να είναι κανονικά 10 - 15 περιστροφές/λεπτό.

Το σύνολο των αδρανών προστίθεται γενικά στον αναμίκτη πρώτα, μαζί με το τσιμέντο. Αυτό ακολουθείται αμέσως από τον κεντρικό αγωγό αναμιγνύοντας το νερό και τον υπερρευστοποιητή. Χρησιμοποιούνται και οι ρυθμιστές ιξώδους όπου προστίθενται με το τελικό νερό. Λόγω της ευρείας παραλλαγής στους διαθέσιμους αναμίκτες, η ακριβής μεθοδολογία για τη φόρτωση του αναμίκτη πρέπει να καθοριστεί από τις δοκιμές πριν αρχίσει την παραγωγή.

Ο παραγωγός πρέπει να εξετάσει το σκυρόδεμα τουλάχιστον στο ελάχιστο ποσοστό που δίνεται στο EN 206-1 για τη συνοχή, τη δύναμη και για άλλες ιδιότητες. Για εξεταστικούς λόγους, ο παραγωγός μπορεί να ομαδοποιήσει τα συγκεκριμένα σκυροδέματα σε οικογένειες, αλλά μέχρι όταν αποκτηθεί περισσότερη εμπειρία το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα συνιστάται να μην συνδυάζεται στις οικογένειες με τα κοινά σκυροδέματα.

Η τεκμηριωμένη διαδικασία πρέπει να περιλάβει τις λεπτομέρειες της ευθύνης για τη δοκιμή καθώς επίσης και μιας διαδικασίας για μέτρα που λαμβάνονται σε περίπτωση μη συμμόρφωσης:

- Ο ειδικός στην παρασκευή σκυροδέματος θα εξασφαλίσει ότι όλη η δοκιμή πραγματοποιείται από ικανό, εκπαιδευμένο προσωπικό σε ένα περιβάλλον που προστατεύεται από τον καιρό. Ο εξοπλισμός θα είναι καλά διατηρημένος και βαθμολογημένος και η περιοχή δοκιμής πρέπει να έχει ένα στερεό επίπεδο για την εκτέλεση των δοκιμών.

- Το σκυρόδεμα θα ανακατευθεί ξανά στον αναμίκτη φορτηγών προτού να ληφθεί ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα.
- Η δειγματοληψία θα πραγματοποιηθεί σύμφωνα με το EN 12350-1. Το πρώτο αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα από έναν αναμίκτη φορτηγών μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικό.
- Κατά την παραγωγή των δειγμάτων του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, η φόρμα θα συμπληρωθεί με ένα ενιαίο στρώμα χωρίς συμπίεση.

3.9 Η ΜΕΤΑΦΟΡΑ, Η ΑΝΤΛΗΣΗ ΚΑΙ Η ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

3.9.1 Η μεταφορά

Οι οδηγοί κατά την μεταφορά πρέπει να έχουν σαφείς οδηγίες για τον χειρισμό του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Πριν το γέμισμα με αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα πρέπει να εξασφαλίσουν ότι δεν υπάρχουν ανεπιθύμητες ουσίες ή νερό στο τύμπανο. Οι αναμικτήρες πρέπει να εκτελούν αργές περιστροφικές κινήσεις του τύμπανου τους μέχρι την παράδοση του υλικού στο εργοτάξιο και ιδιαίτερα πρέπει να λαμβάνεται μεγάλη φροντίδα για μεγάλες αποστάσεις. Σε καμία περίπτωση οι οδηγοί δεν θα πρέπει να επεμβαίνουν στο μίγμα, προσθέτοντας είτε νερό είτε διάφορα πρόσμικτα.

Πρέπει να ληφθούν υπ' όψη οι παράγοντες που αλληλεπιδρούν στην παραδιδόμενη ποιότητα του νωπού αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, όπως:

- Μέγεθος της κατασκευής
- Παραγωγική ικανότητα της μονάδας παραγωγής
- Δυνατότητα απορρόφησης του παραδιδόμενου σκυροδέματος
- Μη αναμενόμενη διακοπή στη σκυροδέτηση μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στο τελικό αποτέλεσμα.

3.9.2 Επίβλεψη κατά την διάστρωση και ικανότητες προσωπικού

Είναι ουσιαστικό ότι το ειδικό προσωπικό που χρησιμοποιείται για να τοποθετήσει το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα έχει εκπαιδευτεί και έχει καθοδηγηθεί στις συγκεκριμένες απαιτήσεις για αυτόν τον τύπο σκυροδέματος. Το ειδικό προσωπικό πρέπει να ενημερωθεί για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα και ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στα εξής:

- επίδραση της δόνησης στη σταθερότητα μιγμάτων
- η επίδραση ενός σπασίματος/μιας διακοπής κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης
- ενέργειες που λαμβάνονται εάν ένα σπάσιμο/μια διακοπή εμφανίζεται
- παρατήρηση για τις παρεμποδίσεις, διαχωρισμός ή απελευθέρωση αέρα
- απαιτήσεις από την αντλία, τον εκσκαφέα ή την υδατόπτωση, συμπεριλαμβανομένου του προσδιορισμού θέσης για να προκαλέσει τη ροή
- τελειώματα, φινιρίσματα επιφανειών και συντήρηση.

3.9.3 Η άντληση και η συντήρηση του αυτοσυμπυκνόμενου σκυροδέματος

Η άντληση πρέπει να γίνεται με χρήση σωλήνων διαμέτρου 100-125mm και μήκους όχι μεγαλύτερο από 300mm.

Είναι φυσιολογικό κατά την διάρκεια της έγχυσης με την αντλία, το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα να εμφανίζει μία σημαντική μείωση της πίεσης στην αντλία, σε σύγκριση με τα άλλα κοινά σκυροδέματα, λόγω της αύξησης της ταχύτητάς του στο εσωτερικό των σωλήνων άντλησης. Η αύξηση της ταχύτητας στην άντληση ή στην έγχυση και το μικρό ιξώδες του αυτοσυμπυκνόμενου παράγουν μία αύξηση των κατακόρυφων ωθήσεων στο

καλούπι που πρέπει να υπολογίζονται. Όσον αφορά το ύψος από το οποίο γίνεται η έγχυση θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη η γεωμετρία του στοιχείου και η πυκνότητα του οπλισμού.

Για την αποφυγή της πιθανότητας διαχωρισμού και απόμιξης, συνίσταται ο περιορισμός του ελεύθερου ύψους ρίψης του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος στα 5m ή η εισχώρηση του σωλήνα εντός του στοιχείου και η βαθμιαία ανύψωσή του, καθώς ο όγκος του νωπού σκυροδέματος αυξάνει. Ενώ για οριζόντια εξάπλωση η απόσταση χύτευσης πρέπει να είναι μικρότερη από τα 10m από το σημείο εκκένωσης.

Πριν από την έγχυση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος πρέπει να διευκρινιστούν τα σημεία και η σειρά με την οποία θα γίνει η διάστρωση, λαμβάνοντας πάντα υπ' όψη την ικανότητα του μίγματος να ρέει κατακόρυφα στο εσωτερικό του καλουπιού για περίπου 15m. Άμεση συντήρηση των ελεύθερων επιφανειών είναι απαραίτητη για την αποφυγή των ρηγματώσεων λόγω πλαστικής συστολής, η οποία είναι εντονότερη στο αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, σε σύγκριση με το κοινό σκυρόδεμα. Το πρόβλημα της έντονης συστολής δύναται να αντιμετωπιστεί με την προσθήκη διογκωτικών μέσων. Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα ξηραίνεται γρηγορότερα από το κοινό σκυρόδεμα γιατί υπάρχει λίγο έως καθόλου νερό εξίδρωσης στην επιφάνεια.

Στην περίπτωση έγχυσης σε κλειστά στοιχεία και σε διατομές ιδιαίτερα στενές, πρέπει να έχουν προβλεφθεί σημεία διαφυγής του αέρα. Ο εγκλωβισμένος αέρας δημιουργεί ανεπιθύμητες συνθήκες κατά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, αυξάνοντας το πορώδες και μειώνοντας την αντοχή. Οι οπές εξαερισμού πρέπει να σχεδιάζονται προσεχτικά ανάλογα τις εκάστοτε συνθήκες καλουπώματος.

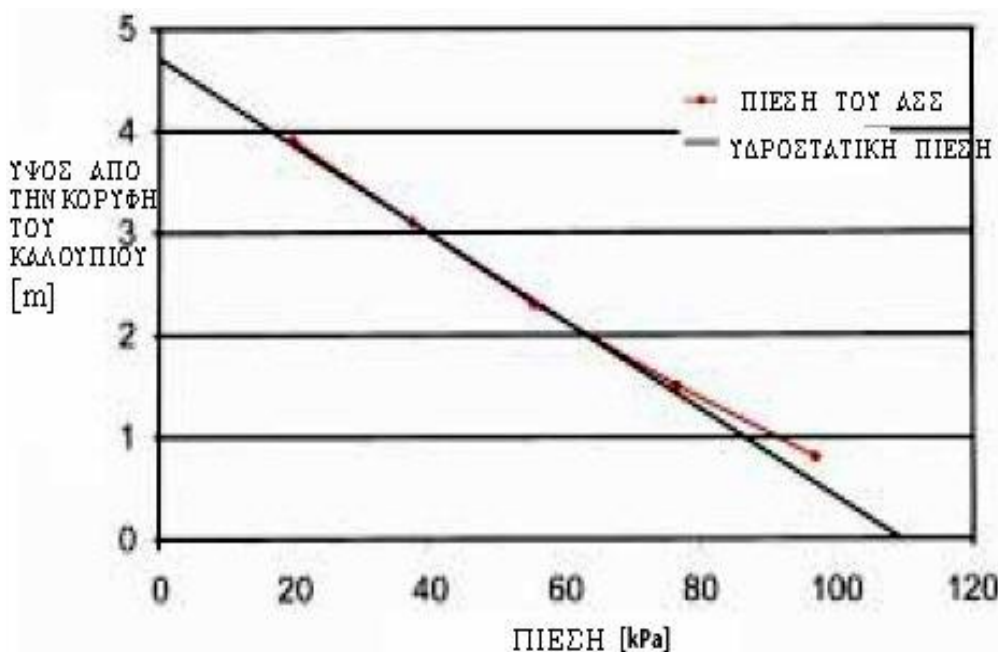
Για ύψος στήλης νωπού αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος πάνω από 3m θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη και η υδροστατική πίεση στο σχεδιασμό των καλουπιών. Η πρακτική έχει δείξει ότι οι υψηλές πιέσεις εντός του ιστού των μηχανημάτων άντλησης του σκυροδέματος προκαλούν απώλειες στην

εργασιμότητα του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Συνεπώς πρέπει να λαμβάνονται τα σωστά μέτρα ώστε να διατηρείται η πίεση κατά την άντληση σε χαμηλά επίπεδα. Όταν υπάρχουν ενδείξεις για υψηλές πιέσεις, συνίσταται παύση στη διάστρωση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

Το παρακάτω σχήμα είναι απόρροια μιας πειραματικής μελέτης που έλαβε χώρα στην Ελβετία για την διερεύνηση της πίεσης που ασκεί το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στον ξυλότυπο συγκριτικά με την υδροστατική πίεση.

Τα συμπεράσματά τους ήταν δύο :

- όταν η χύτευση γίνεται από την κορυφή του καλουπιού η πίεση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος ισούται με το 85-95% της υπολογισμένης υδροστατικής πίεσης και μειώνεται σταδιακά μέχρι την σκλήρυνσή του,
- όταν η χύτευση γίνεται από τον πυθμένα του καλουπιού η πίεση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος αγγίζει και ξεπερνάει κάποιες στιγμές την υπολογισμένη υδροστατική πίεση.



Εικόνα 3.13: Μετρημένη πίεση που ασκεί ένα μίγμα Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στον ξυλότυπο συγκριτικά με την υπολογισμένη υδροστατική πίεση

Όσον αφορά την επιλογή αντικολλητικών υλικών και την καθαριότητα των καλουπιών, ισχύουν οι ίδιοι περιορισμοί με τα παραδοσιακά σκυροδέματα. Για την υγρασία ωρίμανσης πρέπει να επισημανθεί ότι ακόμη και η ελάχιστη ποσότητα νερού που χάνεται μπορεί να οδηγήσει σε μία πολύ πρόωμη ωρίμανση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Στην περίπτωση που απαιτούνται επιφάνειες εμφανών σκυροδεμάτων, πρέπει πάντα να συντηρείται με προσοχή η επιφανειακή υγρασία τους ή να προστατεύεται με ειδικά υλικά. Είναι προφανές ότι η ωρίμανση των επιφανειών σκυροδέτησης σε συνθήκες υγρασίας είναι ουσιώδεις προκειμένου να εξασφαλιστεί ο σχηματισμός μιας επιφανειακής μεμβράνης στεγανής και ανθεκτικής στους επιθετικούς παράγοντες του περιβάλλοντος.

3.9.4 Σχέδιο εγκιβωτισμού

Η απουσία δόνησης μπορεί να επιτρέψει κάποιο νέο εγκιβωτισμό όπως αυτός που επιτυγχάνεται από τους μαγνητικά συνημμένους διαμορφωτές στον εγκιβωτισμό μετάλλων. Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο μέσα στις προκατασκευασμένες εφαρμογές αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος όπου το λεπτομερές σχέδιο μπορεί να παράγει ένα ενισχυμένο προϊόν με περίπλοκη επιφάνεια. Οι ασυνήθιστες ή σύνθετες μορφές μπορούν να παραχθούν με το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, που δεν θα ήταν δυνατές με το δονημένο σκυρόδεμα.

Η υψηλή ρευστότητα του SCC μπορεί να οδηγήσει στην επίπλευση ελαφρών ξυλοτύπων, ξυλοτύπων καταφραγής ή άλλων λεπτομερειών που δεν είναι κατάλληλα ασφαλισμένες. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην αγκύρωση και μόνωση της βάσης του ξυλοτύπου όπου η άνωση μπορεί να είναι πρόβλημα. Διαρροή στις ενώσεις του ξυλοτύπου ενδέχεται να μειώσει την κατά τα άλλα υψηλή ποιότητα του φινιρίσματος., ωστόσο το SCC έχει γενικότερα λιγότερες διαρροές από το σκυρόδεμα που χρειάζεται δόνηση. Λόγω της

υψηλής υδροστατικής πίεσης του σκυροδέματος όταν χρησιμοποιείται SCC, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην εξωτερική αγκύρωση του ξυλοτύπου καθώς και στην απόσταση και την στήριξη των αντηρίδων ώστε να διασφαλιστεί ότι δεν παραμορφωθεί ο ξυλότυπος κατά την έκχυση του υλικού.

Η υψηλή δυνατότητα ροής του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος μπορεί να οδηγήσει στην επίπλευση οποιωνδήποτε επιπλευσών μονάδων εγκιβωτισμού, ακρών στάσεων ή των εγκιβωτισμών που δεν καθορίζονται ακριβώς. Η ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στον καθορισμό και τη σφράγιση του εγκιβωτισμού στη βάση όπου η άνοδος μπορεί να είναι ένα πρόβλημα. Η διαρροή στις ενώσεις μπορεί να εμφανιστεί, εντούτοις το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα διαρρέει γενικά λιγότερο από ένα κοινό σκυρόδεμα που πρέπει να δονηθεί.

Επειδή η συγκεκριμένη πλήρης υδροστατική πίεση πρέπει να υποτεθεί κατά χρησιμοποίηση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί και στις εξωτερικές υποστηρίξεις και στο σύστημα ράβδων δεσμών και στο διάστημα, για να εξασφαλιστεί ότι ο εγκιβωτισμός δεν μπορεί να παραμορφωθεί κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης.

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα παράγεται με πολύ υψηλή ποιότητα αλλά όμως μπορεί να παρουσιάσει οποιεσδήποτε ανεπάρκειες στο υλικό εγκιβωτισμού, όπου αυτό θα μειώσει την τελική εμφάνιση. Η καλή προετοιμασία εγκιβωτισμού ισχύει για όλους τους τύπους σκυροδεμάτων αλλά είναι ουσιαστική εάν το τέλος της επιφάνειας του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος πρόκειται να βελτιστοποιηθεί.

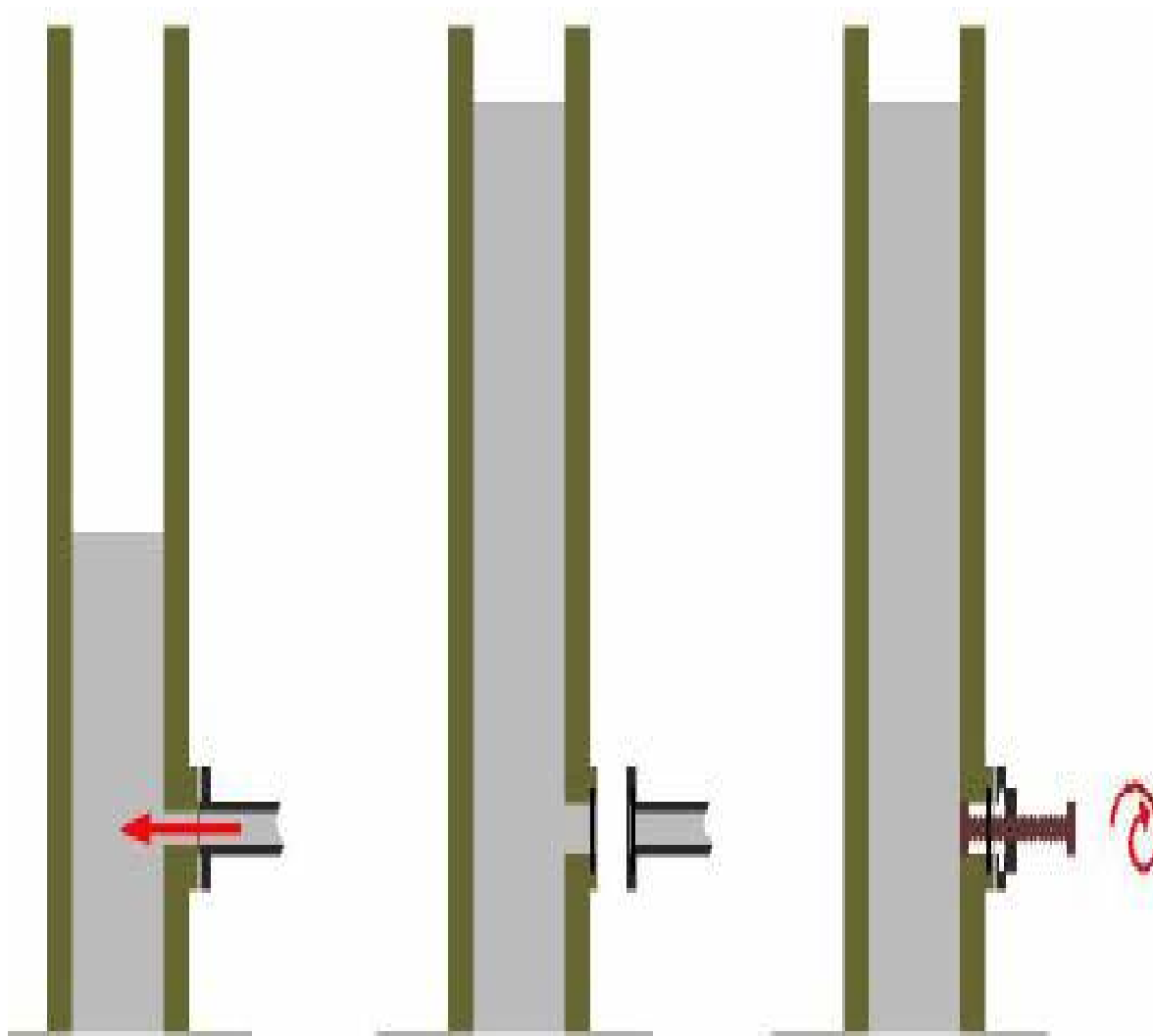
Οι απαιτήσεις είναι συγκεκριμένες για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα γι' αυτό το προσωπικό απελευθέρωσης των φορμών-ξυλοτύπων, λόγω της δυνατότητάς του να επιτύχει ένα υψηλής ποιότητας τελείωμα της επιφάνειας, είναι εξειδικευμένο. Ο εγκιβωτισμός που χρησιμοποιείται για αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα θα είναι χάλυβας ή επενδυμένο με ρητίνη κόντρα-πλακέ. Το ανειδίκευτο προσωπικό απελευθέρωσης φορμών-ξυλοτύπων

μπορεί με την συγκεκριμένη ενέργεια να οδηγήσει στο λέκιασμα, την διατήρηση των αεροφουσαλίδων και τυχόν άλλων ατελειών.

Το αυτοσυμπκνούμενο σκυρόδεμα θα επιτρέψει κανονικά στον παγιδευμένο αέρα να δραπετεύσει μεταξύ του σκυροδέματος και του εγκιβωτισμού. Συνεπώς, η φόρμα απελευθέρωσης πρέπει επίσης να είναι ενός τύπου που θα επιτρέψει στον αέρα να μεταναστεύσει με έναν από τους ελεγχόμενους τρόπους για μια διαφυγή από το σκυρόδεμα.



Εικόνα 3.14: Χύτευση Αυτοσυμπκνούμενου σκυροδέματος από τον πυθμένα του καλουπιού (EFNARC et al. 2005).



Εικόνα 3.15: Σκυροδέτηση μέσω εισπίεσης από το κατώτατο τμήμα των ξυλοτύπων.



Εικόνα 3.16: Σύνδεση σωλήνα με το κατώτατο τμήμα του ξυλοτύπου.

3.9.5 Τοποθέτηση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα σχεδιάζεται να συνδυάσει μια πολύ υψηλή ροή με τα χαρακτηριστικά συνοχής που εξασφαλίζουν ότι το σύνολο αναστέλλεται ομοιόμορφα και δεν διαχωρίζεται. Η χρήση των δονητών έχει επιπτώσεις σε αυτήν την ισορροπία και θα οδηγήσει συνήθως στο διαχωρισμό. Για αυτόν τον λόγο, ο εξοπλισμός δόνησης δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί με το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα εκτός από ειδικές περιπτώσεις. Η ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στις πιθανές εξωτερικές πηγές δόνησης.

Κατά την έκχυση το σκυρόδεμα θα πρέπει να ελέγχεται συχνά ώστε να διασφαλίσει ότι το χονδρόκοκκο σύνολο των αδρανών παραμένει στην επιφάνεια ή κοντά σε αυτή καθώς και ότι δεν παρατηρείται διαχωρισμός των αδρανών. Το σκυρόδεμα θα πρέπει να εμφανίζει ένα ομοιόμορφο προάγων μέτωπο υπό ρηχή κλίση και ομοιόμορφη επικάλυψη του οπλισμού χωρίς να δημιουργούνται κενά αέρος.

Μετά το πέρας του πρώτου τμήματος μιας εργασίας η ποιότητα του σκυροδέματος πρέπει να ελεγχθεί και να αξιολογηθεί και από τον παραγωγό και από τον προσδιορίζοντα. Πρέπει να ευρεθεί το κορυφαίο laitance επιφάνειας, ένα ανομοιόμορφο χρώμα επιφάνειας, σε συγκεκριμένες περιοχές όπου ο αέρας παγιδεύεται και οποιαδήποτε άλλα ανεπιθύμητα αποτελέσματα είναι ορατά. Τα υψηλής ποιότητας τελειώματα επιφάνειας είναι ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, αλλά για να λάβουν μια επιφάνεια χωρίς κενά φυσαλίδων αέρα, παραμορφωτικές ατέλειες ή αποχρωματισμούς, απαιτούν περισσότερα από υψηλό σχέδιο και ποιότητα μίγματος.

Καμία καθοδήγηση δεν υπάρχει αυτήν την περίοδο στο πόσο σοβαρά και με ποια συνέπεια λαμβάνεται η άριστη επιφάνεια τελειώματος του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Εντούτοις, το πρόσωπο εγκιβωτισμού πρέπει να είναι αλάνθαστο και η εκτέλεση της εργασίας και λήξης αυτής πρέπει να είναι της καλύτερης ποιότητας.

Η διάστρωση δεν πρέπει να πραγματοποιηθεί προτού να πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι. Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα μπορεί να τοποθετηθεί από την άμεση ελευθέρωση από τους αναμίκτες φορτηγών μέσω μιας υδατόπτωσης. Εναλλακτικά μπορεί να ελευθερωθεί πρώτα σε έναν εκσκαφέα (με το σωλήνα τύπου χοάνη) ή σε μια αντλία.



Εικόνες 3.17-3.18: Τοποθέτηση Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος

3.9.6 Ολοκλήρωση πλακών

Γενικότερα οι πλάκες απαιτούν χαμηλότερη κατηγορία slump-flow από το (συντελεστή βύθισης-ροής) σκυρόδεμα SCC από ότι τα τοιχεία και τα υποστυλώματα. Αυτή η συνοχή σε συνδυασμό με την έλλειψη διαρροής και την τάση για θιξοτροπική σκλήρυνση μπορεί να κάνει το σκυρόδεμα γλοιώδες και δύσκολο στο τελικό φινίρισμα. Η λείανση για το φινίρισμα θα πρέπει να ξεκινήσει αμέσως μόλις επιτευχθεί το κατάλληλο υψόμετρο πριν ξεκινήσει η θιξοτροπική σκλήρυνση του σκυροδέματος και πριν την δημιουργία κρούστας στην επιφάνεια.

Ο χάλυβας λειτουργεί καλύτερα σε σχέση με τον αφρό του ξύλου ή του πολυουρεθάνιου. Εάν η επιφάνεια της πλάκας κλίνει, απαιτείται μεγαλύτερη προσοχή στη χρήση εξοπλισμού ελαφριάς δόνησης δεδομένου ότι αυτό μπορεί να προκαλέσει μια λοξή ολίσθηση ή άλλη ανεπιθύμητη μετακίνηση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

Η επιπέδωση των πλακών είναι καλύτερα να γίνεται με την βοήθεια δονούμενης πήχης. Αυτή δονεί ικανοποιητικά την επιφάνεια του σκυροδέματος προσφέροντας την κατάλληλη συμπύκνωση και χωρίς να προκαλεί διαχωρισμό των υλικών. Σωστή συνοχή και εκτέλεση των εργασιών σκυροδέτησης θα παρέχουν μια επίπεδη και λεία επιφάνεια χωρίς αδικαιολόγητο εμπλουτισμό του ανάγλυφου της επιφάνειας.



Εικόνα 3.19: Ολοκλήρωση πλακών-διάστρωση σκυροδέματος

3.10 ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΑΠΟ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Η προκατασκευασμένη βιομηχανία εφοδιάζει τους πελάτες της με τα συγκεκριμένα προϊόντα που εγκαθίστανται επί του τόπου και που μπορούν, ανάλογα με το δομικό σχέδιο, να συνδυαστούν με το επιτόπιο σκυρόδεμα. Η διαδικασία αρχίζει όταν διευκρινίζει ο πελάτης τις απαραίτητες αποδόσεις της προκατασκευασμένης συγκεκριμένης δομής ή του προκατασκευασμένου συγκεκριμένου προϊόντος.

3.10.1 Προδιαγραφή για προκατασκευασμένα προϊόντα

Για τα δομικά προϊόντα, οι απαιτήσεις προδιαγραφών πρέπει είτε να είναι σύμφωνα με τα σχετικά εναρμονισμένα πρότυπα προϊόντων (βασισμένα στο EN 13369: Κοινοί κανόνες για τα προκατασκευασμένα συγκεκριμένα προϊόντα) ή όταν είναι σχετικά με το EN 13369 που αναφέρεται στα μέρη του EN 1992-1 (Eurocode 2) και στο EN 206-1. Οι ιδιότητες του φρέσκου σκυροδέματος

καθορίζονται από τον κατασκευαστή, ανάλογα με τις απαιτήσεις του προϊόντος και στα χαρακτηριστικά της διαδικασίας παραγωγής.

3.10.2 Σχέδιο μιγμάτων Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος για τα προκατασκευασμένα προϊόντα

Η συγκεκριμένη προδιαγραφή για τις προκατασκευασμένες εφαρμογές είναι να αποκτήσει την χαρακτηριστική αντοχή σε 28 ημέρες. Εντούτοις για τον παραγωγό, οι απαιτήσεις αντοχής στη νεαρή ηλικία μπορούν να γίνουν η κυρίαρχη απαίτηση, προκειμένου να επιτραπεί η προένταση ή να κινήσουν το στοιχείο μέσα στον κύκλο παραγωγής.

Το σχέδιο μιγμάτων πρέπει να καλύψει τις προηγουμένως καθορισμένες απαιτήσεις για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, που συνδυάζονται με τις απαραίτητες ιδιότητες για αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα όπως η ρευστότητα, το ιξώδες και η σταθερότητα.

Η διαδικασία σκλήρυνσης του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, ξεκινάει μόλις 30 λεπτά μετά την τοποθέτηση του.

Αυτή η γρηγορότερη έναρξη της διαδικασίας σκλήρυνσης είναι ευεργετική για την πρόωρη αντοχή, χαρακτηριστικά σε 14 ± 2 ώρες, που απαιτούνται για να διατηρηθεί ο κύκλος παραγωγής. Η υψηλή πρόωρη αντοχή του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος μπορεί να επιτευχθεί μέσω συγκεκριμένου μίγματος ή και με τη βοήθεια θερμότητας.

Στην προκατασκευή αναπτύσσεται ένα σύνολο τυποποιημένων μιγμάτων για να καλύψει τις γενικές απαιτήσεις για κάθε τύπο προϊόντος. Αυτά τα τυποποιημένα μίγματα μπορούν έπειτα να τροποποιηθούν για συγκεκριμένες απαιτήσεις.

3.10.3 Φόρμες

Ο τύπος των φορμών, εάν είναι φόρμες χάλυβα για την επαναλαμβανόμενη χρήση ή ντυμένες φόρμες κοντραπλακέ για την περιορισμένη χρήση, δεν θα αλλάξει ουσιαστικά τίποτα σε σχέση με το κανονικό σκυρόδεμα, για τα περισσότερα προκατασκευασμένα προϊόντα. Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο μέσα σε προκατασκευασμένες εφαρμογές αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος όπου το λεπτομερές σχέδιο μπορεί να παράγει ένα ενισχυμένο προϊόν με περίπλοκη επιφάνεια. Ασυνήθιστες και σύνθετες μορφές μπορούν να παραχθούν, γεγονός που δεν θα ήταν δυνατό με κοινό σκυρόδεμα.

3.10.4 Παραγωγή προκατασκευασμένων προϊόντων σε εργοστάσια

Ο κατασκευαστής που δημιουργεί προκατασκευές πρέπει επίσης να σημειώσει τις ακόλουθες απαιτήσεις.

- Όλο το σκυρόδεμα που παραδίδεται στη φόρμα θα ελεγχθεί οπτικά για την ομοιογένεια και τη συνέπεια πριν από την αποδοχή και την τοποθέτηση. Ένα ποσοστό όλων των παραδόσεων πρέπει επίσης να ελεγχθεί με τη slump-flow. Σε περίπτωση αμφιβολίας άλλες σχετικές δοκιμές μπορούν να παρέχουν τις πρόσθετες πληροφορίες για τις ιδιότητες του φρέσκου αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος
- Συστήνεται (και είναι απαίτηση σε μερικές χώρες μέλη της ΕΕ) ο παραγωγός εφαρμόζει τον έλεγχο παραγωγής εργοστασίου με βάση τις απαιτήσεις των σχετικών προτύπων ή/και του EN 13369. Ο έλεγχος παραγωγής περιλαμβάνει:
 - § επιθεώρηση εξοπλισμού
 - § επιθεώρηση υλικών

- § επιθεώρηση διαδικασίας
- § επιθεώρηση ολοκληρωμένων προϊόντων
- § κανόνες μετατροπής.
- Για την προσωρινή αποθήκευση και διαφύλαξη του νωπού σκυροδέματος χρησιμοποιούνται τα φορτηγά ανάμιξης.



Εικόνα 3.20: Κατασκευή προκατασκευασμένου στοιχείου από αυτοσυμπκνούμενο σκυρόδεμα

3.10.5 Τοποθέτηση Αυτοσυμπκνούμενου σκυροδέματος στην προκατασκευή

Είναι σημαντικό να πληρωθεί η φόρμα με τέτοιο ρυθμό που θα επιτρέψει στον αέρα να διαφύγει ώστε να εξασφαλιστεί ότι δεν υπάρχει αέρας παγιδευμένος. Η ρίψη πρέπει να είναι συνεχής διότι οποιαδήποτε άλλη αλλαγή στο ρυθμό ρίψης μπορεί να δημιουργήσει εσωτερικά κενά, τα οποία μπορεί να

έχουν επιπτώσεις στην αντοχή, τη διάρκεια και την εμφάνιση του σκυροδέματος. Εάν ένα κενό τελικά προκύψει, θα πρέπει το ύψος ρίψης να αυξηθεί κατά την επανεκκίνησή της, έτσι ώστε η επιφάνεια του πρώτου στρώματος να μαλακώσει για την αποφυγή του οποιουδήποτε κενού.

Οι αντλίες σκυροδέματος με μικρότερες οπές είναι αυτές που αυξάνουν την δύναμη με την οποία το σκυρόδεμα ρέει κατά την διάρκεια της τοποθέτησης.

3.11 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Για να αξιολογηθεί η επίδραση της αγωγής του σκυροδέματος στην ανάπτυξη των αντοχών και στην διαπερατότητά του, αναπτύχθηκε ένα εργαστηριακό πρόγραμμα δοκιμών. Τα αδρανή και το τσιμέντο από έναν τοπικό παραγωγό έτοιμου σκυροδέματος από την Ιταλία και οι αναλογίες του μίγματος για την παραγωγή ενός σκυροδέματος αντοχής 30MPa και κάθισης S5 (κάθιση>200mm), όπως περιγράφεται από το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 206-1, υιοθετήθηκαν σαν βάση για την μελέτη αυτή. Αναπτύχθηκαν οι αναλογίες του μίγματος για την παρασκευή αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος αλλά οι περιεκτικότητες σε νερό και σε τσιμέντο κρατήθηκαν οι ίδιες. Στο μίγμα χρησιμοποιήθηκε ασβεστολιθικό φίλερ, ενώ οι δοσολογίες ενός υπερρευστοποιητή προσαρμόστηκαν ώστε να προσδοθεί η απαιτούμενη τιμή εξάπλωσης, ο χρόνος V-Funnel και το ύψος U-Box. Οι αναλογίες ανάμιξης του μίγματος και οι ιδιότητες του φρέσκου σκυροδέματος βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα.

Τύπος σκυροδέματος	Ρευστό σκυρόδεμα	Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα
Τύπος τσιμέντου	CEM II 42,5	CEM II 42,5
Περιεκτικότητα σε τσιμέντο (kg/m ³)	300	300
Ασβεστολιθικό φίλερ (kg/m ³)	-	200
Άμμος 0-5mm (kg/m ³)	800	850
Χονδρόκοκκα αδρανή 5-10mm (kg/m ³)	420	395
Χονδρόκοκκα αδρανή 10-25mm (kg/m ³)	630	395
Συνολικά λεπτόκοκκα (kg/m ³)	324	525
Συνολικό νερό (l/m ³)	190	190
Λόγος νερό/τσιμέντο	0,63	0,63
Υπερρευστοποιητής κατά CE (l/m ³)	1,8	3,1
Παράγοντας αλλαγής θιξοτροπικότητας (l/m ³)	-	3,0
Συνολικό βάρος (kg/m ³)	2340	2330
	Ιδιότητες φρέσκου σκυροδέματος	
Κάθιση (mm)	210	-
Εξάπλωση (mm)	-	685
V-Funnel (sec)	-	9
U-Box (dH in mm)	-	5
Περιεκτικότητα σε αέρα (%)	2,3	2,8
Πυκνότητα (kg/m ³)	2355	2325

Πίνακας 3.6: Αναλογίες ανάμιξης του μίγματος και οι ιδιότητες του φρέσκου σκυροδέματος

Για κάθε δοκιμαστικό ανάμιγμα, παρασκευάστηκαν δύο σειρές δοκιμών. Μετά το ξεκαλούπωμα στις 24 ώρες, η μία σειρά δοκιμών συντηρήθηκε σε συνθήκες εργαστηρίου όπου η σχετική υγρασία ανερχόταν σε ποσοστό περίπου 95% και η θερμοκρασία στους $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$, ενώ η άλλη σειρά συντηρήθηκε σε σχετικά ξηρές συνθήκες όπου η σχετική υγρασία ανερχόταν σε ποσοστό περίπου 50% και η θερμοκρασία στους $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$, μέχρι την ώρα των δοκιμών. Με αυτές τις δύο συνθήκες ωρίμανσης, η προσπάθεια ήταν να εξομοιωθεί μία

σωστή και μία λανθασμένη αγωγή σκυροδέματος επί τόπου ενός εργοταξίου και να επιβεβαιωθούν οι επιπτώσεις τους στις ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος. Τα αποτελέσματα αυτής της αξιολόγησης παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα και δείχνουν το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα να ωριμάζει καλύτερα από το συμβατικό σε ξηρές συνθήκες.

Τύπος σκυροδέματος	Ρευστό	Αυτοσυμπυκνούμενο	Ρευστό	Αυτοσυμπυκνούμενο
Συνθήκες αγωγής	Σχ.Υγρασία >95%	Σχ. Υγρασία >95%	Σχ.Υγρασία 60±5%	Σχ. Υγρασία 60±5%
Θλιπτική αντοχή (MPa) σε:				
1 ημέρα	18,5	16,8	18,0	17,4
7 ημέρες	30,6	32,4	25,6	27,1
28 ημέρες	36,8	39,2	28,4	32,4
Βάθος διείσδυσης (mm) νερού μετά από αγωγή 28 ημερών	31-43	28-39	35-54	33-40

Πίνακας 3.7: Επίδραση αγωγής σε κάποιες ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος.

3.12 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα ENV 1992-1-1 και ENV 13760-1, δίνουν οδηγίες ώστε να εξασφαλίζεται ο σωστός τρόπος σκυροδέτησης σε κατασκευές όπου χρησιμοποιείται υψηλής ποιότητας σκυρόδεμα. Παρόλα αυτά όπως έχει δείξει η μέχρι τώρα εμπειρία, οι οδηγίες αυτές πολύ συχνά ακολουθούνται μερικώς ή αγνοούνται τελείως. Αυτή είναι η συνηθέστερη αιτία αποσάθρωσης των

κατασκευών από σκυρόδεμα. Αυτά τα πρότυπα ασχολούνται με θέματα που αφορούν την σωστή τοποθέτηση των οπλισμών, την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των ράβδων οπλισμού, τις ελάχιστες απαιτούμενες επικαλύψεις, τον τύπο και τον αριθμό των αποστατών και τα σημεία τοποθέτησης τους. Αυτές οι συστάσεις βρίσκονται στον οδηγό βέλτιστης πρακτικής εφαρμογής και θα πρέπει να ακολουθούνται πάντα, αν το ζητούμενο είναι η επίτευξη ενός ανθεκτικού σκυροδέματος. Από τη άλλη πλευρά όμως, η χρήση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος σε μία κατασκευή, εξασφαλίζει την απουσία δόνησης, καθώς το σκυρόδεμα ρέει και πληρώνει τους ξυλότυπους μόνο του.

Για την εξασφάλιση της επιτυχίας της εφαρμογής του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος και της πλήρους αξιοποίησης των ιδιοτήτων του πρέπει να ληφθούν υπ' όψη οι ιδιαιτερότητες του:

- Μεγαλύτερη ευαισθησία των συνθέσεων στις διακυμάνσεις των ιδιοτήτων των συστατικών (ποσοστό υγρασίας αδρανών, λεπτότητα κονιών κ.ά.). Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα δεν «συγχωρεί» λάθη.
- Πιθανότητα ύπαρξης διαφορών μεταξύ ρεολογικής συμπεριφοράς στο εργαστήριο και στο πεδίο. Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα απαιτεί μεγαλύτερη εξειδίκευση προσωπικού, το οποίο είναι υπεύθυνο για την μελέτη σύνθεσης, την παραγωγή, την μεταφορά, την άντληση, την διάστρωση και τον ποιοτικό έλεγχο των σταδίων αυτών.
- Εξασφάλιση στεγανότητας ξυλοτύπων και προσεκτική διαστασιολόγηση τους για υψηλούς ρυθμούς σκυροδέτησης. Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα απαιτεί υψηλό βαθμό συνεργίας και ποιότητας σε όλα τα στάδια της παραγωγής.
- Απαίτηση αναβάθμισης των υπαρχουσών υλικοτεχνικών υποδομών στα παρασκευαστήρια (π.χ. πρόσθετα σιλό αποθήκευσης κονιών, νέες συσκευές ελέγχου των ιδιοτήτων του νωπού αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος,

υγρόμετρα ακριβείας). Η παραγωγή ενός προηγμένου προϊόντος δεν μπορεί να γίνει με την χρήση παρωχημένης τεχνολογίας.

Ενώ μερικά από τα οφέλη που προκύπτουν από την χρήση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι:

- Μείωση του εργατικού κόστους (μικρότερος χρόνος σκυροδέτησης με λιγότερο εργατικό προσωπικό για την τοποθέτηση και τη συμπύκνωση του σκυροδέματος). Έτσι η διαδικασία παραγωγής βελτιστοποιείται.
- Μείωση στη παραγωγή θορύβου στο εργοτάξιο στα επιτρεπτά όρια που περιγράφονται στη ντιρεκτίβα του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου 86/188/ECC των 85 dB(A). Με συνέπεια του γεγονότος αυτού να προβλεφθούν οφέλη όπως :
- Βελτιωμένο και πιο ξεκούραστο εργασιακό περιβάλλον, γεγονός που αυξάνει το προσφερόμενο βαθμό ασφαλείας.
- Μείωση στην απώλεια εργατοωρών λόγω συχνών και έντονων συμπτωμάτων που εμφανίζονται στο προσωπικό που ασχολούνται με τους δονητές (τα λεγόμενα «άσπρα» χέρια, καρδιαγγειακά νοσήματα, κτλ).
- Καλύτερες «σχέσεις γειτονίας» στην περιοχή του εργοταξίου.
- Εξάλειψη των δονητών καθώς και του κόστους λειτουργίας και συντήρησής τους.
- Παρέχεται η δυνατότητα μόνωσης των ξυλοτύπων έτσι ώστε να διατηρηθεί η εκλυόμενη θερμότητα που αναπτύσσεται κατά την διάρκεια της ενυδάτωσης και να γίνει χρήση αυτής για «παθητική» αγωγή σε προκατασκευασμένα στοιχεία.
- Μείωση στην κατανάλωση καυσίμων και ενέργειας.
- Μείωση στα κόστη λειτουργίας και συντήρησης των συσκευών ατμού (στη προκατασκευή).
- Καμία επένδυση για συσκευές αγωγής με ατμό σε νέες μονάδες προκατασκευής.

- Πολύ βελτιωμένη τελική εμφάνιση του σκυροδέματος. Το σκυρόδεμα είναι ομοιογενές (δεν υπάρχει διαφοροποίηση στον χρωματισμό του λόγω διαφορετικής ή παρατεταμένης δόνησης από στοιχείο σε στοιχείο και λόγω διαφορετικής πυκνότητας οπλισμού).
- Πλήρης πλήρωση των ξυλοτύπων, γεγονός που αποκλείει τις δαπανηρές και αντιαισθητικές επισκευές μετά το ξεκαλούπωμα.
- Πολύ βελτιωμένη ανθεκτικότητα (λόγω απουσίας δόνησης οι «επιφανειακές» ιδιότητες του σκυροδέματος είναι ίδιες με αυτές του «πυρήνα» του στοιχείου, που συνήθως είναι πιο καλά συμπυκνωμένο και λιγότερο διαπερατό σε επιθετικούς παράγοντες).

3.13 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Η χρήση του Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς σε όλη την Ευρώπη από την πρώτη του εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε στη Σουηδία στα τέλη της δεκαετίας του '90. Οι πρώτες γνωστές εφαρμογές είναι οι βάσεις αγκύρωσης της γέφυρας Akashi-Kaiyo που παραδόθηκε σε κυκλοφορία το 1998, η οποία έχει άνοιγμα 1,991m, όπου η χρήση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος μείωσε τον χρόνο κατασκευής τους κατά 20% και οι δεξαμενές αποθήκευσης φυσικού αερίου σε υγρή μορφή στην Οσάκα της Ιαπωνίας, όπου το εξωτερικό περίβλημα των δεξαμενών κατασκευάστηκε με προένταση με τη χρήση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά σημαντικά έργα στην Ευρώπη όπου χρησιμοποιήθηκε αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα.

Γαλλία-Κέντρο Τέχνης της Meudon: Το Κέντρο Τέχνης της Meudon αποτελεί ένα αρχιτεκτονικό αριστούργημα και σχεδιάστηκε από τον Jacques Ripault. Αποτελείται από ένα auditorium 450 θέσεων, μία υπερυψωμένη σκηνή σε ύψος

15 μέτρων, από το φουαγιέ της κυρίως εισόδου και από αίθουσες γραφείων. Το auditorium έχει κατασκευαστεί από δύο κυκλικά τοιχία σκυροδέματος ύψους 15 μέτρων. Το εσωτερικό τοιχίο έχει ακτίνα 10,7m και πάχος 30cm. Ο χώρος μεταξύ των δύο τοιχίων χρησιμοποιείται σαν διάδρομος πρόσβασης του κοινού. Τα τοιχία σκυροδετήθηκαν σε τμήματα μήκους 20m και ύψους 8,10m .

Σουηδία: Η Σουηδία έχει αποτελέσει πρωτοπόρο στην ανάπτυξη και στην χρήση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος στην Ευρώπη. Πολλές φορές έργα, κυρίως οδικά, έχουν κατασκευαστεί με την χρήση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος και η εφαρμογή του στην κατασκευή προκατασκευασμένων τομέων επένδυσης σηράγγων παρουσιάζεται εδώ. Η σήραγγα βρίσκεται στην περιοχή Grind κατά μήκος του αυτοκινητόδρομου Ε6, 4km βόρεια της πόλης Udevalla, στη δυτική ακτή της Σουηδίας. Αποτελείται από δύο παράλληλες σήραγγες μήκους 160m. Η αρχική υποστηρικτική στρώση κατασκευάστηκε από ινοπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ ακολούθησε στεγανοποίηση με μεμβράνη PVC και τελική επένδυση με προκατασκευασμένα στοιχεία από αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα. Η ευρεία χρήση αλατιού στους παγωμένους δρόμους της Σουηδίας, είχε σαν αποτέλεσμα οι απαιτήσεις του σκυροδέματος για αντοχή σε κύκλους ψύξης / απόψυξης αλλά και η ανθεκτικότητά του σε επιθετικούς παράγοντες να είναι αυξημένες.

Τσιμέντο (Cementa Anlagging)	400 kg
Ασβεστολιθικό φίλερ (Dmax=0,5mm)	160kg
Φυσικά αδρανή 0-8mm	730 kg
Θραυστά αδρανή 8-16mm	850 kg
Υπερρυστοποιητής κατά CE (1%κ.β. τσιμέντου)	4 kg
Αερακτικό πρόσμικτο	0.4 kg
Λόγος N/T	0.4
Εξάπλωση	670-750 mm
Περιεκτικότητα σε αέρα	Περίπου 5%

Πίνακας 3.8: Σύνθεση σκυροδέματος για την κατασκευή προκατασκευασμένων τομέων επένδυσης σηράγγων στην Σουηδία

Ισπανία: Στη Βόρεια Ισπανία κατασκευάζεται ο νέος αυτοκινητόδρομος “Autovia de la Meseta”, που συνδέει τις περιοχές της Castilla Leon και της Cantabria. Η κατασκευή του ξεκίνησε το 2003 και ολοκληρώθηκε το 2006. Στο τελευταίο τμήμα του αυτοκινητοδρόμου κατασκευάστηκε η σπονδυλωτή γέφυρα του Santiurde σε υψόμετρο 800m. Στο υψόμετρο που κατασκευάστηκε η γέφυρα, οι αναμενόμενες θερμοκρασίες είναι μεταξύ -15°C έως $+30^{\circ}\text{C}$. Έτσι το σκυρόδεμα έπρεπε να πληρεί επιπλέον απαιτήσεις αντίστασης σε παγετό και σε κύκλους πήξης τήξης. Η ζητούμενη κατηγορία σκυροδέματος ήταν C40/50.

Η κατασκευή των σπονδύλων έγινε με ΑΣΣ, που παραγόταν στο εργοτάξιο. Η επιλογή του ΑΣΣ έγινε αφ’ ενός λόγω του μεγέθους των στοιχείων και των πυκνών οπλισμών, προκειμένου να εξασφαλιστεί η σωστή σκυροδέτηση και συμπύκνωση, αλλά και να καλυφθούν οι απαιτήσεις για ανθεκτικότητα. Αφ’ ετέρου, η χρήση του ΑΣΣ στη συγκεκριμένη εφαρμογή κρίθηκε από τον εργολάβο και οικονομικά συμφέρουσα, λόγω της αυξημένης ταχύτητας σκυροδέτησης και των λιγότερων απαιτούμενων εργατοωρών.



Εικόνα 3.21: Αυτοκινητόδρομος “Autovía de la Meseta”

Μεγάλη Βρετανία: Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα εφαρμόστηκε στη επισκευή μιας προβλήτας φόρτωσης πετρελαίου του οργανισμού Βρετανικών Λιμένων. Η επισκευή πραγματοποιήθηκε στο άκρο της προβλήτας όπου η πρόσβαση για την σκυροδέτηση με συμβατικούς τρόπους ήταν αδύνατη λόγω του πυκνού οπλισμού και του ύψους του στοιχείου. Οι σιδερένιοι πάσσαλοι μήκους 1,5m που στήριζαν την κατασκευή ήταν μέσα στο νερό, πράγμα που αποτελούσε ένα ακόμα πρόβλημα. Με την χρήση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος ξεπεράστηκαν όλα τα προηγούμενα προβλήματα, καθώς όταν αυτό έπεφτε στους ξυλοτύπους έρεε ελεύθερα πληρώνοντάς τους πλήρως και διαπερνούσε το 1,5 μέτρο ύψους των πασσάλων, παραμερίζοντας το νερό, χωρίς να ξεπλένεται και να διαχωρίζεται. Η σκυροδέτηση συνολικού όγκου 250m^3 ολοκληρώθηκε σε μόλις 6 ώρες.

Ολλανδία: Η χρήση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος αυξάνεται ταχύτατα στην Ολλανδία κυρίως στη βιομηχανία προκατασκευής. Παράγονται δομικά στοιχεία και αρχιτεκτονικά προκατασκευασμένα στοιχεία διαφόρων χρωμάτων και φινιρισμάτων. Παρακάτω παρουσιάζεται τυπική σύνθεση για μια εφαρμογή σε προκατασκευασμένα στοιχεία στην Ολλανδία και ένα προκατασκευασμένο στοιχείο.

Τσιμέντο I 52.5	370kg
Άμμος 0-4mm	750kg
Χονδρόκοκκα αδρανή 4-6mm	840kg
Ασβεστολιθικό φίλερ	200kg
Συνολικά Λεπτόκοκκα	570kg
Υπερρευστοποιητής κατά CE	2.5kg
Νερό	170kg
Λόγος N/Τα	0.46
Εξάπλωση	750mm
Χρόνος V-Funnel	7-9 sec

Πίνακας 3.9: Τυπική σύνθεση για εφαρμογή προκατασκευασμένων στοιχείων στην Ολλανδία

3.14 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

Για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, η σύγκριση κόστους μεταξύ συμβατικού και αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος πρέπει να γίνεται βάσει ολιστικής οικονομοτεχνικής θεώρησης και όχι ως απλή και αόριστη αναφορά μιας τιμής. Συγκεκριμένα η χρήση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος επιφέρει αύξηση του συνολικού κόστους του υλικού (πρώτες ύλες και παραγωγή), που συνήθως είναι 10% έως 50% ακριβότερο του συμβατικού. Επίσης, το κόστος των ξυλοτύπων ενδέχεται να είναι μεγαλύτερο όταν χρησιμοποιούμε αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, αν και η φθορά των καλουπιών είναι πολύ

μικρότερη σε σύγκριση με εκείνη η οποία οφείλεται στη χρήση συμβατικού σκυροδέματος. Σε αντίθεση, το κόστος των εργατικών για άντληση και διάστρωση και οι δαπάνες επισκευών μετά την αφαίρεση των ξυλοτύπων είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με τη χρήση κοινού σκυροδέματος.

Γενικά, το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα είναι κατά 10-20% ακριβότερο από το κοινό σκυρόδεμα, όμως πρέπει να συνεκτιμηθούν η πολύ μεγάλη ανθεκτικότητα που προσφέρει το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα καθώς και όλα τα πλεονεκτήματα που πηγάζουν από την χρήση του.

3.15 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Το ΑΣΣ αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες σύγχρονες πρωτοτυπίες στον τομέα των κατασκευών παγκοσμίως με μεγάλες προοπτικές εξέλιξης στον ελληνικό χώρο. Τα πλεονεκτήματα του νέου υλικού είναι σημαντικά, όσον αφορά στην αύξηση των αντοχών και της ανθεκτικότητας, στη βελτίωση της συνάφειας με τον χάλυβα και της εν γένει ποιότητας της κατασκευής. Το νέο υλικό απαιτεί παράλληλα ιδιαίτερη προσοχή για την επίτευξη της ευρωστίας του μίγματος, μέσω του σωστού προσδιορισμού των συστατικών του, τον έλεγχο της περιεχόμενης υγρασίας των αδρανών και την επιλογή της επιθυμητής επιτελεστικότητας. Το ΑΣΣ παρουσιάζει μικρότερη ανοχή σε διακυμάνσεις της παραγωγής του σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα και επομένως η επιτυχής παραγωγή του προϋποθέτει μονάδες παρασκευής με άρτιο εξοπλισμό, συνεπή χειρισμό οργάνων και ελεγχόμενα υλικά.

4. ΚΥΛΙΝΔΡΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ



4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το ισχύο κυλινδρούμενο σκυρόδεμα ή Roller Compacted Concrete (RCC) είναι ένα σχετικά νέο υλικό στην υπηρεσία του Γεωτεχνικού Μηχανικού με σημαντική αντοχή και υψηλή αντίσταση σε διάβρωση σε σχέση με συμπυκνωμένα εδαφικά υλικά. Οι εφαρμογές του σήμερα περιορίζονται στην κατασκευή φραγμάτων καθώς και στην κατασκευή στρώσης οδοστρώματος.

4.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Η τεχνολογία του ισχύο κυλινδρούμενου σκυροδέματος RCC ή «Σκληρού Επιχώματος», όπως συνήθως αποκαλείται, παρουσίασε αλματώδη εξέλιξη τα τελευταία είκοσιπέντε χρόνια για την κατασκευή φραγμάτων και έχει γίνει ευρύτατα αποδεκτή σαν μια εναλλακτική μέθοδος αντί της κατασκευής

λιθόρριπτων φραγμάτων ή φραγμάτων από σκυρόδεμα. Αυτό οφείλεται στην ταχύτητα κατασκευής των φραγμάτων RCC σε σχέση με τα λιθόρριπτα φράγματα και τα φράγματα από σκυρόδεμα και στις μειωμένες ποσότητες των απαιτούμενων υλικών κατασκευής σε σύγκριση με τα λιθόρριπτα και τα χωμάτινα φράγματα.

Το RCC είναι ένα υλικό με σημαντική συνοχή και υψηλή αντίσταση σε διάβρωση σε σχέση με συμπακνωμένα εδαφικά υλικά. Ο συνδυασμός της συμπύκνωσης και της σύνδεσης των αδρανών λόγω της παρουσίας του τσιμέντου έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός νέου υλικού το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον Γεωτεχνικό Μηχανικό σε ένα πλήθος εφαρμογών όπως, παραδείγματος χάριν, για την κατασκευή φραγμάτων, την ενίσχυση και επισκευή υπαρχόντων φραγμάτων, την κατασκευή έργων εκτροπής κλπ.

Χαρακτηριστικό της επιτυχούς εξέλιξης της τεχνολογίας του RCC είναι το γεγονός ότι ενώ μέχρι το 1985 είχαν κατασκευαστεί μόνο επτά φράγματα, μέχρι το 2008 είχε ολοκληρωθεί ή ήταν υπό κατασκευήν 397 μικρά και μεγάλα φράγματα σε όλο τον κόσμο.

Το ισχνό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα ή αλλιώς «σκληρό επίχωμα» αποτελεί ουσιαστικά το σώμα στήριξης του φράγματος, απαραίτητο για την διασφάλιση της ευστάθειας της κατασκευής (έναντι ολίσθησης, ανατροπής κτλ).

Το ισχνό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα, πρόκειται για σκυρόδεμα με μικρή περιεκτικότητα τσιμέντου και νερού. Με την μικρή αναλογία τσιμέντου στο μείγμα επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας ενυδάτωσης, προς αποφυγή ρηγμάτωσης, ενώ με την ελαχιστοποίηση του νερού η επίτευξη συνθηκών βέλτιστης υγρασίας για ικανοποιητική συμπύκνωση του μείγματος με κοινά συμπακνωτικά μηχανήματα (οδοστρωτήρες) ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται ικανοποιητική αντοχή.

Ήδη έχουν κατασκευαστεί με επιτυχία περισσότερα από 35 μικρά και μεγάλα φράγματα από ισχνό RCC με συμμετρική διατομή σε διάφορες χώρες. Στον Πίνακα 1 αναφέρονται ενδεικτικά μερικά φράγματα το ύψος των οποίων υπερβαίνει τα 100m.

Στη χώρα μας έχουν κατασκευαστεί τα φράγματα Μαραθιάς, Άνω Μεράς και Σερίφου, ενώ είναι υπό κατασκευή τα φράγματα Κόρης Γεφύρι στην Χίο, Ληθαίου στην Καλαμπάκα και Βαλσαμιώτη στην Κρήτη.

Περιεκτικότητα σε:				
Χώρα	Φράγμα	Ύψος (m)	Τσιμέντο (Kg/m ³)	Ιπτάμενη Τέφρα (Kg/m ³)
Βραζιλία	Irapé	206	90	0
Βραζιλία	Barra Grande	195	90	0
Βραζιλία	São Simão	120	97	0
Αγ. Δομίνικος	Monción	119	80	0
Τουρκία	Cindere	107	50	20
Τουρκία	Oyuk	100	50	30
Κολομβία	Miel I Dam	189	50	0
Μεξικό	Rompericos Dam	107	73	54

Πίνακας 4.1. Φράγματα από ισχνό RCC με ύψος μεγαλύτερο των 100m.



Εικόνα 4.1. Φράγμα Barra Grande στην Βραζιλία



Εικόνα 4.2. Φράγμα Cindere στην Τουρκία



Εικόνα 4.3. Φράγμα Miel I Dam στην Κολομβία



Εικόνα 4.4. Φράγμα Rompericos Dam στο Μεξικό.

4.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΩΝ

§ Αδρανή

Τα αδρανή για την κατασκευή του σκληρού επιχώματος είναι είτε αμμοχάλικα ποταμού (αλλουβιακές αποθέσεις σε φυσικές κοίτες) ή βραχώδη προϊόντα λατομείου.

Η διαβάθμιση των αδρανών υλικών θα είναι ομαλή και θα περιλαμβάνεται στη ζώνη που ορίζεται στον ακόλουθο πίνακα 1.

Κόσκινα διαμέτρου (ISO 565)	60 mm	25,4 mm	No 4	No 40	No 200
Ποσοστό διερχόμενο [%]	100	65-85	30-55	12-27	8-16

Πίνακας 4.2: όρια διαβάθμισης αδρανών υλικών

Θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι τα αδρανή υλικά δεν αντιδρούν με τα αλκαλικά στοιχεία του τσιμέντου. Όταν δεν υπάρχει επαρκής εμπειρία όσον αφορά στη συμπεριφορά των αδρανών κατά την ανάμειξη τους με το τσιμέντο, θα ελέγχονται ως προς την αλκαλοπυριτική αντίδραση, σύμφωνα με το πρότυπο CR 1901:1995 “Regional Specifications and Recommendations for the avoidance of damaging alkali silica reactions in concrete – Περιφερειακές προδιαγραφές και συστάσεις για την αποφυγή βλαπτικών αλκαλοπυριτικών αντιδράσεων στο σκυρόδεμα.

Γενικώς το υλικό θεωρείται ότι αντιδρά όταν:

$$S_c > R_c, \text{ όταν } R_c \geq 70$$

$$S_c > 35 + 0,5 R_c, \text{ όταν } R_c < 70$$

Όπου:

Sc: dissolved silica: περιεκτικότητα σε ενεργό διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2)

Rc: reduction of alkalinity: απορρόφηση αλκαλίων σκυροδέματος από το SiO_2 των αδρανών.

Ο δείκτης πλαστικότητας, προσδιοριζόμενος σύμφωνα με την προδιαγραφή E 105-86/6 (ΥΠΕΧΩΔΕ), πρέπει να είναι $PI \leq 15\%$ και αντίστοιχα το όριο υδαρότητας $LL \leq 35\%$. Αν το υλικό δεν πληρεί αυτές τις απαιτήσεις, θα πρέπει να προηγηθεί επεξεργασία με υδράσβεστο ή ακατέργαστη ιπτάμενη τέφρα. Η απαιτούμενη ποσότητα της υδρασβέστου ή της ιπτάμενης τέφρας θα καθορίζεται με εργαστηριακές δοκιμές.

Τα αδρανή θα είναι των ακόλουθων κατηγοριών σύμφωνα με το Πρότυπο EN 12522:2002 «Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction – αδρανή υλικών σταθεροποιημένων με υδραυλικές κονίες ή με σταθεροποιημένων για χρήση στα τεχνικά έργα και την οδοποιία».

FL35: Δείκτης πλακοειδούς

LA40: Αντοχή σε απότριψη κατά Los Angeles κλάσματος 10/14, έως 40%

WA₂₄2: Απορρόφηση νερού μετά από εμβάπτιση 244, ίση προς 2%

MS18: Δοκιμή υγείας πετρώματος με την μέθοδο θειικού μαγνησίου δείκτης 18

Τα αδρανή υλικά θα αποθηκεύονται χωρισμένα σε τρία μεγέθη διαβάθμισης, ζυγιζόμενα χωριστά κατά την εισαγωγή τους στον αναμκτήρα.

§ Τσιμέντο

Το τσιμέντο θα είναι του τύπου Πόρτλαντ CEM IV/B ή CEM II/B κατηγορίας αντοχής 32,5 N σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πρότυπου EN 197-1:2000 “Cement – Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements – Τσιμέντο. Μέρος 1: Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για τα κοινά τσιμέντα”. Η θερμότητα ενυδάτωσης του τσιμέντου (μετρούμενη κατά ASTM) θα είναι μικρότερη των 65kcal/kg σε 28 ημέρες. Η αναλογία του τσιμέντου στο μίγμα θα είναι η ελάχιστη δυνατή (συνήθως μεταξύ 50 και 75kg/m³) για την οποία θα επιτυγχάνεται η απαιτούμενη αντοχή του ισχνού κυλινδρούμενου σκυροδέματος.

Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί επίσης «υδραυλική κονία για έργα οδοποιίας που πληρεί τις απαιτήσεις του Πρότυπου ENV 13282:2000 “Hydraulic road binders – Composition, specifications and conformity criteria – Υδραυλικές κονίες οδοποιίας – Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης”, εφόσον προβλέπεται από την Μελέτη του φράγματος και πληρούνται οι απαιτήσεις αυτής της προδιαγραφής, και ιδιαίτερα ως προς την ελκυσόμενη θερμότητα, την αντοχή και την ανθεκτικότητα στο χρόνο και στις περιβαλλοντικές επιδράσεις του προτεινόμενου μίγματος.

§ Ιπτάμενη τέφρα

Είναι δυνατόν, μετά από κατάλληλη εργαστηριακή μελέτη, να χρησιμοποιηθεί στο μείγμα Ιπτάμενη Τέφρα που ικανοποιεί τις απαιτήσεις της προδιαγραφής «Σχέδιο Εθνικής Προδιαγραφής για την αξιοποίηση Τέφρας Υψηλής Περιεκτικότητας σε ασβέστιο» ΤΕΕ/Δυτικής Ελλάδος Μακεδονίας ως πρόσμικτο σκυροδέματος ή σε αντικατάσταση μέρους του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου. Στην εργαστηριακή αυτή μελέτη θα πρέπει να αποδεικνύεται η ικανοποίηση όλων των απαιτήσεων αυτής της προδιαγραφής και ιδιαίτερα ως προς την ελκυσόμενη θερμότητα, την αντοχή και την ανθεκτικότητα στο χρόνο

και στις περιβαλλοντικές επιδράσεις του προτεινομένου μίγματος που περιέχει τσιμέντο και Ιπτάμενη Τέφρα.

§ Νερό

Το νερό που θα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Προτύπου EN 1008:2002 “Mixing water of concrete – Specifications of sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water of concrete – Νερό ανάμιξης σκυροδέματος – Προδιαγραφή για δειγματοληψία, έλεγχο και αξιολόγηση της καταλληλότητας του νερού”. Το νερό στο μίγμα προσδιορίζεται μετά από εργαστηριακή μελέτη και επιβεβαιώνεται με την κατασκευή του δοκιμαστικού τμήματος.

§ Πρόσθετα σκυροδέματος

Τα πρόσθετα θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις του Προτύπου EN 934-2:2001 “Admixtures for concrete, mortar and grout – Part 2: Concrete admixtures – Definitions, requirements, conformity, marking and labelling – Πρόσθετα σκυροδέματος, κονιαμάτων και ενεμάτων – Μέρος 2: Πρόσθετα σκυροδέματος – ορισμοί απαιτήσεις, συμμόρφωση, σήμανση και επισήμανση. Για την χρήση πρόσθετων απαιτείται εργαστηριακή μελέτη και έγκριση αυτής από την υπηρεσία. Η χρήση πρόσθετων για την βελτίωση των ιδιοτήτων του νωπού σκυροδέματος πιθανόν να αποδειχθεί ότι είναι αναγκαία ιδίως για να επιμηκυνθεί ο διαθέσιμος χρόνος για την συμπύκνωση του μίγματος σε περιόδους υψηλών θερμοκρασιών.

4.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

4.4.1 Εργαστηριακή μελέτη σύνθεσης κυλινδρούμενου σκυροδέματος

Η εργαστηριακή μελέτη σύνθεσης κυλινδρούμενου σκυροδέματος θα περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Επιλογή της καταλληλότερης διαβάθμισης αδρανών, καθορισμό της βέλτιστης ποσότητας υδραυλικών κονιών, νερού και ενδεχομένως χημικών πρόσμικτων, ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις της προδιαγραφής αυτής.
- Δοκιμές συμπίκνωσης για τον προσδιορισμό της βέλτιστης ποσότητας νερού στο μίγμα η οποία θα εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή πυκνότητα μείγματος (πυκνότητα αναφοράς) και την απαιτούμενη αντοχή. Αν δεν προβλέπεται από την μελέτη, η δοκιμή συμπίκνωσης θα εκτελείται με δονητική σφύρα σύμφωνα με το πρότυπο EN 13286-4:2003 “Unbound and hydraulically bound mixtures – Part 4: Test methods for laboratory reference density and water content – Vibrating hammer – Μίγματα μη σταθεροποιημένα και σταθεροποιημένα με υδραυλικές κονίες – Μέρος 4: Μέθοδοι προσδιορισμού εργαστηριακής πυκνότητας αναφοράς και περιεκτικότητας σε νερό, με χρήση δονητικής σφύρας. Εάν υπάρχει κίνδυνος σημαντικής μεταβολής των διαστάσεων των κόκκων λόγω θραύσεως κατά τη διάρκεια των δοκιμών συμπίκνωσης με την δονητική σφύρα, η υπηρεσία μπορεί να επιτρέψει την χρήση της συσκευής *vebe*, ή δονητικής τράπεζας με κατάλληλο πρόσθετο βάρος στην επιφάνεια του δοκιμίου, ή άλλης κατάλληλης διάταξης για την συμπίκνωση των δοκιμίων. Θα προσδιορίζεται η βέλτιστη υγρασία για συμπίκνωση και η πυκνότητα αναφοράς με βάση την οποία θα γίνεται ο έλεγχος συμπτύκνωσης. Επίσης, αν δεν προβλέπεται από την μελέτη, θα προσδιορίζεται και ο διαθέσιμος χρόνος για συμπίκνωση σύμφωνα με το πρότυπο EN 13286-45:2003 “Unbound and hydraulically bound mixtures – Part 45: Test method for the determination of the workability period of

hydraulically bound mixtures – μείγματα μη σταθεροποιημένα και σταθεροποιημένα με υδραυλικές κονίες – Μέρος 45: Μέθοδος δοκιμής για τον προσδιορισμό της περιόδου εργασιμότητας σταθεροποιημένων με υδραυλικές κονίες μιγμάτων”. Προσδιορισμός της περιόδου εργασιμότητας κατεργασμένων με τσιμέντο υλικών.

- Προσδιορισμός της απαιτούμενης ποσότητας υδραυλικών κονιών έτσι ώστε το μίγμα να επιτυγχάνει τη απαιτούμενη από την μελέτη αντοχή και ανθεκτικότητα στις περιβαλλοντικές επιδράσεις. Επίσης η αναπτυσσόμενη, λόγω θερμότητας ενυδάτωσης, θερμοκρασία στο εσωτερικό των στρώσεων, σε συνδυασμό με το πρόγραμμα διάστρωσης που θα ακολουθείται, θα πρέπει να ικανοποιεί τα προβλεπόμενα από την μελέτη του φράγματος.

Αν δεν προβλέπεται διαφορετικά στην μελέτη του φράγματος, ως απαιτούμενη αντοχή θα θεωρείται η χαρακτηριστική αντοχή με ποσοστημόριο 10%, ήτοι η αντοχή εκείνη η οποία έχει πιθανότητα εμφανίσεως τουλάχιστον 90%. Η απαιτούμενη αντοχή θα είναι ίση με 4MPa σε ηλικία 90 ημερών, εκτός αν στην μελέτη του φράγματος προβλέπεται διαφορετική ηλικία ή διαφορετική τιμή. Κατά την εργαστηριακή μελέτη σύνθεσης θα καθοριστεί η ποσότητα τσιμέντου ή τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας ή υδραυλικής κονίας οδοστρωμάτων που εξασφαλίζει πιθανότητα αποδοχής του μίγματος τουλάχιστον 90% όταν αυτό ελέγχεται με τα κριτήρια συμμόρφωσης του ΚΤΣ, υποθέτοντας Συντελεστή Μεταβλητότητας (ΣΜ) των αντοχών επί τόπου 20%. Για τον σκοπό αυτό η μέση αντοχή του μίγματος f_m θα πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση :

$$f_m \geq 1.52f_{ck} = 6\text{MPa}$$

τα δοκίμια θα παρασκευάζονται με την βέλτιστη υγρασία που προσδιορίστηκε στο βήμα α και θα συμπυκνώνονται με δονητική σφύρα σύμφωνα με το πρότυπο prEN 13286-51.

- 4 Το μίγμα με τα ποσοστά υδραυλικών κονιών και νερού που προσδιορίστηκαν στα παραπάνω βήματα (β, γ) θα υποβάλλεται στις δοκιμές ανθεκτικότητας που προβλέπει η μελέτη του φράγματος. Εφόσον οι έλεγχοι αυτοί ικανοποιούνται, η σύνθεση του μίγματος οριστικοποιείται. Σε διαφορετική περίπτωση μεταβάλλονται τα ποσοστά των υδραυλικών κονιών και επαναλαμβάνονται οι έλεγχοι μέχρι να προκύψουν τα ικανοποιητικά αποτελέσματα.
- 5 Αν δεν προδιαγράφεται διαφορετικά στην μελέτη του φράγματος, στο τελικώς επιλεγέν μίγμα θα γίνονται μετρήσεις θερμοκρασίας ενυδάτωσης υπό αδιαβατικές ή σχεδόν αδιαβατικές συνθήκες.

4.4.2 Δοκιμαστικό τμήμα

Πριν από την έναρξη κατασκευής του ισχνού κυλινδρούμενου σκυροδέματος πρέπει να κατασκευαστεί «Δοκιμαστικό Τμήμα», με μέριμνα του αναδόχου και κατά τις οδηγίες της υπηρεσίας. Στο δοκιμαστικό τμήμα θα εφαρμοστεί η μεθοδολογία και θα χρησιμοποιηθεί ο μηχανικός εξοπλισμός και το προσωπικό του αναδόχου, που προβλέπονται για την κατασκευή του κυρίως έργου, με σκοπό τον έλεγχο της δυνατότητας παραγωγής έργου σύμφωνα με τις απαιτήσεις αυτές της ΠΕΤΕΠ. Το δοκιμαστικό τμήμα θα κατασκευάζεται σε θέση, που θα επιλέγεται από τον ανάδοχο μετά από συνεννόηση και έγκριση από την υπηρεσία, θα παρέχεται η δυνατότητα ενσωμάτωσης του δοκιμαστικού τμήματος στο κύριο έργο, υπό την προϋπόθεση ότι οι έλεγχοι θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις της παρούσας. Το μέγεθος που πρέπει να αντιστοιχεί σε ποσότητα τουλάχιστον 1 m³ υλικού. Η κατασκευή θα γίνεται σε στρώσεις πάχους 25 και 30 cm ή όπως προβλέπεται από την μελέτη και θα εκτελεστούν οι ακόλουθοι έλεγχοι:

- Δέκα (10) τουλάχιστον προσδιορισμοί της κοκκομετρικής διαβάθμισης. Θα γίνεται σύγκριση με τη διαβάθμιση της μελέτης σύνθεσης και οι διαφορές θα πρέπει να ικανοποιούν τα κριτήρια της παραγράφου 4.3.
- Δεκαπέντε (15) τουλάχιστον προσδιορισμοί της περιεχόμενης υγρασίας με δείγματα που λαμβάνονται επί τόπου από την έτοιμη για συμπύκνωση στρώση. Οι διαφορές από την βέλτιστη υγρασία πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της παραγράφου 4.3.
- Δεκαπέντε (15) τουλάχιστον προσδιορισμοί της ξηράς πυκνότητας της συμπυκνωμένης στρώσης με τη μέθοδο E106-86 του ΥΠΕΧΩΔΕ. Οι έλεγχοι αυτοί πρέπει να πραγματοποιούνται μέσα σε διάστημα έξι (6) ωρών από την περάτωση της συμπύκνωσης. Ταυτόχρονα εκτελούνται και ισάριθμοι έλεγχοι πάχους συμπυκνωμένης στρώσης.
- Βαθμονόμηση των πυρηνικών οργάνων προσδιορισμού της υγρασίας και της πυκνότητας επί τόπου στο δοκιμαστικό τμήμα.
- Έλεγχοι της επιτυγχανόμενης αντοχής μίγματος με δοκίμια συμπυκνούμενα με δονητική ηλεκτρόσφουρα σύμφωνα με το πρότυπο prEN13286-51.
- Έλεγχοι της ομαλότητας της επιφάνειας.
- Προσδιορισμός του απαιτούμενου αριθμού των διελεύσεων των συμπυκνωτικών μέσων για να επιτευχθεί ο απαιτούμενος βαθμός συμπυκνώσεως.
- Αποκοπή 10 πυρήνων σε όλο το βάθος της συμπυκνωμένης στρώσης με ειδικό πυρηνολήπτη και προσδιορισμός :
 - § του πάχους της στρώσης
 - § της πυκνότητας της στρώσης και της μεταβολής αυτής με το πάχος της στρώσεως (με αποτίμηση του πυρήνα σε τρία τουλάχιστον τμήματα και προσδιορισμό της πυκνότητας εκάστου τμήματος).

Σημειώνεται ότι σε περίπτωση που η αποκοπή πυρήνων αποδειχθεί πολύ δύσκολη ή αδύνατη, η Υπηρεσία μπορεί να απαλλάξει τον ανάδοχο από τον έλεγχο αυτόν και να τον αντικαταστήσει με έλεγχο με πυρηνικές μεθόδους σε διάφορα πάχη στρώσεων.

Εφόσον οι παραπάνω έλεγχοι ικανοποιούν τις απαιτήσεις της Προδιαγραφής αυτής, το δοκιμαστικό επίχωμα από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα, μετά από σύμφωνη γνώμη της υπηρεσίας, μπορεί να ενταχθεί στο μόνιμο έργο.

4.4.3 Ανάμιξη

Η παρασκευή του μίγματος θα γίνεται σε εγκεκριμένου τύπου κεντρική εγκατάσταση ανάμιξης, συνεχούς ή κατά παρτίδες (τμηματικής) παραγωγής. Η εγκατάσταση πρέπει να έχει ωριαία απόδοση τουλάχιστον 1,5 φορά μεγαλύτερη της μέγιστης προβλεπόμενης να διαστρωθεί ανά ώρα ποσότητας ισχνού σκυροδέματος.

Ο εξοπλισμός ανάμιξης θα είναι κατάλληλος για ύφυγρα σκυροδέματα με πολύ μικρή ποσότητα νερού ($120 - 140 \text{ lt/m}^3$) και τσιμέντου. Θα γίνεται αποδεκτή η προσκόλληση του μίγματος στις εσωτερικές επιφάνειες του αναμικτήρα ή οι δυσχέρειες στην εκφόρτωση του αναμίγματος.

Οι αναλογίες του μίγματος (χάλικες, άμμος, παιπάλη, τσιμέντο ή άλλες υδραυλικές κονίες, νερό και ενδεχομένως πρόσθετα) θα μετρούνται κατά βάρος, με ακρίβεια $\pm 2\%$.

Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή και κατάλληλο σύστημα για την συνεχή ή συχνή μέτρηση της περιεχόμενης στα αδρανή υγρασίας, έτσι ώστε να είναι δυνατή η αναπροσαρμογή της ποσότητας του νερού ανάμιξης, λαμβανομένων υπόψη και των εκάστοτε ατμοσφαιρικών συνθηκών (θερμοκρασία, άνεμος κτλ). Υπό κανονικές συνθήκες δεν επιτρέπεται να προστεθεί νερό στο μίγμα κατά την διάστρωση και συμπύκνωση.

Ο χρόνος ανάμιξης θα συμφωνεί με τις οδηγίες του κατασκευαστή του εξοπλισμού και πρέπει να είναι επαρκής για την παραγωγή τελείως ομοιογενούς μίγματος. Ο χρόνος θα καθορίζεται ακριβέστερα και θα ελέγχεται με δοκιμές κατά την κατασκευή του δοκιμαστικού τμήματος.

Για την παρασκευή τμηματικού σκυροδέματος θα χρησιμοποιούνται ιδιαίτερες εγκαταστάσεις ανάμιξης.

4.4.4 Μεταφορά και διάστρωση

Το σύστημα μεταφοράς και διάστρωσης θα διασφαλίζει τα ακόλουθα:

- Αποφυγή καθυστερήσεων στην έναρξη της συμπύκνωσης, απόμιξης του σκυροδέματος και υπερβολικής εξάτμισης του περιεχόμενου νερού.
- Ολοκλήρωση διάστρωσης και συμπύκνωσης του μίγματος πριν από την απώλεια της εργασιμότητας / συμπυκνωσιμότητας αυτού λόγω σκλήρυνσης.
- Αποτροπή ρύπανσης από χώμα και λάσπες που μεταφέρονται από τους τροχούς των αυτοκινήτων ή ενδεχομένως, από διαρροή λαδιών ή πετρελαίου των μηχανημάτων κτλ.
- Επίτευξη του απαιτούμενου ρυθμού εκτέλεσης των εργασιών.
- Αντιμετώπιση δυσμενών καιρικών συνθηκών (απότομη βροχή, αυξημένη εξάτμιση λόγω υψηλής θερμοκρασίας και ανέμου, κτλ.).
- Αποτροπή της διατάραξης διαστρωθέντος μίγματος από κίνηση οχημάτων.

Η μέγιστη διάρκεια μεταφοράς του μίγματος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 15 min για θερμοκρασία αέρα μεγαλύτερη από 20°C. Είναι προτιμότερη η χρησιμοποίηση κατάλληλου συστήματος μεταφορικών ιμάντων αντί οχημάτων μεταφοράς. Στην περιοχή του φράγματος το νωπό μείγμα θα παραλαμβάνεται

από κατάλληλα οχήματα τοπικής μεταφοράς και μηχανήματα διάστρωσης, όπως απαιτείται.

Τα μηχανήματα διάστρωσης θα είναι ερπυστριοφόροι προωθητές και κατάλληλοι διαμορφωτές, εγκεκριμένου τύπου. Η διάστρωση θα γίνεται κατά οριζόντιες ή ελαφρώς κεκλιμένες στρώσεις, συμπυκνωμένου πάχους 30cm, εκτός αν, για ειδικούς λόγους, καθοριστεί διαφορετικά για την υπηρεσία, και κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η ομοιογένεια του υλικού, η ακρίβεια του πάχους της στρώσης, με μέγιστη ανοχή $\pm 5\text{cm}$, και η ταχεία αποπεράτωση της εργασίας διάστρωσης. Η διάστρωση θα πρέπει να έχει περατωθεί μέσα σε χρόνο το πολύ 15min από την προσκόμιση του μίγματος.

Τα μηχανήματα διάστρωσης δεν πρέπει να κυκλοφορούν στην επιφάνεια του συμπυκνωθέντος σκυροδέματος πριν από την επαρκή σκλήρυνσή του, για να μην δημιουργήσουν διαταραχές και βλάβες. Η διάστρωση και η συμπύκνωση θα γίνεται κατά λωρίδες, των οποίων η διάταξη και οι διαστάσεις θα εγκρίνονται από την υπηρεσία. Η συμπύκνωση δύο παράπλευρων λωρίδων που διαστρώνονται διαδοχικά πρέπει να ολοκληρώνεται πριν παρέλθει το χρονικό διάστημα εργασιμότητας/συμπυκνωσιμότητας της στρώσης που διαστρώθηκε πρώτα, έτσι ώστε ο μεταξύ των δύο στρώσεων αρμός θα συμπυκνωθεί πλήρως όταν το υλικό είναι σε κατάσταση που επιτυγχάνεται πλήρης συνάφεια μεταξύ των δύο παρειών του. Σε περιπτώσεις θερμού καιρού ενδεχομένως θα απαιτηθεί η χρήση επιβραδυντικού προσθέτου για να επιμηκυνθεί ο διαθέσιμος χρόνος. Εάν στην μελέτη του φράγματος δεν προβλέπεται διαφορετικά, ο χρόνος που είναι διαθέσιμος για την ολοκλήρωση της συμπύκνωσης προσδιορίζεται σύμφωνα με το Πρότυπο EN 13286-45:2003.

Οι στρώσεις θα πρέπει να περατώνονται σε όλη την εκάστοτε έκταση (στάθμη) της κατασκευής, κατά την διάρκεια της ίδιας «κατασκευαστικής» ημέρας.

Προκειμένου να αποφευχθεί διαχωρισμός των κόκκων, η αρχική εναπόθεση του εκάστοτε μεταφερόμενου μίγματος θα γίνεται σε σωρούς ύψους μικρότερου του 1 m και θα καταβάλλεται κάθε προσπάθεια, κατά την διάστρωση, για την διατήρηση της ομοιογένειας του μίγματος.

Πριν από την διάστρωση ισχνού κυλινδρούμενου σκυροδέματος, στην επιφάνεια έδρασης του φράγματος θα διαστρωθεί εξισωτική στρώση από συμβατό σκυρόδεμα κατηγορίας, C8/10 ή C12/15 σύμφωνα με τα εγκεκριμένα σχέδια εφαρμογής.

Κάθε στρώση του ισχνού κυλινδρούμενου σκυροδέματος (εκτός των θέσεων όπου τούτο περιορίζεται από επιτόπου σκυροδετούμενο κλασικό σκυρόδεμα, ή προκατασκευασμένα στοιχεία) θα διαμορφώνεται με την προβλεπόμενη κλίση, στα ελεύθερα ανάντη και κατόντη πέρατα, με κατάλληλες διατάξεις και μεθόδους κατασκευής, που θα επιλέξει ο ανάδοχος και θα εγκρίνει η υπηρεσία.

4.4.5 Συμπύκνωση

Για την συμπύκνωση θα χρησιμοποιούνται αυτοκινούμενοι δονητικοί συμπυκνωτές, στατικού βάρους 7,5 τόνων τουλάχιστον, με διπλά λεία τύμπανα, διαμέτρου τουλάχιστον 1,40m, που θα ασκούν γραμμική στατική πίεση (κατά γενέτειρα επαφής) τουλάχιστον 2 t/m. Η συχνότητα δόνησης θα είναι ρυθμιζόμενη και τουλάχιστον 25 Hz.

Οι συμπυκνωτές θα διαθέτουν όργανο ένδειξης του αριθμού διαδρομών διάταξη αυτοκαθαρισμού των τυμπάνων ώστε να διατηρούνται καθαρά από επικολλήσεις υλικού. Θα διατίθεται οπωσδήποτε τουλάχιστον ένας εφεδρικός οδοστρωτήρας του ίδιου ακριβώς τύπου.

Θα γίνονται τουλάχιστον έξι διελεύσεις του συμπυκνωτή ανά στρώση, εκτός αν αποδειχθεί στο δοκιμαστικό τμήμα ότι χρειάζεται μεγαλύτερος αριθμός προς επίτευξη της απαιτούμενης πυκνότητας και αντοχής.

Η πρώτη από τις διελεύσεις αυτές θα γίνεται με στατική λειτουργία του συμπυκνωτή και οι λοιπές (τουλάχιστον 5) με δόνηση και με ταχύτητα το πολύ 2km/ώρα. Όταν ο συμπυκνωτής ακινητοποιηθεί θα τίθεται εκτός λειτουργίας το σύστημα δόνησης.

Η προκύπτουσα τελικώς επιφάνεια κάθε στρώσης θα έχει ομοιόμορφη, ελαφρώς τραχεία υφή, χωρίς χαλαρά χαλίκια, εγκοπές ή προεξοχές, ίχνη τροχών ή άλλα ελαττώματα και δεν θα εμφανίζει σημεία με περίσσεια νερού ή τσιμεντοπολλτού του μίγματος. Η μάζα κάθε στρώσης πρέπει να είναι ομοιογενής, με την μεγαλύτερη δυνατή πυκνότητα, χωρίς τοπικό διαχωρισμό χονδρών κόκκων, ή άλλες ανωμαλίες.

Η περάτωση της συμπύκνωσης κάθε στρώσεως πρέπει να γίνεται εντός 30 λεπτών της ώρας από τη διάστρωση του αντίστοιχου μίγματος, και οπωσδήποτε πριν από το πέρας της περιόδου εργασιμότητας/συμπυκνωσιμότητας του μίγματος.

Σε δυσπρόσιτες περιοχές, για την εξασφάλιση της προδιαγραφόμενης συμπύκνωσης, θα χρησιμοποιούνται μικροί δονητικοί συμπυκνωτές, δονητικές πλάκες κτλ., σε συνδυασμό με ενδεχόμενη τοπική διαφοροποίηση των αναλογιών του μίγματος και του πάχους της στρώσης, όπου είναι αναγκαίο, μετά από σχετική έγκριση της υπηρεσίας.

4.4.6 Θερμοκρασιακοί περιορισμοί

Για να περιοριστεί όσο είναι δυνατόν η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία στη μάζα του σκυροδέματος θα λαμβάνονται μετά από συνεννόηση με την υπηρεσία, κατάλληλα μέτρα, όπως:

- i. Συσσώρευση των αδρανών σε μεγάλες ποσότητες με διάταξη και προσανατολισμό τέτοιο, ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να επηρεάζει όσο το δυνατό λιγότερο τη θερμοκρασία τους.

- ii. Συχνό κατάβρεγμα των αδρανών
- iii. Χρήση νερού ανάμιξης με όσο το δυνατόν μικρότερη θερμοκρασία.
- iv. Διασφάλιση ότι το χρησιμοποιούμενο τσιμέντο καθώς και οι λοιπές υδραυλικές κονίες δεν είναι πρόσφατης παραγωγής.
- v. Μεταφορά του μίγματος στη θέση διάστρωσης και περάτωση της διάστρωσης και συμπύκνωσης κατά το συντομότερο δυνατό χρόνο, με την χρησιμοποίηση αυξημένου αριθμού μηχανικών μέσων.
- vi. Συνεχής ψεκασμός με νερό κάθε στρώσης με λεπτά σταγονίδια σε τρόπο ώστε να μην προκαλείται μηχανική διάβρωση του νεαρού κυλινδρούμενου σκυροδέματος.

Σε περιόδους αυξημένων θερμοκρασιών θα περιορίζεται στο ελάχιστο ο χρόνος έκθεσης στον ήλιο των στρώσεων που έχουν μόλις ολοκληρωθεί (οι εργασίες θα συνεχίζονται μέχρι την δύση του ηλίου ώστε να εξασφαλίζεται η σκλήρυνση της άνω στρώσης κατά τις νυχτερινές ώρες).

Ανεξάρτητα από τα προαναφερθέντα μέτρα, δεν επιτρέπεται η διάστρωση και η συμπύκνωση στρώσεων σε περιόδους καύσωνα. Για θερμοκρασίες άνω των 28°C, η εκτέλεση ή μη εργασιών εξαρτάται από τα πορίσματα της θερμικής μελέτης εφαρμογής.

Όταν είναι αναπόφευκτη η κατασκευή κατά τη διάρκεια θερμών περιόδων, οι αντίστοιχες εργασίες θα γίνονται κατά την νύκτα, ή τις πρώτες πρωινές ώρες, μετά από έγκριση της υπηρεσίας. Ο ανάδοχος στην περίπτωση αυτή θα εξασφαλίζει επαρκή νυκτερινό φωτισμό για την άριστη και ασφαλή εκτέλεση των εργασιών.

Σε περίπτωση πολύ χαμηλών χειμερινών θερμοκρασιών θα εφαρμόζονται οι περιορισμοί, και τα προφυλακτικά μέτρα που προβλέπονται από τον ΚΤΣ για το κανονικό σκυρόδεμα.

4.4.7 Συντήρηση και προστασία – σύνδεση μεταξύ στρώσεων

Η επιφάνεια κάθε περατωμένης στρώσης θα προστατεύεται από την κυκλοφορία και τη ρύπανση και θα διατηρείται επαρκώς υγρή, ιδίως σε περιόδους αυξημένης ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και ισχυρών ανέμων. Για τον σκοπό αυτό πρέπει να βρίσκεται σε λειτουργία σύστημα παροχής νερού με επαρκές μήκος εύκαμπτων σωλήνων με κατάλληλα ακροφύσια για εφαρμογή καταιονισμού υπό μορφή λεπτών σταγονιδίων νερού.

Πριν από την διάστρωση νέας στρώσης, θα γίνεται έλεγχος της επιφάνειας της προηγούμενης στρώσης, από την επίβλεψη και θα λαμβάνονται από τον ανάδοχο όλα τα απαιτούμενα μέτρα για την καλή πρόσφυση μεταξύ των στρώσεων, μεταξύ των οποίων απομάκρυνση τυχόν χαλαρών αδρανών, χωμάτων, λιμνάζοντος νερού κτλ και καθαρισμός με εγκεκριμένες μεθόδους, τυχόν ρυπάνσεων.

Σε εξαιρετικές περιπτώσεις, όταν κατά την κρίση της υπηρεσίας, είναι προφανής η αδυναμία να επιτευχθεί ικανοποιητική πρόσφυση μεταξύ των δύο στρώσεων, θα λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα όπως: καθαρισμός και εκτράχυνση της παλαιάς επιφάνειας, απομάκρυνση κάθε χαλαρού υλικού, εφαρμογή συνδετικού στρώματος (πάχους τουλάχιστον 5cm) από κατάλληλο τσιμεντοκονίαμα και άμεση διάστρωση κυλινδρούμενου σκυροδέματος πάνω σ' αυτό.

Γενικά θα καταβάλλεται κάθε προσπάθεια, ώστε η διάστρωση και η συμπύκνωση κάθε νέας λωρίδας να γίνεται προτού παρέλθει το διάστημα εργασιμότητας/συμπυκνωσιμότητας του υλικού της παρακείμενης. Σε περιόδους υψηλών σχετικά θερμοκρασιών ενδεχομένως να κριθεί απαραίτητη η επιμήκυνση του διαστήματος εργασιμότητας/συμπυκνωσιμότητας με χρήση επιβραδυντικών πρόσθετων, ή, μετά από έγκριση της υπηρεσίας, η σύνδεση των επιφανειών επαφής δύο παρακείμενων λωρίδων θα γίνεται με κατάλληλη

προπαρασκευή το αρμού με τοπική απόξεση, καθαρισμό, κατάβρεγμα και κάλυψη με λεπτό πλουσιότερο σκυρόδεμα ή τσιμεντοκονίαμα, αμέσως πριν από την διάστρωση της νέας λωρίδας.

Παρακάτω γίνεται παρουσίαση της διαδικασίας παραγωγής – φόρτωσης – μεταφοράς – διάστρωσης – συμπύκνωσης του κυλινδρούμενου σκυροδέματος.



Εικόνα 4.5: Διαδικασία ανάμιξης RCC πριν την φόρτωση



Εικόνα 4.6: Φόρτωση RCC



Εικόνα 4.7: Φόρτωση RCC πριν την μεταφορά.



Εικόνα 4.8: Μεταφορά Εναπόθεση και Διάστρωση RCC



Εικόνα 4.9: Διάστρωση RCC λίγο πριν την διαδικασία συμπίκνωσης.



Εικόνα 4.10: Συμπύκνωση RCC



Εικόνα 4.11: Συμπύκνωση RCC

4.5 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΤΕΛΕΙΩΜΕΝΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

4.5.1 Έλεγχος αντοχής κυλινδρούμενου σκυροδέματος

Ο έλεγχος της αντοχής του μίγματος θα γίνεται σε κάθε «ελεγχόμενο τμήμα» με 6 κυβικά δοκίμια ακμής 150mm ή κυλινδρικά δοκίμια(D150/H150mm), τα οποία θα παρασκευάζονται και θα συντηρούνται σύμφωνα με το πρότυπο pr EN 13286-51 από δείγματα από το μίγμα που έχει διαστρωθεί πριν από την έναρξη της συμπύκνωσης. Ελεγχόμενο τμήμα είναι το τμήμα που ικανοποιεί την δυσμενέστερη από τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- το τμήμα που κατασκευάζεται κάθε ημέρα
- επιφάνεια που δεν υπερβαίνει τα 5000 m²

Η θλιπτική αντοχή των 6 δοκιμίων σε 28 ημέρες θα πρέπει να ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

$$\bar{x}_6 \geq f_{ck} + 1.10s$$

$$x_i \geq f_{ck} - 0.6MPa$$

Όπου:

$$\bar{x}_6 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} x_i \quad \text{ο μέσος όρος των αντοχών των 6 δοκιμίων}$$

x_i οι μεμονωμένες αντοχές $i = 1,2,3,\dots,6$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{η τυπική απόκλιση των } 6 \text{ αντοχών}$$

f_{ck} είναι η απαιτούμενη χαρακτηριστική αντοχή του κυλινδρούμενου σκυροδέματος.

Αν δεν προβλέπεται διαφορετικά από την μελέτη του φράγματος θα εξασφαλίζεται η αντοχή $f_{ck} = 4 \text{ MPa}$ σε ηλικία 28 ημερών.

4.5.2 Έλεγχος συμπίκνωσης

Θα γίνονται τουλάχιστον δύο έλεγχοι πυκνότητας ανά 500 m^2 συμπυκνούμενης στρώσης με τη μέθοδο των ραδιοϊσοτόπων ASTM D2922-04 “Standard Test Methods for Density of Soil and Soil-Aggregate in Place by Nuclear Methods (Shallow Depth) – Πρότυπη επιτόπου δοκιμή συμπίκνωσης εδαφικών υλικών και μιγμάτων εδάφους – αδρανών με πυρηνικές μεθόδους (μικρού βάθους)” και ASTM D3017-04 “Standard Test Method for Water Content of Soil and Rock in Place by Nuclear Methods (Shallow Depth). – Πρότυπη δοκιμή επιτόπου προσδιορισμού της περιεκτικότητας σε νερό του εδαφικού υλικού και του βράχου με πυρηνικές μεθόδους (μικρού βάθους)” με συσκευές που έχουν βαθμονομηθεί στο δοκιμαστικό τμήμα. Οι μετρούμενες πυκνότητες πρέπει να ικανοποιούν το ακόλουθο κριτήριο συμμόρφωσης:

Ο μέσος όρος 6 μετρήσεων (x_6) δεν πρέπει να είναι κατώτερος από το 98% της πυκνότητας αναφοράς που προσδιορίστηκε στο εργαστήριο (παράγραφος 4.1.2.β) και καμία μεμονωμένη τιμή στην εξάδα των μετρήσεων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το 96% της πυκνότητας αναφοράς.

Αν η απαίτηση του μέσου όρου δεν ικανοποιείται, ο έλεγχος με 6 μετρήσεις επαναλαμβάνεται και αν εξακολουθεί να μην ικανοποιείται το υπό κρίση συμπεκνωμένο τμήμα της στρώσης επιφάνειας 1500 m² περίπου, θα αποξηλώνεται.

Αν μια μεμονωμένη τιμή δεν ικανοποιεί την απαίτηση των μεμονωμένων τιμών ο έλεγχος πυκνώνει σε αποστάσεις όχι μεγαλύτερες από 3 m από την θέση της πρώτης αστοχίας για να αποκαλυφθεί η έκταση της επιφάνειας όπου δεν ικανοποιείται η απαίτηση των μεμονωμένων τιμών. Η έκταση αυτή εφόσον υπάρχουν τουλάχιστον 3 σημεία που δεν ικανοποιούν την απαίτηση, θα αποξηλώνεται.



Εικόνα 4.12. Πυρηνικός μετρητής για έλεγχο συμπίκνωσης Σκληρού Επιχώματος

4.5.3 Έλεγχος αδρανών

- i. Στην έναρξη των εργασιών και όποτε υπάρχει αλλαγή πηγής προμήθειας, θα γίνονται έλεγχοι των αδρανών που αφορούν τον κίνδυνο αλκαλοπυριτικής αντίδρασης, του δείκτη πλακοειδούς (FL), αντίσταση σε θρυμματισμό (LA), υδαταπορρόφηση (WA) και την ανθεκτικότητα σε θεικό μαγνήσιο (MS). Ο δείκτης πλαστικότητας των αδρανών θα ελέγχεται ανά 2000 m³.
- ii. Η κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος θα ελέγχεται τουλάχιστον 2 φορές την ημέρα. Πρέπει τα διερχόμενα ποσοστά να μην διαφέρουν από εκείνα της μελέτης σύνθεσης περισσότερο από τα ακόλουθα όρια:

κόκκοι > 4 mm ± 8%

κόκκοι < 4 mm ± 6%

κόκκοι < 0,063 mm ± 2%

4.5.4 Έλεγχος υγρασίας

Θα γίνονται τουλάχιστον 10 έλεγχοι περιεχόμενης υγρασίας ημερησίως. Οι διαφορές ως προς την βέλτιστη υγρασία δεν πρέπει να ξεπερνούν το - 1% και + 0,5%.

4.5.5 Έλεγχος θερμοκρασίας διαστρωμένου μίγματος

Θα γίνεται ένα τουλάχιστον έλεγχος θερμοκρασίας μίγματος ανά 500 m² διαστρωνόμενης επιφάνειας.



Εικόνα 4.13. Δοκίμιο Σκληρού Επιχώματος



Εικόνα 4.14. Συσκευή θραύσης δοκιμίων Σκληρού Επιχώματος



Εικόνα 4.15. Διαδικασία θραύσης δοκιμίου



Εικόνα 4.16. Διαδικασία θραύσης δοκιμίου

IV. ΜΕΡΟΣ Β

5. ΝΕΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Ο ΠΕΤΕΠ (Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές) και το σχέδιο 01-01-04-00/2006 για τα συγκροτήματα παραγωγής σκυροδέματος έχουν ως αντικείμενο την περιγραφή και την κατάταξη των συγκροτημάτων παραγωγής σκυροδέματος στα οποία υπάρχει αναμικτήρας και γίνεται κεντρική ανάμιξη του σκυροδέματος.



Εικόνα 5.1: Κινητό συγκρότημα παραγωγής σκυροδέματος

5.1 ΟΙ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ

Η Ελλάδα δέχεται συχνά ενάντια πυρά για την κακή ποιότητα των τεχνικών της έργων. Στα πλαίσια αυτής της εξωτερικής εικόνας, καταβάλλεται μία προσπάθεια για την βελτίωση των μεθόδων υλοποίησης των έργων αλλά και

των ίδιων των υλικών, που χρησιμοποιούνται, ώστε να ενταχθούν κατά το δυνατόν στην εθνική πυραμίδα ποιότητας.

Ο κλάδος του έτοιμου σκυροδέματος στην Ελλάδα, παρουσιάζει έντονο τοπικό χαρακτήρα με πολύ λίγες εξαιρέσεις γεωγραφικά πολυδιάσπαρτων εταιρειών. Ο κλάδος μετράει πλέον των 145 εταιρειών και πλέον των 200 μονάδων, που παράγουν και παρέχουν έτοιμο σκυρόδεμα για κατασκευές κτιρίων και υποδομών σε όλη την χώρα. Από αυτές λιγότερες από το 50% έχουν προβεί σε εγκατάσταση Συστημάτων Διαχείρισης Ποιότητας (ΣΔΠ), ενώ είναι πλέον πασιφανές ότι χωρίς τέτοια συστήματα, δεν υφίστανται τα ελάχιστα εχέγγυα εμπιστοσύνης μεταξύ των μονάδων σκυροδέματος και εργοληπτών.

Χαρακτηριστικά, μόλις 7 από τα 22 μέλη Ν.Αττικής του Συνδέσμου Ελληνικών Βιομηχανιών Ετοίμου Σκυροδέματος (ΣΕΒΕΣ) έχουν πιστοποιηθεί, δηλαδή 19 από 42 μονάδες. Το γεγονός μαρτυρά την συγκέντρωση σημαντικού αριθμού μονάδων σε λίγες μεγάλες εταιρείες, οι οποίες φαίνεται να κινούνται προς την κατεύθυνση της ποιότητας νωρίτερα από τους μικρότερους ανταγωνιστές τους.

Πολλοί βάζουν εναντίον των πιστοποιημένων ΣΔΠ, ταυτίζοντας την μεγάλη ανάπτυξη που γνωρίζει ο αριθμός τους στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια με κάποιες περιπτώσεις όπου πιστοποιητικά ποιότητας εμφανίστηκαν σε εταιρείες εμφανώς ανίκανες να τα τηρήσουν. Ωστόσο, η αγορά οδεύει προς ολοένα υψηλότερα επίπεδα διασφάλισης υψηλής ποιότητας και αυξημένου αισθήματος απόδοσης ευθυνών για βλάβες. Το μόνο ασφαλές έδαφος για να θεμελιωθεί σταθερή επιβίωση μίας μονάδας σκυροδέματος είναι η ελεγχόμενη παραγωγή κάτω από ένα πιστοποιημένο Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας. Στις μονάδες σκυροδέματος, αυτό σημαίνει την ταυτόχρονη ικανοποίηση των απαιτήσεων του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος, που ασχολείται κατ'εξοχήν με το προϊόν και του προτύπου ISO 9001:2000, που ασχολείται κυρίως με την διαχείριση της μονάδας, συμπεριλαμβανομένης και της παραγωγικής διαδικασίας.

5.2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΜΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Ισχύουν οι σχετικές διατάξεις που προβλέπονται για την ανάμιξη/παραγωγή σκυροδέματος και περιλαμβάνονται στα παρακάτω:

- “Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος” (ΚΤΣ-97) καθώς και η προσαρμογή του το 2002 (ΦΕΚ/315/Β/17.4.97 και ΦΕΚ/537/Β/1.5.02)
- “Κανονισμός διενέργειας ελέγχων ποιότητας υλικών και έργων” (ΦΕΚ/332/Β/28.3.01)
- EN 206/1:2000 Concrete Part 1 : Specification, performance production and conformity –Σκυρόδεμα –Μέρος 1 : Προδιαγραφή, επίδοση, παραγωγή, συμμόρφωση.

Τα συγκροτήματα παραγωγής σκυροδέματος μπορούν να καταταγούν σε (3) κατηγορίες Α, Β, Γ με τα εξής χαρακτηριστικά:

5.2.1 Κατηγορία “Α”

Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται τα συγκροτήματα παραγωγής σκυροδέματος στα οποία υπάρχουν τουλάχιστον τα εξής χαρακτηριστικά:

- Αναμικτήρας σκυροδέματος, χωρητικότητας τουλάχιστον 0,5m³ σε νωπό συμπυκνωμένο σκυρόδεμα με μονό οριζόντιο ή κατακόρυφο άξονα.
- Ζυγιστήρια αδρανών υλικών και τσιμέντου με ζυγαριές (μηχανές) και αναλογική ή ψηφιακή σύνδεση και οι οποίες θα διακριβώνονται με πρότυπα βάρη ανά έξι μήνες.
- Δοσομέτρηση νερού και προσθέτων κατ’ όγκων με λιτρομετρητή ή κατά βάρος με ζυγιστήριο νερού και προσθέτων (προαιρετικό).
- Χειροκίνητη λειτουργία του συγκροτήματος με ηλεκτρικό πίνακα.

- Αποθήκευση των υλικών είτε σε διάταξη “ τύπου αστέρα” είτε με σιλό φόρτωσης των υλικών (ξεχωριστά για κάθε κλάσμα, άμμος- γαρμπίλι- χαλίκι)
- Χειριστή συγκροτήματος πεπειραμένο (200 ώρες εμπειρίας).

5.2.2 Κατηγορία “B”

Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται τα συγκροτήματα παραγωγής σκυροδέματος για τα οποία ισχύουν όλα τα χαρακτηριστικά της κατηγορίας A με τις παρακάτω προσθήκες και τροποποιήσεις:

- Αναμικτήρας σκυροδέματος, χωρητικότητας τουλάχιστον 1m^3 σε νωπό συμπακνωμένο σκυρόδεμα με οριζόντιο ή κατακόρυφο άξονα.
- Ζύγιση κατά βάρος όλων των υλικών με τις ανοχές και ακρίβειες ζυγίσεως που προβλέπονται σε EN 206-1:2000 και ΚΤΣ-97. Τα ζυγιστήρια αυτά διακριβώνονται με πρότυπα βάρη ανά εξάμηνο, σύμφωνα με το EN 45501 Metrological Aspects of Non-Automatic Weighing Instruments (Incorporates Corrigendum AC August 1993) –Μετρολογικές παράμετροι μη αυτομάτων ζυγιστικών διατάξεων.
- Απλώς αυτοματισμός ο οποίος υποστηρίζει τις βασικές απαιτήσεις λειτουργίας του μηχανήματος (ζύγιση υλικών, φόρτωση στον αναμικτήρα, ανάμιξη, εκφόρτωση κ.λ.π.).
- Αποθήκευση αδρανών μόνο σε σιλό είτε σε οριζόντια διάταξη είτε σε κατακόρυφη ξεχωριστά για κάθε κλάσμα και με σύστημα (βιντεοκάμερα) παρακολούθησης εκφόρτωσης των αδρανών.
- Ύπαρξη ζυγιστηρίου για τουλάχιστον (2) πρόσθετα σκυροδέματος, κατά βάρος, ξεχωριστά διαμερίσματα προσθέτων σε περίπτωση που αυτά αντιδρούνε μεταξύ τους.

- Ύπαρξη μετρητή υγρασίας αδρανών, στο ή στα σιλό της άμμου.
- Φίλτρα τσιμέντου στα σιλό τσιμέντου περιβαλλοντικής προστασίας.
- Τυπική απόκλιση : S_{60} μικρότερη από 3,5 MPa (για την περίπτωση που η προμήθεια σκυροδέματος γίνεται από εργοστάσιο έτοιμου σκυροδέματος αυτή θα προκύπτει από μητρώα ή αρχεία αντοχών).
- Πτυχιούχος χειριστής σκυροδέματος παραγωγής σκυροδέματος.

5.2.3 Κατηγορία “Γ”

Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται συγκροτήματα παραγωγής για τα οποία ισχύουν όλα τα χαρακτηριστικά της κατηγορίας Β με τις παρακάτω προσθήκες και τροποποιήσεις:

- Αναμικτήρες σκυροδέματος, χωρητικότητας τουλάχιστον $2,00\text{m}^3$ και παραγωγικής ικανότητας τουλάχιστον $80\text{ m}^3/\text{h}$ σε νωπό συμπυκνωμένο σκυρόδεμα, με απλό ή δίδυμο οριζόντιο άξονα βίαιης ανάμιξης.
- Ζύγιση κατά βάρος με ηλεκτροδυναμόμετρα (δυναμοκυψέλες, load cells) όλων των υλικών όπως αδρανών υλικών, τσιμέντου, νερού και προσθέτων. Η ζύγιση των αδρανών θα γίνεται σε εγκαταστάσεις που φέρουν τουλάχιστον (4) ηλεκτροδυναμόμετρα και διατάξεις μέσα στο σιλό για την ομαλή ροή των αδρανών χωρίς της απευθείας εξάσκηση πίεσης στην έξοδο του σιλό αδρανών (ρυθμιζόμενο τρίγωνο εκροής αδρανών, αναλόγως καιρικών συνθηκών).
- Ύπαρξης υπερύψηλης τεχνολογίας αυτοματισμού για την λειτουργία ζύγισης, ανάμιξης, φόρτωσης/εκφόρτωσης σκυροδέματος, με οθόνες παρακολούθησης της αντίστασης του αναμικτήρα στην ανάμιξη (kW ή A/m^3) τόσο στο στάδιο παραγωγής σκυροδέματος όσο και της ηλεκτρονικής καταγραφής και παρακολούθησης όλων των ζυγίσεων και των ζυγισμένων

υλικών και αυτομάτου καταγραφής των ζυγίσεων σε εκτυπωτή είτε σε ειδικό καταγραφικό χαρτί είτε σε απευθείας στο δελτίο αποστολής του σκυροδέματος (έτοιμο σκυρόδεμα) είτε στο δελτίο παραγωγής του σκυροδέματος (εργοταξιακό σκυρόδεμα). Αυτόματη διόρθωση των ζυγιζομένων ποσοτήτων στο σύνολο των αναμιγμάτων που απαιτούνται για την φόρτωση ενός αυτοκινήτου μεταφοράς.

- Αποθήκευση υλικών σε ξεχωριστά σιλό, μέσω ελεγχόμενης παραγωγικής διαδικασίας με καταγραφή ενεργειών (βιντεοκάμερα) και σε συνεχή άμεση εποπτεία από τον χειριστή του μίξερ. Ύπαρξη γραπτής διαδικασίας παραλαβής των υλικών με υπογραφή του παραλαμβάνοντος σε κάθε δελτίο αποστολής των υλικών (πρώτων υλών).
- Ύπαρξη υγρασιομέτρου μικροκυμάτων για την μέτρηση υγρασίας της άμμου με αυτόματη διαδικασία μεταβολής των ζυγιζομένων ποσοτήτων νερού που προστίθενται κατευθείαν στον αναμικτήρα σκυροδέματος.
- Ύπαρξη φίλτρων για την περιβαλλοντική προστασία όπως τσιμέντου σκέπαστρο με υπόστεγο της υποδοχής των αδρανών ή των εγκαταστάσεων με τα σιλό φόρτωσης των αδρανών κ.λ.π. Συστήματα καταπολέμησης του θορύβου και της σκόνης, τόσο των ζυγιστηρίων του συγκροτήματος όσο και του δωματίου (καμπίνας) του χειριστού με ηχομονωτικά panels.
- Μέριμνα και συνδυασμός για ικανοποίηση των διεθνών προδιαγραφών ασφαλείας για τους εργαζομένους (πλέγματα, παραπέτα ασφαλείας, σχοινοδιακόπτες ασφαλείας).
- Διακρίβωση όλων των ζυγιστηρίων υλικών με πρότυπα βάρη ανά εξάμηνο σύμφωνα με το EN 45501.
- Ύπαρξη εργαστηρίου μονάδος στο οποίο θα εκτελούνται όλοι οι έλεγχοι που προβλέπονται από το EN 206-1:2000 και τον ΚΤΣ-97. Στην περίπτωση που η προμήθεια σκυροδέματος γίνεται από εργοστάσιο έτοιμου σκυροδέματος απαραίτητη η τήρηση ημερολογίων- μητρώων θεωρημένων από τα δημόσια

εργαστήρια (ΚΕΔΕ, ΠΕΔΕ) του ΥΠΕΧΩΔΕ (§ 12.1.1.7 του ΚΤΣ-97). Επίσης στην μονάδα θα υπάρχουν διαγράμματα υπολογισμού της τυπικής απόκλισης S_{60} σύμφωνα με τις διατάξεις (§ 12.1.1.7) του ΚΤΣ-97 και στην οποία δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 2,5 MPa (για κατηγορία αντοχής C20/25).

- Βιβλιάριο συντήρησης συγκροτήματος στο οποίο θα γίνεται τακτική τριμηνιαία συντήρηση (service) πέραν της εβδομαδιαίας προληπτικής συντήρησης.
- Πτυχιούχος χειριστής συγκροτήματος παραγωγής σκυροδέματος.



Εικόνα 5.2: Μεταφορά κινητού συγκροτήματος παραγωγής σκυροδέματος

5.3 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ – ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ

Για κάθε κατηγορία : Α, Β, Γ θα πρέπει κατά ελάχιστον να υπάρχουν οι παρακάτω διαδικασίες παραγωγής και πιστοποιητικά.

5.3.1 Κατηγορία “Α”

- Πιστοποιητικά διακρίβωσης ζυγιστηρίων υλικών με πρότυπα βάρη (τουλάχιστον 2 φορές ετησίως). Διακρίβωση λιτρομετρητή νερού.
- Πίνακας προέλευσης όλων των υλικών (πρώτων υλών) όπως :
 - § αδρανή υλικά: λατομείο.
 - § τσιμέντο: εταιρεία τσιμέντου.
 - § πρόσθετα: τύπο προσθέτου, εταιρεία.
 - § νερό: δίκτυο, γεώτρησης κ.λ.π.
- Πίνακας αναλογιών ποσοτήτων υλικών ανά κατηγορία σκυροδέματος σε kg/m^3 ή σε μικρότερο ή μεγαλύτερο κλάσμα του m^3 (π.χ. $0,5\text{m}^3$, $1,25\text{m}^3$) σε περίπτωση παραγωγής σε χαρμάνια διαφορετικά του 1m^3 .
- Διαδικασία καθαρισμού των υλικών σε περίπτωση αποθήκευσης των αδρανών σε “ τύπου αστέρα”, στην “ μύτη” του αστέρα όπου συσσωρεύεται παιπάλη, και απόρριψη αυτών των υλικών, τουλάχιστον ανά τρίμηνο. Καθαρισμός ανά τρίμηνο των δεξαμενών νερού.
- Βιβλιάριο συντήρησης του συγκροτήματος παραγωγής σκυροδέματος όπου θα αναγράφονται οι τακτικές συντηρήσεις (τουλάχιστον ανά εξάμηνο).
- Τήρηση φακέλου ποιότητας με τα πιστοποιητικά υλικών και τα αποτελέσματα δομικών από τα εργαστήρια που προβλέπονται στον ΚΤΣ-97 (§ 15.7 και 15.8). Στη περίπτωση που η προμήθεια σκυροδέματος γίνεται από εργοστάσιο έτοιμου σκυροδέματος θα ζητούνται και τα μητρώα, διαγράμματα αντοχών και υπολογισμών που προβλέπονται στον ΚΤΣ-97 (§12.1.1.7 και §12.1.1.8).
- Χειριστής συγκροτήματος (εμπειρία τουλάχιστον 200 ωρών ως χειριστής συγκροτήματος παραγωγής σκυροδέματος).

5.3.2 Κατηγορία “B”

Ισχύουν όσα αναφέρονται στην κατηγορία A (§ 3.1) και επιπλέον τα εξής :

- Πιστοποιητικά διακρίβωσης όλων των ζυγιστηρίων υλικών (αδρανής, τσιμέντο, νερό, πρόσθετα), τουλάχιστον ανά εξάμηνο, με πρότυπα βάρη, σύμφωνα με το EN 45501.
- Πίνακας στον οποίο να αναφέρονται τόσο η προέλευση και οι αναλογίες/ποσότητες των υλικών σε kg/m^3 και αναπαραγόμενο μέγεθος χαρμανιού καθώς και η αναμενόμενη κατηγορία εργασιμότητας του σκυροδέματος (S1,S2, S3, S4, S5).
- Βιβλιάριο τριμηνιαίας τακτικής συντήρησης του συγκροτήματος.
- Διαδικασίες παραλαβής αδρανών τσιμέντου, νερού, προσθέτων και υπεύθυνος παραλαβής στην μονάδα.
- Τήρηση φακέλου ποιότητας αδρανών υλικών και σκυροδέματος, με τα πιστοποιητικά υλικών και τα αποτελέσματα ελέγχων του σκυροδέματος. Εφόσον η προμήθεια σκυροδέματος γίνεται από εργοστάσιο έτοιμου σκυροδέματος τήρησης μητρώων και διαγραμμάτων αντοχών, υπολογισμών κ.λ.π. που προβλέπονται στον ΚΤΣ-97 (§12.1.1.7 και §12.1.1.8).
- Ελάχιστος επί τόπου εργαστηριακός εξοπλισμός ο οποίος θα περιλαμβάνει συσκευές και όργανα τουλάχιστον για τις δειγματοληψίες των υλικών (μήτρες λήψεως δοκιμίων σκυροδέματος, υποδοχής, μονότροχο, συσκευές κάθισης, συσκευές δειγματοληψίας αδρανών υλικών κ.λ.π.) και την ασφαλή μεταφορά τους σε εξωτερικό εργαστήριο είτε δημόσιο είτε ιδιωτικό αναγνωρισμένο εργαστήριο εποπτευόμενο από το ΥΠΕΧΩΔΕ (§15.7 και 15.8 του ΚΤΣ-97), καθώς και εβδομαδιαίο πρόγραμμα (πλάνο) ελέγχου.
- Σύστημα ποιότητας EN ISO 9001-2000 επιθυμητό, όχι απαιτητό και όχι κατ'ανάγκη πιστοποιημένο από διαπιστευμένο φορέα πιστοποίησης.
- Μηνιαίες και ετήσιες εκθέσεις αναφοράς ποιότητας προς την διεύθυνση της εταιρείας από τον υπεύθυνο παραγωγής και ποιότητας της μονάδος

σκυροδέματος, ο οποίος στην περίπτωση έτοιμου σκυροδέματος θα πρέπει να είναι διπλωματούχος μηχανικός (§12.1.1.3 του ΚΤΣ-97), και οι οποίες θα είναι στη διάθεση της υπηρεσίας επίβλεψης.

- Πτυχίο χειριστού συγκροτήματος παραγωγής σκυροδέματος.

5.3.3 Κατηγορία “Γ”

Ισχύουν όσα προαναφέρονται για την κατηγορία Β (§2.2) και επιπλέον τα εξής:

- Πιστοποιητικά διακρίβωσης ζυγιστηρίων όλων των υλικών με πρότυπα βάρη, τουλάχιστον ανά εξάμηνο.
- Ηλεκτρονική εκτύπωση και αναρτημένος πίνακας αναλογιών όλων των υλικών σε kg/m^3 σε δωμάτιο (καμπίνα) χειριστή, ανά κατηγορία σκυροδέματος και κατηγορία εργασιμότητας.
- Τήρηση αρχείου ζυγίσεων υλικών από τον εκτυπωτή στο οποίο θα αναγράφεται και η ένδειξη του μετρητή αντίστασης του αναμικτήρα κατά την διάρκεια της ανάμιξης ανά χαρμάνι σκυροδέματος (σε Amp/m^3 ή KW ή άλλη ένδειξη). Τα αρχεία θα φυλάσσονται για χρονικό διάστημα (5) ετών.
- Διακρίβωση μετρητή υγρασίας μικροκυμάτων ανά εξάμηνο ή σε περίπτωση ακραίων μεταβολών των κλιματολογικών συνθηκών (χιόνι, καύσωνας κ.λ.π.) και τήρηση αντίστοιχου αρχείου.
- Βιβλιάριο τακτικής συντήρησης (service) του συγκροτήματος περιλαμβανομένων όλων των φίλτρων και συστημάτων ασφαλείας των εργαζομένων ανά τρίμηνο.
- Τήρηση φακέλου ποιότητας πρώτων υλών με τα αντίστοιχα πιστοποιητικά ποιότητας (αδρανής, τσιμέντο, νερό και πρόσθετα) και σκυροδέματος. Εφόσον η προμήθεια σκυροδέματος γίνεται από εργοστάσιο έτοιμου σκυροδέματος τήρηση μητρώων και διαγραμμάτων αντοχών,

υπολογισμών κ.λ.π. που προβλέπονται στο ΚΤΣ-97 (§12.1.1.7 και § 12.1.1.8). Στον φάκελο θα υπάρχουν και πλήρες μελέτες συνθέσεως σκυροδέματος τις οποίες θα έχει γίνει μέτρηση της απώλειας κάθισης (loss of slump) συναρτήσεως του χρόνου τουλάχιστον στις χρονικές στιγμές: στο 0', στο 0+30', στο 0+60' και στο 0+90', ή ίσου με τις μέγιστες απαιτήσεις του έργου. Ειδικές συνθέσεις σκυροδέματος με πρακτικά μηδενική απώλεια κάθισης, λόγω χρήσης ειδικών προσθέτων σκυροδέματος.

- Πλήρες εργαστήριο ελέγχου ποιότητας αδρανών υλικών και σκυροδέματος με τον ελάχιστο απαιτούμενο εξοπλισμό για την εκτέλεση των δειγματοληψιών υλικών και την εκτέλεση τουλάχιστον ελέγχων αδρανών σκυροδέματος και μελέτης συνθέσεως σκυροδέματος ως εξής:

§ αδρανή υλικά

- Δειγματοληψία αδρανών
- Τετραμερισμός αδρανών
- Ξήρανση αδρανών σε φούρνο
- Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας
- Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών

§ σκυροδέματος

- Δειγματοληψία σκυροδέματος
- Λήψη δοκιμίων σκυροδέματος
- Συντήρηση δοκιμίων σε πρότυπο θάλαμο ή δεξαμενή νερού
- Θραύση των δοκιμίων σκυροδέματος
- Δοκιμή κάθισης (slump)
- Φαινόμενο βάρος σκυροδέματος
- Min-Max εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος

§ μελέτη συνθέσεως σκυροδέματος

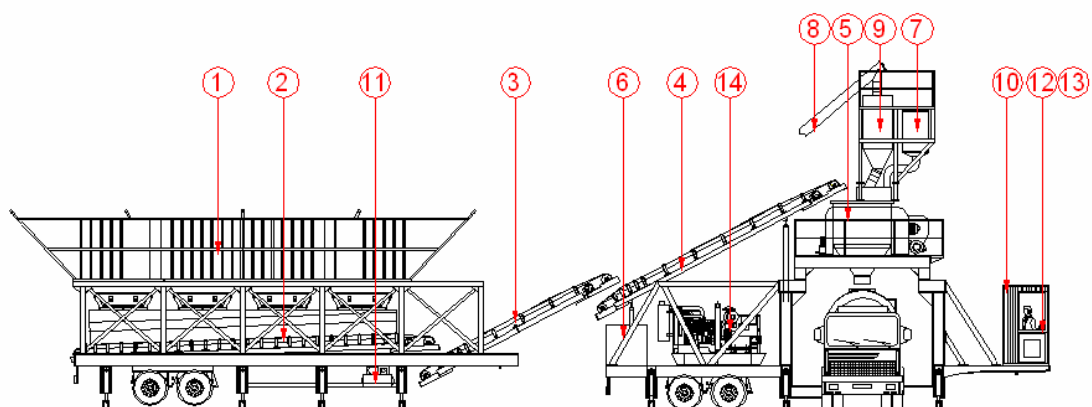
- Ζύγιση υλικών παρασκευής σκυροδέματος
- Ανάμιξη υλικών σε αναμικτήρα τουλάχιστον 50 λίτρων
- Μέτρηση περιεκτικότητα σε αέρα του σκυροδέματος
- Μέτρηση κάθισης συναρτήσει του χρόνου (απώλεια κάθισης)
- Μέτρηση φαινόμενου βάρους σκυροδέματος
- Ειδικές μελέτες συνθέσεως σκυροδέματος με χρήση ειδικού προσθέτου για διασφάλιση πρακτικά μηδενικής απώλειας κάθισης (εντός 2 ωρών)

Οι υπόλοιπες δοκιμές που προβλέπονται από το EN 12620:2002 Aggregates for concrete - Αδρανή σκυροδεμάτων, EN 206-1:2000, ΚΤΣ-97 κ.λ.π., μπορούν να εκτελεστούν σε εξωτερικά αναγνωρισμένα ιδιωτικά ή δημόσια εργαστήρια και τηρείται στην μονάδα το αντίστοιχο αρχείο.

- Πιστοποιημένο σύστημα ελέγχου παραγωγής σύμφωνα με το EN ISO 9001:2000 (λαμβάνοντας υπόψη τις διατάξεις του ΚΤΣ και του EN 206-1, παράρτημα C), από φορέα πιστοποίησης, διαπιστευμένο από επίσημο φορέα διαπίστευσης.
- Επιθυμητό και όχι κατ'ανάγκη απαιτητό, για την περίπτωση που η προμήθεια σκυροδέματος γίνεται από εργοστάσιο έτοιμου σκυροδέματος, η ύπαρξη σήματος ποιότητας από φορέα πιστοποίησης, από επίσημο φορέα διαπίστευσης.
- Αρχείο ελέγχων, εκθέσεως, αναφορών ποιότητας του υπευθύνου παραγωγής και ποιότητας προς την διεύθυνση της εταιρείας, που προκειμένου περί ετοιμού σκυροδέματος πρέπει να είναι από διπλωματούχο μηχανικό (§12.1.1.3 του ΚΤΣ-97).

- Πτυχίο χειριστού συγκροτήματος σκυροδέματος και βεβαίωσης παρακολούθησης ειδικής εκπαίδευσης σε εργαστηριακές δοκιμές ελέγχου ποιότητας από το εργαστήριο μονάδος.

Οι παραπάνω αναφορές θα είναι στην διάθεση της επίβλεψης. Στο αρχείο αυτό θα υπάγονται και τυχόν έλεγχοι και επιθεωρήσεις που έχουν γίνει από τις αρμόδιες επιτροπές που προβλέπει ο “Κανονισμός Διενεργείας Ελέγχων Ποιότητας Υλικών και Έργων” (ΦΕΚ/332/Β/28.3.01) και το Π.Δ. 121(ΦΕΚ/112/Α/6.6.01) σε εκτέλεση των διατάξεων του άρθρου 21 του νόμου 1418/1984. Στις παραπάνω αναφορές θα επιβεβαιώνεται ότι η τιμή της τυπικής απόκλισης S_{60} (§12.1.1.7 του ΚΤΣ-97) παραμένει μικρότερη από 2,5 MPa για κάθε εξηντάδα δοκιμίων. Στην περίπτωση εργοταξιακού σκυροδέματος μεγάλων έργων (§13.5 του ΚΤΣ-97), αν η S_{60} διαφέρει από την τυπική απόκλιση S της μελέτης συνθέσεως σκυροδέματος, που ήδη χρησιμοποιείται περισσότερο από $\pm 0,5\text{MPa}$, τότε θα ακολουθείται η διαδικασία της §13.5.7 του ΚΤΣ-97 και θα υπολογίζεται νέα απαιτούμενη αντοχή (f_a) με ελάχιστη επιτρεπτή τιμή $S=3\text{MPa}$.



- 1) Αποθήκες Αδρανών
- 2) Ζυγιστήρια Αδρανών
- 3) Ταινία φόρτωσης Νο1
- 4) Ταινία φόρτωσης Νο2
- 5) Αναμικτήρας
- 6) Δεξαμενή νερού
- 7) Ζυγιστήριο νερού
- 8) Σύστημα φόρτωσης τσιμέντου
- 9) Ζυγιστήριο τσιμέντου
- 10) Καμπίνα χειριστηρίου
- 11) Αεροσυμπιεστής
- 12) Πίνακας ελέγχου
- 13) Σύστημα αυτοματισμού
- 14) Γεννήτρια

5.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Ισχύουν τα διαλαμβανόμενα στην ΠΕΤΕΠ 01-01-01-00 “Παραγωγή και μεταφορά σκυροδέματος”, με τον όρο της προσκόμησης πιστοποιητικών υλικών και ελέγχων και παραγωγικών διαδικασιών ανά κατηγορία συγκροτήματος Α, Β, Γ.

5.5 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ

Ισχύουν τα διαλαμβανόμενα στο σχετικό κεφάλαιο της ΠΕΤΕΠ 01-01-01-00 “Παραγωγή και μεταφορά σκυροδέματος”, με τις επιπλέον επισημάνσεις για την ασφάλεια, υγιεινή και προστασία περιβάλλοντος που απορρέουν από τα διαλαμβανόμενα στην παρούσα ΠΕΤΕΠ για την εκάστοτε κατηγορία Α, Β, Γ.

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, στο σημείο αυτό παρουσιάζεται το έντυπο μιας τυπικής επιθεώρησης μιας μονάδας ετοιμού σκυροδέματος σύμφωνα με τις αρμόδιες επιτροπές

ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΤΟΙΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΕΠΩΝΥΜΙΑ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ:	
Μονάδα:
Στοιχεία της Εταιρείας:	
Διεύθυνση:	
Τηλέφωνο:	Fax:
E-mail:	

1. Υπάρχει Διπλωματούχος μηχανικός με εμπειρία στην παραγωγή και τεχνολογία σκυροδέματος;

ΝΑΙ ΟΧΙ.....

Όνοματεπώνυμο:

Ειδικότητα:

A.M/ΤΕΕ:

1.1 Υπάρχει τεχνικός επικεφαλής με εμπειρία στην παραγωγή και τεχνολογία σκυροδέματος;

ΝΑΙ ΟΧΙ.....

Παρατηρήσεις:

1.2 Υπάρχει Εργαστήριο Ελέγχου ποιότητας;

✓ Υπάρχει εργαστήριο μονάδας:

✓ Υπάρχει σύμβαση με αναγνωρισμένο εργαστήριο: Επωνυμία:

✓ Δεν υπάρχει καθόλου:

2. Εργαστήριο μονάδας (εξοπλισμός για ελέγχους ποιότητας)

2.1 Εξοπλισμός για ελέγχους αδρανών

- Κόσκινα -Αμερικανική σειρά NAI _____ OXI _____
 -Γερμανική σειρά NAI _____ OXI _____
 - Φούρνος (.....lit) NAI _____ OXI _____
 - Ζυγοί-Έλεγχος ζυγών NAI _____ OXI _____
 - Ισοδύναμο άμμου NAI _____ OXI _____
- 2.2 Εξοπλισμός για ελέγχους σκυροδέματος
- Κυβικές μήτρες
 Αριθμός μητρών.....
 - Συσκευή μέτρησης εργάσιμου NAI _____ OXI _____
 - Θάλαμος συντήρησης δοκιμίων NAI _____ OXI _____
 - Πρέσα θραύσεως δοκιμίων NAI _____ OXI _____
 Χαρακτηριστικά πρέσας :.....kN
 (μανόμετρα/ψηφιακή)
 - Αυτόματη ταχύτητα φόρτωσης NAI _____ OXI _____
 - Καταγραφικό (με χαρτοταινία) NAI _____ OXI _____
 - Θερμόμετρα για μέτρηση
 - Θερμοκρασίας περιβάλλοντος NAI _____ OXI _____
 - Θερμοκρασίας σκυροδέματος NAI _____ OXI _____
 - Βιβλία
 - Μητρώα Αντοχής NAI _____ OXI _____
 - Διαγράμματα Αντοχής NAI _____ OXI _____

Παρατηρήσεις:

.....

.....

3. Υλικά

3.1 Αδρανή

α. Προέλευση άμμου

:Λατομείο

:Δανειοθάλαμος

β. Προέλευση χονδρόκοκκων

:Λατομείο

:Δανειοθάλαμος

3.2 Τσιμέντο

- Προέλευση τσιμέντου:

Τύπος:

- Προέλευση τσιμέντου:

Τύπος:

* Υπάρχουν πιστοποιητικά ποιότητας τσιμέντου;

ΝΑΙ ΟΧΙ.....

Παρατηρήσεις:

.....

.....

3.3 Πρόσθετα σκυροδέματος

- Προέλευση προσθέτων:

Τύπος Επιβραδ:

Τύπος

Υπερ/κού:

- Άλλα πρόσθετα:

✓ Υπάρχουν πιστοποιητικά ποιότητας;

ΝΑΙ

ΟΧΙ

Παρατηρήσεις:

.....

.....

3.4 Έλεγχοι νερού

α. Απαιτούνται/Δεν απαιτούνται διότι είναι

Από το δίκτυο ύδρευσης ΕΥΔΑΠ κ.λ.π.

ΝΑΙ

ΟΧΙ

β. Άλλη

προέλευση:

ΝΑΙ

ΟΧΙ

γ. Πιστοποιητικά ελέγχου

ΝΑΙ

ΟΧΙ

δ. Καταλληλότητα σύμφωνα με ΕΛΟΤ 345

ΝΑΙ

ΟΧΙ

Παρατηρήσεις:

.....

.....

4. Κάθιση σκυροδέματος

α. Λόγος N/T

ΝΑΙ

ΟΧΙ

β. Ποσότητα τσιμέντου

ΝΑΙ

ΟΧΙ

γ. Καμπύλες υλικών και μίγματος	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
δ. Υλικά/ ανά σύνθεση	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
ε. Κάθιση	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
στ. Δοκίμια σκυροδέματος	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
ζ. Κατηγορία τσιμέντου	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
η. Διαστάσεις δοκιμίων	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
θ. Βάρος σκυροδέματος	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____

Παρατηρήσεις: _____

5. Οργάνωση Μονάδος

5.1 Ημερολόγιο – Μητρώο

- Θεωρημένο (ΚΕΔΕ/ΠΕΔΕ:.....)	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
- Αντοχή δοκιμίων (ένα δοκίμιο ανά κατηγορία και Ημέρα παραγωγής)	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
- Έλεγχος πληθυσμού δοκιμίων στο θάλ.	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
- Κάθιση	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
- Τυπική απόκλιση κατηγορίας S60	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
- Θερμοκρασίες ατμόσφαιρας στις 8 ⁰⁰ , 15 ⁰⁰ , min, max	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
- Θερμοκρασίες σκυροδέματος (0C)	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
- Αποτελέσματα ελέγχων:		
- αδρανών:	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
- τσιμέντου:	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
- νερού:	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
- προσθέτων:	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____

Παρατηρήσεις: _____

5.2 Εγκαταστάσεις υλικών

5.2.1 Αδρανή υλικά

- Χωριστά διαμερίσματα για 3 κλάσματα NAI OXI
- Ζυγιστήρια – Έλεγχος με πρότυπα σταθμά (ακρίβεια $\pm 0,5\%$ της ικανότητας τους) NAI OXI
- Τροφοδοσία υλικών NAI OXI

5.2.2 Τσιμέντο

- Αποθήκευση σε σιλό κατά τύπο και κατά κατηγορία NAI OXI
- Ζυγιστήριο τσιμέντου (ακρίβεια $\pm 0,5\%$ της ικανότητας τους) NAI OXI

5.2.3 Νερό

- Έλεγχος διάταξης μέτρησης νερού (κατά βάρος / κατ' όγκο) NAI OXI

5.2.4 Πρόσθετα

- Ζυγιστήριο προσθέτων NAI OXI
- Δεξαμενές -Επιβραδυντικού NAI OXI
- -Υπερ-ρευστοποιητικού NAI OXI

Παρατηρήσεις:

.....

.....

6. Μηχανικός εξοπλισμός

6.1 Αναμκτήρας

- Χωρητικότητα (m³) Χρόνος ανάμιξης sec.
- Μετρητής συνεκτικότητας (KW meter)
- Καταγραφικό (Printer)

- Αποστολή καταγραφικών σε πελάτη; NAI _____ OXI _____

6.2 Αυτοκίνητα

6.2.1. Αναγραφή

- Κενού όγκου αναμικτήρα ή αναδευτήρα αναδέυσεως NAI _____ OXI _____
- Μέγιστη ικανότητα φορτώσεως (m³) NAI _____ OXI _____
- Προβλεπόμενη ταχύτητα αναμίξεως και NAI _____ OXI _____

6.2.2 Έλεγχος ομοιομορφίας παραδιδόμενου σκυροδέματος _____

Παρατηρήσεις: _____

7. Χειριστήριο

- 7.1 Συμφωνία μελέτης σύνθεσης με τη σύνθεση που χρησιμοποιείται ως προς τις ποσότητες των υλικών NAI _____ OXI _____

- 7.2 Ακρίβεια ζυγίσεως ως προς τις προβλεπόμενες ποσότητες από την μελέτη σύνθεσης:
 - Αδρανή ± 3% του βάρους τους NAI _____ OXI _____
 - Τσιμέντα ± 2% του βάρους τους NAI _____ OXI _____
 - Νερό ± 2% του βάρους τους NAI _____ OXI _____
 - Πρόσθετα ± 3% του βάρους τους ή του όγκου τους NAI _____ OXI _____

Παρατηρήσεις: _____

8. Αρχείο με τα επιστρεφόμενα δελτία αποστολής

- Έχουν συμπληρωθεί οι χρόνοι άφιξης και αναχώρησης; NAI OXI
- Υπάρχουν διαφορές μεταξύ του χρόνου φόρτωσης και χρόνου εκφόρτωσης στο έργο μεγαλύτερες από : 1½ - 2 ώρες; NAI OXI

Παρατηρήσεις:

.....

.....

9. Στοιχεία Δελτίου Αποστολής

(να γίνει έλεγχος αν αναγράφονται τα παρακάτω στοιχεία)

- Μονάδα παραγωγής NAI OXI
- Αριθμός οχήματος NAI OXI
- Εργοτάξιο και κατασκευαστής του έργου NAI OXI
- Ημερομηνία παραγωγής NAI OXI
- Παραγγέλων (πελάτης) NAI OXI
- Συνολική ποσότητα παραγγελίας NAI OXI
- Ειδική αναφορά για ποσότητα σκυροδέματος $\leq 20 \text{ m}^3$ NAI OXI
- Κατηγορία αντοχής NAI OXI
- Κατηγορία κάθισης NAI OXI
- Ώρα φόρτωσης στο εργοστάσιο NAI OXI
- Ώρα άφιξης στο εργοστάσιο NAI OXI
- Ώρα έναρξης εκφόρτωσης NAI OXI
- Ποσότητα νωπού σκυροδέματος εκφρασμένη σε τόνους και m^3 NAI OXI
- Παραπομπή σε τυπική σύνθεση ή στα παρακάτω:
 - συμβατική αντοχή NAI OXI
 - φαινόμενο βάρος NAI OXI

-εργάσιμο	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
-αναλογία υλικών	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
· Ποσότητα νερού σε kg/ m ³	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
· Τύπος τσιμέντου	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
· Ελάχιστη ποσότητα τσιμέντου kg/ m ³	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
· Μέγιστος λόγος N/T	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
· Αν έχει προστεθεί επιβραδυντικό	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
· Θέση κοκκομετρικής γραμμής μίγματος αδρανών για «ειδικά» σκυροδέματα	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
· Μορφή και αριθμός δοκιμίων	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
· Ώρα λήψης δοκιμίων στο εργοτάξιο	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
· Αποτελέσματα ελέγχου κάθισης	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
· Απαιτήσεις που προκύπτουν από ειδική χρήση σκυροδέματος	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____
· Υπογραφές δελτίου από παραδίδοντα και παραλαμβάνονται	ΝΑΙ _____	ΟΧΙ _____

10. Να γίνει έλεγχος της συμφωνίας του φαινόμενου βάρους της μελέτης σύνθεσης με το φαινόμενο βάρος που προκύπτει από το δελτίο.

11. Να σημειωθεί ο αριθμός των δοκιμίων που ελήφθησαν σε σχέση με το συνολικό όγκο σκυροδέματος που παραδόθηκε, για διάστημα μεγαλύτερο των 6 μηνών.

Αριθμός δοκιμίων:

Ποσότητα σκυροδέματος:

12. Αποθήκες

- Σύγκριση ζυγιζόμενης ποσότητας τσιμέντου – αδρανών (ή ποσότητας από την τυπική σύνθεση και τα δελτία αποστολής σκυροδέματος) με τα δελτία αποστολής τσιμέντου – αδρανών.

· Άδεια σιλό τσιμέντου (σύσταση) ΝΑΙ ΟΧΙ

Παρατηρήσεις:

.....

.....

.....

ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΛΕΓΧΟΥ από:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

.....

.....

ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΕΠΩΝΥΜΟ

ΙΔΙΟΤΗΤΑ

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

.....

.....

.....

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ: ___ / ___ / ___.

5.6 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΆΛΛΕΣ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ

5.6.1 Γενικά

Στόχος είναι η παραγωγή αδρανών υλικών υψηλών προδιαγραφών από την ανακύκλωση παλαιών σκυροδεμάτων ή από δευτερογενείς πηγές σύμφωνα με τις τρέχουσες υποδείξεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU).

Η ανακύκλωση του σκυροδέματος είναι μία εξελισσόμενη μέθοδος, η οποία αξιοποιεί τα παλαιά σκυροδέματα, που προέρχονται από κατεδαφίσεις, σεισμούς ή άλλες καταστρεπτικές ενέργειες (σεισμοί, καταρρεύσεις). Είναι απαραίτητη από οικονομική αλλά και περιβαλλοντική άποψη. Συνήθως στο παρελθόν τα μάζα των οικοδομών μεταφερόντουσαν σε χωματερές ως υλικό πλήρωσεως, με τα γνωστά προβλήματα λόγω ελλείψεως χώρων αποθέσεως (βλ. περίπτωση του ΧΥΤΑ Λιοσίων). Σε πολλές χώρες της Ευρώπης και Αμερικής η ανακύκλωση εφαρμόζεται με νόμο. Αν το ποσοστό των χρησιμοποιούμενων αδρανών υλικών από ανακύκλωση είναι μικρότερο από το νομοθετημένο ποσοστό σε σχέση με το συνολικό όγκο σκυροδέματος, η άδεια οικοδομήσεως αφαιρείται. Το ποσοστό αυτό κυμαίνεται σήμερα μεταξύ 20 και 30%, θα αυξηθεί όμως σύντομα.

Η ανακύκλωση έχει πολλά πλεονεκτήματα, έτσι ώστε με την αυξημένη ευαισθησία για την προστασία του περιβάλλοντος, τους αυστηρότερους περιβαλλοντικούς νόμους και την προσπάθεια να ελαχιστοποιηθεί το κόστος των κατασκευών, να αποτελεί αναγκαιότητα και καθήκον. Ένα ακόμη πλεονέκτημα της ανακύκλωσης είναι η παραγωγή άμμου ελεγχόμενης κοκκομετρικής διαβάθμισης και ποσοστού παιπάλης, το οποίο οφείλεται στις σύγχρονες μεθόδους πλύσεως του λεπτόκοκκου υλικού.

Τελευταία οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης προδιαγράφει ποσοστό ανακύκλωσης από διάφορες κατασκευές και κατεδαφίσεις μέχρι το 2020 της τάξεως του 70% (Αναφορά: “Building the future with CDE”).

Οι περιοριστικές διατάξεις προστασίας του περιβάλλοντος για την εγκατάσταση νέων λατομείων δυσχεραίνουν το πρόβλημα της παραγωγής αδρανών υλικών για την κάλυψη των συνεχώς αυξανομένων αναγκών. Το αποτέλεσμα είναι η παραβίαση των νομοθετημένων διατάξεων και η ανεπανόρθωτη καταστροφή του περιβάλλοντος ακόμη και σε «προστατευόμενες» περιοχές. Είναι ανεπανάληπτες οι πληγές που δημιουργούν τα υπαίθρια λατομεία σε όλα τα βουνά της χώρας, ακόμη και κοντά σε πόλεις, τουριστικά θέρετρα και αρχαιολογικά κέντρα. Είναι γνωστό ότι τα λατομεία αυτά δημιουργούν τεράστια προβλήματα, τα οποία δεν αντιμετωπίζονται με νομοθετικά διατάγματα ή ευχολόγια από οργανώσεις περιβαλλοντολογικής προστασίας. Ιδιαίτερα για το Ελληνικό περιβάλλον οι καταστροφές που γίνονται είναι πέραν πάσης λογικής.

Η σύγχρονη τεχνολογία προσφέρει αξιόλογες λύσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Μία από αυτές είναι η παραγωγή εμπορεύσιμων αδρανών υλικών από παλαιά σκυροδέματα, που προέρχονται από κατασκευές και κατεδαφίσεις, και από την απόπλυση υπολειμμάτων σκυροδέματος των εγκαταστάσεων παραγωγής. Τα υλικά από την ανακύκλωση παλαιών σκυροδεμάτων, μπορούν μετά από κατάλληλη επεξεργασία να χρησιμοποιηθούν ως αδρανή υλικά, εφάμιλλα προς τα πρωτογενή παραγόμενα υλικά και σε πολλές περιπτώσεις ακόμη καλύτερα.

Το Ηνωμένο Βασίλειο, το οποίο θεωρείται πρωτοπόρο στην Ευρώπη στον τομέα της ανακύκλωσης, από αρκετά χρόνια εφαρμόζει με νόμο την ανακύκλωση αδρανών υλικών από πρωτογενείς και δευτερογενείς πηγές. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του 2005, περίπου 275 εκατομ. τόνοι αδρανών υλικών χρησιμοποιούνται κάθε χρόνο ως πρώτη ύλη στις δομικές κατασκευές. Από αυτά μόνο 75 εκατομ. τόνοι (περίπου 23 %) προς το παρόν προέρχονται από ανακύκλωση ή δευτερεύουσες πηγές. Η Αγγλική κυβέρνηση μελετά προγράμματα αυξήσεως της παραγωγής ανακυκλωμένων υλικών από παλαιά σκυροδέματα κατά 20 εκατομ τόνους ετησίως μέχρι το 2012.

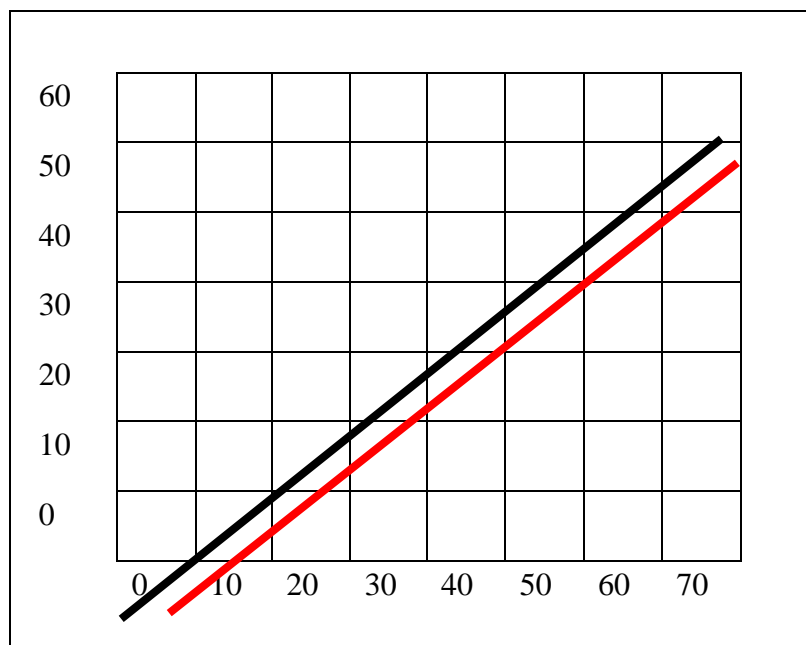
Σύμφωνα με στατιστική της Ευρωπαϊκής Ένωσης το έτος 2000 πετάχτηκαν 60 εκατομ. τόνοι αδρανών υλικών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στις κατασκευές. Τέτοια υλικά είναι δευτερογενή προϊόντα από λατομεία, υψικάμινες ή τέφρα εργοστασίων επεξεργασίας λιγνίτη, σκυροδέματα από κατεδαφίσεις και άλλα. Με βάση εργαστηριακές μετρήσεις η αντοχή του ανακυκλωμένου σκυροδέματος είναι περίπου 10% κατώτερη της αντίστοιχης του κανονικού. Το ποσοστό 10% μπορεί να ελαττωθεί με την εφαρμογή των συγχρόνων βελτιωμένων μεθόδων παραγωγής των αδρανών υλικών από ανακύκλωση σε οργανωμένα κέντρα παραγωγής.

Η έρευνα για την εκπόνηση σοβαρού σχεδιασμού πρέπει να αναφέρεται στην προσπάθεια ελαχιστοποίησης των υλικών που απορρίπτονται ως ακατάλληλα.

Με βάση εργαστηριακές μετρήσεις (Πίνακας 5.1) η αντοχή του ανακυκλωμένου σκυροδέματος είναι περίπου 10 % κατώτερη της αντίστοιχης του κανονικού. Το ποσοστό 10 % μπορεί να ελαττωθεί με την εφαρμογή βελτιωμένων μεθόδων παραγωγής των αδρανών υλικών από ανακύκλωση σε οργανωμένα κέντρα παραγωγής.

Αντοχή θλίψεως ανακυκλωμένου σκυροδέματος

β_{D28} N/mm²



$\beta_{D28,v}$ N/mm²

Αντοχή θλίψεως κανονικού σκυροδέματος

Πίνακας 5.1: Αντοχή σε θλίψη από ανακυκλωμένα αδρανή υλικά σε συνάρτηση από την αντίστοιχη αντοχή κανονικού σκυροδέματος.

5.6.2 Μέθοδοι ανακύκλωσης παλαιών σκυροδεμάτων

Τα συγκροτήματα ανακύκλωσης διακρίνονται σε συγκροτήματα παραγωγής αυτοφερόμενα για χρησιμοποίηση μέσα στο εργοτάξιο, και μόνιμα συγκροτήματα εγκατεστημένα σε οργανωμένες κεντρικές μονάδες δημόσιες, κοινοτικές ή ιδιωτικές, οι οποίες ανταποκρίνονται στις νέες τεχνολογικές εξελίξεις.

Τα υλικά τα οποία συλλέγονται από την καθαίρεση σκυροδέματος μεταφέρονται στο κέντρο ανακύκλωσης και αρχικά τροφοδοτούνται στο θραυστήρα πρόθραυσης. Μπορεί οι πέτρες και τα συντρίμια σκυροδέματος να περιέχουν διάφορα άλλα υλικά όπως άσφαλτο, ξύλα, τούβλα, χαρτιά, πλαστικά, και ακαθαρσίες. Τα μηχανήματα θραύσεως επεξεργάζονται μόνο σκυροδέματα

που είναι απαλλαγμένα από τα ακατάλληλα αυτά υλικά, τα οποία απομακρύνονται με ειδικές διατάξεις. Μέταλλα όπως κομμάτια από ράβδους οπλισμού γίνονται δεκτά, αφού μπορεί να αφαιρεθούν με μαγνήτες ή άλλες διατάξεις διαχωρισμού και στη συνέχεια να ανακυκλωθούν με τήξη για άλλες χρήσεις.

5.6.2.1 Αυτοφερόμενα συγκροτήματα ανακύκλωσης

Η θραύση στο εργοτάξιο κατεδάφισης μπορεί να γίνει με αυτοφερόμενα θραυστικά συγκροτήματα, τα οποία μειώνουν το κόστος κατασκευής και την ατμοσφαιρική ρύπανση, που δημιουργείται από τη μεταφορά υλικών προς και από το λατομείο. Τα κινητά συγκροτήματα ανακύκλωσης τοποθετούνται μέσα στο εργοτάξιο του έργου. Έχουν συγκριτικά χαμηλό κόστος και μπορεί ένα συγκρότημα να αποσβεστεί σε ένα μεγάλο έργο. Τα μεγάλα αυτοφερόμενα συγκροτήματα μπορούν να επεξεργαστούν μέχρι 400 m³/h μπαζών. Τα συγκροτήματα αυτά αποτελούνται από ένα θραυστήρα μπαζών σκυροδέματος, πλευρικό μεταφορέα απόθεσης ακατάλληλων υλικών, θραυστήρα δευτερογενούς θραύσης, συγκρότημα κοσκινίσματος, και ταινιόδρομο επαναφοράς του υπερδιάστατου υλικού από το κόσκινο στο θραυστήρα για συμπληρωματική θραύση. Σε περίπτωση μικρών ποσοτήτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρά αυτοφερόμενα συγκροτήματα μέχρι 100 m³/h, τα οποία μπορούν να εγκατασταθούν σε στενούς χώρους μέσα σε πόλεις.

Τα πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης κατάλληλων αυτοφερόμενων συγκροτημάτων ανακύκλωσης μπαζών σκυροδέματος είναι:

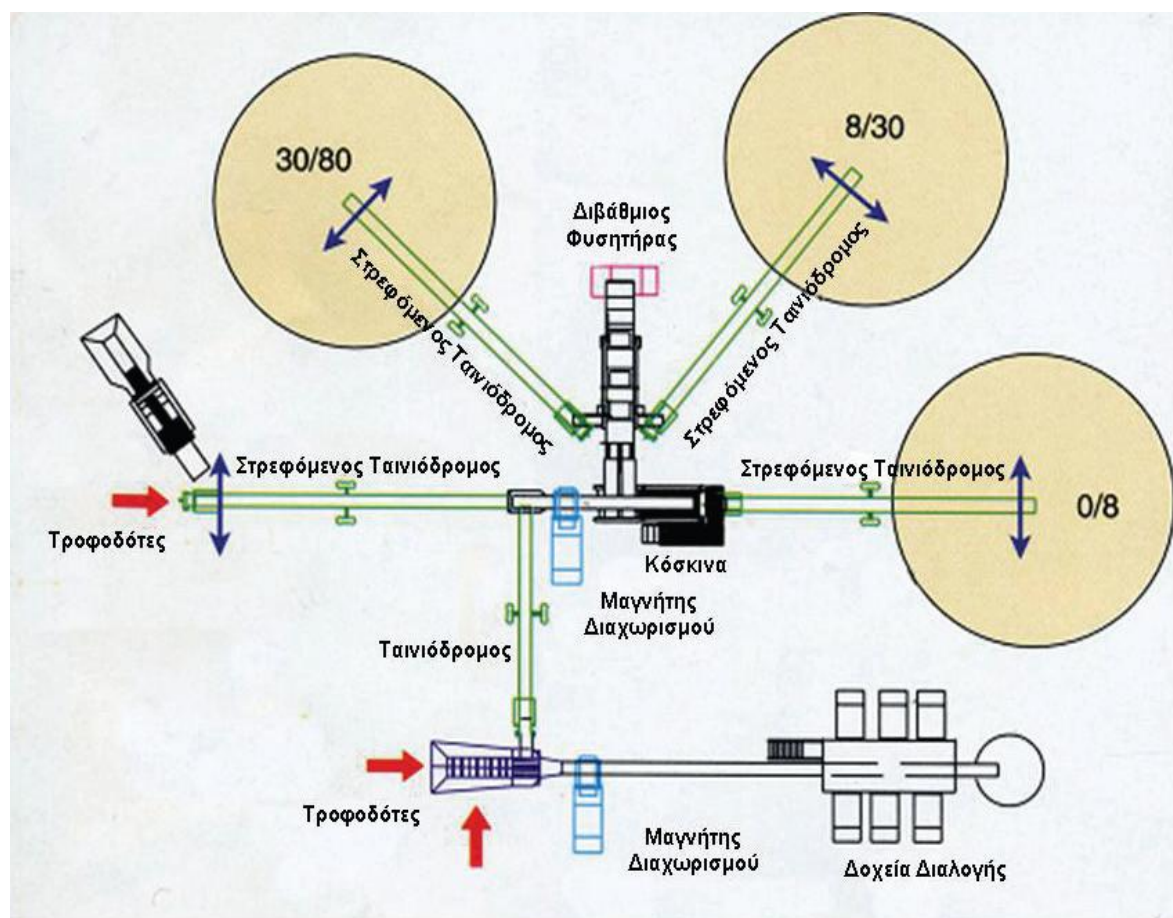
- Δεν υπάρχουν έξοδα απομακρύνσεως των μπαζών στη χωματερή και μεταφοράς αδρανών στο εργοτάξιο.
- Μειωμένοι άεργοι χρόνοι (αναμονή οχημάτων, προετοιμασία προσβάσεων κ.α.), αύξηση της παραγωγής, μειωμένο εργατικό κόστος.

- Με κατάλληλες προστατευτικές διατάξεις δεν υπάρχουν παράπονα από τους περιοίκους, ή αυτές μειώνονται στο ελάχιστο.

Δεν ενοχλούν την κυκλοφορία οχημάτων και πεζών, δεν ρυπαίνουν τους δρόμους κυκλοφορίας, δεν προκαλούν ρύπανση από καυσαέρια ή θορύβους.

5.6.2.2 Μόνιμα συγκροτήματα ανακύκλωσης

Τα μόνιμα συγκροτήματα των κέντρων ανακύκλωσης, όπως χρησιμοποιούνται σε πολλές Ευρωπαϊκές πόλεις, είναι ολοκληρωμένα εργοστάσια παραγωγής με εξελιγμένα μηχανήματα καθαρισμού, θραύσεως, μηχανικής διαλογής με μαγνήτες, διαχωρισμού, κοσκινίσματος, πλύσεως του λεπτόκοκκου υλικού και ελέγχου της παραγωγής. Η ποιότητα των παραγομένων από την ανακύκλωση υλικών στα συγκροτήματα αυτά είναι εφάμιλλη ή και ανώτερη από τα συμβατικά υλικά, αφού η τελευταία βαθμίδα παραγωγής περιλαμβάνει και πλύσιμο της άμμου, δηλαδή τον έλεγχο του ανεπιθύμητου λεπτόκοκκου υλικού σε επιθυμητές τιμές, εικόνα 5.3.



Εικόνα 5.3. Συγκρότημα ανακύκλωσης παλαιού σκυροδέματος. Πηγή Hartl

Για τη διαλογή ανάμικτων υλικών και την απομάκρυνσή των ακατάλληλων χρησιμοποιείται οπτικό σύστημα, όπως είναι των εργοστασίων O.E.M. Recycling Equipment, γνωστό με το εμπορικό σήμα «Aquila» (= αετός). Το σύστημα έχει δοκιμαστεί με επιτυχία στη διαλογή μικτών υλικών, όπως ξύλα, χαρτιά, πλαστικά υλικά, PVC, γύψος, χώμα, και άλλα. Το οπτικό σύστημα εντοπίζει τα ακατάλληλα υλικά και τα διαχωρίζει, έτσι ώστε στο συγκρότημα να τροφοδοτούνται καθαρά υλικά (εικόνες 5.4-5.5).



Εικόνα 5.4.Οπτικό σύστημα διαλογής Aquila. Κατασκ. Eagle Vizion



Εικόνα 5.5.Κέντρο διαχωρισμού και κοσκινίσματος



Εικόνες 5.6-5.7. De-Stoner. Διαχωριστής και διαλογέας υλικών Κατασκ. Ο.Ε.Μ.



Εικόνα 5.8.Μεταφορέας



Εικόνα 5.9. Ιμάντας διαλογής. Κατασκ. OEM. Συστήματα απομάκρυνσης ακατάλληλων προσμίξεων από υλικά για ανακύκλωση

Πολλοί παραγωγείς αδρανών υλικών, οι οποίοι εφαρμόζουν την ανακύκλωση, ακολουθούν και τις δύο μεθόδους: Την ανακύκλωση στο λατομείο με μόνιμο συγκρότημα, και την ανακύκλωση στο εργοτάξιο του έργου με κινητό συγκρότημα. Οι παραγωγείς ζητούν από τους εργολάβους να φέρουν τα μάζα τους στο λατομείο. Το υλικό αυτό είναι μία έτοιμη πρώτη ύλη, η οποία μετά την επεξεργασία μετατρέπεται σε χρησιμοποιήσιμα αδρανή υλικά.

Οι εργολάβοι έχουν το πλεονέκτημα, ότι μπορούν να επιλέγουν το πλησιέστερο προς το εργοτάξιο τους λατομείο με κέντρο ανακύκλωσης και να επιστρέφουν τα φορτηγά τους με πρωτογενή ή ανακυκλωμένα αδρανή, αντί να επιστρέφουν άδεια από τη χωματερή, η οποία πολλές φορές είναι δυσεύρετη. Το κινητό συγκρότημα έχει το πλεονέκτημα της συγκριτικά χαμηλής επένδυσης, αλλά δεν έχει την ικανότητα με μόνο μηχανικά μέσα (κατάλληλα μηχανήματα πρωτογενούς και δευτερογενούς θραύσης) να ελέγχει το ποσοστό του ανεπιθύμητου λεπτού υλικού, όπως παιπάλη και διάφορες άλλες ρυπαντικές προσμίξεις. Εκτός αν το εργοτάξιο βρίσκεται κοντά σε ποτάμι και υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησεως και απόρριψης του νερού πλύσεως στα κατάντι του πλυντηρίου, αν βέβαια αυτό επιτρέπεται. Τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί το κινητό συγκρότημα κόσκινου με καταιονισμό νερού και αποστραγγιστικό κοχλία.

5.6.3 Διαδικασία παραγωγής

Το συγκρότημα ανακύκλωσης πρέπει να είναι κατάλληλο για την επεξεργασία μεγάλου εύρους μικτών υλικών που μπορεί να περιέχουν χαρτιά, πλαστικά, πολυστερίνες και σκουπίδια, όπως χώμα, άργιλο και ξύλα. Όταν το συγκρότημα δεν πλένει ανακυκλωμένα υλικά σε ποσότητα της τάξεως των 75 m³/h, τότε χρησιμοποιείται για το πλύσιμο των αποθεμάτων του εργοταξίου και για την αφαίρεση των ανεπιθύμητων λεπτόκοκκων προσμίξεων από την άμμο. Με τη μέθοδο αυτή ελέγχεται η ποιότητα της εργοταξιακής άμμου σύμφωνα με τις προδιαγραφές του παραγομένου σκυροδέματος.

Τα μικτά υλικά διάφορων συστατικών φτάνουν στο εργοτάξιο ανακύκλωσης με φορτηγά οχήματα. Με την άφιξή τους στη γεφυροπλάστιγγα το φορτίο εξετάζεται με μία ευρυγώνιο κάμερα για τον έλεγχο της καταλληλότητας επεξεργασίας από το συγκρότημα πλύσεως. Τα ακατάλληλα φορτία οδηγούνται σε χωματερή για απόρριψη, ενώ τα κατάλληλα οδηγούνται στο συγκρότημα πλύσεως. Μεγάλα κομμάτια από κατεδαφίσεις τεμαχίζονται με

κρουστικό σφυρί ή «ψαλίδι» που είναι προσαρμοσμένο στην άκρη του προβόλου υδραυλικού εκσκαφέα κατάλληλου μεγέθους. Τα ψαλίδια μπορούν να αναπτύξουν δυνάμεις μέχρι 600 t. Το μεγαλύτερο μέρος των υλικών μεταφέρεται με φορτωτή σε ένα σιαγονοφόρο θραυστήρα. Το τροφοδοτούμενο υλικό περνάει πρώτα από ένα δονητικό διαχωριστή πρώτης βαθμίδας για την αφαίρεση των υπερδιάστατων υλικών >100mm.



Εικόνα 5.10. Θρυμματιστής Σκυροδέματος. Krupp CC4000

Ο θρυμματιστής σκυροδέματος, concrete cruncher, είναι κατάλληλος για την κατάτμηση σκυροδέματος σε μικρά κομμάτια στο δάπεδο του εργοταξίου. Με κατάλληλη διαμόρφωση των εσωτερικών οδόντων κόβει και διαχωρίζει το χαλύβδινο οπλισμό. Η εργασία αυτή αυξάνει την παραγωγικότητα του συγκροτήματος ανακύκλωσης.

Τα μεταλλικά αντικείμενα απομακρύνονται με ένα μαγνήτη που είναι τοποθετημένος πάνω από τον τροφοδοτικό ιμάντα. Ο ιμάντας μεταφέρει το υλικό σε ένα κόσκινο αποπλύσεως με καταιονισμό νερού. Πολτός υλικού <5mm οδηγείται σε ένα συγκρότημα πλύσεως και επεξεργασίας άμμο με ενσωματωμένο υδροκυκλώνα, ο οποίος αφαιρεί τα αιωρούμενα υλικά, όπως παιπάλη και άργιλο. Η άμμος αφυδατώνεται σε ποσοστό υγρασίας μικρότερο του 12% και είναι απαλλαγμένη από μικροϋλικά κάτω των 40 micron

(=10-3mm). Η διαδικασία αυτή δίνει εμπορεύσιμη λεπτή άμμο χωρίς την ανάγκη προκοσκινίσματος ή αφαιρέσεως φυτικής γης από το τροφοδοτούμενο υλικό, έτσι ώστε να βελτιώνεται σημαντικά η ποιότητα των παραγομένων προϊόντων, ιδιαίτερα της λεπτόκοκκης άμμου (εικόνα 5.12).



Εικόνα 5.11. Συγκρότημα ανακύκλωσης παλαιού σκυροδέματος. Πηγή Hartl

Όπως σε όλα τα συγκροτήματα πλύσεως, η ορθή διαχείριση του νερού αποπλύσεως είναι κρίσιμη για τη λειτουργία και την οικονομία της παραγωγής. Στα συγκροτήματα ανακύκλωσης αυτό είναι ένα τεχνικό πρόβλημα που οφείλεται στη μεταβαλλόμενη σύνθεση / ρύπανση του τροφοδοτούμενου υλικού. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι μεταξύ των οποίων επικρατέστερη είναι η μέθοδος του «*πυκνωτή λάσπης*» (εικόνα 5.12) με

ενσωματωμένη πολυηλεκτρολυτική διάταξη οργανικής βάσης, η οποία υποστηρίζει τη διαχωριστική ικανότητα. Η διάταξη αυτή προκαλεί ταχύτατη καθίζηση των πλεοναζόντων στερεών υλικών (φαινόμενο *θρόμβωσης*), τα οποία ως πυκνή λάσπη μεταφέρονται με αντλίες λάσπης σε μία εξωτερική απόθεση σε απόσταση 300-400 μέτρων από το συγκρότημα. Το καθαρό νερό υπερχειλίζει τη δεξαμενή του πυκνωτή και φιλτράρεται για την αφαίρεση των υπόλοιπων αιωρούμενων ανεπιθύμητων προσμίξεων, όπως ελαιώδεις αφροί, και στη συνέχεια μεταφέρεται στη δεξαμενή νερού του συγκροτήματος. Από τη θέση αυτή το νερό επανακυκλοφορεί στην απαιτούμενη καθαρότητα και ποσότητα στο συγκρότημα πλύσεως. Με τον πυκνωτή λάσπης δεν χρειάζονται πλέον οι υπαίθριες δεξαμενές καθίζησης.



Εικόνα 5.12. Μηχανικές μονάδες του συγκροτήματος πλύσεως και διαβαθμίσεων αδρανών υλικών από ανακύκλωση παλαιών σκυροδεμάτων. (πηγή CDE Ireland)

Τελευταία εξέλιξη στη διαχείριση του νερού και των αποβαλλόμενων στερεών είναι η Φιλτρόπρεσα με ενσωματωμένα φίλτρα (μήκους περίπου 16m), η οποία τοποθετείται μετά τον πυκνωτή λάσπης. Λειτουργεί με πίεση 15 bar και έχει ικανότητα διαχείρισης, ανάλογα με το συγκρότημα, μέχρι 30 t/h απόβλητων στερεών, τα οποία με τη βοήθεια της φιλτρόπρεσας διαμορφώνονται σε «πίτες» μικρού όγκου για εύκολη μεταφορά ως χρησιμοποιήσιμο υποπροϊόν. Το περιεχόμενο της πίτας σε στερεά είναι της τάξεως του 90%. Η λειτουργία του συγκροτήματος είναι αυτόματη και ελεγχόμενη από ηλεκτρονική διάταξη.

Τα αδρανή υλικά και οι ανεπιθύμητοι κόκκοι περνάνε κατ' ευθείαν από το πρωτογενές κόσκινο καταιονισμού σε ένα πλυντήριο με δίδυμους άξονες μήκους 8 μέτρων, οι οποίοι φέρουν πτερύγια από χρωμο-μολυβδένιο μεγάλης διαμέτρου περίπου 1,5 μέτρων. Η ταχύτητα περιστροφής των αξόνων ρυθμίζεται εύκολα, έτσι ώστε να προσαρμόζεται στα μεταβλητά χαρακτηριστικά του υλικού. Διάφορα ελαφρά μολυσματικά υλικά, όπως σκουριά, πλαστικά και οργανικά υλικά, ξύλα και χόρτα αιωρούνται και μετακινούνται προς ένα κόσκινο αφαίρεσης απορριμμάτων, το οποίο επανακτά το νερό και τα λεπτόκοκκα υλικά, τα οποία οδηγούνται στη μονάδα πλύσεως άμμου. Διάφορα συντρίμματα που είναι προϊόντα τριβής μεταφέρονται σε ένα αποστραγγιστικό κόσκινο. Τα λεπτόκοκκα υλικά που απελευθερώνονται και το νερό οδηγούνται σε ένα φρεάτιο με υποβρύχια αντλία. Το φρεάτιο συλλέγει επίσης νερά αποπλύσεως και υπόγεια νερά, τα οποία τελικά αντλούνται στο κόσκινο καταιονισμού.

Τα πλυμένα και αποστραγγισμένα αδρανή υλικά μεγαλύτερα των 5mm μεταφέρονται από το κόσκινο αποστραγγίσεως σε ένα κόσκινο δύο πλεγμάτων χωρίς νερό για την τελική κοκκομετρική διαβάθμιση. Η διεργασία παράγει πέντε εμπορεύσιμα προϊόντα: άμμος <5mm, 5-10mm, 10-20mm, 20-40mm, 40-100mm, τα οποία ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές παραγωγής σκυροδέματος.

Ακόμη και τα προϊόντα της πρέσας σε μορφή πίτας, τα οποία είναι συμπιεσμένη λάσπη και άργιλος, θεωρούνται εμπορεύσιμα προϊόντα ως αργιλικό επίχρισμα για την επάλειψη καναλιών και οχετών νερού. Τα μεταλλικά υλικά, τα οποία συλλέγονται από το μαγνήτη πωλούνται ως παλιοσίδερα (scrap).

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στους μαγνήτες αφαίρεσης των μετάλλων από το ρεύμα του υλικού. Οι μαγνήτες δεν χρησιμεύουν μόνο για την ανάκτηση μετάλλων αλλά και για να συμβάλλουν στην παραγωγή καθαρών υλικών, όπως αδρανών υλικών και ξύλων. Το κόσκινο της πρώτης βαθμίδας διαχωρίζει υλικά μεγέθους <30cm. Το κόσκινο της δεύτερης βαθμίδας αφαιρεί από το υλικό αυτό τα ανεπιθύμητα λεπτά υλικά. Το υπόλοιπο υλικό οδηγείται με ταινιόδρομο στο μαγνήτη, ο οποίος εκτρέπει τα μεταλλικά αντικείμενα από το ρεύμα του υλικού. Με μαγνήτες δινορευμάτων είναι δυνατή και η εκτροπή μη μεταλλικών υλικών, όπως αλουμίνιο, χαλκός και μπρούντζος.

Χρησιμοποιούνται μόνιμοι και ηλεκτρικοί μαγνήτες. Οι μόνιμοι μαγνήτες δεν απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια, γι' αυτό προτιμώνται στα αυτοφερόμενα κινητά συγκροτήματα. Στα Μόνιμα Κέντρα Ανακύκλωσης χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί μαγνήτες, οι οποίοι έχουν μεγαλύτερη μαγνητική ισχύ, επομένως έχουν τη δυνατότητα να ανυψώνουν βαρύτερα και μεγαλύτερα αντικείμενα. Διακρίνονται επίσης επίπεδοι μαγνήτες πάνω από την κεφαλή του ταινιόδρομου και μαγνήτες τύμπανου.

Το πλύσιμο των αδρανών υλικών προσθέτει υψηλή αξία στο τελικό προϊόν από ότι ο «ξηρός» διαχωρισμός. Η ικανότητα της παραγωγής άμμου υψηλής ποιότητας, η οποία αλλιώς θα πεταγόταν σε χωματερή, είναι ακόμη ένα σοβαρό πλεονέκτημα. Οι νέες εγκαταστάσεις με την εφαρμογή της σύγχρονης τεχνολογίας πλύσεως, δείχνει ότι η διαθεσιμότητα νερού και η διαχείριση των λεπτόκοκκων υλικών δεν αποτελούν πλέον σοβαρά εμπόδια για την αποδοτική πραγματοποίηση εμπορεύσιμων υλικών από υλικά που στο παρελθόν θεωρούντο σκουπίδια. Εναπόκειται τώρα στους διαχειριστές της ανακύκλωσης

και των κατεδαφίσεων να αποφασίσουν πως θα επενδύσουν στις νέες αυτές τεχνολογίες για τις οποίες η πράξη δείχνει ότι είναι κερδοφόρες.

5.6.4 Επανάκτηση υλικών από υπολείμματα σκυροδέματος

Η επεξεργασία υπολειμμάτων σκυροδέματος στα εργοστάσια παραγωγής και του νερού που χρησιμοποιείται για το πλύσιμο τους εφαρμόζεται από 25 χρόνια περίπου με συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία για την παραγωγή εμπορεύσιμης άμμου με ελεγχόμενο ποσοστό παιπάλης. Με την αξιοποίηση των υπολειμμάτων σκυροδέματος έχουν προκύψει σημαντικά οικονομικά οφέλη, τα οποία δικαιολογούν τις σχετικές επενδύσεις. Αυτά οφείλονται μεταξύ άλλων στη μείωση του κόστους απόθεσης των υπολειμμάτων σκυροδέματος, στην οικονομία του νερού πλύσεως, και στην επανάκτηση ακριβών υλικών, όπως είναι λεπτόκοκκος καθαρή άμμος απαλλαγμένη από παιπάλη και ζημιογόνες ρυπαρές προσμίξεις. Παράλληλα με την αύξηση της παραγωγικότητας, η ανακύκλωση των υπολειμμάτων βελτιώνει τις συνθήκες παραγωγής από την πλευρά του χρήστη για την ποιότητα του σκυροδέματος.

Σημειώνεται επίσης, ότι η διαδικασία ανακύκλωσης ανταποκρίνεται στις νομοθετημένες διατάξεις, οι οποίες ισχύουν σε πολλές χώρες για την επανάκτηση χρησιμοποιήσιμων υλικών και την προστασία του περιβάλλοντος. Διακρίνονται δύο συστήματα επανάκτησης:

- Επανάκτηση ανοικτού κυκλώματος.

Με το σύστημα ανακύκλωσης υπολειμμάτων σκυροδέματος ανοικτού κυκλώματος, τα υλικά (άμμος και χαλίκι) επανακτώνται και τροφοδοτούνται στο συγκρότημα παραγωγής. Το νερό συλλέγεται σε μία δεξαμενή καθίζησης και στη συνέχεια χρησιμοποιείται πάλι για το πλύσιμο. Τα προϊόντα του πλυσίματος, μικρόκοκκα υλικά, τα οποία κατακάθονται στον πυθμένα της

δεξαμενής μαζεύονται με φορτωτή και χρησιμοποιούνται σε άλλες χρήσεις (εικόνα 5.13).



Εικόνα 5.13. Επανάκτηση υλικών από υπολείμματα σκυροδέματος (πηγή BIBCO), Beilstein).

- Επανάκτηση κλειστού κυκλώματος.

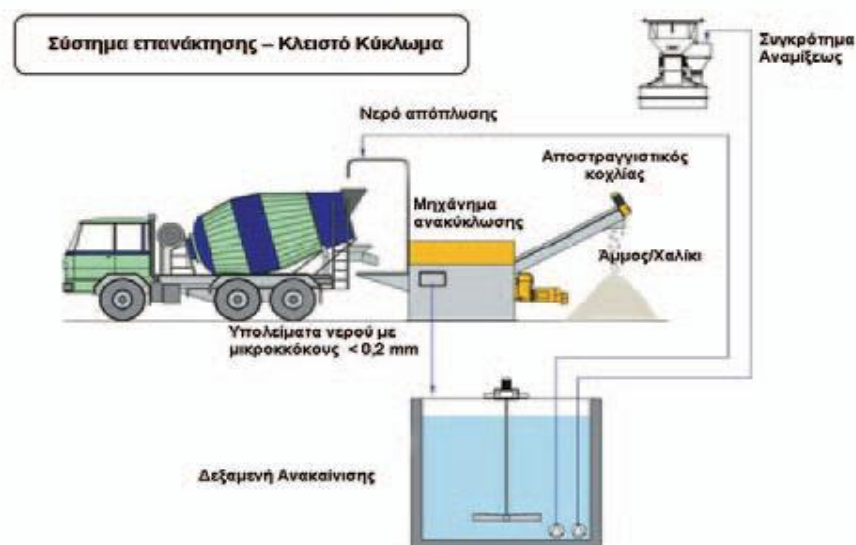
Στο κλειστό κύκλωμα, μαζί με την επανάκτηση των υπολειμμάτων σκυροδέματος οδηγείται στο συγκρότημα παραγωγής σκυροδέματος ολόκληρη η ποσότητα του υπολειπόμενου νερού, στο οποίο συνυπάρχουν λεπτόκοκκα υλικά και τσιμέντο. Με το σύστημα αυτό η απώλεια υλικού είναι μηδενική (εικόνα 5.14).

Το συγκρότημα επανακύκλωσης μπορεί να είναι κινητό ή σταθερό. Τα βασικά μηχανήματα της εγκατάστασης είναι το κόσκινο καταιονισμού, το μηχάνημα πλύσεως, το οποίο διαμορφώνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις και το

μέγεθος της παραγωγής, οι δεξαμενές καθιζήσεως, ο αποστραγγιστικός κοχλίας και οι μεταφορικές και τροφοδοτικές διατάξεις.

5.6.5 Ανακύκλωση υπολειμμάτων σκυροδέματος στη βιομηχανία προκατασκευών

Η ανακύκλωση υπολειμμάτων βρίσκει εφαρμογή επίσης στη βιομηχανία προκατασκευασμένων στοιχείων. Οι απαιτήσεις στην παραγωγή είναι διαφορετικές από αυτές των εργοστασίων ετοιμού σκυροδέματος. Το κέντρο βάρους στα εργοστάσια προκατασκευής βρίσκεται στην επεξεργασία του νερού και της καθαρότητας του (εικόνα 5.14).



Εικόνα 5.14. Επανάκτηση υλικών από υπολείματα σκυροδέματος, κλειστό κύκλωμα (πηγή BIBCO, Beilstein).

Το πλεόνασμα νερού, το οποίο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατ' ευθεία στην ανάμιξη, διυλίζεται και μετατρέπεται σε καθαρό νερό, το οποίο χρησιμοποιείται μέσα στο εργοστάσιο, ή μετά από μια τελική επεξεργασία οδηγείται στο δίκτυο αποχέτευσης. Η λάσπη, αν είναι κατάλληλη, χρησιμοποιείται στο συγκρότημα αναμίξεως, έτσι ώστε να δημιουργείται ένα κλειστό κύκλωμα. Αν η ποσότητα της παραγόμενης λάσπης είναι περισσότερη

από την απαιτούμενη, τότε η εγκατάσταση εξοπλίζεται με μία φιλτρόπρεσα (εικόνα 5.15).



Μεταφερόμενο συγκρότημα ανακύκλωσης επί μεταλλικού ελκίθρου (κατασκ. Bibko)



Συγκρότημα ανακύκλωσης με δύο αποστραγγιστικούς κοχλίες παραγωγής δύο προϊόντων για κονιάματα και άνοδρο ασβέστιο (κατασκ. Bibko)



Συγκρότημα πλύσεως αδρανών Αιγίνης τριών διαβαθμίσεων για το σκυρόδεμα των λεκανών ηλεκτρολύσεως εργοστασίου Πεσινέ (κατασκ.

Εικόνα 5.15. Ανακύκλωση υπολειμμάτων σκυροδέματος σε εργοστάσιο παραγωγής προκατασκευασμένων στοιχείων.

5.6.6 Οικονομική θεώρηση

Η ανακύκλωση σκυροδεμάτων έχει αποδειχθεί, ότι είναι κερδοφόρα επιχείρηση, αλλά έχει ορισμένα όρια, τα οποία απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή. Αυτό είναι: Το κόστος μεταφοράς, το οποίο υποχρεώνει την αγορά να προσανατολίζεται προς τις αστικές περιοχές, πρέπει να διατηρείται σε χαμηλές τιμές. Η αγορά για ανακυκλωμένα υλικά επηρεάζεται από τις προδιαγραφές των χρηστών και από διάφορες προκαταλήψεις και επιφυλάξεις. Τελικά, η διαθεσιμότητα των τροφοδοτούμενων στο συγκρότημα υλικών προσδιορίζεται

από το μέγεθος των κατεδαφίσεων, η οποία κατά κανόνα γίνεται μέσα σε παλαιότερες και μεγαλύτερες πόλεις.

Οι τιμές κόστους διαφέρουν ανάλογα με την τοποθεσία και τις συνθήκες, που επικρατούν στην περιοχή. Η τεχνολογική βελτίωση της παραγωγής και τα κίνητρα που πρέπει να παρέχει η διοίκηση για την τόνωση της ανακύκλωση θα συντελέσουν στη μείωση του κόστους εκμετάλλευσης. Για τον λόγο αυτό απαιτείται εκπόνηση σχετικής οικονομοτεχνικής μελέτης.

V. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Οδηγός Σκυροδέματος 2007-2008
- Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΙΟΚ) 01-01-04-00 Μάιος 2006 “Συγκροτήματα παραγωγής σκυροδέματος”
- Spanos Industries, www.spanos.com.gr
- ACI Material Journal Title No 98-M46 “New Methodology for Design Self-Compacting Concrete”
- Wayne S. Adaska, “Controlled Low Strength Materials” ACI, 1994
- MAPEI – Stabilcem SCC, www.Mapei.com
- Marco Borroni “Self Compacting Concrete for High Performance Structures” - The 2nd International fib Congress – Naples 2006
- BIBM, CEMBURAEU, ERMCO, EFCA, EFNARC, THE SELF COMPACTING CONCRETE EUROPEAN PROJECT GROUP “The European Guidelines for Self Compacting Concrete – Specification, Production and Use” May 2005
- Περιοδικό “ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ”, “Η νέα αρχιτεκτονική του beton” Άλκηστης Ρόδη Μάρτιος 2009
- Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 1997
- ΚΤΣ – 97 : Ν. Μαρσέλλος , Σεπτέμβριος 2002 π – Systems
- “Concrete Handbook” , Εγχειρίδιο Τεχνολογίας Σκυροδέματος Sika, www.sika.gr
- Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΙΟΚ) 01-01-06-00 Ιούνιος 2005
“Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα”
- “Παραγωγή αδρανών υλικών από ανακυκλωμένα παλαιά σκυροδέματα”, Χ. Ι. Εφραιμίδης - www.iok.gr

- “Σκυροδέματα με ανακυκλωμένα αδρανή: Μηχανικές ιδιότητες και ανθεκτικότητα σε CI”, Α.Ε. Σάββα και Ε. Β. Σκαρλάτος – περιοδικό “ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑΣ” Τεύχος 18
- “Εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης δομικών υλικών στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους”, Ν. Μουσιόπουλος, Ε. Ιακώβου, Α. Παπαδόπουλος, Χ. Αχίλλας, Δ. Αηδόνης, Δ. Αναστασέλος, Γ. Μπανιάς - 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων (ΤΕΕ, 21-23 Μαΐου, 2008: Αθήνα)
- “Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο για το σκυρόδεμα EN 206-1—Μία νέα αντίληψη για το σκυρόδεμα”, Σακελλαρίου - 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων (ΤΕΕ, 21-23 Μαΐου, 2008: Αθήνα)
- SINTEF (Norway), “Determination of Compressive Strength and Flexural Toughness of Fiber Reinforced Shotcrete”, Test Program ordered by A/S Scancem Chemicals, Skarer – Norway, 1990
- Δρίτσος Σ. (2001) : “Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από οπλισμένο Σκυρόδεμα”
- ΥΠΕΧΩΔΕ, 2000 : “Σχέδιο Προδιαγραφής για το Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα, Ενημ. Δελτίο ΤΕΕ, Τεύχος 2114
- 14^ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος
- ΤΕΕ – Τράπεζα Πληροφοριών
- ACI 506 (1990): “Guide to Shotcrete”, ACI Manual of Concrete Practice, 506R-90
- ACI 506 (1991): “Guide to Certification of Shotcrete Nozzlewen”, ACI Practice, 506.3R-91

- ACI 506 (1998): “Committee Report on Fiber Reinforced Shotcrete”, ACI Practice, 506.1R-98
- EFNARC: Ευρωπαϊκή προδιαγραφή για το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, οδηγίες για μελετητές προδιαγραφών και αναδόχους, www.efnarc.org
- Hannant D.J. , “Fiber Cements and Fiber Concretes” Εκδόσεις: John Wiley and Sons Ltd (November 1, 1978)
- Holmgren B.J., “Tunnel Linings of Steel Fiber Reinforced Shotcrete”, 5th International Congress in Rock Mechanics, Melbourne 1983
- Morgan D.R and Mowat D.N. “A Comparative Evaluation of Plain, Mesh and Steel Fiber Reinforced Shotcrete”, Hardy Associates, International Symposium in Fibre Reinforced Concrete – Detroit 1982
- Nemegeer D. “An Identity Chart for Steel Fibers”, Fiber Reinforced Cements and Concretes, Cardiff 1989
- Το Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε έργα επεμβάσεων, Στέφανος Δρίτσος, Αφιέρωμα στο δελτίο του Συλλόγου Πολιτικών Μηχανικών Νο 321
- Μ. Μιχαηλίδης, Κ. Κουτσοπιάς (2001) - «Σχολιασμός διατάξεων του Σχεδίου Προδιαγραφής για το Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα και προτάσεις βάσει στοιχείων από την παρακολούθηση εργασιών εκτοξευόμενου σκυροδέματος στην Αττική.» Σεπτέμβριος 2001
- Α. Σακελλαρίου (2001) «Παρουσίαση του Ευρωπαϊκού Κανονισμού EFNARC για το Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα». Σεπτέμβριος 2001
- ASTM A 820-90. Steel fibers for fiber reinforced concrete
- ERNARC. 1996. European Specification for Sprayed Concrete

- Cements of yesterday and today – Concrete of tomorrow , Pierre-Claude Aitcin, July 2000
- Μηχανικά Χαρακτηριστικά και Ανθεκτικότητα Αυτοσυμπυκνούμενων Σκυροδεμάτων παρασκευασθέντων με ελληνικά υλικά , Κ.Κ.Σίδερης, Σ. Κυριτσάς, Ε. Χανιωτάκης, Πρακτικά 14 Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κως 2003
- Self-Compacting Concrete – Developments in the precast Industry, Klaus Juvas, Finland, 2004 Εκδόσεις: Bauverlag, Wiesbaden, ALLEMAGNE
- Corradi M., Khurana R.S., Κροκίδης Β., Παναγιωτίδης Θ., “Οικοδομώντας Ανθεκτικές Κατασκευές με Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα”, Πρακτικά 14ου Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κως 2003, σ. 130-142
- Austin, S. A.(1995). Sprayed concrete: properties, design and application. Ed. by Austin and Rodins, UK, Whittles Publishing.
- Isaak, M. and Zynda, C. Innovating with Shotcrete. Concrete International, May 1992
- Long, W. B. (1987) Sprayed Concrete R.T.L. Allen & S. C. Edwards (editors), Blackie, London
- Health and safety in Shotcreting. ITA Working Group Report Tunneling and underground Space technology.
- Strengthening of RC beams by using sprayed concrete: experimental approach. Y.G Diab . Engineering Structures - Volume 20, Issue 7, July 1998
- Wolfgang Krustele “Application and Testing of Shotcrete According to the Austrian Guideline on Sprayed Concrete” Shotcrete Magazine, Σεπτέμβριος 2000
- Guideline on Shotcrete, Part E -Application (Issue January 1990), Part II – Testing Methods (Issue June 1991); The Austrian Concrete Society.