

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ  
ΤΡΟΠΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:  
ΑΘΑΝΑΣΟΥΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ  
ΚΑΣΣΙΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ  
ΠΛΑΚΟΥΤΣΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ  
ΕΠΟΠΤΕΥΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:  
ΠΑΓΑΝΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ  
ΧΡΗΣΤΟΥ ΖΑΧΑΡΙΑΣ

ΠΑΤΡΑ - ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2009

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πάτρας για το τμήμα των Πολιτικών Έργων Υποδομής. Επιλέξαμε να ασχοληθούμε με τον τομέα του σκυροδέματος καθώς ιεραρχείται ψηλά στην λίστα με τα απαραίτητα υλικά για την κατασκευή ανθεκτικών κατασκευών. Το υλικό αυτό έχει συνδεθεί άρρηκτα με την κατασκευαστική κοσμογονία στις βιομηχανικές κοινωνίες των τελευταίων αιώνων. Επιστρατεύτηκε για να ικανοποιήσει οικιστικές ανάγκες και ανάγκες υποδομών. Η πρόοδος της τεχνολογίας απέφερε νέες επαναστατικές εφαρμογές που λύνουν κάθε πρόβλημα που συναντάμε στις συμβατικές μεθόδους. Ανατέθηκε λοιπόν σε μας να εμβαθύνουμε σε ένα καινοτόμο τύπο σκυροδέματος, το Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, κάτι που θα εξασφάλιζε και την μοναδικότητα της δικής μας ακαδημαϊκής έρευνας. Η συλλογή των πληροφοριών ήταν μια δύσκολη διαδικασία αφού οι μηχανικοί και οι εταιρείες σκυροδέματος τηρούν στάση επιφυλακτικότητας στο νέο προϊόν, αναμένοντας αποτελέσματα από την περιορισμένη χρήση του στο ελληνικό έδαφος. Ωστόσο οι μεγάλες εταιρείες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος έχουν δαπανήσει σεβαστά ποσά σε έρευνα και πειραματισμούς με πρόσθετα ώστε να εξελίξουν μια φόρμουλα που να έχει όλα τα πλεονεκτήματα του ΑΣΣ και να είναι ταυτόχρονα προσιτή σε ευρεία χρήση. Η εργασία μας θα ήταν ελλιπής χωρίς την αμέριστη συμπαράσταση των στελεχών του εργαστηρίου οπλισμένου σκυροδέματος της σχολής μας κ.κ Δημητρίου Παγανού και Ζαχαρία Χρήστου. Η βοήθειά τους μας έβγαλε από τα αδιέξοδα και μας οδήγησε στις σωστές κατευθύνσεις, ικανοποιώντας την ανάγκη μας για ενδελεχή έρευνα. Τους ευχαριστούμε θερμά για τον χρόνο τους καθώς και τις οικογένειές μας για την ενθάρρυνση, την κατανόηση και την υπομονή που έδειξαν όλον αυτόν τον καιρό της προσπάθειάς μας.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
1.1.ΕΙΔΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ.....	14
1.1.1.ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ –ΚΟΙΛΟΤΗΤΩΝ.....	14
1.1.2.ΚΥΛΙΝΔΡΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	15
1.1.3.ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΕΞΩΤΕΤΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ.....	16
1.1.4.ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	17
1.2.ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΣΣ.....	17
1.2.1.ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΣΥΝΘΕΣΗΣ.....	18
1.2.2.ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΒΑΘΜΟ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ.....	18
2.ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ.....	20
2.1.1.ΤΣΙΜΕΝΤΟ.....	20
2.1.2.ΑΔΡΑΝΗ.....	20
2.1.3.ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΗΣ.....	21
2.1.4.ΠΡΟΣΘΕΤΑ.....	21
2.1.5.ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ.....	22
2.1.6.ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΙΞΩΔΟΥΣ.....	23
2.1.7.ΑΕΡΑΚΤΙΚΑ.....	23
2.1.8.ΙΝΕΣ.....	23
2.2.ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΔΡΑΝΩΝ.....	24
2.2.1.ΠΡΟΤΥΠΑ.....	24
2.2.2.ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ.....	24
2.2.3.ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	25
2.3.ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΝΕΑ ΠΡΟΤΥΠΑ.....	25
2.3.1.ΠΡΟΤΥΠΑ.....	25
2.3.2.ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	26
3.ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ.....	27
3.1.ΓΕΝΙΚΑ.....	27
3.2.ΟΡΙΣΜΟΙ.....	27
3.3.ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΘΕΩΡΙΑ.....	28
3.4.Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΟΚΑΜΥΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΣΣ.....	29
3.4.1.ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΣΣ ΣΕ ΑΕΡΑ.....	29
3.4.2.ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΩΝ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ.....	29
3.4.3.ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΑΜΜΟ.....	30
3.4.4.ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΣΤΑΣ.....	31
3.4.5.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΛΟΓΟΥ ΝΕΡΟΥ/ΛΕΠΤΟΜΕΡΗ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΥΠΕΡΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΗ ΣΤΟ ΚΟΝΙΑΜΑ.....	32
3.4.6.ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ/ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΤΟΥ ΑΣΣ ΜΕ ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.....	33
3.5.ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΤΑ ΕFNARC.....	33
3.6.ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ.....	34
3.7.ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ.....	37
4.ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΣΣ.....	39
4.1.ΓΕΝΙΚΑ.....	39
4.2.ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	39

4.3.ΑΝΑΜΙΞΗ-ΑΝΑΔΕΥΞΗ.....	39
4.ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	41
4.4.1.ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ.....	41
4.4.2.ΕΛΕΓΧΟΣ ΝΕΡΟΥ ΑΝΑΜΙΞΗΣ.....	41
4.4.3.ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΜΙΞΗΣ.....	41
4.5.ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΣΗ.....	42
4.6.ΞΥΛΟΤΥΠΟΣ.....	43
4.7.ΑΝΤΛΗΣΗ-ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ.....	44
4.7.1.ΨΥΧΡΟΙ ΑΡΜΟΙ.....	45
4.7.2.ΕΙΣΠΙΕΣΗ.....	46
4.7.3.ΔΟΝΗΣΗ.....	47
4.8.ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ.....	47
4.8.1.ΦΩΛΙΕΣ.....	48
4.8.2.ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗ.....	49
4.8.3.ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΧΡΩΜΑΤΟΣ.....	49
4.8.4.ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΡΩΓΜΩΝ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	50
4.9.ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	50
4.9.1.ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ.....	50
4.9.2.ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....	51
4.9.3.ΧΡΟΝΟΣ.....	51
4.9.4.ΥΓΡΑΣΙΑ.....	52
4.9.5.ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ.....	52
4.9.6.ΝΕΑΡΗ ΗΛΙΚΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	53
5.ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	54
5.1.1.ΓΕΝΙΚΑ.....	54
5.2.1.ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ.....	54
5.2.2.ΕΦΕΚΛΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ.....	55
5.2.3.ΣΤΑΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	55
5.2.4.ΕΡΠΥΣΜΟΣ.....	55
5.2.5.ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ.....	56
5.2.6.ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ.....	57
5.2.7.ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΕΩΣ.....	57
5.2.8.ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ.....	57
5.2.9.ΤΑΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	58
6.ΔΟΚΙΜΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΑΣΣ.....	59
6.1.ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΑΣΣ.....	59
6.2.ΔΟΚΙΜΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ (SLUMP FLOW TEST).....	61
6.3.ΔΟΚΙΜΗ ΜΕ ΔΑΚΤΥΛΙΟ J (J-RING TEST).....	64
6.4.ΔΟΚΙΜΗ ΜΕ ΧΟΑΝΗ V (V-FUNNEL TEST).....	67
6.5.ΔΟΚΙΜΗ ΜΕ ΔΟΧΕΙΟ ΣΧΗΜΑΤΟΣ L (L-BOX TEST).....	69
6.6.ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ (GTM).....	71
6.7.ΔΟΚΙΜΗ ΜΕ ΔΟΧΕΙΟ U (U-BOX TEST) ΚΑΙ FILL BOX TEST.....	73
6.8.ΔΟΚΙΜΗ ΟΡΙΜΕΤ.....	74
7.1.ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΑΣΣ.....	79
7.2.ΣΘΕΝΑΡΟΤΗΤΑ ΜΙΑΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΑΣΣ.....	79
7.3.ΑΣΣ ΜΕ ΜΙΚΡΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	85
7.4.ΕΙΔΙΚΑ ΑΣΣ.....	86
7.5.1.ΕΡΓΟΝΟΜΙΚΟ ΥΠΕΡΡΕΥΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ (S.D.C.).....	87
7.5.2.ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	89

8.ΜΕΘΟΔΟΣ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ (MATURITY METHOD).....	92
8.1.ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	95
8.2.ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ (MATURITY METERS).....	97
8.3.ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ (THERMOCOUPLE THERMOMETERS).....	98
8.4.ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ.....	99
8.5.ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	101
8.6.ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	102
8.7.Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	103
9.ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗ-ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΑΣΣ (ΕΜΜΕΣΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ).....	105
9.1.ΔΟΚΙΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ.....	106
9.2.ΤΟ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΟ ΑΝΑΠΗΔΗΣΗΣ SCHMIDT.....	109
9.3.ΕΞΟΛΚΕΥΣΗ ΗΛΟΥ.....	111
9.4.ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ.....	112
9.5.ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΗ-ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΗΜΙΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	113
9.6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	113
10.1.ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΑΣΣ.....	114
10.2.ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ.....	116
11.ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΣΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ.....	117
11.1.1.ΓΑΛΛΙΑ.....	118
11.1.2.ΣΟΥΗΔΙΑ.....	119
11.1.3.ΜΕΓΑΛΗ ΒΡΕΤΑΝΙΑ.....	120
11.1.4.ΟΛΛΑΝΔΙΑ.....	121
11.1.5.ΙΤΑΛΙΑ.....	122
11.1.6.ΙΣΠΑΝΙΑ.....	123
11.2.1.ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	123
11.2.2.ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΣΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	127
12.1.ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΣΣ.....	128
12.2.ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	131
12.3.ΤΡΕΧΟΝΤΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	132
12.4.ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	134
13.1.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ – ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΞΑΝΘΗΣ.....	136
13.2.«ΠΡΑΣΙΝΟ» ΑΣΣ.....	137
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	140
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	141

## ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

### Τσιμέντο - Μπετόν

Οι συγκολλητικές ύλες για τη σύνδεση των αδρανών οικοδομικών υλικών (χαλίκι, άμμος) ως μίγμα από ασβέστη, τριμμένο τούβλο ή ηφαιστειακή τέφρα έχει πολύ παλιά ιστορία. Ήδη πριν από 14.000 χρόνια χρησιμοποιούσαν λαοί της ανατολικής Μικρασίας ως συγκολλητική ύλη για να κατασκευάσουν τοίχους από τούβλα της εποχής, λάσπη από ασβέστη και άμμο (αμμοκονία). Οι Φοίνικες ανακάτευαν πριν από 3.000 χρόνια στη λάσπη τέφρα ηφαιστείου και δημιουργούσαν ένα μίγμα που στερεοποιείται και σκληραίνει με την προσθήκη νερού. Τις ίδιες περίπου τεχνικές χρησιμοποιούσαν και οι αρχαίοι Έλληνες οικοδόμοι και γνωρίζουμε σήμερα ότι έστησαν ναούς, βιβλιοθήκες, στάδια και θέατρα, τα οποία, αν δεν είχαν υποστεί καθαιρέσεις από απρόβλεπτους σεισμούς και προβλεπτά εμπαθή χέρια, θα βρισκόνταν σήμερα ακόμα στην αρχική τους μορφή.

Οι ίδιες τεχνικές υιοθετήθηκαν από τους Ρωμαίους μέχρι που τον πρώτο μ.Χ. αιώνα επινοήθηκε η παραγωγή ανθεκτικών δομικών στοιχείων, κάτι σαν τους σημερινούς τσιμεντόλιθους, από άμμο και θρυμματισμένη πέτρα, συγκολλημένα με υδραυλική κονία. Αυτό το μίγμα ονομάστηκε «Opus Caementitium» ή *ρωμαϊκό τσιμέντο*, όπως λέγεται σήμερα, και με τη χρήση του δημιουργήθηκαν τα κτήρια, τα υδραγωγεία, οι γέφυρες, τα λιμάνια και οι ρωμαϊκοί δρόμοι που βρίσκονται ακόμα στη θέση τους, όπως κατασκευάστηκαν. Έκτοτε δεν παρατηρείται οποιαδήποτε αλλαγή στην παραγωγή φυσικού τσιμέντου και μόνο από το 1700 και μετά αρχίζουν να χρησιμοποιούνται διάφορες παραλλαγές υλών για τη δημιουργία της υδραυλικής κονίας, με σημαντικότερη πάντα την τέφρα από τα ηφαίστεια.

### Τα πρώτα προϊστορικά ευρήματα

Το σκυρόδεμα υπό την ευρύτερη του έννοια, δηλ. ως υλικό που κατασκευάζει ο άνθρωπος με τη χρήση κάποιου συνδετικού υλικού μέσα στο οποίο προσθέτει διάφορα άλλα φυσικά υλικά που συνδέονται με τη συγκολλητική του δράση και σχηματίζουν ένα νέο στερεό υλικό, έχει ιστορία 9000 ετών.

Το αρχαιότερο γνωστό σήμερα σκυρόδεμα χρονολογούμενο από το 7000 π.Χ. βρίσκεται στη νότια Γαλιλαία, Yiftah El , Ισραήλ. Ανακαλύφθηκε το 1985 από μία

μπουλντόζα στη διάνοιξη ενός δρόμου και σχηματίζει κάποιο δάπεδο. Αποτελείται από μίγμα ασβέστη με πέτρες. Ο ασβέστης όταν αναμιχθεί με νερό και άμμο δημιουργεί μία "λάσπη" - κονίαμα το οποίο ερχόμενο σε επαφή με το διοξείδιο του άνθρακα του ατμοσφαιρικού αέρα σκληραίνει και δημιουργεί ένα στερεό σώμα. Αν το κονίαμα αυτό ανακατευτεί με πέτρες, συνδέει - συγκολλάει τις πέτρες και δημιουργεί ένα είδος σκυροδέματος.

Άλλο παλαιό εύρημα σκυροδέματος υπάρχει στις όχθες του Δούναβη στο Lepenski Vir στη Γιουγκοσλαβία και χρονολογείται από το 5600 π.Χ. Αποτελεί το δάπεδο μιας προϊστορικής καλύβας.

### **Τα πρώτα ιστορικά βήματα**

Στη μεγάλη πυραμίδα στην Γκίζα στην Αίγυπτο (2500 π.Χ.) οι λίθοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με κάποιο κονίαμα από ασβέστη ή γύψο. Στην ίδια χώρα, στις αρχαίες Θήβες, υπάρχει τοιχογραφία με αναπαράσταση των εργασιών παρασκευής ασβεστοκονιάματος και χτισίματος με το υλικό αυτό.

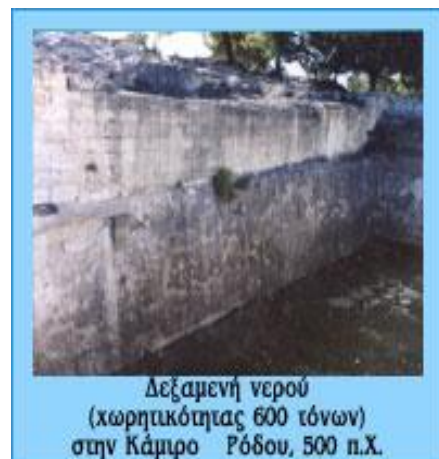
Η τέχνη αυτή του χτισίματος φαίνεται ότι μεταφέρθηκε και στην αρχαία Ελλάδα όπου χρησιμοποιήθηκαν διάφορα μίγματα ασβέστη για χτίσιμο και για επικάλυψη πλίνθων φτιαγμένων από πηλό και ξεραμένων στον ήλιο.

Ο Ρωμαίος συγγραφέας Vitruvius αποτελεί μία σημαντική πηγή πληροφοριών για την αρχαία Ελληνική αρχιτεκτονική και οικοδομική. Χρησιμοποιεί την ελληνική λέξη " έ μ π λ ε κ τ ο ν " για να περιγράψει ένα "πρόδρομο" του σημερινού σκυροδέματος, υλικό που αποτελείται από ένα συνδετικό κονίαμα στο οποίο αναμιγνύονται μικρά τεμάχια λίθων.

Όλα τα κονιάματα με ασβέστη και νερό για να πήξουν και να σκληρυνθούν χρειάζεται να παραμείνουν στον αέρα (αερικά κονιάματα) για να γίνει η χημική αντίδραση της άσβεστου με το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας. Οι αρχαίοι Έλληνες ήσαν ίσως οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν υδραυλικές κονίες δηλ. κονίες που όταν ανακατευτούν με το νερό μπορούν να πήξουν και να σκληρυνθούν τόσο στον αέρα όσο και μέσα στο νερό. Είναι επομένως αυτονόητο ότι τα κονιάματα και τα σκυροδέματα που παρασκευάζονται με υδραυλικές κονίες έχουν πολύ μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις χρόνιες επιδράσεις του περιβάλλοντος. Τέτοια υδραυλικά κονιάματα χρησιμοποίησαν οι αρχαίοι Έλληνες τα κυριότερα από τα οποία είναι:

- Μίγμα ασβέστη και ηφαιστειακής γης από τη Θήρα ή τη Νίσυρο στην Ελλάδα ή τη Δικαιαρχεία, αργότερα Pozzuoli, στην ελληνική αποικία της Ιταλίας κοντά στη Napoli (Νεάπολη). Το μίγμα αυτό έχει τη δυνατότητα να πήζει και να σκληραίνει μέσα στο νερό (υδραυλική κονία) και δε διαλύεται από νερό όπως τα ασβεστοκονιάματα. Από την άποψη αυτή το μίγμα ασβέστη και ηφαιστειακής γης είναι πολύ συγγενές με το τσιμέντο και θα μπορούσε να θεωρηθεί ως "πρόδρομο" υλικό του σημερινού τσιμέντου. (Σήμερα παρασκευάζονται και έχουν ευρύτατη χρήση τσιμέντα με προσθήκη ποζολάνης, τα ποζολανικά τσιμέντα). Τέτοιο μίγμα φαίνεται ότι χρησιμοποιήθηκε για να γίνει υδατοστεγανή δεξαμενή χωρητικότητας 600 m<sup>3</sup> στο ναό της Αθηνάς στην αρχαία Κάμιρο στη Ρόδο, καθώς και στην κατασκευή του λιμανιού του Πειραιά (Ζέα). Επίσης μίγματα ασβέστη τριμμένης ηφαιστειακής γης και μαρμαρόσκονης χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα στην κατασκευή σοβάδων, ειδικών επικαλύψεων για να αποτελέσουν την επιφάνεια για ζωγραφική (στούκο) αλλά και για "συγκόλληση σπασμένων τεμαχίων μαρμάρων" (αρχαϊκός ναός Αρτέμιδος). Τα υλικά αυτά περιγράφονται από τους αρχαίους συγγραφείς Θεόφραστο, Στράβωνα και Vitruvius, αλλά και σύγχρονους ερευνητές (Τάσιος, Μπαντέκα, Haegerman Botticher, Bulard, Ευσταθιάδης, Wilski κ.α.).
- Τριμμένα κεραμίδια ή πλίνθοι με ασβέστη κυρίως σε θαλάσσια έργα (Δειλός, Ρόδος βίλα ελληνιστικής περιόδου).
- Διάφορα άλλα υλικά, όπως τέφρες (Κόρτυς Αρκαδία), σιδερόσκονη (Αγορά Αθηνών), πρωτοξειδίο του μολύβδου (Λαυρίων).

Οι Ρωμαίοι φαίνεται ότι από το 300 π.Χ. πήραν τις γνώσεις αυτές από τους Έλληνες, πιθανότατα των Ελληνικών αποικιών της Ιταλίας, και τις ανέπτυξαν σε μεγάλο βαθμό τόσο ως προς τα ασβεστοκονιάματα (αερικά κονιάματα) όσο και ως προς τη χρήση μίγματος ασβέστη και ηφαιστειακής γης (υδραυλικά κονιάματα). Την ηφαιστειακή γη την προμηθεύονταν από το χωριό Pozzuoli κοντά στο Βεζούβιο. Το χωριό





αυτό έδωσε το όνομα "Ποζολάνη" στα ηφαιστειακά υλικά αλλά και σε τεχνικά υλικά με τις ίδιες περίπου ιδιότητες (ορισμένες Ιπτάμενες Τέφρες- πυριτική παιπάλη) που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη έκταση σήμερα (Ποζολανικά τσιμέντα- ποζολανική χημική αντίδραση). Ένα από τα πρώτα σημαντικά έργα των Ρωμαίων είναι το αρχαίο Θέατρο Πομπηίας χωρητικότητας 20.000 θεατών (75 π.Χ.). Ακολουθούν πλήθος θαυμαστών από τεχνικής και αρχιτεκτονικής άποψης έργων, όπως το Κολοσσαίο (82 μ.Χ.), το Πάνθεον (123 μ.Χ.) και τα διάφορα υδραγωγεία, όπως το υδραγωγείο στη πόλη Nimes στη Γαλλία (150 μ.Χ.).

Αξιομνημόνευτο είναι το γραπτό κείμενο που περιγράφει την παρασκευή του αρχαίου αυτού τσιμέντου και ανήκει στον Vitruvius το 13 π.Χ. στο οποίο δίνονται οδηγίες στους αρχιτέκτονες για την παρασκευή κονιάματος που "πήζει τόσο στον αέρα όσο και στο νερό".

Είναι επίσης γνωστό ότι οι Ρωμαίοι προσέθεταν μερικές φορές στο "σκυρόδεμα" διάφορα υλικά για να βελτιώσουν τις ιδιότητές του και τα υλικά αυτά μπορούν να θεωρηθούν ως "πρόδρομα" των σήμερα χρησιμοποιούμενων "χημικών προσθέτων". Για παράδειγμα, χρησιμοποίησαν αίμα του οποίου η δράση είναι παρόμοια με εκείνη των αερακτικών προσθέτων (υλικών που εισάγουν αέρα στο σκυρόδεμα με σκοπό να βελτιώσουν την ανθεκτικότητά του στη δράση του παγετού και να αυξήσουν την εργασιμότητά του).

Επίσης ενδιαφέρον παρουσιάζει η προσθήκη κατά την ανάμιξη τριχών αλόγου "πρόδρομο" υλικό των χρησιμοποιούμενων σήμερα πλαστικών και χαλύβδινων ινών (ινοπλισμένο σκυρόδεμα).

Κατά το μεσαίωνα δεν παρουσιάζεται καμία εξέλιξη.

Το πρώτο ουσιαστικά βήμα για τη δημιουργία του τσιμέντου υπό τη μορφή που χρησιμοποιείται σήμερα θα μπορούσε να αποδοθεί στον Άγγλο μηχανικό John Smeaton στα μέσα του 1.700 μ. Χ . Στο μηχανικό αυτό ανατέθηκε η κατασκευή ενός φάρου κοντά στο Plymouth , ο οποίος είχε προηγουμένως κατασκευασθεί από ξύλο και είχε δύο φορές καταστραφεί, αρχικά από πυρκαϊά και τελικά από θύελλα. Ήταν πλέον αυτονόητο ότι ο φάρος θα έπρεπε να κατασκευαστεί από πέτρα αλλά η γειννίαση με τη θάλασσα και η βραδύτητα πήξεως και σκλήρυνσης των ασβεστοκονιαμάτων δεν επέτρεπαν το ασφαλές χτίσιμο. Ο Smeaton άρχισε να ερευνά τα διάφορα υλικά και διαπίστωσε ότι τα ασβεστοκονιάματα με ασβέστη ο οποίος έχει παρασκευαστεί από το ψήσιμο ασβεστόλιθου που περιείχε άργιλο (δηλ. πυρίτιο και αργίλιο) μπορούσαν να πήξουν τόσο στον αέρα όσο-και σπουδαιότερο-

μέσα στο νερό. Αυτή η παρατήρηση θεωρείται ότι αποτελεί το πρώτο σημαντικό βήμα για την παραγωγή του τσιμέντου με τη μορφή που παράγεται σήμερα. Ανάλογες εξελίξεις την ίδια εποχή αναφέρονται στη Γαλλία αποδιδόμενες στους Vicat και Lesage. Ακολουθούν διάφορες άλλες "εφευρέσεις" με αντίστοιχα διπλώματα ευρεσιτεχνίας όπως του εφημέριου James Parker με το "Ρωμαϊκό τσιμέντο". Η συστηματικότερη όμως παρασκευή τσιμέντου αποδίδεται στον Άγγλο μηχανικό Joseph Aspdin ο οποίος έδωσε στο υλικό (για το οποίο πήρε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας) το όνομα που και σήμερα χρησιμοποιείται "τσιμέντο Portland". Το όνομα αυτό δόθηκε γιατί το χρώμα του σκληρυμένου τσιμέντου ήταν πολύ κοντά στο χρώμα των πετρωμάτων στο Portland. Σήμερα σώζεται (σε εγκαταστάσεις Βρετανικής Τσιμεντοβιομηχανίας) ένας από τους πέτρινους κλιβάνους που χρησιμοποίησε ο γιος του Aspdin, William για την παραγωγή του τσιμέντου.



Ο γιος William Aspdin ίδρυσε εκείνα τα χρόνια, μαζί με συνεταιίρους, το πρώτο εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου στην Αγγλία. Στις δεκαετίες που ακολούθησαν αυτές τις επινοήσεις, έγιναν διάφορες τροποποιήσεις για τη βελτίωση των υδραυλικών ιδιοτήτων του τσιμέντου, αλλά και για τη μείωση της τιμής του. Έτσι, από τα τέλη του 19ου αιώνα προστίθεται στο κλίνκερ και τέφρα από υψικάμινους ή τέφρα θερμοηλεκτρικών σταθμών που καίνε λιγνίτη κλπ.

Το έτος 1849 γέμισε ο Γάλλος κηπουρός Joseph Monier μεγάλες γλάστρες φυτών με μπετόν, στο οποίο τοποθέτησε μέσα ένα πλέγμα από βέργες σιδήρου. Στόχος του ήταν να σταθεροποιήσει τις γλάστρες που παρασύρονταν από τους δυνατούς ανέμους. Αυτός ο συνδυασμός, μπετόν με μεταλλικές βέργες, δημιούργησε ένα στέρεο σύνολο και ακριβώς αυτή η ιδέα αποτέλεσε το πρώτο βήμα για το λεγόμενο σήμερα «οπλισμένο σκυρόδεμα» (οπλισμένο μπετόν ή μπετόν αρμέ).

Με αυτό το οπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευάζονται σήμερα σχεδόν αποκλειστικά οι σκελετοί των σύγχρονων κτηρίων. Οι τοίχοι από τούβλα ή πέτρες έπαψαν να φέρουν πια το βάρος της οικοδομής, ενώ ο σκελετός από μπετόν αρμέ έχει και την ελαστικότητα που απαιτείται ώστε να αντέξει ένα κτήριο στις καταπονήσεις από σεισμούς.

Το σημερινό τσιμέντο αποτελείται από οξειδία του ασβεστίου, πυριτίου, αργιλίου και σιδήρου που είναι ενωμένα μεταξύ τους και αποτελούν το 90% του βάρους του. Το υπόλοιπο μέρος είναι γύψος και μικρές ποσότητες αλάτων μαγνησίου, καλίου, νατρίου και άλλων στοιχείων.



Η παραγωγή του τσιμέντου εξαπλώθηκε σε όλο τον κόσμο και παρουσίασε σημαντικές εξελίξεις για να φθάσει στο σημερινό επίπεδο εξέλιξης.

Σήμερα παράγονται ετησίως σε όλο τον κόσμο πάνω από 1,5 δισεκατομμύρια τόνοι τσιμέντου και το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται από το τσιμέντο αυτό υπερβαίνει τα 10 δισεκατομμύρια τόνους. Το γεγονός

αυτό καθιστά το τσιμέντο και το σκυρόδεμα από τα σπουδαιότερα δομικά υλικά της εποχής μας. Για να επιτευχθεί όμως αυτό χρειάστηκε να γίνουν σημαντικές πρόοδοι κυρίως τα τελευταία 80 - 100 χρόνια όπως ο συνδυασμός του σκυροδέματος με χάλυβα για να παραλαμβάνει τις εφελκυστικές τάσεις, η χρήση προεντεταμένων χαλύβων, η χρήση ινών, μη μεταλλικού οπλισμού, χημικών πρόσθετων (ιδίως των λεγόμενων υπέρ-ρυστοποιητικών) και πολύ λεπτόκοκκων υλικών (ποζολανών).

Σήμερα παρασκευάζεται σκυρόδεμα με θλιπτική αντοχή μεγαλύτερη από 200 ΜΡα αλλά και σκυρόδεμα με προεπιλεγμένες ιδιότητες (χαμηλής αντοχής, υψηλής ανθεκτικότητας σε διαβρωτικές επιδράσεις του περιβάλλοντος, αυτοσυμπυκνούμενο, με αντοχή σε τριβή και κρούση και σκυρόδεμα που απορροφά αέριες ενώσεις ΝΟx που μολύνουν το περιβάλλον).

Το σκυρόδεμα αποτελεί σήμερα το πλέον διαδεδομένο παγκοσμίως δομικό υλικό, λόγω της ευκολίας παραγωγής του και κυρίως της ευκολίας διάστρωσης του στα διάφορα δομικά στοιχεία των κατασκευών. Χαρακτηρίζεται όμως και από μία ιδιαιτερότητα, μοναδική μεταξύ όλων των υλικών δομής: η ποιότητα του σκυροδέματος που παραγγέλνουμε και παραλαμβάνουμε όταν έρχεται η βαρέλα στο έργο, δεν μας εγγυάται ταυτόχρονα ότι το σκυρόδεμα μετά την διάστρωση του θα εξακολουθήσει να έχει την ίδια ποιότητα, ένα σκυρόδεμα C20/25 που παραγγέλνουμε, παραλαμβάνουμε και ελέγχουμε σύμφωνα με τον ΚΤΣ-97 δεν μας εγγυάται ότι και μετά την διάστρωση του θα εξακολουθήσει να ανήκει στην ίδια κατηγορία. Αυτό, γιατί πέρα των διαφορετικών συνθηκών συντηρήσεως μεταξύ του έργου και των συμβατικών δοκιμών (βάση των οποίων χαρακτηρίζουμε το σκυρόδεμα) και της πιθανής - κι ελπίζουμε αποφευκτέας - περίπτωσης της προσθήκης επιτόπου νερού από το συνεργείο, μετά τη χύτευση ακολουθεί η συμπύκνωση του σκυροδέματος, η διαδικασία δηλαδή εκείνη που αποσκοπεί στο να απομακρυνθεί ο αέρας που έχει εγκλωβιστεί στο εσωτερικό της μάζας του υλικού κατά την παραγωγή και τοποθέτηση του. Η σημασία της συμπύκνωσης στην

διαμόρφωση της ποιότητας του τελικού προϊόντος είναι πολύ σημαντική, γιατί κατά αυτόν τον τρόπο περιορίζεται το πορώδες του σκυροδέματος, παράγων καθοριστικός τόσο για την ανάπτυξη των αντοχών του σκυροδέματος, όσο και για την αύξηση της ανθεκτικότητας του στον χρόνο.



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πολλές πρόσφατες κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα έχουν υποστεί σοβαρές φθορές και πρέπει να επισκευαστούν ή να κατεδαφιστούν, γεγονός που εύλογα οδηγεί στο ερώτημα για ποιόν λόγο ορισμένες κατασκευές αντέχουν την φθορά του χρόνου, ενώ άλλες αποσαθρώνονται σε γρήγορους ρυθμούς. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος επί τόπου του κάθε έργου είναι ο βαθμός συμπίκνωσης και ο βαθμός της αγωγής του. Η βέλτιστη συμπίκνωση του σκυροδέματος σε μια κατασκευή μπορεί να διασφαλιστεί με την χρήση του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος (ΑΣΣ), το οποίο βασικά είναι ένας τύπος σκυροδέματος που είναι ικανός να ρέει στους ξυλότυπους, χωρίς να παρουσιάζει διαχωρισμό, και μπορεί να πληρώσει ομοιόμορφα και πλήρως κάθε σημείο του ξυλότυπου ρέοντας αποκλειστικά και μόνο λόγω του ίδιου βάρους του, χωρίς καμία ανάγκη δόνησης ή κατανάλωσης άλλου είδους ενέργειας.

Η ιδέα για την τεχνολογία αυτή αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία το 1983 από τον Okamura, όταν αυτός αντιλήφθηκε ότι η ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για ανθεκτικό σκυρόδεμα για τον σχεδιασμό και την κατασκευή μεγάλων και ποιοτικών έργων, καθώς και η ταυτόχρονη μείωση του εξειδικευμένου προσωπικού που απαιτείται για την δόνηση και την συμπίκνωση του σκυροδέματος, οδηγούσαν στην ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος. Η πρόταση κατατέθηκε από τον Okamura το 1986 και οι έρευνες για την καταγραφή των θεμελιωδών αρχών του ΑΣΣ έγιναν από τους Ozawa και Maekawa στο Πανεπιστήμιο του Τόκιο.

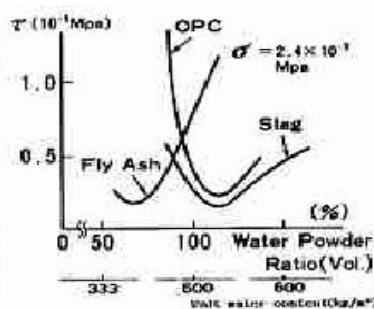
Αρχικά ο Okamura διευκολύνθηκε στον τρόπο σκέψης του καθώς ήδη στην Ιαπωνία χρησιμοποιούνταν σκυρόδεμα κατάλληλο για δόμηση μέσα σε νερό, μεγάλης δηλαδή αντίστασης σε απόμειξη. Η χρήση αυτού αποδείχθηκε όμως αναποτελεσματική σε κτιριακά έργα καθώς δεν συμπυκνωνόταν σωστά, αφού ο αέρας εγκλωβίζονταν λόγω του αυξημένου ιξώδους. Έτσι άρχισε να επεξεργάζεται έναν άλλο παράγοντα του σκυροδέματος, την εργασιμότητα. Πειραματικά διαπίστωσε τον τρόπο που ο λόγος νερού προς τσιμέντο επιδρά στις δυνάμεις που αναπτύσσονται ανάμεσα στα χονδρόκοκκα αδρανή και του πολτού καθώς το μίγμα διέρχεται από μικρά κενά, και τις δυνάμεις τριβής μεταξύ των ίδιων των αδρανών.

Το πείραμα με το οποίο παρατήρησε οπτικά το φαινόμενο ήταν το εξής. Αντικατέστησε τα χονδρόκοκκα αδρανή με ίδιου μεγέθους διαφανή πολυμερή

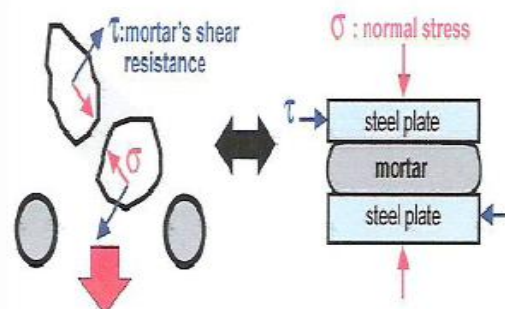
σωματίδια, τα οποία ‘φύσηξε’ μέσω μειούμενης διατομής αγωγού και είδε πράγματι πως η παρεμπόδιση της ροής γινόταν λόγω της επαφής των σωματιδίων αυτών και της μεταξύ τους δύναμης (Εικόνα 1). Όσο μεγαλύτερος ο λόγος N/T τόσο μικρότερη η δύναμη αυτή και άρα τόσο μεγαλύτερη η εργασιμότητα. Αυτό όμως μειώνει ανεπιθύμητα το ιξώδες. Εδώ έγινε αναγκαία η χρήση ρευστοποιητή για την ταυτόχρονη ικανοποίηση της εργασιμότητας (που απαιτεί χαμηλό λόγο N/T) αλλά και της συνεκτικότητας που συνδέεται με το ιξώδες(απαιτεί υψηλό λόγο N/T) , κάτι φαινομενικά μέχρι πριν ασυμβίβαστο. Αυτά τα αντιστρόφως ανάλογα χαρακτηριστικά καταφέρνουν να συνυπάρχουν «παραλόγως» χάριν σε υπερευστοποιητές νέας γενιάς που προσδίδουν πλαστιμότητα στο μίγμα χωρίς να ελαττώνουν κρίσιμα το ιξώδες. Παράλληλα προσδιορίστηκαν οι αναλογίες για τα χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα αδρανή ως 50% και 40% κατά όγκο στερεών αντιστοίχως . Αξίζει να σημειωθεί ότι μέσω πειραματικών δοκιμών κατέληξε στην αναλογία νερού προς σκόνη (λεπτόκοκκα) βλέποντας τον τρόπο που αυτή επιδρά στην τιμή της διατμητικής δύναμης μεταξύ των αδρανών. Το δεύτερο αυτό πείραμα είχε ως εξής: τοποθέτησε παράλληλα δυο μεταλλικές πλάκες και μίγμα ΑΣΣ ανάμεσά τους, και παρατήρησε ότι η διατμητική δύναμη ‘τ’ που απαιτούνταν για σχετική οριζόντια μετακίνηση εξαρτιόταν σε μεγάλο βαθμό από το λόγο νερό / σκόνη του μίγματος καταλήγοντας σε τιμές για το λόγο αυτό περίπου 0.9 – 1.0 (Εικόνες 2 και 3)



Εικόνα 1



Εικόνα 2



Εικόνα 3

## **1.1.ΕΙΔΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ**

### **Τι πιο κοινότυπο υλικό από το σκυρόδεμα;**

Γεννημένο στα τέλη του 19ου αιώνα, το σκυρόδεμα μέχρι και σήμερα είναι πανταχού παρόν. Απαραίτητο συστατικό των πόλεων μας, αποτελούσε για πολλά χρόνια έκφραση του θράσους του "εκμοντερνισμού", συνώνυμο της μονοτονίας και της μετριότητας του οικιστικού μας συστήματος.

### **Τι πιο απλοϊκό υλικό από το σκυρόδεμα;**

Μέχρι πριν μερικά χρόνια, για τους περισσότερους από τους καταναλωτές ήταν ένα απλό χαρμάνι από τσιμέντο, νερό και αδρανή, με ακρίβεια «φτυαριού». Στην πραγματικότητα όμως δεν έπαψε ποτέ να εξελίσσεται και να εμφανίζει νέο πρόσωπο, γεγονός που το επέβαλλαν τόσο οι ανάγκες και οι απαιτήσεις της αγοράς, όσο και οι νέες τεχνολογίες. Είναι πλέον γνωστό ότι μπορεί κανείς να επηρεάσει τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος με μικρές μόνο αλλαγές στη σύνθεση του. Η τεχνολογική εξέλιξη επηρέασε τόσο τη βελτίωση των τεχνικών του χαρακτηριστικών όσο και την τελική όψη του.

Στο παρόν τεύχος του περιοδικού Δεσμοί παρουσιάζονται ορισμένες τάσεις και προϊόντα από την Ευρωπαϊκή αγορά στο χώρο του σκυροδέματος, τα οποία σταδιακά θα αποτελέσουν και ελληνική πραγματικότητα. Ας αρχίσουμε λοιπόν να προετοιμαζόμαστε για το «υλικό» σκυρόδεμα της Νέας Χιλιετίας!!!

#### **1.1.1. Σκυροδέματα πλήρωσης ορυγμάτων -κοιλοτήτων**

(CLSM: Controlled low strength Materials -Materiaux autocompactants - Remplissages Fluides - Beton Tranchees)

Πρόκειται για είδη αυτοσυμπυκνούμενων προϊόντων σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται στην πλήρωση των ορυγμάτων-τάφρων-κοιλοτήτων. Αποτελούνται από αδρανή υλικά (άμμος, χονδρόκοκκα αδρανή), τσιμέντο ή υδραυλική κονία.

Σύμφωνα με το Aül (American Concrete Institute), 116R ονομάζονται υλικά ελεγχόμενης χαμηλής θλιπτικής αντοχής γιατί η αντοχή τους σε θλίψη δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 8,3 Mpa. Ανάλογα με τη θλιπτική τους αντοχή μπορούν να έχουν περισσότερες από μία τυπικές εφαρμογές.

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

Οι πολυάριθμες επεμβάσεις για την τοποθέτηση, συντήρηση ή αντικατάσταση των υπόγειων δικτύων (ύδρευσης, αποχέτευσης, ηλεκτροδότησης, τηλεπικοινωνιών) δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στην κυκλοφορία: καθυστερήσεις, ατυχήματα, συνωστισμό, μεγάλη συγκέντρωση υλικών στο εργοτάξιο.

Στις διασταυρώσεις των ορυγμάτων, όπως και στα μικρού πλάτους ορύγματα, η συμπύκνωση των υλικών επανεπίχωσης γίνεται πολύ δύσκολη μέχρι αδύνατη. Με τα συμβατικά μέσα πλήρωσης η ταχύτητα δεν συμβιβάζεται πάντα με την ποιότητα!

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ανάγκη επανάληψης των εργασιών σε σύντομο χρονικό διάστημα, καταστροφές του οδοστρώματος και συνεπώς μείωση της ασφάλειας της κυκλοφορίας.

Το σκυρόδεμα πλήρωσης ορυγμάτων-κοιλοτήτων αποτελεί άριστη λύση για τα προβλήματα αυτά.



### **1.1.2.Κυλινδρούμενο Σκυρόδεμα**

(Roller Compacted Concrete, Beton compacte au rouleau)

Πρόκειται για ειδικό ύφυγρο σκυρόδεμα που αποτελείται από αδρανή υλικά, τσιμέντο, νερό και ενδεχομένως πρόσθετα. Διαστρώνεται σε στρώσεις καθορισμένου μικρού πάχους με κοινά μηχανήματα διάστρωσης και συμπυκνώνεται με οδοστρωτήρες.

Το κυλινδρούμενο σκυρόδεμα μπορεί να έχει δύο κύριες εφαρμογές: κατασκευές φραγμάτων και οδοποιία. Παρόλο που χρησιμοποιείται ο ίδιος όρος για να περιγράψει το προϊόν και για τις δύο αυτές χρήσεις του σκυροδέματος, οι μέθοδοι κατασκευής καθώς και τα τελικά προϊόντα διαφέρουν μεταξύ τους.

Η χρήση του κυλινδρούμενου σκυροδέματος σε φράγματα επιτρέπει τη δημιουργία ομαλότερων κλίσεων, την ταχύτητα κατασκευής και την οικονομία υλικών σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους χωμάτινων φραγμάτων.



Το κυλινδρούμενο σκυρόδεμα στην οδοποιία προσφέρει ταχύτητα κατασκευής και μικρή κατανάλωση υλικών. Είναι δυνατόν να αποτελέσει λύση για οδούς που η ομαλότητα της επιφάνειας τους δεν αποτελεί πρωταρχική απαίτηση (επαρχιακό οδικό δίκτυο) ή για χρήση σε δάπεδα στάθμευσης-αποθήκευσης, μειώνοντας σημαντικά το συνολικό κόστος κατασκευής.

### **1.1.3. Αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα διαμόρφωσης εξωτερικών χώρων**

(beton lave pour aménagement, beton desactive)

Πρόκειται για εργοστασιακό σκυρόδεμα ειδικής σύνθεσης στην επιφάνεια του οποίου εμφανίζονται επιλεγμένα αδρανή κατόπιν ειδικής επεξεργασίας. Η επεξεργασία αυτή βασίζεται στην τεχνική της «απενεργοποίησης» του τσιμέντου στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

Η τεχνική της «απενεργοποίησης» ή χημικής απογύμνωσης του νωπού σκυροδέματος συνίσταται στην επιβράδυνση πήξης της επιφανειακής τσιμεντόπαστας, την απομάκρυνσή της με χρήση νερού υπό πίεση και την αποκάλυψη των αδρανών.

Εδώ και μερικά χρόνια οι επιστρώσεις με χρήση σκυροδέματος αποτελούν συνηθισμένη επιλογή σε δάπεδα εξωτερικών χώρων, σε ιδιωτικά καθώς και σε δημόσια έργα.

Το αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα αποτελεί είδος επίστρωσης εξωτερικών χώρων με υψηλό αισθητικό αποτέλεσμα. Παρουσιάζει πλήθος πλεονεκτημάτων όπως:

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

#### 1.1.4. Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα

(SCC: Self Compacting Concrete, BAN: Beton Autonivelant – Beton autoplagant)

Πρόκειται για ειδικό υπέρρευστο σκυρόδεμα το οποίο ρέει και διαστρώνεται, απλά και μόνο, με την επίδραση του ίδιου του βάρους του και πληρώνει το καλούπι (ξυλότυπους ή μεταλλότυπους) ακόμη και με παρουσία πολύ πυκνού οπλισμού, χωρίς την ανάγκη εσωτερικής ή εξωτερικής δόνησης διατηρώντας πάντα την ομοιογένεια του.



Η χρήση του αυτοεπιπεδούμενου σκυροδέματος παρουσιάζει τεχνικοοικονομικά πλεονεκτήματα όπως:

- Μείωση του χρόνου κατασκευής καθώς και του απαιτούμενου εργατικού δυναμικού στο εργοτάξιο
- Βελτίωση της τελικής επιφάνειας του σκυροδέματος
- Ευκολία διάστρωσης
- Βελτίωση της ανθεκτικότητας της κατασκευής (η ποιότητα του σκυροδέματος επί τόπου του έργου είναι πρακτικά ανεξάρτητη από την εξειδίκευση ή όχι του συνεργείου κατασκευής)
- Μείωση του πάχους των διατομών
- Βελτίωση της ασφάλειας του εργοταξίου

#### 1.2.ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Το ΑΣΣ κατηγοριοποιείται ανάλογα με τη μέθοδο σύνθεσής του, προς αύξηση του πλαστικού του ιξώδους, αλλά και ανάλογα με τον βαθμό αυτοσυμπύκνωσης.

### 1.2.1.Με βάση τη μέθοδο σύνθεσης του :

- Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα τύπου κονιάς (powder type SCC) :

Οι αναλογίες του μίγματος είναι τέτοιες ώστε να ικανοποιείται η απαίτηση της αυτοσυμπύκνωσης, μειώνοντας το λόγο νερού τις λεπτόκοκκα (διάμετρος <0.1mm) και να υπάρχει επαρκής αντίσταση σε διαχωρισμό. Αυτό τις μειώνει την πλαστικότητα η οποία αποκαθίσταται με προσθήκη υπερρευστοποιητών και αερακτικών. Τέτοιου τύπου ήταν τα πρώτα μίγματα ΑΣΣ.

- Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με βάση τον ρυθμιστικό παράγοντα για το ιξώδες (Viscosity agent type SCC) :

Σε μίγματα χαμηλής ποσότητας συνδετικών κονιών, η αντίσταση σε διαχωρισμό εξασφαλίζεται με προσθήκη ρυθμιστή ιξώδους, ακόμα και λίγο πριν τη διάστρωση. Η ζητούμενη πλαστικότητα και πάλι εξασφαλίζεται με χρήση προσθήκη υπερρευστοποιητών και αερακτικών. Της ο τύπος σκυροδέματος αποτελεί εξέλιξη του σκυροδέματος για υποβρύχιες σκυροδετήσεις.

- Συνδυασμένος τύπος αυτοσυμπυκνόμενου σκυροδέματος :

Η ρευστότητα του ΑΣΣ επιτυγχάνεται με βάση τα λεπτόκοκκα τις στον πρώτο τύπο. Παρουσιάζονται τις σημαντικές ποιοτικές διακυμάνσεις σε αυτήν ανάλογα με τις αυξομειώσεις στην επιφανειακή υγρασία των αδρανών και την κοκκομετρική διαβάθμιση του λεπτόκοκκου κλάσματος. Αυτές οι διακυμάνσεις ελαχιστοποιούνται με χρήση ρυθμιστή ιξώδους.

### 1.2.2.Με βάση το βαθμό αυτοσυμπύκνωσης :

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

Μία τυπική αναλογία συστατικών για την παρασκευή του συνδυασμένου τύπου

ΑΣΣ σε Ευρώπη, Αμερική, Ιαπωνία παρουσιάζεται στον πίνακα 1.

Συστατικά	Europe	U.S.A.	Japan
Νερό	200 kg	154 kg	175 kg
Τσιμέντο τύπου Portland	310 kg	416 kg	298 kg
Ιπτάμενη τέφρα	190 kg	0	206 kg
Λεπτόκοκκα αδρανή	700 kg	1015kg	702 kg
Χονδρόκοκκα αδρανή	750 kg	892 kg	871 kg
*HRWR	6.5 kg	2616ml	10.6kg
**VMA	7.5 kg	542ml	0.0875kg

Πίνακας 1 – Τυπικές αναλογίες συστατικών για συνδυασμένο τύπο ΑΣΣ

Σημείωση:

\* HRWR = Ευρέως φάσματος υδατικοί μειωτήρες, οι οποίοι μειώνουν το νερό ανάμιξης και με την προσθήκη χημικού στο ύφυγρο μίγμα αποκαθιστούν τη συνεκτικότητα και την εργασιμότητα (High-range water reducing admixture).

\*\* VMA = Οι ρυθμιστικοί παράγοντες για το ιξώδες επιτρέπουν την παρασκευή ΑΣΣ με μικρή ποσότητα πληρωτικών (περιπτώσεις σκυροδεμάτων με μεγάλο λόγο νερού προς τσιμεντοειδή υλικά). Προστίθενται συνήθως σε ποσοστά 0.1-0.2% κ.β. τσιμεντοειδών υλικών(Viscosity-modifying-agents).

Πρέπει να τονιστεί ότι το ΑΣΣ δεν είναι τυποποιημένο, επειδή πρέπει πρώτα να καθοριστούν οι δομικές απαιτήσεις και οι ειδικές συνθήκες του έργου στο οποίο θα εφαρμοσθεί. Δηλαδή το σχήμα των στοιχείων, οι διαστάσεις, η πυκνότητα του οπλισμού, οι μέθοδοι μεταφοράς, τοποθέτησης, φινιρίσματος και αγωγής του σκυροδέματος. Ωστόσο υπάρχουν κανονισμοί όπως οι **EFCA**, **EFNARC**, οι οποίοι δίνουν διάφορες αναλογίες συστατικών. Ο **ΠΕΤΕΠ** (Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές) προτείνει τις αναλογίες του μίγματος με βάση τον **EFNARC**. Η σύνθεση κατά EFNARC δίνεται στον ακόλουθο πίνακα 2.

Λόγος νερού/Τσιμεντοειδή υλικά	0.8-1.10 κατ' όγκο
Συνολική ποσότητα σε κονία	160-240lt/m <sup>3</sup> ΑΣΣ(400-600 kg/m <sup>3</sup> )
Περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα	280-350 lt/ m <sup>3</sup> ΑΣΣ
Περιεκτικότητα σε τσιμέντο	350-450 kg/m <sup>3</sup> ΑΣΣ
Περιεκτικότητα σε νερό	<200 lt/m <sup>3</sup> ΑΣΣ
Περιεκτικότητα σε πάστα	>400 lt/m <sup>3</sup> ΑΣΣ
Περιεκτικότητα σε άμμο	50% κ.β. των συνολικών αδρανών

Πίνακας 2 - Σύνθεση ΑΣΣ κατά ΕFNARC

## 2.1.ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του ΑΣΣ πρέπει γενικώς να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του EN 206:1:2000 και να είναι κατάλληλα για τη χρήση που προορίζονται στο σκυρόδεμα χωρίς να περιέχουν επιβλαβή συστατικά σε ποσότητες που μπορεί να είναι επικίνδυνες για την ποιότητα, την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος ή τη διάβρωση του οπλισμού.

Τα υλικά αυτά είναι τα εξής:

**2.1.1. ΤΣΙΜΕΝΤΟ** : Γενικώς όλα τα τσιμέντα που συμμορφώνονται με το Πρότυπο EN 197- 1:2000 έχουν αποδειχθεί κατάλληλα για την παραγωγή ΑΣΣ. Προτιμώνται τσιμέντα με μεγάλη διασπορά κόκκων από τον υπερρευστοποιητή και τσιμέντα πλούσια σε belite.

**2.1.2. ΑΔΡΑΝΗ** : Τα αδρανή θα συμμορφώνονται με το πρότυπο EN 12620:2002. Το μέγεθος των αδρανών εξαρτάται από την εφαρμογή και συνήθως είναι μικρότερο από 20mm. Το κατ' όγκο ποσοστό των χονδρόκοκκων αδρανών οφείλει να περιορίζεται προς αποφυγή «γεφυρών» αδρανών που εμποδίζουν τη διέλευση από πυκνές διατάξεις οπλισμών. Η περιεκτικότητα των αδρανών σε υγρασία θα παρακολουθείται συστηματικά και θα πρέπει να συνυπολογίζεται ώστε η ποιότητα του παραγόμενου ΑΣΣ να διατηρείται σταθερή. Τέλος όλοι οι τύποι άμμου (μέγεθος κόκκου 0.125mm – 4mm) που χρησιμοποιούνται για κοινό σκυρόδεμα είναι κατάλληλες και για την παρασκευή ΑΣΣ.

**2.1.3. ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΗΣ :** Το νερό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή κοινού σκυροδέματος θα συμμορφώνεται με το πρότυπο EN 1008:2002 έχει αποδειχθεί κατάλληλο για την παραγωγή ΑΣΣ.

Γενικώς, το νερό θα είναι καθαρό και διαυγές και δεν θα περιέχει ιλύ, οργανικές ουσίες, άλατα ή άλλες ξένες προσμίξεις. Η επίβλεψη σε περίπτωση χρησιμοποίησης μη πόσιμου νερού μπορεί να ζητήσει την εκτέλεση εργαστηριακού ελέγχου για την διαπίστωση της καταλληλότητάς του.

Το πρότυπο αναφοράς για το νερό ανάμιξης:

EN 1008:2002 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 --  
Νερό ανάμιξης σκυροδέματος - Προδιαγραφή για δειγματοληψία, έλεγχο και αξιολόγηση της καταλληλότητας του νερού.

Σε κάθε περίπτωση, απαγορεύεται η χρησιμοποίηση θαλασσινού νερού για την παρασκευή κονιαμάτων.

**2.1.4. ΠΡΟΣΘΕΤΑ :** Χρησιμοποιούνται για την εξασφάλιση ικανοποιητικών ρεολογικών χαρακτηριστικών και παράλληλα τη μείωση του κινδύνου διαχωρισμού ή εξίδρωσης. Τα κυριότερα πρόσθετα είναι τα εξής :

- ü Παιπάλη ( σκόνη ) πετρωμάτων (διάμετρος κόκκων < 0,125 mm EN-12820:2002 ) : Μαρμαρόσκονη, κονιορτοποιημένοι ασβεστολιθοδολομίτες ή γρανίτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συνθετικές κονίες.
- ü Ιπτάμενη Τέφρα ( IT, γνωστή και ως pulverized fuel ash, PFA-EN 450-1:2005): Παραπροϊόν της καύσης λεπτοαλεσμένου άνθρακα στα ηλεκτροπαραγωγικά εργοστάσια ( π.χ. λιγνίτη για την Ελλάδα). Είναι υλικό με ποζολανικές ιδιότητες πολύ λεπτής διαβάθμισης ( ποσοστό διερχόμενων από το κόσκινο 45mm > 75% )
- ü Πυριτική Παιπάλη (silica fume, SF ή microsilica –EN 13263-1:2005) εξαιρετικά λεπτόκοκκο υλικό με μέγεθος σωματιδίων 100 φορές μικρότερα από αυτά του κοινού τσιμέντου Portland ( περίπου <1 μm ) ώστε να προσκολλάται επιφανειακά στα αδρανή και να γεμίζει τα κενά μεταξύ των σωματιδίων τσιμέντου , προσδίδοντας συνεκτικότητα στο μίγμα. Έτσι αναβαθμίζονται οι ιδιότητες του σκυροδέματος που συνδέονται με τη μικρορηγμάτωση στη διεπιφάνεια αδρανών – μήτρας και τη

διαπερατότητα.

- ü Εξαιρετικά λεπτοαλεσμένη άμορφη κολλοειδής πυρίτια (ή nanosilica): Η χρήση της (σε ποσοστό 5% κ.β. τσιμεντοειδών υλικών) περιορίζει την εξίδρωση και συμβάλλει στην σταθεροποίηση του μίγματος.
- ü Σκωρία υψικαμίνων (ground granulated blast furnace slag –B8 6699: 1992) : Λεπτότατοι κόκκοι προερχόμενοι από κονιορτοποίηση παραπροϊόντων υψικαμίνων σιδηρομεταλλευμάτων.
- ü Πληρωτικά Γυαλιού: Ανακυκλωμένο γυαλί με μέγιστο μέγεθος κόκκου 0.1mm
- ü Χρωστικές Ουσίες ( χρησιμοποιούνται με βάση το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN- 12878:2005)

Άλλα τσιμεντοειδή υλικά που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα στο ΑΣΣ είναι η χαλαζιακή σκόνη, η παιπάλη κιμωλίας και ο μετακαολίνης. Με χρήση των παραπάνω είναι δυνατόν να μειωθεί η ποσότητα τσιμέντου στο μίγμα. Επισημαίνεται τέλος ότι πρόσθετα όπως ο μετακαολίνης και η πυριτική παιπάλη χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές λόγω του αυξημένου τους κόστους, ενώ αντίθετα η τεράστια διαθεσιμότητα ιπτάμενης τέφρας σε συνδυασμό με το χαμηλό της κόστος την καθιστά την «ιδανική σκόνη» για χρήση στο Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα σε μεγάλες ποσότητες, που μπορούν να κυμαίνονται μεταξύ των 200 και 350 kg/m<sup>3</sup>.

**2.1.5. ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ** : Τα χημικά πρόσμικτα είναι μακρομοριακές ενώσεις και διακρίνονται στους υπερευστοποιοητές και στους μειωτές νερού με το διαχωρισμό ανάμεσα στα δυο αυτά είδη να γίνεται ανάλογα με τον τρόπο χρήσης του ίδιου στην πραγματικότητα προϊόντος.

- ü Υπερευστοποιοητές ή υπερπλαστικοποιητές : Οι πιο διαδεδομένοι έχουν σαν βάση τους τη σουλφοναφθαλίνη, τα πολυκαρβοξύλια, τη σουλφομελανίνη και την αμινοσουλφαμίνη. Αυξάνουν τη συνεκτικότητα και την εργασιμότητα του μίγματος χωρίς να επηρεάζουν το λόγο N/T και την αντοχή.
- ü Μειωτές νερού: Καθώς μειώνεται το νερό μειώνεται ο λόγος N/T, άρα και η αντοχή αυξάνεται, ενώ αποκαθίσταται η εργασιμότητα και η συνεκτικότητα.

Βέβαια η δραστηριότητα των χημικών προσμίκτων εξαρτάται από

διάφορους παράγοντες όπως τον τύπο τους, τη χρονική στιγμή της εισαγωγής τους στο μίγμα, τη δοσολογία τους, το λόγο N/T, την κοκκομετρική τους διαβάθμιση, το είδος των υπολοίπων τσιμεντοειδών υλικών, τη θερμοκρασία του σκυροδέματος κ.α. Υπάρχει συγκεκριμένη ποσότητα προσμίκτου για βέλτιστα αποτελέσματα εργασιμότητας του μίγματος για το επιθυμητό χρονικό διάστημα, που να αποτρέπει την απόμειξη και με ελάχιστη επίδραση στο χρόνο πήξης και τις μηχανικές ιδιότητες στις μικρές ηλικίες. Σημείο ιδιαίτερης προσοχής είναι η προσεκτική επιλογή των χημικών προσμίκτων ώστε να είναι συμβατά τόσο με το τσιμέντο του μίγματος ( συνήθως Portland) όσο και μεταξύ τους.

**2.1.6. ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΙΞΩΔΟΥΣ** (viscosity modifying agents - VMAs): Αποτελούν καινοτομία για το πεδίο των χημικών σκυροδέματος, επιτρέποντας την Παρασκευή ΑΣΣ με μικρή ποσότητα πληρωτικών. Συνήθως προστίθενται σε ποσοστό 0.1-0.2% κ.β. τσιμεντοειδών υλικών και διακρίνονται σε δυο τύπους:

- Βελτιωτικά άντλησης με βάση τη σελουλόζη
- Διαλύματα πολυαιθυλενίου-γλυκόλης.

**2.1.7. ΑΕΡΑΚΤΙΚΑ** : Αυτά, όπως και στο κοινό σκυρόδεμα, προσφέρουν προστασία έναντι ψύξης - απόψυξης. Η προσθήκη του αερακτικού στο ανάμιγμα ΑΣΣ πρέπει να γίνεται μετά την προσθήκη του υπερπλαστικοποιητή (AFGC,2000).

**2.1.8. ΙΝΕΣ** : Οι συνήθεις ίνες είναι από χάλυβα ή πολυμερή. Χρησιμοποιούνται στο ΑΣΣ όπως και στο δονούμενο σκυρόδεμα για τη βελτίωση των ιδιοτήτων του. Οι χαλύβδινες ίνες χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της καμπτικής αντοχής και ενέργειας θραύσεως, οι δε πολυμερείς ίνες για τη μείωση της απόμειξης ή της πλαστικής συρρίκνωσης και της ανθεκτικότητας σε πυρκαγιά. Προσθήκη ινών χάλυβα σε περιεκτικότητες έως και 30 kg/m<sup>3</sup> δεν επιφέρει υποβάθμιση των ρεολογικών χαρακτηριστικών του ΑΣΣ, ενώ για μεγαλύτερες ποσότητες ινών στο ανάμιγμα (έως και 50 kg/m<sup>3</sup>) θα πρέπει να προηγούνται προκαταρκτικές δοκιμές αξιολόγησης της εργασιμότητας του μίγματος. Η μέγιστη περιεκτικότητα σε ίνες πολυπροπυλενίου ανέρχεται στο 1 kg/m<sup>3</sup>.



## 2.2.ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΔΡΑΝΩΝ

Μετά την υποχρεωτική ισχύ του EN 197-1 (ΦΕΚ 917/Β/17.07.2001 και ΦΕΚ 537/β/01.05.2002) και την αντίστοιχη υποχρεωτική ισχύ από το Μάιο του 2003 του EN 944-2 (όπως γράψαμε για τα πρόσθετα), έρχεται η σειρά των αδρανών.

Τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα που αναφέρονται στα αδρανή υλικά είναι 2 ειδών:

- Πρότυπα - Προδιαγραφές προϊόντων
- Μέθοδοι Ελέγχου

Τα πρότυπα αυτά θα επιφέρουν μία σειρά από μεταβολές τόσο στις απαιτούμενες ιδιότητες των αδρανών όσο και στον τρόπο που ελέγχονται.

### 2.2.1. Πρότυπα

Τα πρότυπα «προϊόντων» προσδιορίζουν, για κάθε ιδιότητα, τις διάφορες κατηγορίες αδρανών υλικών, σε συνάρτηση με τις κύριες εφαρμογές (σκυρόδεμα, οδοποιία, ασφαλτικά).

Για παράδειγμα οι κατηγορίες για τις μέγιστες τιμές της περιεχόμενης παιπάλης στην άμμο είναι:

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	f 3	f 10	f 16	f 22	f κατά δήλωση παραγωγού
ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΑΙΠΑΛΗΣ	3	10	16	22	>22

Αδρανές υλικό, για κάθε χαρακτηριστικό θα μπορεί να βρεθεί σε διαφορετική κατηγορία, ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται.

### 2.2.2. Προδιαγραφές Προϊόντων

Οι προδιαγραφές «προϊόντων» έχουν χωριστεί σε 7 ομάδες ανάλογα με τις χρήσεις:

- 1.Αδρανή για παρασκευή τσιμεντοσκυροδέματος (aggregates for concrete)

2.Αδρανή για παρασκευή ασφαλτομιγμάτων (aggregates for bituminous mixtures)

3.Αδρανή Κονιαμάτων (aggregates for mortar)

4.Αδρανή για Ογκόλιθους για υδραυλικά και λιμενικά έργα (armourstones)

5.Αδρανή για έρμα σιδηροδρομικής γραμμής (aggregates for railway track ballast)

6.Αδρανή υλικά για βάσεις και υποβάσεις, σταθεροποιημένες ή όχι, για χρήση σε οδοστρώματα και έργα πολιτικού μηχανικού (aggregates for unbound and hydraulically bound materials)

7.Ελαφροβαρή Αδρανή (lightweight aggregates)

### **2.2.3. Μέθοδοι Ελέγχου**

Σύμφωνα με το νέο EN 12620, οι έλεγχοι γίνονται σε 6 χαρακτηριστικά των αδρανών (κατηγορίες).

Οι μέθοδοι δοκιμών μπορούν να χωριστούν σε 6 κατηγορίες ανάλογα με το ελεγχόμενο χαρακτηριστικό-ιδιότητα:

- Γενικά Χαρακτηριστικά,
- Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά,
- Φυσικά και Μηχανικά Χαρακτηριστικά,
- Ιδιότητες των αδρανών σε θερμικές και καιρικές μεταβολές,
- Χημικά Χαρακτηριστικά,
- Χαρακτηριστικά λεπτόκοκκου κλάσματος (filter) στα ασφαλτομίγματα

## **2.3.ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΝΕΑ ΠΡΟΤΥΠΑ**

Ενδεικτικά θα αναφέρουμε μερικές διαφορές:

### **2.3.1. ΠΡΟΤΥΠΑ**

> Το μέγεθος κόκκων καθορίζεται συμβατικά με το συμβολισμό  $d/D$ .  $d$ =ελάχιστη διάσταση μικρότερου κόκκου και  $D$ =μέγιστη διάσταση του μεγαλύτερου κόκκου ενός κοκκομετρικού κλάσματος αδρανούς, εκφραζόμενη σε mm). Οι διαστάσεις αυτές πρέπει να επιλεγθούν από συγκεκριμένες ομάδες κόσκινων

> Ένα κοκκομετρικό κλάσμα  $d/D$  είναι δυνατόν να εντάσσεται σε κοκκομετρικές ζώνες μεγάλου ή μικρού εύρους και με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται διαφορετικές κατηγορίες. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι υπάρχουν 2 κατηγορίες Gc85/20 και Gc80/20 χονδροκόκκων αδρανών σκυροδέματος ανάλογα με το διερχόμενο ποσοστό στη διάσταση  $D$

> Ο προμηθευτής αδρανών θα πρέπει να ανακοινώνει το διερχόμενο ποσοστό στο «ενδιάμεσο κόσκινο» (midsize sieve) για τα κλάσματα με μέγεθος  $D > 11,2$  mm και  $D/d > 2$  ή για κλάσματα με μέγεθος  $D < 11,2$  mm και  $D/d > 4$

> Στην άμμο σκυροδέματος δεν ορίζεται επιτρεπόμενο άνω όριο για το ποσοστό των κόκκων που διέρχεται από κόσκινο 0,25 mm

> Οι επιτρεπτές ανοχές μεταξύ της τυπικής κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών σκυροδέματος που ανακοινώνει ο προμηθευτής σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα διαφέρουν σημαντικά από εκείνες που αναγράφονται στα υφιστάμενα Ελληνικά Πρότυπα και Κανονισμούς

> Στα πρότυπα «προϊόντων» υπάρχουν ειδικά κεφάλαια που αναφέρονται στον έλεγχο παραγωγής (factory production control)

> Εισάγεται η έννοια της ονοματολογίας (designation) των αδρανών και δίνονται οι τιμές των απαιτούμενων χαρακτηριστικών ανάλογα με το σύστημα αξιολόγησης (2+) ή (4) της συμμόρφωσης

### **2.3.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ**

- Στην κοκκομετρική ανάλυση καταργείται η σειρά των αμερικάνικων κόσκινων, τόσο στα αδρανή σκυροδέματος, όσο και στα αδρανή για ασφαλτομίγματα και αδρανή οδοποιίας

- Αντικαθίσταται το αμερικάνικο κόσκινο No. 75 για τον έλεγχο της παιπάλης με το κόσκινο 0.063mm

- Για τον έλεγχο της κοκκομετρικής διαβάθμισης των άμμων 0/D, χρησιμοποιούνται μόνο τα κόσκινα: 0,063mm,  $D/2$ ,  $D$ ,  $1,4D$ , και  $2D$

- Καταργείται ο έλεγχος των αργιλικών προσμίξεων στην άμμο ασφαλτομιγμάτων με τη δοκιμή Ισοδύναμου Άμμου και προστίθεται η δοκιμή Κυανού Μεθυλενίου

- Για τις άμμους σκυροδέματος είναι δυνατόν να εφαρμόζονται και οι δύο δοκιμές του έμμεσου προσδιορισμού (Ισοδύναμο Άμμου - Μπλε του Μεθυλενίου) σε κλάσμα 0/2mm.

### **3.ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ**

#### **3.1.Γενικά**

Η σύνθεση του ΑΣΣ πρέπει να ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις για το νωπό και για το σκληρυμένο σκυρόδεμα. Το σκληρυμένο σκυρόδεμα πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του EN 206-1:2000.

#### **3.2.Ορισμοί**

Η *εργασιμότητα* είναι ένα μέτρο της ευκολίας με την οποία το νωπό σκυρόδεμα μπορεί να διαστρωθεί και να συμπυκνωθεί. Η εργασιμότητα εξαρτάται από τον περίπλοκο συνδυασμό της ρευστότητας, της συνεκτικότητας, της μεταφεριμότητας, της συμπυκνωσιμότητας και του κολλώδους του σκυροδέματος.

*Ικανότητα διέλευσης* είναι η ικανότητα του ΑΣΣ να ρέει διαμέσου στενών ανοιγμάτων (όπως ανάμεσα από τις ράβδους του οπλισμού) χωρίς να παρουσιάζει διαχωρισμό ή εμπλοκές.

*Αντίσταση στην απόμιξη* είναι η ικανότητα του ΑΣΣ να παραμένει ομοιογενές κατά την διάρκεια της μεταφοράς και της χύτευσης.

*Ικανότητα πλήρωσης* (ρευστότητα) είναι η ικανότητα του ΑΣΣ να ρέει και να γεμίζει πλήρως όλους τους χώρους του ξυλοτύπου με την δράση μόνο του δικού του βάρους.

*Πρόσμικτα* είναι τα ανόργανα υλικά λεπτής διαβάθμισης τα οποία προστίθενται στο σκυρόδεμα με σκοπό να βελτιώσουν ή να προσδώσουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Διακρίνονται σε δύο τύπους:

Τύπος I: Σχεδόν αδρανή πρόσθετα.

Τύπος II: Ποζολανικά ή λανθάνοντα υδραυλικά πρόσθετα.

*Πρόσθετα* είναι τα υλικά που προστίθενται σε μικρές ποσότητες, σε σχέση με την μάζα του αναμίγματος, κατά την διάρκεια της ανάμιξης για να μεταβάλλουν τις ιδιότητες του νωπού ή του σκληρυμένου σκυροδέματος.

*Συνδετικό υλικό αδρανών σκυροδέματος* είναι ο συνδυασμός τσιμέντου και υδραυλικών προσθέτων στο αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα.

*Λεπτομερή υλικά* είναι όλα τα υλικά με μέγιστο κόκκο μικρότερο των 0,125 mm, συμπεριλαμβανομένων και των κλασμάτων της άμμου.

*Χονδρόκοκκα υλικά* είναι όλα τα υλικά με μέγιστο κόκκο μεγαλύτερο των 4 mm.

*Πάστα* είναι το κλάσμα του σκυροδέματος το οποίο αποτελείται από τα λεπτομερή υλικά, το νερό και τον περιεχόμενο αέρα.

*Κονίαμα* είναι το κλάσμα του σκυροδέματος το οποίο αποτελείται από την πάστα και τα αδρανή τα λεπτότερα των 4 mm.

### **3.3.Εισαγωγή στη θεωρία**

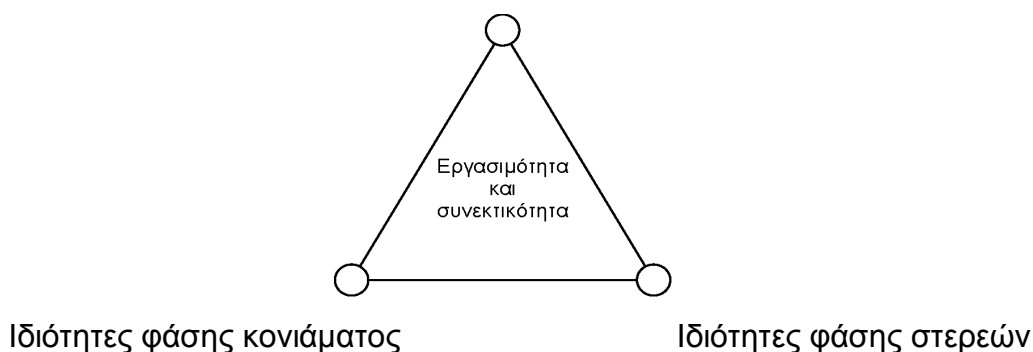
Ως μέσον για τον σχεδιασμό των ρεολογικών ιδιοτήτων του ΑΣΣ χρησιμοποιείται το προσομοίωμα στερεών-πάστας, σύμφωνα με το οποίο η φάση της πάστας περιβάλλει την φάση των στερεών και γεμίζει όλα τα κενά.

Η φάση της πάστας περιλαμβάνει το ελεύθερο νερό, τα πρόσμικτα και όλα τα σωματίδια μεγέθους μικρότερου από 0,125 mm (τα λεπτομερή) και θεωρείται ιξώδες ρευστό (με ιδιότητες ρευστού Bingham).

Η φάση των στερεών περιλαμβάνει όλα τα σωματίδια μεγέθους μεγαλύτερου από 0,125 mm και το απορροφούμενο από αυτά νερό και θεωρείται φάση με ιδιότητες τριβής. Το απορροφούμενο νερό από τα σωματίδια αυτής της φάσης δεν συμμετέχει στις ρεολογικές ιδιότητες του ΑΣΣ. Η χρήση του μοντέλου στερεών-πάστας δεν συνεπάγεται ότι το συγκρατούμενο των αδρανών στο κόσκινο των 0,125 mm είναι φυσικώς διαχωρισμένο από το αντίστοιχο πέρασμα στις διεργασίες παραγωγής του ΑΣΣ αλλά η διάκριση χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς σχεδιασμού.

Η εργασιμότητα και η συνεκτικότητα είναι οι χαρακτηριστικές ιδιότητες της φάσης της πάστας και τα κενά μεταξύ των σωματιδίων είναι η χαρακτηριστική ιδιότητα της φάσης στερεών. Οι ιδιότητες του ΑΣΣ προσδιορίζονται από τις ιδιότητες των δύο φάσεων και από την αναλογία όγκων τους, όπως σχηματικά φαίνεται στο σχήμα.

### Αναλογία όγκων



#### 3.4. Η μέθοδος Okamura για την σύνθεση ΑΣΣ.

Η εργαστηριακή αυτή μέθοδος σχεδιασμού συνθέσεων ΑΣΣ αναπτύχθηκε από τον Okamura που πρώτος ασχολήθηκε συστηματικά με το ΑΣΣ. Σημειώνεται ότι με την μέθοδο αυτή μπορεί να προκύψουν αναλογίες ή ποσότητες που διαφέρουν από αυτές που αναφέρονται παραπάνω.

Η μέθοδος Okamura περιλαμβάνει την εξής ακολουθία:

- 1) Καθορισμός της επιθυμητής περιεκτικότητας σε αέρα (συνήθως 2% κ.ο)
- 2) Καθορισμός του όγκου των χονδρών αδρανών
- 3) Καθορισμός της περιεκτικότητας σε άμμο
- 4) Σχεδιασμός της σύστασης της πάστας
- 5) Προσδιορισμός του βέλτιστου λόγου νερού/λεπτομερή και της δόσης του υπερρευστοποιητή στο κονίαμα
- 6) Αξιολόγηση των ιδιοτήτων/επιδόσεων του ΑΣΣ με πρότυπες δοκιμές

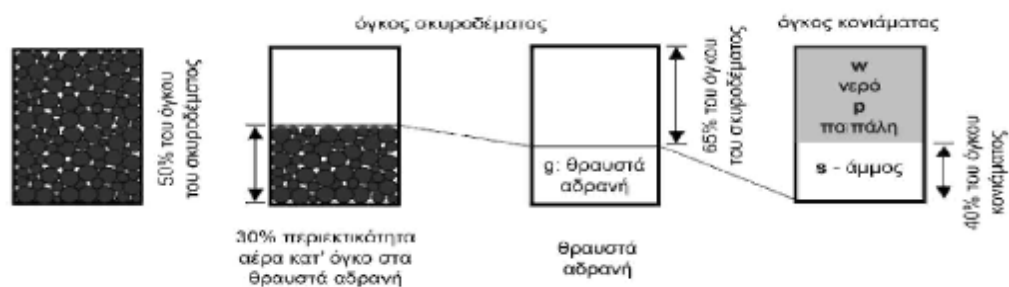
##### 3.4.1. Περιεκτικότητας του ΑΣΣ σε αέρα

Η περιεκτικότητα του ΑΣΣ σε αέρα λαμβάνεται συνήθως 2% κ.ο ΑΣΣ. Μεγαλύτερη αεροπεριεκτικότητα χρησιμοποιείται σε σκυρόδεμα ανθεκτικό στην ψύξη/απόψυξη.

##### 3.4.2. Καθορισμός του όγκου των χονδρόκοκκων αδρανών

Η περιεκτικότητα του ΑΣΣ σε χονδρόκοκκα αδρανή υπολογίζεται με βάση το φαινόμενο βάρος των αδρανών (φαινόμενο βάρος σωρευμένου υλικού χύδην

ορίζεται ως η μάζα του υλικού που περιέχεται στην μονάδα του όγκου σωρευμένου υλικού και εκφράζεται σε  $\text{kg/m}^3$ ). Κατά τον Okamura, η περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα αδρανή (κόκκοι μεγέθους μεγαλύτερου από 4 mm) θα πρέπει να ισούται με το 50-60% του φαινομένου βάρους των αδρανών. Για παράδειγμα εάν το φαινόμενο βάρος των αδρανών των χονδρόκοκκων αδρανών είναι  $1550 \text{ kg/m}^3$  η περιεκτικότητα των αδρανών στο ΑΣΣ θα είναι 775-930  $\text{kg}$  χονδρόκοκκων / $\text{m}^3$  ΑΣΣ. Η λογική των υπολογισμών φαίνεται στο Σχ.1.



Σχ.1 -Σχηματική παράσταση υπολογισμού της περιεκτικότητας του ΑΣΣ σε χονδρόκοκκα αδρανή και άμμο.

Όταν ο όγκος των χονδρών αδρανών στο σκυρόδεμα υπερβαίνει ένα όριο, η πιθανότητα επαφής μεταξύ των κόκκων αυξάνεται απότομα και υπάρχει αυξημένος κίνδυνος έμφραξης όταν το σκυρόδεμα διέρχεται μεταξύ των ράβδων του οπλισμού.

Η βέλτιστη περιεκτικότητα σε χονδρά αδρανή εξαρτάται από:

- Το μέγιστο μέγεθος κόκκου. Όσο μειώνεται το μέγεθος του μέγιστου κόκκου τόσο μπορεί να αυξηθεί η περιεκτικότητα σε χονδρά αδρανή.
- Την επιφάνεια των αδρανών. Η περιεκτικότητα σε χονδρά αδρανή μπορεί να αυξηθεί με την χρήση στρογγυλεμένων αντί θραυστών αδρανών.

### 3.4.3. Καθορισμός της περιεκτικότητας σε άμμο

Η περιεκτικότητα του κονιάματος σε άμμο (κόκκοι μεγέθους 0,125 - 4 mm) θα πρέπει να ισούται με το 40-50% του φαινομένου βάρους της άμμου. Για παράδειγμα εάν το φαινόμενο βάρος της άμμου είναι  $1610 \text{ kg/m}^3$  η περιεκτικότητα της άμμου στο ΑΣΣ θα είναι 644-805  $\text{kg/m}^3$  ΑΣΣ.

### 3.4.4. Σχεδιασμός της σύστασης της πάστας

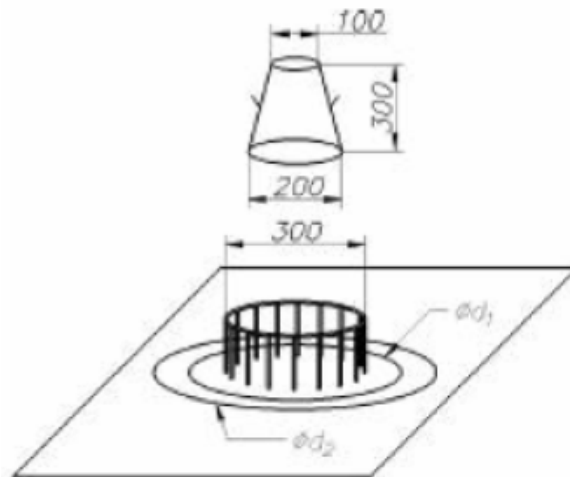
Ο σχεδιασμός της σύστασης της πάστας γίνεται πειραματικά. Στην πειραματική διαδικασία προσδιορίζεται ο λόγος νερού/λεπτομερή για τον οποίο η δοκιμή εξάπλωσης της πάστας με τον κώνο κάθισης παρουσιάζει μηδενική σχετική εξάπλωση. Ο λόγος αυτός συμβολίζεται ως  $\beta_p$ . Η πάστα μετά την ανάσυρση του κώνου παραμορφώνεται από το ίδιο βάρος και μετρείται το μήκος δύο διαμέτρων,  $d_1$  και  $d_2$  που σχηματίζουν γωνία  $90^\circ$  (Σχ.2). Η σχετική εξάπλωση  $\Gamma_{p/m}$  υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$d = 0,5 (d_1 + d_2)$$

$$\Gamma_{p/m} = (d/d_0)^2 - 1$$

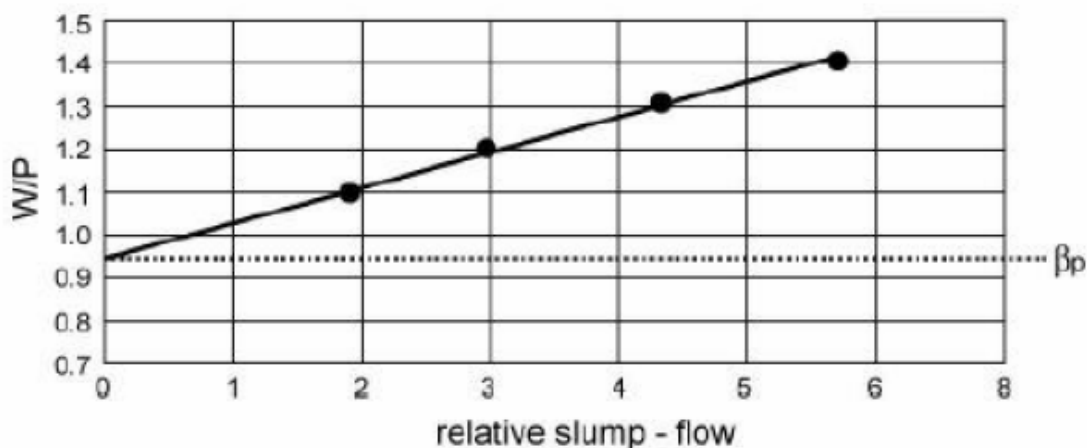
Όπου  $d_0$  η αρχική διάμετρος της βάσης του κώνου (= 100 mm)

Παρασκευάζονται πάστες με την προκαθορισμένη αναλογία συστατικών (τσιμέντο και λεπτομερή) και διαφορετικούς λόγους w/p νερού/λεπτομερή (π.χ. 1,1, 1,2, 1,3, 1,4). Στις πάστες αυτές προσδιορίζεται η σχετική εξάπλωση  $\Gamma_{p/m}$  και από την συσχέτιση w/p με  $\Gamma_{p/m}$  προσδιορίζεται ο λόγος  $\beta_p$  όπως φαίνεται στο τυπικό Σχ.3.



Σχ. 2. Μετρήσεις για την σχετική εξάπλωση  $\Gamma_{p/m}$ ,





Σχ. 3 - Προσδιορισμός του λόγου νερού/λεπτομερή  $\beta_p$

### 3.4.5. Προσδιορισμός του βέλτιστου λόγου νερού/ λεπτομερή και της δόσης του υπερρευστοποιητή στο κονίαμα

Ο προσδιορισμός του βέλτιστου λόγου νερού/ λεπτομερή και της δόσης του υπερρευστοποιητή στο κονίαμα γίνεται πειραματικά με χρήση των δοκιμών του κώνου εξάπλωσης (βλ. § 6.1.2.) και της χοάνης εκροής σχήματος V (βλ. § 6.1.4.).

Οι δοκιμές πραγματοποιούνται με λόγο w/p στην περιοχή από 0,8 βρ έως 0,9 βρ με διαφορετικές περιεκτικότητες υπερρευστοποιητή και με περιεκτικότητα σε άμμο όπως καθορίζεται στην § 3.4.3 γ.

Οι παρακάτω τιμές θεωρούνται ικανοποιητικές:

Εξάπλωση: 24-26 cm

Χρόνος εκροής από τη χοάνη εκροής σχήματος V : 7-11 s

Στην περίπτωση που ικανοποιείται η δοκιμή του κώνου εξάπλωσης και ο χρόνος εκροής από τη χοάνη σχήματος V είναι μικρότερος από 7 s προτείνεται η μείωση του λόγου w/p, ενώ στην περίπτωση που ο χρόνος εκροής είναι μεγαλύτερος από 11 s προτείνεται η αύξηση του λόγου w/p.

Στην περίπτωση που τα κριτήρια δεν ικανοποιούνται τότε ο συνδυασμός συστατικών που χρησιμοποιήθηκε δεν ήταν κατάλληλος για την παρασκευή ΑΣΣ. Στην περίπτωση αυτή προτείνεται κατά σειρά η δοκιμή διαφορετικού υπερρευστοποιητή, διαφορετικού προσθέτου και τέλος διαφορετικού τσιμέντου.

### 3.4.6. Αξιολόγηση των ιδιοτήτων/ επιδόσεων του ΑΣΣ με πρότυπες δοκιμές

Η δόση του υπερρευστοποιητή καθορίζεται τελικά με βάση τις πρότυπες δοκιμές στο ΑΣΣ, στο οποίο έχουν ήδη καθορισθεί, όπως παραπάνω οι αναλογίες των υπολοίπων συστατικών.

### 3.5.Σύνθεση κατά EFNARC

Για τον καθορισμό των αναλογιών του μίγματος είναι σκόπιμο να χρησιμοποιούνται οι κατ' όγκο αναλογίες των συστατικών. Ενδεικτικές τυπικές τιμές των αναλογιών και ποσοτήτων για την παρασκευή ΑΣΣ είναι οι ακόλουθες:

- Λόγος νερό/λεπτομερή: 0,80-1,10 κατ' όγκο
- Συνολική περιεκτικότητα σε λεπτομερή: 160-240 lt/m<sup>3</sup> ΑΣΣ (400-600 kg/m<sup>3</sup>)
- Περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα αδρανή (>4 mm): 280-350 lt/m<sup>3</sup> ΑΣΣ.
- Η περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα αδρανή δεν υπερβαίνει τα 500 lt/m<sup>3</sup> ΑΣΣ
- Περιεκτικότητα σε τσιμέντο: 350-450 kg/m<sup>3</sup> ΑΣΣ
- Λόγος νερό/τσιμέντο: Σύμφωνα με το EN 206-1:2000. Τυπικά το ελεύθερο νερό δεν υπερβαίνει τα 200 lt/m<sup>3</sup> ΑΣΣ
- Περιεκτικότητα σε πάστα: >400 lt/m<sup>3</sup> ΑΣΣ Περιεκτικότητα σε άμμο: > 50% κατά βάρος συνολικών αδρανών

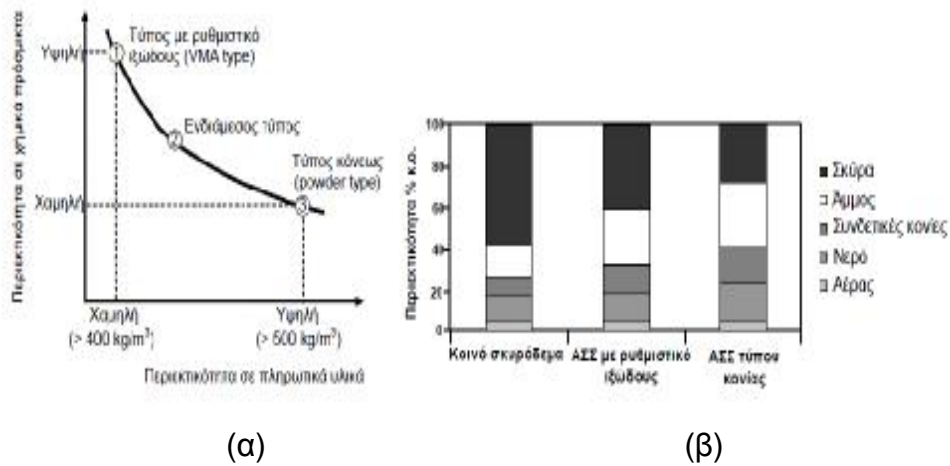
Γενικώς συνιστάται συντηρητική προσέγγιση στον σχεδιασμό ώστε να εξασφαλίζεται ότι το ΑΣΣ θα διατηρεί τις ρεολογικές του ιδιότητες κατά την διακύμανση των ιδιοτήτων των συστατικών. Συνήθως, χρησιμοποιούνται ρυθμιστές ιξώδους για την αντιστάθμιση της διακύμανσης της κοκκομετρικής κατανομής της άμμου ή/και της υγρασίας των αδρανών.

Σημειώνεται ότι για την επίτευξη των απαιτούμενων ιδιοτήτων (εργασιμότητα, συνεκτικότητα, αντοχή, ανθεκτικότητα κλπ) απαιτούνται εργαστηριακές μελέτες με σκοπό την επιλογή των καταλλήλων συστατικών και την ρύθμιση των αναλογιών τους. Στην περίπτωση που ικανοποιούνται όλες οι απαιτήσεις στο εργαστηριακό ανάμιγμα, η σύνθεση θα πρέπει να δοκιμασθεί σε βιομηχανική κλίμακα στην μονάδα σκυροδέματος ή στο έργο.

### 3.6. ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

Γενικά, το (συμβατικό) ΑΣΣ δύναται να διακριθεί, βάσει της μεθόδου που ακολουθήθηκε για την αύξηση του πλαστικού ιξώδους του τσιμεντοπολτού, στις ακόλουθες κατηγορίες (Σχήμα 4):

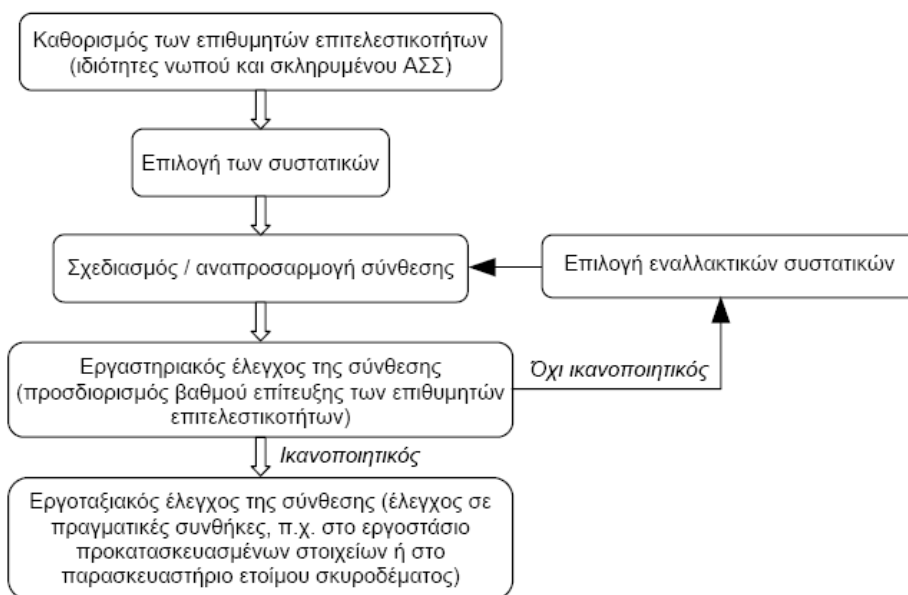
- ΑΣΣ με υψηλή περιεκτικότητα σε συνδετικές κονίες (ΑΣΣ τύπου κονιάς): Με αύξηση του ποσοστού των κονιών στην πάστα, τόσο το όριο έναρξης ροής, όσο και το πλαστικό ιξώδες του σκυροδέματος αυξάνονται εκθετικά. Σε αυτή την περίπτωση, η μείωση του ορίου έναρξης ροής επιτυγχάνεται με την προσθήκη υπερρρευστοποιητή, ενώ η σχετική επίδραση στο πλαστικό ιξώδες είναι πολύ μικρή. Σε αυτή τη φιλοσοφία σχεδιασμού στηρίχθηκαν τα πρώτα αναμίγματα ΑΣΣ, τα οποία χαρακτηρίζονται από αυξημένη αντοχή και βελτιωμένη ανθεκτικότητα.
- ΑΣΣ με βάση τον ρυθμιστικό παράγοντα για το ιξώδες (ΑΣΣ με ρυθμιστή ιξώδους): Όταν η ποσότητα των συνδετικών κονιών είναι σχετικά μικρή, τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος δύναται να βελτιωθούν με την προσθήκη ρυθμιστή ιξώδους, ακόμα και λίγο πριν τη διάστρωση (απευθείας προσθήκη στους εποχούμενους αναμικτήρες). Η μείωση του ορίου έναρξης ροής επιτυγχάνεται και πάλι με την προσθήκη υπερρευστοποιητή. Το είδος αυτό του σκυροδέματος αποτελεί εξέλιξη των συνθέσεων για υποβρύχιες σκυροδετήσεις.
- ΑΣΣ με συνδυασμό συνδετικών κονιών και ρυθμιστή ιξώδους (ΑΣΣ ενδιάμεσου τύπου): Η ρευστότητα του ΑΣΣ με βάση τα υλικά λεπτού καταμερισμού (συνδετικές κονίες) παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις ανάλογα με τις αυξομειώσεις στην επιφανειακή υγρασία των αδρανών και την κοκκομετρική διαβάθμιση του λεπτόκοκκου κλάσματος. Η προσθήκη ρυθμιστή ιξώδους (συμβατού με τον εκάστοτε συνδυασμό των τσιμεντοειδών προϊόντων) συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των διακυμάνσεων αυτών.



**Σχήμα 4.** Κατηγορίες ΑΣΣ: (α) Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε χημικά πρόσμικτα με την περιεκτικότητα σε συνδετικές κονίες και πληρωτικά υλικά, (β) Σύγκριση κοινού σκυροδέματος, ΑΣΣ με ρυθμιστικό ιξώδους και ΑΣΣ τύπου κόνιας ως προς τις κ.ό. περιεκτικότητες σε βασικά συστατικά υλικά.

Πλείστες είναι οι μέθοδοι οι οποίες έχουν προταθεί για τη μελέτη σύνθεσης του ΑΣΣ, μετά την αρχική προσέγγιση των Okamura et al. (1993). Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής: "Standardized mix design method of SCC" (*jrmca*, 1998), η μέθοδος του Laboratory Central des Ponts et Chaussées (LCPC), η μέθοδος του Swedish Cement and Concrete Research Institute (CBI), αλλά και μέθοδοι μεμονωμένων ερευνητών, όπως των Su et al. (2001), των Marquardt et al. (2002) και των Ghezai & Khayat (2002). Πρέπει σε κάθε περίπτωση να τονιστεί ότι δεν υπάρχουν συγκεκριμένες «συνταγές», ή κάποια «μαγικά φίλτρα» τα οποία να μετασχηματίζουν με ταχυδακτυλουργικό τρόπο το συμβατικό σκυρόδεμα σε αυτοσυμπυκνούμενο. Για κάθε εφαρμογή, η μελέτη σύνθεσης και η διαχείριση θεμάτων τεχνολογίας ΑΣΣ πρέπει να βασίζονται στη χρήση συγκεκριμένων συστατικών υλικών και να στοχεύουν στην ικανοποίηση του συνόλου των στοχοσήμων επιτελεστικότητας που έχουν προδιαγραφεί για το συγκεκριμένο έργο.

Όποια και να είναι η μέθοδος, η οποία επιλέγεται για τη διεξαγωγή της μελέτης σύνθεσης, τα βασικά βήματα μίας διαδικασίας προσδιορισμού των αναλογιών ανάμιξης για το ΑΣΣ δίνονται στο Σχήμα 5.



**Σχήμα 5.** Βηματική διαδικασία προσδιορισμού των αναλογιών ανάμιξης για το ΑΣΣ.

Αν και οι προταθείσες μέθοδοι μελέτης σύνθεσης για το ΑΣΣ οδηγούν σε αξιόπιστα αποτελέσματα, είναι στην πλειονότητά τους περίπλοκες και χρονοβόρες. Οι τιμές που ακολουθούν αντιπροσωπεύουν τυπικά ποσοστά, χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψιν συγκεκριμένες απαιτήσεις επιτελεστικότητας, πέραν της αυτοσυμπύκνωσης:

- Ο λόγος νερού προς τσιμεντοειδή υλικά (κατ'όγκον) κυμαίνεται μεταξύ 0.85 και 1.10.
- Η συνολική ποσότητα σε κονία κυμαίνεται μεταξύ 380 με 600 kg/m<sup>3</sup>.
- Το σύννηθες ποσοστό των χονδρόκοκκων αδρανών (διάμετρος κόκκου μεταξύ 4 και 20 mm) κυμαίνεται μεταξύ 27 και 36% του όγκου του μίγματος.
- Η συνηθισμένη ποσότητα τσιμέντου είναι 360 - 460 kg/m<sup>3</sup>.
- Η περιεκτικότητα του μίγματος σε νερό κυμαίνεται μεταξύ 150 και 210 lt/m<sup>3</sup>.
- Η άμμος αποτελεί, γενικά, το 48 με 55% της συνολικής ποσότητας αδρανών.

Η μέση τιμή του λόγου νερού προς τσιμεντοειδή υλικά από εξήντα οκτώ εφαρμογές ΑΣΣ εκτιμήθηκε ίση με 0.34 κ.β. (Domone, 2006).

### 3.7. Διορθωτικές ενέργειες

Στην περίπτωση που δεν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις θα πρέπει να επανασχεδιασθεί η σύνθεση του ΑΣΣ. Ανάλογα με την φαινόμενη αιτία, μπορούν να γίνουν οι παρακάτω ενέργειες:

- Προσθήκη επιπλέον ποσότητας ή διαφορετικού τύπου λεπτομερούς υλικού (φίλερ)
- Τροποποίηση των αναλογιών της άμμου ή των χονδρών αδρανών
- Προσθήκη ρυθμιστή ιξώδους στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται ήδη
- Μεταβολή της δόσης του υπερρρευστοποιητή ή του ρυθμιστή ιξώδους
- Χρήση άλλων τύπων υπερρρευστοποιητών ή ρυθμιστών ιξώδους που να είναι πλέον συμβατοί με τα χρησιμοποιούμενα υλικά
- Τροποποίηση της περιεκτικότητας του μίγματος σε νερό και συνεπώς του λόγου νερού/λεπτομερή.

Στον Πιν.3. παρουσιάζεται οδηγός με διορθωτικές ενέργειες ανάλογα με την παρατηρούμενη αστοχία ιδιοτήτων.

α/α	Πιθανή ενέργεια	Επίδραση σε:					
		Ικανότητα πλήρωσης	Ικανότητα διέλευσης	Αντίσταση απόμιξης	Αντοχή	Συστολή	Ερπισμό
<b>α</b>	<b>Πολύ υψηλό ιξώδες</b>						
α1	Αύξηση περιεκτ. σε νερό	+	+	-	-	-	-
α2	Αύξηση όγκου πάστας	+	+	+	+	-	-
α3	Αύξηση υπερρευστ.	+	+	-	+	0	0
<b>β</b>	<b>Πολύ χαμηλό ιξώδες</b>						
β1	Μείωση περιεκτ. σε νερό	-	-	+	+		+
β2	Μείωση όγκου πάστας	-	-	-	-	+	+
β3	Μείωση υπερρευστ.	-	-	+	-	0	0
β4	Αύξηση ρυθμ. ιξώδους	-	-	+	0	0	0
β5	Λεπτότερα λεπτομερή	+	+	+	0	-	-
β6	Λεπτότερη άμμος	+	+		0		0
<b>γ</b>	<b>Αρχική τάση ροής πολύ μεγάλη</b>						
γ1	Αύξηση υπερρευστ.	+		-	+	0	0
γ2	Αύξηση όγκου πάστας	+	+	+	+	-	-
γ3	Αύξηση όγκου κονιάματος	+		+	+	-	-
<b>δ</b>	<b>Απόμιξη</b>						
δ1	Αύξηση όγκου πάστας	+	+	+	+	-	-
δ2	Αύξηση όγκου κονιάματος	+	+	+	+	-	-
δ3	Μείωση περιεκτ. σε νερό	-	-	+	+	+	+
δ4	Λεπτότερα λεπτομερή	+	+	+	0	-	-
<b>ε</b>	<b>Ταχεία απώλεια εργασιμότητας</b>						
ε1	Χρήση τσιμέντου με βραδύτερη αντίδραση	0	0	-	-	0	0
ε2	Αύξηση περιεκτ. επιβραδυντή	0	0	-	-	0	0
ε3	Αλλαγή υπερρευστοποιητή	?	?	?	?	?	?
ε4	Αντικατάσταση τσιμέντου με φίλερ	?	?	?	?	?	?
<b>στ</b>	<b>Ανεπαρκής διεισσιμότητα</b>						
στ1	Μείωση μεγίστου μεγέθους αδρανών	+	+	+	-	-	-
στ2	Αύξηση όγκου πάστας	+	+	+	+	-	-
στ3	Αύξηση όγκου κονιάματος	+	+	+	+	-	-

+	Συνήθως βελτιώνει το ΑΣΣ
0	Συνήθως δεν επιδρά σημαντικά στο ΑΣΣ
-	Συνήθως χειροτερεύει το ΑΣΣ
?	Δεν είναι δυνατή η πρόβλεψη της επίδρασης

Πίνακας 3. Οδηγός με διορθωτικές ενέργειες

## 4. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΣΣ

### 4.1.Γενικά

Η μονάδα παραγωγής ΑΣΣ πρέπει να διαθέτει:

- Κατάλληλα υλικά
- Κατάλληλο εξοπλισμό
- Προδιαγραμμένες λειτουργίες (επιθυμητό το σύστημα ποιότητας *σύμφωνα με EN SO 9000*)
- Εκπαιδευμένο και έμπειρο προσωπικό σχετικά με ΑΣΣ

### 4.2.Αποθήκευση

Αποθήκευση των συστατικών

Συνιστάται τα αδρανή να έχουν τουλάχιστον την υγρασία απορροφήσεως και να αποθηκεύονται καλυμμένα, έτσι ώστε να διατηρείται σταθερή η υγρασία τους. Τα πρόσμικτα και τα πρόσθετα θα πρέπει να αποθηκεύονται σύμφωνα με τις οδηγίες των προμηθευτών τους.

### 4.3.Ανάμιξη – Ανάδευση

Αξίζει να αναφερθεί ότι δεν υπάρχει σαφής συστηματοποίηση ως προς τη σειρά με την οποία θα τοποθετήσουμε τα υλικά στον αναμικτήρα, αφού η βέλτιστη ακολουθία των συστατικών εξαρτάται όχι μόνο από τη συγκεκριμένη σύνθεση, αλλά και από το είδος του εξοπλισμού του εκάστοτε παρασκευαστηρίου. Γενικά οι διαδικασίες προσθήκης θα πρέπει να ακολουθούν τις συστάσεις του προμηθευτή.

Για την παραγωγή του ΑΣΣ είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τα μέσα παραγωγής των συμβατικών σκυροδεμάτων. Συγκεκριμένα, η **ανάμιξη** των συστατικών μπορεί να γίνει, είτε σε συγκρότημα παραγωγής με κατακόρυφους άξονες, είτε απευθείας σε μπετονιέρες. Διαδικασία της τοποθέτησης των συστατικών στον κάδο ανάμιξης πρέπει να γίνεται αφού έχει προηγηθεί η έγχυση τουλάχιστον του 90% του νερού που απαιτείται. Στην συνέχεια μπαίνει το υπόλοιπο νερό, ο υπερρευστοποιητής και το πρόσμικτο τροποποιητικό του ιξώδους. Στο τέλος αξιολογείται η ρευστότητα του μίγματος με μία από τις μεθόδους μέτρησης της ρεολογικής ικανότητας. Γενικά, ο συνολικός χρόνος ανάμιξης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος σε σύγκριση με το κοινό σκυρόδεμα (μεγαλύτερος από 2 min, σύμφωνα με τους Ouchi & Nakajima -2001- και



τουλάχιστον 3 min μετά την εισαγωγή του υπερπλαστικοποιητή, σύμφωνα με τους Ludwig et al. -2001).

Ως προς την ανάμιξη του ΑΣΣ, πρέπει να αναμιγνύεται περισσότερο χρονικό διάστημα από το συμβατικό σκυρόδεμα, λόγω του χαμηλού λόγου νερού/λεπτόκοκκα. Εμπειρικά το ΑΣΣ πρέπει να αναμιγνύεται για τουλάχιστον 120sec. Συνιστάται να γίνεται χρήση αναμικτήρων βίαιης ανάμιξης, όπως για παράδειγμα οριζόντιου αναμικτήρα με παλέτες (paddle-mixer), αναμικτήρας βαρύτητας, ο ελεύθερης πτώσης, εντούτοις, όλοι οι τύποι αναμικτήρων θεωρούνται κατάλληλοι για την ανάμιξη του ΑΣΣ (με προτίμηση στους τύπους «διπλού άξονα» -“twin shaft”- και «οριζόντιας ανάμιξης» -“pan type”-). Η βαρέλα όμως είναι λιγότερο αποδοτική και απαιτεί περισσότερη προσοχή και μεγαλύτερους χρόνους ανάμιξης. Επίσης ο όγκος του μίγματος θα πρέπει να μην υπερβαίνει το 70% της χωρητικότητας του αναμικτήρα ώστε να αποφύγουμε πιθανή υπερφόρτωση του τελευταίου.

Ο χρόνος ανάμιξης εξαρτάται κυρίως από το πλήθος των χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών στην ανάμιξη . Έχουν βρεθεί εναλλακτικές μέθοδοι ανάδευσης και χρησιμοποιούνται π.χ. προσθέτοντας όλα τα υλικά πλήρωσης στην αρχή της ανάμιξης ή προσθέτοντας υπερπλαστικοποιητές και /ή το νερό μετά από κάποιο χρονικό διάστημα . Συνεπώς , οι προμηθευτές χρειάζεται να βρουν την δικιά τους , πιο κατάλληλη, μέθοδο για την επιλεγμένη ανάμιξη σκυροδέματος .

Το μίγμα του ΑΣΣ είναι πιο ευαίσθητο στη περιεκτικότητα σε νερό από αυτό του συμβατικού σκυροδέματος. Ως εκ τούτου είναι απαραίτητο να μετρήσουμε την υγρασία στα αδρανή και να λάβουμε υπόψη την περιεκτικότητα σε νερό των προσθέτων πριν ρίξουμε νερό. Επομένως , η υγρασία των αδρανών μετριέται με ακρίβεια  $\pm 0,5\%$ . Ο καλύτερος τρόπος να υπάρχει συνεχής και αξιόπιστη πληροφόρηση σχετικά με τη φυσική υγρασία , είναι έναν ιδανικό τύπο αισθητήρα υγρασίας . Αν δεν είναι εφικτό να μετρήσουμε την φυσική υγρασία με ακρίβεια τότε το μίγμα σχεδιάζεται να είναι περισσότερο ανεκτικό όσο αφορά την περιεκτικότητα σε νερό. Πριν ξεκινήσουμε να αναμιγνύουμε ΑΣΣ είναι απαραίτητο ο αναμικτήρας να είναι καθαρός και υγρός αλλά χωρίς υπολείμματα νερού.

Η παραγωγή του ΑΣΣ έχει ως αποτέλεσμα μικρότερα περιθώρια και περισσότερες δυσκολίες για τον χειριστή της εγκατάστασης ο οποίος θα χρειαστεί καλύτερη εκπαίδευση και μεγαλύτερη εμπειρία. Κατά τη διάρκεια της αρχικής περιόδου παραγωγής ΑΣΣ είναι απαραίτητοι περισσότεροι έλεγχοι από το κανονικό (ποιοτικός

έλεγχος ) αλλά όταν τα αποτελέσματα αυτών δείξουν μεταβολή όμοια με το παραδοσιακό σκυρόδεμα τότε τα διαστήματα μεταξύ των ελέγχων μπορούν να επανέλθουν στα κανονικά επίπεδα. Η προσθήκη του υπερπλαστικοποιητή στα τελευταία στάδια της ανάμιξης οδηγεί σε καλύτερη ρευστότητα.

Ως προς τη σειρά ανάμιξης, χρήζει ιδιαίτερης προσοχής ο χρόνος εισαγωγής του υπερρευστοποιητή στο μίγμα. Οι διαδικασίες προσθήκης θα πρέπει να ακολουθούν τις οδηγίες του προμηθευτή σε σχέση με τις βιομηχανικές δοκιμές. Οι Orgas και Dehn προτείνουν να εισάγεται πρώτα ποσότητα ίση με τα 2/3 της συνολικής ποσότητας του υπερρευστοποιητή, ενώ το υπόλοιπο του χημικού προσμίκτη να προστίθεται μετά από λίγο χρόνο (μεγαλύτερο των 45sec). Αν οι απαιτήσεις του EN 206-1:2000 για τον λόγο N/T πρέπει να τηρηθούν, τότε το περιεχόμενο νερό πρέπει να διαμορφωθεί κατάλληλα.

#### **4.4. Έλεγχος παραγωγής**

##### **4.4.1. Αδρανή**

Κατά την διάρκεια της παραγωγής του ΑΣΣ, πρέπει να γίνονται πιο συχνοί έλεγχοι στην κοκκομετρία και την υγρασία των αδρανών από ότι στο συμβατικό σκυρόδεμα γιατί το ΑΣΣ είναι πιο ευαίσθητο στις διακυμάνσεις αυτές.

Συνιστάται η χρήση υγρασιόμετρων των αδρανών κατά την διαδικασία παραγωγής, και να βαθμονομούνται πιο συχνά απ' ότι στο δονούμενο σκυρόδεμα.

##### **4.4.2. Έλεγχος νερού ανάμιξης**

Η ποσότητα του νερού πρέπει να ρυθμίζεται συνεχώς ανάλογα με την υγρασία των αδρανών λόγω της ευαισθησίας του ΑΣΣ. Συνιστάται η αυτόματη ρύθμιση της δοσολογίας του νερού μέσω κατάλληλου αυτοματισμού σε συνδυασμό με τα υγρασιόμετρα.

##### **4.4.3. Διαδικασία ανάμιξης**

Όταν δεν υπάρχει προηγούμενη εμπειρία στον σχεδιασμό αναμιγμάτων ΑΣΣ, απαιτείται πιο λεπτομερής εξέταση όλων των επί μέρους θεμάτων που εμπλέκονται στις απαιτήσεις, στον σχεδιασμό, στην παραγωγή και τον έλεγχο του ΑΣΣ.

Στην αρχή της παραγωγής η ποιότητα του νωπού σκυροδέματος μπορεί να έχει διακυμάνσεις, για αυτόν τον λόγο η εργασιμότητα πρέπει να ελέγχεται από τον

παραγωγό σε κάθε εκφόρτωση του αναμικτήρα έως ότου επιτευχθεί ΑΣΣ σταθερής ποιότητας. Ακολούθως κάθε παραδιδόμενο φορτίο μπορεί να ελέγχεται οπτικά πριν την μεταφορά στο έργο. Κανονικές δοκιμές θα γίνονται με την συχνότητα που απαιτεί ο EN 206-1:2000.

Όσον αφορά τις πρότυπες δοκιμές, εκτός των ειδικών δοκιμών που απαιτούνται για το ΑΣΣ, θα γίνονται με την συχνότητα που απαιτεί ο EN 206-1:2000.

Η πιο συχνή ρύθμιση που απαιτεί το μίγμα του νωπού ΑΣΣ είναι η περιεκτικότητά του σε νερό η οποία ρυθμίζεται σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ελέγχου της υγρασίας των αδρανών.

#### **4.5.Μεταφορά και παράδοση**

Πριν την παράδοση του ΑΣΣ , για πρώτη φορά , οι οδηγοί του φορτηγού πρέπει να ενημερωθούν για το νέο τύπο σκυροδέματος και να μάθουν πως να το χειριστούν. Απαιτείται οι οδηγοί να έχουν γραπτές οδηγίες που περιγράφουν πως να χειρίζονται το ΑΣΣ και το ΙΑΣΣ συμπεριλαμβανομένου, αν χρειάζεται, πως να προσθέσουν πρόσμεικτα ή ίνες χάλυβα στο εργοτάξιο.

Το ΑΣΣ πρέπει να μεταφέρεται με “βαρέλες” στο εργοτάξιο αν παράγεται έξω από αυτό. Μέσα στο εργοτάξιο η διανομή του σκυροδέματος μπορεί να γίνει με χρήση αντλίας, σκιπ ή ιμάντα, αλλά δε συνίσταται η χρήση χοάνης.

Καθώς το ΑΣΣ μπορεί να απομικθεί, αν δεν αναμιγνύεται σωστά, κατά τη διάρκεια της μεταφοράς και του χρόνου αναμονής, τα φορτηγά πρέπει να ελέγχονται έτσι ώστε να είναι κατάλληλα γι’ αυτό το σκοπό. Ο οδηγός πρέπει να ελέγχει την «βαρέλα» πριν την πλήρωση με ΑΣΣ μέσα σε αυτό και να είναι σίγουρος ότι είναι καθαρή και χωρίς νερό.

Κατά τη διάρκεια της μεταφοράς στο εργοτάξιο και το χρόνο παραμονής εκεί, το τύμπανο πρέπει να περιστρέφεται με μικρή ταχύτητα (όχι λιγότερο από μία περιστροφή / λεπτό), Ωστόσο, πριν την παράδοση το τύμπανο πρέπει να έχει περιστραφεί στη μέγιστη ταχύτητα (10-20 περιστροφές/λεπτό) για τουλάχιστον 3 λεπτά στο εργοτάξιο. Απαιτείται περισσότερος έλεγχος για παραδόσεις σε μεγάλες αποστάσεις.

Προτείνεται ο οδηγός να μην προσθέτει πρόσμεικτα ή χαλύβδινες ίνες στην παρτίδα. Ωστόσο, αν το σκυρόδεμα είναι ύφυγρο, η ικανότητα πλήρωσης μπορεί να ρυθμιστεί προσθέτοντας υπερπλαστικοποιητή κατ’ ευθείαν στη «βαρέλα». Αν ο

οδηγός πρέπει να το προσθέσει στο εργοτάξιο, απαιτείται να έχει τις απαραίτητες γραπτές οδηγίες. Δεν συνίσταται να προσθέτει νερό μέσα στη «βαρέλα». Σε περίπτωση που γίνει αυτό, μπορεί να παρουσιαστεί εύκολα απόμειξη. Αν οι χαλύβδινες ίνες και τα πρόσμεικτα προστεθούν στον αναμεικτήρα, στο εργοτάξιο, πρέπει να γίνουν οι ίδιοι έλεγχοι που πραγματοποιούνται στις εγκαταστάσεις παραγωγής.

Στην περίπτωση του ΙΑΣΣ πρέπει να ελεγχθεί αν οι χαλύβδινες ίνες είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες στο μείγμα και δεν εμφανίζονται σαν συσσωμάτωμα. Όταν προστίθενται χαλύβδινες ίνες στο εργοτάξιο, το σκυρόδεμα πρέπει να αναμειγνύεται τουλάχιστον 1 λεπτό /μ<sup>3</sup>.

Πριν χρησιμοποιηθεί στο εργοτάξιο το ΑΣΣ ο υπεύθυνος παραλαβής πρέπει να ελέγξει οπτικά το σκυρόδεμα ή με δοκιμή κάθισης σύμφωνα με τον ποιοτικό σχεδιασμό, για να δει ότι η εργασιμότητα είναι αποδεκτή και να σιγουρευτεί ότι δεν υπάρχει σημάδι απόμειξης.

Το έγγραφο παράδοσης πρέπει να περιλαμβάνει και τις εξής πληροφορίες :

- Ροή κάθισης – επιτρεπόμενη τιμή
- Ημερομηνία παραγωγής
- Παρατηρήσεις αν κάποιο πρόσμικτο πρέπει να προστεθεί στο εργοτάξιο.

#### **4.6. Ξυλότυπος**

Όλα τα κοινά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιφάνεια του καλουπιού, αλλά έχει αποδειχτεί ότι το ξύλο είναι καλύτερο από το κόντρα – πλακέ , που είναι από μόνο του ελαφρώς καλύτερο από το χάλυβα όσο αφορά τους επιφανειακούς πόρους . Εξαιτίας της συνεκτικότητας του ΑΣΣ το καλούπι δεν χρειάζεται να είναι πιο σφιχτό από αυτό του συμβατικού σκυροδέματος. Καλούπια που είναι κατάλληλα για δονούμενο σκυρόδεμα είναι κατάλληλα και για ΑΣΣ. Όταν χρησιμοποιείται μήτρα, κατά το ξεκαλούπωμα, παρουσιάζονται πόροι στην επιφάνεια του σκυροδέματος γι' αυτό είναι απαραίτητο να στεγνώσει η επιδερμίδα του τύπου όσο περισσότερο γίνεται. Έχει βρεθεί ότι φυτικό έλαιο είναι καλύτερο από αυτά που βασίζονται σε πετρελαϊκά προϊόντα. Επίσης έχει βρεθεί ότι αν έχουμε ένα καλούπι με καλές επιφάνειες, η ποιοτική επιφάνεια μπορεί να επιτευχθεί αν η μήτρα αυτή δεν χρησιμοποιείται αρκετά, ειδικά όταν έχουμε χρησιμοποιήσει κόντρα – πλακέ ή ξυλότυπο .

Όταν ο μεταλλότυπος είναι πιο κρύος από το ΑΣΣ τότε δημιουργούνται πιο πολλοί πόροι στην επιφάνεια . Κατά τη διάρκεια του χειμώνα ( με θερμοκρασία  $<5^{\circ}\text{C}$  ) είναι απαραίτητο να μονώνεται το καλούπι εξωτερικά για να διατηρείται η θερμοκρασία σε κανονικά επίπεδα στο σκυρόδεμα. Εξαιτίας αυτού το ΑΣΣ είναι πιο ευαίσθητο από το συμβατικό σκυρόδεμα στην θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης.



#### 4.7. Αντληση – Διάστρωση

Η **άντληση** πρέπει να γίνεται με χρήση σωλήνων διαμέτρου 100-125 mm και μήκους όχι μεγαλύτερο από 300 m. Είναι φυσιολογικό, κατά την διάρκεια της έγχυσης με την αντλία, το ΑΣΣ να εμφανίσει μια σημαντική μείωση της πίεσης στην αντλία λόγω της αύξησης της ταχύτητας του ΑΣΣ στο εσωτερικό των σωλήνων άντλησης. Συγχρόνως, είναι απαραίτητο τα καλούπια να είναι πιστοποιημένα για την ικανότητά τους να εμποδίζουν -πάνω απ'όλα στην βάση των κατακόρυφων στοιχείων- την διαρροή του μίγματος προς τα έξω.

Υπάρχουν ενδείξεις ότι διαστρώνοντας το σκυρόδεμα , χρησιμοποιώντας σωλήνα ενωμένο στον πάτο του τοίχου ,τότε επιτυγχάνεται καλύτερη επιφάνεια από όταν διαστρώνουμε από πάνω . Επίσης κρατώντας ανοιχτή την είσοδο της μάνικας της αντλίας του σκυροδέματος κάτω από την επιφάνεια του νωπού σκυροδέματος , δίνει μερικές φορές καλύτερη επιφάνεια μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος .

Κατά τη διάρκεια δοκιμών στη Σουηδία δεν βρέθηκαν υψηλότερες πιέσεις από τις κανονικές ακόμα και όταν η άνοδος του σκυροδέματος στο καλούπι ήταν υψηλή και το σκυρόδεμα χυνόταν από πάνω . Ωστόσο στη Γαλλία σε παρόμοιες δοκιμές παρατηρήθηκε ότι η πίεση στον τύπο μπορεί να είναι ίδια με τον υδροστατικό.

Εξαιτίας αυτού συστήνεται ο τύπος να σχεδιαστεί για υδροστατική πίεση αν οι έλεγχοι δείχνουν ότι η πίεση είναι μικρότερη από την υδροστατική.

Η πρακτική έχει δείξει ότι οι υψηλές πιέσεις εντός του ιστού των μηχανημάτων άντλησης του σκυροδέματος προκαλούν απώλειες στην εργασιμότητα του ΑΣΣ. Κατόπιν αυτού συνιστάται να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα ώστε να διατηρείται η πίεση κατά την άντληση σε χαμηλά επίπεδα. Όταν υπάρχουν ενδείξεις για υψηλές πιέσεις, συνιστάται παύση στη διάστρωση του ΑΣΣ.

Πριν την χύτευση θα πρέπει να γίνει έλεγχος για την σωστή τοποθέτηση των καλουπιών και του οπλισμού. Τα καλούπια πρέπει να είναι σε καλή κατάσταση. Όσον αφορά το ύψος από το οποίο γίνεται η **έγχυση**, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η γεωμετρία του στοιχείου και η πυκνότητα του οπλισμού. Για να μειώσουμε τον κίνδυνο διαχωρισμού και απόμειξης οι αποστάσεις χύτευσης είναι: κατακόρυφη πτώση μικρότερη από 5 m και οριζόντια εξάπλωση μικρότερη από 10 m από το σημείο εκκένωσης ή η εισχώρηση του σωλήνα εντός του στοιχείου (να είναι βυθισμένη μέσα στην μάζα του νωπού σκυροδέματος που έχει ήδη διαστρωθεί) και η βαθμιαία ανύψωσή του, καθώς ο όγκος του νωπού σκυροδέματος αυξάνει.

Η πίεση που δέχονται οι ξυλότυποι είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ταχύτητα ανόδου της στάθμης του σκυροδέματος. Κατόπιν αυτού συνιστάται η κατάλληλη ρύθμιση της ταχύτητας χύτευσης. Ο ανάδοχος θα πρέπει να εξετάσει την 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.

Πριν από την έγχυση του ΑΣΣ πρέπει να διευκρινιστούν τα σημεία και η σειρά με την οποία θα γίνει η διάστρωση, λαμβάνοντας πάντα υπόψιν ότι η ικανότητα του μίγματος να ρέει κατακόρυφα στο εσωτερικό του καλουπιού είναι περίπου 15m. Στην περίπτωση έγχυσης σε κλειστά στοιχεία και σε διατομές ιδιαίτερα στενές πρέπει να έχουν προβλεφθεί σημεία διαφυγής του αέρα. Άμεση συντήρηση των ελεύθερων επιφανειών είναι απαραίτητη για την αποφυγή ρηγματώσεων λόγω πλαστικής συστολής, η οποία είναι εντονότερη στο ΑΣΣ, σε σύγκριση με το κοινό σκυρόδεμα. Το πρόβλημα της έντονης συστολής δύναται να αντιμετωπιστεί με την προσθήκη διογκωτικών μέσων.

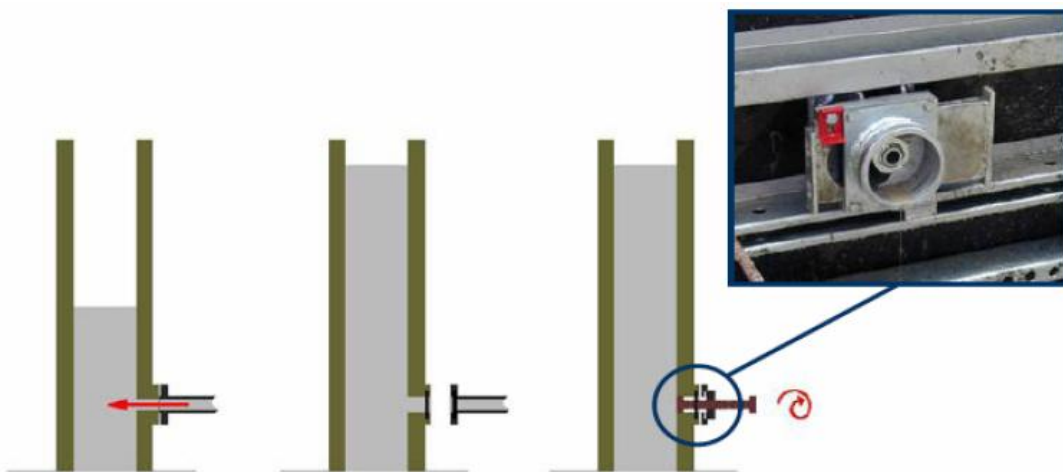
#### **4.7.1. Ψυχροί αρμοί**

Αν και το ΑΣΣ έχει καλή συγκόλληση με το σκυρόδεμα που χυτεύθηκε νωρίτερα, το γεγονός ότι κατά πάσα πιθανότητα δεν υπάρχει η δυνατότητα να αμβλυνθούν οι

συνέπειες ενός ψυχρού αρμού χρησιμοποιώντας δόνηση όπως στο συμβατικό σκυρόδεμα, επιβάλλει ιδιαίτερη προσοχή στο θέμα αυτό.

#### 4.7.2.Εισπίεση

Η σκυροδέτηση μπορεί να γίνει και μέσω **εισπίεσης** από το κατώτατο τμήμα των ξυλοτύπων, όπως φαίνεται στις εικόνες 4.1 και 4.2. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε κατακόρυφα στοιχεία.



Εικ.4.1 - Σκυροδέτηση μέσω εισπίεσης από το κατώτατο τμήμα των ξυλοτύπων



Εικ.4.2 - Λεπτομέρεια σκυροδέτησης μέσω εισπίεσης

Επιπλέον προτείνεται η διαδικασία της χύτευσης να είναι συνεχής και χωρίς διακοπή, ώστε να διατηρηθούν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ΑΣΣ και να μειωθούν οι χρωματικές διαφορές και τα επιφανειακά στίγματα. Επίσης πρέπει να αποφεύγεται ο υψηλός ρυθμός σκυροδέτησης που οδηγεί στη δημιουργία κενών. Τέλος ο ξυλότυπος πρέπει να είναι καθαρός από υπολείμματα και νερό.

Οποιαδήποτε μέθοδος έγχυσης σκυροδέματος κι αν χρησιμοποιηθεί, η επιφάνεια εξάπλωσης του στον ξυλότυπο πρέπει να (καθ)οριστεί. Για ένα δεδομένο ΑΣΣ η αποδεκτή επιφάνεια εξάπλωσης εξαρτάται από την ικανότητά του να κινείται μέσα στον ξυλότυπο και να παραμένει ομοιογενές υλικό. Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια εξάπλωσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα του διαχωρισμού, κάτι που σαφέστατα δεν επιθυμούμε.

#### **4.7.3.Δόνηση**

Η δόνηση του ΑΣΣ θα πρέπει γενικά να αποφευχθεί, αφού είναι πιθανό να καταλήξει σε καθίζηση των χονδρόκοκκων αδρανών. Αν δεν επιτευχθεί η επιθυμητή συμπίκνωση το σκυρόδεμα θα πρέπει πρώτα να ελεγχθεί για τη συμμόρφωσή του στους κανονισμούς (προδιαγραφές). Αν εμπίπτει στις προδιαγραφές το σκυρόδεμα, αλλά δεν έχουμε καταφέρει την πλήρη συμπίκνωση τότε ίσως χρειαστεί μία ελαφρά δόνηση. Ακόμα σε μερικές κατασκευές η μορφή του ξυλοτύπου μπορεί να προκαλέσει εγκλωβισμό του αέρα σε συγκεκριμένες θέσεις, οπότε είναι αναπόφευκτη η χρήση δονητή.

#### **4.8.Επιφάνεια και φινίρισμα**

Η υψηλή ποιότητα της επιφάνειας είναι χαρακτηριστικό του Αυτό-Συμπυκνούμενου Σκυροδέματος, αλλά χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στη σύνθεση και στη δουλειά στο εργοτάξιο.





Η εμφάνιση ενός έγχυτου στοιχείου με ΑΣΣ εξαρτάται κυρίως από :

- Ø Τον τύπο τσιμέντου και τις συνθήκες χρήσεις
- Ø Την σύνθεση του ΑΣΣ
- Ø Την ποιότητα του καλουπιού
- Ø Την διαδικασία διάστρωσης

Η εμφάνιση είναι συνήθως καλύτερη από το κανονικό σκυρόδεμα.

- Ø Το χρώμα γενικώς είναι πιο ομοιόμορφο.
- Ø Είναι ευκολότερο να αποφύγεις ατέλειες λόγω διαρροής στις ενώσεις του καλουπιού και γύρω από τις εξόδους των καλουπιών.
- Ø Οι ακμές μπορεί να είναι αιχμηρές αν το καλούπι είναι καλοσχεδιασμένο και καλοδιατηρημένο.
- Ø Φωλιές υπάρχουν πάντα και μπορούν να περιοριστούν σε αριθμό και μέγεθος.
- Ø Τα κενά αέρος κάτω από οριζόντια τμήματα του καλουπιού μπορούν να περιοριστούν σε αριθμό και μέγεθος όταν πληρωθεί άριστα.

Η παρακάτω λίστα ατελειών μπορεί να εμφανιστεί σε όλους τους τύπους σκυροδέματος, αλλά με προσοχή, το ΑΣΣ μπορεί να δώσει ένα βελτιωμένο φινίρισμα συγκρινόμενο με το συμβατικό σκυρόδεμα :

- Ø Φωλιές
- Ø Κυψελοειδής περιοχή
- Ø Κατακόρυφες διαγραμμίσεις και μεταβολές χρώματος
- Ø Παραμόρφωση σε πήξη στις ρωγμές

#### **4.8.1.Φωλιές**

Ο αέρας εισάγεται στο σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια της ανάμιξης, της μεταφοράς και της διάστρωσης. Ο βαθμός κατά τον οποίο ο αέρας είναι είτε σταθεροποιημένος μέσα στο ΑΣΣ είτε χάνεται κατά τη διάρκεια της διάστρωσης, εξαρτάται από τη συνοχή του μίγματος. Η υψηλή ροή κάθισης και ένα χαμηλό ιξώδες είναι ευεργετικά στην προσπάθεια να επιτευχθούν τέλειες επιφάνειες, αφού αναγκάζουν τον αέρα να φύγει ευκολότερα από το σκυρόδεμα. Ένα μίγμα κοντά στην απόμειξη θα δώσει την καλύτερη επιφάνεια.

Φωλιές σχηματίζονται όταν μικρές φυσαλίδες αέρα παγιδεύονται ή εμμένουν στην επιφάνεια του ξυλότυπου. Επιπλέον, στους παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω, φωλιές μπορούν επίσης να δημιουργηθούν λόγω της ποιότητας

επιφάνειας του ξυλότυπου και του τύπου ή της ποσότητας του υλικού ξεκαλουπώματος.

Ο αέρας μπορεί να απελευθερωθεί ευκολότερα αν ο ρυθμός ανόδου του σκυροδέματος στον ξυλότυπο είναι περιορισμένος και επίσης α πρέπει να κινηθεί μέσα στο καλούπι για αρκετά μέτρα.

Αντλώντας από τον πυθμένα του ξυλότυπου, γενικά δημιουργείται καλύτερη επιφάνεια. Αν δεν είναι δυνατό αυτό, η μάνικα πρέπει να κρατιέται πάντα κάτω από το σκυρόδεμα. Αν το σκυρόδεμα αφήνεται να πέσει ελεύθερα, μπορεί να αυξηθεί ο αριθμός των μεγάλων παγιδευμένων φυσαλίδων και στην επιφάνεια και στο σώμα του σκυροδέματος.

#### **4.8.2.Κυψελοειδής περιοχή**

Η κυψελοειδής περιοχή προκαλείται λόγω της διαρροής από τον ξυλότυπο, αλλά πιο συχνά προκαλείται από χαμηλή διαπερατότητα, που είναι αποτέλεσμα της γεφύρωσης των αδρανών και των κενών τους πίσω από τον οπλισμό.

Αυτό-Συμπυκνούμενο Σκυρόδεμα με χαμηλή διαπερατότητα είναι συνήθως λόγω :

- Ø Χαμηλής ροής κάθισης
- Ø Υψηλού ιξώδους
- Ø Μεγάλου μεγέθους αδρανών
- Ø Ανεπαρκούς επικόλλησης ή πολλών χονδροκόκκων αδρανών

Αν έχουμε κυψελοειδή περιοχή και δεν έχει προκαλεσθεί από διαρροή του ξυλότυπου, το σκυρόδεμα πρέπει να ελέγχεται ως προς τις προδιαγραφές. Αν όμως ανταποκρίνεται σε αυτές πρέπει να εκτιμηθεί ότι αυτές πρέπει να επαναπροσδιοριστούν.

#### **4.8.3.Κατακόρυφες διαγραμμίσεις και μεταβολές χρώματος**

Κατακόρυφες λωρίδες στην επιφάνεια του ΑΣΣ είναι σπάνιες και συνήθως προκαλούνται από την εξίδρωση. Εξίδρωση είναι η ανάδυση νερού στην επιφάνεια του μόλις διαστρωμένου σκυροδέματος ή της τσιμεντοκονίας. Κάθε εξίδρωση τείνει να συσσωρευτεί στην κατακόρυφη επιφάνεια του καλουπιού και προχωράει προς τα πάνω, αφήνοντας ορατές λωρίδες στην σκληρυμένη επιφάνεια του σκυροδέματος, εξαιτίας της εκκένωσης και της επίπλευσης του λαδιού του καλουπιού. Υπάρχουν αρκετοί λόγοι που εμφανίζεται η εξίδρωση, όπως :

- Ø Υψηλός λόγος νερού / κονίας

- Ø Χαμηλό ιξώδες
- Ø Χαμηλή θερμοκρασία
- Ø Επιβραδυντικά πρόσθετα

Άλλοι λόγοι για τις χρωματικές μεταβολές είναι :

- Ø Ανώμαλη σκληρυμένη επιφάνεια ( για παράδειγμα προκαλείται από καινούρια ή στεγνά καλούπια ή πλαστικά φύλλα που ακουμπάνε μέρη του σκυροδέματος κατά τη διάρκεια ξήρανσης )
- Ø Διάφορες ανάμεσα στις παρτίδες του σκυροδέματος.

#### **4.8.4.Ελαχιστοποίηση των ρωγμών της επιφάνειας**

Το Αυτό-Συμπυκνούμενο Σκυρόδεμα είναι σχεδιασμένο να είναι σταθερό ανθεκτικό στην απόμειξη αλλά, όπως στο συμβατικό σκυρόδεμα, μπορεί να υποστεί ρωγμές από πλαστική καθίζηση πάνω από τις ράβδους οπλισμού, αν καθιζήσουν τα αδρανή. Μερικά μίγματα ΑΣΣ, ειδικά σε αυτά που απαιτείται πολύ υψηλή ποιότητα φινιρίσματος, πλησιάζουν στο σημείο απόμειξης των αδρανών, οπότε απαιτείται επιπλέον έλεγχος. Η χρήση ενός πρόσθετου μαζί με κατάλληλη κονία δημιουργεί ένα ισχυρό σκυρόδεμα και μειώνει το ρίσκο της πλαστικής καθίζησης και της ρωγμάτωσης.

Οι ρωγμές από πλαστική κάθιση είναι φαριδιές αλλά κανονικά δεν είναι πολύ βαθιές, οπότε η επιφάνεια επισκευάζεται με το μυστρί, πριν το σκυρόδεμα σκληρυνθεί.

### **4.9.Συνθήκες συντήρησης**

#### **4.9.1.Ενυδάτωση**

Ενυδάτωση ονομάζεται η χημική αντίδραση του τσιμέντου με το νερό, αποτέλεσμα της οποίας είναι ο σχηματισμός προϊόντων με χαρακτηριστικά πήξης και σκλήρυνσης. Η ενυδάτωση του τσιμέντου αρχίζει αμέσως μετά την ανάμιξη και προχωρεί από την επιφάνεια των κόκκων προς το εσωτερικό τους με συνεχώς επιβραδυνόμενους ρυθμούς, συνεχίζεται δε για διάστημα πολλών ετών. Λόγω της διαφορετικής τους σύνθεσης, τα συστατικά του τσιμέντου ενυδατώνονται με διαφορετικούς ρυθμούς. Έτσι, τα αργιλικά συστατικά είναι κυρίως υπεύθυνα για την απώλεια ρευστότητας και την πήξη του τσιμεντοπολτού, ενώ τα πυριτικά, που καταλαμβάνουν και το μεγαλύτερο ποσοστό, παίζουν κυρίαρχο ρόλο στη σκλήρυνση,

δηλαδή στο ρυθμό ανάπτυξης της αντοχής. Η αντοχή αυξάνεται καθώς το σκυρόδεμα ενυδατώνεται. Η έκταση της ενυδάτωσης αυτής εξαρτάται από το χρονικό διάστημα στο οποίο έγινε η συντήρηση του σκυροδέματος και σε ποια θερμοκρασία. Δηλαδή, η ωρίμανση του σκυροδέματος (εκφρασμένη με έναν δείκτη ωριμότητας) αποτελεί ένα μέτρο της εξέλιξης της ενυδάτωσης του σκυροδέματος.

Πρέπει να αναφερθεί πως υπερρευστοποιητικά και ρευστοποιητικά πρόσμικτα (όπως βελτιωτικά ιξώδους), που έχουν σκοπό τη μείωση του νερού του αναμίγματος και την αύξηση της ρευστότητας, έχουν θετική ή ακόμα και αρνητική επίδραση στο βαθμό ενυδάτωσης και στην ανάπτυξη αντοχής στα αρχικά στάδια της ενυδάτωσης.

#### **4.9.2. Συντήρηση**

Με τον όρο συντήρηση εννοούμε τις διαδικασίες που αποσκοπούν στη διατήρηση του σκυροδέματος, αμέσως μετά την τοποθέτησή του σε καλούπια, κάτω από συνθήκες ελεγχόμενου χρόνου, υγρασίας και θερμοκρασίας που ευνοούν την ενυδάτωση. Σκοπός της συντήρησης είναι η προστασία του σκυροδέματος κατά τα αρχικά στάδια της ενυδάτωσης κυρίως από πρόωρη ξήρανση (π.χ. λόγω ηλιακής ακτινοβολίας, ανέμου, κ.τ.λ.), αλλά και από άλλες επιρροές, όπως ο παγετός, η απόπλυση λόγω βροχής ή τρεχούμενου νερού, και τυχόν βλαβερές χημικές ουσίες. Έτσι η συντήρηση αποσκοπεί βασικά στο να εξασφαλίσει στο σκυρόδεμα το νερό που απαιτείται για την ενυδάτωση, είτε με αναπλήρωση νερού που εξατμίζεται, είτε με παρεμπόδιση της εξάτμισης. Η πρακτική για να επιτευχθεί η συντήρηση περιγράφεται αναλυτικά στον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος 1997, καθώς και σε άλλα συγγράμματα (π.χ. Φαρδής 1991).

Το ΑΣΣ ξηραίνεται γρηγορότερα από το δονούμενο σκυρόδεμα γιατί υπάρχει λίγο έως καθόλου νερό εξίδρωσης στην επιφάνεια. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή όταν η σκυροδέτηση γίνεται σε κλιματολογικές συνθήκες, οι οποίες ευνοούν την ταχεία εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια σκυροδέματος. Η διαδικασία της συντήρησης θα πρέπει να αρχίζει το συντομότερο δυνατό.

#### **4.9.3. Χρόνος**

Για δεδομένο λόγο  $N/T$  και υγρές συνθήκες συντήρησης υπό σταθερή υγρασία η αντοχή του σκυροδέματος αυξάνεται με τον χρόνο όσο διαρκεί η ενυδάτωση.

#### 4.9.4.Υγρασία

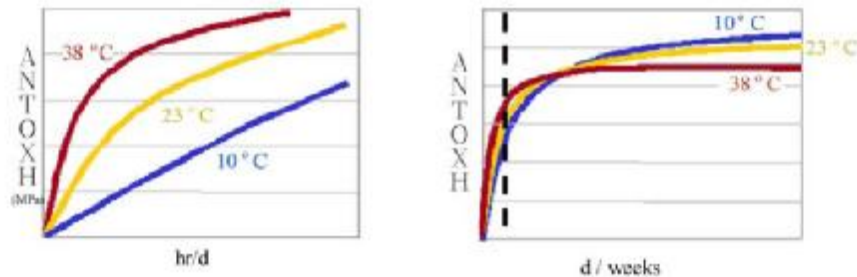
Απαραίτητη προϋπόθεση για την αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος με το χρόνο είναι η συντήρηση κάτω από συνθήκες υγρασίας (π.χ. πλημμύρισμα των στοιχείων, συνεχής διαβροχή, τύλιγμα με πλαστικές μεμβράνες κ.τ.λ.). Για παράδειγμα, σκυρόδεμα μετά από υγρή συντήρηση 7 ημερών (που αποτελεί και τον ελάχιστο χρόνο που συνιστάται από όλους τους σύγχρονους κανονισμούς) έχει αντοχή 28 ημερών περίπου διπλάσια από το αντίστοιχο με μηδενική υγρή συντήρηση.

#### 4.9.5.Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του σκυροδέματος σχετίζεται άμεσα με την ανάπτυξη της αντοχής του. Για παράδειγμα, η αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη συντήρηση του σκυροδέματος έχει γενικά ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας των αντιδράσεων της ενυδάτωσης, με αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης της αντοχής. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για ένα συγκεκριμένο μίγμα από σκυρόδεμα, που διαστρώνεται και συντηρείται στους 5 °C, η αντοχή του μετά από 28 ημέρες θα είναι περίπου ίση με το 80% της τιμής της αντοχής του επίσης μετά από 28 ημέρες, αν αυτό διαστρωθεί και συντηρηθεί στους 20-40 °C.

Η μακροχρόνια (τελική) αντοχή του σκυροδέματος σχετίζεται επίσης με τη θερμοκρασία συντήρησής του. Στις μεγαλύτερες ηλικίες, όπου έχει σχεδόν ολοκληρωθεί η ενυδάτωση, πολλοί ερευνητές έχουν αποδείξει πως δοκίμια που παρασκευάστηκαν στους 5 °C και 20 °C, συντηρήθηκαν στις θερμοκρασίες αυτές για 2-3 ώρες και κατόπιν συντηρήθηκαν σε υγρασία και θερμοκρασία 20 °C μέχρις ελέγχου της αντοχής τους, έδωσαν μεγαλύτερες τελικές αντοχές κατά 20% και 15%, αντίστοιχα, από την αντοχή δοκιμίων που παρασκευάστηκαν στους 40 °C, συντηρήθηκαν στη θερμοκρασία αυτή για 2-3 ώρες και μετά ακολούθησαν τη διαδικασία συντήρησης των προηγούμενων δοκιμίων. Η αύξηση αυτή οφείλεται στο ότι οι χαμηλότερες θερμοκρασίες συντήρησης επιφέρουν αύξηση της ομοιομορφίας της δομής (και ιδιαίτερα του πορώδους) του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού. Αυτό φαίνεται στα διαγράμματα του Σχήματος 6 (Carino and Lew, 2001), όπου ο ρυθμός ανάπτυξης της αντοχής του ίδιου μίγματος είναι μεγαλύτερος αν συντηρηθεί σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά, μακροχρόνια, η αντοχή αυτή θα έχει μικρότερη τιμή σε

σχέση με τα δείγματα τα οποία συντηρήθηκαν στην νεαρή τους ηλικία σε πιο χαμηλές θερμοκρασίες (“crossover effect” ή φαινόμενο υπερπήδησης).



**Σχήμα 6.** Φαινόμενο υπερπήδησης ( Crossover effect )

Καταγράφοντας τις θερμοκρασίες του σκυροδέματος δεν κάνουμε μόνο το πρώτο βήμα για τον υπολογισμό της αντοχής μέσα από την μέθοδο της ωριμότητας, όπως θα δούμε στην συνέχεια, αλλά μπορούμε επίσης να προσδιορίσουμε και την ανθεκτικότητα στο χρόνο των αντίστοιχων δομικών στοιχείων (καθώς η τελευταία σχετίζεται με τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος).

#### **4.9.6.Νεαρή ηλικία του σκυροδέματος**

Ως νεαρή ηλικία θεωρείται το διάστημα των πρώτων 1-2 ημερών, εντός του οποίου ολοκληρώνεται η πήξη (6-10 ώρες) και το μείγμα αναπτύσσει ικανοποιητική αντοχή που να επιτρέπει την απομάκρυνση των ξυλότυπων. Όλες οι ενέργειες που αφορούν στο σκυροδέμα σε νεαρή ηλικία είναι απόλυτα καθοριστικές για την ποιότητα του (π.χ. αντοχή, ανθεκτικότητα στο χρόνο).

Επίσης, οι ενέργειες που παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη των ιδιοτήτων του σκυροδέματος είναι η ανάμιξη των συστατικών του, η μεταφορά προς το εργοτάξιο και προς την θέση διάστρωσης, η διάστρωση, η συμπύκνωση, το τελείωμα, η συντήρηση και η αφαίρεση των ξυλότυπων.

## **5.ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ**

### **5.1.ΓΕΝΙΚΑ**

Το ΑΣΣ και το παραδοσιακό δονούμενο σκυρόδεμα σε όμοια συμπιεστική δύναμη έχουν παρεμφερείς ιδιότητες. Στην περίπτωση που υπάρχουν διαφορές , αυτές καλύπτονται από του ασφαλείς κανόνες , οι οποίοι σχετίζονται με τον κώδικα σχεδιασμού. Ωστόσο η σύνθεση του ΑΣΣ διαφέρει από αυτή του παραδοσιακού δονούμενου σκυροδέματος οπότε οι πληροφορίες για τυχόν μικρές διαφορές που μπορεί να παρατηρηθούν , παρουσιάζονται παρακάτω.

Η ανθεκτικότητα , η ικανότητα δηλαδή μιας τσιμεντένιας κατασκευής να αντέχει στις δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη διάρκεια (του χτισίματος) χωρίς να μειώνεται η επιθυμητή απόδοση ,συνήθως βασίζεται σε εξειδικευμένες μελέτες για το περιβάλλον. Αυτό οδηγεί σε υψηλή απόδοση της σύνθεσης του σκυροδέματος και σε μείωση του σπλισμού. Στο σχεδιασμό των κατασκευών οι μηχανικοί αναφέρονται σε ένα πλήθος ιδιοτήτων του σκυροδέματος που δεν αποτελεί πάντα μέρος των τεχνικών προδιαγραφών. Μερικές από αυτές είναι οι κάτωθι :

- Αντοχή θλίψης
- Αντοχή σε εφελκυσμό
- Μέτρο Ελαστικότητας
- Ερπυσμός
- Αντοχή στη φωτιά
- Θερμική διαστολή
- Συστολή ξηράνσεως
- Διατμητική ικανότητα
- Τάση σπλισμού

#### **5.2.1.ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ**

Το ΑΣΣ με υγρό τσιμέντο ή με μεγάλη περιεκτικότητα σε αδρανή έχει συνήθως ελαφρώς υψηλότερη θλιπτική αντοχή σε σύγκριση με το παραδοσιακό δονούμενο σκυρόδεμα. Έτσι, λόγω της έλλειψης δόνησης προκύπτει καλύτερη «σχέση» αδρανών και σκληρών υλικών .

### **5.2.2.ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ**

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα μπορεί να παράγεται με οποιασδήποτε κατηγορίας προδιαγεγραμμένη συμπίεστική αντοχή. Για σκυρόδεμα με μια συγκεκριμένης κατηγορίας δύναμη και ωριμότητα, η αντοχή στον εφελκυσμό μπορεί να θεωρηθεί με ασφάλεια ως η ίδια με εκείνη για το συμβατικό, καθώς ο βαθμός ρευστότητας δεν έχει καμία σημαντική επίπτωση στην εφελκυστική αντοχή.

Κατά τον σχεδιασμό των τμημάτων με οπλισμένο σκυρόδεμα, το πλεονέκτημα της αντοχής στον εφελκυσμό χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της στιγμής ρωγμής σε προεντεταμένα στοιχεία, για το σχεδιασμό του οπλισμού ώστε να ελέγχει το εύρος και τη διάταξη των ρωγμών που προκύπτουν από περιορισμένη πρώιμη θερμική συστολή και για το σχεδιασμό οδοστρωμάτων από ινοπλισμένο σκυρόδεμα.

### **5.2.3.ΣΤΑΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

Το στατικό μέτρο ελαστικότητας χρησιμοποιείται για τον ελαστικό υπολογισμό της υποχώρησης, συχνότερα στις παραμέτρους για το σχεδιασμό των πλακών, πριν και μετά από προεντεταμένα μέρη.

Όταν συγκεντρώνεται μεγάλος όγκος σκυροδέματος και αδρανών το μέτρο ελαστικότητας έχει τη μεγαλύτερη επιρροή. Επιλέγοντας αδρανή με υψηλό μέτρο ελαστικότητας αυξάνεται κατά συνέπεια και το μέτρο ελαστικότητας ολόκληρου του όγκου του σκυροδέματος. Επειδή το ΑΣΣ έχει συνήθως μεγαλύτερη περιεκτικότητα από το παραδοσιακό δονούμενο σκυρόδεμα, περιμένουμε μικρές διαφορές και το μέτρο ελαστικότητας θα είναι ελαφρώς χαμηλότερο. Παρόλα αυτά, τα παραπάνω, καλύπτονται από τους κανόνες ασφαλείας που βασίζονται στο EN-1992-1-1.

Αν το ΑΣΣ έχει κάπως χαμηλότερο μέτρο ελαστικότητας από το παραδοσιακό δονούμενο σκυρόδεμα, αυτό οφείλεται στη σχέση της θλιπτικής αντοχής και της κλίσης της προέντασης. Γι αυτό το λόγο γίνονται προσεκτικοί έλεγχοι της δύναμης πριν και μετά την προένταση στους τένοντες και τα σίδερα της κατασκευής.

### **5.2.4.ΕΡΠΥΣΜΟΣ**

Ερπυσμός λέγεται το φαινόμενο κατά το οποίο ένα στερεό σώμα, στο οποίο ασκείται μια δύναμη τάσης, συνεχίζει να παραμορφώνεται ακόμα και όταν η δύναμη παραμένει σταθερή ή ακόμα και αν μειωθεί. Οι τιμές των δυνάμεων για τις οποίες «ρευστοποιείται» το στερεό κατ' αυτόν τον τρόπο λέγεται περιοχή ρευστότητας ή



περιοχή διαρροής και η ελάχιστη δύναμη για να εμφανιστεί το φαινόμενο καλείται όριο διαρροής.

Ο ερπυσμός σε θλίψη μειώνει τις προεντεταμένες δυνάμεις στα στοιχεία του σκυροδέματος και ευθύνεται για τυχόν μικρή μεταφορά φορτίου από το σκυρόδεμα στον οπλισμό.

Ο ερπυσμός λαμβάνει χώρα στον τσιμεντοπολλτό και επηρεάζει το πορώδες του το οποίο σχετίζεται με την περιεκτικότητά του σε νερό και τσιμέντο. Κατά τη διάρκεια της ενυδάτωσης του σκυροδέματος το πορώδες του τσιμεντοπολλτού μειώνεται και για το δεδομένο σκυρόδεμα ο ερπυσμός μειώνεται όσο η αντοχή αυξάνεται. Το τσιμέντο που ενυδατώνεται πιο συχνά έχει μεγαλύτερη αντοχή.

Για μεγαλύτερο όγκο τσιμεντοπολλτού η τιμή του ερπυσμού για το ΑΣΣ αναμένεται να είναι υψηλότερη χωρίς όμως να επηρεάζει την αντοχή καθώς οι διαφορές ελαχιστοποιούνται σύμφωνα με τον ευρωκώδικα.

#### **5.2.5.ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ**

Το σκυρόδεμα δεν είναι εύφλεκτο και δεν συντηρεί την ανάπτυξη των φλογών. Δεν παράγει καπνό, τοξικά αέρια ούτε αναθυμιάσεις όταν εκτίθεται στη φωτιά και δεν συμβάλλει στην ανάπτυξη της φωτιάς. Το σκυρόδεμα έχει μια χαμηλή τιμή στη μεταφορά της θερμότητας, πράγμα που το κάνει να είναι αποτελεσματικό στην προστασία των τμημάτων και κάτω από κανονικές συνθήκες το σκυρόδεμα διατηρεί την περισσότερη δύναμη του.

Η αντίσταση στη φωτιά του ΑΣΣ είναι η ίδια στο κανονικό σκυρόδεμα. Γενικώς το χαμηλής διαπερατότητας σκυρόδεμα, μπορεί να είναι περισσότερο επιρρεπές στο θρυμματισμό, αλλά η τραχύτητα εξαρτάται από τον αδρανή τύπο, την ποιότητα του σκυροδέματος και την περιεκτικότητα σε υγρασία. ΑΣΣ μπορεί εύκολα να αυξήσει τη ζήτηση για υψηλή δύναμη, χαμηλή διείσδυση σκυροδέματος και θα το πραγματοποιήσει με παρόμοιο τρόπο σε οποιαδήποτε άλλο υψηλό, κανονικού ύψους δυναμικότητας σκυρόδεμα, κάτω από συνθήκες φωτιάς. Η χρήση των ινών πολυπροπυλενίου στο σκυρόδεμα, δείχνει πόσο αποτελεσματικό είναι στην αύξηση αντοχής στο θρυμματισμό. Ο μηχανισμός πιστεύεται ότι οφείλεται στο λιώσιμο των ινών οι οποίες απορροφώνται στο τσιμεντολίθωμα. Οι ίνες διαστέλλουν τους θαλάμους των αερίων και αυτό μειώνει την επικινδυνότητα του θρυμματισμού. Οι ίνες του πολυπροπυλενίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία με ΑΣΣ.

### **5.2.6.ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ**

Ο συντελεστής της θερμικής διαστολής στο σκυρόδεμα αποτελεί την πίεση που παράγεται στο μπετόν μετά από αλλαγή θερμοκρασίας κατά την οποία το σκυρόδεμα δεν καταστέλλεται είτε εσωτερικά, είτε εξωτερικά.

Ο συντελεστής της θερμικής διαστολής στο σκυρόδεμα ποικίλει ανάλογα με τη σύστασή του, την ηλικία και την περιεκτικότητά του σε υγρασία. Καθώς ο όγκος του σκυρόδεμα συνιστά άθροισμα, το να χρησιμοποιήσουμε ένα σύνολο κατώτερου συντελεστή θερμικής διαστολής θα μειώσει το συντελεστή της θερμικής διαστολής του σκυροδέματος που θα προκύψει. Το να μειώσουμε το συντελεστή της θερμικής διαστολής θα οδηγήσει σε αναλογική μείωση στην ενίσχυση ελέγχου των ρωγμών.

### **5.2.7.ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΕΩΣ**

Η συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος είναι ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο από μόνο του δεν συνιστά πρόβλημα. Προβλήματα ανακύπτουν όταν η συστολή ξήρανσης επέρχεται στην περιοχή ακλόνητων στοιχείων όπως τοιχίων, υποστυλωμάτων, παρακείμενων πλακών, υποκείμενων στρώσεων σκυροδέματος ή στην διεπιφάνεια με το έδαφος έδρασης της κατασκευής.

Όταν αυτό συμβαίνει, δηλαδή η συστολή ξήρανσης είναι παρεμποδιζόμενη, αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα και μόλις αυτές υπερβούν την εφελκυστική του αντοχή δημιουργούνται ρωγμές. Γενικά η συστολή ξήρανσης δεν είναι πρόβλημα, αλλά οι ρηγματώσεις που δημιουργεί. Γι' αυτό υπάρχουν τρόποι αντιμετώπισης, οι οποίοι παρατίθενται στη συνέχεια :

- 1) μείωση της συστολής ξήρανσης
- 2) μείωση των περιορισμών της συστολής
- 3) αύξηση της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος κατά το στάδιο της εκδήλωσης της συστολής
- 4) καθυστέρηση της συστολής μέχρι το σκυρόδεμα να αποκτήσει επαρκή αντοχή
- 5) δημιουργία προϋποθέσεων εντοπισμού των ρηγματώσεων και εφαρμογή πρόσθετων ειδικών επιστρώσεων

### **5.2.8.ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ**

Η επιφάνεια του σκληρυμένου ΑΣΣ αφού διαστρωθεί και πήξει, θα είναι αρκετά λεία και αδιαπέρατη. Χωρίς καθόλου επεξεργασία της επιφάνειας μετά την

τοποθέτηση του πρώτου στρώματος, η διατμητική τάση ανάμεσα στο πρώτο και το δεύτερο στρώμα μπορεί να είναι χαμηλότερη από εκείνη για το δονούμενο σκυρόδεμα κι επομένως ίσως να είναι ανεπαρκές για τη μεταφορά οποιασδήποτε διατμητικής τάσης. Η επεξεργασία επιφανειών όπως επιφάνειες επιβράδυνσης, ξυσίματος ή σκλήρυνσης θα πρέπει να είναι επαρκείς.

### **5.2.9.ΤΑΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ**

Το οπλισμένο σκυρόδεμα βασίζεται σε έναν αποτελεσματικό δεσμό ανάμεσα σε σκυρόδεμα και χάλυβα. Η δύναμη της συνεκτικότητας του σκυροδέματος θα έπρεπε να επαρκεί ώστε να εμποδίσει την αστοχία της πρόσφυσης . Η αποτελεσματικότητα του δεσμού επηρεάζεται από τη θέση του οπλισμού και την ποιότητα του σκυροδέματος . Μια επαρκής επικάλυψη είναι απαραίτητη ώστε να μεταφέρει κατάλληλα την ισχύ των δεσμών ανάμεσα σε χάλυβα και σκυρόδεμα.

Ένας αδύναμος δεσμός είναι συχνά αποτέλεσμα της αποτυχίας του σκυροδέματος να επικαλύψει ολοκληρωτικά τη ράβδο κατά την τοποθέτησή της πριν τη σκλήρυνση. Η ρευστότητα και η συνεκτικότητα του ΑΣΣ ελαχιστοποιεί αυτές τις αρνητικές επιπτώσεις, ειδικά για τις ανώτατες ράβδους σε βαθιές τομές.

## **6.ΔΟΚΙΜΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΑΣΣ**

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι καμία από τις δοκιμές για το ΑΣΣ δεν έχει ακόμα προτυποποιηθεί και οι περιγραφόμενες δεν έχουν τελειοποιηθεί ή οριστικοποιηθεί. Οι δοκιμές που παρουσιάζονται εδώ είναι περισσότερο περιγραφές παρά πλήρως λεπτομερείς διαδικασίες. Είναι κυρίως ειδικές δοκιμές, που έχουν επινοηθεί ειδικά για το ΑΣΣ.

Κατά την θεώρηση αυτών των δοκιμών πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν τα παρακάτω:

Μια βασική δυσκολία για την επινοήση τέτοιων δοκιμών είναι ότι πρέπει να εκτιμήσουν τρεις διαφορετικές, αν και σχετικές, ιδιότητες του νωπού ΑΣΣ δηλ.

- ✓ την ικανότητα πλήρωσης (ρευστότητα),
- ✓ την ικανότητα διέλευσης (διελευσιμότητα, αποφυγή έμφραξης στα διάκενα του οπλισμού), και
- ✓ την αντίσταση σε απόμιξη (σταθερότητα).

Καμία από τις δοκιμές δεν μπορεί να μετρήσει και τις τρεις ιδιότητες. Κάθε σύνθεση ΑΣΣ θα πρέπει να ελέγχεται και για τις τρεις ιδιότητες. Δεν υπάρχει σαφής σχέση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δοκιμών και την απόδοση του ΑΣΣ στο έργο. Υπάρχουν λίγα ακριβή δεδομένα και συνεπώς δεν υπάρχει σαφής οδηγία για τα όρια συμμόρφωσης.

Συνιστάται η εκτέλεση διπλών δοκιμών. Οι δοκιμές και οι τιμές των ιδιοτήτων αναφέρονται σε μέγιστο μέγεθος αδρανών έως 20 mm. Διαφορετικές δοκιμές και/ή διαφορετικές διαστάσεις εξοπλισμού μπορεί να είναι κατάλληλες για άλλα μεγέθη αδρανών. Για χύτευση σε κατακόρυφα και διάστρωση σε οριζόντια στοιχεία μπορεί να ισχύουν διαφορετικές τιμές ιδιοτήτων καταλληλότητας του ΑΣΣ. Ομοίως για διαφορετικές πυκνότητες οπλισμού μπορεί να ισχύουν διαφορετικές τιμές ιδιοτήτων καταλληλότητας του ΑΣΣ. Κατά την εκτέλεση των δοκιμών του ΑΣΣ πρέπει να λαμβάνονται δείγματα σύμφωνα με το πρότυπο EN 12350-1:1999. Ενδείκνυται η ανάμιξη του δείγματος του σκυροδέματος με σέσουλα εκτός εάν η διαδικασία υποδεικνύει διαφορετικά.

### **6.1.Δοκιμές και κριτήρια ελέγχου του ΑΣΣ**

Το ΑΣΣ μπορεί να σχεδιασθεί για να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του EN 206-1:2000 σχετικά με την πυκνότητα, την ανάπτυξη αντοχών, την τελική αντοχή και την

ανθεκτικότητα. Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε λεπτομερή το ΑΣΣ μπορεί να παρουσιάσει μεγαλύτερη πλαστική συρρίκνωση ή ερπυσμό από το δονούμενο σκυρόδεμα. Αυτές οι περιπτώσεις πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν κατά τον σχεδιασμό και τον καθορισμό προδιαγραφών του ΑΣΣ. Η τρέχουσα γνώση στα θέματα αυτά είναι περιορισμένη. Η διαδικασία συντήρησης του ΑΣΣ πρέπει να αρχίζει όσο το δυνατόν συντομότερα.

Η εργασιμότητα του ΑΣΣ είναι υψηλότερη από την κατηγορία συνεκτικότητας S5 που περιγράφεται στο EN 206-1:2000 και χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω ιδιότητες:

- Ικανότητα ρευστότητας
- Ικανότητα διέλευσης
- Αντίσταση στην απόμιξη

Σημειώνεται ότι στο ΑΣΣ η εργασιμότητα συνιστάται να διατηρείται για περισσότερη από 1 h. Στον Πιν. 4. παρουσιάζονται οι πλέον εύχρηστες δοκιμές από τις υπάρχουσες στην βιβλιογραφία για τον έλεγχο του ΑΣΣ.

	Δοκιμή	Ιδιότητα
1	Εξάπλωσης	Ικανότητα πλήρωσης
2	Χρόνου Εξάπλωσης $T_{50cm}$	Ικανότητα πλήρωσης
3	Με δακτύλιο J (J-ring)	Ικανότητα διέλευσης-διελευσιμότητα και πλήρωσης
4	Με χοάνη V (V-funnel)	Ικανότητα πλήρωσης
5	Με χοάνη V στα 5 min	Αντίσταση στην απόμιξη
6	Με δοχείο σχήματος L (L-box)	Ικανότητα διέλευσης-διελευσιμότητα και πλήρωσης
7	Σταθερότητας με κοσκίνιση (GTM)	Αντίσταση στην απόμιξη

*Πιν. 4. Δοκιμές για τον έλεγχο του ΑΣΣ*

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.

	Δοκιμή		Τυπικές τιμές	
			min	max
1	Εξάπλωσης	mm	650	800
2	Εξάπλωσης T50cm	s	2	5
3	Με δακτύλιο J	mm	0	10
4	Με χοάνη V	s	6	12
5	Με χοάνη V στα 5 min	s	0	+3
6	Με δοχείο L	h2/h1	0,8	1,0
7	Σταθερότητας με κοσκίνιση (GTM)	%	0	15

Πιν. 5. Ενδεικτικές τιμές κριτηρίων αποδοχής για το ΑΣΣ

Οι τυπικές αυτές τιμές βασίζονται στην τρέχουσα γνώση και εμπειρία. Η μελλοντική ανάπτυξη μπορεί να οδηγήσει στην υιοθέτηση διαφορετικών απαιτήσεων. Τιμές εκτός των περιοχών του Πιν. 5. μπορούν να γίνουν αποδεκτές εάν ο παραγωγός μπορεί να επιδείξει την ικανοποιητική απόδοση του ΑΣΣ σε ειδικές συνθήκες, όπως μεγάλα διάκενα μεταξύ των οπλισμών, πάχος στρώσης μικρότερη από 500 mm, μικρή απόσταση πλήρωσης από την θέση εισαγωγής, πολύ λίγα εμπόδια ροής ή/και πολύ απλός σχεδιασμός ξυλοτύπου κ.ά. Ειδική φροντίδα απαιτείται για να εξασφαλισθεί ότι δεν είναι πιθανή η απόμιξη του ΑΣΣ, αν και προς το παρόν δεν υπάρχει αξιόπιστη δοκιμή που να δίνει πρακτικά πληροφορίες για την αντίσταση σε απόμιξη σε όλες τις περιπτώσεις.

## 6.2. (1)Δοκιμή εξάπλωσης και (2) δοκιμή εξάπλωσης T<sub>50cm</sub> [Slump Flow Test]

### Αρχές λειτουργίας

Η δοκιμή εξάπλωσης χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ελεύθερης οριζόντιας ροής του ΑΣΣ χωρίς εμπόδια. Η δοκιμή βασίζεται στην αντίστοιχη δοκιμή προσδιορισμού της κάθισης του σκυροδέματος. Η διάμετρος του σχηματιζόμενου κύκλου σκυροδέματος αποτελεί μέτρο της ικανότητας πλήρωσης του ΑΣΣ.

### Αξιολόγηση της δοκιμής

Είναι απλή και γρήγορη δοκιμή. Για την δοκιμή εξάπλωσης T50cm απαιτούνται δύο άτομα. Είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη δοκιμή και δίνει καλή εκτίμηση της ικανότητας πλήρωσης. Δεν δίνει ενδείξεις για την διεισυσιμότητα μεταξύ των διακένων των οπλισμών αλλά δίνει κάποια ένδειξη για την αντίσταση σε απόμιξη. Η

δοκιμή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της σταθερότητας της ποιότητας από φορτίο σε φορτίο.

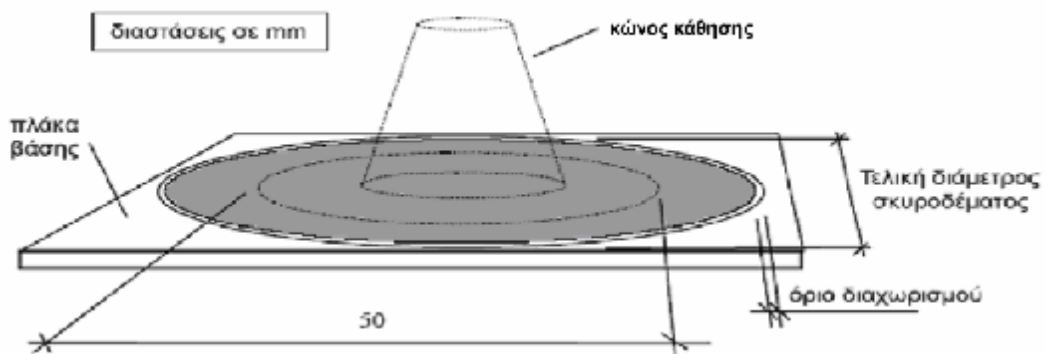
### Εξοπλισμός

Τα κύρια στοιχεία της συσκευής παρουσιάζονται στο Σχ.7.1 και στο Σχ.7.2. Για την διεξαγωγή της δοκιμής απαιτούνται:

- Καλούπι σχήματος κώνου που να ικανοποιεί το Πρότυπο EN 12350-2:1999 με διάμετρο μεγάλης βάσης 200 mm, διάμετρο μικρής βάσης 100 mm και ύψος 300 mm.
- Τετραγωνική βάση από άκαμπτο μη απορροφητικό υλικό, πλευράς τουλάχιστον 800 mm, με ενδείξεις για την κεντρική θέση του κώνου κάθισης και ομόκεντρο κύκλο διαμέτρου 500 mm.
- Μυστρί
- Σέσουλα
- Κανόνας
- Χρονόμετρο



ΣΧΗΜΑ 7.1



ΣΧΗΜΑ 7.2

### Διαδικασία

Απαιτούνται περίπου 6 lt σκυροδέματος με συνήθη δειγματοληψία. Η βάση και το εσωτερικό του κώνου υγραίνονται. Τοποθετείται η βάση σε σταθερό οριζόντιο επίπεδο έδαφος και συγκρατείται σταθερά ο κώνος κάθισης στο κέντρο της βάσης. Γεμίζεται ο κώνος με την σέσουλα. Χωρίς συμπύκνωση απομακρύνεται απλώς με το

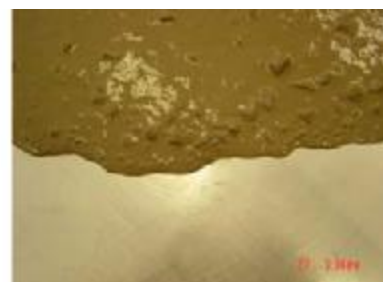
μυστρί το σκυρόδεμα που περισσεύει από την κορυφή του κώνου. Απομακρύνονται τα υπολείμματα σκυροδέματος γύρω από την βάση του κώνου. Ανασηκώνεται ο κώνος κατακόρυφα και αφήνεται το σκυρόδεμα να απλωθεί ελεύθερα. Συγχρόνως χρονομετρείται και καταγράφεται ο χρόνος T50cm για να φθάσει το σκυρόδεμα τον κύκλο διαμέτρου 500 mm. Μετράται η τελική διάμετρος του σκυροδέματος σε δύο κάθετες διευθύνσεις. Υπολογίζεται η μέση τιμή των δύο διαμέτρων που μετρήθηκαν σε mm, που είναι και η τιμή της εξάπλωσης. Επισημαίνεται η ύπαρξη κονιάματος ή τσιμεντόπαστας χωρίς χονδροκκοκα αδρανή στα όρια του απλωμένου σκυροδέματος.



(α)



(β)



(γ)

- (α) Διαχωρισμός τσιμεντοπολτού - αδρανών
- (β) Τάση για διαχωρισμό (συνεκτική ωστόσο δομή)
- (γ) Βέλτιστη συνεκτικότητα μίγματος



### Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της εξάπλωσης (SF) τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα του ΑΣΣ να γεμίσει τον ξυλότυπο με το ίδιο βάρος. Η εξάπλωση πρέπει να είναι τουλάχιστον 650 mm για το ΑΣΣ. Ενδεικτική τιμή ανοχής  $\pm 50$  mm.

Ο χρόνος T50cm αποτελεί δευτερεύουσα ένδειξη της ικανότητας ροής. Μικροί χρόνοι υποδεικνύουν μεγάλη ικανότητα ροής.

Στην περίπτωση έντονης απόμιξης τα περισσότερα χονδρόκοκκα αδρανή παραμένουν στο κέντρο του απλωμένου σκυροδέματος ενώ το κονίαμα και η τσιμεντόπαστα βρίσκονται στην περιφέρεια. Στην περίπτωση μικρής απόμιξης μια ταινία κονιάματος χωρίς χονδρόκοκκα αδρανή μπορεί να σχηματισθεί στην περιφέρεια του απλωμένου σκυροδέματος. Ακόμη και εάν δεν συμβεί κανένα από αυτά τα φαινόμενα, δεν εξασφαλίζεται πως δεν θα συμβεί απόμιξη σε κάποια άλλη χρονική στιγμή ή σε άλλες συνθήκες.

### **6.3. (3) Δοκιμή με δακτύλιο J [ J-Ring Test ]**

#### Αρχές λειτουργίας

Η δοκιμή με δακτύλιο J χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ικανότητας διέλευσης του ΑΣΣ από τα διάκενα του οπλισμού. Η δοκιμή βασίζεται στην αντίστοιχη δοκιμή προσδιορισμού της κάθισης του σκυροδέματος, το οποίο ρέει με παρεμπόδιση μέσω διακένων ράβδων οπλισμού. Η συσκευή αποτελείται από ράβδους οπλισμού κατακόρυφα τοποθετημένες σε μεταλλική πλάκα και σε διάταξη δακτυλίου. Η διάμετρος του δακτυλίου είναι 300 mm και το ύψος 100 mm. Σε κάθε συσκευή οι διάμετροι των οπλισμών και οι αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών μπορεί να είναι διαφορετικές ανάλογα με την εφαρμογή. Κατάλληλη απόσταση μεταξύ των οπλισμών θεωρείται η απόσταση που είναι ίση με 3 φορές το μέγιστο κόκκο αδρανούς. Κατά την δοκιμή προσδιορίζεται η διαφορά ύψους μεταξύ του σκυροδέματος μέσα και έξω από τον δακτύλιο J και αποτελεί μέτρο της ικανότητας διέλευσης του ΑΣΣ μέσω ράβδων οπλισμού.

Η δοκιμή δακτυλίου J μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την δοκιμή εξάπλωσης και περιστασιακά με την δοκιμή χοάνης V. Οι συνδυασμοί αυτοί ελέγχουν την ικανότητα ροής και την διελευσιμότητα του σκυροδέματος.

## Αξιολόγηση της δοκιμής

Αυτοί οι συνδυασμοί δοκιμών δείχνουν να έχουν μεγάλες δυνατότητες αν και δεν υπάρχει γενική άποψη για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Υπάρχουν διάφορες επιλογές όπως π.χ. μπορεί να είναι διδακτική η σύγκριση της ανεμπόδιστης εξάπλωσης με την εξάπλωση σε δακτύλιο J.

Όπως και στην περίπτωση της δοκιμής εξάπλωσης η δοκιμή με δακτύλιο J έχει το μειονέκτημα ότι εκτελείται χωρίς χωρικούς περιορισμούς και δεν προσομοιώνει τον τρόπο με τον οποίο το σκυρόδεμα διαστρώνεται και κινείται στους ξυλοτύπους στην πράξη.

Είναι απλή και γρήγορη δοκιμή. Για την δοκιμή εξάπλωσης  $T_{50cm}$  απαιτούνται δύο άτομα. Είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη δοκιμή και δίνει καλή εκτίμηση της ικανότητας πλήρωσης. Δεν δίνει ενδείξεις για την διεισσιμότητα μεταξύ των διακένων των οπλισμών αλλά δίνει κάποια ένδειξη για την αντίσταση σε απόμιξη. Η δοκιμή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της σταθερότητας της ποιότητας από φορτίο σε φορτίο.

## Εξοπλισμός

Τα κύρια στοιχεία της συσκευής παρουσιάζονται στο Σχ. 8.1 και στο Σχ. 8.2. Για την διεξαγωγή της δοκιμής απαιτούνται:

- Καλούπι σχήματος κόλουρου κώνου με διάμετρο μεγάλης βάσης 200 mm, διάμετρο μικρής βάσης 100 mm και ύψος 300 mm, χωρίς στηρίγματα ακινητοποίησης.

- Τετραγωνική βάση από άκαμπτο μη απορροφητικό υλικό, πλευράς τουλάχιστον 700 mm, με ενδείξεις για την κεντρική θέση του κώνου κάθισης και ομόκεντρου κύκλου διαμέτρου 500 mm.

- Μυστρί
- Σέσουλα
- Κανόνας
- Χρονόμετρο

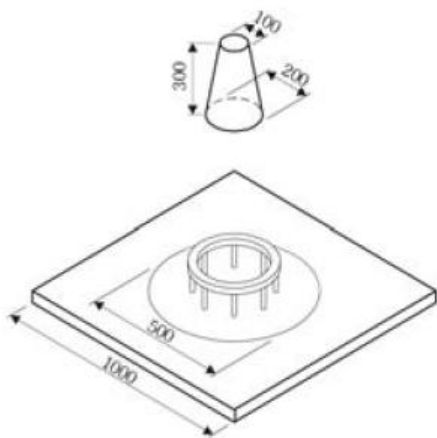
Σχ.8.1



- Δακτύλιος J από ράβδους οπλισμού διαμέτρου 10 mm κατακόρυφα τοποθετημένων στη βάση. Η διάμετρος του δακτυλίου είναι 300 mm, το ύψος 100 mm και η απόσταση μεταξύ διαδοχικών ράβδων  $48 \pm 2$  mm .

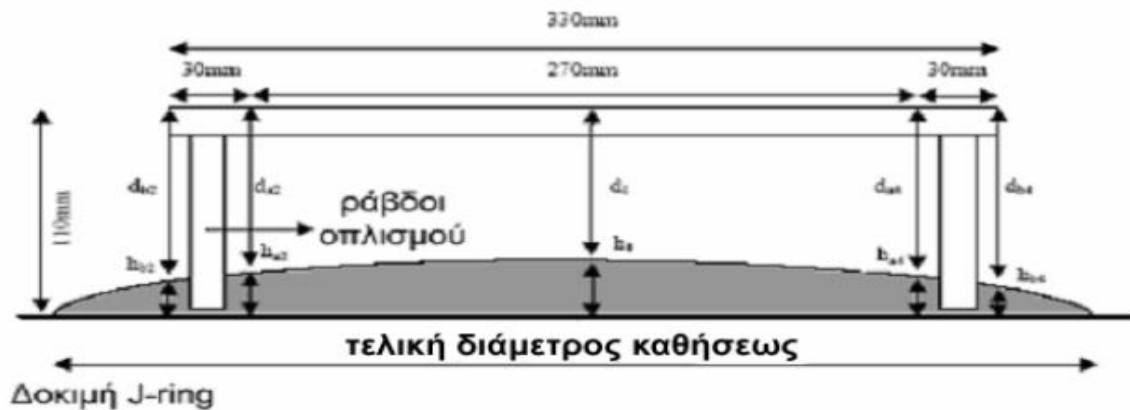
## Διαδικασία

Απαιτούνται περίπου 6 lt σκυροδέματος με συνήθη δειγματοληψία. Η βάση και το εσωτερικό του κώνου υγραίνονται. Η βάση τοποθετείται σε σταθερό οριζόντιο επίπεδο έδαφος. Ο δακτύλιος J τοποθετείται στο κέντρο της βάσης, ο κώνος κάθισης μέσα στον δακτύλιο και συγκρατείται σταθερά στο κέντρο. Ο κώνος γεμίζεται με την σέσουλα. Το σκυρόδεμα που περισσεύει από την κορυφή του κώνου απομακρύνεται με μυστρί χωρίς συμπύκνωση.



Απομακρύνονται τα υπολείμματα σκυροδέματος γύρω από την βάση του κώνου. Ανασηκώνεται ο κώνος κατακόρυφα και αφήνεται το σκυρόδεμα να απλωθεί ελεύθερα. Μετράται η τελική διάμετρος του σκυροδέματος σε δύο κάθετες διευθύνσεις. Υπολογίζεται η μέση τιμή των δύο διαμέτρων που μετρήθηκαν σε mm. Μετράται η διαφορά ύψους μεταξύ του σκυροδέματος που βρίσκεται ακριβώς μέσα από τις ράβδους και αυτού που βρίσκεται ακριβώς έξω από τις ράβδους. Υπολογίζεται η μέση τιμή της διαφοράς ύψους σε τέσσερις θέσεις σε mm.

Επισημαίνεται η ύπαρξη κονιάματος ή τσιμεντόπαστας χωρίς χονδρόκοκα αδρανή στα όρια του απλωμένου σκυροδέματος.



ΣΧΗΜΑ 8.2

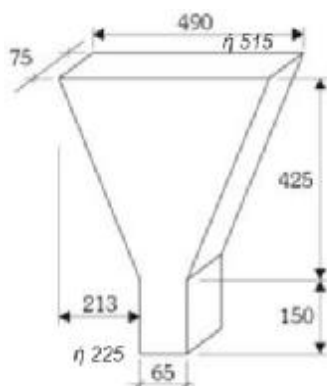
### Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά ύψους τόσο μικρότερη είναι η ικανότητα διέλευσης του ΑΣΣ. Έμφραξη (μπλοκάρισμα) και απόμιξη μπορούν με ευκολία να παρατηρηθούν. Σημειώνεται ότι αν και ο συνδυασμός των δοκιμών κάθισης και δακτυλίου J προσδιορίζει την ικανότητα πλήρωσης και την ικανότητα διέλευσης τα αποτελέσματα δεν είναι ανεξάρτητα. Η εκτιμώμενη ικανότητα πλήρωσης εξαρτάται από τον βαθμό που η κίνηση του ΑΣΣ εμποδίζεται από τις ράβδους οπλισμού.

### **6.4.(4) Δοκιμή με χοάνη V και (5) δοκιμή με χοάνη V στα 5min [V-Funnel Test]**

#### Αρχές λειτουργίας

Η δοκιμή χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ικανότητας πλήρωσης του ΑΣΣ (ρευσιτότητα) και η συσκευή αποτελείται από χοάνη σχήματος V ορθογωνικής διατομής. Η χοάνη γεμίζεται με περίπου 12 lt ΑΣΣ και μετρείται ο χρόνος εκροής όλου του υλικού από την χοάνη. Στην συνέχεια η χοάνη γεμίζεται πάλι με ΑΣΣ και παραμένει για 15 min σε ηρεμία. Εάν το ΑΣΣ παρουσιάζει απόμιξη τότε ο χρόνος εκροής αυξάνεται σημαντικά.



## Αξιολόγηση της δοκιμής

Αν και η δοκιμή σχεδιάσθηκε για την μέτρηση της ρευστότητας τα αποτελέσματα επηρεάζονται και από ιδιότητες του ΑΣΣ διαφορετικές από την ρευστότητα. Το σχήμα χοάνης δημιουργεί συνθήκες έμφραξης (που θα επιδράσουν στο αποτέλεσμα) εάν π.χ. υπάρχουν πολλά χονδρόκοκκα αδρανή. Αν και η συσκευή είναι απλή, η επίδραση της γωνίας της χοάνης και των τοιχωμάτων στην ροή του ΑΣΣ δεν είναι σαφής.

## Εξοπλισμός

- Χοάνη V.
- Δοχείο (>12 l).
- Μυστρί
- Σέσουλα
- Χρονόμετρο

## Διαδικασία για την μέτρηση του χρόνου εκροής στα 10 sec

Απαιτούνται περίπου 12 lt σκυροδέματος με συνήθη δειγματοληψία. Τοποθετείται η συσκευή σε σταθερό έδαφος. Υγραίνονται τα εσωτερικά τοιχώματα της χοάνης.

Η θυρίδα εκροής αφήνεται ανοικτή για να αποστραγγισθεί όλη η περίσσεια νερού και στην συνέχεια κλείνεται και τοποθετείται το δοχείο από κάτω. Η χοάνη γεμίζεται πλήρως με ΑΣΣ χωρίς συμπύκνωση. Η τυχόν περίσσεια ΑΣΣ απομακρύνεται από την ελεύθερη επιφάνεια με ένα μυστρί. Ανοίγεται η θυρίδα εκροής 10 s μετά από το γέμισμα και αφήνεται να εκρεύσει το ΑΣΣ με την βαρύτητα. Η χρονομέτρηση αρχίζει με το άνοιγμα της θυρίδας εκροής και σταματά όταν φανεί φως μέσα από την χοάνη κοιτάζοντάς την από επάνω. Αυτός είναι ο χρόνος εκροής. Η όλη δοκιμή πρέπει να εκτελεσθεί μέσα σε 5 min.

## Διαδικασία για την μέτρηση του χρόνου εκροής στα 5 min.

Τα εσωτερικά τοιχώματα της χοάνης V δεν καθαρίζονται ούτε υγραίνονται. Αμέσως μετά την μέτρηση του χρόνου εκροής η θυρίδα εκροής κλείνεται και ξαναγεμίζεται η χοάνη V. Τοποθετείται το δοχείο από κάτω. Η χοάνη γεμίζεται με ΑΣΣ χωρίς συμπύκνωση και απομακρύνεται από την επιφάνεια η περίσσεια υλικού με μυστρί. 5 min μετά από το γέμισμα ανοίγεται η θυρίδα εκροής και αφήνεται το ΑΣΣ να εκρεύσει με την βαρύτητα.

Η χρονομέτρηση αρχίζει με το άνοιγμα της θυρίδας εκροής και σταματά όταν φανεί φως μέσα από την χοάνη κοιτάζοντάς την από επάνω. Αυτός είναι ο χρόνος εκροής στα 5 min.

### Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Με την δοκιμή αυτή μετράται η ευκολία ροής του ΑΣΣ. Μικροί χρόνοι υποδεικνύουν μεγάλη ικανότητα ροής. Για το ΑΣΣ χρόνος ροής των 10 s θεωρείται ικανοποιητικός. Αυξημένοι χρόνοι εκροής υποδεικνύουν τάση του μίγματος να δημιουργήσει εμφράξεις (μειωμένη διελευσιμότητα).

## **6.5. (6) Δοκιμή με δοχείο σχήματος L [ L-Box Test ]**

### Αρχές λειτουργίας

Η δοκιμή χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ικανότητας ροής του ΑΣΣ και για τον βαθμό που το ΑΣΣ δημιουργεί εμφράξεις στον οπλισμό.

Η συσκευή αποτελείται από αγωγό σχήματος L ορθογωνικής διατομής (Σχ.9.1). Το κατακόρυφο τμήμα χωρίζεται από το οριζόντιο με κινητή θυρίδα εκροής μπροστά από την οποία είναι τοποθετημένες κατακόρυφες ράβδοι οπλισμού. Το κατακόρυφο τμήμα γεμίζεται με ΑΣΣ και στην συνέχεια η θυρίδα ανασηκώνεται αφήνοντας το ΑΣΣ να εκρεύσει στο οριζόντιο τμήμα. Όταν η ροή σταματήσει υπολογίζεται ο λόγος  $H_2/H_1$  των υψών του ΑΣΣ στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο τμήμα αντίστοιχα. Ο λόγος  $H_2/H_1$  είναι μια ένδειξη της ικανότητας διέλευσης του ΑΣΣ από τον οπλισμό της διελευσιμότητας. Στο οριζόντιο τμήμα μπορούν να σημειωθούν οι θέσεις σε απόσταση 200 mm και 400 mm από την θυρίδα και να μετρούνται οι χρόνοι που το υλικό φθάνει σε αυτά τα σημεία. Οι χρόνοι αυτοί είναι γνωστοί ως χρόνοι T20 και T40 και αποτελούν ένδειξη της ικανότητας πλήρωσης.



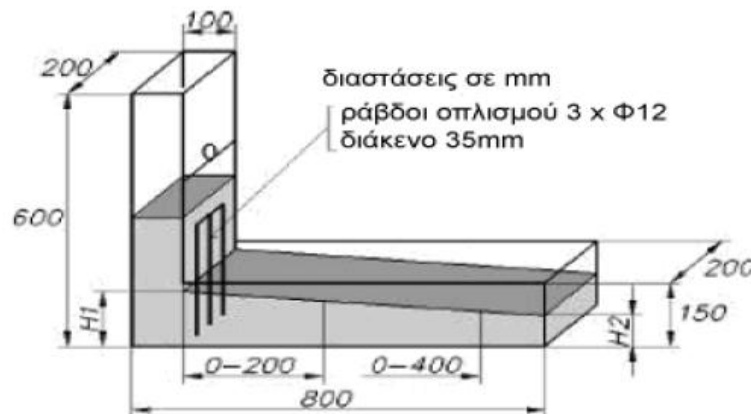
Σχ.9.1

Οι ράβδοι οπλισμού μπορεί να έχουν διάφορες διαμέτρους και να είναι τοποθετημένες σε διάφορα διαστήματα. Απόσταση μεταξύ των οπλισμών ίση με 3 φορές το μέγιστο κόκκο αδρανούς θεωρείται κατάλληλη. Η απόσταση μεταξύ των ράβδων οπλισμού μπορεί να ποικίλει εάν απαιτείται η εκτίμηση για την ικανότητα διέλευσης του ΑΣΣ λιγότερο ή περισσότερο αυστηρή.

### Αξιολόγηση της δοκιμής

Είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη δοκιμή, κατάλληλη για το εργαστήριο και για εφαρμογή στο έργο. Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ικανότητας πλήρωσης και της ικανότητας διέλευσης διελευσιμότητας του ΑΣΣ και μπορεί με αυτήν να διακριθεί οπτικά η απόμιξη του ΑΣΣ. Η απόμιξη μπορεί να εντοπισθεί με κοπή, με πριόνι του σκληρυμένου σκυροδέματος του οριζόντιου τμήματος και εξέταση των διατομών. Προς το παρόν δεν υπάρχει συμφωνία σχετικά με τα υλικά, τις διαστάσεις και την διάταξη των ράβδων οπλισμού και έτσι είναι δύσκολο να συγκριθούν τα διάφορα αναφερόμενα αποτελέσματα. Δεν υπάρχει ένδειξη για την επίδραση των τοιχωμάτων στην ροή του ΑΣΣ, όμως η συσκευή αυτή μπορεί σε κάποιο βαθμό να αναπαραστήσει τα φαινόμενα που συμβαίνουν στην πραγματική εφαρμογή κατά την χύτευση του σκυροδέματος όταν αυτό περιορίζεται από τον ξυλότυπο.

Για την εκτέλεση των μετρήσεων απαιτούνται δύο χειριστές.



Σχ.9.2

### Εξοπλισμός

- Δοχείο L με άκαμπτα μη απορροφητικά τοιχώματα.
- Μυστρί
- Σέσουλα
- Χρονόμετρο

### Διαδικασία

Απαιτούνται περίπου 14 lt σκυροδέματος με συνήθη δειγματοληψία. Η συσκευή τοποθετείται σε σταθερό έδαφος. Η θυρίδα κλείνεται αφού εξασφαλιστεί ότι μπορεί να ανοίξει ελεύθερα. Τα εσωτερικά τοιχώματα της συσκευής υγραίνονται και απομακρύνεται τυχόν περίσσεια νερού. Το κατακόρυφο τμήμα γεμίζεται τελείως με ΑΣΣ χωρίς συμπύκνωση και τυχόν περίσσεια ΑΣΣ στην επιφάνεια απομακρύνεται με ένα μυστρί. Το υλικό αφήνεται σε ηρεμία για 1 min. Η θυρίδα εκροής ανοίγεται και αφήνεται το ΑΣΣ να εκρεύσει στο οριζόντιο τμήμα. Η χρονομέτρηση αρχίζει με το άνοιγμα της θυρίδας εκροής και σημειώνονται οι χρόνοι για να φθάσει το υλικό στις αποστάσεις των 200 mm και 400 mm. Όταν σταματήσει η ροή μετρώνται τα ύψη H1 και H2. Υπολογίζεται ο λόγος έμφραξης H2/H1. Όλη η δοκιμή πρέπει να εκτελεσθεί μέσα σε 5 min.

### Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Στην περίπτωση που το ΑΣΣ έρεε όπως το νερό, στην κατάσταση ηρεμίας θα ήταν οριζόντιο και έτσι  $H2/H1=1$ . Έτσι όσο πιο κοντά βρίσκεται στην τιμή 1, λόγος έμφραξης H2/H1 τόσο καλύτερη η ικανότητα ροής του σκυροδέματος. Με την δοκιμή αυτή μετριέται η ευκολία ροής του ΑΣΣ. Μικροί χρόνοι υποδεικνύουν μεγάλη ικανότητα ροής. Για το ΑΣΣ προτείνεται ως ελάχιστη αποδεκτή τιμή του λόγου έμφραξης η 0,8. Οι χρόνοι  $T_{20}$  και  $T_{40}$  δίνουν ένδειξη της ικανότητας ροής αλλά δεν υπάρχει συμφωνία για τις αποδεκτές τιμές. Οι εμφράξεις στον οπλισμό μπορούν να εντοπισθούν οπτικά.

## **6.6. (7) Δοκιμή σταθερότητας με κοσκίνιση (GTM)**

### Αρχές λειτουργίας

Η δοκιμή χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της αντίστασης σε απόμιξη (σταθερότητα) του ΑΣΣ. 10 l ΑΣΣ αφήνονται σε ηρεμία για ορισμένο χρονικό διάστημα ώστε να συμβεί ενδεχόμενη απόμιξη. Στη συνέχεια η μισή ποσότητα χύνεται σε κόσκινο ανοίγματος 5 mm και διαμέτρου 350 mm και ύστερα από 2 min μετριέται η μάζα του υλικού που διήλθε από το κόσκινο. Το αποτέλεσμα εκφράζεται ως ποσοστό της μάζας διερχομένου προς την αρχική μάζα του υλικού που τοποθετήθηκε στο κόσκινο.



## Αξιολόγηση της δοκιμής

Είναι πολύ αποτελεσματική δοκιμή για την εκτίμηση της σταθερότητας του ΑΣΣ, σύμφωνα με τις γνώμες τεχνικών που την έχουν εφαρμόσει. Όμως αν και απλή, δεν είναι μια γρήγορη και επίσης απαιτεί ένα ζυγό ακριβείας με αποτέλεσμα να μην είναι τόσο κατάλληλη για εφαρμογή στο έργο. Η επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων μπορεί να μην είναι ικανοποιητική.



ΣΧΗΜΑ 10. Δοκιμή αντίστασης στην απόμιξη με κόσκινο (Sieve segregation resistance Test)

## Εξοπλισμός

- Δοχείο 10 lt με σκέπασμα.
- Κόσκινο με άνοιγμα πλέγματος 5 mm και διάμετρο 350 mm.
- Δοχείο για την συλλογή του διερχομένου υλικού από το κόσκινο
- Ζυγός ελαχίστης ικανότητας ζύγισης 20 kg και ακριβείας 20 g
- Χρονόμετρο

## Διαδικασία

Απαιτούνται περίπου 10 lt σκυροδέματος το οποίο αποκτάται με συνήθη δειγματοληψία. Αφήνεται το ΑΣΣ για 15 min σε ηρεμία στο δοχείο της δειγματοληψίας σκεπασμένο για να αποφύγουμε την εξάτμιση. Το δοχείο για την συλλογή του διερχομένου υλικού ζυγίζεται (άδειο). Εξετάζεται η επιφάνεια του ΑΣΣ για τυχόν εξίδρωση και καταγράφεται η παρατήρηση. 2 l ή περίπου  $4,8 \pm 0,2$  kg από την επάνω στρώση του δείγματος ΑΣΣ αδειάζονται σε ένα άλλο δοχείο Α. Το δοχείο Α ζυγίζεται με το περιεχόμενό του. Όλο το περιεχόμενο ΑΣΣ από το δοχείο Α αδειάζεται στο

κόσκινο από ύψος 500 mm με ομαλή συνεχή κίνηση. Ζυγίζεται το δοχείο A άδειο Υπολογίζεται η μάζα  $M_{\alpha}$  του υλικού που αδειάστηκε στο κόσκινο. Μετά από πάροδο 2 min από την έκχυση του ΑΣΣ στο κόσκινο απομακρύνεται το δοχείο συλλογής και ζυγίζεται. Υπολογίζεται η μάζα του  $M_{\beta}$  του υλικού που διήλθε από το κόσκινο. Υπολογίζεται το ποσοστό του διερχομένου υλικού, και ο λόγος απόμιξης  $M_{\beta}/M_{\alpha} \times 100$

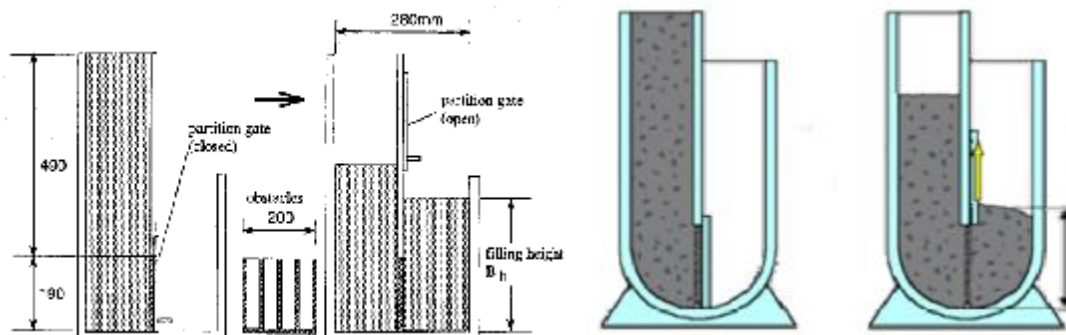
### Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Με βάση την εμπειρία, το ΑΣΣ παρουσιάζει ικανοποιητική αντίσταση στην απόμιξη όταν ο λόγος απόμιξης είναι μεταξύ 5% και 15%. Για τιμές του λόγου απόμιξης κάτω από 5% η αντίσταση σε απόμιξη είναι υπερβολική και πιθανώς να έχει επίδραση στη μορφή της τελικής επιφάνειας (οπές από φυσαλίδες αέρα). Για τιμές πάνω από 15% και ιδιαίτερα πάνω από 30% υπάρχει σημαντική πιθανότητα απόμιξης του ΑΣΣ.

### **6.7. (8) Δοκιμή με δοχείο U [ U-box Test ] και (9) δοκιμή Fill-Box Test**

Αυτές είναι μέθοδοι εκτίμησης της ικανότητας ροής του ΑΣΣ 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 απαιτούμενος χρόνος και τα σχετικά ύψη του σκυροδέματος στους δυο θαλάμους των κιβωτίων, μετά τη ροή του μίγματος.

Είναι δοκιμές παρόμοιες με την δοκιμή με δοχείο L ( L-Box Test ), όπου η μόνη διαφορά είναι η συσκευή. Το σκυρόδεμα τοποθετείται στο ψηλότερο τμήμα του σκεύους και παρακολουθείται η ροή του προς το δεύτερο, χαμηλότερο τμήμα. Τα ύψη στα δυο τμήματα του σκεύους συγκρίνονται, και σημειώνεται επίσης ο χρόνος που απαιτείται για την δοκιμή.



ΣΧΗΜΑ 11.1. Διαστάσεις [mm] σκεύους για δοκιμή ροής μέσω στενών ανοιγμάτων τύπου U-box.



ΣΧΗΜΑ 11.2. Fill Box Test

#### 6.8. (10) Δοκιμή Orimet

Παρόμοια με τη δοκιμή V-funnel είναι και η δοκιμή Orimet, με τη διαφορά ότι η συσκευή Orimet αποτελείται από ένα κύλινδρο, ο οποίος καταλήγει σε ακροφύσιο μορφής ανεστραμμένου κολουρου κώνου. Η δοκιμή γίνεται στο εργαστήριο αλλά και επί τόπου του έργου, για τον προσδιορισμό της ικανότητας πλήρωσης. Ο κύλινδρος γεμίζεται με ΑΣΣ και στη συνέχεια μετριέται ο χρόνος εκροής όλου του υλικού από το ακροφύσιο.



ΣΧΗΜΑ 12. Δοκιμή Orimet

<b>A/A</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ</b>	<b>ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>
1	Έλεγχος κάθισης-εξάπλωσης (slump-flow test) με τον κώνο του Abrams	Ικανότητα πλήρωσης
2	Έλεγχος κάθισης-εξάπλωσης T50cm	Ικανότητα πλήρωσης
3	J - ring	Πλαστικότητα
4	V - funnel	Ικανότητα πλήρωσης
5	V-funnel σε T5minutes	Αντίσταση σε διαχωρισμό
6	L - box	Πλαστικότητα
7	GTM screen stability test	Αντίσταση σε διαχωρισμό
8	U - box	Πλαστικότητα
9	Fill - box	Πλαστικότητα
10	Orimet	Ικανότητα πλήρωσης

Οι ιδιότητες αυτές και ο προσδιορισμός τους μέσω των δοκιμών, καθορίζουν την εργασιμότητα του σκυροδέματος. Ο όρος εργασιμότητα είναι πολύ πλατιά ορισμένος. Καμία δοκιμή από μόνη της δεν μπορεί να μετρήσει όλα τα επίπεδα της εργασιμότητας. Το Αμερικανικό Ινστιτούτο Σκυροδέματος περιγράφει την εργασιμότητα ως “εκείνη την ιδιότητα του φρέσκου σκυροδέματος ή κονιάματος που καθορίζει την ευκολία με την οποία μπορεί να αναμιχθεί, να τοποθετηθεί και να φινιριστεί σε ομογενή κατάσταση”. Κατά την Ένωση Ιαπώνων Μηχανικών Σκυροδέματος, η εργασιμότητα ορίζεται ως “η ιδιότητα του φρέσκου σκυροδέματος ή κονιάματος που καθορίζει την ευκολία και την ομοιογένεια με τις οποίες μπορεί να αναμιχθεί, τοποθετηθεί και να συμπυκνωθεί λόγω της συνεκτικότητάς του, της ομοιογένειας με την οποία μπορεί να μετατραπεί σε σκυρόδεμα και του βαθμού στον οποίο μπορεί να αντισταθεί στο διαχωρισμό των υλικών”. Ακόμα, ο Neville ορίζει την εργασιμότητα ως “το ποσό του χρήσιμου εσωτερικού έργου που είναι απαραίτητο για να επιτευχθεί πλήρης συμπύκνωση”. Η εργασιμότητα δεν εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητες του σκυροδέματος, αλλά επίσης και από τη φύση της εφαρμογής.

Η εργασιμότητα του σκυροδέματος δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να θυσιάζεται ώστε να αναπτυχθούν καλύτερες ιδιότητες στο σκληρυμένο σκυρόδεμα, όπως η αντοχή και η ανθεκτικότητα. Η εργασιμότητα μετριέται τυπικά στον τόπο διάστρωσης του

σκυροδέματος μέσω των αποτελεσμάτων της δοκιμής εξάπλωσης (cone slump test). Εντούτοις, κάποιες έρευνες που διεξήχθησαν από την NMRCA (National Ready Mixed Concrete Association) και το NIST (National Institute of Standards and Technology), έδειξαν ότι οι μετρήσεις αυτές δεν είναι και τόσο αντιπροσωπευτικές για την πραγματική συμπεριφορά του νωπού σκυροδέματος στο πεδίο τοποθέτησής του. Αναφέρθηκε ότι μίγματα σκυροδέματος με την ίδια μετρούμενη τιμή εξάπλωσης, δε συμπεριφέρονται το ίδιο κατά την τοποθέτηση. Αυτό υπονοεί ότι η τιμή εξάπλωσης δε δίνει αρκετά δεδομένα για να χαρακτηριστεί η ρεολογική συμπεριφορά του σκυροδέματος.

Στο πεδίο της κατασκευής, τεχνικοί όροι όπως η εργασιμότητα, η ρευστότητα και η συνεκτικότητα, χρησιμοποιούνται εναλλακτικά για την περιγραφή της συμπεριφοράς του νωπού σκυροδέματος κατά τη ροή του. Οι ορισμοί τους βέβαια είναι πολύ υποκειμενικοί. Παρ' όλα αυτά, υπάρχει ανάγκη για μια πιο θεμελιώδη και ποσοτική περιγραφή της ροής του σκυροδέματος. Αρκετοί ερευνητές, όπως ο Banfill και ο De Larrard, έχουν χρησιμοποιήσει με επιτυχία την εξίσωση του Bingham. Σύμφωνα με αυτή, δύο είναι οι παράμετροι που προσδιορίζουν τη ροή, η διατμητική τάση και το πλαστικό ιξώδες. Η μεν διατμητική τάση σχετίζεται με την εξάπλωση. Το δε ιξώδες μπορεί να σχετιστεί και με άλλες ιδιότητες όπως την ευκολία τοποθέτησης και άντλησης, το βαθμό φινιρίσματος και την κολλώδη συμπεριφορά. Επιπροσθέτως, η απόμιξη θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως η μη ικανότητα των αδρανών να βυθίζονται μέσα στην πάστα του τσιμέντου. Αυτό το φαινόμενο συνδέεται με το ιξώδες της τσιμεντόπαστας και το σχεδιασμό των αναλογιών στο μίγμα του σκυροδέματος. Το πλαστικό ιξώδες συνήθως αμελείται λόγω του ότι υπάρχουν πολύ λίγοι τύποι συσκευών και διατάξεων που μπορούν να το μετρήσουν. Συνεπώς, οι μέθοδοι που αξιοποιούνται για την πρόβλεψη της εργασιμότητας του σκυροδέματος, πρέπει να λάβουν υπόψη τους τη διατμητική τάση και το ιξώδες της πάστας του τσιμέντου, η οποία είναι το συνδετικό υλικό των αδρανών στο σκυρόδεμα.

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα είναι ένας τύπος σκυροδέματος που εμφανίζει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και αρκετές διαφορές, έναντι των συμβατικών, όσον αφορά τη ρεολογική συμπεριφορά του. Το είδος των αδρανών, το σχήμα και το μέγεθός τους είναι τα χαρακτηριστικά που μπορούν να βελτιώσουν τις ρεολογικές ιδιότητες του αυτοσυμπυκνούμενου. Τα εργαλεία του ρεολογικού χαρακτηρισμού των ΑΣΣ είναι στοιχειώδη και λίγες είναι οι μελέτες που έχουν αφιερωθεί στην ανάλυση, κατανόηση και προτυποποίηση της ρεολογικής συμπεριφοράς των υλικών αυτών. Το ΑΣΣ είναι ρευστό τύπου Bingham. Τα κοκκομετρικά χαρακτηριστικά των στερεών συστατικών επιδρούν

αισθητά στην τιμή κατωφλίου διάτμησης. Ως τιμή κατωφλίου ορίζεται η κατά Bingham τιμή της διατμητικής τάσης πάνω από την οποία, ένα ρευστό συμπεριφέρεται ως υγρό.

Το νωπό σκυροδέμα μπορεί να χαρακτηριστεί ρευστό, δεδομένου ότι μπορεί να επιτευχθεί ένας συγκεκριμένος βαθμός ρευστότητας και ότι το υλικό είναι ομογενές. Η περιγραφή της ροής ενός σκυροδέματος περιλαμβάνει τη χρήση εννοιών όπως η διατμητική τάση (shear stress) και ο ρυθμός διάτμησης (shear rate), των οποίων ο λόγος δίνει το ιξώδες (viscosity). Το σκυροδέμα ως ρευστό, κατατάσσεται στα λεγόμενα ρευστά Bingham. Τα ρευστά Bingham χαρακτηρίζονται από μια τιμή κατωφλίου διάτμησης. Σε αντίθεση με τα νευτωνικά ρευστά, μπορούν να μεταδώσουν τη διατμητική τάση χωρίς την ύπαρξη βαθμίδας ταχύτητας. Όμως για να αρχίσει ένα ρευστό τύπου Bingham να ρέει, θα πρέπει η ασκούμενη σε αυτό διατμητική τάση να υπερβεί την τιμή κατωφλίου. Το ρευστό αυτό με διατμητικές τάσεις μικρότερες του κατωφλίου θα συμπεριφέρεται περίπου ως στερεό, ενώ με μεγαλύτερες τιμές αυτής θα περνάει στην περιοχή των υγρών. Όσον αφορά το προφίλ των ταχυτήτων κατά την κίνηση του ρευστού πρέπει να σημειωθούν τα παρακάτω: Όταν τα νευτωνικά ρευστά ρέουν μέσα σε αγωγούς ή κανάλια, εμφανίζουν ένα προφίλ ταχυτήτων, του οποίου η βαθμίδα μειώνεται προς το κέντρο του αγωγού. Έτσι η διατμητική τάση που μεταδίδεται από στρώμα σε στρώμα, συνεχώς ελαττώνεται όσο η μελέτη προχωράει προς το κέντρο. Επειδή τα ρευστά τύπου Bingham μετατρέπονται σε στερεά όταν η ασκούμενη διατμητική τάση μειωθεί κάτω από την τιμή κατωφλίου, καθίσταται σαφές ότι θα γίνονται στερεά κοντά στο κέντρο του αγωγού, δημιουργώντας έτσι ένα στερεό μόρφωμα, το οποίο συμπαρασύρεται από το υπόλοιπο ρευστό κατά τη ροή.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, όταν αναμιγνύονται υλικά που έχουν προέλθει από θραύση και μείωση μεγέθους με συνδετικά υλικά, όπως στη περίπτωση των αδρανών με το τσιμέντο προς δημιουργία σκυροδέματος, είναι κρίσιμο να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή «σωματιδιακή πλήρωση» (particle pack). Με τον όρο αυτό εννοείται ο συνδυασμός των υλικών έτσι ώστε το μίγμα να έχει τη μεγαλύτερη πυκνότητα όταν ανακατεύεται χωρίς τη προσθήκη νερού. Η επίτευξη της υψηλότερης πυκνότητας μπορεί να αυξήσει σημαντικά τις αντοχές και να μειώσει την απαίτηση σε υδατικό περιεχόμενο. Τα τελευταία επιτυγχάνονται αυξάνοντας την επιφάνεια σύνδεσης ανά μονάδα μάζας του υλικού. Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα, τόσο περισσότερα είναι τα σωματίδια με τα οποία έρχεται σε επαφή ένα συγκεκριμένο σωματίδιο, συνεπώς αυξάνει η επιφάνεια σύνδεσης, με άμεση επίδραση στις μηχανικές αντοχές.

Μία άλλη ιδιότητα που επηρεάζει την ρεολογία του ΑΣΣ είναι η πυκνότητα στοίβαξης (packing density). Ο τρόπος με τον οποίο διατάσσονται τα αδρανή εντός του σκυροδέματος είναι καθοριστικός για την καλή συμπεριφορά του υλικού. Σκοπός είναι να καλυφθούν αποτελεσματικά τα κενά μεταξύ των αδρανών και να ελαχιστοποιηθούν οι ανομοιογένειες στο μίγμα της πάστας και των αδρανών, μειώνοντας έτσι την ανισοτροπία του τελικού προϊόντος. Για δεδομένο όγκο υλικού κυβικού σχήματος, αυτό επιτυγχάνεται μεγιστοποιώντας το πηλίκο του όγκου των αδρανών προς τον συνολικό όγκο του κυβικού δοχείου, δηλαδή μεγιστοποιώντας τη τιμή της πυκνότητας στοίβαξης.

Επομένως, η δημιουργία ενός ΑΣΣ προϋποθέτει την δημιουργία ενός σκυροδέματος το οποίο θα έχει υψηλές τιμές σωματιδιακής πλήρωσης και πυκνότητας στοίβαξης. Οι δυο παράμετροι αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες της ρεολογίας της τσιμεντόπαστας, οι δε τιμές τους εξαρτώνται άμεσα από το ποσοστό και το είδος των λεπτόκοκκων αδρανών (ultrafine aggregates).

Το αντικείμενο της έρευνας είναι η μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς του ΑΣΣ θεωρώντας ότι είναι διφασικό σύστημα με μια φάση από στερεά υλικά και μια υγρή φάση του τσιμέντου και μελετάται η επίδραση της κοκκομετρίας της στερεής φάσης στο ιξώδες της υγρής. Στόχος είναι να καθοριστεί ο ρόλος της θιξοτροπίας μέσω πειραματικών προσεγγίσεων με κύριο πεδίο εφαρμογής την κατεργασία του αυτοσυμπυκνούμενου.

Το ρόλο του συνδετικού υλικού στο σκυρόδεμα, διαδραματίζει η τσιμεντόπαστα που με τις ρεολογικές ιδιότητές της καθορίζει τη σχετική κίνηση των χονδρόκοκκων αδρανών μέσα στο μίγμα. Έχουν γίνει αρκετές μελέτες πάνω στον τρόπο με τον οποίο η προσθήκη εξαιρετικά λεπτόκοκκων αδρανών (ultra-fine aggregates) στο τσιμέντο, μεταβάλλει τις ρεολογικές ιδιότητες της τσιμεντόπαστας.



## 7.1. ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΑΣΣ

Για την εξασφάλιση της επιτυχίας της εφαρμογής του ΑΣΣ και της πλήρους αξιοποίησης των ιδιοτήτων του πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ιδιαιτερότητες του:

- Μεγαλύτερη ευαισθησία των συνθέσεων στις διακυμάνσεις των ιδιοτήτων των συστατικών ( ποσοστό υγρασίας αδρανών, λεπτότητα κονιών, κ.α.). Το ΑΣΣ δε «συγχωρεί» λάθη.
- Πιθανότητα ύπαρξης διαφορών μεταξύ ρεολογικής συμπεριφοράς στο εργαστήριο και στο πεδίο. 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 ποιοτικό έλεγχο των σταδίων αυτών.
- Εξασφάλιση στεγανότητας ξυλοτύπων και προσεκτική διαστασιολόγηση τους για υψηλούς ρυθμούς σκυροδέτησης. Το ΑΣΣ απαιτεί υψηλό βαθμό συνέργειας και ποιότητας σε όλα τα στάδια της παραγωγής.
- Απαίτηση αναβάθμισης των υπάρχουσών υλικοτεχνικών υποδομών στα παρασκευαστήρια (π.χ. πρόσθετα σιλό αποθήκευσης κονιών, νέες συσκευές ελέγχου των ιδιοτήτων νωπού ΑΣΣ, υγρόμετρα ακριβείας). Η παραγωγή ενός προηγμένου προϊόντος δεν μπορεί να γίνει με τη χρήση παρωχημένης τεχνολογίας.

Προϋποθέσεις για επιτυχημένη εφαρμογή του ΑΣΣ είναι τα αυστηρότερα κριτήρια ποιοτικού ελέγχου για:

- Πρώτες ύλες
- Παραγωγή
- Αποδοχή στο εργοτάξιο ή στη γραμμή παραγωγής προκατασκευασμένων στοιχείων
- Άντληση – Διάστρωση
- Συντήρηση

## 7.2. ΣΘΕΝΑΡΟΤΗΤΑ ΜΙΑΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΑΣΣ

Ο ορθός σχεδιασμός μίας σύνθεσης ΑΣΣ πρέπει να έχει ως αφετηρία τον προσδιορισμό των επιθυμητών στοχοσήμων για το σύνολο των επιτελεστικότητας της σύνθεσης (ρεολογική συμπεριφορά, μηχανικές ιδιότητες, ανθεκτικότητα), οι οποίες υπαγορεύονται από τις ανάγκες μίας συγκεκριμένης εφαρμογής. Επιπλέον, η



σύνθεση ΑΣΣ θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό σταθερότητας, δηλαδή από υψηλό βαθμό αντίστασης στη μεταβολή των ρεολογικών χαρακτηριστικών της από τις διακυμάνσεις των παραγόντων που την επηρεάζουν (Σχ. 13). Λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής, τις παραμέτρους που συνοψίζονται στο Σχ.13, καθώς και τη διαθεσιμότητα και το κόστος των πρώτων υλών, πραγματοποιείται ο σχεδιασμός της σύνθεσης ΑΣΣ. Λόγω της πολυπαραμετρικότητας του προβλήματος και δεδομένης της ύπαρξης ενός μεγάλου εύρους εμπορικών χημικών προσμίκτων και ορυκτών προσθέτων, είναι σαφές ότι περισσότερες από μία συνθέσεις είναι σε θέση να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του σχεδιασμού. Η επιλογή της βέλτιστης από αυτές δεν θα πρέπει να γίνει με μοναδικό κριτήριο το πρωτογενές κόστος. Εκτός αυτού, θα πρέπει να συνυπολογιστεί το κόστος που συνδέεται με την απόκλιση των ρεολογικών χαρακτηριστικών των συνθέσεων από τις τιμές του σχεδιασμού, εξαιτίας διακυμάνσεων των παραμέτρων παραγωγής.

### Πρώτες Ύλες

**Τσιμέντο** (χημική σύσταση, λεπτότητα)

**Πρόσθετες κονίες** – [κυρίως πληρωτικά υλικά, χαμηλού συντελεστή ενεργότητας (χημική σύσταση, λεπτότητα)]

**Αδρανή** (σχήμα, υφή, επιφανειακή υγρασία)

**Ρυθμιστής ιξώδους** (χημική σύσταση, δραστηριότητα ~ χρόνος ζωής προϊόντος)

**Υπερ-ρευστοποιητής** (χημική σύσταση – συμβατότητα με το τσιμέντο, δραστηριότητα ~ χρόνος ζωής προϊόντος)

### Σύνθεση

Περιεκτικότητα χονδροκόκκων αδρανών,  $V_{ag}$

Μέγεθος μέγιστου κόκκου,  $D_{max}$ , και κοκκομετρία αδρανών

Λόγος (κατ'όγκον) νερού προς υλικά λεπτού καταμερισμού (τσιμέντο + πρόσθετες κονίες),  $V_w/V_p$

Λόγος (κατ'όγκον) άμμου προς τσιμεντοκονίαμα,  $V_s/V_m$

Λόγος (κατά βάρος) πρόσθετων κονιών προς τσιμέντο,  $W_f/W_c$

Λόγος (κατά βάρος) υπερ-ρευστοποιητή προς υλικά λεπτού καταμερισμού (τσιμέντο + πρόσθετες κονίες),  $W_{sp}/W_p$

### Ανάμιξη

**Τύπος αναμικτήρα** (η σφοδρότητα και η ομοιογένεια της ανάμιξης εξαρτώνται από τα: ισχύς αναμικτήρα, διάταξη βραχιόνων, χωρητικότητα, μέγιστος επιτρεπόμενος όγκος αναμίγματος, σύστημα παρακολούθησης ενεργειακής απόδοσης αναμικτήρα, δυνατότητα οπτικής παρακολούθησης του μίγματος – π.χ. μέσω κάμερας)

**Ακρίβεια ζυγιστικών μέσων**

**Αλληλουχία και χρόνος ανάμιξης**

**Εμπειρία χειριστή παρασκευαστηρίου**

### Άλλες παράμετροι

Θερμοκρασία, Υγρασία, Παρερχόμενος χρόνος από τη λήξη της ανάμιξης

**ΣΧΗΜΑ 13.** Παράγοντες που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά της ρεολογικής συμπεριφοράς μίας σύνθεσης ΑΣΣ.

Βάσει των παραπάνω, ιδιαίτερα χρήσιμη κρίνεται η εισαγωγή της έννοιας της «σθεναρότητας» μίας σύνθεσης ΑΣΣ, σε μία προσπάθεια να αποδοθεί στην ελληνική ο αγγλικός όρος «robustness». Έτσι, σθεναρότητα μίας σύνθεσης νοείται η «ανοχή» της σε διακυμάνσεις των παραμέτρων της παραγωγικής διαδικασίας, οι οποίες οφείλονται σε στατιστικά προβλέψιμες αποκλίσεις από τα επιθυμητά μεγέθη των παραμέτρων της παραγωγής (π.χ. από τις επιθυμητές κοκκομετρικές καμπύλες για

κάθε κλάσμα αδρανών), σε σφάλματα (π.χ. σφάλματα ζυγομέτρησης), ή και σε απρόβλεπτα περιστατικά.

Με τον όρο «ανοχή» περιγράφεται το εύρος των μεταβολών των μετρήσιμων ρεολογικών χαρακτηριστικών της σύνθεσης, λόγω των διακυμάνσεων στις παραμέτρους παραγωγής, από τα αντίστοιχα ρεολογικά χαρακτηριστικά της «σύνθεσης αναφοράς», ή της «σύνθεσης σχεδιασμού». Η τελευταία αποτελεί - απουσία εναλλακτικών συνθέσεων - τη σύνθεση-στόχο του παραγωγού για ένα συγκεκριμένο έργο και, επομένως, οι τιμές των ιδιοτήτων της (σε όλες τις φάσεις του υλικού: νωπή, πήξης-σκληρυνσης, πλήρως ενυδατωμένη) αποτελούν τα στοχόσημα για τις ιδιότητες κάθε δόσης της συγκεκριμένης σύνθεσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι η «σύνθεση αναφοράς» αντιστοιχεί σε ένα σύνολο συνθηκών και παραμέτρων παραγωγής με συγκεκριμένες τιμές, οι οποίες συνιστούν τη βάση μέτρησης για τον καθορισμό της οιασδήποτε διακύμανσης.

Κάνοντας χρήση των ορισμών που εδόθησαν παραπάνω, μία σύνθεση Α χαρακτηρίζεται ως μικρότερης ανοχής (επομένως μεγαλύτερης ευαισθησίας, ή μικρότερης σθεναρότητας) από μία σύνθεση Β, όταν για μεταβολές των ιδίων παραμέτρων παραγωγής και του ίδιου εύρους, η σύνθεση Α παρουσιάζει μεγαλύτερες αποκλίσεις από τις επιθυμητές τιμές των νωπών της ιδιοτήτων, από ότι η σύνθεση Β. Εναλλακτικά, η σύνθεση Α είναι μικρότερης σθεναρότητας από τη σύνθεση Β όταν, συγκριτικά με την τελευταία, επιτρέπει ένα μικρότερο εύρος μεταβολών των (ιδίων) παραμέτρων παραγωγής για την επίτευξη του ίδιου βαθμού συμφωνίας μεταξύ επιθυμητών και επιτευχθέντων ρεολογικών χαρακτηριστικών (αλλά και χαρακτηριστικών αντοχής και ανθεκτικότητας). Είναι προφανές ότι η προστιθέμενη αξία μίας σύνθεσης αυξάνεται με την αύξηση της σθεναρότητάς της.

Η ως άνω αναπτυχθείσα ανάλυση δεν είναι εφαρμόσιμη, εάν δεν ποσοτικοποιηθεί κατάλληλα η σθεναρότητα μίας σύνθεσης. Παρακάτω περιγράφεται η προτεινόμενη από την ερευνητική ομάδα του Εργαστηρίου Μηχανικής και Τεχνολογίας Υλικών σχετική διαδικασία. Πρώτο βήμα σε αυτή τη διαδικασία αποτελεί η ιεράρχηση των παραμέτρων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά νωπού ΑΣΣ, με κριτήριο τη σπουδαιότητά τους. Παράμετροι που δεν είναι εφικτό να λάβουν διακριτές τιμές (π.χ. η εμπειρία του χειριστή του παρασκευαστηρίου) και παράμετροι που παραμένουν (ή θεωρούνται) σταθερές κατά την παραγωγή (π.χ. χαρακτηριστικά αναμικτήρα) θα πρέπει να παραληφθούν από την διαδικασία. Έτσι, από τις παραμέτρους που συνοψίζονται στην Εικόνα 1, εκείνες που θεωρούνται ότι επηρεάζουν με τις

διακυμάνσεις τους τα ρεολογικά χαρακτηριστικά μίας συγκεκριμένης σύνθεσης ΑΣΣ είναι όλες οι παράμετροι σύνθεσης και η επιφανειακή υγρασία των αδρανών (για δεδομένη θερμοκρασία και υγρασία ατμόσφαιρας και για χρόνο αξιολόγησης των ρεολογικών ιδιοτήτων της σύνθεσης ίσο με τη λήξη της ανάμιξης, <0).

Εάν  $y^k$  είναι οι  $k$  το πλήθος εξαρτώμενες τιμές των ιδιοτήτων νωπού ΑΣΣ (π.χ. η τιμή της δοκιμής κάθισης/εξάπλωσης σε mm, η τιμή της δοκιμής V-funnel σε sec και η τιμή της δοκιμής L-box σε αδιάστατες μονάδες, με  $k = 3$ ), τότε αυτές συνδέονται με τις παραμέτρους σύνθεσης και την επιφανειακή υγρασία των αδρανών (παράμετροι  $x$ ) με μία γενική εξίσωση, η δευτεροβάθμια μορφή της οποίας έχει την παρακάτω μορφή:

$$y^k = \alpha_0^k + \sum_{i=1}^n \alpha_i^k x_i + \sum_{i=1}^n \alpha_{ii}^k (x_i)^2 + \sum_{i<j} \alpha_{ij}^k x_i x_j + \varepsilon \quad (1)$$

όπου  $n$  το πλήθος των παραμέτρων  $x$ ,  $\alpha_0^k$  ο ανεξάρτητος όρος,  $\alpha_i^k$  και  $\alpha_{ii}^k$  οι συντελεστές βαρύτητας της παραμέτρου  $x_i$  και του τετραγώνου της, αντίστοιχα,  $\alpha_{ij}^k$  ο συντελεστής βαρύτητας της αλληλεπίδρασης των παραμέτρων  $x_i$  και  $x_j$  και  $\varepsilon$  το σφάλμα που οφείλεται στον αποκλεισμό όρων τρίτου και άνω βαθμού. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα ρεολογικά χαρακτηριστικά μίας σύνθεσης δεν εξαρτώνται μόνο από τις επί μέρους παραμέτρους που την επηρεάζουν, αλλά και από συνδυασμούς των εν λόγω παραμέτρων. Μερικές δε από αυτές αλληλεπιδρούν συνεργιστικά, ενώ άλλες ανταγωνιστικά.

Κάθε παράμετρος  $x_i$  λαμβάνει τιμές μεταξύ κάποιων μέγιστων και ελάχιστων ορίων [βλ. εξ. (2)], οι οποίες καθορίζονται από το σύστημα ποιοτικού ελέγχου της μονάδας παραγωγής. Για παράδειγμα, αυτά τα όρια δύνανται να αντιστοιχούν στις μέγιστες επιτρεπτές αποκλίσεις των πραγματικών ποσοτήτων δΟΣΟΛΟΓΙΑΣ (τελικές ποσότητες στον αναμικτήρα) από τις θεωρητικά προκαθορισμένες (ποσότητες τροφοδοσίας της μονάδας ελέγχου του παρασκευαστηρίου).

$$x_{i,max} \leq x_i \leq x_{i,min} \quad (2)$$

Εάν για μία συγκεκριμένη σύνθεση και για ένα συγκεκριμένο έργο τα στοχόσημα των εξαρτώμενων μεταβλητών  $y^k$  είναι ίσα με  $y^{k,opt}$ , τότε το σύστημα του ποιοτικού ελέγχου του παρασκευαστηρίου (ή/και το σύστημα ποιοτικού ελέγχου του αναδόχου του έργου) πρέπει να ορίσει το πεδίο τιμών (ξεχωριστό για κάθε μία μεταβλητή) μέσα στο οποίο πρέπει να κινούνται οι τιμές των  $y^k$  για να ικανοποιείται ο έλεγχος [βλ. εξ. (3)]. Τα όρια αυτού του πεδίου δύνανται να ισαπέχουν από την τιμή  $y^{k,opt}$ , κατά μία σταθερή ποσότητα (π.χ.  $y^{k,tol}$ ), αρκεί να ικανοποιούνται οι οριακές τιμές που από μόνες τους θέτουν οι δοκιμές νωπού ΑΣΣ (π.χ.  $y^{k,max} = 1$  για L-box).

$$y_{min}^k \leq y^k \leq y_{max}^k \text{ με } y_{min}^k = y^{k,opt} - y^{k,tol} \ \& \ y_{max}^k = y^{k,opt} + y^{k,tol} \quad (3)$$

Μία σύνθεση ΑΣΣ είναι σθεναρή, εάν για οποιαδήποτε τιμή οιασδήποτε παραμέτρου  $x_i$ , [εντός του πεδίου τιμών της εξ. (2)] οι τιμές των εξαρτημένων μεταβλητών  $y^k$  (δηλ. των επιλεγεισών δοκιμών νωπού ΑΣΣ) βρίσκονται εντός του πεδίου τιμών της εξ. (3). Εάν η εξίσωση (1) ήταν μονοπαραμετρική, τότε η κλίση της  $y^k = f(x_1)$ ,  $x_1 \in \hat{I} [x_{1,min}, x_{1,max}]$ , θα εξέφραζε το μέγεθος της μεταβολής της εξαρτημένης μεταβλητής  $y^k$  συναρτήσει μεταβολών της παραμέτρου  $x_1$ . Είναι πρόδηλο, επομένως, ότι η σθεναρότητα μίας σύνθεσης (ως προς μία συγκεκριμένη παράμετρο  $x_i$ ) αυξάνεται όσο μειώνεται η πρώτη μερική παράγωγος της εξ. (1) ως προς την παράμετρο αυτή [βλ. εξ. (4)]. Βάσει των παραπάνω, ένα μέτρο της σθεναρότητας συνθέσεων ΑΣΣ που αφορά σε συγκεκριμένη ιδιότητα κατά τη νωπή φάση του υλικού [δείκτης εξάρτησης  $R^k$  στην εξ. (5) για την ιδιότητα  $k$ ] δύναται να εκφραστεί ως το άθροισμα των απολύτων τιμών των πρώτων μερικών παραγώγων της εξ. (1). Η ποσοτικοποίηση της καθολικής σθεναρότητας μίας σύνθεσης ΑΣΣ ( $R$ ) μπορεί να προκύψει από ένα γραμμικό συνδυασμό των επί μέρους δεικτών εξάρτησης  $R^k$  ( $m$  το πλήθος, όσες και οι επιλεγείσες δοκιμές νωπού ΑΣΣ). Οι συντελεστές βαρύτητας στην εξ. (6) πρέπει να επιλέγονται βάσει της εκάστοτε εφαρμογής. Για παράδειγμα, εάν πρόκειται για σκυροδέτηση επιπέδων επιφανειών με μικρές απαιτήσεις όπλισης, τότε ο συντελεστής βαρύτητας της δοκιμής L-box μπορεί να λαμβάνει μικρές τιμές. Γενικά, όσο μικρότερη η τιμή του  $R$ , τόσο μεγαλύτερη η σθεναρότητα της σύνθεσης.

$$\frac{\partial y^k}{\partial x_i} = \alpha_i^k + 2\alpha_{ii}^k x_i + \sum_{j=i+1}^n \alpha_{ij}^k x_j \quad (5)$$

$$R^k = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial y^k}{\partial x_i} \right| \quad (6)$$

$$R = \sum_{k=1}^m \lambda^k R^k \quad (7)$$

### 7.3. ΑΣΣ ΜΕ ΜΙΚΡΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΥΛΙΚΑ

Σε μία προσπάθεια να υπερκεραστούν τα προβλήματα που σχετίζονται κυρίως με τη σθεναρότητα των συνθέσεων ΑΣΣ, η χημική βιομηχανία προχώρησε στην ανάπτυξη προϊόντων που επιτρέπουν τη δημιουργία συνθέσεων ΑΣΣ με μικρή περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα υλικά (τσιμέντο και πληρωτικές κονίες), μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο (έως έναν βαθμό) την απαίτηση ενδεδειγμένης επιμελητείας (logistics) των τσιμεντοειδών συστατικών υλικών ενός μίγματος και τις σχετικές με αυτά διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου. Πρόσθετα πλεονεκτήματα αυτού του είδους του ΑΣΣ είναι η μείωση του πρωτογενούς κόστους και της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που συνδέεται με την παραγωγή του (λόγω μείωσης της περιεκτικότητας σε τσιμέντο, ιδιαίτερα όταν η κατηγορία αντοχής ΑΣΣ δεν δικαιολογεί ποσότητα τσιμέντου μεγαλύτερη από 300-350 kg/m<sup>3</sup>).

Η αρχή των ΑΣΣ με μικρή περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα υλικά (<350 kg/m<sup>3</sup>) βασίζεται στην παρατήρηση ότι ΑΣΣ τύπου VMA (δηλ. με ρυθμιστικό ιξώδους και χαμηλή περιεκτικότητα σε κονίες) δίνουν γενικά περισσότερο σταθερές (με την έννοια της σθεναρότητας) συνθέσεις. Η χρήση ενός ρυθμιστικού χημικού παράγοντα για τον έλεγχο του ιξώδους προσδίδει σχετικά υψηλές τιμές ορίου έναρξης ροής, με αντίστοιχα μικρότερη αύξηση του πλαστικού ιξώδους (και οι δύο αυτές ιδιότητες τροποποιούνται περαιτέρω κατάλληλα με τη δράση του νερού ανάμιξης, του υπερρευστοποιητή και - πιθανώς - του αερακτικού).

Ακολούθως δίνονται μερικές επιλεγμένες συνθέσεις ΑΣΣ με μικρή περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα υλικά, οι οποίες έχουν προκύψει από έρευνα της ομάδας του

Εργαστηρίου Μηχανικής και Τεχνολογίας Υλικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών. Σε κάθε περίπτωση, πρέπει να τονιστεί ότι η σταθερότητα μίας σύνθεσης δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τον όποιο χημικό παράγοντα. Η προσθήκη ενός «μαγικού ζωμού» στο ανάμιγμα δεν δύναται να υποκαταστήσει τη δεινότητα του μηχανικού/παραγωγού όσον αφορά την μελέτη σύνθεσης ΑΣΣ και υπό καμία συνθήκη δεν μετατρέπει αυτομάτως ένα συμβατικό σκυρόδεμα σε αυτοσυμπυκνούμενο. Η πορεία προς τη βελτίωση των διαδικασιών ποιοτικού ελέγχου στον τομέα παραγωγής σκυροδέματος, όπως αυτή ανεδείχθη μέσα από τις απαιτήσεις της τεχνολογίας ΑΣΣ, δεν πρέπει να ανακοπεί με το πρόσχημα της χρήσης καινοφανών χημικών παραγόντων.

α/α	T (kg/m <sup>3</sup> )	N (kg/m <sup>3</sup> )	Αδρανή (kg/m <sup>3</sup> )		Πρόσμικτα (kg/m <sup>3</sup> )		S/F (mm) t <sub>1</sub>	V-funnel (sec) t <sub>1</sub>	L-box (-) t <sub>1</sub>	Θλιπτική αντοχή (MPa) t <sub>c</sub>
			0-4 αμμομή	4-10	VMA	SP				
1	350 (CEM I 52.5)	220.0	1240	580	0.5	2.0	870	5.50	0.8	38.3
2	350 (CEM I 42.5)	188.0	1240	580	0.5	2.5	770	5.00	1.0	49.1
3	350 (CEM II 42.5)	212.5	1240	580	0.5	1.5	805	7.00	1.0	36.5
4	350 (CEM II 32.5)	212.5	1240	580	0.5	2.0	785	11.0	1.0	31.4

**Πίνακας 6.** Συνθέσεις ΑΣΣ με μικρή περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα υλικά.

#### 7.4. ΕΙΔΙΚΑ ΑΣΣ

Έντονη είναι τα τελευταία έτη η έρευνα σχετικά με ειδικά αυτοσυμπυκνούμενα σκυροδέματα, όπως ινοπλισμένα, ελαφροβαρή, ινοπλισμένα και ελαφροβαρή και ΑΣΣ με ανακυκλωμένα αδρανή. Σε μία προσπάθεια να επιστρέψει η κίσηρη στον τομέα της εντόπιας παραγωγής σκυροδέματος, σε εξέλιξη βρίσκεται εκτενές πειραματικό πρόγραμμα στο Εργαστήριο Μηχανικής και Τεχνολογίας Υλικών του Πανεπιστημίου Πατρών σχετικά με τη μελέτη σύνθεσης και τις μηχανικές ιδιότητες αυτοσυμπυκνούμενου κίσηροδέματος (all rumice aggregate self compacting concrete). Εξαιτίας της χαμηλής του πυκνότητας (πυκνότητα νωπού υλικού < 1600 kg/m<sup>3</sup>) διαφαίνεται ότι τα πλέον κοινώς αποδεκτά επιθυμητά όρια των νωπών ιδιοτήτων του ΑΣ κίσηροδέματος πρέπει να τροποποιηθούν μερικώς. Ο ακόλουθος Πίνακας δίνει την αναλογία σύνθεσης ενός ενδεικτικού μίγματος που προέκυψε από την έως τώρα έρευνα (οι υψηλές τιμές περιεκτικότητας σε νερό ανάμιξης οφείλονται στην υψηλή απορροφητικότητα των αδρανών κίσηρης ~ 25%).

α/α	T (kg/m <sup>3</sup> )	N (kg/m <sup>3</sup> )	Αδρανή (kg/m <sup>3</sup> )			Πρόσμικτα (kg/m <sup>3</sup> )			S/F (mm)	V-funnel (sec)	L-box (-)
			0-4 (Λ)	4-8	8-16	VMA	SP	Stab.	t <sub>0</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>0</sub>
1	400 (CEM II 32.5)	386	400	237	237	0	5	1.5	730	7.0	0.75

**Πίνακας 7.** Σύνθεση αυτοσυμπυκνούμενου κισσηροδέματος.

### 7.5.1. ΕΡΓΟΝΟΜΙΚΟ ΥΠΕΡΡΕΥΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ (SMART DYNAMIC CONSTRUCTION™)

Η μείωση της περιεκτικότητας των λεπτοκόκκων καθώς και η μείωση της περιεκτικότητας του τσιμέντου θα συνέβαλλαν στην μείωση του κόστους ανά παραγόμενο κυβικό μέτρο σκυροδέματος, με στόχο να διατηρηθούν βέβαια αναλλοίωτες οι ιδιότητες της αυτοσυμπύκνωσης. Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκε ένα πρόγραμμα για την σχεδίαση και παραγωγή Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος με περιεκτικότητα συνολικών λεπτοκόκκων (τσιμέντο + λεπτόκοκκα) όχι μεγαλύτερη των 380 kg/m<sup>3</sup> και με πιθανή μείωση στα 350 kg/m<sup>3</sup> από 450-600 kg/m<sup>3</sup> έτσι ώστε να μπορεί χρησιμοποιηθεί από όλα τα παρασκευαστήρια σκυροδέματος και για κατηγορίες αντοχής σκυροδέματος, στο επίπεδο των 25-30 MPa και για κατηγορίες καθίσεων S4-S5 με χαρακτηριστικά αυτοσυμπύκνωσης. Η ανάγκη για χρησιμοποίηση επιπλέον λεπτοκόκκων (Fillers 100-150 kg/m<sup>3</sup>) εξαλείφεται ή και μειώνεται και κατά συνέπεια το κόστος κυβικού σκυροδέματος. Ένας ισχυρός και πολύ αποτελεσματικός ρυθμιστής ιξώδους νέας τεχνολογίας (Viscosity Modifying Agents - VMA) καλείται να διατηρήσει την ομοιογένεια του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος, να καταστήσει το μίγμα λιγότερο ευαίσθητο σε αλλαγές στην ζήτηση νερού (robustness) χωρίς όμως 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.

Για την επίτευξη των παραπάνω θεωρήθηκε σημαντικό να κλειδωθούν ορισμένες παράμετροι σχεδίασης του μίγματος. Έτσι η συνολική περιεκτικότητα λεπτοκόκκων στο μίγμα δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα 380 kg/m<sup>3</sup>. Η εξάπλωση του νωπού σκυροδέματος να βρίσκεται στο φάσμα των 60~70 εκατοστών, με χρόνο t<sub>50</sub> όχι μεγαλύτερο από 12 δευτερόλεπτα, και χωρίς κανένα ίχνος εμφάνισης εξίδρωσης. Ο χρόνος διατήρησης των χαρακτηριστικών αυτοσυμπύκνωσης ορίστηκε στα 90~120 λεπτά, χρόνος που θεωρείται ικανός για την μεταφορά και ολοκλήρωση διάστρωσης του κάθε αναμίγματος. 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 στις διακυμάνσεις της ποσότητας του περιεχόμενου στο μίγμα νερού ( $\pm 10 \text{ lt/m}^3$ , Robustness).

Η BASF Construction Chemicals, παρουσίασε την τεχνολογική καινοτομία Smart Dynamic Construction™, η οποία ανοίγει νέους δρόμους στη βιομηχανία παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος, για μη ενεργοβόρα -«οικολογικά» σκυροδέματα, με υψηλή ανθεκτικότητα, που προσφέρουν συντόμευση της παραγωγικής διαδικασίας, έχοντας σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος αλλά ταυτόχρονα την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Η καινοτομία αυτή επιτρέπει την αναβάθμιση των σκυροδεμάτων με κάθιση S4 και S5 σε σκυροδέματα υψηλής απόδοσης, με χαρακτηριστικά αυτοσυμπύκνωσης, ενώ ταυτόχρονα η διαδικασία παραγωγής τους παραμένει ίδια με ένα κοινό τύπο σκυροδέματος. Στη πραγματικότητα, ανοίγει το δρόμο για τη παραγωγή μιας νέας γενιάς σκυροδεμάτων, τα οποία είναι εύκολα στη παραγωγή, με υψηλά τεχνικά χαρακτηριστικά και συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα ενός σκυροδέματος που δονείται με το παραδοσιακό τρόπο και του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

Η ιδέα του Smart Dynamic Construction™, συνίσταται σε ένα ανάμιγμα με λιγότερα από 380 Kg λεπτόκοκκων ανά m<sup>3</sup> σκυροδέματος, έναν υπερρευστοποιητή GLENIUM®, ειδικά σχεδιασμένο για τις ανάγκες του μίγματος και το νέο πρωτοποριακό πρόσμικτο RheoMATRIX®, ένα ρυθμιστή ιξώδους νέας τεχνολογίας, αποκλειστικό προϊόν της BASF, που αποτελεί το «κλειδί» για τη πρωτοποριακή αυτή ιδέα. Μέσω των μορίων του τα οποία έχουν την ικανότητα να αυτοοργανώνονται, το RheoMATRIX® 100 «διορθώνει» το ιξώδες του σκυροδέματος, με τρόπο τέτοιο ώστε να επιτρέπει να συνυπάρχουν αντικρουόμενα χαρακτηριστικά όπως υψηλή ρευστότητα, μεγάλη ταχύτητα ροής και αντίσταση σε διαχωρισμό.

## 7.5.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Ελλάδα – Βιομηχανία Προκατασκευής

C25/30 - Η μελέτη σύνθεσης	
Γαρμπίλι (4-16mm)	375 kg
Ριζάκι (4-8mm)	275 kg
Θραυστή άμμος (0-4mm)	1200 kg
Τσιμέντο (CEM I 42,5N)	360 kg
Νερό	210kg
GLENIUM®	(1,0 % κ.β.τσιμ.)
RheoMATRIX®	(0,7% κ.β.τσιμ.)
N/T	0,6
Εξάπλωση	68 cm
V Funell	11 sec
L Box	0,92
Αντοχές σε θλίψη 7 ημερών	34,5 Mpa

Τρεβίζο – Ιταλία : Βιομηχανία Έτοιμου σκυροδέματος

C20/25 - Η μελέτη σύνθεσης	
Γαρμπίλι (4-16mm)	430 kg
Ριζάκι (4-8mm)	371 kg
Θραυστή άμμος (0-4mm)	658 kg
Φυσική άμμος (0-4mm)	371 kg
Τσιμέντο (CEM I 42,5N)	330 kg
Νερό	190 kg
GLENIUM®	(1,2 % κ.β.τσιμ.)
RheoMATRIX®	(0,2% κ.β.τσιμ.)
N/T	0,58
Εξάπλωση t=0	71 cm
Εξάπλωση t=1h45min	60 cm

Βισσέντσα – Ιταλία : Βιομηχανία Προκατασκευής

C30/37 - Η μελέτη σύνθεσης	
Γαρμπίλι (4-16mm)	710 kg
Φυσική άμμος (0-4mm)	1064 kg
Τσιμέντο (CEM I 42,5N)	380 kg
Νερό	188 kg
GLENIUM®	(1,2 % κ.β.τσιμ.)
RheoMATRIX®	(0,2% κ.β.τσιμ.)
N/T	0,58
Εξάπλωση	66 cm
V Funell	3 sec

Η καινοτομία του συστήματος Smart Dynamic Construction™, προσφέρει μια «έξυπνη» τεχνολογία που απλοποιεί τη παραγωγή και τον έλεγχο ενός δυναμικού σκυροδέματος, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στα οικονομικά, εργονομικά αλλά και στα οικολογικά χαρακτηριστικά του. Η τεχνολογία αυτή, υπερτονίζει τη δέσμευση της βιομηχανίας των Χημικών Κατασκευής για λύσεις «ραμμένες στα μέτρα» της βιομηχανίας σκυροδέματος, δίνοντας της τη δυνατότητα για το άλμα προς το μέλλον. Σε συνδυασμό με την άριστη τεχνική υποστήριξη σε τοπικό επίπεδο αλλά και με τη σιγουριά που δίνει το όνομα του παγκόσμιου ηγέτη στη βιομηχανία χημικών, το σύστημα αυτό δίνει την ώθηση στη βιομηχανία κατασκευής για να εισέλθει σε μια νέα εποχή.

Η πρωτοποριακή αυτή ιδέα, έρχεται να ικανοποιήσει τις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες για υπέρρευστα σκυροδέματα στις κατασκευές, προσφέροντας στη κατασκευαστική βιομηχανία:

#### Οικονομία

Η μείωση από τη μια πλευρά της ανάγκης προσθήκης λεπτόκοκκων (φίλλερ ή/και τσιμέντο) που κοστίζουν και από την άλλη, η παραγωγή ενός υπέρρευστου σκυροδέματος, με χαρακτηριστικά αυτοεπιπέδωσης, επιτρέπει τη διάστρωση σε 40% λιγότερο χρόνο, από λιγότερα άτομα, αυξάνοντας έτσι κατά πολύ τη παραγωγικότητα. Επίσης η παραγωγή του είναι τόσο εύκολη όσο ενός κοινού σκυροδέματος, καθώς τα μίγματα αυτά είναι λιγότερο ευαίσθητα σε αλλαγές στη ζήτηση νερού (*"robustness"*).

#### Σεβασμός στο περιβάλλον

Η χαμηλή περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα (π.χ. τσιμέντο), η παραγωγή των οποίων προκαλεί έκλυση CO<sub>2</sub>, βελτιώνει σημαντικά την οικολογική συμπεριφορά του σκυροδέματος, ενώ η πλήρης επικάλυψη των ράβδων οπλισμού που επιτυγχάνεται, προσδίδει βέλτιστη προστασία στο χάλυβα έναντι διάβρωσης, αυξάνοντας έτσι την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος και συμπερασματικά το προσδόκιμο ζωής των κατασκευών όπου χρησιμοποιείται.

#### Εργονομία

Λόγω των χαρακτηριστικών αυτοσυμπύκνωσης, εξαλείφεται η ανάγκη χρήσης δόνησης και άρα δεν υπάρχει ανεπιθύμητος θόρυβος και κίνδυνοι από τις δονήσεις, για την υγεία του εργατοτεχνικού προσωπικού. Επίσης, η νέα φιλοσοφία των συνθέσεων σκυροδέματος, εγγυάται ένα τύπο σκυροδέματος με χαμηλό κολλώδες, βελτιώνοντας έτσι την εργασιμότητά του. Η καινοτομία του συστήματος Smart

Dynamic Construction™, προσφέρει μια «έξυπνη» τεχνολογία που απλοποιεί τη παραγωγή και τον έλεγχο ενός δυναμικού σκυροδέματος, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στα οικονομικά, εργονομικά αλλά και στα οικολογικά χαρακτηριστικά του. Η τεχνολογία αυτή, υπερτονίζει τη δέσμευση της βιομηχανίας των Χημικών Κατασκευής για λύσεις «ραμμένες στα μέτρα» της βιομηχανίας σκυροδέματος, δίνοντας της τη δυνατότητα για το άλμα προς το μέλλον. Σε συνδυασμό με την άριστη τεχνική υποστήριξη σε τοπικό επίπεδο αλλά και με τη σιγουριά που δίνει το όνομα του παγκόσμιου ηγέτη στη βιομηχανία χημικών, το σύστημα αυτό δίνει την ώθηση στη βιομηχανία κατασκευής για να εισέλθει σε μια νέα εποχή.



Εικόνα 7.1: με χρήση RheoMATRIX®  
«...Η διαφορά στην εξάπλωση των δύο σκυροδεμάτων (με και χωρίς RheoMATRIX®) είναι εμφανής...»



Εικόνα 7.2: χωρίς  
«...Η διαφορά στην εξάπλωση των δύο σκυροδεμάτων (με και χωρίς RheoMATRIX®) είναι εμφανής...»



Εικόνα 7.3



Εικόνα 7.4

«...Η ομάδα σκυροδέτησης χωρίς RheoMATRIX® αποτελείται από 3 άτομα και δεν έχει τελειώσει ακόμα τη διάστρωση τη στιγμή που ομάδα του RheoMATRIX® που αποτελείται από 1 άτομο, έχει τελειώσει και ψεκάζει την αντιεξατμιστική μεμβράνη...»

## 8. ΜΕΘΟΔΟΣ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ (MATURITY METHOD)

Η μέθοδος της ωριμότητας είναι μία μη καταστροφική μέθοδος, η οποία χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί η επιτόπου αντοχή του σκυροδέματος σε μία κατασκευή, λαμβάνοντας υπ'όψιν τις επιδράσεις της θερμοκρασίας και του χρόνου στην ανάπτυξη της αντοχής του. Ως εκ τούτου, ο μηχανικός θα πρέπει να επιλέγει και άλλες μεθόδους ελέγχου της αντοχής, έτσι ώστε να δύναται να ελέγχει τα αποτελέσματα της μεθόδου της ωριμότητας.

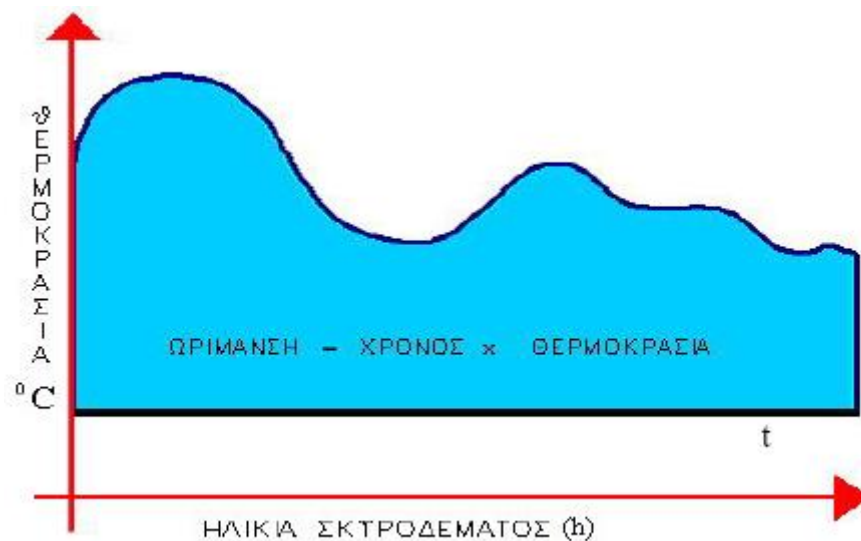
Η μέθοδος βασίζεται στο γεγονός ότι ο βαθμός ενυδάτωσης ενός μίγματος σκυροδέματος, και επομένως η αντοχή του σε οποιαδήποτε ηλικία, εξαρτώνται άμεσα από το θερμοκρασιακό ιστορικό του. Αρχικά, καταγράφεται το θερμοκρασιακό ιστορικό του σκυροδέματος υπό μελέτη (δηλ. τιμές της θερμοκρασίας που αναπτύσσει εσωτερικά ένα στοιχείο σκυροδέματος σε συνάρτηση με το χρόνο), με την βοήθεια ειδικών συσκευών. Στη συνέχεια, με την χρήση συγκεκριμένων μαθηματικών σχέσεων, ποσοτικοποιείται η συνδυαστική επίδραση του χρόνου και της θερμοκρασίας στην αντοχή του σκυροδέματος, με τη μορφή ενός δείκτη, του δείκτη 'ωριμότητας'. Εντέλει, η εκτίμηση της αντοχής του εκάστοτε μίγματος σκυροδέματος σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή επιτυγχάνεται γραφικά μέσα από μια καμπύλη συσχέτισης (η οποία έχει προκύψει εργαστηριακά), η οποία συσχετίζει την θλιπτική αντοχή με τον δείκτη ωριμότητας του μίγματος που μας ενδιαφέρει.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι ο υπολογισμός του δείκτη ωριμότητας μέσα από τις μαθηματικές σχέσεις μπορεί να παραληφθεί, αν υπάρχει στη διάθεση του μηχανικού μία συσκευή που υπολογίζει απευθείας το δείκτη αυτό και ονομάζεται μετρητής της ωριμότητας (maturity meter). Η διάθεση τέτοιων συσκευών, στο εμπόριο, έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια.

Η μέθοδος της ωριμότητας περιλαμβάνει τον υπολογισμό τριών παραμέτρων που θεωρούνται κλειδιά: τον χρόνο (με σημείο εκκίνησης της μέτρησής του την έναρξη της σκλήρυνσης), τη θερμοκρασία του σκυροδέματος και τη θλιπτική του αντοχή.

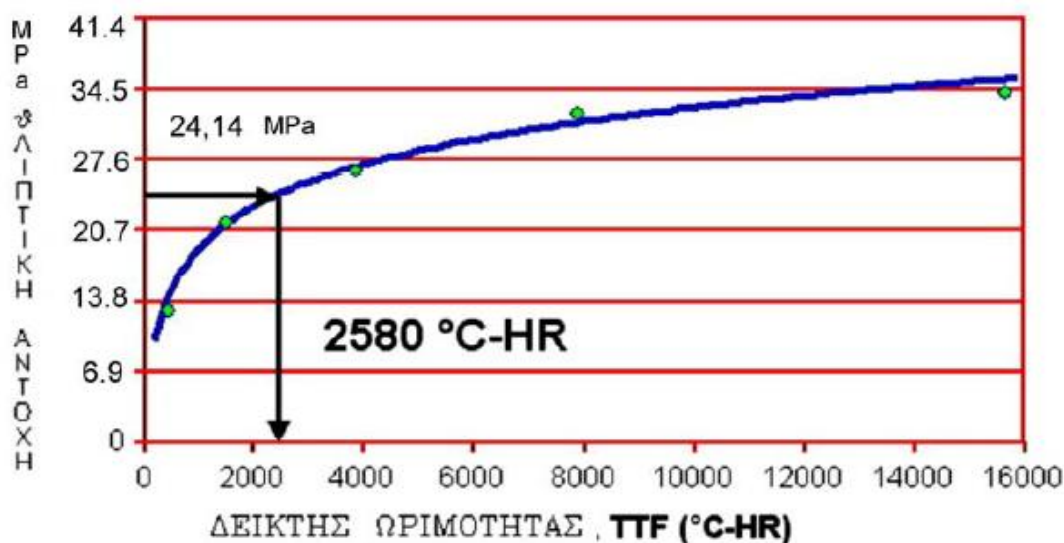
Παράδειγμα : Ας υποθέσουμε ότι σκυροδετείται ένα δοκίμιο σκυροδέματος από το εσωτερικό του οποίου λαμβάνονται οι τιμές της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας για κάθε μία ώρα μετά τη σκυροδέτησή του, με τη χρήση ενός θερμοκρασιακού μετρητή. Μετά από χρόνο  $t$ , το ιστορικό χρόνου-θερμοκρασίας του σκυροδέματος θα δύναται να παρουσιαστεί σε μορφή διαγράμματος, βάσει των ζευγών τιμών χρόνου-

θερμοκρασίας. Ο πρώτος προταθείς τρόπος εκτίμησης της ωριμότητας ενός μίγματος σκυροδέματος στη χρονική στιγμή  $t$  μετά την έναρξη της σκλήρυνσης θέτει το δείκτη ωριμότητας (ή συντελεστή θερμοκρασίας-χρόνου) ίσο με το ολοκλήρωμα της συνάρτησης της αναπτυχθείσας θερμοκρασίας του σκυροδέματος (ως προς το χρόνο), από την έναρξη της σκλήρυνσης του μίγματος, έως τη χρονική στιγμή  $t$ . Έτσι, στο Σχήμα 14 ο δείκτης ωριμότητας είναι ίσος με το εμβαδό που περικλείεται μεταξύ της καμπύλης θερμοκρασίας-χρόνου και ενός οριζόντιου άξονα ο οποίος αντιστοιχεί σε μία θερμοκρασία αναφοράς (όπως θα εξηγηθεί στη συνέχεια του Κεφαλαίου).



Σχήμα 14.1. Ο δείκτης ωριμότητας ως ποσοτικοποίηση της ωριμότητας του σκυροδέματος.

Εάν τη χρονική στιγμή  $t$  πραγματοποιηθεί δοκιμή θλίψης επί δοκιμίων από το συγκεκριμένο μίγμα σκυροδέματος, τότε η υπολογισθείσα τιμή του δείκτη ωριμότητας (για τη χρονική στιγμή  $t$ ) δύναται να συσχετιστεί άμεσα με τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε αυτή την ηλικία. Η παραπάνω διαδικασία (η οποία θα αναλυθεί ενδελεχώς στη συνέχεια του Κεφαλαίου) ακολουθείται για να καλύψει όλο το χρονικό διάστημα κατά το οποίο η εκτίμηση της επιτόπου αντοχής του σκυροδέματος μίας κατασκευής είναι το ζητούμενο. Είναι φανερό, ότι η καμπύλη συσχέτισης μεταξύ του θερμοκρασιακού ιστορικού (ωρίμανση) και της αντοχής για δεδομένη σύνθεση σκυροδέματος (βλ. Σχ. 14.2) πρέπει να είναι εκ των προτέρων γνωστή, μέσω εργαστηριακών δοκιμών.

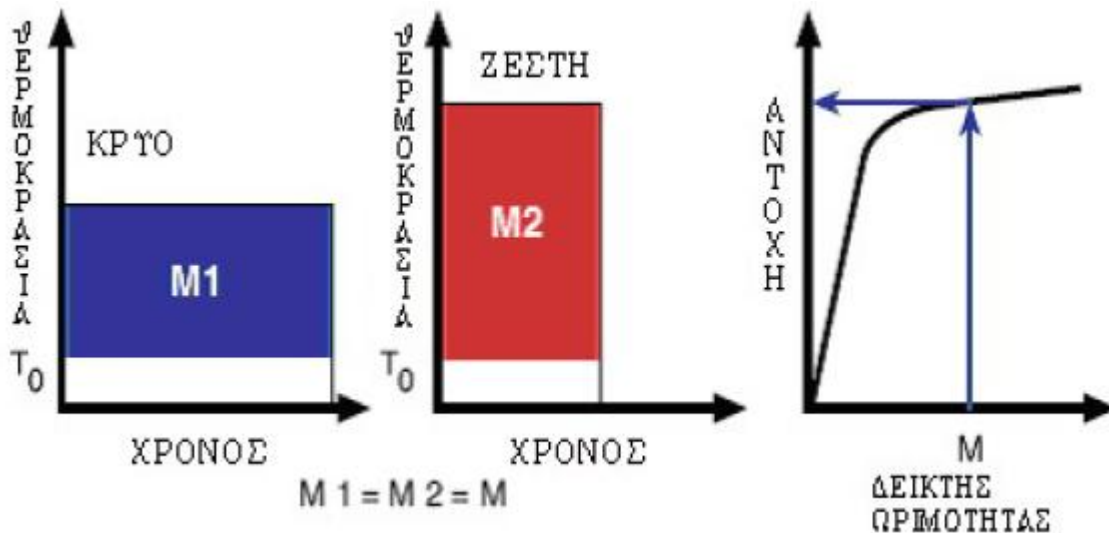


Σχήμα 14.2. Καμπύλη Συσχέτισης δείκτη ωριμότητας – θλιπτικής αντοχής.

Βασική αρχή της μεθόδου της ωριμότητας είναι ότι δοκίμια σκυροδέματος της αυτής σύνθεσης και ωριμότητας θα έχουν (περίπου) την ίδια θλιπτική αντοχή, ανεξαρτήτως των επί μέρους θερμό/χρονοιστοριών που έχουν προηγηθεί για τα δοκίμια (και καταλήξει να δώσουν τη συγκεκριμένη τιμή ωριμότητας). Ας θεωρήσουμε το παρακάτω παράδειγμα: Δύο κυλινδρικά δοκίμια σκυροδέματος συγκεκριμένης σύνθεσης παράγονται ταυτόχρονα και συντηρούνται σε σταθερή θερμοκρασία. Το πρώτο δοκίμιο συντηρείται για 6 d σε θερμοκρασία  $4,5^{\circ}\text{C}$  (η οποία υπερβαίνει τη θερμοκρασία παύσης των αντιδράσεων ενυδάτωσης την οποία θα θεωρήσουμε ότι είναι  $-10^{\circ}\text{C}$  άρα  $4,5 + (-10) = -5,5^{\circ}\text{C}$ ). Το δεύτερο συντηρείται για 3 d στους  $26,60$  πάνω από την θερμοκρασία που σταματάει η ενυδάτωση του σκυροδέματος, άρα  $26,6 + (-10) = 16,6^{\circ}\text{C}$ . Παρότι υπάρχει μια διαφορά 3 ημερών στην πραγματική ηλικία των δύο δοκιμίων από την στιγμή που διαστρωθούν και διαφορά στις θερμοκρασίες συντήρησής τους, έχουν τελικά την ίδια ισοδύναμη ηλικία, την ίδια τιμή ωριμότητας.

Πειράματα έχουν δείξει ότι για ένα συγκεκριμένο μείγμα σκυροδέματος η ίδια τιμή ωριμότητας ισοδυναμεί σχεδόν στην ίδια τιμή αντοχής ανεξάρτητα από τον συνδυασμό θερμοκρασίας και χρόνου που δώσανε την συγκεκριμένη τιμή ωριμότητας (Σχ. 14.3), γνωστός και σαν νόμος της ωριμότητας (Kehli R.J. et al., 1998). Άρα για τα δύο παραπάνω κυλινδρικά δοκίμια (υποθέτοντας ότι έχουν φτιαχτεί

από τη ίδια ποσότητα σκυροδέματος) αν και το ένα έχει ηλικία 3 ημερών και το άλλο 6 θα έχουν την ίδια τιμή αντοχής. Τέλος, κατασκευάζεται η καμπύλη συσχετισμού η οποία μας δείχνει την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος για κάθε τιμή του δείκτη ωριμότητας (ή ισοδύναμης ηλικίας).



Σχήμα 14.3. Η τιμή του δείκτη ωριμότητας ανεξάρτητη των συνδυασμών των τιμών θερμοκρασίας και χρόνου (Kehl R.J. et al., 1998).

### 8.1. ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ (ΒΑΣΕΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗΣ ASTM C 1074 )

Η εφαρμογή της μεθόδου της ωριμότητας απαιτεί τα παρακάτω βήματα (Σχ. 15) :

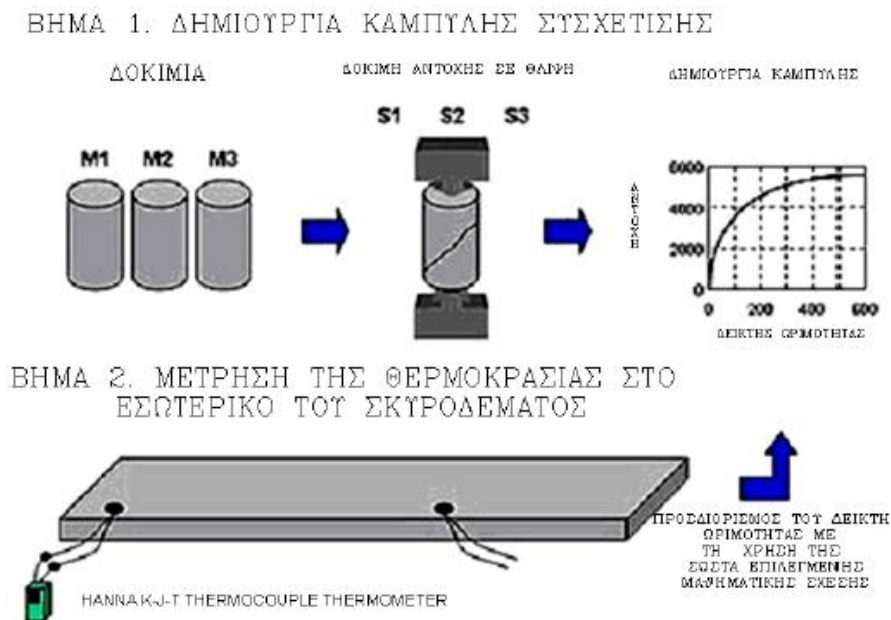
A) Επιλογή της μαθηματικής σχέσης ωριμότητας και προσεκτικό προσδιορισμό των μεταβλητών αυτής, οι οποίες χαρακτηρίζουν τη χημική σύσταση του συγκεκριμένου μίγματος από σκυρόδεμα που θα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή και περιγράφουν τις συνθήκες συντήρησης αυτού.

B) Αμέσως μετά τη λήψη των εργαστηριακών αποτελεσμάτων από τις δοκιμές θλιπτικής αντοχής και της καταγραφής του θερμό/χρονοϊστορικού, απαιτείται σχεδιασμός της καμπύλης συσχετισμού μεταξύ αντοχής και δείκτη ωριμότητας και



Γ) Επί τόπου μέτρηση του δείκτη ωριμότητας (ή του θερμοκρασιακού ιστορικού και υπολογισμός του δείκτη ωριμότητας) και τέλος, γραφική εκτίμηση, από την καμπύλη συσχέτισης (B), της αντοχής του διαστρωμένου σκυροδέματος.

Η Προδιαγραφή ASTM C 1074 επιτρέπει τον υπολογισμό του δείκτη ωριμότητας από τις δύο εξισώσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω. Για την εξίσωση Nurse Saul (Σχέση 1.1) προτείνεται, για τσιμέντο τύπου Ι χωρίς πρόσμικτα, σαν θερμοκρασίας αναφοράς  $T_0$  οι  $0^\circ\text{C}$  και η αναμενόμενη θερμοκρασία συντήρησης κυμαίνεται από  $0^\circ\text{C}$  έως  $40^\circ\text{C}$ . Για την εξίσωση Freiesleben Hansen and Pedersen (Σχέση 1.2), απαιτείται ως ενέργεια ενεργοποίησης  $Q$  να θεωρείται η τιμή 5000 K. Για άλλες συνθήκες ή για μέγιστη δυνατή ακρίβεια αποτελεσμάτων, ο ακριβής προσδιορισμός των τιμών  $Q$  και  $T_0$  πρέπει να γίνεται πειραματικά.



Σχήμα 15. Τα βήματα της διαδικασίας για τη δημιουργία της τελικής καμπύλης συσχέτισης του δείκτη ωριμότητας - αντοχής (ACPA's publications 2005).

Αυτή η διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της 'επί τόπου' αντοχής του σκυροδέματος σε μια κατασκευή, επιτρέποντας στον μηχανικό να γνωρίζει πότε είναι η κατάλληλη στιγμή για την έναρξη κάποιων κρίσιμων κατασκευαστικών δραστηριοτήτων, όπως η αφαίρεση των ξυλοτύπων. Είναι μια ακριβής και αξιόπιστη μέθοδος για επί τόπου υπολογισμό της αντοχής του σκυροδέματος, σε πραγματικό χρόνο, δίχως την απαίτηση θραύσης δοκιμίων. Ως εκ

τούτου θεωρείται ως μία μέθοδος εξοικονόμησης χρημάτων αλλά και πολύτιμου χρόνου.

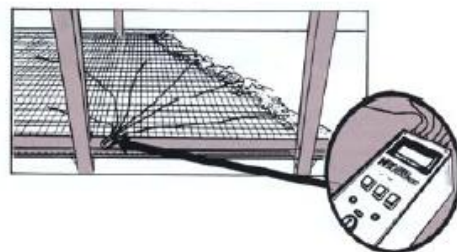
## 8.2. ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ (maturity meters)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για τον υπολογισμό του δείκτη της ωριμότητας είναι απαραίτητη η χρήση των σχέσεων Nurse-Saul (1.1) ή Freiesleben Hansen and Pedersen (1.2). Για την εξαγωγή σωστών αποτελεσμάτων, συνιστάται ιδιαίτερη προσοχή στη συλλογή των δεδομένων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στις σχέσεις αυτές. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, απαιτείται η χρήση ειδικών συσκευών οι οποίες εγγυώνται τη συλλογή των απαραίτητων χαρακτηριστικών του εκάστοτε σκυροδέματος, μίας υπό εξέταση κατασκευής. Συσκευές οι οποίες διαθέτουν θερμοκρασιακούς αισθητήρες για την καταγραφή του θερμό/χρονοϊστορικού του σκυροδέματος (Εικ. 8.1). Τη δυνατότητα αυτή δίνουν νέες συσκευές (μετρητές ωριμότητας), οι οποίες πέραν αυτού, έχουν τη σημαντική λειτουργία υπολογισμού του δείκτη ωριμότητας άμεσα, διευκολύνοντας τον χρήστη (Εικ. 8.2).

Ο μετρητής ωριμότητας συνδυάζει προβλέψεις του θερμό/χρονοϊστορικού, του δείκτη ωριμότητας μέσα σε μία μόνο συσκευή η οποία είναι συμβατή με υπολογιστή. Η συσκευή αυτή περιλαμβάνει μία μπαταρία, ρολόι, αισθητήρα θερμοκρασίας και μνήμη. Είναι μία ανεξάρτητη και φορητή συσκευή οι αισθητήρες της οποίας τοποθετούνται αμέσως στο σκυρόδεμα. Δεν χρειάζεται κάποια άλλη εξωτερική συσκευή αποθήκευσης δεδομένων μιας και η ίδια προσφέρει επαρκή μνήμη και προστασία των δεδομένων από κλοπή ή καταστροφή λόγω καιρικών συνθηκών ή των συνθηκών του εργοταξίου. Αποθηκεύει τις τιμές της θερμοκρασίας στη μνήμη και έχει τη δυνατότητα να εμφανίζει στην οθόνη του τις τιμές του δείκτη ωριμότητας και των θερμοκρασιών ταυτόχρονα (Carino and Lew, 2001).



Εικόνα 8.1



Εικόνα 8.2

Αν και η χρήση της μεθόδου της ωριμότητας έχει προταθεί από τις αρχές του 1950, τα τελευταία 40 χρόνια η χρήση της ήταν περιορισμένη. Μεγάλο ενδιαφέρον για τη μέθοδο άρχισε να παρουσιάζεται στα μέσα του 1980, καθώς πολλοί άρχισαν να αναζητούν νέες μεθόδους για την επίσπευση της κατασκευής οδοστρωμάτων (Εικόνα 8.3), όπως και τη γρήγορη και αποτελεσματική επίβλεψη ενός έργου. Τα τελευταία 5 χρόνια, η χρήση της μεθόδου έχει αυξηθεί δραματικά καθώς ο εξοπλισμός και η τεχνολογία που προβλέπεται για την μέθοδο έχει αναβαθμιστεί (Dr.Tikalsky P et al., 2003).



Εικόνα 8.3



Εικόνα 8.4

Αποδεκτοί μετρητές ωριμότητας του εμπορίου θεωρούνται όλοι όσοι είναι σύμφωνοι με την Προδιαγραφή ASTM C 1074, είναι φορητοί και έχουν τη δυνατότητα να υπολογίζουν την ισοδύναμη ηλικία για διάφορες τιμές της ενέργειας ενεργοποίησης Q. Για παράδειγμα, ικανοποιητικός θεωρείται ο μετρητής Humboldt 4101 4-channel ο οποίος χρησιμοποιεί θερμοηλεκτρικά καλώδια τύπου T, με αποδεκτή διάμετρο καλωδίου τα 24 mm (Εικ.8.4).

### 8.3. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ (Thermocouple Thermometers)

Οι φορητές συσκευές αυτού του τύπου έχουν τη δυνατότητα να καταγράφουν το θερμό/χρονοϊστορικό του υπό εξέταση σκυροδέματος. Διαθέτουν θερμοκρασιακούς αισθητήρες (θερμοηλεκτρικά στοιχεία), μία μπαταρία, και ενσωματωμένο εκτυπωτή ώστε να εκτυπώνει άμεσα τις τιμές που καταγράφει. Επίσης, μπορούν να αποθηκεύουν, με ασφάλεια, ένα συγκεκριμένο όγκο δεδομένων και είναι συμβατές με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Λόγω αυτής της συμβατότητας, μπορούν να μεταφέρονται τα δεδομένα τους σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και με τη χρήση ειδικών

προγραμμάτων να επεξεργάζονται. Τέλος, διαθέτουν φωτιζόμενη οθόνη για εύκολη ανάγνωση ακόμα και σε σκοτεινές συνθήκες περιβάλλοντος.

Η βασική διαφορά τους σε σχέση με τους μετρητές ωριμότητας, είναι πως οι θερμοκρασιακοί μετρητές δεν υπολογίζουν τιμές του παράγοντα της ισοδύναμης ηλικίας. Απλά καταγράφουν, αποθηκεύουν και εκτυπώνουν τις τιμές των θερμοκρασιών του εξεταζόμενου σκυροδέματος. Τελικά, όπως έχει αναφερθεί στα Κεφάλαια 8.1, 8.2, 8.3, ο υπολογισμός του δείκτη ωριμότητας θα πραγματοποιηθεί 'στο χέρι' σύμφωνα με την Προδιαγραφή ASTM C 1074, με την βοήθεια των δεδομένων που θα δοθούν από το θερμοκρασιακό μετρητή.

Ο θερμοκρασιακός μετρητής HI 98804 (Portable Microprocessor Printing and Logging K-J-T Thermocouple Thermometers) της εταιρίας HANNA INSTRUMENTS είναι ένας ικανοποιητικός μετρητής του εμπορίου, συμβατός με υπολογιστή (Εικ. 8.5). Θερμοηλεκτρικά καλώδια τύπου K, J, T μπορούν να συνδεθούν με τον μετρητή αυτό, ανάλογα με το θερμοκρασιακό εύρος της εφαρμογής.



Εικόνα 8.5

#### **8.4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ**

(1) Μετά τη διάστρωση του σκυροδέματος τοποθετούνται αμέσως οι θερμοκρασιακοί αισθητήρες στο φρέσκο σκυρόδεμα. Η τοποθέτηση των αισθητήρων στην κατασκευή γίνεται σε σημεία που θεωρούνται κρίσιμα, λαμβάνοντας ως κριτήρια την έκθεσή τους στις συνθήκες περιβάλλοντος, καθώς και τις κατασκευαστικές απαιτήσεις. Για παράδειγμα, σε κτιριακές κατασκευές κρίσιμα σημεία θεωρούνται οι κόμβοι δοκών – υποστυλωμάτων όπως και τα εκτεθειμένα τμήματα πλακών.

(2) Συνδέονται οι αισθητήρες με τον μετρητή ωριμότητας ή τον θερμοκρασιακό μετρητή, ο οποίος ενεργοποιείται όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Αμέσως μετά,

εισάγονται στον μετρητή οι ίδιες τιμές της θερμοκρασίας αναφοράς ή της ενέργειας ενεργοποίησης  $Q$  (σχ.16), που χρησιμοποιήθηκαν στον 'εργαστηριακό' υπολογισμό του δείκτη ωριμότητας για την σχεδίαση της καμπύλης συσχέτισης.

(3) Όταν εκτιμάται η αντοχή του τμήματος ενός στοιχείου, όπου έχουν τοποθετηθεί οι αισθητήρες, διαβάζεται η ένδειξη του δείκτη ωριμότητας από τον μετρητή ή τη τιμή της θερμοκρασίας από τον θερμοκρασιακό μετρητή. Αυτή η τιμή καταγράφεται και χρησιμοποιείται, ανάλογα, στις σχέσεις 1.1 ή 1.2.

(4) Χρησιμοποιώντας την καμπύλη συσχέτισης, που έχει σχεδιαστεί, και για την υπολογισμένη τιμή του δείκτη ωριμότητας εκτιμούμε γραφικά, από την καμπύλη αυτή, τη θλιπτική αντοχή του στοιχείου.

(5) Πριν την εκτέλεση οποιασδήποτε κρίσιμης κατασκευαστικής ενέργειας, όπως η αφαίρεση των ξυλοτύπων, πρέπει να επιβεβαιωθεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων της μεθόδου της ωριμότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με την εκτέλεση κάποιων προαιρετικών πρακτικών εκτίμησης της θλιπτικής αντοχής. Παρακάτω δίνονται κάποιες τεχνικές:

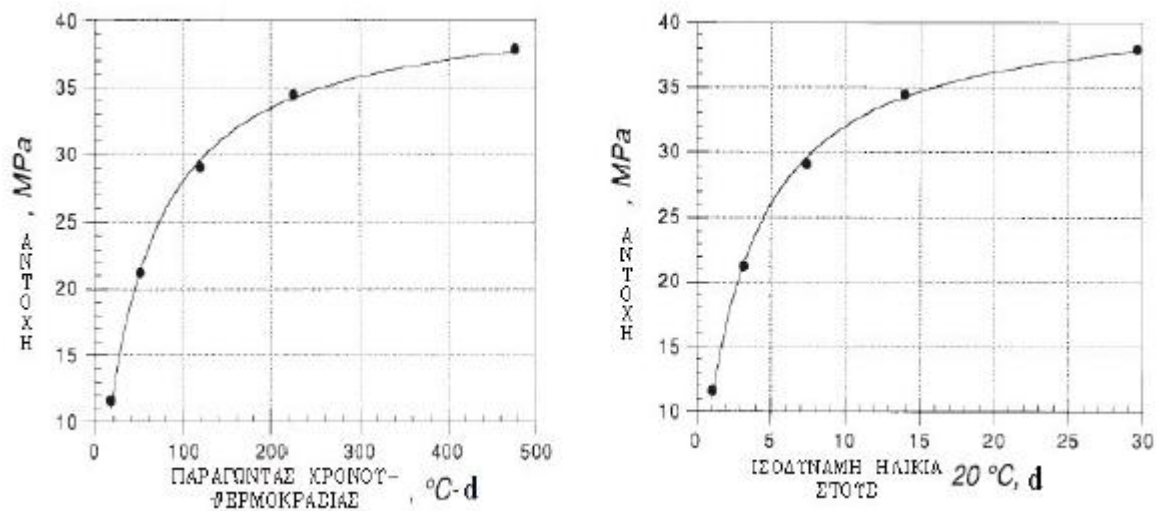
(α) Επιτόπου εκτιμήσεις της θλιπτικής αντοχής σύμφωνα με την Προδιαγραφή ASTM Test Method C 803/C 803M (Test Method για την αντοχή διείσδυσης του ενυδατωμένου σκυροδέματος) ή ASTM Test Method C 873 (Test Method για τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος με θραύση κυλινδρικών δοκιμίων) ή ASTM Test Method C 900 (Test Method για την αντίσταση άφελξης του ενυδατωμένου σκυροδέματος).

(β) Δοκιμές θλίψης επί δοκιμίων σε νεαρή ηλικία, σύμφωνα με την Προδιαγραφή ASTM Test Method C 918 (Test Method για την μέτρηση της αντοχής του σκυροδέματος στην νεαρή του ηλικία και υπολογισμός της αντοχής του για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα), τα οποία δοκίμια ελήφθησαν κατά την έγχυση του σκυροδέματος .

(γ) Δοκιμές θλίψης επί δοκιμίων που ελήφθησαν κατά τη σκυροδέτηση, και θα υποβληθούν σε «επιταχυνόμενη» συντήρηση, σύμφωνα με την Προδιαγραφή ASTM Test Method C 684.

(δ) Δοκιμές θλίψης επί δοκιμίων σε νεαρή ηλικία, με τοποθετημένους μετρητές ωριμότητας. Οι τιμές των θλιπτικών αντοχών που λαμβάνονται από τις δοκιμές αυτές, συγκρίνονται με εκείνες που εκτιμήθηκαν από την καμπύλη συσχέτισης που έχει σχεδιαστεί. Αν υπάρχει σταθερή διαφορά στις τιμές αυτές, της τάξεως του 10 %,

πρέπει να σχεδιαστεί νέα καμπύλη συσχέτισης 'αντοχής-ωριμότητας' του μίγματος από σκυρόδεμα που εξετάζεται.



Σχήμα 16. Καμπύλες συσχέτισμού (ASTM C 1074, 1998).

## 8.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ

Ο προσδιορισμός μιας σχέσης μεταξύ θερμοκρασίας, χρόνου και θλιπτικής αντοχής ενός συγκεκριμένου μίγματος, είναι εφικτός με την γραφική συσχέτιση αυτών (καμπύλη συσχέτισης). Βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου, αποτελεί η δυνατότητα εφαρμογής της σε ιδίου τύπου σκυροδέματα τα οποία εκτίθενται σε διαφορετικές θερμοκρασιακές συνθήκες. Δηλαδή, είναι δυνατή η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων με στοιχεία τις χημικές αναλογίες συγκεκριμένων μιγμάτων από σκυρόδεμα και τις καμπύλες συσχέτισης που αντιστοιχούν σε αυτά. Με αυτό τον τρόπο, είναι εφικτή η μελλοντική χρήση αυτής της βάσης για την εκτίμηση της αντοχής των εκάστοτε μιγμάτων, ανεξαρτήτως των θερμοκρασιακών συνθηκών συντήρησης αυτών.

Το σκυρόδεμα ενός κυλινδρικού δοκιμίου (σε εργαστηριακές συνθήκες) και το σκυρόδεμα της κατασκευής (σε πραγματικές συνθήκες περιβάλλοντος), σπάνια παρουσιάζουν την ίδια αύξηση της θλιπτικής τους αντοχής. Για τον λόγο αυτό, οι κατασκευαστές δεν γνωρίζουν την εσωτερική αντοχή του σκυροδέματος για κάθε χρονική στιγμή ενός έργου. Είναι αναγκασμένοι για λόγους ασφάλειας, να περιμένουν μέχρι να σιγουρευτούν (εμπειρικά) πως το σκυρόδεμα έχει όντως αποκτήσει την κατάλληλη αντοχή, πριν προβούν σε οποιαδήποτε κατασκευαστική ενέργεια. Για παράδειγμα, να αφαιρέσουν τους ξυλότυπους, να προεντείνουν τους χάλυβες

προέντασης ή να επιτρέψουν την κυκλοφορία των οχημάτων πάνω από ένα νέο οδόστρωμα. Η μέθοδος της ωριμότητας είναι ένας αξιόπιστος τρόπος εκτίμησης της σωστής χρονικής στιγμής εκτέλεσης οποιασδήποτε κατασκευαστικής ενέργειας, σχετιζόμενης με την αντοχή του σκυροδέματος. Ελέγχει την ωρίμανση του σκυροδέματος διαρκώς, εκτιμώντας έτσι την αντοχή του κάθε στιγμή, ακόμα και στην νεαρή του ηλικία, εξοικονομώντας πολύτιμο χρόνο και χρήμα.

#### Πλεονεκτήματα:

- \* Προένταση των τενόντων (χάλυβες προέντασης) νωρίτερα.
- \* Αφαίρεση των ξυλότυπων νωρίτερα και με ασφάλεια
- \* Παρακολούθηση του τρόπου που επηρεάζει την ανάπτυξη της αντοχής η χαμηλή θερμοκρασία μπορεί να παρακολουθείται και με αυτόν τον τρόπο να σταματούν νωρίτερα οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επιθυμητή αύξηση της θερμοκρασίας του σκυροδέματος.
  - \* Μείωση του προγραμματισμού του έργου μειώνοντας τις εργατώρες κερδίζοντας, με αυτό τον τρόπο, η κατασκευάστρια εταιρεία χρήματα.
  - \* Μείωση, αισθητά, του αριθμού των δοκιμών που πρέπει να χρησιμοποιηθούν στο εργαστήριο.
  - \* Μπορεί να δοθεί πολύ νωρίτερα ένα νέο οδόστρωμα στην κυκλοφορία.
  - \* Παρακολούθηση του ρυθμού ενυδάτωσης του σκυροδέματος.
  - \* Καθορισμός του τέλους συμβατικών υποχρεώσεων μιας κατασκευής.

#### **8.6. ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ**

Τα κυριότερα μειονέκτημα της μεθόδου της ωριμότητας είναι :

- \* απαιτεί το σκυρόδεμα πρέπει να διατηρηθεί σε μία κατάσταση η οποία θα επιτρέψει την ενυδάτωσή του χωρίς διακοπές κατά την διάρκεια των μετρήσεων,
  - \* δεν λαμβάνει υπόψιν, τις επιδράσεις που έχει η θερμοκρασία συντήρησης του σκυροδέματος στη νεαρή ηλικία του, σε σχέση με τη μακροχρόνια τελική αντοχή του (φαινόμενο υπερπήδησης).
  - \* χρειάζεται να συμπληρωθεί και από άλλες μεθόδους εκτίμησης της πιθανής αντοχής ενός μίγματος από σκυρόδεμα, ώστε να θεωρηθούν ασφαλή τα αποτελέσματά της και
    - \* δίνει λανθασμένα αποτελέσματα αν υπάρξει κακή διάστρωση και συντήρηση του σκυροδέματος.

Η μέθοδος της ωριμότητας δεν λύνει όλα τα προβλήματα αλλά είναι, σίγουρα, μία βελτιωμένη μέθοδος συγκριτικά με άλλες πιο παραδοσιακές λύσεις. Για παράδειγμα, αν το σκυρόδεμα στο εργοτάξιο δεν συντηρηθεί σωστά, ούτε ο πειραματικός έλεγχος αντοχής ούτε η μέθοδος της ωριμότητας, θα δώσουν τιμές που σχετίζονται με την πραγματικότητα. Επίσης, καμία από τις δύο μεθόδους δεν έχει την δυνατότητα να αναγνωρίζει, πιθανές αλλαγές που γίνονται στην τελική ανάμιξη του σκυροδέματος ή κάποια πιθανή αύξηση της θερμοκρασίας του κατά την μεταφορά του. Τα δύο αυτά παραδείγματα είναι γνωστό πως επηρεάζουν καθοριστικά την αντοχή του διαστρωμένου σκυροδέματος. Εντούτοις, ο ποιοτικός έλεγχος, έχει την δυνατότητα να εντοπίζει τυχόν αποκλίσεις από το εγκεκριμένο μίγμα σκυροδέματος.

Για να είναι ακριβή τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από τη χρήση της μεθόδου της ωριμότητας θα πρέπει το σκυρόδεμα της κατασκευής να είναι της ίδιας σύστασης με το σκυρόδεμα που θα εξεταστεί. Αν η σύσταση του σκυροδέματος αλλάξει, κατά την διάρκεια της κατασκευής, θα είναι αδύνατον να προσδιοριστούν οι σωστές καμπύλες συσχέτισης 'Ωριμότητας-Αντοχής'.

Για να είμαστε σίγουροι ότι το σκυρόδεμα που θα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή θα είναι το ίδιο με αυτό που θα χρησιμοποιηθεί εργαστηριακά για την δημιουργία της καμπύλης συσχέτισης, πρέπει τα δοκίμια που θα ληφθούν να είναι από κάθε παρτίδα σκυροδέματος. Μετράται ο δείκτης ωριμότητας τεσσάρων δοκιμίων και δοκιμάζουμε τα υπόλοιπα για αυτήν την τιμή. Αν η τιμή της αντοχής είναι μέσα στο 10% της τιμής της αντοχής που υπολογίστηκε από την καμπύλη συσχέτισης τότε δεν υπάρχει πρόβλημα, αλλιώς πρέπει να γίνει έρευνα τι άλλαξε κατά την ανάμιξη του σκυροδέματος.

## **8.7. Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ**

Είναι εφικτό να περιοριστεί αρκετά η πιθανότητα ρηγμάτωσης του σκυροδέματος μεταβάλλοντας τα συστατικά του σκυροδέματος όπως και τις συνθήκες σκυροδέτησης. Για παράδειγμα, μονώνοντας τον ξυλότυπο για την παρεμπόδιση της ανάπτυξης θερμοκρασιακών διαφορών στο εσωτερικό ενός στοιχείου. Ακόμα, να απαγορευτεί η μετακίνηση προκατασκευασμένου στοιχείου, μέχρι την στιγμή εκείνη που το σκυρόδεμα θα έχει αποκτήσει κάποια ικανοποιητική τιμή θλιπτικής αντοχής ή γενικά την ακύρωση ενεργειών όπως είναι η προένταση τενόντων. Για να συμβεί αυτό είναι απαραίτητο να είναι γνωστές κάποιες τιμές των χαρακτηριστικών του



σκυροδέματος αμέσως μετά τη σκυροδέτησή του. Η μέθοδος της ωριμότητας, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, προσφέρει αυτή τη δυνατότητα.

Με τη χρήση της μεθόδου της ωριμότητας του σκυροδέματος στη νεαρή ηλικία του, προσδιορίζεται το βασικό χαρακτηριστικό του, η αντοχή και καταγράφεται το θερμοκρασιακό ιστορικό του σε σχέση με το χρόνο. Δηλαδή, είναι σαν να παρακολουθείται η εξέλιξη της ενυδάτωσής του (μέχρι την τελικό χρόνο πήξης), η οποία είναι άμεσα συνδεδεμένη με την πιθανότητα ρηγμάτωσης του σκυροδέματος. Όταν σε μια κατασκευή έχει ξεκινήσει η διάσπρωση του σκυροδέματος μπορούν να τοποθετηθούν θερμοκρασιακοί μετρητές ή μετρητές ωριμότητας σε κρίσιμα, για την κατασκευή, σημεία και κατά την διάρκεια του έργου να παρακολουθούνται με αυτό τον τρόπο η εξέλιξη των εσωτερικών παραμέτρων του σκυροδέματος (ουσιαστικά η εξέλιξη της θερμοκρασίας).

Με τη σωστή ανάγνωση του θέρμο/χρονοϊστορικού (καταγραφή από τους μετρητές) προλαμβάνεται η δημιουργία ρωγμών εξαιτίας ενός από τους παραπάνω έξι παράγοντες. Με τον εντοπισμό δυσμενών συνθηκών είναι άμεση η λήψη μέτρων θεραπείας (και όχι επανασχεδιασμού) για την αποφυγή (περιορισμό) της ρηγμάτωσης. Τέτοια μέτρα είναι η μείωση της εξίδρωσης (με την προσθήκη αερακτικού ή την αναδόνηση), η βελτίωση της αρχικής συντήρησης, η μείωση της θερμότητας με τη χρήση μονωτικών υλικών.

Κάποιες κατασκευαστικές ενέργειες (πρόωρη απομάκρυνση των ξυλότυπων) μπορεί να οδηγήσουν επίσης στη ρηγμάτωση του σκυροδέματος, λόγω υπερεκτίμησης της αντοχής του με συνέπεια την ανικανότητα του σκυροδέματος να φέρει τα συγκεκριμένα φορτία. Η μέθοδος της ωριμότητας προσδιορίζει την αντοχή σε σχέση με το χρόνο, μέσα από την καμπύλη συσχέτισης αντοχής-ωριμότητας, βοηθώντας στη λήψη σωστών αποφάσεων κατά την εκτέλεση του έργου.

Πρέπει να σημειωθεί η ύπαρξη και άλλων παραγόντων ρηγμάτωσης του σκυροδέματος οι οποίοι δεν μπορούν να εκτιμηθούν με τη μέθοδο της ωριμότητας, παρά μόνον να υποπτευθεί η ύπαρξη αυτών, λόγω των λανθασμένων εκτιμήσεων που θα δίνονται από την, 'σωστή' κατά τα άλλα, εφαρμογή της μεθόδου. Τέτοιες περιπτώσεις, για παράδειγμα, είναι η διάβρωση του οπλισμού λόγω κακής ποιότητας σκυροδέματος και η πλούσια περιεκτικότητα του τσιμέντου σε αργιλικά ή ενεργών αδρανών (αντίδραση αργιλικών-αδρανών). Χρειάζεται, λοιπόν, ιδιαίτερη προσοχή στα υλικά και στον τρόπο που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενός τσιμεντοπολτού.

## 9. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗ-ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ (ΕΜΜΕΣΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ), ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΑΣΣ

Οι μέθοδοι μη-καταστροφικού ελέγχου του σκυροδέματος (ή έμμεσες μέθοδοι) αποσκοπούν στην εκτίμηση ορισμένων ιδιοτήτων ή χαρακτηριστικών του υλικού σε παλαιές ή νέες κατασκευές βάσει πειραματικών διαδικασιών που δεν επιφέρουν ζημιά (όπως είναι η θραύση πυρήνων). Γενικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: (i) σε αυτές που στηρίζονται στη μέτρηση μίας ιδιότητας του σκυροδέματος (π.χ. επιφανειακή σκληρότητα, μέτρο ελαστικότητας) βάσει της οποίας εκτιμάται η αντοχή, η ανθεκτικότητα σε διάρκεια κ.τ.λ. και (ii) σε αυτές που αποσκοπούν στον προσδιορισμό διαφόρων χαρακτηριστικών, όπως η θέση, η διάμετρος και η κατάσταση των ράβδων οπλισμού, περιοχές κακής συμπύκνωσης, περιεκτικότητα σε υγρασία κ.τ.λ. Οι μέθοδοι που ενδιαφέρουν περισσότερο είναι συνήθως αυτές που στηρίζονται σε σχέσεις μεταξύ αντοχής και άλλων ιδιοτήτων, οι οποίες έχουν στατιστικό χαρακτήρα. Ας σημειωθεί ότι στην διασπορά των τιμών της αντοχής προστίθεται και αυτή που προέρχεται από την ασάφεια της σχέσης αντοχής-μετρούμενης ιδιότητας, καθώς και η διασπορά στη μέτρηση της ιδιότητας, δίνοντας συνολική διασπορά της τάξης του 20-30%. Έτσι γενικά συνιστάται η χρήση των μεθόδων αυτών να γίνεται από έμπειρο προσωπικό και σε συσχέτιση με εργαστηριακές μεθόδους, το δε αποτέλεσμα να θεωρείται ενδεικτικό και χρήσιμο κυρίως για σύγκριση της ποιότητας του σκυροδέματος από περιοχή σε περιοχή.

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με παρόμοιο λόγο νερού προς τσιμέντο με αυτόν ενός συνηθισμένου σκυροδέματος συνήθως έχει λίγο μεγαλύτερη αντοχή συγκριτικά με το δονούμενο σκυρόδεμα. Αυτό συμβαίνει λόγω της απουσίας δόνησης κάτι το οποίο βελτιώνει την επιφάνεια επαφής μεταξύ των αδρανών και της σκληρής τσιμεντόπαστας. Εφόσον η ανάπτυξη της αντοχής του ΑΣΣ θα είναι παρόμοια με αυτήν του κοινού σκυροδέματος, η μέθοδος της ωριμότητας μπορεί να θεωρηθεί ως μία αποτελεσματική μη-καταστροφική μέθοδος εκτίμησης της ανάπτυξης της αντοχής του, ανεξάρτητα αν χρησιμοποιείται 'επιταχυνόμενη' συντήρηση με ατμό ή όχι. Επίσης για τον ίδιο λόγο, παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες μη-καταστροφικές μέθοδοι εκτίμησης της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, οι οποίες μπορούν επίσης να εφαρμοστούν για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής του ΑΣΣ. Από την άλλη πλευρά, οι μέθοδοι (σύμφωνες Προδιαγραφών) που εφαρμόζονται ήδη για το σύννηθες σκυρόδεμα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για το

αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα χωρίς κάποια επιβεβαίωση εργαστηριακή ή εμπειρική.

Παρακάτω, παρουσιάζονται κάποια εργαστηριακά πειράματα τα οποία μελέτησαν την αντοχή και την εξέλιξη της αντοχής του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος σε σχέση με το χρόνο, για την καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς του μέσα από τα αποτελέσματα των πειραμάτων. Στόχος των πειραμάτων αυτών είναι η επιβεβαίωση, συγκεκριμένα, της εγκυρότητας της μεθόδου της ωριμότητας όταν αυτή χρησιμοποιείται για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα.

### **9.1. Δοκιμή Ταχύτητας Υπερήχων**

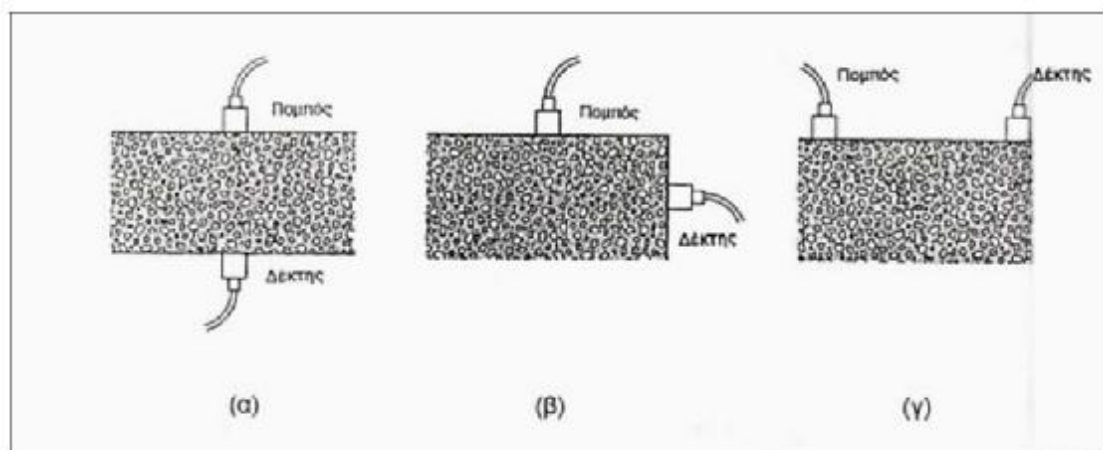
Μια άλλη μέθοδος πρόβλεψης της αντοχής στη νεαρή ηλικία του σκυροδέματος είναι αυτή με τη χρήση τεχνικών διάδοσης υπερηχητικών κυμάτων. Πολλές είναι οι πρακτικές μέθοδοι, στη βιβλιογραφία, που χρησιμοποιούν την ικανότητα των κονιαμάτων από τσιμέντο να μεταδίδουν τα υπερηχητικά κύματα. Ο Keating et al. ερεύνησε τη σχέση μεταξύ της θλιπτικής αντοχής ενός κυβικού δοκιμίου από τσιμεντοπολτό και την υπερηχητική κατά τη διαμήκη διεύθυνση παλλόμενη ταχύτητα, για τις πρώτες 24 ώρες. Για συντηρημένο σκυρόδεμα σε θερμοκρασία δωματίου, παρατηρήθηκε ότι η σχετική αλλαγή στην παλμική ταχύτητα τις πρώτες λίγες ώρες είναι μεγαλύτερη από το ρυθμό ανάπτυξης της αντοχής. Μια γενική συσχέτιση μεταξύ των δυο αυτών παραμέτρων μπορεί να συναχθεί.

Μια άλλη μελέτη για την αλληλεξάρτηση μεταξύ της ταχύτητας των L-κυμάτων και της θλιπτικής αντοχής έχει γίνει από τους Carino και Pessiki. Σε αυτήν τη μελέτη εξετάστηκαν μίγματα από σκυρόδεμα με διαφορετικούς λόγους νερού–τσιμέντου και περιεκτικότητας αδρανών σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης. Η ταχύτητα των L-κυμάτων προσδιορίστηκε με τη χρήση της μεθόδου κρουστικής-αντήχησης για ένα χρονικό διάστημα μέχρι τις 28 ημέρες. Στη νεαρή ηλικία του σκυροδέματος η ταχύτητα των L-κυμάτων αυξάνεται με έναν γρηγορότερο ρυθμό σε σύγκριση με τη θλιπτική αντοχή και σε μεγαλύτερες ηλικίες η αντοχή είναι αυτή που αναπτύσσεται με μεγαλύτερους ρυθμούς. Η ταχύτητα των L-κυμάτων αποδείχτηκε πως είναι ένας ευαίσθητος δείκτης των αλλαγών της θλιπτικής αντοχής τρεις μέρες μετά από την ανάμειξη του μίγματος.

Η αρχή της δοκιμής ταχύτητας υπερήχων είναι ότι η ταχύτητα του ήχου,  $V$ , που διαδίδεται μέσω στερεού σώματος συνδέεται με το μέτρο ελαστικότητας,  $E$ , και την πυκνότητα,  $\rho$ , του σώματος βάσει της σχέσης:

$$V = (gE / \rho)^{1/2} \quad (2.1)$$

όπου  $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας. Η σχέση 2.1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας σκυροδέματος γνωστής πυκνότητας (δυναμικό μέτρο ελαστικότητας,  $E_{cd}$ ), το οποίο συσχετίζεται με την αντοχή. Ο εξοπλισμός της δοκιμής περιλαμβάνει βασικά έναν πομπό σε επαφή με το σκυρόδεμα και ένα δέκτη επίσης σε επαφή με το σκυρόδεμα αλλά σε ορισμένη απόσταση από τον πομπό (Σχ. 17). Ο πομπός παράγει υπερήχους (ηχητικά κύματα ταχύτητας πάνω από 20.000m/sec) από έναν ηλεκτροακουστικό κρύσταλλο βάσει του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου, ενώ ο δέκτης (που είναι επίσης ηλεκτροακουστικός) συλλαμβάνει τους υπερήχους και τους μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα, που μέσω ενισχυτή καταγράφεται σε παλμογράφο. Ο χρόνος που απαιτείται για τη διάδοση της ταλάντωσης από τον πομπό στο δέκτη μετράται ηλεκτρονικά με ακρίβεια, και με γνωστή την απόσταση πομπού-δέκτη υπολογίζεται η ταχύτητα των υπερήχων.



Σχήμα 17. Μέθοδος μέτρησης ταχύτητας υπερήχων με (α) απευθείας μετάδοση, (β) ημι-απευθείας μετάδοση και (γ) επιφανειακή μετάδοση.

Η ευαισθησία των οργάνων, άρα και η ακρίβεια της μεθόδου, μεγιστοποιείται όταν η μετάδοση γίνεται απευθείας (Σχ. 17α), οπότε μετρώνται μόνο διαμήκη κύματα, ενώ σε περιπτώσεις ημι-απευθείας μετάδοσης (Σχ. 17β) ή επιφανειακής μετάδοσης (Σχ. 17γ) το σήμα επηρεάζεται και από εγκάρσια ή επιφανειακά κύματα.

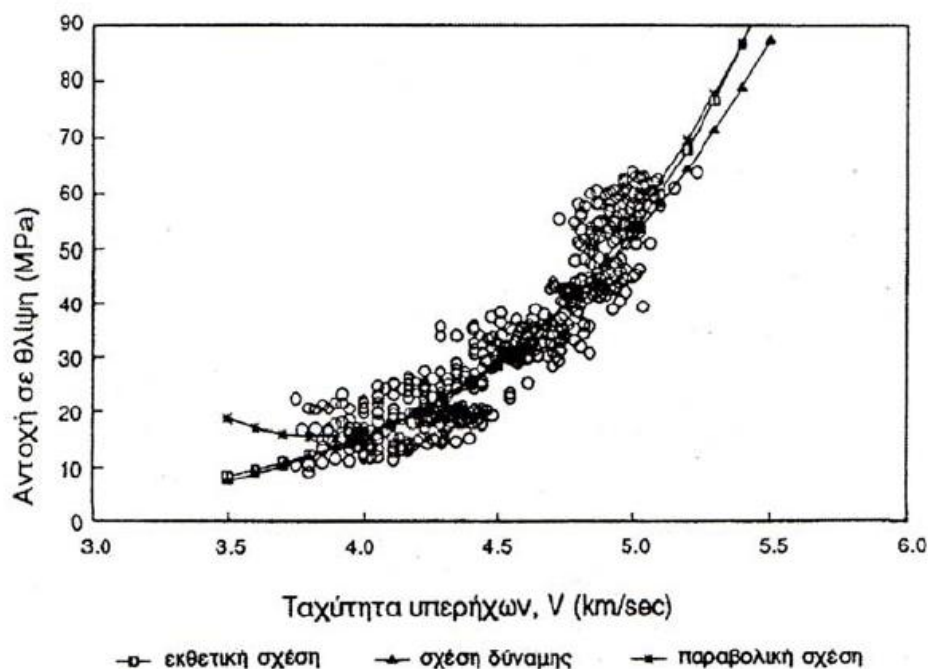
Όπως και στην προηγούμενη μέθοδο, η σχέση ταχύτητας-αντοχής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η διαβάθμιση, το μέγεθος, ο τύπος και το ποσοστό

αδρανών, ο τύπος τσιμέντου, ο λόγος N/T, τα πρόσθετα, ο βαθμός συμπύκνωσης, οι συνθήκες συντήρησης, η ηλικία, η υγρασία και θερμοκρασία του σκυροδέματος, το μέγεθος και σχήμα του δοκιμίου, η τυχόν παρουσία σπλισμού, η ύπαρξη ρωγμών κ.τ.λ. Γι' αυτό, οι καμπύλες συσχετισμού ταχύτητας-αντοχής θα πρέπει να έχουν προκύψει από τη μέτρηση αντοχών πυρήνων από σκυρόδεμα (εργαστηριακά) με τα ίδια ή πολύ παρόμοια χαρακτηριστικά με το υπό εξέταση σκυρόδεμα. Έτσι, η μέθοδος είναι χρήσιμη περισσότερο για τον ποιοτικό έλεγχο παρόμοιων σκυροδεμάτων (οπότε θα διαγνωστεί η πιθανή ελλιπής συμπύκνωση ή η μεταβολή στο λόγο N/T), και λιγότερο για την εκτίμηση της αντοχής σκυροδέματος σε υφιστάμενες κατασκευές.

Τυπικά δεδομένα για τη συσχέτιση της αντοχής κύβου σκυροδέματος 28 ημερών ( $f_c$ ), με την ταχύτητα υπερήχων δίνονται στο Σχήμα 18. Τα σκυροδέματα παρασκευάστηκαν από ασβεστολιθικά αδρανή, με τσιμέντα CEMI/35 και CEMII/35, και λόγο N/T από 0.50-0.86. Εδώ, η σχέση 2.2 που περιγράφει καλύτερα τα πειραματικά αποτελέσματα είναι της μορφής:

$$f_c = 440,1 - 221,6 V + 28,9 V^2 \quad (2.2)$$

στην οποία V είναι η ταχύτητα υπερήχων.

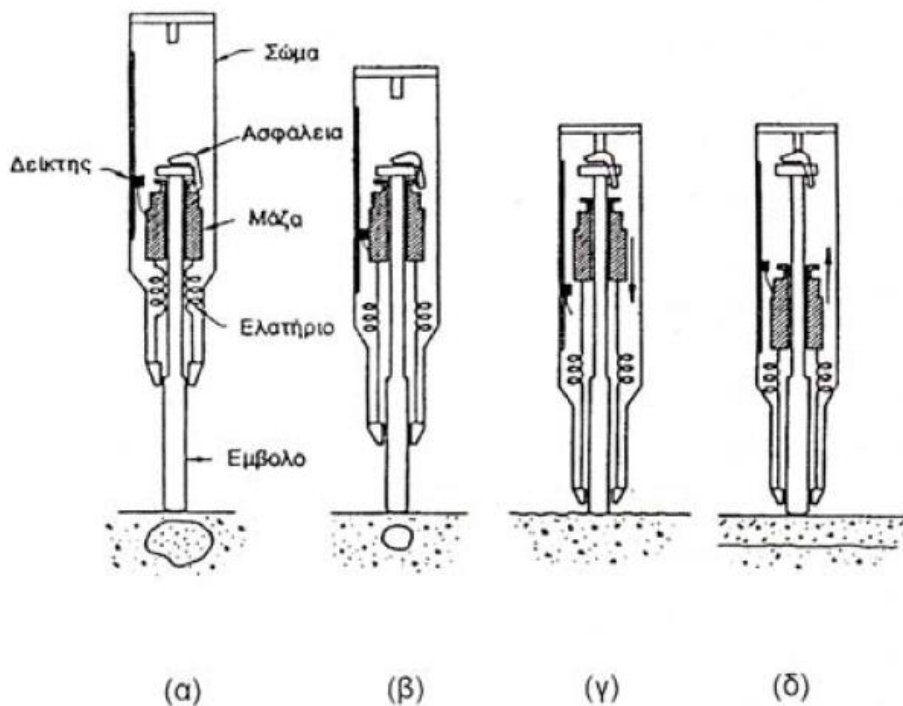


Σχήμα 18. Αντοχή κυβικών δοκιμίων σε 28 ημέρες, συναρτήσεως της ταχύτητας υπερήχων.

## 9.2. Το Κρουσίμετρο Αναπήδησης Schmidt

Βασική αρχή της μεθόδου είναι ότι η αναπήδηση ελαστικής μάζας εξαρτάται από τη σκληρότητα της επιφάνειας πάνω στην οποία γίνεται η κρούση. Το κρουσίμετρο αναπήδησης (Σχ. 19), πιέζεται προς την επιφάνεια του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα το έμβολο που πιέζεται (προς το σκυροδέμα) να προκαλεί την αναπήδηση της μάζας που είναι στερεωμένη στο εσωτερικό του μέσω ελατηρίου., που αρχικά είναι τεντωμένο. Η αναπήδηση της μάζας συσχετίζεται με την αντοχή του σκυροδέματος μέσω καμπυλών, που έχουν προκύψει από πειραματικά αποτελέσματα.

Επειδή τα αποτελέσματα της δοκιμής είναι ευαίσθητα στην παρουσία αδρανών ή κενών στην επαφή με το έμβολο, συνιστάται να γίνονται περίπου 10-15 μετρήσεις στην ίδια περιοχή του σκυροδέματος και να λαμβάνεται ο μέσος όρος. Επίσης, η κρούση πρέπει να γίνεται πάντα κάθετα προς την επιφάνεια, η οποία πρέπει να είναι λεία. Η θέση του κρουσίμετρου προς την κατακόρυφο επηρεάζει κάπως τα αποτελέσματα και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις καμπύλες συσχετισμού.



Σχήμα 19. Κρουσίμετρο αναπήδησης.

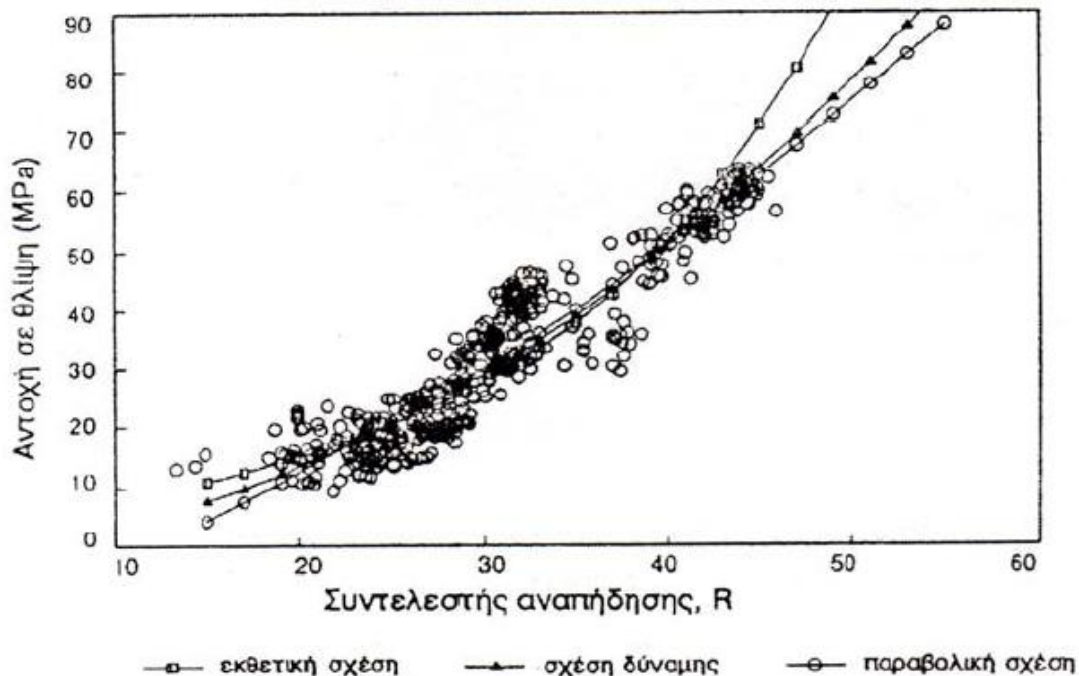
Η σχέση αναπήδησης-αντοχής δεν είναι μοναδική, αλλά εξαρτάται από παράγοντες σχετικούς με την ποιότητα της επιφάνειας του σκυροδέματος, όπως είναι η συμπίκνωση, το τελείωμα, η ποιότητα και ποσότητα τσιμέντου, η ηλικία, η

υγρασία, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, ο βαθμός ενανθράκωσης κ.τ.λ. Γι' αυτό, οι καμπύλες συσχετισμού θα πρέπει να έχουν προκύψει από τη μέτρηση αντοχών πυρήνων από σκυρόδεμα (εργαστηριακά) με τα ίδια ή παρόμοια χαρακτηριστικά (π.χ. σύσταση, σύνθεση) με το υπό εξέταση σκυρόδεμα.

Τυπικά δεδομένα για τη συσχέτιση της αντοχής κύβου σκυροδέματος 28 ημερών ( $f_c$ ), με την αναπήδηση κρουσίμετρου (που λέγεται και συντελεστής αναπήδησης) δίνονται στο Σχήμα 20. Τα σκυροδέματα παρασκευάστηκαν από ασβεστολιθικά αδρανή, με τσιμέντα I/35 και II/35, και λόγο N/T από 0.50-0.86. Εδώ, η σχέση 2.3 που περιγράφει καλύτερα τα πειραματικά αποτελέσματα είναι της μορφής (Τριανταφύλλου κ.ά., 2001):

$$f_c = -14,796 + 1,058R + 0,0147 R^2 \quad (2.3)$$

στην οποία R είναι ο συντελεστής αναπήδησης. Τονίζεται πάντως ότι η ακρίβεια της μεθόδου με κατάλληλα βαθμονομημένο κρουσίμετρο είναι της τάξης του  $\pm 15\text{-}20\%$  για δοκίμια στο εργαστήριο και του  $\pm 25\%$  για πραγματικές κατασκευές.

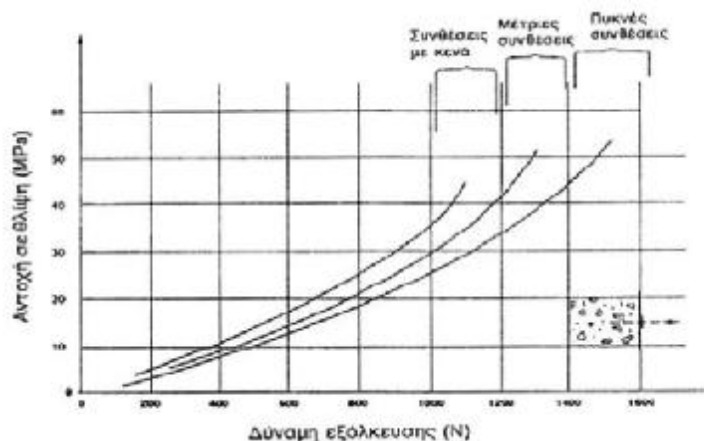


Σχήμα 20. Αντοχή κυβικών δοκιμών σε 28 ημέρες, συναρτήσει της ένδειξης του κρουσιμέτρου.

### 9.3. Εξόλκευση Ήλου

Η μέθοδος στηρίζεται στην έμπηξη ενός ήλου με καθορισμένες διαστάσεις και δύναμη έμπηξης στη μάζα του σκυροδέματος, και στη μέτρηση της δύναμης που χρειάζεται για την εξόλκευση. Η δύναμη εξόλκευσης δίνει ένα μέτρο της πλευρικής πίεσης που ασκείται στην επιφάνεια του ήλου και επομένως εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της αντοχής του υλικού. Η αντοχή του σκυροδέματος εκτιμάται βάσει της δύναμης εξόλκευσης και καμπυλών συσχέτισης.

Στη μέθοδο που εφαρμόζεται συνήθως στην Ελλάδα χρησιμοποιείται ήλος μήκους 40mm και διαμέτρου 4mm που εμπηγνύεται μέσω εκτοξευτήρα καψουλίου καθορισμένης ισχύος και εξολκύεται μετά από παρέλευση 10min με ειδικό εξολκέα με μανόμετρο, που μετράει τη δύναμη εξόλκευσης. Το διάστημα των 10min μεταξύ έμπηξης και εξόλκευσης είναι απαιτητό για την αποκατάσταση της ηρεμίας και θερμοκρασίας του υλικού στα αρχικά επίπεδα. Τυπικές καμπύλες συσχέτισης δύναμης εξόλκευσης-αντοχής κύβου πλευράς 20cm σε ηλικία 28 ημερών δίνονται στο Σχήμα 21. Οι καμπύλες αυτές έχουν προκύψει από σκυροδέματα με ασβεστολιθικά αδρανή, πυριτικά αδρανή δίνουν ενδείξεις κατά 20-24% μεγαλύτερες, γι' αυτό και οι μετρούμενες ενδείξεις στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται επί 0.76-0.80 .



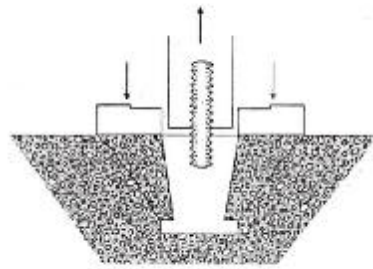
Σχήμα 21. Αντοχή κυβικών δοκιμίων σε 28 ημέρες, συναρτήσεως της δύναμης εξόλκευσης ήλου.

Μία παραλλαγή της μεθόδου περιλαμβάνει την τοποθέτηση βύσματος στο σκυροδέμα ενώ αυτό είναι ακόμα νωπό (ASTM C900-82). Η εξόλκευση του βύσματος στην περίπτωση αυτή επιφέρει θραύση του σκυροδέματος στην περιοχή του βύσματος με επιφάνεια θραύσης που έχει χαρακτηριστική κωνική μορφή (Εικ.



22). Ο λόγος της δύναμης εξόλκευσης προς την επιφάνεια θραύσης αποτελεί ένα μέτρο της διατμητικής αντοχής του σκυροδέματος, που συσχετίζεται με την αντοχή σε θλίψη. Και εδώ, η εκτίμηση της αντοχής γίνεται βάσει διαγραμμάτων συσχέτισμού δύναμης εξόλκευσης-αντοχής. Βασικό μειονέκτημα στην περίπτωση αυτή είναι ότι η τοποθέτηση των βυσμάτων θα πρέπει να έχει προβλεφθεί κατά τη σκυροδέτηση.

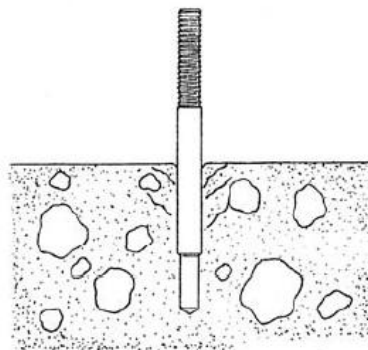
Λόγω της μικρής σχετικά περιοχής στην οποία γίνεται η δοκιμή εξόλκευσης, τα αποτελέσματα χαρακτηρίζονται από μεγάλη διασπορά. Εντούτοις, η δοκιμή εξόλκευσης ήλου ενδείκνυται ιδιαίτερα για την εκτίμηση της εξέλιξης της αντοχής του σκυροδέματος σε νεαρές ηλικίες.



Εικόνα 22. Εξόλκευση βύσματος.

#### 9.4. Δοκιμή Διείσδυσης

Η δοκιμή αυτή, που ονομάζεται και δοκιμή Windsor, εφαρμόζεται κυρίως σε άλλες χώρες (π.χ. Η.Π.Α.), και στηρίζεται στην αρχή ότι η ευκολία διείσδυσης αντικειμένου στο σκυρόδεμα υπό δεδομένες συνθήκες είναι αντίστροφα ανάλογη της αντοχής του. Περιλαμβάνει την εκτόξευση ακίδας ειδικής μορφής μέσω ειδικού πιστολιού στο σκυρόδεμα (Εικ. 23), και την εκτίμηση της αντοχής βάσει καμπυλών συσχέτισης του μήκους της ακίδας που προεξέχει μετά την έμπηξη στο σκυρόδεμα με την αντοχή. Λεπτομέρειες της μεθόδου δίνονται στην Αμερικανική Προδιαγραφή ASTM C803-82 .



Εικόνα 23. Επίδραση δοκιμής διείσδυσης στο σκυρόδεμα.

Όπως και η δοκιμή κρουσιμέτρου, η δοκιμή διείδυσης μετρά ουσιαστικά σκληρότητα, που όμως δεν περιορίζεται στην επιφάνεια. Γι' αυτό τα αποτελέσματα είναι λιγότερο ευαίσθητα σε παράγοντες όπως η επιφανειακή υγρασία, η εξωτερική υφή και το βάθος ενανθράκωσης.

### **9.5. Συνδυασμός μεθόδων μη-καταστροφικών για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος**

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι ιδιότητες του σκυροδέματος εκτιμώνται με μεγαλύτερη ακρίβεια κάνοντας χρήση συνδυασμού διαφόρων μεθόδων μη-καταστροφικού ελέγχου. Στην περίπτωση εφαρμογής δύο μεθόδων για την εκτίμηση της αντοχής, η τελική αντοχή  $f_c$  προκύπτει από τη σχέση 2.4:

$$f_c = (f_{c1} s_2 + f_{c2} s_1) / (s_1 + s_2) \quad (2.4)$$

στην οποία  $f_{ci}$  είναι η αντοχή σύμφωνα με τη μέθοδο  $i$  και  $s_i$  η αντίστοιχη τυπική απόκλιση, όπου  $i = 1$  ή  $2$  για τη μέθοδο  $1$  ή  $2$ , αντίστοιχα. Ο συνηθέστερος συνδυασμός μεθόδων αφορά στη δοκιμή κρουσιμέτρου με τη μέτρηση της ταχύτητας υπερήχων. Ένας τέτοιος συνδυασμός οδήγησε στην ανάπτυξη της μεθόδου SONREB, σύμφωνα με την οποία η αντοχή του σκυροδέματος εκτιμάται βάσει νομογραφημάτων που περιλαμβάνουν την ένδειξη κρουσιμέτρου και την ταχύτητα υπερήχων.

### **9.6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ**

- Η εφαρμογή της μεθόδου της ωριμότητας πρέπει να γίνεται με προσεχτική εφαρμογή των Προδιαγραφών (ASTM C 1074) και σωστή χρήση των μετρητών ωρίμανσης ή των θερμοκρασιακών μετρητών.
- Σημείο κλειδί στη μέθοδο αυτή είναι ο προσδιορισμός της ενέργειας ενεργοποίησης  $Q$  ή της θερμοκρασίας αναφοράς  $T_o$  (ανάλογα τη σχέση που χρησιμοποιείται), για κάθε σκυρόδεμα που εξετάζεται.
- Η δυνατότητα χρήσης των δεδομένων της μεθόδου της ωριμότητας σαν ένα πρόσθετο εργαλείο ελέγχου της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος κατά τη νεαρή του ηλικία.

- Η μέθοδος της ωριμότητας χρειάζεται να συμπληρωθεί και από άλλες μεθόδους εκτίμησης της πιθανής αντοχής ενός μίγματος από σκυρόδεμα, ώστε να θεωρηθούν ασφαλή τα αποτελέσματά της.
- Δεν λαμβάνει υπόψη, τις επιδράσεις που έχει η θερμοκρασία συντήρησης του σκυροδέματος στη νεαρή ηλικία του, σε σχέση με τη μακροχρόνια τελική αντοχή του (φαινόμενο υπερπήδησης).
- Είναι δυνατή η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων με στοιχεία τις χημικές αναλογίες συγκεκριμένων μιγμάτων από ΑΣΣ και τις καμπύλες συσχέτισης που αντιστοιχούν σε αυτά. Με αυτό τον τρόπο, είναι εφικτή η μελλοντική χρήση αυτής της βάσης για την εκτίμηση της αντοχής των εκάστοτε μιγμάτων, ανεξαρτήτως των θερμοκρασιακών συνθηκών συντήρησης αυτών.
- Η παρακολούθηση της πορείας ωρίμανσης στοιχείων μέσω της καταγραφής της εσωτερικά αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας (και η ακόλουθη εφαρμογή της μεθόδου ωρίμανσης – maturity method) δύναται να υποκαταστήσει τη θραύση κυβικών δοκιμίων, ως μέθοδο εκτίμησης της πρώιμης θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος (συμβατικού ή ΑΣΣ), με έναν πιο αξιόπιστο τρόπο.

### **10.1. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΑΣΣ**

Το ΑΣΣ παρουσιάζει μεγάλο πλήθος πλεονεκτημάτων, με κυριότερα τα ακόλουθα:

- Δε χρειάζεται δόνηση άρα λιγότερος θόρυβος στο εργοτάξιο, δυνατότητα σκυροδέτησης ακόμα και σε ώρες κοινής ησυχίας. Καλύτερο περιβάλλον εργασίας και σημαντική μείωση της πιθανότητας εργατικών ατυχημάτων.
- Δυνατότητα σκυροδέτησης μελών περίπλοκης γεωμετρίας και πυκνού Οπλισμού
- Απουσία διαχωρισμού
- Αύξησης ταχύτητας σκυροδέτησης που οδηγεί σε αύξηση της παραγωγικότητας
- Διευκόλυνση της διαδικασίας της σκυροδέτησης, με λιγότερες απαιτήσεις σε προσωπικό άρα και μείωση του συνολικού κόστους της κατασκευής.
- Διαβεβαίωση αξιόπιστης συμπύκνωσης του μίγματος άρα μεγαλύτερη ανθεκτικότητα κατασκευής.
- Μείωση της διασποράς των τιμών των μηχανικών ιδιοτήτων
- Μικρότερη φθορά των ξυλοτύπων αφού δε δονείται το σκυρόδεμα
- Μικρότερη φθορά στους αναδευτήρες του νωπού σκυροδέματος λόγω μικρότερων εσωτερικών διατμητικών δυνάμεων

- Ιδανικό για την άμεση τοποθέτηση δαπέδου χωρίς την ανάγκη επιπρόσθετης εργασίας
- Μείωση «φωλιών»
- Ευκολία δημιουργίας λεπτών τοιχίων μη φέροντος οργανισμού
- Καλύτερες επιφάνειες μετά το ξεκαλούπωμα, με λιγότερες ατέλειες και άρα οικονομία αφού δεν απαιτούνται περαιτέρω εργασίες επιδιόρθωσής τους.
- Αυξημένη αντοχή σε πρώιμο στάδιο σε σχέση με το δονούμενο σκυρόδεμα
- Μικρότεροι λόγοι νερού/τσιμέντο (  $< 0.35$ ) που οδηγεί σε αύξηση της αντοχής χωρίς ταυτόχρονη απώλεια εργασιμότητας
- Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας λόγω απουσίας δόνησης
- Μειωμένη διαπερατότητα
- Πολύ καλή άντληση
- Περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση συστατικών λεπτού καταμερισμού των οποίων η διάθεση προκαλεί περιβαλλοντικά προβλήματα.
- Ταχύτερη αποπεράτωση επισκευών και άρα μικρότερη στέρση χρήσης των προς επισκευή έργων.
- Υψηλότερο ποσοστό επικάλυψης του οπλισμού.
- Μείωση της ηχορύπανσης (δυνατότητα σκυροδέτησης κατά τη διάρκεια περιόδων κοινής ησυχίας, ή πλησίον νοσοκομείων, σχολείων και άλλων δημοσίων κτιρίων σε ώρες λειτουργίας τους) .
- Εξάλειψη της φυσικής καταπόνησης από τη χρήση δονητών (εξάλειψη αγγειακών δυσλειτουργιών, όπως το σύνδρομο των «λευκών δακτύλων») και της πιθανότητας εργατικών ατυχημάτων .
- Μείωση των τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων πλησίον του σημείου σκυροδέτησης.
- Αναβαθμισμένο περιβάλλον εργασίας.

Τα προαναφερθέντα θετικά χαρακτηριστικά του ΑΣΣ επιτρέπουν την ικανοποίηση απαιτήσεων για αυξημένη παραγωγικότητα και ανθεκτικότητα, αναβαθμισμένο περιβάλλον εργασίας και υψηλή αισθητική. Όμως, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η απόλυτη συμμόρφωση με αυστηρά κριτήρια ποιοτικού ελέγχου σε όλα τα στάδια, από την παραγωγή μέχρι και τη συντήρηση. Πρέπει να καταστεί σαφές ότι το μεγαλύτερο μέρος της ευθύνης για την επιτυχία ή την αποτυχία μιας εφαρμογής το φέρει ο εφαρμοστής. Τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα ENV 1992-1-1 και ENV 13760-1

δίνουν οδηγίες, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ο σωστός τρόπος σκυροδέτησης σε κατασκευές που χρησιμοποιείται υψηλής ποιότητας σκυρόδεμα. Αυτές οι συστάσεις βασίζονται στον οδηγό βέλτιστης πρακτικής εφαρμογής και θα πρέπει να ακολουθούνται πάντα, αν το ζητούμενο είναι η επίτευξη ενός ανθεκτικού σκυροδέματος. Παρ' όλα αυτά, όπως έχει δείξει η μέχρι σήμερα εμπειρία, οι οδηγίες αυτές πολύ συχνά ακολουθούνται μερικώς! ή αγνοούνται πλήρως. Αυτή είναι και η συνηθέστερη αιτία αποσάθρωσης των κατασκευών από σκυρόδεμα.

## 10.2. ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Παράλληλα με τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζονται, η χρήση ΑΣΣ δημιουργεί σημαντικές νέες απαιτήσεις:

- 1) Τα επιμέρους συστατικά του ΑΣΣ επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο τα χαρακτηριστικά του νωπού και σκληρυμένου σκυροδέματος, επομένως πρέπει να συνυπολογίζονται δεδομένα όπως:
  - A) η περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα υλικά – φίλλερ (συνήθως ασβεστολιθικού τύπου),
  - B) τα χαρακτηριστικά των αδρανών (κοκκομετρία, ποσοστό περιεχόμενης παιπάλης,
  - Γ) τα χημικά χαρακτηριστικά και οι απαιτούμενες ποσότητες ρευστοποιητών, ευρέως φάσματος μειωτήρων ύδατος και τροποποιητικών ιξώδους.
- 2) 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).
- 3) 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).
- 4) Η επιθυμητή σύνθεση καθορίζεται από την επιτελεστικότητα, η οποία επιλέγεται ανάλογα με τις απαιτήσεις για την ικανότητα πλήρωσης, την ικανότητα διέλευσης και τη σταθερότητα κάθε συγκεκριμένης εφαρμογής.

- 5) Η διάστρωση του ΑΣΣ πρέπει να διεξάγεται από έμπειρο τεχνικό προσωπικό (σε επίπεδο επιβλέποντος).
- 6) Οι έλεγχοι των ρεολογικών ιδιοτήτων του νωπού σκυροδέματος θα πρέπει να εκτελούνται με βάση προτυποποιημένες μεθόδους.
- 7) Το μεγαλύτερο κόστος των υλικών πρόσμεικτα „filler κτλ.
- 8) Η πιθανή ευαισθησία των συνθέσεων.
- 9) Η ανάγκη για τροποποιήσεις στο παρασκευαστήριο σκυροδέματος όπως: επιπλέον σιλό για πληρωτικές κονίες, δυσκολία στην ανεύρεση πληρωτικών κονιών, επιπλέον δοχεία και αυτοματισμοί για τα πρόσμεικτα.
- 10) Η καθυστέρηση στην πήξη του σκυροδέματος δίνει χαμηλές πρώιμων αντοχών.
- 11) Οι πολύπλοκες συνθέσεις που σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούν έως και 10 διαφορετικά υλικά.
- 12) Η πιθανότητα δημιουργίας ρωγμών από πλαστική συρρίκνωση.
- 13) Η ανάγκη χρήσης στεγανότερων και σθεναρότερων καλουπιών.

### **11.1. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ**

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

### 11.1.1. Γαλλία

Το Κέντρο Τέχνης της Meudon, αποτελεί ένα αρχιτεκτονικό αριστούργημα και σχεδιάστηκε από τον Jacques Ripault. Αποτελείται από ένα auditorium 450 θέσεων, μια υπερυψωμένη σκηνή σε ύψος 15 μέτρων, το φουαγιέ της κυρίως εισόδου και αίθουσες γραφείων. Το auditorium έχει κατασκευαστεί από δύο κυκλικά τοιχεία σκυροδέματος ύψους 15 m. Το εσωτερικό τοιχείο έχει ακτίνα 10,7 m και πάχος 30 cm. Ο χώρος μεταξύ των δύο τοιχείων χρησιμοποιείται σαν διάδρομος πρόσβασης κοινού. Τα τοιχεία σκυροδετήθηκαν σε τμήματα μήκους 20 m και ύψους 8,10 m. Η επιλογή του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος ήταν η λύση που δόθηκε σε αυτό το έργο, συνολικού προϋπολογισμού 4,26 εκατομμυρίων ευρώ, καθώς διευκόλυνε τη διαδικασία σκυροδέτησης και συντόμευσε το χρόνο κατασκευής. Οι Φωτογραφίες 1,2 και 3 δείχνουν τη πλήρως αποπερατωμένη κατασκευή καθώς και φάσεις αυτής.



(11.1)



(11.2)



(11.3)

Φωτογραφία 11.1. Τα δύο ομόκεντρα τοιχεία στο Κέντρο τέχνης της Meudon

Φωτογραφία 11.2. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες

Φωτογραφία 11.3. Το κέντρο τέχνης της Meudon αποπερατωμένο

### 11.1.2. Σουηδία

Η Σουηδία έχει αποτελέσει πρωτοπόρο στην ανάπτυξη και στη χρήση του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος στην Ευρώπη. Πολλές έργα, κυρίως οδικά, έχουν κατασκευαστεί με τη χρήση Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος και η εφαρμογή του στη κατασκευή προκατασκευασμένων τομέων επένδυσης σήραγγων παρουσιάζεται εδώ (Φωτογρ. 11.4). Η σήραγγα βρίσκεται στη περιοχή Grind κατά μήκος του αυτοκινητόδρομου E6, 40 km βόρεια της πόλης Udevalla, στη δυτική ακτή της Σουηδίας. Αποτελείται από δύο παράλληλες σήραγγες μήκους 160 m. Η αρχική υποστηρικτική στρώση κατασκευάστηκε από ινοπλισμένο σκυρόδεμα (με μεταλλικές ίνες), ενώ ακολούθησε στεγανοποίηση με μεμβράνη PVC και τελικά επένδυση με προκατασκευασμένα στοιχεία από Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα. Η ευρεία χρήση αλατιού στους παγωμένους δρόμους της Σουηδίας, είχε σαν αποτέλεσμα οι απαιτήσεις του σκυροδέματος για αντοχή σε κύκλους ψύξης / απόψυξης αλλά και η ανθεκτικότητά του σε επιθετικούς παράγοντες να είναι αυξημένες. Η σύνθεση του σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε, παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.



Φωτογραφία 11.4. Επένδυση σήραγγας με προκατασκευασμένους τομείς από Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα



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

Πίνακας 8 : Σύνθεση προκατασκευασμένων τομέων για επένδυση σηράγγων

### 11.1.3. Μεγάλη Βρετανία

Το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα εφαρμόστηκε στην επισκευή μιας προβλήτας φόρτωσης πετρελαίου του Οργανισμού Βρετανικών Λιμένων στο Immingham στην ακτή του Βορειοανατολικού Lincolnshire. Η επισκευή πραγματοποιήθηκε στο άκρο της προβλήτας όπου η πρόσβαση για τη σκυροδέτηση με συμβατικούς τρόπους ήταν αδύνατη λόγω του πυκνού σπλισμού και του ύψους του στοιχείου (βλέπε Φωτογραφία 11.5). Πέραν τούτου, οι σιδερένιοι πάσσαλοι μήκους 1,5 m που στήριζαν τη κατασκευή ήταν μέσα στο νερό, πράγμα που αποτελούσε ένα ακόμα σημαντικό εμπόδιο. Με τη χρήση του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος ξεπεράστηκαν όλα τα προαναφερόμενα προβλήματα, καθώς αυτό μόλις ετοποθετείτο στους ξυλότυπους έρεε ελεύθερα πληρώνοντάς τους πλήρως και διαπερνούσε το 1,5 μέτρο ύψους των πασσάλων, παραμερίζοντας το νερό, χωρίς να ξεπλένεται και να διαχωρίζεται. Η σκυροδέτηση, συνολικού όγκου 250 m<sup>3</sup>, ολοκληρώθηκε σε μόλις έξι ώρες.



Φωτογραφία 11.5. Επισκευή προβλήτας στη Μεγάλη Βρετανία

#### 11.1.4. Ολλανδία

Η χρήση του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος αυξάνεται ταχύτατα στην Ολλανδία κυρίως στη βιομηχανία προκατασκευής. Παράγονται δομικά στοιχεία και αρχιτεκτονικά προκατασκευασμένα στοιχεία διαφόρων χρωμάτων και φινιρισμάτων. Τα κύρια οφέλη που προήλθαν από τη χρήση Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος είναι η μείωση του εργατικού κόστους, η μείωση του θορύβου και το τέλειο φινίρισμα των στοιχείων αυτών. Μια τυπική σύνθεση για μια εφαρμογή σε προκατασκευασμένα στοιχεία στην Ολλανδία παρουσιάζεται στο Πίνακα 9 και ένα προκατασκευασμένο στοιχείο παρουσιάζεται στη Φωτογραφία 11.6.



Φωτογραφία 11.6. Προκατασκευασμένο στοιχείο από Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα

Τσιμέντο I 52.5	370 kg
Άμμος 0 – 4 mm	750 kg
Χονδρόκοκκα αδρανή 4 – 6 mm	840 kg
Ασβεστολιθικό φίλερ	200 kg
Συνολικά λεπτόκοκκα	570 kg
Υπερρευστοποιητής κατά CE	2,5 kg
Νερό	170 kg
Λόγος N/T	0,46
Εξάπλωση	750 mm
Χρόνος V-Funnel	7 – 9 sec

Πίνακας 9 . Τυπική σύνθεση για εφαρμογές προκατασκευής στην Ολλανδία

### 11.1.5. Ιταλία

Οι Ιταλοί πιστοί στην χρήση καινοτόμων μεθόδων στις κατασκευές τους δεν θα παρέλειπαν να κάνουν εκτεταμένη χρήση ΑΣΣ, καθώς το 5% την συνολικής εγχώριας παραγωγής είναι ΑΣΣ και 1% επιπλέον είναι ΑΣΣ για την προκατασκευή. Ο Ιταλικός όμιλος Italcementi, προωθώντας και το προϊόν που παράγουν, έκανε χρήση ΑΣΣ στις εγκαταστάσεις του νέου εργοστασίου στην πόλη Calusco. Χρησιμοποίησαν περί τα 20.000 κ.μ στους δυο πύργους ύψους 103 μέτρων. Εκλέχθηκε ποιότητα C30/37 ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις τους. Ο ίδιος τύπος σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκε και στην κατασκευή του νέου πύργου ελέγχου του αεροδρομίου του Bergamo, αφού η τεχνογνωσία και η πίστη στο ΑΣΣ υπήρχε από την κατασκευή του πύργου ελέγχου του αεροδρομίου στο Taranto.



Φωτογραφία 11.7. Νέο εργοστάσιο Italcementi - Calusco, Italy



Φωτογραφία 11.8. Νέος πύργος ελέγχου αεροδρομίου – Bergamo, Italy

### 11.1.6. Ισπανία

Και στην Ισπανική κατασκευαστική εξέλιξη είναι απαραίτητα τα πλεονεκτήματα χρήσης ΑΣΣ και σε ορισμένες περιπτώσεις αυτή η τακτική ήταν μονόδρομος. Κατά τις εργασίες αναβάθμισης της σιδηροδρομικής γραμμής Malaga-Cordoba επιλέχθηκε ΑΣΣ στην σήραγγα Abdalajis. Μια σήραγγα μήκους 7,3 χλμ διπλής ηλεκτροκίνητης γραμμής υπέρυψηλων ταχυτήτων (350 χλμ/ω). Κατάλληλη ποιότητα κρίθηκε εκείνη που δίνει χαρακτηριστική αντοχή 80 Μρα καθώς με αυτό θα πλήρωναν δομικά στοιχεία φέροντος οργανισμού. Επίσης σημαντική ήταν η συμβολή του ΑΣΣ στα μέτωπα εκσκαφής αφού χρησιμοποίησαν αυτοσυμπυκνούμενο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα .



Φωτογραφία 11.9. Σήραγγα Abdalajis, Malaga-Cordoba

### 11.2.1. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

Στην Ελλάδα υπάρχει ένας ικανός αριθμός ειδικευμένου επιστημονικού προσωπικού τόσο στις τιμεντοπαραγωγούς βιομηχανίες, όσο και στα εργαστήρια σκυροδέματος των μεγάλων κοινοπραξιών, το οποίο παρακολουθεί στενά τις εξελίξεις στον τομέα της τεχνολογίας ΑΣΣ και συμμετέχει σε διερευνητικά προγράμματα μελέτης της σύνθεσης και παραγωγής του. Σε ακαδημαϊκό επίπεδο, βρίσκονται σε εξέλιξη ερευνητικά προγράμματα στο Εργαστήριο Μηχανικής των Υλικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών αρκετών τμημάτων, με σκοπό την ανάπτυξη μεθοδολογίας σύνθεσης ΑΣΣ με εγχώρια υλικά. Με αργούς ρυθμούς και με το αίσθημα καχυποψίας να εγκαταλείπει τους Έλληνες επιστήμονες, έγιναν

αντιληπτές οι ευεργετικές ιδιότητες του ΑΣΣ και ώθησαν τους μηχανικούς στην χρήση του.

Οι διαφραγματικοί τοίχοι των σταθμών του μετρό στην Θεσσαλονίκη κατασκευάστηκαν με ΑΣΣ υψηλής ρευστότητας, με χρήση υπερρευστοποιητή νέας γενιάς πολυκαρβοξυλικού αιθέρα και μειωτή νερού σουλφονικών και μη σουλφονικών πολυμερών. Το σκυρόδεμα παρασκευαζόταν στην μονάδα παραγωγής με προσθήκη και των δύο προσθέτων, ενώ στο έργο προστίθετο μικρή ποσότητα υπερρευστοποιητή πριν γίνει η σκυροδέτηση. Λόγω της ιδιομορφίας του έργου, δεν γινόταν χρήση δονητή μάζας.



Φωτογραφία 11.10-11.11. Μετρό Θεσσαλονίκης

Τον Οκτώβριο του 2007 οι μηχανικοί του ΕΡΓΟΣΕ επέλεξαν αυτόν τον τύπο σκυροδέματος για την κατασκευή του καταστρώματος μιας γέφυρας τρένου διπλής ηλεκτροκίνητης γραμμής στον κόλπο του Μαλιακού. Για τις ανάγκες του έργου σκυροδετήθηκαν συνολικά 6.000 κ.μ από τα οποία οι μηχανικοί απαιτούσαν  $F_{ck_{3\text{ημερών}}} \geq 42 \text{ Mpa}$ , εργασιμότητα  $\geq S5$  και  $D_{\max}=31,5$ . Τα αποτελέσματα ήταν θετικά με  $F_{ck_{3\text{ημερών}}}=47,1 \text{ Mpa}$ ,  $F_{ck_{7\text{ημερών}}}=66,4 \text{ Mpa}$ ,  $F_{ck_{28\text{ημερών}}}=79,8 \text{ Mpa}$ .



Φωτογραφία 11.12

Άλλο ένα σημαντικό κοινωφελές έργο που έγινε χρήση ΑΣΣ είναι αυτό της κατασκευής του θησαυροφυλακίου της τράπεζας της Ελλάδος στην Θεσσαλονίκη τον Νοέμβριο του 2007. Ο συνολικός όγκος του ανέρχεται στα 4.200 κ.μ με επιλεγμένη ποιότητα το C 35/45.

Υπάρχει πληθώρα παραδειγμάτων χρήσης ΑΣΣ σε ιδιωτικές κατασκευές και κυρίως οικίες. Πολλά γερασμένα κτίσματα ενισχύθηκαν στα υπόγεια τους με γενική κοιώστρωση ή με μανδύες στα υποστηλώματά τους. Εκεί είτε ήταν αδύνατη η χρήση η χρήση πρέσας είτε δεν έπρεπε να διακοπεί η κυκλοφορία.

Μία περίπτωση καθολικής χρήσης ΑΣΣ είναι αυτή των εδαφοπλακών στις γεφυροπλάστιγγες ,όπου ο οπλισμός είναι πυκνός και απαιτείται φινιρισμένη επιφάνεια.



Φωτογραφία 11.13. Βάση γεφυροπλάστιγγας ( εδαφόπλακα )

Επίσης, το ΑΣΣ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε είδους κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα, καθώς και στις επισκευές δομικών στοιχείων. Συγκεκριμένα ενδείκνυται στην ενίσχυση κατακόρυφων στοιχείων (υποστυλωμάτων), στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται μανδύες, λόγω της ευκολίας ροής του μέσα από πυκνό οπλισμό, αποφεύγοντας έτσι τη δημιουργία αδύναμων περιοχών. Ο τρόπος

της σκυροδέτησης μπορεί να γίνει μέσω εισπίεσης από το κατώτατο τμήμα των ξυλοτύπων [Εικ. 1]. Ακόμα μπορεί να εφαρμοστεί για την επισκευή βιομηχανικών δαπέδων, γεφυρών, δοκών και πλαισίων οδογεφυρών και για την επισκευή θεμελιώσεων υδραυλικών έργων.



Φωτογραφία 11.14



Φωτογραφία 11.15

Στις παραπάνω φωτογραφίες (11.13 και 11.14) γίνεται η ενίσχυση και η θεμελίωση υποστυλώματος με μανδύες, όπου η σκυροδέτηση πραγματοποιείται από ένα μόνο σημείο λόγω της δυσκολίας πρόσβασης και χωρίς δόνηση λόγω του πολύ πυκνού οπλισμού.



Φωτογραφία 11.16-11.17. Σκυροδέτηση δαπέδου πυλωτής

Αν και είναι πρόδηλο ότι η χρήση ΑΣΣ δεν αποτελεί πανάκεια για το σύνολο των κατασκευαστικών προβλημάτων, η ανάπτυξή του αποτελεί απάντηση στις περισσότερες από τις πιο προφανείς ανάγκες των διαδικασιών κατασκευής έργων όπως αύξηση της παραγωγικότητας μέσω της μεγιστοποίησης του λόγου "ποιότητας προς κόστος" και της ελαχιστοποίησης του χρόνου κατασκευής, μείωση του εργασιακού φόρτου και βελτίωση των συνθηκών εργασίας, δυνατότητα σκυροδέτησης μελών πολύπλοκης γεωμετρίας ή και με πολύ πυκνό οπλισμό. Η ταχύτατη διάδοσή του, αποτελεί απόδειξη της χρησιμότητάς του που γρήγορα θα το μετατρέψει από έναν ειδικό σε ένα κοινό τύπο σκυροδέματος.

### **11.2.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ**

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα φαίνεται να απολαμβάνει μία ραγδαία αυξανόμενη αποδοχή τόσο στον τομέα της επί τόπου δόμησης, όσο και στην προκατασκευή. Ιδιαίτερα για τον τομέα της βιομηχανοποιημένης δόμησης, η ελαχιστοποίηση του λόγου κόστους προς «ποιότητα», που αποτελεί ζητούμενο για οποιαδήποτε διαδικασία βέλτιστου σχεδιασμού των κατασκευών, φαίνεται να ικανοποιείται με μεγαλύτερη ευχέρεια με τη εισαγωγή της τεχνολογίας ΑΣΣ στην παραγωγική διαδικασία. Αυτό ισχύει διότι ο κύκλος εργασιών στην προκατασκευή χαρακτηρίζεται από επαναληψιμότητα, υψηλό βαθμό ελέγχου και απουσία διασποράς ευθυνών στα διάφορα στάδια ποιοτικού ελέγχου. Ήδη στις ΗΠΑ η πλειονότητα των παραγωγών προκατασκευασμένων δομικών ή/και αρχιτεκτονικών μελών από οπλισμένο σκυρόδεμα έχουν εισάγει τη χρήση ΑΣΣ στην καθημερινή τους παραγωγική διαδικασία (το 25% των παραγωγών κάνει χρήση ΑΣΣ για το 80% έως και το 100% της μηνιαίας παραγωγής τους, ενώ το 54% χρησιμοποιεί από 23 έως 46 m<sup>3</sup> ΑΣΣ ανά ημέρα παραγωγής – Neuwald, 2004).

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση το μέσο εκτιμώμενο μερίδιο της αγοράς προκατασκευασμένων στοιχείων από ΑΣΣ ανέρχεται περίπου στο 15~20%. Ωστόσο, το ποσοστό αυτό είναι αρκετά μεγαλύτερο σε χώρες όπου η προκατασκευή μετέχει με υψηλά ποσοστά στην ετήσια κατασκευαστική δραστηριότητα, τόσο σε έργα υποδομής όσο και σε ιδιωτικά έργα (π.χ. Γερμανία, Βέλγιο, Ολλανδία). Ειδικά στην Ολλανδία, ήδη από το 2001, η ετήσια παραγωγή στοιχείων από ΑΣΣ έχει υπερβεί τα 150.000 m<sup>3</sup> (Bennenk, 2005). Ως επί το πλείστον, τα προκατασκευασμένα από ΑΣΣ στοιχεία είναι επίπεδα στοιχεία (πρόπλακες, τοιχεία, πετάσματα κάλυψης),



υποστηλώματα και δοκοί. Όμως, αναφέρονται και άλλες εφαρμογές, όπως: τμήματα κερκίδων, πισίνες, διαχωριστικά οδοστρωμάτων και αγωγοί ανοικτής και κλειστής διατομής. Μία μελέτη σκοπιμότητας εισαγωγής του ΑΣΣ στην παραγωγική διαδικασία ενός εργοστασίου προκατασκευασμένων στοιχείων θα πρέπει να βασιστεί σε συγκρίσεις κόστους μεταξύ συμβατικού σκυροδέματος και ΑΣΣ. Οι τελευταίες θα πρέπει να πραγματοποιούνται βάσει μίας οικονομοτεχνικής θεώρησης, η οποία θα λαμβάνει υπ'όψιν της τα ακόλουθα: κόστος υλικού (πρώτες ύλες: χημικά πρόσμικτα, ορυκτά πρόσθετα, μεταφορά, ποιοτικός έλεγχος), κόστος παραγωγής υλικού (ενεργειακές απαιτήσεις ανάμιξης, απόσβεση αγοράς πρόσθετων σιλό αποθήκευσης κονιών, ποιοτικός έλεγχος), κόστος τύπων (για την περίπτωση χρήσης ΑΣΣ απαιτείται προσεκτικότερη συναρμογή των επιμέρους μερών των τύπων για την αποφυγή διαρροών), κόστος εργατικών (διάστρωση, τελειώματα), κόστος επισκευών μετά την αφαίρεση των τύπων και κόστος αποζημιώσεων σε περίπτωση εργατικών ατυχημάτων.

### **12.1. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΣΣ**

Παρακάτω παραθέτονται κάποιες παρατηρήσεις σχετικά με την εφαρμογή ΑΣΣ σε πραγματικές συνθήκες παραγωγής προκατασκευασμένων στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος.

□ Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι εργαστηριακά προκύπτουσες και προτεινόμενες συνθέσεις εφαρμόστηκαν στην παραγωγή με καμία ή με ελαχιστότατες μετατροπές (π.χ. μικρή μείωση του νερού ανάμιξης). Το στοιχείο αυτό υποδηλώνει τη συμφωνία εργαστηριακών δοκιμών και μετρήσεων πεδίου (τουλάχιστον ως προς την ποιοτική αξιολόγηση μίας σύνθεσης), κάτι το οποίο αποτελεί αμφιλεγόμενο ζήτημα στη διεθνή βιβλιογραφία και σημείο αρχικής αβεβαιότητας για τους διεξάγοντες την παρούσα έρευνα.

□ Από την επαφή με τους μεταλλότυπους / πλαστικότυπους οι επιφάνειες των στοιχείων οι οποίες προέκυψαν, ποικίλλουν σε ποιότητα ανάλογα με το είδος των χημικών προσμίκτων. Η χρήση π.χ. ενός αντιαφρογόνου χημικού παράγοντα αναμένεται να αντιμετωπίσει τα προβλήματα που σχετίζονται με το σχηματισμό φυσαλίδων, ενώ αλλαγή της μεθόδου σκυροδέτησης ή/και η χρήση εναλλακτικών προϊόντων ξεκαλουπώματος αναμένεται να δώσει λύση στη δημιουργία επιφανειακών «φωλέων». Ωστόσο, δε συστήνεται η χρήση συνδυασμού πολλών χημικών προσμίκτων.

□ Οι ελεύθερες επιφάνειες των στοιχείων ήταν επίσης αισθητικά αποδεκτές, ενώ μέθοδοι βελτίωσής τους πρέπει να προκύψουν στο εργοστάσιο μετά από επί τόπου πειραματισμό (π.χ. εξομάλυνση με τη χρήση ιδιοσυσκευής η οποία θα έχει μία ακμή ίση με το πλάτος του στοιχείου και θα σύρεται στη νωπή επιφάνεια, μετά το πέρας ικανού χρόνου έτσι ώστε το νερό της εξίδρωσης να έχει φέρει στην επιφάνεια αρκετή ποσότητα λεπτόκοκκων συστατικών).

□ Η χρήση κοχλιοφόρου θεωρείται ακατάλληλη για την περίπτωση του ΑΣΣ. Η χρήση αναρτώμενου κάδου διευκολύνει σημαντικά τη διαδικασία σκυροδέτησης επίπεδων στοιχείων.

□ Η εγκατάσταση ενός δεύτερου σιλό αποθήκευσης για την πληρωτική κονία θεωρείται απαραίτητη προϋπόθεση για την αυτοματοποίηση της παρασκευής του μίγματος και τον ευχερέστερο έλεγχο της δοσομέτρησης της παιπάλης. Το ίδιο ισχύει και για τα χημικά πρόσμικτα, οι ποσότητες των οποίων στο μίγμα θα πρέπει να εισάγονται εκ των προτέρων στο λογισμικό του παρασκευαστηρίου μαζί με τις ποσότητες όλων των υπόλοιπων συστατικών και να δοσομετρούνται με ακρίβεια.

□ Η πλήρης αυτοματοποίηση της διαδικασίας παρασκευής ενός μίγματος ΑΣΣ επιτυγχάνεται μόνο μέσω της αναβάθμισης του συστήματος ελέγχου του παρασκευαστηρίου και της εγκατάστασης ενός μετρητή ισχύος του αναμικτήρα. Η συσκευή αυτή παρέχει τη δυνατότητα μίας πρώτης αξιολόγησης της σύνθεσης από πλευράς ρεολογίας, πριν από την εκφόρτωση του μίγματος, ενημερώνοντας τον χειριστή για το παραγόμενο έργο του αναμικτήρα κατά τη φάση της ανάμιξης.

□ Η στεγανοποίηση του αναμικτήρα κατά τη φάση λειτουργίας του είναι απαραίτητη για την αποφυγή απώλειας τσιμεντοπολτού και του συνεπακολουθούμενου κινδύνου διαχωρισμού του μίγματος, είτε εντός του αναμικτήρα, είτε στον κάδο στον οποίο εκφορτώνεται.

□ Καθώς οι συνθέσεις ΑΣΣ είναι αρκετά ευαίσθητες στις διακυμάνσεις των συστατικών υλικών τους ως προς τη κοκκομετρία και την περιεκτικότητα σε υγρασία, βασική προϋπόθεση για τη σταθεροποίηση παραγωγής ΑΣΣ αποτελεί η συχνή κοκκομέτρηση των αδρανών και, δη, της άμμου λατομείου. Πιθανή μεταβολή της κοκκομετρικής διαβάθμισης ενός ή περισσότερων κλασμάτων αδρανών (π.χ. λόγω αλλαγής σπαστήρων ή/και λατομείου) αναμένεται να επιφέρει μεταβολές στα ρεολογικά χαρακτηριστικά των συνθέσεων.

□ Γνωστές και με ακρίβεια πρέπει να είναι οι περιεκτικότητες σε υγρασία των αδρανών. Σκόπιμη κρίνεται η διερεύνηση της δυνατότητας κορεσμού των αδρανών

(π.χ. με τη χρήση καταιονιστήρων στους χώρους αποθήκευσης των αδρανών), έτσι ώστε η περιεκτικότητα σε υγρασία να είναι πάντοτε γνωστή και μη μεταβαλλόμενη.

□ Τουλάχιστον για την πρώτη δόση του μίγματος, θα πρέπει να παρέχεται η δυνατότητα λήψης δείγματος από τον αναμικτήρα και διεξαγωγής των τριών βασικότερων δοκιμών νωπού ΑΣΣ (Slump Flow, V-funnel και L-box). Επανάληψη των δοκιμών θα πρέπει να γίνεται – αν όχι ανά κάθε συγκεκριμένη ποσότητα παραγόμενου ΑΣΣ – οπωσδήποτε εάν υπάρχει ένδειξη απόμιξης (π.χ. βάσει οπτικού ελέγχου, ή σχετικής ένδειξης του μετρητή ισχύος του αναμικτήρα), ή εάν έχουν μεταβληθεί σημαντικά (κατά τη διάρκεια της ίδιας ημέρας παραγωγής) οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Η εκπαίδευση του προσωπικού του εργαστηρίου για τη γρήγορη και σωστή διεξαγωγή των δοκιμών νωπού ΑΣΣ είναι απαραίτητη.

□ Η στεγανότητα όλων των μεταλλοτύπων ή των πλαστικοτύπων θα πρέπει να ελέγχεται και να εξασφαλίζεται, με ιδιαίτερη ενδελέχεια. Η απώλεια τσιμεντοπολτού από ανεπιτυχείς συναρμογές τμημάτων καλουπιών είναι σύνηθες πρόβλημα για το ΑΣΣ, τόσο στην προκατασκευή, όσο και στην επί τόπου δόμηση. Εάν τμήματα του καλουπιού πρέπει να καλυφθούν με ελαφροβαρή υλικά θερμομόνωσης (π.χ. διογκωμένη πολυστερίνη) για τη δημιουργία κενών, τότε αυτά θα πρέπει να είναι στέρεα αγκυρωμένα στη θέση τους για την αποφυγή της μετατόπισης ή ανασήκωσής τους.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο τομέας της προκατασκευής ήταν παραδοσιακά ο πρώτος αποδέκτης και εφαρμοστής των εξελίξεων αιχμής στον τομέα της τεχνολογίας σκυροδέματος. Είναι εύλογο το ότι η ελληνική προκατασκευαστική βιομηχανία οφείλει να εξετάσει το ενδεχόμενο εφαρμογής της τεχνολογίας ΑΣΣ, εάν στόχος της είναι η ανταγωνιστικότητα των προϊόντων της.. Από τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας καθίσταται σαφές ότι η προοπτική χρήσης ΑΣΣ σε εφαρμογές της ελληνικής βιομηχανίας προκατασκευής διαφαίνεται εξαιρετικά ευοίωνα.

## 12.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Ø Τόσο η θλιπτική αντοχή του ΑΣΣ, όσο και η εξέλιξή της συναρτήσει του χρόνου είναι απολύτως συγκρίσιμες με τα αντίστοιχα μεγέθη του κοινού σκυροδέματος, όταν βάση σύγκρισης είναι ο λόγος νερού προς τσιμεντοειδή υλικά.

Ø Σύμφωνα με πειράματα που έγιναν με σκοπό τη σύγκριση ΑΣΣ με συμβατικό σκυρόδεμα (ίδιας ονομαστικής θλιπτικής αντοχής από 40 έως 80 MPa), σε δείγματα υποστυλωμάτων διαστάσεων 235× 235×1400mm, προέκυψαν τα ακόλουθα ενδιαφέροντα στοιχεία. Συγκεκριμένα, για κοινό σκυρόδεμα ονομαστικής αντοχής 50MPa παρατηρήθηκε γραμμική μείωση καθ' ύψος του δείγματος, τόσο της θλιπτικής του αντοχής όσο και του μέτρου ελαστικότητας του. Δηλαδή, από πυρήνα που λήφθηκε από τη βάση του δείγματος βρήκαμε  $f MPa c' = 53$  και  $E GPa c = 37$ , ενώ από πυρήνα της κορυφής,  $f MPa c' = 46$  και  $E GPa c = 36$ . Εν αντιθέσει, το ΑΣΣ παρουσίασε ομοιόμορφη κατανομή των ιδιοτήτων του, με τη θλιπτική του αντοχή να κυμαίνεται από 45-47MPa και το  $c E$  να ισούται με 29GPa. Επίσης, προέκυψε ότι το ΑΣΣ έχει μεγαλύτερη ολκιμότητα σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα.

Ø Αξίζουν να αναφερθούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη χρήση ΑΣΣ σε γέφυρες. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε απότομη αύξηση της θλιπτικής αντοχής την 3η μέρα μετά την σκυροδέτηση, η οποία πλησιάζει το 80% της 28ης μέρας. Σε σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα η θλιπτική αντοχή του ΑΣΣ την 28η μέρα ήταν σχεδόν 100% μεγαλύτερη. Ακόμα αναφέρεται ότι από πειράματα που έγιναν, το μέτρο ελαστικότητας παρουσίασε μία αύξηση της τάξης του 30-45% πάνω από αυτήν του συμβατικού. Βέβαια στη δεδομένη εφαρμογή, δεν αναφέρεται η ακριβής σύσταση των συγκρινόμενων σκυροδεμάτων.

Ø Τόσο η εφελκυστική αντοχή του ΑΣΣ από διάρρηξη, όσο και η σχέση της με τη θλιπτική του αντοχή είναι απολύτως συγκρίσιμες με τα αντίστοιχα μεγέθη του κοινού σκυροδέματος, όταν βάση σύγκρισης είναι ο λόγος νερού προς τσιμεντοειδή υλικά. Η παρατηρούμενη διασπορά των τιμών αυτών είναι συμβατή με αυτήν του συμβατού σκυροδέματος.

Ø Η συνάφεια οπλισμού-σκυροδέματος φαίνεται να είναι η ίδια και στους δύο τύπους. Όμως δεν έχει τεκμηριωθεί ακόμα, λόγω αντιφατικών αποτελεσμάτων [2].

Ø Η συστολή ξήρανσης δε διαφοροποιείται σημαντικά από εκείνη του κοινού σκυροδέματος. Βέβαια τα πειραματικά αποτελέσματα και σ' αυτήν την περίπτωση είναι αντιφατικά.

- ∅ Η κρισιμότητα της συντήρησης είναι μεγαλύτερη για το ΑΣΣ σε σχέση με το κοινό σκυρόδεμα.
- ∅ Στο συμβατικό σκυρόδεμα ο βέλτιστος βαθμός συμπίκνωσης είναι 0.97, ενώ στο ΑΣΣ είναι 0.98-1 (ο βέλτιστος u946 βαθμός συμπίκνωσης είναι 1). Όσο απομακρυνόμαστε από τη μονάδα έχουμε μείωση της αντοχής, συγκεκριμένα για κάθε 0.01 χάνουμε 5% της αντοχής.
- ∅ Το ΑΣΣ έχει μεγαλύτερη αντίσταση στο διαχωρισμό κατά τη σκυροδέτηση, απ' ότι το συμβατικό, λόγω υψηλής συνοχής.
- ∅ Η διαπερατότητά του ΑΣΣ είναι μικρότερη από αυτή του συμβατικού εξαιτίας της μεγάλης αναλογίας μικρότερων σωματιδίων στο μίγμα. Ενδεικτικά, όταν έχουμε ΑΣΣ η διείσδυση του νερού για τον ίδιο λόγο νερού προς τσιμέντο μειώνεται κατά 1/3 σε σχέση με το συμβατικό.
- ∅ Η επιφάνεια τελειώματος του ΑΣΣ είναι καλύτερη από αυτήν του συμβατικού σκυροδέματος, με το οποίο μπορούμε να πετύχουμε παρόμοια επιφάνεια τελειώματος μόνο όταν έχουμε πολύ καλή δόνηση.
- ∅ Ο χρόνος κατασκευής μειώνεται με χρήση ΑΣΣ σε σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα, καθώς οι αναγκαίες εργασίες κατά την διάρκεια της σκυροδέτησης μειώνονται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του εργατικού κόστους.
- ∅ Με χρήση ΑΣΣ μειώνεται η ανάγκη παρουσίας εξειδικευμένου προσωπικού κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης.
- ∅ Το ΑΣΣ παρουσιάζει μεγαλύτερο κίνδυνο αποφλοιώσης λόγω πυρκαγιάς και παρόμοια συμπεριφορά σε δράση παγετού.

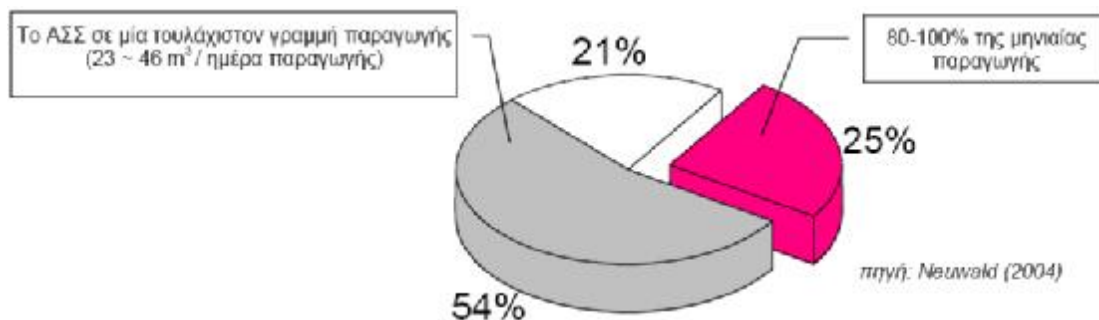
### **12.3. ΤΡΕΧΟΝΤΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Αντίθετα με την επικρατούσα άποψη, η οποία θέλει τη χρονική υστέρηση στην υιοθέτηση των επιτευγμάτων αιχμής στο πεδίο της επιστήμης των δομικών υλικών από τον κατασκευαστικό κόσμο, να ανέρχεται στα 15 έτη (Plenge, 2001), το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα φαίνεται να απολαμβάνει μία ραγδαία αυξανόμενη αποδοχή τόσο στον τομέα της επί τόπου δόμησης, όσο και στην προκατασκευή.

Ιδιαίτερα για τον τομέα της βιομηχανοποιημένης δόμησης, η ελαχιστοποίηση του λόγου κόστους προς «ποιότητα», που αποτελεί ζητούμενο για οποιαδήποτε διαδικασία βέλτιστου σχεδιασμού των κατασκευών, φαίνεται να ικανοποιείται με μεγαλύτερη ευχέρεια με τη εισαγωγή της τεχνολογίας ΑΣΣ στην παραγωγική

διαδικασία. Αυτό ισχύει διότι ο κύκλος εργασιών στην προκατασκευή χαρακτηρίζεται από επαναληψιμότητα, υψηλό βαθμό ελέγχου και απουσία διασποράς ευθυνών στα διάφορα στάδια ποιοτικού ελέγχου.

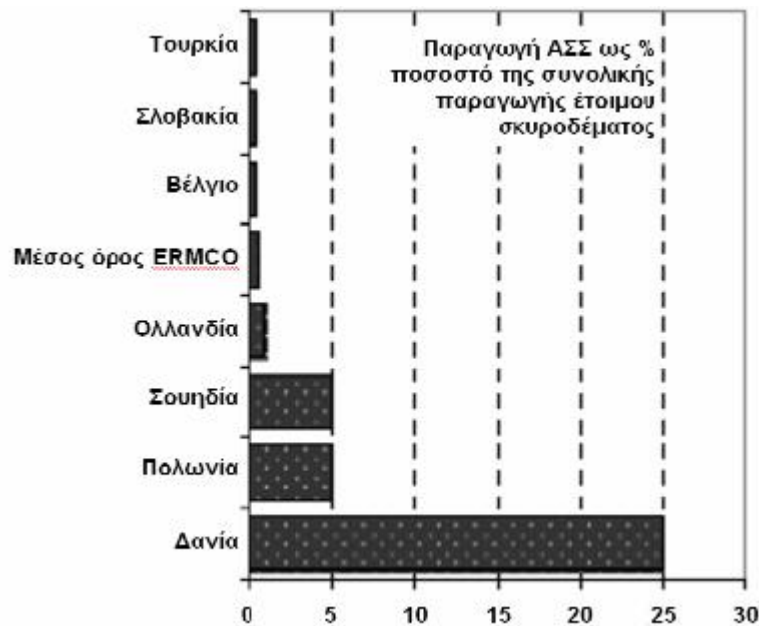
Ήδη στις ΗΠΑ η πλειονότητα των παραγωγών προκατασκευασμένων δομικών ή/και αρχιτεκτονικών μελών από οπλισμένο σκυρόδεμα έχουν εισάγει τη χρήση ΑΣΣ στην καθημερινή τους παραγωγική διαδικασία (βλ. Σχ. 24). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση το μέσο εκτιμώμενο μερίδιο της αγοράς προκατασκευασμένων στοιχείων από ΑΣΣ ανέρχεται περίπου στο 15~20%. Ωστόσο, το ποσοστό αυτό είναι αρκετά μεγαλύτερο σε χώρες όπου η προκατασκευή μετέχει με υψηλά ποσοστά στην ετήσια κατασκευαστική δραστηριότητα, τόσο σε έργα υποδομής όσο και σε ιδιωτικά έργα (π.χ. Γερμανία, Βέλγιο, Ολλανδία). Ως επί το πλείστον, τα προκατασκευασμένα από ΑΣΣ στοιχεία είναι επίπεδα στοιχεία (πρόπλακες, τοιχεία, πετάσματα κάλυψης), υποστυλώματα και δοκοί. Όμως αναφέρονται και άλλες εφαρμογές, όπως: τμήματα κερκίδων, πισίνες, διαχωριστικά οδοστρωμάτων και αγωγοί ανοικτής και κλειστής διατομής στη γραμμή παραγωγή τους.



Σχήμα 24

Στον τομέα του ετοιμού σκυροδέματος, παρά το γεγονός ότι μέχρι το τέλος του 2001 τα (μάλλον δυσεύρετα) στοιχεία στη διεθνή βιβλιογραφία για τα μεγέθη παραγωγής ετοιμού ΑΣΣ δεν υπερέβαιναν το 1%, το 2004 παρατηρείται μία σχετική αύξηση (για τα κράτη - μέλη του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Ετοιμού Σκυροδέματος - ERMCO European Ready Mixed Concrete Organization). Αν και ο μέσος όρος της παραγωγής ετοιμού ΑΣΣ, ως ποσοστό της συνολικής παραγωγής ετοιμού σκυροδέματος, κυμαινόταν στο 0.6% το 2004 (με 0.7% το 2005 και 1.2% το 2006), σε δύο χώρες (Σουηδία και Πολωνία) το ποσοστό αυτό άγγιξε το 5% (για την περίοδο 2004-2006), ενώ στη Δανία έφτασε το 25% για την περίοδο 2004-2006 (Σχ. 25) και το 28% για το 2006. Το ποσοστό αυτό αντανακλά τις προσπάθειες της Δανίας να

καταστήσει το ΑΣΣ ως το περισσότερο ευρέως χρησιμοποιούμενο σκυροδέμα εντός των συνόρων της.



Σχήμα 25. Παραγωγή έτοιμου ΑΣΣ ως ποσοστό της συνολικής παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος για τα κράτη - μέλη του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Ετοιμού Σκυροδέματος, για το έτος 2004. (ERMCO, 2005).

#### 12.4. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΟΣΤΟΥΣ

Οι συγκρίσεις κόστους μεταξύ συμβατικού σκυροδέματος και ΑΣΣ θα πρέπει να πραγματοποιούνται βάσει μίας ολιστικής οικονομοτεχνικής θεώρησης, η οποία θα λαμβάνει υπ'όψιν της τα ακόλουθα, για την περίπτωση της επί τόπου δόμησης:

- Κόστος υλικού (πρώτες ύλες: χημικά πρόσμικτα, ορυκτά πρόσθετα, μεταφορά, ποιοτικός έλεγχος)
- Κόστος παραγωγής υλικού (ενεργειακές απαιτήσεις ανάμιξης, απόσβεση αγοράς πρόσθετων σιλό αποθήκευσης κονιών, ποιοτικός έλεγχος)
- Κόστος ξυλοτύπων (εδώ ο όρος χρησιμοποιείται ευρύτερα, ανεξάρτητα από το υλικό κατασκευής των καλουπιών)
- Κόστος εργατικών για άντληση και διάστρωση
- Κόστος επισκευών μετά την αφαίρεση των ξυλοτύπων
- Κόστος αποζημιώσεων σε περίπτωση εργατικών ατυχημάτων

Η ποσοτικοποίηση των παραπάνω είναι δυσχερής, καθώς εξαρτάται από πλείστους παράγοντες, ο σημαντικότερος εκ των οποίων είναι το είδος της

εφαρμογής. Ωστόσο, μπορεί να ειπωθεί με ασφάλεια ότι η χρήση ΑΣΣ επιφέρει αύξηση του συνολικού κόστους του υλικού (πρώτες ύλες και παραγωγή) και (ίσως) του κόστους ξυλοτύπων, ενώ οι δαπάνες για όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες είναι σημαντικά μικρότερες σε σχέση με τη χρήση κοινού σκυροδέματος. Ως προς το κόστος των πρώτων υλών, τα δημοσιευμένα στοιχεία δημιουργούν κάποια σύγχυση παρουσιάζοντας το ΑΣΣ από 10% έως 50% ακριβότερο του συμβατικού (αν και προσωπική άποψη της γράφουσας είναι ότι τιμές άνω του 25% αναφέρονται σε μίγματα ΑΣΣ για τα οποία καμία προσπάθεια βελτιστοποίησης της σύνθεσής τους, από πλευράς κόστους, δε συνετελέστη). Έτσι, ως γενική θεώρηση, το ΑΣΣ είναι περίπου κατά 10-20% ακριβότερο από το κοινό (Gunnar, 2001), ενώ ΑΣΣ με διμερή ή τριμερή συστήματα συνδετικής κονίας (τσιμέντο + ιπτάμενη τέφρα, ή τσιμέντο + ιπτάμενη τέφρα + σκωρία υψικαμίνων) είναι δυνατόν να μειώσουν ακόμη περισσότερο τη διαφορά κόστους μεταξύ ΑΣΣ και κοινού.

Ωστόσο, σε επίπεδο αγοράς, θα πρέπει να γίνει κοινή συνείδηση πως σημαντικός τεχνοοικονομικός παράγοντας δεν είναι τόσο το κόστος ανά  $1\text{m}^3$  σκυροδέματος, αλλά το κόστος ανά μονάδα μετρήσιμης (και επιθυμητής) ιδιότητάς του (π.χ. ανά 1 έτος χρήσιμης διάρκειας ζωής του έργου) (Artcin, 2000). Η διαφαινόμενη τάση στην προκοστολόγηση ενός έργου (ολιστική οικονομική θεώρηση) προδιαγράφει την συνεκτίμηση τόσο των οικολογικών, όσο και των κοινωνικών επιβαρύνσεων σε όρους κόστους, για τη συνολική διάρκεια της χρήσιμης ζωής του. Κάτω από αυτό το μακροοικονομικό πρίσμα, το ΑΣΣ είναι οικονομικά συγκρίσιμο με το συμβατικό σκυρόδεμα, ενώ σε πολλές περιπτώσεις κρίνεται ως περισσότερο συμφέρον αυτού.

Για την περίπτωση της προκατασκευής, υπάρχουν επιπλέον παράγοντες, οι οποίοι ευνοούν τη χρήση ΑΣΣ από οικονομικής πλευράς, ενώ και εδώ η ποσοτικοποίηση είναι επισφαλής. Ωστόσο, εκτιμάται ότι η μείωση στην κατανάλωση ενέργειας, λόγω διακοπής της χρήσης των δονητικών τραπεζών εγγίζει το 10% (Walraven, 2001), ενώ το κόστος εργατικών για τη σκυροδέτηση στοιχείων με περίπλοκες γεωμετρίες ή/και πυκνό οπλισμό υπολογίζεται ως και 80% μικρότερο στην περίπτωση χρήσης ΑΣΣ (Brameshuber and Uebachs, 2005). Παράλληλα, οι δαπάνες επιδιόρθωσης των σκυροδετημένων με ΑΣΣ μελών εκτιμώνται περί του 1% του συνολικού κόστους παραγωγής της παρτίδας, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για την περίπτωση χρήσης κοινού σκυροδέματος ανέρχεται στο 3% (Brameshuber and Uebachs, 2005).

Περαιτέρω μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής προκατασκευασμένων δομικών στοιχείων δύναται να επιτευχθεί με τη χρήση ΑΣΣ καθώς:

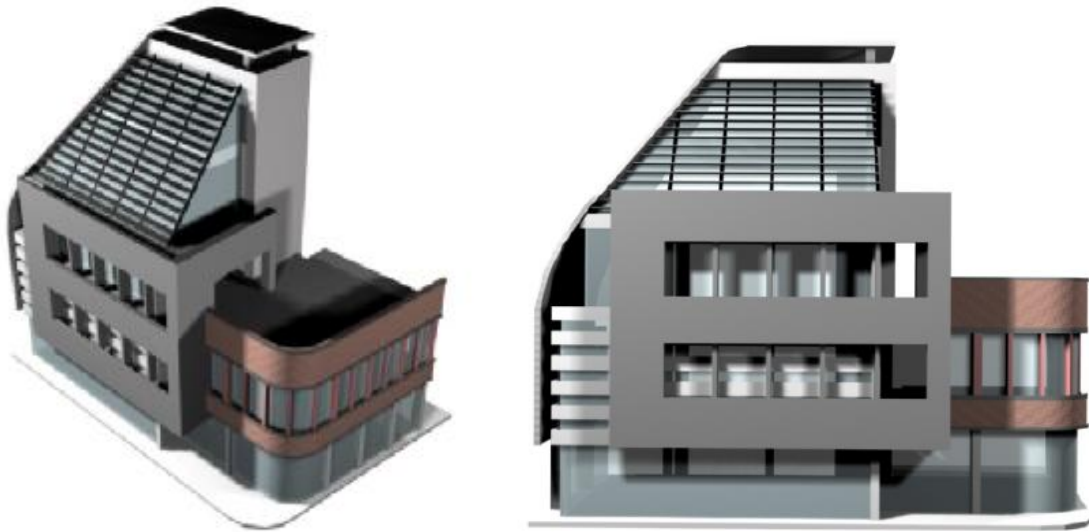


- Ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της παραγωγής του σκυροδέματος και της σκυροδέτησης των στοιχείων είναι πολύ μικρός (μικρή και ελεγχόμενη η απομείωση των ρεολογικών χαρακτηριστικών του μίγματος, επομένως μικρή η πιθανότητα απόρριψης της παραχθείσης ποσότητας σκυροδέματος).
- Ο χρόνος ο οποίος εξοικονομείται από τη σκυροδέτηση και τις εργασίες τελειοποίησης των ελεύθερων επιφανειών δύναται να χρησιμοποιηθεί για άλλες εργασίες εντός του εργοστασίου (π.χ. συναρμολόγηση νέων καλουπιών), ή/και να αυξήσει τη διάρκεια συντήρησης των στοιχείων εντός του ημερήσιου κύκλου παραγωγής, με πιθανό αποτέλεσμα την αποφυγή ενεργοβόρων μεθόδων συντήρησης (π.χ. χρήση ατμού).
- Η μείωση των εργατωρών ανά σκυροδετούμενο στοιχείο (λόγω μείωσης του χρόνου σκυροδέτησης) και των εργατωρών ανά τελιωμένο στοιχείο (λόγω μείωσης του όγκου εργασιών επιδιόρθωσης) οδηγεί σε αποτελεσματικότερο καταμερισμό των εργασιών και αποδοτικότερη αξιοποίηση του εργατικού δυναμικού.
- Η φθορά των καλουπιών λόγω της χρήσης ΑΣΣ είναι σαφώς μικρότερη σε σύγκριση με εκείνη η οποία οφείλεται στη χρήση συμβατικού σκυροδέματος.

### **13.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ-ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΞΑΝΘΗΣ**

Το αποτέλεσμα της πρώτης εφαρμογής αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος στην Ελλάδα με σκυρόδεμα χαμηλής αντοχής και σε κανονικές συνθήκες κατασκευής, πρόκειται να είναι σε ένα βιοκλιματικό κτίριο στο κέντρο της Ξάνθης που θα στεγάσει γραφεία και θα ελαχιστοποιήσει την περιβαλλοντική επιβάρυνση από τις θορυβώδεις εργασίες στο εργοτάξιο, θα μειώσει το συνολικό χρόνο κατασκευής του έργου, θα μειώσει την κίνηση στο κέντρο της πόλης σε σύγκριση με την χρήση συμβατικού σκυροδέματος και θα παρέχει εμφανείς επιφάνειες ως μέρος της αρχιτεκτονικής σύνθεσης εσωτερικά και εξωτερικά του κτιρίου, σε επί τόπου σκυροδετήσεις αλλά και σε προκατασκευασμένα στοιχεία. Με τον τρόπο αυτό θα εκπληρωθούν και βασικές παράμετροι του βιοκλιματικού σχεδιασμού όπως η δημιουργία εναλλακτικών μορφών θερμικής απόδοσης. Τέλος κατά τη διάρκεια της κατασκευής θα πραγματοποιηθούν διάφορες μετρήσεις όπως μέτρηση πιέσεων ξυλοτύπων και υπολογισμός χρόνου σκυροδέτησης και απασχολούμενου προσωπικού. Απώτερος στόχος των μετρήσεων

είναι η μετάβαση των εργασιών και των μελετών του εργαστηρίου σε πραγματικές συνθήκες κατασκευής.



### 13.2. «ΠΡΑΣΙΝΟ» ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ

Σε μια εποχή που η παγκόσμια κοινότητα, μπροστά στον κίνδυνο της ανεπανόρθωτης βλάβης του οικοσυστήματος, αφυπνίζεται από την οικολογική της συνείδηση, απευθύνεται στην επιστήμη ώστε να προτείνει μέτρα και μεθόδους φιλικές στο περιβάλλον. Η προστασία των φυσικών πόρων της Γης ιεραρχείται ψηλά στην λίστα των μέτρων και κατά συνέπεια δεν θα έμενε ανεπηρέαστη η βιομηχανία σκυροδέματος. Με υψηλό το αίσθημα ευθύνης απέναντι στον άνθρωπο και το περιβάλλον παράγει κάθε τύπο σκυροδέματος που να συνάδει με την ορθή περιβαλλοντική διαχείριση, εξοικονομεί ενέργεια, παράγει λιγότερους ρύπους και χρησιμοποιεί ανακυκλωμένα υλικά.

Σαν οικολογικά σκυροδέματα μπορούν να θεωρηθούν

- Διαφανές σκυρόδεμα (Light Transluscent)
- Διαπερατό σκυρόδεμα (Pervious Concrete)
- Δρώσες ενεργές κονίες (Powder Reactive Concretes)
- Σκυρόδεμα από ανακυκλωμένα αδρανή
- Σκυρόδεμα με 'κρύο' τσιμέντο (πχ slagstar)
- ΑΣΣ που χρησιμοποιεί σαν fillers παραπροϊόντα της βιομηχανίας

Στο ΑΣΣ οι πληρωτικές κονίες (filler) έχουν σκοπό την μείωση του κινδύνου διαχωρισμού (αύξηση πλαστικού ιξώδους) plastic viscosity.

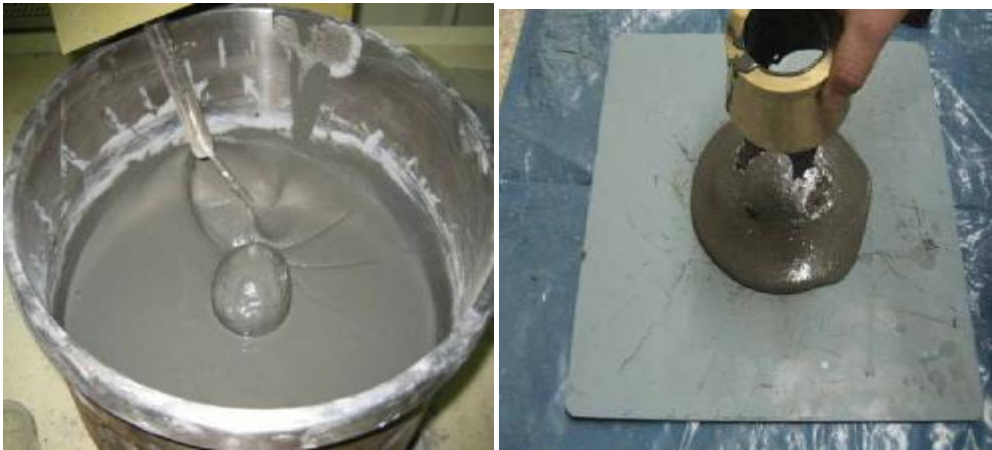
1. Παιπάλη πετρωμάτων ( $d_{max} \leq 0.125\text{mm}$ ) ασβεστόλιθοι ,γρανίτες κλπ
  2. Ιπτάμενη τέφρα, παραπροϊόν της καύσης λεπτοαλεσμένου άνθρακα στα ηλεκτροπαραγωγικά εργοστάσια(ποσοστό διερχόμενων από το κόσκινο των 0.045mm μεγαλύτερο του 75%)
  3. Πυριτική παιπάλη, εξαιρετικά λεπτόκοκκο υλικό με μέγεθος σωματιδίων 100 φορές μικρότερο από εκείνα του κοινού τσιμέντου Portland
  4. Σκωρία υψικαμίνων, λεπτότατοι κόκκοι οι οποίοι προέρχονται από κονιορτοποίηση των παραπροϊόντων υψικαμίνων σιδηρομεταλλευμάτων, είναι δηλαδή το παραπροϊόν της παρασκευής χυτού σιδήρου κατά την διαδικασία παρασκευής χάλυβα
  5. Μαρμαρόσκονη.
- Άλλα πληρωτικά υλικά είναι ,η χαλαζιακή σκόνη ,ο μετακαολίνης και η πούδρα φλοι.



Διαφανές σκυρόδεμα - Light Transluscent



Διαπερατό σκυρόδεμα - Pervious Concrete



Powder Reactive Concretes



Σκυρόδεμα από ανακυκλωμένα αδρανή



Σκυρόδεμα με 'κρύο' τσιμέντο - slagstar

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Το σκυρόδεμα θα εξακολουθήσει να είναι το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο δομικό υλικό, τουλάχιστον για το πρώτο μισό του τρέχοντος αιώνα' ποίου είδους σκυρόδεμα όμως; Το σκυρόδεμα του αύριο θα έχει χαμηλό λόγο νερού προς τσιμεντοειδή υλικά, υψηλή ανθεκτικότητα στο χρόνο και θα ικανοποιεί συγκεκριμένες επιτελεστικότητες με υψηλό βαθμό ποιότητας και αξιοπιστίας. Οι εποχές κατά τις οποίες το σκυρόδεμα θεωρείτο ένα σχετικά φθηνό υλικό «για όλες τις δουλειές» έχει περάσει ανεπιστρεπτί. Το σκυρόδεμα με το οποίο θα κατασκευάζουμε τα έργα μας θα είναι ένα κατά παραγγελίαν ("a la carte") προϊόν, με υψηλή προστιθέμενη αξία και άμεσα εξαρτώμενο, ως προς τη σύνθεσή του, με τις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε εφαρμογής. Το ΑΣΣ είναι ίσως ο πιο δημοφιλής προάγγελος των επερχόμενων αλλαγών στις κατασκευαστικές μας πρακτικές και συνήθειες.

Στην Ελλάδα, μόνο μέσω της συνεργασίας και των συντονισμένων ενεργειών όλων των εμπλεκόμενων φορέων του κατασκευαστικού τομέα θα γίνει δυνατή η αποδοχή και η σωστή εφαρμογή του ΑΣΣ στα εγχώρια τεχνικά έργα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

EFNARC "The European Guidelines for Self Compacting Concrete", May 2005.

AFGC - Association Francaise de Genie Civil, Documents scientifiques et techniques. 2000. Betons Auto-Placants. Recommendations provisoires.

Μόσχος Σ. (2004), "Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα", 10<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών-2004, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

Σίδερης Κ.Κ., Κυριτσάς Σ., Χανιωτάκης Ε. (2003), "Μηχανικά χαρακτηριστικά και ανθεκτικότητα αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων παρασκευασθέντων με ελληνικά υλικά", Εργαστήριο Τεχνολογίας Σκυροδέματος ΤΙΤΑΝ, Τμήμα Έρευνας και Ποιότητας Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ, Θράκη.

Τριανταφύλλου Θ.Χ. (2001), "Δομικά Υλικά", 4<sup>η</sup> Έκδοση, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα. Εργαστηριακός Έλεγχος Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος χαμηλού κόστους, Πρακτικά 15ου Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κ.Γ.Παπανικολάου, Δ.Γ.Φρυγανάκης, Αθ.

Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε (2005), "Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα", ΠΕΤΕΠ: 01-01-06-00:Ε1/6/05, Πρόγραμμα Δράσεων Για Τον Εκσυγχρονισμό Της Παραγωγή Των Δημ. Έργων, 2<sup>η</sup> Ομάδα Διοίκησης

ΠΕΤΕΠ: «Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα», Ινστιτούτο Οικονομίας των Κατασκευών, [www.iok.gr](http://www.iok.gr)

Α. Γεωργιάδης, Κ. Κ. Σίδερης, Ν. Αναγνωστόπουλος: «Μία βελτιωμένη μέθοδος σχεδιασμού και ποιοτικού ελέγχου μειγμάτων αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (ΑΣΣ)», πρακτικά του 15ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, 25-27 Οκτωβρίου 2006, Αλεξανδρούπολη, σελ.427-438, Τόμος Γ.

Okamura H., Ouchi M.: "Self compacting concrete. Development, present use and future", in Proceedings of the First International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, Stockholm. Sweden, September 1999, pp. 3-14.

Εφαρμογές αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος από την εταιρία Interbeton:  
Προσωπική επικοινωνία με κ. Κ. Γεωργίου, Διευθυντή Πωλήσεων  
Ιντερνπετόν Α.Ε.

Εφαρμογές αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος από την εταιρία ET BETON:  
Προσωπική επικοινωνία με κ. Χ. Βογιατζή, Διευθυντή Ποιότητας ET  
Α.Ε.

Εφαρμογές αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος από την εταιρία LAFARGE  
BETON: Προσωπική επικοινωνία με κ. Ν. Μπαχά, Τμήμα Marketing  
Lafaegε Beton, υπεύθυνη της ανάπτυξης της σειράς Agilia.

ACI Committee 237, "Self-Consolidating Concrete (ACI 237R-07)", American  
Concrete Institute (ACI) (2007)

Β.Κροκίδης, Θ.Παναγιωτίδης, Οικοδομώντας Ανθεκτικές Κατασκευές με  
Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα, Πρακτικά 14 Συνεδρίου Σκυροδέματος  
Κως 2003

Klaus Juvas, Self-Compacting Concrete – Developments in the precast Industry,  
Finland, 2004

Pierre-Claude Aitcin, Cements of yesterday and today – Concrete of tomorrow ,  
July 2000