

4

ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

1 Ορισμοί - Γενικά

Πρόσθετα ή ακριβέστερα **χημικά πρόσθετα**¹ είναι χημικές ουσίες ο οποίες προστίθενται στο μίγμα του σκυροδέματος (αλλά και κονιάματος ή ενέματος) κατά την διάρκεια (συνήθως) της ανάμιξης για να βελτιώσουν τις ιδιότητες του νωπού ή και του σκληρυμένου σκυροδέματος.

Οι ποσότητες που χρησιμοποιούνται είναι πολύ μικρές. Διατίθενται στην αγορά υπό μορφή σκόνης ή συνηθέστερα υπό μορφή υδατικού διαλύματος (με περιεκτικότητα σε πρόσθετο συνήθως περίπου 35 % έως 50 %) για να διευκολύνεται η σωστή δοσολόγηση και ανάμιξη τους. Ακόμη και στην μορφή όμως αυτή, οι ποσότητες που χρησιμοποιούνται είναι τόσο μικρές, που είναι πολύ σπάνιο να αλλοιώνονται σημαντικά οι αναλογίες σύνθεσης του σκυροδέματος και να χρειάζεται να λαμβάνεται υπόψη η επιπλέον ποσότητα νερού, που περιέχεται στο πρόσθετο, στην ολική ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται στο μίγμα. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 206 (και την Ελληνική έκδοσή του ΕΛΟΤ EN 206) αν η συνολική ποσότητα του υγρού πρόσθετου υπερβαίνει τα $3\ell / m^3$ τότε είναι απαραίτητο η ποσότητα του νερού που περιέχει το πρόσθετο να λαμβάνεται υπόψη στη σύνθεση του σκυροδέματος και στον υπολογισμό του λόγου N/T.

Η χρησιμοποιούμενη ποσότητα πρόσθετου συνήθως υπολογίζεται ως ποσοστό κατά μάζα του τσιμέντου ή του τσιμέντου και των λοιπών συνδετικών υλικών (πυριτική παιπάλη, ιπτάμενη τέφρα, σκωρία) που μπορεί να περιέχονται στο μίγμα του σκυροδέματος.

Οι ποσότητες αυτές του πρόσθετου δεν είναι μεγαλύτερες από 5 % κ.μ. αλλά συνήθως σπάνια υπερβαίνουν το 3 % με συνηθέστερα ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ του 0.3 % και 2 %.

Η χρήση των προσθέτων είναι συνεχώς αύξουσα τα τελευταία χρόνια και θα μπορούσε να λεχθεί ότι σήμερα μικρό μόνο ποσοστό των παραγόμενων σκυροδεμάτων δεν περιέχουν κάποιο πρόσθετο. Επίσης θα πρέπει να τονιστεί ότι χάρις στις εξελίξεις των προσθέτων έγινε δυνατή η παραγωγή νέων τύπων σκυροδεμάτων όπως το αυτοσυμπυκνούμενο (ή αυτοεπιπεδούμενο) σκυρόδεμα και η ευρύτερη στην πράξη παραγωγή σκυροδεμάτων με πολύ μικρή περιεκτικότητα σε νερό (σκυρόδεμα πολύ υψηλής αντοχής (100-150 MPa), σκυρόδεμα υψηλής επιτελεστικότητας).

Η παραγωγή και χρήση των πρόσθετων καλύπτονται από Πρότυπα όπως :

¹ Ο αντίστοιχος όρος στα αγγλικά είναι admixture ή chemical admixture
στα γαλλικά είναι adjuvant,
στα γερμανικά είναι zusatzmittel

- ΕΛΟΤ EN 934 (καλύπτει τους περισσότερους τύπους αλλά δεν συμπεριλαμβάνει τύπους όπως αναστολείς διάβρωσης, πρόσθετα παραγωγής αφρού, πρόσθετα παρεμπόδισης ξεπλύματος, παρεμπόδισης συστολής κ.α.),
- ASTM C 494 (ρευστοποιητικά και ρυθμιστικά της πήξης πρόσθετα) , ASTM C 260 (αερακτικά), ASTM D98 (CaCl₂ χλωριούχο ασβέστιο), ASTM C1017 (πρόσθετα για την παραγωγή ρευστού σκυροδέματος), ASTM 979 (χρωστικές ύλες για χρήση στο σκυρόδεμα).

Τα κυριότερα είδη των προσθέτων είναι:

1. Πλαστικοποιητικά ή Ρευστοποιητικά ή μειωτικά νερού,
2. Υπερ πλαστικοποιητικά ή Υπερ-ρευστοποιητικά ή ρευστοποιητικά/μειωτές νερού μεγάλης απόδοσης,
3. Αερακτικά,
4. Επιταχυντικά,
5. Επιβραδυντικά,
6. Στεγανοποιητικά ή απωθητικά νερού,
7. Συνδυασμός ρευστοποιητικών και επιβραδυντικών ή επιταχυντικών,
8. Μειωτικά συστολής ξήρανσης,
9. Αναστολείς διάβρωσης οπλισμού,
10. Παραγωγής αφρού.

Σημειώνεται ότι πολλά από τα πλαστικοποιητικά (No 1) είναι και επιβραδυντικά σε ορισμένες σχετικώς υψηλές αναλογίες ενώ τόσο τα πλαστικοποιητικά όσο και τα υπερ-πλαστικοποιητικά μπορεί να συντελέσουν στην απώλεια μέρους του αέρα που σκόπιμα εισάχθηκε σε μίγμα με χρήση αερακτικών προσθέτων.

Τα πρόσθετα εκτός από την **πρωτεύουσα** βασική δράση τους έχουν συνήθως και **δευτερεύουσα ή δευτερεύουσες** δράσεις και είναι αυτή που συχνά παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή για μία συγκεκριμένη χρήση.

Τα χημικά πρόσθετα διαφέρουν από τα **πρόσμικτα**² (βλ. αντίστοιχο κεφ.), τα οποία είναι στερεά υλικά συνήθως σε λεπτόκοκκη μορφή, τα οποία προστίθενται και αναμιγνύονται με τις πρώτες ύλες του σκυροδέματος (αδρανή, τσιμέντο, νερό) για να βελτιώσουν και αυτά τις ιδιότητες του νωπού και κυρίως του σκληρυμένου σκυροδέματος. Οι ποσότητες που χρησιμοποιούνται είναι αξιόλογες και η σύνθεση του μίγματος μεταβάλλεται σημαντικά με την χρήση των υλικών αυτών.

Πρέπει επίσης να τονισθεί ότι οι εξελίξεις που παρατηρούνται στον τομέα αυτόν τόσο στην ανάπτυξη νέων βελτιωμένων προϊόντων όσο και στην κατανόηση του μηχανισμού δράσεως

² Αγγλικός όρος additions ή mineral admixtures, Γερμανικός zusatzstoff, Γαλλικός additions

αυτών είναι ραγδαία που πολύ γρήγορα κείμενα σαν και το παρόν καθίστανται εύκολα πετपालιωμένα.

2. Ρευστοποιητικά και υπερ-ρευστοποιητικά

2.1 Γενικά

Είναι επιφανειακώς δρώντα οργανικά πολυμερή υλικά με πολύ μικρότερο μέγεθος από το μέγεθος του τσιμέντου. (π.χ. το μέγεθος του gel του λιγνοσουλφονικού πρόσθετου είναι μικρότερο από το 1/1000 του κόκκου του ανυδάττου τσιμέντου [1])

Τα ρευστοποιητικά /πλαστικοποιητικά πρόσθετα και τα υπερ-ρευστοποιητικά/υπερ-πλαστικοποιητικά έχουν κατ' αρχήν τον ίδιο μηχανισμό δράσης και διαφέρουν μεταξύ τους στον βαθμό απόδοσης ο οποίος είναι σημαντικότερος (3 - 4 φορές μεγαλύτερος) στην περίπτωση των υπερ-ρευστοποιητικών πρόσθετων. Ειδικότερα :

- Τα **συνήθη ρευστοποιητικά-πλαστικοποιητικά πρόσθετα** επιτυγχάνουν μείωση του απαιτούμενου, νερού σε σύγκριση με το ίδιο σκυρόδεμα με την ίδια εργασιμότητα χωρίς πρόσθετο, μέχρι 12 %. Συνήθως όμως επιτυγχάνονται μειώσεις που κυμαίνονται από 5 % - 10 %,
- Τα **υπερ-ρευστοποιητικά /υπερ-πλαστικοποιητικά πρόσθετα** επιτυγχάνουν μείωση του απαιτούμενου νερού σε σύγκριση με το ίδιο σκυρόδεμα με την ίδια εργασιμότητα χωρίς πρόσθετο, μεγαλύτερη από 12 % και μπορεί να υπερβεί το 30 %.

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τις σημαντικότερες διαφορές μεταξύ των δύο αυτών τύπων πρόσθετων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Σύγκριση των χαρακτηριστικών των ρευστοποιητικών και υπερ-ρευστοποιητικών

Είδος Πρόσθετου	Μείωση νερού σε σχέση με το σκυρόδεμα χωρίς πρόσθετο αλλά με την ίδια εργασιμότητα	Εύρος συνήθων δόσεων. % κ.μ. του τσιμέντου ή των συνδετικών υλικών	Επιβράδυνση της πήξης και της σκλήρυνσης	Άλλα χαρακτηριστικά
Συνήθης ρευστοποιητικό πλαστικοποιητικό	5 % - 12 %	0.2 % ~ 0.6 %	Μέτρια έως σημαντική	Μεγάλες δόσεις δεν αυξάνουν περαιτέρω τη ρευστότητα αλλά προσδίδουν σημαντική επιβράδυνση
Υπερ-ρευστοποιητικό Υπερ-πλαστικοποιητικό	> 12 % και μπορεί να υπερβεί το 30 %	0.6 % ~ 2 %	Μικρή έως μέτρια	Επιδέχονται εύκολα μετατροπή για βελτιστοποίηση σε συγκεκριμένες χρήσεις

Τα συνήθη **ρευστοποιητικά / πλαστικοποιητικά πρόσθετα** περιλαμβάνουν μια σειρά από πρόσθετα με χημική σύσταση όπως:

- i. Λιγνοσουλφονικά άλατα ή παράγωγα λιγνοσουλφονικού οξέος (που είναι φυσικά πολυμερή, υποπροϊόντα βιομηχανιών χαρτιού) (LS),
- ii. Υδροξυλιωμένα πολυμερή,
- iii. Παράγωγα υδροκαρβοξυλικών οξέων,
- iv. Πολυκαρβοξυλικούς αιθέρες (PCE),
- v. Συνδυασμό προσθέτων λιγνοσουλφονικής βάσης i, με τα ii, iii, iv ή άλλα χημικά συστατικά για την κατάλληλη μετατροπή τους ως προς τις προσδιδόμενες ιδιότητες στο σκυρόδεμα.

Αποτελούν μαζί με τα ρευστοποιητικά πρόσθετα που συνδυάζουν επιπλέον και επιβραδυντική δράση (ρευστοποιητικά + επιβραδυντικά), τα συνηθέστερα σήμερα χρησιμοποιούμενα πρόσθετα στη βιομηχανία του Έτοιμου Σκυροδέματος

Τα πρόσθετα αυτά χρησιμοποιούνται είτε για να:

- αυξήσουν την εργασιμότητα (πχ η κάθιση από 75 mm να γίνει 120 mm) χωρίς μεταβολή των ποσοτήτων σύνθεσης του μίγματος, οπότε δεν μεταβάλλεται η αντοχή αλλά το σκυρόδεμα μπορεί να διαστρωθεί ικανοποιητικά με τα διατιθέμενα μέσα,
- μειώσουν το απαιτούμενο νερό με διατήρηση της ίδιας εργασιμότητας και του τσιμέντου στο μίγμα, οπότε επιτυγχάνεται μείωση του λόγου N/T και επομένως αύξηση της αντοχής και της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος,
- να επιτευχθεί συνδυασμός των παραπάνω δράσεων δηλ μείωση του νερού αλλά και αύξηση της εργασιμότητας σε μικρότερη όμως κλίμακα από τις παραπάνω δράσεις.

Πολλά από τα πρόσθετα αυτά παρουσιάζουν συχνά επιβραδυντική δευτερεύουσα δράση σε σχετικώς μεγαλύτερες δόσεις, η οποία μπορεί να αντιστραφεί και να γίνει επιταχυντική υπό ορισμένες προϋποθέσεις [2]. Η επιβραδυντική δράση μπορεί να ελεγχθεί με συνδυασμό με επιταχυντικά πρόσθετα όπως τριαιθανολαμίνη ή με χλωριούχο ασβέστιο [2,3] (με την επισήμανση ότι η ύπαρξη του χλωρίου συνεπάγεται σημαντικό κίνδυνο διάβρωσης του χάλυβα αν η κατασκευή είναι οπλισμένη). Σημειώνεται ότι η επιβράδυνση που παρατηρείται δεν έχει καμία επίδραση στην αντοχή σε μεγάλη ηλικία

Άλλη δευτερεύουσα δράση των προσθέτων αυτών και ιδιαίτερα εκείνων με λιγνοσουλφονική βάση, είναι η εισαγωγή αέρα στο μίγμα του σκυροδέματος, ο οποίος βελτιώνει μεν την εργασιμότητα, αυξάνει την συνοχή και μειώνει την εξίδρωση, αλλά μειώνει την αντοχή και δεν βελτιώνει την ανθεκτικότητα σε εναλλαγές ψύξης απόψυξης λόγω ακατάλληλης κατανομής των πόρων του αέρα στη μάζα του σκυροδέματος. Η ανεπιθύμητη αυτή εισαγωγή αέρα είναι δυνατόν να αντιμετωπισθεί με τη χρήση αεραπαγωγικών προσθέτων όπως τριμπουτυλφωσφάτης [2].

Συνοπτικά τα πρόσθετα αυτά έχουν τις ακόλουθες επιδράσεις στο σκυρόδεμα [4]:

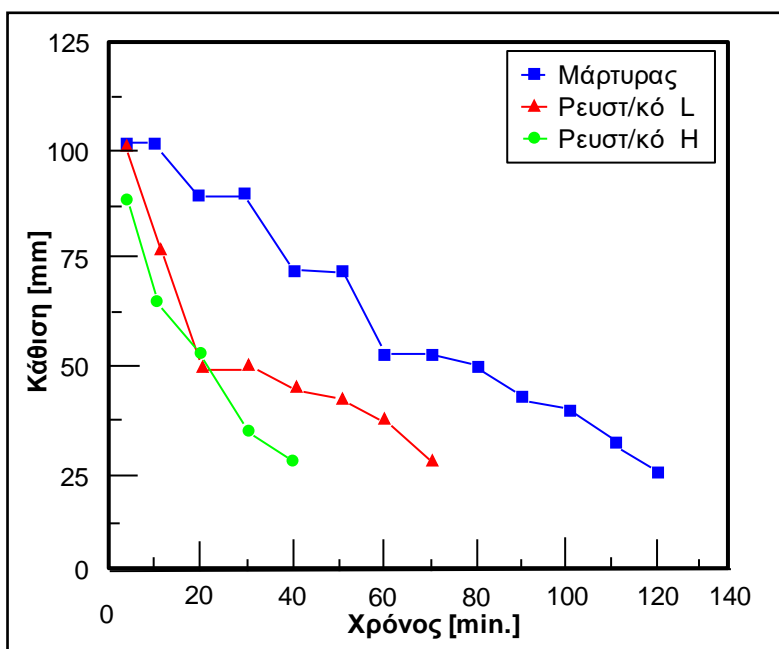
Αντοχή

Η αντοχή αυξάνει εφόσον με το πρόσθετο που χρησιμοποιείται ελαττώνεται το νερό και κατ'αναλογία και ο λόγος Ν/Τ. Το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 934-2 απαιτεί η αύξηση αυτή να είναι τουλάχιστον 10% στις 7 και 28 ημέρες. Η αντοχή σε 24 ώρες είναι συνήθως μεγαλύτερη κατά 15 %-20 %

Αν το πρόσθετο χρησιμοποιηθεί για να αυξηθεί η εργασιμότητα (δεν γίνει μείωση νερού στο μίγμα) τότε η αντοχή σε σχέση με το σκυρόδεμα χωρίς πρόσθετο δεν μεταβάλλεται. Ανάλογα με το ποσοστό και τον τύπο του πρόσθετου θα υπάρχει κάποια καθυστέρηση στην ανάπτυξη της πρώιμης αντοχής των 24 ωρών που μπορεί να είναι το 80% της αντοχής του σκυροδέματος χωρίς πρόσθετο.

Εργασιμότητα και απώλεια αυτής με τον χρόνο

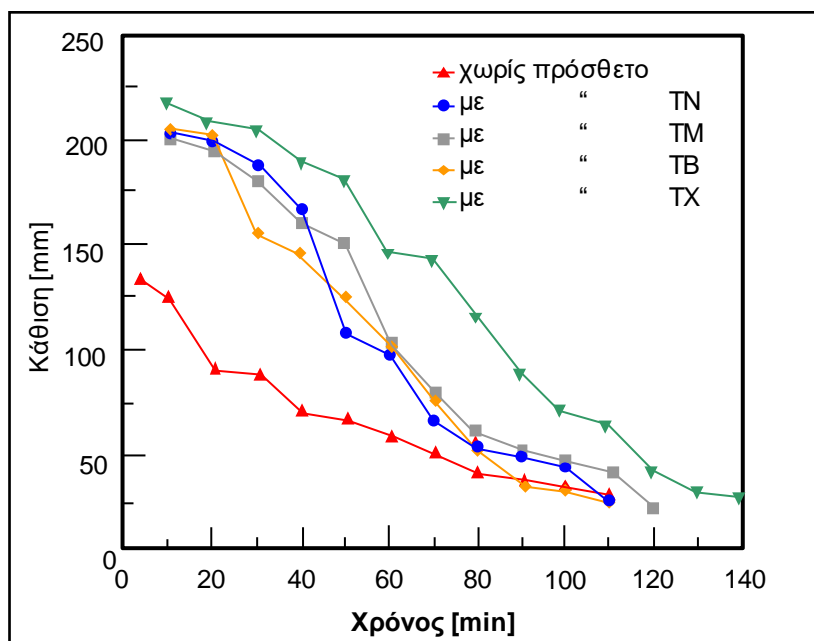
Ανάλογα με την ποσότητα του πρόσθετου, τον τύπο του τσιμέντου, τη θερμοκρασία και τα αδρανή, η κάθιση μπορεί να αυξηθεί κατά 60mm περίπου, εφόσον χρησιμοποιηθεί η ίδια ποσότητα νερού. Η μείωση της εργασιμότητας με την πάροδο του χρόνου είναι ταχύτερη συνήθως απ ότι στο αντίστοιχο σκυρόδεμα χωρίς πρόσθετο βλ. Σχ. 1, ιδιαίτερα για σχετικώς υψηλές θερμοκρασίες.



Σχ. 1: Ρυθμός απώλειας κάθισης σε σκυροδέματα με ρευστοποιητικό σε σύγκριση με το αντίστοιχο σκυρόδεμα της ίδιας κάθισης χωρίς ρευστοποιητικό (προφανώς με μεγαλύτερη ποσότητα νερού).

Εντούτοις, μπορεί να αξιοποιηθεί η δυνατότητα που παρέχει το πρόσθετο για αύξηση της εργασιμότητας και να χρησιμοποιηθεί μίγμα με μεγαλύτερη αρχική εργασιμότητα

έτσι ώστε η τιμή αυτής να παραμένει σε επιθυμητά επίπεδα σε όλο το διάστημα που απαιτείται (Σχ. 2).



Σχ. 2: Απώλεια κάθισης για σκυροδέματα με διάφορα ρευστοποιητικά και σκυροδέματος χωρίς ρευστοποιητικό αλλά με την ίδια ποσότητα νερού [5].

Χρόνος έναρξης πήξης

Η επιβραδυντική δράση του πρόσθετου για συνήθη ποσοστά δεν υπερβαίνει τα 90 min για θερμοκρασίες 15-20 °C ενώ η παρουσία Ιπτάμενης Τέφρας ή Σκωρίας Υψικαμίνων μπορεί να μεταβάλει το χρονικό αυτό διάστημα.

Περιεχόμενος αέρας

Τα πρόσθετα λιγνοσουλφονικής βάσης συνήθως προσθέτουν στο μίγμα αέρα. Η προσθήκη αυτή όμως δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 2 % (επιπλέον του αέρα που περιέχεται στο σκυροδέμα χωρίς πρόσθετο) σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 934-2 . Γενικά η προσθήκη αέρα είναι μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό του περιεχομένου αέρα στο μίγμα χωρίς πρόσθετο.

Τα πρόσθετα υδροκαρβοξυλικής και πολυζακχαριδικής βάσεως δεν προσθέτουν αέρα στο μίγμα του σκυροδέματος.

Εξίδρωση

Τα λιγνοσουλφονικής βάσεως πρόσθετα λόγω της προσθήκης αέρα μειώνουν την τάση για εξίδρωση ενώ τα υδροκαρβοξυλικής και πολυζακχαριδικής βάσεως αυξάνουν την τάση για εξίδρωση.

Παραμορφώσεις

Όταν τα πρόσθετα χρησιμοποιούνται για την αύξηση της εργασιμότητας και δεν γίνεται καμία μεταβολή στην σύνθεση του σκυροδέματος τότε τόσο η συστολή

ξήρανσης όσο και ο ερπυσμός μπορεί να έχουν μεγαλύτερη τιμή στο ρευστοποιημένο σκυρόδεμα σε σύγκριση με το σκυρόδεμα χωρίς πρόσθετο. Φυσικά όταν το πρόσθετο χρησιμοποιείται για την παραγωγή σκυροδέματος με την ίδια εργασιμότητα αλλά με μείωση του νερού (ή και του τσιμέντου) τότε η συστολή και ο ερπυσμός δεν αυξάνουν αλλά αντίθετα ενδεχομένως να ελαττώνονται λόγω της ελάττωσης του νερού (ή και του τσιμέντου).

Θερμότητα ενυδάτωσης

Δεν έχει παρατηρηθεί αύξηση της θερμότητας ενυδάτωσης όταν η χρήση του πρόσθετου δεν συνοδεύεται με μεταβολή της σύνθεσης του σκυροδέματος. Όταν η χρήση του πρόσθετου συνοδεύεται με μείωση της ποσότητας του τσιμέντου τότε αυτό συνεπάγεται και αναλογική με την μείωση του τσιμέντου μείωση της θερμότητας ενυδάτωσης.

Ανθεκτικότητα

Εφόσον η χρήση των πρόσθετων συνοδεύεται από μείωση του νερού χωρίς την μεταβολή της ποσότητας του τσιμέντου, επομένως από μείωση του λόγου N/T, η ανθεκτικότητα βελτιώνεται ακολουθώντας την μείωση του λόγου N/T.

Τα λιγνοσουλφονικής βάσεως πρόσθετα έχουν μακροχρόνια χρήση στο σκυρόδεμα (πάνω από 70 χρόνια) και δεν έχει παρατηρηθεί κανένα πρόβλημα ανθεκτικότητας που θα μπορούσε να αποδοθεί στην ύπαρξη αυτών στο σκυρόδεμα.

Υπέρβαση δόσης

Οι πιθανές συνέπειες σε περίπτωση που γίνει υπέρβαση της ποσότητας του πρόσθετου είναι η παραγωγή μίγματος επιρρεπούς σε απόμιξη και εξίδρωση με πιθανή ανεξέλεγκτη μεταβολή του περιεχόμενου ποσοστού αέρα και με σχετικά μεγάλη επιβράδυνση πήξης. Στις περιπτώσεις αυτές μπορούν να ληφθούν άμεσα μέτρα μετριασμού των συνεπειών, όπως προσεκτική διάστρωση για μείωση της απόμιξης, πρόσθετα μέτρα συντήρησης για την αποφυγή της εξάτμισης του νερού και της ξήρανσης της επιφάνειας και εξέταση της δυνατότητας επαναδόνησης για το κλείσιμο των ρωγμών από πλαστική καθίζηση του σκυροδέματος που τυχόν έχουν δημιουργηθεί.

Τα **υπερ-ρευστοποιητικά /πλαστικοποιητικά πρόσθετα** έχουν κύριο συστατικό:

- i. σουλφοριωμένα συμπτκνώματα ναφθαλενίου – φορμαλδεΐδης (SNF),
- ii. σουλφοριωμένα συμπτκνώματα μελαμίνης φορμαλδεΐδης (SMF),
- iii. πολυκαρβοξυλικοί αιθέρες,
- iv. παράγωγα συμπολυμερών βινιλίου και συμπτκνώματα αμινοσουλφονικής φορμαλδεΐδης.

Τα κύρια αυτά συστατικά μπορούν να συνδυασθούν μεταξύ τους ή με πρόσθετα λιγνοσουλφονικής βάσης (δηλ. συνήθη ρευστοποιητικά) για προσδώσουν νέα πρόσθετα με μεγάλο εύρος ρεολογικών και λοιπών χαρακτηριστικών που μπορεί να ικανοποιήσει συγκεκριμένες απαιτήσεις.

Τα υπερ-ρευσοποιητικά πρόσθετα αναπτύχθηκαν την δεκαετία του 1970 (ταυτόχρονα στη Γερμανία και την Ιαπωνία) και χρησιμοποιούνται στην προκατασκευή, στο Έτοιμο Σκυρόδεμα και σε σκυροδέματα επιτόπου για να επιτευχθεί:

- Μεγάλη αντοχή σε μικρή αλλά και μεγάλη ηλικία,
- Μεγάλη ρευστότητα /εργασιμότητα στο σκυρόδεμα σε περιπτώσεις πυκνού οπλισμού,
- Μεγάλη ανθεκτικότητα (μικρός λόγος N/T, μικρή διαπερατότητα),
- Σκυρόδεμα αυτοσυμπυκνούμενο ή μεγάλης επιτελεστικότητας.

Για την επιλογή του κατάλληλου τύπου πρέπει πάντοτε να ζητείται η συμβουλή του προμηθευτή αλλά γενικά ισχύουν τα ακόλουθα [4]:

- Τα πρόσθετα ναφθαλεϊνικής βάσης με συνήθεις δόσεις 0.7 % - 2.5 %, μειώνουν ικανοποιητικά το νερό (16 % - 25 %), διατηρούν την εργασιμότητα για αρκετό χρόνο, αλλά ευνοούν τον εγκλωβισμό μεγάλων αλλά ασταθών φυσαλίδων αέρα και έτσι (εκτός από την απώλεια αντοχής που συνεπάγεται αυτό) μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα με το τελείωμα της επιφάνειας του σκυροδέματος. Η επιβράδυνση στην πήξη συνήθως δεν υπερβαίνει τα 90 min ακόμη και σε πολύ υψηλές δόσεις,
- Τα πρόσθετα με βάση την μελαμίνη με συνήθεις δόσεις 0.7 % - 2.5 %, μειώνουν το νερό κατά περίπου 16-25%, προσδίδουν καλές πρόωρες αντοχές σε σχετικώς χαμηλές θερμοκρασίες, και πολύ καλή επιφάνεια τελειωμένου σκυροδέματος, αλλά μπορεί να παρουσιάσουν ταχεία απώλεια εργασιμότητας, ιδιαίτερα σε υψηλές θερμοκρασίες και προβλήματα εξίδρωσης και απόμιξης σε σκυροδέματα με σύνθεση που ευνοεί αυτά τα φαινόμενα. Επειδή δίνουν καλές τελειωμένες επιφάνειες και δεν έχουν χρώμα προτιμώνται σε περιπτώσεις επιφανειών από λευκό τσιμέντο ή γενικώς επιφάνειες με ιδιαίτερες απαιτήσεις τελειώματος,
- Τα πρόσθετα πολυκαρβοξυλικής βάσεως με συνήθεις δόσεις 0.3 %-1.5 %, έχουν τη βέλτιστη απόδοση στη μείωση του απαιτούμενου νερού και πολύ καλή πρόωρη αντοχή ενώ προσδίδουν πολύ καλή ρευστότητα με ικανοποιητικό χρόνο διατήρησης αυτής χωρίς συνήθως προβλήματα επιβράδυνσης της πήξης και σκλήρυνσης. Χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό στην προκατασκευή και στην παραγωγή αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

Η επίδραση των υπερ-ρευσοποιητικών πρόσθετων στο σκυρόδεμα συνοψίζεται ως ακολούθως:

Αντοχή

Χάρη στην δυνατότητα σημαντικής μείωσης του νερού που παρέχεται και την αντίστοιχη μείωση του λόγου N/T, μπορούν να επιτευχθούν σημαντικές αυξήσεις στην αντοχή και σημαντικές βελτιώσεις στην ανθεκτικότητα. Κατά το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 934-2 πρέπει να επιτευχθεί αύξηση της αντοχής σε σχέση με το αντίστοιχο μίγμα σκυροδέματος χωρίς πρόσθετο τουλάχιστον 140 % μετά από 1 ημέρα και 115 % μετά από 28 ημέρες. Αν το

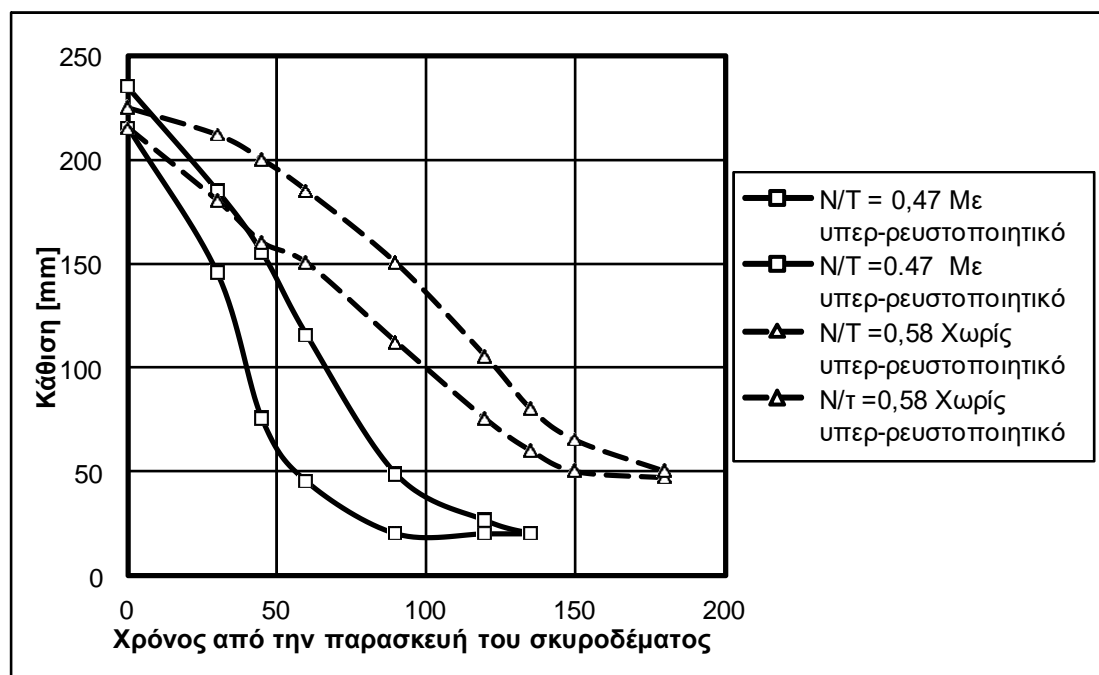
πρόσθετο χρησιμοποιηθεί για αύξηση της εργασιμότητας, χωρίς να γίνει μείωση του νερού σε σχέση με το αντίστοιχο σκυρόδεμα χωρίς πρόσθετο, τότε είναι αυτονόητο ότι δεν παρατηρείται γενικά μεταβολή στην αντοχή και την ανθεκτικότητα.

Εργασιμότητα

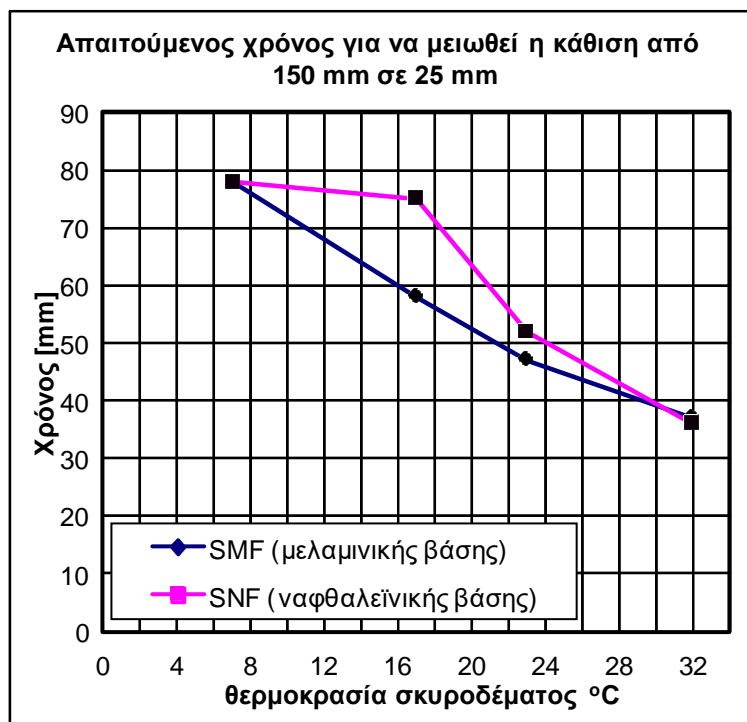
Παρέχεται η δυνατότητα σημαντικής αύξησης της εργασιμότητας σε σχέση με το μίγμα χωρίς πρόσθετο – η κάθιση π.χ. μπορεί να αυξηθεί κατά 120 mm ή περισσότερο – χωρίς συνήθως να μειωθεί η συνοχή του μίγματος. Όταν χρησιμοποιούνται υψηλές δόσεις πρόσθετου το σκυρόδεμα γίνεται πολύ ρευστό ή και αυτοσυμπυκνούμενο, αλλά υπάρχει κίνδυνος να παρουσιάσει απόμειξη ή μεγάλη εξίδρωση, παρενέργειες που μπορούν να αντιμετωπισθούν με προσθήκη λεπτόκοκκων υλικών ή με αύξηση της περιεκτικότητας σε άμμο.

Απώλεια εργασιμότητας

Η απώλεια εργασιμότητας είναι ένα θέμα που (όπως και στα απλά ρευστοποιητικά) πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη. Στο Σχ. 3 συγκρίνεται η απώλεια εργασιμότητας σε σκυρόδεμα χωρίς πρόσθετο και σε σκυρόδεμα με υπερ-ρευστοποιητικό με ναφθαλεϊνική βάση. Είναι φανερή η ταχύτερη απώλεια εργασιμότητας στο σκυρόδεμα με πρόσθετο σε σύγκριση με εκείνο χωρίς πρόσθετο. Η απώλεια αυτή γίνεται ακόμη μεγαλύτερη σε περίπτωση υψηλών θερμοκρασιών, βλ. Σχ. 4.



Σχ. 3: Απώλεια κάθισης ως συνάρτηση του χρόνου μετά την ανάμιξη σε σκυροδέματα με υπερ-ρευστοποιητικό και $N/T = 0.48$ σε σύγκριση με σκυρόδεμα χωρίς πρόσθετο και $N/T = 0.58$ [2].

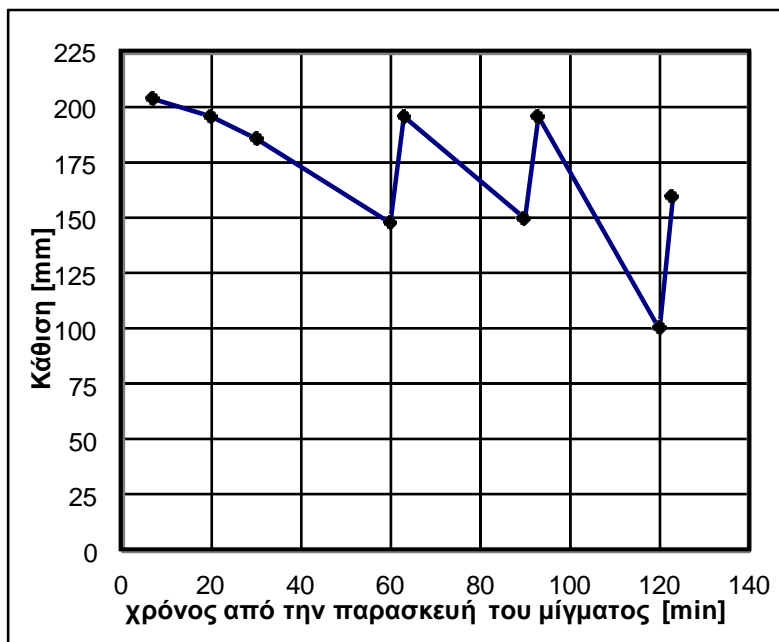


Σχ. 4: Επίδραση της θερμοκρασίας στον απαιτούμενο χρόνο για να μειωθεί η κάθιση από 150 mm σε 25 mm [6].

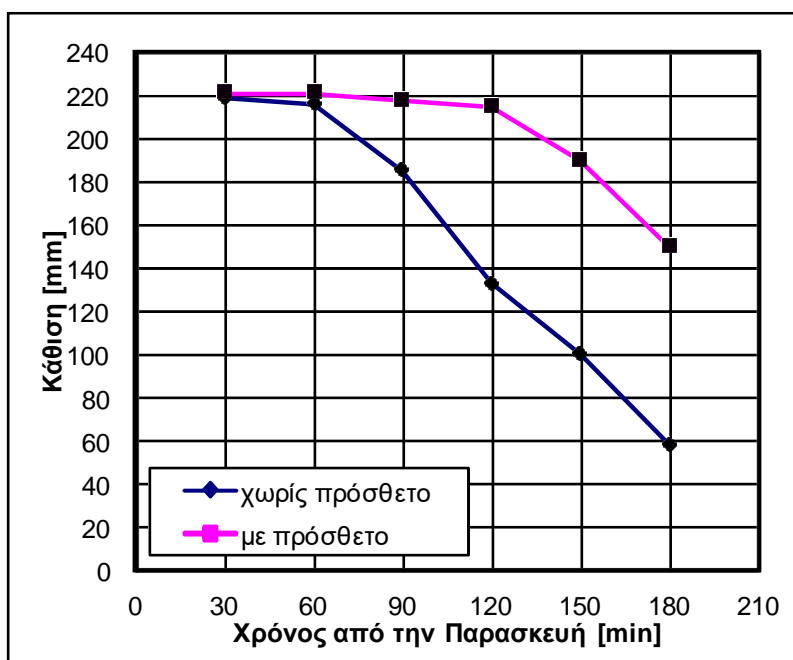
Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος συχνά η προσθήκη του υπερ-ρευστοποιητικού γίνεται στο εργοτάξιο στο αυτοκίνητο-αναμικτήρα πριν από την εκφόρτωσή του με προζυγισμένη ποσότητα πρόσθετου που προστίθεται στον αναμικτήρα του αυτοκινήτου. Στην περίπτωση αυτή η απαιτούμενη ποσότητα πρόσθετου είναι συνήθως μεγαλύτερη εκείνης που θα χρειαζόνταν αρχικά για να προστεθεί κατά την παρασκευή του σκυροδέματος διότι κατά την ανάμιξη στο εργοτάξιο θα πρέπει το πρόσθετο να ενεργήσει επιπλέον και στα προϊόντα ενυδάτωσης που έχουν σχηματιστεί ως την στιγμή της προσθήκης.

Σε ορισμένες περιπτώσεις έχει εφαρμοστεί το σύστημα της επανειλημμένης προσθήκης πρόσθετου Σχ. 5, αλλά είναι δυνατόν να παρουσιαστούν προβλήματα επιβράδυνσης της πήξης, απόμιξης και εξίδρωσης καθώς και ανεξέλεγκτης μεταβολής του ποσοστού του περιεχόμενου αέρα.

Σήμερα έχουν αναπτυχθεί υπερ-ρευστοποιητικά πρόσθετα (πολυκαρβοξυλικά, ή συμπολυμερή βινιλίου ή τροποποιημένα πρόσθετα με βάση το ναφθαλένιο) με μεγάλο χρόνο διατήρησης της εργασιμότητας που μπορεί να αντικαταστήσει με επιτυχία το σύστημα των επανειλημμένων προσθηκών πρόσθετου.



Σχ. 5: Επίδραση των επανειλημμένων αναμιξεων με υπερ-ρευστοποιητικό ναφθαλεϊνικής βάσης [2].



Σχ. 6: Απώλεια κάθισης σε συνάρτηση με τον χρόνο από την Παρασκευή του σκυροδέματος Υπερ-ρευστοποιητικά νέου τύπου [7].

Χρόνος πήξης

Τα υπερ-ρυστοποιητικά πρόσθετα (που δεν συνδυάζουν και επιβραδυντική δράση) για τις συνιστώμενες δόσεις δεν επιβραδύνουν την πήξη συνήθως περισσότερο από 2-3 ώρες σε σχέση με το αντίστοιχο μίγμα χωρίς πρόσθετο. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που παρατηρείται επιτάχυνση της πήξης.

Περιεχόμενος αέρα

Κατά το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 934-2 το πρόσθετο δεν πρέπει να αυξάνει την περιεκτικότητα σε αέρα κ.ο. περισσότερο από 2 εκατοστιαίες μονάδες (2 %). Στις περιπτώσεις σημαντικής αύξησης της εργασιμότητας (πολύ ρευστά ή αυτοσυμπυκνούμενα σκυροδέματα) είναι δυνατόν να παρουσιαστούν δυσκολίες διατήρησης σταθερού του ποσοστού του αέρα και μάλιστα σε επίπεδα ανώτερα του ποσοστού που περιέχεται στο μίγμα χωρίς πρόσθετο όπως επίσης στο να διατηρηθεί ο απαιτούμενος συντελεστής απόστασης μεταξύ των φυσαλίδων αέρα. Ιδιαίτερα προβλήματα μπορεί να παρουσιάσουν τα πρόσθετα με βάση το ναφθαλένιο και γι'αυτό σε περιπτώσεις που πρέπει να εξασφαλιστεί η ανθεκτικότητα σε επαναλαμβανόμενους κύκλους ψύξης απόψυξης χρησιμοποιούνται πρόσθετα διαφορετικής βάσεως.

Εξίδρωση

Ορισμένοι τύποι υπερ-ρυστοποιητικών μειώνουν τον περιεχόμενο αέρα με συνέπεια να αυξάνεται η επιρρέπεια σε εξίδρωση και απόμιξη του σκυροδέματος. Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί υπερ-ρυστοποιητικά που προσδίδουν συνοχή στο μίγμα και επομένως μειώνουν σημαντικά τον κίνδυνο απόμιξης και εξίδρωσης. Σε περιπτώσεις που παρατηρούνται τέτοια φαινόμενα μπορούν να αντιμετωπισθούν με αύξηση του ποσοστού της άμμου ή προσθήκη λεπτόκοκκων υλικών.

Παραμορφώσεις

Τα υπερ-ρυστοποιητικά πρόσθετα δεν αυξάνουν την συστολή ξήρανσης ούτε τον ερπυσμό και δεν επηρεάζουν το μέτρο ελαστικότητας.

Υπέρβαση δόσης

Οι πιθανές συνέπειες σε περίπτωση που γίνει υπέρβαση της ποσότητας του πρόσθετου είναι η παραγωγή μίγματος επιρρεπούς σε απόμιξη και εξίδρωση με ανεξέλεγκτη μεταβολή του περιεχόμενου ποσοστού αέρα και με σχετικά μεγάλη επιβράδυνση πήξης. Στις περιπτώσεις αυτές μπορούν να ληφθούν άμεσα μέτρα μετριασμού των συνεπειών, όπως προσεκτική διάστρωση για μείωση της απόμιξης, πρόσθετα μέτρα συντήρησης για την αποφυγή της εξάτμισης του νερού και της ξήρανσης της επιφάνειας και εξέταση της δυνατότητας επαναδόνησης για το κλείσιμο των ρωγμών από πλαστική καθίζηση του σκυροδέματος που τυχόν έχουν δημιουργηθεί.

2.2 Μηχανισμός Δράσης

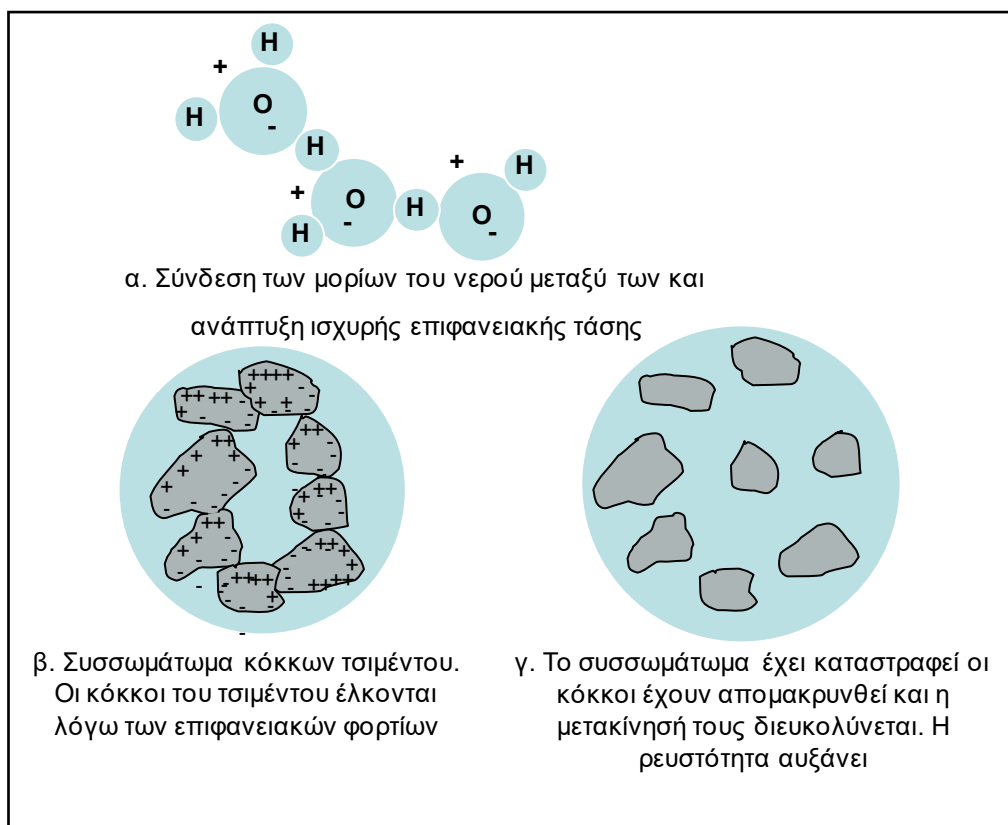
Οι ρεολογικές ιδιότητες του σκυροδέματος εξαρτώνται από αυτές του τσιμεντοπολτού ή ακριβέστερα του πολτού που σχηματίζουν το μίγμα του τσιμέντου, των λοιπών συνδετικών

υλικών που τυχόν χρησιμοποιούνται (ιπτάμενη τέφρα, ποζολάνες , πυριτική παιπάλη κ.α) καθώς και το λεπτότερο κλάσμα των αδρανών (< 125 μm περίπου) με το νερό. Το μίγμα αυτό για συντομία ονομάζεται απλώς "πολτός". Ο πολτός αυτός, που περιβάλλει τα αδρανή και τα κρατά σε μία απόσταση μεταξύ τους, παρέχει στο μίγμα του σκυροδέματος το "λιπαντικό" μέσον που εξασφαλίζει την απρόσκοπτη μετακίνηση των κόκκων των αδρανών (που αποτελούν το μέγιστο ποσοστό κατ όγκο του μίγματος) και επομένως και όλου του μίγματος. Οι ρεολογικές επομένως ιδιότητες του πολτού και το πάχος του γύρω από τα αδρανή είναι το σημαντικότερο στοιχείο που καθορίζει τις ρεολογικές ιδιότητες του σκυροδέματος. Τα πρόσθετα στοχεύουν στη βελτίωση των ρεολογικών ιδιοτήτων του πολτού.

Οι κόκκοι του τσιμέντου όταν έλθουν σε επαφή με το νερό δεν διασκορπίζονται ομοιόμορφα μέσα σε αυτό αλλά δημιουργούν (όπως και άλλες λεπτές κονίες) συσσωματώματα τα οποία σχηματίζονται, βλ. Σχ. 7β, λόγω των ηλεκτρικών φορτίων (θετικά και αρνητικά) που φέρουν οι κόκκοι του³ και λόγω της μεγάλης επιφανειακής τάσης του νερού (δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των μορίων του –δίπολο νερού, βλ. Σχ. 7α) .Τα συσσωματώματα αυτά δεσμεύουν νερό, γεγονός που σημαίνει ότι λιγότερο νερό είναι διαθέσιμο για να δράσει σαν λιπαντικό και να διευκολύνει την μετακίνηση των κόκκων μεταξύ τους και ταυτόχρονα ως ευμεγέθεις κόκκοι μειώνουν σημαντικά την ικανότητα του πολτού για μετακίνηση.

Τόσο τα συνήθη ρευστοποιητικά όσο και τα υπερ-ρευστοποιητικά πρόσθετα είναι επιφανειακώς δρώντα υλικά (τασιενεργά υλικά) με τα οποία μεταβάλλονται ή εξουδετερώνονται τα επιφανειακά φορτία των κόκκων του τσιμέντου με αποτέλεσμα την αποφυγή δημιουργίας συσσωματωμάτων ή την συγκράτηση φυσαλίδων αέρα βλ. Σχ. 7γ. Ανάλογη δράση μπορεί να έχουν και με τους λεπτούς κόκκους των πρόσμικτων υλικών (Ιπτάμενη Τέφρα, Ποζολάνες κ.α.) καθώς και με τους λεπτούς κόκκους των αδρανών (παιπάλη). Επίσης ορισμένα από τα πρόσθετα αυτά ελαττώνουν την επιφανειακή τάση του νερού με αποτέλεσμα την μείωση της τάσης για δημιουργία συσσωματωμάτων που έχουν τα μίγματα νερού και λεπτόκοκκων αδρανών υλικών ή τσιμέντου αλλά και την αύξηση του αέρα που εγκλωβίζεται στο μίγμα.

³ Οι κόκκοι του τσιμέντου φέρουν επιφανειακά θετικά και αρνητικά φορτία η δημιουργία των οποίων αποδίδεται στην διαδικασία άλεσης [8] ή/και στα πρώτα προϊόντα ενυδάτωσης που δημιουργούνται με την επαφή του τσιμέντου με το νερό [9].

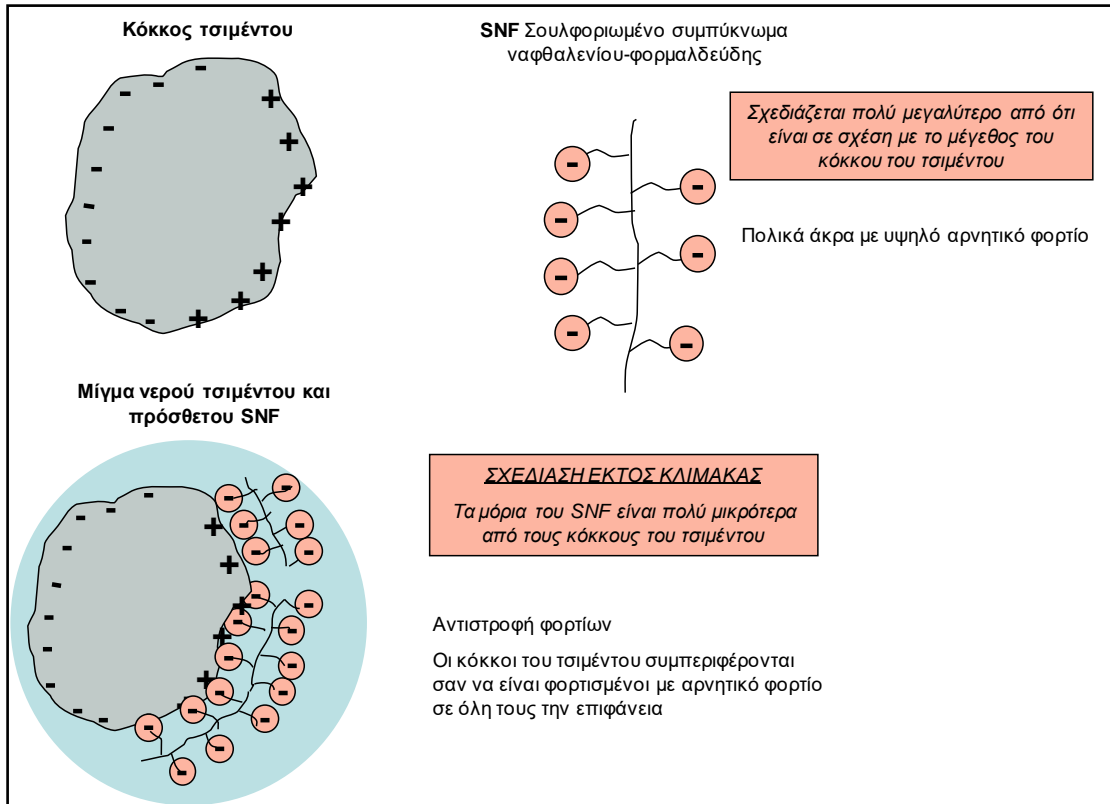


Σχ. 7: Λόγοι δημιουργίας και κατάλυσης συσσωματωμάτων τσιμέντου μέσα στο νερό.

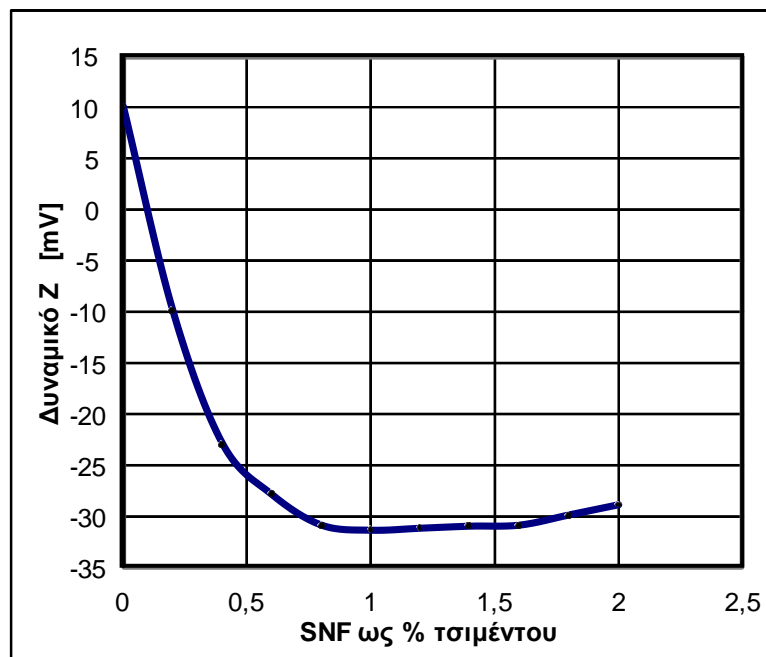
Ειδικότερα η δράση των πρόσθετων αυτών αποδίδεται στους ακόλουθους μηχανισμούς:

Τα πρόσθετα με λιγνοσουλφονική (LS), μελαμινική (SMF) ή ναφθαλεϊνική (SNF) βάση διαλυόμενα μέσα στο νερό δημιουργούν πολικά άκρα τα οποία είναι αρνητικά φορτισμένα. Το ένα άκρο τους επικολλάται στη θετικά φορτισμένη επιφάνεια του κόκκου του τσιμέντου ενώ το άλλο προεξέχει μέσα στο νερό και απωθεί τους άλλους κόκκους του τσιμέντου (που και αυτοί έχουν υποστεί τροποποίηση των φορτίων τους λόγω της δράσης των προσθέτων) βλ. Σχ. 8. Με τον τρόπο αυτό, οι κόκκοι του τσιμέντου που αρχικά είναι σε επαφή ο ένας με τον άλλο, δημιουργώντας συσσωματώματα, απομακρύνονται απωθούμενοι μεταξύ τους λόγω των ηλεκτροστατικών φορτίων των προσθέτων και διασκορπίζονται ομοιόμορφα μέσα στο νερό.

Η δράση αυτή ονομάζεται **ηλεκτροστατική απώθηση** και αποδεικνύεται με μετρήσεις του Z δυναμικού στην επιφάνεια των κόκκων του τσιμέντου Σχ. 9. Επισημαίνεται ότι μέγεθος της μεταβολής του φορτίου είναι μεγαλύτερο στα υπερ-πλαστικοποιητικά πρόσθετα (πχ SNF) σε σχέση με εκείνο των κοινών ρευστοποιητικών και σε αυτό αποδίδεται και η διαφορά στην απόδοση των δύο αυτών τύπων προσθέτων.



Σχ. 8: Δράση των πρόσθετων σουλφονικής, μελαμινικής και ναφθαλεϊνικής βάσης στα μίγματα νερού-τσιμέντου Ηλεκτροστατική απώθηση.



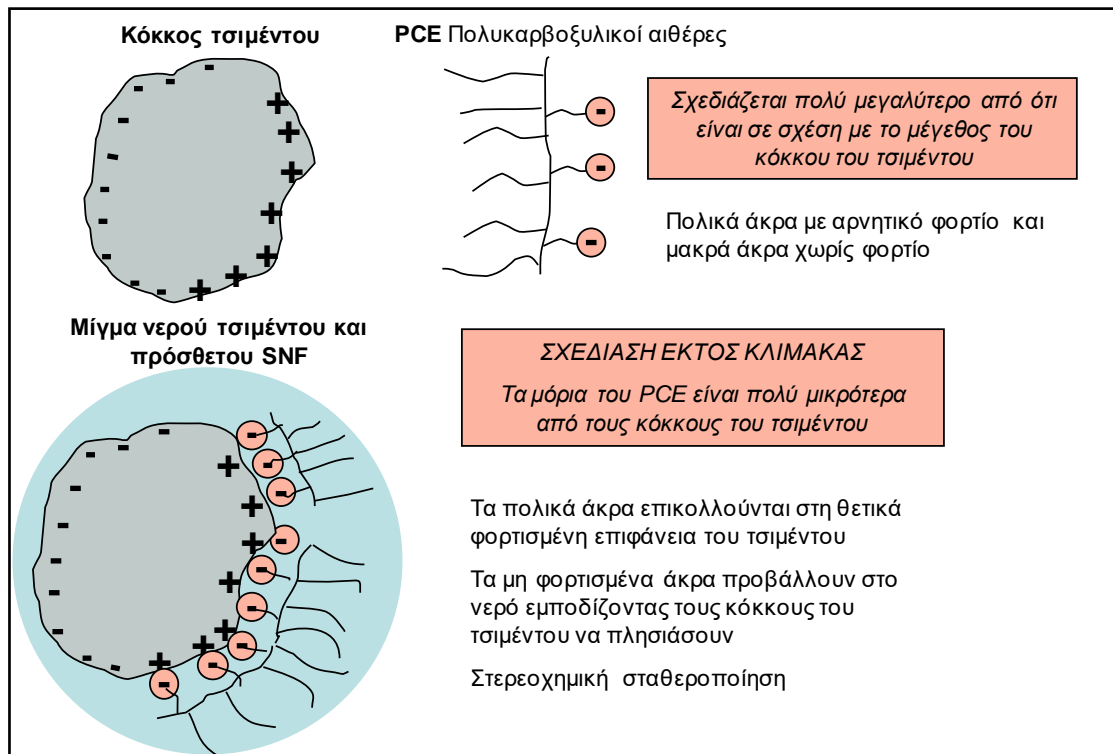
Σχ. 9: Μεταβολή του δυναμικού Z ως συνάρτηση της ποσότητας του υπερ-ρευστοποιητικού SNF [1],

Γενικά τα πρόσθετα αυτά (LS, SMF,SNF) παρουσιάζουν έντονη ρόφηση στην επιφάνεια των κόκκων του τσιμέντου και μικρή περιεκτικότητα στο νερό μεταξύ των κόκκων. Η κάλυψη της επιφάνειας των κόκκων του τσιμέντου είναι σχετικά συμπαγής, εμποδίζεται το νερό να έλθει σε επαφή με το τσιμέντο και δεν παρατηρείται δευτερεύουσα ρόφηση.

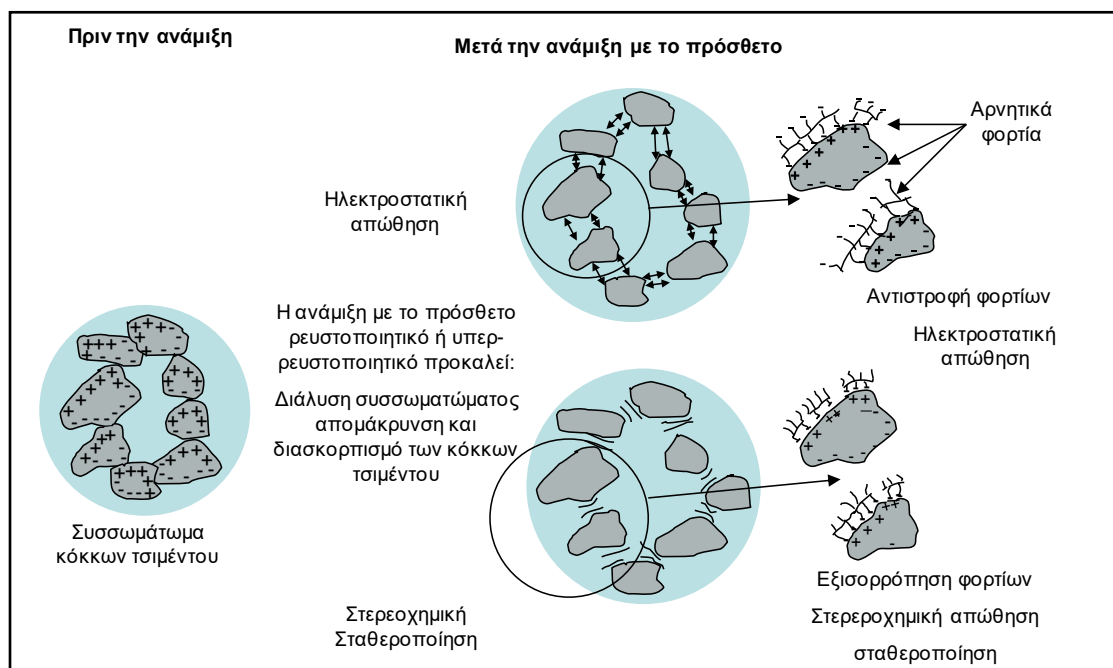
Τα πρόσθετα με καρβοξυλική βάση (PCE) έχουν κάπως διαφορετική δράση διότι το αρνητικά σχετικώς ελαφρά φορτισμένο τμήμα τους ($-CO_2^-$) επικολλάται στην επιφάνεια του τσιμέντου (θετικά φορτισμένη) ενώ τα άλλα (μεγάλου σχετικώς μήκους) άκρα τους προβάλλουν σε κάποια απόσταση από την επιφάνεια του κόκκου του τσιμέντου και εμποδίζουν μέσω της μάζας και όχι του φορτίου τους, τους άλλους κόκκους του τσιμέντου να έλθουν σε επαφή, βλ. Σχ. 10. Ειδικότερα οι κόκκοι του τσιμέντου δεν μπορούν να πλησιάσουν ο ένας τον άλλον περισσότερο από όσο τους επιτρέπουν τα άκρα του πολυμερούς που προεξέχουν από τους κόκκους και με αυτό τον τρόπο οι δυνάμεις van der Waals δεν μπορούν να αναπτύξουν αρκετή ελκτική δύναμη για να φέρουν τους κόκκους σε επαφή. Η δράση αυτή ονομάζεται **“στερεοχημική ή στερεομετρική σταθεροποίηση”**⁴. Μετρήσεις του Z δυναμικού πράγματι δείχνουν ότι δεν υπάρχει αξιόλογο αρνητικό δυναμικό στην επιφάνεια των κόκκων επιβεβαιώνοντας έτσι την απώθηση όχι μέσω ηλεκτρικών φορτίων αλλά μέσω της μάζας των άκρων του πολυμερούς πρόσθετου (PCE). Η ρόφηση του πρόσθετου PCE στην επιφάνεια των κόκκων του τσιμέντου σε αντίθεση με εκείνη των LS, SMF και SNF είναι ήπια. Η περιεκτικότητα του πρόσθετου στο νερό, υπό μορφή μη επικολλημένων στο τσιμέντο μορίων, είναι σχετικά μεγάλη και έτσι υπάρχει δυνατότητα και δεύτερης φάσης ρόφησης κατά την οποία ελεύθερα μόρια του πρόσθετου επικολλώνται σε επιφάνειες προϊόντων ενυδάτωσης που σχηματίζονται. Επίσης η παρεμπόδιση του νερού να έλθει σε επαφή με τους κόκκους του τσιμέντου δεν είναι τόσο έντονη όσο στα πρόσθετα με βάση LS, SMF και SNF.

Το Σχ. 11 συνοψίζει τις παραπάνω δύο δράσεις.

⁴ Steric stabilisation



Σχ. 10: Δράση των πρόσθετων καρβοξυλικής βάσης στο μίγμα τσιμέντου και νερού. Στερεοχημική σταθεροποίηση.



Σχ. 11: Μηχανισμός δράσης και εξουδετέρωσης των συσσωματωμάτων τσιμέντου από τα ρευστοποιητικά και υπερ-ρευστοποιητικά πρόσθετα. Σχεδίαση εκτός κλίμακος.

Οι παραπάνω μηχανισμοί δράσης μπορούν να ερμηνεύσουν πολλά χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς των διαφόρων τύπων των προσθέτων, όπως πχ την σχετικώς μικρή χρονική περίοδο κατά την οποία τα πρόσθετα είναι ενεργά. Μετά την επαφή του νερού με το τσιμέντο αρχίζουν να παράγονται διάφορα προϊόντα ενυδάτωσης. Το πρόσθετο βρίσκεται σε περιορισμένες ποσότητες μέσα στο μίγμα και το μεγαλύτερο μέρος του έχει προσροφηθεί στους κόκκους του τσιμέντου. Τα προϊόντα ενυδάτωσης (πχ ο ετριγγίτης) αναλώνουν τις διαθέσιμες ποσότητες του πρόσθετου η ισορροπία διαταράσσεται και η διασκορπιστική δράση των προσθέτων αρχίζει να ελαττώνεται οπότε η ρευστότητα του πολτού ελαττώνεται. Αντίθετα όταν οι ποσότητες του πρόσθετου είναι αρκετά μεγαλύτερη αυτής που χρειάζεται για να προσδώσει στον πολτό την απαιτούμενη ρευστότητα, τότε τα προϊόντα ενυδάτωσης εμποδίζονται να δημιουργήσουν τους απαραίτητους δεσμούς και παρατηρείται επιβράδυνση στην πήξη και την αρχική σκλήρυνση. Επομένως παράγοντες όπως η θερμοκρασία, ο τύπος του τσιμέντου, η λεπτότητα άλεσης, η περιεκτικότητα σε C_3A , SO_3 , σε αλκάλια K_2O , Na_2O επιδρώντας στην ταχύτητα δημιουργίας προϊόντων ενυδάτωσης (πχ ετριγγίτης) επηρεάζουν την απόδοση του πρόσθετου. Ο μηχανισμός επίσης δράσης του πρόσθετου – ηλεκτροστατική απώθηση ή στερεοχημική/στερεομετρική σταθεροποίηση επηρεάζει τον βαθμό με τον οποίο εξουδετερώνεται η δράση του.

Οι διαφορές στη ρόφηση των προσθέτων στην επιφάνεια των κόκκων του τσιμέντου ερμηνεύουν την διαφορετική συμπεριφορά αυτών σε σχέση με την επιβράδυνση της πήξης. Τα LS, SMF και SNF με εντονότερη ρόφηση και παρεμπόδιση του νερού να έλθει σε επαφή με το τσιμέντο επιβραδύνουν περισσότερο την πήξη σε σχέση με την λιγότερο έντονη ρόφηση των καρβοξυλικής (PCE) βάσης πρόσθετων. Η σχετικώς μεγαλύτερη συγκέντρωση πρόσθετων καρβοξυλικής βάσης (PCE) στο νερό (ελεύθερων μη προσκολλημένων στους κόκκους του τσιμέντου), η δυνατότητα δεύτερης ρόφησης (που αυτό συνεπάγεται) και η στερεοχημική σταθεροποίηση ερμηνεύουν την επί μεγαλύτερο χρονικό διάστημα διατήρηση της ρευστότητας και εργασιμότητας του σκυροδέματος σε σχέση με τα πρόσθετα με βάση LS, SMF και SNF. Τα τελευταία χαρακτηρίζονται από μικρή περιεκτικότητα ελεύθερων πρόσθετων στο νερό (μη επικολλημένων στους κόκκους του τσιμέντου) και επομένως δεν διαθέτουν ελεύθερα πρόσθετα που θα μπορούσαν να επικολληθούν στα προϊόντα ενυδάτωσης και δεν υπάρχει έτσι δυνατότητα δεύτερης ρόφησης. Το αποτέλεσμα είναι ότι χάνεται γρήγορα η διασκορπιστική ικανότητα και η ρευστότητα/εργασιμότητα ελαττώνεται ταχύτερα όταν η ηλεκτροστατική ισορροπία διαταραχθεί

Στην μεγάλη και ομοιόμορφη διασκορπιστική ικανότητα των υπερ-ρευστοποιητικών προσθέτων αποδίδεται και η ταχύτερη ενυδάτωση του τσιμέντου κάθε κόκκος του οποίου έρχεται σε επαφή με το νερό και ενυδατώνεται ταχύτερα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη υψηλών πρόωρων αντοχών. Σε αυτό το γεγονός θα μπορούσε να αποδοθεί και η ταχύτερη απώλεια εργασιμότητας που χαρακτήριζε τα υπερ-ρευστοποιητικά της πρώτης γενεάς

Το γεγονός ότι επαρκούν σχετικώς πολύ μικρές ποσότητες πρόσθετων (0.3 % έως 1.5 % κ.μ. τσιμέντου) για να επιφέρουν εντυπωσιακές αλλαγές στην εργασιμότητα του σκυροδέματος εξηγείται από το μικρό μέγεθος των πολυμερών αυτών σε σχέση με το τσιμέντο (π.χ. το λιγνοσουλφονικό microgel είναι 1/1000 του κόκκου του τσιμέντου [1])

2.3 Αποτελεσματικότητα

Η ομοιόμορφη και πλήρης ανάμιξη των πρόσθετων με το σκυρόδεμα είναι βασική προϋπόθεση αλλά πέραν αυτής η αποτελεσματικότητα των πρόσθετων αυτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από :

- το είδος του τσιμέντου (περιεκτικότητα σε C_3A , αλκάλια K, Na, ποζολάνες, θειικά SO_3 , λεπτότητα άλεσης),
- την ποσότητα του τσιμέντου στο μίγμα (η απαιτούμενη δόση μπορεί να μειώνεται όσο αυξάνει η περιεκτικότητα σε τσιμέντο),
- την ποσότητα του νερού στο μίγμα,
- το είδος των αδρανών στο μίγμα,
- την ύπαρξη εισηγμένου αέρα στο μίγμα,
- την θερμοκρασία,
- τη χρονική στιγμή που γίνεται η ανάμιξη του πρόσθετου. Έχει παρατηρηθεί ότι η αποτελεσματικότητα βελτιώνεται σημαντικά αν το πρόσθετο αναμιχθεί με μία μικρή καθυστέρηση σε σχέση με το νερό έστω και 20 δευτερολέπτων. Καθυστερήσεις μεγαλύτερες όμως των 6 min δεν φαίνεται να επιφέρουν περαιτέρω βελτίωση. Έχει διατυπωθεί η άποψη [2] ότι η θεωρητικά βέλτιστη στιγμή ανάμιξης του πρόσθετου είναι έναρξη της περιόδου αδράνειας της χημικής αντίδρασης ενυδάτωσης αλλά αυτό δεν είναι πρακτικά εύκολο να πραγματοποιηθεί. Επισημαίνεται ότι τα πρόσθετα σε καμιά περίπτωση δεν πρέπει να προστίθενται στα ξηρά αδρανή ή στο μίγμα τσιμέντου αδρανών πριν από την προσθήκη του μεγαλύτερου αν όχι όλου του νερού διότι ένα μεγάλο μέρος αυτών εξουδετερώνεται αναλίσκόμενο στην επιφάνεια των αδρανών,
- την αρχική κάθιση χωρίς πρόσθετο του σκυροδέματος. Όσο μικρότερη είναι τόσο λιγότερο αποτελεσματικό είναι το πρόσθετο. Αυτό είναι μία επιπλέον απόδειξη του κανόνα ότι τα πρόσθετα δεν χρησιμοποιούνται για διόρθωση σφαλμάτων στη σύνθεση του σκυροδέματος και ότι κάθε προσπάθεια πρέπει να καταβάλλεται έτσι ώστε η σύνθεση να είναι η καλύτερη δυνατή για να επιτευχθεί και η μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα των προσθέτων.

Επισημαίνεται ότι η ομοιόμορφη ανάμιξη των πρόσθετων στο σκυρόδεμα έχει πολύ μεγάλη σημασία ιδιαίτερα σε περιπτώσεις διάστρωσης δαπέδων – οδοστρωμάτων όπου τυχόν ανεπαρκής ανάμιξη θα επιφέρει ανομοιομορφία συμπίκνωσης και τελειώματος της

επιφάνειας με δυσάρεστες συνέπειες. Ειδικότερα σε περιπτώσεις τελειώματος της επιφάνειας με ελικόπτερα η ανομοιομορφία ανάμιξης του πρόσθετου προκαλεί απολεπίσεις και αποφλοιώσεις στην επιφάνεια του δαπέδου οι οποίες δύσκολα επιδιορθώνονται.

Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι τα πρόσθετα που διατίθενται στο εμπόριο μπορεί να περιέχουν δευτερεύουσες χημικές ουσίες, οι οποίες έχουν σκοπό να εξουδετερώσουν ή μετριάσουν ή ακόμη να μεταβάλουν τις δευτερεύουσες δράσεις της κύριας ουσίας του πρόσθετου (πχ μπορεί να περιέχουν επιταχυντή ή αεραπαγωγικό) ή να είναι μίγματα με άλλα επιφανειακά δρώντα υλικά. Η δράση των υλικών αυτών με το τσιμέντο και τα άλλα συστατικά του σκυροδέματος μπορεί να είναι διαφορετική από την αναμενόμενη.

Επομένως από όλα τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι είναι απαραίτητο να προηγείται της εφαρμογής των προσθέτων λεπτομερής συζήτηση με τον προμηθευτή και παρασκευή δοκιμαστικών μιγμάτων για να ερευνηθούν διεξοδικά όλοι οι παραπάνω παράγοντες .

2.4 Βασικά ρεολογικά χαρακτηριστικά

Η επίδραση του νερού και των προσθέτων στα ρεολογικά χαρακτηριστικά του τσιμεντοπολτού (προσομοίωμα Bingham) όπως προκύπτουν από δοκιμές με περιστρεφόμενο κυλινδρικό ρεόμετρο (Viskomat)(βλ κεφ 3 Νωπό Σκυρόδεμα) φαίνονται στο Σχ 12α και 12β για τσιμεντοπολτό χωρίς πρόσθετο και για τσιμεντοπολτό με πρόσθετο [9] . Σύμφωνα με το όργανο αυτό, κυλινδρικό δοχείο με τσιμεντοπολτό περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα περιστροφής (περιστροφές /λεπτό rpm) και μετράται η αντίσταση στην περιστροφή (ροπή αντίστασης σε N·mm) μέσω ενός πτερυγίου που είναι βυθισμένο στον τσιμεντοπολτό. Η σχέση ταχύτητας περιστροφής $T\pi$ και ροπής αντίστασης P καταγράφεται αυτόματα μέσω Η/Υ για διάφορες ταχύτητες N και έχει την μορφή:

$$P = g + h (T\pi)$$

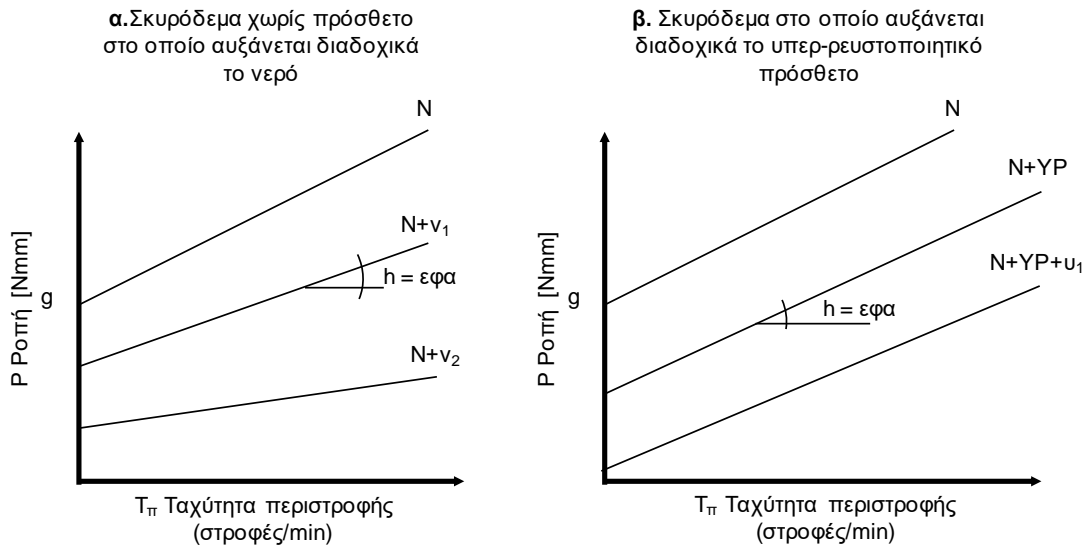
Όπου g είναι η ροπή έναρξης περιστροφής- ροής και

h είναι το ιξώδες του τσιμεντοπολτού

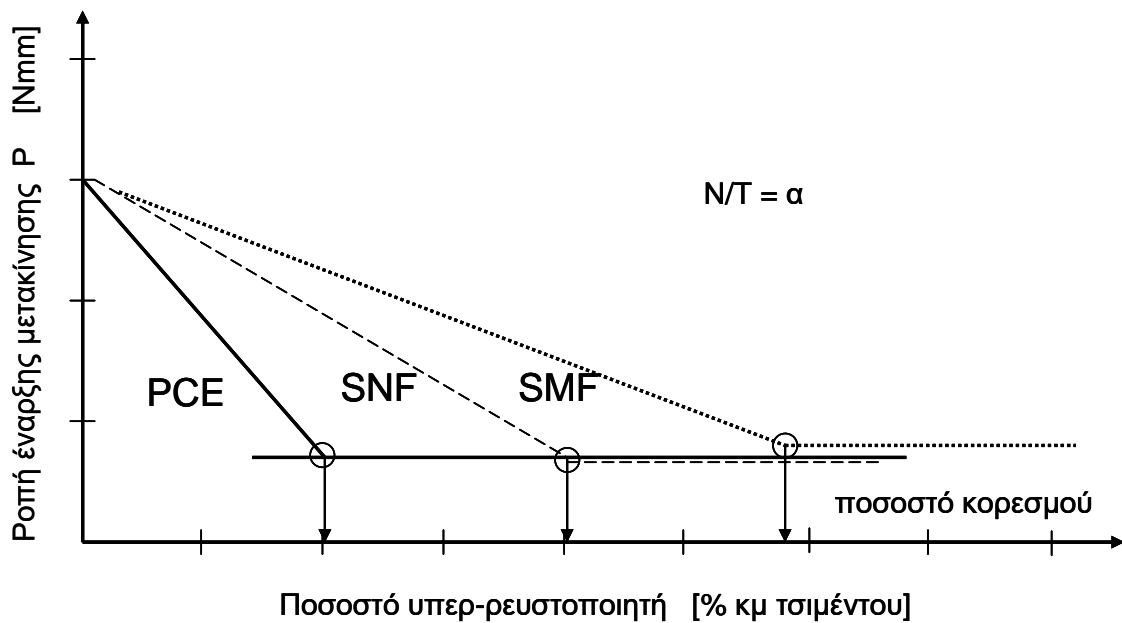
Από το Σχ. 12α φαίνεται ότι η αύξηση του νερού στο σκυρόδεμα χωρίς πρόσθετο ελαττώνει την **ροπή έναρξης περιστροφής** g και το **πλαστικό ιξώδες** h , γεγονός που σημαίνει ότι η αύξηση του νερού γρήγορα θα προκαλέσει απόμιξη λόγω υπερβολικής μείωσης του ιξώδους. Από το Σχ. 12β γίνεται φανερό ότι η αύξηση του ποσοστού του πρόσθετου ελαττώνει την τάση έναρξης ροής ενώ το πλαστικό ιξώδες παραμένει σχεδόν αμετάβλητο και επομένως ο κίνδυνος απόμιξης είναι μικρός.

Στο Σχ. 13 φαίνεται ότι η αύξηση του ποσοστού του πρόσθετου μειώνει την τάση έναρξης ροής g μέχρι ενός σημείου μετά το οποίο οποιαδήποτε αύξηση του πρόσθετου δεν επιφέρει

περαιτέρω μείωση της τάσης έναρξης ροής . Το σημείο αυτό ονομάζεται **σημείο κορεσμού** και είναι διαφορετικό για κάθε είδος πρόσθετου [9].



Σχ. 12: Ρεολογικά χαρακτηριστικά σκυροδέματος χωρίς πρόσθετο και με πρόσθετο και επίδραση της ποσότητας του νερού (N) ή του υπερ-ρευστοποιητικού πρόσθετου (YP)



Σχ. 13: Μεταβολή της τιμής της “ροπής για έναρξη μετακίνησης” με το ποσοστό του υπερ-ρευστοποιητή. Ποσοστό κορεσμού [10].

3. Αερακτικά πρόσθετα

Είναι επιφανειακώς δρώντα υλικά τα οποία υποβιβάζουν την επιφανειακή τάση του νερού οπότε διευκολύνεται η δημιουργία φυσαλίδων αέρα και επιδρούν στην διεπιφάνεια νερού και αέρα για να εμποδίσουν την συγχώνευση των μικροσκοπικών φυσαλίδων μεταξύ τους. Σε αντίθεση με τα ρευστοποιητικά και τα υπερ-ρευστοποιητικά πρόσθετα τα αερακτικά πρόσθετα θεωρείται ότι καθιστούν τους κόκκους του τσιμέντου υδρόφοβους έτσι ώστε οι φυσαλίδες να μπορούν να εκδιώκουν το νερό και να επικολλώνται στην επιφάνεια των κόκκων. Βασική απαίτηση από τα πρόσθετα αυτά είναι να δημιουργήσουν μεγάλο αριθμό μικροσκοπικών φυσαλίδων με διάμετρο μικρότερη από 0.3 mm, οι οποίες να είναι ομοιόμορφα διασκορπισμένες στη μάζα του σκυροδέματος. Σκοπός της δημιουργίας των μικροσκοπικών αυτών φυσαλίδων αέρα είναι να δράσουν σαν εκτονωτές της πίεσεως στο τριχοειδές σύστημα του σκυροδέματος, όταν η θερμοκρασία κατέλθει κάτω του μηδενός και το νερό μέσα στο σύστημα αυτό αρχίζει και παγώνει. Έχει παρατηρηθεί ότι οι φυσαλίδες αυτές δεν γεμίζουν με νερό ακόμη και σε κορεσμένο σκυροδέμα και έτσι η ανθεκτικότητα αυτού στις επανειλημμένες ψύξεις και αποψύξεις του σκυροδέματος είναι αυξημένη. Αυξημένη είναι επίσης η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε αντιπαγωτικά άλατα. Η χρήση αερακτικών προσθέτων είναι γενικευμένη στις χώρες με κρύο κλίμα αλλά στη χώρα μας επιβάλλεται στις περιοχές της Β. Ελλάδας για σκυροδέματα που είναι εκτεθειμένα σε κύκλους ψύξης απόψυξης (σε απροστάτευτο - ανεπίχριστο σκυροδέμα όπως πχ δάπεδα αεροδρομίων, φορείς γεφυρών κ.α).

Οι συνηθισμένες δόσεις του αερακτικού είναι 0.2 % - 0.3 % κ.μ τσιμέντου. Η απαιτούμενη δόση αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας (ιδιαίτερα πάνω από 20 °C) καθώς και με αυξημένη περιεκτικότητα των αδρανών σε παιπάλη. Η απαιτούμενη δόση επηρεάζεται επίσης από τον τύπο και την λεπτότητα του τσιμέντου καθώς και από την χρήση πυριτικής παιπάλης ή ιπτάμενης τέφρας. Ιδιαίτερα για την περίπτωση ιπτάμενης τέφρας η ύπαρξη υπολείμματος άνθρακα μπορεί να αυξήσει σημαντικά την απαιτούμενη δόση

Η εισαγωγή αέρα στο σκυροδέμα μειώνει την αντοχή Για κάθε μια εκατοστιαία μονάδα αέρα (1 %) η αντοχή μειώνεται κατά 5 % - 6 %. Αυτό εν μέρει αντισταθμίζεται από την δυνατότητα μείωσης του νερού επειδή οι φυσαλίδες αέρα, δρώντας ως μειωτές τριβών, αυξάνουν την εργασιμότητα και επομένως για να διατηρηθεί η ίδια εργασιμότητα το νερό μπορεί να μειωθεί.

Υπέρβαση δόσης

Υπερβαση της δόσης έχει σαν αποτέλεσμα την εισαγωγή περισσότερου αέρα από τον προβλεπόμενο και επομένως απρόβλεπτη μείωση της αντοχής

Συμβατότητα με άλλα πρόσθετα

Επισημαίνεται ότι ορισμένα αερακτικά πρόσθετα μπορεί να μην είναι συμβατά με άλλα πρόσθετα που πρέπει να χρησιμοποιηθούν και γιαυτό θα πρέπει πάντοτε να προηγείται συνεννόηση με τους προμηθευτές των πρόσθετων.

4 Ρυθμιστές πήξης – Επιβραδυντικά – Επιταχυντικά πρόσθετα

4.1 Γενικά

Τα **επιταχυντικά** και τα **επιβραδυντικά πρόσθετα**, τα οποία ονομάζονται γενικά **ρυθμιστές πήξης**, είναι υλικά που αναπτύσσουν χημική δράση με τα παράγωγα της ενυδάτωσης του τσιμέντου ή επιδρούν στο ρυθμό διάλυσης των ιόντων ασβεστίου ή των αργιλικών ιόντων με αποτέλεσμα την επιβράδυνση ή επιτάχυνση της ενυδάτωσης μιας ή περισσότερων φάσεων του τσιμέντου (συνηθέστερα C₃A, C₃S) ή την παρεμπόδιση της δημιουργίας (κατακρήμνισης) Ca(OH)₂ (Πορτλαντίτη) [3]. Σε ορισμένα από τα πρόσθετα αυτά παρατηρείται το φαινόμενο της αντιστροφής της δράσης (από επιβραδυντικά μετατρέπονται σε επιταχυντικά) αν η ποσότητα που θα χρησιμοποιηθεί υπερβεί ένα ορισμένο όριο [8]

4.2 Επιβραδυντικά επιβραδυντικά-ρευστοποιητικά πρόσθετα

Τα επιβραδυντικά πρόσθετα πρέπει να επιβραδύνουν την πήξη περισσότερο από 90 min αλλά όχι περισσότερο από 360 min. Αν συνδυάζουν και ρευστοποιητική ή υπερ-ρευστοποιητική δράση θα πρέπει επιπλέον να μειώνουν το απαιτούμενο νερό μεταξύ 5 % και 12 % και άνω του 12 % αντίστοιχα.

Ως απλά επιβραδυντικά πρόσθετα χρησιμοποιούνται:

- σάκχαρο και άλλοι πολυσακχαρίτες κιτρικό οξύ,
- ταρταρικό οξύ,
- άλατα βορικού οξέως,
- άλατα φωσφορικού, πολυφωσφορικού και φοσφονικού οξέως.

Τα κυριότερα πρόσθετα που συνδυάζουν ρευστοποιητική και επιβραδυντική δράση είναι:

- άλατα υδροξυ-καρβοξυλικού οξέος,
- υδροξυλιωμένα πολυμερή,
- άλατα λιγνοσουλφονικού οξέος,
- τα παραπάνω μπορεί να συνδυαστούν με σουλφοριωμένα συμπυκνώματα ναφθαλενίου φορμαλδεΐδης ή σουλφοριωμένα συμπυκνώματα μελαμίνης φορμαλδεΐδης για την παραγωγή πρόσθετων με υπερ-ρευστοποιητική δράση.

Τα πρόσθετα αυτά και ιδιαίτερα τα πρόσθετα που συνδυάζουν ρευστοποιητική και επιβραδυντική δράση βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στο “Έτοιμο Σκυρόδεμα” κατά την διάρκεια των θερμών περιόδων του έτους. Εκτιμάται ότι η κατηγορία αυτή των πρόσθετων είναι εκείνη που έχει την μεγαλύτερη εφαρμογή στη χώρα μας.

Τα επιβραδυντικά πρόσθετα χρησιμοποιούνται για να αποφευχθούν οι δημιουργίες ασύνδετων μεταξύ δύο διαστρώσεων αρμών, σε περιπτώσεις που οι διαστρώσεις λόγω της φύσεως του έργου γίνονται σε διάστημα που υπερβαίνει τα 20 - 30 min. Στις περιπτώσεις αυτές αν το σκυρόδεμα της διαστρωθείσας στρώσης έχει επιβραδυντικό τότε ακόμη και αν έχει απωλέσει την εργασιμότητά του σε μεγάλο βαθμό, είναι δυνατόν να συγκολληθεί με το νέο αρκεί στην περιοχή του αρμού να γίνει ισχυρή δόνηση του νέου. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνουν διαδοχικές διαστρώσεις με αρκετή χρονική καθυστέρηση αρκεί η ήδη διαστρωθείσα στρώση να προστατεύεται από την ξήρανση με σκέπασμα με υγρή λινάτσα. Η διαδικασία αυτή γίνεται κρίσιμη όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι υψηλή αλλά απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή γιατί η δραστηριότητα του επιβραδυντικού αλλά και του ρευστοποιητικού-επιβραδυντικού μειώνεται σημαντικά. Η μέθοδος χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις διαστρώσεων δαπέδων σκυροδέματος κατά λωρίδες για να επιτευχθεί συγκόλληση της μίας λωρίδας με την άλλη και σε περιπτώσεις διαστρώσεων μεγάλου πάχους όπου η έκλυση θερμότητας ενυδάτωσης από τις κατώτερες στρώσεις επιταχύνει την ενυδάτωση και την πήξη των ανώτερων με αποτέλεσμα την μη συγκόλληση των στρώσεων και την ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας του σκυροδέματος. Η χρήση επιβραδυντικού είναι επιβεβλημένη

Τα πρόσθετα αυτά χρησιμοποιούνται επίσης για να διατηρηθεί η επιθυμητή εργασιμότητα σε μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα επιβραδυντικά ενώ δεν επηρεάζουν την εργασιμότητα του μίγματος εντούτοις, βοηθούν στη διατήρηση αυτής με τον χρόνο, ιδιαίτερα σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες. Περισσότερο αποδοτικά όμως είναι τα πρόσθετα που συνδυάζουν ρευστοποιητική και επιβραδυντική δράση διότι με αυτά είναι δυνατόν να αυξηθεί σημαντικά η αρχική εργασιμότητα και έτσι να διατηρηθεί η επιθυμητή εργασιμότητα σε όλο το χρονικό διάστημα, βλ. Σχ. 2.

Επιλογή πρόσθετου:

Η δραστηριότητα των επιβραδυντικών επηρεάζεται από τη θερμοκρασία με αύξηση επιβράδυνσης σε χαμηλές θερμοκρασίες και μείωση σε υψηλές

Σε περίπτωση που επιδιώκεται μόνο επιβράδυνση συνιστάται να γίνει διάγραμμα δόσης πρόσθετου –επιβράδυνσης για την θερμοκρασία που εκτιμάται ότι θα γίνει η διάστρωση. Τα φωσφορικής βάσης επιβραδυντικά έχουν το πλεονέκτημα ότι η σχέση δόσης-επιβράδυνσης είναι γραμμική, γεγονός που παρουσιάζει σημαντική πρακτική ευκολία. Αντίθετα τα πρόσθετα με βάση τη sucrose ή polysaccharides ενώ είναι περισσότερο αποδοτικά έχουν εκθετική καμπύλη δόσης –επιβράδυνσης γεγονός που προσδίδει πρακτικές δυσκολίες στον καθορισμό

της απαιτούμενης δόσης. Τα πρόσθετα αυτά συνήθως αναμιγνύονται με πρόσθετα λιγνοσουλφονικής βάσης για την παραγωγή μικτών πρόσθετων με ρευστοποιητική και επιβραδυντική δράση, τα οποία προσθέτουν ένα ποσοστό αέρα και παράγουν μίγματα με συνοχή και πλαστικότητα χωρίς εξίδρωση. Τα υδροξυλικής ή καρβοξυλικής βάσης πρόσθετα μπορεί να μειώσουν τον περιεχόμενο αέρα και επομένως να ελαττώσουν την συνοχή και να αυξήσουν έτσι τη εξίδρωση και την τάση για απόμιξη. Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή η επιλογή του πρόσθετου καθορίζεται συχνά από τη δευτερεύουσα δράση αυτού.

Θα πρέπει να ληφθεί επίσης υπόψη ότι τα επιβραδυντικά, ενώ δεν επηρεάζουν άμεσα την εξίδρωση, επιμηκύνουν όμως τον χρόνο κατά τον οποίο το σκυρόδεμα είναι νωπό και επομένως μπορεί να παρουσιάζει εξίδρωση, επομένως έμμεσα συμβάλλουν στην αύξηση της εξίδρωσης.

Τύπος Τσιμέντου

Από άποψη χημικής σύνθεσης μικρές περιεκτικότητες σε C_3A ελαττώνουν τις απαιτήσεις σε πρόσθετο και μεγάλες τις αυξάνουν.

Τα τσιμέντα τύπου CEM I απαιτούν συνήθως το μεγαλύτερο ποσοστό πρόσθετου ενώ τα τύπου CEM II με ποζολάνες ή ιπτάμενες τέφρες και τα τύπου CEM III με σκωρίες συνήθως απαιτούν μικρότερες ποσότητες πρόσθετου.

Υπέρβαση δόσης

Υπέρβαση της συνήθους δόσης, γεγονός όχι πολύ σπάνιο, προκαλεί κατ' αρχήν αύξηση της επιβράδυνσης και σε περίπτωση επιβραδυντικού-ρευστοποιητικού, αύξηση της ρευστότητας. Στις περιπτώσεις αυτές συνιστώνται να λαμβάνονται μέτρα προφύλαξης του σκυροδέματος:

- από απόμιξη κατά την μεταφορά, διάστρωση και συμπίκνωση, σε περίπτωση που το σκυρόδεμα λόγω μεγάλης ρευστότητας παρουσιάζει κίνδυνο απόμιξης,
- από παραμορφώσεις λόγω υποχώρησης των ξυλοτύπων αλλά κυρίως από ξήρανση αφού το σκυρόδεμα για 1 - 3 ημέρες θα είναι λόγω επιβράδυνσης σχεδόν νωπό. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να ληφθούν πρόσθετα μέτρα συντήρησης και προφύλαξης από ξήρανση.

Αν η υπέρβαση της δόσης δεν είναι υπερβολική, οι επιπτώσεις από την επιβράδυνση εξαλείφονται μετά από κάποιο χρονικό διάστημα και το σκυρόδεμα θα ανακτήσει την αντοχή μετά από 2 ή 3 ημέρες. Αν όμως το σκυρόδεμα παραμένει νωπό χωρίς σημεία σκλήρυνσης μετά από 5 ημέρες είναι αμφίβολο αν θα μπορέσει να αποκτήσει την απαιτούμενη αντοχή σε πρακτικά λογικό διάστημα.

4.3 Επιταχυντικά πρόσθετα

Τα πρόσθετα αυτά επιταχύνουν την πήξη ή την σκλήρυνση και σπανιότερα ταυτόχρονα και την πήξη και την σκλήρυνση.

Το φθηνότερο και αποδοτικότερο επιταχυντικό τόσο για την πήξη όσο και για την σκλήρυνση είναι το χλωριούχο ασβέστιο CaCl_2 ή $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ του οποίου όμως η χρήση περιορίζεται μόνο στο άοπλο σκυρόδεμα λόγω του κινδύνου διάβρωσης του οπλισμού από το περιεχόμενο χλώριο.

Ευρεία εμπορική χρήση βρίσκουν το νιτρικό ασβέστιο και το νιτρώδες ασβέστιο το τελευταίο παρέχει επίσης και επιτάχυνση στη σκλήρυνση ενώ το πρώτο θεωρείται ότι παρέχει αναστολή διάβρωσης. Τα αντίστοιχα άλατα του νατρίου (πχ NaCl) έχουν μικρότερη επιταχυντική δράση από CaCl_2 αλλά επίσης η χρήση τους λόγω της αύξησης της περιεκτικότητας σε Na και της συνεπαγόμενης αύξησης των αλκαλίων στο σκυρόδεμα. Η τριαιθανολαμίνη χρησιμοποιείται συνήθως με τα ρευστοποιητικά πρόσθετα με λιγνοσουλφονική βάση αλλά γενικά η χρήση της παρουσιάζει πρακτικές δυσκολίες λόγω της υπερευαισθησίας του υλικού στις μεταβολές των δόσεων και στην χημική σύνθεση του τσιμέντου.

Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις χαμηλών θερμοκρασιών για επιτάχυνση της πήξης ή και της σκλήρυνσης σε περιπτώσεις:

- δαπέδων από σκυρόδεμα για να επισπευθεί ο χρόνος που τα ελικόπτερα θα μπορέσουν να επιπεδώσουν την επιφάνεια,
- που επιδιώκεται επίσπευση της ενυδάτωσης έτσι ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος παγοπληξίας. Σημειώνεται ότι το σκυρόδεμα μπορεί να χρειάζεται περαιτέρω κατάλληλη προστασία για τις χαμηλές θερμοκρασίες,
- που απαιτείται η ταχύτερη απομάκρυνση των τύπων.

Σε περιπτώσεις κανονικών θερμοκρασιών στις οποίες επιζητείται ταχεία ανάπτυξη αντοχής για αφαίρεση των ξυλοτύπων (προκατασκευή) κ.α η καλύτερη (τεχνικά και οικονομικά) μέθοδος είναι να χρησιμοποιηθεί υπερευαισθητικό πρόσθετο και δραστηκή μείωση του λόγου N/T η οποία θα επιφέρει σημαντική αύξηση της αντοχής σε 24 ωρ. Επιταχυντικά πρόσθετα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με υπερ-ρευστοποιητικά για επίτευξη πολύ υψηλών αντοχών σε λιγότερες από 24 ώρες σε περιπτώσεις χαμηλών θερμοκρασιών. Οι περισσότερες όμως στην πράξη περιπτώσεις καλύπτονται με τη χρήση μόνον υπερ-ρευστοποιητικών.

Άλλη περίπτωση χρήσης επιταχυντικών είναι σε διάφορες επισκευές όταν απαιτείται μεγάλη ταχύτητα στην απόδοση του έργου και σε αποφράξεις διαρροών νερού.

Βιβλιογραφία

1. J. Dransfield Admixtures for concrete, mortar, and grout. Στο Advanced Concrete Technology edited by J.Newman & Ban Seng Chao Elsevier 2003
2. A. Neville Concrete Technology
3. Ι. Παπαγιάννη Πρόσθετα Σκυροδέματος Δελτίον ΣΠΜΕ
4. CAA Cement Admixtures Association, Technical data sheets, Information sheets.
5. S. Kosmatka et al Design and Control of Concrete Mixtures Cement Association of Canada 2002
6. D. Whiting Effect of mixing temperature on slump loss and setting time of concrete containing high-range water reducers. Cement, Concrete, and Aggregates Vol2, No1, 1980 pp31-38
7. I. Soroca Concrete in hot climates E.F.Spon 1993, 2004
8. K.Mehta and P. Monteiro Concrete McGraw-Hill 3rd Edition 2006
9. G.Spaka, H.Grube, G.Thielen Operative mechanism of plasticizing concrete admixtures Betontechnische Berichte 1995-1997
10. G Thielen G Spanka, H. Grube Adjusting the consistency of concrete using superplasticizers. Betontechnische Berichte 1995-1997