

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΠΡΩΗΝ ΤΜΗΜΑ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΘΕΜΑ

**Το Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις
κατασκευές μας**



**Πτυχιακή εργασία
του φοιτητή
Σπυρίδωνος Ν. Σιμωνέτη**

Επιβλέπουσα καθηγήτρια : κ. Παπαλού Αγγελική

Πάτρα 2016

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΠΡΩΗΝ ΤΜΗΜΑ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΘΕΜΑ

Το Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις
κατασκευές μας



Πτυχιακή εργασία
του φοιτητή
Σπυρίδωνος Ν. Σιμωνέτη

Επιβλέπουσα καθηγήτρια : κ. Παπαλού Αγγελική

Πάτρα 2016

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	I
ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ,ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ, ΕΙΚΟΝΩΝ, ΠΙΝΑΚΩΝ, ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ & ΣΧΕΔΙΩΝ	VII
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
Κεφάλαιο Πρώτο: ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	6
A. ΓΕΝΙΚΑ.....	6
A. 1 : Το τσιμέντο	6
A. 2 : Τα αδρανή.....	8
A. 3 : Το νερό	9
A. 4 : Πρόσθετα.....	9
B. ΕΙΔΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	11
B.1. Ανάλογα με τον τρόπο ενίσχυσης	11
B.2. Ειδικά σκυροδέματα	13
C. Ιδιότητες Σκυροδέματος.....	23
Γ. 1. Νωπή κατάσταση συνεκτικότητας (Νωπό σκυρόδεμα)	23
Γ. 2. Σκληρυμένη κατάσταση συνεκτικότητας (πεπηγμένο ή σκληρυμένο σκυρόδεμα)	26
D. Παρασκευή σκυροδέματος	28
Κεφάλαιο Δεύτερο: ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	31
A. Γενικά.....	31
A.1 : Ιστορία του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος	32
A.2 : Πληροφορίες και τεχνικά δεδομένα για το ΑΣΣ	34
A.2. 1. Σχεδιασμός του ΑΣΣ σύμφωνα με τα πρότυπα της Ευρωπαϊκής Ένωσης,	34
A.2. 2. Τα σημεία προσοχής και οι προϋποθέσεις επιτυχούς παραγωγής και χρήσης ΑΣΣ ...	41

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

A.2. 3. Ειδικά χαρακτηριστικά ΑΣΣ.....	42
A.2. 4. Έλεγχος και μέτρηση των ειδικών χαρακτηριστικών στο ΑΣΣ	45
A.2.4.1. Δοκιμή ανεμπόδιστης εξάπλωσης (slump flow)	46
A.2.4.2. Η δοκιμή V-Funnel:	46
A.2.4.3. Η δοκιμή T-50:.....	47
A.2.4.4. Η δοκιμή U-box και δοκιμή Fill-Box:	47
A.2.4.5. Δοκιμή δοχείου L (L-box)	48
A.2.4.6. Οπτικός δείκτης σταθερότητας (Visual stability index)	49
A.2.4.7. Δοκιμή απόμειξης στήλης σκυροδέματος (column segregation).....	49
A.2.4.8. Δοκιμή σταθερότητας μέσω κοσκίνισης (sieve segregation resistance ή sieve stability test)	49
A.2.4.9. Δοκιμή δακτυλίου J (J-ring).....	50
A.2.4.10. Δοκιμή διείσδυσης / Αντίσταση σε στατική απόμειξη (penetration test / static segregation resistance).....	50
A.2. 5. Ιδιότητες του Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.....	51
A.2.5.1. Υψηλή ρευστότητα	51
A.2.5.2. Πλαστικότητα	52
A.2.5.3. Αντίσταση στο διαχωρισμό	52
A.2.5.4. Ικανότητα πλήρωσης.....	52
A.2.5.5. Υψηλή εργασιμότητα	53
A.2.5.6. Κατάλληλη πλαστική θιζοτροπικότητα	53
A.2.5.7. Υψηλή σταθερότητα.....	53
A.2.5.8. Βραχυπρόθεσμα Οικονομικά Επιβαρυνόμενο	53
A.2.5.9. Ανάπτυξη σημαντικής υδροστατικής πίεσης στο ξυλότυπους:	54
A.2. 6. Παραγωγή-Διάστρωση-συντήρηση	54
A.2. 7. Παραδείγματα μειγμάτων ΑΣΣ.	55
A.2.7.1. Σχεδιασμός Μίγματος – Υλικά.....	56
A.2.7.2. ΑΣΣ με ρυθμιστές ιξώδους (VMAs) με μειωμένη ποσότητα λεπτομερών και μικρόκοκκων.	59
A.2.7.3. Σχεδιασμός Μίγματος – Υλικά:.....	60
A.2.7.4. ΑΣΣ σχεδιασμένο με τα πρότυπα στο ευρωπαϊκής ένωσης.....	62
A.2. 8. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Α.Σ.Σ.	64
A.2.8.1. Πλεονεκτήματα	64
A.2.8.2. Μειονεκτήματα	65
A.2. 9. Σημεία προσοχής και προϋποθέσεις επιτυχούς παραγωγής και χρήσης ΑΣΣ.....	66
A.2. 10. Σύγκριση Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με το συμβατικό σκυρόδεμα ευρείας χρήσης.....	68
A.2.10.1. Ενανθράκωση	71

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

A.2.10.2.	Υδατοαπορροφητικότητα.....	72
A.2.10.3.	Έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες	73
A.2.10.4.	Οικονομικές Διαφορές, Κόστος και χρόνος ζωής ΑΣΣ και ΣΣ	78
A.2. 11.	Συμπεράσματα στο σύγκρισης	80
A.2. 12.	Παρεμφερή σκυροδέματα και σύγκριση στο με το ΑΣΣ	81
A.2.12.1	Αυτοσυμπυκνούμενο Κυσιρόδεμα.	81
A.2.12.2	Αυτοσυμπυκνούμενο Ελαφροσκυρόδεμα	83
A.2.12.3	Ινοπλισμένο Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα	84
Κεφάλαιο Τρίτο:	Συμπεριφορά των κατασκευών από ΑΣΣ στον σεισμό.....	85
ΓΕΝΙΚΑ	85
A.	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	89
A.1 :	Πλαστιμότητα ,ιδιότητες και πλαστιμότητα υλικών	90
A. 1.1 :	Πλαστιμότητα και συμπεριφορά στο σεισμό.....	90
B.	ΕΡΕΥΝΕΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕ ΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	96
Κεφάλαιο Τέταρτο:	Εφαρμογές ΑΣΣ.....	119
A.	Παγκοσμίως.....	119
A.1 :	Akashi – Kaikyo	119
A.2 :	Ritto Bridge, Japan.....	120
A.3 :	Higashi-Oozu Viaduct, Japan	121
A.4 :	The Sodra Lanken Project, Σουηδία.....	123
A.5 :	Burj Dubai, Dubai.....	128
A.6 :	Πύργος ελέγχου του αεροδρομίου στο Στοκχόλμης, Σουηδία.....	129
A.7 :	Εθνικό Μουσείο Τεχνών του 21ου Αιώνα (MAXXI), Ρώμη, Ιταλία.	129
A.8 :	Usce Shopping Centre, Βελιγράδι, Σερβία.....	130
B.	: Στην Ελλάδα.....	131
ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ	134
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	147
ΕΥΡΩΠΑΙΚΑ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	A
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: EN 197-1 & EN 197-2.....	- 1 -
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 1 -

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

II. ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ – ΣΤΟΧΟΙ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ.....	- 1 -
III. ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ.....	- 1 -
IV. Προσδιορισμός αντοχών.....	- 4 -
V. ΑΝΑΓΡΑΦΟΜΕΝΑ ΣΤΟΥΣ ΣΑΚΟΥΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.....	- 5 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: EN 206 ΠΡΟΤΥΠΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	- 7 -
A. ΓΕΝΙΚΑ.....	- 7 -
B. ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	- 8 -
C. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ.....	- 9 -
D. ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ – ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ.....	- 10 -
E. ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	- 11 -
1: Κατηγορίες για το νωπό σκυρόδεμα.....	- 11 -
2: Κατηγορίες για το σκληρυμένο σκυρόδεμα.....	- 11 -
F. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	- 12 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: The European Guidelines for Self-Compacting Concrete	
Specification, Production and Use.....	- 15 -
FOREWORD.....	- 16 -
1. Introduction.....	- 17 -
2. Scope.....	- 18 -
3. Referenced standards.....	- 20 -
4. Terms and definitions.....	- 21 -
5. Engineering properties.....	- 22 -
6. Specifying SCC for ready-mixed and site mixed concrete.....	- 31 -
7. Constituent materials.....	- 38 -
8. Mix composition.....	- 44 -
9. Production for ready-mixed and site mixed SCC.....	- 51 -
10. Site requirements and preparation.....	- 57 -
11. Placing and finishing on site.....	- 63 -
12. Precast concrete products.....	- 70 -
13. Appearance and surface finish.....	- 74 -
The European Guidelines for Self-Compacting Concrete.....	- 78 -
Annex A: Requirements of self-compacting concrete.....	- 78 -
Annex B:.....	- 84 -
Test Methods Annex B.1.....	- 84 -
Testing fresh concrete –Part B1: Slump-flow and T500 time.....	- 84 -
for self-compacting concrete.....	- 84 -
B.1 Annex (informative).....	- 87 -
Annex B: Test Methods.....	- 88 -
Annex B.2.....	- 88 -

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Testing fresh concrete –Part B2: V-funnel test	- 88 -
B.2 Annex (informative)	- 90 -
Annex B: Test Methods	- 91 -
Annex B.3	- 91 -
Testing fresh concrete –Part B3: L-box test	- 91 -
B.3 Annex (informative)	- 95 -
Annex B: Test Methods	- 96 -
Annex B.4	- 96 -
Testing fresh concrete –Part B4: Sieve segregation resistance test	- 96 -
B.4 Annex (informative)	- 98 -
Annex C: Improving the finish of SCC	- 99 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: EN 12878:2005 (E) Pigments for the colouring of building materials based on cement and/or lime – Specifications and methods of test....	- 102 -
1. Scope.....	- 102 -
2. Normative references	- 103 -
3. Terms and definitions	- 104 -
4. Requirements.....	- 105 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5:EN 12390-3 Testing hardened concrete	- 107 -
Part 3: Compressive strength of test specimens.....	- 107 -
1. Scope.....	- 109 -
2. Normative references	- 109 -
3. Principle	- 110 -
4. Apparatus.....	- 110 -
5. Test specimens.....	- 110 -
6. Procedure.....	- 110 -
7. Expression of results	- 111 -
8. Test report	- 112 -
9. Precision.....	- 115 -
Adjustment of test specimens.....	- 116 -
Annex B	- 121 -
(normative).....	- 121 -
Procedure for testing specimens with dimensions	- 121 -
which are outside the.....	- 121 -
tolerances of the designated sizes of EN 12390-1	- 121 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6: EN 12390-5:2000 Testing hardened	- 124 -
concrete Part 5: Flexural strength of test specimens.....	- 124 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7: EN 12390-6 Testing hardened concrete – Part 6: Tensile splitting strength of test specimens	- 130 -

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

1. Scope.....	- 132 -
2. Normative references	- 132 -
3. Principle	- 132 -
4. Apparatus.....	- 132 -
5. Test specimens.....	- 133 -
6. Procedures	- 133 -
7. Expression of results	- 135 -
8. Test report	- 135 -
9. Precision.....	- 136 -
Annex A (normative)	- 136 -
Determination of tensile splitting strength using cubic or prismatic specimens ..	- 136 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8: EN 934-2 Admixtures for concrete, mortar and grout – Part 2:	
Concrete	- 138 -
admixtures – Definitions, requirements, conformity, marking and labelling	- 138 -
(including amendments A1:2004 and A2:2005)	- 138 -
Παράρτημα 9 :BS 1881-21	- 158 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10: EN 12620	- 190 -
1.Scope	- 191 -
2.Normative references	- 192 -
3.Terms and definitions.....	- 193 -
4.Geometrical requirements	- 195 -
5. Physical requirements	- 202 -
6.Chemical requirements	- 208 -
7. Evaluation of conformity	- 213 -
8.Designation	- 213 -
9.Marking and labelling	- 214 -
Annex B (informative)	- 216 -
Guidance on the description of coarseness/fineness of fine aggregates.....	- 216 -
Annex C (normative).....	- 217 -
Reduced grading tolerances on producer’s.....	- 217 -
declared typical grading for fine aggregate	- 217 -
Annex D (normative)	- 217 -
Assessment of fines.....	- 217 -
Annex E (informative).....	- 218 -
Guidance on the use of aggregates in concrete	- 218 -
Annex F (informative).....	- 218 -
Notes for guidance on the freezing and thawing resistance of aggregates	- 218 -
Annex G (informative)	- 221 -

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Guidance on the effects of some chemical constituents of aggregates on the durability of concrete in which they are incorporated	- 221 -
Annex H (normative)	- 224 -
Factory production control	- 224 -
Annex ZA (informative)	- 232 -
Clauses of this European Standard addressing essential requirements or other provisions of EU Directives.....	- 232 -

ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ, ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ, ΕΙΚΟΝΩΝ, ΠΙΝΑΚΩΝ, ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ & ΣΧΕΔΙΩΝ

ΓΡΑΦΗΜΑ 1: TEST JSCE-SF4	17
ΓΡΑΦΗΜΑ 2 ΒΑΘΟΣ ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ.....	71
ΓΡΑΦΗΜΑ 3 ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΣ (NCS) ΚΑΙ ΑΣΣ (SCCS)	72
ΓΡΑΦΗΜΑ 4 ΡΥΘΜΟΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΦΟΥΡΝΟΥ (ΑΝΩ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΘΕΡΜΟΖΕΥΓΟΣ)	74
ΓΡΑΦΗΜΑ 5 ΑΝΟΙΓΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΣΤΟ 3000C ΚΑΙ 6000C	75
ΓΡΑΦΗΜΑ 6 ΑΝΟΙΓΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΗΧΟΜΕΤΡΟΥ ΓΙΑ ΜΕΙΓΜΑΤΑ 25/30 (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ 30/37 (ΔΕΞΙΑ).	75
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: ΤΥΠΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΗΣ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΜΕΛΩΝ.....	90
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ Z_{50}	91
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΑΞΟΝΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΠΟΥ ΔΕΧΤΗΚΕ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΞΟΝΙΚΗ ΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΟΛΩΝΕΣ ΣΣ ΚΑΙ ΑΣΣ. ΤΟ ΝΟΥΜΕΡΟ 10 ΣΥΝΕΠΑΓΕΤΑΙ ΜΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ 40 ΜΡΑ.....	95
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4 : ΠΡΩΤΗ ΦΑΣΗ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	100
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5 : ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΟΡΟΦΩΝ ΓΙΑ NC ΔΕΙΓΜΑ J1	102
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΟΡΟΦΩΝ ΓΙΑ SCC ΔΕΙΓΜΑ J3	103
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ	104
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8 : ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΧΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙΑ ΤΗΝ ΣΤΡΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ ΔΟΚΙΜΙΟ J1 ΚΑΙ J3.....	105
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9 :ΣΧΕΤΙΚΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΣΤΟ ΤΗΝ ΣΤΡΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ ΣΣ ΚΑΙ ΤΟ ΑΣΣ.....	106
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10 : ΗΜΙΣΤΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ	110
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11 : ΣΧΕΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΠΡΟΣ ΤΗ ΣΤΡΕΨΗ	111
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12 : Α) ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΙΞΩΔΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗ Β) ΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ ΣΤΟ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΑΠΟ ΚΟΡΥΦΗ ΣΤΟ ΚΟΡΥΦΗ.....	112
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13 :ΠΡΟΦΙΛ ΤΟΥ ΚΟΙΝΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ	113
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14: ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΟΙΝΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ	114
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15: ΣΥΝΟΛΟ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗΣ ΣΤΟ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΑΡΘΡΩΣΗΣ (ΔΥΤΙΚΑ ΚΑΙ ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ ΣΤΟ	

Αυτοσυμπκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ΔΟΚΟΥ).....	116
ΕΙΚΟΝΑ 1: ΤΣΙΜΕΝΤΟ	7
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΣΦΑΙΡΙΔΙΑ (PELLETS) ΜΕΓΕΘΟΥΣ 15-25 ΜΜ ΤΟΥ ΚΛΙΝΚΕΡ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.....	8
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΆΟΠΛΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΓΚΡΟ ΜΠΕΤΟΝ).....	11
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	12
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΓΕΦΥΡΑ ΠΟΤΑΜΟΥ ΒΕΝΕΤΙΚΟΥ, ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΣ "ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ"	13
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	16
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	18
ΕΙΚΟΝΑ 8: ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΔΑΠΕΔΑ ΣΤΗΝ ΠΡΟΒΛΗΤΑ ΘΙΣΒΗΣ ΒΟΙΩΤΙΑΣ	19
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	31
ΕΙΚΟΝΑ 10: Ο ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Η. ΟΚΑΜΥΡΑ.....	32
ΕΙΚΟΝΑ 11: Η ΓΕΦΥΡΑ SHIN-KIBA ΟHASHI	33
ΕΙΚΟΝΑ 12 ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΙΝΕΣ.....	38
ΕΙΚΟΝΑ 13 ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΕΣ ΙΝΕΣ	38
ΕΙΚΟΝΑ 14 ΓΥΑΛΙΝΕΣ ΙΝΕΣ	39
ΕΙΚΟΝΑ 15 ΈΓΧΥΣΗ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	55
ΕΙΚΟΝΑ 16: ΚΙΣΣΗΡΙΣ.....	82
ΕΙΚΟΝΑ 17 : ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ ΤΟ 1986.....	86
ΕΙΚΟΝΑ 18 : ΑΣΤΟΧΙΑ ΜΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΔΥΔ ΣΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΚΟΣΑΕΛΙ 1999	98
ΕΙΚΟΝΑ 19 : ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ.....	101
ΕΙΚΟΝΑ 20 ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΡΩΓΜΗΣ ΓΙΑ NC ΔΕΙΓΜΑ J1	103
ΕΙΚΟΝΑ 21 : ΤΕΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΡΩΓΜΗΣ ΓΙΑ SCCC ΔΕΙΓΜΑ J3.....	104
ΕΙΚΟΝΑ 22: ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΑΡΘΡΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΣΤΟ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΘΕΤΙΚΕΣ ΣΤΟ ΤΩΝ 2,5% ΚΑΙ 4,5%.....	112
ΕΙΚΟΝΑ 23: ΓΕΦΥΡΑ ΑΚΑΣΗ-ΚΑΙΚΥΟ(ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1998).	119
ΕΙΚΟΝΑ 24: RITTO BRIDGE, JAPAN.	120
ΕΙΚΟΝΑ 25: ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΕΣ ΔΟΚΟΙ ΑΣΣ	121
ΕΙΚΟΝΑ 26: ΤΟΥΝΕΛ ΣΤΟ SONDRALANKEN	123
ΕΙΚΟΝΑ 27 ΕΣΚΑΜΜΕΝΟ ΤΟΥΝΕΛ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗ	124
ΕΙΚΟΝΑ 28: BURJ DUBAI, DUBAI.....	128
ΕΙΚΟΝΑ 29: Όψη του ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	129
ΕΙΚΟΝΑ 30 : Όψη του ΜΟΥΣΕΙΟΥ	129
ΕΙΚΟΝΑ 31 Όψη του ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ	130
ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ.....	7

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΓΙΑ 1 Μ3 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	35
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 : ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΡΩΣΗΣ, ΤΗΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΑΣΣ	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΔΟΚΙΜΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΑΣΣ	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΝΩΠΟΥ SCC.....	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ ΑΜΜΟΥ	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ ΓΑΡΜΠΙΛΙΟΥ	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΟΡΙΑ ΑΝΑΛΟΓΙΩΝ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΑΣΣ ΚΑΤΑ ΣΤΟ	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΟΡΙΑ ΑΝΑΛΟΓΙΩΝ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΑΣΣ ΚΑΤΑ ΑCΙ 237R-07.....	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΠΙΤΥΧΟΥΣ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΑΣΣ (ΣΥΝΘΕΣΗ Ι).....	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΣΤΟ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΑΣΣ	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΟ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΑΣΣ	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΣΣ ΜΕ VMAS ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ, ΣΤΟ ΝΩΠΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 14: ΜΙΓΜΑΤΑ ΑΣΣ ΜΕ VMAS ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΑ ΛΕΠΤΟΜΕΡΗ.....	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 15 :ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΚG/Μ3(ΣΗΜ.: Ν/Τ ΛΟΓΟΣ ΝΕΡΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ, Ν/Σ ΛΟΓΟΣ ΝΕΡΟΥ ΣΥΝΔΕΤΙΚΟΥ).	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 16:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΝΩΠΗΣ ΚΑΙ ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΑΣΣ	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 17:ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΜΙΞΗΣ ΚΑΙ ΡΕΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΣΥΓΚΡΙΣΗ	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 18: ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 19: ΑΝΤΟΧΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΑΣΣ ΚΑΙ ΣΣ ΥΠΟ ΕΛΑΦΡΩΣ ΚΥΛΙΟΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 20 ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΜΕΙΓΜΑΤΩΝ	99
ΠΙΝΑΚΑΣ 21 ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΜΕΙΓΜΑΤΩΝ	108
ΠΙΝΑΚΑΣ 22: ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΑΣΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΦΥΡΑ RITTO	120
ΠΙΝΑΚΑΣ 23 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΟ ΑΣΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	122
ΠΙΝΑΚΑΣ 24: ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΕΡΓΟ.....	122
ΠΙΝΑΚΑΣ 25: ΣΤΟ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	123
ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1 : ΣΕΙΡΑ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΩΝ ΤΑΛΑΝΤΩΤΩΝ ΠΟΥ ΕΓΕΙΡΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΜΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ	86
ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΟΚΙΜΑΣΤΗΚΑΝ	87
ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΟΚΙΜΑΣΤΗΚΑΝ (ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΜΜ).....	99
ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4 : ΣΧΕΔΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	102
ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	109
ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6 : ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΤΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	110
ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7 : ΣΧΕΤΙΚΗ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΣΤΟ ΤΗΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ	

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	115
ΣΧΗΜΑ 1: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	10
ΣΧΗΜΑ 2: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΘΥΛΑΚΩΝ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΚΟΚΚΟΥΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΟ ΛΕΠΤΟ ΣΤΡΩΜΑ ΝΕΡΟΥ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	25
ΣΧΗΜΑ 3: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΑΣΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΥΤΕΣ ΕΝΟΣ ΚΟΙΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	39
ΣΧΗΜΑ 4: ΔΟΚΙΜΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ (SLUMP FLOW).....	46
ΣΧΗΜΑ 5: ΧΟΑΝΗ ΤΥΠΟΥ V	47
ΣΧΗΜΑ 6: : ΔΟΚΙΜΗ U-ΒΟΧ ΚΑΙ FILL-ΒΟΧ.....	48
ΣΧΗΜΑ 7:ΔΟΚΙΜΗ ΔΟΧΕΙΟΥ L	49
ΣΧΗΜΑ 8: ΔΟΚΙΜΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ J (J-RING).....	50
ΣΧΗΜΑ 9: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	121
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΠΙΝΑΚΑΣ 1	- 2 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΠΙΝΑΚΑΣ 2	- 3 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΠΙΝΑΚΑΣ 3	- 4 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΠΙΝΑΚΑΣ 4	- 6 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 : ΣΧΗΜΑ 1: ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΕΛΟΤ EN 197-1	- 5 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: MIX DESIGN PROCEDURE (FIGURE 8.3.).....	- 49 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 : ΠΙΝΑΚΑΣ 1 : . ΠΛΑΙΣΙΟ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΤΟΥ CEN ΓΙΑ ΤΑ ΕΡΓΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.	- 8 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 : ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ / ΚΥΒΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΟΙ ΣΚΙΑΣΜΕΝΕΣ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ) -	12
-	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 : ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	- 13 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΣΧΕΔΙΟ 1: ΣΥΜΒΑΛΛΟΜΕΝΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ..	- 10 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΕΙΚΟΝΑ 1: SELF-COMPACTING CONCRETE	- 19 -

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΕΙΚΟΝΑ 2: FIGURE 5.1: SURFACE DETAIL ON PRECAST ELEMENT WITH SCC FILLING UNDER THE FORMWORK.....	- 30 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΕΙΚΟΝΑ 3: SLAVE SEGREGATION RESISTANCE TEST (FIG.8.4).....	- 51 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΕΙΚΟΝΑ 4:SLUMP-FLOW TEST (FIG.9.1).....	- 57 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΕΙΚΟΝΑ 5: FORMWORK FOR PUMPING BOTTOM UP (FIG.10.1).....	- 63 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΕΙΚΟΝΑ 6: CASTING AN SCC SLAB. (FIG 11.1).....	- 66 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΕΙΚΟΝΑ 7 :LEVELLING SCC WITH A SKIP FLOAT(FIG 11.1).....	- 69 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΕΙΚΟΝΑ 8:USE OF AN AUGER HOLDING TANK/HOPPER TO ACTIVATE THE SCC JUST PRIOR TO PLACING (FIR. 12.1).....	- 73 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΕΙΚΟΝΑ 9:ON SITE SURFACE FINISH AT LONDON PICCADILLY (FIG.13.1).....	- 74 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ADDITIONS.....	- 38 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΠΙΝΑΚΑΣ 2: TEST PROPERTIES AND METHODS FOR EVALUATING SCC (TABLE 8.1).....	- 46 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΠΙΝΑΚΑΣ 3 : TYPICAL RANGE OF SCC MIX COMPOSITION (TABLE 8.2).....	- 48 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΠΙΝΑΚΑΣ 4: TABLE A.1 – SLUMP-FLOW CLASSES.....	- 80 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΠΙΝΑΚΑΣ 5: TABLE A.2 –VISCOSITY CLASSES.....	- 80 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΠΙΝΑΚΑΣ 6: TABLE A.3 – PASSING ABILITY CLASSES (L-BOX).....	- 80 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΠΙΝΑΚΑΣ 7: TABLE A.4 – -SEGREGATION RESISTANCE CLASSES (SIEVE SEGREGATION)..	- 80 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΠΙΝΑΚΑΣ 8: TABLE A.6 – CONFORMITY CRITERIA FOR THE PROPERTIES OF SCC.....	- 82 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΠΙΝΑΚΑΣ 9: TABLE A.1 – PRECISION RESULTS.....	- 87 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΠΙΝΑΚΑΣ 10: REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY FOR TYPICAL VALUES V-FUNNEL FLOW TIME (TABLE A.1).....	- 90 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΠΙΝΑΚΑΣ 11: REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY FOR TYPICAL VALUES OF THE PASSING RATIO.....	- 95 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΠΙΝΑΚΑΣ 12: TABLE A.1 –PRECISION RESULTS.....	- 98 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΠΙΝΑΚΑΣ 13: THE MAIN DEFECTS THAT MAY APPEAR DURING OR AFTER THE PLACEMENT OF SELF-COMPACTING CONCRETE.....	- 101 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΣΧΕΔΙΟ 1:PROPERTIES OF SCC FOR VARIOUS TYPES OF APPLICATION BASED ON WARLAVEN,2003.....	- 37 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΣΧΕΔΙΟ 2:BASEPLATE REFERENCE CLAUSE 4.1. (FIG.1).....	- 85 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΣΧΕΔΙΟ 3: FIGURE 1-V FUNNEL.....	- 89 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΣΧΕΔΙΟ 4 :GENERAL ASSEMBLY OF L-BOX (FIG.1).....	- 92 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΣΧΕΔΙΟ 5:DIMENSIONS AND TYPICAL DESIGN OF L-BOX (FIG.2).....	- 93 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5 ΕΙΚΟΝΑ 1:SATISFACTORY FAILURES OF CUBE SPECIMENS (FIG.1.....	- 113 -

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5 ΕΙΚΟΝΑ 2: SOME UNSATISFACTORY FAILURES OF CUBE SPECIMENS (FIG 2).....	- 113 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5 ΕΙΚΟΝΑ 3 : SATISFACTORY FAILURE OF CYLINDER SPECIMEN.....	- 114 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5 ΕΙΚΟΝΑ 4: SOME UNSATISFACTORY FAILURES OF CYLINDER SPECIMENS (FIG 4).....	- 114 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5 ΕΙΚΟΝΑ 5: FIGURE A.1.CAPPING:SANDBOXMETHOD ,FIG. A-2 : DETAIL OF SANDBOX, -	120 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5 ΕΙΚΟΝΑ 6: TESTING FOR COMPRESSIVE STRENGTH	- 123 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5 ΠΙΝΑΚΑΣ 1:PRECISION (CUBES) (TABLE 1)	- 115 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5 ΠΙΝΑΚΑΣ 2:PRECISION (CYLINDER) (TABLE 2)	- 115 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5 ΠΙΝΑΚΑΣ 3:REGISTRATION ON METHODS OF ADJUSTMENT(TABLE A.1)	- 116 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6 ΣΧΕΔ. 1 :ARRANGEMENT OF LOADING OF TEST SPECIMEN (TWO- POINT LOADING)..	- 127 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6 ΣΧΕΔ. 2 ARRANGEMENT OF LOADING OF TEST SPECIMEN (CENTRE- POINT LOADING) -	128
-	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7 ΣΧΕΔ. 1 :JIG FOR TESTING CYLINDRICAL SPECIMENS (FIG. 1)	- 133 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7 ΣΧΕΔ. 2:CURVED LOADING PIECE (FIG.2)	- 135 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8 ΠΙΝΑΚΑΣ 1: GENERAL REQUIREMENTS (TABLE 1)	- 144 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 9 ΕΙΚΟΝΑ 1: PHOTOMICROGRAPHS OF OPC AND SRPC CEMENT/CONCRETE	- 189 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 9 ΕΙΚΟΝΑ 2:PHOTOMLCROGRAFHS OF OPC & PFA CONCERTE (FIG. 8)	- 189 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 9 ΠΙΝΑΚΑΣ 1:TYPICAL ANALYSES OF TYPES OF CEMENT CURRENTLY AVAILABLE IN HK (TABLE	
5)	- 177 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 9 ΠΙΝΑΚΑΣ 2:VAPOUR PRESSURE OF WATER AT TEMPERATURES BETWEEN 20 ⁰ C TO 30 ⁰ C	
.....	- 188 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 1: SIEVE SIZES FOR SPECIFYING AGGREGATE SIZES TABLE 1	- 196 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 2: GENERAL GRADING REQUIREMENTS (TABLE 2)	- 197 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 3: TABLE 3 : OVERALL LIMITS AND TOLERANCES FOR COARSE AGGREGATE	

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

GRADING AT MID-SIZE SIEVES.....	- 198 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 4: TABLE 4 : TOLERANCES ON PRODUCER'S DECLARED TYPICAL GRADING FOR GENERAL USE FINE AGGREGATES	- 199 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 5: TOLERANCES ON PRODUCER'S DECLARED TYPICAL GRADING FOR NATURAL GRADED 0/8 MM AGGREGATE (TABLE 5)	- 199 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 6: GRADING REQUIREMENTS FOR ALL-IN AGGREGATES(TABLE 6)	- 200 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 7: GRADING REQUIREMENTS FOR FILLER AGGREGATE (TABLE 7)	- 200 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 8: CATEGORIES FOR MAXIMUM VALUES OF FLAKINESS INDEX (TABLE 8) ...	- 201 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 9: TABLE 9 : CATEGORIES FOR MAXIMUM VALUES OF SHAPE INDEX.....	- 201 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 10: TABLE 10: CATEGORY FOR MAXIMUM VALUE OF SHELL CONTENT OF COARSE AGGREGATES.....	- 202 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 11: TABLE 11 : CATEGORIES FOR MAXIMUM VALUES OF FINES CONTENT .	- 202 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 12: TABLE 12: CATEGORIES FOR MAXIMUM VALUES OF LOS ANGELES COEFFICIENTS.....	- 203 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 13: TABLE 13 : CATEGORIES FOR MAXIMUM VALUES OF RESISTANCE TO IMPACT	- 204 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 14: TABLE 14: CATEGORIES FOR MAXIMUM VALUES OF RESISTANCE TO WEAR ..	- 204 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 15: TABLE 15: CATEGORIES FOR MINIMUM VALUES OF RESISTANCE TO POLISHING.....	- 205 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 16: TABLE 16: CATEGORIES FOR MAXIMUM VALUES OF RESISTANCE TO SURFACE ABRASION.....	- 205 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 17: TABLE 17: CATEGORIES FOR MAXIMUM VALUES OF RESISTANCE TO ABRASION FROM STUDDED TYRES	- 205 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 18: TABLE 18: CATEGORIES FOR MAXIMUM VALUES OF FREEZE-THAW RESISTANCE	- 206 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 19: TABLE 19: CATEGORIES FOR MAXIMUM MAGNESIUM SULFATE SOUNDNESS -	- 206 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 20: TABLE 20: CATEGORIES FOR CONSTITUENTS OF COARSE RECYCLED AGGREGATES.....	- 208 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 21: TABLE 21: CATEGORIES FOR MAXIMUM VALUES OF ACID-SOLUBLE SULFATE CONTENT.....	- 210 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 22: TABLE 22: CATEGORIES FOR MAXIMUM VALUES OF WATER-SOLUBLE SULFATE CONTENT OF RECYCLED AGGREGATES	- 210 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 23: TABLE 23: CATEGORIES FOR INFLUENCE OF WATER-SOLUBLE MATERIALS FROM RECYCLED AGGREGATES ON THE INITIAL SETTING TIME OF CEMENT PASTE.....	- 212 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 24: TABLE A.1: OVERALL LIMITS AND TOLERANCES FOR COARSE AGGREGATE GRADING AT MID-SIZE SIEVES FOR BASIC SET PLUS SET 1 COARSE AGGREGATE PRODUCT SIZES (IN	

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

MILLIMETRES)	- 215 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 25: TABLE A.2:OVERALL LIMITS AND TOLERANCES FOR COARSE AGGREGATE GRADING AT MID-SIZE SIEVES FOR BASIC SET PLUS SET 2 COARSE AGGREGATE PRODUCT SIZES (IN MILLIMETRES)	- 215 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 26: TABLE B.1:COARSENESS OR FINENESS BASED ON THE PERCENTAGE PASSING THE 0,500 MM SIEVE.....	- 216 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 27: TABLE B.2:COARSENESS OR FINENESS BASED ON THE FINENESS MODULUS . -	216 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 28: TABLE C.1:REDUCED TOLERANCES ON PRODUCER’S DECLARED TYPICAL GRADING FOR FINE AGGREGATE	- 217 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 29: TABLE F.1:FREEZE-THAW SEVERITY CATEGORY RELATED TO CLIMATE AND END USE	- 221 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 30: TABLE H.1:MINIMUM TEST FREQUENCIES FOR GENERAL PROPERTIES. -	230 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 31: TABLE H.2:MINIMUM TEST FREQUENCIES FOR PROPERTIES SPECIFIC TO END USE	- 231 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 32: TABLE H.3:MINIMUM TEST FREQUENCIES FOR PROPERTIES APPROPRIATE TO AGGREGATES FROM PARTICULAR SOURCES	- 231 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 33: TABLE ZA.1A :SCOPE AND RELEVANT REQUIREMENT CLAUSES.....	- 233 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 34: TABLE ZA.1A : SCOPE AND RELEVANT REQUIREMENT CLAUSES (CONTINUED)	- 234 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 35: TABLE ZA 1B : SCOPE AND RELEVANT REQUIREMENT CLAUSES.....	- 235 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 36: TABLE ZA.2A: SYSTEM(S) OF ATTESTATION OF CONFORMITY FOR AGGREGATES AND FILLERS FOR USES WITH HIGH SAFETY REQUIREMENTS ² (WHERE THIRD PARTY INTERVENTION IS REQUIRED)	- 236 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 37: TABLE ZA.2B – SYSTEM(S) OF ATTESTATION OF CONFORMITY FOR AGGREGATES AND FILLERS FOR USES WITHOUT HIGH SAFETY REQUIREMENTS ² * (WHERE NO THIRD PARTY INTERVENTION IS REQUIRED)	- 236 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 38: TABLE ZA.3A – ASSIGNATION OF EVALUATION OF CONFORMITY TASKS (FOR AGGREGATES AND FILLERS UNDER SYSTEM 2+)	- 237 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10 ΠΙΝΑΚΑΣ 39: TABLE ZA.3B – ASSIGNATION OF EVALUATION OF CONFORMITY TASKS (FOR AGGREGATES AND FILLERS UNDER SYSTEM 4)	- 237 -



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το θέμα που πραγματεύεται η παρούσα πτυχιακή είναι το «Αυτοσυμπκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές » και πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών μου στο **ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ ,ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ,ΤΜΗΜΑ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ**, υπό την επίβλεψη της **Δρ. Αγγελικής Παπαλού**, Επίκουρης Καθηγήτριας, στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας την οποία και ευχαριστώ θερμά για την βοήθεια που μου προσέφερε κατά την εκπόνηση της.

Επίσης ευχαριστώ τους γονείς μου που σε όλα τα χρόνια των σπουδών μου ήταν δίπλα μου, στηρίζοντάς με όχι μόνο οικονομικά, αλλά και ηθικά.

Σπύρος Ν. Σιμωνέτης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία συγκεντρώνονται οι πληροφορίες και συνοψίζεται το στάδιο της έρευνας του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (ΑΣΣ).

Σχετικά με το σκυρόδεμα, θα αναλυθεί η σύσταση του, τα στάδια κατασκευής του, καθώς και οι ιδιότητες(μηχανικές και φυσικές), τα πλεονεκτήματα που το καθιστούν το πιο βασικό υλικό δόμησης, άλλα και το μειονέκτημα που οδήγησε στην εισαγωγή του οπλισμού.

Ακόμη, θα περιγραφούν τα είδη του σκυροδέματος, με σύντομη αναφορά στις χρήσεις τους και τις διαφορές τους, από το σύννηθες απλό σκυρόδεμα.

Κάπως έτσι, θα εξειδικευθεί το θέμα σε ένα πολύ ιδιαίτερο είδος του σκυροδέματος, το οποίο εμφανίστηκε τα τελευταία χρόνια στο χώρο της δόμησης και τα μοναδικά χαρακτηριστικά του, το καθιστούν άξιο έρευνας.

Το αυτοσυμπυκνούμενο ή αλλιώς αυτοεπιπεδούμενο σκυρόδεμα, είναι ένα υλικό, που ήδη απασχολεί πολύ τους πολιτικούς μηχανικούς, καθώς οι ιδιότητες του δεν αποτελούν κάτι το σύννηθες. Εδώ θα αναλυθούν λεπτομερώς αυτές οι ιδιαίτερες ιδιότητες, τα στάδια κατασκευής του, όπως και τα πλεονεκτήματα, και τα μειονεκτήματα του ,σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη σκυροδέματος αλλά και η συμπεριφορά του στους σεισμούς έναντι του συμβατού σκυροδέματος.

Μέσω αυτών των ιδιοτήτων και την χρήση του στις μέχρι σήμερα κατασκευές συγκρίνεται με το απλό σκυρόδεμα, με σκοπό την παρατήρηση των τυχών παραμέτρων που οδηγούν στην μη χρήση του στις κατασκευές στην Ελλάδα. Λαμβάνοντας υπ όψιν τις παραμέτρους αυτές δίνονται προτάσεις για τον σχεδιασμό και την χρήση του σε μελλοντικές κατασκευές και διατυπώνονται επιχειρήματα για το συμφέρον που αποφέρει ένα τέτοιο εύχρηστο αλλά βραχυπρόθεσμα ακριβό δομικό υλικό.

Λέξεις Κλειδιά : Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, ιδιότητες, εφαρμογές, μείγματα, πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα, αντισεισμικές ιδιότητες, σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα, ενανθράκωση ,πλαστιμότητα.

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Ελληνικές Συντομογραφίες

ΑΣΕΣ : Αυτοσυμπυκνούμενο ελαφροσκυρόδεμα

ΑΣΚ : Αυτοσυμπυκνούμενο κυσσιρόδεμα

ΑΣΣ : Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα

ΑΣΣΥΑ : Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα υψηλών αντοχών

ΔΥΔ : Δεσμός υποστυλώματος δοκού

ΕΑ : Ελαφρά αδρανή

ΕΣ : Ελαφροσκυρόδεμα

ΙΤ : Ιπτάμενη τέφρα

N/T : Λόγος νερού/τσιμέντο

ΟΔΣ : Οπτικός δείκτης σταθερότητας

ΠΔΑ : Προσαυξητική δυναμική ανάλυση

ΠΣΑ : Προσαυξητική στατική ανάλυση

Σ.Π.Μ.Ε. : Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος

ΣΣ ή NC : Συμβατικό σκυρόδεμα

ΣΥΑ : Σκυρόδεμα υψηλών αντοχών

ΤΔΣ : Τυπικά δονούμενο σκυρόδεμα

ΤΔΣΥΑ : Τυπικά δονούμενο σκυρόδεμα υψηλών αντοχών

Ξενόγλωσσες Συντομογραφίες

ACI : American Concrete Institution

BCJ : Beam column joint: Δεσμός υποστυλώματος δοκού

J1 ή J3 : Άρθρωση 1/3 ως δοκίμια πειραμάτων

LF : Λεπτόκοκκα λεπτομερή

LVTDS : Διαμήκεις συσκευές μέτρησης τάσης

PF : Ίνες προπυλενίου

PFA : Ιπτάμενη τέφρα (Pulverized fly ash)

RT : Πρόσμικτα επιβραδυντικής δράσης

SCC : Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα

SF : Slump flow

SL : Sondra Lanken Project

SP : Πρόσμικτα ρευστοποιητικής δράσης

VMAs : Ρυθμιστής ιξώδους

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα πράγματα με τα οποία ασχολήθηκε ο άνθρωπος αρχικά, ήταν η αναζήτηση κατοικίας και στη συνέχεια η κατασκευή μιας στέγης.

Στην Παλαιολιθική εποχή (από το 30.000 μέχρι το 10.000 π.Χ περίπου), οι άνθρωποι επειδή ζούσαν από το κυνήγι και ήταν αναγκασμένοι να ακολουθούν τα θηράματα τους στις μετακινήσεις τους, συνήθως έμεναν προσωρινά σε σπήλαια ή σε πρόχειρες καλύβες που έφτιαχναν από κλαδιά. (ebooks.edu.gr, n.d.). Οι καλύβες αυτές αποτελούν την αρχαιότερη κατασκευή ανθρώπινης κατοικίας.

Από την αυγή της ανάπτυξης της αγροτικής κοινωνίας, στο πρώτο στάδιο του Πολιτισμού, γύρω στο 8.000 π.Χ , οι άνθρωποι άρχισαν να εγκαταλείπουν τις σπηλιές και τα πρόχειρα καταφύγια και να εγκαθίστανται σε οικισμούς, οργανωμένοι σε ομάδες που είχαν ως βάση την εκτεταμένη οικογένεια. Οι οικισμοί αυτοί, που είχαν το μέγεθος και τη δομή των σύγχρονων χωριών, χτίζονταν από υλικά που βρίσκονταν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον, όπως το χώμα με τη μορφή πηλού και φυτικές ύλες. Ιδιαίτερα οι φυτικές ύλες, είτε στη ζωντανή είτε στην αποξηραμένη μορφή τους (φυτά και άχυρο) αποτελούσαν κυρίαρχα υλικά δόμησης καθώς πρόσφεραν πολλαπλά οφέλη στη θερμομόνωση, τη στεγανοποίηση, τη σταθερότητα και την αισθητική αυτών των πρώτων κατοικιών. (el.wikipedia.org/wiki, n.d.)

Με τα χρόνια ο άνθρωπος έμαθε να επεξεργάζεται το ξύλο, προκειμένου να το χρησιμοποιήσει για την εξ ολοκλήρου κατασκευή κατοικίας. Το ξύλο, υλικό οργανικής προέλευσης, είναι από τα πρώτα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για δομικούς και κατασκευαστικούς σκοπούς γενικά.

Όμως, κατά τη χρήση του ξύλου διαπιστώθηκαν και κάποια μειονεκτήματα, όπως η ανισοτροπία του, η οποία επιβάλλει περιορισμούς σε ότι αφορά την κατεργασία και τη χρήση του, η σημαντική διακύμανση των ιδιοτήτων του (και ενδεχομένως αλλαγή του σχήματος) με την αλλαγή της εξωτερικής υγρασίας, το σχετικά εύφλεκτο και η δυνατότητα προσβολής και καταστροφής του από μικροοργανισμούς. Παρόλα αυτά, είναι άξιο αναφοράς, ότι σύγχρονες μέθοδοι επεξεργασίας έχουν περιορίσει σημαντικά τα παραπάνω μειονεκτήματα, ενώ οι σημαντικές εξελίξεις στον τομέα των συγκολλητικών υλών έχουν διευρύνει τις δυνατότητες της εφαρμογής του και έτσι εξακολουθεί να χρησιμοποιείται και σήμερα σε ευρύτατη έκταση. (<http://www.kofinas.gr/>, 2013)

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Επιπλέον, το υλικό που χαρακτηρίζει την αρχιτεκτονική της υπαίθρου -και ιδιαίτερα της πατρίδας μας κυρίως στις ορεινές περιοχές -είναι η πέτρα. Ένα υλικό ιδιαίτερα φιλικό με το περιβάλλον.

Σήμερα στον σύγχρονο κόσμο, ένα υλικό αποτελεί σύμμαχο της ασφάλειας και της αντοχής. Το υλικό αυτό δε θα μπορούσε να είναι άλλο από το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα.

Κεφάλαιο Πρώτο: ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

A. ΓΕΝΙΚΑ

Η λέξη σκυρόδεμα προέρχεται από τη σύνδεση δύο λέξεων: «σκύρα» (μικρά κομμάτια σπασμένης πέτρας, χαλίκια) και δένω. Το σκυρόδεμα ορίζεται ως τεχνητό στερεό, που παράγεται με την ανάμιξη τσιμέντου, νερού με χονδρά αδρανή (χαλίκια) και λεπτότερα (άμμος). Επιπλέον, μερικές φορές για την βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων του νωπού ή του σκληρυμένου σκυροδέματος εισάγονται στο μίγμα σε κατάλληλες αναλογίες, ορισμένες χημικές ουσίες που ονομάζονται πρόσθετα.

Το σκυρόδεμα είναι σήμερα το συνηθέστερο δομικό υλικό για τις κατασκευές κτιρίων και έργων κοινής ωφέλειας. Το σκυρόδεμα πέρασε από πολλά στάδια για να αποκτήσει την σύγχρονη του μορφή. Πρόκειται για μια ιστορία που συνεχίζεται μέχρι σήμερα, καθώς το σκυρόδεμα εξελίσσεται διαρκώς, ώστε να παραμείνει ένα υλικό που προσφέρει χιλιάδες δυνατότητες και αποτελεί μια διαρκή πηγή έμπνευσης για τους αρχιτέκτονες.

A. 1 : Το τσιμέντο

Η ιστορία του σκυροδέματος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με ένα από τα βασικά του συστατικά του ,το τσιμέντο (το οποίο αποτελεί την κοινή του μείγματος). Το τσιμέντο σε ανάμιξη με το νερό (τσιμεντόπαστα) είναι το συνδετικό υλικό των ασβεστολιθικών κυρίως αδρανών, που χρησιμοποιείται στην παραγωγή του σκυροδέματος.

Τα βασικά είδη του τσιμέντου είναι τα εξής: Πόρτλαντ, σύνθετο Πόρτλαντ, σκωριοτσιμέντο, ποζολανικό και σύνθετο. (<http://www.concreteanswers.org/>, 2011)

Υπάρχει και το Πόρτλαντ ελληνικού τύπου, όπου προστίθεται θηραϊκή γη.¹

¹ Η θηραϊκή γη είναι μια φυσική ποζολάνη ηφαιστειογενούς προέλευσης και είναι κατάλληλη μετά από ανάμιξη με υδράσβεστο αδρανή και νερό, για την παρασκευή συμβατών κονιαμάτων αρμολόγησης, επιχρισμάτων και ενεμάτων για την αποκατάσταση μνημείων και παραδοσιακών κτιρίων και τη δόμηση νέων κατασκευών (<http://dalkafoukis.gr/>, 2013)

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ΤΥΠΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
CEM I	Κοινό τσιμέντο Portland
CEM II	Σύνθετο τσιμέντο Portland
CEM III	Σκωριοτσιμέντο
CEM IV	Ποζολανικό τσιμέντο
CEM V	Σύνθετο τσιμέντο

Πίνακας 1: Βασικοί τύποι τσιμέντων ευρωπαϊκού προτύπου.

Το κοινό τσιμέντο (εικόνα 1) είναι γκριζοπράσινη σκόνη που προκύπτει από την άλεση του κλίνκερ² (εικόνα 2). (www.orgka.gr, n.d.). Ο λόγος - τιμή (αξία) προς βάρος - είναι πολύ μικρός για το τσιμέντο, γεγονός που το κάνει να είναι πολύ ακριβό για μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις.

Οι πρώτες ύλες επίσης για την παραγωγή του τσιμέντου είναι ακόμη χαμηλότερης αξίας και για την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς των πρώτων υλών (θραυσμένος ασβεστόλιθος, αργιλικά πετρώματα, χαλαζιακά πετρώματα, σιδηρομετάλλευμα, βωξίτης) οι μονάδες παραγωγής τσιμέντου χωροθετούνται πολύ κοντά στις πηγές πρώτων υλών. Η μεγαλύτερη ποσότητα του παραγόμενου τσιμέντου, για τους παραπάνω λόγους, πρέπει να διατίθεται σε περιοχές και μονάδες παραγωγής σκυροδέματος πολύ κοντά στα εργοστάσια παραγωγής του.



Εικόνα 1: Τσιμέντο

² Κλίνκερ ονομάζεται διεθνώς το προϊόν που προκύπτει από την όπτηση μίγματος ασβεστολιθικών και αργιλοπυριτικών πετρωμάτων (<http://www.ntua.gr/vitruvius/2005/ty1.pdf>, 2005)



Εικόνα 2: Σφαιρίδια (pellets) μεγέθους 15-25 mm του κλίνκερ τσιμέντου (προϊόν της διεργασίας πυροσυσσωμάτωσης στην περιστροφική κάμινο).

A. 2 : Τα αδρανή

Αδρανή υλικά ονομάζονται τα λίθινα, φυσικά ή βιομηχανικά υλικά που χρησιμοποιούνται στα τεχνικά έργα είτε με άλλο συγκολλητικό υλικό ή αυτούσια. Τα αδρανή υλικά είναι οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες φυσικές πρώτες ύλες στον πλανήτη μας. Ανάλογα με την προέλευση τους χωρίζονται σε φυσικά, συλλεκτικά, τεχνητά ή ανακυκλωμένα.

Τα συνηθέστερα αδρανή υλικά είναι η άμμος (άμμος σπαστός), η αμμοκονία (άμμος θαλάσσης), ο περλίτης (βιομηχανικό ορυκτό το οποίο χρησιμοποιείται και σε διάφορες οικοδομικές χρήσεις), το χαλίκι, η ελαφρόπετρα κτλ.

Αδρανή ονομάστηκαν γιατί όταν αναμειχθούν με τσιμέντο ή άλλο υλικό δεν συμμετέχουν ενεργά στην τήξη του κονιάματος (γεγονός που δεν ισχύει πλήρως σήμερα καθώς γνωρίζουμε ότι τουλάχιστον η εξωτερική επιφάνεια τους συμμετέχει στις χημικές αντιδράσεις). Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες, για τον καθορισμό του μεγέθους χρησιμοποιούνται μεγάλα κόσκινα. Για την παρασκευή μπετόν τα αδρανή υλικά περνούν από ελέγχους της χημικής τους σύστασης πριν χρησιμοποιηθούν.

Τα αδρανή υλικά, είτε προέρχονται από την εξόρυξη κατάλληλων πετρωμάτων ή/και από την απόληψη φυσικών αποθέσεων θραυσμάτων τους και τα οποία, μετά από θραύση και λειοτρίβηση, χρησιμοποιούνται: (α) αυτούσια σε μορφή σκύρων ή μεγαλύτερων τεμαχίων στην οδοποιία και σε λοιπά τεχνικά έργα, ή (β) μετά από ανάμιξη τους με συγκολλητικές κονίες, όπως τσιμεντοκονία, ασβεστοκονία, άσφαλτο κ.α.,

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

δημιουργώντας υλικά όπως το σκυρόδεμα ή το ασφαλτόμιγμα ή το κονίαμα ή άλλο μίγμα.

Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο χονδρόκοκκα γίνεται, αλλά όχι σε τέτοιο βαθμό ώστε να επηρεάζουν την διάστρωση και την συμπύκνωση του σκυροδέματος.

Γενικά η μέγιστη διάμετρος του μεγαλύτερου ποσοστού των αδρανών πρέπει να είναι μικρότερη από την απόσταση ανάμεσα στον οπλισμό και τον ξυλότυπο.

Τέλος η μέγιστη διάμετρος των χονδρόκοκκων αδρανών πρέπει να είναι μικρότερη του 1/3 της μικρότερης διάστασης του δομικού στοιχείου. Αυτό ονομάζεται φαινόμενο των τύπων. (https://el.wikipedia.org/wiki/Αδρανή_υλικά,_n.d.)

A. 3 : Το νερό

Όπως προαναφέραμε ,το νερό μαζί με το τσιμέντο, αποτελούν τα δύο ενεργά συστατικά του σκυροδέματος. Πολύ βασική είναι η συμμετοχή τους σε μια σειρά αντιδράσεων, που οδηγούν στη σκλήρυνση του μίγματος. Το νερό που χρησιμοποιείται, επιβάλλεται να είναι καθαρό και απαλλαγμένο από βλαπτικές ουσίες (οργανικά ή ανόργανα στερεά, θειικά άλατα, οξέα) σε μεγάλο ποσοστό, γιατί είναι πιθανό να βλάψουν την ποιότητα του σκυροδέματος και να προκαλέσουν διάβρωση του οπλισμού. Η αναλογία επίσης του νερού στο μείγμα είναι καθοριστικός παράγοντας επίτευξης των επιθυμητών αντοχών στο σκυρόδεμα και πρέπει να διατηρείται αυστηρά στα όρια που καθορίζει η μελέτη σύνθεσης. Γενικά, λιγότερο νερό συνεπάγεται μεγαλύτερες αντοχές, ενώ περισσότερο νερό υψηλότερη εργασιμότητα (ρευστότητα), γι αυτό απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή η χρήση του. Το νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μπορεί να είναι πόσιμο, νερό γεωτρήσεων ή θαλασσινό (το οποίο όμως απαγορεύεται στο οπλισμένο σκυρόδεμα).

A. 4 : Πρόσθετα

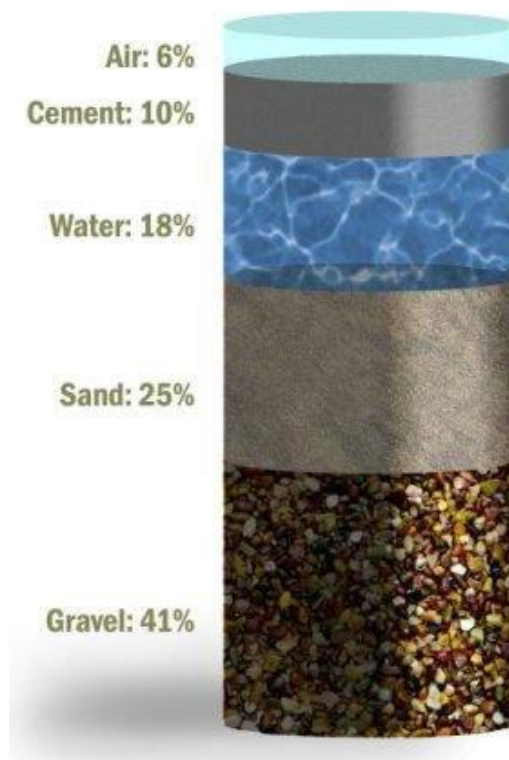
Σύμφωνα με τον ορισμό του Ευρωπαϊκού Προτύπου EN 934-2:2001, (Παράρτημα 8 σελ -138-) πρόσθετο σκυροδέματος είναι το υλικό που προστίθεται κατά τη διαδικασία της ανάμιξης του σκυροδέματος σε ποσότητα που δεν ξεπερνάει το 5% κ.β. του τσιμέντου, για να τροποποιήσει τις ιδιότητες του μίγματος, νωπού ή και σκληρυμένου. (σχήμα 1) (<http://www.concreteanswers.org/>, 2011)

Τα πρόσθετα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την ιδιότητα ή τις ιδιότητες του

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

σκυροδέματος που τροποποιούν. Τυπικές ιδιότητες που μπορούν να τροποποιηθούν άμεσα από τα πρόσθετα σκυροδέματος είναι:

- ♦ Η αντοχή του σκληρυμένου σκυροδέματος
- ♦ Η εργασιμότητα του νωπού μείγματος
- ♦ Η ταχύτητα πήξης και σκλήρυνσης του σκυροδέματος
- ♦ Η στεγανότητα του σκυροδέματος
- ♦ Ο περιεχόμενος αέρας στο νωπό και σκληρυμένο σκυρόδεμα (Στεργιόπουλος, 2005)



Σχήμα 1: Ποσοστιαία Σύνθεση Σκυροδέματος.

Β. ΕΙΔΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Β.1. Ανάλογα με τον τρόπο ενίσχυσης

Ανάλογα με τον τρόπο ενίσχυσης του με οπλισμό, το σκυρόδεμα διακρίνεται σε :

- ❖ **Άοπλο** : Είναι το σκυρόδεμα που δεν είναι ενισχυμένο με ράβδους οπλισμού. Παρασκευάζεται από κοινό τσιμέντο και αδρανή υλικά. Η περιεκτικότητα του σε τσιμέντο είναι χαμηλή, γι' αυτό και ονομάζεται ισχνό σκυρόδεμα ή γκρο μπετόν. Χρησιμοποιείται συνήθως σε δάπεδα, σε υποστρώματα για τα πέδιλα και σε πρόχειρες κατασκευές.(εικόνα 3) (<http://dec-orama.gr>, 2006)



Εικόνα 3: Άοπλο σκυρόδεμα (γκρο μπετόν)

- ❖ **Οπλισμένο** : Είναι το σκυρόδεμα που ενισχύεται με ράβδους από χάλυβα (εικόνα 4). Τα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευάζονται στο εργοτάξιο, δηλαδή απ' ευθείας στην τελική θέση ή στο εργοστάσιο, οπότε και ονομάζονται προκατασκευασμένα στοιχεία. Από το εργοστάσιο μεταφέρονται και τοποθετούνται στην οριστική θέση τους στο έργο. (<http://gkarampalis.gr>, n.d.)



Εικόνα 4: Οπλισμένο σκυρόδεμα

- ❖ **Προεντεταμένο:** Στο προεντεταμένο σκυρόδεμα (εικόνα 5), (<http://www.denco.gr/>, 2006) εφαρμόζεται άλλος τρόπος χρησιμοποίησης του χαλύβδινου οπλισμού. Ο χάλυβας, σε μορφή συρμάτων ή καλωδίων, δεν τοποθετείται στον ξυλότυπο ‘γυμνό’, αλλά μέσα σε σωλήνες, ώστε κατά την διάστρωση, να μην έρχεται σε επαφή με το σκυρόδεμα. Μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, εφαρμόζονται δυνάμεις εφελκυσμού στα χαλύβδινα καλώδια και με την κατάλληλη διάταξη, συγκρατούνται σε κατάσταση τάσης. Με τη μέθοδο αυτή, διευρύνθηκαν οι δυνατότητες κατασκευής έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σήμερα, είναι δυνατό να κατασκευαστούν δοκοί ή πλάκες πολύ μεγάλων ανοιγμάτων, πράγμα που με το κοινό οπλισμένο σκυρόδεμα ήταν αδύνατο. Το προεντεταμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται κυρίως σε έργα γεφυροποιίας και σε κτίρια εργοστασίων.



Εικόνα 5: ΓΕΦΥΡΑ ΠΟΤΑΜΟΥ ΒΕΝΕΤΙΚΟΥ, ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΣ "ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ"

B.2. Ειδικά σκυροδέματα

➤ **Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής**

Σαν σκυρόδεμα υψηλής αντοχής θεωρείται , το σκυρόδεμα με συμβατικά αδρανή χαρακτηριστικής αντοχής f_{ck} από 60 έως 130 MPa με αναλογία νερού /τσιμέντου κάτω από 0,40.

Στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται και αντοχές υψηλότερες των 200MPa (<http://documents.scribd.com.>, n.d.)

Κατά την παρασκευή του δε χρησιμοποιείται κοινό τσιμέντο Πόρτλαντ, αλλά αργιλικό. Τα αργιλικά σκυροδέματα, σε σύγκριση με τα κοινά, πήζουν και σκληρύνονται πολύ ταχύτερα και αποκτούν υψηλή μηχανική αντοχή σε μικρότερο χρόνο . Έτσι , είναι δυνατό οι ξυλότυποι να αφαιρεθούν νωρίτερα. Επίσης η τελική αντοχή τους σε θλίψη είναι μεγαλύτερη από την αντοχή των κοινών σκυροδεμάτων. Οι αντοχές των σκυροδεμάτων υψηλής αντοχής πετυχαίνονται: με μείωση του νερού αναμίξεως στο ελάχιστο δυνατό, με αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου, με μείωση του μέγιστου κόκκου των αδρανών και ενδεχομένως με προσθήκη πυριτικής παιπάλης. Η μακροχρόνια όμως συμπεριφορά των σκυροδεμάτων αυτών και ιδιαίτερα της πυριτικής παιπάλης δεν είναι πλήρως μελετημένη.

Τα αργιλικά σκυροδέματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε κατασκευές που εκτελούνται το χειμώνα και σε κατασκευές που θα υποστούν την επίδραση μεγάλων

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

φορτίων σε σύντομο χρόνο

➤ **Αεροσκυρόδεμα :**

Παρασκευάζεται με τον ίδιο τρόπο που παρασκευάζονται τα κοινά σκυροδέματα, με τη διαφορά ότι, κατά τη διάρκεια της ανάμειξης, προστίθενται ειδικά πρόσμικτα που προκαλούν τη δημιουργία κυψελών. Έτσι δημιουργείται ένα σκυρόδεμα με σπογγώδη μάζα. Το Αεροσκυρόδεμα παρουσιάζει άριστες μονωτικές ιδιότητες ως προς τη θερμότητα και τον ήχο, αλλά έχει πολύ χαμηλή αντοχή και μικρή υδατοστεγανότητα. Χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό δαπέδων, στεγών κ.α.

➤ **Στεγανό σκυρόδεμα :**

Στεγανό σκυρόδεμα θεωρούμε συνήθως το αδιαπέρατο σκυρόδεμα. Για να πάρουμε αδιαπέρατο σκυρόδεμα, πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατάλληλη κοκκομετρική κατανομή αδρανών και να μειωθεί το πορώδες του σκυροδέματος.

Μέτρα μείωσης του τριχοειδούς πορώδους είναι η:

- ✓ Μείωση του λόγου N/T (νερό/ τσιμέντο)
- ✓ Επιπρόσθετη σφράγιση των κενών με ποζολανικά ενεργά υλικά.
- ✓ Η διαδικασία ωρίμανσης του σκυροδέματος είναι μία ακόμη παράμετρος που επηρεάζει την αντίσταση σε υδατοπερατότητα. (grc.sika.com, 2007)

➤ **Ελαφρό σκυρόδεμα :**

Σε αυτό το τύπο σκυροδέματος, αντί για τα συνηθισμένα αδρανή , χρησιμοποιούνται πορώδη και ελαφρά υλικά, όπως είναι η ελαφρόπετρα και ο περλίτης.

Το Ελαφρό σκυρόδεμα σε σχέση με το συμβατικό (φαινόμενου βάρους περίπου $2.400\text{kg}/\text{m}^3$), έχει σημαντικά προτερήματα. Σε φρέσκια μορφή εξασκεί μικρότερη πίεση στο καλούπι, ενώ σε σκληρυμένη μορφή μπορεί να συμβάλλει στην μείωση των διατομών των δομικών στοιχείων ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δομικό κατασκευαστικό στοιχείο, για κατασκευές σε εδάφη με μικρή φέρουσα ικανότητα. Στην προκατασκευή μπορεί να συνεισφέρει με την μείωση κόστους από τα βάρη μεταφοράς. Το Ελαφρό σκυρόδεμα μπορεί επίσης να έχει θερμομονωτικές ιδιότητες. Η πυκνότητα του ,μπορεί να μειωθεί, αντικαθιστώντας κάποια από τα συμπαγή υλικά με αέρα. Υπάρχουν 3 πιθανές πηγές αέρα: στους κόκκους των αδρανών (ελαφρά αδρανή),στην πάστα της τσιμεντόπαστας (κυψελωτό σκυρόδεμα),στα κενά ανάμεσα σε χονδρούς κόκκους, χωρίς λεπτά αδρανή (No Fines Concrete) (Λυκούδης and Ψυχούδης, 2009)

➤ **Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα:**

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (εικόνα 6) (<https://commons.wikimedia.org>, 2013) είναι ένα ευπροσάρμοστο υλικό το οποίο έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Είναι ένα

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

υλικό που προσφέρει υψηλή θλιπτική αντοχή, έχει καλή αντίσταση στη διάβρωση και τις χημικές ουσίες, καλή πρόσφυση με το υπάρχον σκυρόδεμα, με το χάλυβα, τον βράχο. Μπορεί να πάρει εύκολα οποιοδήποτε σχήμα και περίγραμμα και να εφαρμοστεί χωρίς ξυλότυπο.

Πλεονεκτεί σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα σε συνθήκες όπου η πρόσβαση είναι δύσκολη, όπου απαιτούνται λεπτά στρώματα ή μεταβλητά πάχη.

Αποτελεί σκυρόδεμα νέας τεχνολογίας που είναι περισσότερο γνωστό με τον Αγγλικό όρο GUNITE και πρώτη φορά άρχισε να εφαρμόζεται στην Ελλάδα από τους σεισμούς της Θεσσαλονίκης το 1978.

Εφαρμόζεται κυρίως για επισκευές κτιρίων, στους μανδύες δομικών στατικών στοιχείων υποστυλωμάτων δοκών πλάκες και στην ενίσχυση φερουσών τοιχοποιιών και λιθοδομών.

Στην οδοποιία το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (gunite) εφαρμόζεται στην αντιστήριξη πρανών και στην κατασκευή υπόγειων σηράγγων (τούνελ). (<http://www.nakos.com.gr/gunite.html>, n.d.)

Σε αντίθεση με το γνωστό έγχυτο σκυρόδεμα το μίγμα αδρανών τσιμέντου παρασκευάζεται ως ξηρό μίγμα με ελάχιστη υγρασία (και με αυτό τροφοδοτείται η μηχανή του GUNITE). Εν συνέχεια και με την βοήθεια ισχυρού αεροσυμπιεστού το ξηρό μίγμα από τη μηχανή του GUNITE μέσω ελαστικού σωλήνα μεταφέρεται και εκτοξεύεται στην επιφάνεια που πρόκειται να ενισχύσουμε. Στην άκρη του ελαστικού σωλήνα υπάρχει μηχανισμός διαβροχής του μίγματος (μάνικα), ώστε το μίγμα να αποκτήσει την ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα νερού. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή πρόσφυση νέου σκυροδέματος με παλιό καθώς και πολύ υψηλές αντοχές σκυροδέματος



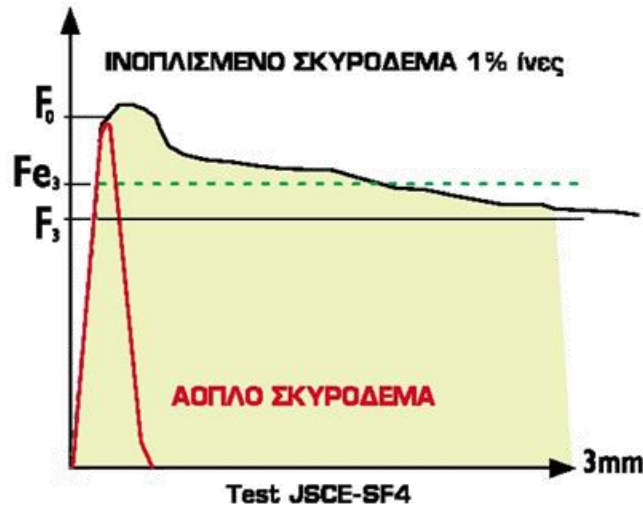
Εικόνα 6: Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος

➤ **Ινοπλισμένο σκυρόδεμα:**

Σαν Ινοπλισμένο σκυρόδεμα ορίζεται το σκυρόδεμα που συντίθεται από υδραυλικά τσιμέντα, λεπτόκοκκα ή και χονδρόκοκκα αδρανή και ασυνεχείς διακριτές ίνες . 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 1-3% κ.ο.

Συνήθως παρασκευάζονται από χάλυβα, πολυπροπυλένιο η γυαλί, ενώ εφαρμογές βρίσκουν και ίνες από υλικά, όπως ο άνθρακας, 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 εφελκύστηκες τάσεις) και ο περιορισμός γενικά της ρηγμάτωσης (π.χ. λόγω συστολής ξήρανσης), ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις επιτυγχάνεται και (μικρή συνήθως) αύξηση της αντοχής. Αποτέλεσμα είναι κυρίως η αύξηση της δισθραυστότητας του υλικού δηλαδή την ικανότητά του να απορροφά ενέργεια κατά την παραμόρφωση.

Γραφικά αντιπροσωπεύεται από το εμβαδόν κατά την καμπύλη φορτίου παραμόρφωσης. (Γράφημα 1)



Γράφημα 1: Test JSCE-SF4

Το εμβαδόν αυτό είναι συχνά 10-40 φορές μεγαλύτερο για το ινοπλισμένο σκυρόδεμα απ' ότι στο άοπλο. (kataskevh.blogspot.gr, 2010)

Κατά την παραγωγή ινοπλισμένων σκυροδεμάτων, πρέπει να ακολουθούνται οι οδηγίες του παραγωγού των ινών. Η προσθήκη των ινών σε λάθος χρονική στιγμή ή η λάθος ανάμιξή τους μπορεί να προκαλέσει μεγάλα προβλήματα και να καταστήσει τις ίνες άχρηστες

Τα τελευταία χρόνια οι χρήσεις του ινοπλισμένου σκυροδέματος έχουν επεκταθεί σε πάρα πολλές κατηγορίες έργων πολιτικού μηχανικού λόγω των βελτιωμένων μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων του σε σύγκριση με το συμβατικό άοπλο σκυρόδεμα.

Έτσι το Ινοπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για:

- Βιομηχανικά δάπεδα: Η κατασκευή βιομηχανικών δαπέδων με ινοπλισμένο σκυρόδεμα προσδίδει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής έναντι εκείνων με τον συμβατικό οπλισμό. Η χρήση ινών χάλυβα κάνει την ρηγμάτωση στα βιομηχανικά δάπεδα ελεγχόμενη έως αμελητέα. Σε αντίθεση δάπεδα με συμβατικό οπλισμό παρουσιάζουν μεγαλύτερες και σε βάθος ρωγμές με αποτέλεσμα τη μειωμένη πλαστιμότητα, σημαντικό παράγοντα για πλάκες και δάπεδα.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ίνες: Η χρήση των ινών στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα εφαρμόζεται ευρέως στην κατασκευή υπογείων έργων, όταν τοποθετείται ως πρώτο κέλυφος στήριξης κατά τη διάνοιξη σηράγγων (εικόνα 7) (kataskevh.blogspot.gr, 2010) καθώς και σε εργασίες στήριξης πρανών. Αποφεύγει επίσης πτώση κομματιών σε περίπτωση ρηγματομένου κελύφους

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

αφού οι ίνες ελέγχουν τη ρηγμάτωση και οπλίζουν όλη τη μάζα σκυροδέματος.



Εικόνα 7: Διάνοξη σήραγγας και τοποθέτηση κελύφους στήριξης

- Λιμενικά δάπεδα :Πρόσφατα στην Ελλάδα, τα λιμάνια του Αστακού και της Θίσβης Βοιωτίας (εικόνα 8) (<http://www.kadmosaete.com/jetty-thisbis.html>, n.d.) κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας ινοπλισμένο σκυρόδεμα. Τα λιμενικά δάπεδα που κατασκευάζονται με ινοπλισμένο σκυρόδεμα είναι πλέον ανταγωνιστικά λόγω του χαμηλού συνολικού κόστους κατασκευής και της αυξημένης αποδοτικότητας. Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα ως σύνθετο υλικό με αντοχή σε εφελκυσμό λόγω των ινών αντισταθμίζει την αντίστοιχη χαμηλή αντοχή και ελαστικότητα του σκυροδέματος κάνοντας έτσι τα λιμενικά δάπεδα ανθεκτικότερα κάτω από διαβρωτικές συνθήκες.
- Λεπτές κατασκευές (συνήθως σε προκατασκευές)
- Κατασκευές ανθεκτικές σε πυρκαγιά (Hirschi et al., 2007)



Εικόνα 8: Λιμενικά δάπεδα στην προβλήτα Θίσβης Βοιωτίας

➤ **Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα :**

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα είναι ένα σκυρόδεμα το οποίο συμπυκνώνεται με το ίδιο βάρος του χωρίς τη χρήση εξωτερικών δονητών μάζας. Αυτό το είδος σκυροδέματος παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και οι δυνατότητες του απασχολούν τους μηχανικούς τα τελευταία έτη.

Όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (ή ΑΣΣ χάριν συντομίας), αποτελεί το κεντρικό θέμα της παρούσας εργασίας και αναλυτικότερα θα αναφερθούμε σε αυτό στα επόμενα κεφάλαια.

➤ **Αντλήσιμο Σκυρόδεμα:**

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

➤ **Σκυρόδεμα για Περιοχές με Κίνηση Οχημάτων:**

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.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Οι χρήσεις σκυροδέματος για περιοχές με κίνηση οχημάτων είναι :

- ◆ Στην συμβατική οδοποιία
- ◆ Στους οδικούς δακτυλίους
- ◆ Στους διαδρόμους αεροδρομίων
- ◆ Στα 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 αντλιοσθηρότητα
- ⚡ Χαμηλή φθορά από τριβή

Η σύνθεση του σκυροδέματος επίσης αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για να επιτευχθούν οι επιθυμητές απαιτήσεις. Έτσι η δοσολογία του τσιμέντου πρέπει να είναι 300 – 350 kg/m³ και όσων αναφορά στα αδρανή θα πρέπει να γίνεται χρήση μιγμάτων με χαμηλό περιεχόμενο σε λεπτά υλικά, χρήση ισορροπημένης κοκκομετρικής καμπύλης αδρανών ,χρήση θραυστών ή μερικώς θραυστών αδρανών που αυξάνει την αντλιοσθηρότητα και την καμπτική αντοχή (Hirschi et al., 2007)

➤ **Σκυρόδεμα με αντοχή σε Παγετό και Κύκλους Πήξης/Τήξης:**

Αυτό το σκυρόδεμα πρέπει να χρησιμοποιείται πάντα σε περιπτώσεις επιφανειών σκυροδέματος που εκτίθενται σε καιρικές επιδράσεις (υγρασία) όπως π.χ. προσόψεις επιφανειών σκυροδέματος, γεφυροποιία, είσοδοι σηράγγων, περιοχές κίνησης οχημάτων, τοίχοι αντιστήριξης και όταν η θερμοκρασία του σκυροδέματος μπορεί να πέσει κάτω από τη θερμοκρασία πήξης.

➤ **Στεγανό σκυρόδεμα:**

Στεγανό σκυρόδεμα θεωρούμε συνήθως το αδιαπέρατο σκυρόδεμα. Για να πάρουμε αδιαπέρατο σκυρόδεμα, πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατάλληλη κοκκομετρική κατανομή αδρανών και να μειωθεί το πορώδες του σκυροδέματος.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

➤ **Εμφανές σκυρόδεμα:**

Στη μοντέρνα αρχιτεκτονική, το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για σχεδιαστικούς λόγους, πέραν των δομικών του ιδιοτήτων. Αυτό σημαίνει υψηλότερων απαιτήσεων προδιαγραφές για το φινίρισμα (εκτεθειμένες επιφάνειες). Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να παραχθούν ιδιαίτερα αποτελέσματα σε αυτές τις εκτεθειμένες επιφάνειες. Μερικοί από αυτούς είναι

- ✓ Εκλογή κατάλληλου μίγματος σκυροδέματος
- ✓ Καθορισμός του τύπου και του υλικού του καλουπιού
- ✓ Χρήση της σωστής ποσότητας κατάλληλου αποκαλουπωτικού μέσου
- ✓ Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου τοποθέτησης
- ✓ Χρήση οδηγών σχεδίασης εάν αυτό είναι απαραίτητο
- ✓ Να ληφθεί υπόψη οποιαδήποτε επανεπεξεργασία
- ✓ Χρήση χρωστικών ουσιών
- ✓ Σωστή εφαρμογή (συμπύκνωση, έγχυση κτλ.)
- ✓ Πλήρης ωρίμανση

➤ **Σκυρόδεμα Μεγάλου Όγκου:**

Το σκυρόδεμα μεγάλου όγκου αναφέρεται σε κατασκευές μεγάλου πάχους (> 80 cm). Αυτές οι κατασκευές έχουν συνήθως μεγάλο όγκο, που γενικώς σημαίνει ότι μεγάλοι όγκοι σκυροδέματος πρέπει να τοποθετηθούν σε μικρό χρονικό διάστημα. Κάτι τέτοιο απαιτεί εξαιρετικό σχεδιασμό και αποδοτικές διαδικασίες.

Το σκυρόδεμα μεγάλου όγκου χρησιμοποιείται για:

- Θεμελιώσεις μεγάλων φορτίων
- Θεμελιώσεις ελέγχου πλευστότητας
- Συμπαγείς τοίχους (π.χ. προστασία από ακτινοβολία)
- Σκυρόδεμα πλήρωσης
- Σκυρόδεμα υποβρύχιων κατασκευών

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

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

εσωτερικό του εδάφους μπορεί να οδηγήσει σε υδραυλική ανύψωση του εδάφους κτλ.

➤ Ύφυγρο Σκυρόδεμα για Προκατασκευασμένα Στοιχεία Σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα αυτό χρησιμοποιείται για την κατασκευή μικρών διαστάσεων προϊόντων προκατασκευασμένου σκυροδέματος, όπως πλάκες πεζοδρομίου, κυβόλιθοι, προκατασκευασμένες πλάκες, σωλήνες

Οι κυριότερες εφαρμογές αφορούν σήμερα σε πλάκες πεζοδρομίου.

Τα ειδικά χαρακτηριστικά του ύφυγρου σκυροδέματος είναι

✚ Άμεση αποκαλούπωση

✚ Σταθερότητα του μη ενυδατωμένου σκυροδέματος

✚ Ακρίβεια διαστάσεων αμέσως μετά τη συμπύκνωση (πράσινη δύναμη)³

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι

- ✓ Μόνο ένας τύπος καλουπιού ανά σχήμα προϊόντος (μικρό κεφάλαιο επενδύσεων πάγιου εξοπλισμού)
- ✓ Τοποθέτηση με συμπύκνωση για όλα τα προϊόντα
- ✓ Ευελιξία παραγωγής λόγω ταχείας αλλαγής του καλουπιού για κάθε νέο τύπο προϊόντος.

³ Ως “Πράσινη δύναμη” ορίζεται η ιδιότητα του μη πλήρως σκληρυμένου σκυροδέματος να μπορεί να αποκαλουπωθεί και να μετακινηθεί χωρίς παραμόρφωση του σχήματός του.

C. Ιδιότητες Σκυροδέματος

Πολύ βασικό στοιχείο έρευνας, αποτελεί το κομμάτι των ιδιοτήτων του σκυροδέματος. Είναι απαραίτητο για τη σωστή χρήση του κονιάματος, να γνωρίζουμε καλά την συμπεριφορά του σε διάφορες καταστάσεις. Αυτές οι ιδιότητες θα μελετηθούν σύντομα, αλλά περιεκτικά σε αυτή την ενότητα, με σκοπό να ολοκληρωθεί ένα πλήρες γενικό μέρος περί του σκυροδέματος και να περάσουμε στη συνέχεια στο ειδικό κομμάτι της εργασίας.

Το σκυρόδεμα μέχρι να αποκτήσει την τελική του αντοχή, περνά από δύο καταστάσεις συνεκτικότητας τη νωπή και τη σκληρυμένη.

Εξετάζουμε λοιπόν τις ιδιότητες του και τα προβλήματα που δημιουργούνται κατά τη διαχείριση του, χωριστά για κάθε μια από τις καταστάσεις αυτές.

Γ. 1. Νωπή κατάσταση συνεκτικότητας (Νωπό σκυρόδεμα)

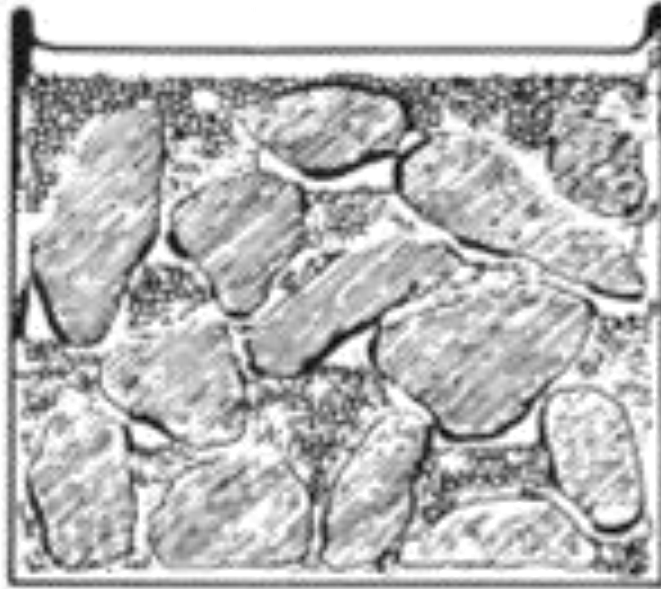
Νωπό σκυρόδεμα ονομάζεται το παρασκευασμένο σκυρόδεμα, και για όσο χρονικό διάστημα διατηρεί το εργάσιμο, δηλαδή όσο είναι δυνατόν να μεταφέρεται και να διαστρώνεται. Το τσιμέντο αντιδρά χημικά με το νερό (ενυδάτωση) και δημιουργείται ο τσιμεντοπολτός, ο οποίος αποτελεί τη συνδετική ύλη του σκυροδέματος. Κατά τη διάρκεια της ενυδάτωσης του τσιμέντου λαμβάνουν χώρα διάφορες χημικές αντιδράσεις και δημιουργούνται ένυδροι κρύσταλλοι με διαφορετική χημική κινητική, καταλήγοντας στην δημιουργία κρυστάλλων ένυδρων μικτών αλάτων. Ο τσιμεντοπολτός αρχίζει να πήζει (στάδιο πήξης), γεμίζει τα κενά μεταξύ των κόκκων των αδρανών και καλύπτει την επιφάνειά τους. Με την πάροδο του χρόνου ο τσιμεντοπολτός γίνεται πιο συμπαγής και συνεκτικός, αποκτά αυξανόμενες μηχανικές αντοχές (στάδιο σκλήρυνσης), οπότε και αρχίζει η στερεοποίηση του σκυροδέματος, η οποία συνεχίζεται στον χρόνο (Ρούτουλας, 2010)

Οι ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος είναι :

- ✓ Η απόμειξη: Ονομάζουμε απόμειξη το φαινόμενο εκείνο, κατά το οποίο τα στερεά συστατικά, όχι μόνο σαν σύνολο διαχωρίζονται από το νερό, αλλά και μεταξύ τους χωρίζονται, κατά την κίνηση του προς τα κάτω, ανάλογα με το βάρος τους. Στην περίπτωση που οι κόκκοι είναι από το ίδιο πέτρωμα και επομένως έχουν το ίδιο ειδικό βάρος, ο διαχωρισμός πραγματοποιείται, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων. Το φαινόμενο της απόμειξης είναι από τα πιο καταστρεπτικά για την αντοχή και γενικά για την ποιότητα του σκυροδέματος, γιατί όπως είναι φανερό μεταβάλλει της αναλογίες μείξης κατά τρόπο

ανομοιομορφο και απρόβλεπτο. Οπότε, δημιουργούνται περιοχές με μειωμένη αντοχή, καθώς επίσης και μειωμένη πρόσφυση μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος, από την έλλειψη κονιάματος.

- ✓ Η εξίδρωση : Είναι μια μορφή απόμειξης. Πρόκειται για το σταδιακό διαχωρισμό του νερού από το νωπό σκυρόδεμα προς την άνω επιφάνεια, λόγω της σταδιακής καθίζησης – συμπύκνωσης των αδρανών μέσα στο μίγμα (σχ. 2) (ΑΥΤΟΥΣΜΗΣ, 2012). Σχετίζεται με τις τριχοειδείς δυνάμεις που αναπτύσσονται στους πόρους. Τα στερεά συστατικά καθιζάνουν λόγω της βαρύτητας, ενώ το νερό, λόγω των τριχοειδών δυνάμεων, έχει τη διάθεση να κινηθεί προς τα επάνω. Οπότε, εμφανίζεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος λεπτό σώμα νερού που μοιάζει με εξίδρωση. Το νερό αυτό τελικά εξατμίζεται. Η εξίδρωση επομένως έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του τελικού όγκου του μείγματος και την απομάκρυνση τμήματος νερού. Η ελάττωση του νερού είναι, φυσικά, επιθυμητή, γιατί έχει ευνοϊκό αποτέλεσμα στην αντοχή, αλλά το φαινόμενο του διαχωρισμού είναι επιβλαβές και ανεπιθύμητο γενικά, λόγω κυρίως της ανομοιογένειας που δημιουργεί μέσα στην μάζα του σκυροδέματος. Μπορεί να δημιουργήσει κακή ποιότητα του τελικού σκυροδέματος, κακό αρμό και κακή συνάφεια. Το φαινόμενο της εξιδρώσεως, επιτείνεται με την αύξηση του Ν/Τ (νερό προς τσιμέντο) και με την έλλειψη λεπτόκοκκων στο μίγμα (παιπάλη). Το εμποδίζει η σκόπιμη ενσωμάτωση φυσαλίδων αέρα και η επέκταση του χρόνου έναρξης της πήξης. Τέλος, πρέπει να υπογραμμιστεί, ότι κάθε είδος τσιμέντου έχει διαφορετική ικανότητα συγκρατήσεως νερού, όπου βασικό ρόλο παίζει η λεπτότητα του τσιμέντου και οι προσμίξεις. (Ζέρης, 2014)



Σχήμα 2: Σχηματική παράσταση θυλάκων νερού κάτω από τους κόκκους των αδρανών και το λεπτό στρώμα νερού που εμφανίζεται στην ελεύθερη επιφάνεια του σκυροδέματος

- ✓ Η εργασιμότητα: Με τον όρο εργασιμότητα χαρακτηρίζουμε γενικά την ευκολία με την οποία μπορούμε να μεταφέρουμε, διαστρώσουμε και συμπυκνώσουμε το σκυρόδεμα. Όμως, ο ορισμός αυτός δεν είναι απόλυτα ακριβής, γιατί η ευκολία αυτή κατεργασίας του νωπού σκυροδέματος, συνδέεται και με τα μέσα που διαθέτουμε. Το εργάσιμο θα πρέπει να το φανταστούμε, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές αυτές συνθήκες. Οπότε, ορθότερο είναι να το ορίσουμε ως το έργο που απαιτείται, για την υπερνίκηση των εσωτερικών τριβών, ωσότου πετύχουμε πλήρη συμπίκνωση. Το εργάσιμο είναι μια πολλή σημαντική έννοια στην πράξη, γιατί αποδίδει ακριβώς αυτό που ενδιαφέρει τον κατασκευαστή κατά το χρόνο της σκυροδετήσεως, είναι όμως ιδιότητα σύνθετη που συνδέεται με άλλες ρεολογικές ιδιότητες και που δύσκολα μπορεί να αποδοθεί ποσοτικά. Οι ιδιότητες με τις οποίες συνδέεται το εργάσιμο και το επηρεάζουν είναι η ρευστότητα, που σημαίνει την ευκολία με την οποία ρέει ένα υλικό και εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα νερού αναμείξεως. Άλλη ιδιότητα είναι η πλαστικότητα, με την οποία νοείται η ικανότητα του υλικού να παραμορφώνεται χωρίς διακοπή της συνέχειας του. Επιπλέον, η συνοχή, η οποία είναι το αποτέλεσμα των δυνάμεων που έλκουν τα μόρια του υλικού μεταξύ τους και επομένως είναι μια από τις ιδιότητες που συντελούν στην πλαστικότητα. Ακόμη, η συμπυκνωσιμότητα, δηλαδή η δυνατότητα του υλικού να συμπυκνωθεί και που εξαρτάται από τον αρχικό βαθμό συμπυκνώσεως. Τέλος, τον όρο συνεκτικότητα χρησιμοποιούμε πολλές φορές,

για να εκφράσουμε άλλοτε το εργάσιμο και άλλοτε τη ρευστότητα.

Γ. 2. Σκληρυμένη κατάσταση συνεκτικότητας (πεπηγμένο ή σκληρυμένο σκυρόδεμα)

Έτσι ονομάζεται το σκυρόδεμα, το οποίο έχει σκληρυνθεί και έχει αποκτήσει την οριστική μορφή του, δηλαδή έχει μετατραπεί σε τεχνητό λίθο. Οι ιδιότητες του είναι :

- Φαινόμενη πυκνότητα
- Αντοχή σε θλίψη
- Αντοχή σε εφελκυσμό
- Αντοχή σε κάμψη

Οι ιδιότητες αυτές επηρεάζονται από τους εξής παράγοντες :

- ◆ Τον βαθμό ενυδάτωσης :Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός ενυδάτωσης, δηλαδή όσο πιο ολοκληρωμένη είναι η ενυδάτωση των κόκκων του τσιμέντου, τόσο πιο συμπαγές, στερεό και ανθεκτικό είναι το σκληρυνθέν σκυρόδεμα.
- ◆ Τον συντελεστή νερού – τσιμέντου (w) που επηρεάζει σημαντικά την πλαστικότητα και την αντοχή του σκυροδέματος. Ο συντελεστής αυτός έχει καθορισμένη τιμή ανάλογα με την απαιτούμενη αντοχή του παρασκευαζόμενου σκυροδέματος και την ποιότητα του τσιμέντου. Μεγαλύτερες ή μικρότερες τιμές από την απαιτούμενη τιμή του w επιδρούν αρνητικά στην αντοχή του σκυροδέματος.
- ◆ Την θερμοκρασία αφού αυτή επηρεάζει την ταχύτητα σκλήρυνσης του σκυροδέματος. Για θερμοκρασίες αέρα μέχρι και τους 180C περίπου. Η ταχύτητα σκλήρυνσης μειώνεται, καθώς μειώνεται η θερμοκρασία και μάλιστα η μείωση είναι μεγαλύτερη για λεπτά δοκίμια. Για θερμοκρασίες μεγαλύτερες από τους 180C η ταχύτητα σκλήρυνσης παραμένει σταθερή, ανεξάρτητα από το πάχος του δοκιμίου.
- ◆ Την υγρασία: Η γρήγορη ξήρανση του σκυροδέματος έχει ως αποτέλεσμα να αναπτυχθούν τάσεις λόγω της συστολής ξήρανσης, οι οποίες προκαλούν ρηγμάτωση ή μείωση της αντοχής σε εφελκυσμό του σκυροδέματος.
- ◆ Την συντήρηση του σκυροδέματος. Η συντήρηση του σκυροδέματος αποβλέπει στην προστασία του σκυροδέματος από την επίδραση της θερμοκρασίας, του ανέμου, του νερού και των κραδασμών, καθώς και από τις χημικές επιδράσεις. Η συντήρηση είναι υποχρεωτική για κάθε έργο. Αρχίζει αμέσως μετά τη διάστρωση του σκυροδέματος και η χρονική διάρκειά της εξαρτάται από τις κλιματολογικές

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

συνθήκες (άνεμοι, ισχυρές μετατοπίσεις μαζών αέρα)και τις ειδικές απαιτήσεις του έργου.

D. Παρασκευή σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα είναι ένα μίγμα τσιμέντου, αδρανών και νερού με προσεκτικά καθορισμένες αναλογίες. Η σύνθεση φαίνεται απλή, αλλά στην πραγματικότητα, η παραγωγή σκυροδέματος είναι πιο πολύπλοκη. Η ανάπτυξη συνθέσεων σκυροδέματος απαιτεί πολύ προηγμένες επιστημονικές γνώσεις και ικανότητες. Η ποιότητα του τσιμέντου και των αδρανών, η δοσολογία και οι αναλογίες αποτελούν ορισμένες μόνο από τις μεταβλητές που επηρεάζουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος.

Το τσιμέντο δρα ως συνδετικό υλικό και τροποποιεί τα χαρακτηριστικά και τις χρήσεις του σκυροδέματος. Το τσιμέντο Portland χρησιμοποιείται για την παραγωγή οπλισμένου σκυροδέματος, ενώ το σύνθετο τσιμέντο Portland χρησιμοποιείται για τις πλάκες οικοδομών και οι υπόλοιποι τύποι τσιμέντου χρησιμοποιούνται συνήθως για εργασίες, οι οποίες δεν απαιτούν ιδιαίτερα υψηλή αντοχή στη θερμότητα.

Τα αδρανή - αποτελούν περίπου το 70% του όγκου του έτοιμου σκυροδέματος- διατηρούν τις εγγενείς ιδιότητες των πετρωμάτων από τα οποία προέρχονται. Το χρώμα και τα χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά των αδρανών επηρεάζουν άμεσα την αντοχή, την εμφάνιση και τις μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος.

Αδρανή υλικά όπως χαλίκι, γαρμπίλι και άμμος, εξορύσσονται στο Λατομείο και στη συνέχεια μεταφέρονται από τα λατομεία στα εργοστάσια παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος με φορτηγά αυτοκίνητα. Εκφορτώνονται και αποθηκεύονται χωριστά στο εργοστάσιο παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος.

Για την παραγωγή έτοιμου σκυροδέματος, τα αδρανή υλικά που προβλέπονται από τη μελέτη σύνθεσης μεταφέρονται από την αποθήκη και ζυγίζονται με μεγάλη ακρίβεια.

Στη συνέχεια, ζυγίζονται με μεγάλη ακρίβεια το νερό και τα ειδικά πρόσθετα, ανάλογα με τις απαιτήσεις της μελέτης σύνθεσης. Το νερό προκαλεί την σκλήρυνση του σκυροδέματος, αντιδρώντας χημικά με το τσιμέντο. Τα πρόσθετα βελτιώνουν ορισμένες ιδιότητες του έτοιμου σκυροδέματος όπως η εργασιμότητα.

Το τσιμέντο μεταφέρεται στο εργοστάσιο έτοιμου σκυροδέματος με ειδικά σιλοφόρα οχήματα και αποθηκεύεται σε σιλό. Είναι το σημαντικότερο υλικό για την παραγωγή έτοιμου σκυροδέματος. Η ενυδάτωση του τσιμέντου, δηλαδή η χημική αντίδραση μεταξύ τσιμέντου και νερού, προκαλεί την πήξη του σκυροδέματος. Η αναλογία νερού προς τσιμέντο επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες του σκυροδέματος, όπως την αντοχή και την ανθεκτικότητά του στο χρόνο.

Ανάλογα με τη μελέτη σύνθεσης, η ακριβής ποσότητα και ο τύπος του τσιμέντου

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ζυγίζεται και προστίθεται στον αναμικτήρα ταυτόχρονα με τα αδρανή υλικά, το νερό και τα πρόσθετα που μπορούν να ενσωματώνονται πρόσθετα σε μικρές ποσότητες (κάτω των 10 kg/m^3), ώστε να προσδίδουν στο σκυρόδεμα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά π.χ.

- Οι ρευστοποιητές - μειωτές νερού δεν επηρεάζουν την ποιότητα του σκυροδέματος, αλλά το κάνουν πιο ρευστό. Επιπλέον, περιορίζουν την ποσότητα νερού που απαιτείται για την παραγωγή σκυροδέματος,
- Οι υπερπλαστικοποιητές, που αποκαλούνται και βελτιωτικά ροής, ενισχύουν τη ρευστότητα και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αυτοσυμπυκνούμενων και αυτοεπιπεδούμενων σκυροδεμάτων.
- Οι υδροαπωθητικοί παράγοντες κάνουν τα σκυροδέματα στεγανά.
- Οι αερακτικοί παράγοντες επιτρέπουν στα σκυροδέματα να είναι ανθεκτικά στον παγετό και στα αποπαγωγικά προϊόντα.
- Οι πηκτικοί παράγοντες επιταχύνουν τη σκλήρυνση έτσι, ώστε να μπορούν να αφαιρούνται γρηγορότερα οι ξυλότυποι.
- Οι επιβραδυντές αυξάνουν το χρόνο επεξεργασίας του σκυροδέματος (www.lafarge.gr, n.d.)

Κατά την παραγωγή σκυροδέματος ο χρόνος ανάμιξης των πρώτων υλών είναι συγκεκριμένος, ώστε από την ανάμιξη των αδρανών, του τσιμέντου, του νερού και των πρόσθετων να προκύψει ένα πλήρως ομογενοποιημένο μίγμα. Στα εργοστάσια έτοιμου σκυροδέματος με ξηρή φόρτωση, η ανάμιξη γίνεται στη βαρέλα του αυτοκίνητου.

Το έτοιμο σκυρόδεμα εκφορτώνεται από το εργοστάσιο παραγωγής σε ειδικά αυτοκίνητα μεταφοράς, τα οποία διατηρούν με συνεχή ανάμιξη το σκυρόδεμα ομοιογενές ώσπου να φθάσει στο έργο.

Το σκυρόδεμα κατά τη μεταφορά και τη διάστρωση του, πρέπει να προστατεύεται από τις επιδράσεις των καιρικών φαινομένων και από την πρόσμιξη του με άλλα υλικά. Επίσης, πρέπει να αποφεύγεται η απόμειξη του και το σκυρόδεμα να διατηρεί την ομοιογένεια και το εργάσιμο του.

Η μεταφορά του σκυροδέματος στον τόπο διάστρωσης πραγματοποιείται με διάφορους τρόπους, ανάλογα με την ποιότητα και την ποσότητα του, όπως με καροτσάκια, αναβατόρια, ειδικά οχήματα, ειδικές αντλίες, κλπ. Για την εκφόρτωση του σκυροδέματος και την μεταφορά του στη θέση διάστρωσης επιβάλλεται η χρήση κεκλιμένων δαπέδων, μεταφορικών ταινιών ή άλλων καταλλήλων μέσων, τα οποία δεν προκαλούν απόμειξη του μείγματος. Απαγορεύεται η ελεύθερη πτώση σκυροδέματος από ύψος μεγαλύτερο των 2,5m. Η διάστρωση του σκυροδέματος στα καλούπια πρέπει να

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία κενών ή οπών. Το ναπό σκυρόδεμα πρέπει να συμπυκνώνεται, ώστε να απομακρυνθεί ο εγκλωβισμένος αέρας και να γίνει πυκνότερη η διάταξη των κόκκων των αδρανών. Η συμπύκνωση εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος των κόκκων του αδρανούς, το συντελεστή w (νερό/τσιμέντο), τη διάταξη του οπλισμού και τις διαστάσεις του δομικού στοιχείου.

Τέλος, το σκυρόδεμα μετά την τοποθέτηση του, επιβάλλεται να συντηρείται προσεκτικά, για να εξασφαλίζεται η ομαλή ενυδάτωση του τσιμέντου και συνεπώς η λήψη των επιθυμητών αντοχών. Με τον όρο συντήρηση, εννοούμε πιο απλά, τη διαδικασία με την οποία το περιβάλλον του φρέσκου μπετόν - και ιδιαίτερα η θερμοκρασία και η υγρασία- τίθεται υπό έλεγχο για κάποιο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε το μπετόν να αποκτήσει την επιθυμητή δύναμη και αντοχή. Ανάμεσα στα μέτρα που λαμβάνονται για τη συντήρηση του σκυροδέματος, εντάσσονται η διαβροχή με νερό, ο ψεκασμός με υλικά που δημιουργούν αδιαπέρατες μεμβράνες και συνεπώς συγκρατούν το νερό και η επικάλυψη με ειδικά φύλλα ή υγρές λινάτσες.

Κεφάλαιο Δεύτερο: ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

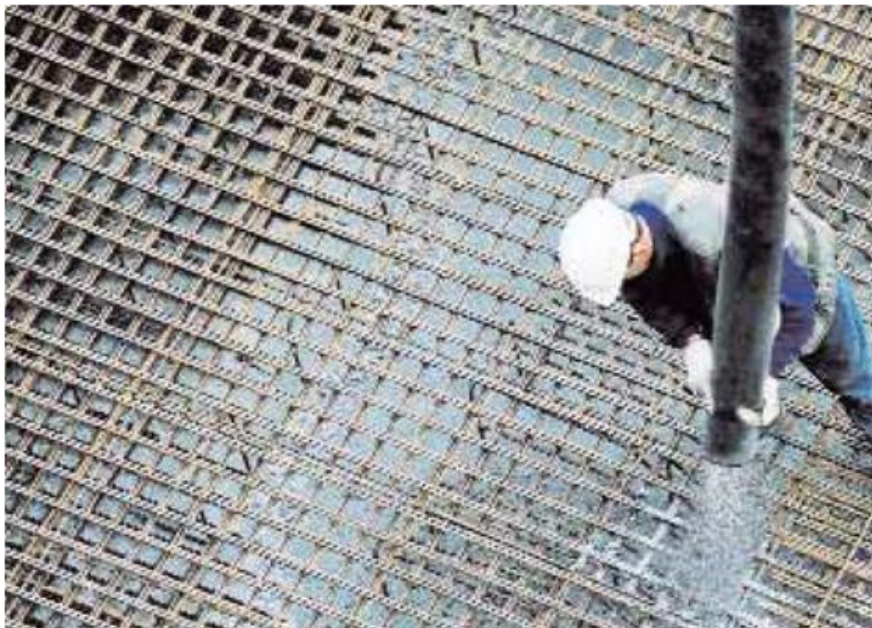
Α. Γενικά

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (ΑΣΣ για λόγους συντομίας, self compacting ή self consolidating, concrete ή SCC στη διεθνή βιβλιογραφία) είναι το είδος του σκυροδέματος το οποίο δύναται να γεμίσει οποιονδήποτε ξυλότυπο / μεταλλότυπο και να αποκτήσει ικανή συμπίκνωση αποκλειστικά μέσω της βαρύτητας και της ρεολογικής του συμπεριφοράς.

Κύριο χαρακτηριστικό του, είναι η ιδιαίτερα αυξημένη ρευστότητα σε συνδυασμό με τη διατήρηση της απαιτούμενης συνεκτικότητας, η οποία αποτελεί μέτρο της αντίστασης διαχωρισμού του αναμίγματος.

Πρόκειται για σκυρόδεμα προηγμένης τεχνολογίας, το οποίο εμπίπτει στην κατηγορία των σκυροδεμάτων υψηλής επιτελεστικότητας (σκυροδέματα με επιλεκτικά αναβαθμισμένες ιδιότητες). (Παπανικολάου and Τριανταφύλλου, 2003)

Το ΑΣΣ είναι σκυρόδεμα υψηλής επιτελεστικότητας (με επιλεκτικά αναβαθμισμένες ιδιότητες) ,και μάλιστα σύμφωνα με την άποψη πολλών ερευνητών αποτελεί τη μεγαλύτερη εξέλιξη στον τομέα της τεχνολογίας σκυροδέματος τα τελευταία 50 χρόνια.



Εικόνα 9: Εφαρμογή αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος

A.1 : Ιστορία του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος

Το ΑΣΣ αρχικά αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1980 στην Ιαπωνία. Η κατασκευαστική «έκρηξη», που ακολούθησε τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, οδήγησε σε επιτάχυνση της κατασκευαστικής διαδικασίας κατά τις δεκαετίες του 1950 και 1960 χωρίς όμως να δίνετε η απαραίτητη προσοχή στο θέμα της ποιότητας. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την ταχεία διάβρωση των κατασκευών, πολλές από τις οποίες μάλιστα παρουσίασαν σοβαρά προβλήματα τις πρώτες δύο δεκαετίες της ζωής τους.

Η σοβαρότητα του προβλήματος ανάγκασε την Ιαπωνική κυβέρνηση να ξεκινήσει έρευνα σχετικά με τις αιτίες της απαράδεκτα γρήγορης και έντονης υποβάθμισης της ποιότητας των κατασκευών. Έτσι, ένα μεγάλο ερευνητικό πρόγραμμα θεσπίστηκε με σκοπό τη διαλεύκανση των βασικών αιτιών αλλά και την εύρεση λύσης για την αύξηση της ανθεκτικότητας των νέων κατασκευών. Της ερευνητικής αυτής ομάδας ηγήθηκε ο καθηγητής H. Okamura, από το Πανεπιστήμιο του Τόκιο. (εικ. 10)



Εικόνα 10: Ο καθηγητής H. Okamura

Σύντομα η ομάδα εργασίας κατέδειξε ως βασική αιτία της υποβάθμισης της ποιότητας των υφισταμένων κατασκευών την ελλιπή συμπύκνωση του σκυροδέματος. Στη συνέχεια η ομάδα εργασίας, στην οποία συμμετείχαν επίσης οι K. Mackawa, K. Ozawa και M. Ouchi πρότεινε ως λύση την αύξηση της εργασιμότητας του νωπού σκυροδέματος σε τέτοιο βαθμό, ώστε να μην χρειάζεται κανενός είδους συμπύκνωση (Kuroiva, Maekawa and Okamura, 1993).

Μετά από την ανάπτυξη πιλοτικών συνθέσεων και το χαρακτηρισμό του υλικού στο Παν. του Τόκιο, ακολούθησε η πρώτη εφαρμογή του σε ένα κτίριο το 1990 και, σε μεγάλη κλίμακα, στην κατασκευή του πυλώνα της γέφυρας Shin-kiba Ohashi, το

1991 .

Το 1992 καταγράφεται η εφαρμογή ελαφροσκυροδέματος ΑΣΣ, στην κατασκευή του βασικού ζυγώματος μίας καλωδιωτής γέφυρας, ενώ το 1998 το ΑΣΣ χρησιμοποιείται για την κατασκευή των αντίβαρων αγκύρωσης της γέφυρας Akashi Kaikyō στην πόλη Kobe της Ιαπωνίας, με το μεγαλύτερο για την εποχή άνοιγμα στον κόσμο (1991 m). Η χρήση ΑΣΣ μείωσε το χρόνο κατασκευής των αντίβαρων από 2.5 σε 2 χρόνια (Σ.Π.Μ.Ε. (Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος), 2014).

Παράλληλα όμως με την Ιαπωνική προσπάθεια ξεκίνησε ανεξάρτητη έρευνα με την



Εικόνα 11: Η γέφυρα Shin-kiba Ohashi

άφιξη των τελευταίας γενιάς υπερρευστοποιητών. Η έρευνα αυτή επικεντρώθηκε στην παραγωγή «ρευστών» σκυροδεμάτων καταλλήλων για ειδικές σκυροδετήσεις όπου η συμπύκνωση ήταν πρακτικά αδύνατη (π.χ. υποβρύχιες εφαρμογές, διαφραγματικοί τοίχοι κλπ). Επιπλέον η πρόοδος στην εξέλιξη των χημικών προσμείκτων περιελάμβανε και την εμφάνιση των «προσμείκτων ρύθμισης του ιξώδους» επιτρέποντας έτσι την παραγωγή συνεκτικού σκυροδέματος κατάλληλου για υποβρύχιες εφαρμογές.

Σημαντική έρευνα στον τομέα της πρακτικής εφαρμογής αυτών των ειδικών σκυροδεμάτων διεξήχθη στο Paisley της Σκωτίας, από την ομάδα του καθηγητή P.J.M Bartos καθώς και στο Sherbrooke του Καναδά από την ομάδα του καθηγητή K. Khayat. Αποτέλεσμα των ερευνών αυτών ήταν η παραγωγή ιδιαίτερα ρευστών μειγμάτων με αυξημένη αντίσταση στην απόμειξη και κυρίως, με χαμηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο, γεγονός που επέτρεπε τη χρήση τους και σε «κοινές» εφαρμογές. Δοκιμές πεδίου και

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

περιορισμένες εφαρμογές στα τέλη της δεκαετίας του 1980, οδήγησαν σε αυτό που αργότερα ονομάστηκε αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα.

Το πρότυπο για το ΑΣΣ ολοκληρώθηκε το 1988 με τη χρήση υλικών που υπήρχαν στην Ιαπωνική αγορά και ονομάστηκε “Σκυρόδεμα Υψηλών Επιδόσεων” (High Performance Concrete)

Έτσι και ο όρος Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα, τροποποιήθηκε σε “Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα Υψηλών Επιδόσεων” (Self Compacting High Performance Concrete).

A.2 : Πληροφορίες και τεχνικά δεδομένα για το ΑΣΣ

A.2. 1. Σχεδιασμός του ΑΣΣ σύμφωνα με τα πρότυπα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του αυτοσυμπυκνόμενου σκυροδέματος είναι ίδιες με εκείνες της παρασκευής του συμβατικού σκυροδέματος και οι ιδιότητές τους καλύπτονται από τους ίδιους κανονισμούς που διέπουν το σχεδιασμό των κοινών μειγμάτων. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του ΑΣΣ πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του EN 206. Τα υλικά θα είναι κατάλληλα για τη χρήση που προορίζονται στο σκυρόδεμα και δεν πρέπει να περιέχουν επιβλαβή συστατικά σε ποσότητες που μπορεί να είναι επικίνδυνες για την ποιότητα, την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος ή τη διάβρωση του οπλισμού (Specifications and Guidelines for Self Compacting Concrete , 2002). (Παράρτημα : 3 σελ. -15-)

Η ιδιαιτερότητα στη σύνθεση του αυτοσυμπυκνόμενου σκυροδέματος βρίσκεται στη διαφορετική δοσολογία της ανάμειξης ,στη χρήση κατάλληλων προσθέτων και στον περιορισμό του μέγιστου κόκκου χονδρόκοκκων αδρανών.

Για το κοινό σκυρόδεμα , η αύξηση της ρευστότητας του νωπού υλικού και η διατήρηση της συνεκτικότητας του μείγματος αποτελούν στόχους αλληλοαναιρούμενους. Η αύξηση του νερού ανάμειξης που είναι απαραίτητη για τη βελτίωση της ρευστότητας ,οδηγεί σε μείωση του πλαστικού ιξώδους του μείγματος και κατ’ επέκταση συμβάλλει στο διαχωρισμό των αδρανών από το κονίαμα. Ο σχεδιασμός του αυτοσυμπυκνόμενου σκυροδέματος κατά τα πρότυπα περιλαμβάνει και ρυθμιστές ιξώδους (VMAs) καθώς και ισχυρούς υπερρυστοποιητές και επιβραδυντές - ρυστοποιητές σκυροδέματος σε μερικές περιπτώσεις. (Κωστοπούλου, 2009)

ΤΣΙΜΕΝΤΟ: Όλοι οι τύποι τσιμέντου οι οποίοι συμμορφώνονται με το πρότυπο EN

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

197 (Παράρτημα 1 σελ. -1-) είναι κατάλληλοι για την παρασκευή Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Η επιλογή του τύπου εξαρτάται από την επιδιωκόμενη αντοχή, την ανθεκτικότητα, κλπ. Εάν η περιεκτικότητα του τσιμέντου σε αργλικό τριασβέστιο (C3A) είναι πάνω από 10%, μπορεί να προκύψουν προβλήματα διατήρησης της εργατικότητας. Η τυπική δοσολογία είναι 350 - 450 kg τσιμέντου ανά m³ ΑΣΣ σκυροδέματος, ενώ στο τυπικό σκυρόδεμα η ποσότητα του τσιμέντου εξαρτάται από την κατηγορία του παρασκευαζομένου σκυροδέματος ,από την ποιότητα του τσιμέντου και από το μέγεθος των κόκκων του τσιμέντου (λεπτότητα αλέσεως).

Στον παρακάτω πίνακα (2) δίνονται οι ενδεικτικές ποσότητες ανά κατηγορία κοινού σκυροδέματος για ένα κυβικό μέτρο κοινού σκυροδέματος

a/a	Κατηγορία σκυροδέματος	Ποσότητα τσιμέντου σε Kg ανά m ³ σκυροδέματος
1	C8	240-250
2	C12	280-300
3	C16	300-350
4	C20	350-400

Πίνακας 2: Ενδεικτικές ποσότητες για 1 m³ σκυροδέματος.

Στο αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα δοσολογίες πάνω από 500 kg/m³ μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση της συρρίκνωσης. Δοσολογίες μικρότερες από 350 kg/m³ μπορεί να είναι δόκιμες μόνο αν χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με μικρόκοκκα υλικά όπως ιπτάμενη τέφρα, πυριτική παιπάλη, ποζολλάνες κλπ .

Γενικότερα προτιμώνται τσιμέντα στα οποία η ικανότητα διασποράς των κόκκων τους από τα υπερρευστοποιητικά είναι μεγάλη, όπως το τσιμέντο Portland με μικρή περιεκτικότητα σε C₃A (αργλικό τριασβέστιο) και C₄AF (αργιλοσιδηρούχο τετρασβέστιο) καθώς και το τσιμέντο πλούσιο σε belite (C₂S – δυασβεστικό πυριτικό άλας). Τέλος προτιμώνται τσιμέντα πλούσια σε belite (σε περιεκτικότητες από 40% έως 70%) καθώς παρουσιάζουν αρκετά χαμηλότερες θερμοκρασίες ενυδάτωσης από το συνηθισμένο τσιμέντο Portland.

ΑΔΡΑΝΗ: Τα αδρανή θα συμμορφώνονται με το πρότυπο EN 12620.(Παράρτημα 10 σελ -190-)Το μέγιστο μέγεθος των αδρανών εξαρτάται από την εφαρμογή και

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

συνήθως είναι μικρότερο από 20 mm. Από πλευράς άμμου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι συνήθεις ποιότητες άμμου σκυροδέματος, θραυστές ή ποταμίσιες, πυριτικές ή ασβεστολιθικές.

Η ποσότητα λεπτόκοκκων (< 0,125 mm) θα πρέπει να θεωρείται σαν παιπάλη, η οποία είναι πολύ σημαντική για τη ρευστότητα του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος και μία ελάχιστη ποσότητα είναι απαραίτητη για την Παρασκευή του.

Από πλευράς χονδρόκοκκων αδρανών, είναι αποδεκτοί όλοι οι τύποι. Ο μέγιστος κόκκος είναι συνήθως 16 – 20 mm. Βεβαίως υπάρχουν περιπτώσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί αδρανή έως και 40 mm. Η διαβάθμισή παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Από πλευράς μορφής, τα θραυστά αδρανή βελτιώνουν την αντοχή, ενώ τα ποταμίσια βελτιώνουν την ρευστότητα του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος.

ΠΡΟΣΘΕΤΑ: Με σκοπό την εξασφάλιση ικανοποιητικών τεχνολογικών χαρακτηριστικών και παράλληλα την μείωση του κινδύνου διαχωρισμού ή εξίδρωσης το ΑΣΣ περιέχει μεγαλύτερη ποσότητα συνδετικών κονιών (μεγαλύτερη των 400 kg/m³) από το συμβατικό. Ωστόσο, για να αποφευχθούν προβλήματα λόγω αυξημένης θερμότητας ενυδάτωσης, το μίγμα συνδετικών κονιών αποτελείται συνήθως από ένα συνδυασμό δύο ή τριών εξαιρετικά λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών. Η επιλογή του τύπου κάθε πρόσθετου και η περιεκτικότητά του, γίνεται με βάση στο επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες στο μικρή ηλικία, την τελική απαιτούμενη θλιπτική αντοχή και την ανθεκτικότητα στο χρόνο.

Το πιο σημαντικό από τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται είναι οι υπερρευστοποιητές (μειωτές νερού ευρέως φάσματος), οι οποίοι καθορίζουν το επίπεδο ρευστότητας και δίνουν μείωση νερού μεγαλύτερη από 20%, έτσι ρυθμίζεται ο χρόνος πήξης στο ένα ομοιογενές αλλά κατά τα άλλα ρευστό υλικό ανάλογα την χρήση του σκυροδέματος ανά έργο, ενώ, στο συμβατικό σκυρόδεμα οι Υπερρευστοποιητές, χωρίς μείωση του νερού, πλαστικοποιούν το μείγμα και βελτιώνουν την αντίσταση στην υδατοπερατότητα. Δηλαδή, αποτελούν απαραίτητο βοήθημα όπου απαιτείται επιβράδυνση του χρόνου πήξης του σκυροδέματος και βοηθάει στην εργασιμότητα του. Επίσης, συμβάλει στην παρασκευή σκυροδέματος υψηλών αντοχών, εμφανούς σκυροδέματος, αντλήσιμου σκυροδέματος κλπ.

Άλλα πρόσθετα για την παραγωγή ΑΣΣ. είναι :

ΠΑΙΠΑΛΗ (ΣΚΟΝΗ) ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ (διάμετρος κόκκων μικρότερη των 0,125 mm).

Μαρμαρόσκονη, κονιορτοποιημένοι ασβεστόλιθοι, δολομίτες ή γρανίτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συνδετικές κονίες. Στο συμβατικό σκυρόδεμα η παιπάλη

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

δημιουργεί αδύνατα σημεία στην μάζα των αδρανών καθώς εμποδίζει την πρόσφυσή στο μείγμα . Ως υλικό στην σύνθεση έχει την ιδιότητα να αυξάνει την αναγκαία ποσότητα νερού στο σκυρόδεμα μειώνοντας αντίστοιχα την αντοχή του μείγματος αδρανών – κονιάματος. Αυτή ακριβώς η ιδιότητα της παιπάλης χρησιμοποιείται στο ΑΣΣ σε αντικατάσταση ή συμπλήρωση των ακριβών ρυθμιστών Ιξώδους. Οι «ρυθμιστές ιξώδους» (viscosity modifying admixtures), είναι χρήσιμα εργαλεία για να ισοσταθμίσουν στο διακυμάνσεις λόγω μεταβολών στην κοκκομέτρηση ή/και την υγρασία των αδρανών. Δηλαδή, σε ακολουθία των υπερρευστοποιητών, μπορούν να ελέγξουν πολύ καλά το διαχωρισμό, αν η ποσότητα των λεπτόκοκκων είναι περιορισμένη, και να δώσουν ένα ομοιογενές υλικό. Η ύπαρξη δολομιτικής προέλευσης παιπάλης , ωστόσο, στο ανάμιγμα είναι δυνατό να προκαλέσει προβλήματα ανθεκτικότητας λόγω αλκαλικότητας.

ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ (IT ,γνωστή και ως pulverized fuel ash PFA): Παραπροϊόν της καύσης λεπτοαλεσμένου άνθρακα στα ηλεκτροπαραγωγικά εργοστάσια (λιγνίτη για τα Ελληνικά δεδομένα). Πρόκειται για υλικό με ποζολανικές ιδιότητες πολύ λεπτής διαβάθμισης (ποσοστό διερχομένων από το κόσκινο των 45mm μεγαλύτερο του 75%).

ΠΥΡΙΤΙΚΗ ΠΑΙΠΑΛΗ (silica fume , SF ,ή microsilica): Εξαιρετικά λεπτόκοκκο υλικό με μέγεθος σωματιδίων 100 φορές μικρότερο από εκείνα του OPC. Τα σωματίδια πυριτικής παιπάλης προσκολλώνται στην επιφάνεια των αδρανών και πληρούν τα κενά μεταξύ των σωματιδίων του τσιμέντου, βελτιώνοντας τη συνεκτικότητα του μίγματος. Άμεση συνέπεια των παραπάνω είναι η μείωση του όγκου κενών στη μεταβατική ζώνη , γεγονός που συμβάλει στην αναβάθμιση εκείνων των ιδιοτήτων του σκυροδέματος που συνδέονται με τη μικρορηγμάτωση στη διεπιφάνεια αδρανών – μήτρας και τη διαπερατότητα.

ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΛΕΠΤΟΑΛΕΣΜΕΝΑ ΑΜΟΡΦΑ ΚΟΛΛΟΕΙΔΗ ΠΥΡΙΤΙΑ (ultra fine amorphous colloidal silica, ή nanosilica). Ιριδίζον εναιώρημα με περιεκτικότητα 10-50% σε σωματίδια πυριτίας μεγέθους 5-50 m.m. Η χρήση της ουσίας αυτής (σε ποσοστό περίπου 5% m3 τσιμεντοειδών υλικών) περιορίζει την εξίδρωση και συμβάλει στην σταθεροποίηση του μίγματος, ιδιαίτερα όταν το ποσοστό των πληρωτικών είναι χαμηλό.

ΣΚΩΡΙΑ ΥΨΙΚΑΜΙΝΩΝ (ground granulated blast furnace slag) :Λεπτότατοι κόκκοι οι οποίοι προέρχονται από κονιορτοποίηση των παραπροϊόντων υψικαμίνων σιδηρομεταλλευμάτων.

ΠΛΗΡΩΤΙΚΟ ΓΥΑΛΙΟΥ (ground glass filler): Λεπτά διαβαθμισμένο ανακυκλωμένο γυαλί με μέγιστο μέγεθος κόκκου 0.1mm.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ: Η καταλληλότητα χρήσης στο αναμίγματα ΑΣΣ καθορίζεται στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 12878 2005. (Παράρτημα :4 ΣΕΛ -101-) Άλλα συμπληρωματικά τσιμεντοειδή υλικά, τα οποία αναφέρονται στη σχετική με το ΑΣΣ βιβλιογραφία, είναι η χαλαζιακή σκόνη, η παιπάλη κιμωλίας, ο μετακαολίνης και η πούδρα φλοιών όρυζας (rice husk)

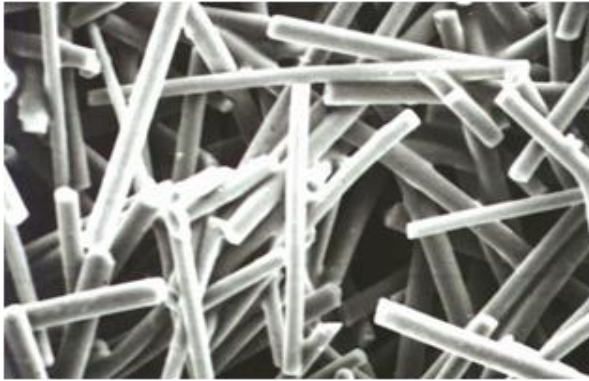
ΪΝΕΣ: Η χρήση ινών είναι διαδεδομένη στο Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα, κατ' αντιστοιχία με το κανονικό σκυρόδεμα. Χρησιμοποιούνται μεταλλικές ίνες για τη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών (καμπτική αντοχή) ή πολυμερικές για τη μείωση του φαινομένου του διαχωρισμού και στο πλαστικής συρρίκνωσης αλλά και για την κατασκευή σκυροδεμάτων ανθεκτικών στη φωτιά. (εικόνες 12,13,14)



Εικόνα 12 Μεταλλικές ίνες



Εικόνα 13 Πολυμερικές ίνες



Εικόνα 14 Γυάλινες ίνες

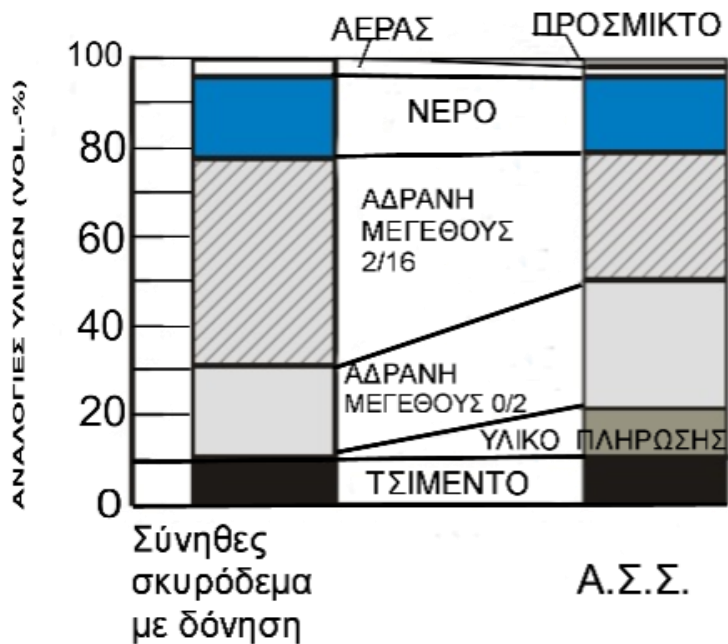
Συνοπτικά (όπως φαίνεται και στο σχήμα 3) (Holschemacher and Klug, 2002) αναφέρουμε ότι οι ενδεικτικές αναλογίες υλικών ΑΣΣ ορίζονται σε:

- ✓ Λόγος νερού/πούδρα: 0.80-1.10 κατ' όγκο.
- ✓ Συνολική ποσότητα λεπτού υλικού: 160-240 lt (400-600 kg)/m³
- ✓ Περιεκτικότητα χονδρόκοκκων αδρανών: 28-35 % του συνολικού όγκου

του μείγματος.

Ποσότητα νερού: Δεν υπερβαίνει τα 200 lt /m³

Περιεκτικότητα άμμου: Ισορροπεί τον όγκο των υπόλοιπων συστατικών. (Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές –Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα-, 2005)



Σχήμα 3: Σχηματική απεικόνιση της αναλογίας των υλικών για το ΑΣΣ σε σχέση με αυτές ενός κοινού σκυροδέματος

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Το σπουδαιότερο Υλικό Πλήρωσης , στο ήδη προαναφέρθηκε, είναι οι υπερρευστοποιητές και το μίγμα συνδετικών κονιών που αποτελείται συνήθως από ένα συνδυασμό δύο ή τριών εξαιρετικά λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών, στο ιπτάμενη τέφρα, μαρμαρόσκονη κλπ.

Α.2. 2. Τα σημεία προσοχής και οι προϋποθέσεις επιτυχούς παραγωγής και χρήσης ΑΣΣ

Το ΑΣΣ παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία των συνθέσεών του ως προς τις διακυμάνσεις των ιδιοτήτων των συστατικών του υλικών (ποσοστό υγρασίας αδρανών, λεπτότητα κονιών, κ.ά.), σε σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Η ευαισθησία αυτή μπορεί να επηρεάσει το βαθμό επίτευξης των επιθυμητών χαρακτηριστικών αυτοσυμπύκνωσης. Τα τελευταία, πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε το ΑΣΣ να χαρακτηρίζεται αφενός από χαμηλό όριο διαρροής για να εξασφαλιστεί υψηλή παραμορφωσιμότητα (ευκολία ροής χωρίς πρόσθετη διέγερση) και, αφετέρου, από μέσο πλαστικό ιξώδες για να διατηρεί ομοιογενή αιώρηση των στερεών, ώστε να μειώνονται οι ενδοσωματιδιακές συγκρούσεις, ο διαχωρισμός και η έμφραξη της ροής.

Το ΑΣΣ απαιτεί μεγαλύτερη εξειδίκευση του προσωπικού το οποίο είναι υπεύθυνο για τη μελέτη σύνθεσης, την παραγωγή, τη μεταφορά, την άντληση, τη διάστρωση και τον έλεγχο ποιότητας των σταδίων αυτών.

Απαιτείται επίσης εξασφάλιση της στεγανότητας των ξυλοτύπων και προσεκτική διαστασιολόγησή τους, ιδιαίτερα για υψηλούς ρυθμούς σκυροδέτησης καθώς και αναβάθμιση των υλικοτεχνικών υποδομών στα παρασκευαστήρια ετοιμού σκυροδέματος (π.Χ πρόσθετα σιλό αποθήκευσης κονιών, νέες συσκευές ελέγχου των ιδιοτήτων νωπού ΑΣΣ, υγρόμετρα ακριβείας).

Τώρα όσον αναφορά στις επιμέρους απαιτήσεις για το ΑΣΣ είναι σύνθετες και εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένων των φορτίων λειτουργίας και των περιβαλλοντικών συνθηκών, τη μέθοδο διάστρωσης που θα χρησιμοποιηθεί, τις δεξιότητες του συνεργείου, τα μέτρα της διασφάλισης της ποιότητας και του ελέγχου της ποιότητας.

Η απαιτούμενη εργασιμότητα επίσης ,για τη διάστρωση του ΑΣΣ εξαρτάται από τον τύπο της κατασκευής, τις επιλεγμένες μεθόδους διάστρωσης, τη συνθετότητα του τύπου (ξυλοτύπου, μεταλλοτύπου, πλαστικοτύπου, κ.λπ.) και τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες σχεδιασμού που επηρεάζουν τον βαθμό πύκνωσης του οπλισμού.

Κρίσιμος είναι και ο ποιοτικός έλεγχος. Οι κατάλληλες παράμετροι ποιοτικού ελέγχου θα πρέπει να καθορίζονται κατά τη διάρκεια του σταδίου προεπιλογής μίγματος .Οι δοκιμές ποιοτικού ελέγχου θα πρέπει να εκτελούνται μόνο από έμπειρο προσωπικό. Προς το παρόν, δεν υπάρχει εφαρμοζόμενο πιστοποιημένο πρόγραμμα από το ACI για δοκιμές ΑΣΣ. Γι' αυτό συνιστάται, το προσωπικό να είναι πιστοποιημένο ως εργαστηριακό και επί τόπου τεχνικοί δοκιμών ΑΣΣ.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Το ΑΣΣ το οποίο είναι σωστά σχεδιασμένο για την ελαχιστοποίηση του διαχωρισμού και της εξίδρωσης, οφείλει στη συνέχεια να αποδίδει ομοιογενώς σε όλο το μήκος του σκυροδετούμενου στοιχείου τις απαιτούμενες ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος.

Όπου οι ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος όπως το μέτρο ελαστικότητας και οι παράμετροι ερπυσμού ή συρρίκνωσης, είναι κρίσιμες, (όπως σε μεγάλο ανοίγματος στοιχεία, υποστυλώματα ή και προβόλους) θα πρέπει να εκτελούνται σχετικές δοκιμές για να επιβεβαιωθεί ότι έχει επιτευχθεί η επιθυμητή απόδοση του ΑΣΣ, ιδιαίτερα, όταν οι αναλογίες χονδρόκοκκων αδρανών ή περιεχόμενης πάστας των αναμιγμάτων του ΑΣΣ ποικίλουν σημαντικά από αυτούς των συμβατικών αναμιγμάτων. (Σ.Π.Μ.Ε. (Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος), 2014)

A.2.3. Ειδικά χαρακτηριστικά ΑΣΣ

Το ΑΣΣ διαφοροποιείται από το συμβατικό σκυρόδεμα, κυρίως, ως προς τη νοπή του φάση (τη φάση, δηλαδή, κατά την οποία είναι εργάσιμο). Με τον όρο «εργασιμότητα» περιγράφεται ο βαθμός της ευκολίας (ή της δυσκολίας) με την οποία το σκυρόδεμα δύναται να αναμιχθεί, να διαστρωθεί, να συμπυκνωθεί και να επεξεργαστεί κατά τις εργασίες τελειώματος. Ως μέτρα αξιολόγησης της εργασιμότητας του ΑΣΣ καθορίζονται οι ακόλουθες ιδιότητες:

- ✓ Ικανότητα πλήρωσης (filling ability, unconfined flowability): Είναι η ικανότητα του ΑΣΣ να ρέει ανεμπόδιστα (εντός ελεύθερων από εμπόδια όγκων) και να πληρώνει όλα τα σημεία των τύπων, εξαιτίας του ίδιου βάρους του. Η ιδιότητα αυτή είναι σημαντική για την επιλογή της μεθόδου σκυροδέτησης και της απόστασης μεταξύ των σημείων εκφόρτωσης/έγχυσης.
- ✓ Ικανότητα διέλευσης, δηλαδή ικανότητα ροής διαμέσου στενών ανοιγμάτων (passing ability, confined flowability): Είναι η ικανότητα του ΑΣΣ να ρέει γύρω από εμπόδια και διαμέσου στενών ανοιγμάτων, όπως τα κενά μεταξύ των ράβδων οπλισμού, χωρίς να σημειώνεται διαχωρισμός των συστατικών του ή έμφραξη σε περιοχές των τύπων λόγω συσσώρευσης αδρανών (blockage) και, επομένως, παρεμπόδιση της ροής.
- ✓ Σταθερότητα ή αντίσταση έναντι διαχωρισμού ή απόμιξης (stability, resistance to segregation): Είναι η ικανότητα του ΑΣΣ να διατηρεί την ομοιογένειά του κατά τη μεταφορά (δηλ. κατά την – πιθανή – ανάδευσή του), κατά τη διάστρωση (δηλ. κατά τη ροή του) και κατά την πήξη του. Επομένως, διακρίνονται δύο τύποι

σταθερότητας για το ΑΣΣ:

- Η «δυναμική» σταθερότητα (dynamic stability) του μίγματος αναφέρεται στην αντίστασή του έναντι διαχωρισμού κατά τη φάση που το υλικό βρίσκεται σε κίνηση (μεταφορά/διάστρωση). Ικανή δυναμική σταθερότητα μιγμάτων ΑΣΣ απαιτείται για εφαρμογές στις οποίες το σκυρόδεμα πρέπει να διέλθει από στενά ανοίγματα, ενώ σημειώνεται ότι πρέπει να αποφεύγεται η ανάδευση του φορτίου ΑΣΣ κατά τη μεταφορά του.
- Η «στατική» σταθερότητα (static stability) αναφέρεται στην αντίσταση έναντι ανάπτυξης φαινομένων εξίδρωσης, διαχωρισμού και επιφανειακής καθίζησης μετά το πέρας της διάστρωσης και για το χρονικό διάστημα που το υλικό βρίσκεται ακόμα στην πλαστική του φάση.

Άλλες ιδιότητες, όπως η αντίσταση σε απόπλυση (resistance to washout) και η δυνατότητα επίτευξης απαλλαγμένων από ατέλειες ελεύθερων επιφανειών (defect-free surfaces) δύναται να αποτελούν πρόσθετες απαιτήσεις για συγκεκριμένες εφαρμογές. Τα στοχόσημα των ικανοτήτων πλήρωσης, διέλευσης και διατήρησης της σταθερότητας υπαγορεύονται από την εκάστοτε εφαρμογή, ενώ οι τελικώς επιτευχθείσες ικανότητες (ικανότητα πλήρωσης, ικανότητα διέλευσης, σταθερότητα) εξαρτώνται από τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ΑΣΣ. Κατωτέρω (στον Πίνακα 3) παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίον διάφορες παράμετροι επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά εργασιμότητας του ΑΣΣ.

Αυτοσυμπκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Παράμετροι σχετικές με:		Επιρροή στην:		
		Ικανότητα πλήρωσης	Ικανότητα διέλευσης	Σταθερότητα
την εφαρμογή	Πυκνότητα σπλισμού	Υψηλές τιμές δυσχεραίνουν τη ροή	Υψηλές τιμές είναι πιθανό να προκαλέσουν έμφραξη των αδρανών μεταξύ των σπλισμών	Υψηλές τιμές επισείουν κίνδυνο διαχωρισμού
	Περιπλοκότητα σκυροδετούμενου στοιχείου	Περίπλοκα σχήματα είναι πιο δύσκολο να πληρωθούν	-	-
	Μέθοδος σκυροδέτησης	Αργές και διακοπώμενες σκυροδετήσεις μειώνουν την απαιτούμενη δυναμική ενέργεια του ρέοντος ΑΣΣ	-	Υψηλή δυναμική ενέργεια κατά τη σκυροδέτηση δύναται να προκαλέσει διαχωρισμό του ΑΣΣ
	Πάχος στοιχείου	Στενές διατομές δυσχεραίνουν τη ροή	-	-
	Μήκος στοιχείου	Στοιχεία μεγάλου μήκους είναι πιο δύσκολο να πληρωθούν	-	-
	Ύψος στοιχείου	-	-	Ο κίνδυνος διαχωρισμού και εξίδρωσης είναι ανάλογος με το ύψος του στοιχείου
	Στενώσεις τύπων	-	Είναι πιθανό να προκαλέσουν έμφραξη των αδρανών στις περιοχές αυτές	-
τα χαρακτηριστικά του ΑΣΣ	Ρευστότητα (ικανότητα ανεμπόδιστης ροής)	Υψηλές τιμές αυξάνουν την ικανότητα πλήρωσης	Χαμηλές τιμές προσδίδουν πτωχά χαρακτηριστικά παραμορφωσιμότητας στο ΑΣΣ, ενώ υψηλές τιμές ενδέχεται να προκαλέσουν αστάθεια και διαχωρισμό	Αύξηση της ρευστότητας**, αυξάνει τον κίνδυνο διαχωρισμού
	Ιξώδες*	Πολύ υψηλές τιμές περιορίζουν την ικανότητα πλήρωσης	Η ρύθμιση του ιξώδους πρέπει να γίνεται σύμφωνα με το επίπεδο ρευστότητας	Αύξηση του ιξώδους, αυξάνει τη σταθερότητα
	Μέγεθος χονδρόκοκκων αδρανών	-	Αδρανή μεγάλου μεγέθους αυξάνουν τον κίνδυνο έμφραξης	-
	Περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα αδρανή	-	Υψηλές τιμές αυξάνουν την τάση για έμφραξη αδρανών	-

Πίνακας 3 : Παράμετροι που επηρεάζουν την ικανότητα πλήρωσης, την ικανότητα διέλευσης και τη σταθερότητα μιγμάτων ΑΣΣ

* Ιξώδες: ένα μέτρο της αντίστασης ενός υλικού που βρίσκεται σε πλαστική φάση σε δεδομένη ροή.

** Αύξηση της ρευστότητας διατηρώντας όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του ΑΣΣ αμετάβλητα.

Για να είναι δυνατή η πλήρωση από ένα νωπό σκυρόδεμα όλων των πτυχών ενός τύπου (καλουπιού), δίχως τη χρήση δονητών, θα πρέπει το υλικό να χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό παραμορφωσιμότητας (\approx ρευστότητας), συγκρίσιμο με εκείνο ενός ρευστού μέσου. Η αύξηση της ρευστότητας του τσιμεντοπολτού ενός σκυροδέματος επιτυγχάνεται με την αύξηση του λόγου νερού προς τσιμεντοειδή υλικά [cementitious materials, δηλαδή το σύνολο των συνδετικών κονιών στο ανάμιγμα], ειδάλτως η προσθήκη κατάλληλου υπερρευστοποιητή είναι απαραίτητη. Παράλληλα, ένα σκυρόδεμα με χαρακτηριστικά αυτοσυμπύκνωσης κατά τη νωπή του φάση θα πρέπει να παρουσιάζει αυξημένη αντίσταση έναντι διαχωρισμού, καθώς, εάν η τάση προς απόμειξη των συστατικών του είναι έντονη, δε θα καταστεί δυνατή η διέλευση του μίγματος από στενά ανοίγματα (π.Χ ανοίγματα μεταξύ σπλισμών), λόγω έμφραξης των πιο χονδρόκοκκων

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

αδρανών στα χείλη των ανοιγμάτων. Η αύξηση της αντίστασης έναντι διαχωρισμού του νωπού σκυροδέματος 12/35 επιτυγχάνεται μέσω της αύξησης του ιξώδους του τσιμεντοπολτού, που επιτυγχάνεται με τη μείωση του λόγου νερού προς τσιμεντοειδή υλικά και του λόγου αδρανή προς τσιμεντοειδή υλικά, με την ορθολογιστική διαβάθμιση των αδρανών, ή με την προσθήκη ενός ειδικού χημικού παράγοντα (ρυθμιστής ιξώδους, viscosity modifying agent, VMA).

Η αύξηση της παραμορφωσιμότητας του μίγματος συνεπάγεται (ή προϋποθέτει) τη μείωση της ενέργειας η οποία δαπανάται μέσω τριβής, είτε ενδοστρωσιακής (λόγω σύγκρουσης και αλληλεμπλοκής των αδρανών κατά τη ροή του σκυροδέματος), είτε στο όριο ρέοντος σκυροδέματος – σταθερού υποστρώματος. Αντιθέτως, αύξηση του ιξώδους του μίγματος συνεπάγεται (ή προϋποθέτει) την αύξηση της ενέργειας παραμόρφωσης. Από τα παραπάνω, καθίσταται φανερή η αντιθετικότητα της ταυτόχρονης διατήρησης ενός υψηλού βαθμού παραμορφωσιμότητας του σκυροδέματος και μίας αυξημένης αντίστασης έναντι διαχωρισμού των φάσεών του. Εάν το ιξώδες του τσιμεντοπολτού αυξηθεί μέσω της μείωσης του λόγου νερού προς τσιμεντοειδή υλικά, τότε η χρήση υπερρυστοποιητή είναι απαραίτητη για την αύξηση της παραμορφωσιμότητας του μίγματος. Ως αποτέλεσμα των επιτευγμάτων της χημικής βιομηχανίας, οι υπερρυστοποιητές νέας γενιάς επιφέρουν μικρή απώλεια του ιξώδους του τσιμεντοπολτού, επιτρέποντας με αυτόν το τρόπο τη συνύπαρξη (εντός συγκεκριμένου εύρους τιμών) φαινομενικά αλληλοσυγκρουόμενων ιδιοτήτων, όπως είναι η υψηλή ρευστότητα και η συνεκτικότητα /σταθερότητα του μίγματος

A.2. 4. Έλεγχος και μέτρηση των ειδικών χαρακτηριστικών στο ΑΣΣ

Για την παρασκευή ενός αποδεκτού μίγματος ΑΣΣ για οποιαδήποτε εφαρμογή απαιτείται να προηγηθούν δοκιμαστικά μίγματα. Στα μίγματα αυτά θα πρέπει να ποσοτικοποιηθούν οι βασικές ιδιότητες του ΑΣΣ, δηλαδή η ικανότητα πλήρωσης, η ικανότητα διέλευσης και η σταθερότητα. Επιπλέον των τριών αυτών ιδιοτήτων, πρέπει να διασφαλίζεται και η ποιότητα της τελικής επιφάνειας.

Για το σκοπό αυτό, έχουν αναπτυχθεί και προταθεί διάφορες δοκιμές, μέρος των οποίων έχει προτυποποιηθεί από τους αμερικανικούς και ευρωπαϊκούς κανονισμούς. Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί ότι καμία δοκιμή δεν είναι ικανή να εκτιμήσει ταυτόχρονα και τις τρεις βασικές ιδιότητες και, για το λόγο αυτό, η αξιολόγηση ενός

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

μίγματος πραγματοποιείται με συνδυασμό περισσότερων δοκιμών.

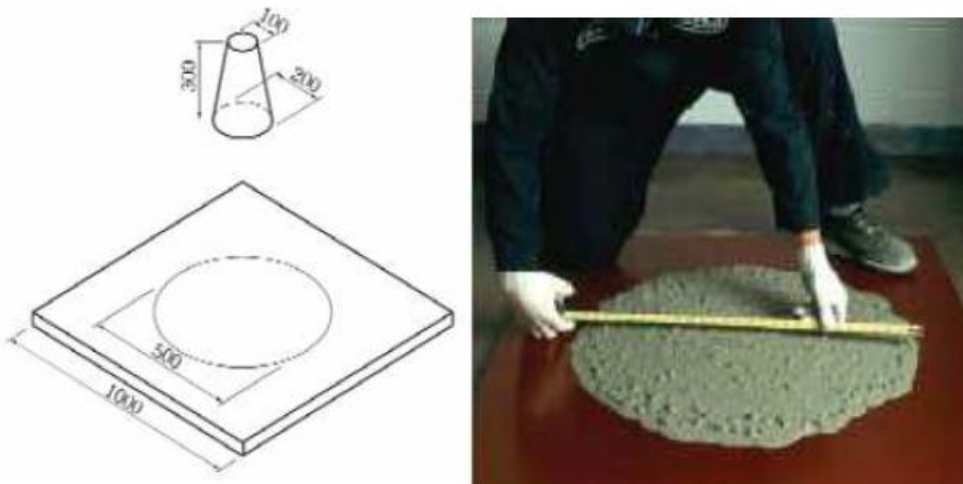
Οι κυριότερες δοκιμές του νωπού ΑΣΣ είναι :

A.2.4.1. Δοκιμή ανεμπόδιστης εξάπλωσης (slump flow)

Εδώ αξιολογείται η ικανότητα ανεμπόδιστης οριζόντιας ροής του ΑΣΣ, για μείγματα όπου τα χονδρόκοκκα αδρανή έχουν μέγιστη διάμετρο κόκκου μικρότερη από 40mm.

Χρησιμοποιείται ο ίδιος εξοπλισμός της δοκιμής κάθισης του κοινού σκυροδέματος, δηλαδή ένας μεταλλικός κώνος κώνος. Αφού γεμίσει με σκυροδέμα, ο κώνος αφαιρείται και η μάζα σκυροδέματος 'κάθεται' λόγω ιδίου βάρους. Η διαφορά είναι ότι το σκυροδέμα 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 ακτίνα διάμετρος του κύκλου εξάπλωσης του σκυροδέματος (σχήμα 4), η οποία αποτελεί μέτρο της ικανότητας πλήρωσης του νωπού ΑΣΣ. της ταχύτητας ροής. (Βάρβαρης, 2010)

Η τιμή της ανεμπόδιστης εξάπλωσης, (δηλ. η διάμετρος του εξαπλωμένου δείγματος ή αλλιώς της «πίτας») η οποία κυμαίνεται μεταξύ 550 και 850 mm, είναι ένα μέτρο της ικανότητας πλήρωσης του νωπού ΑΣΣ.



Σχήμα 4: Δοκιμή εξάπλωσης (slump flow)

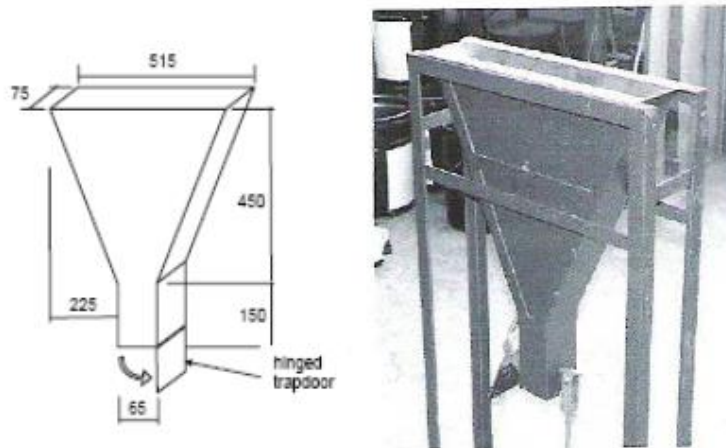
A.2.4.2. Η δοκιμή V-Funnel:

Αυτή είναι μια μέθοδος εκτίμησης της αντίστασης διαχωρισμού, χρησιμοποιώντας μια χοάνη σχήματος V (Σχήμα 5), όγκου 12 λίτρων, και μετρώντας το χρόνο απορροής του μίγματος, για μέγιστη διάμετρο κόκκου χονδρόκοκκων αδρανών μικρότερη από

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

25mm. Η δοκιμή χοάνης V αποτιμά την εμποδιζόμενη ροή του ΑΣΣ και το βαθμό στον οποίο το μίγμα είναι επιρρεπές σε έμφραξη σε θέσεις στενών ανοιγμάτων, εκτιμά δηλαδή την ικανότητα διέλευσης (διελευσιμότητα) του μίγματος διαμέσου στενών ανοιγμάτων και συνεισφέρει στον προσδιορισμό του ιξώδους.

Ο χρόνος εκροής τν δίνει μία εκτίμηση της ρευστότητας του μίγματος και αποτελεί ένδειξη της ικανότητας διέλευσης διαμέσου στενών ανοιγμάτων (Καλεντζώτης, 2007)



Σχήμα 5: Χοάνη τύπου V

A.2.4.3. Η δοκιμή T-50:

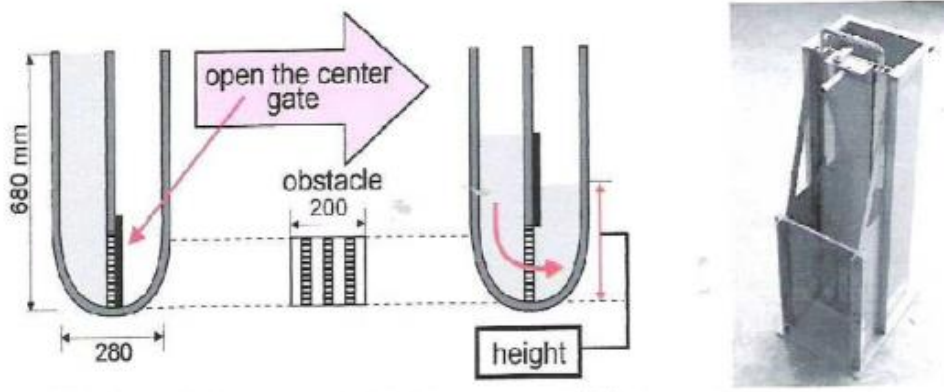
Άλλη μια μέθοδος εκτίμησης, η οποία υπολογίζει την αντίσταση διαχωρισμού του ΑΣΣ. Εδώ υπολογίζεται ο απαιτούμενος χρόνος για κύκλο εξάπλωσης διαμέτρου 500mm, στη δοκιμή εξάπλωσης που προαναφέρθηκε. Χαρακτηριστικές τιμές αυτής της δοκιμής για τυπικά μίγματα ΑΣΣ δίνουν χρόνο T-50 περίπου 2-5 δευτερόλεπτα. Η ταχύτητα ροής ενός μίγματος ΑΣΣ επηρεάζεται από το ιξώδες του. Ειδικά για την εργαστηριακή Παρασκευή μιγμάτων ΑΣΣ, η σχετική μέτρηση του ιξώδους είναι χρήσιμη. Ο χρόνος που απαιτείται ώστε το εξωτερικό άκρο της πύλας σκυροδέματος, όπως αυτή δημιουργείται μέσω της δοκιμής ανεμπόδιστης εξάπλωσης, να φτάσει μία διάμετρο 500 mm από την στιγμή έναρξης στο δοκιμής (έναρξη ανασήκωσης του κώνου) παρέχει μία εκτίμηση στο ταχύτητας ανεμπόδιστης ροής του μίγματος σκυροδέματος. Για παρόμοια μίγματα, αυτό το χρονικό εύρος, που συμβολίζεται ως t500 (s), αποτελεί μία ένδειξη του ιξώδους του μίγματος ΑΣΣ

A.2.4.4. Η δοκιμή U-box και δοκιμή Fill-Box:

Αυτές είναι μέθοδοι εκτίμησης της ικανότητας ροής του SCC μέσω εμποδίων, για μίγματα όπου τα χονδρόκοκκα αδρανή έχουν μέγιστη διάμετρο κόκκου μικρότερη από 25mm. Καθώς το μίγμα μετακινείται από τον ένα θάλαμο στον άλλο μετρείται ο

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

απαιτούμενος χρόνος και τα σχετικά ύψη του σκυροδέματος στους δυο θαλάμους των κιβωτίων (Σχήμα 6). (Καλεντζιώτης, 2007)

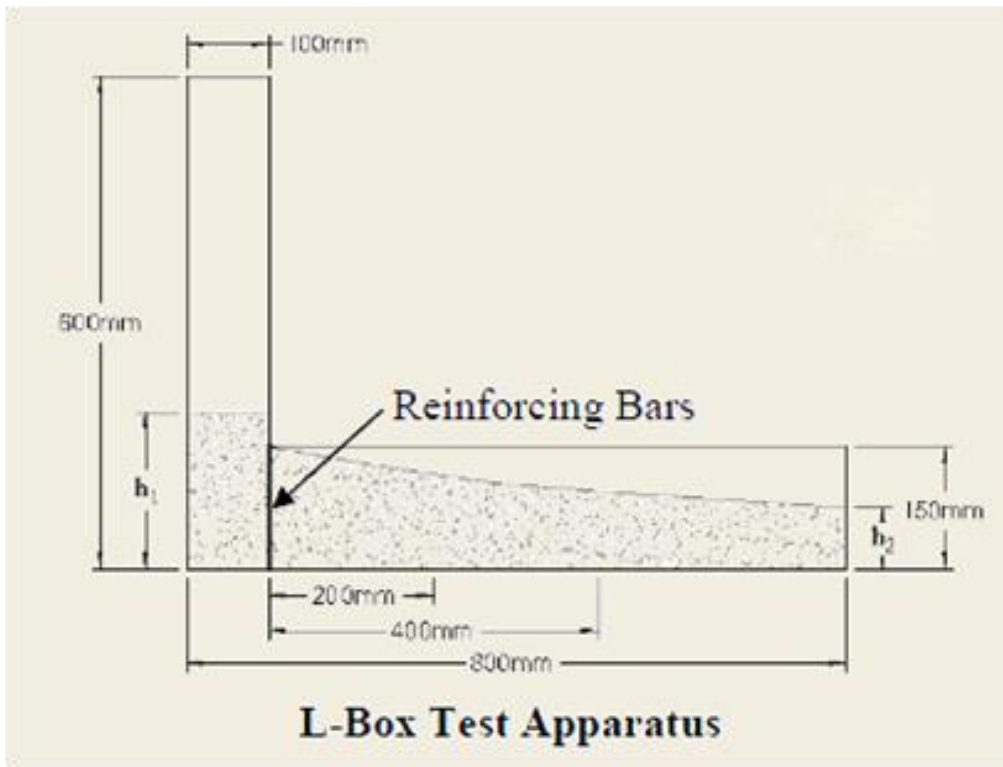


Σχήμα 6: : Δοκιμή U-Box και Fill-Box

A.2.4.5. Δοκιμή δοχείου L (L-box)

Η δοκιμή δοχείου L (παραπλήσια της U-box) (σχ. 7) αποτιμά την εμποδιζόμενη ροή του ΑΣΣ και το βαθμό στον οποίο το μίγμα είναι επιρρεπές σε έμφραξη στις θέσεις των οπλισμών, εκτιμά δηλαδή την ικανότητα διέλευσης (διελευσιμότητα) του μίγματος διαμέσου πυκνών οπλισμών ή στενών ανοιγμάτων. Ο ελάχιστος επιτρεπόμενος λόγος υψών του σκυροδέματος μεταξύ του άκρου του οριζόντιου τμήματος και του κατακόρυφου τμήματος του δοχείου L θεωρείται ίσος με 0.80. Αν το ΑΣΣ ρέει ελεύθερα (π.Χ όπως το νερό), τότε η τελική επιφάνεια θα είναι πλήρως οριζόντια και ο λόγος θα ισούται με 0.

Έτσι, λόγοι πλησιέστεροι στη μονάδα συνεπάγονται καλύτερη δυναμική ροή του μίγματος ΑΣΣ. (civil-online2010.blogspot.gr, 2010)



Σχήμα 7: Δοκιμή δοχείου L

A.2.4.6. Οπτικός δείκτης σταθερότητας (Visual stability index)

Ο οπτικός δείκτης σταθερότητας (ΟΔΣ, visual stability index VSI) περιλαμβάνει την οπτική διερεύνηση της εξάπλωμένης πλάκας ΑΣΣ από τη δοκιμή εξάπλωσης.

Σύμφωνα με τους Daczko and Kurtz (2ο Διεθνές Συμπόσιο ΑΣΣ στο Τόκιο Οκτ. 2001) η δοκιμή αυτή στοχεύει στον προσδιορισμό της σταθερότητας του μίγματος και συνήθως εφαρμόζεται με σκοπό την συγκριτική αξιολόγηση της σχετικής σταθερότητας μεταξύ μιγμάτων ίδιας ή παρεμφερούς σύνθεσης.

A.2.4.7. Δοκιμή απόμειξης στήλης σκυροδέματος (column segregation)

Η δοκιμή απόμειξης στήλης σκυροδέματος αποτελεί μία δοκιμή για την εκτίμηση της ικανότητας αντίστασης του μίγματος σε πιθανή απόμειξη.

Η δοκιμή αποσκοπεί στον προσδιορισμό της σταθερότητας των μιγμάτων ΑΣΣ.

A.2.4.8. Δοκιμή σταθερότητας μέσω κοσκίνισης (sieve segregation resistance ή sieve stability test)

Η δοκιμή απόμειξης μέσω κοσκίνισης αποτελεί μία δοκιμή για την εκτίμηση στο ικανότητας αντίστασης του μίγματος σε πιθανή απόμειξη.

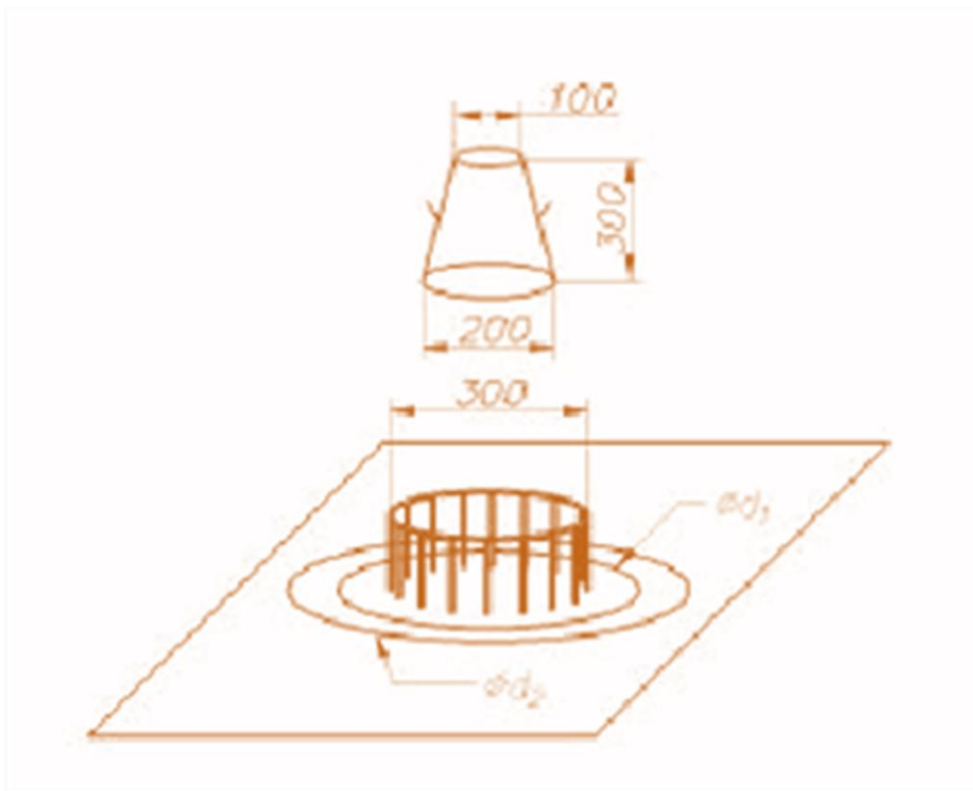
Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Και αυτή η δοκιμή αποσκοπεί στο προσδιορισμό στο σταθερότητας των μιγμάτων ΑΣΣ.

A.2.4.9. Δοκιμή δακτυλίου J (J-ring)

Κατά την διάστρωσή του στο οπλισμένους τύπους το ΑΣΣ πρέπει να παραμένει συνεκτικό και να μην εμφανίζει διαχωρισμό των αδρανών από την πάστα κατά τη ροή του. Η δοκιμή δακτυλίου J (J-ring) (σχ. 8) χαρακτηρίζει την ικανότητα του ΑΣΣ να διέρχεται διαμέσου των ράβδων οπλισμού.

Η προκύπτουσα εξάπλωση αποτελεί ένδειξη της ικανότητας διέλευσης (διελευσιμότητα) του ΑΣΣ διαμέσου ράβδων οπλισμού



Σχήμα 8: Δοκιμή δακτυλίου J (J-ring)

A.2.4.10. Δοκιμή διείσδυσης / Αντίσταση σε στατική απόμειξη (penetration test / static segregation resistance)

Η δοκιμή διείσδυσης δεν μετρά με άμεσο τρόπο την αντίσταση σε στατική απόμειξη, παρέχει όμως μια εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης στατικής απόμειξης.

Το βάθος διείσδυσης P_d προσδιορίζει τον βαθμό αντίστασης σε στατική απόμειξη. Συγκεκριμένα, χαμηλότερα βάθη συνεπάγονται και υψηλότερο βαθμό αντίστασης σε στατική απόμειξη. Ενδεικτικά, αναφέρεται ο μη δεσμευτικός πίνακας αντιστοίχισης του βάθους διείσδυσης και της κατάταξης του μίγματος ανάλογα με την ικανότητά του να

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ανθίσταται σε στατική απόμειξη.

Να σημειώσουμε ότι για τον έλεγχο των ιδιοτήτων του ΑΣΣ, επί τόπου στο έργο, γενικώς αρκούν δύο δοκιμές. Τυπικοί συνδυασμοί είναι : δοκιμής εξάπλωσης με κώνο Abrams και με χοάνη V και δοκιμής εξάπλωσης με κώνο Abrams και με δακτύλιο J.

Στον πίνακα (4) (www.ggde.gr, 2006) που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι πλέον εύχρηστες δοκιμές από τις υπάρχουσες στην βιβλιογραφία για τον έλεγχο του ΑΣΣ ενώ στον πίνακα (5) (Παπανικολάου, 2008) οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση βασικών ιδιοτήτων του SCC, καθώς και οι οριακές τιμές αποδοχής

Δοκιμή	Ιδιότητα
Εξάπλωσης	Ικανότητα πλήρωσης
Χρόνου εξάπλωσης T 50cm	Ικανότητα πλήρωσης
Με δακτύλιο J (J-ring)	Ικανότητα διέλευσης- διελευσιμότητα & πλήρωση
Με χοάνη V (V-funnel)	Ικανότητα πλήρωσης
Με χοάνη V στα 5min	Αντίσταση στην απόμειξη
Με δοχείο σχήματος L(L-box)	Ικανότητα διέλευσης-διελευσιμότητα και πλήρωση
Σταθερότητας με κοσκίνιση(GTM)	Αντίσταση στην απόμειξη

Πίνακας 4: Δοκιμές για τον έλεγχο ΑΣΣ

Ιδιότητα	Δοκιμή	Μονάδες Μέτρησης	Εύρος μονάδων	
			ελάχιστο	μέγιστο
Ικανότητα πλήρωσης (filling ability)	Μέτρο Εξάπλωσης	mm	550	850
	Χρόνος T ₅₀ στο μέτρο εξάπλωσης	sec	<2	5
	Συσκευή V-funnel	sec	<8	25
	Orimet	sec	0	5
Ικανότητα διέλευσης (passing ability)	Συσκευή L-box	(h2/h1)	0,8	1,0
	Συσκευή U-box	(h2-h1)mm	0	30
	Συσκευή Fill-box	%	90	100
	Συσκευή J-ring	mm	0	10
Αντίσταση στο διαχωρισμό	Συσκευή GTM test	%	0	15
	Χρόνος T _{5min} στη συσκευή V-funnel	sec	0	+3

Πίνακας 5: Κριτήρια αποδοχής ιδιοτήτων νωπού SCC

A.2.5. Ιδιότητες του Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος

Το Α.Σ.Σ. διαφέρει κυρίως από το συμβατικό σκυρόδεμα λόγω των ιδιοτήτων του όταν είναι νωπό. Ως μέτρα αξιολόγησης στο εργασιμότητας του ΑΣΣ καθορίζονται οι ακόλουθες ιδιότητες:

A.2.5.1. Υψηλή ρευστότητα

Η ρευστότητα του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος (ΑΣΣ)

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

καθορίζεται ως η ικανότητά του να ρέει μέσα στο ξυλότυπους ακόμα και υπό την παρουσία αντικειμένων που εμποδίζουν τη διαδρομή του. Το επίπεδο ρευστότητας του ΑΣΣ καθορίζεται από την δοσολογία των υπερρευστοποιητών. Η υπερδοσολογία τους μπορεί να οδηγήσει σε διαχωρισμό και μπλοκαρίσματα.

A.2.5.2. Πλαστικότητα

Η πλαστικότητα του ΑΣΣ είναι η ικανότητά του να αλλάζει μορφή και να περνά από διάφορες διατομές, χωρίς να χάνει την συνεκτικότητά του, δηλ. να μην παρουσιάζει διαχωρισμό και μπλοκαρίσματα. Η πλαστικότητα σχετίζεται με στο ιδιότητες στο τσιμεντόπαστας και μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση των υπερρευστοποιητών καθώς η χρήση νερού όχι μόνο αυξάνει την αναλογία νερού στο τσιμέντο αλλά στο μπορεί να προκαλέσει διαχωρισμό και εξίδρωση (δάκρυσμα).

A.2.5.3. Αντίσταση στο διαχωρισμό

Ως διαχωρισμός του σκυροδέματος ορίζεται η τάση που έχει, όταν είναι πολύ ρευστό, να επιμερίζεται στο δύο υλικά, την τσιμεντόπαστα από τη μία πλευρά και τα χονδρόκοκκα αδρανή από την άλλη. Αυτό το ελάττωμα του νωπού σκυροδέματος είναι η αιτία πολλών προβλημάτων που παρουσιάζονται αργότερα στο σκληρυμένο σκυρόδεμα, καθώς λόγω βαρυτικών δυνάμεων, τα χονδρόκοκκα αδρανή κάθονται στο κάτω μέρος της κατασκευής και η τσιμεντόπαστα στο πάνω.

Ο διαχωρισμός τους μπορεί να οδηγήσει στο μπλοκαρίσματα του δικτύου σκυροδέτησης, ιδιαίτερα όταν αυτή γίνεται υπό δύσκολες συνθήκες.

Η συνεκτικότητα ή η θιξοτροπικότητα⁴ του ΑΣΣ μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση πολλών λεπτόκοκκων υλικών ($< 0,125$ mm) ή με τη χρήση προσθέτων ρυθμιστών ιξώδους (Viscosity Modifying Admixtures – VMA).

A.2.5.4. Ικανότητα πλήρωσης

Είναι η ικανότητα του ΑΣΣ να γεμίζει πλήρως τους ξυλότυπους, ανεξάρτητα από την πολυπλοκότητα του σχήματός τους και την πυκνότητα του οπλισμού, χωρίς να αφήνει κανένα κενό. Αυτή ιδιότητα είναι άμεσα συνδεδεμένη με την πλαστικότητα, την ρευστότητα, την θιξοτροπικότητα και την αντίσταση στο διαχωρισμό και καθίσταται δυνατή με τη χρήση της σωστής περιεκτικότητας λεπτόκοκκων στο μείγμα, τα οποία κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης πληρώνουν τα κενά μεταξύ των

⁴ Θιξοτροπικότητα:η ιδιότητα ορισμένων ρευστών ή ημίρρευστων υλικών τα οποία ενώ υπό κανονικές συνθήκες είναι παχύρρευστα ή ιξώδη, με ανακίνηση, ανάδευση ή δόνηση η ρευστότητά τους αυξάνεται και το ιξώδες τους μειώνεται

χονδρόκοκκων αδρανών.

A.2.5.5. Υψηλή εργασιμότητα

Εργασιμότητα του ΑΣΣ είναι η ικανότητά του να μπορεί να αναμιχθεί, να μεταφερθεί, να εγχυθεί και να φινιριστεί. Η εργασιμότητα καθίσταται δυνατή με τη παρουσία των υπερρευστοποιητών και το σωστό ισοζύγιο των λεπτόκοκκων, τα οποία δομούν τη τσιμεντόπαστα, όπως επίσης και με τον περιορισμό του μέγιστου κόκκου των χονδρόκοκκων αδρανών (συνήθως < 20 mm).

A.2.5.6. Κατάλληλη πλαστική θιξοτροπικότητα

Συνεκτικότητα του μίγματος είναι η ικανότητά του να είναι επαρκώς ‘‘περιορισμένο’’, έτσι ώστε να μην υπάρχει πιθανότητα διαχωρισμού. Έως κάποιο σημείο μπορεί να συσχετιστεί με την ικανότητα της αντίστασης στο διαχωρισμό. Η συνεκτικότητα του ΑΣΣ εξαρτάται από τις ιδιότητες της τσιμεντόπαστας, η οποία αποτελεί το συνδετικό υλικό για τα αδρανή. Μία τσιμεντόπαστα με σωστή κατανομή των λεπτόκοκκων, σε συνδυασμό με ένα πρόσθετο VMA, είναι μία καλή βάση για τη παρασκευή ενός άριστου ΑΣΣ. Η συνεκτικότητα του υλικού συναρτάται άμεσα από την εσωτερική πλαστική θιξοτροπικότητα, η οποία επηρεάζει την ικανότητα του μίγματος να ρέει ή να εξαπλώνεται και γίνεται τελικά αντιληπτή με την ταχύτητα ροής του μίγματος. Η θιξοτροπικότητα είναι ένα θετικό χαρακτηριστικό για το ΑΣΣ, εάν η τιμή του ισορροπεί με αυτή της ρευστότητας.

A.2.5.7. Υψηλή σταθερότητα

Η σταθερότητα είναι μία σημαντική παράμετρος του ΑΣΣ, καθώς μόνο ένα σταθερό μείγμα το οποίο μπορεί να διατηρεί τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού του αναλλοίωτα (όσο η σκυροδέτηση βρίσκεται στο εξέλιξη) μπορεί να έχει την ικανότητα να αυτοσυμπυκνώνεται χωρίς τη χρήση εξωτερικής ενέργειας.

A.2.5.8. Βραχυπρόθεσμα Οικονομικά Επιβαρυνόμενο

Η ακριβή παραγωγή του ΑΣΣ ανά m³ είναι ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα του. Αυτή η διαφορά κόστους από το συμβατικό σκυρόδεμα, η οποία ανάλογα με τις διαθέσιμες πρώτες ύλες και την απαιτούμενη κατηγορία αντοχής μπορεί να κυμανθεί από 5 έως και 25%, αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους ανασταλτικούς παράγοντες που εμποδίζουν την ευρεία χρήση του. Τα στοιχεία που διαφοροποιούν το κόστος των μειγμάτων είναι η επιπλέον ποσότητα χημικών προσμείκτων – υπερρευστοποιητής και ρυθμιστικής του ιξώδους- καθώς και η ποσότητα

και το είδος των υλικών πλήρωσης.

A.2.5.9. Ανάπτυξη σημαντικής υδροστατικής πίεσης στο ξυλότυπους:

Το ΑΣΣ είναι ένα ιδιαίτερα ρευστό υλικό το οποίο κατά την διάρκεια της σκυροδέτησης προσεγγίζει την υδροστατική πίεση του σκυροδέματος και υπό δεδομένες συνθήκες είναι δυνατόν να την υπερβεί. Έτσι, υπάρχει κίνδυνος αστοχίας του ξυλότυπου με σοβαρές οικονομικές και εργασιακές συνέπειες, που μπορούν να καθυστερήσουν σημαντικά την κατασκευή.

A.2. 6. Παραγωγή-Διάστρωση-συντήρηση

Τα μέσα παραγωγής που χρησιμοποιούνται στο συμβατικό σκυρόδεμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στο ΑΣΣ.

Τα μείγματα ΑΣΣ σχεδιάζονται και δοκιμάζονται ώστε να τηρούν τις προϋποθέσεις και απαιτήσεις του κάθε έργου ξεχωριστά. Για παράδειγμα, μεγάλες ποσότητες ΑΣΣ σχεδιάζονται, παράγονται, αντλούνται και εγκαθίστανται με σημαντικά γρήγορους ρυθμούς.

Τα μείγματα ΑΣΣ πρέπει να πληρούν στο εξής τρεις σημαντικές ιδιότητες:

- Την ικανότητα ροής και πλήρωσης δύσμορφων και περίπλοκων μορφών υπό το ίδιο βάρος τους.
- Την ικανότητα εισχώρησης δια μέσου πυκνού οπλισμού υπό το ίδιο βάρος του.
- Υψηλή αντίσταση στο διαχωρισμό.

Η ανάμιξη των συστατικών τώρα – όπως τα αναφέραμε πιο πάνω- μπορεί να γίνουν είτε στο συγκρότημα παραγωγής είτε στις μπετονιέρες. Στο κάδο ανάμιξης αρχικά γίνεται έκχυση το 90 % του νερού που χρειάζεται, τοποθετούνται τα συστατικά και στη συνέχεια το υπόλοιπο νερό, ο υπερρευστοποιητής και το πρόσμικτο τροποποιητικό του ιξώδους. Πριν τη σκυροδέτηση θα πρέπει να γίνεται ανάδευση του ΑΣΣ για 3-5 λεπτά σε πλήρη ταχύτητα και όταν προστεθούν οι υπερρευστοποιητές ανάμιξη για τουλάχιστον 1 min /m³ και όχι λιγότερο από 7 min.

Για την μείωση του κινδύνου διαχωρισμού και απόμειξης συνιστάται η πτώση χύτευσης να μην υπερβαίνει τα 5 m και η οριζόντια εξάπλωση από το σημείο εκκένωσης να είναι μικρότερη από 10 m καθώς και η άκρη του σωλήνα εξόδου του ΑΣΣ να είναι βυθισμένη στην μάζα του νωπού σκυροδέματος που έχει ήδη διαστρωθεί.(εικόνα 15)



Εικόνα 15 Έγχυση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος

Τα ισχυρά καλούπια που είναι κατάλληλα για συμβατικό σκυρόδεμα είναι κατάλληλα και για ΑΣΣ. Η πίεση που δέχονται οι ξυλότυποι είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ταχύτητα ανόδου της στάθμης του σκυροδέματος. Για τον λόγο αυτό συνιστάται η κατάλληλη ρύθμιση της ταχύτητας χύτευσης. Θα πρέπει επίσης να εξετάζεται και η δυνατότητα και τα πλεονεκτήματα της χύτευσης του ΑΣΣ από τον πυθμένα του καλουπιού. Σε αυτήν την

περίπτωση θα πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στο στόμιο εισόδου.

Επιπλέον για ύψος στήλης νωπού ΑΣΣ πάνω από 3 μέτρα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν και η υδροστατική πίεση στο σχεδιασμό των καλουπιών.

Υψηλές πιέσεις εντός του ιστού των μηχανημάτων άντλησης του σκυροδέματος προκαλούν απώλειες στην εργασιμότητα του ΑΣΣ και για αυτό η πίεση στη άντληση πρέπει να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα. Τέλος επειδή το ΑΣΣ ξηραίνεται γρηγορότερα από το δονούμενο σκυρόδεμα γιατί υπάρχει λίγο έως καθόλου νερό εξίδρωσης στην επιφάνεια, πρέπει όταν γίνεται η σκυροδέτηση ΑΣΣ, σε κλιματολογικές συνθήκες που ευνοούν την ταχεία εξάτμιση του νερού, να αρχίζει η συντήρηση του ΑΣΣ το συντομότερο δυνατό.

A.2. 7. Παραδείγματα μειγμάτων ΑΣΣ.

Πριν σχεδιαστεί ένα μείγμα ΑΣΣ πρέπει να επιλεγθεί ο τύπος του μεταξύ των μέχρι τώρα επικρατέστερων:

- ◆ ΑΣΣ χωρίς ρυθμιστές ιξώδους (VMAs) με ποικιλία λεπτομερών και μικρόκοκκων.
- ◆ ΑΣΣ με ρυθμιστές ιξώδους (VMAs) με μειωμένη ποσότητα λεπτομερών και μικρόκοκκων
- ◆ ΑΣΣ σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα

Η επιλογή πρέπει να γίνεται με γνώμονα τις συνθήκες της τοποθεσίας της κατασκευής, τις παραμέτρους των φορτίων της κατασκευής, τα διαθέσιμα υλικά, στους περιορισμούς για κατασκευή μονάδας παραγωγής ΑΣΣ κλπ. Παρακάτω αναλύονται περισσότερο οι δυο τύποι ΑΣΣ που δεν ακολουθούν τα πρότυπα και ακολουθούν πίνακες που αναλύουν περαιτέρω την κάθε μίξη.

ΑΣΣ χωρίς ρυθμιστές ιξώδους (VMA's) με ποικιλία λεπτομερών και μικρόκοκκων

Η ανάγκη για οικονομικότερο ΑΣΣ που συνεχίζει να φέρει τις ίδιες ιδιότητες με την πιο ακριβή του έκδοση, ανάγκασε τους μελετητές να δημιουργήσουν μίγματα που δεν συμπεριλαμβάνουν στην σύνθεση τους τους ακριβούς ρυθμιστές ιξώδους (VMA's).

Η ρύθμιση του Ιξώδους στο ρευστό ΑΣΣ γίνεται μέσω του σωστού σχεδιασμού στο «Πάστας» προσθέτοντας στο αυτή αδρανή υλικά και λεπτομερή (ιπτάμενη τέφρα, ασβεστόλιθο, νανό-πυριτική παιπάλη, ποζολάνες) που διαμορφώνουν στο ρεολογικές ιδιότητες του ΑΣΣ έτσι ώστε να ικανοποιούν στο ανάγκες για μεγάλη κινητικότητα και απουσία απόμειξης ταυτόχρονα.

A.2.7.1. Σχεδιασμός Μείγματος – Υλικά

Τα αδρανή υλικά προκειμένου να είναι κατάλληλα για την παρασκευή του συγκεκριμένου τύπου ΑΣΣ πρέπει να συμμορφώνονται με στο απαιτήσεις του ευρωπαϊκού προτύπου EN 12620 (EN 12620:2002, Aggregates for concrete).(Παράρτημα :10) Η φυσική υγρασία, η υδατοαπορροφητικότητα, η κοκκομετρία και η περιεκτικότητα στο λεπτομερή, είναι χαρακτηριστικά των αδρανών τα οποία πρέπει να ελέγχονται και να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη, προκειμένου να παρασκευαστεί άρτιας ποιότητας ΑΣΣ.

Ιδιαίτερα δε, σφάλματα της τάξης ακόμα και 1%, όσον αφορά την περιεκτικότητα σε υγρασία των αδρανών, είναι δυνατό να οδηγήσουν στον ανασχεδιασμό του μείγματος. Υπενθυμίζεται ότι η σημαντική περιεκτικότητα των αδρανών αυτών στα λεπτομερή, παρέχει τη δυνατότητα παρασκευής μειγμάτων ΑΣΣ, χωρίς τη προσθήκη τροποποιητών ιξώδους.

Τα λεπτομερή υλικά, το νερό και ο περιεχόμενος αέρας αποτελούν αυτό που ονομάζουμε πάστα του ΑΣΣ (“The European Guidelines for Self Compacting Concrete”, 2005) .(Παράρτημα 3 σελ.-15-)

Κατά τη χύτευση στο μείγματος ΑΣΣ , η πάστα αποτελεί το όχημα μεταφοράς των αδρανών και επομένως ο όγκος της πρέπει να είναι μεγαλύτερος από τον όγκο των αδρανών, έτσι ώστε κάθε μεμονωμένος κόκκος αδρανούς να περιβάλλεται από μία στρώση πάστας. Το γεγονός αυτό αυξάνει τη ρευστότητα του μείγματος, μειώνοντας την τριβή μεταξύ των αδρανών, ενώ ταυτόχρονα προσδίδει στο μείγμα την απαραίτητη συνοχή, ούτως ώστε να αποκλειστεί κάθε ενδεχόμενο απόμειξης.

Οι κοκκομετρίες των αδρανών που χρησιμοποιούνται για την Παρασκευή των μειγμάτων ΑΣΣ χωρίς VMA's παρουσιάζονται στο Πίνακες (6) και (7)

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Άμμος		
Μέγεθος (mm)	κόσκινου	Διερχόμενο βάρος (%)
	9,500	100,00
4,750		99,88
2,360		86,47
1,680		75,56
0,425		35,80
0,125		21,75
0,075		15,78

Πίνακας 6: Κοκκομετρία άμμου

Γαρμπίλι	
Μέγεθος κόσκινου (mm)	Διερχόμενο βάρος (%)
19,000	100,00
12,500	94,84
9,500	72,07
4,750	17,79
2,360	4,58
1,680	3,73
0,425	2,09
0,125	1,44
0,075	1,09

Πίνακας 7: Κοκκομετρία γαρμπιλιού

Τα συγκεκριμένα αδρανή είναι πυριτικά, η πηγή προέλευσής στο επιλέχθηκε τυχαία από στο συνθέτες του μίγματος, ενώ η κοκκομετρία στο δεν επιδέχθηκε καμία τροποποίηση.

Στο παρατηρείται από στο παρακάτω πίνακες η υψηλή περιεκτικότητα στο άμμου στο λεπτομερή παρέχει τη δυνατότητα παρασκευής μειγμάτων ΑΣΣ με ικανό όγκο πάστας, ο οποίος θα εξασφαλίζει ικανοποιητική ρευστότητα, δίχως την προσθήκη πλερωτικών κονιών. Με την εκμετάλλευση των χαρακτηριστικών των αδρανών που παρέχονται κατά τόπους και την προσαρμογή των σχεδιαζόμενων μειγμάτων, είναι δυνατόν να παραχθεί άρτιο ΑΣΣ με απλό και κυρίως οικονομικό τρόπο.

Στο Πίνακες (8) και (9) παρουσιάζονται τα προτεινόμενα όρια αναλογιών σύνθεσης ΑΣΣ κατά τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες για το ΑΣΣ (The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, 2005) και κατά ACI (ACI 237R-07, 2007) αντίστοιχα. Στο Πίνακα (10) παρατίθενται τα συστατικά και οι αντίστοιχες ποσότητες αυτών, μίας ενδεικτικής σύνθεσης ΑΣΣ, η οποία παρασκευάστηκε και αξιολογήθηκε επιτυχώς στο εργαστήριο. Ακολούθως, στον Πίνακα (11) παρουσιάζονται χαρακτηριστικές αναλογίες της

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ενδεικτικής σύνθεσης ΑΣΣ ενώ στον Πίνακα (12) μπορεί κανείς να παρατηρήσει τα αποτελέσματα δοκιμών αξιολόγησης της εν λόγω σύνθεσης ΑΣΣ σε νωπή κατάσταση και τον πίνακα (13) τη σύγκριση τιμών αξιολόγησης μίγματος ΑΣΣ με VMA's και χωρίς, σε νωπή κατάσταση.

Συνολική περιεκτικότητα λεπτομερή (kg)	στο 380 – 600
Νερό/Λεπτομερή (κατ' όγκο)	0,85 – 1,10
Χονδρόκοκκα αδρανή (lt/m³)	270 – 360
Πάστα (lt/m³)	300-380
Νερό / Τσιμέντο (κατά βάρος)	σύμφωνα με EN 206-1:2000

Πίνακας 8: Προτεινόμενα όρια αναλογιών σύνθεσης ΑΣΣ κατά στο

Ευρωπαϊκές Οδηγίες για το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα

Συνολική περιεκτικότητα στο λεπτομερή (kg/ m³)	>458
Χονδρόκοκκα αδρανή (lt/m³)	280 – 320
Πάστα (lt/m³)	340 – 400
Νερό / Τσιμέντο (κατά βάρος)	0,32 – 0,45

Πίνακας 9: Προτεινόμενα όρια αναλογιών σύνθεσης ΑΣΣ κατά ACI 237R-07

Τσιμέντο CEM II 32,5N (X1)	390 kg
Νερό	195 lt
Άμμος	936 kg
Γαρμπίλι	853 kg
Viscocrete 4000	2,00% κ.β του τσιμέντου

Πίνακας 10: Ενδεικτική σύνθεση επιτυχούς μείγματος ΑΣΣ (Σύνθεση Ι)

Συνολική περιεκτικότητα λεπτομερή (kg)	στο 547
Νερό / Λεπτομερή	0,94
Χονδρόκοκκα αδρανή (lt/m³)	296
Πάστα (lt/m³)	384
Νερό / Τσιμέντο (κατά βάρος)	0,50

Πίνακας 11: Χαρακτηριστικές αναλογίες στο ενδεικτικής σύνθεσης ΑΣΣ

Τιμή Εξάπλωσης	T50	V-Funnel	T5 min	H2/H1 (Blocking Ratio, L-Box)
71cm	3sec	9sec	11sec	0,94 (9,2/9,8)

Πίνακας 12: Αποτελέσματα δοκιμών αξιολόγησης στο ενδεικτικής σύνθεσης ΑΣΣ

(Σύνθεση Ι) στο νωπή κατάσταση

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

	Τιμή Εξάπλωσης	T50	V-Funnel
ΑΣΣ με VMAs (M1)	84cm	2,7sec	19,8 sec
ΑΣΣ χωρίς VMAs	71cm	3sec	9sec

Πίνακας 13: Σύγκριση τιμών αξιολόγησης μίγματος ΑΣΣ με VMAs και χωρίς, στο νοπή κατάσταση

A.2.7.2. ΑΣΣ με ρυθμιστές ιξώδους (VMAs) με μειωμένη ποσότητα λεπτομερών και μικρόκοκκων.

Η ανάγκη για χαμηλότερο κόστος στην παραγωγή του ΑΣΣ και η ανάπτυξη νέων, αποτελεσματικών και τεχνολογικά ανεπτυγμένων ρυθμιστών ιξώδους επιτρέπουν τον σχεδιασμό αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με πολύ πιο οικονομικό τρόπο και αντοχές στο επίπεδο 25-35 MPa. Αυτό κατορθώνεται με μείωση της ποσότητας συνολικών λεπτόκοκκων (τσιμέντου και λεπτόκοκκων) σε βαθμό των 350-380 kg/m³.

Γεγονός είναι ότι όταν ένας παραγωγός σκυροδέματος προμηθεύει Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, λαμβάνει υψηλότερες μηχανικές αντοχές σε σχέση με την κατηγορία του σκυροδέματος που του παραγγέλθηκε και για την οποία τελικά πληρώνεται. Αυτό συμβαίνει λόγω της απαίτησης για υψηλή περιεκτικότητα λεπτοκόκκων, που χρειάζονται για την διασφάλιση της συνεκτικότητας του μίγματος, την αποφυγή εξίδρωσης (bleeding) αλλά και της τάσης διαχωρισμού (segregation).

Η ανάγκη για λεπτόκοκκα καλύπτεται συνήθως με την αυξημένη δοσολογία τσιμέντου, με τη χρήση θραυστής άμμου με υψηλή περιεκτικότητα στο παιπάλη αλλά και χρήση άλλων υλικών στο φίλλερ. Η περιεχόμενη ποσότητα λεπτοκόκκων στα παραδοσιακά μίγματα Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι της τάξης των 450-600Kg/m³.

Οι διακυμάνσεις στις ιδιότητες του νοπού Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος εξαιτίας της διαφοροποίησης των πρώτων υλών (αδρανή κλπ) διευθετούνται με την μεταβολή των λεπτοκόκκων και της δοσολογίας του χρησιμοποιούμενου υπερρευστοποιητή..

Η επιπλέον ποσότητα τσιμέντου και λεπτοκόκκων στο μίγμα που απαιτούνται για την παραγωγή του Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, η εγκατάσταση επιπλέον σιλό για την τροφοδοσία λεπτοκόκκων, ο εξειδικευμένος ποιοτικός έλεγχος (πρώτων υλών και τελικού προϊόντος) είναι παράγοντες που προσθέτουν επιπλέον κόστος στην παραγωγή.

Η ανάγκη για χρησιμοποίηση επιπλέον λεπτοκόκκων (Fillers 100-150 kg/m³) εξαλείφεται και μειώνεται και κατά συνέπεια το κόστος κυβικού σκυροδέματος. Ένας

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ισχυρός και πολύ αποτελεσματικός ρυθμιστής ιξώδους νέας τεχνολογίας (Viscosity Modifying Agent – VMA) καλείται να διατηρήσει την ομοιογένεια του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος, να καταστήσει το μίγμα λιγότερο ευαίσθητο στις αλλαγές, στην ζήτηση νερού (robustness) χωρίς αυτό να επιδρά στην ρευστότητα του μίγματος. Η περιεκτικότητα του τσιμέντου στο μίγμα προσδιορίζεται πλέον ανάλογα με την κατηγορία του σκυροδέματος ή την κατηγορία έκθεσης στο περιβάλλον.

A.2.7.3. Σχεδιασμός Μίγματος – Υλικά:

Η συνολική περιεκτικότητα λεπτοκόκκων στο μίγμα δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα 380 kg/m³. Η εξάπλωση του νωπού σκυροδέματος να βρίσκεται στο φάσμα των 60~70 εκατοστών, με χρόνο t₅₀ όχι μεγαλύτερο από 12 δευτερόλεπτα, και χωρίς κανένα ίχνος εμφάνισης εξίδρωσης.

Ο χρόνος διατήρησης των χαρακτηριστικών αυτοσυμπύκνωσης ορίζεται στα 90~120 λεπτά, χρόνος που θεωρείται ικανός για την μεταφορά και ολοκλήρωση διάστρωσης του κάθε μίγματος.

Ο προτεινόμενος Ρυθμιστής Ιξώδους (Viscosity Modifying Agents – VMA) θα πρέπει να προστίθεται στο μίγμα σε μια λογική δοσολογία και πάνω απ όλα να είναι φιλικός στους χρήστες.

Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να προστίθεται κανονικά στο μίγμα και όχι τροποποιώντας τον χρόνο ανάμιξης των πρώτων υλών μέχρι επιτεύξεως επιθυμητού αποτελέσματος.

Επίσης το σύστημα θα πρέπει να συνεργάζεται με την πλειοψηφία των τσιμέντων, αδρανών και συνδυασμών χρησιμοποιούμενων υπερρευστοποιητών και τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος θα πρέπει να παραμένουν σταθερά στο διακυμάνσεις στο ποσότητας του περιεχόμενου στο μίγμα νερού (± 10 lt/m³, Robustness). (πίνακας 14)

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Πίνακας 14: Μίγματα ΑΣΣ με VMAs με μειωμένα λεπτομερή

	M1 (Ελλάδα) C25/30	M2 (Ιταλία) C20/25	M3 (Ιταλία) C30/37	M4 (Ελλάδα) C25/30	M5 (Ελλάδα) C25/30
Γαρμπίλι (4-16mm)	375 kg	430 kg	710 kg	-	-
Γαρμπίλι Φυσικό	-	-	-	900 kg	800 kg
Ρυζάκι (4-8mm)	275 kg	371 kg	-	-	-
Θραυστή Άμμος(0- 4mm)	1200 kg	658 kg	-	450 kg	944 kg
Φυσική Άμμος (0-4mm)	-	371 kg	1064 kg	500 kg	-
Λεπτόκοκκα	-	-	-	-	50 kg
Τσιμέντο (CEM I 42,5N)	360 kg	330 kg	380 kg	175 kg	300 kg
Τσιμέντο (CEM II 32,5N)	-	-	-	175 kg	190 kg
Νερό	210 kg	190 kg	188 kg	190 kg	190 kg
VMA	1.0% m ³ τσιμ.	1.2% m ³ τσιμ.	1.2% m ³ τσιμ.	0.7% m ³ τσιμ.	1.2% m ³ τσιμ.
POZZOLITH	-	-	-	-	0.3% m ³ τσιμ.
Υπερ- ρευστοποιητ ής	0,7% m ³ τσιμ.	0.2% m ³ τσιμ	0.2% m ³ τσιμ.	0.2% m ³ τσιμ.	0.3% m ³ τσιμ.
N/T	0.60	0.58	0.49	0.54	0.54

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΙΓΜΑΤΩΝ:

M1(Ελλάδα):

Εξάπλωση: 68 cm

V Funnel: 11 sec

L Box : 0,92

Αντοχές σε θλίψη 7 ημερών : 34,5 Mpa

M2(Ιταλία):

Εξάπλωση: t=0 71 cm

Εξάπλωση: t=1h45min 60 cm

M3(Ιταλία):

Εξάπλωση: 66 cm

V Funell : 3 sec

M4(Ελλάδα):

N/T : 0,54

Εξάπλωση: t=30min 66 cm

M5(Ελλάδα):

Εξάπλωση : t=0 76 cm

Εξάπλωση : t=30min 67 cm

V Funnel: 7 sec

Πάλι οι συγκεκριμένες συνθέσεις δίνουν αποτελέσματα που είναι πολύ κοντά στα πρότυπα μίγματα στο Ε.Ε. αλλά καθιστούν την παραγωγή του ΑΣΣ πιο οικονομική για τις Βιομηχανίες αυξάνοντας έτσι την ευρεία χρήση του ΑΣΣ.

A.2.7.4. ΑΣΣ σχεδιασμένο με τα πρότυπα στο ευρωπαϊκής ένωσης.

Στο πίνακα (15) παρουσιάζονται 6 μείγματα τα οποία συμμορφώνονται με τα πρότυπα στο Ευρωπαϊκής Ένωσης. Εμφανίζονται συνοπτικά οι αναλογίες για επιτυχημένο ΑΣΣ και φαίνεται η διαφορετικότητα των μειγμάτων στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν. Στο Πίνακα (16) φαίνονται τα αποτελέσματα διαφόρων ελέγχων στα μείγματα αυτά στο νωπή και σκληρυμένη κατάσταση.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Πίνακας 15 :Αναλογίες μιγμάτων στο kg/m³(Σημ.: N/T λόγος νερού τσιμέντου, N/Σ λόγος νερού συνδετικού).

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Τσιμέντο CEM II 52.5 N	350	350	330	327	329	330
Άσβ. Παιπάλη	175	175	175	175	175	175
Πυριτική Παιπάλη	-	-	20	-	-	10
Ιπταμένη Τέφρα	-	-	-	-	21	11
Άσβ. Παιπάλη Ασφ.	-	-	-	23	-	-
Άσβ. Σκύρα 8/20	-	300	300	300	300	300
Άσβ. Σκύρα 4/10	-	500	500	500	500	500
Διαβ. Σκύρα 8/20	300	-	-	-	-	-
Διαβ. Σκύρα 4/10	500	-	-	-	-	-
Άσβ. Άμμος 0/4	280	280	280	280	280	280
Ψαμμιτική Άμμος	491	491	491	491	491	491
Υπέρ-Ρευστοποιητής	9	9	9	9	9	9
Νερό	210	210	210	210	210	210
N/T	0,6	0,6	0,64	0,64	0,64	0,64
N/Σ	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων χρησιμοποιήθηκαν, μηχανή θλίψης 5000 kN (για τη θλιπτική αντοχή, έμμεση εφελκυστική αντοχή και μέτρο ελαστικότητας) και πλαίσιο 100 kN (για την αντοχή στο κάμψη).

Οι δοκιμές έγιναν με βάση στο πρόνοιες των αντίστοιχων Ευρωπαϊκών προτύπων: EN 12390-3 (Παράρτημα 5 σελ -106-)για το προσδιορισμό στο θλιπτικής αντοχής, EN 12390-6 (Παράρτημα 7 σελ -130-) για την έμμεση εφελκυστική αντοχή στο διάρρηξη, EN 12390-5(Παράρτημα 6 σελ -124-) για την αντοχή στο κάμψη και BS 1881-121 (Παράρτημα 9 σελ -158-) για το μέτρο ελαστικότητας.

Ο προσδιορισμός του ανοικτού πορώδους έγινε με τη μέθοδο του κορεσμού υπό συνθήκες κενού ενώ για τον υπολογισμό του συντελεστή απορροφητικότητας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της τριχοειδούς απορρόφησης οργανικού διαλύτη όπως αυτή περιγράφεται από τους Gummerson, R.J., Hall, C. & Hoff, W.D., το 1980 (Gummerson, 1980) αλλά και από τους Christopher Hall και William D. Hoff το 2002 (Hall and Hoff, 2002)

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Πίνακας 16: Αποτέλεσμα νοπής και σκληρυμένης κατάστασης μιγμάτων ΑΣΣ

		M1	M2	M3	M4	M5	M6
T500	sec	2,7	4	2,9	1,8	2,4	4,4
Τελική Εξάπλωση	mm	840	780	790	802	830	680
Χοάνη – V	sec	19,8	14,4	11,5	12,4	7,5	11,4
Χοάνη – V @ 5 min	sec	22,3	15,2	12,7	13,5	9,9	14,6
Βαθμός Διέλευσης	%	85	100	100	100	100	80
Σχετική τάση διαρροής		172	64	260	91	40	70
Σχετικό πλαστικό ιξώδες		4114	10915	4686	4173	7458	9056
Θλιπτική Αντοχή	Mpa	64	63	64	60	55	65
Έμμεση Εφ. Αντοχή	Mpa	3,3	4	3,4	3,5	2,7	3,3
Αντοχή Κάμψης	Mpa	7,1	5,9	7	5,8	5,4	6,1
Μέτρο Ελαστικότητας	Gpa	30,2	29,2	30,4	38,1	29,5	31
Πορώδες	%	16,9	18,4	16	17,8	17,2	17,6
Απορροφητικότητα	mm ³ /min	0,078	0,079	0,072	0,075	0,091	0,082

A.2. 8. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Α.Σ.Σ.

Έχοντας αναλύσει τις διάφορες συνθέσεις του ΑΣΣ καταλήγουμε στο ίδιο υλικό που συνήθως έχει σχεδόν τις ίδιες ρεολογικές ιδιότητες, αντοχές και την χαρακτηριστική εργασιμότητα του. Αυτό που διαφέρει από σύνθεση σε σύνθεση είναι το κόστος παραγωγής και η ικανότητα παραγωγής του ΑΣΣ στο εργοτάξιο ή σε βιομηχανία.

Στη συνέχεια θα αναφερθούν τα θετικά και αρνητικά του στοιχεία και θα ερευνηθεί η αιτία της έλλειψης του από την αγορά και τέλος θα γίνει σύγκριση με το απλό σκυρόδεμα και το κυσσιρόδεμα.

A.2.8.1. Πλεονεκτήματα

- ✓ Υψηλή ποιότητα τελικού προϊόντος: Το σκυρόδεμα είναι πλέον πολύ ανθεκτικό απέναντι στους επιθετικούς εξωτερικούς παράγοντες, η διάστρωση και η συμπίκνωσή του είναι τέλεια όπως τέλεια είναι και η τελική του εμφάνιση. Δεν χρειάζεται πια συμπίκνωση, ακόμα και σε στοιχεία που οι συμβατικές μέθοδοι συμπίκνωσης δεν μπορούσαν να βρουν εφαρμογή λόγω πολυπλοκότητας των ξυλοτύπων.
- ✓ Ο χρόνος κατασκευής μειώνεται καθώς οι αναγκαίες εργασίες κατά τη διάρκεια στο σκυροδέτησης μειώνονται.
- ✓ Μπορούν να κατασκευαστούν πολύπλοκα στοιχεία από σκυρόδεμα με απόλυτη ακρίβεια.
- ✓ Μειώνεται δραστικά η ανάγκη παρουσίας προσωπικού κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης.
- ✓ Υπάρχει μείωση του θορύβου λόγω της απουσίας δόνησης, ο οποίος στη περίπτωση των μονάδων προκατασκευής είναι πολύ υψηλός.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

- ✓ Μείωση επαγγελματικών ασθενειών (καρδιαγγειακά νοσήματα, προβλήματα βαρηκοΐας, δερματικά προβλήματα, κ.λπ.) και ασφαλέστερο εργασιακό περιβάλλον.
- ✓ Κατανάλωση παραπροϊόντων βιομηχανίας (όπως πυριτική παιπάλη, ιπτάμενη τέφρα, σκωρία υψικαμίνου, λεπτόκοκκα αδρανή λατομείων, κ.λπ.) ως πληρωτικά πρόσμικτα σκυροδέματος, με αποτέλεσμα τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος, λόγω:
 - ◆ της μη απόρριψης των εν λόγω παραπροϊόντων ως περιττά υλικά
 - ◆ της αντικατάστασης μέρους του τσιμέντου, που συνεπάγεται μικρότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που είναι συνδεδεμένες με την παραγωγή του

Τελευταίο και σημαντικότερο:

- ✓ Υπάρχουν και οικονομικά οφέλη από τη χρήση του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος, όπως έδειξε έρευνα των Ολλανδικών βιομηχανιών προκατασκευής, οι οποίες με την από κοινού ανάπτυξη στο τεχνολογίας του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος επέτυχαν την μείωση του συνολικού κόστους ανά κυβικό σκυροδέματος στο τελικό προϊόν και βέβαια, την εκτόξευση των κερδών τους.

Όμως, λόγω της υψηλής τεχνογνωσίας που απαιτείται για την εφαρμογή του υλικού στο εργοτάξιο και την ακριβή αρχική τιμή του παρουσιάζονται μειονεκτήματα που εμποδίζουν την ευρεία χρήση του.

A.2.8.2. Μειονεκτήματα

- ✓ Η τοποθέτηση και η μίξη ΑΣΣ στο εργοτάξιο έχει πολλές ειδικές απαιτήσεις.
- ✓ Οι ρεολογικές ιδιότητες του νωπού ΑΣΣ επηρεάζονται άμεσα και σημαντικά από την περιεχόμενη υγρασία, γεγονός που επιτάσσει η προσθήκη νερού να γίνεται συνυπολογίζοντας με ακρίβεια την περιεχόμενη υγρασία στα αδρανή (προηγμένο σύστημα ελέγχου υγρασίας).
- ✓ Το ΑΣΣ παρουσιάζει μικρότερη ανοχή σε διακυμάνσεις της παραγωγής του από ότι το Συμβατικό Σκυρόδεμα (ΣΣ), γεγονός που περιορίζει την επιτυχή παραγωγή του σε μονάδες παρασκευής, στις οποίες ο εξοπλισμός και ο χειρισμός των οργάνων, καθώς και τα υλικά ελέγχονται συστηματικώς λαμβάνοντας υπόψη και τις κλιματικές συνθήκες (υψηλό επίπεδο ποιοτικού ελέγχου).

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

- ✓ Η επιθυμητή σύνθεση καθορίζεται από την επιτελεσματικότητα, η οποία επιλέγεται ανάλογα με τις απαιτήσεις για την ικανότητα πλήρωσης, την ικανότητα διέλευσης και τη σταθερότητα κάθε συγκεκριμένης εφαρμογής.
- ✓ Η διάστρωση του ΑΣΣ πρέπει να διεξάγεται από έμπειρο τεχνικό προσωπικό (σε επίπεδο επιβλέποντος).
- ✓ Ανάπτυξη σημαντικής υδροστατικής πίεσης στο ξυλότυπους.
- ✓ Κίνδυνος εμφάνισης του φαινομένου στο αυτογενούς συρρίκνωσης λόγω το χαμηλού λόγου N/T με αποτέλεσμα τη δημιουργία εσωτερικών ρηγμάτων και συνεχιών λόγω στο λανθασμένης ενυδάτωσης ή μη αποτελεσματικής συντήρησης.

A.2. 9. Σημεία προσοχής και προϋποθέσεις επιτυχούς παραγωγής και χρήσης ΑΣΣ

- Το ΑΣΣ παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία των συνθέσεών του ως προς τις διακυμάνσεις των ιδιοτήτων των συστατικών του υλικών (ποσοστό υγρασίας αδρανών, λεπτότητα κονιών, κ.ά.), σε σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Η ευαισθησία αυτή δύναται να επηρεάσει το βαθμό επίτευξης των επιθυμητών χαρακτηριστικών αυτοσυμπύκνωσης. Τα τελευταία, πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε το ΑΣΣ να χαρακτηρίζεται αφενός από χαμηλό όριο διαρροής για να εξασφαλιστεί υψηλή παραμορφωσιμότητα (ευκολία ροής χωρίς πρόσθετη διέγερση) και, αφετέρου, από μέσο πλαστικό ιξώδες για να διατηρεί ομοιογενή αιώρηση των στερεών, ώστε να μειώνονται οι ενδοσωματιδιακές συγκρούσεις, ο διαχωρισμός και η έμφραξη της ροής.
- Το ΑΣΣ απαιτεί μεγαλύτερη εξειδίκευση του προσωπικού το οποίο είναι υπεύθυνο για τη μελέτη σύνθεσης, την παραγωγή, τη μεταφορά, την άντληση, τη διάστρωση και τον έλεγχο ποιότητας των σταδίων αυτών.
- Απαιτείται εξασφάλιση της στεγανότητας των ξυλοτύπων και προσεκτική διαστασιολόγησή τους, ιδιαίτερα για υψηλούς ρυθμούς σκυροδέτησης.
- Απαιτείται αναβάθμιση των υλικοτεχνικών υποδομών στα παρασκευαστήρια ετοιμού σκυροδέματος (π.Χ πρόσθετα σιλό αποθήκευσης κονιών, νέες συσκευές ελέγχου των ιδιοτήτων νωπού ΑΣΣ, υγρόμετρα ακριβείας).
- Οι επιμέρους απαιτήσεις για το ΑΣΣ είναι σύνθετες και εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένων των φορτίων λειτουργίας και των περιβαλλοντικών συνθηκών, τη μέθοδο διάστρωσης που θα χρησιμοποιηθεί, τις

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

δεξιότητες του συνεργείου, τα μέτρα της διασφάλισης της ποιότητας και του ελέγχου της ποιότητας.

- Η απαιτούμενη εργασιμότητα για τη διάστρωση του ΑΣΣ εξαρτάται από τον τύπο της κατασκευής, τις επιλεγμένες μεθόδους διάστρωσης, τη συνθετότητα του τύπου (ξυλοτύπου, μεταλλοτύπου, πλαστικοτύπου, κ.λπ.) και τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες σχεδιασμού που επηρεάζουν τον βαθμό πύκνωσης του οπλισμού.
- Για το ΑΣΣ είναι κρίσιμος ο ποιοτικός έλεγχος. Οι κατάλληλες παράμετροι ποιοτικού ελέγχου θα πρέπει να καθορίζονται κατά τη διάρκεια του σταδίου προεπιλογής μίγματος (mixture qualification stage). Δοκιμές ποιοτικού ελέγχου θα πρέπει να εκτελούνται μόνο από έμπειρο προσωπικό. Στο παρόν, δεν υπάρχει εφαρμοζόμενο πιστοποιημένο πρόγραμμα από το ACI για δοκιμές ΑΣΣ. Γι' αυτό συνιστάται, το προσωπικό να είναι πιστοποιημένο ως εργαστηριακοί και επί τόπου τεχνικοί δοκιμών ΑΣΣ.
- Το ΑΣΣ το οποίο είναι σωστά σχεδιασμένο για την ελαχιστοποίηση του διαχωρισμού και της εξίδρωσης, οφείλει στη συνέχεια να αποδίδει ομοιογενώς σε όλο το μήκος του σκυροδετούμενου στοιχείου τις απαιτούμενες ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος.
- Όπου οι ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος όπως το μέτρο ελαστικότητας, και οι παράμετροι ερπυσμού ή συρρίκνωσης, είναι κρίσιμες, (όπως σε μεγάλο ανοίγματος στοιχεία, υποστυλώματα ή και προβόλους) θα πρέπει να εκτελούνται σχετικές δοκιμές για να επιβεβαιωθεί ότι έχει επιτευχθεί η επιθυμητή απόδοση του ΑΣΣ, ιδιαίτερα, όταν οι αναλογίες χονδρόκοκκων αδρανών ή περιεχόμενης πάστας των αναμιγμάτων του ΑΣΣ ποικίλουν σημαντικά από αυτούς των συμβατικών αναμιγμάτων.

A.2. 10. Σύγκριση Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με το συμβατικό σκυρόδεμα ευρείας χρήσης.

Σε αυτό το σημείο θα μελετηθεί η ανθεκτικότητα αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων και θα συγκριθεί με την ανθεκτικότητα αντίστοιχων σκυροδεμάτων συμβατικής παραγωγής.

Το ΑΣΣ στηρίζεται στη χρήση πολύ χαμηλού λόγου νερού/τσιμέντου, με ταυτόχρονη ικανοποιητική εργασιμότητα που επιτυγχάνεται με τη χρήση μεγάλης δόσης υπερρρευστοποιητή. Η δραστική αυτή μείωση του νερού σε συνδυασμό με την υψηλή αναλογία σε λεπτόκοκκα υλικά (τσιμέντο, φίλλερ) μειώνει την απόσταση μεταξύ των κόκκων του τσιμέντου με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός πυκνού ιστού από ενυδατωμένα προϊόντα πολύ υψηλής αντοχής και πολύ χαμηλού πορώδους.

Έτσι λοιπόν το ΑΣΣ χαρακτηρίζεται από χαμηλή διαπερατότητα και κατά συνέπεια υψηλή ανθεκτικότητα. Με σκοπό την παραγωγή σκυροδεμάτων ανθεκτικών σε υψηλές θερμοκρασίες, παρασκευάστηκαν, από τους σχεδιαστές των μειγμάτων, (Αναγνωστόπουλος et al., 2009) μείγματα που περιέχουν ίνες πολυπροπυλενίου με κατεύθυνση να εξεταστεί κατά πόσο μπορεί να συμβάλει αυτή η συγκεκριμένη προσθήκη ιών πολυπροπυλενίου στο σκυρόδεμα.

Η φιλοσοφία της συγκεκριμένης τεχνικής βασίζεται στη λογική ότι οι ίνες πολυπροπυλενίου τήκονται στους 170°C περίπου, δημιουργώντας “κανάλια” για την εκτόνωση της ατμοπίεσης στο σκυρόδεμα, αποτρέποντας έτσι τις τοπικές εκρήξεις που καταστρέφουν την εσωτερική μικροδομή του σκυροδέματος και οδηγούν τελικά σε εκρηκτική θραύση.

Εξετάστηκε όμως παράλληλα από τους ερευνητές και η αποτελεσματικότητα της χρήσης αερακτικού στην αύξηση της αντίστασης του ΑΣΣ σε υψηλές θερμοκρασίες και τη βελτίωση της συμπεριφοράς του έναντι φωτιάς.

Επίσης με βάση έρευνες που έχουν διεξαχθεί όσον αφορά την χρήση ιών στο σκυρόδεμα, έχει αποδειχτεί πως σε μείγματα με υψηλούς λόγους νερού/τσιμέντο, βελτιώνει την μεταβατική ζώνη του τσιμεντολιθώματος (ITZ- Interfacial Transition Zone) μειώνοντας την διαπερατότητα του σκυροδέματος, βελτιώνοντας την ανθεκτικότητά του (Kalinowski and Tragardh, (2007))

1) Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στα μείγματα.

Παρασκευάστηκαν έξι αυτοσυμπυκνούμενα και δύο συμβατικά μείγματα χρησιμοποιώντας δύο ειδών τσιμέντα CEM II A-M/42.5N και CEM II A-M/32.5N σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN-197-1.(Παράρτημα 1)

Τα μείγματα ανήκουν στο κατηγορίες C25/30 και C30/37. Χρησιμοποιήθηκε άμμος ασβεστολιθική με μεγάλη περιεκτικότητα στο λεπτά υλικά (12% διερχόμενα από το κόσκινο 0,125mm), και γαρμπίλι φυσικής προελεύσεως με μέγιστο κόκκο 8 mm. Οι ίνες που χρησιμοποιήθηκαν είναι από προπυλένιο μήκους 6mm. Τέλος χρησιμοποιήθηκαν δύο χημικά πρόσμικτα ρευστοποιητικής δράσης (SP), ένα ρύθμισης ιξώδους (VMA) και ένα επιβραδυντικής δράσης (RT) όπως και το αερακτικό πρόσθετο της ίδιας BASF.

2) Συνθέσεις και χαρακτηριστικά μειγμάτων

Αναλυτικότερα όσον αφορά τα μείγματα, παρασκευάστηκαν ΑΣΣ με ασβεστολιθικό Φίλλερ ως μείγματα αναφοράς ανά κατηγορία αντοχής, ΑΣΣ με προσθήκη ινών και αερακτικού και τέλος ένα συμβατικό σκυρόδεμα ανά κατηγορία για την συνολική σύγκριση. Σε κάθε μείγμα εκτιμήθηκαν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά με βάση τις οδηγίες της EFNARC (EFNARC 2005).(Παράρτημα 3) . Οι συνθέσεις καθώς και τα αποτελέσματα των ρεολογικών χαρακτηριστικών που πιστοποιούν την ικανότητα αυτοσυμπύκνωσης των μειγμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα (17).

Αξίζει να σημειωθεί πως ανάλογα με την κατηγορία αντοχής, οι λόγοι w/c κρατήθηκαν σταθεροί για την ορθότερη εκτίμηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Πίνακας 17: Αναλογίες μίξης και ρεολογικά χαρακτηριστικά μειγμάτων στο σύγκριση

Αναλογίες μίξεως Kg/m ³	SCC 25/30 LF SCC1	SCC 30/37 LF SCC2	SCC 25/30 LF+ PF+air SCC3	SCC 30/37 LF+PF+air SCC4	NC 25/30 NC1	NC 30/37 NC2
CEM II 32,5	300	305	300	305	300	305
CEM II 42,5	50	130	50	130	50	130
ΓΑΡΜΠΙΛΙ	800	800	800	800	850	760
ΑΜΜΟΣ	945	880	945	880	980	1010
ΑΣΒΕΣΤ.ΦΙΛΛΕΡ	50	50	50	50	-	-
ΝΕΡΟ	195	191	195	191	195	191
ΥΠΕΡ/ΣΤΟ 1	2	2,175	2,1385	2,34	1	1
ΥΠΕΡ/ΣΤΟ 2	-	0,757	-	0,757	-	-
ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΗΣ	0,368	-	0,368	-	-	-
VMA	0,368	-	0,368	-	-	-
ΙΝΕΣ -6mm-	-	-	0,500	0,500	-	-
ΑΕΡΑΚΤΙΚΟ (air)	-	-	0,186	0,283	-	-
W/C	0,56	0,44	0,56	0,44	0,56	0,44
Θ σκυρ- Θ περιβ. (οC)	27- 27	28,5-28	30-30	28-29	28-29	28-29
ΕΞΑΠΛΩΣΗ mm)	750	700	710	680	19	20
T50 (sec)	1,82	2,68	2,8	2,59	-	-
L-BOX (H1/H2)	1	0,95	0,95	0,95	-	-
fc28 (Mpa)	40	56,6	39,6	50,4	16,5	48,6

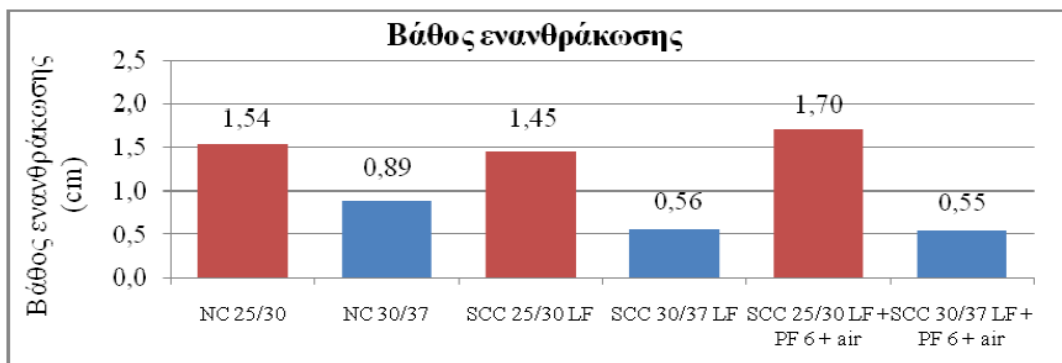
Αρχικά έγινε εκτίμηση της ενανθράκωσης που αποτελεί χαρακτηριστικό ανθεκτικότητας.

Μετέπειτα μελετήθηκε η υδατοαπορροφητικότητα των μειγμάτων ως μέτρηση του βαθμού μεταφορικής ικανότητας (transport mechanism) των σκυροδεμάτων. Με την βοήθεια παραπάνω δοκιμών προσδιορίζεται έμμεσα και το πορώδες των μειγμάτων, και αποτελεί στοιχείο για την δοκιμή της έκθεσης σε υψηλές θερμοκρασίες. Στο επόμενο στάδιο της διαδικασίας τα μείγματα εκτέθηκαν σε υψηλή θερμοκρασία, που αποτελεί ένα ειδικό θέμα ανθεκτικότητας, και εκτιμήθηκαν οι εναπομένουσες τιμές θλιπτικής αντοχής και πορώδους

A.2.10.1. Ενανθράκωση

Για τη δοκιμή αυτή χρησιμοποιήθηκαν κυλινδρικά δοκίμια 6x10cm τα οποία αφού συντηρήθηκαν στο θάλαμο συντήρησης για 3 ημέρες και στη συνέχεια σε θερμοκρασία δωματίου μέχρι την ηλικία των 28 ημερών τοποθετήθηκαν σε ειδικό θάλαμο επιταχυνόμενης ενανθράκωσης για 6 εβδομάδες, όπου η συγκέντρωση του CO₂ ήταν 10% και η σχετική υγρασία κυμαίνονταν μεταξύ 65-72%. Μετά την έξοδό τους από το θάλαμο προσδιορίστηκε έτσι το βάθος στο οποίο έχει προχωρήσει η ενανθράκωση. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε με βάση τον κανονισμό της RILEM CPC-18.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο γράφημα (2)



Γράφημα 2 Βάθος ενανθράκωσης συμβατικών και αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων

Ανάλυση αποτελεσμάτων ενανθράκωσης

Το βάθος ενανθράκωσης για την κατηγορία αντοχής 25/30 κυμαίνεται από 1,45 έως 1,70cm. Τη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα παρουσιάζει το SCC 25/30 LF (βάθος ενανθράκωσης: 1,45cm). Εξαιτίας του μεγάλου ποσοστού λεπτόκοκκων που περιέχει και του χαμηλότερου λόγου w/c σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα NC, χαρακτηρίζεται από πολύ πυκνή εσωτερική μικροδομή γεγονός που δυσχεραίνει τη διείσδυση του CO₂ μέσω των τριχοειδών πόρων του (carbonation 2-4-6). Αντίθετα το αυτοσυμπυκνόμενο μείγμα που περιέχει ίνες 6mm και αερακτικό (SCC 25/30 LF+PF6+air) εμφανίζεται λιγότερο ανθεκτικό (βάθος ενανθράκωσης: 1,70cm) ακόμη και από το συμβατικό NC 25/30 (βάθος ενανθράκωσης: 1,54cm). Το αερακτικό στην περίπτωση αυτή, αυξάνει το ποσοστό αέρα του σκυροδέματος με αποτέλεσμα αυτό να παρουσιάζει μεγαλύτερη διαπερατότητα (Brunner).

Τα βάθη ενανθράκωσης στην κατηγορία αντοχής 30/37 κυμαίνονται από 0,55 έως 0,89cm. Τη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα παρουσιάζουν και πάλι τα αυτοσυμπυκνόμενα μείγματα συγκριτικά με τα συμβατικά. Χαρακτηριστικό όμως εδώ είναι ότι για το σκυρόδεμα SCC LF+PF6+air εξαλείφεται πλέον η αρνητική δράση του αερακτικού στην

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

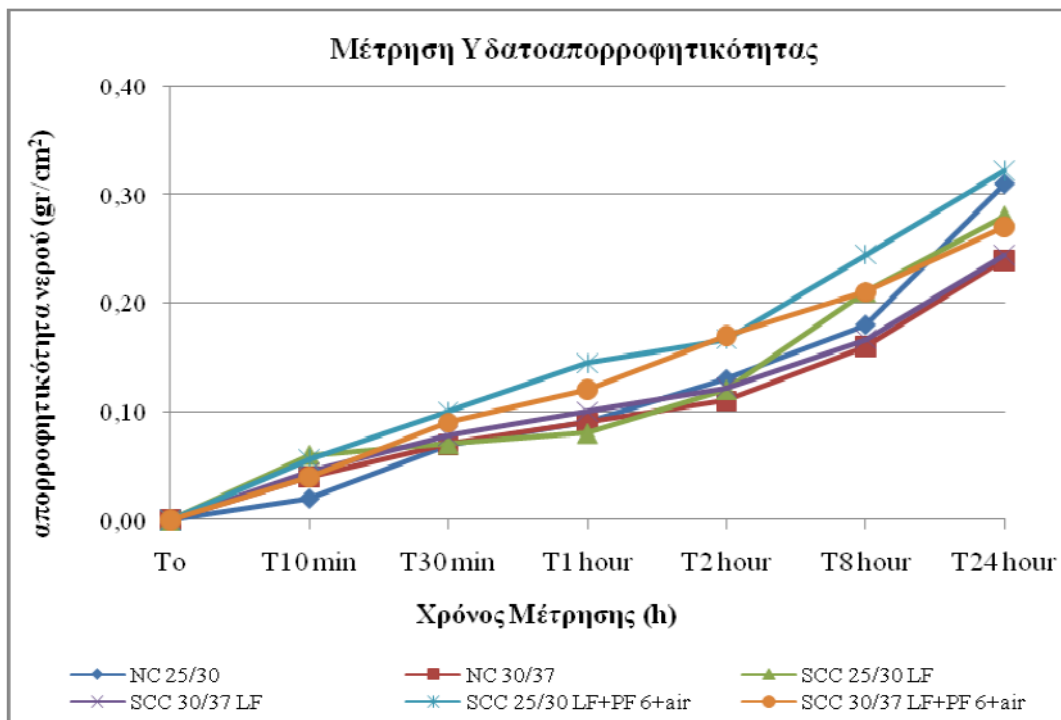
ανθεκτικότητα που παρατηρήθηκε στα σκυροδέματα 25/30. Η αυξημένη ποσότητα τσιμέντου στην κατηγορία 30/37 (435kgr/m³ έναντι 350kgr/m³) δημιουργεί καλύτερη συνάφεια της μεταβατικής ζώνης και προφανώς αντισταθμίζεται η δράση του αερακτικού και κρατούν το

πορώδες σε πιο χαμηλά επίπεδα (Kalinowski and Tragardh, (2007))

Με την αύξηση της κατηγορίας αντοχής από 25/30 σε 30/37 παρατηρείται όπως είναι φυσικό μια σημαντική μείωση του βάθους ενανθράκωσης περίπου 42% για τα NC μείγματα, 62% για τα SCC LF και 68% για τα SCC LF+PF6+air

A.2.10.2. Υδατοαπορροφητικότητα

Οι μετρήσεις υδατοαπορροφητικότητας πραγματοποιήθηκαν στην ηλικία των 28 ημερών σε κυβικά δοκίμια ακμής 15cm κατά RILEM TC 116 (RILEM (1999)). Μετρήσεις της αύξησης του βάρους των δοκιμίων για να εξετάσουμε τη μεταβολή του και να υπολογισθεί έτσι η υδατοαπορροφητικότητα του κάθε μείγματος, πραγματοποιήθηκαν στις χρονικές στιγμές των 10min, 30min, 1h, 2h, 8h και 24h, όπως παρουσιάζονται στο γράφημα (3).



Γράφημα 3 Υδατοαπορροφητικότητα ΣΣ (NCs) και ΑΣΣ (SCCs)

Ανάλυση αποτελεσμάτων υδατοαπορροφητικότητας

Σύμφωνα με τον Neville (Neville, 1995) η διαπερατότητα του σκυροδέματος καθορίζεται από τους τριχοειδείς πόρους που υπάρχουν στη μάζα της σκληρυμένης τσιμεντόπαστας. Οι πόροι που σχετίζονται με τη διαπερατότητα του σκυροδέματος είναι αυτοί με διάμετρο 120-160 m.m και για να εξασφαλίξεται η λειτουργία τους πρέπει αυτοί να είναι συνεχείς. Όσον αφορά τα παρασκευασθέντα μείγματα, η διαφορά στο ποσοστού τσιμέντου και του υδατοτσιμεντοσυντελεστή εξηγούν ότι η υψηλότερη κατηγορία αντοχής παρουσιάζει μια πιο πυκνή δομή στη μάζα του σκυροδέματος, οπότε και μικρότερη υδατοπερατότητα .

Από το γράφημα (3) παρατηρούμε ότι τα μείγματα της κατηγορίας 25/30 παρουσιάζουν στις 24 ώρες υδατοαπορροφητικότητα που κυμαίνεται από 0,28- 0,32 gr/cm² ενώ τα μείγματα της κατηγορίας 30/37 λόγω πυκνότερης μικροδομής παρουσιάζουν μικρότερη υδατοαπορροφητικότητα και συγκεκριμένα 0,24-0,27 gr/cm². Επίσης, εύκολα παρατηρεί κανείς ότι και για τις δύο κατηγορίες αντοχής το σκυρόδεμα που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη υδατοαπορροφητικότητα είναι το SCC LF+PF6+air. Για την κατηγορία αντοχής 25/30 από τα πρώτα 10min το μείγμα αυτό αρχίζει να παρουσιάζει υδατοαπορροφητικότητα μεγαλύτερη από τα άλλα δύο μείγματα της ίδιας κατηγορίας ενώ στα 30/37 το συγκεκριμένο μείγμα (με ίνες 6mm και αερακτικό) στις 2 ώρες (0,17gr/cm²) αρχίζει να διαφοροποιείται σημαντικά από τα υπόλοιπα. Η προσθήκη του αερακτικού ευθύνεται για την αυξημένη υδατοαπορροφητικότητα των μειγμάτων αυτών καθώς με το αερακτικό δημιουργούνται φυσαλίδες ομοιόμορφα κατανεμημένες στη μάζα του σκυροδέματος με αποτέλεσμα την αύξηση του πορώδους.

A.2.10.3. Έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες

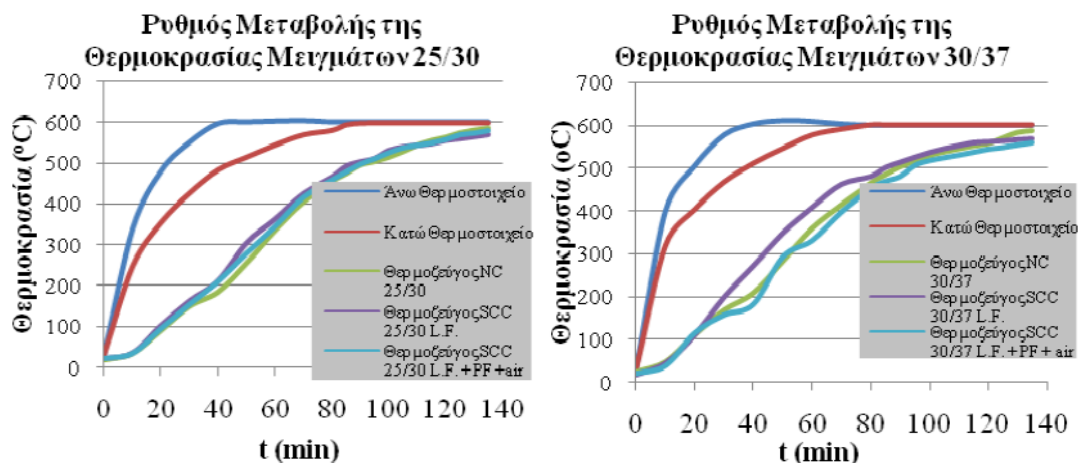
Για την δοκιμή αυτή χρησιμοποιήθηκαν από τους μελετητές κύβοι ακμής 15 cm, για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής και της μεταβολής της ταχύτητας των υπερήχων, πριν και μετά την έκθεση στην επιλεγθείσα τελική θερμοκρασία των 600oC. Η θερμοκρασία αυτή επιλέχθηκε με βάση προηγούμενες μελέτες στο εργαστήριο του Π.Θ. όπου την ορίζουν ως την πρώτη επικίνδυνη θερμοκρασιακή ζώνη στην οποία παρατηρήθηκαν ολοκληρωτικές καταστροφές των δοκιμίων (Αναγνωστόπουλος et al., 2009)

Στην ηλικία των 180 ημερών τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε ειδικά διαμορφωμένο ηλεκτρικό φούρνο του εργαστηρίου. Ο ρυθμός θερμοκρασιακής ανάπτυξης ήταν 15-

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

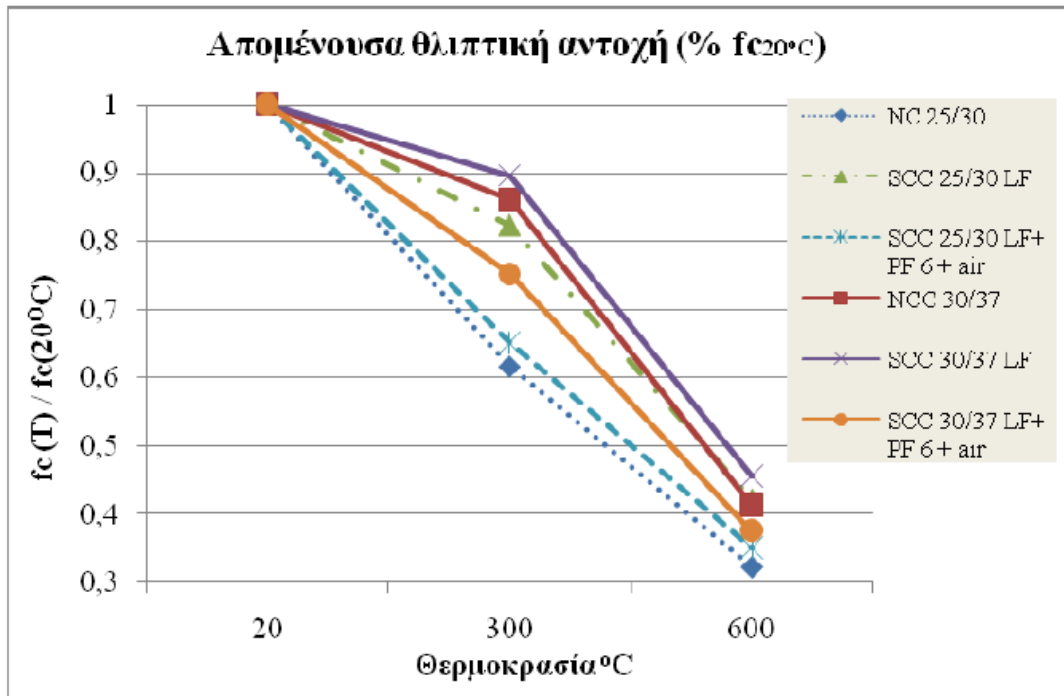
20°C/λεπτό μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία όπου και παρέμεινε για την επόμενη μία ώρα. Στα 7 δοκίμια τοποθετήθηκαν πυροστοιχεία για την ακριβή μέτρηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικού του δοκιμίου εφόσον και το πυροστοιχείο της διάταξης (φούρνος) μετρά την θερμοκρασία του αέρα. (γράφημα 10)

Ο φούρνος, ο οποίος αποτελεί μια προσομοίωση της έκθεσης σε υψηλή θερμοκρασία σκυροδέματος, με εκτιθέμενες όλες τις πλευρές, δεν ακολουθεί τις καμπύλες που αναφέρονται στις οδηγίες της RILEM (RILEM Specifications 2006), μιας και αποτελεί ιδιαίζουσα περίπτωση πειράματος. Τα δοκίμια χρησιμοποιήθηκαν για να προσδιοριστούν οι εναπομένουσες θλιπτικές αντοχές των σκυροδεμάτων συγκρινόμενες με τις αρχικές (20°C) αλλά και την μεταβολή του πορώδους με την χρήση της συσκευής μέτρησης των υπερήχων.

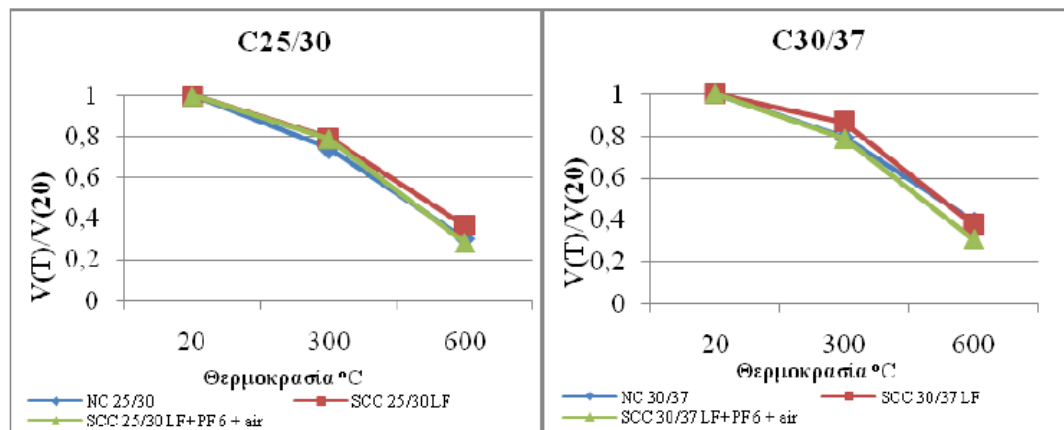


Γράφημα 4 Ρυθμός αύξησης θερμοκρασιών φούρνου (άνω και κάτω θερμοζεύγος) και δοκιμίων ανά μείγμα και κατηγορία αντοχής.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι ανοιγμένες τιμές των μετρήσεων της θλιπτικής αντοχής πριν την έκθεση στην δοκιμή (200°C) και μετά την έκθεση στους 600°C (T) (γράφημα 5) και η διαφοροποίηση του πορώδους με την βοήθεια της ταχύτητας των υπερήχων που μετρήθηκε στα δοκίμια των μειγμάτων (γράφημα 6). Αξίζει να σημειωθεί πως η μέτρηση των υπερήχων (Pundit) αποτελεί μια δοκιμή η οποία μπορεί να μετρήσει την κατάσταση του ίδιου δοκιμίου πριν και μετά την θερμοκρασιακή έκθεση, αποτελώντας μη καταστρεπτική δοκιμή.



Γράφημα 5 Ανοιγμένες τιμές θλιπτικής αντοχής μετά την έκθεση στο 300oC και 600oC



Γράφημα 6 Ανοιγμένες τιμές ηχομέτρου για μείγματα 25/30 (αριστερά) και 30/37 (δεξιά).

Ανάλυση αποτελεσμάτων Έκθεσης στο υψηλές θερμοκρασίες

Όσον αφορά την θλιπτική αντοχή, παρατηρήθηκε ότι μετά την έκθεση στους 600oC η εναπομένουσα θλιπτική αντοχή είναι της τάξης των 20 MPa (17-23 MPa) για τα σκυροδέματα που ανήκουν στην κατηγορία αντοχής 25/30 και της τάξης των 30 MPa (27-34 MPa) για τα σκυροδέματα της κατηγορίας 30/37. Και για τις δύο περιπτώσεις πάντως, τα SCC LF σκυροδέματα παρουσιάζουν ελαφρώς υψηλότερη απομένουσα θλιπτική αντοχή σε σχέση με τα NC της ίδιας κατηγορίας, μετά τους 600°C. Σε όλο το φάσμα των θερμοκρασιών, η απομένουσα θλιπτική αντοχή των αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων SCC LF βρίσκεται υψηλότερα από αυτή των συμβατικών σκυροδεμάτων

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

NC λόγω της πυκνότητας της γέλης του τσιμέντου όσο και την διεπιφάνεια μεταξύ αδρανών και τσιμεντόπαστας.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι για το μείγμα SCC 30/37 LF παρατηρήθηκε εκρηκτική αποφλοΐωση σε ορισμένα δοκίμια, γεγονός που παραπέμπει στην ολοκληρωτική καταστροφή του δοκιμίου. Ο κίνδυνος αυτός εμφανίζεται στα μείγματα με πυκνότερη δομή και εν προκειμένω στα αυτοσυμπυκνούμενα σκυροδέματα, αντισταθμίζοντας με αυτόν τον τρόπο τα ευεργετικά αποτελέσματα σε θέματα ανθεκτικότητας που έχει η πυκνή μικροδομή και η εξαιρετική πλήρωση που παρουσιάζεται στο ΑΣΣ σε σχέση με το ΣΣ .

Αναλυτικότερα, από το παραπάνω γράφημα (4) μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι για την κατηγορία αντοχής 25/30 ο τρόπος μείωσης της θλιπτικής αντοχής για το NC είναι πιο απότομος σε σχέση με το SCC 25/30 LF. (δεν συμβαίνει το ίδιο όμως και για την κατηγορία αντοχής 30/37 όπου η μείωση της θλιπτικής αντοχής λόγω της επίδρασης υψηλών θερμοκρασιών γίνεται με παρόμοιο ρυθμό στα NC και SCC LF σκυροδέματα. Η επίδραση των 600°C όμως επιβαρύνει σημαντικότερα όλα τα σκυροδέματα και των δύο κατηγοριών αντοχής αφού οι θλιπτικές αντοχές στη θερμοκρασία αυτή παρουσιάζουν μείωση από 55 έως και 68%. Τη μικρότερη μείωση της θλιπτικής αντοχής σε σχέση με την αρχική παρουσιάζουν τα μείγματα SCC LF (58% το 25/30 και 55% το 30/37).

Εξαιρεση βέβαια αποτελούν τα αυτοσυμπυκνούμενα μείγματα με ίνες πολυπροπυλενίου 6mm και αερακτικό των οποίων η μείωση της θλιπτικής αντοχής μειώνεται ομαλά. Αυτό συμβαίνει γιατί με την προσθήκη αερακτικού εισάγονται στη μάζα του σκυροδέματος κλειστές φυσαλίδες ομοιόμορφα κατανομημένες. Οι φυσαλίδες αυτές σε συνδυασμό με τα κενά που δημιουργεί η τήξη των ινών πολυπροπυλενίου (PF) συγκροτούν ένα δίκτυο πόρων (κανάλια). Τα “κανάλια” αυτά διευκολύνουν την εκτόνωση της υψηλής πίεσης που δημιουργείται στο εσωτερικό του σκυροδέματος από την εξάτμιση του νερού των πόρων προφυλάσσοντας έτσι το σκυρόδεμα από την ρηγμάτωση που προκαλεί μείωση της αντοχής ή από την εκρηκτική αποφλοΐωση (explosive spalling) το οποίο παρατηρήθηκε σε δοκίμια των υπόλοιπων αυτοσυμπυκνούμενων μειγμάτων της υψηλότερης θλιπτικής αντοχής (30/37). Η εσωτερική μικροδομή όμως του σκυροδέματος παύει πλέον να είναι τόσο πυκνή, αυξάνεται το πορώδες, με αποτέλεσμα τα μείγματα αυτά να παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές στις μηχανικές τους ιδιότητες κυρίως μετά την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών.

Η επίδραση των 600°C επιφέρει μείωση της θλιπτικής αντοχής των σκυροδεμάτων αυτών, η οποία αν και είναι σημαντική (65% για την κατηγορία 25/30 και 62% για την

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

κατηγορία 30/37), δεν διαφοροποιείται πολύ από την μείωση που παρουσιάζουν τα υπόλοιπα μείγματα της ίδιας κατηγορίας αντοχής.

Σε καμία όμως περίπτωση δεν παρατηρήθηκε το φαινόμενο της εκρηκτικής αποφλοίωσης όπως στα μείγματα κατηγορίας 30/37 LF.

Συνοψίζοντας, αναφέρουμε πως αν και οι εναπομένουσες αντοχές των μειγμάτων με ίνες και αερακτικό εμφανίστηκαν τελικώς μειωμένες αρκετά, αποφεύχθηκε το φαινόμενο της ολοκληρωτικής καταστροφής των δοκιμίων, στοιχείο που αποτελούσε μέρος της αρχικής σχεδίασης του ερευνητικού προγράμματος.

Όσον αφορά τέλος την ταχύτητα υπερήχων, από το γράφημα (6) γίνεται κατανοητό ότι η μείωση στην ταχύτητα των υπερήχων που προκαλεί η επίδραση υψηλών θερμοκρασιών υποδεικνύει τη δημιουργία ρωγμών στη μάζα του σκυροδέματος που οδηγούν στην αύξηση του πορώδους.

Οι παράγοντες που οδηγούν στο παραπάνω αποτέλεσμα είναι:

- ✓ η θερμική διαστολή υλικών με διαφορετικό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας
- ✓ η αποσύνθεση του Ca(OH)_2 (υδράσβεστος) της τσιμεντόπαστας και
- ✓ η ασβεστοποίηση των ασβεστολιθικών αδρανών (Lin, Lin and Powers-Couche, 1996) αλλά και η ύπαρξη αερακτικού και ινών στην σύνθεση του σκυροδέματος.

Ο λόγος $V(T)/V(20)$ μειώνεται σχεδόν γραμμικά τόσο για τα αυτοσυμπυκνούμενα όσο και για τα συμβατικά σκυροδέματα της ίδιας κατηγορίας αντοχής. Τόσο τα SCC όσο και τα NC σκυροδέματα της ίδιας κατηγορίας αντοχής ακολουθούν την ίδια τάση μείωσης στην ταχύτητα υπερήχων μετά την έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες (600°C). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τον Σίδερη όπου τονίζει ότι η έναρξη και η διάδοση των ρωγμών μέσα στη μικροδομή του σκυροδέματος που ευθύνεται για την μεταβολή της ταχύτητας των υπερήχων, εξαρτάται από ποσότητα τσιμέντου και το λόγο w/c .

Την μικρότερη ταχύτητα υπερήχων χωρίς βέβαια μεγάλη διαφορά από τα υπόλοιπα μείγματα, παρουσιάζουν τα μείγματα SCC LF+PF6+air. Αυτό συμβαίνει γιατί όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι μεμονωμένες κλειστές φυσαλίδες που εισάγονται στη μάζα του σκυροδέματος με την προσθήκη του αερακτικού συνδέονται μεταξύ τους με το λιώσιμο των ινών και δημιουργείται έτσι ένα δίκτυο πόρων στο εσωτερικό του σκυροδέματος. Αυτό το δίκτυο πόρων που είναι μεν ευεργετικό για την εκτόνωση της πίεσης των υδρατμών και την αποφυγή της εκρηκτικής αστοχίας, δημιουργεί μια πιο χαλαρή δομή στο εσωτερικό του σκυροδέματος που μεταφράζεται σε χαμηλότερες ταχύτητες υπερήχων. Συγκεκριμένα για τους 600°C για την κατηγορία αντοχής 25/30 η

ταχύτητα των υπερήχων για το SCC LF+PF6+air είναι περίπου το 28% της αρχικής ενώ του SCC LF είναι το 37% της αρχικής. Για την κατηγορία αντοχής 30/37 μετά τους 600°C η ταχύτητα των υπερήχων για το SCC LF+PF6+air είναι περίπου το 30% της αρχικής ενώ του SCC LF είναι το 38% της αρχικής.

Η τήξη των ινών δεν προσφέρει αξιόλογη αύξηση στο συνολικό όγκο των πόρων του σκυροδέματος. Αυτό που επιτυγχάνεται με την τήξη τους, είναι η σύνδεση μεμονωμένων και κλειστών πόρων μεταξύ τους. Δημιουργείται έτσι ένα δίκτυο για την εκτόνωση της πίεσης των πόρων και την αποφυγή του φαινομένου της εκρηκτικής αστοχίας. (Lin, Lin and Powers-Couche, 1996)

A.2.10.4. Οικονομικές Διαφορές. Κόστος και χρόνος ζωής ΑΣΣ και ΣΣ

Τα αυτοσυμπυκνούμενα σκυροδέματα είναι σε κάθε περίπτωση ακριβότερα σε σχέση με τα συμβατικά σκυροδέματα της ίδιας κατηγορίας αντοχής όσον αφορά το αρχικό κόστος ανά κυβικό μέτρο υλικού. Τα στοιχεία που διαφοροποιούν το κόστος των μειγμάτων είναι η επιπλέον ποσότητα χημικών προσμείκτων – υπερρρευστοποιητής και ρυθμιστή του ιξώδους- καθώς και η ποσότητα και το είδος των υλικών πλήρωσης.

Το ποσοστό της αύξησης του κόστους ανά κυβικό δεν είναι σταθερό, αλλά εξαρτάται από τον τύπο του αυτοσυμπυκνούμενου μείγματος (ΑΣΣ κονιάς, ΑΣΣ με ρυθμιστή του ιξώδους ή μεικτός τύπος ΑΣΣ) καθώς και από την κατηγορία αντοχής. Μάλιστα διακρίνεται σαφώς η τάση της μείωσης του επιπλέον κόστους όσο αυξάνει η κατηγορία αντοχής, γεγονός που εξηγείται από την αντίστοιχη αύξηση της δοσολογίας του τσιμέντου και της απαραίτητης ποσότητας υπερρρευστοποιητή και στα συμβατικά μείγματα.

Λαμβάνοντας υπόψη το κόστος χρήσης των αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων εκφρασμένο σε Ευρώ/ έτος ζωής των κατασκευών, παρατηρείται μία σαφής μείωση του ανοιγμένου κόστους συγκριτικά με τα συμβατικά μείγματα αναφοράς. Η αύξηση του χρόνου ζωής λόγω ενανθράκωσης των ΑΣΣ είναι σαφώς μεγαλύτερη από το επιπλέον κόστος παραγωγής των μειγμάτων αυτών, γεγονός που τελικά οδηγεί σε μείωση του κόστους χρήσης των τελευταίων έως και 65%. Το συμπέρασμα αυτό φυσικά δεν μπορεί να γενικευτεί, μιας και εξαρτάται τόσο από την κατηγορία αντοχής όσο και από τον τρόπο παραγωγής του ΑΣΣ (ΑΣΣ κονιάς ή μεικτού τύπου).

Ανάλογη διαφοροποίηση επέρχεται και στην περίπτωση υπολογισμού του κόστους

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

χρήσης ανά έτος με βάση τους χρόνους ζωής των ΑΣΣ λόγω διείσδυσης χλωριόντων. Λόγω της λιγότερο ευνοϊκής επίδρασης των ΑΣΣ στην αύξηση του χρόνου ζωής, τα αποτελέσματα δεν διαφοροποιούνται τόσο έντονα. Και πάλι όμως παρατηρείται μείωση της διαφοράς κόστους χρήσης των ΑΣΣ τύπου κονιάς σε σχέση με τη διαφορά κόστους παραγωγής.

Στην περίπτωση μάλιστα του μείγματος SCC1 30/37 το κόστος χρήσης ανά έτος είναι μικρότερο από το αντίστοιχο του συμβατικού μείγματος αναφοράς.

A.2. 11. Συμπεράσματα στο σύγκρισης

Συνοψίζοντας, τα παραπάνω αποτελέσματα οδηγούν στην διατύπωση της άποψης πως τα μείγματα τις ίδιας κατηγορίας αντοχής, με πυκνότερη εσωτερική δομή πόρων, παρουσιάζουν αυξημένα χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας όπως η ενανθράκωση και η υδατοαπορροφητικότητα.

Παρόλα αυτά όπως αναφέρεται συχνά στη βιβλιογραφία και αποδεικνύεται και στην παρούσα εργασία, μείγματα με αυξημένα χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας, με μειωμένη δηλαδή υδατοαπορροφητικότητα ή επίδρασης της ενανθράκωσης, παρουσιάζουν αυξημένο κίνδυνο για εκρηκτική αποφλοίωση καθώς το μειωμένο πορώδες τους δεν διευκολύνει την εκτόνωση της πίεσης από την εξάτμιση του νερού των πόρων η οποία ασκεί ισχυρές εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα, με αποτέλεσμα πολλές φορές την καταστροφή του.

Η χρήση των ινών και του αερακτικού αποτελεί ένα μέτρο πρόληψης έναντι της εξωτερικής αυτής επίδρασης (πυρκαγιά), μειώνοντας τον κίνδυνο καταστροφής και επομένως κατάρρευσης του στοιχείου, μειώνει όμως την ανθεκτικότητα του μείγματος όταν πρόκειται για μείγματα με χαμηλό w/c.

Στην περίπτωση όμως υψηλού υδατοσιμεντοσυντελεστή σε ΑΣΣ μείγματα εξισορροπείται η ανθεκτικότητα αλλά και προστατεύεται από περιπτώσεις έκθεσης σε υψηλές θερμοκρασίες. Πράγματι κατά τη διάρκεια των πειραμάτων δεν διαπιστώθηκε καμιά εκρηκτική αστοχία στα σκυροδέματα που περιείχαν ίνες και αερακτικό ακόμη και όταν υποβλήθηκαν σε θερμοκρασία 600oC.

Γεγονός όμως παραμένει ότι το ΑΣΣ παραμένει ένα ακριβότερο σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα υλικό, σε ότι αφορά το αρχικό κόστος παραγωγής ανά κυβικό μέτρο. Αυτή η αρχική διαφορά κόστους, η οποία ανάλογα με τις διαθέσιμες πρώτες ύλες και την απαιτούμενη κατηγορία αντοχής μπορεί να κυμανθεί από 5 έως και 25%, αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους ανασταλτικούς παράγοντες που εμποδίζουν την ευρεία χρήση του.

Το ΑΣΣ όμως επιφέρει σαφή βελτίωση της ποιότητας των κατασκευών, με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της ανθεκτικότητας αυτών (Σίδερης, Κυριτσάς and Χανιωτάκης, 2003). Το γεγονός αυτό οδηγεί σε αύξηση του ωφέλιμου χρόνου ζωής των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος που κατασκευάζονται με ΑΣΣ, με αποτέλεσμα την μείωση των απαιτούμενων επισκευών για την επίτευξη του αρχικά ορισμένου χρόνου ζωής του έργου και τελικά περιορίζει το πραγματικό κόστος του ΑΣΣ.

A.2. 12. Παρεμφερή σκυροδέματα και σύγκριση στο με το ΑΣΣ

A.2.12.1 Αυτοσυμπυκνούμενο Κυσιρόδεμα.

Με επιλογή των κατάλληλων αναλογιών σύνθεσης, είναι δυνατή η παραγωγή δομικών αυτοσυμπυκνούμενων ελαφροσκυροδεμάτων, τα οποία δύνανται να αξιολογηθούν ρεολογικά με τις συνήθειες δοκιμές ΑΣΣ.

Σε συνδυασμό με την κατάλληλη προδιαβροχή των αδρανών κίσηρις, είναι δυνατό να παραχθούν ΑΣΚ με ρεολογικά χαρακτηριστικά συγκρίσιμα αυτών των κανονικής πυκνότητας ΑΣΣ, δίχως να είναι απαιτούμενη η θέσπιση διαφορετικών αποδεκτών ευρέων τιμών για τις δοκιμές νωπού ΑΣΚ.

Ο γενικός όρος «ελαφροσκυρόδεμα», ΕΣ (Lightweight Concrete, LWC), στους περισσότερους κανονισμούς, αναφέρεται σε οποιοδήποτε σκυρόδεμα με πυκνότητα μετά από προτυποποιημένη ξήρανση σε κλίβανο (oven-dry density) μικρότερη των 2000 kg/m³ (Owens, 1993) Για την ικανοποίηση απαιτήσεων σε φέρουσα ικανότητα, χρησιμοποιούνται δομικά ελαφροσκυροδέματα με φαινόμενη ξηρή πυκνότητα άνω των 1200 kg/m³ (Newman, 1993). Η συνηθέστερη μέθοδος μείωσης του βάρους του σκυροδέματος είναι η μερική αντικατάσταση των κανονικής πυκνότητας αδρανών, ΚΠΑ (Normal Density Aggregates, NDA), συνήθως του χονδρόκοκκου κλάσματος, με ελαφρά αδρανή, ΕΑ (Lightweight Aggregates, LWA), διατηρώντας στο μείγμα τα κανονικής πυκνότητας λεπτόκοκκα αδρανή.

Το προκύπτον ελαφροσκυρόδεμα ονομάζεται σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή, ΣΕΑ (Lightweight Aggregate Concrete, LWAC). Πλήρης αντικατάσταση των ΚΠΑ με ΕΑ οδηγεί στην παρασκευή ενός ιδιαίτερα ελαφρού σκυροδέματος, του σκυροδέματος αποκλειστικά με ελαφρά αδρανή (All-lightweight aggregate concrete, ALWAC).

Η κίσηρις (pumice) (εικ 16) αποτελεί το κυριότερο και φθηνότερο φυσικό ελαφρό αδρανές στη χώρα μας. Συναντάται στα νησιά της Δωδεκανήσου Γυαλί (από το οποίο εξορύσσεται σε μεγάλες ποσότητες), Νίσυρο, Θήρα και Μήλο και προέρχεται από ένα εξαιρετικά πορώδες ηφαιστειακό πέτρωμα (πυριγενές υαλώδους μορφής). Ως αποτέλεσμα, η κίσηρις χαρακτηρίζεται από χαμηλή φαινόμενη πυκνότητα (300-800 kg/m³) και από υψηλή υδατοαπορροφητικότητα (30%-80% κ.β.).



Εικόνα 16: Κίσηρις

Η χρήση του ελαφροσκυροδέματος είναι ενδεδειγμένη σε περιπτώσεις στις οποίες τα μόνιμα φορτία υπερβαίνουν κατά πολύ τα ωφέλιμα και γενικότερα σε όλες τις περιπτώσεις κατά τις οποίες τα κριτήρια σχεδιασμού θεωρούν απαραίτητη τη χρήση σκυροδέματος με πυκνότητα χαμηλότερη της κανονικής ή/και με μεγάλη ήχο- και θερμομονωτική ικανότητα (καθώς και πυραντοχή).

Σε πολύροφα κτίρια, ιδιαίτερα για οριζόντια ή κατακόρυφα διαφράγματα με μέτριες απαιτήσεις σε φέρουσα ικανότητα, η εξοικονόμηση σε συνολικό βάρος της κατασκευής μπορεί να φανεί αποφασιστικός παράγοντας για το σχεδιασμό των θεμελίων. Επιπλέον, προκατασκευασμένα στοιχεία από ΣΕΑ είναι φθηνότερα στην μεταφορά τους και ευκολότερα στη συναρμογή τους στο εργοτάξιο.

Στην ελληνική πραγματικότητα, ένα τέτοιο υλικό θα μπορούσε να είναι το δομικό αυτοσυμπυκνούμενο κισηρόδεμα (ΑΣΚ).

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

A.2.12.2 Αυτοσυμπυκνούμενο Ελαφροσκυρόδεμα

Η παραγωγή του ΑΣΕΣ περιλαμβάνει μία σειρά από δυσκολίες, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με:

- ✓ τη μελέτη σύνθεσης, η οποία είναι πολυπλοκότερη από τη μελέτη σύνθεσης ενός συμβατικού ΑΣΣ, καθώς χαρακτηρίζεται από μεγάλη ευαισθησία της σύστασης στη μεταβολή των αναλογιών των συστατικών,
- ✓ τη διαδικασία παραγωγής του ΑΣΕΣ, η οποία έχει κυρίως να κάνει με τη διαχείριση των ελαφρών αδρανών (ΕΑ), τα οποία έχουν μικρή αντοχή σε σύνθλιψη, αλλά και μεγάλη υδατοαπορροφητικότητα,
- ✓ το κόστος, καθώς τα ελαφρά αδρανή (κυρίως τα τεχνητά) έχουν μεγαλύτερο κόστος από τα συμβατικά ασβεστολιθικά αδρανή, ενώ συχνά απαιτείται η αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου για την επίτευξη των επιθυμητών αντοχών, με συνεπακόλουθη αύξηση του κόστους και
- ✓ την ενημέρωση της αγοράς, στην οποία υπάρχει περιορισμένη χρήση του ΑΣΕΣ, γεγονός που συνοδεύεται από την έλλειψη έμπειρου εργατικού προσωπικού και υλικοτεχνικών υποδομών.

Οι σημαντικότερες παράμετροι που καθορίζουν τις ιδιότητες αυτού του σκυροδέματος είναι η περιεκτικότητα σε ελαφρά αδρανή και η πυκνότητά τους, η περιεκτικότητα σε τσιμεντοειδή υλικά, ο λόγος νερού προς τσιμεντοειδή υλικά και η περιεκτικότητα σε πρόσθετα και χημικά πρόσμικτα (π.Χ πληρωτικά, ορυκτά πρόσθετα, υπερρευστοποιητές, σταθεροποιητές).

Για την παραγωγή ΑΣΕΣ χρησιμοποιούνται κυρίως τεχνητά ελαφρά αδρανή με συχνότερα χρησιμοποιούμενο αδρανές τη διογκωμένη άργιλο (βλ. εταιρείες Liapor και Leca).

Η πλειονότητα των παραγόμενων μειγμάτων παρουσιάζει ανεμπόδιστη εξάπλωση μεταξύ 650 mm και 750 mm (κατηγορία SF2 κατά EN206), ενώ – λόγω του μειωμένου ιδίου βάρους τους – κατατάσσονται (γενικώς) σε κατηγορίες νωπών ιδιοτήτων (κατά EN206) που αντιστοιχούν σε ΑΣΣ μετρίου ρεοδυναμικότητας.

Το σύννηθες εύρος της ειδικής θλιπτικής αντοχής (δηλ. του λόγου της θλιπτικής αντοχής του ΑΣΕΣ προς την πυκνότητα κλιβάνου του) εκτείνεται από 8 MPa (kg/m³) έως 38 MPa (kg/m³) ενώ η ειδική θλιπτική αντοχή ενός συμβατικού σκυροδέματος κατηγορίας αντοχής C30/37 είναι περίπου ίση με 20 MPa (kg/m³) ,οι λόγοι N/TY (νερού προς τσιμεντοειδή υλικά) κυμαίνονται από 0.21 έως 0.54 και η περιεκτικότητα των TY (συνυπολογίζοντας το βαθμό ενεργότητας των διαφόρων TY) κυμαίνεται από 385 kg/m³

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

έως 775 kg/m³. Αναλόγως τα συστατικά υλικά και τη μελέτη σύνθεσης, δύνανται να παραχθούν ΑΣΕΣ με θλιπτικές αντοχές που κυμαίνονται από 20 MPa έως 60 MPa. Ένα προσεκτικά σχεδιασμένο μείγμα ΑΣΕΣ είναι αντλήσιμο.

A.2.12.3 Ινοπλισμένο Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα

Κρίσιμο σημείο της μελέτης σύνθεσης του ινοπλισμένου ΑΣΣ (συμπεριλαμβανομένης της επιλογής του είδους των ινών και της περιεκτικότητας του μείγματος σε αυτές) είναι η απομείωση των χαρακτηριστικών εργασιμότητας και, επομένως, αυτοσυμπύκνωσης του υλικού, εξαιτίας της αλληλεμπλοκής των ινών κατά τη ροή του σκυροδέματος.

Η αλληλεμπλοκή αυτή μπορεί να είναι τόσο έντονη, ώστε η ροή του ΑΣΣ να είναι ανομοιόμορφη, παρουσιάζοντας κατά τόπους συσσωματώματα ινών/αδρανών. Αυτό μπορεί να αξιολογηθεί οπτικά μέσω της δοκιμής Slump-flow, εάν το εξαπλωμένο δείγμα δεν είναι κυκλικού σχήματος ή εάν παρουσιάζει έντονη ανομοιογένεια στη διασπορά αδρανών και ινών. Όσο υψηλότερος είναι ο λόγος διαστάσεων των ινών, τόσο μικρότερη είναι η μέγιστη δυνατή περιεκτικότητα σε ίνες, ώστε να δύναται το σκυρόδεμα να διατηρεί τα επιθυμητά στοχόσημα αυτοσυμπύκνωσης.

Στην ίδια λογική, για την ίδια ποσότητα ινών επιτυγχάνονται καλύτερα χαρακτηριστικά αυτοσυμπύκνωσης, όταν ο λόγος διαστάσεων των ινών είναι μικρός. Ο προσδιορισμός της μέγιστης δυνατής περιεκτικότητας σε ίνες δεν είναι μονοσήμαντος, αλλά εξαρτάται (εκτός από τα χαρακτηριστικά των ινών) και από τη μελέτη σύνθεσης του εκάστοτε «μητρικού» ΑΣΣ.

Κεφάλαιο Τρίτο: Συμπεριφορά των κατασκευών από ΑΣΣ στον σεισμό.

ΓΕΝΙΚΑ

Ο σεισμός είναι μία ταλάντωση του εδάφους που προέρχεται από την απελευθέρωση ενέργειας εξαιτίας μιας θραύσης που συμβαίνει στην εστία (focus -επίκεντρο). (Κανελλόπουλος, 2007)

Γίνεται αντιληπτός στην επιφάνειά της γης καθώς μέρος της ενέργειας μεταφέρεται εκεί με τα σεισμικά κύματα. Τα κύματα διαδίδονται διαμέσου του εδάφους, το οποίο με τη σειρά του διεγείρει την κατασκευή που είναι θεμελιωμένη σ' αυτό και την ωθεί να εκτελέσει μια εξαναγκασμένη ταλάντωση. Η μετακίνηση δυναμικής υφής, που υφίσταται το κτίριο κατά το σεισμό είναι μεταβαλλόμενη με το χρόνο και μάλιστα με εναλλασσόμενη φορά. Αναλυτικότερα, κατά τη διάρκεια ενός σεισμού τα επιφανειακά κύματα προκαλούν κίνηση στο έδαφος και τη θεμελίωση της κατασκευής με εναλλασσόμενο πρόσημο, γύρω από μια αρχική θέση ηρεμίας. Κατά τη διάρκεια δηλαδή του σεισμού, το έδαφος κραδαίνεται και το κτήριο ανταποκρίνεται δονούμενο οριζόντια εμπρός και πίσω, δεξιά και αριστερά και επίσης πάνω –κάτω. Και ενώ το έδαφος σειείται με σφοδρότητα παρασύροντας και τα θεμέλια του κτίσματος, η υπερκατασκευή του κτιρίου τείνει να μείνει ακίνητη κατ' αρχάς αλλά μόλις αρχίσει να κινείται λόγω του σεισμού τείνει να κινείται προς την ίδια κατεύθυνση ενώ ο σεισμός μπορεί να αλλάξει κατεύθυνση και το έδαφος να αρχίσει να κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Έτσι και το κτίριο ωθείται μπρος και πίσω από την κίνηση του εδάφους με την υπερκατασκευή του να καθυστερεί σε σχέση με την κίνηση των θεμελίων και μετά κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση και ταυτόχρονα πάνω-κάτω (ΕΛΙΝΥΑΕ, 2008)

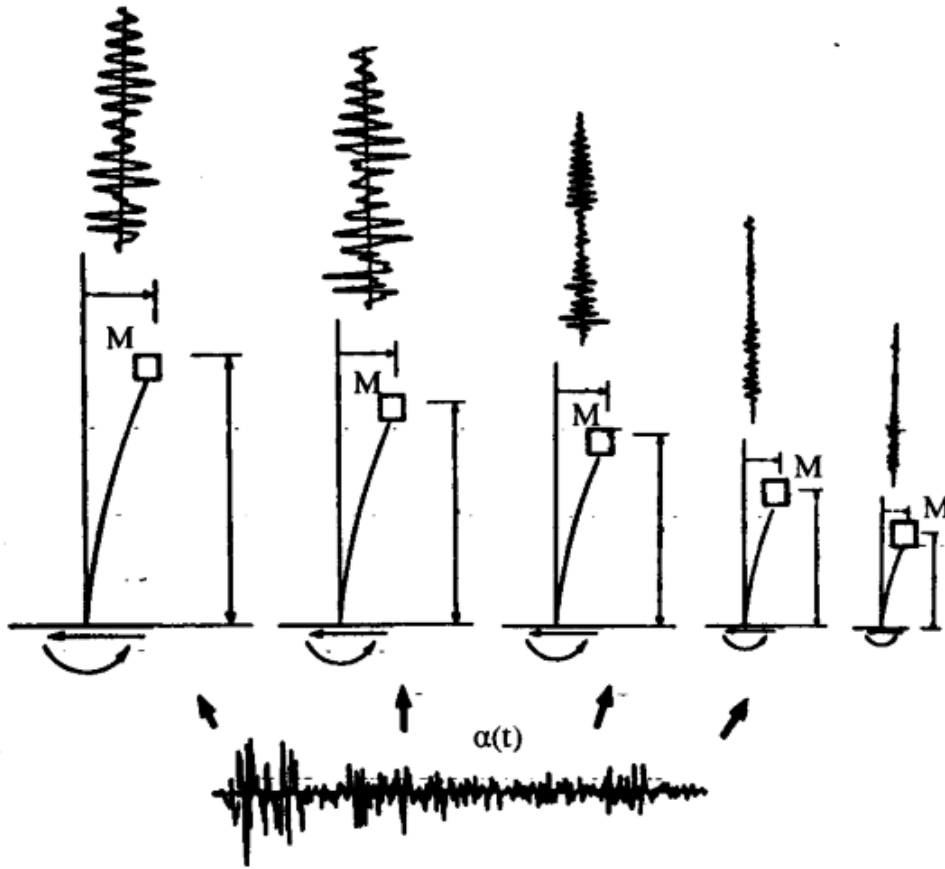
Η καταπόνηση των μελών δεν είναι σταθερή, μεταβάλλεται χρονικά και μάλιστα επηρεάζεται από την ίδια τη συμπεριφορά του φορέα(κτίσματος). Βασικά οι σεισμικές δυνάμεις προκύπτουν επειδή ο φορέας φέρνει αντίσταση στο να παρακολουθήσουν οι μάζες του την κίνηση που μεταδίδεται σ' αυτόν, μέσω της σύνδεσής θεμελιώσής του στο ταλαντούμενο έδαφος. Το πρόβλημα λοιπόν της αλληλεπίδρασης του σεισμού με τις κατασκευές είναι ένα δυναμικό πρόβλημα

Για μια συγκεκριμένη εδαφική σεισμική κίνηση, σε ένα ελαστικό φάσμα απόκρισης⁵, αποτυπώνεται η εξάρτηση της μέγιστης ταχύτητας ή μετακίνησης ή

⁵ Το φάσμα απόκρισης εξαρτάται τόσο από το μέγεθος της εδαφικής κίνησης, όσο και από το περιεχόμενο

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

επιτάχυνσης που αναπτύσσει η μάζα ενός ελαστικού μονοβάθμιου ταλαντωτή με δεδομένη απόσβεση (π.χ. 5%)⁶ από την ιδιοπερίοδο του⁷, δηλ. μία ιδιότητα που εξαρτάται από τη μάζα και τη δυσκαμψία του.



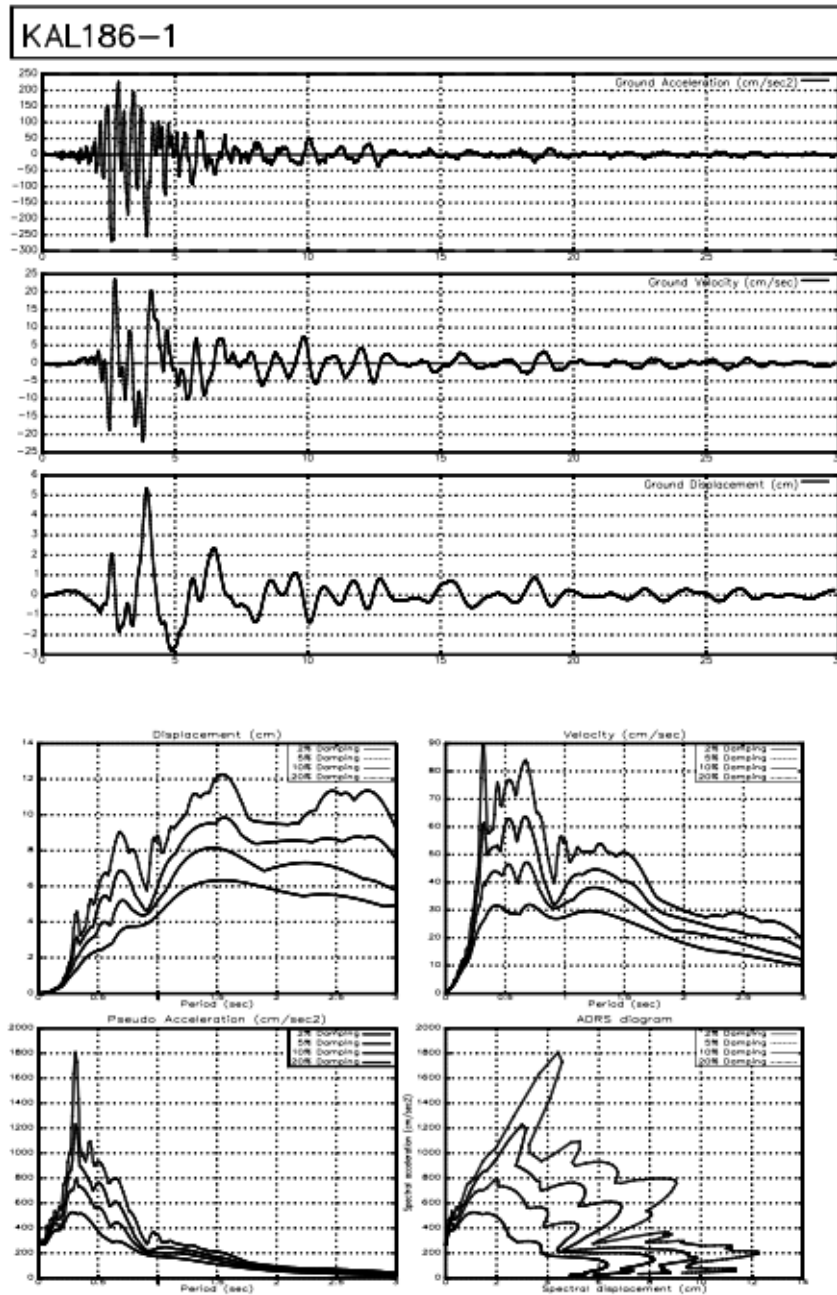
Σχεδιάγραμμα 1 : Σειρά μονοβάθμιων ταλαντωτών που εγείρονται από μία σεισμική εδαφική κίνηση

Βάσει κανονισμών, τα ελαστικά φάσματα που εφαρμόζονται κατά το σχεδιασμό των κατασκευών, έχουν προκύψει ως περιβάλλουσες των μέγιστων τιμών των επιταχύνσεων (ή ταχυτήτων ή μετακινήσεων) μέσω χρονοολοκλήρωσης πραγματικών καταγραφών από σεισμούς (επιταχυνσιογραφήματων) (Κανελλόπουλος, 2007)

περιόδων του επιταχυνσιογραφήματος από το οποίο παράγεται, χαρακτηριστικά που σε γενικές γραμμές καθορίζονται από το μέγεθος του σεισμού, την απόσταση από το επίκεντρο και κυρίως από τη στρωματογραφία και τις ιδιότητες των ανώτερων εδαφικών στρώσεων (Κανελλόπουλος, 2007)

⁶ Η απόσβεση μπορεί να εκτιμηθεί μόνο εμπειρικά και για τα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα λαμβάνεται ίση με 5%

⁷ Η ιδιοπερίοδος των κτιρίων καθορίζεται από το είδος του υλικού, τη γεωμετρία του, και τις διαστάσεις του



Σχεδιάγραμμα 2: Λεπτομέρειες σπλισμού για τα δείγματα που δοκιμάστηκαν
(διαστάσεις στο mm)

Η αντισεισμική κρισιμότητα δεν είναι ίδια για όλα τα στοιχεία του σκελετού. για παράδειγμα, σε ένα σεισμό, η κρισιμότητα της αντοχής ενός υποστυλώματος είναι πολύ μεγαλύτερη από την κρισιμότητα της αντοχής μίας δοκού. αυτό γιατί η αστοχία μιας κολόνας μπορεί να συμπαρασύρει και τα εξαρτημένα γειτονικά στοιχεία, όπως δοκούς και πλάκες. στη συνέχεια μπορεί να συμπαρασυρθούν αλυσιδωτά και άλλα υποστυλώματα, με αποτέλεσμα την κατάρρευση, ή μεγάλης έκτασης αστοχίες. αντίθετα,

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

η αστοχία μιας δοκού, συνήθως δημιουργεί τοπικής έκτασης βλάβες, που σε περίπτωση πολύ ισχυρού σεισμού μπορεί να είναι ακόμα και ευνοϊκές για τη συνολική ευστάθεια του κτιρίου. αυτός είναι και ο λόγος που οι κολόνες των κτιρίων σε σεισμικές περιοχές έχουν ισχυρές διατομές, πολύ περισσότερο από τις διατομές κολονών κτιρίων σε χώρες που δεν έχουν σεισμούς. για τη μεγαλύτερη αντισεισμική αντοχή ενός κτιρίου θα έπρεπε να χρησιμοποιούνε μεγάλων διαστάσεων (ογκώδη) υποστυλώματα, τα οποία όμως δημιουργούν προβλήματα στους εσωτερικούς χώρους. για το λόγο αυτό αντί για μεγάλες κολόνες διατάσσονται τοιχία και προς τις δύο διευθύνσεις του κτιρίου, τα οποία εκτός από τη συνεισφορά σε θλιπτική αντοχή, αυξάνουν και την ακαμψία του κτιρίου, δηλαδή μειώνουν τις μετακινήσεις του και κατά συνέπεια και τις παραμορφώσεις του στη διάρκεια ενός σεισμού. Σε αντισεισμικά κτίρια επιβάλλεται η χρήση δοκών, στις οποίες πατούν οι πλάκες. στην περίπτωση που για αρχιτεκτονικούς ή άλλους λόγους δεν πρέπει να υπάρχουν κρεμάσεις των δοκών κάτω από τις πλάκες, αυτές (οι πλάκες) πρέπει να έχουν μεγάλο πάχος, ώστε η λειτουργία των δοκών να εξασφαλίζεται από ζώνες που θα είναι ενσωματωμένες στο πάχος της πλάκας, με τη μορφή κρυφοδοκών. σκόπιμο είναι οι κολόνες σε ένα πολυώροφο κτίριο να μη διακόπτονται σε κάποιον όροφο, αλλά μια κολόνα που ξεκινά από το έδαφος (θεμελίωση), να καταλήγει στον ανώτερο όροφο. όταν μία κολόνα σταματά σε ενδιάμεσο όροφο και δεν καταλήγει στο έδαφος, λέγεται φυτευτή. συνήθως μια τέτοια κολόνα στηρίζεται επάνω σε δοκό, αφού, έτσι κι αλλιώς ο κανονισμός απαγορεύει τη στήριξη της σε πλάκα. σε κάθε περίπτωση όμως, πρέπει για την καλύτερη αντισεισμικότητα του κτιρίου, να αποφεύγονται οι φυτευτές κολόνες. Σε ότι αφορά τις δοκούς και τα πέλματα θεμελίωσης, είναι προφανές ότι τυχόν αστοχία τους θα παρασύρει ακαριαία τα υποστυλώματα, που στη συνέχεια θα παρασύρουν τις δοκούς και αυτές τις πλάκες. όλα αυτά μάλιστα θα συμβούν σε όλους τους ορόφους, δηλαδή θα έχουμε συνολική αστοχία. η κατασκευή υπογείου και η χρησιμοποίηση τοιχωμάτων στην περίμετρο του βοηθά πολύ στην αντισεισμικότητα του κτιρίου. η χρησιμοποίηση συνεχών πελμάτων ή/και η χρήση δοκών θεμελίωσης, βοηθούν στην ομαλή έδραση του κτιρίου στο έδαφος και στον περιορισμό των διαφορικών καθιζήσεων που, όταν συμβαίνουν, δημιουργούν ρηγματώσεις και στην ανωδομή.

A. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Για να γίνει η αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων κατασκευών έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι, τόσο ελαστικές όσο και ανελαστικές, ανάλογα με την περίοδο σχεδιασμού τους και βάσει των χαρακτηριστικών τους τα οποία απορρέουν από τον εκάστοτε κανονισμό.

Για να γίνει η αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς ενός κτιρίου, εφαρμόζονται μέθοδοι υπολογισμού της μετελαστικής συμπεριφοράς του. Οι μέθοδοι αυτές έχουν έως τώρα εφαρμοστεί για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενων κατασκευών και τον έλεγχο των παραδοχών που έγιναν κατά τον σχεδιασμό τους.

Οι μέθοδοι αποτίμησης της σεισμικής συμπεριφοράς διακρίνονται σε στατικές και δυναμικές ανάλογα με τον τρόπο επιβολής της διέγερσης. Στην Προσαυξητική Στατική Ανάλυση (ΠΣΑ) (static pushover) το αποτέλεσμα της σεισμικής δράσης προσομοιώνεται με στατικά επιβαλλόμενες μετατοπίσεις ή στατικά φορτία σταδιακά αυξανόμενα έως την κατάρρευση, ενώ στην Προσαυξητική Δυναμική Ανάλυση (ΠΔΑ) (incremental dynamic analysis) επιβάλλονται σεισμικές δράσεις η ένταση των οποίων αυξάνεται σταδιακά μέχρι την κατάρρευση.

Επειδή ο σχεδιασμός με σεισμικά φορτία και δυναμική μη γραμμική ανάλυση της κατασκευής με σεισμικά φορτία είναι πολύπλοκος και απαιτεί υπερβολικό υπολογιστικό χρόνο ακόμα και για τις συνήθεις κατασκευές, οι αντισεισμικοί κανονισμοί, μεταξύ των οποίων και ο ΕΑΚ, επιτρέπουν τον σχεδιασμό των κατασκευών με «ισοδύναμες» ελαστικές αναλύσεις. Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί προσεγγιστικές μέθοδοι αποτίμησης ελέγχου της σεισμικής συμπεριφοράς των κτιρίων. Η μέθοδος της σεισμικής αποτίμησης και σχεδιασμού με επιβολή μετατοπίσεων και η μέθοδος της φασματικής ικανότητας με επιβολή δυνάμεων είναι δύο προσεγγιστικές μέθοδοι με ευρεία αποδοχή, οι οποίες βασίζονται στην προσαυξητική στατική ανάλυση.

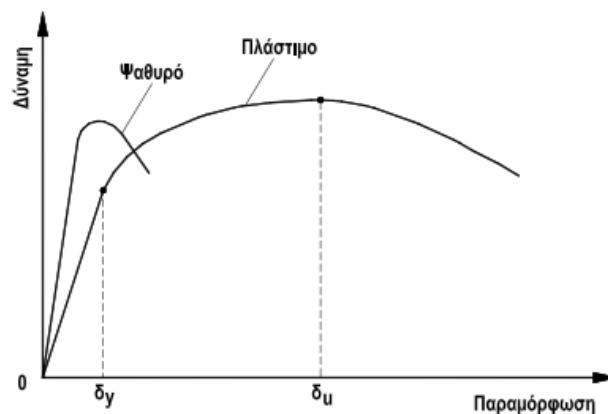
Για τη σεισμική συμπεριφορά ενός δομήματος όλα τα φέροντα στοιχεία του είναι κρίσιμα, έτσι όταν το πρώτο στοιχείο υπερβεί δεδομένη στάθμη επιτελεστικότητας η κατασκευή θεωρείται ότι υπερέβη συνολικά τη στάθμη επιτελεστικότητας. Ωστόσο, είναι δυνατόν κάποια στοιχεία να εμφανίζουν νωρίτερα σοβαρές βλάβες, αλλά η συνολική φέρουσα ικανότητα της κατασκευής να μην επηρεάζεται. Ο συνδυασμός της στάθμης επιτελεστικότητας και της πιθανότητας υπέρβασης της σεισμικής δράσης λοιπόν ορίζει το στόχο της σεισμικής συμπεριφοράς. Γενικά επιδιώκεται να δίνεται πλαστιμότητα σε

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

όλα τα δομικά στοιχεία και στους κόμβους έτσι ώστε αυτά να συνεχίσουν να παραμορφώνονται και μετά την εξάντληση της αντοχής τους, χωρίς να σπάνε (πέραν του ορίου διαρροής).

A.1 : Πλαστιμότητα ,ιδιότητες και πλαστιμότητα υλικών

Για μέλη και κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, πλαστιμότητα (ολκιμότητα) είναι η ικανότητα τους να παραμορφώνονται πέραν του ορίου διαρροής, δηλαδή μεγάλες σχετικά παραμορφώσεις, χωρίς σημαντική μείωση της αντοχής τους. Η πλαστιμότητα δηλαδή είναι η ιδιότητα ενός υλικού με την οποία δύναται να διατηρεί σημαντική ελαστική παραμόρφωση πριν την αστοχία. Ένα υλικό είναι πλάστιμο εάν μπορεί να αντέξει μεγάλες παραμορφώσεις κατά τη φόρτισή του (π.χ. λάστιχο). Ένα ψαθυρό υλικό (π.χ. κιμωλία) ή μια ψαθυρή κατασκευή αστοχούν απότομα (δηλαδή χωρίς προειδοποίηση της επικείμενης αστοχίας) μόλις αναλάβουν το μέγιστο φορτίο τους. Επομένως υπάρχει αυξημένος κίνδυνος απώλειας ζωής κατά την κατάρρευση ψαθυρών κατασκευών. Πλάστιμα γενικά θεωρούνται τα μέλη που διαρρέουν σε κάμψη πριν να διαρρέυσουν σε διάτμηση. Αντίθετα ψαθυρά θεωρούνται τα μέλη που διαρρέουν πρώτα σε διάτμηση. Τυπικά διαγράμματα δύναμης – παραμόρφωσης μελών με πλάστιμη ή ψαθυρή συμπεριφορά δίνονται στο κατωτέρω διάγραμμα 1. (Γιαννόπουλος, 2003)



Διάγραμμα 1: Τυπικά διαγράμματα δύναμης-παραμόρφωσης μελών με πλαστική ή ψαθυρή συμπεριφορά

A. 1.1 : Πλαστιμότητα και συμπεριφορά στο σεισμό

Η πλαστιμότητα είναι για το σκυρόδεμα μια άκρως επιθυμητή κατασκευαστική ιδιότητα μιας και επιτρέπει την απορρόφηση της κινητικής ενέργειας σε περίπτωση σεισμού ή ακόμα απορρόφηση ενεργειών παραγόμενες από δυναμικές πιέσεις ή εκρήξεις. Επίσης, η παραμόρφωση που δημιουργείτε μετά από τέτοιες επιδράσεις στο υλικό,

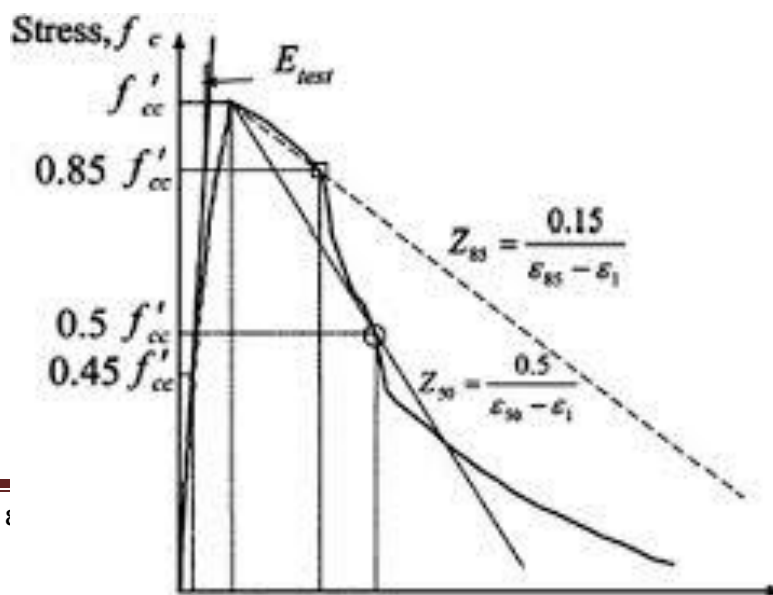
Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

προειδοποιούν για την πιθανή κατασκευαστική αστοχία του όποιου μέλους του φέροντος οργανισμού, κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα κάθε τύπου.

Στον αντισεισμικό σχεδιασμό μελών από οπλισμένο σκυρόδεμα, είναι αναγκαίο να στοχεύουμε μία υψηλή τιμή πλαστιμότητας. Το ΑΣΣ αναμένετε να έχει καλύτερη πλαστιμότητα από ένα μείγμα ΣΣ λόγω της καλύτερης κατανομής σωματιδίων, λιγότερων κενών και γενικότερα μιας πυκνότερης δομής. Έτσι, μέλη κατασκευασμένα με ΑΣΣ αναμένονται να έχουν παρόμοια ή καλύτερη σεισμική συμπεριφορά από αυτά που είναι κατασκευασμένα με ΣΣ.

Ο Δρ. Lin (Lin et al., 2008) για να ερευνήσει τις διαφορές αλλά και τις ομοιότητες διαφόρων χαρακτηριστικών του ΑΣΣ με αυτές του ΣΣ καθώς και τη συμπεριφορά τους σε σχέση με την αντοχή, την ακαμψία, τη θλίψη αλλά και την πλαστιμότητα και τη σεισμική συμπεριφορά, χρησιμοποίησε δύο σειρές δειγμάτων στήλης Η πρώτη σειρά περιείχε 16 στήλες με κανονικό σκυρόδεμα (ΣΣ), και η δεύτερη 16 στήλες με ΑΣΣ. Τα μείγματα ΑΣΣ και ΣΣ με τα οποία κατασκευάστηκαν τα δοκίμια, είχαν παρόμοια ποσότητα αδρανών αλλά το ΑΣΣ περιείχε λιγότερο νερό και περισσότερα πρόσθετα υλικά από το ΣΣ. Οι μεταβλητές που συμπεριέλαβε στην δοκιμή ήταν η αντοχή του σκυροδέματος, το ποσό του δια μήκους οπλισμού, η ογκομετρική αναλογία του εγκάρσιου οπλισμού, τη δύναμη του εγκάρσιου οπλισμού, και η διάταξη του εγκάρσιου οπλισμού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι στήλες από ΑΣΣ έχουν καλύτερη δομική απόδοση εφ' όσον το σκυρόδεμα είναι σε σωστές αναλογίες. Η ολκιμότητα των στηλών με ΑΣΣ είναι καλύτερη και η ακαμψία υψηλότερη από αυτές με ΣΣ. Η Μηχανική συμπεριφορά του ΑΣΣ σε αυτή τη μελέτη ήταν καλύτερη από ό, τι άλλες, λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας του χονδροειδούς συνόλου που χρησιμοποιείται.

Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν πως το φθίνον εύρος τιμών της καμπύλης τάσης – έντασης των στηλών από ΑΣΣ παρουσιάζει καλύτερη πλαστικότητα από αυτές



Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

κατασκευασμένες με ΣΣ. Επίσης, το φορτίο μειώνονταν πιο ομαλά στο ΑΣΣ απ' ότι στο ΣΣ μετά το κρίσιμο φορτίο. Ο Lin χρησιμοποίησε 2 μεθόδους για να συγκρίνει και να παρουσιάσει την πλαστικότητα. Πρώτον, σύγκρινε την μέση τιμή Z_{50} για να αντικατοπτρίσει την κλίση του φθίνοντος μέλους της καμπύλης τάσης- έντασης.

Άρα, η μικρότερη τιμή του Z_{50} δείχνει καλύτερη πλαστικότητα σκυροδέματος, τα περισσότερα δείγματα ΑΣΣ είχαν μικρότερη τιμή Z_{50} από όμοια δείγματα ΣΣ το οποίο υποδεικνύει ότι πλαστικότητα του ΑΣΣ είναι καλύτερη από το ΣΣ. Η μέση διαφορά του Z_{50} , ΑΣΣ με Z_{50} , ΣΣ ήταν 0.782 (Πίνακας 5.1)

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

VC specimen no.	E_{test}	$\sqrt{f_c}$	$Z_{50\%VC}$	SCC specimen no.	E_{test}	$\sqrt{f_c}$	$Z_{50\%SCC}$
N1	3127.96	-	-	S1	3807.16	-	-
N2	3248.43	-	-	S2	3842.75	-	-
N3	3490.96	-	-	S3	4165.59	-	-
N4	4105.21	37.913	37.913	S4	4357.64	31.965	31.965
N5	2528.99	50.186	50.186	S5	4430.57	33.661	33.661
N6	3115.55	36.93	36.93	S6	3747.53	23.111	23.111
N7	3722.13	49.761	49.761	S7	4237.15	35.293	35.293
N8	3240.05	48.648	48.648	S8	4340.94	41.799	41.799
N9	3483.77	33.447	33.447	S9	3740.52	24.341	24.341
N10	2217.99	48.814	48.814	S10	4024.46	38.992	38.992
N11	3599.74	47.165	47.165	S11	3941.92	55.748	55.748
N12	4378.17	20.813	20.813	S12	3317.94	17.655	17.655
N13	3275.4	11.145	11.145	S13	2101.71	10.239	10.239
N14	3054.06	22.08	22.08	S14	4695.49	19.923	19.923
N15	3476.01	50.505	50.505	S15	4199.72	35.135	35.135
N16	3673.63	49.13	49.13	S16	3419.89	33.775	33.775

Πίνακας 18: Μοντέλα ελαστικότητας και πλαστικότητας

Η δεύτερη μέθοδος που ακολούθησε ήταν να υπολογίσει μια τιμή πλαστικότητας μ ή οποία ορίζεται ως Au / Ap , όπου Au είναι η περιοχή κάτω από την καμπύλη τάσης έντασης πριν η τάση πέσει στο 50% της μέγιστης και Ap η περιοχή κάτω από την καμπύλη μέχρι την μέγιστη τάση. Έτσι, η μεγαλύτερη τιμή του μ σημαίνει καλύτερη πλαστικότητα. Τα δοκίμια από ΑΣΣ είχαν μεγαλύτερη τιμή μ από αυτά με ΣΣ το οποίο αποδεικνύει ξανά την καλύτερη πλαστικότητα του ΑΣΣ.

Ο Restrepo και οι συνάδελφοι του (Restrepo et al., 2006) αξιολόγησαν την συμπεριφορά στηλών με υψηλής αντοχής χάλυβα οπλισμού στο σεισμό. Στις δοκιμές χρησιμοποιήθηκε ΑΣΣ με θλιπτική αντοχή της τάξεως των 55 MPa. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η χρήση ΑΣΣ ως υλικό κατασκευής των δοκιμίων σε σχέση με το ΣΣ δεν φάνηκε να διαφέρει σημαντικά στις αστοχίες των μηχανικών ιδιοτήτων, όπως την αρχική καλυπτόμενη θρυμματίση, την συνοχή των δεσμών κλπ.

Ο Huang (Huang, 2006) μελέτησε την αντισεισμική αντοχή πλαισίων ΑΣΣ και ΣΣ υπό ελαφρώς κυλιόμενα φορτία (πιν.19). Η έρευνα του συγκεντρώθηκε στο πως τα υλικά χαρακτηριστικά και οι κατασκευαστικές ιδιότητες του ΑΣΣ επηρεάζουν την

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

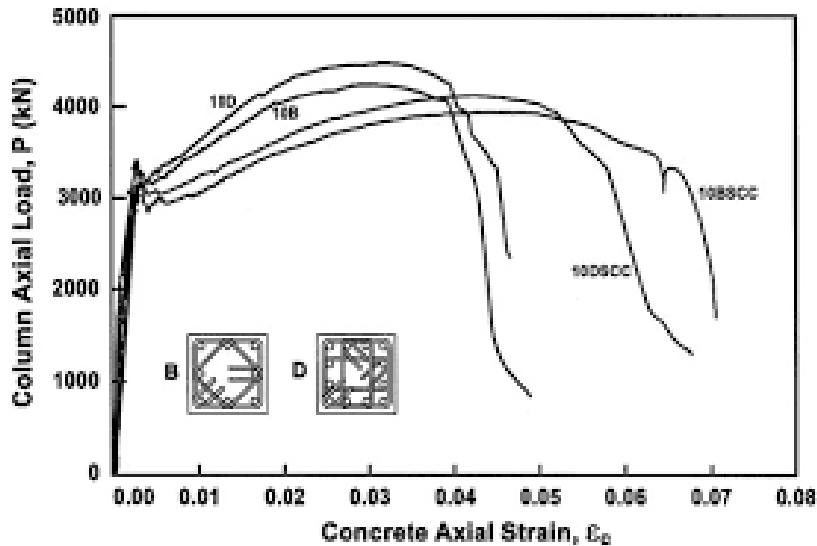
συμπεριφορά του πλαισίου.

Στο πείραμα του Huang, οι θλιπτικές αντοχές των δοκιμίων ΑΣΣ και ΣΣ ήταν 45,1 MPa και 54,7 MPa αντίστοιχα. Το μείγμα του ΑΣΣ είχε περισσότερα πρόσθετα υλικά και λιγότερα ορυκτά αδρανή από το μείγμα ΣΣ. Ο Huang διαπίστωσε πως η συμπεριφορά και τα σημεία αστοχίας των δοκιμίων με ΑΣΣ δεν απείχαν πολύ από αυτά κατασκευασμένα με ΣΣ. Οι παρατηρούμενες μικρές διαφορές στην περιοχή αστοχίας ήταν λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας του ΑΣΣ δίνοντας μεγαλύτερη αντοχή στις ρηγματώσεις άσχετα με την μικρότερη τιμή θλιπτικής αντοχής την οποία είχε. Αυτό υποδεικνύεται από την εμφάνιση ρηγματώσεων και παραμορφώσεων σε μεγαλύτερες πιέσεις από αυτές που δέχτηκαν τα μέλη από ΣΣ. (πίνακας 19.)

frame type	Cracking load P_{cr} (kN)	Cracking displ. Δ_c (mm)	Yield load P_y (kN)	Yield displ. Δ_y (mm)	Peak load P_{max} (kN)	Peak displ. Δ_{max} (mm)	Failure load P_f (kN)	Failure displ. Δ_f (mm)
SCC	63.11	2.2	162.75	12.062	208.47	25.6	177.2	56.6
VC	48.61	1.3	177.27	8.931	210.7	30.4	193.7	53.6

Πίνακας 19: Αντοχή πλαισίων ΑΣΣ και ΣΣ υπό ελαφρώς κυλιόμενα φορτία

Ο Khayat (Khayat, Paultre and Tremblay, 2001) (μαζί με άλλους ερευνητές) έλεγξε την πλαστικότητα στηλών από ΑΣΣ και ΣΣ υπολογίζοντας την αναλογία της αξονικής έντασης όταν η τάση φτάνει στο $0.5 f_c'$ (ϵ_{c50}) προς την ένταση που είναι ανάλογη με το μέγιστο αξονικό φορτίο φερόμενο από το σκυρόδεμα ϵ_{c2} . Τα μείγματα ΑΣΣ και ΣΣ είχαν όμοιες θλιπτικές αντοχές. Το ΑΣΣ περιείχε λιγότερα αδρανή και χαμηλότερο λόγο N/Ta και είχε περισσότερα πρόσθετα όπως ρυθμιστές ιξώδους. Το αποτέλεσμα του λόγου $\epsilon_{c50} / \epsilon_{c2}$ απέδειξε πως οι στήλες από ΑΣΣ είχαν καλύτερη πλαστικότητα από αυτές με ΣΣ (62% και 33% μεγαλύτερη πλαστικότητα για 10B ΑΣΣ ενάντια σε 10B ΣΣ και 10D ΑΣΣ ενάντια σε 10D ΣΣ, αντίστοιχα.) σε όμοιο οπλισμό.



Διάγραμμα 3: Σύγκριση του αξονικού φορτίου που δέχτηκε το σκυρόδεμα σε σχέση με την αξονική τάση για τις κολώνες ΣΣ και ΑΣΣ. Το νούμερο 10 συνεπάγεται με σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 40 MPa.

Ο Khayat απέδωσε την υψηλότερη πλαστικότητα του ΑΣΣ στην χαμηλότερη ελαστική τιμή του ΑΣΣ (30,3 GPa σε σύγκριση με το 37,00 GPa του ΣΣ), το οποία οφείλονταν κυρίως στην χαμηλότερη ποσότητα των αδρανών στο μείγμα του ΑΣΣ.

Οι Galano & Cignoli τέλος, (GALANO and VIGNOLI, 2008) δοκίμασαν 60 έκκεντρα φορτωμένες λεπτές στήλες κατασκευασμένες από ΑΣΣ και ΣΣ χρησιμοποιώντας διάφορες τιμές θλιπτικών αντοχών. Οι δόκιμες στήλες ήταν 100 x 100 mm σε τομή και 2000mm σε μήκος. Τα μείγματα ΑΣΣ και ΣΣ είχαν συγκρινόμενη θλιπτική αντοχή 28 ημερών και όμοιο λόγο N/T σε κανονικής και υψηλής αντοχής στήλες. Το μείγμα ΑΣΣ στις κανονικής αντοχής στήλες είχε τέφρα και λιγότερα αδρανή σε σύγκριση με τα μείγματα ΣΣ σε όμοιες κολώνες. Από την άλλη, στις στήλες υψηλών αντοχών είχαν μικρές διαφορές στα παραπάνω υλικά. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η πλαστικότητα λεπτότερων στηλών από ΑΣΣ ήταν μεγαλύτερη από αυτές με ΣΣ για αυτές με κανονική αντοχή αλλά δεν παρουσιάστηκε καμία σημαντική διαφορά μεταξύ των στηλών υψηλής αντοχής.

B. ΕΡΕΥΝΕΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕ ΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Χάρη στις ειδικές μηχανικές του ιδιότητες (στερεή και υγρή μορφή), το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (ΑΣΣ), όπως ήδη έχει αναφερθεί, θεωρείται ως μία από τις πιο σημαντικές προόδους στην τεχνολογία σκυροδέματος μετά την έλευση του, πριν από δύο δεκαετίες.

Έχει μια μοναδική ικανότητα να ρέει σε ένα ενιαίο επίπεδο μόνο υπό την επίδραση της βαρύτητας με την ικανότητα να συμπιεστεί μέσω το ιδίου βάρους του χωρίς καμία εξωτερική ή εσωτερική δόνηση. Με βάση τις εξαιρετικές ρεολογικές του ιδιότητες, το ΑΣΣ είναι σε θέση να εφαρμοστεί σε πολύπλοκα καλούπια, ακόμη και σε πολύ πυκνά μέλη του φέροντα οργανισμού. Ως εκ τούτου, το ενδιαφέρον για τη χρήση του ΑΣΣ σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα έχει αυξηθεί πολλαπλά τα τελευταία χρόνια.

Η διασταύρωση των δοκών με τα υποστυλώματα αντιπροσωπεύει ένα από τα πιο συμφερόμενα τμήματα του φέροντος οργανισμού. Η τοποθέτηση και η εδραίωση σκυροδέματος σε τέτοιες περιοχές συχνά δημιουργεί δυσκολίες οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την ατελή συμπίεση ή/και τον διαχωρισμό του σκυροδέματος. Αυτό συνεπάγει και άλλες παρενέργειες όπως μειωμένες ιδιότητες των δεσμών οι οποίες αργότερα συνδέονται με την παροχή παχύτερων υποστυλωμάτων από αυτές που απαιτούνται από τις προδιαγραφές των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Λαμβάνοντας υπόψη τα πλεονεκτήματα του ΑΣΣ (μείωση θορύβου, μείωση εργατικού προσωπικού, υψηλότερη ποιότητα υλικών και καλύτερη τελική επιφάνεια) έναντι του κοινά δονούμενου σκυροδέματος, αν η σεισμική συμπεριφορά δεν αλλοιώνεται, τότε η εφαρμογή του ΑΣΣ στους δεσμούς υποστυλωμάτων δοκών (ΔΥΔ) δύναται να είναι ευεργετική.

Η υπάρχουσα βιβλιογραφία όπως προαναφέραμε παρουσιάζει εκτενείς τρόπους έρευνας στις νωπές και μηχανικές ιδιότητες (θλιπτική αντοχή, αντίσταση στον διαχωρισμό και καμπτικές αντοχές καθώς και το μέτρο ελαστικότητας, συρρίκνωσης και ισχύος της αντοχής του δεσμού) του ΑΣΣ, περιλαμβάνοντας την σύγκριση του με αυτές του ΣΣ. (Domone, 2006)

Επιπροσθέτως, ερευνητές έχουν εργαστεί την δομική συμπεριφορά σε μέλη οπλισμένου σκυροδέματος από ΑΣΣ υπό μονότονα φορτία (Hassan, Hossain and Lachemi, 2008) (Sonebi, Tamimi and Bartos, 2003)

Παρ' όλα αυτά και σύμφωνα πάντα με την διεθνή βιβλιογραφία, μόνο λίγοι

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ερευνητές έχουν εξετάσει την σεισμική συμπεριφορά του οπλισμένου σκυροδέματος στους δεσμούς υποστυλωμάτων δοκών από ΑΣΣ . (Said and Nehdi, 2007)

Ο Person (Person, 2001) έκανε μια συγκριτική έρευνα μεταξύ του ΑΣΣ και του ΣΣ για να καταλήξει στο ότι, και οι δύο τύποι σκυροδέματος συμπεριφέρονται όμοια σε τιμές όπως το μέτρο ελαστικότητας, ερπυσμού και της συρρίκνωσης. Το σημαντικό λιγότερο ποσοστό σε αδρανή στο ΑΣΣ μπορεί, ωστόσο, να αποτελέσει σε μικρότερη συνεισφορά στην αντίσταση της διάτμησης του παράγεται από την διασύνδεση των αδρανών.

Η έρευνα που έγινε από τους Schiessl A. και Zilch K. (SCHIESSL and ZILCH, 2001) επιβεβαιώνει αυτήν την συμπεριφορά διάμεσο μονοτονικών πειραμάτων. Χρησιμοποιώντας την μέτρηση της τραχύτητας, ανακάλυψαν πως οι επιφάνειες των ρωγμών στο ΑΣΣ ήταν πιο λείες από αυτές του ΣΣ και αυτό σε παρόμοια τάση κατά μήκος της ρωγμής, τα δοκίμια από ΑΣΣ παρουσίασαν χαμηλότερη αντίσταση στην διάτμηση. Ακόμα έρευνες στην αντοχή σε διάτμηση του σκυροδέματος υψηλών αντοχών απέδωσαν παρόμοια αποτελέσματα. Η βελτίωση στην αντοχή του σκυροδέματος επιτεύχθηκε διάμεσο της ενίσχυσης της διαμεσολαβητικής ζώνης μεταξύ αγραδών και πάστας του τσιμέντου. Έτσι, οι μικρο-ρωγμές τείνουν να περνούν μέσα από τα αδρανή και όχι γύρω τους, και οι σπασμένες επιφάνειες γίνονται πιο λείες από αυτές με κανονικό σκυρόδεμα. Αντίστοιχα, η αντοχή σε διάτμηση του ΑΣΣ ανησυχεί τους ερευνητές, ειδικά στην περίπτωση του σεισμικού φορτίου.

Για παράδειγμα, οι ξυλότυποι σχεδιασμένοι για αντίσταση στην ορμή είναι συνήθως πολύ πυκνοί σε οπλισμό μέσα στα οποία η εφαρμογή και η δόνηση σκυροδέματος αποτελεί σημαντική πρόκληση. Τέτοιου είδους ξυλότυποι είναι ιδανικοί για το ΑΣΣ μιας και αυτό το υλικό δεν χρειάζεται δόνηση για να συμπυκνωθεί.

Η φύση της αντίστροφης κυκλικής φόρτωσης των παραπάνω ξυλοτύπων σε περίπτωση σεισμού και το αποτέλεσμα της πλαστικής στρέψης θα μπορούσαν, όμως, να είναι επικίνδυνες όταν χρησιμοποιείτε το ΑΣΣ σε αυτές. Αν και το ΑΣΣ έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε αρκετά κτίρια όπως το MillenniumPointBuilding στο Birmingham, UK χωρίς να έχουν αναφερθεί προβλήματα, πρέπει να εφαρμοστούν μελέτες και πειράματα στο ΑΣΣ υπό κυκλικά φορτία για να βεβαιωθούμε πως το υλικό αυτό είναι ασφαλές σε περίπτωση σεισμού.

Πολλοί σεισμοί κατά καιρούς απέδειξαν πως οι δεσμοί υποστυλώματος δοκού (ΔΥΔ) είναι σημαντικά στοιχεία την ακεραιότητα της κατασκευής.

Η εικόνα (18) δείχνει μία κοντινή φωτογραφία μιας αστοχίας ενός μη πλαστικού

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ΔΥΔ που οφείλεται στον σεισμό του Kocaeli και απεικονίζει ότι οι επιδόσεις τέτοιων αρθρώσεων πρέπει να είναι επαρκής για να βεβαιωθεί η στατική ακεραιότητα.



Εικόνα 18 : Αστοχία μη πλαστικού ΔΥΔ στο σεισμό Kocaeli 1999

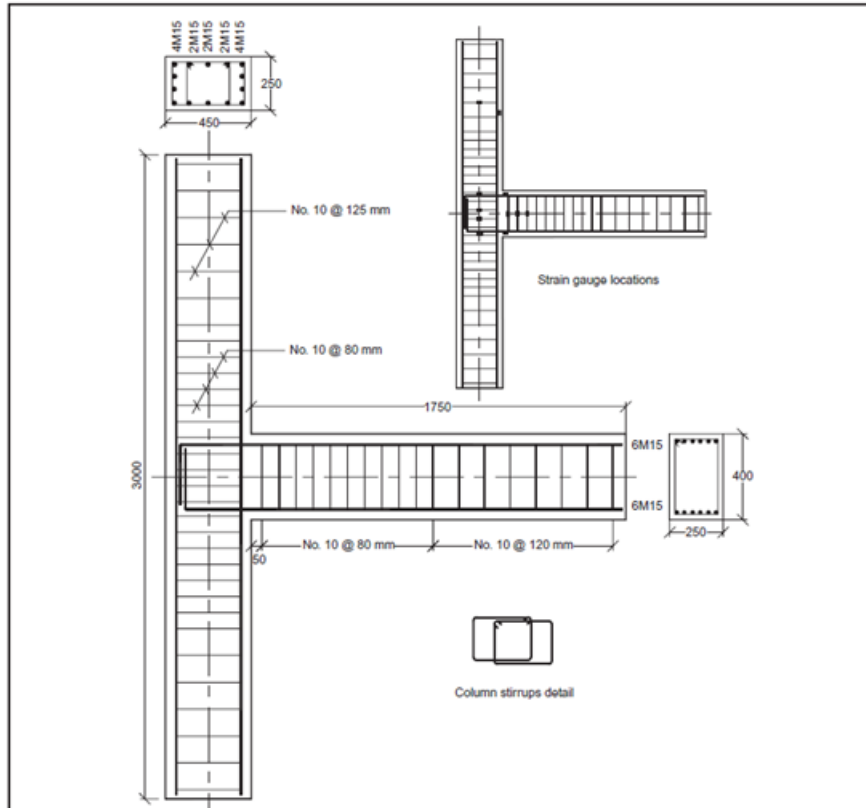
Το 2007 οι Said A. και Nehdi M., (Said and Nehdi, 2007) δημοσίευσαν την έρευνά τους με τίτλο «*Behaviour of reinforced self-consolidating concrete frames*» στο περιοδικό Proceedings of the ICE - Structures and Buildings.

Η έρευνα βασίστηκε στα Καναδικά και Αμερικάνικα πρότυπα και αφορούσε στην μελέτη των επιδόσεων ενός εξωτερικού Δεσμού Υποστυλώματος Δοκού (ΔΥΔ) από ΑΣΣ σε αντίστροφο κυκλικό φορτίο και στη σύγκρισή της με αυτήν ενός ΔΥΔ από ΣΣ από την άποψη του επιβαλλόμενου φορτίου μετατόπισης, της συσσωρευτικής διαχεόμενης ενέργειας, τις συμβολές του οπλισμού και του ιδίου του σκυροδέματος στην αντίσταση, σε διάτμηση της άρθρωσης και της δοκού και της τέμνουσας δυσκαμψίας, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων για τη χρήση του ΑΣΣ στους στατικούς ξυλότυπους.

Κατά το πειραματικό στάδιο σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τα πρότυπα του CSA A23.3-94 δυο ΔΥΔ (J1 και J3) με επαρκή οπλισμό κατά τη διάτμηση στη περιοχή της άρθρωσης και στις περιοχές της στρέψης στις κολώνες και στις δοκούς.

Η λεπτομέρεια για τον οπλισμό φαίνεται στο παρακάτω σχδ.3.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές



Σχεδιάγραμμα 3: Λεπτομέρειες οπλισμού για τα δείγματα που δοκιμάστηκαν (διαστάσεις στο mm)

ΣΣ και ΑΣΣ χρησιμοποιήθηκαν αντίστοιχα για να κατασκευάσουν τα δοκίμια J1 και J3. Οι αναλογίες των μειγμάτων και για τα δύο δοκίμια φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 20.

	NC - J1	SCC - J3
Cement: kg/m ³	330	400
Sand: kg/m ³	790	850
Gravel: kg/m ³	1130	850
W/C	0.34	0.40
HRWR: l/m ³	—	4.0
WRA: ml/m ³	6.6	—
VMA: g/m ³	—	120
7 d_f' : MPa	37.2	33.3
28 d_f' : MPa	50.9	50.4
Slump: mm	50	—
Slump flow: mm	—	600

Πίνακας 20 Αναλογίες μειγμάτων

Τα δοκίμια δοκιμάστηκαν υπό ένα αξονικό φορτίο της τάξεως των 600kN που εφαρμόστηκε πάνω στην κολώνα και ένα αντίστροφο ημιστατικό κυκλικό φορτίο που εφαρμόστηκε στην άκρη της δοκού.

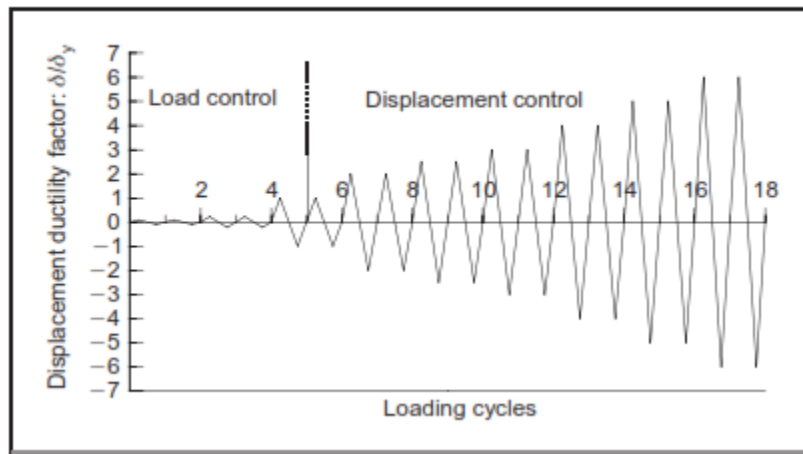
Το επιλεγμένο μοτίβο φόρτωσης θέλει να δημιουργήσει δυνάμεις οι οποίες θα εξομοιώνουν τις υψηλής τάσης ανελαστικές παραμορφώσεις που μπορεί να εφαρμοστούν από τον ίδιο τον φέροντα οργανισμό κατά την διάρκεια του σεισμού.

Η επιλεγμένη σειρά των φορτίων αποτελείται από δύο φάσεις, η πρώτη ελεγχόμενη

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

από το φορτίο και η δεύτερη (που την ακολουθούσε) ελεγχόμενη από την παραμόρφωση(όπως φαίνετε στο διαγρ. 4).

Αφού πραγματοποιήθηκε μία δοκιμαστική φόρτωση, οι ερευνητές εφάρμοσαν μία ακόμα φόρτωση έως την πλαστική ρηγμάτωση του σκυροδέματος στις επιφάνειες της δοκού και της κολώνας και στη συνέχεια ακόμα μία έως την υποχώρηση του οπλισμού. Τα δεδομένα που καταγράφηκαν εδώ χρησιμοποιήθηκαν στην επόμενη φάση τους πειράματος.

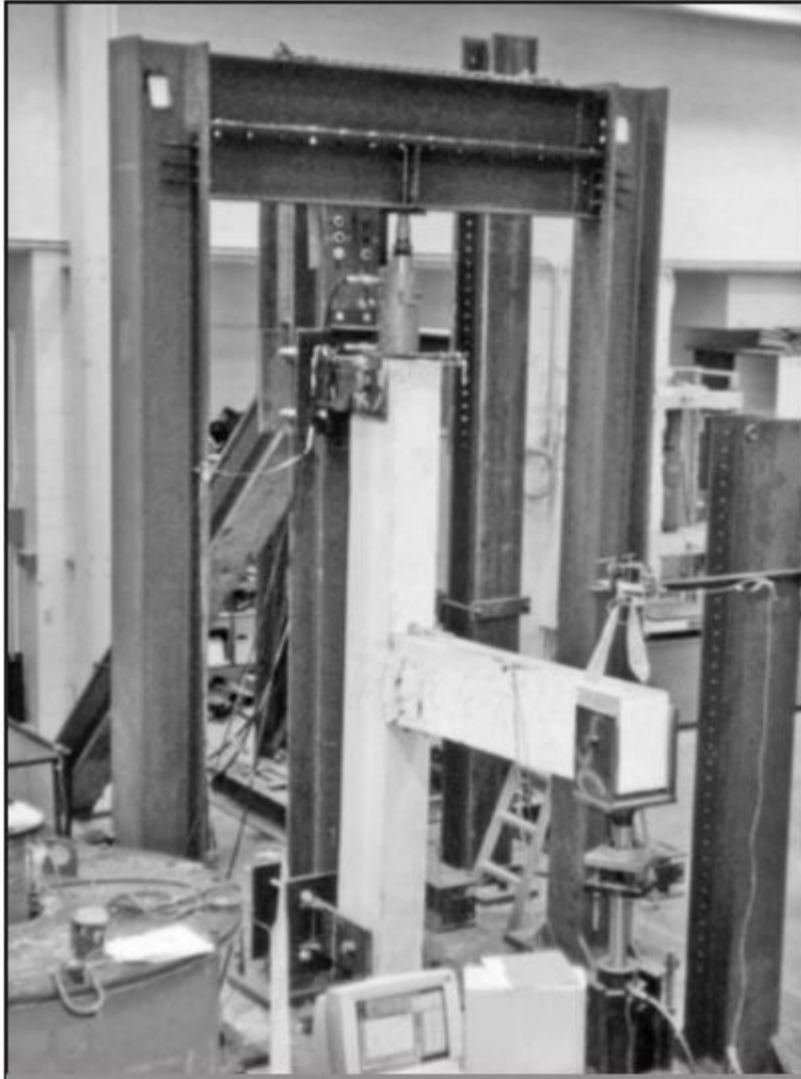


Διάγραμμα 4 : Πρώτη φάση ελεγχόμενη από παραμόρφωση

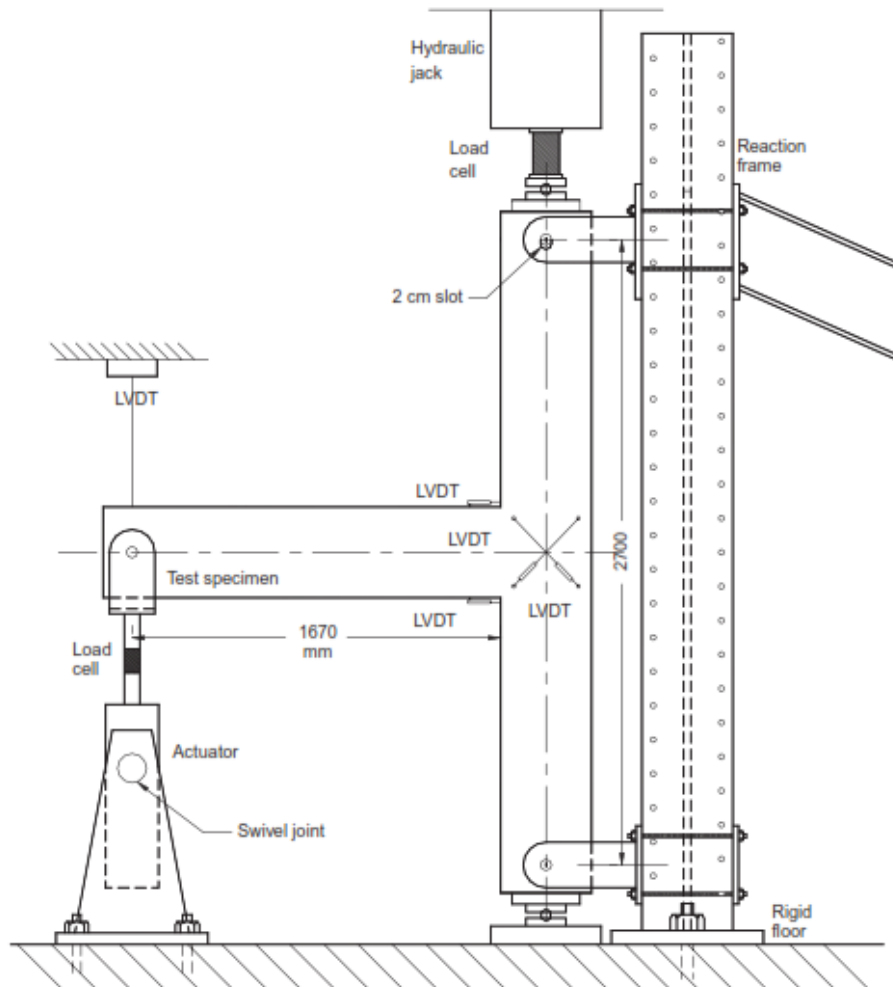
Κατά τη δεύτερη φάση της κυκλικής φόρτωσης, η οποία ήταν ελεγχόμενη από την μετατόπιση εφαρμόστηκαν σταδιακά αυξανόμενα πολλαπλάσια της παραμόρφωσης που είχε καταγραφεί προηγουμένως. Δύο κύκλοι φόρτισης εφαρμόστηκαν ακολούθως σε κάθε επίπεδο ολκιμότητας για να βεβαιωθεί η σταθερότητα του δοκιμίου.

Η δοκιμή σταμάτησε όταν η ικανότητα της φόρτωσης του ΔΥΔ έπεσε στο 50% της μέγιστης τιμής του. Εξετάστηκε τότε η επίδραση της κυκλικής φόρτισης στην ικανότητα της φόρτωσης, στην μείωση της αντοχής, στην διαχεόμενη ενέργεια και στην παραμόρφωση της άρθρωσης, καθώς επίσης η επίδραση του κυκλικού φορτίου στην ικανότητα φόρτωσης της διάχυσης ενέργειας, της συμβολή του σκυροδέματος στην διαμητική αντοχή στην δοκό και την άρθρωση καθώς και στην μείωση της αντοχής.

Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν στην εγκατάσταση της δοκιμής με τέτοιο τρόπο (όπως φαίνεται στην εικόνα 20) ώστε να εξομοιωθεί μια αρθρωτική υποστήριξη στην βάση της κολώνας και υποστήριξη με ρουλεμάν στην κορυφή της. Μια άποψη και το σχέδιο της εγκατάστασης φαίνονται στην εικόνα (19) και στο σχεδιάγραμμα 4, κατωτέρω.



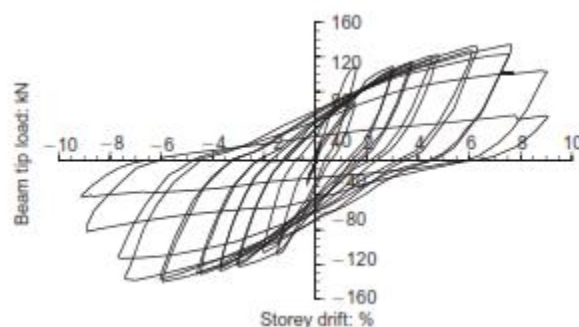
Εικόνα 19 : Τοποθέτηση δοκιμίων στην εγκατάσταση δοκιμής



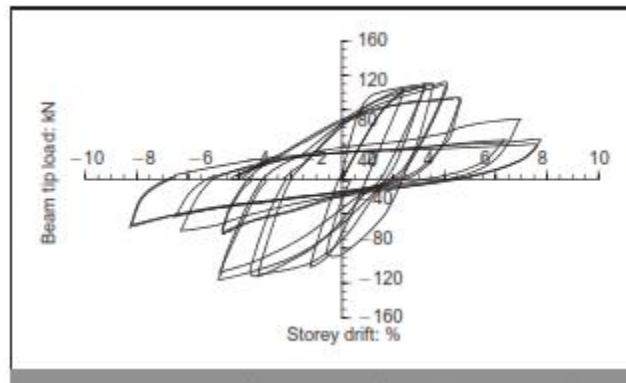
Σχεδιάγραμμα 4 : Σχέδιο εγκατάστασης

Τα αποτελέσματα της έρευνας συνίστανται στα ποικίλα αριθμητικά δεδομένα που συνοψίζονται ως κατωτέρω:

- ❖ Συμπεριφορά των δοκιμών στην μεταβαλλόμενη φόρτωση (διαγρ. 5 και 6)



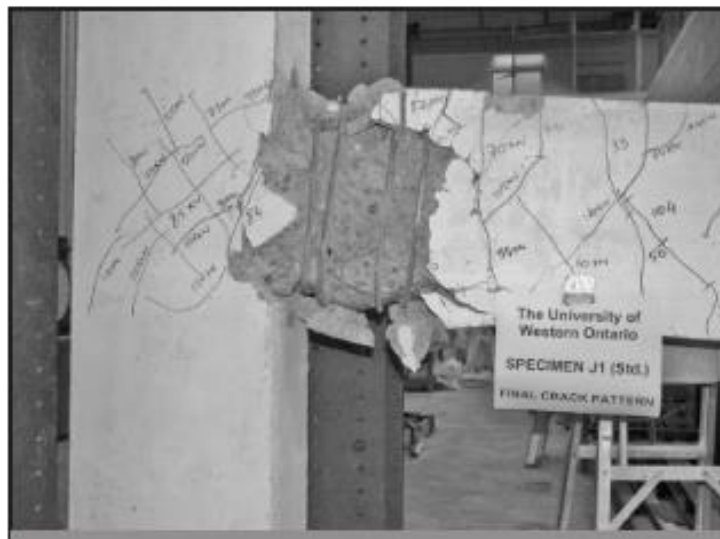
Διάγραμμα 5 : Σχέση μετατόπισης φορτίου ορόφων για NC δείγμα J1



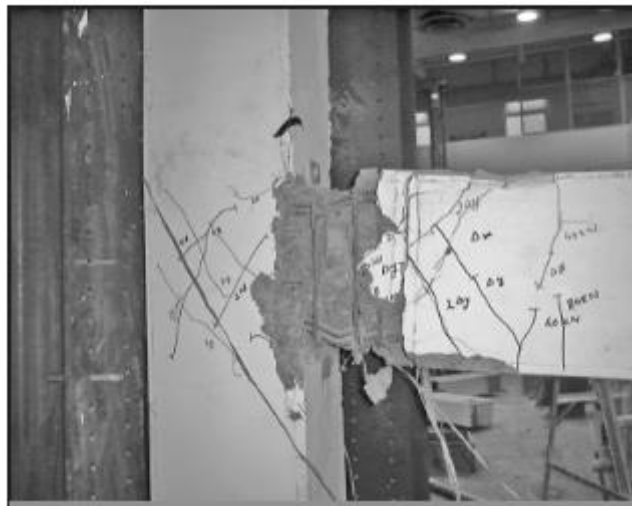
Διάγραμμα 6: Σχέση μετατόπισης φορτίου ορόφων για SCC δείγμα J3

Για το δοκίμιο από ΣΣ η υποχώρηση του κατά μήκος οπλισμού έγινε σε ένα μέσο φορτίο της άκρης της τάξεως των 107 kN και η αντίστοιχη μέση μετατόπιση μετά την υποχώρηση ήταν 28mm (ανάλογη στρέψης 1,5%), ενώ για το δοκίμιο από ΑΣΣ το φορτίο υποχώρησης ήταν 104 kN με μετατόπιση 27mm(ανάλογη με στρέψη 1,4%).

Με μέτρο ολκιμότητας 3 (ανάλογο στρέψης 4,5%) το δοκίμιο ΑΣΣ άρχισε να παρουσιάζει γρηγορότερη ελάττωση στην ικανότητα φόρτωσης σε σύγκριση με αυτή του ΣΣ. Τα τελικά μοτίβα ρηγματώσεων για τα ΣΣ(J1) και ΑΣΣ(J3) φαίνονται στις εικόνες 20 και 21 αντίστοιχα.

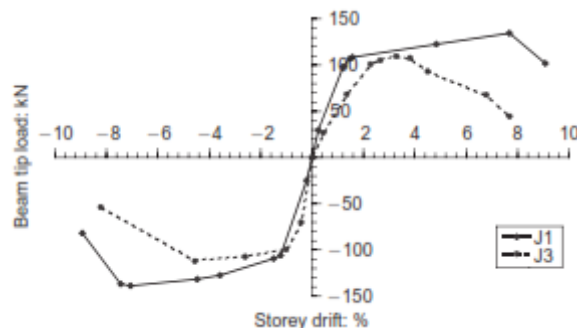


Εικόνα 20 Τελικό σχέδιο ρωγμής για NC δείγμα J1



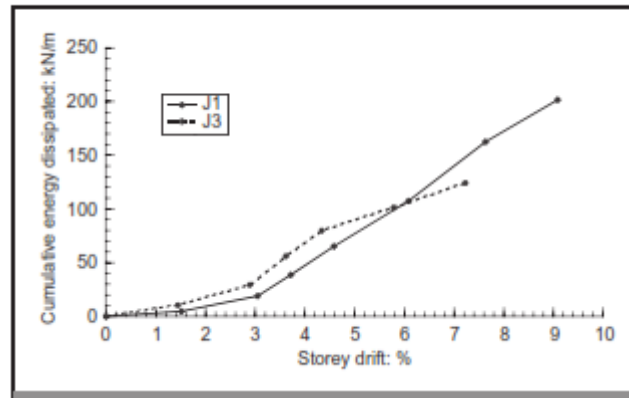
Εικόνα 21 : Τελικό σχέδιο ρωγμής για SCCC δείγμα J3

- ❖ Σχέση μεταβολής επιπέδων φορτίων μεταξύ φορτίου και μετατόπισης όπως φαίνεται στο διαγρ. 7. Η εναπομείνασα αντοχή του δοκιμίου από ΑΣΣ ήταν χαμηλότερη και μία πλαστική στρέψη σχηματίστηκε στη δοκό και η μέγιστη όλκιμη μετατόπιση που επιτεύχθηκε από το δοκίμιο από ΣΣ ήταν 6 σε σχέση με το 5 για το δοκίμιο ΑΣΣ.



Διάγραμμα 7: σχέση μεταξύ φορτίου και μετατόπισης

- ❖ Αθροιστική διάχυση ενέργειας. Το διάγραμμα 8 απεικονίζει ένα γράφημα για την αθροιστική διάχυση ενέργειας ενάντια την στρέψη για το δοκίμιο J1 και J3. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως η άρθρωση από ΑΣΣ είχε υψηλότερη διάχυση ενέργειας έως και το επίπεδο ολκιμότητας 3 ανάλογο με στρέψη 6%. Μετά από αυτό το σημείο το δοκίμιο από ΣΣ απέδωσε 38% περισσότερη διάχυση ενέργειας.



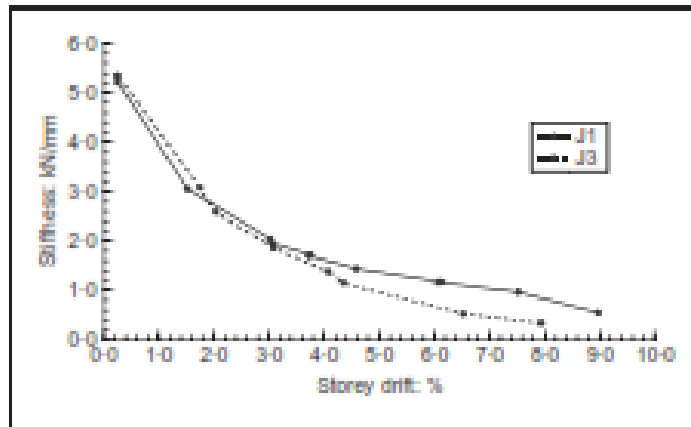
Διάγραμμα 8 : αθροιστική διάχυση ενέργειας ενάντια την στρέψη για το δοκίμιο J1 και J3.

- ❖ Οι διατμήσεις της δοκού υπολογίστηκαν από τις αντιστεκόμενες διατμήσεις των οπλισμών και του ίδιου του σκυροδέματος που την αποτελούν. Δια μέσω των αποτελεσμάτων αυτών έγινε αντιληπτό ότι στο δοκίμιο του ΑΣΣ ο εγκάρσιος οπλισμός συνέβαλε περισσότερο στην διατμητική αντοχή της δοκού ενώ στο δοκίμιο από ΣΣ ήταν το σκυρόδεμα που συνέβαλε περισσότερο. Πρέπει να επισημάνουμε ότι οι πλαστικοί βρόχοι της δοκού σχηματίστηκαν σε ίσες διαστάσεις από την όψη της κολώνας και πέρα και για τα δύο δοκίμια.
- ❖ Συμπεριφορά της άρθρωσης. Η αντίσταση της άρθρωσης στην διάτμηση δημιουργείται από το σκυρόδεμα και από τον εγκάρσιο οπλισμό. Όπως προχωρούσε η δοκιμασία, η συνεισφορά του οπλισμού άρχισε να αυξάνεται ελαφρώς, αλλά η συνεισφορά του σκυροδέματος παρέμεινε σημαντική. Σημειώθηκε πως η συμβολή του χάλυβα στην αντίσταση στη διάτμηση ήταν χαμηλότερη από αυτή του σκυροδέματος την περιοχή της άρθρωσης από την δοκό. Αυτό αποδίδεται κυρίως στην έκταση των ρηγματώσεων και στην ολίσθηση πάνω στις ρωγμές, το οποίο ήταν ποιο έντονο φαινόμενο στην πλαστική ζώνη της δοκού απ' ότι την ίδια την άρθρωση. Αξίζει να αναφερθεί πως και για τα δύο δοκίμια, σε παρόμοια τάση διάτμησης στην άρθρωση, οι υπολογισμένες παραμορφώσεις ήταν συγκρίσιμες.
- ❖ Η Σχετική Σκληρότητα υπολογίζεται ως η κλήση της γραμμής που ενώνει την κορυφή των θετικών και αρνητικών φορτίων σε κάθε ξεχωριστό κύκλο. Η σχετική σκληρότητα είναι μία ένδειξη της αντίδρασης του δοκιμίου κατά την διάρκεια ενός κύκλου και της ελάττωσης της αντοχής του από τον ένα κύκλο στον άλλο. Το διαγρ 9 δείχνει διαγράμματα της σχετικής σκληρότητας για τους

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ΔΥΔ από ΣΣ και ΑΣΣ σε σχέση με την στρέψη. Η στρέψη υπολογίστηκε συσχετίζοντας την παραμόρφωση του δοκιμίου στην εγκατάσταση του πειράματος προς την πραγματική μετατόπιση της θήκης-πλαίσιο.

Διάγραμμα 9 :Σχετική σκληρότητα στο την στρέψη για το ΣΣ και το ΑΣΣ



Εξετάζοντας τα διαγράμματα καταλαβαίνουμε πως το δοκίμιο από ΑΣΣ (J3) είχε υψηλότερη αρχική σκληρότητα. Ύστερα από στρέψη 2%, το δοκίμιο J1(ΣΣ) είχε την υψηλότερη σκληρότητα και διατήρησε την υπεροχή του έως και το πέρας των δοκιμών. Πάραυτα, το δοκίμιο J3(ΑΣΣ) παρουσίασε πτώση στο αντοχής του μόνο κατά την αστοχία του. Η μέγιστη στρέψη που επιτεύχθηκε ήταν 9,0% και 7,9% για τα J1 και J3 αντίστοιχα.

Βάσει των πειραματικών παρατηρήσεων και την ανάλυση των αποτελεσμάτων οι ερευνητές συμπέραναν ότι :

- ➔ Οι ΔΥΔ από ΑΣΣ έχουν συγκρίσιμη ανοχή στην φόρτωση με αυτή των ΔΥΔ από ΣΣ έως ένα σημείο ολκισμού. Σε μεγάλες εφελκυστικές δυνάμεις τα δοκίμια από ΑΣΣ δύναται να μην διατηρήσουν την ίδια ικανότητα φόρτωσης όπως αυτά από ΣΣ. Ενώ αυτό μπορεί να αποδοθεί στο χαμηλότερο ποσοστό σε αδρανή του ΑΣΣ, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να κατανοηθεί αυτή η συμπεριφορά.
- ➔ Η απόδοση του ΑΣΣ υπό τάση διάτμησης στην άρθρωση ήταν όμοια με αυτή του δοκιμίου από ΣΣ, όσο αφορά την ρηγμάτωση και τις παραμορφώσεις.
- ➔ Το δοκίμιο ΔΥΔ από ΑΣΣ συμπεριφέρθηκε επαρκώς στις απαιτήσεις του μέτρου αστοχίας και την πλαστιμότητα του, θεωρώντας πως η απαιτούμενη στρέψη δεν ξεπερνά το 3% όπως προτείνεται συνήθως από την βιβλιογραφία της στατικότητας κτιρίων.
- ➔ Η συνεισφορά του σκυροδέματος στην αντοχή κατά την διάτμηση στην δοκό του δοκιμίου από ΣΣ ήταν υψηλότερη από αυτή του ΑΣΣ, ειδικά σε υψηλές στρέψεις.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Στην περίπτωση της αρθρώσεως, η συμβολή του σκυροδέματος παρέμεινε κύρια μέχρι το τέλος της δοκιμής και για τα 2 δοκίμια. Οι διαφορές στις 2 περιπτώσεις αποδεικνύονται στην ολίσθηση ανάμεσα των ρωγμών στην περιοχή της άρθρωσης σε σύγκριση με την πλαστική ζώνη της δοκού.

- ➔ Απαιτούνται περισσότερες μελέτες για να ερευνηθεί η συμπεριφορά του ΑΣΣ υπό κυκλικά φορτία στις μοχλικές περιοχές και να προσδιοριστεί ο μηχανισμός διασύνδεσης των λεπτομερών για διαφορετικά ποσοστά αδρανών και το μέγιστο μέγεθος τους μαζί με άλλες παραμέτρους για το ιδανικό μείγμα.

Στις 6 Ιανουαρίου του 2014 οι M. Soleymani Ashtiani, R. P. Dhakal & A. N. Scott δημοσίευσαν τα αποτελέσματα της έρευνάς τους η οποία είχε ολοκληρωθεί και κατατεθεί τον Ιούνιο του 2013 και εγκρίθηκε από το American Society of Civil Engineers τον Οκτώβριο του ίδιου έτους και της οποίας αντικείμενο ήταν η σεισμική συμπεριφορά του οπλισμένου σκυροδέματος στους δεσμούς υποστυλωμάτων δοκών (ΔΥΔ) από Α.Σ.Σ.

Στην έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκε ένα μείγμα αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος υψηλών αντοχών (ΑΣΣΥΑ) για να κατασκευαστεί και να ερευνηθεί η συμπεριφορά ενός εσωτερικού ΔΥΔ από οπλισμένο σκυρόδεμα υπό αντίστροφα κυκλικά φορτία. (Soleymani Ashtian, Dhakal and Scott, 2014)

Πρότυπα δείγματα τυπικά δονημένου σκυροδέματος (ΤΔΣ) και ΤΔΣ υψηλής αντοχής (ΤΔΣΥΑ) χρησιμοποιήθηκαν στον έλεγχο ως μέτρα σύγκρισης. Σε όλα τα δείγματα τοποθετήθηκαν μετρητές, γραμμικοί μετατροπείς μεταβλητού εκτοπίσματος, ειδικά στις περιοχές των αρθρώσεων και των δοκών, όργανα μέτρησης της καταπόνησης τοποθετήθηκαν στους διαμήκεις και εγκάρσιους οπλισμούς σε διάφορα σημεία, μετρητές φορτίων στα πλευρικά σημεία φόρτωσης και στις άκρες των δοκών και μετατροπέας πίεσης στην υποδοχή του υδραυλικού αγωγού για τη μέτρηση του αξονικού φορτίου του υποστυλώματος.

Τα καταγραμμένα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστεί ο λόγος φορτίου/ παραμόρφωσης, η πλαστιμότητα, η επιμήκυνση της δοκού, η μείωση της σκληρότητας, η διάχυση ενέργειας, η παραμόρφωση των υλικών και της άρθρωσης, και η συμβολή του χάλυβα και του σκυροδέματος στην τάση διάτμησης της άρθρωσης.

Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τοπικά υλικά από το Christchurch, New Zealand έτσι ώστε να σχεδιαστούν διάφορα μείγματα σκυροδέματος, κυρίως ΑΣΣΥΑ, ένα συμβατικής δόνησης σκυρόδεμα (ΤΔΣ) και ένα ΤΔΣ υψηλών αντοχών (ΤΔΣΥΑ) (πίνακας 21). Λεπτομέρειες των φυσικών ιδιοτήτων του τσιμέντου, ιπτάμενης τέφρας και

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

των αδρανών λεπτομερών καθώς και ο τρόπος ανάμειξης περιγράφονται στα ανωτέρω κεφάλαια

	ΑΣΣΥΑ	ΤΔΣΥΑ	ΤΔΣ
Αδρανή (kg/m ³)	880	1145	1045
Λεπτομερή (kg/ m ³)	870	695	930
Τσιμέντο (kg/ m ³)	385	385	265
Ιπτάμενη Τέφρα (kg/ m ³)	165	165	-
Νερό (kg/ m ³)	165	148.5	158
Υπερρευστοποιητής (kg/ m ³)	3.58	1.93	0.79
Λόγος N/T (σχεδιαζόμενο)	0.30	0.27	0.60
Λόγος N/T (πραγματικό)	0.28	0.29	0.61
Slump flow (mm)	600	150	80
Compressive strength (Mpa)	124.3	82.5	48.4
Splitting tensile strength (Mpa)	7.0	6.5	4.7

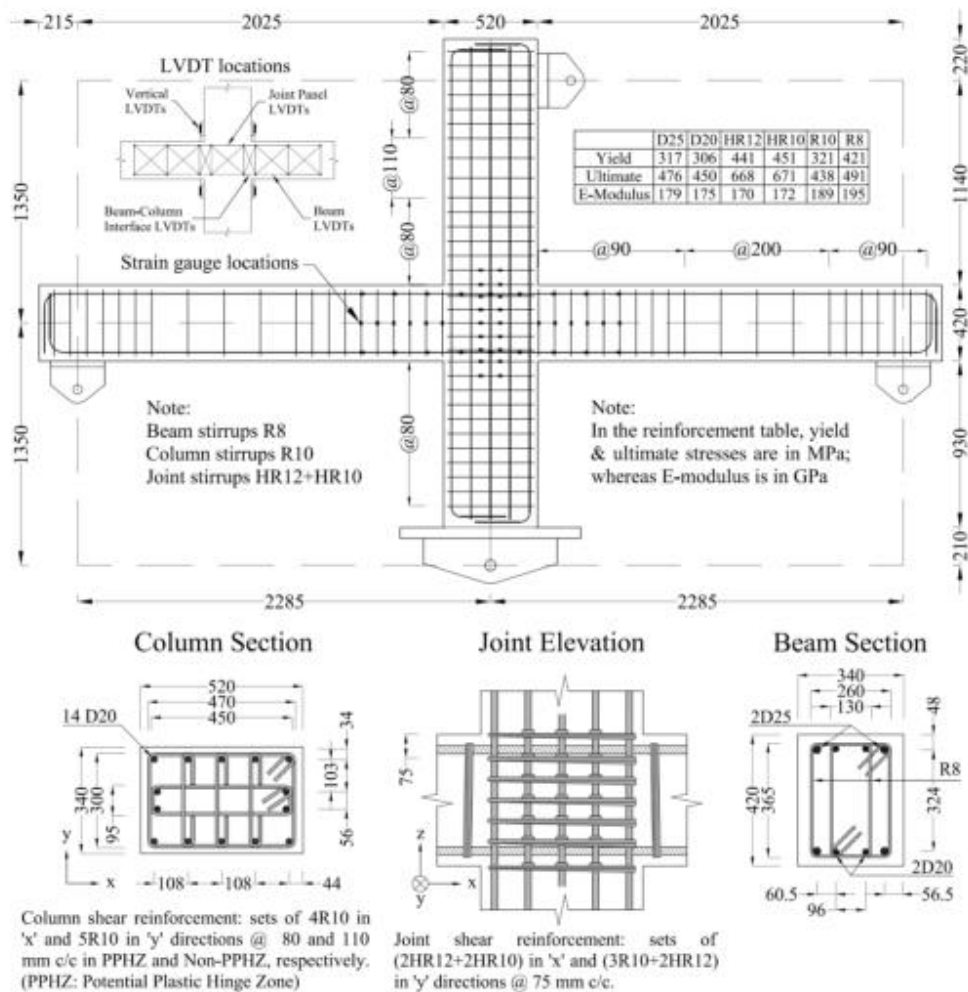
Πίνακας 21 Αναλογίες και Ιδιότητες των δοκίμων μειγμάτων

Ακολουθώντας τις προϋποθέσεις του Πρότυπου της Νέας Ζηλανδίας (NZS3101, 2006), σχεδιάστηκαν τρεις τυπικοί ΔΥΔ, που ονομάστηκαν BCJ1 (ΑΣΣΥΑ), BCJ 5 (ΤΔΣΥΑ) και BCJ 6 (ΤΔΣ), για να επιτύχουν μια ιεραρχία της μορφής: ισχυρό – υποστύλωμα – αδύναμη – δοκό, όπου η τελική προσμενόμενη μορφή της αστοχίας θα ήταν η κρέμαση των δοκών στο πλάι των υποστυλωμάτων.

Βασισμένοι πάνω στα σχεδιαστικά πρωτόκολλα, σχεδίασαν τα υποστυλώματα ώστε να παραμένουν ελαστικά σε όλη τη διάρκεια των πειραμάτων. Αυτό επιτεύχθηκε κρατώντας τον λόγο του συντελεστή απόδοσης ροής του υποστυλώματος (ϕM_y) προς την συνολική ροπή της δοκού ($M_{o,b}$) υψηλότερα από 1.0 για όλα τα δείγματα.

Ο οπλισμός ήταν ίδιος και στα τρία δείγματα. Οι λόγοι του εγκάρσιου οπλισμού στην δοκό και στο υποστύλωμα ήταν 0.011 και 0.025, αντίστοιχα οι οποίοι ήταν μέσα στα όρια που υποδεικνύονται στο Πρότυπο της Νέας Ζηλανδίας (NZS3101,2006).

Αυτοσυμπυκνόμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές



Σχδιάγραμμα 5: Λεπτομέρειες των εγκαταστάσεων και οργανώσεων των δοκιμίων

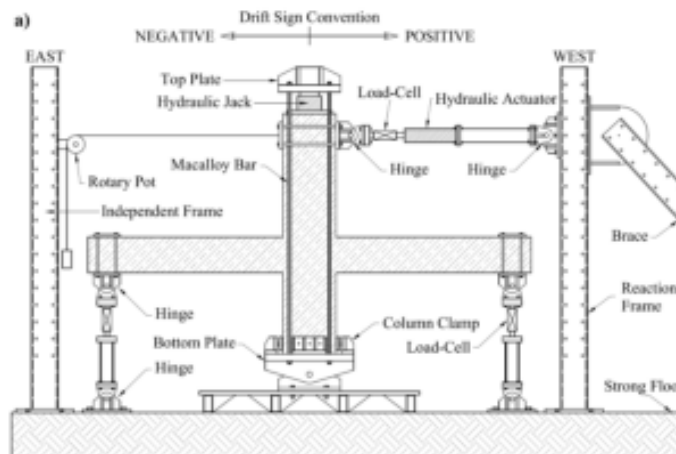
Τα πλευρικά φορτία εφαρμόστηκαν την κορυφή της κολώνας μέσω ενός υδραυλικού εμβόλου, μέγιστης δύναμης 400 kN και μετρήθηκε μέσω δυναμόμετρου.

Τα σχεδιασμένα αξονικά φορτία εφαρμόστηκαν μέσω υδραυλικών γρύλλων μέγιστης δύναμης 2500 kN τα οποία μεταφέρονταν στο υποστύλωμα μέσω πλακών που είχαν τοποθετηθεί πάνω και κάτω και μέσω των ράβδων Macalloy.⁸

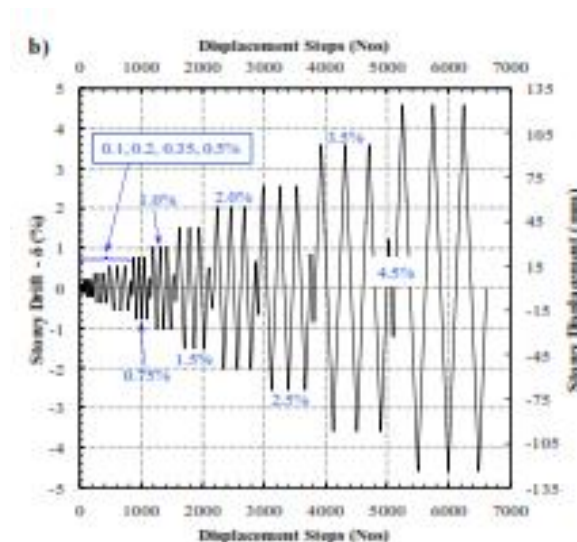
Το σχδιάγραμμα 6 παρουσιάζει μια γραφική απεικόνιση της εγκατάστασης που χρησιμοποιήθηκε για να δοκιμαστούν οι ΔΥΔ ενώ το διάγραμμα 10 παρουσιάζει μια πραγματική εικόνα του τυπικού δοκιμίου με ημιστατικό καθεστώς φόρτωσης ελεγχόμενο από την μετατόπιση, πριν την δοκιμή.

⁸ Τύπος οπλισμού

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές



Σχεδιάγραμμα 6 : Γραφική απεικόνιση στο εγκατάστασης



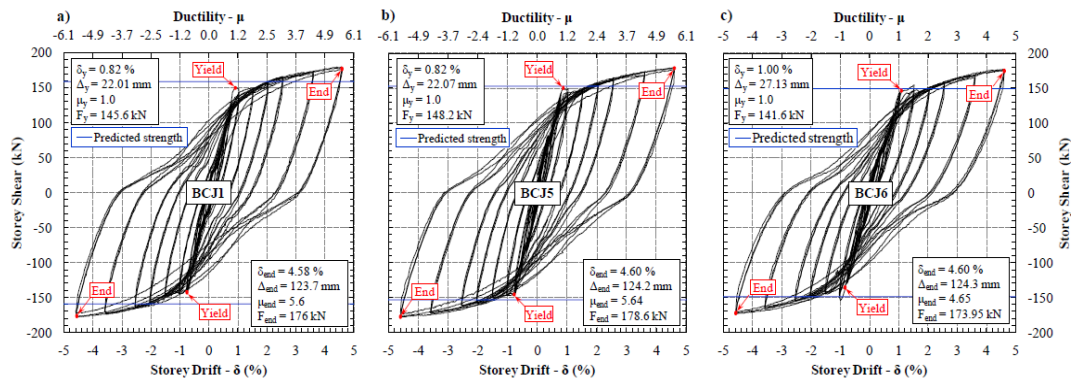
Διάγραμμα 10 : Ημιστατικό καθεστώς φόρτωσης ελεγχόμενο από την μετατόπιση

Σε όλο το πείραμα οι ερευνητές παρακολουθούσαν (χρησιμοποιώντας ένα μετατροπέα πίεσης) το αξονικό φορτίο και παρέμενε σταθερό .

Το διάγραμμα 11 απεικονίζει την καθ' ύψος διάτμηση προς την αντίσταση στις παρεκκλίσεις για τα τρία δοκίμια.

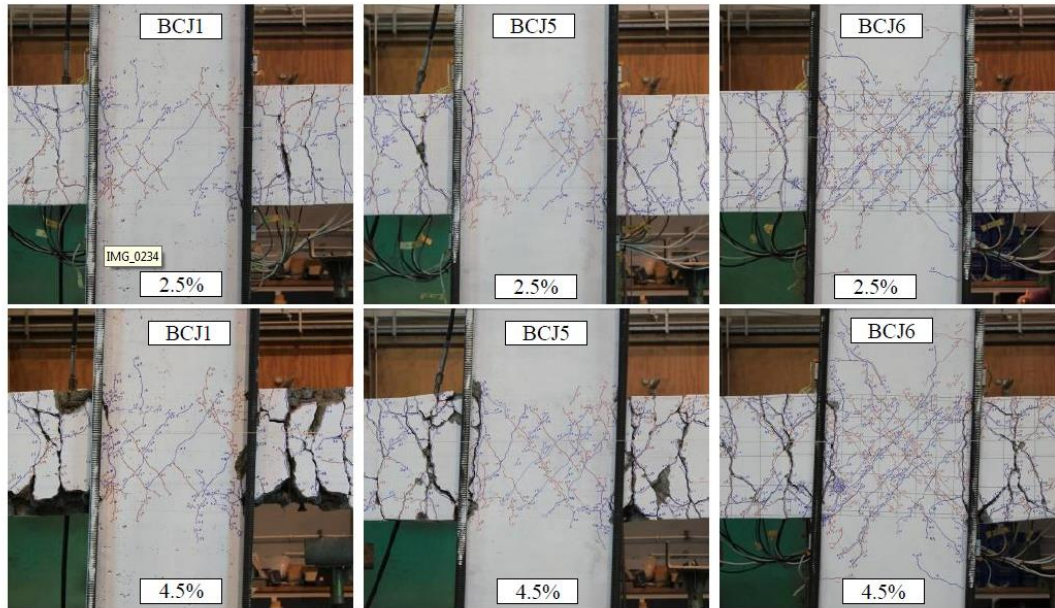
Αυτοσυμπυκνόμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Με πρότυπο τις προτάσεις του ACI(ACI374.1-05, 2005) η περιοριστική τιμή της τάσης για την αντοχή διάτμησης στα πλαίσια από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι 3,5%. Ωστόσο, το πρωτόκολλο που υιοθέτησαν οι μελετητές για την μετατόπιση και η εγκατάσταση του πειράματος επέτρεψαν μέγιστη στρέψη της τάξεως του 4,5%, η οποία εφαρμόστηκε σε όλα τα δοκίμια. Σημειώνετε πως κανένα από τα δοκίμια δεν αστόχησε όταν το πείραμα εκτελέστηκε με την μέγιστη στρέψη των 4,5%.



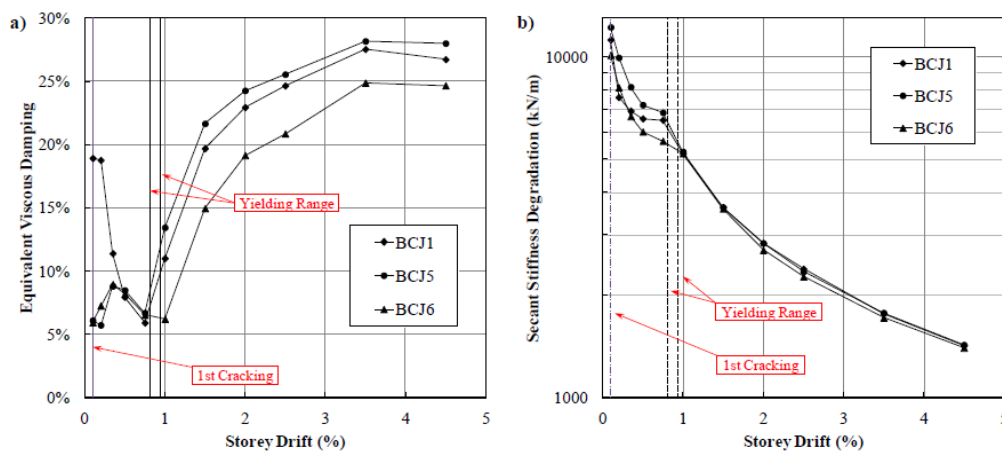
Διάγραμμα 11 : Σχέση πειραματικού φορτίου προς τη στρέψη

Η εικόνα (22) που ακολουθεί απεικονίζει την φυσική κατάσταση των αρθρώσεων σε διάφορα δοκίμια σε ποσοστιαία θετικές στέψεις των 2,5% και 4,5%. Είναι ξεκάθαρο από τις εικόνες, ότι το BCJ 6 (ΤΔΣ) είχε σημαντικά περισσότερες ρωγμές στην περιοχή των αρθρώσεων από τα BCJ 1 και BCJ 5, ωστόσο η τελική μορφή της αστοχίας σε όλα τα δοκίμια ήταν η κρέμαση των δοκών. Ας σημειωθεί πως στο BCJ 1 τα σπασμένα κομμάτια σκυροδέματος αποσχίστηκαν χειροκίνητα από τις πάνω και κάτω μεριές του δοκιμίου, για αυτό στη φωτογραφία της 4,5% τάσης του BCJ 1 φαίνεται να είναι πολύ πιο φθαρμένο από τα άλλο δύο δοκίμια.



Εικόνα 22: Φυσική κατάσταση των αρθρώσεων στο διάφορα δοκίμια στο ποσοστιαία θετικές στο των 2,5% και 4,5%.

Σύμφωνα με τους βρόχους υστέρησης (διαγρ.11) που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος σε όμοια ύστατη στρέψη των 4,5% οι BCJ1 και BCJ 5 αποδείχτηκε πως είναι πιο πλαστικές απ' ό τι η BCJ 6. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την γενική υπόθεση πως το σκυρόδεμα υψηλής αντοχής συμπεριφέρεται με ένα πιο ψαθυρό τρόπο, αλλά η καλύτερη ένωση μεταξύ σκυροδέματος και οπλισμού δημιούργησε μεγαλύτερη συμβατότητα μεταξύ των δυο υλικών, έτσι παρατηρήθηκε υψηλότερη πλαστιμότητα. Με μια κοντινότερη ματιά (Διάγραμμα 11 a-c), μπορούμε να δούμε ότι ο βρόχος υστέρησης του BCJ 5 παρουσιάζει εκτός των άλλων και τη χαμηλότερη συμπίεση.



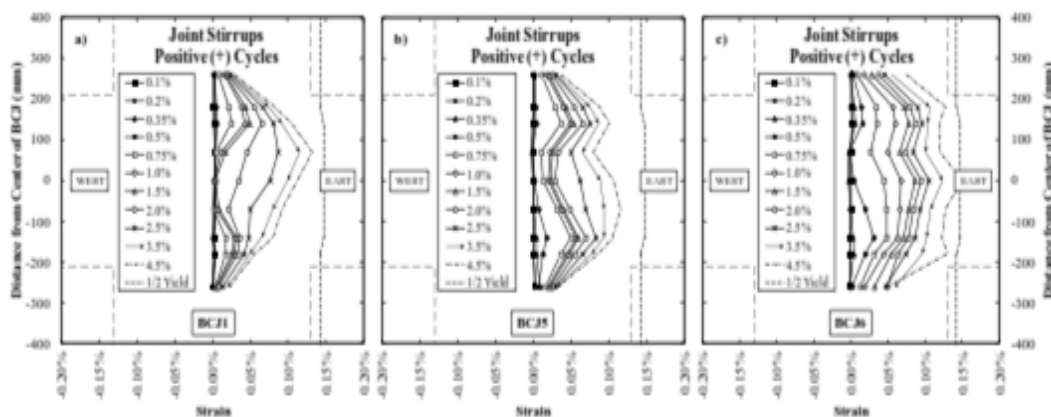
Διάγραμμα 12 : α) Ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση β) αποκωδόνιση στο τέμνουσας δυσκαμψίας από κορυφή στο κορυφή

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Σύμφωνα με παραπάνω διάγραμμα (12) σε κάθε τιμή στρέψης μετά την υποχώρηση, ο BCJ6 παρουσιάζει τη χαμηλότερη απόσβεση ιξώδους από τα άλλα δοκίμια. Αυτό σημαίνει ότι η ποσότητα ενέργειας που διαχέεται από τον BCJ 6 είναι η χαμηλότερη. Πριν την υποχώρηση, ο BCJ 1 παρουσιάζει υψηλότερη απόσβεση σε σύγκριση με τα άλλα δείγματα, ωστόσο αυτές οι αρχικά υψηλές τιμές μειώνονται πολύ γρήγορα έως που οι τιμές απόσβεσης σχεδόν ισούνται με αυτές των υπόλοιπων δειγμάτων κοντά στο σημείο υποχώρησης.

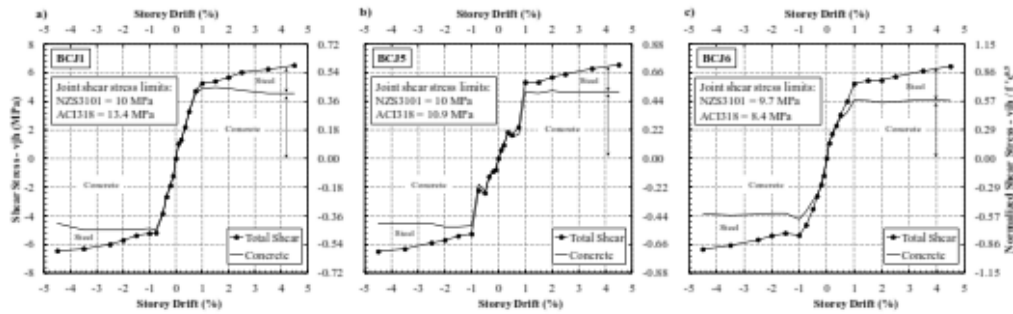
Στο διαγρ.12β, ο BCJ 6 παρουσιάζει ελαφρώς μεγαλύτερη υποβάθμιση δυσκαμψίας σε σύγκριση με τον BCJ 1 και τον BCJ 5 στην προ υποχώρησης περιοχή, ωστόσο μετά την υποχώρηση η δυσκαμψία όλων των δοκιμίων τείνει να υποχωρεί με παρόμοιο ρυθμό.

Η συμβολή του οπλισμού κατά της διάτμησης της άρθρωσης προς την συνολική στρέψη στην άρθρωση υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των μετρητών τάσης που εγκαταστάθηκαν στις στηρίξεις της άρθρωσης (διαγ. 13).



Διάγραμμα 13 :προφίλ του κοινού οπλισμού διάτμησης στο διαφορετικά επίπεδα ολίσθησης

Σύμφωνα με τους μετρητές, ακόμα και στις υψηλότερες τάσεις του 4,5% δεν υποχώρησε κανένας από τους συνδετήρες της άρθρωσης, αλλά όλοι παρέμειναν ελαστικοί κοντά στο μέσο της υποχώρησης. Έτσι οι τάσεις υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τον νόμο του Hooke και οι αντίστοιχες δυνάμεις υπολογίστηκαν πολλαπλασιάζοντας τις τάσεις και το εμβαδό των συνδετήρων. Οι τάσεις διάτμησης της άρθρωσης κανονικοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας την τετραγωνική ρίζα της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος ' $\sqrt{f_c}$ ' για να παρέχει μια αμερόληπτη εκτίμηση των συνεισφορών του χάλυβα και του σκυροδέματος με τη συνολική κοινή διατμητική τάση (διαγρ. 14).



Διάγραμμα 14: Συμβολή του σκυροδέματος και χάλυβα με τη συνολική κοινή διατμητική τάση

Παρότι η διατμητική τάση στις αρθρώσεις είναι παρόμοια και στα τρία δείγματα, η συμβολή του σκυροδέματος στην διάτμηση είναι μικρότερη στον BCJ 6 σε σύγκριση με εκείνη των BCJ 1 και BCJ 5. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην χαμηλότερη θλιπτική αντοχή του τελευταίου (48,8 MPa) το οποία με την σειρά του καταλήγει σε μία κατώτερη φέρουσα δομή σκυροδέματος για την διατμητική δύναμη. Επιπρόσθετα, η αντοχή στην τάση του σκυροδέματος είναι σημαντικά χαμηλότερη στο BCJ 6 (4,7 MPa) σε σύγκριση με τα BCJ 1 και BCJ 5 (7,0 και 6.5 MPa αντίστοιχα), το οποίο σημαίνει ότι οι συνδετήρες της άρθρωσης άρχιζαν να λαμβάνουν το μερίδιό τους από τις δυνάμεις διάτμησης σε χαμηλότερες τάσεις (διαγ. 14).

Το μέγιστο όριο της διατμητικής τάσης της άρθρωσης για όλα τα δείγματα όπως υπολογίστηκε με το Αμερικάνικο και Νέο Ζηλανδέζικο πρότυπο (ACI318M-08, 2008, NZS3101, 2006) παρουσιάζεται στο διάγραμμα (13) για σύγκριση. Όπως προαναφέρθηκε, η σχεδίαση όλων των δοκιμίων ακολούθησε τα πρότυπα της Νέας Ζηλανδίας (NZS3101, 2006), άρα ήταν αναμενόμενο ότι τη μέγιστη διατμητική τάση δεν ξεπερνούσε τα όρια.

Η συνολική παραμόρφωση του δεσμού υποστυλώματος δοκού συντελείται από τις παραμορφώσεις της δοκού, του υποστυλώματος και της ίδιας της άρθρωσης. Μιας και τα δοκίμια σχεδιάστηκαν να αστοχούν με την δημιουργία πλαστικής αστοχίας στις δοκούς, η παραμόρφωση των δοκών θα αποτελείται από τέσσερα διαφορετικά στοιχεία: ελαστική κάμψη, περιστροφή πάκτωσης, πλαστική στροφή αρμού και τις παραμορφώσεις λόγω διάτμησης.

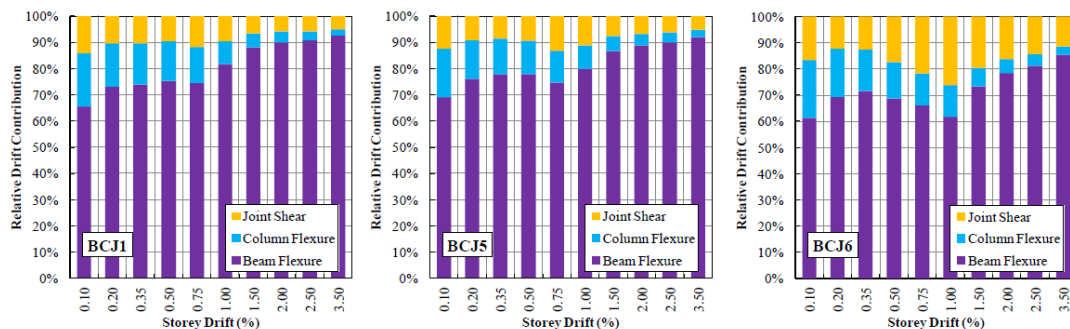
Αντιθέτως, όπως η κολώνα σχεδιάστηκε να παραμένει ελαστική κατά την διάρκεια του πειράματος, οι παραμορφώσεις της κολώνας συντελούνται μόνο από την ελαστική κάμψη της και τις παραμορφώσεις λόγω διάτμησης. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι οι παραμορφώσεις λόγω διάτμησης στην δοκό και στο υποστυλώμα ήταν πολύ μικρότερες σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μέλη της άρθρωσης, έτσι δεν λήφθηκαν υπ' όψιν από τους

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

μελετητές. Τέλος, η συμβολή της άρθρωσης στην συνολική παραμόρφωση έρχεται μόνο από την παραμόρφωση λόγω διάτμησης του πλαισίου της.

Το σχεδ.7 που ακολουθεί, δείχνει την συμβολή των διάφορων στοιχείων (δοκός, υποστύλωμα και κολώνα) στην συνολική παραμόρφωση του κάθε δοκιμίου στις κορυφαίες τάσεις. Όπως αναμενόταν βάση της σχεδιασμένης μορφής της αστοχίας (κρέμαση δοκών), οι δοκοί συνέβαλαν πολύ περισσότερο στην συνολική τάση των δοκιμίων απ' ότι οι κολώνες και η άρθρωση. Οι συμβολές του υποστύλωματος και της άρθρωσης στην συνολική τάση ήταν ίδιες στα BCJ 1 και BCJ 5.

Ωστόσο η διατμητική παραμόρφωση της άρθρωσης και η συμβολή της στην συνολική τάση ήταν καθαρά υψηλότερη στον BCJ 6 που είχε την χαμηλότερη θλιπτική αντοχή σκυροδέματος(48,4MPa).



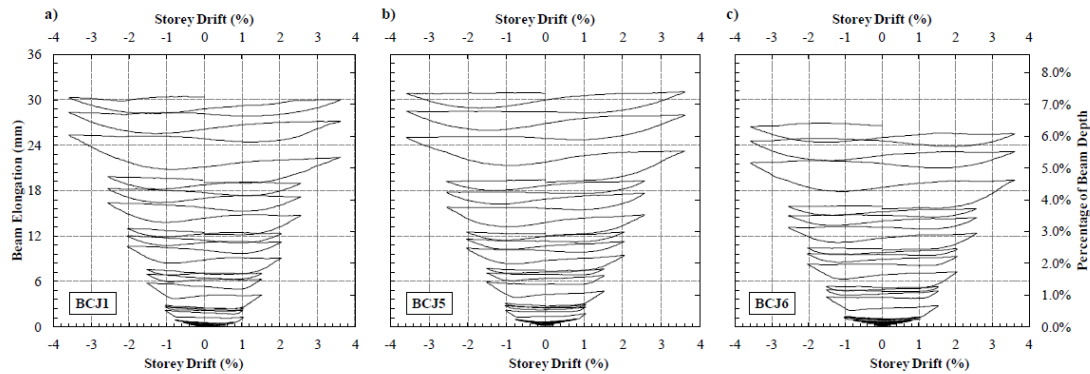
Σχεδιάγραμμα 7 : Σχετική συμβολή των διαφόρων συνιστωσών στο την συνολική μετατόπιση του δείγματος

Χρησιμοποιώντας τα LVDTs που είχαν εγκατασταθεί στην επιφάνεια των δοκιμίων, υπολογίστηκε η επιμήκυνση της πλαστικής ζώνης για τις δοκούς. Η συνολική επιμήκυνση (άθροισμα της δυτικής και ανατολικής δοκού) του κάθε δοκιμίου φαίνεται στο παρακάτω διαγρ. (15). Με μία καλύτερη ματιά στις γραφικές παραστάσεις της επιμήκυνσης αποκαλύπτεται ότι πριν την υποχώρηση (στα 0.75% της τάσης για το BCJ 1 και BCJ 5 και στο 1.0% για το BCJ 6) η επιμήκυνση ήταν πολύ μικρή και κοντά στο μηδέν για όλα τα δοκίμια. Ωστόσο, ξεκίνησε να αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση της τάσης στα δοκίμια (μετά την υποχώρηση). Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι όταν τα δοκίμια ήταν στην ελαστική αντίδρασή τους, οι ρωγμές ήταν μηδαμινές και έκλειναν τελείως κατά την αποφόρτιση, συνεπώς οι επιμηκύνσεις ήταν μικρές και αναστρέψιμες. Ωστόσο όταν οι ρωγμές άρχισαν να πλαταίνουν σε μεγαλύτερες στρέψεις, μικρά κομμάτια σκυροδέματος έπεφταν στο κενό που δημιουργούσαν οι ρωγμές. Στην αντίστροφη κίνηση, αυτά τα κομμάτια σκυροδέματος άρχισαν να μεταφέρουν τις

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

δυνάμεις από τη μία μεριά της ρωγμής στην άλλη πριν οι ρωγμές κλείσουν τελείως. Σαν αποτέλεσμα ο οπλισμός στην τεταμένη πλευρά ξεκίνησε να επιμηκύνεται πριν οι ρωγμές την συμπιεσμένη πλευρά κλείσουν τελείως. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την μεγέθυνση των ρωγμών σε κάθε κύκλο ακόμη περισσότερο και η διαδικασία συνεχίζεται με αποτέλεσμα τη μόνιμη επιμήκυνση της πλαστικής ζώνης της άρθρωσης.

Διάγραμμα 15: Σύνολο επιμήκυνσης στο πλαστικής ζώνης άρθρωσης (δυτικά και ανατολικά στο δοκού)



Είναι ξεκάθαρο από τα παραπάνω ότι η επιμήκυνση του BCJ 6 ήταν μικρότερη από αυτή του BCJ 1 και BCJ 5. Αυτό μπορεί επίσης να αποδοθεί στην διαφορετική αντοχή των κομματιών σκυροδέματος που έπεσαν ανάμεσα στις ρωγμές. Στο BCJ 6, κατά την διάρκεια του κλεισίματος των ρωγμών τα παγιδευμένα κομμάτια σκυροδέματος θλίπτονταν ακόμα πιο εύκολα (λόγω της υποβαθμισμένης θλιπτικής τους αντοχής) σε σύγκριση με αυτά το BCJ 1 και BCJ 5. Έτσι, η τελική επιμήκυνση στις ράβδους του οπλισμού στην τεταμένη πλευρά ήταν όλο και μικρότερη σε κάθε κύκλο τάσης για το BCJ 6 σε σύγκριση με το BCJ 1 και BCJ 5.

Συμπεράσματα έρευνας.

Βάση των αποτελεσμάτων αυτής της μελέτης βγαίνουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- ➔ Οι βρόχοι υστέρησης για τα δοκίμια με σκυρόδεμα υψηλής αντοχής είχαν σημαντικά χαμηλότερη συμπίεση απ' ό,τι αυτού με συμβατικά δονούμενο σκυρόδεμα. Η υστερική συμπεριφορά του δοκιμίου ΑΣΣΥΑ (BCJ 1) έδειξε περισσότερη συμπίεση από αυτή του ΤΔΣΥΑ (BCJ 5).
- ➔ Σε κάθε ποσοστό της ταλάντωσης, παρουσιάστηκαν σημαντικά περισσότερες ρωγμές στην άρθρωση του δοκιμίου από ΤΔΣ σε σύγκριση με τα άλλα 2. Το ΑΣΣΥΑ είχε ελαφρώς λιγότερες ρωγμές από το ΤΔΣΥΑ. Η υψηλότερη θλιπτική αντοχή και ο ισχυρότερος δεσμός μεταξύ των σωματιδίων στο ΑΣΣΥΑ ήταν οι κύριοι λόγοι για αυτό.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

- ➔ Και τα δύο δοκίμια υψηλών αντοχών παρουσίασαν καλύτερη πλαστική συμπεριφορά από το ΤΔΣ. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην καλύτερη πρόσφυση του σκυροδέματος υψηλής αντοχής πάνω στον οπλισμό απ' ό,τι το απλό σκυρόδεμα.
- ➔ Η ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση υπολογίστηκε από την υστερητική απορρόφηση ενέργειας και για τα τρία δείγματα. Όπως φαίνεται από τις συμπιέσεις στους βρόχους υστέρησης, το δείγμα από ΤΔΣ έδειξε σημαντικά χαμηλότερη απόσβεση σε σύγκριση με τα δείγματα από ΣΥΑ.
- ➔ Η αποικοδόμηση της τέμνουσας δυσκαμψίας από κορυφή σε κορυφή υπολογίστηκε και για τα τρία δείγματα. Η ακαμψία του δείγματος ΑΣΣ αποικοδομείται ελαφρώς περισσότερο σε σύγκριση με αυτή από ΤΔΑ πριν την υποχώρηση. Ωστόσο ο ρυθμός αποικοδόμησης της ακαμψίας ήταν σχεδόν η ίδια για όλα τα δείγματα μετά την υποχώρηση.
- ➔ Η συμβολή του οπλισμού ενάντια στην διάτμηση της άρθρωσης και το ίδιο σκυρόδεμα στην διατμητική τάση της άρθρωσης υπολογίστηκε για όλα τα δείγματα. Εκτός από μικρές παραλλαγές, αυτή η σχετική συμβολή ήταν παρόμοια στα δείγματα ΑΣΣΥΑ και ΤΔΣΥΑ. Ωστόσο, η συμβολή των συνδετήρων της διάρθρωσης ήταν περισσότερη στο δείγμα ΤΔΣ, η οποία προέκυψε από την χαμηλότερη ικανότητα της δομής του σκυροδέματος κατά την εφαρμογή της διατμητικής δύναμης σε κάθε μετατόπιση. Όπως ήταν αναμενόμενο, η μέγιστη διατμητική τάση στην άρθρωση παρέμεινε εντός των επιτρεπόμενων ορίων κατά το πρότυπο.
- ➔ Διάφορες συνιστώσες της μετατόπισης υπολογίστηκαν για όλα τα δείγματα. Παρατηρήθηκε ότι η δοκός είχε τη μεγαλύτερη συμβολή για το δείγμα στην συνολική μετατόπιση σε όλα τα τρία δείγματα, η συνεισφορά της στήλης και της άρθρωσης ήταν πολύ μικρή σε σύγκριση με εκείνη της δοκού. Στο δείγμα ΤΔΣ η συμβολή της άρθρωσης ήταν σαφώς περισσότερη από αυτό των δειγμάτων ΣΥΑ.
- ➔ Η επιμήκυνση της δοκού υπολογίστηκε για όλα τα δείγματα και παρατηρήθηκε ότι τα δύο δείγματα με ΣΥΑ είχαν επιμηκυνθεί περισσότερο από το 7% του πλάτους της δοκού σε σύγκριση με το 6% περίπου για το δοκίμιο ΤΔΣ.
- ➔ Συνολικά, η σεισμική συμπεριφορά των δειγμάτων ΑΣΣΥΑ και ΤΔΣΥΑ ήταν παρόμοια και καμία από τις βασικές παραμέτρους που σχετίζονται με τη σεισμική απόδοση τεθήκαν σε κίνδυνο με την χρήση ΑΣΣΥΑ. Ως εκ τούτου, το ΑΣΣΥΑ μπορεί να προσφέρει μια πιο εύκολη επιλογή για πυκνά οπλισμένες περιοχές,

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

όπως οι δεσμοί υποστυλώματος και δοκού σε φέρων οργανισμό οπλισμένου σκυροδέματος.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το ποσό της έρευνας σχετικά με τη σεισμική απόδοση του ΑΣΣ είναι πολύ περιορισμένο σε προσιτή βιβλιογραφία και δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες στην κυκλική συμπεριφορά του ΑΣΣΥΑ υπό σεισμικές διεγέρσεις.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα συμπεράσματα και οι συστάσεις αυτής της μελέτης βασίστηκαν σε περιορισμένο αριθμό εργαστηριακών πειραμάτων που έγιναν σε ΑΣΣΥΑ, ΤΔΣ και ΤΔΣΥΑ σε αυτοτελή δοκίμια ΔΥΔ. (BCJ)

Ως εκ τούτου, δεν ενθαρρύνεται από τους κατά καιρούς ερευνητές οποιαδήποτε περαιτέρω γενίκευση των αποτελεσμάτων αυτών, χωρίς ισχυρότερη υποστήριξη από περισσότερα δεδομένα. Δεδομένου ότι η έννοια του ΑΣΣ είναι σχετικά νέα στον τομέα της δομικής μηχανικής, απαιτούνται περισσότερες έρευνες προκειμένου να κατανοήσουμε πλήρως την πολυπλοκότητα που εμπλέκονται στη σεισμική συμπεριφορά των δομικών μελών κατασκευασμένων με αυτόν τον ειδικό τύπο σκυροδέματος.

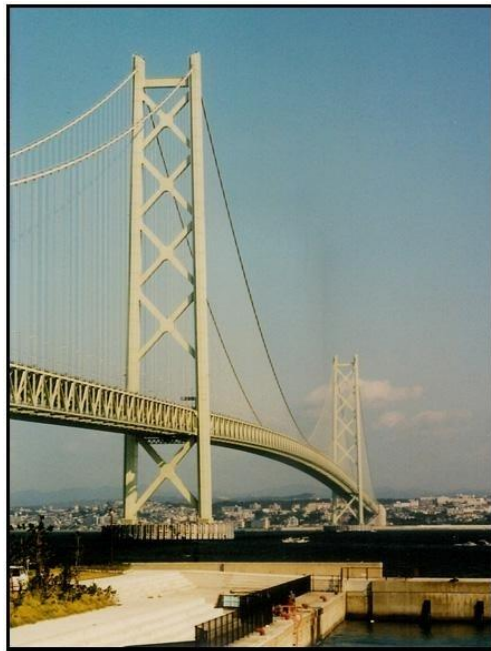
Κεφάλαιο Τέταρτο: Εφαρμογές ΑΣΣ

Α. Παγκοσμίως

Στο ήδη έχουμε αναφέρει οι βάσεις για το ΑΣΣ τέθηκαν στην Ιαπωνία και είναι απολύτως φυσικό τα πρώτα παραδείγματα και εφαρμογές να προέρχονται από εκεί.

A.1 : Akashi – Kaikyo

Το ΑΣΣ χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή των θεμελίων στην ιαπωνική κρεμαστή γέφυρα Akashi – Kaikyo (εικ. 23) όπου και αναμείχθηκε σε ένα αυτόνομο εργοτάξιο κοντά στην τοποθεσία της κατασκευής και αντλήθηκε δια μέσου συστήματος σωληνώσεων στα θεμέλια της γέφυρας από 200 μέτρα μακριά. Η έκχυση έγινε από ύψος 5 μέτρων χωρίς να σημειωθεί διαχωρισμός. Το μέγιστο μέγεθος των λεπτομερών για την συγκεκριμένη κατασκευή ήταν 50mm. Το ΑΣΣ μείωσε το χρόνο της κατασκευής των θεμελίων από 2.5 χρόνια σε 2 χρόνια



Εικόνα 23: Γέφυρα Akashi-Kaikyo (Απρίλιος 1998).

Ένα άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η κατασκευή δεξαμενών αποθήκευσης φυσικού αερίου στο υγρή μορφή τον Ιούνιο του 1998 από την Osaka Gas Company. Χρησιμοποιήθηκαν 12.000 m³ ΑΣΣ που είχε ως φυσικό επακόλουθο την μείωση του χρόνου κατασκευής (από 22 μήνες στο 18μήνες) και τον μειωμένο αριθμό εργατών σκυροδέματος (από 150 άτομα στο 50 άτομα).

Παρόμοια, μείγματα ΑΣΣ μπορούν να σχεδιαστούν και να τοποθετηθούν επιτυχώς στους φέροντες οργανισμούς με απλό ή σύνθετο οπλισμό. Τα μεγέθη των λεπτομερών σε

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

αυτές στο περιπτώσεις κυμαίνονται από 10mm μέχρι 20mm.

A.2 : Ritto Bridge, Japan.

Η γέφυρα Ritto (εικ 24) ανήκει στο New Meishin Expressway στην Ιαπωνία. Η υψηλότερη κολώνα στο φτάνει τα 65 μέτρα στο ύψος. (www.fhwa.dot.gov, n.d.)



Εικόνα 24: Ritto Bridge, Japan.

Για να επιτευχθεί η πρόβλεψη αντοχή στους έντονους σεισμούς της περιοχής, εγκαταστάθηκαν στην κατασκευή υψηλής ισχύος τσιμεντοκονίαμα και αυλακωτό ατσάλινο δίκτυο, των οποίων η συνολική θλιπτική ισχύς και αντοχή φτάνουν τα 50 Mpa και 685 Mpa αντίστοιχα. Λόγω στο αυξημένης πυκνότητας του οπλισμού επιλέχθηκε από τους μελετητές η χρήση του ΑΣΣ για να διατηρηθεί υψηλή εργασιμότητα ώστε να κατασκευαστούν ευκολότερα οι κολώνες.

Οι προϋποθέσεις που τέθηκαν για το ΑΣΣ από το JSCE 2 και την Japan Highway Public Corporation (JH) φαίνονται στο παρακάτω πίνακα(22)

Testing Items	Unit	Spec.
Fresh concrete		
Slump Flow	(mm)	600 or 650
Flow time until 500mm	(sec.)	3 to 15
U type filling capacity	(mm)	min.300
V type Funnel flow time	(sec.)	8 to 15
Air content	(%)	4.5
Chloride ion content	(kg/m ³)	max.0.3
Hardened concrete		
Compressive strength	Mpa	50

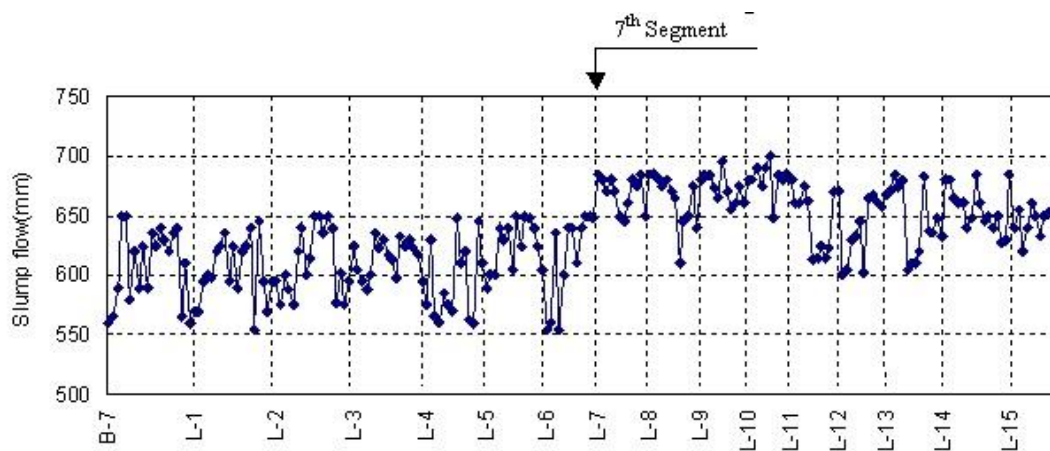
Πίνακας 22: Προϋποθέσεις ΑΣΣ για την γέφυρα Ritto

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Δοκιμαστικές μείξεις στο εργοστάσιο και στο εργοτάξιο ήρθαν σε πέρας και οι κατάλληλες αναλογίες του απαιτούμενου ΑΣΣ άρχισαν να αναπτύσσονται.

Ο επιθυμητός στόχος των μελετητών για την φυσική ροή του ΑΣΣ ήταν αρχικά 600mm με μέγιστη επιτρεπόμενη απόκλιση 50mm. Μετά το 7ο κομμάτι η τιμή της φυσικής ροής αναθεωρήθηκε στα 650mm γιατί η ρεολογική ικανότητα του σκυροδέματος στο στόμιο της σωλήνας της πρέσας μειωνόταν.

Το παρακάτω σχήμα (9) παρουσιάζει τα αποτελέσματα του ποιοτικού ελέγχου της φυσικής ροής. Παρατηρείται πως η τιμή της φυσικής ροής κυμαίνεται σταθερά ανάμεσα στις κατάλληλες κατά τον ποιοτικό έλεγχο τιμές.



Σχήμα 9: Αποτελέσματα ποιοτικού ελέγχου

A.3 : Higashi-Oozu Viaduct, Japan



Εικόνα 25: Προκατασκευασμένες Δοκοί ΑΣΣ

Προκατασκευασμένα, προεντεταμένα δοκάρια σε σχήμα Ταυ (εικόνα 25) χρησιμοποιήθηκαν ως μέρη του φέροντα οργανισμού της επιστυλίου γέφυρας.

Στην αρχή της κατασκευής, σχεδιάστηκε συμβατικό σκυρόδεμα με αδρανή της τάξης των 80mm. Όμως, το ΣΣ βρέθηκε να μην είναι ικανό να δημιουργήσει κατάλληλες επιφάνειες στις δοκούς λόγω των διαστάσεων τους καθώς και από την αναμενόμενη ηχορύπανση που επρόκειτο να δημιουργηθεί από τις απαιτούμενες δονήσεις. Κάτω από αυτές τις συνθήκες το ΑΣΣ επιλέχθηκε για την κατασκευή των δοκών. (www.fhwa.dot.gov, n.d.)

Ο παρακάτω πίνακας (23) δείχνει τα αποτελέσματα του ποιοτικού ελέγχου του

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ΑΣΣ. Οι ιδιότητες του ως φρέσκο σκυρόδεμα και η θλιπτική αντοχή του είναι σταθερά και πληρούν επιτυχώς στο προϋποθέσεις που έθεσαν οι μηχανικοί

	Fresh Concrete Test			Compressive Strength (Mpa)			
	Slump	V Type	Air Content	At Stripping	At the Age of 1 Day	7 Days	28 Days
	Flow (mm)	Funnel (sec.)	(%)				
Target value	650	12	2.0	30Mpa or more		50Mpa or more	
Number of Data	39	39	39	39	19	35	34
Mean Value	665	12.1	1.8	41.2	39.7	62.4	71.0
Maximum Value	695	14.0	2.5	54.2	44.5	69.5	80.5
Minimum Value	620	9.0	1.2	33.5	33.5	58.0	64.9
Standard Deviation	20	1.5	0.3	5.5	2.7	3.0	4.7

Πίνακας 23 : Αποτελέσματα Ποιοτικού ελέγχου στο ΑΣΣ του έργου

Για την σύνθεση του μείγματος επιλέχθηκε ΑΣΣ «τύπου – σκόνης» με ιπτάμενη τέφρα (20%) έχοντας ως γνώμονα τις απαιτούμενες ιδιότητες του σκυροδέματος, την τοποθεσία της γέφυρας και τον οικονομικό προϋπολογισμό του έργου. Ο παρακάτω πίνακας (24) δείχνει τις αναλογίες του μείγματος.

W/B (%)	F/B (%)	Unit weight (kg/m ³)					SP (B*%)
		Water	Binder		Fine Aggregate	Coarse Aggregate	
			Cement	Fly Ash			
30.5	20	175	457	118	840	744	1.0

Πίνακας 24: Αναλογίες μείγματος που χρησιμοποιήθηκε στο έργο.

Ο επόμενος πίνακας (25) δείχνει την σύγκριση κοστών μεταξύ ΑΣΣ και ΣΣ για το έργο. Οι δαπάνες για τα υλικά αυξάνονται κατά 4%, το εργατικό κατά 33% και το συνολικό κόστος μειώνεται κατά 7%.

Αυτή η οικονομική διαφορά είναι ένας από τους κύριους λόγους που καθιστά ικανή την αγορά χαμηλού κόστους ιπτάμενης τέφρας που εμπλουτίζει την ρεολογική ικανότητα του ΑΣΣ και διευκολύνει την κατασκευή του στο εργοστάσιο προεντεταμένου σκυροδέματος.

Οι δαπάνες για τα δοκιμαστικά μείγματα και την κατασκευή τους δεν περιλαμβάνεται στο κόστος του ΑΣΣ.

	ΣΣ	ΑΣΣ
Υλικά	100	104,1
Εργασία	100	67,2
Σύνολο	100	92,5

Πίνακας 25: Στο κόστους με συμβατικό σκυρόδεμα

A.4 : The Sodra Lanken Project, Σουηδία



Εικόνα 26: Τούνελ στο Sodra Lanken

Το Sodra Lanken Project (SL) είναι από τα μεγαλύτερα έργα υποδομής στην Σουηδία. Το συνολικό κόστος κατασκευής του SL υπολογίζεται γύρω στα 800 εκατομμύρια δολάρια και οι εργασίες για την ολοκλήρωσή του διήρκησαν έξι χρόνια (1998-2004). Το SL προσφέρει μια περιφερειακή οδό εξήντα χιλιομέτρων που συνδέει τα

ανατολικά και δυτικά προάστια στο Στοκχόλμη. Στο έργο αυτό περιλαμβάνονται επτά κύριες διασταυρώσεις, με γέφυρες, τοίχους γαιο-υποστήριξης και σήραγγες. Το συνολικό μήκος των σηράγγων είναι 16.6 χιλιόμετρα, τα οποία είναι κατασκευασμένα με σκυρόδεμα του οποίου ο όγκος φτάνει τα 225.000 κυβικά μέτρα εκ των οποίων τα δύο τρίτα είναι ΑΣΣ.

Η χρήση του ΑΣΣ στο έργο έλυσε προβλήματα πρόσβασης δόνησης σε σημαντικά δομικά μέρη και βελτίωσε την εμφάνιση του έργου γενικά. Το ΑΣΣ χρησιμοποιήθηκε κυρίως στις συνδέσεις των κατασκευών που η πυκνότητα του οπλισμού όριζε απρόσιτες τις συσκευές δόνησης. Η λεία και καλαίσθητη επιφάνεια που δημιουργεί το ΑΣΣ ήταν η πρόφαση για την χρήση του ως υλικό δομικό και ταυτόχρονα διακοσμητικό σε διάφορα μέρη του έργου όπως, στις υπόγειες εγκαταστάσεις, στις επικαλύψεις στήριξης των λίθων, στις επικαλύψεις των λίθινων εισόδων σηράγγων, στους τοίχους στήριξης με αρνητική κλίση και στις δομές αντιστήριξης. (www.fhwa.dot.gov, n.d.)

- **Επικαλύψεις στήριξης των λίθων με ΑΣΣ** : Σε ένα σημείο του έργου, δύο παράλληλες σήραγγες δεν είχαν πλήρες λίθινο στρώμα σε τομέα περίπου 20 μέτρων. Έτσι, ο μόνος τρόπος σταθεροποίησης των σηράγγων ήταν με τόξα σκυροδέματος.



Εικόνα 27 Εσκαμμένο Τούνελ πριν την σκυροδέτηση

Ο στόχος των μηχανικών ήταν μια ισχυρή, σταθερή κατασκευή, με αντοχή στις πιέσεις γης και νερού καθώς και με αρκετή ανθεκτικότητα. Αμέσως αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί το ΑΣΣ ως υλικό δόμησης για τα δύο τόξα. Αυτή η επιλογή έγινε λόγω της περίπλοκης δομής της κατασκευής, της απαιτούμενης υψηλής αντοχής και της ανισότητας των λίθινων επιφανειών. Επιπροσθέτως, τα καλούπια της κατασκευής θα ήταν κλειστά στο πάνω μέρος και σφραγισμένα στο πλάι και από κάτω αφαιρώντας την πρόσβαση των εργατών στο φρέσκο σκυρόδεμα για την δόνησή του.

Το σκυρόδεμα αντλήθηκε στα καλούπια δια βαλβίδων που είχαν ήδη εγκατασταθεί στα τοιχώματα των καλουπιών και αφού τελείωνε η εφαρμογή του σκυροδέματος οι τρύπες των αντλιών σφραγίζονταν με ατσάλινα φύλλα.

Το βασικότερο και σημαντικότερο επίτευγμα αυτής της πρακτικής ήταν η καλή ομοιογένεια του υλικού και η δυνατή επαφή του με την άνω λίθινη επιφάνεια. Αυτή η επαφή θα ήταν αδύνατο να επιτευχθεί μέσω των συμβατικών μεθόδων άντλησης και δόνησης του σκυροδέματος, χρησιμοποιώντας δηλαδή ανοίγματα στα καλούπια που ύστερα θα κλείνονταν σύμφωνα με την πρόοδο της εφαρμογής.

▪ Τμήματα Τοίχου

Τα τμήματα τοίχου ανάμεσα των τόξων είχαν 5 μέτρα ύψος , 9 με 16 μέτρα μήκος και 0.8 μέτρα πάχος. Για τους τοίχους αντλήθηκε σκυρόδεμα σε συγκεκριμένα σημεία (που είχαν 1.5 μέτρο απόσταση από τα αετώματα των τόξων συν δύο σημείων συμμετρικά βαλμένων για τους μακρύτερους τοίχους) που μέσω ατσάλινων σωλήνων διαμέτρου 5 ιντσών έρχονταν από μία κινητή μονάδα άντλησης σκυροδέματος. Ακριβώς κάτω από τα καλούπια, η ατσάλινη σωλήνα χωριζόταν από μια βαλβίδα τύπου Y σε 2 λάστιχα διαμέτρου 4 ιντσών.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Το κάθε ένα τελείωνε περίπου μισό μέτρο πάνω από το καλούπι σε μια μικρή ένωση. Σε αυτήν την ένωση εγκαταστάθηκε ακόμα ένα λάστιχο από μαλακότερο πλαστικό, πάλι διαμέτρου 4 ιντσών. Το μήκος του μαλακότερου λάστιχου ρυθμιζόταν σύμφωνα με την πρόοδο της άντλησης του σκυροδέματος, έτσι η απόσταση της ρίψης του σκυροδέματος κυμαίνονταν σταθερά από 0,7 έως 1,5 μέτρα ανάλογα τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

Ο χρόνος εφαρμογής για το τμήμα αυτό ήταν 5 ώρες, δηλαδή ένα μέτρο ύψους την ώρα. Αυτός ο σχετικά αργός ρυθμός επιλέχθηκε ώστε το σκυρόδεμα να αναπτυχθεί σε θιξοτροπική κατασκευή, μειώνοντας έτσι την ίδια υδροστατική του πίεση στα 15-18 kPa περίπου.

Κατά την εφαρμογή του ΑΣΣ στους τοίχους, μόνο στα σημεία που ενώνονταν οι ροές του σκυροδέματος απαιτήθηκε χειροκίνητη δόνηση και μόνο όταν περισσότερα από 30 λεπτά είχαν περάσει από την εφαρμογή των επιστρώσεων.

▪ Ποιοτικός Έλεγχος του Σκυροδέματος

Σε όλα τα φορτία νωπού σκυροδέματος του κατέφθαναν στο εργοτάξιο ελέγχονταν η τελική τους εξάπλωση και σε κάθε έκτο φορτίο ελέγχονταν η θερμοκρασία του. Στα πρώτα τρία και ύστερα σε κάθε έκτο φορτίο ελέγχονταν και η περιεκτικότητά τους σε αέρα.

Η σύνθεση του σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε είναι η ακόλουθη:

1. Τσιμέντο - χαμηλό σε αλκάλια, με αντοχή στις θετικές ενώσεις, χαμηλής αντοχής σε θερμοκρασίες: 440 kg/m³.
2. Ασβεστολιθική σκόνη: 0-250 μm: 160 kg/m³.
3. Φυσικά στρογγυλεμένα αδρανή: 0 – 8 mm: 880 kg/m³.
4. Θραυστά αδρανή: 8 – 26 mm: 720 kg/m³
5. Λόγος Νερού – Τσιμέντου: 0,38 (+/- 0,01)
6. Αντοχή κύβου 28 ημερών: 70 – 80 MPa
7. Κύμανση Τελικής εξάπλωσης από 720 mm έως 770 mm με στοχευόμενη τιμή τα 740 mm.
8. Η περιεκτικότητα σε αέρα περιορίστηκε ανάμεσα στο 4 – 7%.

Στην αρχή της κατασκευής, η τελική εξάπλωση των φορτίων είχε την τάση να ποικίλει ανάμεσα σε δείγματα της ίδιας παρτίδας και οι τιμές της τελικής εξάπλωσης έφταναν τα 500 mm πολύ λιγότερο από το απαιτούμενο στόχο των 470 mm. Η επεξήγηση της γρήγορης αυτής μείωσης στην τελική εξάπλωση εκείνων των μειγμάτων βρέθηκε σε μία μικρή ανισορροπία του σχεδιασμού του σκυροδέματος των αρχικών

φορτίων.

Έτσι, εφαρμόζοντας στα φορτία ένα ισχυρό υπερρευστοποιητή (Glenium 51) διορθώθηκαν οι τιμές της τελικής εξάπλωσης τους. Χρησιμοποιώντας μόνο μισό λίτρο Glenium 51 ανά κυβικό μέτρο η εξάπλωση των δειγμάτων ανέβηκε κατά 200 mm. Ύστερα, και ανάλογα το φορτίο, αν μια εφαρμογή Glenium 51 δεν ήταν αρκετή, μια δεύτερη θα αρκούσε για να διαμορφώσει το μείγμα. Κατά μέσο όρο, το 30% των αρχικών φορτίων χρειάστηκαν διόρθωση.

Για να επιτευχθεί συνεχής ροή κατά την εφαρμογή του σκυροδέματος στους ξυλότυπους, 2 βυτιοφόρα ανάδευσης στοιχήθηκαν το ένα δίπλα στο άλλο ώστε να ξεφορτώσουν το ΑΣΣ στην κατασκευή όπως φαίνετε στο παρακάτω σχήμα. Ένα πλεονέκτημα αυτής της τοποθέτησης των φορτηγών ήταν η εργονομία, που επέτρεπε σε ύστερα ερχόμενο όχημα να ξεφορτώσει περίπου 300 λίτρα σκυροδέματος στην ήδη υπάρχουσα ροή του προηγούμενου οχήματος, του οποίου το φορτίο είχε ήδη εγκριθεί. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα του φορτίου μπορούσε να ελεγχθεί χωρείς να αποτελέσει σημαντική επιρροή στο ήδη αντλούμενο σκυρόδεμα. Επίσης, υπέρ της διαρρύθμισης αυτής, ήταν ο έλεγχος και η ρύθμιση της ροής άντλησης του σκυροδέματος στην κατασκευή, με την επιλογή, δηλαδή, τερματίζοντας ένα όχημα την εκκένωση του φορτίου του το επόμενο μπορούσε να ξεκινήσει αμέσως.

▪ Τοξωτοί Τομείς

Το δεύτερο και πιο δύσκολο κομμάτι του έργου ήταν η κατασκευή των έξι τοξωτών τομέων. Κάθε τομέας ήταν 8 με 9 μέτρα μακρύς με διάμετρο 12 μέτρων. Ο μόνος ασφαλής τρόπος να γεμισθεί πλήρως το κενό μεταξύ του ξυλότυπου και του άνω φυσικού πέτρινου τοίχου ήταν να αντληθεί το ΑΣΣ στον ξυλότυπο διάμεσο βαλβίδων ή σωλήνων. Για αυτό το έργο επιλέχθηκαν οι βαλβίδες.

Η διαδικασία του ποιοτικού έλεγχου ήταν κατά βάση παρόμοια με αυτή των τοίχων. Η απαιτούμενη τιμή της τελικής εξάπλωσης για τους τοξωτούς τομείς ήταν 750 mm.

Έξι βαλβίδες τοποθετήθηκαν στο σώμα του ξυλότυπου όπως φαίνεται στο σχήμα. Τέσσερις τοποθετήθηκαν ένα μέτρο πάνω από το κάτω μέρος του ξυλότυπου και δύο στο πάνω μέρος, στις ίδιες αποστάσεις μεταξύ τους. Το σύστημα άντλησης ήταν ίδιο με αυτό των τοίχων, χρησιμοποιώντας πάλι ατσάλινη σωλήνα με διάμετρο 5 ιντσών που συνδέονταν με δύο λάστιχα διαμέτρου 4 ιντσών.

Στην αρχή κάθε εφαρμογής, το ΑΣΣ αντλούταν ταυτόχρονα σε δύο από τις κάτω βαλβίδες για σαράντα λεπτά. Ύστερα, χειροκίνητα αλλάζονταν τα λάστιχα στις άλλες

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

δύο κάτω βαλβίδες για ακόμα 40 λεπτά. Σε αυτό το σημείο ξαναγινόταν η αλλαγή και μετά πάλι το ίδιο. Όταν το επίπεδο του σκυροδέματος έφτανε το 1,5 μέτρο και στις δύο πλευρές του ξυλότυπου, η άντληση γίνονταν από τις πάνω βαλβίδες.

Στα τελικά στάδια της άντλησης δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στις παραμορφώσεις του ξυλότυπου, καθώς η υδροστατική πίεση του γεμάτου καλουπιού είχε ως αποτέλεσμα την διαρροή σκυροδέματος σε διάφορα σημεία. Η κατασκευή διακόπηκε σε αυτό το σημείο και αποφασίστηκε να μειωθεί ο ρυθμός της άντλησης στα 16 κυβικά μέτρα την ώρα.

Παρατηρήσεις

Τα αποτελέσματα, όσο αφορά την ομοιομορφία των επιφανειών και το πορώδες της κατασκευής ήταν εντυπωσιακά όσο για τους τοίχους τόσο για τους τοξωτούς τομείς. Για παράδειγμα, μια εξαιρετικά όμορφη αποτύπωση του ξύλου παρατηρήθηκε στην επιφάνεια των τοίχων και των τόξων. Σε σύγκρισή με άλλες συμβατικές μεθόδους που εφαρμόστηκαν σε άλλα σημεία του ίδιου έργου η ομογένεια, η ποιότητα και η αντοχή αυτών του κατασκευάστηκαν με ΑΣΣ ήταν σαφώς ανώτερη.

A.5 : Burj Dubai, Dubai.



Εικόνα 28: Burj Dubai, Dubai.

Το Burj Dubai (εικ 28), αντιπροσωπεύει την αρχιτεκτονική δημιουργικότητα στα υπέρ υψηλά κτήρια.

Κατά την κατασκευή του σημειώθηκαν πολλά επιτεύγματα σε διάφορους τομείς εκ των οποίων είναι και η τεχνολογία παραγωγής σκυροδέματος.

Κατά τη διάρκεια του έργου συντέθηκαν διάφορα σκυροδέματα που

χρησιμοποιήθηκαν σε διαφορετικά σημεία της κατασκευής. Εκτός των θεμελίων, για τον πύργο, την βάση και τα παραρτήματα των γραφείων χρησιμοποιήθηκαν 23000 m³ σκυροδέματος.

Οι συνθέσεις των μειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στο κτήριο είχαν ως βάση τσιμέντο τύπου Portland, πυριτικές παιπάλες και ιπτάμενη τέφρα. Η διαφορετικότητα των μειγμάτων είχε ως αποτέλεσμα, την ποικιλία σε πυκνότητα και την επιλογή της απαιτούμενης αντοχής (τσιμέντα C50 χρησιμοποιήθηκαν στις πλάκες και C60 έως C80 στον φέροντα οργανισμό). Έτσι το κτήριο απέκτησε την απαιτούμενη ακαμψία, σκληρότητα και αντοχή στη θλίψη λόγω υψηλών φορτίων.

Στην πορεία της κατασκευής, καθώς το ύψος του κτηρίου αυξανόταν, ήταν απαραίτητο να παραχθεί σκυρόδεμα με υψηλές ρεολογικές ικανότητες ώστε να ήταν δυνατή η άντλησή του σε μεγάλο ύψος.

Τον Νοέμβριο του 2007, σημειώνοντας παγκόσμιο ρεκόρ, αντλήθηκε σκυρόδεμα σε ύψος 601m. Ένα ακόμα σημαντικό πρόβλημα στην εφαρμογή του σκυροδέματος ήταν η θερμοκρασία της περιοχής. Μέσα από τον σωστό σχεδιασμό και την πρόβλεψη των μηχανικών, αποφασίστηκε πως οι αντλήσεις θα γίνονται το βράδυ, βελτιώνοντας έτσι τις συνθήκες εργασίας και ταυτόχρονα θέτοντας τις κατάλληλες συνθήκες για την σκλήρυνση του σκυροδέματος. (www.burjkhalifa.ae, n.d.)

A.6 : Πύργος ελέγχου του αεροδρομίου στο Στοκχόλμη, Σουηδία.



Ο πύργος σχεδιάστηκε από τους Wingardh Arkitektkontor AB. Το συνολικό του ύψος φθάνει τα 83 m. Η κατασκευή του πυλώνα αποτελείται από 2 στελέχη που διαφέρουν σε ύψος και διάμετρο. Αυτή η συγκεκριμένη διαφορά τους τονίζεται και από το διαφορετικό χρώμα των στελεχών. Οι δύο όροφοι του πύργου είναι εκκεντρικά κυκλικά κτίσματα σε διαφορετικά επίπεδα και οι προσόψεις τους είναι διακοσμημένες με τμήματα κωνικών κατασκευών. Ο πύργος ολοκληρώθηκε το 2001 και έκτοτε αποτελεί σύμβολο της πόλης.

Εικόνα 29: Όψη του πύργου ελέγχου

Κατά την διάρκεια της κατασκευής, ο ξυλότυπος ανελκύνταν στο εσωτερικό του με γερανό και εξωτερικά με μηχανική υποστήριξη. Το ΑΣΣ χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή για να επιτευχθεί η ταχύτητα σκυρόδεσης ενός τυπικού ύψους ορόφου μέσα σε 4 μέρες συντονισμένης ανάβασης του ξυλότυπου και για να εξασφαλισθεί η υψηλής ποιότητας τοποθέτηση χωρίς δόνηση. Η σημαντική μείωση του ήχου, έκανε την άντληση του σκυροδέματος εφικτή ακόμα και στην νυχτερινή βάρδια, μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο κατασκευής.

A.7 : Εθνικό Μουσείο Τεχνών του 21ου Αιώνα (MAXXI), Ρώμη, Ιταλία.



Εικόνα 30 : Όψη του μουσείου

Το ονομαζόμενο MAXXI (εικ. 30) σχεδιάστηκε από την Zaha Hadid. Εκείνη ήταν που το 1998 κέρδισε τον διεθνή διαγωνισμό και επιλέχθηκε ανάμεσα από 273 υποψήφιους για να πραγματώσει το έργο. (www.maxxi.parc.beniculturali.it, n.d.)

Η συνολική κάλυψη του μουσείου είναι 30.000m². Βρίσκεται στο Flaminio District, πάνω σε γη που παλαιότερα ήταν ένα εργοστάσιο αυτοκινήτων και στρατώνες κτισμένα τον 19ο αιώνα.

Το κτίριο χαρακτηρίζεται από τους δαιδαλώδες εκθεσιακούς χώρους του, που

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

δημιουργούνται από τοίχους οπλισμένου σκυροδέματος με γυάλινη οροφή.

Συγκεκριμένα οι κατασκευές αυτές μοιάζουν πιο πολύ με γέφυρες που πλέκονται μεταξύ τους. Στους περίπλοκούς αυτούς χώρους, η κατασκευή στηρίζεται πάνω από μεγάλα κενά με δοκούς και κολώνες χωρίς συμμετρική συνοχή. Το κάθε μέρος αποτελείται από τοίχους και πλάκες δομημένες με οπλισμένο σκυρόδεμα και γυάλινη οροφή που στηρίζεται σε ασάλινους φορείς. Οι τοίχοι, αφού θα ήταν ορατοί, έπρεπε να έχουν τέλεια υφή, λεία χωρίς ατέλειες. Για να τηρηθούν όλες αυτές οι προαπαιτήσεις, στατικές και αισθητικές, επιλέχθηκε ως δομικό υλικό το ΑΣΣ.

Το μείγμα κατασκευάστηκε στο εργοτάξιο και το σκυρόδεμα αντλήθηκε δια μέσω πυκνών οπλισμών σε ξυλότυπους που έφταναν τα 70m σε μήκος και 9m σε ύψος. Η σκυροδέτηση των μελών κράτησε μέχρι και 18 ώρες στα πιο σύνθετα σημεία. Για να αποφευχθεί ο διαχωρισμός, το ύψος από το οποίο έπεφτε το σκυρόδεμα περιορίστηκε στα 15cm. Με την χρήση ασβεστόλιθου και εποξειδικών ρητινών κατάφεραν να δημιουργήσουν απόλυτα λεία τελική επιφάνεια στους τοίχους.

Για να μην αναπτυχθεί υψηλή θερμοκρασία στο φρέσκο σκυρόδεμα και επηρεάσει την τελική μορφή των επιφανειών, αποφασίστηκε ότι, η σκυροδέτηση θα γινόταν μόνο όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ήταν κάτω από τους 25°C, δηλαδή από τον Νοέμβριο έως τον Απρίλιο.

A.8 : Usce Shopping Centre, Βελιγράδι, Σερβία.

Το εμπορικό κέντρο Usce σχεδιάστηκε από μια εταιρία από το Βελιγράδι την “ARCVS” και από την Ιταλική “Chapman Taylor”, της οποίας ο αρχιτέκτονας Gerardo Sanella σχεδίασε το εσωτερικό, την διακόσμηση και την πρόσοψη του κτηρίου. (εικ.31)



Εικόνα 31 Όψη του εμπορικού κέντρου

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Το κτίσμα κατασκευάζονταν από 5000 άτομα από τα μέσα του 2007 μέχρι και την στιγμή που άνοιξε το 2009. Στα εγκαίνια του, την 31 Μαρτίου του 2009, το Βελιγράδι απέκτησε το μεγαλύτερο εμπορικό κέντρο στην χώρα με συνολικό εμβαδόν 300.000 m².

Από πλευράς κατασκευής. Σκυρόδεμα τύπου MB40 επιλέχθηκε για τα θεμέλια, τις πλάκες τις κολώνες κλπ.. Για να επιταχυνθεί όμως η κατασκευή και για να δοθεί καλύτερη υφή στην εμφανή τοιχοποιία, πριν την εκκίνηση της κατασκευής, αποφασίστηκε ότι σε ορισμένα σημεία στατικού και αισθητικού ενδιαφέροντος θα εφαρμόζονταν ΑΣΣ. (Okrajnov-Bajić and Vasović, 2009)

Οι περιφερικοί τοίχοι των υπόγειων τμημάτων, οι κολώνες τους και η πλάκα πάνω από τα θεμέλια κατασκευάστηκαν με ΑΣΣ. Για τους τοίχους και την πλάκα, η ρεολογική ικανότητα των μειγμάτων ήταν τάξης SF=3 (SF= 850mm) και το στέρεο σκυρόδεμα ήταν MB40. Στις κολώνες εφαρμόστηκε ΑΣΣ με ρεολογική ικανότητα SF= 900mm και το στέρεο σκυρόδεμα ήταν της τάξης MB60. Η πλάκα είχε πάχος 30cm και παρείχε πλήρης υγρομόνωση στην κατασκευή.

Αυτές είναι μερικές από τις πιο σύγχρονες εφαρμογές του ΑΣΣ σε κατασκευές. Φαίνεται ότι λόγω της ιδιότητας του να πληροί στατικές και αισθητικές προϋποθέσεις, διευκολύνοντας τους μηχανικούς να σκυροδετήσουν σε ποικίλες συνθήκες είτε είναι χρονικές, θερμοκρασιακές ή στατικές και δίνοντας την ευκολία σχεδίασης σύνθετων κατασκευών σε αρχιτέκτονες χαίρει παγκόσμιας αναγνωσιμότητας και ανάπτυξης στην τεχνολογία και την χρήση του.

B. : Στην Ελλάδα

Σε ελληνικό επίπεδο η χρήση του ΑΣΣ είναι πολύ περιορισμένη.

Οι εταιρίες INTERMPIETON, LAFARGE και ET MPIETON έχουν παρασκευάσει ΑΣΣ διαφορετικών κατηγοριών αντοχής, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί σε αρκετά ειδικά τεχνικά έργα ανά τον ελλαδικό χώρο (καταστρώματα γεφυρών, κοιτοστρώσεις, επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος κλπ.).

Η εταιρία έτοιμου σκυροδέματος ΤΕΚΤΩΝ ΑΕ που δραστηριοποιείται στην περιοχή της Θράκης, επίσης διαθέτει στην αγορά ΑΣΣ κατηγοριών αντοχής C25/30 και C30/37, ενώ μέχρι το 2009, μόνο μια εταιρία προκατασκευής έχει εισάγει το ΑΣΣ στη γραμμή παραγωγής της. Πάντως διαφαίνεται μια ελαφριά αυξητική τάση για το ενδιαφέρον παραγωγής και διάθεσης του ΑΣΣ, κυρίως από εταιρίες που δραστηριοποιούνται στον χώρο της προκατασκευής.

Επί του παρόντος, όπως σημειώνεται και παραπάνω, το ΑΣΣ έχει χρησιμοποιηθεί

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

σε περιορισμένο αριθμό ελληνικών τεχνικών έργων(ιδιωτικά και έργα υποδομής). Δοκιμαστικά αναμίγματα και σκυροδετήσεις είχαν λάβει χώρα στο εργοτάξιο της ζεύξης Ρίου- Αντιρρίου στα πλαίσια διερεύνησης της πιθανότητας χρήσης του στο μεγάλο αυτό τεχνικό έργο, με ένα όμως μόνο στοιχείο, να έχει τελικά συμπεριληφθεί στα μόνιμα μέρη του (ιδιωτική επικοινωνία με υπεύθυνο του έργου).

Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν κατασκευή βιομηχανικών δαπέδων, δωμάτων θεμελίων και ενισχύσεων υπό τη μορφή έγχυτων μανδύων σε υποστυλώματα.

Η παραγωγή έτοιμου ελληνικού ΑΣΣ από μεγάλες εταιρίες του χώρου είναι πραγματικότητα τα τελευταία έτη. Ωστόσο η χρήση του σε ιδιωτικά έργα έχει τύχει διστακτικής μάλλον αποδοχής από την εντόπια αγορά, με την κατάσταση να αλλάζει σταδιακά σε δημόσια έργα υποδομής (π.χ. μετρό Θεσσαλονίκης).

Στον τομέα των ιδιωτικών έργων αυτή η «χλιαρή» αποδοχή του ΑΣΣ από τον κατασκευαστικό κόσμο (τόσο στον ελληνικό χώρο όσο και διεθνώς), δύναται να αποδοθεί σε διάφορους παράγοντες, όπως η ελλιπής ενημέρωση μηχανικών και αγοραστικού κοινού, επενδυτική επιφυλακτικότητα από πλευράς εταιρειών (λόγω έλλειψης ικανού αριθμού πρότερων και δη επιτυχημένων εφαρμογών), υψηλό πρωτογενές κόστος υλικού, αυξημένες απαιτήσεις ποιοτικού ελέγχου, αδυναμία παραγωγής σθεναρών συνθέσεων, προσκόλληση στις παραδοσιακές πρακτικές και αντίδραση από το εργατοτεχνικό δυναμικό.

Στην Ελλάδα υπάρχει ένας ικανός αριθμός ειδικευμένου επιστημονικού προσωπικού τόσο στις τσιμεντοπαραγωγούς βιομηχανίες, όσο και στα εργαστήρια σκυροδέματος των μεγάλων εταιρειών και κοινοπραξιών, το οποίο παρακολουθεί στενά τις εξελίξεις στον τομέα της τεχνολογίας ΑΣΣ και συμμετέχει σε σχετικά ερευνητικά προγράμματα.

Σε ακαδημαϊκό επίπεδο, τα τελευταία χρόνια βρίσκονται σε εξέλιξη ερευνητικά προγράμματα, ενώ έχουν ολοκληρωθεί πλείστες μελέτες με σκοπό την ανάπτυξη συνθέσεων ΑΣΣ με εγχώρια υλικά. Επιπλέον, η διδασκαλία στοιχείων τεχνολογίας ΑΣΣ έχει ήδη εισαχθεί σε ελληνικά ΑΕΙ .

Στο Εργαστήριο μηχανικής και Τεχνολογίας Υλικών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του πανεπιστημίου Πάτρας, έχουν ολοκληρωθεί επιτυχώς έρευνες σχετικά με την παραγωγή ΑΣΣ από υλικά του Νομού Αχαΐας, Αττικής και Τρικάλων και έχουν διεξαχθεί δοκιμές κάμψης σε δοκούς από οπλισμένο ΑΣΣ (το ΑΣΣ επιλέγεται να πληρώνει ένα μεγάλο ποσοστό των δοκιμών οπλισμένου σκυροδέματος που κατασκευάζονται στο Εργαστήριο Μηχανικής και Τεχνολογίας Υλικών).

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Κύριο αντικείμενο των ερευνών αυτών ήταν (και εξακολουθεί να είναι) η παραγωγή προκατασκευασμένων δομικών στοιχείων ΑΣΣ. Βασιζόμενοι στα προαναφερθέντα αποτελέσματα, τα οποία, τα οποία είναι εξαιρετικά ενθαρρυντικά για την περίπτωση της προκατασκευής, πρέπει να τονιστεί ότι η ελληνική βιομηχανία προκατασκευής οφείλει να εξετάσει το ενδεχόμενο εφαρμογής της τεχνολογίας ΑΣΣ, εάν στόχος της είναι η ανταγωνιστικότητα των προϊόντων της.

Τέλος, σε εξέλιξη βρίσκονται πειραματικά προγράμματα που περιλαμβάνουν δοκιμές άμεσης διάτμησης σε διεπιφάνειες συμβατικού σκυροδέματος-ΑΣΣ (με παραμέτρους το επίπεδο πλευρικής θλιπτικής τάσης κάθετα στο επίπεδο της διάτμησης, τα χαρακτηριστικά εργασιμότητας του ΑΣΣ και την τραχύτητα της διεπιφάνειας), καθώς και δοκιμές αποτίμησης των μηχανικών ιδιοτήτων αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων.

Παρόλα αυτά τα θετικά στοιχεία, είναι γεγονός ότι το ΑΣΣ στη χώρα μας συνεχίζει να αντιμετωπίζεται με δυσπιστία. Με αποτέλεσμα να μην έχει αφομοιωθεί από την αγορά. Το αυξημένο κόστος παραγωγής και η αναγκαιότητα ύπαρξης εξειδικευμένων οργάνων, αλλά και της απαίτησης εργαστηρίου για τον έλεγχο της ποιότητας του υλικού διαφοροποιεί κατά πολύ την υφιστάμενη κατάσταση στην παραγωγική διαδικασία, την οποία αντιλαμβάνονται οι Έλληνες μηχανικοί. Ωστόσο, μάλλον το σημαντικότερο πρόβλημα για την ανάπτυξη και εφαρμογή του ΑΣΣ στην Ελλάδα αφορά στην αδυναμία των συμμετεχόντων στον κύκλο κατασκευής ενός τεχνικού έργου (μηχανικός - εταιρεία έτοιμου σκυροδέματος- εργολάβος- επιβλέπων χρήστης) να μεταβάλλουν κάποιες παραδοσιακές και παγιωμένες αντιλήψεις (επαναπροσδιορισμός του όρου «ποιότητα») και να θέσουν σε εφαρμογή σχετικά καινοφανείς πρακτικές. (ΣΙΔΕΡΗΣ, 2009)

Λεξιλόγιο

A

Αδρανή

Αειφόρος κατασκευή

Ακουστική

Ανακυκλωμένα και τεχνητά αδρανή

Αντλία γεωθερμικής θερμότητας

Αποκατάσταση

Αρμός

Άσβεστος

Ασφαλτούχο σκυρόδεμα

Αυτοεπιπεδούμενο σκυρόδεμα

Γ

Γυψοσανίδα

Γύψος

Δ

Διαχωριστικό τοίχωμα

Διοξείδιο του άνθρακα

Ε

Ένεμα

Εξέλαση

Επιβραδυντής φωτιάς

Θ

Θεμέλιο

Ι

Ινοπλισμένο σκυρόδεμα

Ινοπλισμένο σκυρόδεμα υπερυψηλής αντοχής

Ιπτάμενη τέφρα

Κ

Κλίνκερ

Κονίαμα

Μ

Μίγμα πρώτων υλών

Μονάδα παραγωγής σκυροδέματος

Ξ

Ξυλότυπος Forms

Ο

Ολκιμότητα

Οπλισμένο σκυρόδεμα

Π

Πληρωτικό υλικό

Ποζολάνη

Προεντεταμένο σκυρόδεμα

Προκατασκευασμένο σκυρόδεμα

Πρωτόκολλο του Κιότο

Πρόσθετα

Πρόσθετα Συνδετικά Υλικά

Πόρτλαντ

Σ

Σκυρόδεμα

Σκωρία

Σκόνη πυριτίου

Σοβάς

Συμπαγές πέτρωμα

Συνθετικός γύψος

Σφράγιση

Τ

Τσιμέντο

Τσιμεντοκονία

Υ

Υδραυλικότητα

Υπερπλαστικοποιητής

Φ

Φυσικός γύψος

Χ

Χαλίκι

Χαλαρό πέτρωμα

A

Αδρανή

Τα αδρανή είναι μικρά θραύσματα πετρωμάτων (0,08 έως 80 mm) ορυκτής προέλευσης. Τα αδρανή διατίθενται σε διάφορους τύπους: θαλάσσιας, ποτάμιας και χερσαίας προέλευσης. Μπορεί να είναι άμμος, σκύρα ή χαλίκι. Τα αδρανή, αναμεμιγμένα με νερό και τσιμέντο, είναι αναγκαία για την παραγωγή σκυροδέματος.

Αειφόρος κατασκευή

Η αειφόρος κατασκευή αποσκοπεί στον περιορισμό των επιπτώσεων των κτιρίων στο περιβάλλον, βελτιώνοντας ταυτόχρονα την ποιότητα ως προς την αισθητική, τη βιωσιμότητα, τη διάρκεια και την αντοχή. Οι τεχνικές αειφόρου κατασκευής έχουν εφαρμογή σε όλη τη διάρκεια ζωής του κτιρίου, από την επιλογή των αρχικών υλικών μέχρι την κατεδάφιση και την ανακύκλωση των υλικών του.

Αειφόρος κατασκευή σημαίνει ειδικότερα:

- ✓ τη χρήση ανακυκλώσιμων υλικών για τη διατήρηση των φυσικών πόρων,
- ✓ την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σχεδιασμό του κτιρίου,
- ✓ τη βελτιστοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ακουστική

Η επιστήμη του ήχου, η οποία ασχολείται με την παραγωγή, τη διάδοση και την ακουστική αντιληπτικότητα του. Κατ' επέκταση, ο όρος αναφέρεται στις τεχνικές που αποσκοπούν στη βελτίωση της ποιότητας διάχυσης του ήχου στα κτίρια και σε άλλες δομές. Η γύψος έχει αξιόλογες ιδιότητες ακουστικής.

Ανακυκλωμένα και τεχνητά αδρανή

Αυτά τα υλικά λαμβάνονται κατά την κατεδάφιση κτιρίων και οδών ή ως υποπροϊόντα βιομηχανικών διεργασιών. Η χρήση τους μειώνει την κατανάλωση μη ανανεώσιμων, φυσικών υλικών.

Αντλία γεωθερμικής θερμότητας

Η αντλία γεωθερμικής θερμότητας αξιοποιεί τη φυσική θερμότητα του υπεδάφους για τη θέρμανση υπέργειων χώρων, παρόλο που σύμφωνα με τις αρχές της θερμοδυναμικής θα έπρεπε αυτή η θερμότητα να διαχέεται προς τα ψυχρότερα στοιχεία, όταν έρχεται σε επαφή με αυτά.

Αποκατάσταση

Στον κατασκευαστικό κλάδο, ο όρος αποκατάσταση αναφέρεται στην ανακαίνιση ενός κτιρίου το οποίο έχει ερειπωθεί ή δεν πληροί πλέον τις προδιαγραφές ασφάλειας.

Αρμός

Αρμός είναι η πλήρωση ή στεγάνωση ενός διάκενου μεταξύ δύο δομικών στοιχείων ή ένας συνεχής ευθύγραμμος διαχωρισμός σε μια κατασκευή, σχεδιασμένος να απορροφά τις διαφορές στις μετακινήσεις ή τη συμπεριφορά δύο παρακείμενων στοιχείων.

Άσβεστος

Η άσβεστος είναι ένας συνδετικό υλικό που λαμβάνεται από την ασβεστοποίηση του ασβεστόλιθου. Υπάρχουν δύο κατηγορίες άσβεστου ανάλογα με τον τρόπο πήξης της, δηλαδή εάν πήζει όταν εκτίθεται σε διοξείδιο του άνθρακα (σβησμένη άσβεστος) ή σε νερό (υδράσβεστος).

Η σβησμένη άσβεστος χρησιμοποιείται κυρίως σε παραδοσιακά ασβεστοκονιάματα και ασβεστοχρίσματα. Η υδράσβεστος περιέχει άργιλο, γεγονός που της δίνει παρόμοιες ιδιότητες με εκείνες του τσιμέντου και την καθιστά κατάλληλη για χρήση ως υπόστρωμα ή σοβά.

Ασφαλτούχο σκυρόδεμα

Τα ασφαλτούχα σκυροδέματα φτιάχνονται με χαλίκι, άμμο, πληρωτικό υλικό και πίσσα (ως πετρελαϊκό προϊόν), το οποίο ενεργεί ως συνδετική ουσία. Γενικά χρησιμοποιούνται ως τελική στρώση στα οδοστρώματα.

Αυτοεπιπεδούμενο σκυρόδεμα

Τα αυτοεπιπεδούμενα σκυροδέματα είναι μια ειδική κατηγορία πολύ ρευστών σκυροδεμάτων, τα οποία τοποθετούνται και πήζουν επιτόπου από μόνα τους χωρίς να απαιτείται δόνηση. Παρόλο που δεν υποβάλλονται σε δόνηση, καλύπτουν τέλεια τις ενισχύσεις και δημιουργούν εξαιρετικά λείες επιφάνειες και προσόψεις.

Γ

Γυψοσανίδα

Οι γυψοσανίδες είναι βιομηχανικά πάνελ δόμησης. Κατασκευάζονται σε εργοστάσια συμπιέζοντας ένα λεπτό στρώμα γύψου και πρόσθετων μεταξύ δύο φύλλων χαρτονιού για τη δημιουργία λεπτών πάνελ. Η γυψοσανίδα τοποθετείται με κοχλίες και συγκολλητικό κονίαμα. Τα πάνελ μπορούν επίσης να καρφωθούν ή να βιδωθούν σε ξύλινα ή μεταλλικά πλαίσια για την επένδυση εσωτερικών τοίχων ή διαχωριστικών τοιχωμάτων.

Γύψος

Η γύψος είναι ένα δομικό υλικό που παράγεται με τη έψηση του ορυκτού γύψου σε κάμινο και τη μετέπειτα άλεσή του. Μπορεί να χρησιμοποιείται ως πολτός ή ως προκατασκευασμένες γυψοσανίδες. Όταν αναμιγνύεται με νερό, σχηματίζει έναν πολτό που πήζει σε λίγα λεπτά και μετά σκληραίνει. Χρησιμοποιείται εκτενώς σε εφαρμογές εσωτερικού χώρου: επιχρίσματα, χωρίσματα ξηρής δόμησης, οροφές και επενδύσεις τοιχοποιίας με τη μορφή πλακών ή γυψοσανίδων. Διαθέτει αρκετές σημαντικές ιδιότητες: ηχομόνωση και θερμομόνωση, πυραντοχή, κ.λπ.

Δ

Διαχωριστικό τοίχωμα

Διαχωριστικό τοίχωμα είναι ελαφρού βάρους τοίχος που χωρίζει εσωτερικό χώρο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται συχνά γυψοσανίδα.

Η διαφορά μεταξύ τοίχου και διαχωριστικού τοιχώματος είναι ότι οι τοίχοι αποτελούν μέρος της φέρουσας δομής του κτιρίου (στηρίζουν οροφές, σκεπές, ορόφους, κ.λπ.) ενώ τα διαχωριστικά τοιχώματα δε δέχονται βάρος.

Διοξείδιο του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι ένα αέριο θερμοκηπίου. Παράγεται από την καύση οργανικών ενώσεων και το αναπνευστικό σύστημα ζώων και φυτών.

Η τσιμεντοβιομηχανία έχει εκπομπές CO₂:

- 60% των εκπομπών οφείλονται στο φυσικό-χημικό μετασχηματισμό των πρώτων υλών σε υψηλές θερμοκρασίες,
- 40% προκύπτουν από την καύση που απαιτείται για τη θέρμανση της καμίνου τσιμέντου στους 1500°C.

Ε

Ένεμα

Το ένεμα είναι ένα μίγμα κονιάματος γύψου ή τσιμέντου, το οποίο είναι αρκετά ρευστό, για να εγχυθεί ή να αντληθεί για την πλήρωση αρμών και ρωγμών.

Εξέλαση

Κυλινδρώνω σημαίνει μειώνω τη μάζα κάποιου υλικό σε φύλλα ή λεπτές ράβδους καθώς διέρχεται από κυλίνδρους συμπίεσης.

Επιβραδυντής φωτιάς

Ένα υλικό ονομάζεται επιβραδυντής φωτιάς εάν προλαμβάνει ή καθυστερεί την

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ανάφλεξη ενός φυσικά εύφλεκτου αντικειμένου. Οι ιδιότητες επιβράδυνσης της φωτιάς μπορεί να προκύπτουν είτε από την προσθήκη χημικών στη μάζα κάποιου υλικού είτε από την επιφανειακή επάλειψη ενός επιβραδυντή φωτιάς. Ο γύψος έχει ιδιότητες επιβράδυνσης της φωτιάς.

Θ

Θεμέλιο

Τα θεμέλια μίας κατασκευής κατανέμουν το βάρος της και διασφαλίζουν την σταθερότητά της. Κατασκευάζονται από έγχυτο σκυρόδεμα. Η μελέτη των θεμελίων πρέπει να εξασφαλίζει ότι θα μπορούν να φέρουν το βάρος της κατασκευής και να προλαμβάνουν τυχόν κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις.

I

Ινοπλισμένο σκυρόδεμα

Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα περιέχει μια σειρά από διαφορετικές ίνες (πολυπροπυλενίου, μετάλλων, υαλονημάτων, άνθρακα, κ.λπ.) που δημιουργούν ένα ενισχυμένο πλέγμα, το οποίο βελτιώνει τη σταθερότητα και αντοχή του σκυροδέματος στη ρηγμάτωση. Αποτελεί μια ταχέως αναπτυσσόμενη μέθοδο στον οπλισμό του σκυροδέματος.

Ινοπλισμένο σκυρόδεμα υπερυψηλής αντοχής

Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα υπερυψηλής αντοχής είναι ένα καινοτόμο υλικό κατασκευών. Η προσθήκη μεταλλικών ινών εξαπλασιάζει την ανθεκτικότητά του σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα και επίσης αυξάνει την αντοχή του στο χρόνο.

Ιπτάμενη τέφρα

Η ιπτάμενη τέφρα είναι υδρόφιλη και χρησιμοποιείται ως τσιμεντοειδές πρόσθετο. Η τέφρα, η οποία συλλέγεται από τα μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού με καύση άνθρακα, αποτελείται από υαλώδες διοξείδιο του πυριτίου, αργίλιο, οξείδιο σιδήρου και άσβεστο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μερική υποκατάσταση του κλίνκερ μειώνοντας έτσι τις εκπομπές CO₂.

K

Κλίνκερ

Το κλίνκερ είναι το κύριο συστατικό του τσιμέντου. Αυτοί οι σκληρυμένοι κόκκοι

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

λαμβάνονται με την έψηση μίγματος περίπου 80% ασβεστόλιθου και 20% αργίλου σε υψηλή θερμοκρασία. Το τσιμέντο παράγεται με την άλεση του κλίνκερ και, σε ορισμένες περιπτώσεις, τη συμπλήρωση πρόσθετων.

Κονίαμα

Κονίαμα είναι ένα μίγμα τσιμέντου, άμμου (αδρανές υλικό που παρέχει όγκο) και νερού, το οποίο μπορεί να συμπληρώνεται με πρόσθετα, προσμίξεις και χρωστικές ουσίες. Αντίθετα με το σκυρόδεμα, το κονίαμα δεν περιέχει αδρανή. Μπορεί να ετοιμαστεί επιτόπου ή να παραδοθεί έτοιμο από τη μονάδα ανάμιξης. Τα κονιάματα χρησιμοποιούνται για κόλληση (συναρμογή στοιχείων), για επένδυση (αδιαβροχοποίηση τοίχων και οροφών, φινιρίσμα δαπέδων), και για μια σειρά από άλλους σκοπούς όπως αρμολόγηση, σοβάτισμα, μόνωση, στεγάνωση, κ.λπ.

M

Μίγμα πρώτων υλών

Η φαρίνα αποτελείται από λεπτά αλεσμένα πετρώματα (κυρίως ασβεστόλιθος και άργιλος) και ομογενοποιείται και δοσομετρείται πριν τοποθετηθεί στην κάμινο για την παραγωγή του τσιμέντου.

Μονάδα παραγωγής σκυροδέματος

Οι μονάδες παραγωγής σκυροδέματος είναι βιομηχανικές εγκαταστάσεις όπου συγκεντρώνονται όλες οι πρώτες ύλες για την παραγωγή του σκυροδέματος.

Στο χώρο ανάμιξης, δοσομετρούνται οι πρώτες ύλες και τα πρόσθετα και στη συνέχεια τοποθετούνται μέσα στον αναμκτήρα (mixer), για να σχηματιστεί ένα ομοιογενές μίγμα σκυροδέματος. Το υγρό σκυρόδεμα στη συνέχεια μεταφέρεται σε εργοτάξια με μπετονιέρες.

E

Ξυλότυπος Forms

Ο ξυλότυπος είναι ένα ξύλινο καλούπι στο οποίο εγχέεται το ρευστό σκυρόδεμα. Ο τύπος ξηλώνεται αφού πήξει το σκυρόδεμα. Ο ξυλότυπος πρέπει είναι αρκετά δυνατός και να αντέχει το βάρος ή/και την πίεση του ρευστού σκυροδέματος χωρίς καμία μεταβολή του αρχικού του σχήματος.

Ο

Ολκιμότητα

Ολκιμότητα είναι η ικανότητα ενός υλικού να εκτείνεται ή να κάμπτεται χωρίς να σπάει. Κάθε υλικό που δεν έχει αυτή την ικανότητα είναι εύθραυστο.

Οπλισμένο σκυρόδεμα

Το τσιμέντο είναι πολύ ανθεκτικό στη συμπίεση αλλά αντέχει λιγότερο στην εφελκυστική τάση και το λυγισμό. Ο χάλυβας, αντίθετα, είναι πολύ εύκαμπτος χάρη στην υψηλή εφελκυστική αντοχή του.

Το οπλισμένο σκυρόδεμα εκμεταλλεύεται τις διαφορετικές ιδιότητές τους συνδυάζοντας το χάλυβα και το σκυρόδεμα για τη δημιουργία ενός υλικού με υψηλή αντοχή στη συμπίεση και τον εφελκυσμό.

Π

Πληρωτικό υλικό

Ένα αδρανές, λεπτόκοκκο ορυκτό υλικό που περιλαμβάνεται σε βαφές και υδραυλικά συνδετικά υλικά (τσιμέντο) για μείωση του κόστους και, σε ορισμένες περιπτώσεις, για τροποποίηση των φυσικών χαρακτηριστικών. Από την άποψη αυτή, θεωρείται πρόσθετο υλικό του τσιμέντου.

Ποζολάνη

Η ποζολάνη έχει πάρει το όνομά της από το Pozzuoli, μια περιοχή κοντά στη Νάπολη της Ιταλίας, η οποία είναι πλούσια σε ηφαιστειακή τέφρα.

Η φυσική ποζολάνη είναι ένα ελαφρύ πυριτικό ορυκτό, που παράγεται στη διάρκεια ηφαιστειακών εκρήξεων. Περιέχει πυρίτιο, αργίλιο και οξείδιο σιδήρου, καθώς και άσβεστο και οξείδιο του μαγνησίου. Η ποζολάνη χρησιμοποιείται ως πρόσθετο του τσιμέντου.

Τεχνητές ποζολάνες με τις ίδιες ιδιότητες μπορούν να παρασκευαστούν με τη θέρμανση αργίλου, βασάλτη ή σχιστόλιθων.

Προεντεταμένο σκυρόδεμα

Ο οπλισμός χάλυβα δίνει στο σκυρόδεμα υψηλότερη εφελκυστική αντοχή. Αυτή είναι η αρχή του οπλισμένου σκυροδέματος. Ωστόσο, η ελαστικότητα του χάλυβα μερικές φορές δεν επαρκεί για τη διασφάλιση της ασφάλειας της κατασκευής. Σε αυτές τις περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται ειδικές τεχνικές οπλισμού.

Αυτές συνίστανται στην ένταση του οπλισμού (σαν ελατήριο) για τη συμπίεση του

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

σκυροδέματος πριν τεθεί σε χρήση. Η ένταση πραγματοποιείται πριν την έγχυση του σκυροδέματος στους ξυλότυπους (προένταση) ή μετά την έγχυση (εκ των υστέρων ένταση).

Μόλις κατασκευαστεί η δομή και τεθεί υπό τάση, ο οπλισμός εντείνεται και το σκυρόδεμα τείνει να αποσυμπιεστεί. Μπορεί να αποσυμπιεστεί χωρίς λυγισμό επειδή είχε ήδη συμπιεστεί εν μέρει νωρίτερα.

Προκατασκευασμένο σκυρόδεμα

Στη χρήση συμβατικού σκυροδέματος απαιτείται χρόνος για να στεγνώσει, ο οποίος επιβραδύνει την κατασκευή στο εργοτάξιο και αυξάνει το κόστος. Το προκατασκευασμένο σκυρόδεμα συμβάλλει στην επίσπευση των κατασκευαστικών εργασιών. Τεμάχια σκυροδέματος (κολώνες, δοκοί ή πλάκες) μορφοποιούνται και κατασκευάζονται σε συνεργείο επιτόπου ή κοντά στο εργοτάξιο και στη συνέχεια μεταφέρονται στο σωστό σημείο. Το πλεονέκτημα είναι ότι μειώνεται η διάρκεια της φάσης κατασκευής και περιορίζονται οι επιπτώσεις στον τοπικό πληθυσμό.

Πρωτόκολλο του Κιότο

Το Πρωτόκολλο του Κιότο αποσκοπεί στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής με τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Στην πραγματικότητα από το Φεβρουάριο του 2005, έχει επικυρωθεί από περισσότερες από 150 χώρες αλλά δεν έχει επικυρωθεί από τις Ηνωμένες Πολιτείες για παράδειγμα.

Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο, οι βιομηχανικές χώρες πρέπει μέχρι το 2012 να μειώσουν τις εκπομπές CO₂ τους κατά 5,2% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990.

Πρόσθετα

Τα πρόσθετα βελτιώνουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος: το χρόνο πήξης, το ιξώδες, το πορώδες, τη μηχανική αντίσταση, κ.λπ. Υπάρχουν 9 οικογένειες πρόσθετων: επιταχυντές, επιβραδυντές, πλαστικοποιητές, βελτιωτικά ροής, αερακτικοί παράγοντες, αντιπηκτικοί παράγοντες, υδροαπωθητικοί παράγοντες και σκληρυντές.

Πρόσθετα Συνδετικά Υλικά

Είναι τα πρόσθετα τσιμέντου. Αυτά χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές αναλογίες κατά την τελευταία φάση της διαδικασίας παραγωγής τσιμέντου. Τα πρόσθετα επιτρέπουν τη δημιουργία μιας σειράς τσιμέντων με διαφορετικές ιδιότητες. Μπορεί να είναι:

- Φυσικής προέλευσης, για παράδειγμα ασβεστόλιθος, ηφαιστειογενή, ιζηματογενή πετρώματα (ποζολανικό πέτρωμα),

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

- Βιομηχανικής προέλευσης, για παράδειγμα υποπροϊόντα της χαλυβουργίας (σκωρία από υψικάμινους), της βιομηχανίας μικροεπεξεργαστών (σιδηροπυρίτιο) και μονάδων παραγωγής ηλεκτρισμού με καύση άνθρακα (ιπτάμενη τέφρα).

Η χρήση πρόσθετων τσιμέντου μειώνει τις εκπομπές CO₂:

- ✓ Πρώτον, επειδή με τη χρήση των πρόσθετων στην παραγωγή τσιμέντου μειώνεται αυτομάτως η αναλογία του κλίνκερ (στη φάση διάσπασης ανθρακικών αλάτων απελευθερώνεται μεγάλη ποσότητα CO₂),
- ✓ Δεύτερον, επειδή χρησιμοποιεί βιομηχανικά απόβλητα, τα οποία διαφορετικά θα απορρίπτονταν και θα έπρεπε να υποβληθούν σε επεξεργασία από τις τοπικές αρχές.

Πόρτλαντ

Η ονομασία 'Portland' προέρχεται από τη Μεγάλη Βρετανία.

Τα γκρι πετρώματα αυτής της περιοχής έχουν σύνθεση και εμφάνιση παρόμοιες με εκείνες του τσιμέντου. Το τσιμέντο Portland είναι γενικός όρος που χρησιμοποιείται για το βασικό τσιμέντο. Παράγεται με την άλεση του κλίνκερ που έχει παρασκευαστεί με έψηση ενός πολύ προσεκτικά ετοιμασμένου μίγματος ασβεστόλιθου, πυριτίου, αργιλίου και σε ορισμένες περιπτώσεις, άλλων συστατικών.

Σ

Σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα είναι ένα δομικό υλικό, το οποίο φτιάχνεται με την ανάμιξη νερού, αδρανών και άμμου με ένα συνδετικό παράγοντα (συνήθως τσιμέντο) και, εάν χρειάζεται, με πρόσθετα. Το μίγμα φτιάχνεται σε εργοτάξια και εργοστάσια.

Τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με την επιλογή του τσιμέντου και της αναλογίας τσιμέντου/αδρανών, τον τύπο αδρανών που χρησιμοποιούνται, την προσθήκη πρόσθετων, κ.λπ. Πολύ σημαντικό ρόλο στην απόδοση και την εμφάνισή του μπορεί παίζει και ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιούμε το σκυρόδεμα και κατεργαζόμαστε τις επιφάνειες.

Σκωρία

Αυτό το μίγμα άσβεστου, αργιλίου και πυριτίου παράγεται όταν γίνεται σύντηξη σιδήρου με κοκ σε υψικάμινο. Η σκωρία συσσωρεύεται στην κορυφή του τηγμένου χυτοσίδηρου. Ένα ψυχθεί γρήγορα, οι υδραυλικές της ιδιότητες είναι πολύ παρόμοιες με εκείνες του κλίνκερ. Η σκωρία χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να υδατωθεί και

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

προσφέρει μεγαλύτερη σταθερότητα σε διαβρωτικές συνθήκες. Συνεπώς, είναι κατάλληλη ως πρόσθετο για τσιμέντο και σκυρόδεμα ώστε να προκαλείται αναγωγή των εκπομπή των εκπομπών CO₂.

Σκόνη πυριτίου

Αυτό το υποπροϊόν του κλάδου πυριτίου προκύπτει όταν θερμαίνεται ο χαλαζίας σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα λεπτά σωματίδια σκόνης πυριτίου είναι μόλις 0,2 μικρόμετρα – συλλέγεται από ηλεκτροστατικά φίλτρα για να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο στο τσιμέντο.

Σοβάς

Σοβάς είναι μια λεπτή στρώση πολτού ή κονιάματος που επιστρώνεται σε τοίχο για να βελτιώσει την εμφάνισή του. Προστατεύει τον τοίχο από τα στοιχεία και του δίνει ελκυστική και ομοιόμορφη όψη. Επίσης συμβάλλει στη μόνωση. Αποτελείται από ένα συνδετικό υλικό (άσβεστο, γύψο, τσιμέντο), αδρανή και μερικές φορές, χρωστικές για να επιτευχθεί ένα συγκεκριμένο χρώμα.

Συμπαγές πέτρωμα

Το πέτρωμα αυτό προέρχεται από αποθέσεις σκληρών πετρωμάτων. Συμπαγή πετρώματα είναι κυρίως παλιοί ασβεστολιθικοί σχηματισμοί ή ηφαιστειογενή πετρώματα, τα οποία αποκαλούνται εκρηξιγενή πετρώματα. Τα πετρώματα αυτά μπορούν να εξορυχτούν για να αποτελέσουν αδρανή υλικά. Τα εξορυσσόμενα ορυκτά καθαρίζονται πριν τη θραύση τους.

Συνθετικός γύψος

Οι πόροι φυσικού γύψου είναι περιορισμένοι. Ο συνθετικός ή χημικός γύψος αποτελεί ένα χρήσιμο εναλλακτικό υλικό του μη ανανεώσιμου φυσικού γύψου.

Οι κύριες πηγές είναι:

- ◆ το φωσφορικό οξύ,
- ◆ άλλα μεταλλικά οξέα (κιτρικό οξύ, κ.λπ.),
- ◆ η αποθείωση αερίων,
- ◆ η ουδετεροποίηση του όξινου νερού (θειικό οξύ) από τον κλάδο διοξειδίου του τιτανίου.

Από τα 60 εκατομμύρια τόνους γύψου που παράγονται παγκοσμίως, το ήμισυ σχεδόν είναι συνθετικός γύψος (ή αλλιώς χημική γύψος).

Σφράγιση

Σφράγιση είναι η οικοδομική εργασία κατά την οποία το άκρο ενός τεμαχίου ξύλου ή μετάλλου εισάγεται μέσα στην τοιχοδομή, την οροφή ή το δάπεδο. Γενικά,

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

δημιουργείται ένα κοίλωμα στο οποίο τοποθετείται το άκρο της δοκού ή της κολώνας. Στη συνέχεια, η περιοχή πληρώνεται με κονίαμα ταχείας πήξης, ή ασβεστοκονίαμα.

T

Τσιμέντο

Το τσιμέντο είναι ένα υδραυλικό συνδετικό υλικό, το οποίο παράγεται μέσω θέρμανσης και μετά άλεσης μίγματος ασβεστόλιθου και αργίλου. Τα περισσότερα τσιμέντα φτιάχνονται από κλίνκερ και πρόσθετα, και χρησιμοποιούνται συνήθως σε μορφή σκόνης. Το τσιμέντο πήζει όταν είναι αναμεμιγμένο με νερό. Σε συνδυασμό με άμμο και αδρανή (σκύρα ή χαλίκι), μετατρέπεται σε πολύ σκληρό και ανθεκτικό κονίαμα ή σκυρόδεμα.

Τσιμεντοκονία

Η τσιμεντοκονία είναι μία λεπτή στρώση κονιάματος (15 έως 50 mm) που διαστρώνεται σε πλάκες ή άλλα υλικά βάσης. Δημιουργεί επίπεδη επιφάνεια και γενικά καλύπτεται στη συνέχεια από άλλο υλικό, όπως πλακίδια δαπέδου.

Y

Υδραυλικότητα

Υδραυλικότητα είναι ο βαθμός στον οποίο σκληραίνει ένα υλικό με την παρουσία νερού.

Υπερπλαστικοποιητής

Ο υπερπλαστικοποιητής είναι ένα πρόσθετο το οποίο αναμιγνύεται με το σκυρόδεμα, το κονίαμα ή το ένεμα αμέσως πριν τη χρήση τους. Ο κύριος σκοπός του είναι να βελτιώνει την επεξεργασσιμότητα του μίγματος. Ο δευτερεύων ρόλος του είναι να τροποποιεί το χρόνο πήξης ή σκλήρυνσης. Οι υπερπλαστικοποιητές ορισμένες φορές αποκαλούνται και "βελτιωτικά ροής".

Φ

Φυσικός γύψος

Η φυσική γύψος είναι ένα ορυκτό που εξορύσσεται από λατομεία με τη μορφή μικρών λευκών κρυστάλλων, συσσωματωμένων σε μεγάλες μάζες. Προέρχεται από ιζηματογενή πετρώματα που δημιουργούνται από άνυδρο θειικό ασβέστιο.

X

Χαλίκι

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Το χαλίκι παράγεται με τη θραύση σκληρών πετρωμάτων. Αυτά τα δείγματα χαλικιού έχουν διαστάσεις από 5 έως 25 mm. Το χαλίκι χρησιμοποιείται ως αδρανές για την παραγωγή σκυροδέματος και ως βάση για τη διάστρωση οδοστρωμάτων.

Χαλαρό πέτρωμα

Τα χαλαρά πετρώματα είναι αλλουβιακές αποθέσεις σε κοίτες ποταμών. Είναι κατάλληλα για χρήση ως αδρανή υλικά.

Βιβλιογραφία

ΕΛΛΗΝΙΚΗ :

- Αναγνωστόπουλος, Ν., Σίδερης, Κ., Γεωργιάδης, Α. and Παπαμανώλης, Γ. (2009) *Ανθεκτικότητα αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων χαμηλής αντοχής*, Θράκη: Ίδιοι.
- ΑΥΤΟΥΣΜΗΣ, Α. (2012), Ιούλιος, [Online], Available: dSPACE.aua.gr/xmlui/bitstream/handle/10329/5724/Autousmis_A.pdf [2015].
- Βάρβαρης, Ι. (2010) Πειραματική διερεύνηση της δυνατότητας παραγωγής αυτοσυμπυκνούμενου μικροσκυροδέματος από λεπτομερή λατομικά παραπροϊόντα., Χανιά.
- Γιαννόπουλος, Π.Ι. (2003), [Online], Available: <http://www.ntua.gr/cvdom/Yannopoulos-Plasticity.pdf> [2015].
- *ΕΛΙΝΥΑΕ* (2008), Απρίλιος, [Online], Available: http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/seismoi.1213689910437.pdf [2015].
- Ζέρης, Χ. (2014) Στοιχεία Τεχνολογίας σκυροδέματος.
- Καλεντζώτης, Α. (2007) *Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα*, πΑΤΡΑ: 13ο ΦΟΙΤΗΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ Επισκευές Κατασκευών.
- Κανελλόπουλος, Α. (2007) *ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ*, Ζυρίχη: Αυτοέκδοση.
- Κωστοπούλου, Χ. (2009) 'Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα', *ΚΤΙΡΙΟ.ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΕΛΙΔΕΣ*.
- Λυκούδης, Σ. and Ψυχούδης, Η. (2009) 'Διογκωμένη Πολυστερίνη ως Ελαφρό Αδρανές (EPS), για την Παραγωγή Ελαφρού Σκυροδέματος Υψηλής Αντοχής', Πάφος, 9.
- Παπανικολάου, Κ. (2008) http://library.tee.gr/digital/m2312/m2312_papanikolaou.pdf, [Online] [2014].
- Παπανικολάου, Κ.Γ. and Τριανταφύλλου, Α.Χ. (2003) 'Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα: Ανασκόπηση, Ιδιότητες και Προοπτικές στην Ελλάδα', Πρακτικά 14ου Συνεδρίου Σκυροδέματος Κως 2003.
- Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές –Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα- (2005), Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών (I.O.K).
- Ρούτουλας, Α. (2010) 'ΤΣΙΜΕΝΤΑ-ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ', in *ΕΛΕΓΧΟΣ*

ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΔΟΜΗΣΙΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, ΠΕΙΡΑΙΑΣ: ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ.

- Σ.Π.Μ.Ε. (Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος) (2014) *ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ*, 1st edition, ΑΘΗΝΑ: ΣΠΜΕ.
- ΣΙΔΕΡΗΣ, Κ. (2009) *library.tee.gr*, Oct, [Online], Available: http://library.tee.gr/digital/m2456/m2456_sideris.pdf [2015].
- Σίδερης, Κ., Κυριτσάς, Σ. and Χανιωτάκης, Ε. (2003) 'Μηχανικά Χαρακτηριστικά και Ανθεκτικότητα Αυτοσυμπυκνούμενων Σκυροδεμάτων παρασκευασθέντων με Ελληνικά Υλικά', Πρακτικά 14ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κως, 187-19.
- Στεργιόπουλος, Κ. (2005) 'Πρόσθετα Σκυροδέματος', *ΤΕΧΝΙΚΟΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑΣ*.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Domone, P. (2006) 'Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies.', *Cement and Concrete Composites*. 28:2 , pp. 197-208.
- GALANO, L. and VIGNOLI, A. (2008) 'Strength and Ductility of HSC and SCC Slender Columns Subjected to Short-Term Eccentric Load', *ACI structural journal*, pp. 259-269.
- Gummerson, R.J..H.C.&.H.W.D.. (1980) 'Water movement in porous building materials – II. Hydraulic suction and sorptivity of brick and other masonry materials', *Building and Environemnt*, pp. 101-108.
- Hall, C. and Hoff, W. (2002) *Water transport in brick, stone and concrete*, Λονδίνο: Spon Press.
- Hassan, A., Hossain, K. and Lachemi, M. (2008) 'Behavior of full-scale self-consolidating concrete beams in shear', *Cement and Concrete Composites*. 30:7, pp. 588-96.
- Hirschi, T., Knauber, H., Lanz, M., Schlumpf, J. and Schrab, J. (2007) *Εγχειρίδιο Τεχνολογίας Σκυροδέματος*, Κρυονέρι Αττικής: Sika HELLAS ABEE.
- Holschemacher, K. and Klug, Y. (2002) 'A Database for the Evaluation of Hardened Properties of SCC', *Leipzig Annual Civil Engineering Report*.
- Huang, P.-f. (2006) 'Workability and Earthquake Resistance Behavior of Self-Compacting Concrete Frame', *ACI SP*, pp. 155-178.

- Kalinowski, M. and Tragardh, J. ((2007)) “Mechanical characteristics of SCC produced with different filler materials”, in Proceedings of the 5th International RILEM Symposium, Ghent, 785-792.
- Khayat, K., Paultre, P. and Tremblay, S. (2001) 'Structural Performance and In-Place Properties of Self-Consolidating Concrete Used for Casting Highly Reinforced Columns', *ACI M.J.*, pp. 371-378.
- Kuroiva, S., Maekawa, K. and Okamura, H. (1993) “Development of super-workable concrete to construction of a 20-storey building”, American Concrete Institute.
- Lin, C.-H., Hwang, C.-L., Lin, S.-P. and Liu, C.-H. (2008) 'Self-Consolidating Concrete Columns under Concentric Compression', *ACI STRUCTURAL JOURNAL*, Ιούλιος-Αύγουστος, pp. 425-432.
- Lin, W., Lin, T. and Powers-Couche, L. (1996) 'Microstructure of fire damaged concrete', *ACI Mater.J.*, Mar, pp. 199-205.
- Neville, A. (1995) *Properties of concrete*, 4th edition, Λονδίνο: Longman.
- Newman, J.B. (1993) *Properties of structural lightweight concrete*, London : John L. Clarke, Chapman & Hall.
- Okrajnov-Bajić, R. and Vasović, D. (2009) 'Self-compacting concrete and its application in contemporary architectural practice', *SPATIUM International Review*, September, pp. 28-34.
- Owens, P.L.. (1993) *Lightweight aggregates for structural concrete*, in *Structural Lightweight Concrete*, London: John L. Clarke, Chapman & Hall.
- Person, B. (2001) 'A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete', *Cement and Concrete Research*, pp. 193–198.
- Restrepo, J., Bernd, S., Seible, F. and Schoettler, M. (2006) 'Seismic Testing of Bridge Columns Incorporating High-Performance Materials', *ACI STRUCTURAL JOURNAL*, Ιανουάριος, pp. 496-504.
- Said, A. and Nehdi, M. (2007) 'Behaviour of reinforced self-consolidating concrete frames.', *Structures and Buildings*. 160:2, pp. 95-104.
- SCHIESSL, A. and ZILCH, K. (2001) 'The effect of the modified composition of SCC on shear and bond behaviour.', Proceedings of the Second International Symposium, Τόκιο, 501–506.
- Soleymani Ashtian, M., Dhakal, R. and Scott, A. (2014) *Seismic Performance*

of High-Strength Self-Compacting Concrete in Reinforced Concrete Beam-Column Joints, Christchurch, Ν.Ζηλανδία: Department of Civil and Natural Resources Engineering, University of Canterbury.

- Sonebi, M., Tamimi, A. and Bartos, P. (2003) 'Performance and cracking behavior of reinforced beams cast with self-consolidating concrete ', *ACI Materials Journal*. 100:6, pp. 492-500.
- Specifications and Guidelines for Self Compacting Concrete (2002), EFNARC.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

- *civil-online2010.blogspot.gr* (2010), [Online], Available: <http://civil-online2010.blogspot.gr/2010/10/1-box-test.html> [2015].
- *ebooks.edu.gr*
<http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL103/57/441,1677/>, [Online], Available: ebooks.edu.gr [2014].
- *el.wikipedia.org/wiki* https://el.wikipedia.org/wiki/Πράσινη_στέγη, [Online], Available: el.wikipedia.org/wiki [2014].
- *grc.sika.com* (2007), [Online], Available: http://grc.sika.com/content/dam/Greece/Main/01_General/PUB_Documents/Concrete%20Handbook.pdf [2014].
- <http://dalkafoukis.gr/> (2013), [Online], Available: <http://dalkafoukis.gr/> [2015].
- <http://dec-orama.gr/%CE%B4%CE%B5%CE%B9%CE%B3%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%B3%CE%BA%CF%81%CE%BF-%CE%BC%CF%80%CE%B5%CF%84%CE%BF/> (2006), [Online], Available: <http://dec-orama.gr/%CE%B4%CE%B5%CE%B9%CE%B3%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%B3%CE%BA%CF%81%CE%BF-%CE%BC%CF%80%CE%B5%CF%84%CE%BF/>
- [http://documents.scribd.com.](http://documents.scribd.com), [Online], Available: <http://documents.scribd.com.s3.amazonaws.com/docs/6haw5swq68xsbba.pdf> [2015].
- <http://gkarampalis.gr>, [Online].
- <http://www.concreteanswers.org/> (2011), [Online] [2014].
- <http://www.denco.gr/> (2006), [Online] [2014].
- <http://www.kadmosaete.com/jetty-thisbis.html>, [Online], Available: <http://www.kadmosaete.com/jetty-thisbis.html>.
- <http://www.kofinas.gr/> (2013), [Online].

- <http://www.nakos.com.gr/gunite.html>, [Online] [2014].
- <http://www.ntua.gr/vitruvius/2005/ty1.pdf> (2005), [Online] [2015].
- <https://commons.wikimedia.org> (2013), 9 Dec, [Online], Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bauarbeiten_%C3%B6stliches_Domum_feld-K%C3%B6lner_Dom-Spritzbeton-8306.jpg [2014].
- https://el.wikipedia.org/wiki/Αδρανή_υλικά, [Online] [2015].
- kataskevh.blogspot.gr (2010), Ιανουάριος, [Online], Available: http://kataskevh.blogspot.gr/2010/02/blog-post_14.html [2014].
- www.burj Khalifa.ae, [Online], Available: <http://www.burj Khalifa.ae/en/the-tower/construction.aspx> [2015].
- www.cedd.gov.hk, [Online], Available: http://www.cedd.gov.hk/eng/publications/standards_handbooks_cost/doc/stan_cs1/CS1-2010%20Vol%20%20Rev%2000-101130.pdf.
- www.fhwa.dot.gov, [Online], Available: <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/scc.pdf> [2015].
- www.ggde.gr (2006), 01 Jan, [Online], Available: <http://www.ggde.gr/dmdocuments/01-01-06-00.pdf> [2015].
- www.lafarge.gr, [Online], Available: http://www.lafarge.gr/wps/portal/gr/el/3_A_2_1-Manufacturing_process [2015].
- www.maxxi.parc.beniculturali.it, [Online], Available: <http://www.maxxi.parc.beniculturali.it/english/museo.htm> [2015].
- www.orykta.gr, [Online].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

- Τσαματσούλης, Δ. (2006) <http://portal.tee.gr>, [Online], Available: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/EKDHLVSEIS/EKDHLWSEIS_2004-2006/TECHNOLOGIA%20SKYRODEMATOS/Tab5297227/Tsamatsoulis.doc.
- www.hcia.gr, [Online], Available: <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/concrete/regulations/>.
- www.efnarc.org, [Online], Available: <http://www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf>.
- xa.yimg.com, [Online], Available: <http://xa.yimg.com/kq/groups/2173108/2104803457/name/bs>.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

- *xa.yimg.com*, [Online], Available:
<http://xa.yimg.com/kq/groups/2173108/1621258539/name/BS>.
- *www.linecheng.com*, [Online], Available: <http://www.linecheng.com/?pdf>.
- *www.linecheng.com*, [Online], Available:
<http://www.linecheng.com/uploads/soft/141006/1-141006132057.pdf>
- *www.academia.edu*, [Online], Available:
https://www.academia.edu/17590823/BS_EN_934-2-2001.
- *ilnas.services-publics.lu*, [Online], Available: <https://ilnas.services-publics.lu/ecnor/downloadPreview.action?documentReferen>.
- “The European Guidelines for Self Compacting Concrete” (2005)
<http://www.efnarc.org>, [Online] [2015].

**ΕΥΡΩΠΑΙΚΑ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: EN 197-1 & EN 197-2

(Τσαματσούλης, 2006)

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 89/106, από 01/04/01 τα τσιμέντα που κυκλοφορούν σε όλα τα κράτη μέλη πρέπει να είναι πιστοποιημένα, να φέρουν σήμανση CE και να είναι σύμφωνα με τα ισχύοντα Ευρωπαϊκά Πρότυπα :

EN 197-1 : Τσιμέντο Μέρος – 1 : «Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για κοινά τσιμέντα» και

EN 197-2 : Τσιμέντο Μέρος – 2 : «Αξιολόγηση συμμόρφωσης»

Στη χώρα μας ισχύουν τα αντίστοιχα Ελληνικά Πρότυπα **ΕΛΟΤ EN 197-1** και **ΕΛΟΤ EN 197-2**

II. ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ – ΣΤΟΧΟΙ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ.

Το τσιμέντο, βάσει της παραπάνω Οδηγίας, πρέπει να πληροί ορισμένες ελάχιστες απαιτήσεις, όσον αφορά στο ιδιότητές του και τη σταθερότητα παραγωγής του.

Στην σύνταξη των εν λόγω προτύπων συμπεριελήφθησαν και κωδικοποιήθηκαν όλα τα κοινής αποδοχής και ευρείας χρήσης τσιμέντα, που παράγονται στις χώρες μέλη, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κοινής ορολογίας για όλους τους μελετητές – χρήστες – κατασκευαστές δομικών έργων στην ΕΕ.

Η ποιότητα του τσιμέντου πιστοποιείται στο αυστηρότερο επίπεδο αξιολόγησης συμμόρφωσης, με εξωτερική δειγματοληψία, από ανεξάρτητο αναγνωρισμένο φορέα πιστοποίησης.

III. ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ

Για την παραγωγή του τσιμέντου χρησιμοποιούνται πρώτες ύλες αλλά και υλικά υποκατάστασης (ποζολάνη, ιπτάμενη τέφρα – πυριτική ή ασβεστολιθική, σκωρία υψικαμίνου κλπ.) που απαντούν στο κάθε χώρα. Με βάση τη διαθεσιμότητα των υλικών αλλά και στις απαιτήσεις των εφαρμογών, δημιουργήθηκαν οι διάφοροι τύποι τσιμέντων που παράγονται παγκοσμίως, στο καθαρό ή αμιγές τσιμέντο, τσιμέντο με ποζολάνη, ιπτάμενη τέφρα, σκωρία υψικαμίνου, ασβεστόλιθο, πυριτική παιπάλη κλπ., τα οποία περιλαμβάνονται στο πρότυπο .(Παράρτημα 1: Πίνακας 2)

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Προβλέπονται συνολικά 27 τύποι τσιμέντων τα οποία στο δεν παράγονται ή δεν κυκλοφορούν κατ' ανάγκη στο κάθε χώρα μέλος, λόγω των ιδιαιτεροτήτων που προαναφέρθηκαν. Δεν είχαν περιληφθεί μέχρι σήμερα τσιμέντα ανθεκτικά στα θειικά (για τα οποία παρέμενε στο ισχύ το ΠΔ 244/80), τα οποία στο προστέθηκαν στην τελευταία αναθεώρηση του Προτύπου του 2011 στο 7 συνολικά τύπους.

Το πρότυπο EN 197-1 προδιαγράφει σε γενική μορφή στο εξής τύπους τσιμέντου όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

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

Παράρτημα 1: Πίνακας 1

Το είδος και το ποσοστό των συστατικών του τσιμέντου, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή, σύμφωνα με το πρότυπο, καθορίζουν τους τύπους και τα 27 προϊόντα τσιμέντου που αναλυτικά αναφέρονται στο Πίνακα (Παράρτημα 1: Πίνακας 2).

Επίσης προδιαγράφονται και 6 κατηγορίες αντοχών, στις οποίες κατατάσσονται τα τσιμέντα, ανάλογα με την αντοχή στη θλίψη τσιμεντοκονιάματος, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 196-1 Μέθοδοι δοκιμών τσιμέντου – Μέρος 1 .

Αυτοσυμπυκνόμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Κύριοι τύποι	Ονομασία των 27 προϊόντων (τύποι κοινών τσιμέντων)		Σύνθεση (επι της % κατά μάζα) ^{α)}										Δευτερεύοντα συστατικά			
			Κύρια συστατικά													
			Κλίνκερ K	Σκωρία υψικα- μίνου S	Πυριτική παιπάλη β) D	Ποζολάνη Φυσική Φυσική ψημένη P Q		Ιπτάμενες τέφρες Πυριτι- κή V Ασβε- στούγος W		Ψημένος σχιστόλιθος T	Ασβεστό- λιθος L LL					
CEM I	Τσιμέντο Πόρτλαντ	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
CEM II	Τσιμέντο Πόρτλαντ με Σκωσία Υψικαίνων	CEM II/A-S	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
		CEM II/B-S	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
	Τσιμέντο Πόρτλαντ με πυριτική παιπάλη	CEM II/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
		CEM II/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
	Τσιμέντο Πόρτλαντ με ποζολάνη	CEM II/B-P	65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
		CEM II/A-Q	80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	0-5		
		CEM II/B-Q	65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	0-5		
		CEM II/A-V	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5		
	Τσιμέντο Πόρτλαντ με ιπτάμενη τέφρα	CEM II/B-V	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	0-5		
		CEM II/A-W	80-94	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	0-5		
		CEM II/B-W	65-79	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	0-5		
		CEM II/A-T	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	0-5		
	Τσιμέντο Πόρτλαντ με ψημένο σχιστόλιθο	CEM II/B-T	65-79	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	0-5		
		CEM II/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	0-5		
	Τσιμέντο Πόρτλαντ με ασβεστόλιθο	CEM II/B-L	65-79	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	0-5		
		CEM II/A-LL	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	0-5		
CEM II/B-LL		65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	0-5			
CEM II/A-M		80-94	<-----6-20----->										0-5			
Τσιμέντο Πόρτλαντ- σύνθετο ^{γ)}	CEM II/B-M	65-79	<-----21-35----->										0-5			
	CEM III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
CEM III	Σκωριοτσιμέντο	CEM III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
		CEM III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
		CEM IV/A	65-89	-	<-----11-35----->										0-5	
CEM IV	Ποζολανικό τσιμέντο ^{γ)}	CEM IV/B	45-64	-	<-----36-55----->										0-5	
		CEM V/A	40-64	18-30	—	<-----18-30----->										0-5
CEM V	Σύνθετο τσιμέντο ^{γ)}	CEM V/B	20-39	31-50	—	<-----31-50----->										0-5

α) Οι τιμές του πίνακα αναφέρονται στο σύνολο των κυρίων και δευτερευόντων συστατικών
 β) Το ποσοστό της πυριτικής παιπάλης περιορίζεται στο 10%
 γ) Στα τσιμέντα Πόρτλαντ-σύνθετα CEM II/A-M και CEM II/B-M, στα ποζολανικά τσιμέντα CEM IV/A και CEM IV/B και στα σύνθετα τσιμέντα CEM V/A και CEM V/B τα κύρια συστατικά δίδει του κλίνκερ πρέπει να δηλώνονται στην ονομασία του τσιμέντου (για παράδειγμα βλέπε κεφάλαιο 8).

Παράρτημα 1: Πίνακας 2

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

IV. Προσδιορισμός αντοχών.

Κάθε κατηγορία ορίζεται από ένα κατώτερο και ένα ανώτερο όριο αντοχής. Το κατώτερο όριο αντοχής των 28 ημερών χαρακτηρίζει την συγκεκριμένη κατηγορία. Κάθε μία από τις παραπάνω περιλαμβάνει δύο υποκατηγορίες ανάλογα με τον χρόνο ανάπτυξης της αντοχής : Κανονική (N) ή Ταχεία (R). (Παράρτημα 1: Πίνακας 3)

Κατηγορία Αντοχής	Αντοχή στο Θλίψη Mpa				Χρόνος αρχής πήξης min	Σταθερότητα όγκου (Διαστολή) mm
	Πρώιμη αντοχή		Τυπική αντοχή			
	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες			
32,5 N	-	>16,0	>32,5	<52,5	>75	<10
32,5 R	>10,0	-				
42,5 N	>10,0	-	>42,5	<62,5	>60	
42,5 R	>20,0	-				
52,5 N	>20,0	-	>52,5	-	>45	
52,5 R	>30,0	-				

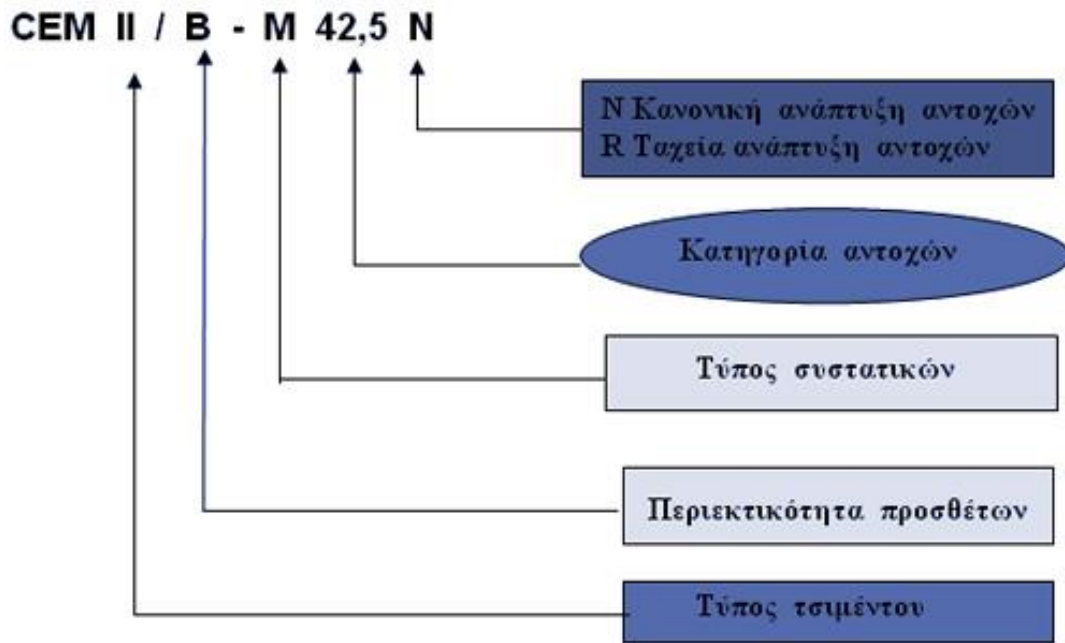
Παράρτημα 1: Πίνακας 3

Η συμμόρφωση των τιμέντων ως στο τα όρια αντοχών είναι στατιστική και περιγράφεται στο πρότυπο.

Ο συμβολισμός των διαφόρων τιμέντων, σύμφωνα με το πρότυπο **ΕΛΟΤ EN 197-1**, καθορίζεται από:

- ♦ τον κύριο τύπο τσιμέντου
- ♦ το ποσοστό klinker,
- ♦ τον τύπο του δεύτερου κύριου συστατικού,
- ♦ την κατηγορία αντοχής,
- ♦ το επίπεδο της πρώιμης αντοχής,

όπως παραστατικά φαίνεται στο Σχήμα που ακολουθεί (Παράρτημα 1:Σχήμα 1).



Παράρτημα 1 : Σχήμα 1: Ονοματολογία τσιμέντων ΕΛΟΤ EN 197-1

V. ΑΝΑΓΡΑΦΟΜΕΝΑ ΣΤΟΥΣ ΣΑΚΟΥΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό Τσιμέντου που εφαρμόστηκε στη χώρα μας την 1/4/2002 στους σάκους τσιμέντου πρέπει να αναγράφονται διάφορα στοιχεία που αφορούν το περιεχόμενο τσιμέντο, καθώς και οδηγίες προφύλαξης κατά τη χρήση του. Τα στοιχεία που πρέπει να αναγράφονται είναι:

- ✓ Η σήμανση συμμόρφωσης CE
- ✓ Ο αριθμός αναγνώρισης του φορέα πιστοποίησης
- ✓ Επωνυμία ή διακριτικό σήμα παραγωγού
- ✓ Ονομασία ή διακριτικό σήμα εργοστασίου όπου παράχθηκε το τσιμέντο
- ✓ Τα δύο τελευταία ψηφία του έτους κατά το οποίο τοποθετήθηκε η σήμανση στο σάκο
- ✓ Αριθμός του πιστοποιητικού συμμόρφωσης στο ΕΕ
- ✓ Ονομασία προτύπου σύμφωνα με το οποίο έγινε η παραγωγή, δηλ. EN 197-1
- ✓ Τύπος τσιμέντου και κατηγορία αντοχής στο ορίζεται στο EN 197-1
- ✓ Πρόσθετες πληροφορίες αν απαιτούνται
- ✓ Επισημάνσεις και Οδηγίες ασφαλείας (Παράρτημα 1:πίνακας 4)

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Σύμβολο	Περιγραφή
Xi	Ερεθιστικό
R 36/37/38	Ερεθίζει τα μάτια, το αναπνευστικό και το δέρμα
R43	Μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό στο επαφή με το δέρμα
S 2	Μακριά από παιδιά
S 22	Μην αναπνέετε την σκόνη
R 24/25	Αποφύγετε την επαφή με δέρμα και τα μάτια
S 26	Στο περίπτωση επαφής με τα μάτια πλύνετε τα αμέσως και ζητήστε ιατρική συμβουλή
S37	Να φοράτε τα κατάλληλα γάντια

Παράρτημα 1: Πίνακας 4

Τα οφέλη που προκύπτουν για τον καταναλωτή από την αναγραφή όλων των στοιχείων είναι:

- ❖ Σημεία (1) – (2) : Ο καταναλωτής θα γνωρίζει από ποιόν φορέα της Ελλάδας ή του εξωτερικού είναι πιστοποιημένο με σήμα ποιότητας CE το τσιμέντο. Σύμφωνα με τον κανονισμό τσιμέντου είναι υποχρεωτική η λήψη Σήματος Ποιότητας CE για να πωλείται το τσιμέντο στην αγορά στο Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- ❖ Σημεία (3) – (4) : Γνωρίζει πλέον ο καταναλωτής όχι μόνο από ποια εταιρεία αγοράζει το προϊόν αλλά και από ποια μονάδα παραγωγής στο.
- ❖ Σημείο (5) : Γνωρίζει το έτος κατά το οποίο το τσιμέντο σακκεύτηκε.
- ❖ Σημείο (8) : Όσον αφορά τον τύπο τσιμέντου αναφέρονται πλέον στην ονομασία και τα επιπλέον κύρια συστατικά εκτός του κλίνκερ. Έτσι ο καταναλωτής έχει πληρέστερα στοιχεία για την σύσταση του τσιμέντου που αγόρασε και για την ποιότητα του. Επιπλέον η κατηγορία αντοχής αναφέρεται στο κάτω όριο αντοχής και όχι στο μέσο όρο. Υπάρχει έτσι σημαντικότερη διασφάλιση όσον αφορά την αντοχή του προϊόντος.
- ❖ Σημείο (9) : Πιθανόν αναφέρονται επιπλέον χρήσιμα στοιχεία για ειδικές κατασκευές.
- ❖ Σημείο (10) : Προειδοποιείται ο καταναλωτής για πιθανά προβλήματα κατά την χρήση του τσιμέντου και για τους τρόπους προφύλαξης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: EN 206 ΠΡΟΤΥΠΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

(www.hcia.gr, n.d.)

A. ΓΕΝΙΚΑ

Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο για το σκυρόδεμα, EN 206 Σκυρόδεμα: Προδιαγραφή, Επιτελεστικότητα, Παραγωγή και Συμμόρφωση (Concrete: Specification, performance, production and conformity) συμπεριλαμβάνεται στην ομάδα των Προτύπων, Κανονισμών και Τεχνικών Εγκρίσεων που διέπουν την αγορά των Δομικών Προϊόντων στην Ευρώπη, όπως καθορίστηκαν αρχικά από την Ευρωπαϊκή Οδηγία για τα Δομικά Προϊόντα 89/106 (ΠΔ 334/94) (Construction Products Directive CPD) στις 21/12/88 και, πλέον, διέπονται από τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό Δομικών Προϊόντων 305/2011 (Construction Products Regulation CPR), που καθορίζουν τις απαιτήσεις συμμόρφωσης ώστε τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα να φέρουν πλέον τη σήμανση CE.

Ήδη, η σήμανση έχει καταστεί υποχρεωτική για τα προϊόντα που αφορούν την παραγωγή έργων από σκυρόδεμα, και συγκεκριμένα :

- το τσιμέντο (με βάση στο απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 197-1-2011)
- τα αδρανή για το σκυρόδεμα (με βάση στο απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 12620-2002)
- τα πρόσθετα σκυροδέματος (με βάση στο απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 934-2-2001 και / Α1-2005)

Σε ότι αφορά το EN 206, (Παράρτημα :2 σελ. -7-) η νέα έκδοση του Ευρωπαϊκού προτύπου εγκρίθηκε από τη CEN το 2013. Η αντιμετώπιση ειδικών συνθηκών στα διάφορα κράτη γίνεται με την έκδοση Εθνικών Προσαρτημάτων τα οποία διαφοροποιούν ή συμπληρώνουν το Πρότυπο. Το Ελληνικό Εθνικό Προσάρτημα που έχει εκδοθεί από τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης (ΕΛΟΤ) και το οποίο ισχύει αυτή τη στιγμή είναι το ΕΛΟΤ EN 206-1+NA, που βασίζεται στην έκδοση του EN 206-1:2000. (Παράρτημα :2 σελ. -7-) . Για την έκδοση του Εθνικού Προσαρτήματος και την μετέπειτα παρακολούθηση του Προτύπου, ο ΕΛΟΤ έχει συστήσει την Εκδοτική Ομάδα Εργασίας ΟΕ1 υπό την Τεχνική Επιτροπή ΕΛΟΤ/ΤΕ20, η οποία είναι στη φάση εκπόνησης του νέου ΕΛΟΤ

Αυτοσυμπυκνωμένο σκυρόδεμα στις κατασκευές

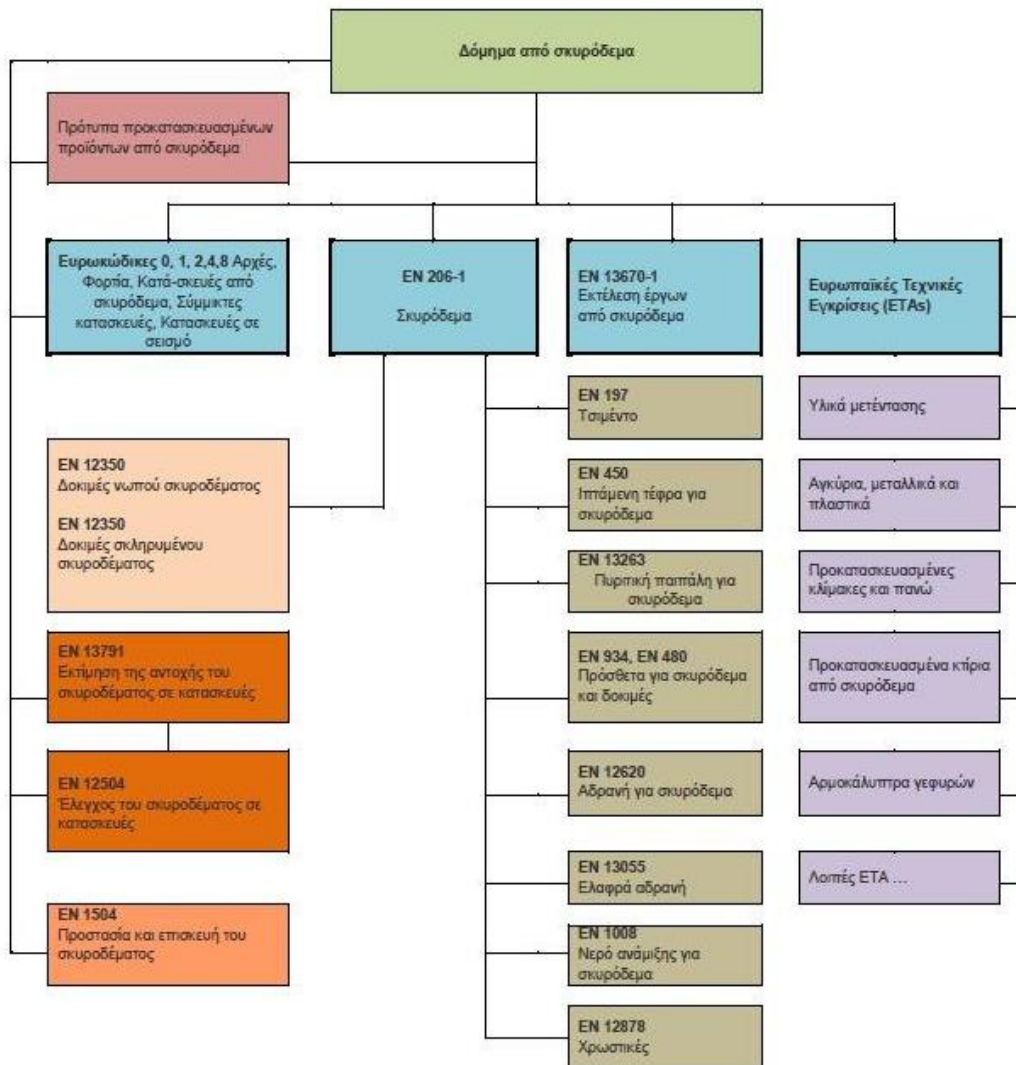
EN206+NA που βασίζεται στη νέα έκδοση του 2013.

B. ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία, αναγνωρίζονται οι παρακάτω Τεχνικές Προδιαγραφές:

- Τα Εναρμονισμένα Ευρωπαϊκά Πρότυπα (εκδίδονται από το CEN)
- Οι Ευρωπαϊκές Τεχνικές Εγκρίσεις. Εγκρίνονται από την ΕΟΤΑ με βάση τις Οδηγίες Ευρωπαϊκών Τεχνικών Εγκρίσεων (ETAGs), κατόπιν εντολής στο CEN.
- Οι Ευρωπαϊκές Τεχνικές Εγκρίσεις χωρίς Οδηγία (ETAG).

Με βάση τα παραπάνω, το πλαίσιο Μελέτης και Εκτέλεσης Δομημάτων από σκυρόδεμα καθορίζεται από την παρακάτω δομή Τεχνικών Προδιαγραφών



Παράρτημα 2 : Πίνακας 1 : . Πλαίσιο Προτύπων και Κανονισμών του CEN για τα έργα από σκυρόδεμα.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Στη χώρα μας, ο Κανονισμός που αυτή τη στιγμή διέπει την παραγωγή σκυροδέματος και την εκτέλεση των έργων από σκυρόδεμα είναι ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ '97) ΦΕΚ 315B / 17-4-1997. Ο Κανονισμός αυτός ήδη βρίσκεται υπό αναθεώρηση από τη Δ/ση Κεντρικού Εργαστηρίου Δημοσίων Έργων του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, σε εναρμόνιση με το πρότυπο EN206 και το εθνικό προσάρτημά του (ΕΛΟΤ EN206-1:2000+NA και ΕΛΟΤ EN206+NA όταν αυτό περατωθεί).

C. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

Το Πρότυπο EN 206 καλύπτει το δομικό προϊόν σκυρόδεμα σε ότι αφορά το χαρακτηρισμό, στο ιδιότητές στη νωπή και στη σκληρυμένη φάση, τη διακίνηση (συμβαλλόμενοι και υποχρεώσεις), την παραγωγή, την πιστοποίηση και τον έλεγχο ποιότητας. Επί πλέον, συμπεριλαμβάνει και τις απαιτήσεις σχεδιασμού και των αντίστοιχων ιδιοτήτων του υλικού, για ανθεκτικότητα σε περιβαλλοντική έκθεση, σε συνεργασία με τον Ευρωκώδικα 2 (EN 1992-1). Στη χώρα μας ισχύει το αντίστοιχο Πρότυπο με το Εθνικό Προσάρτημά του, το ΕΛΟΤ EN 206-1 που εκδίδεται από τον ΕΛΟΤ. Το παραπάνω Πρότυπο δεν καλύπτει ειδικά σκυροδέματα, στο εκτοξευόμενο, αφροσκυρόδεμα και σκυρόδεμα ογκωδών έργων (π.χ. φράγματα).

Σε αντίθεση με την υφιστάμενη πρακτική όπου τα παραπάνω καθορίζονται περιγραφικά στο Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ισχύει ο ΚΤΣ 97), η εισαγωγή του Προτύπου:

- ✓ Διαχωρίζει την παραγωγή / διακίνηση / έλεγχο από την εκτέλεση του έργου, με την εκτέλεση να καλύπτεται από το EN 13670: «Εκτέλεση έργων από σκυρόδεμα»
- ✓ Υιοθετεί τη λογική του σχεδιασμού βάσει επιτελεστικότητας για ανθεκτικότητα, αντί μιας πλέον περιγραφικής (συνταγογραφικής) θεώρησης όπως ο ΚΤΣ 97. Για το σκοπό αυτό, καθορίζει πλέον Κατηγορίες Περιβαλλοντικής Έκθεσης για διάφορες μορφές έκθεσης ρύπων, οι οποίες υιοθετούνται από τους Ευρωκώδικες σχεδιασμού. Επί πλέον, εισάγει δύο κατηγορίες σκυροδέματος, το σκυρόδεμα προδιαγραφόμενης σύνθεσης και το σκυρόδεμα προδιαγραφόμενων χαρακτηριστικών.
- ✓ Δεν καθορίζει αμιγώς νομικές απαιτήσεις, που θα πρέπει να καλύπτονται

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

από ισχύουσες Εθνικές διατάξεις.

D. ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ – ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

Το Πρότυπο αφορά το προϊόν σκυρόδεμα από την παραγωγή μέχρι την παράδοση, καθορίζοντας τις υποχρεώσεις των συμβαλλομένων, δηλαδή του παραγωγού, του προδιαγράφοντος και του χρήστη, οι οποίοι και καθορίζονται επακριβώς. (Παράρτημα 2: Σχέδιο 1)



Παράρτημα 2: Σχέδιο 1: Συμβαλλόμενοι κατά την εφαρμογή του προϊόντος σκυρόδεμα στα έργα κατά EN 206.

Το Πρότυπο συνεργάζεται πλήρως με τα λοιπά Πρότυπα υλικών, τις Ευρωπαϊκές Εγκρίσεις (ETA) και στους Ευρωκώδικες για το σχεδιασμό των έργων (κυρίως τα Πρότυπα EN 1990 και 1992, Ευρωκώδικας και Ευρωκώδικας 2, αντίστοιχα). Για παράδειγμα, άλλα σχετικά Πρότυπα που αφορούν το σκυρόδεμα είναι τα EN 197 «Τσιμέντο», EN 12620 «Αδρανή για το σκυρόδεμα», EN 1008 «Νερό ανάμιξης για το σκυρόδεμα», EN 12350 «Ελεγχοι νωπού σκυροδέματος», EN 12390 «Ελεγχοι σκληρυμένου σκυροδέματος», και άλλα (Παράρτημα 2 : Πίνακας 1).

Η ποιότητα του σκυροδέματος πιστοποιείται στο αυστηρότερο επίπεδο αξιολόγησης συμμόρφωσης, με εξωτερική δειγματοληψία, από ανεξάρτητο αναγνωρισμένο φορέα πιστοποίησης. Για λόγους συντήρησης της τρέχουσας

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

πρακτικής, υιοθετείται και το σκυρόδεμα χωρίς Πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής, με κριτήρια ποιοτικού ελέγχου αυτούσια με αυτά που ισχύουν μέχρι τώρα κατά ΚΤΣ 97.

E. ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

1 : Κατηγορίες για το νωπό σκυρόδεμα

Οι κατηγορίες του νωπού σκυροδέματος ταξινομούνται με βάση τα εξής:

- α) Τη συνεκτικότητα, που είναι η φυσική ιδιότητα του σκυροδέματος που καθορίζει τη συνοχή του νωπού μείγματος των επί μέρους υλικών. Η συνεκτικότητα σχετίζεται έμμεσα με τις μετρήσεις εργασιμότητας. Η εργασιμότητα αφορά το έργο που απαιτείται για τη μεταφορά, διάστρωση και συμπύκνωση του υλικού και εκτιμάται έμμεσα με τις αριθμητικές ενδείξεις που δίνουν οι σχετικές τυποποιημένες δοκιμές κάθισης, δονητικής τράπεζας, εξάπλωσης, οι οποίες περιέχονται στο Πρότυπο (πρόσθετες πρότυπες δοκιμές καθορίζονται για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα), είτε
- β) Την ονομαστική διάσταση του μέγιστου κόκκου αδρανούς στο σκυρόδεμα D_{max} όπως αυτή καθορίζεται στο EN 12620. (παράρτημα 10)

2 : Κατηγορίες για το σκληρυμένο σκυρόδεμα

Το Πρότυπο EN 206 ταξινομεί το σκυρόδεμα: α) ανάλογα με τη χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη, δηλαδή την αντοχή κάτω από την οποία το πολύ ένα 5% στο πληθυσμού δοκιμών ελέγχου σε θλίψη ενός όγκου από σκυρόδεμα, αναμένεται να πέσει και β) την πυκνότητα του υλικού (σκυρόδεμα κανονικού βάρους, ελαφρό και βαρύ σκυρόδεμα). Όσον αφορά την αντοχή, προδιαγράφει τις εξής κατηγορίες αντοχής με βάση τη θλιπτική αντοχή κυλινδρικών και κυβικών δοκιμών (χαρακτηριστική αντοχή σε 28 ημέρες) σύμφωνα με τον Πίνακα 2 παρακάτω (C αντοχή κυλίνδρου $[Mpa]$ /Αντοχή κύβου $[Mpa]$):

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Κατηγορία αντοχής	Ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου N/mm ²	Ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κύβου N/mm ²
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C26/32	26	32
C28/35	28	35
C30/37	30	37
C32/40	32	40
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

Παράρτημα 2 : Πίνακας 2: Κατηγορίες αντοχής και αντίστοιχη ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου / κύβου για το σκυρόδεμα (οι σκιασμένες αφορούν το Εθνικό Προσάρτημα)

Η συμμόρφωση του σκυροδέματος ως προς τα όρια αντοχών είναι στατιστική και γίνεται με ελέγχους και κριτήρια που περιγράφονται στο Πρότυπο, ανάλογα αν υπάρχει έλεγχος παραγωγής από Ανεξάρτητο Φορέα Πιστοποίησης ή όχι.

Φ. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Το Πρότυπο εισάγει και τις απαιτήσεις σχεδιασμού έργων από σκυρόδεμα για ανθεκτικότητα. Υιοθετούνται συγκεκριμένες Κατηγορίες Έκθεσης (με όρια συγκεκριμένης περιεκτικότητας στους ρύπους, εφόσον αυτό καθίσταται απαραίτητο) ενώ καθορίζονται (στο Εθνικό Προσάρτημα) και οι ελάχιστες επικαλύψεις για ανθεκτικότητα (συμβολίζονται και με c_{min} , d_{ur} στον Ευρωκώδικα 2) για κατασκευές Κατηγορίας S4, δηλαδή αυτές με ωφέλιμη διάρκεια ζωής τα 50 χρόνια, κατά Ευρωκώδικα 0.

Οι Κατηγορίες Έκθεσης που καλύπτει το Πρότυπο αφορούν την ενανθράκωση του σκυροδέματος (XC), την έκθεση στο χλωριόντα από το θαλασσινό νερό (XS) την έκθεση σε χλωριόντα από παράγοντες, π.χ. αντιπαγωτικά άλατα (XD), την έκθεση σε χημικά από το έδαφος και τον υδροφόρο ορίζοντα (XA), την έκθεση στην ψύξη/απόψυξη (XF) και την μηχανική απότριψη (XM). Ενδεικτικά ορισμένες από τις κατηγορίες αυτές δίδονται στο Παράρτημα 2

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

:Πίνακα 3.

Κατηγορία	Περιγραφή των συνθηκών περιβάλλοντος	Ενδεικτικές περιπτώσεις ισχύος
X0	Σκυρόδεμα χωρίς οπλισμό ή εντοιχισμένα ειδικά μεταλλικά τεμάχια. Οπλισμένο σκυρόδεμα με ή χωρίς εντοιχισμένα ειδικά μεταλλικά τεμάχια, σε εξαιρετικά ξηρή κατάσταση.	Σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων με εξαιρετικά χαμηλό ποσοστό υγρασίας
Διάβρωση λόγω ενανθράκωσης		
XC1	Σκυρόδεμα στο περιβάλλον ξηρό ή μονίμως υγρό	Σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων με χαμηλό ποσοστό υγρασίας Σκυρόδεμα μονίμως μέσα στο νερό
XC2	Περιβάλλον υγρό, σπανίως ξηρό	Στο μακροχρόνια επαφή με νερό Θεμελιώσεις
XC3	Περιβάλλον μέτριας υγρασίας	Σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων με μέτριο ή υψηλό ποσοστό υγρασίας. Σε εξωτερικό περιβάλλον προστατευμένο από τη βροχή
XC4	Διαδοχικοί κύκλοι υγρού και ξηρού	Στο επαφή με νερό και δεν ανήκει στην κατηγορία XC2 .
Διάβρωση λόγω χλωριόντων		
XD1	Μέτρια υγρασία	Επιφάνειες εκτεθειμένες σε εναέρια χλωριόντα
XD2	Υγρό, σπανίως ξηρό	Στοιχεία από σκυρόδεμα εκτεθειμένα σε βιομηχανικά λύματα που περιέχουν Cl ⁻ Πισίνες
XD3	Διαδοχικοί κύκλοι υγρού και ξηρού	Τμήματα γεφυρών εκτεθειμένα σε διαβροχή περιεκτική στο Cl ⁻ Δάπεδα, Πλάκες σταθμών οχημάτων.
Διάβρωση λόγω χλωριόντων από θαλασσινό νερό		
XS1	Έκθεση στο εναέρια χλωριόντα αλλά στο μη άμεση επαφή με το νερό	Κατασκευές πλησίον ή επάνω στη θάλασσα
XS2	Μονίμως εντός του θαλασσινού νερού	Τμήματα λιμενικών έργων
XS3	Ζώνες διαβροχής, καταιονισμού και παλιρροϊκής εναλλαγής	
Διάβρωση λόγω χημικών δράσεων		
XA1	Ελάχιστα τοξικό περιβάλλον (βλ. EN 206)	Εδάφη και υδροφόρος ορίζοντας
XA2	Μέτρια τοξικό περιβάλλον (βλ. EN 206)	
XA3	Υψηλά τοξικό περιβάλλον (βλ. EN 206)	

Παράρτημα 2 : Πίνακας 3: Κατηγορίες περιβαλλοντικής έκθεσης για το σκυρόδεμα

Για κάθε μία Κατηγορία Έκθεσης, το Πρότυπο παρέχει στο Παράρτημα ΣΤ (του Εθνικού Προσαρτήματος), ανάλογα και με τον τύπο τσιμέντου που χρησιμοποιείται στη σύνθεση, όρια για το μέγιστο λόγο ενεργό νερό στο τσιμέντο,

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

την ελάχιστη περιεκτικότητα στο τσιμέντο, την ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη 28 ημερών, την ελάχιστη επικάλυψη και την ενδεχόμενη απαίτηση για χρήση αερακτικού στη σύνθεση (απαιτείται μόνο για περίπτωση παγοπληξίας).

Ο μελετητής θα πρέπει να τηρήσει τα ελάχιστα ή μέγιστα αυτά όρια, ανάλογα με τη θέση του σκυροδέματος στο έργο και σε τυχόν παραμέτρους (π.χ., μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σχεδιασμού, διάσταση μέγιστου κόκκου αδρανούς πέραν των δεδομένων ορίων του Πίνακα ΣΤ.1, άλλη κατηγορία δομήματος κατά Ευρωκώδικα 2 κλπ.). Θα πρέπει να αναφερθεί εδώ ότι ο Ευρωκώδικας 2 στο Εθνικό Προσάρτημα (EN 1992-1-1+ΕΠ), υιοθετεί στο επικαλύψεις αυτές και προδιαγράφει κατάλληλα αυξημένες επικαλύψεις για παρόμοιες συνθήκες και συνθέσεις, για χρήση στο προεντεταμένο σκυρόδεμα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use

(www.efnarc.org, n.d.)



ERMCO



May 2005

FOREWORD

These Guidelines and specifications were prepared by a project group comprising five European Federations dedicated to the promotion of advanced materials, and systems for the supply and use of concrete. The Self-Compacting Concrete European Project Group was founded in January 2004 with representatives from:

BIBM	The European Precast Concrete Organisation
CEMBUREAU	The European Ready-mix Concrete Organisation.
ERMCO	The European Federation of Concrete Admixture Associations
EFCA	The European Federation of Specialist Construction
EFNARC	Chemicals and Concrete Systems

All comments on “The European Guidelines for Self Compacting Concrete” should be submitted to the EPG Secretary at: www.efca.info or www.efnarc.org

Diagrams and photographs provided by:

Betonsol BV, NL	Price and Myers Consulting Engineers
Degussa	Lafarge
Doka Schalungstechnik GmbH	Sika
Hanson	The “TESTING-SCC” project
Holcim	W. Bennenk

Although care has been taken to ensure, to the best of our knowledge that all data and information contained herein is accurate to the extent that it relates to either matters of fact or accepted practice or matters of opinion at the time of publication, the SCC joint project group assumes no responsibility for any errors in or misrepresentation of such data and/or information or any loss or damage arising from or related to its use.

1. Introduction

Self-compacting concrete (SCC) is an innovative concrete that does not require vibration for placing and compaction. It is able to flow under its own weight, completely filling formwork and achieving full compaction, even in the presence of congested reinforcement. The hardened concrete is dense, homogeneous and has the same engineering properties and durability as traditional vibrated concrete.

Concrete that requires little vibration or compaction has been used in Europe since the early 1970s but self-compacting concrete was not developed until the late 1980's in Japan. In Europe it was probably first used in civil works for transportation networks in Sweden in the mid 1990's. The EC funded a multi-national, industry lead project "SCC" 1997-2000 and since then SCC has found increasing use in all European countries.

Self-compacting concrete offers a rapid rate of concrete placement, with faster construction times and ease of flow around congested reinforcement. The fluidity and segregation resistance of SCC ensures a high level of homogeneity, minimal concrete voids and uniform concrete strength, providing the potential for a superior level of finish and durability to the structure. SCC is often produced with low water-cement ratio providing the potential for high early strength, earlier demoulding and faster use of elements and structures.

The elimination of vibrating equipment improves the environment on and near construction and precast sites where concrete is being placed, reducing the exposure of workers to noise and vibration.

The improved construction practice and performance, combined with the health and safety benefits, make SCC a very attractive solution for both precast concrete and civil engineering construction.

In 2002 EFNARC published their "Specification & Guidelines for Self-Compacting concrete" which, at that time, provided state of the art information for producers and users. Since then, much additional technical information on SCC has been published but European design, product and construction standards do not yet specifically refer to SCC and for site applications this has limited its wider acceptance, especially by specifiers and purchasers.

In 2004 five European organisations BIBM, CEMBUREAU, ERMCO,

EFCA and EFNARC, all dedicated to the promotion of advanced materials and systems for the supply and use of concrete, created a “European Project Group” to review current best practice and produce a new document covering all aspects of SCC. This document “**The European Guidelines for Self Compacting Concrete**” serves to particularly address those issues related to the absence of European specifications, standards and agreed test methods.

2. Scope

“**The European Guidelines for Self Compacting Concrete**” represent a state of the art document addressed to those specifiers, designers, purchasers, producers and users who wish to enhance their expertise and use of SCC. The Guidelines have been prepared using the wide range of the experience and knowledge available to the European Project Group. The proposed specifications and related test methods for ready-mixed and site mixed concrete, are presented in a pre-normative format, intend to facilitate standardisation at European level. This approach should encourage increased acceptance and utilisation of SCC.

“**The European Guidelines for Self Compacting Concrete**” define SCC and many of the technical terms used to describe its properties and use. They also provide information on standards related to testing and to associated constituent materials used in the production of SCC.

Durability and other engineering properties of hardened concrete are covered to provide reassurance to designers on compliance of SCC with EN 1992-1-1 Design of concrete structures (Eurocode 2)

The Guidelines cover information that is common to SCC for the ready-mixed, site mixed and the precast concrete industry. Chapter 12 is devoted to the specific requirements of precast concrete products.

The Guidelines are drafted with an emphasis on ready-mixed and site mixed concrete where there are requirements between the purchaser and supplier in relation to the specification of the concrete in both the fresh and hardened state. In addition, the Guidelines cover specific and important requirements for the purchaser of SCC regarding the site preparation and methods of placing where these are different to traditional vibrated concrete.

The specification of precast concrete is usually based on the quality of the final concrete product in its hardened state according to the requirements of the

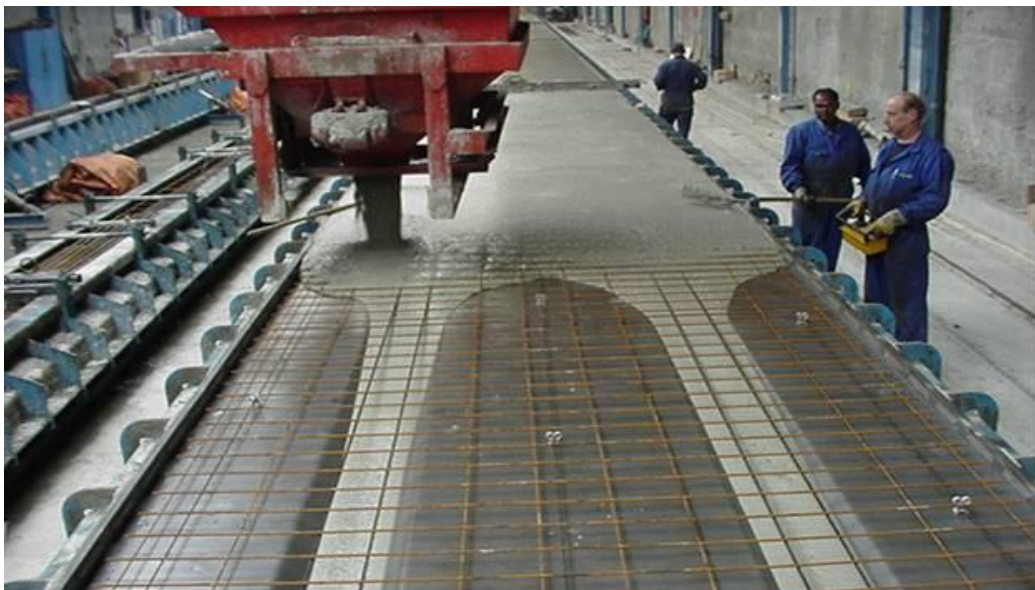
Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

relevant product standards and on EN 13369: *Common rules for precast concrete products*. EN 13369 (Παράρτημα refers only to the parts of EN 206-1 that concern the requirements for the concrete in the hardened state. The requirements for the concrete in the fresh state will be defined by the manufacturers own internal specification.

The document describes the properties of SCC in its fresh and hardened state, and gives advice to the purchaser of ready-mixed and site mixed concrete on how SCC should be specified in relation to the current European standard for structural concrete, EN 206-1. It also describes the test methods used to support this specification. The appended specification and test methods are presented in a pre-normative format that mirrors current EN concrete standards.

Advice is given to the producer on constituent materials, their control and interaction. Because there are a number of different approaches to the design of SCC mixes, no specific method is recommended, but a comprehensive list of papers describing different methods of mix design is provided.

Advice is given to the contractor/user of ready-mixed and site mixed concrete on delivery and placing. Whilst accepting that SCC is a product used by both the precast and in-situ industries, the Guidelines attempt to give specific advice related to the differing requirements of the two sectors. For example, early setting and early strength are important to precasters, whereas workability retention may be more important in in-situ applications.



Παράρτημα 3 Εικόνα 1: Self-compacting concrete

3. Referenced standards

EN 197-1	Cement – Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements
EN 206-1	Concrete – Part 1: Specification, performance, production, and conformity
EN 450-1	Fly ash for concrete – Part 1: Definitions, specifications and quality control
EN 450-2	Fly ash for concrete – Part 2: Conformity control
EN 934-2	Admixtures for concrete, mortar and grout – Part 2: Concrete admixtures – Definitions and requirements
EN 1008	Mixing water for concrete – Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete
EN1992-1	Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-1 – General rules and rules for buildings Part 1-2 – General rules – Structural fire design
EN 12350-1	Testing fresh concrete: Part 1: Sampling
EN 12350-2	Testing fresh concrete: Part 2: Slump test
EN 12620	Aggregates for concrete
EN 12878	Pigments for colouring of building materials based on cement and/or lime – Specification and methods of test
EN 13055-1	Lightweight aggregates – Part 1: Lightweight aggregates for concrete, mortar and grout
EN 13263-1	Silica fume for concrete – Part 1: Definitions, requirements and conformity control
EN 13263-2	Silica fume for concrete – Part 2: Conformity evaluation
EN 13369	Common rules for precast concrete products
EN 13670	Execution of concrete structures
EN 14889	Fibres for concrete
EN 15167-1	Ground granulated blastfurnace slag for use in concrete, mortar and grout – Part 1: Definitions, specifications and conformity criterion
EN 15167 -2	Ground granulated blastfurnace slag for use in concrete, mortar and grout – Part 2: Conformity evaluation
EN ISO 5725	Accuracy (trueness and precision) of Measurement Methods and Results
EN ISO 9001	Quality management systems – Requirements

Note: Some of these EN standards are still in preparation; the latest version of undated standards should be referred to.

4. Terms and definitions

For the purposes of this publication, the following definitions apply:

Addition

Finely-divided inorganic material used in concrete in order to improve certain properties or to achieve special properties. This publication refers to two types of inorganic additions defined in EN 206-1 as: nearly inert additions (Type I); pozzolanic or latent hydraulic additions (Type II) (Παράρτημα :

Admixture

Material added during the mixing process of concrete in small quantities related to the mass of cementitious binder to modify the properties of fresh or hardened concrete

Binder

The combined cement and Type II addition

Filling ability

The ability of fresh concrete to flow into and fill all spaces within the formwork, under its own weight

Fines

See Powder

Flowability

The ease of flow of fresh concrete when unconfined by formwork and/or reinforcement

Fluidity

The ease of flow of fresh concrete

Mortar

The fraction of the concrete comprising paste plus those aggregates less than 4 mm

Paste

The fraction of the concrete comprising powder, water and air, plus admixture, if applicable

Passing ability

The ability of fresh concrete to flow through tight openings such as spaces between steel reinforcing bars without segregation or blocking

Powder (Fines)

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Material of particle size smaller than 0.125 mm

NOTE: It includes this size fraction in the cement, additions and aggregate

Proprietary concrete

Concrete for which the producer assures the performance subject to good practice in placing, compacting and curing, and for which the producer is not required to declare the composition

Robustness

The capacity of concrete to retain its fresh properties when small variations in the properties or quantities of the constituent materials occur

Self-compacting concrete (SCC)

Concrete that is able to flow and consolidate under its own weight, completely fill the formwork even in the presence of dense reinforcement, whilst maintaining homogeneity and without the need for any additional compaction

Segregation resistance

The ability of concrete to remain homogeneous in composition while in its fresh state

Slump-flow

The mean diameter of the spread of fresh concrete using a conventional slump cone

Thixotropy

The tendency of a material (e.g. SCC) to progressive loss of fluidity when allowed to rest undisturbed but to regain its fluidity when energy is applied

Viscosity

The resistance to flow of a material (e.g. SCC) once flow has started.

NOTE: In SCC it can be related to the speed of flow T_{500} in the Slump-flow test or the efflux time in the V-funnel test

Viscosity Modifying Admixture (VMA)

Admixture added to fresh concrete to increase cohesion and segregation resistance.

5. Engineering properties

5.1.General

Self-compacting concrete and traditional vibrated concrete of similar

compressive strength have comparable properties and if there are differences, these are usually covered by the safe assumptions on which the design codes are based. However, SCC composition does differ from that of traditional concrete so information on any small differences that may be observed is presented in the following sections. Whenever possible, reference is made to EN1992-1 and EN206-1:2000 [1] [2].

Durability, the capability of a concrete structure to withstand environmental aggressive situations during its design working life without impairing the required performance, is usually taken into account by specifying environmental classes. This leads to limiting values of concrete composition and minimum concrete covers to reinforcement.

In the design of concrete structures, engineers may refer to a number of concrete properties, which are not always part of the concrete specification. The most relevant are:

- ✓ Compressive strength
- ✓ Tensile strength
- ✓ Modulus of elasticity
- ✓ Creep
- ✓ Shrinkage
- ✓ Coefficient of thermal expansion
- ✓ Bond to reinforcement
- ✓ Shear force capacity in cold joints
- ✓ Fire resistance

Where the value and/or the development of a specific concrete property with time is critical, tests should be carried out taking into account the exposure conditions and the dimensions of the structural member.

5.2.Compressive strength

Self-compacting concrete with a similar water cement or cement binder ratio will usually have a slightly higher strength compared with traditional vibrated concrete, due to the lack of vibration giving an improved interface between the aggregate and hardened paste. The strength development will be similar so maturity testing will be an effective way to control the strength development whether accelerated heating is used or not.

A number of concrete properties may be related to the concrete compressive

strength, the only concrete engineering property that is routinely specified and tested

5.3.Tensile strength

Self-compacting concrete may be supplied with any specified compressive strength class. For a given concrete strength class and maturity, the tensile strength may be safely assumed to be the same as the one for a normal concrete as the volume of paste (cement + fines + water) has no significant effect on tensile strength.

In the design of reinforced concrete sections, the bending tensile strength of the concrete is used for the evaluation of the cracking moment in prestressed elements, for the design of reinforcement to control crack width and spacing resulting from restrained early-age thermal contraction, for drawing moment-curvature diagrams, for the design of unreinforced concrete pavements and for fibre reinforced concrete.

5.4.Static modulus of elasticity

The modulus of elasticity (E-value, the ratio between stress and strain), is used in the elastic calculation of deflection, often the controlling parameter in slab design, and of pre or post tensioned elements.

As the bulk of the volume of concrete is aggregate, the type and amount of aggregate as well as its E-value have the most influence. Selecting an aggregate with a high E-value will increase the modulus of elasticity of concrete. However, increasing the paste volume could decrease the E-value. Because SCC often has a higher paste content than traditional vibrated concrete, some differences can be expected and the E-value may be somewhat lower but this should be adequately covered by the safe assumptions on which the formulae provided in EN1992-1-1 are based.

If SCC does have a slightly lower E modulus than traditional vibrated concrete, this will affect the relationship between the compressive strength and the camber due to prestressing or post-tensioning. For this reason, careful control should be exercised over the strength at the time when the prestressing and post-tensioning strands or wires are released.

5.5.Creep

Creep is defined as the gradual increase in deformation (strain) with time for a constant applied stress, also taking into account other time dependent

deformations not associated with the applied stress, i.e. shrinkage, swelling and thermal deformation.

Creep in compression reduces the prestressing forces in prestressed concrete elements and causes a slow transfer of load from the concrete onto the reinforcement. Creep in tension can be beneficial in that it in part relieves the stresses induced by other restrained movements, e.g. drying shrinkage and thermal effects.

Creep takes place in the cement paste and it is influenced by its porosity which is directly related to its water/cement ratio. During hydration, the porosity of the cement paste reduces and so for a given concrete, creep reduces as the strength increases. The type of cement is important if the age of loading is fixed. Cements that hydrate more rapidly will have higher strength at the age of loading, a lower stress/strength ratio and a lower creep. As the aggregates restrain the creep of the cement paste, the higher the volume of the aggregate and the higher the E-value of the aggregate, the lower the creep will be.

Due to the higher volume of cement paste, the creep coefficient for SCC may be expected to be higher than for normal concrete of equal strength, but such differences are small and covered by the safe assumptions in the tables and the formulae provided in the Eurocode.

5.6. Shrinkage

Shrinkage is the sum of the autogenous and the drying shrinkage. Autogenous shrinkage occurs during setting and is caused by the internal consumption of water during hydration. The volume of the hydration products is less than the original volume of unhydrated cement and water and this reduction in volume causes tensile stresses and results in autogenous shrinkage.

Drying shrinkage is caused by the loss of water from the concrete to the atmosphere. Generally this loss of water is from the cement paste, but with a few types of aggregate the main loss of water is from the aggregate. Drying shrinkage is relatively slow and the stresses it induces are partially balanced by tension creep relief.

The aggregate restrains the shrinkage of the cement paste and so the higher the volume of the aggregate and the higher the E-value of the aggregate, the lower

the drying shrinkage. A decrease in the maximum aggregate size which results in a higher paste volume increases the drying shrinkage.

The values and formulae given in the Eurocode for normal concrete are still valid in the case of SCC.

As concrete compressive strength is related to the water cement ratio, in SCC with a low water/cement ratio drying shrinkage reduces and the autogenous shrinkage can exceed it.

Tests performed on creep and shrinkage of different types of SCC and a reference concrete [7] show that

- the deformation caused by shrinkage may be higher
- the deformation caused by creep may be lower
- the value for the sum of the deformations due to shrinkage and creep are almost similar

Due to the restraint of the presence of reinforcement in a cross section the shrinkage strain will cause tension in concrete and compression in the reinforcement.

5.7.Coefficient of thermal expansion

The coefficient of thermal expansion of concrete is the strain produced in concrete after a unit change in temperature where the concrete is not restrained either internally (by reinforcing bars) or externally.

The coefficient of thermal expansion of concrete varies with its composition, age and moisture content. As the bulk of concrete comprises aggregate, using an aggregate with a lower coefficient of thermal expansion will reduce the coefficient of thermal expansion of the resulting concrete. Reducing the coefficient of thermal expansion leads to a proportional reduction in the crack control reinforcement.

While the range of the coefficient of thermal expansion is from 8 to 13 micro strains/K, EN 1992-1-1 (Παράρτημα states that unless more accurate information is available, it may be taken as 10 to 13 micro strains/K. The same may be assumed in the case of SCC.

5.8.Bond to reinforcement, prestressing and wires

Reinforced concrete is based on an effective bond between concrete and the reinforcing bars. The concrete bond strength should be sufficient to prevent bond failure. The effectiveness of bond is affected by the position of the embedded bars

and the quality of concrete as cast. An adequate concrete cover is necessary in order to properly transfer bond stresses between steel and concrete.

Poor bond often results from a failure of the concrete to fully encapsulate the bar during placing or bleed and segregation of the concrete before hardening which reduce the quality of contact on the bottom surface. SCC fluidity and cohesion minimise these negative effects, especially for top bars in deep sections [5].

In the case of strands the transfer and anchorage length in different types of SCC have been compared with the performance in vibrated concrete of the same compressive stress. The transfer length for strands embedded in SCC was shown to be on the safe side when compared with the calculated values according the EN1992-1 and EN206-1 see also [7] [8].

Even if bond properties are generally enhanced when SCC is used, for a given compressive strength the formulae used in the Code should be used.

5.9. Shear force capacity across pour planes

The surface of hardened SCC after casting and hardening may be rather smooth and impermeable. Without any treatment of the surface after placing the first layer, the shear force capacity between the first and second layer may be lower than for vibrated concrete and may therefore be insufficient to carry any shear force. A surface treatment such as surface retarders, brushing or surface roughening should to be sufficient, [7] [9].

5.10. Fire resistance

Concrete is non-combustible and does not support the spread of flames. It produces no smoke, toxic gases or emissions when exposed to fire and does not contribute to the fire load. Concrete has a slow rate of heat transfer which makes it an effective fire shield for adjacent compartments and under typical fire conditions, concrete retains most of its strength. The European Commission has given concrete the highest possible fire designation, A1.

The fire resistance of SCC is similar to normal concrete [7] In general a low permeability concrete may be more prone to spalling but the severity depends upon the aggregate type, concrete quality and moisture content [6]. SCC can easily achieve the requirements for high strength, low permeability concrete and will perform in a similar way to any normal high strength concrete under fire conditions [7].

The use of polypropylene fibres in concrete has been shown to be effective in

improving its resistance to spalling. The mechanism is believed to be due to the fibres melting and being absorbed in the cement matrix. The fibre voids then provide expansion chambers for steam, thus reducing the risk of spalling. Polypropylene fibres have been successfully used with SCC.

5.11. Durability

The durability of a concrete structure is closely associated to the permeability of the surface layer, the one that should limit the ingress of substances that can initiate or propagate possible deleterious actions (CO₂, chloride, sulphate, water, oxygen, alkalis, acids, etc.). In practice, durability depends on the material selection, concrete composition, as well as on the degree of supervision during placing, compaction, finishing and curing.

Lack of compaction of the surface layer, due to vibration difficulties in narrow spaces between the formwork and the re-bars or other inserts (e.g. post-tensioning ducts) has been recognised as a key factor of poor durability performance of reinforced concrete structures exposed to aggressive environments. Overcoming this was one of the main reasons for the original development of SCC in Japan.

Traditional vibrated concrete is subjected to compaction via vibration (or tamping), which is a discontinuous process. In the case of internal vibration, even when correctly executed, the volume of concrete within the area of influence of the vibrator does not receive the same compaction energy. Similarly, in the case of external vibration, the resulting compaction is essentially heterogeneous, depending on the distance to the vibration sources.

The result of the vibration is, therefore, a concrete in the structure with uneven compaction and, therefore, with different permeabilities, which enhances the selective ingress of aggressive substances. Naturally, the consequences of incorrect vibration (honeycombing, segregation, bleeding, etc.) have a much stronger negative effect on permeability and, hence, on durability.

Self-compacting concrete with the right properties will be free from those shortcomings and result in a material of consistently low and uniform permeability, offering less weak points for deleterious actions of the environment and, hence, better durability. The comparison of permeability between SCC and normal vibrated concrete will depend on the selection of materials and the effective water cement or water binder ratio.

There are test methods, either standardised nationally or recommended by RILEM to measure the permeability of concrete, in the laboratory and in-situ, as durability indicators. EN1992-1 and EN206 -1 both take into account durability by specifying environmental classes leading to limiting values of concrete composition and to minimum concrete cover to reinforcement [1] [2].

5.12. References

- [1] EN1992-1 – Eurocode 2:Design of concrete structures Part 1 –1 – General rules and rules for buildings –Part 1-2 – General rules – Structural file design
- [2] EN206-1: 2000 – Concrete Part 1 – Specification, performance, production and conformity
- [3] BROOKS, J Elasticity, shrinkage, creep and thermal movement. Advanced Concrete Technology – Concrete properties, Edited by John Newman and Ban Seng Choo, ISBN 0 7506 5104 0, 2003.
- [4] HARRISON, T A Early-age thermal crack control in concrete. CIRIA Report 91, Revised edition 1992 ISBN 0 86017 329 1
- [5] SONEBI, M, WENZHONG,Z and GIBBS, J Bond of reinforcement in self-compacting concrete – CONCRETE July-August 2001
- [6] CATHER, R Concrete and fire exposure. Advanced Concrete Technology – Concrete properties, Edited by John Newman and Ban Seng Choo, ISBN 0 7506 5104 0, 2003.
- [7] DEN UIJL, J.A., Zelfverdichtend Beton, CUR Rapport 2002-4 –Onderzoek in opdracht van CUR Commissie B79 Zelfverdichtend Beton, Stichting CUR, ISBN 90 3760 242 8.
- [8] VAN KEULEN, D, C, Onderzoek naar eigenschappen van Zelfverdichtend Beton, Rapport TUE/BCO/00.07, April 2000.
- [9] JANMAAT, D, WELZEN.M.J.P, Schuifkrachtoverdracht in schuifvlakken van zelfverdichtend beton bij prefab elementen, Master Thesis, Rapport TUE/CCO/A-2004-6.



Παράρτημα 3 Εικόνα 2: Figure 5.1: Surface detail on precast element with SCC filling under the formwork

6. Specifying SCC for ready-mixed and site mixed concrete

6.1.General

The specification, performance and conformity requirements for structural concrete are given in EN 206-1. (Παράρτημα However, in the case of SCC some properties in the fresh state exceed the limits and classes provided in this standard. None of the test methods in the current EN 12350 series ‘Testing fresh concrete’ (Παράρτημα are suitable for assessment of the key properties of fresh SCC. Appropriate test methods for SCC are given in Annex B of these Guidelines and it is envisaged that the EN 12350 series will be extended to cover these test methods.

The filling ability and stability of self-compacting concrete in the fresh state can be defined by four key characteristics. Each characteristic can be addressed by one or more test methods:

Characteristic	Preferred test method(s)
Flowability	Slump-flow test
Viscosity (assessed by rate of flow)	T ₅₀₀ Slump-flow test or V-funnel test
Passing ability	L-box test
Segregation	Segregation resistance (sieve) test

These test methods for SCC are described in Annex B.

Full details for the specification, performance, production and conformity of SCC, where these complement EN 206-1, Παράρτημα are described in Annex A.

Further advice on specification of SCC in the fresh state is given in Clauses 6.3 and 6.4.

6.2.Specification

SCC will normally be specified as a prescribed or proprietary concrete.

The prescribed concrete method is most suitable where the specifier and producer/user are the same party, e.g. in site mixed.

For commercial reasons the ready-mixed concrete producer will probably prefer the proprietary method of specification (see annex A), following consultation between the purchaser and the producer. The proprietary method focuses on the performance of the concrete and places responsibility on the producer to achieve this performance. It is not usually practical for the specifier to

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

develop their own SCC and then specify the mix proportions to the producer and if they do follow this route, they cannot also specify a strength class.

The specification for self-compacting concrete using the proprietary concrete method shall contain:

- a) basic requirements given in Sub-clause 6.2.1 of these Guidelines
- b) additional requirements given in Sub-clause 6.2.2 where required

6.2.1 Basic requirements

The specification for self-compacting concrete shall contain:

- a) requirement to conform to ‘The European Guidelines for SCC, May 2005, Annex A’ ;
- b) compressive strength class (see Note 1 and EN 206-1: 2000, 4.3.1); Παράρτημα
- c) exposure class(s) and/or limiting values of composition, e.g. maximum w/c ratio, minimum cement content (see provision valid in the place of use);
- d) maximum nominal upper aggregate size;
- e) chloride class (see EN 206-1: 2000, 5.2.7); Παράρτημα
- f) slump-flow class or, in special cases, a target value (see Annex A, Table A.6).

NOTE 1: In some EU Member States only specific strength classes are applied according to National Application Documents (NAD)

NOTE 2: Consideration should be given to specifying a requirement for the producer to operate an accredited quality system meeting the requirements of EN ISO 9001. Παράρτημα

6.2.2 Additional requirements

In addition to the basic requirements (Sub-clause 6.2.1), the specification for self-compacting concrete shall contain any of the following additional requirements and provisions that are deemed to be necessary, specifying performance requirements and test methods as appropriate:

- a) T500 value for the slump-flow test (see Annex A, Table A.2) or a V-funnel class (see Annex A, Table A.3);
- b) L-box class or, in special cases, a target value (see Annex A, Table A.4);
- c) Segregation resistance class or, in special cases, a target value (see Annex A,

Table A.5);

d) Requirements for the temperature of the fresh concrete, where different from those in EN 206-1: 2000, 5.2.8; Παράρτημα

e) Other technical requirements.

NOTE 1. Where these tests are required routinely, the rate of testing shall be specified.

6.3. Requirements in the fresh state

Specific requirements for SCC in the fresh state depend on the type of application, and especially on:

- confinement conditions related to the concrete element geometry, and the quantity, type and location of reinforcement, inserts, cover and recesses etc.
- placing equipment (e.g. pump, direct from truck-mixer, skip, tremie)
- placing methods (e.g. number and position of delivery points)
- finishing method

The classifying system detailed in Annex A allows for an appropriate specification of SCC to cover these requirements, which are characterised as:

- | | | |
|---|---------------------------|-----------|
| ▪ Flowability | Slump-flow SF | 3 classes |
| ▪ Viscosity, (measure of the speed of flow) | Viscosity VS or VF | 2 classes |
| ▪ Passing ability, (flow without blocking) | Passing ability PA | 2 classes |
| ▪ Segregation resistance | Segregation resistance SR | 2 classes |

Details of the test methods for these characteristics can be found in Annex B.

Information on selection of parameters and classes is given in Clause 6.4.

Self-compacting concrete requirements in the fresh state that are appropriate for a given application should be selected from one or more of these four key characteristics and then specified by class or target value according to Annex A.

For ready-mixed or site mixed concrete, characteristics and classes should be carefully selected, controlled and justified on the basis of contractor and concrete producer experience or by specific trials. It is therefore important that the concrete purchaser and concrete producer discuss and define clearly those characteristics before starting the project.

The concrete purchaser should only select those fresh concrete characteristics necessary for the particular SCC application and over specification of both the concrete characteristic and class should be avoided. Slump-flow will normally be

specified for all SCC.

Passing ability, viscosity and segregation resistance will affect the in-situ properties of the hardened concrete but should only be specified if specifically needed.

- If there is little or no reinforcement, there may be no need to specify passing ability as a requirement.
- Viscosity may be important where good surface finish is required or reinforcement is very congested but should not be specified in most other cases.
- Segregation resistance becomes increasingly important with higher fluidity and lower viscosity SCC but if it needs to be specified, class 1 has been shown to be adequate for most applications.

See Clause 6.4 for additional advice on specifying.

The required consistence retention time will depend on the transportation and placing time. This should be determined and specified and it is the responsibility of the producer to ensure that the SCC maintains its specified fresh properties during this period.

Self-compacting concrete should, if possible be placed in one continuous pour so delivery rates should be matched to placing rate and also be agreed with the producer in order to avoid placing stoppages due to lack of concrete or long delays in placing after the concrete reaches site.

6.4.Consistence classification

6.4.1 Slump-flow

Slump-flow value describes the flowability of a fresh mix in unconfined conditions. It is a sensitive test that will normally be specified for all SCC, as the primary check that the fresh concrete consistence meets the specification. Visual observations during the test and/or measurement of the T500 time can give additional information on the segregation resistance and uniformity of each delivery.

The following are typical slump-flow classes for a range of applications: SF1 (550 – 650 mm) is appropriate for:

- unreinforced or slightly reinforced concrete structures that are cast from the

top with free displacement from the delivery point (e.g. housing slabs)

- casting by a pump injection system (e.g. tunnel linings)
- sections that are small enough to prevent long horizontal flow (e.g. piles and some deep foundations).

SF2 (660 – 750 mm) is suitable for many normal applications (e.g. walls, columns)

SF3 (760 – 850 mm) is typically produced with a small maximum size of aggregates (less than 16 mm) and is used for vertical applications in very congested structures, structures with complex shapes, or for filling under formwork. SF3 will often give better surface finish than SF 2 for normal vertical applications but segregation resistance is more difficult to control.

Target values higher than 850 mm may be specified in some special cases but great care should be taken regarding segregation and the maximum size of aggregate should normally be lower than 12 mm.

6.4.2 Viscosity

Viscosity can be assessed by the T500 time during the slump-flow test or assessed by the V-funnel flow time. The time value obtained does not measure the viscosity of SCC but is related to it by describing the rate of flow. Concrete with a low viscosity will have a very quick initial flow and then stop. Concrete with a high viscosity may continue to creep forward over an extended time.

Viscosity (low or high) should be specified only in special cases such as those given below. It can be useful during mix development and it may be helpful to measure and record the T500 time while doing the slump-flow test as a way of confirming uniformity of the SCC from batch to batch.

VS1/VF1 has good filling ability even with congested reinforcement. It is capable of self-levelling and generally has the best surface finish. However, it is more likely to suffer from bleeding and segregation.

VS2/VF2 has no upper class limit but with increasing flow time it is more likely to exhibit thixotropic effects, which may be helpful in limiting the formwork pressure (see Clause 10.5) or improving segregation resistance. Negative effects may be experienced regarding surface finish (blow holes) and sensitivity to stoppages or delays between successive lifts.

6.4.3 Passing ability

Passing ability describes the capacity of the fresh mix to flow through confined spaces and narrow openings such as areas of congested reinforcement without segregation, loss of uniformity or causing blocking. In defining the passing ability, it is necessary to consider the geometry and density of the reinforcement, the flowability/filling ability and the maximum aggregate size.

The defining dimension is the smallest gap (confinement gap) through which SCC has to continuously flow to fill the formwork. This gap is usually but not always related to the reinforcement spacing. Unless the reinforcement is very congested, the space between reinforcement and formwork cover is not normally taken into account as SCC can surround the bars and does not need to continuously flow through these spaces.

Examples of passing ability specifications are given below:

PA 1 structures with a gap of 80 mm to 100 mm, (e.g. housing, vertical structures)

PA 2 structures with a gap of 60 mm to 80 mm, (e.g. civil engineering structures)

For thin slabs where the gap is greater than 80 mm and other structures where the gap is greater than 100 mm no specified passing ability is required.

For complex structures with a gap less than 60 mm, specific mock-up trials may be necessary.

6.4.4 Segregation resistance

Segregation resistance is fundamental for SCC in-situ homogeneity and quality. SCC can suffer from segregation during placing and also after placing but before stiffening. Segregation which occurs after placing will be most detrimental in tall elements but even in thin slabs, it can lead to surface defects such as cracking or a weak surface.

In the absence of relevant experience, the following general guidance on segregation resistance classes is given:

Segregation resistance becomes an important parameter with higher slump-flow classes and/or the lower viscosity class, or if placing conditions promote segregation. If none of these apply, it is usually not necessary to specify a segregation resistance class.

SR1 is generally applicable for thin slabs and for vertical applications with a flow distance of less than 5 metres and a confinement gap greater than 80 mm.

SR2 is preferred in vertical applications if the flow distance is more than 5

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

metres with a confinement gap greater than 80 mm in order to take care of segregation during flow.

SR2 may also be used for tall vertical applications with a confinement gap of less than 80 mm if the flow distance is less than 5 metres but if the flow is more than 5 metres a target SR value of less than 10% is recommended.

SR2 or a target value may be specified if the strength and quality of the top surface is particularly critical.

6.5. Specification examples

The following table highlights the initial parameters and classes to be considered for specifying SCC in different applications. It does not take account of specific confinement conditions, element geometry, placing method or characteristics of the materials to be used in the concrete mix. Discussions should normally be held with the concrete producer before a final specification decision is made.

Viscosity				Segregation resistance/ passing ability
VS 2 VF 2	Ramps			Specify passing ability for SF1& 2
VS 1 or 2 VF 1 or 2 or a target value.	Walls and piles Tall and slender			Specify SR for SF 3
VS 1 VF 1	Floors and slabs			Specify SR for SF 2 & 3
	SF 1	SF 2	SF 3	
	Slump-flow			

Properties of SCC for various types of application based on Walraven, 2003

Παράρτημα 3 Σχέδιο 1: Properties of SCC for various types of application based on Walraven, 2003

Walraven J (2003) Structural applications of self compacting concrete Proceedings of 3rd RILEM International Symposium on Self Compacting Concrete, Reykjavik, Iceland, ed. Wallevik O and Nielsson I, RILEM Publications PRO 33, Bagnaux, France, August 2003 pp 15-22

7. Constituent materials

7.1 General

The constituent materials for SCC are the same as those used in traditional vibrated concrete conforming to EN 206-1. In most cases the requirements for constituents are individually covered by specific European standards. However, in order to be sure of uniform and consistent performance for SCC, additional care is needed in initial selection and also in the continual monitoring for uniformity of incoming batches.

To achieve these requirements the control of the constituent materials needs to be increased and the tolerable variations restricted, so that daily production of SCC is within the conformity criteria without the need to test and/or adjust every batch.

7.2 Cement

All cements which conform to EN 197-1 can be used for the production of SCC. The correct choice of cement type is normally dictated by the specific requirements of each application or what is currently being used by the producer rather than the specific requirements of SCC.

7.3 Additions

Due to the fresh property requirements of SCC, inert and pozzolanic/hydraulic additions are commonly used to improve and maintain the cohesion and segregation resistance. The addition will also regulate the cement content in order to reduce the heat of hydration and thermal shrinkage.

The additions are classified according to their reactive capacity with water:

TYPE I	Inert or semi-inert	<ul style="list-style-type: none">• Mineral filler (limestone, dolomite etc)• Pigments
TYPE II	Pozzolanic	<ul style="list-style-type: none">• Fly ash conforming to EN 450• Silica fume conforming to EN 13263
	Hydraulic	<ul style="list-style-type: none">• Ground granulated blast furnace slag (If not combined in an EN 197-1 cement, national standards may apply until the new EN 15167 standard is published)

Παράρτημα 3 Πίνακας 1: Additions

Additions, other than those combined in an EN 197-1 cement, may not be as well controlled in terms of particle size distribution and composition as some other concrete constituents so increased monitoring of deliveries may be necessary.

Self-compacting concrete is often selected for its high quality finish and good appearance but this may be compromised if the source of the addition does not have good colour consistency.

7.3.1 Mineral fillers

The particle size distribution, shape and water absorption of mineral fillers may affect the water demand /sensitivity and therefore suitability for use in the manufacture of SCC. Calcium carbonate based mineral fillers are widely used and can give excellent rheological properties and a good finish. The most advantageous fraction is that smaller than 0.125 mm and in general it is desirable for >70% to pass a 0.063mm sieve. Fillers specifically ground for this application offer the advantage of improved batch to batch consistency of particle size distribution, giving improved control over water demand and making them particularly suitable for SCC compared with other available materials

7.3.2 Fly ash

Fly ash has been shown to be an effective addition for SCC providing increased cohesion and reduced sensitivity to changes in water content. However, high levels of fly ash may produce a paste fraction which is so cohesive that it can be resistant to flow.

7.3.3 Silica fume

The high level of fineness and practically spherical shape of silica fume results in good cohesion and improved resistance to segregation. However, silica fume is also very effective in reducing or eliminating bleed and this can give rise to problems of rapid surface crusting. This can result in cold joints or surface defects if there are any breaks in concrete delivery and also to difficulty in finishing the top surface.

7.3.4 Ground blast furnace slag

Ground granulated blast furnace slag (ggbfs) provides reactive fines with a low heat of hydration. GGBS is already present in some CEM II or CEM III cements but is also available as an addition in some countries and may be added at the mixer. A high proportion of ggbfs may affect stability of SCC resulting in reduced robustness with problems of consistence control while slower setting can

also increase the risk of segregation. Ground blast furnace slag is also available in some countries as a type I addition.

7.3.5 Other additions

Metakaolin, natural pozzolana, ground glass, air cooled slag and other fine fillers have also been used or considered as additions for SCC but their effects need to be carefully and individually evaluated for both short and long term effects on the concrete.

7.4 Aggregates

Normal-weight aggregates should conform to EN 12620 and meet the durability requirements of EN 206-1. to EN 13055-1.

Lightweight aggregates should conform **NOTE**

: Aggregate particles smaller than 0,125 mm are deemed to contribute to the powder content of the SCC.

The moisture content, water absorption, grading and variations in fines content of all aggregates should be closely and continuously monitored and must be taken into account in order to produce SCC of constant quality. Using washed aggregates will normally give a more consistent product. Changing the source of supply is likely to make a significant change to the concrete properties and should be carefully and fully evaluated.

The shape and particle size distribution of the aggregate is very important and affects the packing and voids content. Some mix design methods use the voids content of the aggregate in predicting the volumes of paste and of mortar required. Single size aggregates and/or a gap in the grading between coarse and fine aggregates are used in some mix designs.

7.4.1 Coarse aggregate

Coarse aggregates conforming to EN 12620 are appropriate for the production of SCC. Lightweight aggregate has been successfully used for SCC but note that the aggregate may migrate to the surface if the paste viscosity is low and this may not be detected by the sieve segregation resistance test.

The reinforcement spacing is the main factor in determining the maximum aggregate size. Aggregate blocking must be avoided as SCC flows through the

reinforcement and the L-box test is indicative of the passing ability of an SCC mix. The maximum aggregate size should generally be limited to 12 – 20 mm, although larger sizes are being used.

The particle size distribution and the shape of coarse aggregate directly influence the flow and passing ability of SCC and its paste demand. The more spherical the aggregate particles the less they are likely to cause blocking and the greater the flow because of reduced internal friction.

7.4.2 Fine Aggregate / Sands

The influence of fine aggregates on the fresh properties of the SCC is significantly greater than that of coarse aggregate. Particles size fractions of less than 0.125 mm should be include the fines content of the paste and should also be taken into account in calculating the water powder ratio.

The high volume of paste in SCC mixes helps to reduce the internal friction between the sand particles but a good grain size distribution is still very important. Many SCC mix design methods use blended sands to match an optimised aggregate grading curve and this can also help to reduce the paste content. Some producers prefer gap-graded sand.

7.5 Admixtures

Superplasticisers or high range water reducing admixtures conforming to EN 934-2 Tables 3.1 and 3.2 are an essential component of SCC. Viscosity modifying admixtures (VMA) may also be used to help reduce segregation and the sensitivity of the mix due to variations in other constituents, especially to moisture content. Other admixtures including air entraining, accelerating and retarding may be used in the same way as in traditional vibrated concrete but advice should be sought from the admixture manufacturer on use and the optimum time for addition and they should conform to EN 934-2.

Choice of admixture for optimum performance may be influenced by the physical and chemical properties of the binder/addition. Factors such as fineness, carbon content, alkalis and C3A may have an effect. It is therefore recommended that compatibility is carefully checked if a change in supply of any of these constituents is to be made.

Admixtures will normally be very consistent from batch to batch but moving to another source or to another type from the same manufacturer is likely to have a significant effect on SCC performance and should be fully checked before any change is made.

7.5.1. Superplasticiser / High range water reducing admixtures

Most admixture manufacturers will have a range of superplasticising admixtures tailored to specific user requirements and the effects of other mix constituents.

The admixture should bring about the required water reduction and fluidity but should also maintain its dispersing effect during the time required for transport and application. The required consistence retention will depend on the application. Precast concrete is likely to require a shorter retention time than for concrete that has to be transported to and placed on site.

7.5.2 Viscosity modifying admixtures

Admixtures that modify the cohesion of the SCC without significantly altering its fluidity are called viscosity modifying (VMA). These admixtures are used in SCC to minimise the effect of variations in moisture content, fines in the sands or its grain size distribution, making the SCC more robust and less sensitive to small variations in the proportions and condition of other constituents. However, they should not be regarded as a way of avoiding the need for a good mix design and careful selection of other SCC constituents.

At present EN 934-2 does not cover VMAs but they should conform to the general requirements in Table 1 of EN 934-2. In addition, evidence of performance should be provided by the supplier. A draft method for establishing suitability of VMAs (based on EN 934-2) is given on the EFCA web site www.efca.info.

7.5.3 Air entraining admixtures

Air entraining admixtures may be used in the production of SCC to improve freeze-thaw durability. They are also used to improve the finishing of flat slabs and air entrainment is particularly useful in stabilising low powder content, lower strength SCC.

7.6 Pigments

Pigments conforming to EN12878 can be used successfully with SCC, applying the same attention and limitations as in traditional vibrated concrete. However, they can affect fresh properties so they should not be added to an existing SCC without first doing a trial.

In general, due to the high fluidity of SCC, the dispersion of the pigment is more efficient and more uniform colours are usually achieved, both within and between batches. However, the higher paste content of SCC may result in a higher dosage of pigment to achieve the required colour density.

7.7 Fibres

Both metallic and polymer fibres have been used in the production of SCC, but they may reduce flowability and passing ability. Trials are therefore needed to establish the optimum type, length and quantity to give all the required properties to both the fresh and hardened concrete.

Polymer fibres can be used to improve the stability of SCC, as they help prevent settlement and cracking due to plastic shrinkage of the concrete.

Steel or long polymer structural fibres are used to modify the ductility/toughness of the hardened concrete. Their length and quantity is selected depending on the maximum size of aggregate and on structural requirements. If they are used as a substitute for normal reinforcement, the risk of blockage is no longer applicable but it should be emphasised that using SCC with fibres in structures with normal reinforcement significantly increases the risk of blockage.

7.8 Mixing water

Water conforming to EN 1008 should be used in SCC mixes. Where recycled water, recovered from processes in the concrete industry, is used the type/content and in particular any variation in content of suspended particles should be taken into account as this may affect batch to batch uniformity of the mix.

8. Mix composition

8.1 General

The mix composition is chosen to satisfy all performance criteria for the concrete in both the fresh and hardened states. In the case of ready-mixed concrete, these criteria will be supplied as a specification by the purchaser and should meet the requirements set out in Chapter 6 of this document.

8.2 Mix design principles

To achieve the required combination of properties in fresh SCC mixes:

- The fluidity and viscosity of the paste is adjusted and balanced by careful selection and proportioning of the cement and additions, by limiting the water/powder ratio and then by adding a superplasticiser and (optionally) a viscosity modifying admixture. Correctly controlling these components of SCC, their compatibility and interaction is the key to achieving good filling ability, passing ability and resistance to segregation.
- In order to control temperature rise and thermal shrinkage cracking as well as strength, the fine powder content may contain a significant proportion of type I or all additions to keep the cement content at an acceptable level.
- The paste is the vehicle for the transport of the aggregate; therefore the volume of the paste must be greater than the void volume in the aggregate so that all individual aggregate particles are fully coated and lubricated by a layer of paste. This increases fluidity and reduces aggregate friction.
- The coarse to fine aggregate ratio in the mix is reduced so that individual coarse aggregate particles are fully surrounded by a layer of mortar. This reduces aggregate interlock and bridging when the concrete passes through narrow openings or gaps between reinforcement and increases the passing ability of the SCC.

These mix design principles result in concrete that, compared to traditional vibrated concrete, normally contains:

- ✓ lower coarse aggregate content
- ✓ increased paste content
- ✓ low water/powder ratio
- ✓ increased Superplasticiser

- ✓ sometimes a viscosity modifying admixture.

8.3 Test methods

A wide range of test methods have been developed to measure and assess the fresh properties of SCC. Figure 8.1 lists the most common tests grouped according to the property assessed. Full details on five of these methods can be found in Annex B. These are the methods which find the most widespread use across Europe and to which specification classes could be assigned with some confidence as detailed in Annex A. Details on most of the other methods in Table 8.1 are given in the EFNARC SCC Guidelines available from their web site www.efnarc.org or in the report of the EU funded “Testing-SCC project”, managed by Paisley University.

Project web site <http://www.civeng.ucl.ac.uk/research/concrete/Testing-SCC/>.

No single test is capable of assessing all of the key parameters, and a combination of tests is required to fully characterise an SCC mix. The European Project Group which drafted these Guidelines concluded that there should only be a small number of test methods used for specification purposes and has proposed the five test methods detailed in Annex B because they can be related to specification classes, as detailed in Annex A.

Other test methods may be appropriate for development of SCC mixes, for performance evaluation in relation to specific uses and for site identity testing by agreement between the producer and the purchaser.

The J-ring is a strong contender for evaluation of passing ability on site but at the time of drafting these Guidelines, it was considered that further development work was needed before specification classes could be assigned to its use.

Characteristic	Test method	Measured value
Flowability/filling ability	Slump-flow	total spread
	Kajima box	visual filling
Viscosity/ flowability	T ₅₀₀	flow time
	V-funnel	flow time
	O-funnel	flow time
	Orimet	flow time
Passing ability	L-box	passing ratio
	U-box	height difference
	J-ring	step height, total flow
	Kajima box	visual passing ability
Segregation resistance	penetration	depth
	sieve segregation	percent laitance
	settlement column	segregation ratio

Table 8.1: Test properties and methods for evaluating SCC

Παράρτημα 3 Πίνακας 2: Test properties and methods for evaluating SCC (table 8.1)

In addition to the test methods detailed in Table 8.1, smaller cone and funnel tests have been used for laboratory based mix development to assess the flow of the paste and the mortar components of SCC. The small truncated cone is usually 60 mm high with diameters of 100 mm at the base and 70 mm at the top. The small V-funnel typically has a height of 240 mm, a width of 270 mm and a depth of 30 mm tapering to a 30 x 30x 60 mm high nozzle section. The Marsh cone is also being used to assess the flowability of the paste and the mortar components.

8.4 Basic mix design

There is no standard method for SCC mix design and many academic institutions, admixture, ready-mixed, precast and contracting companies have developed their own mix proportioning methods.

Mix designs often use volume as a key parameter because of the importance of the need to over fill the voids between the aggregate particles. Some methods try to fit available constituents to an optimised grading envelope. Another method is to evaluate and optimise the flow and stability of first the paste and then the mortar fractions before the coarse aggregate is added and the whole SCC mix tested.

Further information on mix design and on methods of evaluating the properties of SCC can be found in the EFNARC Guidelines for SCC (available as a free download from www.efnarc.org).

Some mix design methods developed at academic and other institutions have been published:

- ❖ Okamura H and Ozawa K. Self-compactable high performance concrete.

International Workshop on High Performance Concrete. American Concrete Institute; Detroit. 1994, pp31-44.

- ❖ Ouchi M, Hibino M, Ozawa K, and Okamura H. A rational mix-design method for mortar in self-compacting concrete. Proceedings of Sixth South-East Asia Pacific Conference of Structural Engineering and Construction. Taipei, Taiwan, 1998, pp1307-1312.
- ❖ Nawa T, Izumi T, and Edamatsu Y. State-of –the-art report on materials and design of self-compacting concrete. Proceedings of International Workshop on Self-compacting Concrete. August 1998; Kochi University of Technology, Japan. Pp160-190.
- ❖ Domone P, Chai H and Jin J. *Optimum mix proportioning of self-compacting concrete*. Proceedings of International Conference on Innovation in Concrete Structures: Design and Construction, Dundee, September 1999. Thomas Telford; London. Pp277-285.
- ❖ Billberg, P. *Self-compacting concrete for civil engineering structures – the Swedish Experience*. Report no 2:99. Swedish Cement and Concrete Research Institute. Stockholm, 1999
- ❖ Su N, Hsu K-C and Chai H-W *A simple mix design method for self-compacting concrete* Cement and Concrete Research, 31, (2001) pp 1799-1807
- ❖ Gomes P.C.C, Gettu R, Agullo L, Bernard C, *Mixture proportioning of high strength, Self-Compacting Concrete: Performance and Quality of concrete structures*. Third CANMET/ACI Intl Conf. (Recife, Brazil) Supplementary CD, 2002, 12p.
- ❖ Bennenk, H. W. & J. Van Schiindel: *The mix design of SCC, suitable for the precast concrete industry*. Proceedings of the BIBM Congress, 2002 Istanbul, Turkey.
- ❖ Billberg, P. *Mix design model for SCC (the blocking criteria)*. Proceedings of the first North American conference on the design and use of SCC, Chicago 2002.

These Guidelines are not intended to provide specific advice on mix design but Table 8.2 gives an indication of the typical range of constituents in SCC by weight and by volume. These proportions are in no way restrictive and

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

many SCC mixes will fall outside this range for one or more constituents.

Constituent	Typical range by mass (kg/m ³)	Typical range by volume (litres/m ³)
Powder	380 - 600	
Paste		300 - 380
Water	150 - 210	150 - 210
Coarse aggregate	750 - 1000	270 - 360
Fine aggregate (sand)	Content balances the volume of the other constituents, typically 48 – 55% of total aggregate weight.	
Water/Powder ratio by Vol		0.85 – 1.10

Table 8.2 Typical range of SCC mix composition

Παράρτημα 3 Πίνακας 3 : Typical range of SCC mix composition (Table 8.2)

8.5 Mix design approach

Laboratory trials should be used to verify properties of the initial mix composition with respect to the specified characteristics and classes. If necessary, adjustments to the mix composition should then be made. Once all requirements are fulfilled, the mix should be tested at full scale in the concrete plant and if necessary at site to verify both the fresh and hardened properties.

The mix design is generally based on the approach outlined below:

- ❖ evaluate the water demand and optimise the flow and stability of the paste
- ❖ determine the proportion of sand and the dose of admixture to give the required robustness test the sensitivity for small variations in quantities (the robustness)
- ❖ add an appropriate amount of coarse aggregate
- ❖ produce the fresh SCC in the laboratory mixer, perform the required tests
- ❖ test the properties of the SCC in the hardened state
- ❖ produce trial mixes in the plant mixer.

The design process is graphically presented in Figure 8.3

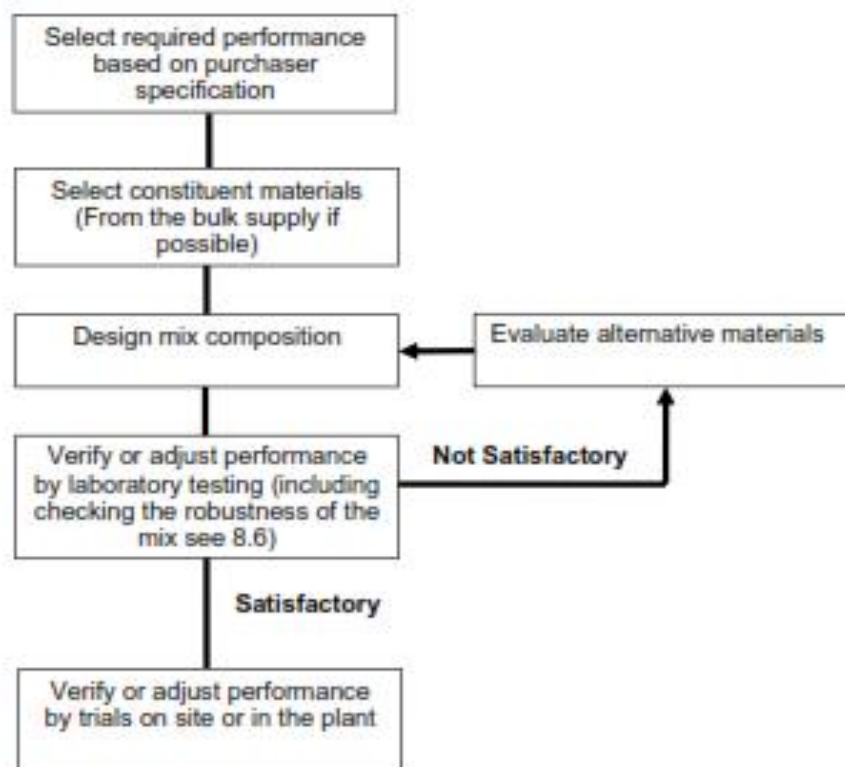


Figure 8.3 Mix design procedure

Παράρτημα 2 Διάγραμμα 1: Mix design procedure (figure 8.3.)

In the event that satisfactory performance is not obtained, consideration

should be given to a fundamental redesign of the mix. Depending on the apparent problem, the following courses of action might be appropriate:

- adjust the cement/powder ratio and the water/powder ratio and test the flow and other properties of the paste
- try different types of addition (if available)
- adjust the proportions of the fine aggregate and the dosage of superplasticiser
- consider using a viscosity modifying agent to reduce sensitivity of the mix
- adjust the proportion or grading of the coarse aggregate.

Further guidance in the event of unsatisfactory performance may be found in Annex C Improving the finish of SCC.

8.6 Robustness in the fresh state

Self-compacting concrete mix design aims to achieve an acceptable balance between the fresh state characteristics. Any variation in the uniformity of the constituents can upset this balance, resulting in a lack of filling/passing ability or to segregation. Most constituent variability can be equated to a change in water requirement, either due to changes in moisture content of the materials or changes in grading/specific surface both of which change the water demand of the mix.

Well designed SCC can give acceptable tolerance to daily fluctuations in these parameters, easing the pressure on testing/production control and reducing the possibility of problems on the job site. This tolerance is usually termed 'robustness' and is controlled by good practice in sourcing, storage and handling of basic constituents and by appropriate content of the fine powders and/or by use of a VMA.

A well designed and robust SCC can typically accept a 5 to 10 litre/m³ change in water content without falling outside the specified classes of performance when fresh. When designing an SCC mix, it can be helpful to test at plus and minus 5 and 10 litres of the target water content and measure the change in fresh state properties. This confirms the robustness of the mix or indicates that further adjustments to the design are needed.



Figure 8.4 Sieve segregation resistance test

Παράρτημα 3 Εικόνα 3: Sieve segregation resistance test (fig.8.4)

9. Production for ready-mixed and site mixed SCC

9.1 General

Self-compacting concrete is less tolerant to changes in constituent characteristics and batching variances than lower workability concrete. Accordingly, it is important that all aspects of the production and placing processes are carefully supervised.

The production of self-compacting concrete should be carried out in plants where the equipment, operation and materials are suitably controlled under a Quality Assurance scheme. It is recommended (and is a requirement in some EU member countries) that the producer will be accredited to ISO 9001 or equivalent.

It is important that that all personnel who will be involved in the production and delivery of SCC receive adequate training prior to production from a person with previous experience of self-compacting concrete. This training may include observing trial batches being produced and tested.

9.2 Storage of constituent materials

Storage of constituent materials for SCC is the same as that which should be followed for normal concrete but because the mix is more sensitive to variations, additional importance and attention should be paid to the following points:

Aggregates: should be properly stored to avoid cross-contamination between

different types and sizes and protected from weather to minimise the fluctuation of surface moisture content and movement of fines. Ground stock should be stored in purpose built partitioned bays, which will allow free drainage of excess moisture in the aggregates and rainwater.

There must be adequate storage capacity for aggregates as any significant disruption in the supply that causes a break in placing could cause serious complications. It is recommended that all material stores are filled in advance of a self-compacting pour.

Cements, additions and admixtures: There are no special requirements for the storage over that of normal concrete. Manufacturer's recommendations for storage should always be followed. It is recommended that all material stores are filled in advance of a self-compacting pour to avoid the potential variations in performance following a fresh delivery.

9.3 Mixing equipment and trial mixes

Self-compacting concrete can be produced with any efficient concrete mixer including paddle mixers, free fall mixers and truck mixers but force action mixers are generally preferred. However, with SCC it is particularly important that the mixer is in a good mechanical condition and that it can ensure full and uniform mixing of the solid materials with sufficient shear action to disperse and activate the superplasticiser.

Experience has shown that the time necessary to achieve complete mixing of SCC may be longer than for normal concrete due to reduced frictional forces and to fully activate the superplasticiser. It is important that preliminary trials are carried out to ascertain the efficiency of individual mixers and the optimum sequence for addition of constituents. The volume of concrete for preliminary full-scale trials should not be less than half the capacity of the mixer.

Prior to commencing supply it is recommended that plant trials be conducted to ensure that in full scale production, the mix still conforms to the specification requirements for both fresh and hardened properties.

9.4 Plant mixing procedures

The high paste content and fluidity of SCC can make it more difficult to

achieve a uniform mix than concrete of lower consistence. The main difficulty is the formation of unmixed “balls” of constituents and once these have formed they are not easily broken down. “Balling” is more likely to occur in free-fall mixers (particularly truck mixers) than forced action mixers. This problem can be avoided by first batching the concrete to a lower consistence than a self-compacting level until it is uniformly mixed. Addition of further water and superplasticiser will increase the consistence to the required level while avoiding “balling”.

Time of addition of admixture during the batching is important as it can alter the effectiveness. When using VMA a late addition to the mix is preferred. A standard procedure should be adopted following plant trials and this procedure then strictly followed in order to reduce the potential for between-batch variances.

Admixtures should not be added directly to dry constituent materials but dispensed together with or in the mixing water. Different admixtures should not be blended together prior to dispensing unless specifically approved by the admixture manufacturer. This also applies to the potential for mixing of different admixtures in the dispenser or dosage lines. If air entraining admixtures are being used, they are best added before the superplasticiser and while the concrete is at a low consistency.

Due to the powerful effect of modern superplasticisers, it is important that dispensers are calibrated regularly and where manual addition of admixtures takes place, measurement of the dosage is by a calibrated container or accurate dispensing equipment. Where more than one dosage addition is required to complete a batch there should be a means of counting the individual amounts added.

During production, there may be a number of factors that individually or collectively contribute to variations in the uniformity. The main factors are changes in the free moisture of the aggregate, aggregate particle size distribution and variations in batching sequence. Changes in properties may also be observed when new batches of other constituents are introduced. Because it is normally not possible to immediately identify the specific cause, it is recommended that adjustments to the consistence should be achieved by adjusting the level of superplasticiser.

There are a number of ways to load the mixer and the following examples have been shown to give good results:

9.4.1 Free-fall plant and truck mounted mixers

Approximately two thirds of the mixing water is added to the mixer. This is followed by the aggregates and cement. When a uniform mix is obtained, the remaining mixing water and the superplasticiser are added. Where VMA is used, this should be added after the superplasticiser and just prior to final consistence adjustment with water.

Truck mixers are likely to require additional mixing time for SCC as they are less efficient than plant mixers. Splitting the load into two or more batches can improve mixing efficiency. The condition of the truck mixer drum and mixing blades are particularly important for SCC and should be regularly inspected. The rotational speed of the drum during the mixing cycle should comply with the manufacturer's recommendations but the mixing speed for SCC will normally be in the range 10 – 15 rpm.

9.4.2 Forced action mixers

Aggregate is generally added to the mixer first, together with the cement. This is immediately followed by the main mixing water and superplasticiser. Where used, the VMA is added with the final water. The high shear produced by a forced action mixer improves the fluidity and it may be possible to reduce the addition rate of the superplasticiser compared to a free-fall mixer.

Due to the wide variation in mixers available, the exact methodology for loading the mixer should be determined by trials before commencing production.

9.5 Production Control

9.5.1 Constituents

Self-compacting concrete is more sensitive than normal concrete to variation in the physical properties of its constituents and especially to changes in aggregate moisture content, grading and shape, so more frequent production checks are necessary.

It is recommended that the aggregates are evaluated each production day prior to commencing batching. Thereafter, visual checks should be carried out on each delivery of aggregate; any noticeable change should be evaluated prior to accepting or rejecting the delivery. The moisture content of aggregates should be

continuously monitored and the mix adjusted to account for any variation.

When new batches of cement, addition or admixture are delivered, additional performance tests may be necessary to monitor any significant changes or interactions between constituents.

9.5.2 Production

The production and supply of SCC shall be subject to normal production control under the responsibility of the producer, and in the case of ready-mixed concrete, this shall be in accordance with contractual arrangements between purchaser and producer and the requirements of EN 206-1: 2000, Clause 9.

The type of application will determine the specified characteristics and classes that the purchaser has given the producer. The production control must ensure that these are carefully complied with during production and any drift outside of the specified parameters should be immediately communicated to the batching plant operator and technical manager.

In the absence of previous experience with a particular mix design, additional resources may be needed for supervision of all aspects of initial production and testing of SCC.

In order to ensure consistent self-compacting properties, it is recommended that the producer tests every load for slump-flow until consistent results are obtained. Other key tests may also be needed to confirm compliance with the contract specification. Subsequently, every delivered batch should be visually checked before transportation to site or point of placing, and routine testing carried out to the frequency specified in Annex A. Particular care is needed following each delivery of constituent materials, especially aggregates. For example, adjustment to the water content may be needed to compensate for variation in moisture of the aggregates.

9.6 Transportation and delivery

One of the main advantages of SCC is the increase in speed of placing. However, it is essential that the production capacity of the plant, journey time and placing capability at site are all balanced to ensure that site personnel can place the concrete without a break in supply and within the consistence retention time. Production stops can result in thixotropic gelling of concrete that has already been

placed and this may affect the filling ability on restarting and or result in lift lines on the vertical surface.

9.7 Site acceptance

In the case of ready-mixed concrete, it is important that there is an agreed and documented standardised procedure for receiving and accepting the SCC at site. The producer and specifier should agree the procedure at the start of a contract. This should include visual inspection of every batch of the concrete and any specific tests and compliance parameters.

The producer is required by EN 206-1 to test concrete at least to the minimum rate given in EN 206-1 for consistence, strength and other properties. This is called “conformity testing”.

For testing purposes, the producer can group concretes into families, but until more experience of SCC is gained it is recommended that SCC is not combined into families with normal concretes.

Annex A sets minimum rates of testing for the fresh properties of SCC and uses the normal rates of testing given in EN 206-1 for hardened concrete properties. If additional testing is required such as testing every load for consistence (see 9.5.2) until the required uniformity of supply is achieved, this can be made part of the contract of supply.

Alternatively, the specifier can organise additional testing that in this is case it is called “identity testing”. The criteria for accepting/rejecting SCC are given in Annex A.

The documented procedure should include details of responsibility for testing as well as a procedure for action to be taken in the event of non-compliance:

- The specifier shall ensure that all site identity testing is carried out by competent, trained personnel in an environment that is vibration-free and protected against the weather. Equipment shall be with well maintained and calibrated and the test area should have a solid, level area for performing the tests.
- Concrete shall be remixed in the truck mixer for a least one minute (high speed) before a representative sample is taken.
- Sampling shall be carried out in accordance with EN 12350-1. The first

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

SCC from a truck mixer may not be representative. (NOTE: Where a representative sample cannot be obtained, the tolerances given in Annex A may need to be increased.)

- When making SCC samples for compressive strength and other testing, the mould shall be filled in a single layer without compaction.

The recommended test for characterising SCC on site is slump-flow. This gives a good indication of the uniformity of concrete supply. Slump-flow is a measure of the total fluidity and therefore filling ability of the concrete. A visual assessment for any indication of mortar/paste separation at the circumference of the flow and any aggregate separation in the central area also gives some indication of segregation resistance.

There should be continuous observation of the placed concrete to monitor effective filling and any indications of blocking, segregation or settlement.



Figure 9.1. Slump-flow test

Παράρτημα 3 Εικόνα 4: Slump-flow test (fig.9.1)

10.Site requirements and preparation

10.1 General

Prior to delivery of the concrete, the contractor/user must ensure that appropriate site preparations have been made. These should include:

- confirming that the specified SCC mix is appropriate for the job (see Chapter 6)
- that the site can place the concrete at the agreed delivery rate
- that acceptance procedures for the SCC are agreed and documented
- that site personnel are trained in the specific requirements for placing SCC
- that formwork is properly prepared.

10.2 Site control

A quality control procedure shall be documented and followed on the job site for acceptance of self-compacting concrete. (see Clause 9.7).

It is recommended that every batch of SCC delivered should be tested for slump-flow until uniformity of supply is confirmed. Visual assessment by a competent person is then normally sufficient unless a batch is considered to be marginal. As the producer is required to undertake conformity testing, additional identity testing on site is generally unnecessary and should be restricted to critical applications.

10.3 Mix adjustment

In general, modification of SCC on site is undesirable as the producer should be capable of supplying the specified mix with the required properties for the job. However if special circumstances exist or if some experimentation is expected/planned in order to optimise the mix for specific formwork configurations and surface finish, it may be prudent to establish a further documented procedure for minor adjustment of the concrete, under supervision at site.

The adjustment should be controlled and evaluated by the concrete technologist of the producer and under his responsibility. All modifications shall be recorded.

- Additions of admixtures such as for set control can be made on site before placing, provided the effect has been fully evaluated.
- Concretes that are found to have a slump-flow outside the conformity criteria (see Annex A, table A.6) should only be adjusted provided the procedure is agreed and documented. Any addition of constituents into the truck mixer shall require an agreed minimum mixing time for the concrete

(e.g. 1 minutes for every cubic metre with a minimum of 4 minutes)

10.4 Supervision and skills

It is essential that the site personnel used to place self-compacting concrete have been trained/instructed in the specific requirements for placing this type of concrete.

Site personnel should be made aware of the advice given in Chapter 10 and 11 of these Guidelines and particular emphasis should be placed on the following:

- effect of vibration on mix stability □ rate of placing
- the effect of a break/stoppage during placing □ actions to be taken if a break/stoppage occurs
- observation for blockages, segregation or air release
- requirements for placing by pump, skip or chute, including positioning to induce flow
- finishing top surfaces and curing.

10.5 Formwork pressure

Formwork pressure depends on the flowability and cohesion of the SCC, rate of vertical rise and the method of placing (from the top/from the bottom). Formwork design, including support and fixing systems, should normally assume that the full hydrostatic concrete pressure is applied to the formwork. If the SCC is being pumped from the bottom then locally, pressure can be above hydrostatic close to the pump entry point, especially on restart if there is an interruption in pumping.

Trials have shown that, with an appropriate level of - 59 -Thixotropy, formwork pressure below hydrostatic can be achieved when casting from the top but should only be used on the basis of verification trials and agreement between the contractor, producer and formwork supplier.

References:

- ✓ Andreas Leeman, Cathleen Hoffman. Pressure of self-compacting concrete on the formwork. EMPA, Swiss Federal Laboratories of Materials Testing and Research, Switzerland.
- ✓ Peter Billberg. Formwork pressure generated by self-compacting concrete. Swedish Cement Research Institute, CBI.

- ✓ Wolfgang Brameshuber, Stephan Uebachs. Investigations on the formwork pressure using self-compacting concrete. Institute of Building Materials Research (ibac) Aachen University.

10.6 Formwork design

The absence of vibration can allow some novel formwork detailing such as that achieved by magnetically attached shape formers to metal formwork. This can be particularly useful in precast applications of SCC where detailed design can produce an enhanced product with intricate surface detailing. Unusual or complex shapes can be produced that would not be possible with vibrated concrete.

The high flowability of SCC can result in flotation of any buoyant formwork units, stop ends or detailing that is not securely fixed. Particular attention should be given to fixing and sealing the formwork to the base where uplift could be a problem. Leakage at joints can occur and reduce an otherwise high quality of finish, however SCC generally leaks less than concrete that has to be vibrated.

Because full hydrostatic concrete pressure should be assumed when using SCC, particular attention should be paid to both the outer supports and the tie rod system and spacing to ensure that the formwork cannot deform during placing.

10.7 Formwork preparation

SCC normally produces a very high quality finish giving a mirror copy of the formwork. This gives opportunity for enhanced design but if care is not taken, SCC shows up any deficiencies in the formwork material, finish or the release agent and this will detract from the final appearance. Movement at joints or bending of the formwork under pressure from the concrete may also be more noticeable with SCC.

Good formwork preparation as detailed below applies to all types of concrete but is essential if the surface finish of SCC is to be optimised.

10.7.1 Formwork release agents

Self-compacting concrete places explicit demands on type and application rate of mould release agents because of its ability to achieve a very high quality of surface finish. Much formwork used for SCC will be steel or resin surfaced plywood. These are either non-absorbent or have very low absorbency. Excess release agent at the form face and concrete interface can result in staining, retention

of air bubbles and other imperfections.

Vegetable, mineral or water based mould release agents need to be applied extremely thinly, almost to the point that they are just wiped on with a cloth. It is also imperative that the mould release agents have not been diluted or adulterated in any way.

Self-compacting concrete will normally allow entrapped air to escape between the concrete and the formwork. Consequently, the release agent must also be of a type which will allow air to migrate in a controlled manner and escape from the concrete.

Certain release agents, when used in combination with impermeable formwork, are too viscous to allow air to escape effectively and this can result in air voids adhering to the surface of the formwork, resulting in blowholes in the concrete. Without pre-evaluation, release agents should only be used with permeable or semi-permeable formwork in order to ensure a reliable surface finish.

The type of formwork can dictate the pre-treatment, the type of release agent and the way it is used.

10.7.2 Uncoated wood formwork

If a good finish is required, avoid dry or completely new wood that is strongly absorbing and that may cause a chemical reaction and lead to staining or retardation of the concrete surface. Surface defects and grain effects will stand out on the concrete surface and any wood grain that is raised may become trapped in the concrete surface.

New timber formwork should be well finished, sealed and a high active release agent applied. Untreated wood should be moist and preferably pre treated with dilute cement slurry that will seal it and reduce the risk of staining or retardation due to sugars in the wood.

With timber formwork that has had several previous uses, the amount of release agent should be reduced to avoid surface staining.

10.7.3 Synthetic coated or resin surfaced wood and steel sheeting formwork

Such materials are non-absorbent or have very low absorbency. An economical, thin but thorough application of a good quality release agent is

important. Extremely smooth formwork used for high walls calls for an increased bonding ability of the release agent. For the optimum finish, advice should be sought from the supplier.

10.8 Formwork for pumping bottom up

SCC allows novel methods of placing concrete including pumping bottom up. In this case the pump is connected via a special connector piece with slide valves into the formwork. The formwork design must be calculated to resist at least the full hydrostatic concrete pressure.

If possible, the pumping point should be in the middle of the wall, thus minimizing the horizontal length of flow. The horizontal spacing of the pumping points will depend on the reinforcement and the flow capacity of the SCC and has to be agreed with the concrete supplier.

The vertical spacing of the pumping points depends on the maximum pressure that the formwork can take and has to be clarified with the formwork supplier.

After pumping from the bottom, the valve is closed and locked. At this time, protruding concrete can be pushed flush with the inner surface of the formwork via a special spindle. See figure 10.1. Alternatively, protruding concrete must be removed and the surface made good after removing the formwork.

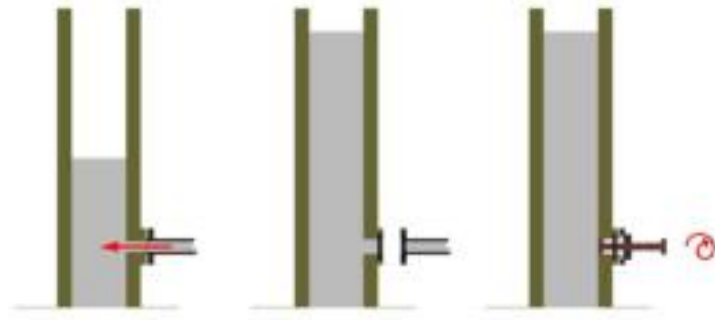


Figure 10.1: After pumping from the bottom, protruding concrete can be pushed flush with the inner surface of the formwork via a special spindle or the surface made good after removal of the formwork.

Παράρτημα 3 Εικόνα 5: Formwork for pumping bottom up (fig.10.1)

11.Placing and finishing on site

11.1 General

Self-compacting concrete is designed to have a very high flow combined with cohesion characteristics that ensure that the aggregate is uniformly suspended and does not segregate. The use of vibrators will affect this balance and will

usually lead to significant segregation. For this reason, vibrating equipment should not be used with self-compacting concrete except in the special circumstances described in Clause 11.6. Particular attention should be given to possible external sources of vibration from, for instance, nearby equipment.

During placing, the concrete should be regularly checked to ensure that coarse aggregate is remaining at or very near the surface and that there is no indication of segregation. The concrete should form a regular advancing front at a shallow angle and be observed to flow round and fully enclose reinforcing bars without forming void pockets. There should not be excessive release of large air bubbles that would suggest air is being entrapped by the placing process. Check formwork for signs of leakage.

After completion of the first section of a job the quality of the hardened concrete should be checked and evaluated by both the producer and the specifier. Look for top surface laitance, a non-uniform surface colour, specific areas where air is being trapped and any other unwanted effects that are visible.

High quality surface finishes are a feature of SCC but to obtain a surface without blowhole, blemishes or discolouring, requires more than just concrete of good mix design and quality. No guidance currently exists on how to reliably and consistently obtain excellent surface finishes using SCC. However, the formwork face must be faultless and the execution of the casting work and finishing treatment must be of the highest quality. Concrete placers as well as site managers/foremen must understand and take into account the importance of each separate element of the execution, and must carry it out effectively.

It is essential that the personnel used to place self-compacting concrete have been trained/instructed in the specific requirements for placing this type of concrete.

11.2 Discharging

Discharge should not take place before control checks have taken place (see clauses 9.7).

Self-compacting concrete can be placed by direct discharge from truck mixers via a chute. Alternatively it can be first discharged into a skip (with tremie pipe) or to a pump. A receiving hopper/holding vessel with agitator may be used if necessary if the SCC is to be held on site for any length of time before placing.

11.3 Placing procedure and rate

Prior to placing SCC, it should be confirmed that reinforcement and formwork are arranged as planned and the formwork is free of water or debris.

The release of the concrete into the formwork must be in relation to the density of reinforcement, the concrete's flow characteristics and to the potential for entrapment of air.

A reasonable length of flow helps any excess air to escape. However a flow length of more than about 10 metres may create a greater risk of dynamic segregation or void formation.

A fast vertical casting rate may not allow air the time to rise to the surface and escape, causing an increased number of air voids to be trapped in the concrete and blowholes on the surface.

The casting process should be continuous and without interruption as this helps to maintain flow and reduces surface marks and colour variation.

Some SCC, especially those with a slow rate of flow (high T500 or V-funnel time), can show a tendency to thixotropic gelling, causing stiffening when at rest, but regaining flowability if sufficient further shearing/stirring energy is applied. Thixotropic gelling can be avoided by keeping the concrete agitated on route to the site and prior to placing. Placing should be without interruptions and the filling locations of the form should be located to keep the casting front moving at all times. Once placing is finished, thixotropic gelling can be an advantage as leakage at joints and formwork pressure are both reduced soon after movement stops.

Self-compacting concrete is more cohesive and usually less prone to segregation than normal concrete but free fall of concrete during placing may still cause some segregation and increase the content of entrapped air so it should be avoided if possible. If unavoidable, free fall height should be limited and tests should be carried out to determine the effect.

When casting extensive horizontal areas where part of the total area must be completed before casting successive areas, permanent stop ends are required and metal lathing has been successfully used with SCC for this application.



Figure 11.1: Casting an SCC slab.
Commercial centre,
Ferrara, Italy.

Παράρτημα 3 Εικόνα 6: Casting an SCC slab. (fig 11.1)

11.4 Placing by pump

Pumping is the most common method of placing SCC and consequently the method from which most experience has been gathered.

If the pump has not been primed with a cement mortar the first part of the load (100 – 150 litres) should be run through the pump and recycled back into the truck. This lubricates the pump lines, while the residual coarse aggregate is remixed into the bulk of the SCC.

Self-compacting concrete is well suited to pumping through a valve from the bottom of the formwork provided it has good segregation resistance. This method gives a smooth and clean concrete surface and has proved to be very successful when casting walls in buildings, with system formwork and also in tunnel linings and columns. It has also been used for strengthening existing concrete or for

placing new concrete within existing structures.

Pumping from the bottom of the formwork through a valve normally gives the best surface finish for any vertical element. It takes less air into concrete and allows faster casting rates than pumping from the top. The hopper and pump line must be kept completely full of concrete to ensure that air is not introduced at the bottom. It must also be remembered that restarting after a stop can lead to an increase in pressure on formwork.

After pumping from the bottom, the valve is closed and locked. Protruding concrete can be removed after removing of the formwork but special equipment is also available to get a smooth concrete surface without further actions after formwork removal (see clause 10.8).

When pumping from the top, and when surface finish needs to be optimised, SCC should be placed with a submerged hose in order to minimise the possibility of entrapped air. Casting should start at the lowest part of the form, and at a place where the pumping hose can be located as close as possible to the bottom of the form. As soon as sufficient depth has built up, the hose should then be submerged into the concrete. The end of the pump hose should, if possible, be maintained below the concrete surface at all times, including when changing its location so that air is never allowed into the hose.

The pumping should be controlled to produce a continuous and even rate of rise of the concrete in the formwork, with as few breaks in delivery as possible.

11.5 Placing by concrete chute or skip

Although casting of SCC by a pump is recommended both concrete chute and skip have been successfully used. When discharging with a chute, the outlet from the chute should be directed towards the farthest end of the casting and withdrawn as casting proceeds.

When casting SCC from a crane and skip the following points should be considered:

- ✓ The skip method is normally only useful for relatively small units or short walls due to the casting capacity (typically 12–20 m³/hour), but depends on the size of the concrete skip and the manoeuvrability of the crane.
- ✓ The skip has to be ‘tight’ to prevent loss of mortar or paste during transport

- ✓ The skip should not be subject to vibration or excessive shaking to avoid segregation of the concrete
- ✓ A prolonged stagnation of the mix in the skip can cause thixotropic stiffening so that it will not run from the skip spontaneously and smoothly when opened for discharge.
- ✓ Slow delivery rate can cause a prolonged period of stagnation in the form resulting in surface crusting or thixotropic stiffening and this can lead to visible horizontal mark between lifts.
- ✓ When casting high or thin walls the casting should take place through a tremie pipe or stocking (collapsing hose) from the skip. The use of a stocking rather than a rigid hose helps to keep the stocking full and prevents air being drawn into the concrete, this is especially important if the surface finish needs to be optimised. If a rigid tremie pipe is used, the end should be kept below the concrete surface at all times and extra care is needed to ensure that air is not drawn into the concrete.

11.6 Vibration

Vibration of SCC should generally be avoided as it is likely to result in significant settlement of the coarse aggregate. If the desired compaction is not being achieved, the concrete should first be checked for conformity to the specification. If it is in conformity but full compaction is not being achieved, consider changing the specification.

There are some occasions when carefully controlled and light vibration may be needed:

- ❖ In some structures the formwork shape may cause air to be trapped at certain locations. This can normally be removed by localised tapping or simple rodding in the affected area.
- ❖ Slabs, especially those cast from SCC in the lower slump-flow class may require light tamping or a very gently vibrating screed bar to give a level finish, free of protruding coarse aggregate.
- ❖ Following a break in placing if the live surface has crusted or stiffened to the extent that a cold joint or surface blemish could form.

11.7 Finishing slabs

Slabs will generally require a lower slump-flow class than SCC for walls and columns. This consistence, combined with the lack of bleed and tendency to thixotropic stiffening can make the concrete feel sticky and difficult to finish. Initial finishing needs to be carried out as soon as possible after the correct level has been reached, before thixotropic stiffening starts and before any surface drying (crusting) has occurred.

Vibrating floats and light vibrating screeds have proved to be effective in the screeding of SCC provided the slab is not inclined but manual equipment should be used if there is any risk of aggregate segregation. Steel floats function better than those of wood or polyurethane cell foam.

If the surface of the slab slopes more than 2-3 % care is required in the use of even light vibrating equipment as this can cause a sideways slipping or other unwanted movement of the fresh SCC.

Levelling of slabs is best carried out with the aid of light shimmying with a skip float (see Figure 11.1). This ‘wakens’ the surface concrete and gives sufficient compacting work, without causing unwanted aggregate segregation. Correct consistence and execution of the concrete work will give a level and smooth surface without unduly enriching the matrix in the surface. Use of air entraining admixture has been shown to give good finishing properties in some cases.



Figure 11.1 Levelling SCC with a skip float

Παράρτημα 3 Εικόνα 7 :Levelling SCC with a skip float(fig 11.1)

After-treatment such as the use of steel trowel finishing or float-finishing may be carried out as vibrated concrete. However, if the SCC shows thixotropic

stiffening, judging the correct time to start this part of the finishing can be difficult.

11.8 Curing

Curing is important for all concrete but especially so for the top-surface of elements made with SCC. These can dry quickly because of the increased quantity of paste, the low water/fines ratio and the lack of bleed water at the surface. Initial curing should therefore commence as soon as practicable after placing and finishing in order to minimise the risk of surface crusting and shrinkage cracks caused by early age moisture evaporation.

12.Precast concrete products

12.1 General

The precast industry supplies its customers with hardened concrete products that are installed at the site and which may, depending on the structural design, be combined with in-situ concrete. The process starts when the customer specifies the required performances of the precast concrete structure or the precast concrete product.

12.2 Specification of precast concrete products with SCC

For structural products, the specification requirements should either be according to the relevant harmonised product standard (based on EN 13369: Common Rules for precast concrete products) or when relevant, directly to EN 13369 which refers to the relevant parts of EN 1992-1 (Eurocode 2) and to EN 206-1.

The properties of the fresh concrete are defined by the manufacturer, depending on the requirements of the product and on the characteristics of the production process.

When the fresh properties of SCC for precast need to be specified for a particular application, SCC should be characterised according to Chapter 6 of this document and the classification system detailed in Annex A.

Requirements for durability and for concrete cover are the same as those for traditional vibrated concrete and are defined in the relevant product standards and/or EN 13369.

12.3 Mix design of SCC for precast concrete products

The primary concrete specification for precast applications is usually to meet the exposure class and the characteristic compressive strength at 28 days. However for the producer, the strength requirements at early age may become the dominant requirement, in order to enable the workers to demould, to prestress or to move the element within the production cycle.

The constituent materials are selected in accordance with Chapter 7 and in addition, with any requirements in the relevant products standard and/or EN 13369.

The mix design must meet the previously defined requirements for the hardened SCC, combined with the necessary properties for SCC in the fresh state such as fluidity, viscosity and stability, depending on the confinement, placing and finishing conditions.

The reduced time required for transportation and placing, typically no more than 30 minutes, means that long consistence retention is not necessary, allowing the use of a SCC having a short consistence retention, fast set and early strength development. This faster start of the hardening process is beneficial for the early strength, typically at 14 ± 2 hours, required to maintain the production cycle.

High early strength SCC can be achieved through the mix design and/or be stimulated by heat curing, often steered and controlled by maturity testing equipment.

Precast concrete plants will normally develop a set of standard mix designs to meet the general requirements for each type of product. These standard mixes can then be modified for specific requirements. The SCC mix design for the precast products is generally based on the approach outlined in Chapter 8.

12.4 Moulds

The mould type, whether it is steel moulds for repetitive use or coated plywood moulds for limited use, will not change substantially from traditional vibrated concrete for most precast products.

The lack of vibration can allow some other novel formwork detailing such as that achieved by magnetically attached shape formers to metal formwork. This can be particularly useful in precast applications of SCC where detailed design can produce an enhanced product with intricate surface detailing. Unusual or complex shapes can be produced that would not be possible with traditional vibrated

concrete.

Using SCC can allow some products to be cast in one operation where for traditional vibrated concrete a one day interruption of casting is required.

Although the wear due to the lack of vibration equipment or poker contact on the mould surface will be less, the stiffness and strength of the mould are dependent on the concrete pressure during casting and full hydrostatic pressure should be assumed (see Clause 10.5).

Further information on mould design, surface preparation and mould release agents is given in Clauses 10.6 and 10.7.

12.5 Factory production

Precast concrete has the same general principals for production as outlined in Chapter 9. The precast manufacturer should also note the following requirements.

All concrete delivered to the mould shall be checked visually for homogeneity and consistence before acceptance and placing. A proportion of all the deliveries should also be checked for slump-flow. In case of doubt other relevant tests may provide additional information about the properties of the fresh SCC

It is recommended (and is a requirement in some EU member countries) that the producer implement factory production control following the requirements of the relevant product standards and/or EN 13369, Annex D. The production control includes:

- equipment inspection
- materials inspection
- process inspection
- finished product inspection
- switching rules.

If temporarily storage of fresh concrete is required because of the mixer output and/or production demand, an agitated holding tank can be used to allow uninterrupted placing of SCC for each individual product.



Figure 12.1 Use of an auger holding tank/hopper to activate the SCC just prior to placing.

Παράρτημα 3 Εικόνα 8: Use of an auger holding tank/hopper to activate the SCC just prior to placing (fir. 12.1)

12.6 Placing

For precast concrete it is very important that, as with site placed concrete all personnel who will be involved in the casting of SCC receive adequate training prior to placing operations due to the different techniques required.

The placing guidance in Chapter 11 and especially Clauses 11.1 to 11.3 and 11.6 apply. It is essential to fill the mould at a pace that will let air escape and in a way that ensures that no air is entrapped. The casting operation should be carried out continuously as temporary breaks may cause internal joints between layers that can affect strength, durability and appearance. If a break in vertical casting occurs, the contact energy of fresh concrete being placed should be increased when casting the next layer, e.g. by increasing casting height, so that the surface of the first layer is livened up, avoiding the formation of a joint.

Some casting units have outlets of a reduced size to increase the energy of the SCC flowing out during placing operations.

Anchors to connect precast elements for example with masonry walls can be pre-bent and then positioned in the concrete surface after casting.

12.7 Finishing, curing and de-moulding

If the self-compacting concrete is not completely self levelling, the surface can be lightly raked or floated to produce a level surface. Mechanical vibration should only be used following careful trials to check for in-situ segregation (see Clause 11.6).

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

The final finishing technique is similar to that for normal vibrated concrete but generally starts later, depending on composition, properties and on the ambient and concrete temperature.

Exposed fresh concrete surfaces of precast products made from SCC should be cured in the same way as for normal vibrated concrete (see Clause 11.8).

The use of heat to stimulate and accelerate the strength development of the cast element is as effective for SCC as when applied for normal concrete. Maturity testing is used to steer and control the strength development.

When heat treatment is applied to SCC in order to accelerate its hardening, the characteristics of the thermal treatment should meet the requirements of EN 13369, Clause 4.2.1.4.

13.Appearance and surface finish

13.1 General

High quality surface finishes are a feature of SCC but careful attention to mix design and job site workmanship is required if this is to be achieved.



Figure 13.1
On site surface finish
at
London Piccadilly,
Lincoln and
Loughborough
UK

The appearance of an element cast with SCC mainly depends on:

- the type of cement and addition used
- the mix composition of the SCC
- the quality of the mould and release agent
- the placing procedure.

The appearance is usually better than for normal concrete:

- the colour is generally more uniform
- it is easier to avoid defects due to leakage spots at the location of mould joints and around strand or wires exit points
- the edges may be sharp if the mould is well designed and maintained
- blowholes are always present, but may be limited in number and size
- air voids under horizontal parts of the mould can be limited in size and number, when the mould is filled properly.

The following list of defects can be found in all types of concrete but with care, SCC can give an improved finish compared to traditional concrete:

- blowholes
- honeycombing
- vertical stripes and other colour variations
- plastic or drying shrinkage cracking.

A checklist of probable causes of defect causes and prevention is given in Annex C.

Additional information on some defects is given in the following clauses.

13.2 Blowholes

Air is introduced into concrete during the mixing process but also during the transportation and casting. The extent to which air is either stabilised within SCC or is lost during placing depends on the cohesion of the mix. A high slump-flow SF3 and low plastic viscosity VS/VF1 are beneficial in helping to achieve perfect surfaces as they make it easier for the air to leave the concrete. A mix that is close to segregation will usually give the best surface.

Blowholes are formed when small air bubbles become trapped or adhere on the formwork surface. In addition to the factors detailed above, blowholes can also be due to the surface quality of the formwork and the type and/or quantity of release agent used. Advice should be sought from both the release agent supplier

and the concrete producer.

Air will be released more easily if the rate of rise of the concrete in the formwork is limited and also if it has to move sideways in the mould for several metres.

Pumping from the bottom of the formwork generally produces better surface finish. If this is not possible the casting hose should be kept below the concrete surface at all times. If the concrete is allowed to free fall, this may increase the number of larger entrapped air voids both on the surface and within the body of the concrete.

13.3 Honeycombing

Honeycombing may be due to leakage in the formwork but is more usually caused by poor passing ability resulting in aggregate bridging and voids behind reinforcement.

SCC with poor passing ability is usually due to:

- slump-flow class too low
- viscosity too high
- maximum aggregate size too large
- Insufficient paste or too much coarse aggregate.

If honeycombing occurs and is not due to formwork leakage, the concrete should be checked against the specification. If conformity to the specification is confirmed, consideration should be given to revising the specification.

13.4 Colour consistency and surface aberrations

Vertical stripes at the SCC surface are rare and usually caused by bleed water. Any bleed water tends to accumulate at the vertical mould surface and flow upwards leaving visible stripes on the hardened concrete surface due to washout and or floatation of the mould oil.

There are several reasons why bleeding may occur:

- high water to powder ratio
- viscosity too low
- low temperature
- retarded set.

Other reasons for colour variations are:

- Uneven drying of surface (for example caused by new or dry timber moulds or plastic sheet that touch part of the concrete during the curing period)
- Over application or poor choice of release agent
- Differences in material source between batches of concrete.

13.5 Minimising surface cracking

SCC is designed to be stable and resistant to segregation but, like traditional vibrated concrete, it may suffer from plastic settlement cracking above reinforcing bars if aggregate settlement does occur. Some SCC mix designs, especially those where a very high quality finish is required, can be very close to the aggregate segregation point so extra control may be required. The use of a VMA, together with appropriate powder content may help to make the concrete more robust and decrease the risk of plastic settlement and cracking.

Plastic settlement cracks may be wide but normally they are not very deep so the surface can often be repaired by trowel ling before the concrete sets.

Because SCC has little or no bleed it can loose surface water, resulting in drying shrinkage cracks if curing is not started at an early age.

The European Guidelines for Self-Compacting Concrete

Annex A: Requirements of self-compacting concrete

Introduction

Self-compacting concrete should be regarded as an extension of normal high consistence concrete.

A performance-based specification is provided using the proprietary concrete method of specification. For properties and requirements, other than those related to self-compaction, EN 206-1 is cited or, in the case of precast concrete products and/or EN 13369.

A.1 Scope

This Annex gives requirements and conformity criteria for self-compacting concrete.

A.2 Normative references

This Annex incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this Annex only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references the latest edition of the publication referred to applies.

EN 206-1 Concrete – Part 1: Specification, performance, production, and conformity

EN 13369 Common rules for precast concrete products

Annex B, Testing fresh concrete – Part 1: Slump-flow test

Annex B, Testing fresh concrete – Part 2: V-funnel test

Annex B, Testing fresh concrete – Part 3: L-box test

Annex B, Testing fresh concrete – Part 4: Segregation resistance test

NOTE. These test methods are being recommended for standardisation at the European level.

A.3 Definitions, symbols and abbreviations

For the purpose of this Annex, the terms and definitions given in EN 206-1 and the following apply.

A.3.1.1

proprietary concrete

concrete for which the producer assures the performance subject to good practice in placing, compacting and curing, and for which the producer is not required to declare the composition

A.3.1.2

self-compacting concrete (SCC)

concrete that is able to flow and consolidate under its own weight, completely fill the formwork even in the presence of dense reinforcement, whilst maintaining homogeneity and without the need for any additional compaction

A.3.1.3 filling ability

ability of fresh concrete to flow into and fill all spaces within the formwork, under its own weight

A.3.1.4 viscosity

The resistance to flow of fresh concrete once flow has started

NOTE. This property of SCC is assessed indirectly by measuring the flow time from the V-funnel or by the T500 value.

A.3.1.5 passing ability

ability of fresh concrete to flow through tight openings, such as spaces between steel reinforcing bars, without segregation or blocking

A.3.1.6

segregation resistance

ability of fresh concrete to remain homogeneous in composition while in its fresh state

A.3.2 Symbols and abbreviations

For the purpose of this Annex, the symbols and abbreviations given in EN 206-1 and the following apply.

SCC	Self-compacting concrete
SF1 to SF3	Consistence classes expressed by slump-flow
VS1 to VS2	Viscosity classes expressed by T ₅₀₀
VF1 to VF2	Viscosity classes expressed by V-Funnel time
PA1 to PA2	Passing ability classes expressed by passing ability (L-Box test)
SR1 to SR2	Segregation classes expressed by a sieve segregation test.

A.4 Classification

A.4.1 General

The classifications given in EN 206-1: 2000, Clause 4 apply.

A.4.2 Classification used in the specification of SCC

Where the properties of SCC are classified, Tables A.1 to A.5 apply.

NOTE. It is normal to specify only a slump-flow class. In some situations it is also necessary to specify, as initial tests, an L-box class and/or a segregation resistance class and/or either the T500 value or a V-funnel class.

Class	Slump-flow in mm
SF1	550 to 650
SF2	660 to 750
SF3	760 to 850

Παράρτημα 3 Πίνακας 4: Table A.1 – Slump-Flow classes

Class	T ₅₀₀ , s	V-funnel time in s
VS1/ VF1	≤ 2	≤ 8
VS2/ VF2	> 2	9 to 25

Παράρτημα 3 Πίνακας 5: Table A.2 –Viscosity classes

Class	Passing ability
PA1	≥ 0,80 with 2 rebars
PA2	≥ 0,80 with 3 rebars

Παράρτημα 3 Πίνακας 6: Table A.3 – Passing ability classes (L-box)

Class	Segregation resistance in %
SR1	≤ 20
SR2	≤ 15

Παράρτημα 3 Πίνακας 7: Table A.4 – -Segregation resistance classes (sieve segregation)

NOTE. The preferred method of specifying is to use the classification given above, but in special cases target values may be specified.

A.5 Requirements for concrete and methods of verification

A.5.1 Basic requirements for constituent materials

EN 206-1: 2000, Clause 5.1 applies or, in the case of precast concrete products, the relevant product standard and/or EN 13369: 2004, Clause 4.1.

A.5.2 Basic requirements for composition of concrete

EN 206-1: 2000, clause 5.2 applies or, in the case of precast concrete products, the relevant product standard and/or EN 13369: 2004, Clause 4.2.1.

A.5.3 Requirements related to exposure class

The concrete shall satisfy the requirements given in the provisions valid in

the place of use related to the specified exposure class(es) and/or the specified limiting values or the specific precast product standard.

A.5.4 Requirements for fresh concrete

Where the properties of self-compacting concrete are to be determined, they shall be measured by means of the following tests:

- Slump-flow and T500 test conforming to Annex B Part 1 - V-funnel test conforming to Annex B Part 2
- L-box test conforming to Annex B Part 3
- Segregation resistance test conforming to Annex B Part 4

Where specified directly or indirectly via exposure class, the concrete shall conform to the relevant requirements given in EN 206-1: 2000, 5.4.2 to 5.4.4. or the relevant product standard and/or EN 13369: 2004, Clause 4.2.2.

A.5.5 Requirements for hardened concrete

EN 206-1: 2000, Clause 5.5 applies or, in the case where the tests are on precast products, EN 13369 and/or other relevant product standards.

A.6 Delivery of fresh concrete

A.6.1 Information from the user of the concrete to the producer

EN 206-1: 2000, 7.1 applies.

A.6.2 Information from the producer of the concrete to the user

On request, the producer shall supply the following information:

- a) results of relevant previous tests for the concrete;
- b) strength development.

A.6.3 Delivery ticket for ready-mixed concrete

The general information given in EN 206-1: 2000, 7.3 shall be included on the delivery ticket plus the following:

- strength class;
- exposure classes;
- chloride content class;
- classes or target values specified for the property of self-compaction;
- limiting values of concrete composition, if specified;
- maximum nominal upper aggregate size; - any other specified property.

A.7 Conformity control and conformity criteria

NOTE: In the case of ready-mixed concrete, conformity is undertaken to

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

verify that the claims made on the delivery ticket are valid.

In the case of precast and site made concrete where the user and producer are the same party, testing and verification is undertaken as part of the production control at the same rate of testing and using the same criteria as for conformity. In this case, failure to satisfy the criteria does not lead to a declaration of non-conformity but to an internal investigation to assess whether this indicates a non-conformity with the requirements of the hardened concrete.

The rate of testing the slump-flow shall be that given in EN 206-1 for consistence or, in the case of precast products, EN 13369 and/or other relevant product standards. The T500 value, V-funnel time, L-box testing and sieve segregation resistance testing shall only be undertaken if specified.

Conformity to the properties of SCC is confirmed if the specified criteria satisfy the limits given in Table A.6.

Table A.6 – Conformity criteria for the properties of SCC	
Property	Criteria
Slump-flow class SF1	$\geq 520\text{mm}, \leq 700\text{mm}$
Slump-flow class SF2	$\geq 640\text{mm}, \leq 800\text{mm}$
Slump-flow class SF3	$\geq 740\text{mm}, \leq 900\text{mm}$
Slump-flow class specified as a target value	$\pm 80\text{mm}$ of target value
V-funnel class VF1	$\leq 10\text{s}$
V-funnel class VF2	$\geq 7\text{s}, \leq 27\text{s}$
V-funnel specified as a target value	$\pm 3\text{s}$
L-box class PA1	$\geq 0,75$
L-box class PA2	$\geq 0,75$
L-box specified as a target value	Not more than 0,05 below the target
Sieve segregation resistance class SR1	≤ 23
Sieve segregation resistance class SR2	≤ 18

Παράρτημα 3 Πίνακας 8: Table A.6 – Conformity criteria for the properties of SCC

For the other properties and requirements specified, the rate of testing and conformity criteria given in EN 206-1 apply or, in the case of precast products, the relevant product standards and/or EN 13369.

A.8 Production control

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

The principles of production control of fresh concrete given in EN 206-1: 2000, Clause 9 apply to the specified properties of SCC. In the case of precast products, for other aspects of production EN 13369: 2004, Clause 6.3 and/or other relevant product standards apply.

Annex B:

Test Methods Annex B.1

Testing fresh concrete –Part B1: Slump-flow and T500 time for self-compacting concrete

Introduction

The slump-flow and T500 time is a test to assess the flowability and the flow rate of self-compacting concrete in the absence of obstructions. It is based on the slump test described in EN 12350-2. The result is an indication of the filling ability of self-compacting concrete. The T500 time is also a measure of the speed of flow and hence the viscosity of the self-compacting concrete.

1 Scope

This document specifies the procedure for determining the slump-flow and T500 time for self-compacting concrete. The test is not suitable when the maximum size of the aggregate exceeds 40 mm.

2 Normative references

This document incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this document only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references, the latest edition of the publication referred to (including any amendments) applies.

EN 12350-1, Testing fresh concrete –Part 1: Sampling

EN 12350-2, Testing fresh concrete –Part 2: Slump test

ISO 5725:1994, Precision of test methods –Determination of repeatability and reproducibility for a standard test method by inter-laboratory tests.

3 Principle

The fresh concrete is poured into a cone as used for the EN 12350-2 slump test. When the cone is withdrawn upwards the time from commencing upward movement of the cone to when the concrete has flowed to a diameter of 500 mm is measured; this is the T500 time. The largest diameter of the flow spread of the concrete and the diameter of the spread at right angles to it are then measured and

the mean is the slump-flow.

Note: Measurement of the T500 time may be omitted if not requested.

4 Apparatus

The apparatus shall be in accordance with EN 12350-2 except as detailed below:

4.1 Baseplate, made from a flat plate with a plane area of at least 900 mm x 900 mm on which concrete can be placed. The plate shall have a flat, smooth and non-absorbent surface with a minimum thickness of 2 mm. The surface shall not be readily attacked by cement paste or be liable to rusting. The construction of the plate shall be such as to prevent distortion. The deviation from flatness shall not exceed 3 mm at any point when a straight edge is placed between the centres of opposing sides.

The centre of the plate shall be scribed with a cross, the lines of which run parallel to the edges of the plate and with circles of 200 mm diameter and 500 mm diameter having their centres coincident with the centre point of the plate. See figure 1.

4.2 Rule, graduated from 0 mm to 1000 mm at intervals of 1 mm. A stop watch measuring to 0,1 s.

4.3 Stop watch, measuring to 0,1 s.

4.4 Weighted collar (optional), having a mass of at least 9 kg.

NOTE: the weighted collar allows the test to be carried out by one person.

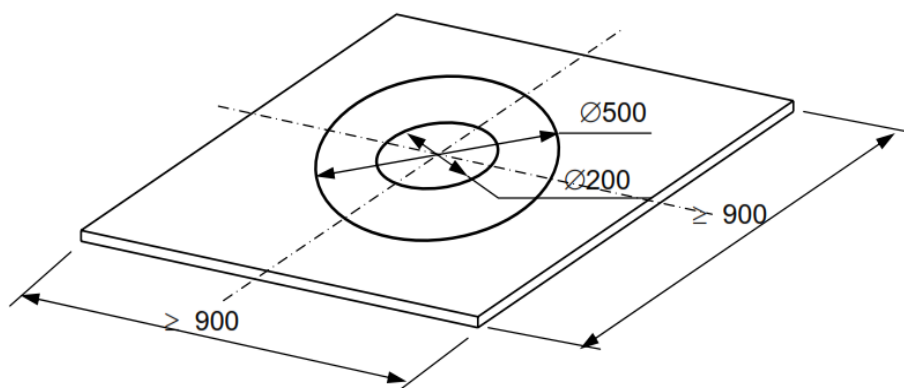


Figure 1, Baseplate reference Clause 4.1

Παράρτημα 3 Σχέδιο 2: Baseplate reference Clause 4.1. (Fig.1)

5 Test sample

The sample shall be obtained in accordance with EN 12350-1.

6 Procedure

Prepare the cone and baseplate as described in EN 12350-2. Fit the collar to the cone if being used.

Place the cone coincident with the 200 mm circle on the baseplate and hold in position by standing on the foot pieces (or use the weighted collar), ensuring that no concrete can leak from under the cone.

Fill the cone without any agitation or rodding, and strike off surplus from the top of the cone. Allow the filled cone to stand for not more than 30s; during this time remove any spilled concrete from the baseplate and ensure the baseplate is damp all over but without any surplus water.

Lift the cone vertically in one movement without interfering with the flow of concrete. If the T₅₀₀ time has been requested, start the stop watch immediately the cone ceases to be in contact with the baseplate and record the time taken to the nearest 0,1 s for the concrete to reach the 500 mm circle at any point. Without disturbing the baseplate or concrete, measure the largest diameter of the flow spread and record as d_m to the nearest 10 mm. Then measure the diameter of the flow spread at right angles to d_m to the nearest 10 mm and record as d_r to the nearest 10 mm.

Check the concrete spread for segregation. The cement paste/mortar may segregate from the coarse aggregate to give a ring of paste/mortar extending several millimetres beyond the coarse aggregate. Segregated coarse aggregate may also be observed in the central area. Report that segregation has occurred and that the test was therefore unsatisfactory.

7 Test result

The slump-flow is the mean of d_m and d_r expressed to the nearest 10 mm.

The T₅₀₀ time is reported to the nearest 0,1 s.

8 Test report

The test report shall include:

- a) identification of the test sample;
- b) location where the test was performed; c) date when test performed;
- d) slump-flow to the nearest 10 mm;
- e) any indication of segregation of the concrete;

- f) time between completion of mixing and performance of the tests;
- g) any deviation from the procedure in this document.

The report may also include:

- h) T500 time to the nearest 0,1 s;
- i) the temperature of the concrete at the time of test; j) time of test.

B.1 Annex (informative)

Precision

The repeatability r and reproducibility R have been determined by a programme including 8 laboratories, 16 operators and 2 replicates, and interpreted in accordance with ISO 5725:1994.

The resulting values for r and R are given in table 1.

Table A.1 –Precision results

Slump-flow mm	< 600	600 750	> 750
Repeatability r mm	n/a	42	22
Reproducibility R mm	n/a	43	28
T₅₀₀ time s	< 3,5	3,5 – 6,0	> 6,0
Repeatability r s	0,66	1,18	n/a
Reproducibility R s	0,88	1,18	n/a

Παράρτημα 3 Πίνακας 9: Table A.1 – Precision results

Annex B: Test Methods

Annex B.2

Testing fresh concrete –Part B2: V-funnel test

Introduction

The V-funnel test is used to assess the viscosity and filling ability of self-compacting concrete.

1 Scope

This document specifies the procedure for determining the V-funnel flow time for self-compacting concrete. The test is not suitable when the maximum size of the aggregate exceeds 20 mm.

2 Normative references

This document incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this document only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references, the latest edition of the publication referred to (including any amendments) applies.

EN 12350-1, Testing fresh concrete-Part 1: Sampling

ISO 5725:1994, Precision of test methods –Determination of repeatability and reproducibility for a standard test method by inter-laboratory tests.

3 Principle

A V shaped funnel is filled with fresh concrete and the time taken for the concrete to flow out of the funnel is measured and recorded as the V-funnel flow time.

4 Apparatus

4.1 V-funnel, made to the dimensions (tolerance ± 1 mm) in figure 1, fitted with a quick release, watertight gate at its base and supported so that the top of the funnel is horizontal. The V-funnel shall be made from metal; the surfaces shall be smooth, and not be readily attacked by cement paste or be liable to rusting.

4.2 Container, to hold the test sample and having a volume larger than the volume of the funnel and not less than 12 l.

4.3 Stop watch, measuring to 0,1 s.

4.4 Straight edge, for striking off concrete level with the top of the funnel.

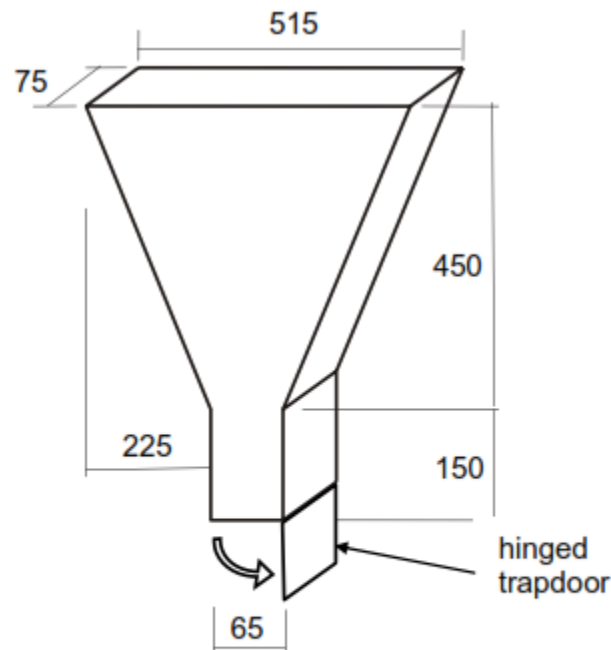


Figure 1 — V funnel

Παράρτημα 3 Σχέδιο 3: Figure 1-V funnel

5 Test sample

A sample of at least 12 l shall be obtained in accordance with EN 12350-1.

6 Procedure

Clean the funnel and bottom gate, the dampen all the inside surface including the gate. Close the gate and pour the sample of concrete into the funnel, without any agitation or rodding, then strike off the top with the straight edge so that the concrete is flush with the top of the funnel. Place the container under the funnel in order to retain the concrete to be passed. After a delay of (10 ± 2) s from filling the funnel, open the gate and measure the time t_v , to 0,1 s, from opening the gate to when it is possible to see vertically through the funnel into the container below for the first time. T_v is the V-funnel flow time.

7 Test report

The test report shall include:

- a) identification of the test sample;
- b) location where the test was performed; c) date when test performed;
- d) V-funnel flow time (t_V) to the nearest 0,1 s;
- e) time between completion of mixing and performance of the tests; f) any deviation from the procedure in this document.

The report may also include:

- h) the temperature of the concrete at the time of test;
- i) time of test.

B.2 Annex (informative)

Precision

The repeatability r and reproducibility R have been determined by a programme including 10 laboratories, 20 operators and 2 replicates, and interpreted in accordance with ISO 5725:1994.

The values of r and R are given by the following equations where C is the correlation coefficient.

$$r = 0,335 t_V - 0,62, \text{ with } C^2 = 0,823, \text{ when } 3 \leq t_V \leq 15; \text{ and } r = 4,4 \text{ when } t_V > 15$$

and

$$R = 0,502 t_V - 0,943, \text{ with } C^2 = 0,984, \text{ when } 3 \leq t_V \leq 15; \text{ and } R = 6,6 \text{ when } t_V > 15$$

Values of r and R , for typical values of t_V , calculated from these equations, are given in table A.1.

V-funnel flow time s	3,0	5,0	8,0	12,0	> 15,0
Repeatability r s	0,4	1,1	2,1	3,4	4,4
Reproducibility R s	0,6	1,6	3,1	5,1	6,6

Παράρτημα 3 Πίνακας 10: Repeatability and reproducibility for typical values V-funnel flow time (Table A.1)

Annex B: Test Methods

Annex B.3

Testing fresh concrete –Part B3: L-box test

Introduction

The L-box test is used to assess the passing ability of self-compacting concrete to flow through tight openings including spaces between reinforcing bars and other obstructions without segregation or blocking. There are two variations; the two bar test and the three bar test. The three bar test simulates more congested reinforcement.

1 Scope

This document specifies the procedure for determining the passing ratio, using the L-box test, for self-compacting concrete.

2 Normative references

This document incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this document only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references, the latest edition of the publication referred to (including any amendments) applies.

EN 12350-1, Testing fresh concrete –Part 1: Sampling

ISO 5725:1994, Precision of test methods –Determination of repeatability and reproducibility for a standard test method by inter-laboratory tests.

3 Principle

A measured volume of fresh concrete is allowed to flow horizontally through the gaps between vertical, smooth reinforcing bars and the height of the concrete beyond the reinforcement is measured.

4 Apparatus

4.1 L-box, having the general arrangement as shown in figure 1 and the dimensions (tolerance ± 1 mm) shown in figure 2. The L-box shall be of rigid construction with surfaces that are smooth, flat and not readily attacked by cement paste or be liable to rusting. The vertical hopper may be removable for ease of cleaning. With the gate closed, the volume of the vertical hopper shall be (12,6 –

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

12,8) l when filled level with the top.

The assemblies holding the reinforcement bars shall have 2 smooth bars of 12 mm diameter with a gap of 59 mm for the two bar test and 3 smooth bars of 12 mm diameter with a gap of 41 mm for the three bar test. These assemblies shall be interchangeable and locate the bars in the L –box so that they are vertical and equidistant across the width of the box.

NOTE: A steel mould is preferred but 12 mm coated formwork plywood with the end grain sealed has been found to be suitable.

4.2 Rule, graduated from (0 – 300) mm in intervals of 1,0 mm.

4.3 Container, to hold the sample and having a volume not less than 14 l.

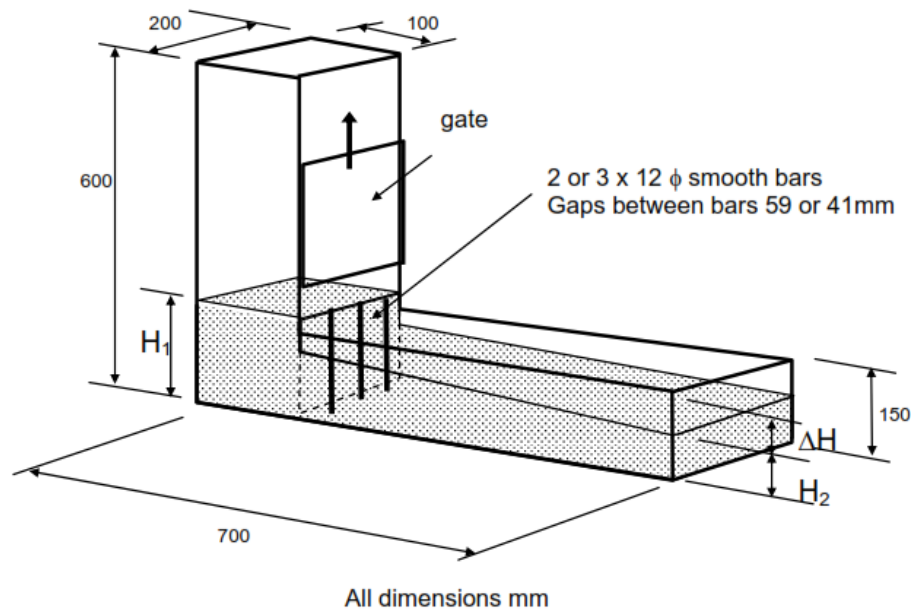


Figure 1 — General assembly of L-box

Παράρτημα 3 Σχέδιο 4 :General assembly of L-box (fig.1)

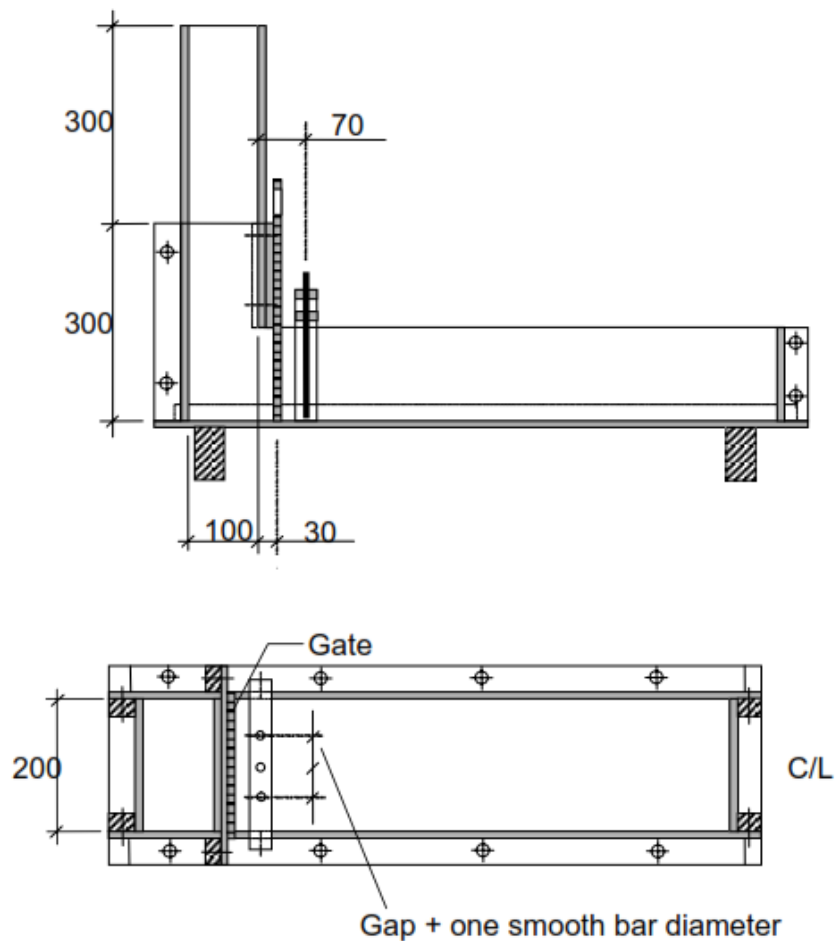


Figure 2 — Dimensions and typical design of L-box

Παράρτημα 3 Σχέδιο 5:Dimensions and typical design of L-box (fig.2)

5 Test sample

A sample of approximately 17 l shall be obtained in accordance with EN 12350-1.

6 Test procedure

Support the L-box on a level horizontal base and close the gate between the vertical and horizontal sections. Pour the concrete from the container into the filling hopper of the L-box and allow to stand for (60 ± 10) s. Record any segregation and then raise the gate so that the concrete flows into the horizontal section of the box.

When movement has ceased, measure the vertical distance, at the end of the horizontal section of the L-box, between the top of the concrete and the top of the

horizontal section of the box at three positions equally spaced across the width of the box. By difference with the height of the horizontal section of the box, these three measurements are used to calculate the mean depth of concrete as H2 mm. The same procedure is used to calculate the depth of concrete immediately behind the gate as H1 mm.

7 Test result

The passing ability PA is calculated from the following equation.

$$PA = H2/H1$$

8 Test report

The test report shall include:

- a) identification of the test sample;
- b) location where the test was performed; c) date when test performed;
- d) any segregation observed while filling the L-box; e) whether two bar or three bar test;
- f) passing ratio to the nearest 0,01;
- g) time between completion of mixing and performance of the tests; h) any deviation from the procedure in this document.

The report may also include:

- i) the temperature of the concrete at the time of test;
- j) time of test.

Addendum

There is a proposal to express the L-box test result as $PA = H2/H_{max}$

Where H_{max} is 91 mm and is the theoretical H2 height if the vertical hopper contains exactly 12,7 litres of SCC and completely self levels in the test.

Using this calculation makes measurement easier and improves the test precision.

However, the volume of SCC in the hopper and all the mould dimensions must be correct if this constant is to be used.

Warning:

The value of PA using $H2/H_{max}$ will be different to that obtained using $H2/H1$ and should not be used for showing compliance with the requirements of Annex A of these Guidelines.

B.3 Annex (informative)

Precision

The repeatability r and reproducibility R have been determined by a programme including 11 laboratories, 22 operators and 2 replicates, and interpreted in accordance with ISO 5725:1994.

For the three bar test the values for r and R are given by the following equations where C is the correlation coefficient.

$$r = 0,074 - 0,463 P_L, \text{ with } C^2 = 0,996, \text{ when } P_L \geq 0,65; \text{ and } r = 0,18 \text{ when } P_L < 0,65$$

and

$$R = 0,454 - 0,425 P_L, \text{ with } C^2 = 0,989, \text{ when } P_L \geq 0,65; \text{ and } R = 0,18 \text{ when } P_L < 0,65$$

Values of r and R , for typical values of PL , calculated from these equations, are given in table A.1.

Passing ratio PA H2/H1	≥0,8	<0,8
Repeatability r	0,11	0,13
Reproducibility R	0,12	0,16

Παράρτημα 3 Πίνακας 11: Repeatability and reproducibility for typical values of the passing ratio

Table A.1

Annex B: Test Methods

Annex B.4

Testing fresh concrete –Part B4: Sieve segregation resistance test

Introduction

The sieve segregation resistance test is used to assess the resistance of self-compacting concrete to segregation.

1 Scope

This document specifies the procedure for determining the sieve segregation resistance of self-compacting concrete.

2 Normative references

This document incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this document only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references, the latest edition of the publication referred to (including any amendments) applies.

EN 12350-1, Testing fresh concrete –Part 1: Sampling

ISO 3310-2, Test sieves –Technical requirements and testing –Part 2: Test sieves of perforated metal

ISO 5725:1994, Precision of test methods –Determination of repeatability and reproducibility for a standard test method by inter-laboratory tests.

3 Principle

After sampling, the fresh concrete is allowed to stand for 15 min and any separation of bleed water is noted. The top part of the sample is then poured into a sieve with 5 mm square apertures. After 2 min the weight of material which has passed through the sieve is recorded. The segregation ratio is then calculated as the proportion of the sample passing through the sieve.

4 Apparatus

4.1 Perforated plate sieve, having 5 mm square apertures, frame diameter 300 mm and height 40 mm, conforming to ISO 3310-2, complete with a receiver from which the sieve can easily removed by lifting vertically.

4.2 Weighing machine, having a flat platform which can accommodate the sieve receiver and having a capacity of at least 10 kg, calibrated in increments of ≤ 20 g.

4.3 Sample container, made from plastics or metal construction having an internal diameter (300 ± 10) mm, a capacity of $(11 - 12)$ l, and a lid.

5 Test sample

A sample which fills the sample container shall be obtained in accordance with EN 12350-1.

6 Procedure

Place $(10 \pm 0,5)$ l of concrete in the sample container and fit the lid. Allow to stand in a level position, without disturbance, for $(15 \pm 0,5)$ min.

Ensure the weighing machine is level and free from vibration. Place the sieve receiver on the weighing machine and record its mass (W_p g). Then place the sieve on the receiver and again record the mass.

At the end of the standing period remove the lid from the sample container and record whether any bleed water has appeared on the surface of the concrete. With the sieve and receiver still on the weighing machine, and with the top of the sample container (500 ± 50) mm above the sieve, immediately pour $(4,8 \pm 0,2)$ kg concrete (including any bleed water) onto the centre of the sieve. Record the actual mass of concrete (W_C g) on the sieve. Allow the concrete to stand in the sieve for (120 ± 5) s and then remove the sieve vertically without agitation. Record the mass of the receiver and concrete that has passed into it from the receiver (W_{PS} g).

7 Test result

The segregated portion SR is calculated from the following equation and reported to the nearest 1 %.

$$SR = (W_{ps} - W_p) 100 / W_c \%$$

8 Test report

The test report shall include:

- a) identification of the test sample;
- b) location where the test was performed; c) date when test performed;
- d) presence of bleed water, if any, after standing for 15 min; e) segregated portion to the nearest 1%;
- f) time between completion of mixing and performance of the tests; g) any deviation from the procedure in this document.

The report may also include:

- h) the temperature of the concrete at the time of test;
- i) time of test.

B.4 Annex (informative)

Precision

The repeatability r and reproducibility R have been determined by a programme including 11 laboratories, 22 operators and 2 replicates, and interpreted in accordance with ISO 5725:1994.

The resulting values for r and R are given in table 1.

Segregated portion %	≤ 20	> 20
Repeatability r %	3,7	10,9
Reproducibility R %	3,7	10,9

Παράρτημα 3 Πίνακας 12: Table A.1 –Precision results

Annex C: Improving the finish of SCC

The table below outlines the main defects that may appear during or after the placement of self-compacting concrete. Some of the defects described are also applicable to traditionally vibrated concrete. However, some defects are easier to avoid using SCC due to the nature of the product. It should be noted that surface defects such as blowholes and other surface aberrations affect the appearance of the concrete face, other problems such as honeycombing, joints/layers between batches, scaling, and cracking may impact on concrete integrity.

Type of defect	Primary causes	Practical reasons	How to prevent or correct
Blow holes	entrapped air entrapped water entrapped form oil	<ul style="list-style-type: none"> excessive fines/ high specific surface area 	<ul style="list-style-type: none"> reduce fines
		<ul style="list-style-type: none"> heavy or uneven application of mould oil 	<ul style="list-style-type: none"> minimal application rate applied evenly
		<ul style="list-style-type: none"> rough mould surface 	<ul style="list-style-type: none"> ensure mould surfaces is clean use of geo-textile form liner will absorb air
		<ul style="list-style-type: none"> pouring rate too fast 	<ul style="list-style-type: none"> ensure steady discharge into forms
		<ul style="list-style-type: none"> too long flowing length 	<ul style="list-style-type: none"> limit flow distance to 5 m
		<ul style="list-style-type: none"> too short flowing length 	<ul style="list-style-type: none"> extend flow distance to 1 m
		<ul style="list-style-type: none"> Large free falling distance 	<ul style="list-style-type: none"> lower free fall to < 1 m use of soft-wall tremi in deep lifts pump from bottom up will help to expel air
		<ul style="list-style-type: none"> concrete temperature too high 	<ul style="list-style-type: none"> reduce concrete temperature to below 25°C
		<ul style="list-style-type: none"> placing rate too slow 	<ul style="list-style-type: none"> plan concrete delivery rate and site resources to ensure continuity of pouring
		<ul style="list-style-type: none"> settlement of constituents in superplasticiser, particularly defoamer 	<ul style="list-style-type: none"> concrete producer: improve storage, use by date and stock rotation
		<ul style="list-style-type: none"> too high viscosity 	<ul style="list-style-type: none"> reduce dosage of VMA review mix proportioning
		<ul style="list-style-type: none"> unsuitable aggregate grading 	<ul style="list-style-type: none"> use of VMA or entrained air
		<ul style="list-style-type: none"> too long mixing time induces air 	<ul style="list-style-type: none"> review mixing time
Physical reasons: poor filling ability, poor passing ability, high viscosity or high yield stress, low slump-flow and / or long T ₅₀₀ time, rapid slump-flow reduction		<ul style="list-style-type: none"> admixture/cement interaction 	<ul style="list-style-type: none"> assess admixtures/cements compatibility prior to production

Type of defect	Primary reasons	Practical reasons	How to prevent or correct
Vertical stripes or water scouring visible on concrete surface	bleeding of water and fines	<ul style="list-style-type: none"> too high water to powder ratio too low viscosity 	<ul style="list-style-type: none"> use of VMA may assist increase viscosity through additional fines use air entrainer to overcome poor particle size distribution
Physical reason: low stability			

Αυτοσυμπκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Type of defect	Primary reasons	Practical reasons	How to prevent or correct
Colour variations	along the surface differences between batches	<ul style="list-style-type: none"> too low temperature 	<ul style="list-style-type: none"> maintain concrete and in-form temperature during winter conditions
		<ul style="list-style-type: none"> too high slump-flow, too low viscosity 	<ul style="list-style-type: none"> increase viscosity by increasing fines or consider using VMA
		<ul style="list-style-type: none"> retarding effect of admixture or release agent 	<ul style="list-style-type: none"> careful selection of admixtures to open-life requirement reduce water content or reduce plasticiser addition rate consider using a mild accelerator use geo-textile form liner
		<ul style="list-style-type: none"> changes in rate of pour 	<ul style="list-style-type: none"> continuous casting
		<ul style="list-style-type: none"> plastic curing membrane irregularly in contact with concrete surface 	<ul style="list-style-type: none"> ensure consistent contact
		<ul style="list-style-type: none"> surface-dry timber moulds 	<ul style="list-style-type: none"> wet mould before casting preferably use coated form-face
Physical reasons: retarding or staining effect caused by oil, admixture etc. too high plastic viscosity or yield stress			

Type of defect	Primary reasons	Practical reasons	How to prevent or correct
Poor uneven, cast surface	deformation of mould "finger-prints" from mould to concrete surface	<ul style="list-style-type: none"> fast pouring rate or weak form design 	<ul style="list-style-type: none"> reduce casting speed to reduce hydrostatic head use VMA to increase viscosity redesign formwork
		<ul style="list-style-type: none"> form face worn-out adhering residual concrete 	<ul style="list-style-type: none"> renew formwork clean face prior to casting
		<ul style="list-style-type: none"> unsuitable release agent or method of application 	<ul style="list-style-type: none"> experiment to establish best release agent apply at correct rate with proper equipment using right pressure and spray nozzle
		<ul style="list-style-type: none"> too high water/powder ratio 	<ul style="list-style-type: none"> increase superplasticiser addition rate or use VMA
Physical reasons: high formwork pressure too low plastic viscosity			

Type of defect	Primary reasons	Practical reasons	How to prevent or correct
Honeycombing	insufficient paste or fines concrete segregated due to too low plastic viscosity concrete not able to fill the part of the mould	<ul style="list-style-type: none"> low paste/fines content 	<ul style="list-style-type: none"> increase fines, use at least 450 kg powder/m³ add air entrainer
		<ul style="list-style-type: none"> unsuitable grading 	<ul style="list-style-type: none"> continuous grading
		<ul style="list-style-type: none"> aggregate size too large compared to free space 	<ul style="list-style-type: none"> smaller max aggregate size
		<ul style="list-style-type: none"> leakage of mould 	<ul style="list-style-type: none"> check integrity of mould, particularly at joints
Physical reasons: incomplete filling ability incomplete passing ability incomplete stability too low slump-flow and / or T ₅₀₀ time segregation of coarse aggregate/paste			

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Type of defect	Primary reasons	Practical reasons	How to prevent or correct
Scaling	surface layer contains only fine material and has set too fast	• no curing or limited curing	• ensure proper curing according the ambient conditions
		• segregation and/or bleeding caused by the too low amount of fines	• increase powder content • use of VMA • add air entrainer
Physical reasons: incomplete stability segregation and or bleeding too fast drying			

Type of defect	Primary reasons	Practical reasons	How to prevent or correct
Visible joint planes between different batches (commonly referred to as "cold joints")	Formation of surface-crust prevents monolithic jointing of subsequent concrete	• intermittent deliveries of concrete	• continuous casting: no breaks
		• concrete stiffening quickly	• pretesting: not too fast stiffening aloud
		• high concrete or air temperature	• lower temperature of concrete than 25°C
		• segregation of coarse aggregates	• review mix proportioning • reduce flowing distance
		• too high specific surface of fines	• reduce fine/powder content
Physical reasons: incomplete filling ability thixotropic setting too fast slump-flow loss too high viscosity admixture - cement interaction			

Type of defect	Primary reasons	Practical reasons	How to prevent or correct
Plastic cracking (early shrinkage and plastic settlement)	too fast drying sedimentation rebar positioning	• poor early age curing regime	• start curing immediately after placing/finishing • proper curing according the ambient conditions
		• segregation and bleeding	• close the plastic cracks prior to concrete setting • increase powder content • use VMA • use air entraining agent
		• extreme ambient conditions (temp, RH, wind etc)	• apply finishing according to prevailing conditions
		• deep lift with rebar close to surface	• rebar cage redesign
Physical reasons: increased plastic drying shrinkage poor stability			

Παράρτημα 3 Πίνακας 13: the main defects that may appear during or after the placement of self-compacting concrete

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: EN 12878:2005 (E)

Pigments for the colouring of building materials based on cement and/or lime – Specifications and methods of test

(ilnas.services-publics.lu, n.d.)

Foreword

This document (EN 12878:2005) has been prepared by Technical Committee CEN/TC 298 “Pigments and extenders”, the secretariat of which is held by DIN.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by November 2005, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by February 2007.

This document supersedes EN 12878:1999.

Annex A gives further information regarding the test methods.

This document has been prepared under a mandate given to CEN by the European Commission and the European Free Trade Association, and supports essential requirements of EU Directive(s).

For relationship with EU Directive(s), see informative Annex ZA which is an integral part of this document.

This document includes a Bibliography with currently existing International Standards for particular pigments suitable for use in building materials based on cement and/or lime.

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

1. Scope

This European Standard specifies the requirements and the test methods for pigments for use in the colouring of building materials based on cement and cement/lime combinations.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Pigments covered by this European Standard can also be used in pure lime mortar. For this application see EN 459-1 and EN 459-2.

Pigments for this purpose can be single pigments, blends of pigments, or blends of pigments and extenders, in powder or granular form, or aqueous preparations.

Pigments typically belong to one of the following classes of compounds:

- synthetic or natural oxides and hydroxides of iron;
- oxides of chromium, titanium and manganese;
- complex inorganic pigments, for example combinations of the above mentioned metal oxides and hydroxides with cobalt, aluminium, nickel and antimony oxides and hydroxides;
- ultramarine pigments;
- phthalocyanine blue and green;
- elemental carbon (should be regarded as an inorganic pigment);
- blends of the above materials (which may also include extenders).

2. Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

EN 196-1:2005, Methods of testing cement — Part 1: Determination of strength

EN 196-3, Methods of testing cement — Part 3: Determination of setting times and soundness

EN 197-1, Cement — Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements

EN 934-2, Admixtures for concrete, mortar and grout — Part 2: Concrete admixtures – Definitions, requirements, conformity, marking and labelling

EN ISO 787-3, General methods of test for pigments and extenders – Part 3: Determination of matter soluble in water – Hot extraction method (ISO 787-3:2000)

EN ISO 787-9, General methods of test for pigments and extenders — Part 9: Determination of pH value of aqueous suspension (ISO 787-9:1981)

EN ISO 787-13, General methods of test for pigments and extenders – Part 13: Determination of water-soluble sulfates, chlorides and nitrates (ISO 787-13:2002)

EN ISO 1158, Plastics – Vinyl chloride homopolymers and copolymers – Determination of chlorine content (ISO 1158:1998)

EN ISO 15528, Paints, varnishes and raw materials for paints and varnishes — Sampling (ISO 15528:2000)

ISO 787-7, General methods of test for pigments and extenders — Part 7: Determination of residue on sieve — Water method — Manual procedure

ISO 3310-1, Test sieves — Technical requirements and testing — Part 1: Test sieves of metal wire cloth

ISO 7724-1, Paints and varnishes — Colorimetry — Part 1: Principles

ISO 9277, Determination of the specific surface area of solids by gas adsorption using the BET method

3. Terms and definitions

For the purposes of this European Standard, the following terms and definitions apply.

3.1 pigment

substance, generally in the form of fine particles, which is insoluble in the application medium and whose sole purpose is to colour cement- and/or lime-based building materials

3.2 single pigment

pigment of singular (chemical) composition containing no substances other than those originating from the pigment manufacturing process

NOTE: Surface treatment of the primary pigment particles is considered as a part of the pigment manufacturing process.

3.3 pigment blend

blend of at least two single pigments, or at least one single pigment and an extender

3.4 aqueous pigment preparation

preparation in which a pigment (single pigment or pigment blend) is dispersed in water, with or without a dispersion or other agent

NOTE : Examples of agents are: - dispersants;

- binding agents (resins); - solvents;

- wetting agents;
or combinations thereof.

3.5 pigment in granular form

preparation in which a pigment (single pigment or pigment blend) is converted into granules, by the use of a binding agent which retains the integrity of the granule

3.6 reference sample standard pigment

sample of a single pigment or a blend (powder, or preparation) retained by the interested parties for comparison for the evaluation of the product properties

3.7 extender

inorganic substance, generally a material in granular or powder form, which is insoluble in the application medium and has no inherent colour properties

4. Requirements

4.1 Effects on concrete properties

4.1.1 General

In addition to all other requirements, pigments for steel reinforced concrete shall meet the Category B requirements given in 4.1.3, 4.2.3 to 4.2.5.

The inorganic pigment dosage shall be 5,0 % solids, carbon black and organic pigment dosage of 2,0 % solids, by mass, based on the cement amount for testing according to 5.1.

If a higher dosage of pigment is recommended the tests shall be carried out with that dosage.

The dosage in percent by mass shall be specified by the manufacturer.

4.1.2 Setting time

4.1.2.1 Initial setting time

The initial setting time of cement with the single pigment or a blend (both as powder, granulate or preparation), determined in accordance with 5.1.1, shall not be less than 60 min.

The maximum difference between the initial setting time of mixes with and without the single pigment or a blend (both as powder, granulate or preparation) shall not be greater than 60 min.

4.1.2.2 Final setting time

The final setting time of cement with the single pigment or a blend (both as powder, granulate or preparation), determined in accordance with 5.1.1, shall not be longer than 720 min.

4.1.3 Compressive strength

The 28 day compressive strength of mixes with the single pigment or a blend (both as powder, granulate or preparation), determined in accordance with 5.1.2, shall not be reduced in comparison with the mix without pigment more than

Category A: the manufacturer's declared value

Category B: 8 %.

4.2 Composition

4.2.1 General

Where dispersion agents, binding agents and/or grinding aids are used, their total content shall be equal to or less than 5,0 % by mass, based on pigment solids. If admixtures are used for the preparation of single pigments or blends in the form of granulates or preparations they shall conform to EN 934-2. Admixture type according to EN 934-2 shall be reported.

The stability of a pigment with respect to colour shall be linked to the intended end use conditions.

The solids content, as a percentage (%) of aqueous preparations, shall be declared by the manufacturer.

4.2.2 Composition of the pigment

The main constituents of the pigments are determined in accordance with 5.2.2.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5:

EN 12390-3 Testing hardened concrete

Part 3: Compressive strength of test specimens

(xa.yimg.com, n.d.)

Foreword

This European Standard has been prepared by Technical Committee CEN /TC 104, “Concrete”, the secretariat of which is held by DIN.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by June 2002, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by December 2003.

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.

This standard is based on the draft International Standard ISO 4012 — Concrete — Determination of compressive strength of test specimens.

It is recognised good practice to include measurement of density prior to the determination of compressive strength.

The methods for adjusting the ends of test specimens, given in annex A, have been validated in a recent laboratory inter-comparison, part-funded by the EC under the Measurement and Testing Programme, contract MATI-CT-940043.

A draft for this standard was published in 1996 for CEN enquiry as prEN 12394. It was one of a series of individually numbered test methods for fresh or hardened concrete. For convenience it has now been decided to combine these separate draft standards into three new standards with separate parts for each method, as follows:

- Testing fresh concrete (EN 12350)
- Testing hardened concrete (EN 12390)
- Testing concrete in structures (EN 12504)

The series EN 12390 includes the following parts where the brackets give the numbers under which particular test methods were published for CEN enquiry:

EN 12390 Testing hardened concrete

- Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds (former prEN 12356:1996)
- Part 2: Making and curing specimens for strength tests (former prEN

12379:1996)

- Part 3: Compressive strength of test specimens (former prEN 12394:1996)
- Part 4: Compressive strength — Specification for testing machines (former prEN 12390:1996)
- Part 5: Flexural strength of test specimens (former prEN 12359:1996)
- Part 6: Tensile splitting strength of test specimens (former prEN 12362:1996)
- Part 7: Density of hardened concrete (former prEN 12363:1996)
- Part 8: Depth of penetration of water under pressure (former prEN 12364:1996)

The annexes A and B are normative.

1. Scope

This standard specifies a method for the determination of the compressive strength of test specimens of hardened concrete.

2. Normative references

This European Standard incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this European Standard only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references the latest edition of the publication referred to applies (including amendments).

EN 197-1, Cement — Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements.

EN 12350-1, Testing fresh concrete — Part 1: Sampling.

EN 12390-1, Testing hardened concrete — Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds.

EN 12390-2, Testing hardened concrete — Part 2: Making and curing specimens for strength tests.

EN 12390-4, Testing hardened concrete — Part 4: Compressive strength — Specification for testing machines.

EN 12504-1, Testing concrete in structures — Part 1: Cored specimens — Taking, examining and testing in compression.

ISO 3310-1, Test sieves; technical requirements and testing — Part 1: Test sieves of metal wire cloth.

ISO 5725-1, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: General principles and definitions.

Series BS 1881, Testing concrete

3. Principle

Specimens are loaded to failure in a compression testing machine conforming to EN 12390-4. The maximum load sustained by the specimen is recorded and the compressive strength of the concrete is calculated.

4. Apparatus

Compression testing machine, conforming to EN 12390-4.

5. Test specimens

5.1 Requirement

The test specimen shall be a cube, cylinder or core meeting the requirements of EN 12350-1, EN 12390-1, EN 12390-2, or EN 12504-1. If the dimension of the test specimen does not conform to the tolerances for designated size in EN 12390-1, it can be tested in accordance with the procedure given in annex B.

NOTE Damaged specimens or specimens which are badly honeycombed should not be tested.

5.2 Adjustment of test specimens

Where the dimensions or shapes of test specimens do not conform to the requirements given in EN 12390-1 because they exceed the respective tolerances, they shall be rejected, adjusted or tested in accordance with annex B.

One of the methods given in annex A shall be used to adjust specimens.

6. Procedure

6.1 Specimen preparation and positioning

Wipe the excess moisture from the surface of the specimen before placing in the testing machine.

Wipe all testing machine bearing surfaces clean and remove any loose grit or other extraneous material from the surfaces of the specimen that will be in contact with the platens.

Do not use packing, other than auxiliary platens or spacing blocks (see EN 12390-4) between the specimen and the platens of the testing machine.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Position the cube specimens that the load is applied perpendicularly to the direction of casting.

Centre the specimen with respect to the lower platen to an accuracy of $\pm 1\%$ of the designated size of cubic, or designated diameter of cylindrical specimens.

If auxiliary platens are used, align them with the top and bottom face of the specimen.

With two-column testing machines, cubic specimens should be placed with the trowelled surface facing a column.

6.2 Loading

Select a constant rate of loading within the range 0,2 Mpa/s (N/mm²•s) to 1,0 Mpa/s (N/mm²•s) the specimen without shock and increase continuously, at the selected constant rate $\pm 10\%$, until no greater load can be sustained.

When using manually controlled testing machines, correct any tendency for the selected rate of loading to decrease, as specimen failure is approached by appropriate adjustment of the controls.

Record the maximum load indicated.

6.3 Assessment of type of failure

Examples of the failure of specimen showing that the tests have proceeded satisfactorily are given in figure 1 for cubes and in figure 3 for cylinders.

Examples for unsatisfactory failure of specimens are shown in figure 2 for cubes and in figure 4 for cylinders.

If failure is unsatisfactory this shall be recorded with reference to the pattern letter according to figure 2 or 4 closest to that observed.

NOTE Unsatisfactory failures can be caused by:

- ✓ insufficient attention to testing procedures, especially positioning of the specimen;
- ✓ a fault with the testing machine.

For cylindrical specimens, failure of the capping before the concrete is an unsatisfactory failure.

7. Expression of results

The compressive strength is given by the equation: $f_c = \frac{F}{A_c}$ where

f_c is the compressive strength, in megapascals (newtons per square millimetre);

F is the maximum load at failure, in newtons;

A_c is the cross-sectional area of the specimen on which the compressive force acts, calculated from the designated size of the specimen (see EN 12390-1) or from measurements on the specimen according to annex B in mm^2 .

The compressive strength shall be expressed to the nearest 0,5 Mpa (N/mm^2).

8. Test report

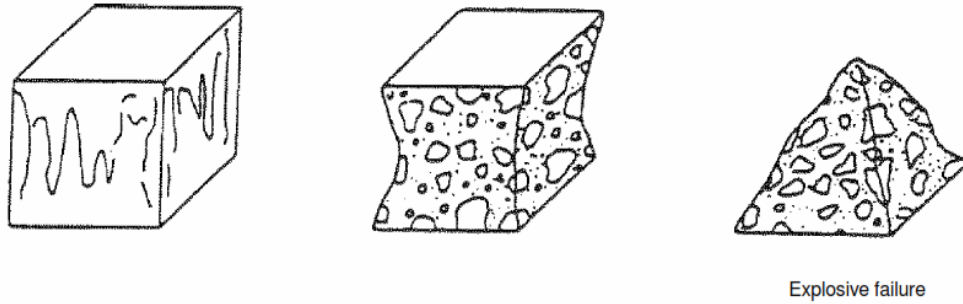
The report shall include:

- a) identification of the test specimen;
- b) designated dimensions of the specimen or if oversize and tested in accordance with Annex B, actual dimensions;
- c) surface condition of the specimen at the time of test;
- d) details of adjustment by grinding/capping (if appropriate);
- e) date of test;
- f) maximum load at failure, in kilonewtons;
- g) compressive strength of specimen in megapascals (to the nearest 0,5 Mpa) or newtons per square millimetre (to the nearest 0,5 N/mm^2);
- h) unsatisfactory failure (if appropriate) and if unsatisfactory the closest type;
- i) any deviations from the standard method of testing;
- j) a declaration from the person technically responsible for the test that the testing was carried out in accordance with this standard, except as detailed in item i).

The report may include: k) mass of the specimen;

- l) apparent density of specimen, to the nearest 10 kg/m^3
- m) condition of the specimen on receipt;
- n) curing conditions since receipt;
- o) time of test (if appropriate);
- p) age of specimen at time of test.

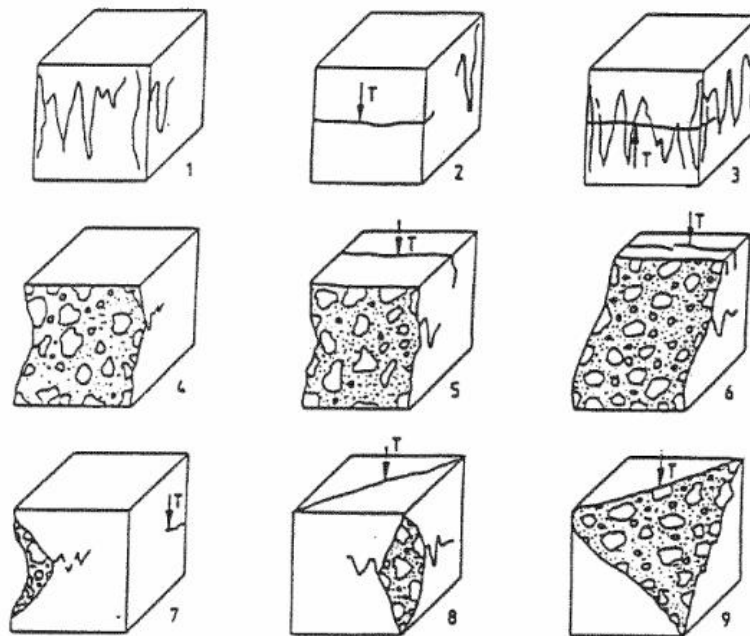
Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές



NOTE All four exposed faces are cracked approximately equally, generally with little damage to faces in contact with the platens.

Figure 1 — Satisfactory failures of cube specimens

Παράρτημα 5 Εικόνα 1: Satisfactory failures of cube specimens (fig.1)



NOTE T = tensile crack

Figure 2 — Some unsatisfactory failures of cube specimens

Παράρτημα 5 Εικόνα 2: Some unsatisfactory failures of cube specimens (fig 2)

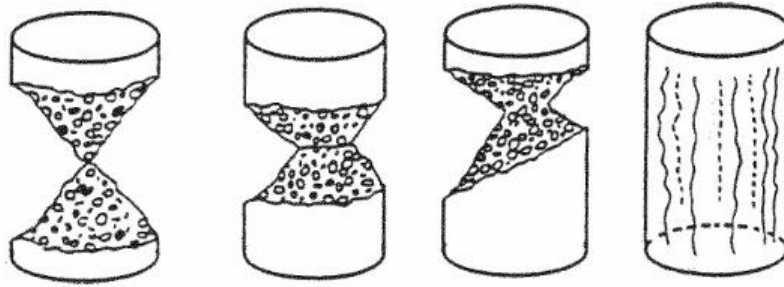


Figure 3 — Satisfactory failure of cylinder specimen

Παράρτημα 5 Εικόνα 3 : Satisfactory failure of cylinder specimen

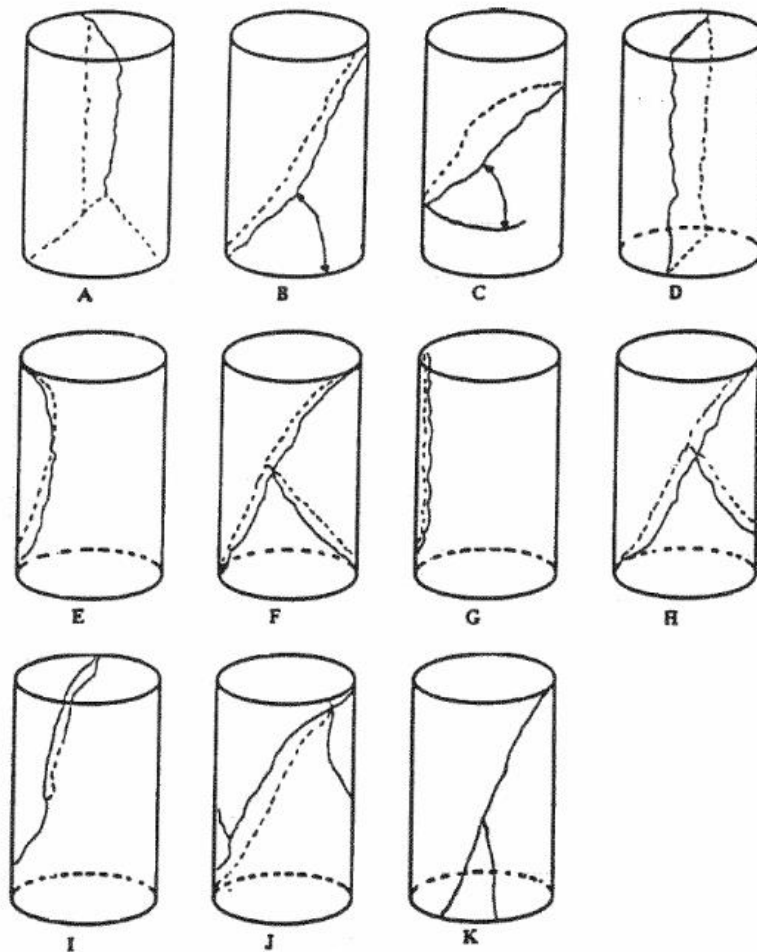


Figure 4 — Some unsatisfactory failures of cylinder specimens

Παράρτημα 5 Εικόνα 4: Some unsatisfactory failures of cylinder specimens (fig 4)

9. Precision

Table 1 — Precision data for measurements of the compressive strength of hardened concrete, expressed as percentages of the mean of the two cube strengths whose difference is to be compared with repeatability (r) or reproducibility (R).

Test method	Repeatability conditions		Reproducibility conditions	
	s_r %	r %	s_R %	R %
100 mm cubes	3,2	9,0	5,4	15,1
150 mm cubes	3,2	9,0	4,7	13,2

Παράρτημα 5 Πίνακας 1: Precision (cubes) (table 1)

NOTE 1 The precision data were determined in the UK as part of an experiment carried out in 1987, in which precision data were obtained for several of the tests described in the series BS 1881. The concretes were made using an ordinary Portlandcement, Thames Valley sand, and Thames Valley 10 mm and 20 mm coarse aggregates. Hand compaction was used.

NOTE 2 The difference between two test results from the same sample by one operator using the same apparatus within the shortest feasible time interval will exceed the repeatability value r on average not more than once in 20 cases in the normal and correct operation of the method.

NOTE 3 Test results on the same sample obtained within the shortest feasible time interval by two operators each using their own apparatus will differ by the reproducibility value R on average not more than once in 20 cases in the normal and correct operation of the method.

For further information on precision, and for definitions of the statistical terms used in connection with precision, see ISO 5725-1.

Table 2 — Precision data for measurements of the compressive strength of hardened concrete, expressed as percentages of the mean of the three cylinder strengths whose differences are to be compared with repeatability (r) or reproducibility (R).

Test method	Repeatability conditions		Reproducibility conditions	
	s_r %	r %	s_R %	R %
Cylinder (160 mm diameter, 320 mm height)	2,9	8,0	3,1	11,7

Παράρτημα 5 Πίνακας 2: Precision (cylinder) (table 2)

NOTE 1 The precision data were determined in France as part of a Round Robin Test carried out in 1992. They are based on the results obtained by 89 laboratories which had participated in the test.

NOTE 2 The concretes were made using CPA55 cement (CEMI), Seine river sand and 20 mm aggregate. The average value was 38,87 Mpa.

NOTE 3 The precision data only includes the procedure of testing for compressive strength.

Adjustment of test specimens

A.1 General

When it is necessary to reduce the size of a specimen, it shall be ground or sawn.

The intended load-bearing surfaces shall be prepared by grinding or by capping. (See table A.1).

Table A.1 — Restrictions on methods of adjustment

Method	Restriction based on (anticipated) measured strength
Grinding	unlimited
Calcium aluminate cement mortar	up to approximately 50 MPa (N/mm ²)
Sulfur mixture	up to approximately 50 MPa (N/mm ²)
Sandbox	unlimited

Παράρτημα 5 Πίνακας 3:Registration on methods of adjustment(table A.1)

In cases of dispute, grinding shall be the reference method.

NOTE Other methods of adjustment may be used if they are validated against grinding.

A.2 Grinding

Remove specimens cured in water from the water for grinding for not more than 1 h at a time and re-immerses in water for at least 1 h before further grinding or testing.

A.3 Capping (using calcium aluminate cement)

Before capping, ensure that the surface of the specimen being capped is in a wet condition, clean and that all loose particles have been removed.

The caps shall be as thin as possible and shall not be greater than 5 mm thick, although small local deviations are permissible.

The capping material should consist of a mortar composed of three parts by mass of calcium aluminate cement to one part by mass of fine sand (most of which passes a 300 m ISO 3310-1 woven wire sieve).

Other cements conforming to EN 197-1, may be used provided that, at the

time of test, the mortar has a strength at least equal to the strength of the concrete.

Place the specimen with one end on a horizontal metal plate. Rigidly clamp a steel collar of correct dimensions and having a machined upper edge to the upper end of the specimen to be capped, in such a way that the upper edge is horizontal and just extends beyond the highest part of the concrete surface.

Fill the capping material into the collar until it is the form of a convex surface above the edge of the collar. Press a glass capping plate, coated with a thin film of mould oil down on to the capping material with a rotary motion until it makes complete contact with the edge of the collar.

Immediately place the specimen with collar and plate in position in moist air of 95 % RH and at a temperature of (20 ± 5) °C. Remove the plate and collar when the mortar is hard enough to resist handling damage.

NOTE At the time of test, the capping should be at least as strong as the concrete specimen.

A.4 Capping: Sulfur mixture method

Before capping, ensure that the surface of the specimen to be capped is in a dry condition, clean and all loose particles are removed.

The caps shall be as thin as possible and should not be greater than 5 mm thick, although small local deviations are permissible.

Proprietary sulfur capping mixtures are usually suitable. Alternatively, the capping material may consist of a mixture composed of equal parts by mass of sulfur and fine siliceous sand (most of which passes a 250 μ m woven wire sieve and is retained on a 125 μ m woven wire sieve conforming to ISO 3310-1). A small proportion, up to 2 %, of carbon black may be added.

Heat the mixture to the temperature recommended by the supplier or to a temperature where, whilst stirring continuously, the required consistency is reached.

The mixture is stirred continuously to ensure its homogeneity and to avoid sediment forming at the bottom of the melting pot.

NOTE 1 If capping operations have to be carried out repeatedly, it is advisable to use two thermostatically controlled melting pots.

NOTE 2 The level of the mixture in the melting pot should never be allowed to fall too low, as there will be an increased risk of the production of sulfur vapour, which could ignite.

CAUTION — A fume extraction system should be operating during the whole melting process, to ensure full extraction of the sulfur vapour, which is heavier than air. Care should be taken to ensure that the temperature of the mixture is maintained within the specified range, to reduce the risk of pollution.

Lower one end of the specimen, held vertically, into a pool of molten sulfur mixture on a horizontal plate/mould. Allow the mixture to harden, before repeating the procedure for the other end. Use a capping frame which will ensure that both capped surfaces are parallel and mineral oil as a release agent for plates/moulds.

NOTE 3 It may be necessary to trim surplus capping material from the edges of the specimen.

Check the specimen to ensure that the capping material has adhered to both ends of the specimen. If a capping layer sounds hollow, remove it and then repeat the capping operation.

Allow 30 min to elapse since the last capping operation before carrying out a compression test on the test specimen.

A.5 Capping: Sandbox method: Use of sand boxes for capping cylindrical specimens

A.5.1 Preparation

This method is shown in figure A.1.

Before capping, ensure that the surface of the specimen to be capped is clean and that all fine loose particles have been removed.

The sand used shall be fine siliceous sand, most of which passes a 250 μm woven wire sieve and is retained on a 125 μm woven wire sieve conforming to ISO 3310-1.

A.5.2 Apparatus

A.5.2.1

Steel boxes; conforming to the shape and dimensions set out in figure A.2.

The steel shall have a yield strength of at least 900 Mpa (N/mm^2).

The tolerance on the dimensions shall be $\pm 0,1$ mm.

Each box shall be provided with an opening to receive a line from an air compressor, and the opening shall be provided with a means of blanking it off during placing and testing.

A.5.2.2

Positioning frame; (figure A.3) consisting of:

- a guidance device capable of ensuring that the tolerance on the perpendicularity of the side of the specimen and the contact surface of the box in the frame is 0,5 mm, and capable of ensuring that the tolerance on the coaxiality of each box and the specimen is 0,5 mm;
- two box centring stops, integral with the horizontal plane of the frame;
- a mechanical system for locking the sand box against the stops;
- a system to clamp the specimen against the specimen guide;
- a vibrator mounted under the horizontal plane of the frame and integral with it, intended to ensure the homogeneous distribution and compaction of the sand in the boxes;
- an assembly, isolated so as not to transmit the vibration to the support and capable of ensuring the correct relative positioning between the specimen and the two boxes.

A.5.2.3

Compressed air blower; for releasing the boxes.

A.5.2.4

Flask; for containing the paraffin wax.

A.5.2.5

Hotplate; thermostatically controlled to melt the paraffin wax at a temperature of (110 ± 10) °C.

A.5.2.6

Calibrating container; to calibrate a volume of sand corresponding to a height of (10 ± 2) mm in the sand box.

A.5.2.7

Paraffin wax; with a setting point of (60 ± 10) °C.

A.5.3 Procedure

Place the positioning frame on a horizontal working surface. Position one of the sand boxes on the frame and lock in position. Pour the required volume of sand, without spreading it, in the centre of the box. After wiping the bearing surfaces, place the specimen on the pile of sand and clamped in position.

Run the vibrator for (20 ± 5) s, making sure that the guide rollers bear correctly against the specimen.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Pour the paraffin wax up to the rim of the box and allow to set. Un-clamp the specimen and turn it over on the working surface. Repeat the operations for the second box.

When transporting the specimen, support it by the bottom box.

After completion of the compression test, separate the two boxes from the debris of the specimen by blowing air through the opening provided for the purpose.

CAUTION : It is recommended that a cover with an ovoid hole is made and placed on a gravel-filled hopper. With the box upside down, the rim of the box should be placed on the edge of the opening, using one hand to hold the box whilst the other manipulates the blower. The ovoid shape of the hole must be of sufficient size to allow the correct positioning of the rim of the box, on the rare occasions when the specimen fails to break completely and the two boxes remain at either end of the specimen. The arrangement of the holes shall be such as to limit the amount of dust generated.

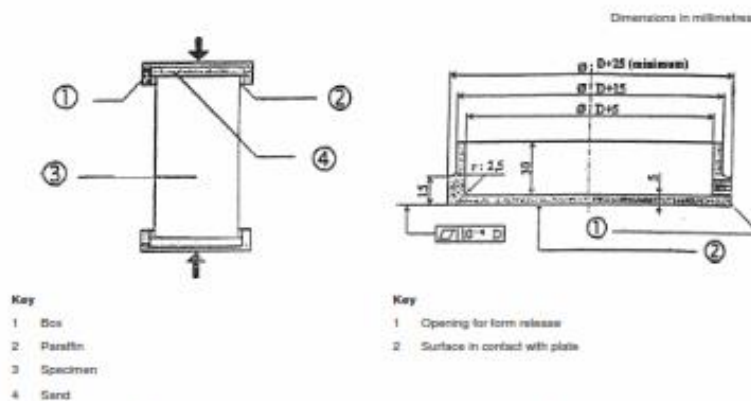


Figure A.1 — Capping: Sandbox method

Figure A.2 — Detail of sandbox

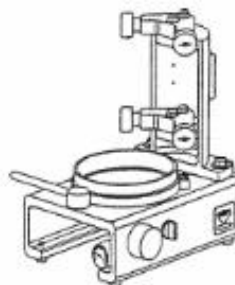


Figure A.3 — Positioning frame

Παράρτημα 5 Εικόνα 5: Figure A.1.Capping:Sandboxmethod ,Fig. A-2 : Detail of sandbox,

Fig. A.3:Positioning frame

Annex B

(normative)

Procedure for testing specimens with dimensions which are outside the tolerances of the designated sizes of EN 12390-1

B.1 Principle

Before testing for compressive strength, the dimensions of the specimen are measured in several positions and the mean values calculated. The cross-sectional area of the loading faces are calculated. The specimen is tested in accordance with clause 6, except that there are additional requirements regarding the testing machine platens, auxiliary or spacing blocks.

B.2 Apparatus

Callipers or rules: capable of measuring the dimensions of specimens to an accuracy of 0,5 % of the dimension.

B.3 Procedure

B.3.1 Cubes

B.3.1.1

Three measurements of dimensions are made (see figures B.1 and B.2) in each of the orthogonal directions (x , y , z), to an accuracy of 0,5 % of the dimensions. If any dimension is greater, or less than, 2 % from the designated size, then the specimen is rejected or adjusted (Annex A).

B.3.1.2

The mean values (x_m , y_m) are calculated from the six measurements in each direction on the loading faces and expressed to an accuracy of 0,5 % of the dimension.

B.3.1.3

The average area of the cube loading face, $A_c = x_m \cdot y_m$, is calculated and expressed to the nearest 1 % of the area.

B.3.2 Cylinders or cores

B.3.2.1

Three measurements of diameter, to an accuracy of 0,5 % of the dimension,

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

are made at each end of the cylinder or core, at positions approximately 60 to each other (see Figure B.3) The height of the cylinder or core is measured, to an accuracy of 0,5 % of the dimension, at three positions approximately 120 to each other (see Figure B.4). If any dimension is greater, or less than, 2 % from the designated size, then the specimen is rejected or adjusted (Annex A).

B.3.2.2

The average diameter, d_m , of the loading faces of the cylinder or core is calculated from the six measurements and expressed to the nearest 0,5 % of the dimension.

B.3.2.3

The average area of the loading face of the cylinder or core, $A_c = \pi \cdot d_m^2/4$ is calculated and expressed to the nearest 1 % of the area.

B.3.3 Testing for compressive strength

Specimens are tested as in clause 6 except that the dimensions of the testing machine platens, auxiliary platens or spacing blocks shall be greater than, or equal to, the dimensions of the faces of the specimens in contact with them.



Figure B.1 — Dotted lines showing measuring positions for the loading faces of cubes

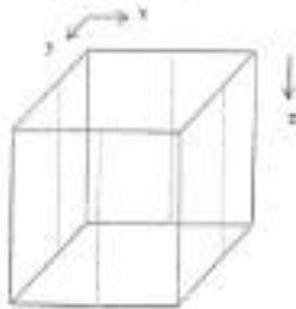


Figure B.2 — Dotted lines showing measuring positions for the non-loaded faces of cubes



Figure B.3 — Dotted lines showing the measuring positions for the ends of a cylinder



Figure B.4 — Dotted lines showing the measuring positions for the height of a cylinder

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6: EN 12390-5:2000 Testing hardened concrete Part 5: Flexural strength of test specimens

(xa.yimg.com, n.d.)

Foreword

This European Standard has been prepared by Technical Committee CEN/TC 104, Concrete (performance, production, placing and compliance criteria), the Secretariat of which is held by DIN.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by April 2001, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by December 2003.

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.

This standard is one of a series concerned with testing concrete.

It is based on the International Standard ISO 4013 - Concrete - Determination of flexural strength of test specimens.

It is recognized good practice to include measurement of density prior to the determination of flexural strength, as a check on compaction of the concrete.

The two-point method of loading has been taken as the reference method, but the use of centre-point loading has been included as a normative annex. An inter-comparison of the two-point and the centre-point methods has been made as part of a test programme, part-funded by the EC under the Measurement and Testing Programme, contract MAT I-CT-94-CO43. The centre-point method gave results which were consistently 13 % higher than those from the two-point method.

A draft for this standard was published in 1996 for CEN enquiry as prEN 12359. It was one of a series of individually numbered test methods for fresh or hardened concrete. For convenience it has now been decided to combine these separate draft standards into three new standards with separate parts for each method, as follows:

- Testing fresh concrete (EN 12350)
- Testing hardened concrete (EN 12390)
- Testing concrete in structures (EN 12504)

The series prEN 12390 includes the following parts where the brackets give the numbers under which particular test methods were published for CEN enquiry:

EN 12390 - Testing hardened concrete -

- Part 1: Shape, dimensions and other requirements of specimens and moulds (former prEN 12356:1996)
- Part 2: Making and curing specimens for strength tests (former prEN 12379:1996)
- Part 3: Compressive strength of test specimens (former prEN 12394:1996)
- Part 4: Compressive strength - Specification for testing machines (former prEN 12390:1996)
- Part 5: Flexural strength of test specimens (former prEN 12359:1996)
- Part 6: Tensile splitting strength of test specimens (former prEN 12362:1996)
- Part 7: Density of hardened concrete (former prEN 12363:1996)
- Part 8: Depth of penetration of water under pressure (former prEN 12364:1996)

1 Scope

This standard specifies a method for the determination of the flexural strength of specimens of hardened concrete.

2 Normative references

This European Standard incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this European Standard only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references the latest edition of the publication referred to applies (including amendments).

EN 12350-1, *Testing fresh concrete – Part 1: Sampling.*

EN 12390-1:2000, *Testing hardened concrete – Part 1: Shape, dimensions and other requirements of specimens and moulds.*

EN 12390-2, *Testing hardened concrete – Part 2: Making and curing specimens for strength tests.*

EN 12390-4, *Testing hardened concrete – Part 4: Compressive strength – Specification for testing machines.*

3 Principle

Prismatic specimens are subject to a bending moment by the application of load through upper and lower rollers. The maximum load sustained is recorded and the flexural strength is calculated.

4 Apparatus

4.1 Testing machine

The test shall be carried out using a testing machine conforming to prEN 12390-4.

4.2 Force application

The device for applying loads (see Figure 1) shall consist of:

- two supporting rollers;
- two upper rollers carried by an articulated cross member, which divides the load applied by the machine equally between the two rollers.

All rollers shall be manufactured from steel and shall have a circular cross-section with a diameter of 20 mm to 40 mm. They shall be at least 10 mm longer than the width of the test specimen.

Three rollers, including the two upper ones, shall be capable of rotating freely around their axis and of being inclined in a plane normal to the longitudinal axis of the test specimen.

The distance, l , between the outer rollers (i.e. the span) shall be equal to $3d$, where d is the width of the specimen. The distance between the inner rollers shall be equal to d . The inner rollers shall be equally spaced between the outer rollers as shown in Figure 1. All rollers shall be adjusted to the positions illustrated in Figure 1 to an accuracy of $\pm 0,0$ mm.

5 Test specimens

5.1 General

The test specimens shall be prisms conforming to EN 12390-1. Specimens cast in moulds shall conform to EN 12350-1 and EN 12390-2. The direction of casting shall be identified on the specimen.

Sawn specimens which meet the requirements of EN 12390-1 may also be tested.

The specimens shall be examined and any abnormalities observed shall be reported.

5.2 Adjustment of test specimens

Where the dimensions or shapes of test specimens do not conform to 4.3 of EN 12390-1 because they exceed the respective tolerances, they shall be rejected or adjusted as follows:

- uneven surfaces shall be levelled by grinding;
- the deviation of angles shall be corrected by cutting and/or grinding.

6 Procedures

6.1 Preparation and positioning of specimens

For specimens stored in water, wipe excess moisture from the surface of the specimen before placing in the testing machine.

Wipe clean all testing machine bearing surfaces and remove any loose grit or other extraneous material from the surfaces of the specimen that will be in contact with the rollers.

Place the test specimen in the machine, correctly centred and with the longitudinal axis of the specimen at right angles to the longitudinal axis of the upper and lower rollers.

Ensure that the reference direction of loading is perpendicular to the direction of casting of the specimen.

NOTE The test result may be affected by the direction of loading with respect to the direction of casting.

6.2 Loading

Do not apply the load until all loading and supporting rollers are resting evenly against the test specimen.

Select a constant rate of stress within the range 0,04 MPa/s (N/mm².s) to 0,06 MPa/s (N/mm².s). Apply the load without shock and increase continuously, at the selected constant rate ± 1 %, until no greater load can be sustained.

NOTE The required loading rate on the testing machine is given by the formula:

$$R = \frac{s \times d_1 \times d_2^2}{l}$$

where:

- R is the required loading rate, in newtons per second;
- s is the stress rate, in megapascals per second (newtons per square millimetre per second);
- d_1 and d_2 are the lateral dimensions of the specimen, in millimetres;
- l is the spacing of the lower rollers, in millimetres.

When using manually controlled testing machines, correct, by appropriate adjustment of the controls, any tendency for the selected rate of loading to decrease, as specimen failure is approached.

Record the maximum load indicated.

Report a fracture outside the loading rollers. (see Figure 1).

7 Expression of rules

The flexural strength is given by the equation:

$$f_{ct} = \frac{F \times l}{d_1 \times d_2^2}$$

where

- f_{ct} is the flexural strength, in megapascals (newtons per square millimetre);
- F is the maximum load, in newtons;
- l is the distance between the supporting rollers, in millimetres;
- d_1 and d_2 are the lateral dimensions of the specimen, in millimetres (see Figure 1).

Express the flexural strength to the nearest 0,1 MPa (N/mm²)

8 Test report

The report shall include:

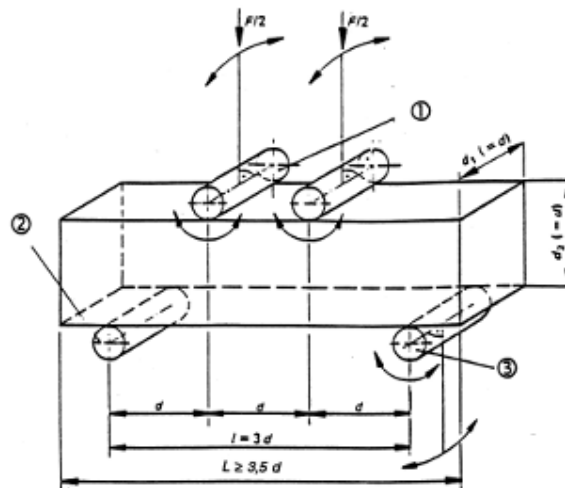
- a) identification of the test specimen;
- b) designated or measured dimensions of the specimen;
- c) details of adjustment by grinding (if appropriate);
- d) type of apparatus: two point/centre point;
- e) surface moisture condition of specimen at time of test (saturated/moist);
- f) date of test;
- g) maximum load at fracture, in kilonewtons;
- h) flexural strength of specimen to nearest 0,1 MPa (N/mm²);
- i) location of fracture (if outside upper rollers);
- j) appearance of the concrete (if unusual);
- k) any deviation from the standard test method;
- l) a declaration from the person technically responsible for the test that the testing was carried out in accordance with this standard, except as detailed in item k).

The report may include:

- m) condition of specimen at receipt for storage;
- n) age of specimen at time of test (if known);
- o) appearance of the concrete (if unusual).

9 Precision

There is currently no precision data for this test, or the alternative test set out in Annex A.

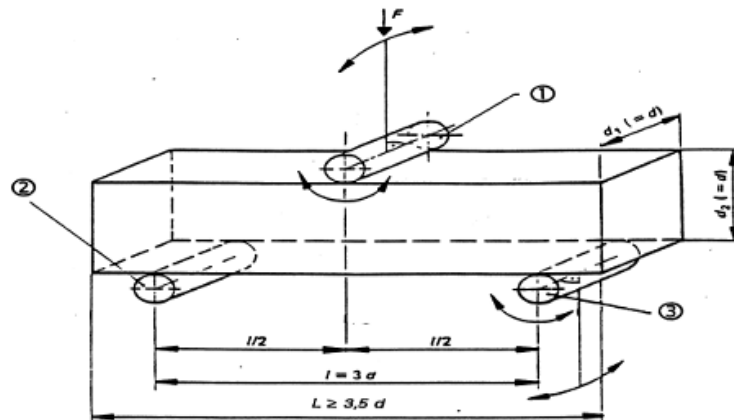


Key

- 1 Loading roller (capable of rotation and of being inclined)
- 2 Supporting roller
- 3 Supporting roller (capable of rotation and of being inclined)

Figure 1 – Arrangement of loading of test specimen (two-point loading)

Παράρτημα 6 Σχεδ. 1 : Arrangement of loading of test specimen (two- point loading)



Key

- 1 Loading roller (capable of rotation and of being inclined)
- 2 Supporting roller
- 3 Supporting roller (capable of rotation and of being inclined)

Figure 2 – Arrangement of loading of test specimen (centre-point loading)

Παράρτημα 6 Σχεδ. 2 Arrangement of loading of test specimen (centre-point loading)

Annex A (normative)

Loading by a centre-point load

A.1 In the case where a centre-point load is used, the method of test shall be changed in accordance with this annex.

NOTE This method gives higher values for the flexural strength than the two-point method. An inter-comparison undertaken in the EC Measurement and Testing Programme, under contract MAT 1-CT-94-0043, indicates that the centre-point loading method gives results consistently 13 % higher than the two-point loading method.

A.2 Force application

The loading arrangements shall consist of one load-applying roller at mid-span as indicated in Figure 2.

The load-applying roller shall be free to rotate.

A.3 Loading application

The load shall be applied in accordance with 6.2, except that the loading rate shall be determined in accordance with the formula:

$$R = \frac{2 \times d_1 \times d_2^2 \times s}{3 \times l}$$

where:

R is the required loading rate, in newtons per second;

s is the stress rate, in megapascals per second (newtons per square millimetre per second);

d_1 and d_2 are the lateral dimensions of the specimen, in millimetres. (see Figure 2).

A.4 Expression of results

The flexural strength is given by the equation:

$$f_{ct} = \frac{3 \times F \times l}{2 \times d_1 \times d_2^2}$$

where

f_{ct} is the flexural strength, in megapascals (newtons per square millimetre);

F is the maximum load, in newtons;

l is the distance between the supporting rollers, in millimetres;

d_1 and d_2 are the lateral dimensions of the cross-section, in millimetres.

Express the flexural strength to the nearest 0,1 MPa (N/mm²).

A.5 Test Report

In the test report clearly indicate that the centre-point loading method was used.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7: EN 12390-6 Testing hardened concrete – Part 6: Tensile splitting strength of test specimens

(www.linecheng.com, n.d.)

Foreword

This European Standard has been prepared by Technical Committee CEN/TC 104, Concrete (performance, production, placing and compliance criteria), the Secretariat of which is held by DIN.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by April 2001, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by December 2003.

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.

This standard is one of a series concerned with testing concrete.

It is based on the International Standard ISO 4108 – Concrete Determination of tensile splitting strength of test specimens.

As this number of standard together with several other standards for test methods for concrete which are referred to in EN 206 are not easy to number it has been decided.

It is recognized good practice to include measurement of density prior to the determination of tensile splitting strength, as a check on compaction.

This test method was one of a number examined in a Laboratory inter-comparison part-funded by the EC under Measurement and Testing programme, contract MAT1-CT94-0043. The programme and other references showed the following:

a) Tensile splitting strengths measured between the normal plane platens of testing machines, gave the same results as those using the special curved platens, originally described in ISO 4018. Although, therefore these curved platens have been optionally retained in this standard, they are not necessary for the measurement.

b) The material used for the packing strips affects the apparent tensile strength measured. This has led to the decision to standardize on hardboard strips, since they provided the lowest standard deviations.

c) The apparent tensile strength measured depends upon the shape and size of the test specimen used:

- cubes gave higher measured tensile strengths than cylinders, by approximately 10 %;

- 150 mm cubes gave lower measured tensile strengths than 100 mm cubes;

- the effect of cylinder size on measured tensile strength was not found to be significant, possibly due to the variability of the data.

As a result of these conclusions from the laboratory programme, this standard restricts the measurement of tensile splitting strength to cylindrical specimens used with hardboard packing strips, which is the reference method.

However, as some countries still test cubical or prismatic specimens, their use has been retained in a normative annex. In cases of dispute, the reference method is the use of cylinders of 150 mm diameter and 300 mm length.

A draft for this standard was published in 1996 for CEN enquiry as prEN 12362. It was one of a series of individually numbered test methods for fresh or hardened concrete. For convenience it has now been decided to combine these separate draft standards into three new standards with separate parts for each method, as follows:

- Testing fresh concrete (EN 12350)

- Testing hardened concrete (EN 12390)

- Testing concrete in structures (EN 12504)

The series EN 12390 includes the following parts where the brackets give the numbers under which particular test methods were published for CEN enquiry:

EN 12390 Testing hardened concrete –

Part 1: Shape, dimensions and other requirements of specimens and moulds (former prEN 12356:1996)

Part 2: Making and curing specimens for strength tests (former prEN 12379:1996)

Part 3: Compressive strength of test specimens (former prEN 12394:1996)

Part 4: Compressive strength – Specification for testing machines (former prEN 12390:1996)

Part 5: Flexural strength of test specimens (former prEN 12359:1996)

Part 6: Tensile splitting strength of test specimens (former prEN 12362:1996)

Part 7: Density of hardened concrete (former prEN 12363:1996)

Part 8: Depth of penetration of water under pressure (former prEN 12364:1996)

1. Scope

This standard specifies a method for the determination of the tensile splitting strength of cylindrical test specimens of hardened concrete. A method using cubic or prismatic specimens is included in annex A (normative).

2. Normative references

This European Standard incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this European Standard only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references the latest edition of the publication referred to applies (including amendments).

EN 12350-1, Testing fresh concrete – Part 1: Sampling.

EN 12390-1, Testing hardened concrete – Part 1: Shape, dimensions and other requirements of specimens and moulds.

EN 12390-2, Testing hardened concrete – Part 2: Making and curing specimens for strength tests.

EN 12390-4, Testing hardened concrete – Part 4: Compressive strength – Specification for testing machines.

EN 316, Wood fibreboards – Definition, classification and symbols.

3. Principle

A cylindrical specimen is subjected to a compressive force applied to a narrow region along its length. The resulting orthogonal tensile force causes the specimen to fail in tension.

4. Apparatus

4.1 Testing machine, of EN 12390-4.

Curved steel loading pieces may be used in place of conventional plane platens, when tests are carried out on cubic or prismatic specimen.

4.2 Jig (optional), for positioning the specimen and the packing strips.

The jig shall not restrict the deformation of the specimen during the test.

NOTE A suitable jig for cylindrical specimens is shown in figure 1.

4.3 Packing strips, conforming to EN 316, made of hardboard, of density $> 900 \text{ kg/m}^3$ and dimensions, width $(a) = (10 \pm 1) \text{ mm}$; thickness $(t) = (4 \pm 1) \text{ mm}$ and a length greater than the length of the line of contact of the test specimen. Hardboard packing strips shall be used only once.

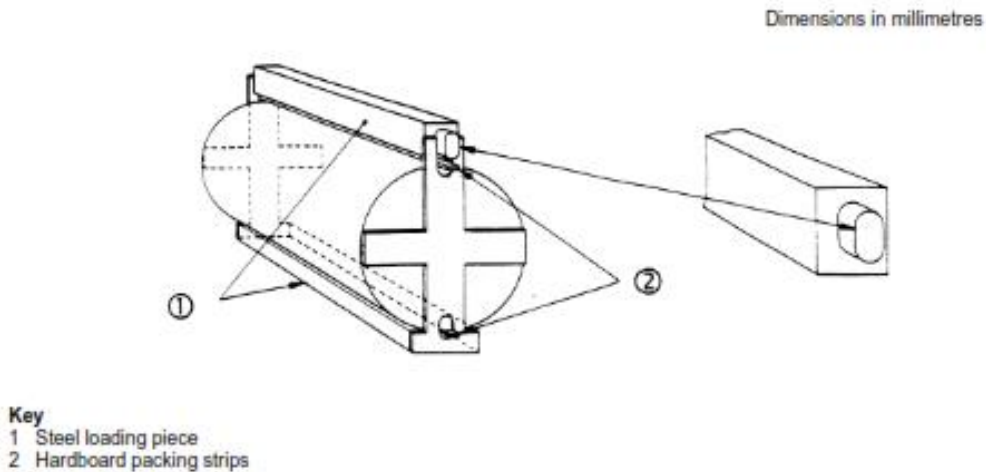


Figure 1 - Jig for testing cylindrical specimens

Παράρτημα 7 Σχεδ. 1 :Jig for testing cylindrical specimens (fig. 1)

5. Test specimens

5.1 General

The test specimens shall be cylindrical, conforming to EN 12390-1, but a length/diameter ratio as low as 1 shall be acceptable for cores. Specimens cast in moulds shall conform to EN 12350-1 and EN 12390-2.

The specimens shall be examined and any abnormalities observed shall be reported.

5.2 Adjustment of test specimens

Where the dimensions or shapes of test specimens do not conform to EN 12390-1, because they exceed the respective tolerances, they shall be rejected or adjusted as follows:

- uneven surfaces shall be levelled by grinding;
- the deviation of angles shall be corrected by cutting and/or grinding.

5.3 Marking

Unless a centring jig is used, two lines shall be marked along which to apply the load. These lines shall be opposite each other in an axial plane and the extremities of the two lines shall be connected over each end of the specimen, to define clearly the plane of loading.

6. Procedures

6.1 Specimen preparation

For specimens stored in water, wipe any excess moisture from the surface of the specimen before placing in the testing machine.

Wipe the bearing surfaces of the jig, packing strips, loading pieces and platens. Clean and remove any loose grit or other extraneous material from the surface of the specimen that will be in contact with the packing strips.

6.2 Specimen positioning

Place the test specimen centrally in the testing machine, optionally using a jig. Carefully position packing strips and, if required, loading pieces, along the top and bottom of the plane of loading of the specimen.

Ensure that the upper platen is parallel with the lower platen, during loading.

6.3 Loading

Ensure that the specimen remains centred when the load is first applied, either by means of a jig or by temporary supports.

Select a constant rate of loading within the range 0,04 Mpa/s (N/mm² x s) to 0,06 Mpa/s (N/mm² x s). Apply the load without shock and increase continuously, at the selected constant rate ± 1 %, until no greater load can be sustained.

NOTE The required loading rate on the testing machine is given by the formula:

$$R = \frac{s \times \pi}{2 \times L \times d} \text{ where:}$$

R is the rate of increase of load, in newtons per second;

L is the length of the specimen, in millimetres (see Figure 2);

d is the designated dimension of the specimen, in millimetres;

s is the increase in rate of stress, in megapascals per second, or newtons per square millimetre per second.

When using manually controlled testing machines, correct any tendency for the selected rate of loading to decrease, as specimen failure is approached, by appropriate adjustment of the controls.

When using automatically controlled testing machines, check the rate of loading periodically, to ensure that the rate is constant.

Record the maximum load indicated.

6.4 Examination of specimen

Examine the fractured specimen and the appearance of the concrete and record, if unusual.

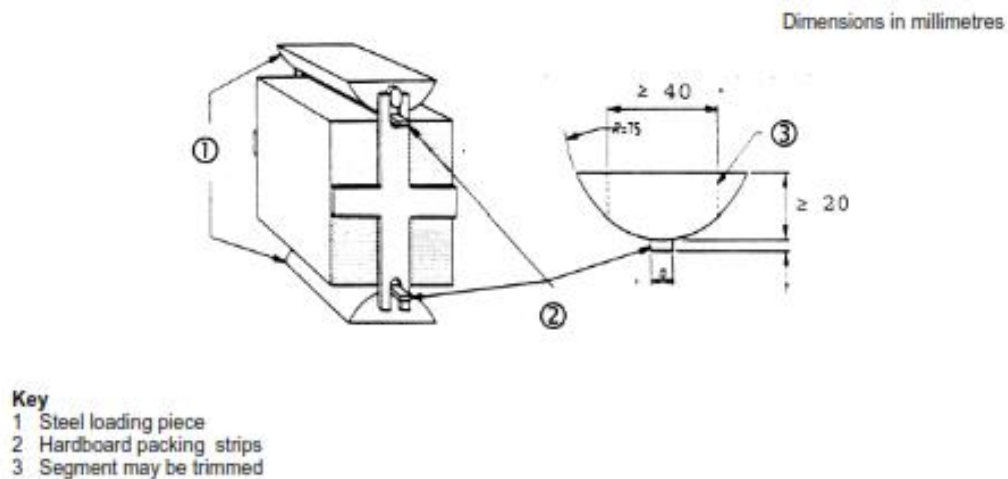


Figure 2 - Curved loading piece

Παράρτημα 7 Σχ.δ. 2: Curved loading piece (fig.2)

7. Expression of results

The tensile splitting strength is given by the formula:

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d}$$

where

f_{ct} is the tensile splitting strength, in megapascals or newtons per square millimetre;

F is the maximum load, in newtons;

L is the length of the line of contact of the specimen, in millimetres;

d is the designated cross-sectional dimension, in millimetres.

NOTE For deviations from the standard method in respect of the dimensions of the specimen, the strength calculation may be based on the actual dimensions of the test specimen.

Express the tensile splitting strength to the nearest 0,05 Mpa (N/mm²).

8. Test report

The test report shall include:

- a) identification of the test specimen;
- b) details of adjustment (if appropriate);
- c) surface moisture condition at time of test;
- d) date of test;
- e) appearance of concrete and type of fracture (if unusual);
- f) tensile splitting strength of specimen (to nearest 0,05 Mpa or 0,05 N/mm²);

- g) deviations from the standard method of testing;
- h) a declaration from the person technically responsible for the test that the testing was carried out in accordance with this standard except as detailed in item g.

9. Precision

There is currently no precision data for this test.

Annex A (normative)

Determination of tensile splitting strength using cubic or prismatic specimens

A.1 Scope

This annex specifies a method for the determination of the tensile splitting strength of cubic and prismatic test specimens of hardened concrete.

A.2 Normative references

See clause 2

A.3 Principle

A prismatic specimen is subjected to a compressive force applied to a narrow region. The resulting orthogonal tensile force causes the specimen to fail in tension.

A.4 Apparatus

A.4.1 Testing Machine EN 12390-4.

Curved steel loading pieces may be used in place of or in addition to conventional plane platens (see figure 2).

A.4.2 Jig (optional)

A jig may be used for positioning the specimen and the packing strips. The jig shall not restrict the deformation of the specimen during the test.

A.4.3 Packing strips

See 4.3

A.5 Test specimens

A.5.1 Requirements

The test specimens shall be cubic or prismatic, conforming to EN 12350-1, EN 12390-1 and EN 12390-2.

The specimens shall be examined and any abnormalities observed shall be reported.

A.5.2 Adjustment of test specimens

See 5.2

A.5.3 Marking

See 5.3

A.6 Procedures

The requirements of 6.1 apply.

The plane of loading shall be perpendicular to the trowelled surface.

A.7 Expression of results

See clause 7

NOTE The result obtained from testing a prismatic specimen of concrete is likely to be some 10 % higher than that obtained from testing a cylindrical specimen of the same concrete.

A.8 Test report

The test report shall include the items listed in clause 8 and in addition it shall be stated that the specimen was cubic

or prismatic and the dimensions of the specimen shall be reported.

A.9 Precision

There is currently no precision data for this test.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8: EN 934-2 Admixtures for concrete,
mortar and grout – Part 2: Concrete
admixtures – Definitions, requirements, conformity,
marking and labelling**

(including amendments A1:2004 and A2:2005)

(www.academia.edu, n.d.)

Foreword

This European Standard has been prepared by Technical Committee CEN/TC 104 “Concrete”, the secretariat of which is held by DIN.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by January 2002, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by April 2003.

This European Standard supersedes EN 934-2:1997.

This European Standard has been prepared under a mandate given to CEN by the European Commission and the European Free Trade Association, and supports essential requirements of EU Directive(s).

For relationship with EU Directive(s) see informative annex ZA which is an integral part of this standard.

This standard is a part of the series EN 934 “Admixtures for concrete, mortar and grout” which additionally comprises the following parts :

- Part 3 Admixtures for masonry mortar – Definitions, requirements, conformity, marking and labelling
- Part 4 Admixtures for grout for prestressing tendons – Definitions, requirements, conformity, marking and labelling
- Part 5 Admixtures for sprayed concrete – Definitions, requirements, conformity, marking and labelling
- Part 6 Sampling, conformity control and evaluation of conformity

This European Standard is used with the standards of the EN 480 series which comprises test methods for admixtures.

The annexes A and ZA are informative.

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.

Foreword to amendment A1

This document (EN 934-2:2001/A1:2004) has been prepared by Technical Committee CEN/TC 104 “Concrete and related products”, the secretariat of which is held by DIN.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

This Amendment to the European Standard EN 934-2:2001 shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by April 2005, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by April 2005.

This document has been prepared under a mandate given to CEN by the European Commission and the European Free Trade Association, and supports essential requirements of EU Directive(s).

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

“Concrete and related products”, the secretariat of which is held by DIN. Either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by June 2006, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by June 2006.

This European Standard covers matters for which the need for amendments or corrections to EN 934-2:2001-07 has been identified by CEN/TC 104 “Concrete and related products”.

The numbering and headlines in the following correspond to those in EN 934-2 for which the amendments and corrections apply.

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

Foreword to amendment A2

This European Standard (EN 934-2:2001/A2:2005) has been prepared by Technical Committee CEN/TC 104 “Concrete and related products”, the secretariat of which is held by DIN.

This Amendment to the European Standard EN 934-2:2001 shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by June 2006, and conflicting national standards shall be

withdrawn at the latest by June 2006.

This European Standard covers matters for which the need for amendments or corrections to EN 934-2:2001-07 has been identified by CEN/TC 104 “Concrete and related products”.

The numbering and headlines in the following correspond to those in EN 934-2 for which the amendments and corrections apply.

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

2 Normative references

This European Standard incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text, and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this European Standard only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references the latest edition of the publication referred to applies (including amendments).

EN 480-1, *Admixtures for concrete, mortar and grout - Test methods - Part 1: Reference concrete and reference mortar for testing.*

EN 480-2, *Admixtures for concrete, mortar and grout - Test methods - Part 2: Determination of setting time.*

EN 480-4, *Admixtures for concrete, mortar and grout - Test methods - Part 4: Determination of bleeding of concrete.*

EN 480-5, *Admixtures for concrete, mortar and grout - Test methods - Part 5: Determination of capillary absorption.*

EN 480-6, *Admixtures for concrete, mortar and grout - Test methods - Part 6: Infrared analysis.*

EN 480-8, *Admixtures for concrete, mortar and grout - Test methods - Part 8: Determination of the conventional dry material content.*

EN 480-10, *Admixtures for concrete, mortar and grout - Test methods - Part 10: Determination of the water soluble chloride content.*

EN 480-11, *Admixtures for concrete, mortar and grout - Test methods - Part 11: Determination of air void characteristics in hardened concrete.*

EN 480-12, *Admixtures for concrete, mortar and grout - Test methods - Part 12: Determination of the alkali content of admixtures.*

EN 934-6:2001, *Admixtures for concrete, mortar and grout - Part 6: Sampling, conformity control and evaluation of conformity.*

prEN 1015-13:1993, *Methods of test for mortar for masonry - Part 13: Determination of the dimensional stability of hardened mortars.*

EN 12350-2, *Testing fresh concrete - Part 2: Slump test.*

EN 12350-5, *Testing fresh concrete - Part 5: Flow table test.*

EN 12390-3:1999, *Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens.*

Text deleted

3 Terms and definitions

For the purposes of this standard, the following terms and definitions apply:

3.1 General definitions

3.1.1

performance

ability of an admixture to be effective in its intended use without detrimental effects

3.1.2

compliance dosage

the dosage of an admixture, expressed in % by mass of cement, stated by the manufacturer which will meet the requirements of this standard. The compliance dosage is within the recommended range of dosage

3.1.3

recommended range of dosage

dosages between limits expressed in % by mass of cement which the manufacturer recommends for the product based on experience on site

NOTE The use of the recommended dosage does not imply that compliance with this standard will be met over the whole range. Trial tests should be carried out with the materials to be used on site to find the dosage necessary to achieve the required result.

3.1.4

maximum recommended dosage

upper limit of the recommended range of dosage

3.1.5

reference concrete and mortar

concrete and mortar as specified in EN 480-1 for testing admixtures for conformity with this standard

3.1.6

multifunction admixture

admixture which affects several properties of fresh and/or hardened concrete by performing more than one of the main functions defined in 3.2.2 to 3.2.9

3.1.7

primary function

a single function of a multifunction admixture designated by the manufacturer

3.1.8

secondary function

a function of a multifunction admixture which is additional to the primary function

3.2 Specific definitions

3.2.1

admixtures for concrete

material added during the mixing process of concrete in a quantity not more than 5 % by mass of the cement content of the concrete, to modify the properties of the mix in the fresh and /or hardened state

3.2.2

water reducing/plasticizing admixture

admixture which without affecting the consistence, permits a reduction in the water content of a given concrete mix, or which, without affecting the water content increases the slump/flow or produces both effects simultaneously

3.2.3

high range water reducing/superplasticizing admixture

admixture which, without affecting the consistence, permits a high reduction in the water content of a given concrete mix, or which, without affecting the water content increases the slump/flow considerably, or produces both effects simultaneously

3.2.4

water retaining admixture

admixture which reduces the loss of water by a reduction of bleeding

3.2.5

air entraining admixture

admixture which allows a controlled quantity of small, uniformly distributed air bubbles to be incorporated during mixing which remain after hardening

3.2.6

set accelerating admixture

admixture which decreases the time to commencement of transition of the mix from the plastic to the rigid state

3.2.7

hardening accelerating admixture

admixture which increases the rate of development of early strength in the concrete, with or without affecting the setting time

3.2.8

set retarding admixture

admixture which extends the time to commencement of transition of the mix from the plastic to the rigid state

3.2.9

water resisting admixture

admixture which reduces the capillary absorption of hardened concrete

4 Requirements

4.1 General requirements

The requirements in this standard assume that admixtures are uniformly dispersed in concrete; special attention shall be given to the dispersion of powder admixtures with retarding effects.

All the admixtures defined in this standard shall conform to the general requirements in Table 1.

NOTE For requirements which lead to the CE-marking, see Table ZA.1 of annex ZA

4.2 Requirements for specific types of admixtures

The admixtures defined in 3.2.1 to 3.2.12 shall conform to the corresponding performance requirements as follows:

Water reducing/plasticizing admixtures	Table 2
High range water reducing/superplasticizing admixtures	Tables 3.1 and 3.2
Water retaining admixtures	Table 4
Air entraining admixtures	Table 5
Set accelerating admixtures	Table 6
Hardening accelerating admixtures	Table 7
Set retarding admixtures	Table 8
Water resisting admixtures	Table 9
Set retarding/water reducing/plasticizing admixtures	Table 10
Set retarding/high range water reducing/superplasticizing admixtures	Table 11.1 and Table 11.2
Set accelerating/water reducing/plasticizing admixtures	Table 12

Where manufacturer's stated values are required, this shall be provided in writing on request.








 Note deleted 

Table 1 – General Requirements

No	Property	Test method	Requirements
1	Homogeneity ^a	Visual	Homogeneous when used. Segregation shall not exceed the limit stated by the manufacturer
2	Colour ^a	Visual	Uniform and similar to the description provided by the manufacturer
3	Effective component ^a	EN 480-6 ^b	IR spectra to show no significant change with respect to the effective component when compared to reference spectrum provided by the manufacturer
4	Relative density ^a (for liquids only)	ISO 758 ^c 	$D \pm 0,03$ if $D > 1,10$ $D \pm 0,02$ if $D \leq 1,10$ where D is manufacturer's stated value
5	Conventional dry material content ^a	EN 480-8 ^c	$0,95 T \leq X < 1,05 T$ for $T \geq 20 \%$ $0,90 T \leq X < 1,10 T$ for $T < 20 \%$ T is manufacturer's stated value % by mass; X is test result % by mass
6	pH value ^a	ISO 4316	Manufacturer's stated value ± 1 or within manufacturer's stated range
 7	Total chlorine ^{a,d}	ISO 1158 ^e	Either $\leq 0,10 \%$ by mass or not above the manufacturer's stated value
8	Water soluble chloride (Cl) ^a	EN 480-10	Either $\leq 0,10 \%$ by mass ^b or not above the manufacturer's stated value
9	Alkali content (Na ₂ O equivalent) ^a	EN 480-12	Not above the manufacturer's stated maximum
10	Corrosion behaviour	^f ^g	No corrosion promoting effects on steel embedded in concrete ^h 

^a Manufacturer's stated value shall be provided in writing, to the user.
^b If the method in EN 480-6 is not suitable the manufacturer shall recommend an alternative test method.
^c If the method in EN 480-8 is not suitable the manufacturer shall recommend an alternative test method.
^d If there is no significant difference between total chlorine and water soluble chloride content, only the water soluble chloride content should be determined in subsequent tests on the admixture involved.
^e The procedure in ISO 1158 shall be modified as follows:
 - Increase of the sample size to 0,1 g of dry admixture;
 - Use silver nitrate and ammonium thiocyanate solutions 0,01 N.
^f For testing, cement CEM I with C₂A content less than 5 % by mass shall be used.
^g Until there is an accepted European Standard the national regulations in the place of use shall apply when required.
^h Where the chloride content is $\leq 0,10 \%$ by mass the admixture may be described as "chloride free".
 ⁱ ISO 758 is the reference method. Another method may be used provided the method can be shown to give essentially the same results as the method in ISO 758. 

Παράρτημα 8 Πίνακας 1: General requirements (table 1)

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Table 2 – Specific requirements for water reducing/plasticizing admixtures (at equal consistence)

No	Property	Reference concrete	Test method	Requirements
1	Water reduction	EN 480-1 reference concrete I	slump EN 12350-2 or flow EN 12350-5	In test mix $\geq 5\%$ compared with control mix
2	Compressive strength	EN 480-1 reference concrete I	EN 12390-3:2001	At 7 and 28 days: Test mix $\geq 110\%$ of control mix
3	Air content in fresh concrete	EN 480-1 reference concrete I	EN 12350-7	Test mix $\leq 2\%$ by volume above control mix unless stated otherwise by the manufacturer

Table 3.1 – Specific requirements for high range water reducing/super plasticizing admixtures (at equal consistence)

No	Property	Reference concrete	Test method	Requirements
1	Water reduction	EN 480-1 reference concrete I	slump EN 12350-2 or flow EN 12350-5	In test mix $\geq 12\%$ compared with control mix
2	Compressive strength	EN 480-1 reference concrete I	EN 12390-3:2001	At 1 day: Test mix $\geq 140\%$ of control mix At 28 days: Test mix $\geq 115\%$ of control mix
3	Air content in fresh concrete	EN 480-1 reference concrete I	EN 12350-7	Test mix $\leq 2\%$ by volume above control mix unless otherwise stated by the manufacturer

Table 3.2 – Specific requirements for high range water reducing/super plasticizing admixtures (at equal w/c ratio)

No	Property	Reference concrete	Test method	Requirements
1	Increase in consistence	EN 480-1 reference concrete IV	slump EN 12350-2 or flow EN 12350-5	Increase in slump ≥ 120 mm from initial (30 ± 10) mm Increase in flow ≥ 160 mm from initial (350 ± 20) mm
2	Retention of consistence	EN 480-1 reference concrete IV	slump EN 12350-2 or flow EN 12350-5	30 min after the addition the consistence of the test mix shall not fall below the value of the initial consistence of the control mix
3	Compressive strength	EN 480-1 reference concrete IV	EN 12390-3:2001	At 28 days : test mix $\geq 90\%$ of control mix
4	Air content in fresh concrete	EN 480-1 reference concrete IV	EN 12350-7	Test mix $\leq 2\%$ by volume above control mix unless otherwise stated by the manufacturer
NOTE The superplasticiser compliance dosage used to meet the requirements of Table 3.2 does not have to be the same as that used to meet the requirements of Table 3.1.				

**Table 4 – Specific requirements for water retaining admixtures
(at equal consistence)**

No	Property	Reference concrete	Test method	Requirements
1	Bleeding	EN 480-1 reference concrete II	EN 480-4	Test mix \leq 50 % of control mix
2	Compressive strength	EN 480-1 reference concrete II	EN 12390-3:2001 (C)	At 28 days : test mix \geq 80 % of control mix
3	Air content in fresh concrete	EN 480-1 reference concrete II	EN 12350-7	Test mix \leq 2 % by volume above control mix unless stated otherwise by the manufacturer

**Table 5 – Specific requirements for air entraining admixtures
(at equal consistence)**

No	Property	Reference concrete	Test method	Requirements ^a
1	Air content in fresh concrete (entrained air)	EN 480-1 reference concrete III	EN 12350-7	Test mix \geq 2,5 % by volume above control mix Total air content 4 % to 6 % by volume ^b
2	Air void characteristics in hardened concrete	EN 480-1 reference concrete III	EN 480-11 ^c	Spacing factor in test mix \leq 0,200 mm
3	Compressive strength	EN 480-1 reference concrete III	EN 12390-3:2001 (C)	At 28 days : test mix \geq 75 % of control mix
^a All the requirements apply to the same test mix. ^b The compliance dosage cannot be stated, the dosage has to be adjusted to obtain the required air content. ^c EN 480-11 is the reference method. Other methods of determining the spacing factor (e. g. modified point count method) may be used provided that they can be shown to give essentially the same results as the method in EN 480-11.				

**Table 6 – Specific requirements for set accelerating admixtures
(at equal consistence)**

No	Property	Reference mortar/ concrete	Test method	Requirements
1	Initial setting time	EN 480-1 mortar	EN 480-2	At 20° C: test mix \geq 30 min At 5° C : test mix \leq 60 % of control mix
2	Compressive strength	EN 480-1 reference concrete I	EN 12390-3:2001 (C)	At 28 days : test mix \geq 80 % control mix At 90 days : test mix \geq test mix at 28 days
3	Air content in fresh concrete	EN 480-1 reference concrete I	EN 12350-7	Test mix \leq 2 % by volume above control mix unless stated otherwise by the manufacturer

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

**Table 7 – Specific requirements for hardening accelerating admixtures
(at equal consistence)**

No	Property	Reference concrete	Test method	Requirements
1	Compressive strength	EN 480-1 reference concrete I	EN 12390-3:2001 ⁽³⁾	At 20° C and 24 h : test mix \geq 120 % of control mix At 20° C and 28 days : test mix \geq 90 % of control mix At 5° C and 48 h : test mix \geq 130 % of control mix
2	Air content in fresh concrete	EN 480-1 reference concrete I	EN 12350-7	Test mix \leq 2 % by volume above control mix unless otherwise stated by the manufacturer

**Table 8 – Specific requirements for set retarding admixtures
(at equal consistence)**

No	Property	Reference mortar/ concrete	Test method	Requirements
1	Setting time	EN 480-1 mortar	EN 480-2	Initial : test mix \geq control mix + 90 min Final : test mix \leq control mix + 360 min
2	Compressive strength	EN 480-1 reference concrete I	EN 12390-3:2001 ⁽³⁾	At 7 days : test mix \geq 80 % of control mix At 28 days : test mix \geq 90 % of control mix
3	Air content in fresh concrete	EN 480-1 reference concrete I	EN 12350-7	Test mix \leq 2 % by volume above control mix unless otherwise stated by the manufacturer

**Table 9 – Specific requirements for water resisting admixtures
(at equal consistence or equal w/c ratio ⁽⁴⁾)**

No	Property	Reference mortar/ concrete	Test method	Requirements
1	Capillary absorption	EN 480-1 mortar	EN 480-5	Tested for 7 days after 7 days curing : test mix \leq 50 % by mass of control mix Tested for 28 days after 90 days curing : test mix \leq 60 % by mass of control mix
2	Compressive strength	EN 480-1 reference concrete I	EN 12390-3:2001 ⁽³⁾	At 28 days : test mix \geq 85 % of control mix
3	Air content in fresh concrete	EN 480-1 reference concrete I	EN 12350-7	Test mix \leq 2 % by volume above control mix unless otherwise stated by the manufacturer.

³ All tests shall be performed either at equal consistence or equal w/c ratio

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Table 10 – Specific requirements for set retarding/water reducing/plasticizing admixtures (at equal consistence)

No	Property	Reference concrete/mortar	Test method	Requirements
1	Compressive strength	EN 480-1 reference concrete I	EN 12390-3:2001	At 28 days: test mix \geq 100 % of control mix
2	Setting time	EN 480-1 mortar	EN 480-2	Initial: test mix \geq control mix + 90 min Final: test mix \leq control mix + 360 min
3	Water reduction	EN 480-1 reference concrete I	Slump EN 12350-2 or flow EN 12350-5	In test mix \geq 5 % compared with control mix
4	Air content in fresh concrete	EN 480-1 reference concrete I	EN 12350-7	Test mix \leq 2 % (by volume) above control mix unless stated otherwise by the manufacturer

Table 11.1 – Specific requirements for set retarding/high range water reducing/ super-plasticizing admixtures (at equal consistence)

No	Property	Reference concrete/mortar	Test method	Requirements
1	Compressive strength	EN 480-1 reference concrete I	EN 12390-3:2001	At 7 days test mix \geq 100 % of control mix At 28 days test mix \geq 115 % of control mix
2	Setting time	EN 480-1 mortar	EN 480-2	Initial: test mix \geq control mix + 90 min Final: test mix \leq control mix + 360 min
3	Water reduction	EN 480-1 reference concrete I	Slump EN 12350-2 or flow EN 12350-5	In test mix \geq 12 % compared with control mix
4	Air content in fresh concrete	EN 480-1 reference concrete I	EN 12350-7	Test mix \leq 2 % (by volume) above control mix unless stated otherwise by the manufacturer

Table 11.2 – Specific requirements for set retarding/high range water reducing/ super-plasticizing admixtures (at equal w/c ratio)

No	Property	Reference concrete/mortar	Test method	Requirements
1	Retention of consistence	EN 480-1 reference concrete IV	Slump EN 12350-2 or Flow EN 12350-5	60 min after the addition the consistence of the test mix shall not fall below the value of the consistence of the control mix
2	Compressive strength	EN 480-1 reference concrete IV	EN 12390-3:2001	At 28 days: test mix \geq 90 % of control mix
3	Air content in fresh concrete	EN 480-1 reference concrete I	EN 12350-7	Test mix \leq 2 % (by volume) above control mix unless stated otherwise by the manufacturer

Table 12 – Specific requirements for set accelerating/water reducing/plasticizing admixtures (at equal consistence)

No	Property	Reference concrete/mortar	Test method	Requirements
1	Compressive strength	EN 480-1 reference concrete 1	EN 12390-3:2001 (4)	At 28 days, test mix ≥ 100 % of control mix
2	Initial setting time	EN 480-1 mortar	EN 480-2	At 20 °C test mix ≥ 90 min At 5 °C test mix ≤ 60 % of control mix
3	Water reduction	EN 480-1 reference concrete 1	Slump EN 12350-2 or flow EN 12350-5	In test mix ≥ 5 % compared with control mix
4	Air content in fresh concrete	EN 480-1 reference concrete 1	EN 12350-7	Test mix ≤ 2 % (by volume) above control mix unless stated otherwise by the manufacturer

4.3 Release of dangerous substances

For content and release from hardened concrete of substances dangerous to health, hygiene and environment, see Annex A (informative).

5 Sampling

Requirements for sampling are given in EN 934-6:2001.

6 Conformity control

Requirements for conformity control are given in EN 934-6:2001. The frequency of testing in connection with factory production control is given in Table 13.

7 Evaluation of conformity

Requirements for evaluation of conformity are given in EN 934-6:2001.

Table 13 – Minimum frequency of test for the factory production control of concrete admixtures according to EN 934-2:2001

Tests	Water reducing/Plasticising admixtures	High range water reducing/superplasticising admixtures ¹⁾ , ²⁾	Water retarding admixtures	Air entraining admixtures	Set accelerating admixtures ³⁾ , ⁴⁾	Hardening accelerating admixtures	Set retarding/ Water reducing/Plasticising admixtures	Water retarding admixtures ¹⁾ , ²⁾	Set retarding/ High range water reducing/superplasticising admixtures	Set accelerating/ Water reducing/Plasticising admixtures
Homogeneity, colour	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Relative density (for liquids only) ⁵⁾ , ⁶⁾	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Conventional dry material content ⁵⁾ , ⁶⁾	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
pH value (for liquids only)	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Chloride content (Cl) ¹⁾	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Alkali content	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Water reduction	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Increase in consistence		A							A	
Retention of consistence		A							A	
Setting time					A				A	A
Air content in fresh concrete	1	1	1	A	1	1	1	1	1	1
Bleeding			A							
Air content in hardened concrete (air void spacing)				1						
Compressive strength	1	1	1	1	1	A	1	1	1	1
Capillary absorption										

Numbers in this table denote minimum frequency of test per year, spread according to production; if the production is less frequent every batch has to be tested

1) A: means test for every 1000t with a maximum of 3 times a year; B: means test for each batch

2) Total chloride content also has to be tested at this frequency if it is significantly different from the chloride content.

3) For factory production control of density and dry material content, different test methods from those specified in Table 1 may be used, provided a correlation between the method used and the specified method has been established.

4) For factory production control, high range water reducing/superplasticising admixtures may be tested for water reduction or for increase in consistence.

5) For factory production control, water retarding and set accelerating admixtures, the 90 day test may be omitted.

Note: Effective component (in a red analysis) and effect on setting time at maximum recommended dosage need not be included in the programme of factory production control. They have to be included in initial type testing.

8 Marking and labelling

8.1 General

When admixtures for concrete are supplied in containers they shall be clearly marked with the relevant information. When the material is supplied into a bulk container at the point of delivery, the same information shall be provided in writing at the time of delivery.

NOTE For CE-marking and labelling see ZA.3.

8.2 Designation of admixtures

Admixtures for concrete shall be designated by:

- Name of type of admixture in the language of one member country,
- Number of standard: EN 934-2,
- Code, to identify the type of the admixture, consisting of the number of this standard and the number of the table which gives the additional performance requirements for the particular type of admixture. Where the performance requirements are included in two tables both table numbers shall be included.

EXAMPLE High range water reducing/super plasticizing admixture for concrete; EN 934-2: T3.1/3.2

8.3 Additional information

- batch number and production plant;
- a summary of storage requirements including any special requirements on storage life which shall be clearly marked, e. g.: This admixture shall not be taken to comply with EN 934-2 after "date";
- instructions for homogenisation before use, when necessary;
- instructions for use and any necessary safety precautions, e. g. if caustic, toxic or corrosive;
- the manufacturer's recommended range of dosage.

Annex A (informative)

Release of dangerous substances

In the absence of specific requirements for substances dangerous to health, hygiene and environment in this standard, the requirements of ZA.1 (paragraph "Warning") and ZA.3 apply.

Annex ZA (informative)

Provisions for the CE marking of admixtures for concrete under the EU Construction Products Directive

ZA.1 Clauses of this European Standard addressing the provisions of the EU Construction Products Directive

This European Standard and this annex ZA have been prepared under a mandate¹¹ given to CEN by the European Commission and the European Free Trade Association.

The clauses of this European Standard shown in Table ZA.1 meet the requirements of this mandate given under the EU Construction Products Directive (89/106/EEC).

Compliance with this annex ZA confers a presumption of fitness of the admixtures for concrete covered herein for the intended uses under consideration in Table ZA.1.

WARNING Other requirements and other EU Directives, not affecting the fitness for intended uses, can be applicable to the admixtures for concrete falling within the scope of this annex.

NOTE 1 There may be other requirements, relating to dangerous substances applicable to the products falling within its scope of this standard (e. g. transposed European legislation and national laws, regulations and administrative provisions). In order to meet the provisions of the EU Construction Products Directive, these requirements need also to be complied with, when and where they apply.

NOTE 2 An informative database of European and national provision on dangerous substances is available at the construction web site on EUROPA (CREATE, accessed through <http://europa.eu.int>).

This annex establishes both the conditions for the CE-marking of the construction products intended for the uses indicated in Table ZA.1 and the relevant clauses applicable.

The scope of this annex is defined by Table ZA.1.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Table ZA.1 – Scope and relevant clauses of this standard

Product: Admixtures for concrete as covered under the scope of this standard Intended use(s): To be used in concrete for: water reducing/plasticizing; high range water reducing/super plasticizing; water retaining/pepelling; air entraining; set accelerating; hardening accelerating; set retarding; water resisting; set retarding/water reducing/plasticizing; set retarding/high range water reducing/super plasticizing; set accelerating/water reducing/plasticizing;			
Essential characteristics	Requirement clauses in this standard	Mandated level(s) or class(es):	Notes
Chloride ion content	5.4.1 and Table 1 (8) 5.4	None	Applies to all admixtures within the scope of this standard. Requirements are for upper limit or declared maximum value.
Alkali content	5.4.1 and Table 1 (9) 5.4	None	Applies to all admixtures within the scope of this standard. Requirements are for declared maximum value.
Corrosion behaviour	5.4.1 and Table 1 (10) 5.4	None	Applies to all admixtures.
Compressive strength	4.2 and Tables 2(2), 3.1(2), 3.2(3), 4(2), 5(3), 6(2), 7(1), 8(3), 9(2), 10(1), 11.1(1), 11.2(2) and 12(1)	None	Applies to all admixtures within the scope of this standard. Requirements are for lower limits in test mix (with admixture).
Air content	4.2 and Tables 2(3), 3.1(3), 3.2(4), 4(3), 6(3), 7(2), 8(3), 9(3), 10(4), 11.1(4), 11.2(3) and 12(4)	None	Applies to all admixtures within the scope of this standard except air entraining admixtures. Requirements are for upper limits in test mix (with admixture).
Air content (entrained air)	4.2 and Table 5(1)	None	Applies to air entraining admixtures only. Requirements are for an upper and lower limit in test mix (with admixture).
Air void characteristic	4.2 and Table 5 (2)	None	Applies to air entraining admixtures only. Requirements are for an upper limit in test mix (with admixture).
Water reduction	4.2 and Tables 2(1), 3.1(1), 10(3) 11.1(3) and 12(3)	None	Applies to water reducing/plasticizing, high range water reducing/super-plasticizing, set retarding/water reducing/plasticizing, set retarding/water reducing/super-plasticizing and set accelerating/water reducing/plasticizing admixtures only. Requirements are for a lower limit in test mix (with admixture).
Bleeding	4.2 and Table 4(1)	None	Applies to water retaining admixtures only. Requirement is for an upper limit in test mix (with admixture).

Αυτοσυμπυκνόμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Essential characteristics	Requirement clauses in this standard	Mandated level(s) or class(es):	Notes
Setting time	4.2 and Tables 6(1), 8(1), 10(2), 11.1(2) and 12(2)	None	Applies to set accelerating, set retarding admixtures, set retarding/water reducing/plasticizing admixtures, set retarding/ water reducing/super-plasticizing and set accelerating/water reducing/ plasticizing admixtures only. Requirement are for upper and lower limit in test mix (with admixture).
Hardening time/strength development	4.2 and Tables 6(2), 7(1), 8(2), 10(1) and 11.1(1)	None	Applies to set accelerating, hardening accelerating, set retarding admixtures, set retarding/ water reducing/plasticizing and set retarding/ water reducing/super-plasticizing admixtures only. Requirements are for lower limit in test mix (with admixture).
Capillary absorption	4.2 and Table 9 (1)	None	Applies to water resisting admixtures only. Requirement is for an upper limit in test mix (with admixture).
Consistency	4.2 and Table 3.2 (1)(2) and 11.2 (1)	None	Applies to high range water reducing/ super-plasticizing and set retarding/ high range water reducing/super-plasticizing admixtures only. Requirement are for lower limit in test mix (with admixture).
Dangerous substances	Annex ZA	None	Applies to all admixtures for concrete. Requirements are dependant on regulations in the place of use.
Durability	---	---	Durability relates to the concrete incorporating admixtures.
Corrosion behaviour	5) Table 1 (10) 5)	None	Applies to all admixtures to be used in reinforced or prestressed concrete. Requirements are dependant on regulations in the place of use.

The requirement on a certain characteristic is not applicable in those Member States (MSs) where there are no regulatory requirements on that characteristic for the intended use of the product. In this case, manufacturers placing their products on the market of these MSs are not obliged to determine nor declare the performance of their products with regard to this characteristic and the option "No performance determined" (NPD) in the information accompanying the CE marking (see ZA.3) may be used. The NPD option may not be used, however, where the characteristic is subject to a threshold level.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

ZA.2 Procedure for attestation of conformity of admixtures for concrete

ZA.2.1 System of attestation of conformity

The system of attestation of conformity for the admixtures for concrete indicated in Table ZA.2, in accordance with the decision of the Commission of nnn/yy of yyyy-mm-dd as given in Annex III of the mandate M128 "Products related to concrete, mortar and grout", is shown in Table ZA.2 for the indicated intended use:

Table ZA.2 – System of attestation of conformity

Product(s)	Intended use	Level(s) or class(es)	Attestation of conformity system(s)
Admixtures	For concrete	--	2+
System 2+: See Directive 89/106/EEC (CPD) Annex III.2 (ii), first possibility, including certification of the factory production control by an approved body on the basis of initial inspection of factory and of factory production control as well as of continuous surveillance, assessment and approval of factory production control.			

The attestation of conformity of the construction products in Table ZA.1 shall be based on the evaluation of conformity procedures in Table ZA.3 resulting from application of the clauses of this or other European Standard indicated therein.

Table ZA.3 – Assignment of evaluation of conformity tasks

Tasks		Content of the task	Clauses to apply	
Tasks for the manufacturer	Factory production control (F.P.C)	Parameters related to all relevant characteristics of Table ZA.1	EN 934-2:2001, clause 6 (relevant tests of table 13) EN 934-6:2001, 5.4	
	Initial type testing	All relevant characteristics of Table ZA.1	EN 934-6:2001, 5.3	
	Testing of samples taken at the factory	All relevant characteristics of Table ZA.1	EN 934-6:2001, 5.4.4.4	
Tasks for the notified body	Certification of F.P.C on the basis of	Initial inspection of factory and of F.P.C	Parameters related to all relevant characteristics of Table ZA.1	EN 934-6:2001, clause 5
		Continuous surveillance, assessment and approval of F.P.C	Parameters related to all relevant characteristics of Table ZA.1	EN 934-2:2001, clause 6 (relevant tests of Table 13) EN 934-6:2001, 5.4

ZA.2.2 EC certificate and declaration of conformity

When compliance with the conditions of this annex is achieved, and once the notified body has drawn up the certificate mentioned below, the manufacturer or his agent established in the EEA shall prepare and retain a declaration of conformity, which entitles the manufacturer to affix the CE-marking. This declaration shall include:

- name and address of the manufacturer, or his authorised representative established in the EEA and place of production,
- description of the product (Trade name, type, identification, use,...), and a copy of the information accompanying the CE-marking
- provisions to which the product conforms (e. g. annex ZA of this EN),
- particular conditions applicable to the use of the product (e. g. provisions for the use of the product under certain conditions, etc.),
- the number of the accompanying factory production control certificate,
- conditions and period of validity of the certificate,
- name of, and position held by, the person empowered to sign the declaration on behalf of the manufacturer or his authorised representative.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

The declaration shall be accompanied by a factory production control certificate, drawn up by the notified body, which shall contain, in addition to the information above, the following:

- name and address of the notified body,
- the number of the factory production control certificate,
- conditions and period of validity of the certificate, where applicable,
- name of, and position held by, the person empowered to sign the certificate.

The above mentioned declaration and certificate shall be presented, on demand, in the official language or languages of the Member State in which the product is to be used.

ZA.3 CE marking and labelling

The manufacturer or his authorised representative established within the EU or EFTA is responsible for the affixing of the CE marking. When admixtures for concrete are supplied in containers the affixing shall be done on the container. When the material is supplied in bulk the affixing shall be done on the accompanying documents. The following information shall accompany the CE-marking symbol:

- Identification number of the notified body,
- Name or identifying mark and registered address of the producer,
- The last two digits in which the marking is affixed,
- Number of the factory production control certificate,
- Reference to this European Standard,
- Description of the product: generic name, material, dimensions, ... and intended use,
- Information on the relevant essential characteristics listed in Table ZA.1:
 - presented as standard designation in accordance with clause 8.2,
 - given as declared values and, where relevant, level or class to declare for each essential characteristic as indicated in "Notes" in Table ZA.1, for those essential characteristics not covered by the standard designation,
 - making use of the "No performance determined" (NPD) option when relevant.

The "No performance determined" (NPD) option may not be used where the characteristic is subject to a threshold level. Otherwise, the NPD option may be used when and where the characteristic, for a given intended use is not subject to regulatory requirements.

In addition to any specific information relating to dangerous substances from hardened concrete shown above, the product should also be accompanied, when and where required and in the appropriate form, by documentation listing any other legislation on dangerous substances for which compliance is claimed, together with any information required by that legislation.

NOTE European legislation without national derogations need not be mentioned.

Format of the CE marking and accompanying information:

Figure ZA.1 gives one example for the CE marking and labelling of admixtures for concrete.

CE 0123-CPD-0001	<i>CE conformity marking, consisting of the "CE"-symbol given in directive 93/68/EEC</i>
AnyCo Ltd, PO Box 21, B-1050	<i>Identification number of the inspection body</i>
00	<i>Name or identifying mark and registered address of the producer</i>
0123-CPD-0456	<i>Last two digits of the year in which the marking was affixed</i>
EN 934-2	<i>Number of the certificate of factory production control</i>
High range water reducing super plasticising admixture for concrete EN 934-2:T3.1/3.2	<i>Annex and No. of European standard</i>
maximum chloride content:.....by mass maximum alkali content:.....by mass Corrosion behaviour ¹⁾ : NEN 3532	<i>Description</i>
Dangerous substances X: less than ... ppm	<i>and</i>
¹⁾ Only required when placed on the market in a member state which regulates these items.	<i>information on product and on regulated characteristics</i>

Figure ZA.1 - Example of CE-marking information

Παράρτημα 9 :BS 1881-21

(www.cedd.gov.hk, n.d.)

21.1 SCOPE

The Section describes the sampling procedures, treatment of samples, and analytical methods of determine the cement content, aggregate content, original water content, type of cement, type of aggregate, chloride content, sulphate content and carbonate content of a sample of hardened concrete.

The procedures apply to concrete made with Portland cement. The analysis of concrete made with other cements and the determination of PFA content are outside the scope of this Standard. At present, there is no reliable method of determining the cement or PFA content of hardened concrete containing PFA.

21.2 GENERAL

21.2.1 Reagents

All reagents shall be of analytical reagent quality and water shall be distilled or deionised.

Dilutions of acids and other liquid reagents are given as (1 + n) which indicates that one volume of the concentrated reagent is diluted with n volumes of water.

Solutions of solid reagents shall be filtered if the solution is not clear.

Proprietary reagents of equal quality to those described in the Standard may be used as alternatives.

21.2.2 Apparatus

It is assumed that a laboratory carrying out these tests will be equipped with basic apparatus such as analytical balances, beakers, volumetric flasks, pipettes, burettes, filtration apparatus, magnetic and mechanical stirrer, etc. Only apparatus special to the determinations necessary to analyse hardened concrete is therefore listed.

All volumetric glassware shall have an accuracy of class B or better as given in the appropriate British Standard. Analytical balances shall have an accuracy of 0.2 mg.

The filter papers used in gravimetric analysis using ignition shall be ashless.

21.3 SAMPLING

21.3.1 General

It is usual for the tests described in this Section to be applied only when there is some doubt about the quality of the concrete. For example, the average quality of a mass of concrete, or the quality of a particular part of this mass may be in question. The size of the mass can vary greatly and the sampling techniques necessary to provide information on the quality of a concrete will be determined by the form of the concrete.

For example, the requirements for a concrete retaining wall and for a concrete backing to a decorative panel

can be quite different. For such reasons it is extremely difficult to specify how a sample should be taken and no requirements can be given.

Note. It is strongly advised that no sample be taken for testing without agreement between the interested parties about the method of taking the sample and the quantity of material that is considered to be represented by the sample (see Cl. 21.3.3).

21.3.2 Section of Sample

The following general requirements shall be observed in selecting the concrete sample:

- (a) No linear dimension of the sample shall be less than five times the nominal maximum size of the largest aggregate.
- (b) If original water content is to be determined, the sample shall be in a single piece with no cracks visible to the naked eye.
- (c) The minimum mass of the sample will be determined by testing requirements but a mass of at least 1 kg is necessary, or at least 2 kg if the original water content is to be determined.
- (d) All foreign matter and reinforcement shall be avoided unless they are subject to test.

The sample shall be clearly and indelibly labelled with full particulars, including the date, exact position from

which the sample was taken, the method of sampling and any other relevant information. The sample shall be enclosed in a heavy-duty polyethylene bag and sealed or tied securely.

21.3.3 Number of samples

When information about the composition of concrete with a volume of up to 10 m³ is required, at least two and preferably four representative samples shall be taken from different locations and analysed separately.

When a very large volume of concrete or a large number of concrete units are to be examined, at least ten samples shall be taken from different locations and analysed separately. The results can then be used to identify locations requiring more extensive investigation.

21.3.4 Additional material

Information on the composition of the cement and aggregate used in the concrete will enable more accurate results to be obtained. Where available, representative samples of all the constituents of the concrete used shall be taken and enclosed in heavy-duty polyethylene bags, clearly labelled and sealed or tied securely. Where such samples are not available, information on the source and nature of these materials should be given.

21.3.5 Report on sampling

Each sample of concrete and additional material shall be accompanied by a report from the person responsible for taking the sample stating that sampling was carried out in accordance with this Standard. The report shall include the following:

- (a) Name and location of building, structure etc.
- (b) A description of the structure or component under investigation.
- (c) The location from which the concrete sample was taken and its orientation relative to direction of casting.
- (d) The method of sampling.
- (e) Details of the concrete, in particular its age, if known.
- (f) The identification number of the sample.
- (g) The date and time of sampling.
- (h) The name and signature of the person responsible for sampling.

21.4 TREATMENTS OF SAMPLES

21.4.1 Apparatus

The following apparatus is required:

- (a) Ventilated oven (see C1. C19).
- (b) Crushing and grinding equipment (see C1. C21).
- (c) Test sieves(see C1. C22).
- (d) Airtight bottles (see C1. C23).
- (e) Concrete saw (see C1. C24).
- (f) Device for sample reduction, such as a riffle box.

(g) Bar magnet.

Further details of the apparatus are given in Appendix C.

21.4.2 Density

If the content of constituents determined as percentages by mass of the oven-dried concrete is to be converted to kilograms per cubic metre of concrete, the oven-dried density of a single sound piece of concrete shall first determined before any work involving breakdown of the sample.

21.4.3 Original water content

If the original water content is to be determined, a slice of approximately 20 mm thick and having a single face area of not less than 7500 mm² shall be obtained by making two parallel cuts in the sample, preferably with a diamond saw. Care shall be taken to avoid the loss of material out of the cut 2 faces.

The reduce carbonation of the concrete, a specimen for water content determination shall be stored in an airtight container until ready for testing.

21.4.4 Nature of aggregate

The concrete sample shall be examined (see C1. 21.9.2), and the coarse and fine aggregate broadly classified under the following headings:

type I : natural aggregates essentially insoluble in dilute hydrochloric acid.

Type S : natural aggregates largely soluble in dilute hydrochloric acid.

Type O : other aggregates.

21.4.5 Preparation of test samples

21.4.5.1 Initial treatment

The sample shall be broken into lumps not larger than about 50 mm in size, avoiding as far as possible fracture of the aggregate. The lumps shall be dried in the oven at $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ for 15 hours to 24 hours and allowed to cool to room temperature.

The dried sample shall be divided into two portions, A and B, with portion A approximately three-quarters of the bulk. Each portion shall remain as nearly as possible representative of the whole.

21.4.5.2 Determination of the presence of PFA

Since there is no reliable method at present available to determine the cement content of hardened concrete containing PFA, it is necessary to establish whether or not PFA is present in the concrete prior to the analysis for cement content. The method of determining whether PFA is present in the concrete is given in Clause 21.5.

If PFA is found to be present, the determination of cement content is not possible and the further preparation of the portion A of the sample need not be carried out unless it is required in other tests such as the determination of chloride content.

21.4.5.3 Treatment of portion A

A major source of error in the analysis of hardened concrete is inadequate sample preparation. It is essential to avoid loss of material, particularly dust, during the crushing and grinding operations. Excessive particle size reduction shall be avoided during the preparation of the analytical sample. The crushing, grinding and following operations shall be carried out as quickly as possible so that the sample is exposed to atmospheric

carbon dioxide for the minimum time. The procedure to provide a representative analytical sample of not less than 30 g of ground material, all passing a 150 mm sieve shall be as follows:

Using the crushing and grinding equipment, portion A shall be crushed until it all passes a 5.0 mm sieve. It shall then be subdivided, using a riffle box or by equivalent means, to produce a sub-sample of 500 g to 1000 g. This sub-sample shall be crushed to pass a 2.36 mm sieve and reduced by two separate subdividing operations, discarding one half on each occasion. The whole of the remaining part shall be ground to pass a 600 mm sieve and again reduced by two separate subdividing operations, discarding one half on each occasion. The whole of the

remaining part shall be ground to pass a 150 mm sieve.

When mechanical means of crushing and grinding are used some of these stages may be by-passed.

For example, the initial crushing of portion A may yield a product passing a 1.18 mm sieve. In this case the subdivision before the next stage should provide a sub-sample of 100 g to 200 g. This can then be ground in a suitable grinder to pass a 150 mm sieve.

Before the final grinding operation, it is recommended that material in the sub-sample which passes a 150 mm sieve is removed by sieving, reserved and recombined with the ground fraction. If a number of passes through the grinding apparatus is required, this removal of fine material should be done each time.

The analytical sample so obtained shall be placed in a porcelain evaporating basin or similar container and the metallic iron removed by stirring the sample with a bar magnet. The analytical sample shall then be transferred to a clean dry bottle with an airtight closure and thoroughly mixed by tumbling, rolling or shaking for at least two minutes.

When aggregate control samples are available, they shall be dried and ground by the same method as that used for the concrete.

21.4.5.4 Treatment of portion B

Portion B shall be retained in an airtight container for use in the test described in clauses 21.8, 21.9 and 21.10.

21.5 DETECTION OF PFA

21.5.1 General

As PFA contains characteristic spherical particles, its presence in hardened concrete may be detected by microscopic examination of the residue after treatment of the concrete with dilute acid.

21.5.2 Reagents

The following reagent is required:

. Dilute hydrochloric acid (1 + 9)

21.5.3 Apparatus

The following apparatus is required:

- (a) Centrifuge (see C1. C25).
- (b) Transmitted-light microscope (see C1. C26).
- (c) Microsieve set with replaceable 75 mm sieve (see C1. C27).

Further details of the apparatus are given in Appendix C.

21.5.4 Preparation of sample

Approximately 400 g of portion B prepared in accordance with C1 21.4.5.1 shall be obtained using a riffle box. The sample shall then be broken down in the crushing equipment, and aggregate removed as far as possible to ensure an adequate concentration of the cement matrix.

About 5 g of this cement-rich portion of

size 3 to 5 mm shall be randomly selected from the bulk and transferred to a 200 mL beaker, 100 mL of the hydrochloric acid shall be added and stirred for 20 minutes with occasional breakdown of any remaining lumps using a plastic rod. The contents of the beaker shall be transferred to a centrifuge bottle which shall then be stoppered and allowed to spin in the centrifuge for five minutes. The supernatant shall be removed by decantation and the bottle containing the residue shall be refilled with 100 mL of water and then centrifuged for another five minutes.

The above process of decantation of the supernatant, washing of the residue by water and spinning shall be repeated twice before the contents of the bottle are emptied through a 75 mm microsieve set into a dry slow filter paper.

21.5.5 Microscopic examination

A speck of the sample residue retained on the filter paper shall be spread evenly over the centre of a microscope slide with the aid of a drop of dispersal agent and then covered by a glass cover. A second slide shall be prepared in the same manner with a speck of the sample residue taken from a different part of the filter paper.

The slides shall be examined using the

transmitted-light microscope with a magnification of 200 to 400. The whole area of the sample being scanned in each case. The presence of spherical particles in either slide indicates that the concrete with and without PFA are reproduced in Figure 8.

Note. To avoid possible contamination, the microsieve set should be washed, cleaned and the 75 mm sieve insert replaced by a new one prior to each test.

21.6 CEMENT AND AGGREGATE CONTENTS

21.6.1 General

The closeness of agreement between the cement and aggregate contents, determined by the methods described in this Section, and the actual values depends on a knowledge of the chemical composition of these constituents of the concrete.

Wherever possible, therefore, representative samples of the cement and aggregate used in making the concrete shall be obtained and chemical analyses carried out on them in a similar manner to that described for the concrete sample.

In cases where samples of the original constituents of the concrete are not available for analysis, the agreement between observed and actual contents of cement and aggregate depends on the validity of the assumptions made on

the composition of the materials present in the concrete sample (see C1. 21.6.6 and Table 5). For example, an error of kg/m^3 in the calculated cement content. Similarly, a 1% error in the assumed soluble silica content of the aggregate is equivalent to an error of about 110 kg/m^3 in the calculated cement content. One or more of the methods detailed in this Section may be used as appropriate. In C1.21.6.5.1 a method for the extraction of soluble silica is described, and it is essential that this method is followed exactly. Methods of proven accuracy are given for other determinations. It is permissible to use alternative methods for the determination of the following, provided evidence is presented that such methods give equivalent results:

- (a) Calcium oxide e.g. by atomic absorption.
- (b) Soluble silica e.g. by atomic absorption.
- (c) Loss-on-ignition e.g. by thermogravimetry.
- (d) Carbon dioxide e.g. by instrumental methods.

21.6.2 Reagents

The following reagents are required:

- (a) Ammonium chloride solution, 1 g/L
 1 g of ammonium chloride shall be dissolved in 1 L of water.

1% in the assumed calcium oxide content of an aggregate is equivalent to an error of about 35

- (b) Calcein (screened) indicator

The indicator shall be obtained by mixing and grinding together 0.2 g of calcein, 0.12 g of thymolphthalein and 20 g of potassium chloride.

- (c) Calcium standard solution

A quantity of 1.78 g to 1.79 g of pure calcium carbonate shall be dried at a temperature in the range 1500C to 2000C and its mass recorded to the nearest 0.0001 g . It shall then be dissolved in a slight excess of dilute hydrochloric acid ($1 + 4$), boiled to expel carbon dioxide, cooled and diluted to 1 L in a volumetric flask.

The concentration of CaO shall be expressed in g/L to four significant figures as mass of $\text{CaCO}_3/1.7848$.

- (d) Triethanolamine solution ($1 + 4$)

- (e) Sodium hydroxide solution, 200 g/L

- (f) EDTA standard solution

The solution shall be obtained by dissolving 6.67 g of EDTA (ethylenediamine-tetra-acetic acid, disodium dihydrate salt) in warm water, filtering if necessary, cooling and diluting to 1 L . The solution shall be stored in a polyethylene bottle. The solution shall be standardized against the calcium standard solution as follows:

20 mL of the calcium standard solution shall be pipetted into a 250 mL beaker or flask.

10 mL of triethanolamine solution and 10 mL of sodium hydroxide solution shall be added and the solution shall be made up to a about

150 mL with water. About 0.15 g calcein indicator shall be added and the solution titrated with the EDTA standard solution until the fluorescent green of the indicator completely changes to pink-purple with no residual fluorescence. The end-point is more easily seen if observed against a black background. The CaO equivalent of the EDTA, E , (in mg CaO/mL) shall be calculated from the expression:

$$E = \frac{20h}{V} \quad (21-1)$$

Where

h is the concentration of CaO in the calcium standard solution (in g/L)

V in the volume of EDTA required in the titration, to the nearest 0.02 mL.

(g) Concentrated hydrochloric acid, relative density 1.18.

(h) Dilute hydrochloric acid

(1+1), (1+4), (1+9) and (1+49).

(i) Polyacrylamide solution, 1 g/L

0.1 g of polyacrylamide, molecular weight about 5×10^6 shall be added to 100 mL of water and stirred using a mechanical stirrer until dissolved.

(j) Polyethylene oxide solution, 2.5

g/L

The solution shall be obtained by slowly adding 0.5 g of polyethylene oxide, molecular weight less than 1×10^6 , to 200 mL of water and stirring using a mechanical stirrer until dissolved. The solution shall be discarded after two weeks.

(k) Sodium carbonate solution, 50 g/L

The solution shall be obtained by dissolving 50 g of anhydrous sodium carbonate in 1 L of water.

21.6.3 Apparatus

The following apparatus is required:

- Furnace (see C1. C28).
- Desiccator (see C1. C29).
- 250 mL polypropylene beakers.
- Plastic stirring rods.
- Water or steam bath.

Further details of the apparatus are given in Appendix C.

21.6.4 Determination of calcium oxide

when insoluble residue and soluble silica are not to be determined

A quantity of 5 ± 0.1 g of the analytical sample prepared as in C1. 21.4.5.3 shall be weighed accurately to the nearest 1 mg and transferred into a 500 mL beaker and dispersed with 50 mL to 100 mL of cold water. 10 mL of concentrated hydrochloric acid shall be added, swirled and immediately made up with hot water to about 150 mL.

The solution shall be brought to the boil

and kept hot for five minutes. After cooling, the entire content of the beaker shall be transferred to a 500 mL volumetric flask, diluted to the mark with water and mixed thoroughly. A

portion of the solution shall be filtered through a dry medium filter paper or, alternatively, a centrifuge shall be used to obtain a clear solution.

25 mL aliquot of the clear solution shall be pipetted into a 250 mL beaker or flask and diluted to about 150 mL. 10 mL of the triethanolamine solution, 10 mL of the sodium hydroxide solution and about 0.15 g of screened calcein indicator shall be added. The solution shall then be titrated with EDTA standard solution using the magnetic stirrer until the fluorescent green of the indicator completely changes to pink-purple with no residual fluorescence (see C1. 21.6.2 (f)).

The volume, *V*, of EDTA used in the titration shall be recorded to the nearest 0.02 mL.

Note. The EDTA solution and the use of potassium hydroxide, as described in Cl. 6.3.2.4 of BS 4551 : 1980 and Cl. 6.2 of BS 4550 : Part 2 : 1970 are acceptable alternatives when determining calcium oxide. Other indicators which give clear end-points, e.g. HSN, may be used.

The calcium oxide content *D* as a

percentage by mass of the analytical sample shall be calculated to the nearest 0.1%, from the expression:

$$D = \frac{2VE}{m} \quad (\text{in } \%) \quad (21-2)$$

where

V is the volume of EDTA solution used in the titration (in mL)

E is the calcium oxide equivalent of the EDTA solution (in mg CaO/mL)

m is the mass of the analytical sample (in g)

21.6.5 Determination of insoluble residue, soluble silica and calcium oxide

21.6.5.1 Extraction of soluble silica and preparation of stock test solution

A quantity of 5 ± 0.1 g of the analytical sample prepared as in C1. 21.4.5.3 shall be weighed accurately and transferred into a 250 mL polypropylene beaker and 100 mL of dilute hydrochloric acid (1+9) carefully added. When a limestone aggregate is known to be present or when vigorous effervescence on adding the acid indicates its likely presence, a further 10 mL of concentrated hydrochloric acid shall be added to the stirred suspension. Using a magnetic stirrer with a plastic covered magnetic follower, or other suitable mechanical stirrer, the suspension shall be stirred at room temperature for 20

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

minutes. It shall then be allowed to settle and the liquid decanted through either a medium filter paper or a paper pulp pad supported on a perforated cone or similar, with or without suction. The residue in the beaker shall be washed with three 25 mL portions of dilute hydrochloric acid (1+49) and the washings poured through the same filter paper.

This first filtrate shall be retained.

Note. The rate of filtration is improved by adding 1 mL of polyacrylamide solution to the acid extraction just before the completion of the 20 minutes stirring. The subsequent determinations based on the filtered extract are not affected. A coarser filter paper may be used.

The filter paper plus any residue it contains shall be placed into the beaker containing the residue and 100 mL of the sodium carbonate solution shall be added. The beaker shall be placed on a boiling water or steam bath for 15 minutes stirring occasionally with a plastic rod to break up the filter paper.

The contents of the beaker shall be transferred on to a medium hardened ashless filter paper or a paper pulp pad supported on a perforated cone or similar, taking particular care to recover all the residue adhering to the sides of the beaker and the stirrer blade or

magnet. It shall be washed six times with the hot ammonium chloride solution, twice with hot dilute hydrochloric acid (1+49) and twice with hot water, the volume of each of the washings being about 25 mL. Each washing shall be allowed to drain before continuing with the next.

The second filtrate and the washings shall be retained.

To reduce the possibility of silica being introduced into the solution the filtrate should be collected in a plastic beaker.

10 mL of concentrated hydrochloric acid shall be added to the first filtrate which shall then be carefully combined with the second filtrate and washings, stirring frequently to avoid the formation of a precipitate that is difficult to dissolve again.

The combined filtrates shall be reserved for treatment as described in C1. 21.6.5.3.

21.6.5.2 Determination of insoluble residue To determine the insoluble residue, the filter paper containing the residue shall be placed in a weighed crucible and ignited, at first slowly until the carbon of the paper is completely consumed without flaming and finally at $925 \pm 250\text{C}$ until constant mass is achieved (see C1. 21.8.3). The crucible and residue shall be allowed to cool to room temperature in the desiccator and

weighed. The insoluble residue content of the analytical sample shall be calculated to the nearest 0.1% from the expression:

$$\text{Insoluble residue} = \frac{\text{mass of ignited residue}}{\text{mass of analytical sample}} \times 100\% \quad (21-3)$$

21.6.5.3 Determination of soluble silica

The combined filtrates and washings shall be evaporated on a boiling water or steam bath until not more than approximately 5 mL remain.

10 mL of dilute hydrochloric acid (1+1), half of an ashless filter tablet and 5 mL of the polyethylene oxide solution shall be added stirring thoroughly during and after each addition. It shall be allowed

to stand for five minutes and then filtered through a medium filter paper. All the solids shall be transferred to the filter, rinsing it if necessary, and washed thoroughly with not water. The volume of the filtrate and washings shall be adjusted to 500 mL in a volumetric flask, and mixed thoroughly to give the stock test solution for treatment as described in C1. 21.6.5.4.

The filter paper containing the precipitate shall be placed in a weighed platinum crucible and ignited, at first slowly until the carbon of the paper is

completely consumed without flaming and finally at $1200 \pm 50^{\circ}\text{C}$ until constant mass is achieved (see C1. 21.8.3). The crucible and residue shall be allowed to cool to room temperature in the desiccator and then weighed. The soluble silica content of the analytical sample shall be calculated to the nearest 0.1% from the expression:

$$\text{Soluble silica} = \frac{\text{mass of ignited residue}}{\text{mass of analytical sample}} \times 100\% \quad (21-4)$$

The purity of the ignited silica precipitate shall be checked by evaporating it in the crucible with 10 mL of hydrofluoric acid containing five drops of sulphuric acid (1+1) in a fume cupboard. The residue shall be ignited and weighed as before.

The loss in mass after evaporation and ignition equals the mass of silica in the original ignited residue. When the two masses differ by more than 0.005 g it is recommended that the determination (C1. 21.6.5) be repeated. If the discrepancy persists, the mass of silica found by evaporation with hydrofluoric acid shall be used to calculate the soluble silica content of the analytical sample.

21.6.5.4 Determination of calcium oxide

25 mL aliquot of the stock test solution from C1. 21.6.5.3 shall be pipetted into

a 250 mL beaker or flask and diluted to about 150 mL. 10 mL of the diluted triethanolamine solution, 10 mL of the sodium hydroxide solution and about 0.15 g of screened calcein indicator shall be added. The solution shall then be titrated with the EDTA standard solution and the calcium oxide content of the analytical sample calculated as described in C1. 21.6.4.

21.6.6 Calculation of cement content

By assuming the combined water of hydration of the concrete to be $0.23 \times C_1$ and the total mass of oven dried concrete to be C_1 cement + F% aggregate + $0.23 C_1$ % combined water of hydration, the cement content as a percentage by mass of the concrete shall be calculated to the nearest 0.1% from the following expression using first the calcium oxide determinations and then the soluble silica determinations:

$$C_1 = \frac{c - b}{(a - 1.23b)} \times 100\% \quad (21-5)$$

where

a is the calcium oxide or soluble silica content of the cement (in %)

b is the calcium oxide or soluble silica content of the aggregate (in %)

c is the calcium oxide or soluble silica content of the analytical sample (in %)

Note 1. The range of values found for

the combined water of hydration of Portland cements complying with BS 12, BS 146, BS 1370 or BS 4027 is between 0.20 and 0.25 of the cement, for fully hydration. For very young concrete (less than 28 days) special considerations may apply.

If the calcium oxide and/or the silica contents of the cement and aggregate have not been determined, the best estimate based on the values listed in Table 5 shall be used. The assumed values as well as their justification shall be reported. For Portland cements complying with BS 12 there will be little loss in accuracy in assuming the calcium oxide content but rather greater loss in accuracy in assuming the silica content as stated in Table 5.

For those aggregates essentially insoluble in hydrochloric acid it may be possible to assume that the calcium oxide content is zero. For local aggregates, it may be possible to assume the calcium oxide content to be 0.2% and the silica content as 0.4%.

When the two cement contents thus obtained are within 1% (m/m) of each other, the mean value shall be reported. When the two cement contents differ by more than this amount, the reasons for the discrepancy shall be investigated. If no reason can be found both results shall be reported and the preferred

result highlighted.

This preference should be based on the analyst's experience, the age and exposure of the concrete and the nature of the aggregate, etc. Analysis of the sample for other constituents, such as insoluble residue, carbon dioxide, magnesium oxide, etc. may prove helpful in making the assessment. If such an assessment is not possible, the lower cement content is to be preferred. Where it is known that the aggregate has a calcium oxide content of less than 0.5%, the determination of cement content by way of the soluble silica content is not obligatory, but nevertheless recommended, and the cement content can be based on the result of the determination of the calcium oxide content alone.

Conversely, where the calcium oxide content of the aggregate is 35% or more, calculations based on calcium oxide content are not recommended.

Where the calcium oxide content of the aggregate is 35% or more and the soluble silica content of the aggregate is 10% or more, the analytical sample shall be analysed for another constituent known to be present in substantially different amounts in the cement and in the aggregate and the cement content calculated by an appropriate modification of the equation (21-5). If

possible, the constituent chosen shall generally form a greater proportion of the cement than of the aggregate.

When samples of the aggregate are available, petrographic methods may be applicable and reference can be made to ASTM C856.

21.6.7 Calculation of aggregate content

The aggregate content F as a percentage by mass of the concrete may be calculated to the nearest 0.1% by using either Method 1 or 2 below:

21.6.7.1 Method 1

$$F = \frac{a-1.23c}{\alpha-1.23b} \times 100\% \quad (21-6)$$

where

a is the calcium oxide or soluble silica content of the cement (in %)

b is the calcium oxide or soluble silica content of the aggregate (in %)

c is the calcium oxide or soluble silica content of the analytical sample (in %)

21.6.7.2 Method 2

Note. *This test cannot be used if a composite cement, e.g. Portland pozzolana cement having a significant insoluble residue has been used.*

The aggregate content may be obtained from the following expression, which is based on the insoluble residue values of the analytical sample:

$$\text{aggregate content} = \frac{\text{insoluble residue of analytical sample}}{\text{insoluble residue of aggregate}} \times 100\% \quad (21-7)$$

Note. When samples of the aggregate are not available for analysis there may be little loss of accuracy in assuming that with essentially insoluble aggregate the percentage insoluble residue of the analytical sample (see Cl. 21.6.5.2) corresponds to the percentage aggregate content.

21.7 ORIGINAL WATER CONTENT

21.7.1 Applicability

21.7.1.1 General

The test described in this clause will only give acceptable results if the concrete is sound and in no way damaged, either physically or chemically.

The method is not suitable for poorly compacted concrete, for semi-dry compacted concrete, for air-entrained concrete or for aerated concrete.

With some aggregates, often manufactured, which are exceptionally porous or contain appreciable amounts of combined water, the corrections to be applied are so great as to render the results of doubtful value. Unreliable results may be obtained when concrete older than five years is tested owing to

changes in the pore structure of such concretes.

The original water contents refer to the water present in the concrete mix at the time of setting.

The procedure involves the determination of following:

(a) The capillary pores of the concrete originally filled with water at the time of setting.

(b) The combined water of hydration present in the prepared concrete sample.

The sum of these two represents the original water content of the concrete. It is usually expressed as water/cement ratio and this entails the determination of the cement content of the prepared sample.

Note. It should be noted that the prepared sample, while representative for the water/cement ratio of the whole sample, will not necessarily be representative for the cement content.

The water/cement ratio is expressed in two ways:

(a) as total water/cement ratio, which includes the water absorbed by the aggregates at the time of setting.

(b) as free water/cement ratio, which excludes the water absorbed by the aggregates at the time of setting.

The values for capillary porosity and combined water content will include contributions from the aggregates

present and these shall be taken into account.

21.7.1.2 When aggregate control samples are available

The correction for the combined water content of the aggregate shall be made.

Correcting for aggregate porosity (see C1. 21.7.5.4) will give the original free water/cement ratio, while not making the correction will give the original total water/cement ratio, provided that the aggregate pores were filled with water at the time of setting. When there is some doubt about the condition of saturation of the aggregate in the set concrete, correction for aggregate porosity shall be made and only the original free water/cement ratio shall be reported.

When there is no doubt, both free and total water/cement ratios shall be reported.

21.7.1.3 When aggregate control samples are not available

The combined water of hydration of the concrete shall be assumed to be:

$$0.23 \times C_1$$

where

C_1 is the cement content of the concrete (in %) (see note 1 to C1. 21.6.6)

The capillary porosity of the aggregate shall be taken to be equivalent to the water absorption value of the aggregate

when this is reliably known (see C1. 21.7.6.2) to give the original free water/cement ratio. Otherwise no correction for aggregate porosity shall be made and only the total water/cement ratio shall be reported on the assumption that the aggregate pores were filled with water when the concrete had set.

21.7.2 Reagent

The following reagent is required:

. 1, 1, 1-trichloroethane

21.7.3 Apparatus

The following apparatus is required:

- (a) Vacuum desiccator (see C1. C30).
- (b) Water pump or vacuum pump (see C1. C31).
- (c) Apparatus for the determination of combined water content (see C1. C32).

Further details of the apparatus are given in Appendix C.

21.7.4 Determination of capillary porosity

The sample shall be prepared by cutting a slice as C for not less than 16 hours and allowed it to cool to room temperature in the desiccator. described in C1. 21.4.3, drying it at 105 ± 5

The dried slice shall be weighed and immersed in 1,1,1-trichloroethane contained in the vacuum desiccator.

CAUTION. *Inhalation of the vapour and contact of the liquid with the skin*

and eyes should be avoided. Polyethylene gloves shall be worn when handling the sample.

The absolute pressure in the vessel shall be reduced to less than 13.5 KPa (100 mmHg) by means of the water pump or vacuum pump.

Note 1. *It may be necessary to protect the vacuum pump against the effects of solvent vapour by fitting a cold trap or similar device.*

The air will then evolve from the capillaries in the concrete, rapidly at first and then more slowly. The removal of the capillary air is complete if no further air is released even when the evacuated vessel is cautiously given a sharp tap.

Note 2. *The time required to remove the air may be several hours. Boiling of the 1,1,1-trichloroethane induced by low pressure with continued evacuation should not be confused with air evolution and is normally recognizable by the tendency of large bubbles to appear at a few points on the concrete surface.*

When the air evolution has ceased, the pressure shall be released and the sample kept immersed at atmospheric pressure for a further five minutes.

The sample shall then be removed from the 1,1,1-trichloroethane. Excess superficial liquid shall be allowed to

drain away and excess solvent on the surface of the sample shall be quickly wiped off. The saturated sample shall be placed in a weighed polyethylene bag immediately, sealed to prevent loss of liquid by evaporation, and weighed.

The mass of 1,1,1-trichloroethane required to fill the pores of the concrete shall be calculated and the equivalent mass of water derived assuming the relative density of the 1,1,1-trichloroethane to be 1.33.

The capillary porosity Q shall be calculated to the nearest 0.1% (m/m) from the expression:

$$Q = \frac{\text{mass of solvent absorbed}}{1.33 \times \text{mass of dried concrete sample}} \times 100\% \quad (21-8)$$

21.7.5 Determination of combined water and cement content

21.7.5.1 Sample preparation

The slice shall be removed from the polyethylene bag and heated to constant mass, i.e. until successive weightings after heating and cooling do not differ by more than 0.1 g, at $105 \pm 5^\circ\text{C}$. The slice shall be treated in accordance with the procedures described in C1. 21.4.5.3 to produce a representative analytical sample of not less than 30 g all passing a 150 mm sieve and the combined water and cement contents of the analytical sample shall be determined by the procedures detailed in C1. 21.7.5.2 to

21.7.5.5.

21.7.5.2 Determination of combined water content

Using the apparatus detailed in C1. 21.7.3, the combined water shall be determined by igniting the powdered sample at $1000 \pm 25^{\circ}\text{C}$ in a stream of dried air or nitrogen and weighing the evolved water after absorption on dried magnesium per chlorate.

Note. This determination is only made when reliable control samples of the aggregates are available.

Residual moisture in the apparatus shall be purged by passing dried gas through the combustion tube, heated to 1000°C , for 30 minutes with an empty absorption tube in position for the first 15 minutes, replacing it by the filled tubes for the rest of the time. After 30 minutes, the source of heat shall be removed and the air flow continued for a further 15 minutes. The absorption tubes shall be removed from the apparatus and transferred to the balance case.

When the combustion tube has cooled to below 1000°C , the absorption tubes shall be weighed and fitted into the train. Approximately 1 g of the sample shall be weighed accurately and placed into a combustion boat previously

ignited to constant mass at 1000°C and then promptly inserted into the combustion tube from the air inlet end. The connection shall be replaced and the gas flow adjusted to about three bubbles per second at the bubbler. The sample shall be heated cautiously at first and the temperature maintained at 1000°C for 30 minutes. The source of heat shall be removed and the gas continued to pass for a further 15 minutes. The absorption tube shall be disconnected and transferred to the balance case and weighed after 15 minutes.

In order to determine the 'blank' of the apparatus, which should be less than 1 mg, the procedure shall be carried out from the beginning with no sample in the combustion boat. If the blank is greater than 1 mg, the joints shall be checked to ensure that they are free of leaks. Then the blank determination shall be repeated. If a value greater than 1 mg is still obtained, the absorbents shall be replaced and the whole procedure repeated.

The combined water content X shall be calculated to the nearest 0.1% (m/m) from the expression:

$$X = \frac{\text{gain in mass of absorption tubes} - \text{blank}}{\text{mass of sample}} \times 100\% \quad (21-9)$$

21.7.5.3 Determination of cement content

The cement content of the prepared sample shall be determined by the appropriate method as used for the analytical sample (see C1. 21.6.6).

21.7.5.4 Determination of aggregate porosity

About 1 kg of the dried coarse aggregate shall be weighed and the capillary porosity determined by the procedure given in C1. 21.7.4 but calculating it as a percentage q . For convenience, the aggregate shall be contained in a plastic mesh bag or supported on a sieve. The surface of the aggregate shall be dried before reweighing by shaking off the excess liquid and rapidly rubbing in a cloth.

21.7.5.5 Determination of aggregate combined water content

The solvent-saturated aggregate shall be heated to constant mass (as in C1. 21.7.5.1) at 105 ± 5 C and crushed to pass a 150 mm sieve. The combined water content shall be determined by the procedure given in C1. 21.7.5.2 but calculated as a percentage Y .

21.7.6 Calculation of the original water/cement ratio

21.7.6.1 Aggregate control samples available

In the absence of contrary information, the values for porosity and combined

water content found for the coarse aggregate may be assumed to be valid for the whole aggregate content of the sample.

Assuming that none of the water of hydration has been replaced by carbon dioxide, then the original free water content = corrected capillary porosity + corrected combined water content or

$$W_f = \left(Q - \frac{qF}{100}\right) + \left(X - \frac{YF}{100}\right) \quad (\text{in } \%) \quad (21-10)$$

$$W_f = Q + X - \frac{F}{100} (q + Y) \quad (\text{in } \%) \quad (21-11)$$

$$\text{original free water/cement ratio} = \frac{W_f}{C_t} \quad (21-12)$$

original total water content = uncorrected capillary porosity + corrected combined water content or

$$W_t = Q + X - \frac{YF}{100} \quad (\text{in } \%) \quad (21-13)$$

$$\text{original total water/cement ratio} = \frac{W_t}{C_t} \quad (21-14)$$

where

- Q is the capillary porosity of the sample (in %) (see C1. 21.7.4)
- q is the capillary porosity of the aggregate (in %) (see C1. 21.7.5.4)
- X is the combined water content of the sample (in %) (see C1. 21.7.5.2)
- Y is the combined water content of the aggregate (in %) (see C1. 21.7.5.5)
- C_t is the cement content of the concrete (in %) (see C1. 21.7.5.3)
- F is the aggregate content of the concrete (in %) (see C1. 21.6.7)

Assuming the capillary porosity of the aggregate q' (in %) has the same value as its water absorption, then the corrected capillary porosity is

$$Q - \frac{q'F}{100} \quad (\text{in } \%) \quad (21-15)$$

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

and the combined water content of the concrete is 0.23 C_1 so that the

$$\text{original free water/cement ratio} = \frac{Q}{C_1} - \frac{q'F}{100 C_1} + 0.23 \quad (2-16)$$

Note. If q' is not reliably known then only the original total water/cement ratio can be reported.

$$\text{The original total water/cement ratio} = \frac{Q}{C_1} + 0.23 \quad (2-17)$$

21.8. IDENTIFICATION OF TYPE OF CEMENT

21.8.1 General

Differentiation between the various types of cement that may have been used in a concrete presents problems of varying complexity. In favourable circumstances it may be possible to differentiate between various cements by analysing for an element or elements peculiar to the cement in question after

careful separation of the cement matrix.

The results of typical analyses of various type of cement is given in Table 5.

It is strongly recommended that the results thus obtained should be supplemented by examination under a microscope of a polished specimen containing cement particles still unhydrated.

The test cannot be used to confirm that the cement used in the concrete did or did not comply with cement specification. However, the test may help to determine compliance or otherwise with any requirement referring to general cement type in a concrete specification

Table 5 - Typical Analyses of Types of Cement Currently Available in HK

	Ordinary and Rapid Hardening BS 12	Sulphate Resisting BS 4027	Portland-PFA BS 6588 (see note 3)
	%	%	%
CaO	64.2	64.5	48.4
SiO ₂	20.4	20.9	-
MgO	2.0	0.9	2.0
Al ₂ O ₃	5.9	4.3	-
Fe ₂ O ₃	3.5	5.3	-
SO ₃	2.3	2.1	2.6

Παράρτημα 9 Πίνακας 1: Typical analyses of types of cement currently available in HK (Table 5)

Note 1. These values are subject to a variation of at least $\pm 10\%$, with the exception of CaO content in ordinary Portland cement or sulphate resisting Portland cement which are subject to a variation of approximately $\pm 3.5\%$

Note 2. Variations in the clinkers used and in their relative proportions may cause large deviations from these values.

Note 3. Variations in the clinker and pulverized-fuel ash (PFA) used and in their relative proportions may cause large deviations from these values. The conditions of extraction may not bring all the other oxides into solution from the pozzolana although it may be expected that all the calcium will dissolve.

21.8.2 Separation and analysis of matrix

A solid piece of the concrete sample shall be carefully broken down, for example by a compressive strength testing machine, and fine material shall be obtained by sieving using a 75 mm sieve.

If insufficient sample is obtained, further breakdown is necessary.

The fine material so obtained shall be analysed for insoluble residue and loss-on-ignition (see C1. 21.8.3) and, or

example, soluble silica (see C1. 21.6.5.3), calcium oxide (see C1. 21.6.5.4), alumina, ferric oxide, magnesium oxide, sulphuric anhydride, etc. It may be assumed that the insoluble residue represents aggregate in the fine material and the loss-on-ignition represents hydration and carbonation of the cement and the other analytical results shall be corrected by multiplying them by

$$\frac{100}{100 - (\text{loss-on-ignition} + \text{insoluble residue})}$$

The results shall be compared with typical analyses of various types of cement (see Table 5).

(Amendment sheet no. 1203:January 1996)

Note. Any aggregate material in the separated fines can also contribute oxides, particularly ferric oxide, alumina and silica.

21.8.3 Determination of loss-on-ignition

One to two grams of the analytical sample as prepared in C1. 21.4.5.3 shall be weighed accurately into a crucible which has been previously ignited and weighed accurately.

The crucible shall be covered with a lid and placed in a furnace, the temperature of which shall be raised slowly to $925 \pm 25^\circ\text{C}$. After five minutes at this temperature, the

lid shall be removed and the crucible left in the furnace at $925 \pm 25^\circ\text{C}$ for a further 30 minutes. The crucible shall be allowed to cool in the desiccator to room temperature and weighed.

This process of ignition, cooling and weighing shall be repeated until constant mass is achieved as shown by successive weightings giving a difference in mass of less than 0.5 mg. The loss-on-ignition of the analytical sample shall be calculated to the nearest 0.1% from the following expression:

$$L_i = \frac{\text{mass of analytical sample} - \text{mass of ignited sample}}{\text{mass of analytical sample}} \times 100\% \quad (21-18)$$

where

L_i is the loss-on-ignition

21.8.4 Examination under a microscope

21.8.4.1 General

To establish whether ordinary Portland cement or sulphate resisting Portland cement has been used in the concrete, the usual method is examination under a microscope. To do this, at least ten anhydrous relics of cement grains greater than 40 μm in size, or at least 20 grains greater than 20 μm in size shall be examined.

In older concretes which have been kept

wet, e.g. foundations, it may prove impossible to find sufficient anhydrous grains.

21.8.4.2 Materials

The following materials are required:

(a) Mounting resin

An epoxy or polyester resin which sets rigidly when mixed with an appropriate hardener.

(b) Silicon carbide powder, medium grade, e.g. 26 μm

(c) Non-aqueous liquid, e.g. kerosene

(d) Diamond paste, of grades 14 μm , 6 μm , 3 μm , 1 μm and 0.25 μm

(e) Non-aqueous solvent, e.g. acetone

(f) Potassium hydroxide solution, 10%
10 g of potassium hydroxide shall be dissolved in 100 mL of water.

(g) Methylated spirits or ethanol

(h) Hydrofluoric acid, 40% relative density 1.13

21.8.4.3 Apparatus

The following apparatus is required:

(a) Vacuum desiccator (see C1. C30).

(b) Rotary lap-plate (see C1. C33).

(c) Reflected-light microscope (see C1. C34).

(d) Cylindrical mould (see C1. C35).

Further details of the apparatus are given in Appendix C.

21.8.4.4 Preparation of the sample

The sample shall be the portion B, obtained in accordance with C1. 21.4.5.1.

The concrete sample shall be broken up and at least ten nominal 5 mm sized pieces of cement-rich matrix shall be selected as the test portion. The test portion shall be dried at a temperature not exceeding 105⁰C, allowed to cool and then embedded in a low viscosity mounting resin by casting into a cylindrical mould and curing in the vacuum desiccator at the temperature recommended by the resin manufacturer.

Note 1. A cylindrical cast specimen of approximately 25 mm diameter is usually found to be suitable but larger or multiple specimens are also acceptable.

The cylindrical casting shall be sectioned with a diamond saw lubricated with a non-aqueous liquid so that cut surfaces of the pieces are exposed on the sawn surface, and washed immediately using a non-aqueous solvent, e.g. acetone.

The sawn surface shall be ground with silicon carbide powder lubricated with a non-aqueous liquid such as kerosene, or other suitable oil, to remove saw marks. All traces of grinding powder shall be removed.

Note 2. Treatment with kerosene or industrial methylated spirits in an ultrasonic bath is effective.

The sample shall be polished carefully

with progressively finer diamond paste in an oil soluble base on a rotary lap-plate with a suitable surface.

After a final polish with 0.25 mm diamond compound, the surface shall be cleaned using a non-aqueous cleaning agent and dried with tissue.

The grinding and polishing routine shall be adjusted, particularly in terms of speed and duration of lapping, to minimize the plucking of cement particles out of the polished surface.

Note 3. It is recommended that control samples of known cement types should be prepared at the same time so that the polishing, etching and microscopically examination stages can be monitored.

21.8.4.5 Cement grain identification

The polished surface shall be examined through a reflected-light microscope using magnifications up to 800. If insufficient grains of anhydrous cement are found either further polished samples as described in C1. 21.8.4.4 shall be prepared so that the required number of grains can be assessed, or the method shall be reported as not applicable.

Note 1. Anhydrous relics of cement grains smaller than 20 mm may be examined in addition, but the mineralogical composition of such small particles may not be representative.

Note 2. Anhydrous relics of cement grains apparently exhibiting selective hydration throughout the grains, e.g. patches of hydrated matrix should be discounted.

Chemical etching of the grains reveals mineral phases characteristic of the type of cement present.

It is permissible to use two alternative etchants:

(a) The polished surface shall be immersed in the potassium hydroxide solution at 30°C for 10 to 20 seconds, then washed immediately in industrial methylated spirits or ethanol. The etching shall be controlled to give a bluish-grey colour to the tricalcium aluminate, the silicates remain grey, and the ferrite appears white.

(b) The polished surface shall be exposed to hydrofluoric acid vapour for two to five seconds until the hexagonal alite is coloured

straw-brown; the rounded belite will appear in

a variety of colours from blue to pink.

In the

interstitial phase, the tricalcium aluminate appears light grey and the ferrite appears white.

Note 3. It is sometimes difficult to distinguish these two compounds particularly at low magnification, i.e. less than 500.

CAUTION. *Hydrofluoric acid is extremely dangerous and great care is required in its use, even in small quantities. Hydrofluoric acid vapour etching shall be performed in a fume cupboard. The vapour can damage microscope lenses and excess vapour shall be permitted to disperse completely from the specimen surface before examination is commenced. The vapour can be removed more quickly by placing a glass slide on top of the specimen after etching.*

With the use of the compositional information given in C1. 21.8.4.6, and making reference to the control specimens if prepared, the apparent type of cement represented shall be identified by examining each anhydrous grain. The cement type present in the concrete sample will be that represented by at least 80% of the anhydrous grains examined.

If the dominant cement type represents fewer than 80% of the grains examined, the whole procedure shall be repeated and the combined findings considered.

If the dominant cement type represents fewer than 80% of the grains examined overall, the cement type shall be reported as 'uncertain'.

Note 4. A mixture of cement types could be one explanation of such uncertainty, but mixtures are extremely

unusual and such an interpretation should not be regarded as conclusive.

Photomicrographs of ordinary Portland cement and sulphate resisting Portland cement are reproduced in Figure 9.

21.8.4.6 Mineral phase compositions of different types of cement

Portland cements not having a specification limit for tricalcium aluminate content, e.g. ordinary and rapid hardening Portland cements complying with BS 12, generally have a volume ratio of ferrite to tricalcium aluminate of less than 2:1.

For sulphate resisting Portland cement complying with BS 4027, the volume ratio of ferrite to tricalcium aluminate is generally more than 5:1. However, this ratio may not apply to sulphate resisting Portland cements with a high silicate content, such that the total volume of ferrite and tricalcium aluminate is very low. Up to 20% of the unhydrated cement grains examined, greater than 20 μm in size, may display an apparently anomalous phase composition. For this reason a concrete made with sulphate resisting Portland cement complying with BS 4027, for example, may contain a significant number of grains showing larger than expected amounts of tricalcium aluminate and thus having the appearance of ordinary Portland cement. Finding a few apparently

anomalous grains in the examination is therefore not necessarily an indication of adulteration of the cement used.

21.9 IDENTIFICATION OF TYPE OF AGGREGATE

21.9.1 General

The identification of the type of aggregate is intended to aid the interpretation of the results of the chemical analysis. If more precise identification and classification of the aggregates are required, it shall be referred to a petrographer.

The petrographical procedures required are outside the scope of this Standard.

Note. Guidance notes for the petrographic examination of hardened concrete have been published in ASTM C856.

21.9.2 Procedure

A broken, or preferably a sawn surface of the sample shall be prepared (see C1.21.4.5.3). The general character of the aggregate shall be identified and the aggregate exposed shall be compared with known samples whenever possible.

Note 1. Most carbonate aggregates may be identified by treating with dilute hydrochloric acid (1+9) and observing the presence (or absence) of effervescence. Even when a carbonate aggregate was not used in the concrete, there may nevertheless be some carbonate particles, or particles

containing carbonate which will react with dilute acid, e.g. shell debris. Some dolomites do not react rapidly with cold dilute hydrochloric acid but will effervesce with warm dilute hydrochloric acid.

***Note 2.** Examination of the aggregates and of their reaction with acids may be aided by observation under a low-power binocular microscope.*

21.10 OTHER CONSTITUENTS

21.10.1 General

The analytical sample prepared as in C1.21.4.5.3 may be used for the determinations of chloride, sulphate and carbonate contents.

Since the chloride and sulphate contents are usually reported in relation to the cement content of the concrete, such a sample, in which the cement matrix has been concentrated, may present some advantage in all these tests.

A suitable procedure is to break the concrete sample and to obtain fine material by sieving through a 150 mm sieve. Further breaking and sieving is carried out until a sufficient quantity of fines has been produced. The less the aggregate is damaged the higher the cement content of the fine materials. The cement content of this separated sample has to be determined using the procedure described in C1. 21.6.6.

21.10.2 Determination of chloride content

Alternative methods based on potentiometric titration are acceptable.

21.10.2.1 Reagents

The following reagents are required:

- (a) Nitric acid, relative density 1.4
- (b) Silver nitrate standard solution, 0.1 mol/L Powdered silver nitrate shall be dried at 150°C for two hours, cooled in a desiccator and a quantity of 16.989 g shall be dissolved in water and diluted to 1 L. The solution shall be stored in an opaque glass bottle and protected from prolonged exposure to light.
- (c) Thiocyanate standard solution, approximately 0.1 mol/L 7.6 g of ammonium thiocyanate or 9.7 g of potassium thiocyanate shall be dissolved in water and diluted to 1 L. The solution shall be standardized against the silver nitrate standard solution using iron III indicator, once a week or each time a determination of chloride content is made, if less frequent.
- (d) Iron III indicator solution 50 g of ammonium ferric sulphate shall be dissolved in 60 ml of warm water. 10 mL of nitric acid shall be added to the solution, which is then cooled and stored in a glass bottle.
- (e) 3,5,5-trimethylhexanol (nonyl alcohol)

21.10.2.2 Procedure

5 ± 0.1 g of the analytical (see C1.21.4.5.3) or separated (see C1.21.10.1) sample shall be weighed accurately into a stoppered 500 mL conical flask. It shall be dispersed with 50 mL of water and 10mL of the nitric acid shall be added.

50 mL of hot water shall be added, boiled for four to five minutes and kept warm for 10 to 15 minutes.

(If the supernatant liquid is turbid, it shall be filtered through a fast hardened ashless filter paper and washed with hot water.) The solution shall be cooled to room temperature and a measured excess of the silver nitrate standard solution added. 2 mL to 3 mL of 3,5,5-trimethylhexanol shall be added to the solution, the flask shall be stoppered and shaken vigorously to coagulate the precipitate.

1 mL of iron III indicator solution shall be added and titrated with the thiocyanate solution to the first permanent red colour.

The chloride ion content J of the cement shall be calculated to the nearest 0.01% (m/m) from the expression:

$$J = \left(V_1 - \frac{V_2 M}{0.1} \right) \times \frac{0.3545}{m} \times \frac{100}{C_1} \% \quad (21-19)$$

Where

- m* is the mass of sample used (in g)
- V₁* is the volume of 0.1M silver nitrate solution added (in mL)
- V₂* is the volume of thiocyanate solution used (in mL)
- M* is the molarity of the thiocyanate solution (in mol/L)
- C₁* is the cement content of the sample used (in %)

Note. Other concentrations of silver nitrate solution and thiocyanate solution may be used and the equation modified accordingly.

21.10.3 Determination of sulphate content

21.10.3.1 Reagents

The following reagents are required:

- (a) Concentrated hydrochloric acid, relative density 1.18
- (b) Dilute hydrochloric acid (1+49)
- (c) Ammonium hydroxide solution (1+1)
- (d) Barium chloride solution, 100 g/L

21.10.3.2 Procedure

5 ± 0.1 g of the analytical (see C1.21.4.5.3) or separated (see C1.21.10.1) sample shall be weighed accurately into a 400 mL beaker, dispersed with 50 mL or water and 10 mL of concentrated hydrochloric acid added.

If effervescence is considerable, the beaker shall be covered immediately. 50 mL of hot water shall be added, the beaker covered and the solution boiled

gently for 5 to 10 minutes. The content of the beaker shall then be filtered through a medium ashless filter paper and the residue thoroughly washed with hot dilute hydrochloric acid (1+49).

Three drops of the methyl red indicator shall be added to the filtrate which shall then be heated to boiling and just neutralized to yellow with the dilute ammonium hydroxide solution. 1 mL of concentrated hydrochloric acid shall be added immediately and then 10 mL of the barium chloride solution shall be added drop wise. If excess ammonium hydroxide was added, 1 mL of concentrated hydrochloric acid may not be sufficient to obtain the required acid solution and the barium sulphate precipitate will then be contaminated. In this case the test shall be repeated.

The solution shall be boiled gently for five minutes, kept as just below boiling for 30 minutes and allowed to stand at room temperature for 12 to 24 hours. It shall then be filtered through a slow ashless filter paper and washed free from chlorides with hot water. The paper and contents shall be transferred to a weighed silica or platinum crucible and the paper burnt off without flaming. The precipitate shall be ignited at 800°C to 900°C until constant mass is achieved (see C1. 21.8.3).

The sulphate content G, expressed as

SO₃ shall be calculated, as a percentage of the cement to the nearest 0.1% (m/m) from the expression:

$$G = \frac{B}{m} \times 34.3 \times \frac{100}{C_i} \% \quad (21-20)$$

Where

B is the mass of ignited barium sulphate (in g)
m is the mass of the sample used (in g)
C_i is the cement content of the sample used (in %)

Note. The stock test solution (see Cl. 21.6.5.3) may be used for this determination. A 200 mL aliquot shall be used and the procedure as above followed from the heating stage to boiling and neutralizing with dilute ammonium hydroxide solution.

21.10.4 Determination of carbonate

The carbonate content of the concrete may be calculated from its carbon dioxide content, two methods of determining which are given below:

21.10.4.1 Method 1

21.10.4.1.1 Reagents

- Orthophosphoric acid, relative density 1.7
- Concentrated sulphuric acid, relative density 1.8
- Anhydrous copper sulphate on pumice 50 g of pumice stone (particle size of about 1 mm) shall be added to 50 mL of 30% copper sulphate solution

(15 gm copper sulphate pent hydrate dissolved in 50 mL distilled water). The mixture shall be heated on top of a boiling water bath to near dryness with constant stirring. The mixture shall be dried in an oven at 105⁰C for two hours and kept in an air-tight bottle.

(d) Dried magnesium per chlorate, particle size 0.7-1.18 mm (10-16 mesh)

(e) Granular absorbent for CO₂ , soda lime, particle size 1.0-1.7 mm (10-16 mesh)

21.10.4.1.2 Procedure

The apparatus as shown in Figure 14 (see C1.C36 of Appendix C) shall be assembled without the weighable tubes and flushed with gas free from carbon dioxide at a rate of approximately three bubbles per second for 15 minutes. The tap funnel shall be acid-free. Approximately 0.2 g of the analytical sample prepared as in C1.21.4.5.3 shall be accurately weighed into a duplicate reaction flask, the empty reaction flask shall be replaced by the one containing the sample and the passing of gas free from carbon dioxide continued. The two absorption tubes shall be weighed and connected to the apparatus.

The gas inlet shall be disconnected and 30 mL of orthophosphoric acid shall be placed into the tap funnel.

The tap shall be opened and the gas inlet reconnected; the gas pressure will

force the acid into the reaction flask. After effervescence has ceased, the contents of the flask shall be slowly heated to boiling and boiled for five minutes. It shall then be allowed to cool for 15 minutes while maintaining the gas flow. The absorption tubes shall be detached, transferred to the balance case and weighed after 30 minutes.

To determine the 'blank' of the apparatus, which should be less than 1 mg, the procedure described above shall be carried out with no sample in place.

If the blank is greater than 1 mg, the joints shall be checked to ensure that they are free of leaks. The blank determination shall then be repeated. If a value greater than 1 mg is still obtained, the absorbents shall be replaced and the whole procedure repeated.

The carbon dioxide content, C of the analytical sample shall be calculated to the nearest 0.1% from the expression:

$$C = \frac{\text{gain in mass of absorption tubes} - \text{blank}}{\text{mass of analytical sample}} \times 100\% \quad (21-21)$$

21.10.4.2 Method 2 (see Figure 15 of Appendix C)

This method is based on a manometric

measurement of the volume of carbon dioxide evolved upon acid treatment of a weighed powdered concrete sample. The carbonate content is calculated from the volume of the gas after being corrected for temperature and atmospheric pressure.

21.10.4.2.1 Reagents

The following reagents are required:

- (a) dilute hydrochloric acid solution (1+1)
- (b) Methyl red indicator solution 1 g of methyl red shall be dissolved in 600 mL of methylated spirits and 400 mL of water added.

21.10.4.2.2 Apparatus

The following apparatus is required:

- a) A graduated burette
- (b) A plastic measuring cylinder
- (c) A levelling tube
- (d) A thermometer
- (e) A barometer

Further details of the apparatus are given in C1. C37 of Appendix C.

21.10.4.2.3 Procedure

The apparatus shall be set up as shown in Figure 15 (see C1. C37 of Appendix C). The graduated burette and levelling tube shall be filled with water to which two drops of the hydrochloric acid and a few drops of methyl red solution have been previously added.

The quantity of the analytical sample

required is such as to give off 30-60 mL of carbon dioxide gas upon acid treatment. As a guide, this amount will range from 0.5 - 1.0 g for a heavily carbonated sample to about 3 - 5 g for one having a low carbonate content. The sample shall be weighed to an accuracy of 0.5 mg, placed in the reaction flask and about 20 mL of water shall then be added.

10 mL of the hydrochloric acid shall be put in the plastic measuring cylinder which shall then be carefully placed in the reaction flask without spilling the acid. The reaction flask shall be connected to the apparatus by inserting the rubber stopper.

With the 3-way tap opened to atmosphere, the level of the coloured solution in the graduated burette shall be adjusted until it coincides with the zero mark by raising or lowering the levelling tube. The tap shall then be closed and the reaction flask tilted so that the acid in the measuring cylinder spills over the sample. The flask shall be shaken well to ensure the sample and the acid are mixed thoroughly. The tap shall be set to the position in which the burette is connected to the flask.

The height of the levelling tube shall be adjusted until the levels of the solution in the burette and levelling tubes are equal. The tap shall then be closed and

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

the volume displaced by the gas in the burette noted.

The flask shall be reshaken and the procedure repeated until there is no further increase in the gas volume indicated by the burette. The final volume shall be recorded as the volume of carbon dioxide evolved.

The ambient temperature and the barometric pressure at the time of the test shall be recorded.

21.10.4.3 Calculation of carbon dioxide content

The carbon dioxide content C of the analytical sample shall be calculated to the nearest 0.1% from the expression:

$$C = \frac{0.0705 \times V (P - W)}{(273 + T) m} \quad (21-22)$$

where

V is the final gas volume in mL.
 P is the barometric pressure in mmHg, see Table 6
 W is the water vapour pressure (mmHg) at $T^{\circ}\text{C}$
 T is the ambient temperature in $^{\circ}\text{C}$
 m is the mass of sample of g

The carbonate content C' in percentage by mass of the sample may be obtained from the following expression:

$$C' = \frac{15C}{11} \quad (21-23)$$

When the carbonate content is calculated as calcium carbonate content, the following expression may be used:

$$\text{CaCO}_3 = \frac{25C}{11} \quad (21-24)$$

The results shall be reported to the

nearest 0.1%.

Note 1. Correction for the volume of acid solution should be made to the final gas volume if the acid solution is added externally to the reaction flask.

Note 2. The value of water vapour pressure W at various temperatures is shown in Table 6.

Table 6 - Vapour Pressure of Water at Temperatures between 20°C to 30°C

Temperature $^{\circ}\text{C}$	Vapour Pressure mm Hg
20	17.53
20.5	18.085
21	18.650
21.5	19.231
22	19.827
22.5	20.440
23	21.068
23.5	21.714
24	22.377
24.5	23.060
25	23.756
25.5	24.471
26	25.209
26.5	25.964
27	26.739
27.5	27.535
28	28.349
28.5	29.184
29	30.043
29.5	30.923
30	31.824

Παράρτημα 9 Πίνακας 2: Vapour pressure of water at temperatures between 20°C to 30°C

21.11 REPORT

The report shall affirm that the analysis was made in accordance with this Standard. When alternative methods are used, the report shall include reference to evidence held by the laboratory showing that the alternative methods are capable of producing

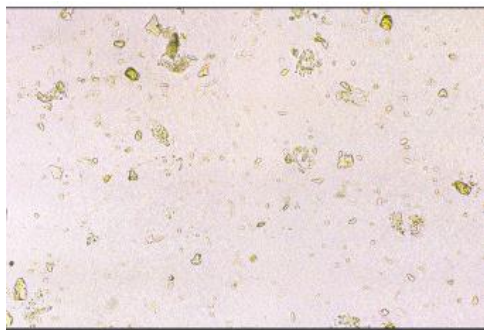
Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

results which do not differ significantly from those obtained used the Standard method. A copy of the sampling report shall be provided with this report.

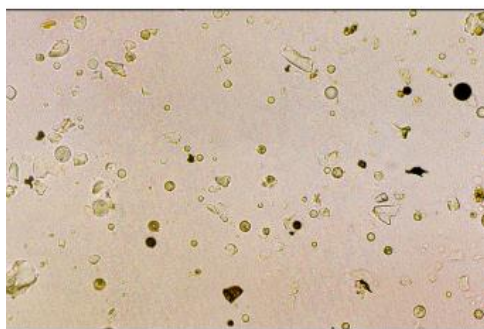
The report shall include the following information:

(a) Date and place of sampling and identification marks and other relevant details supplied with the sample.
(b) Full qualitative description of the sample, including the type of aggregate, with particular reference to factors likely to reduce the accuracy of the results.

(c) Date and place of the analysis.



OPC Concrete (Magnification: 200X)



Concrete Containing PFA (Magnification: 200X)

Figure 8 - Photomicrographs of OPC and PFA Concrete

Παράρτημα 9 Εικόνα 2: Photomicrographs of OPC & PFA concrete (fig. 8)

(d) Any assumptions made in the analysis, e.g. type of aggregate, cement analysis, aggregate analysis, etc..

(e) Results of the analysis with the estimated magnitude of probable errors for comparative results.

(f) Any other results obtained coincidentally to the tests required.

(g) The results of any additional tests done at the analyst's discretion.

(h) Name and signature of person responsible for testing.

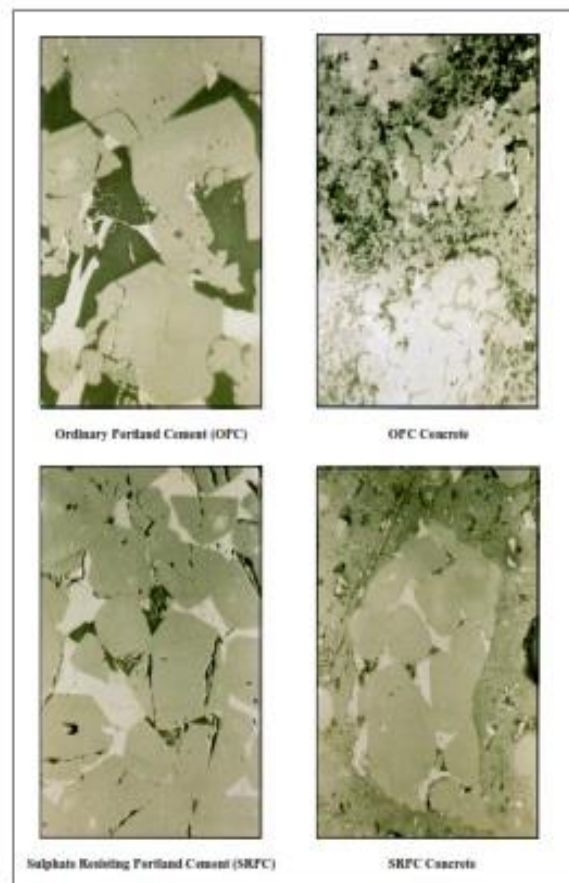


Figure 9 - Photomicrographs of OPC and SRPC Cement/Concrete

Παράρτημα 9 Εικόνα 1: Photomicrographs of OPC and SRPC Cement/Concrete

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 10: EN 12620

(www.linecheng.com, n.d.)

1.Scope

This European Standard specifies the properties of aggregates and filler aggregates obtained by processing natural, manufactured or recycled materials and mixtures of these aggregates for use in concrete. It covers aggregates having an oven dried particle density greater than 2,00 Mg/m³ (2 000 kg/m³) for all concrete, including concrete in conformity with EN 206-1 and concrete used in roads and other pavements and for use in precast concrete products. It also covers recycled aggregate with densities between 1,50 Mg/m³ (1 500 kg/m³) and 2,00 Mg/m³ (2 000 kg/m³) with appropriate caveats and recycled fine aggregate (4 mm) with appropriate caveats."

It also specifies that a quality control system is in place for use in factory production control and it provides for the evaluation of conformity of the products to this European Standard.

This standard does not cover filler aggregates to be used as a constituent in cement or as other than inert filler aggregates for concrete.

NOTE 1 *Aggregates used in construction should comply with all the requirements of this European Standard. As well as familiar and traditional natural and manufactured aggregates Mandate M/125 "Aggregates" included recycled aggregates and some materials from new or unfamiliar sources. Recycled aggregates are included in the standards and new test methods for them are at an advanced stage of preparation. For unfamiliar materials from secondary sources, however, the work on standardisation has only started recently and more time is needed to define clearly the origins and characteristics of these materials. In the meantime such unfamiliar materials when placed on the market as aggregates must comply fully with this standard and national regulations for dangerous substances (see Annex ZA of the standard) depending upon their intended use. Additional characteristics and requirements may be specified on a case by case basis depending upon experience of use of the product, and defined in specific contractual documents.™*

NOTE 2 *Properties for lightweight aggregates are specified in EN 13055-1:2002*

2. Normative references

This European Standard incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text, and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this European Standard only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references, the latest edition of the publication referred to applies (including amendments).

EN 196-2:2005, Methods of testing cement — Part 2: Chemical analysis of cement"

EN 932-3, Tests for general properties of aggregates — Part 3: Procedure and terminology for simplified petrographic description

EN 932-5, Tests for general properties of aggregates — Part 5: Common equipment and calibration

EN 933-1, Tests for geometrical properties of aggregates — Part 1: Determination of particle size distribution - Sieving method

EN 933-3, Tests for geometrical properties of aggregates — Part 3: Determination of particle shape — Flakiness index

EN 933-4, Tests for geometrical properties of aggregates — Part 4: Determination of particle shape — Shape index

EN 933-7, Tests for geometrical properties of aggregates — Part 7: Determination of shell content — Percentage of shells in coarse aggregates

EN 933-8, Tests for geometrical properties of aggregates — Part 8: Assessment of fines — Sand equivalent test

EN 933-9, Tests for geometrical properties of aggregates — Part 9: Assessment of fines — Methylene blue test

EN 933-10, Tests for geometrical properties of aggregates — Part 10: Assessment of fines — Grading of fillers (air jet sieving)

EN 933-11, Tests for geometrical properties of aggregates — Part 11: Classification test for the constituents of coarse recycled aggregates"

EN 1097-1, Tests for mechanical and physical properties of aggregates — Part 1: Determination of the resistance to wear (micro-Deval)

EN 1097-2:1998, Tests for mechanical and physical properties of aggregates —

Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation

EN 1097-3, Tests for mechanical and physical properties of aggregates — Part 3: Determination of loose bulk density and voids

EN 1097-6, Tests for mechanical and physical properties of aggregates — Part 6: Determination of particle density and water absorption

EN 1097-8:1999, Tests for mechanical and physical properties of aggregates — Part 8: Determination of the polished stone value

EN 1097-9, Tests for mechanical and physical properties of aggregates — Part 9: Determination of the resistance to wear by abrasion from studded tyres — Nordic test

EN 1367-1:2007", Tests for thermal and weathering properties of aggregates — Part 1: Determination of resistance to freezing and thawing

EN 1367-2, Tests for thermal and weathering properties of aggregates — Part 2: Magnesium sulfate test

EN 1367-4, Tests for thermal and weathering properties of aggregates — Part 4: Determination of drying shrinkage

EN 1744-1:1998, Tests for chemical properties of aggregates — Part 1: Chemical analysis

EN 1744-5, Tests for chemical properties of aggregates — Part 5: Determination of acid soluble chloride salts

EN 1744-6, Tests for chemical properties of aggregates — Part 6: Determination of the influence of recycled aggregate extract on the initial setting time of cement"

ISO 565:1990, Test sieves — Metal wire cloth, perforated metal plate and electroformed sheet — Nominal sizes of openings

3. Terms and definitions

For the purposes of this European Standard, the following terms and definitions apply.

3.1 aggregate

granular material used in construction. Aggregate may be natural, manufactured or re-cycled

3.2 natural aggregate

aggregate from mineral sources which has been subjected to nothing more than

mechanical processing

3.3 all-in aggregate

aggregate consisting of a mixture of coarse and fine aggregates

NOTE *It can be produced without separating into coarse and fine fractions or it may be produced by combining coarse and fine aggregate.*

3.4 manufactured aggregate

aggregate of mineral origin resulting from an industrial process involving thermal or other modification

3.5 recycled aggregate

aggregate resulting from the processing of inorganic material previously used in construction

3.6 filler aggregate

aggregate, most of which passes a 0,063 mm sieve, which can be added to construction materials to provide certain properties

NOTE *See 3.12 for the definition of "fines".*

3.7 aggregate size

designation of aggregate in terms of lower (d) and upper (D) sieve sizes expressed as d/D

NOTE *This designation accepts the presence of some particles which are retained on the upper sieve (oversize) and some which pass the lower sieve (undersize).*

3.8 fine aggregate

designation given to the smaller aggregate sizes with D less than or equal to 4 mm

NOTE *Fine aggregate can be produced from natural disintegration of rock or gravel and/or by the crushing of rock or gravel or processing of manufactured aggregate.*

3.9 coarse aggregate

designation given to the larger aggregate sizes with D greater than or equal to 4 mm and d greater than or equal to 2 mm

3.10 natural graded 0/8 mm aggregate

designation given to natural aggregate of glacial and/or fluvial origin with D less than or equal to 8 mm

NOTE *This aggregate can also be produced by blending processed aggregate.*

3.11 batch

production quantity, a delivery quantity, a partial delivery quantity (railway wagon-

load, lorry-load, ship's cargo) or a stockpile produced at one time under conditions that are presumed uniform

NOTE *With a continuous process the quantity produced during a specified period should be treated as a batch.*

3.12 fines

particle size fraction of an aggregate which passes the 0,063 mm sieve

3.13 category

level of a property of an aggregate expressed as a range of values or a limiting value

NOTE *There is no relationship between the categories of different properties.*

3.14 grading

particle size distribution expressed as the percentages by mass passing a specified set of sieves

4. Geometrical requirements

The necessity for testing and declaring all properties specified in this clause shall be limited according to the particular application at end use or origin of the aggregate. When required, the tests specified in clause 4 shall be carried out to determine appropriate geometrical properties.

NOTE 1. *When the value of a property is required but not defined by specified limits the value should be declared by the producer as an XX Declared category, e.g., in Table 8 a value of say 55 for the flakiness index corresponds to FI55 (Declared value).*

NOTE 2. *When a property is not required, a “No requirement” category can be used.*

NOTE 3. *Guidance on selection of appropriate categories for specific applications can be found in national provisions in the place of use of the aggregate.*

4.2 Aggregate sizes

All aggregates shall be described in terms of aggregate sizes using the designations d/D except for aggregates added as fillers which shall be specified as filler aggregate and shall comply with the grading requirements specified in 4.3.

Aggregate sizes shall be specified using a pair of sieve sizes selected from the basic set, or the basic set plus set 1, or the basic set plus set 2 in Table 1. A

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

combination of sizes from set 1 and set 2 is not permissible.

Aggregate sizes shall have D/d not less than 1,4.

Table 1: Sieve sizes for specifying aggregate sizes

Basic set mm	Basic set plus set 1 mm	Basic set plus set 2 mm
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
-	5,6 (5)	-
-	-	6,3 (6)
8	8	8
-	-	10
-	11,2 (11)	-
-	-	12,5 (12)
-	-	14
16	16	16
-	-	20
-	22,4 (22)	-
31,5 (32)	31,5 (32)	31,5 (32)
-	-	40
-	45	-
63	63	63

Παράρτημα 10 Πίνακας 1: Sieve sizes for specifying aggregate sizes Table 1

NOTE Rounded sizes shown in parentheses can be used as simplified descriptions of aggregate sizes.

4.3 Grading

4.3.1 General

The grading of the aggregate, when determined in accordance with EN 933-1, shall comply with the requirements of 4.3.1 to 4.3.6 as appropriate to its aggregate size d/D.

NOTE When aggregates of significantly different density are blended caution is necessary to avoid segregation.

When assessing aggregates within a system of factory production control at least 90 % of gradings, taken on different batches within a maximum period of 6 months, shall fall within the limits specified in 4.3.2 to 4.3.6 for tolerances on producers' declared typical gradings.

4.3.2 Coarse aggregates

All coarse aggregates shall comply with the general grading requirements specified in Table 2 appropriate to their size designation d/D and the selected categories from Table 2.

Table 2 — General grading requirements

Aggregate	Size	Percentage passing by mass					Category G^d
		$2D$	$1,4D^{a \& b}$	D^c	d^b	$d/2^{a \& b}$	
Coarse	$D/d \leq 2$ or $D \leq 11,2$ mm	100 100	98 to 100 98 to 100	85 to 99 80 to 99	0 to 20 0 to 20	0 to 5 0 to 5	$G_C85/20$ $G_C80/20$
	$D/d > 2$ and $D > 11,2$ mm	100	98 to 100	90 to 99	0 to 15	0 to 5	$G_C90/15$
Fine	$D \leq 4$ mm and $d = 0$	100	95 to 100	85 to 99	–	–	G_F85
Natural graded 0/8	$D = 8$ mm and $d = 0$	100	98 to 100	90 to 99	–	–	$G_{NG}90$
All-in	$D \leq 45$ mm and $d = 0$	100 100	98 to 100 98 to 100	90 to 99 85 to 99	–	–	G_A90 G_A85

^a Where the sieves calculated are not exact sieve numbers in the ISO 565:1990 R 20 series then the next nearest sieve size shall be adopted.
^b For gap graded concrete or other special uses additional requirements may be specified.
^c The percentage passing D may be greater than 99 % by mass but in such cases the producer shall document and declare the typical grading including the sieves D , d , $d/2$ and sieves in the basic set plus set 1 or basic set plus set 2 intermediate between d and D . Sieves with a ratio less than 1,4 times the next lower sieve may be excluded.
^d Other aggregate product standards have different requirements for categories.

Παράρτημα 10 Πίνακας 2: General grading requirements (table 2)

For graded coarse aggregates where:

- a) $D > 11,2$ mm and $D/d > 2$; or
- b) $D \leq 11,2$ mm and $D/d > 4$,

the following additional requirements (i) and (ii) shall apply for the percentage passing the mid-size sieve:

- i) all gradings shall comply with the overall limits given in Table 3;
- ii) the producer shall document and, on request, declare the typical grading passing the mid-size sieve and tolerances selected from the categories in Table 3.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Table 3 : Overall limits and tolerances for coarse aggregate grading at mid-size sieves

<i>D/d</i>	Mid-size sieve mm	Overall limits and tolerances at mid-size sieves (percentage)		Category G_T
		Overall limits	Tolerances on producer's	
<	$D/1,4$	25	± 15	G_T15
4	$D/2$	to	$\pm 17,5$	$G_T17,5$

Παράρτημα 10 Πίνακας 3: Table 3 : Overall limits and tolerances for coarse aggregate grading at mid-size sieves

Where the mid-size sieve calculated as above is not an exact sieve size in the ISO 565:1990/R20 series then the nearest sieve in the series shall be used.

NOTE Overall limits and tolerances for the most common product sizes are illustrated in annex A.

For single size coarse aggregates where:

- $D > 11,2$ mm and $D/d \leq 2$; or
- $D \leq 11,2$ mm and $D/d \leq 4$,

there shall be no requirements additional to those specified in Table 2.

4.3.3 Fine aggregate

Fine aggregates shall comply with the general grading requirements specified in Table 2 appropriate to their upper sieve size D.

The following additional requirements shall be applied to control the variability of the fine aggregate.

The producer shall document and, on request, declare the typical grading for each fine aggregate size produced. Typical grading is expressed as the percentage by mass of aggregate passing through the sieve sizes specified in Table 4.

NOTE: *Recommendations for the classification of coarseness of the fine aggregate are given in annex B (Tables B.1 and B.2)*

Fine aggregates in regular satisfactory use for most applications shall comply with the requirements specified in Table 4. When specified for special uses and cases where the variability of grading is reduced, the grading tolerances shall be applied in accordance with annex C.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Table 4 : Tolerances on producer's declared typical grading for general use fine aggregates

Sieve size mm	Tolerances in percentages passing by mass		
	0/4	0/2	0/1
4	± 5 ^a	—	—
2	—	± 5 ^a	—
1	± 20	± 20	± 5 ^a
0,250	± 20	± 25	± 25
0,063 ^b	± 3	± 5	± 5

Παράρτημα 10 Πίνακας 4: Table 4 : Tolerances on producer's declared typical grading for general use fine aggregates

a Tolerances of ± 5 are further limited by the requirements for the percentage passing D in Table 2.

b In addition to the tolerances stated the maximum value of the fines content for the category selected from Table 11 applies for the percentage passing the 0,063 mm sieve.

4.3.4 Natural graded 0/8 mm aggregate

Natural graded 0/8 mm aggregate shall comply with the general grading requirements specified in Table 2.

The following additional requirements shall be applied to control the variability of natural graded 0/8 mm aggregate:

- the producer shall document and, on request, declare the typical grading for each aggregate produced;
- gradings shall comply with the tolerances given in Table 5.

**Table 5 :Tolerances on producer's declared typical grading
for natural graded 0/8 mm aggregate**

Sieve size mm	Tolerances Percentages passing by mass
8	± 5
2	± 10
1	± 10
0,250	± 10
0,125	± 3
0,063	± 2

Παράρτημα 10 Πίνακας 5: Tolerances on producer's declared typical grading for natural graded 0/8 mm aggregate (table 5)

4.3.5 All-in aggregate

All-in aggregate shall be supplied as a mixture of coarse and fine aggregate with $D \leq 45$ mm and $d = 0$ and shall comply with the general grading requirements

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

for the category selected from Table 2.

All-in aggregates shall also comply with the requirements for the percentage passing the two intermediate sieves specified in Table 6 appropriate to their aggregate size.

Table 6 — Grading requirements for all-in aggregates

Aggregate size mm		Overall limits of the sieves indicated below (Percentage passing by mass)	
Basic set plus set 1	Basic set plus set 2	40 ± 20	70 ± 20
		For the sieve mm	
-	0/6,3	1	4
0/8	0/8	1	4
-	0/10	1	4
0/11,2 (11)	-	2	5,6 (5)
--	0/12,5 (12)	2	6,3 (6)
0/16	0/14	2	8
-	0/16	2	8
0/22,4 (22)	0/20	2	10
0/31,5 (32)	-	2	11,2 (11)
-0/45	0/31,5 (32)	4	16
	0/40	4	20
	-	4	22,4 (22)

NOTE Figures in parentheses can be used to provide simplified descriptions of aggregate sizes.

Παράρτημα 10 Πίνακας 6: Grading requirements for all-in aggregates(table 6)

4.3.6 Filler aggregate

The grading of filler aggregate determined in accordance with EN 933-10 shall conform to the limits specified in Table 7.

Table 7 — Grading requirements for filler aggregate

Sieve size mm	Percentage passing by mass	
	Overall range for individual results	Producer's maximum declared range ^a
2	100	-
0,	85 to 100	
12	70 to 100	1

Παράρτημα 10 Πίνακας 7: Grading requirements for filler aggregate (table 7)

^a Declared grading range on the basis of the last 20 values (see Table H.1, line 1). 90 % of the results shall be within this range, but all the results shall be within the overall grading range (see column 2 above).

4.3.7 Special use aggregate

When special aggregate gradings are required for a particular end use of the concrete, special grading envelopes shall be defined using the R 20 series of sieves

specified in ISO 565:1990 and incorporating the appropriate sieves from 0,063 mm; 0,125 mm; 0,250 mm; 0,500 mm; 1 mm; 2 mm; 4 mm; 8 mm; 16 mm; 31,5 mm and 63 mm.

4.4 Shape of coarse aggregate

When required the shape of coarse aggregates shall be determined in terms of the flakiness index, as specified in EN 933-3. The flakiness index shall be the reference test for the determination of the shape of coarse aggregates. The flakiness index shall be declared in accordance with the relevant category specified in Table 8 according to the particular application or end use.

Table 8 — Categories for maximum values of flakiness index

Flakiness Index	Category <i>FI</i>
≤ 15	<i>FI</i> ₁₅
≤ 20	<i>FI</i> ₂₀
≤ 35	<i>FI</i> ₃₅
≤ 50	<i>FI</i> ₅₀
> 50	<i>FI</i> _{Declared}
No requirement	<i>FI</i> _{NR}

Παράρτημα 10 Πίνακας 8: Categories for maximum values of flakiness index (table 8)

Where required, the shape index determined in accordance with EN 933-4, shall be declared in accordance with the relevant category specified in Table 9 according to the particular application or end use.

Table 9 : Categories for maximum values of shape index

Shape Index	Category <i>SI</i>
≤ 15	<i>SI</i> ₁₅
≤ 20	<i>SI</i> ₂₀
≤ 40	<i>SI</i> ₄₀
≤ 55	<i>SI</i> ₅₅
> 55	<i>SI</i> _{Declared}
No requirement	<i>SI</i> _{NR}

Παράρτημα 10 Πίνακας 9: Table 9 : Categories for maximum values of shape index

4.5 Shell content of coarse aggregate

When required, the shell content of coarse aggregate, determined in accordance with EN 933-7, shall be declared in accordance with the relevant category specified in Table 10 according to the particular application or end use.

Table 10: Category for maximum value of shell content of coarse aggregates

Shell content %	Category SC
≤ 10	SC_{10}
> 10	$SC_{Declared}$
No requirement	SC_{NR}

Παράρτημα 10 Πίνακας 10: Table 10: Category for maximum value of shell content of coarse aggregates

4.6 Fines content

The fines content, determined in accordance with EN 933-1, shall be declared in accordance with the relevant category specified in Table 11. The fines content of filler aggregate shall comply with the requirements of Table 7.

Table 11 : Categories for maximum values of fines content

Aggregate	0,063 mm sieve Percentage passing by mass	Category f
Coarse aggregate	$\leq 1,5$	$f_{1,5}$
	≤ 4	f_4
	> 4	$f_{Declared}$
	No requirement	f_{NR}
Natural graded 0/8 mm aggregate	≤ 3	f_3
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f_{16}
	> 16	$f_{Declared}$
	No requirement	f_{NR}
All-in aggregate	≤ 3	f_3
	≤ 11	f_{11}
	> 11	$f_{Declared}$
	No requirement	f_{NR}
Fine aggregate	≤ 3	f_3
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f_{16}
	≤ 22	f_{22}
	> 22	$f_{Declared}$
	No requirement	f_{NR}

Παράρτημα 10 Πίνακας 11: Table 11 : Categories for maximum values of fines content

4.7 Fines quality

The harmfulness of the fines in fine aggregate, including filler aggregate, shall be assessed in accordance with annex D.

5. Physical requirements

5.1 General

The necessity for testing and declaring all properties specified in this clause

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

shall be limited according to the particular application at end use or origin of the aggregate. When required, the tests specified in clause 5 shall be carried out to determine appropriate physical properties.

NOTE 1 *When the value of a property is required but not defined by specified limits the value should be declared by the producer as an XXDeclared category, e.g., in Table 12 a value of say 60 for the Los Angeles coefficient corresponds to LA60 (Declared value).*

NOTE 2 *When a property is not required, a “No requirement” category can be used.*

NOTE 3 *Guidance on selection of appropriate categories for specific applications can be found in national provisions in the place of use of the aggregate.*

5.2 Resistance to fragmentation of coarse aggregate

When required the resistance to fragmentation shall be determined in terms of the Los Angeles coefficient, as specified in EN 1097-2:1998, clause 5. The Los Angeles test method shall be the reference test for the determination of resistance to fragmentation. The Los Angeles coefficient shall be declared in accordance with the relevant category specified in Table 12 according to the particular application or end use.

Table 12: Categories for maximum values of Los Angeles coefficients

Los Angeles coefficient	Category LA
≤ 15	LA ₁₅
20	LA ₂₀
25	LA ₂₅
30	LA ₃₀
35	LA ₃₅
40	LA ₄₀
50	LA ₅₀
> 50	LA _{Declared}
No requirement	LA _{NR}

Παράρτημα 10 Πίνακας 12: Table 12: Categories for maximum values of Los Angeles coefficients

Where required, the impact value determined in accordance with EN 1097-

2:1998, clause 6, shall be declared in accordance with the relevant category specified in Table 13 according to the particular application or end use.

Table 13 : Categories for maximum values of resistance to impact

Impact value %	Category SZ
≤ 18	SZ ₁₈
≤ 22	SZ ₂₂
≤ 26	SZ ₂₆
≤ 32	SZ ₃₂
> 32	SZ _{Declared}
No requirement	SZ _{NR}

Παράρτημα 10 Πίνακας 13: Table 13 : Categories for maximum values of resistance to impact

5.3 Resistance to wear of coarse aggregate

When required the resistance to wear of coarse aggregate (micro-Deval coefficient, MDE) shall be determined in accordance with EN 1097-1. The micro-Deval coefficient shall be declared in accordance with the relevant category specified in Table 14 according to the particular application or end use.

Table 14: Categories for maximum values of resistance to wear

micro-Deval coefficient	Category M_{DE}
≤ 10	M_{DE10}
≤ 15	M_{DE15}
≤ 20	M_{DE20}
≤ 25	M_{DE25}
≤ 35	M_{DE35}
> 35	$M_{DEDeclared}$
No requirement	M_{DENR}

Παράρτημα 10 Πίνακας 14: Table 14: Categories for maximum values of resistance to wear

5.4 Resistance to polishing and abrasion of coarse aggregate to be used for surface courses

5.4.1 Resistance to polishing (polished stone value - PSV)

When required the resistance to polishing of coarse aggregate to be used for surface courses (polished stone value – PSV) shall be determined in accordance with EN 1097-8.

The resistance to polishing shall be declared in accordance with the relevant category specified in Table 15.

Table 15: Categories for minimum values of resistance to polishing

Polished stone value	Category <i>PSV</i>
≥ 68 ≥ 62 ≥ 56 ≥ 50 ≥ 44 Intermediate values and those < 44	PSV_{68} PSV_{62} PSV_{56} PSV_{50} PSV_{44} $PSV_{Declared}$
No requirement	PSV_{NR}

Παράρτημα 10 Πίνακας 15: Table 15:Categories for minimum values of resistance to polishing

5.4.2 Resistance to surface abrasion (aggregate abrasion value - AAV)

When required the resistance to surface abrasion (aggregate abrasion value - AAV), shall be determined in accordance with EN 1097-8:1999, annex A.

The resistance to surface abrasion shall be declared in accordance with the relevant category specified in Table 16.

Table 16:Categories for maximum values of resistance to surface abrasion

Aggregate abrasion value	Category <i>AAV</i>
≤ 10 ≤ 15 ≤ 20 Intermediate values and those > 20	AAV_{10} AAV_{15} AAV_{20} $AAV_{Declared}$
No requirement	AAV_{NR}

Παράρτημα 10 Πίνακας 16: Table 16:Categories for maximum values of resistance to surface abrasion

5.4.2 Resistance to abrasion from studded tyres

When required the resistance to abrasion from studded tyres (Nordic abrasion value - A_N), shall be determined in accordance with EN 1097-9. Resistance to abrasion from studded tyres, shall be declared in accordance with the relevant category specified in Table 17.

Table 17:Categories for maximum values of resistance to abrasion from studded tyres

Nordic abrasion value	Category A_N
≤ 7 ≤ 10 ≤ 14 ≤ 19 ≤ 30 Intermediate values and those > 30	A_{N7} A_{N10} A_{N14} A_{N19} A_{N30} $A_{NDeclared}$
No requirement	A_{NR}

Παράρτημα 10 Πίνακας 17: Table 17:Categories for maximum values of resistance to abrasion from studded tyres

5.5 Particle density and water absorption

When required the particle density and water absorption shall be determined in accordance with EN 1097-6 and the results declared on request stating the means of determination and the calculations used.

5.6 Bulk density

When required the bulk density shall be determined in accordance with EN 1097-3 and the results declared on request.

5.7 Durability

5.7.1 Freeze/thaw resistance of coarse aggregate

If frost resistant aggregates are required for concrete used in an environment subject to freezing and thawing, the resistance to freezing determined in accordance with EN 1367-1 or EN 1367-2 shall be declared in accordance with the relevant category specified in Table 18 or Table 19.

NOTE *Guidance on the use of aggregates in an environment that is subject to freezing and thawing is given in annex F. Advice on the use of the water absorption value as a screening test for freeze/thaw resistance is given in F.2.3.*

Table 18: Categories for maximum values of freeze-thaw resistance

Freeze-thaw Percentage loss of mass ^a	Category <i>F</i>
≤ 1	<i>F</i> ₁
≤ 2	<i>F</i> ₂
≤ 4	<i>F</i> ₄
> 4	<i>F</i> _{Declared}
No requirement	<i>F</i> _{NR}

^a In extreme situations of cold weather and/or salt or de-icing salt saturation, then tests using a salt solution or urea as detailed in EN 1367-1:2007, annex B, may be more appropriate. The limits in this table would not apply.

Παράρτημα 10 Πίνακας 18: Table 18: Categories for maximum values of freeze-thaw resistance

Table 19: Categories for maximum magnesium sulfate soundness

Magnesium sulfate value Percentage loss of mass	Category <i>MS</i>
≤ 18	<i>MS</i> ₁₈
≤ 25	<i>MS</i> ₂₅
≤ 35	<i>MS</i> ₃₅
> 35	<i>MS</i> _{Declared}
No requirement	<i>MS</i> _{NR}

Παράρτημα 10 Πίνακας 19: Table 19: Categories for maximum magnesium sulfate soundness

5.7.2 Volume stability - drying shrinkage

Where disruptive shrinkage cracking of concrete occurs due to the properties of the

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

aggregate, the drying shrinkage associated with aggregates to be used in structural concrete shall, when required, not exceed 0,075 % when tested in accordance with EN 1367-4 (in the case of recycled aggregate, see also Annex A)" and the results declared.

NOTE 1 *This requirement does not apply to positions where drying out never occurs, mass concrete surfaced with air entrained concrete, or to structural elements symmetrically and heavily reinforced and not exposed to the weather.*

NOTE 2 *Volume stability - expansion. In very rare circumstances, it is possible that recycled aggregate can contain expansive material such as un-slaked lime. Currently it is not possible to give requirements as no test methods are available.*

5.7.3 Alkali-silica reactivity

When required the alkali-silica reactivity of aggregates shall be assessed in accordance with the provisions valid in the place of use and the results declared.

NOTE *Guidance on the effects of alkali-silica reactivity, is given in annex G.*

5.8 Classification of the constituents of coarse recycled aggregates

The proportions of constituent materials in coarse recycled aggregate shall be determined in accordance with prEN 933-11 and shall be declared in accordance with the relevant categories specified in Table 20.

Table 20: Categories for constituents of coarse recycled aggregates

Constituent	Content Percentage by mass	Category
Rc	90	R
	80	C
	70	
	50	9
	< 50	0
	No requirement	Rc _{NR}
Rc + Ru	95	Rcu
	90	95
	70	Rcu
	50	90
	< 50	Rcu
		70

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

	No requirement	Rcu_{NR}
Rb	10	R
	30	b
	50	1
	> 50	0
	No requirement	Rb_{NR}
Ra	1	R
	5	a
	10	.
X + Rg	0,5	X
	1	R
	2	g
	Content cm ³ /Kg	
FL	0,2 ^a	F
	2	L
	5	0

^a The 0,2 category is intended only for special applications requiring high quality surface finish.

Παράρτημα 10 Πίνακας 20: Table 20: Categories for constituents of coarse recycled aggregates

where, according to prEN 933-11:

Constituent	Description
Rc	Concrete, concrete products, mortar Concrete masonry units
Ru	Unbound aggregate, natural stone Hydraulically bound aggregate
Rb	Clay masonry units (i.e. bricks and tiles) Calcium silicate masonry units Aerated non-floating concrete
Ra	Bituminous materials
FL	Floating material in volume
X	Other: Cohesive (i.e. clay and soil) Miscellaneous: metals (ferrous and non-ferrous), non-floating wood, plastic and rubber Gypsum plaster
Rg	Glass

6. Chemical requirements

6.1 General

The necessity for testing and declaring all properties specified in this clause shall be limited according to the particular application at end use or origin of the aggregate. When required, the tests specified in clause 6 shall be carried out to determine appropriate chemical properties.

NOTE 1 *When the value of a property is required but not defined by specified limits the value should be declared by the producer as an XXDeclared category, e.g., in !Table 21" a value of say 1,2 percent by mass for the acid-soluble sulfate content of air-cooled blast furnace slag corresponds to AS1,2 (Declared value).*

NOTE 2 *When a property is not required, a "No requirement" category can be used.*

NOTE 3 *Guidance on selection of appropriate categories for specific applications can be found in national provisions in the place of use of the aggregate.*

NOTE 4 *Guidance on the effects of chemical constituents in aggregates, including alkali-silica reactivity and lightweight organic contaminants related to the durability and surface properties of the concrete in which they are incorporated, is given in annex G.*

6.2 Chlorides

When required the water-soluble chloride ion content of aggregates for concrete shall be determined in accordance with EN 1744-1:1998, clause 7, and shall, on request, be declared by the producer.

NOTE *If the water-soluble chloride ion content of the combined aggregate is known to be 0,01 % or lower (e.g. for aggregates extracted from most inland quarries) this value can be used in the calculation of the chloride content of concrete.*

The acid-soluble chloride ion content of recycled aggregates for concrete shall be determined in accordance with EN 1744-5, and shall, on request, be declared by the producer.

6.3 Sulfur containing compounds

6.3.1 Acid-soluble sulfate

When required the acid-soluble sulfate content of the aggregates and filler aggregates for concrete determined in accordance with EN 1744-1:1998, clause 12, shall be declared in accordance with the relevant category specified in Table 21.

Table 21: Categories for maximum values of acid-soluble sulfate content

Aggregate	Acid soluble sulfate content Percentage by mass	Category AS
Aggregates other than air-cooled blast furnace slag	$\leq 0,2$	$AS_{0,2}$
	$\leq 0,8$	$AS_{0,8}$
	$> 0,8$	$AS_{Declared}$
	No requirement	AS_{NR}
Air-cooled blastfurnace slag	$\leq 1,0$	$AS_{1,0}$
	$> 1,0$	$AS_{Declared}$
	No requirement	AS_{NR}

Παράρτημα 10 Πίνακας 21: Table 21: Categories for maximum values of acid-soluble sulfate content

6.3.2 Total sulfur

When required the total sulfur content of the aggregates and filler aggregates, determined in accordance with EN 1744-1:1998, clause 11, shall not exceed:

- a) 2 % S by mass for air-cooled blastfurnace slag;
- b) 1 % S by mass for aggregates other than air-cooled blastfurnace slag.

Special precautions are necessary if pyrrhotite, (an unstable form of iron sulfide FeS), is present in the aggregate. If this mineral is known to be present, a maximum total sulfur content of 0,1 % as S shall apply.

6.3.3 Water soluble sulfate content of recycled aggregates

When required, the water soluble sulfate content of recycled aggregates determined in accordance with EN 1744-1, shall be declared in accordance with the relevant category specified in Table 22.

Table 22: Categories for maximum values of water-soluble sulfate content of recycled aggregates

Water-soluble sulfate content Percentage by mass	Category SS
0,2	$SS_{0,2}$
No requirement	SS_{NR}

Παράρτημα 10 Πίνακας 22: Table 22: Categories for maximum values of water-soluble sulfate content of recycled aggregates

6.4 Other constituents

6.4.1 Constituents which alter the rate of setting and hardening of concrete

Aggregates and filler aggregates that contain organic or other substances in proportions that alter the rate of setting and hardening of concrete shall be assessed for the effect on stiffening time and compressive strength in accordance with EN 1744-1:1998, 15.3.

The proportions of such materials shall be such that they do not:

- a) increase the stiffening time of mortar test specimens by more than 120 min;
- b) decrease the compressive strength of mortar test specimens by more than 20 % at 28 days.

The presence of organic matter shall be determined in accordance with EN 1744-1:1998, 15.1 (determination of humus content). If the results indicate a high humus content, the presence of fulvo acids shall be determined in accordance with EN 1744-1:1998, 15.2. If the supernatant liquid in these tests is lighter than the standard colours the aggregates shall be considered to be free from organic matter.

NOTE 1 *Some inorganic compounds which discolour the supernatant liquid in the humus content test do not adversely affect the setting and hardening of concrete.*

NOTE 2 *Sugars do not affect the colour of the supernatant liquid in the humus content test or the fulvo acid test. If it is suspected that sugars or sugar type materials are present, the aggregate should be tested using the mortar specimen test (see EN 1744-1:1998, 15.3). The stiffening time and compressive strength requirements shown above should apply.*

When required, the presence of lightweight contaminators that alter the rate of setting and hardening of concrete shall be tested in accordance with EN 1744-1.

When required, recycled aggregates shall be assessed for the influence of water-soluble materials from the aggregates on the initial setting time of cement paste in accordance with EN 1744-6. The change in initial setting time, t_e , shall conform to the requirements of Table 23.

Table 23: Categories for influence of water-soluble materials from recycled aggregates on the initial setting time of cement paste

Change in initial setting time, t_e (min)	Category (A)
≤ 10	A10
≤ 40	A40
> 40	A _{Declared}
No requirement	A _{NR}

Παράρτημα 10 Πίνακας 23: Table 23: Categories for influence of water-soluble materials from recycled aggregates on the initial setting time of cement paste

Two screening tests for the presence of organic matter are in common use, the sodium hydroxide test and the fulvo acid test (see EN 1744-1:1998, 15.1 and 15.2). Both tests may be applied to recycled aggregates. If the supernatant liquid in these tests is lighter than the standard colours the aggregates may be considered to be free from organic matter.

NOTE 3 *Sugars do not affect the colour of the supernatant liquid in the sodium hydroxide or the fulvo acid test. If it is suspected that sugars or sugar type materials are present, the aggregate should be tested using the water extract test (see EN 1744-6). The requirements for the influence on setting time shown above should apply.*

NOTE 4 *Constituents of recycled aggregates that may adversely affect the rate of setting and hardening of concrete may be inorganic, and therefore not detected by the procedures given in 15.3 of EN 1744-1:1998. The procedures given in EN 1744-6 should be used for recycled aggregates*

6.4.2 Constituents which affect the volume stability of air-cooled blastfurnace slag

6.4.2.1 Air-cooled blastfurnace slag aggregate shall be free from dicalcium silicate disintegration when tested in accordance with EN 1744-1:1998, 19.1.

6.4.2.2 Air-cooled blastfurnace slag aggregate shall be free from iron disintegration when tested in accordance with EN 1744-1:1998, 19.2.

6.5 Carbonate content of fine aggregates for concrete pavement surface courses

When it is required to control the carbonate content in fine aggregates for use in concrete surface courses, the carbonate content shall be determined as specified in "EN 196-2:2005", clause 5, with the test portion being prepared in accordance

with EN 1744-1:1998, 12.3 and the results declared.

7. Evaluation of conformity

7.1 General

The producer shall undertake initial type tests (see 7.2) and factory production control (see annex H) to ensure that the product conforms to this European Standard and to declared values as appropriate.

7.2 Initial type tests

Initial type tests relevant to the intended end use shall be carried out to check compliance with specified requirements in the following circumstances:

- a) a new source of aggregates is to be used.
- b) there is a major change in the nature of the raw materials or in the processing conditions which may affect the properties of the aggregates.

The results of the initial tests shall be documented as the starting point of the factory production control for that material. This shall particularly include the identification of any components likely to emit radiation above normal background levels, any components likely to release polyaromatic carbons or other dangerous substances. If the content of any of these components exceeds the limits in force according to the provisions valid in the place of use of the aggregate, the results of the initial tests shall be declared.

7.3 Factory production control

The producer shall have in place a system of factory production control that complies with the requirements of annex H.

The records held by the producer shall indicate what quality control procedures are in operation during the production of the aggregate.

NOTE *The form of control applied to any aggregate depends upon its intended use and the regulations relating to that use.*

8. Designation

8.1 Designation and description

Aggregates shall be identified in the following terms:

- a) source and manufacturer – if the material has been re-handled in a depot both source and depot shall be given;
- b) type of aggregate (see EN 932-3 and for recycled aggregate: "recycled aggregate")

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

- c) for recycled aggregate, the constituent categorization according to Table 20;
 d) aggregate size."

8.2 Additional information for the description of an aggregate

The necessity for other information depends on the situation and end use, for example:

- a) a code to relate the designation to the description;
 b) any other additional information needed to identify the particular aggregate.

NOTE The purchaser should inform the producer at the time of order of any special requirements associated with a particular end use and of requirements for extra information not covered in Table ZA.1a and Table ZA.1b.

9. Marking and labelling

The delivery ticket shall contain at least the following information:

- a) designation;
 b) date of dispatch;
 c) serial number of the ticket;
 d) the number of this European Standard.

NOTE For CE marking and labelling see clause ZA.3 in annex ZA.

Annex A (informative)

Illustration of grading requirements for most commonly used sizes for graded coarse aggregates

Table A.1: Overall limits and tolerances for coarse aggregate grading at mid-size sieves for basic set plus set 1 coarse aggregate product sizes (in millimetres)

Ratio D/d	Size/ Mid size	Value of d							Overall limits and tolerances at mid-size		
		2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	Overall limits	Tolerances on product	
		m	m	mm	m	mm				G_T	G_{T1}
2,8	Size	2/5,6	4/11,2	5,6/16	8/22,4	11,2/31,5	16/45	22,4/63	25 to 70	±	-
4,0	Size	2/8	4/16	5,6/24	8/31,5	11,2/45	16/63		25 to 70	-	±
5,6	Size	2/11,2	4/22,4	5,6/32	8/45	11,2/63			25 to 70	-	±
8,0	Size	2/16	4/31,5	5,6/45	8/63				25 to 70	-	±
11,2	Size	2/22,4	4/45	5,6/63					25 to 70	-	±

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

NOTE 1 The shaded box area indicates sizes not normally used.

NOTE 2 When a dash is shown against the mid-size there is no mid-size sieve applicable.

Παράρτημα 10 Πίνακας 24: Table A.1: Overall limits and tolerances for coarse aggregate grading at mid-size sieves for basic set plus set 1 coarse aggregate product sizes (in millimetres)

Table A.2: Overall limits and tolerances for coarse aggregate grading at mid-size sieves for basic set plus set 2 coarse aggregate product sizes (in millimetres)

Ratio <i>D/d</i>	Size/ Mid size	Value of d							Overall limits and tolerances at mid-size sieves		
		2	4	6,3	8	10	16	20	Overall limits	Tolerances on producer'	
		m	m	mm	m	mm	m	m		G_T	G_{T17}
2,5	Size	-	4/10	6,3/16	8/20	-	16/40	-	25 to 70	±	-
3,15	Size	2/6,3	4/12,5	6,3/20	-	10/31,5	-	20/63	25 to 70	±	-
4	Size	2/8	4/16	-	8/31,5	10/40	16/63	-	25 to 70	-	±
5	Size	2/10	4/20	6,3/31,5	8/40	-	-	-	25 to 70	-	±
8	Size	2/16	4/31,5	-	-	-	-	-	25 to 70	-	±
10	Size	2/20	4/40	-	-	-	-	-	25 to 70	-	±

NOTE 1 The shaded box area indicates sizes not normally used.

NOTE 2 When a dash is shown against the mid-size there is no mid-size sieve applicable.

Παράρτημα 10 Πίνακας 25: Table A.2: Overall limits and tolerances for coarse aggregate grading at mid-size sieves for basic set plus set 2 coarse aggregate product sizes (in millimetres)

Annex B (informative)

Guidance on the description of coarseness/fineness of fine aggregates

Tables B.1 and B.2 are provided where specifiers wish to additionally describe the coarseness or fineness of fine aggregates. Either of the tables, but not both, can be used for such descriptions.

In Tables B.1 and B.2, coarse graded fine aggregates are denoted by the letter C, medium grading by M and fine grading by F.

Additionally, when Table B.1 is selected, a P for percentage passing the 0,500 mm sieve is added after C, M or F (e.g. for medium grading MP).

Similarly when Table B.2 is selected an F for fineness modulus is added after C, M or F (e.g. for fine grading FF).

Table B.1:Coarseness or fineness based on the percentage passing the 0,500 mm sieve

Percentage passing by mass		
<i>CP</i>	<i>MP</i>	<i>FP</i>
5 to 45	30 to 70	55 to 100

Παράρτημα 10 Πίνακας 26: Table B.1:Coarseness or fineness based on the percentage passing the 0,500 mm sieve

Table B.2:Coarseness or fineness based on the fineness modulus

Fineness modulus		
<i>CF</i>	<i>MF</i>	<i>FF</i>
4,0 to 2,4	2,8 to 1,5	2,1 to 0,6

Παράρτημα 10 Πίνακας 27: Table B.2:Coarseness or fineness based on the fineness modulus

Fineness modulus (FM) is used to check constancy. Where additionally required the FM of a delivery should be within the limits of the declared FM \pm 0,50 or other specified limit.

NOTE *Fineness modulus (FM) is normally calculated as the sum of cumulative percentages by mass retained on the following sieves (mm) expressed as a percentage i.e.*

$$FM = \{(> 4) + (> 2) + (> 1) + (> 0,5) + (> 0,25) + (> 0,125)\} / 100$$

Annex C (normative)

**Reduced grading tolerances on producer's
declared typical grading for fine aggregate**

**Table C.1: Reduced tolerances on producer's declared
typical grading for fine aggregate**

Sieve size mm	Tolerances in percentage passing by mass		
	0/4	0/2	0/1
4	± 5	-±	-
2	-	5	-
1	± 10	± 10	± 5
0,250	± 10	± 15	± 15
0,063	± 3	± 5	± 5

NOTE See 4.3.3.

Παράρτημα 10 Πίνακας 28: Table C.1: Reduced tolerances on producer's declared typical grading for fine aggregate

Annex D (normative)

Assessment of fines

Fines shall be considered non-harmful when any of the four following conditions apply:

- the total fines content of the fine aggregate is less than 3 % or other value according to the provisions valid in the place of use of the aggregate;
- the sand equivalent value (SE) when tested in accordance with EN 933-8 exceeds a specified lower limit;
- the methylene blue test (MB) when tested in accordance with EN 933-9 gives a value less than a particular specified limit;
- equivalence of performance with known satisfactory aggregate is established or there is evidence of satisfactory use with no experience of problems.

The compliance requirements for sand equivalent and methylene blue tests on 0/2 mm fraction shall normally be expressed with a probability of 90 %.

NOTE *Precise limits cannot be universally fixed until there is further evidence using the test methods for different fine aggregates in some parts of Europe.*

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

The limits and/or categories should be established from experience of existing requirements of materials in local satisfactory use according to the provisions valid in the place of use of the aggregate.

Annex E (informative)

Guidance on the use of aggregates in concrete

E.1 Resistance to fragmentation of coarse aggregate

E.1.1 Aggregates usually have a higher strength than concrete, and for combinations of aggregates and cement with or without admixtures, which have a satisfactory service record, the normal control strengths obtained from production concrete generally provide a sufficient guide to aggregate strength. However, if very high strength concrete is required the strength of the aggregate can need to be considered.

E.1.2 A category LA15, LA20 or Impact SZ18 aggregate is generally only required in special cases (e.g. regions where studded tyres are in use or for special regional road finish requirements).

E.1.3 A category LA30 or Impact SZ22 aggregate can be required for road pavements and floor finishes which are subject to impact stresses. Aggregates with Los Angeles coefficients exceeding 40 should be assessed on the basis of experience of use.

E.2 Freezing and thawing resistance

E.2.1 The freezing and thawing resistance of concrete is related to the degree of water saturation, the constituent materials and their proportions used in concrete. The degree of air entrainment is a particularly important factor and it is therefore essential to assess the freezing and thawing resistance of concrete by testing samples of the concrete.

Annex F (informative)

Notes for guidance on the freezing and thawing resistance of aggregates

F.1 General

The susceptibility of an aggregate to damage from freezing and thawing action depends primarily on climate, end use, petrographic type and on the size distribution of the pores within the aggregate particles.

F.1.1 Climate

The severity of any damage is related to the frequency of freeze thaw cycles, the degrees of freezing and thawing and the degree of saturation of the aggregate particles.

F.1.2 End Use

Aggregates are susceptible to damage from freezing and thawing action under partially or fully saturated environmental conditions or in high humidity situations. The risk of damage is significantly increased where the aggregate is exposed to seawater or to the action of de-icing salts.

F.1.3 Petrographic type

Freezing and thawing resistance is related to the strength of the aggregate particles and to the size and distribution of the pores or other discontinuities within the particles.

F.2 Testing

F.2.1 Indicative tests

Tests that can give an indication of freeze-thaw susceptibility include either petrographical examination or one of the physical tests indicated below. Aggregates complying with the requirements of any one of these tests can be considered freeze-thaw resistant.

F.2.2 Petrographic examination

A petrographic examination of the aggregate according to the procedure specified in EN 932-3 can give an indication of the presence of weak and/or highly absorptive particles that can be susceptible to damage from freeze-thaw action. Where the presence of such particles is observed or suspected one of the physical tests given in F.2.3 and F.2.4 can be used to assess freeze-thaw resistance of the aggregate.

Susceptible aggregates derived from highly weathered rocks and some conglomerates and breccias can include for example some or all of the following: schist, mica schist, phyllite, chalk, marl, shale, porous flint, altered porous basalt or particles loosely cemented by clay minerals.

F.2.3 Water absorption

When the water absorption of the aggregate determined in accordance with EN 1097-6 is not greater than 1 % the aggregate can be considered resistant to freeze-thaw attack. However, many satisfactory aggregates have higher absorption

values.

For example some Jurassic limestones and sandstones frequently have absorption values in excess of 4 % whilst blastfurnace slags, Permian limestones, dolomites and Carboniferous sandstones frequently have absorption values in excess of 2 % but these materials can still have adequate freeze-thaw resistance.

With some aggregates containing a proportion of microporous flint aggregate sources the differentiation between satisfactory and unsatisfactory freeze-thaw durability can be better assessed by density measurements rather than water absorption.

F.2.4 Other indicative tests

Either a freeze-thaw value determined in accordance with EN 1367-1 or a magnesium sulfate value determined in accordance with EN 1367-2 can be applied to assess the freeze-thaw resistance of an aggregate. The magnesium sulfate test is considered most appropriate for situations where the aggregate may be exposed to seawater or de-icing salts.

NOTE *In extreme situations of cold weather and/or salt or de-icing salt saturation, then tests using a salt solution or urea as detailed in "EN 1367-1:2007", annex B, can be more appropriate.*

It is also possible to verify the freeze-thaw resistance of an aggregate by using a test on concrete.

The magnesium sulfate test is unsuitable for recycled aggregates with cement-bound fractions.

F.3 Selection of category

Where a satisfactory service record for the performance of an aggregate under similar conditions of use to which intended is available, the aggregate can be deemed acceptable. In cases where a satisfactory record is not available and testing is deemed necessary, the environmental conditions, end use and climate can be used to select an appropriate category from Table F.1. The selected category can then be used in conjunction with 5.7.1 to set the required level of freeze/thaw resistance or magnesium sulfate soundness.

Table F.1: Freeze-thaw severity category related to climate and end use

Environmental conditions	Climate		
	Mediterranean	Atlantic	Continental ^a
Frost free or dry situation	Not required	Not required	Not required
Partial saturation, no salt	Not required	F_4 or MS_{35}	F_2 or MS_{25}
Saturated, no salt	Not required	F_2 or MS_{25}	F_1 or MS_{18}
Salt (seawater or road surfaces)	F_4 or MS_{35}	F_2 or MS_{25}	F_1 or MS_{18}
Airfield surfacings	F_2 or MS_{25}	F_1 or MS_{18}	F_1 or MS_{18}

^a The Continental category could also apply to Iceland, parts of Scandinavia and to mountainous regions where severe winter weather conditions are experienced.

Παράρτημα 10 Πίνακας 29: Table F.1: Freeze-thaw severity category related to climate and end use

Annex G (informative)

Guidance on the effects of some chemical constituents of aggregates on the durability of concrete in which they are incorporated

G.1 Chlorides

G.1.1 Chlorides in natural aggregates

Chlorides can be present in aggregates usually as sodium and potassium salts, the quantity present being largely dependent on the source of the aggregate. Such salts contribute to the total chloride and alkali content of the concrete. To minimise the risk of corrosion of embedded metal it is usual to limit the total quantity of chloride ion contributed by all the constituent materials in the concrete.

The water-soluble chloride ion content of aggregates extracted from most inland deposits is likely to be very low. Where it can be shown that the chloride content of such materials is not greater than 0,01 % this value can be used in the calculation procedure based on the maximum chloride contents of the constituent materials in the concrete.

G.1.2 Chlorides in recycled aggregates

For recycled aggregates, particularly those containing hardened concrete or mortar, chlorides may be combined in the calcium aluminate and other phases. The combined chlorides are unlikely to be extracted using water in the procedures described in Clause 7 of EN 1744-1:1998 even if the sample is ground to a fine

powder before extraction.

For most recycled aggregates, chloride ion contents are likely to be low. The acid-soluble chloride content, determined in accordance with EN 1744-5, will probably overestimate the availability of chlorides and this value should be used in the calculation of the chloride ion content of the concrete. This may provide an additional margin of safety

G.2 Sulfates

Sulfates in aggregates can give rise to expansive disruption of the concrete. A substantial proportion of the sulfate in crystalline blast-furnace slag is encapsulated in the slag grains and therefore plays no part in the hydration reactions of cement. For this reason a higher proportion of sulfate is tolerable in slag. Under certain circumstances other sulfur compounds present in the aggregates can oxidise in the concrete to produce sulfates. These can also give rise to expansive disruption of concrete.

Water-soluble sulfates in recycled aggregates determined in accordance with EN 1744-1 are essentially potentially reactive sulfates (e.g. gypsum plaster) and may also give rise to expansive disruption of concrete

G.3 Alkali-silica reaction

G.3.1 Alkali-silica reaction with natural aggregates

Certain aggregates can react with alkaline hydroxides present in the pore fluids of concrete. Under adverse conditions and in the presence of moisture this can lead to expansion and subsequent cracking or disruption of the concrete. The most common form of reaction occurs between alkalis and certain forms of silica (alkali-silica reaction). Another less common form of reaction is alkali-carbonate reaction.

In the absence of previous long-term experience of a lack of disruptive reactivity of a particular combination of cement and aggregate, it can be necessary to take one of the following precautions:

- limit the total alkali content of the concrete mix;
- use a cement with a low effective alkali content;
- use a non-reactive aggregate combination;
- limit the degree of saturation of the concrete with water.

The combination of aggregates and cement can be assessed using Regulations applying at the place of use when compliance with one of the above procedures is

not possible.

Where aggregates are imported across national boundaries, the purchaser should take account of experience in the country of origin.

NOTE *For further information see CEN Report CR1901 "Regional specifications and recommendations for the avoidance of alkali-silica reactions in concrete.*

G.3.2 Alkali-silica reaction with recycled aggregates

The use of recycled aggregates can influence the suitability of the above precautions. In the case of recycled concrete aggregates, it will be necessary to ascertain that the original concrete does not contain reactive (or reacting) aggregate and, where the alkali content of the new concrete (or the cement therein) is being limited, the alkali content of the recycled concrete aggregates will need to be determined and taken into account. In the case of general recycled aggregates, it will be appropriate to regard the material as being a potentially reactive aggregate, unless it has been specifically established to be non-reactive. In both cases, the possibility of unpredictable compositional variability should be considered."

G.4 Constituents affecting the surface finish of concrete

Where appearance is an essential feature of concrete, aggregates should not contain materials in proportions that adversely affect surface quality or durability.

NOTE *Since very small percentages by mass of contaminators in aggregates can have a considerable effect on concrete finishes, attention should be given to the suitability of a source for a particular end use.*

The proportion of lightweight organic contaminators, determined in accordance with EN 1744-1:1998, 14.2, should not normally exceed:

- a) 0,5 % by mass of fine aggregate; or
- b) 0,1 % by mass of coarse aggregate.

Where the surface of concrete is of importance, the proportion of lightweight organic contaminators, determined in accordance with EN 1744-1:1998, 14.2, should not normally exceed:

- a) 0,25 % by mass of fine aggregate; or
- b) 0,05 % by mass of coarse aggregate.

In some situations, for example critical fair faced concrete, it can be necessary to make additional agreements on levels of lightweight organic contaminators.

Some constituents of aggregates can adversely affect the surface finish of concrete causing staining, discoloration, swelling or pop-outs if present close to the surface of the concrete. Reactive iron sulfide and lignite are two examples of materials that can affect concrete in this way.

G.5 Constituents affecting the setting and hardening of concrete

Other constituents of aggregates can adversely affect the rate of hydration of cement altering the rate of setting and hardening of concrete. Humus and sugar-type materials are two examples of substances that have such an effect. Some clay minerals also adversely affect the rate of development of strength, the strength and the durability of concrete in which they are incorporated.

Constituents of recycled aggregates that can adversely affect the rate of setting and hardening of concrete can be inorganic, and therefore not detected by the procedures given in 15.3 of EN 1744-1:1998. The procedures given in EN 1744-6 should be used for recycled aggregates."

G.6 Constituents of air-cooled blastfurnace slag

Some constituents of air-cooled blastfurnace slag can adversely affect its volume stability when used as aggregates for concrete. However, air-cooled blastfurnace slag from modern production units is less likely to be unsound in this way.

Annex H (normative)

Factory production control

H.1 Introduction

This annex specifies a factory production control system for aggregates to ensure that they conform to the relevant requirements of this standard.

The performance of the factory production control system shall be assessed according to the principles used in this annex.

H.2 Organization

H.2.1 Responsibility and authority

The responsibility, authority and the interrelation between all personnel who manage, perform and check work affecting quality shall be defined, including personnel who need organizational freedom and authority to:

- a) initiate action to prevent the occurrence of product non-conformity;
- b) identify, record and deal with any product quality deviations.

H.2.2 Management representative for factory production control

For every aggregate producing plant the producer shall appoint a person with appropriate authority to ensure that the requirements given in this annex are implemented and maintained.

H.2.3 Management review

The factory production control system adopted to satisfy the requirements of this annex shall be audited and reviewed at appropriate intervals by management to ensure its continuing suitability and effectiveness. Records of such reviews shall be maintained.

H.3 Control procedures

The producer shall establish and maintain a factory production control manual setting out the procedures by which the requirements for factory production control are satisfied.

H.3.1 Document and data control

Document and data control shall include those documents and data that are relevant to the requirements of this standard covering purchasing, processing, inspection of materials and the factory production control system documents.

A procedure concerning the management of documents and data shall be documented in the production control manual covering procedures and responsibilities for approval, issue, distribution and administration of internal and external documentation and data; and the preparation, issue and recording of changes to documentation.

H.3.2 Sub-contract services

If any part of the operation is sub-contracted by the producer a means of control shall be established. The producer shall retain overall responsibility for any parts of the operation sub-contracted.

H.3.3 Knowledge of the raw material

There shall be documentation detailing the nature of the raw material, its source and where appropriate, one or more maps showing the location and extraction plan.

It is the producer's responsibility to ensure that if any dangerous substances are identified their content does not exceed the limits in force according to the

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

provisions valid in the place of use of the aggregate.

NOTE 1: Most of the dangerous substances defined in Council Directive 76/769/EEC are not usually present in most sources of aggregates of mineral origin. However Note in ZA. 1 of annex ZA is drawn to the attention of the aggregates producer.

Additionally for recycled aggregates there shall be a documented input control of raw material to be recycled.

NOTE 2: *The input control procedures for recycling should identify:*

- *nature of the raw material,*
- *source and place of origin,*
- *supplier and transporting agent.*

NOTE 3: *For recycled aggregates, the processing depot will suffice for the source."*

H.4 Management of production

The factory production control system shall fulfil the following requirements:

- a) there shall be procedures to identify and control the materials.

NOTE *These can include procedures for maintaining and adjusting processing equipment, inspection or testing material sampled during processing, modifying the process during bad weather, etc.*

- b) there shall be procedures to identify and control any hazardous materials identified in H.3.3 to ensure that they do not exceed the limits in force according to the provisions valid in the place of use of the aggregate.

- c) there shall be procedures to ensure that material is put into stock in a controlled manner and the storage locations and their contents are identified.

- d) there shall be procedures to ensure that material taken from stock has not deteriorated in such a way that its conformity is compromised.

- e) the product shall be identifiable up to the point of sale as regards source and type.

H.5 Inspection and test

H.5.1 General

The producer shall make available all the necessary facilities, equipment and trained personnel to carry out the required inspections and tests.

H.5.2 Equipment

The producer shall be responsible for the control, calibration and

maintenance of inspection, measuring and test equipment.

Accuracy and frequency of calibration shall be in accordance with EN 932-5.

Equipment shall be used in accordance with documented procedures.

Equipment shall be uniquely identified.

Calibration records shall be retained.

H.5.3 Frequency and location of inspection, sampling and tests

The production control document shall describe the frequency and nature of inspections. The frequency of sampling and the tests when required shall be carried out for the relevant characteristics as specified in Tables H.1, H.2 and H.3.

NOTE 1 *Test frequencies are generally related to periods of production. A period of production is defined as a full week, month or year of production working days.*

NOTE 2 *The requirements for factory production control can introduce visual inspection. Any deviations indicated by these inspections can lead to increased test frequencies.*

NOTE 3 *When the measured value is close to a specified limit the frequency may need to be increased.*

NOTE 4 *Under special conditions the test frequencies can be decreased below those given in Tables H.1, H.2 and H.3. These conditions could be:*

- a) highly automated production equipment;*
- b) long-term experience with consistency of special properties;*
- c) sources of high conformity;*
- d) running a Quality Management System with exceptional measures for surveillance and monitoring of the production process.*

The producer shall prepare a schedule of test frequencies taking into account the minimum requirements of Tables H.1, H.2 and H.3.

Reasons for decreasing the test frequencies shall be stated in the factory production control document.

H.6 Records

The results of factory production control shall be recorded including sampling locations, dates and times and product tested with any other relevant information, e.g. weather conditions.

NOTE 1 *Some characteristics can be shared by several products, in which case the producer, based on his experience, can find it possible to apply the results of*

one test to more than one product. This is particularly the case when a product is the combination of two or more different sizes. The particle size distribution or the cleanliness should be checked in case the intrinsic characteristics may have changed.

Where the product inspected or tested does not satisfy the requirement laid down in the specification, or if there is an indication that it shall not do so, a note shall be made in the records of the steps taken to deal with the situation (e.g. carrying out of a new test and/or measures to correct the production process).

The records required by all the clauses of this annex shall be included.

The records shall be kept for at least the statutory period.

NOTE 2 *“Statutory period” is the period of time records are required to be kept in accordance with Regulations applying at the place of production.*

H.7 Control of non-conforming product

Following an inspection or test that indicates that a product does not conform the affected material shall be:

- a) reprocessed; or
- b) diverted to another application for which it is suitable; or
- c) rejected and marked as non-conforming.

All cases of non-conformity shall be recorded by the producer, investigated and if necessary corrective action shall be taken.

NOTE *Corrective actions can include:*

- a) *investigation of the cause of non-conformity including an examination of the testing procedure and making any necessary adjustments;*
- b) *analysis of processes, operations, quality records, service reports and customer complaints to detect and eliminate potential causes of non-conformity;*
- c) *initiating preventive actions to deal with problems to a level corresponding to the risks encountered;*
- d) *applying controls to ensure that effective corrective actions are taken;*
- e) *implementing and recording changes in procedures resulting from corrective action.*

H.8 Handling, storage and conditioning in production areas

The producer shall make the necessary arrangements to maintain the quality of the product during handling and storage.

NOTE *These arrangements should take account of the following:*

- a) *contamination of product;*
- b) *segregation;*
- c) *cleanliness of handling equipment and stocking areas.*

H.9 Transport and packaging

H.9.1 Transport

The producer's factory production control system shall identify the extent of his responsibility in relation to storage and delivery.

NOTE *When aggregates are transported in bulk it can be necessary to cover or contain aggregates to reduce contamination.*

H.9.2 Packaging

If aggregates are packaged the methods and materials used shall not contaminate or degrade the aggregate to the extent that the properties are significantly changed before the aggregate is removed from the packaging. Any precautions necessary to achieve this during handling and storage of the packaged aggregate shall be marked on the packaging or accompanying documents.

H.10 Training of personnel

The producer shall establish and maintain procedures for the training of all personnel involved in the factory production system. Appropriate records of training shall be maintained.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Table H.1: Minimum test frequencies for general properties

Property	Clause	Notes/ references	Test method	Minimum test frequency
Grading	4.3.1 4.3.6		EN 933-1 EN 933-10	1 per week
Shape of coarse aggregate	4.4	Test frequency applies to crushed aggregates. Test frequency for uncrushed gravel depends on the source and may be reduced	EN 933-3 EN 933-4	1 per month
Fines content	4.6		EN 933-1	1 per week
Fines quality	4.6	Only when required in accordance with the conditions specified in annex D.	EN 933-8 EN 933-9	1 per week
Particle density and water	5.5		EN 1097-6	1 per year
Alkali-silica reactivity	5.7.3		a	When required and in case of doubt
Petrographic description	8.1		EN 932-3	1 per 3 years
Dangerous substances ^b In particular: Emission of radioactivity Release of heavy	H.3.3 H.4	b	b	When required and in case of doubt

Παράρτημα 10 Πίνακας 30: Table H.1: Minimum test frequencies for general properties

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Table H.2: Minimum test frequencies for properties specific to end use

Property	Clause	Notes/ references	Test method	Minimum test frequency
1 Resistance to fragmentation	5.2	For high strength concrete	EN 1097-2	2 per year
2 Resistance to wear	5.3	Aggregates for surface courses only	EN 1097-1	1 per 2 years
3 Polishing resistance	5.4	Aggregates for surface courses only	EN 1097-8	1 per 2 years
4 Resistance to surface abrasion	5.4.2	Aggregates for surface courses only	EN 1097-8:1999, annex A	1 per 2 years
5 Resistance to abrasion from studded tyres	5.4.3	Only in regions where studded tyres are used.	EN 1097-9	1 per 2 years
6 Freezing and thawing	5.7.1		EN 1367-1 or EN 1367-2	1 per 2 years
7 Chloride content	6.2	For marine aggregates see Table H.3	EN 1744-1:1998, clause 7	1 per 2 years
8 Calcium carbonate content	6.5	Fine aggregate for concrete surface courses	EN 1744-1:1998, 12.3 ■ EN 196-2:2005, clause 5	1 per 2 years

Παράρτημα 10 Πίνακας 31: Table H.2: Minimum test frequencies for properties specific to end use

Property	Clause	Notes/ references	Test method	Minimum test frequency
1 Shell content	4.5	Coarse aggregates of marine origin	EN 933-7	1 per year
2 Volume stability - Drying shrinkage	5.7.2		EN 1367-4	1 per 5 years
3 Chloride content	6.2	Aggregates of marine origin Recycled aggregates	EN 1744-1:1998, Clause 7 EN 1744-5	1 per week 2 per year
4 Sulfur compounds containing	6.3	Blastfurnace slag and recycled aggregates Aggregates other than air-cooled blastfurnace slag and recycled aggregates	EN 1744-1:1998, Clause 12 EN 1744-1:1998, Clause 12	2 per year 1 per year
5 Organic substances: - humus content - fulvo acid (when indicated humus content is high) - comparative strength test - stiffening time - lightweight organic contaminators	6.4.1		EN 1744-1:1998, 15.1 EN 1744-1:1998, 15.2 EN 1744-1:1998, 15.3 EN 1744-1:1998, 14.2	1 per year 1 per year 1 per year 2 per year
6 Dicalcium silicate disintegration	6.4.2.1	Blastfurnace slag only	EN 1744-1:1998, 19.1	2 per year
7 Iron disintegration	6.4.2.2	Blastfurnace slag only	EN 1744-1:1998, 19.2	2 per year
8 Influence on initial setting time of cement	6.4.1	Recycled aggregates only	EN 1744-6	2 per year
9 Constituents of coarse recycled aggregates	5.8	Coarse recycled aggregates only	prEN 933-11	1 per month
10 Particle density and water absorption	5.5	Coarse recycled aggregates only	EN 1097-6	1 per month
11 Water-soluble sulfate	6.3	Recycled aggregates only	EN 1744-1	1 per month

^a For recycled aggregates, the source can be considered as the processing depot.

Παράρτημα 10 Πίνακας 32: Table H.3: Minimum test frequencies for properties appropriate to aggregates from particular sources

Annex ZA (informative)

Clauses of this European Standard addressing essential requirements or other provisions of EU Directives

ZA.1 Scope and relevant characteristics

This European Standard and this annex ZA have been prepared under a mandate¹ given to CEN by the European Commission and the European Free Trade Association.

The clauses of this European Standard shown in this annex meet the requirements of the Mandate given under the EU Construction Products Directive (89/106/EEC).

Compliance with these clauses confers a presumption of fitness of the aggregates and fillers covered by this European Standard for their intended uses indicated herein; reference shall be made to the information accompanying the CE marking.

WARNING: Other requirements and other EU Directives, not affecting the fitness for intended uses, can be applicable to aggregates and fillers falling within the scope of this annex.

NOTE *In addition to any specific clauses relating to dangerous substances contained in this standard there may be other requirements applicable to the products falling within its scope (e.g. transposed European legislation and national laws, regulations and administrative provisions). In order to meet the provisions of the EU Construction Products Directive these requirements need also to be complied with when and where they apply. Note: an informative database of European and national provisions on dangerous substances is available at the Construction web site on EUROPA (CREATE, accessed through <http://europa.eu.int>).*

Table ZA.1a :Scope and relevant requirement clauses

Product: Aggregates obtained by processing natural, manufactured or recycled materials and mixtures of these aggregates as covered by the scope of this standard			
Intended use(s): Preparation of concrete for use in buildings, roads and other civil engineering works			
Essential Characteristics	Requirement clauses in this and/or another standard(s)	Level(s) and/or class(es):	Notes
Particle shape, size and density	4.2 Aggregate size	None	Designation (<i>d/D</i>)
	4.3 Grading	None	Tolerance/ category
	4.4 Shape of coarse aggregate	None	Category
	5.5 Particle density and water absorption	None	Declared value
Cleanliness	4.5 Shell content of coarse aggregate	None	Category
	4.6 Fines	None	Category
Resistance to fragmentation/crushing	5.2 Resistance to fragmentation of coarse aggregate	None	Category

Παράρτημα 10 Πίνακας 33: Table ZA.1a :Scope and relevant requirement clauses

Αυτοσυμπυκνωμένο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Table ZA.1a : Scope and relevant requirement clauses (continued)

Product: Aggregates obtained by processing natural, manufactured or recycled materials and mixtures of these aggregates as covered by the scope of this standard Intended use(s): Preparation of concrete for use in buildings, roads and other civil engineering works			
Essential Characteristics	Requirement clauses in this and/or another standard(s)	Level(s) and/or class(es):	Notes
Resistance to polishing/abrasion/wear	5.3 Resistance to wear of coarse aggregate 5.4.1 Resistance to polishing 5.4.2 Resistance to surface abrasion 5.4.3 Resistance to abrasion from studded tyres	None None None None	Category Category Category Category
■ Composition/content	5.8 Constituents of coarse recycled aggregates 6.2 Chlorides 6.3.1 Acid soluble sulfates 6.3.2 Total sulfur 6.3.3 Water-soluble sulfate content of recycled aggregates 6.4.1 Constituents of natural aggregates which alter the rate of setting and hardening of concrete 6.4.1 Influence on initial setting time of cement (recycled aggregates) 6.5 Carbonate content of fine aggregate for concrete pavement surface courses	None None None None None None None	Categories Declared value Category Pass/fail threshold value Category Pass/fail threshold value Category Declared value **
Volume stability	5.7.2 Volume stability - drying shrinkage 6.4.2 Constituents which affect the volume stability of air-cooled blastfurnace slag	None None	Pass/fail threshold value Pass/fail threshold value
Water absorption	5.5 Particle density and water absorption	None	Declared value
Dangerous substances: Emission of radioactivity (for aggregates from radioactive sources intended for use in concrete in buildings) Release of heavy metals Release of polyaromatic carbons Release of other dangerous substances	NOTE in ZA.1 above H.3.3 Knowledge of the raw material H.4 Management of the production	None	Third paragraph of ZA.3
Durability against freeze-thaw	5.7.1 Freeze/thaw resistance of coarse aggregate	None	Categories
Durability against alkali-silica reactivity	5.7.3 Alkali-silica reactivity	None	Declared value

Παράρτημα 10 Πίνακας 34: Table ZA.1a : Scope and relevant requirement clauses (continued)

Table ZA 1b : Scope and relevant requirement clauses

Product: Fillers obtained by processing natural, manufactured or recycled materials and mixtures of these aggregates			
Intended use(s): Preparation of concrete for use in buildings, roads and other civil engineering works			
Essential Characteristics	Requirement clauses in this and/or another standard(s)	Level(s) and/or class(es):	Notes
Fineness/particle size and density	4.3.6 Filler aggregate	None	Pass/fail threshold value
	5.5 Particle density and water absorption	None	Declared value
Composition/content	6.2 Chlorides	None	Declared value
	6.3.1 Acid soluble sulfate	None	Categories
	6.3.2 Total sulfur	None	Pass/fail threshold value
	6.4.1 Constituents which alter the rate of setting and hardening of concrete	None	Pass/fail threshold value
Cleanliness	4.6 Fines	None	Category
Volume stability	5.7.2 Volume stability - drying shrinkage	None	Pass/fail threshold value
	6.4.2 Constituents which affect the volume stability of air-cooled blastfurnace slag	None	Declared value
Release of other dangerous substances	NOTE in ZA.1 above H.3.3 Knowledge of the raw material H.4 Management of the production		Third paragraph of ZA.3
Durability against freeze-thaw	5.7.1 Freeze/thaw resistance of coarse aggregate	None	Category

Παράρτημα 10 Πίνακας 35: Table ZA 1b : Scope and relevant requirement clauses

The requirement on a certain characteristic is not applicable in those Member States (MSs) where there are no regulatory requirements on that characteristic for the intended use of the product. In this case, producers placing their products on the market of these MSs are not obliged to determine nor declare the performance of their products with regard to this characteristic and the option “No performance determined” (NPD) in the information accompanying the CE marking (see Clause ZA.3) may be used. The NPD option may not be used, however, where the characteristic is subject to a threshold level.

ZA.2 Procedures for attestation of conformity of aggregates and fillers

ZA.2.1 System(s) of attestation of conformity

The systems of attestation of conformity for the aggregates and fillers indicated in Table ZA.1a and Table ZA.1b, in accordance with the decision of the Commission 98/598/EC of 9 October 1998 as given in Annex 3 of the mandate M125 "Aggregates", as amended, is shown in Tables ZA.2a and ZA.2b for the indicated intended use(s):

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

The system of attestation of conformity for the aggregates and fillers indicated in Table ZA.1a and Table ZA.1b, in accordance with the decision of the Commission 96/579/EC of 24 June 1996 as given in Annex 3 of the mandate M125 "Aggregates", is shown in Tables ZA.2a and ZA.2b for the indicated intended use(s):

Table ZA.2a: System(s) of attestation of conformity for aggregates and fillers for uses with high safety requirements² (where third party intervention is required)

Product(s)	Intended use(s)	Level(s) or class(es)	Attestation of conformity
Aggregates for concrete, mortar and grout	In buildings, roads and other civil engineering	-	2+
Fillers for concrete mortar and grout	In buildings, the manufacturing of precast concrete products, for roads and other civil	-	2+

System 2+: See Directive 89/106/EEC (CPD) Annex III.2.(ii), First possibility, including certification of the factory production control by an approved body on the basis of initial inspection of factory and of factory production control as well as of continuous surveillance, assessment and approval of factory production control

Παράρτημα 10 Πίνακας 36: Table ZA.2a: System(s) of attestation of conformity for aggregates and fillers for uses with high safety requirements² (where third party intervention is required)

Table ZA.2b – System(s) of attestation of conformity for aggregates and fillers for uses without high safety requirements^{2*} (where no third party intervention is required)

Product(s)	Intended use(s)	Level(s) or class(es)	Attestation of conformity
Aggregates for concrete, mortar and grout	In buildings, roads and other civil engineering	-	4
Fillers for concrete mortar and grout	In buildings, the manufacturing of precast concrete products, for roads and other civil	-	4

System 4: See Directive 89/106/EEC (CPD) Annex III.2.(ii), Third possibility

Παράρτημα 10 Πίνακας 37: Table ZA.2b – System(s) of attestation of conformity for aggregates and fillers for uses without high safety requirements^{2*} (where no third party intervention is required)

The attestation of conformity of the aggregates and fillers in Table ZA.1a and Table ZA.1b shall be based on the evaluation of conformity procedures indicated in table(s) ZA.3a and Table ZA.3b. resulting from application of the clauses of this European Standard indicated therein.

^{2*} Safety requirements are defined by Member States in their national laws, regulations and administrative provisions.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Table ZA.3a – Assignment of evaluation of conformity tasks (for aggregates and fillers under system 2+)

Tasks		Coverage of the task	Clauses to apply
Tasks for the producer	Factory production control (F.P.C)	Parameters related to all relevant characteristics of	7.3
	Initial type testing	All relevant characteristics of Table ZA.1a or Table ZA.1b	7.2
Tasks for the notified body	Certification of F.P.C on the basis of	Initial inspection of factory and of F.P.C	7.3
		Continuous surveillance, assessment and approval of F.P.C.	7.3

Παράρτημα 10 Πίνακας 38: Table ZA.3a – Assignment of evaluation of conformity tasks (for aggregates and fillers under system 2+)

Table ZA.3b – Assignment of evaluation of conformity tasks (for aggregates and fillers under system 4)

Tasks		Coverage of the task	Clauses to apply
Tasks for the producer	Factory production control (F.P.C)	Parameters related to all relevant characteristics of Table ZA.1a or Table ZA.1b	7.3
	Initial type testing	All relevant characteristics of Table ZA.1a or Table ZA.1b	7.2

Παράρτημα 10 Πίνακας 39: Table ZA.3b – Assignment of evaluation of conformity tasks (for aggregates and fillers under system 4)

ZA.2.2 EC Declaration of conformity

For aggregates and fillers under system 2+: When compliance with the conditions of this Annex is achieved, and once the notified body has drawn up the certificate mentioned below, the producer or his agent established in the EEA shall prepare and retain a declaration of conformity, which entitles the producer to affix the CE marking. This declaration shall include:

- name and address of the producer, or his authorised representative established in the EEA, and the place of production;

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

- description of the product (type, identification, use, ...), and a copy of the information accompanying the CE marking;
- provisions to which the product conforms (annex ZA of this EN);
- particular conditions applicable to the use of the product (e.g. provisions for use under certain conditions, etc);
- the number of the accompanying factory production control certificate;
- name of, and position held by, the person empowered to sign the declaration on behalf of the producer or his authorised representative.

The declaration shall be accompanied by a factory production control certificate, drawn up by the notified body, which shall contain, in addition to the information above, the following:

- name and address of the notified body;
- the number of the factory production control certificate;
- conditions and period of validity of the certificate, where applicable;
- name of, and position held by, the person empowered to sign the certificate.

The above mentioned declaration shall be presented in the official language or languages of the Member State in which the product is to be used.

For aggregates and fillers under system 4: When compliance with this Annex is achieved, the producer or his agent established in the EEA shall prepare and retain a declaration of conformity (EC Declaration of conformity), which entitles the producer to affix the CE marking. This declaration shall include:

- name and address of the producer, or his authorised representative established in the EEA, and place of production;
- description of the product (type, identification, use,...), and a copy of the information accompanying the CE marking;
- provisions to which the product conforms (Annex ZA of this EN);
- particular conditions applicable to the use of the product (e.g. provisions for use under certain conditions, etc.);
- name of, and position held by, the person empowered to sign the declaration on behalf of the producer or of his authorised representative.

The above mentioned declaration shall be presented in the official language or languages of the Member State in which the product is to be used.

ZA.3 CE marking and labelling

The producer or his authorised representative established within the EEA is

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

responsible for the affixing of the CE marking. The CE marking symbol to affix shall be in accordance with Directive 93/68/EC and shall be shown on the accompanying label, the packaging or on the accompanying commercial documents e.g. a delivery note. The following information shall accompany the CE marking symbol:

- identification number of the certification body (only for products under system 2+);
 - name or identifying mark and registered address of the producer;
 - the last two digits of the year in which the marking is affixed;
 - number of the certificate of factory production control certificate (if relevant);
 - reference to this European Standard;
 - description of the product: generic name, material, dimensions, ... and intended use;
 - information on the relevant essential characteristics in Tables ZA.1a or ZA.1b as follows:
 - declared values and, where relevant, level or class/category (including “pass” for pass/fail requirements, where necessary) to declare for each essential characteristic as indicated in "Notes" in Tables ZA.1a or ZA.1b;
- and
- "no performance determined" for characteristics where this is relevant.


The “No performance determined” (NPD) option may not be used where the characteristic is subject to a threshold level. Otherwise, the NPD option may be used when and where the characteristic, for a given intended use, is not subject to regulatory requirements.

In addition to any specific information relating to dangerous substances shown above, the product should also be accompanied, when and where required and in the appropriate form, by documentation listing any other legislation on dangerous substances for which compliance is claimed, together with any information required by that legislation.

NOTE European legislation without national derogations need not be mentioned.

Figures ZA.1, ZA.2, ZA.3 and ZA.4 give examples of the information to be given on the label, packaging and/or commercial documents.

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές


 01234	<i>CE conformity marking, consisting of the "CE"-symbol given in Directive 93/68/EEC.</i>																																																									
Any Co Ltd, PO Box 21, B-1050 Brussels, Belgium 14 001-DOP2014-07-14	<i>Identification number of the notified body</i> <i>Name or identifying mark and registered address of the manufacturer</i> <i>Last two digits of the year in which the marking was affixed</i>																																																									
prEN 12620:2015 Aggregates for concrete	<i>Number of the EC certificate</i> <i>N° of European Standard with date of version</i>																																																									
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Particle shape</td> <td style="width: 40%;">Category</td> <td style="width: 30%; text-align: right;">(FI)</td> </tr> <tr> <td>Particle size</td> <td>Designation</td> <td style="text-align: right;">(d/D)</td> </tr> <tr> <td>Particle density</td> <td>Tolerance Category</td> <td style="text-align: right;">(e.g. G_{20/15})</td> </tr> <tr> <td>Cleanliness</td> <td>Declared value</td> <td style="text-align: right;">(Mg/m³)</td> </tr> <tr> <td>Fines content</td> <td>Category</td> <td style="text-align: right;">(e.g. f4)</td> </tr> <tr> <td>Fines quality</td> <td>Category</td> <td style="text-align: right;">(MB, SE)</td> </tr> <tr> <td>Shell content</td> <td>Category</td> <td style="text-align: right;">(e.g. SC₁₀)</td> </tr> <tr> <td>Resistance to fragmentation/crushing</td> <td>Category</td> <td style="text-align: right;">(e.g. LA₁₅)</td> </tr> <tr> <td>Resistance to polishing</td> <td>Category</td> <td style="text-align: right;">(e.g. PSV₅₆)</td> </tr> <tr> <td>Resistance to abrasion</td> <td>Category</td> <td style="text-align: right;">(e.g. AAV₁₀, A_N30)</td> </tr> <tr> <td>Resistance to wear</td> <td>Category</td> <td style="text-align: right;">(e.g. M_{DE}20)</td> </tr> <tr> <td>Composition/content</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Composition of coarse recycled aggregate</td> <td>Categories</td> <td style="text-align: right;">(e.g. RC₉₀, XRG_{0,5}, Rcu₉₅, Ra₁, FL_{0,2},)</td> </tr> <tr> <td>Chlorides</td> <td>Declared value</td> <td style="text-align: right;">(% Cl)</td> </tr> <tr> <td>Acid soluble sulfates</td> <td>Category</td> <td style="text-align: right;">(e.g. AS_{0,2})</td> </tr> <tr> <td>Total sulfur</td> <td>Category</td> <td style="text-align: right;">(e.g. S_{NR})</td> </tr> <tr> <td>Water soluble sulfate content of recycled aggregate</td> <td>Category</td> <td style="text-align: right;">(e.g. SS_{0,2})</td> </tr> <tr> <td>Constituents which alter the rate of setting and hardening of concrete</td> <td>Pass/fail threshold value</td> <td style="text-align: right;">(Stiffening time in minutes and compressive strength S%)</td> </tr> <tr> <td>Influence of recycled</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Particle shape	Category	(FI)	Particle size	Designation	(d/D)	Particle density	Tolerance Category	(e.g. G _{20/15})	Cleanliness	Declared value	(Mg/m ³)	Fines content	Category	(e.g. f4)	Fines quality	Category	(MB, SE)	Shell content	Category	(e.g. SC ₁₀)	Resistance to fragmentation/crushing	Category	(e.g. LA ₁₅)	Resistance to polishing	Category	(e.g. PSV ₅₆)	Resistance to abrasion	Category	(e.g. AAV ₁₀ , A _N 30)	Resistance to wear	Category	(e.g. M _{DE} 20)	Composition/content			Composition of coarse recycled aggregate	Categories	(e.g. RC ₉₀ , XRG _{0,5} , Rcu ₉₅ , Ra ₁ , FL _{0,2} ,)	Chlorides	Declared value	(% Cl)	Acid soluble sulfates	Category	(e.g. AS _{0,2})	Total sulfur	Category	(e.g. S _{NR})	Water soluble sulfate content of recycled aggregate	Category	(e.g. SS _{0,2})	Constituents which alter the rate of setting and hardening of concrete	Pass/fail threshold value	(Stiffening time in minutes and compressive strength S%)	Influence of recycled			<i>Description of product and information on product and on regulated characteristics</i>
Particle shape	Category	(FI)																																																								
Particle size	Designation	(d/D)																																																								
Particle density	Tolerance Category	(e.g. G _{20/15})																																																								
Cleanliness	Declared value	(Mg/m ³)																																																								
Fines content	Category	(e.g. f4)																																																								
Fines quality	Category	(MB, SE)																																																								
Shell content	Category	(e.g. SC ₁₀)																																																								
Resistance to fragmentation/crushing	Category	(e.g. LA ₁₅)																																																								
Resistance to polishing	Category	(e.g. PSV ₅₆)																																																								
Resistance to abrasion	Category	(e.g. AAV ₁₀ , A _N 30)																																																								
Resistance to wear	Category	(e.g. M _{DE} 20)																																																								
Composition/content																																																										
Composition of coarse recycled aggregate	Categories	(e.g. RC ₉₀ , XRG _{0,5} , Rcu ₉₅ , Ra ₁ , FL _{0,2} ,)																																																								
Chlorides	Declared value	(% Cl)																																																								
Acid soluble sulfates	Category	(e.g. AS _{0,2})																																																								
Total sulfur	Category	(e.g. S _{NR})																																																								
Water soluble sulfate content of recycled aggregate	Category	(e.g. SS _{0,2})																																																								
Constituents which alter the rate of setting and hardening of concrete	Pass/fail threshold value	(Stiffening time in minutes and compressive strength S%)																																																								
Influence of recycled																																																										

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

aggregates on initial setting time of cement Carbonate content Volume stability Drying shrinkage Constituents which affect the the volume stability of air cooled blastfurnace slag Water absorption Emission of radioactivity of heavy metals Release of polyaromatic hydrocarbons	Category Declared value Pass/fail Declared value Declared value Declared value Threshold values valid in the place of use	(e.g. A ₂₅) (% CO ₂) (% WS) (Appearance) (% WA ₂₄) in the
Release of dangerous substances Durability against freeze-thaw Durability against weathering	Category(F) Category	(MS)

Figure ZA.1 — Example of CE marking information for aggregates for concrete under system 2+

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

		<i>CE conformity marking, consisting of the "CE"-symbol given in Directive 93/68/EEC.</i>
Any Co Ltd, PO Box 21, B-1050, Brussels, Belgium 14		<i>Name or identifying mark and registered address of the manufacturer</i> <i>Last two digits of the year in which the marking was affixed</i>
prEN 12620:2015 Aggregates for concrete		<i>N° of European Standard with date of version</i> <i>Description of product and</i>
Particle shape	Category (FI)	<i>information on product and on regulated characteristics</i>
Particle size	Designation (d/D)	
Particle density	Tolerance Category (e.g. G _{20/15}) Declared (Mg/m ³)	
Cleanliness		
Fines content	Category (e.g. f4)	
Fines quality	Category (MB, SE)	
Shell content	Category (e.g. SC ₁₀)	
Resistance to fragmentation/crushing	Category (e.g. LA ₁₅)	
Resistance to polishing	Category (e.g. PSV ₃₀)	
Resistance to abrasion	Category (e.g. AA _{V10} , A _N 30)	
Resistance to wear	Category (e.g. M _{OE} 20)	
Composition/content		
Composition of coarse recycled aggregate	Category (e.g. Rc ₃₀ , XRg _{0,5} , Rcu ₂₅ , R _{s1} , FL _{0,2} ,)	
Chlorides	Declared value (% Cl)	
Acid soluble sulfates	Category (e.g. AS _{0,2})	
Total sulfur	Category (e.g. S _{NR})	
Water soluble sulfate content of recycled aggregate	Category (e.g. SS _{0,2})	
Constituents which alter the rate of setting and hardening of concrete	Pass/fail threshold value (Stiffening time <i>in minutes and compressive strength S%</i>)	

Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα στις κατασκευές

Influence of recycled aggregates on initial setting time of cement	Category	(e.g. A ₂₅)
Carbonate content	Declared value	(%CO ₂)
Volume stability		
Drying shrinkage	Declared value	(% WS)
Constituents which affect the the volume stability of air-cooled blastfurnace slag	Declared value	(Appearance)
Water absorption	Declared value	(% WA ₂₄)
Emission of radioactivity	Threshold values valid in the place of use	
Release of heavy metals		
Release of polyaromatic carbons		
Release of other dangerous substances		
Durability against freeze-thaw	Category(F)	
Durability against weathering	Category	(MS)

Figure ZA.2 — Example of CE marking information for aggregates for concrete under system 4


 01234		CE conformity marking, consisting of the "CE"-symbol given in Directive 93/68/EEC.
Any Co Ltd, PO Box 21, B-1050, Brussels, Belgium 14 001-DOP-2014-07-14		Identification number of the notified body Name or identifying mark and registered address of the manufacturer Last two digits of the year in which the marking was affixed
prEN 12620:2015 Filler Aggregates for concrete		Number of the EC certificate N° of European Standard with date of version Description of product and
Fineness/Particle size	Declared value (% passing by mass and cm ² /g)	
Particle density	Declared value (Mg/m ³)	
Composition/content		
Chlorides	Declared value (% Cl)	
Acid soluble sulfates	Categories (e.g. AS _{0,2})	
Total sulfur	Pass/fail threshold value (% S)	
Cleanliness	Pass/fail threshold values (% passing, % by mass, MB _r , SE)	
Volume stability		
Drying shrinkage	Pass/fail threshold value (% drying shrinkage)	
Constituents which affect the volume stability of air-cooled blastfurnace slag	Declared value (visual appearance, visual cracking or disintegration)	
Release of other dangerous substances		information on regulated characteristics

Figure ZA.3 — Example of CE marking information for fillers under system 2+


	<i>CE conformity marking, consisting of the "CE"-symbol given in Directive 93/68/EEC.</i>
Any Co Ltd, PO Box 21, B-1050 14	<i>Name or identifying mark and registered address of the manufacturer</i>
prEN 12620:2015 Filler Aggregates for concrete	<i>Last two digits of the year in which the marking was affixed</i>
	<i>N° of European Standard with date of version</i>
	<i>Description of product and</i>
Fineness/Particle size Declared values (% passing and cm ² /g)	
Particle density Declared value (Mg/m ³)	
Composition/content	
Chlorides Declared value (% Cl)	
Acid soluble sulfates Category (e.g. AS _{0,2})	
Total sulfur Declared Value (% S)	
Cleanliness Category (MB, SE)	
Volume stability	
Drying shrinkage Pass/fail threshold value (% drying shrinkage)	
Constituents which affect the volume stability of air-cooled blastfurnace slag Declared value (visual appearance, visual cracking or disintegration)	
Release of dangerous substances	<i>information on regulated characteristics</i>

Figure ZA.4 — Example of CE marking information for fillers under system 4

In addition to any specific information relating to dangerous substances shown above, the product should also be accompanied, when and where required and in the appropriate form, by documentation listing any other legislation on dangerous substances for which compliance is claimed, together with any information required by that legislation.

NOTE 1 European legislation without national derogations need not be mentioned.

NOTE 2 Affixing the CE marking symbol means, if a product is subject to more than one directive, that it complies with all applicable directives.