

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΡΑΣΗΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΜΕ ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Δρ. Παναγιώτης Χατζηαγοράστου

Υπεύθυνος E&A Προσμίκτων Σκυροδέματος & Ειδικών Κονιαμάτων, ISOMAT ABEE

Λέξεις κλειδιά: Τσιμέντο, Υπερρευστοποιητές σκυροδέματος, Μηχανισμός δράσης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η εισήγηση αναφέρεται στις διάφορες κατηγορίες υπερρευστοποιητών ανάλογα με την χημική τους βάση, στον μηχανισμό δράσης, στα πεδία εφαρμογής και στη βελτίωση των ιδιοτήτων του νωπού και του σκληρυμένου σκυροδέματος που προκύπτουν από την χρήση τους. Για την κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τσιμέντου και υπερρευστοποιητών γίνεται σύντομη αναφορά στην ενυδάτωση του τσιμέντου μέσα από φωτογραφίες Περιβαλλοντικού Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης τύπου ESEM. Επίσης δίνεται έμφαση στην εφαρμογή και στον μηχανισμό δράσης των καινοτόμων πολυκαρβοξυλικών υπερρευστοποιητών σκυροδέματος.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την παραγωγή του τσιμέντου γίνεται όπτηση (ψήσιμο) κονιοποιημένου μίγματος (φαρίνα), το οποίο αποτελείται κύρια από ασβεστόλιθο και άργιλο, σε περιστροφική κάμινο. Στην κάμινο, όπου αναπτύσσονται θερμοκρασίες έως και 1500 °C, γίνονται οι χημικές αντιδράσεις, οπότε σχηματίζονται μικρές σφαίρες μέχρι 3 cm, που παρουσιάζουν υαλώδη επιφανειακή επίτηξη και ονομάζονται διεθνώς κλίνκερ (clinker, όστρακα). Το τσιμέντο ως τελικό προϊόν προκύπτει από την συνάλεση του κλίνκερ με γύψο (Βιάζης, Γ., 2003). Με την προσθήκη ιπτάμενης τέφρας, σκωρίας υψικαμίνου, ποζολάνης και ασβεστόλιθου μπορούν να παρασκευαστούν τσιμέντα με διαφορετικές χημικές και φυσικές ιδιότητες.

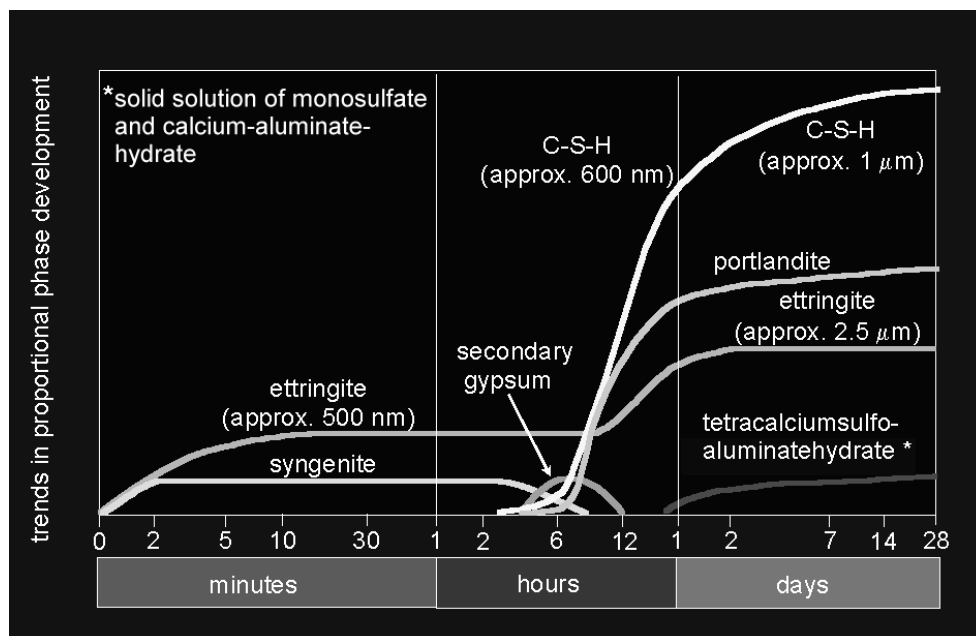
1.1 Χημική σύσταση, φάσεις και ενυδάτωση του τσιμέντου

Το κλίνκερ αποτελείται από ασβεστοπυριτικές, ασβεσταργλικές και ασβεστοσιδηραργλικές ενώσεις, σύμφωνα με τον πίνακα 1:

Πίνακας 1. Χημική σύσταση του κλίνκερ (Stark, J. 2000)

+Χημικός τύπος	Σύντμηση	Ονομασία ορυκτού	Ποσοστό
$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_3S	Αλίτης	40-80 %
$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_2S	Βελίτης	2-30%
$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	Αργλική φάση	3-15%
$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	Φάση του φερρίτη	4-15%
CaO	C	Ελευθέρα άσβεστος	~1%
MgO	---	Περίκλαστο	2-3%

Με την βοήθεια της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας ESEM (Danilatos, G. 1988) ο καθ. Stark συνοψίζει στην εικόνα 1 τα στάδια της ενυδάτωσης του τσιμέντου:



Εικόνα 1. Μοντέλο της ενυδάτωσης του τσιμέντου (Stark, J. 2003).

Κατά την διάρκεια των πρώτων ωρών παρατηρείται προσωρινός σχηματισμός Συγγκενίτη $\text{K}_2\text{SO}_4\cdot\text{CaSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ (Syngenite) στην εικόνα 2. Μετά περίπου 5 ώρες οι κρύσταλλοι του συγγκενίτη αντικαθίστανται από κρυστάλλους γύψου ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) και θειϊκού καλίου (K_2SO_4).



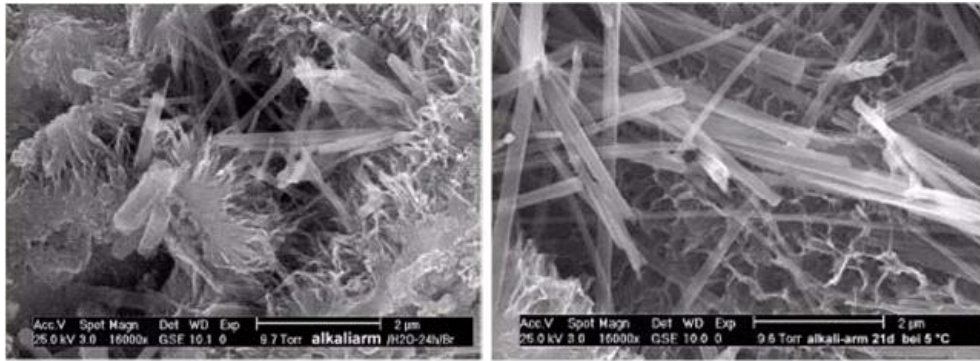
Εικόνα 2. Κρύσταλλοι Συγγκενίτη (Stark, J. 2003).

Στην αρχή της ενυδάτωσης μετά 10 λεπτά, μαζί με τον Συγγκενίτη δημιουργούνται κρύσταλλοι Ετρίνγκιτη ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$), που αρχικά έχουν μήκος 300 - 500 nm και πάχος 50 έως 250 nm (εικ. 3).



Εικόνα 3. Κρύσταλλοι Ετρίνγκιτη και Συγγκενίτη (Stark, J. 2003).

Μεταξύ 12 και 24 ωρών αυξάνεται το μέγεθος των κρυστάλλων του Ετρινγκίτη στο διαμήκη άξονα έως 2,5 μm (εικ. 4).



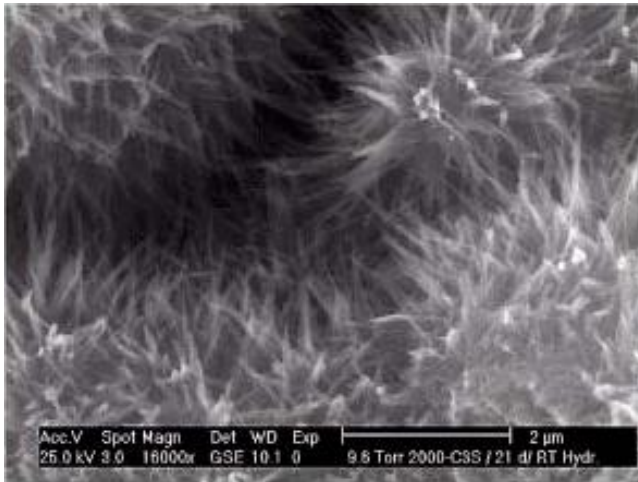
Εικόνα 4. Ετρινγκίτης μετά 24 ώρες (αριστερά) και 21 μέρες (δεξιά) (Stark, J. 2003).

Μετά την παρέλευση 24 ωρών σχηματίζονται κρύσταλλοι ενός ένυδρου ασβεσταργλικού άλατος ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaSO}_4\cdot 12\text{H}_2\text{O}$) σε μορφή λεπτών, εξάγωνων πλακών, που συνυπάρχουν με τους κρυστάλλους Ετρινγκίτη στα τελικά προϊόντα της ενυδάτωσης του τσιμέντου (εικ. 5).

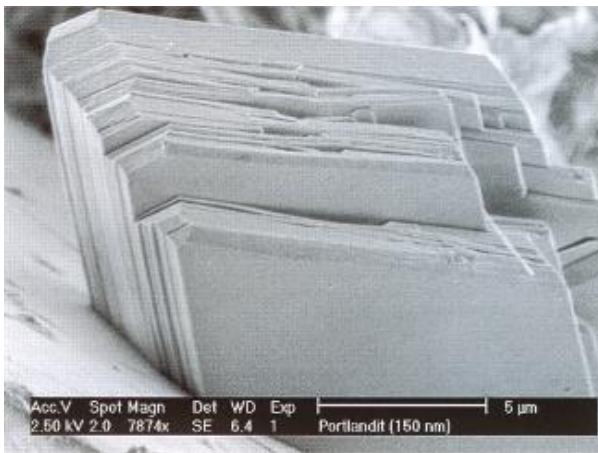


Εικόνα 5. Πλάκες ένυδρου ασβεσταργλικού άλατος στο τσιμέντο (Stark, J. 2003).

Κατά το στάδιο της επιτάχυνσης της ενυδάτωσης σχηματίζονται ένυδρες φάσεις πυριτικού ασβεστίου C-S-H (Calcium Silicate Hydrate phases) στην επιφάνεια των κόκκων της φάσης C₃S του κλίνκερ. Εντός 24 ωρών οι φάσεις C-S-H αναπτύσσονται σταθερά με μήκος έως 600 nm, οι δε αιχμές των ινών έχουν διάμετρο μόλις 5 nm. Το αποτέλεσμα είναι μια ισχυρή αλληλοεμπλοκή της μικροδομής ένεκα των εξαιρετικά αιχμηρών, σε μορφή βελόνας, φάσεων C-S-H (εικ. 6).



Εικόνα 6: αλληλοεμπλεκόμενες φάσεις C-S-H (Calcium-Silicate-Hydrate) (Stark, J. 2003).



Εικόνα 7: ογκώδεις κρύσταλλοι πορτλαντίτη Ca(OH)₂ (Stark, J. 2003).

Επίσης αναπτύσσονται ογκώδεις κρύσταλλοι πορτλαντίτη $\text{Ca}(\text{OH})_2$, που χαρακτηρίζονται από στρίβες κρυστάλλων με πάχος 20 έως 200 nm και ανομοιογενή καταμερισμό στο σκληρυμένο τσιμέντο (εικ. 7).

2. ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Παραδοσιακά το σκυρόδεμα παρασκευάζεται από τσιμέντο, νερό και αδρανή (άμμος, γαρμπίλι και χαλίκι). Εδώ και πολλά χρόνια χρησιμοποιούνται πρόσμικτα και πρόσθετα στο σκυρόδεμα με συνεχώς αυξανόμενη τάση.

Τα *πρόσθετα σκυροδέματος* είναι πολύ λεπτά, κυρίως ορυκτά υλικά ή βιομηχανικά παραπροϊόντα και προστίθενται σε σχετικά υψηλό ποσοστό (10-300 g ανά kg τσιμέντο). Συνυπολογίζονται στον όγκο του σκυροδέματος και χρησιμεύουν στην βελτίωση της εργασιμότητας του νωπού σκυροδέματος, υδατοπερατότητας, ανθεκτικότητας σε χημικά και θλιπτικής αντοχής του σκληρού σκυροδέματος (Βιάζης, Γ.Α., 2003). Πρόσθετα σκυροδέματος είναι η πυριτική παιπάλη (silica fume), η ιπτάμενη τέφρα, η σκωρία υψικαμίνων, διάφορες φυσικές ποζολάνες και άλλα υλικά.

Πρόσμικτο σκυροδέματος ονομάζεται κάθε συστατικό σε μορφή σκόνης ή υγρού, που όταν προστεθεί στο σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια της ανάμιξης των βασικών συστατικών του σε αναλογία μικρότερη του 5% της ποσότητας του τσιμέντου, βελτιώνει με χημική ή φυσική δράση μία ή περισσότερες ιδιότητες του νωπού ή του σκληρυμένου σκυροδέματος.

Λόγοι που οδήγησαν στη χρήση των προσμίκτων (Plank, J., 2004):

- Ευκολία εφαρμογής για τους τεχνίτες/μαστόρους
- Μείωση τους κόστους εργασίας (εργατικά χέρια)
- Βελτίωση της ποιότητας των δομικών υλικών
- Εξοικονόμηση πρώτων υλών

Η βιομηχανία δομικών χημικών έχει αναπτύξει πληθώρα προσμίκτων, που κατατάσσονται σε 15 διαφορετικές κατηγορίες σύμφωνα με τον πίνακα 2:

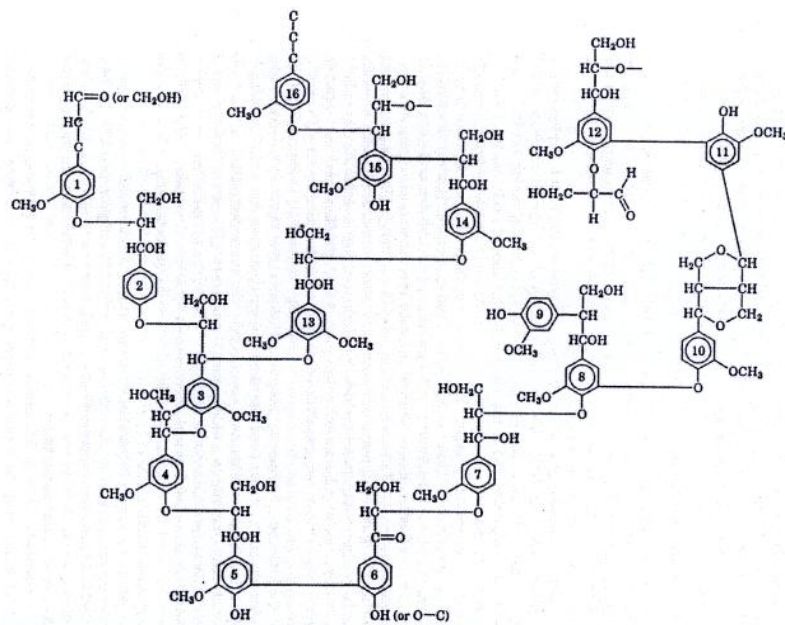
Πίνακας 2. Κατηγορίες προσμίκτων σκυροδέματος (Beton, 2005)

-
- 1) ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΕΣ
 - 2) ΥΠΕΡΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΕΣ
 - 3) ΑΕΡΑΚΤΙΚΑ
 - 4) ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ
 - 5) ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΕΣ
 - 6) ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΕΣ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗΣ
 - 7) ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΕΣ ΠΗΞΗΣ
 - 8) ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΕΣ ΠΗΞΗΣ ΓΙΑ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ
 - 9) ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΓΙΑ ΕΝΕΜΑΤΑ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ
 - 10) ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΕΣ
 - 11) ΜΕΙΩΤΕΣ ΑΠΟΜΙΞΗΣ
 - 12) ΑΝΑΓΩΓΕΙΣ ΧΡΩΜΙΚΩΝ ΑΛΑΤΩΝ/ ΕΝΩΣΕΩΝ
 - 13) ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΞΕΠΛΥΜΑΤΟΣ
 - 14) ΑΦΡΙΣΤΙΚΑ
 - 15) ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΕΣ / ΥΠΕΡΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΕΣ
-

Γενικά τα πρόσμικτα επιτρέπουν την δόμηση σε όλες τις περιόδους και συνθήκες του χρόνου, ενώ παλαιότερα οι οικοδομικές δραστηριότητες κατά την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο διακόπτονταν λόγω ακραίων χαμηλών ή υψηλών θερμοκρασιών.

2.1 Ρευστοποιητές σκυροδέματος

Οι ρευστοποιητές ή πλαστικοποιητές (plasticizers) μειώνουν το ιξώδες (συνεκτικότητα) του σκυροδέματος (Plank, J. 2004). Με την χρήση τους, το σκυρόδεμα γίνεται πιο ρευστό και εργάσιμο. Επίσης μειώνουν τον λόγο Νερού/Τσιμέντου χωρίς να μειωθεί η εργασιμότητα (workability), κάτι που συνεπάγεται την αύξηση των αντοχών. Στους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους ρευστοποιητές συγκαταλέγονται τα λιγνοσουλφονικά άλατα, παραπροϊόντα της παραγωγής χαρτιού. Η δράση τους ως ρευστοποιητές σκυροδέματος ανακαλύφθηκε τυχαία στην Αμερική γύρω στο 1920 σε εργασίες επίστρωσης οδοστρώματος, όπου για τον χρωματισμό της μεσαίας λωρίδας προσπέρασης των οχημάτων χρησιμοποιήθηκαν για την διασπορά της κάπνας στο σκυρόδεμα. Στην αγορά διατίθενται κυρίως σε υγρή φάση, υπό μορφή αλάτων νατρίου, ασβεστίου, αμμωνίας, μαγνησίου και σιδήρου. Παράγονται από την λιγνίνη (εικ. 8), που είναι παραπροϊόν της παραγωγής χάρτου και ένα από τα κύρια συστατικά του ξύλου μετά την κυτταρίνη.

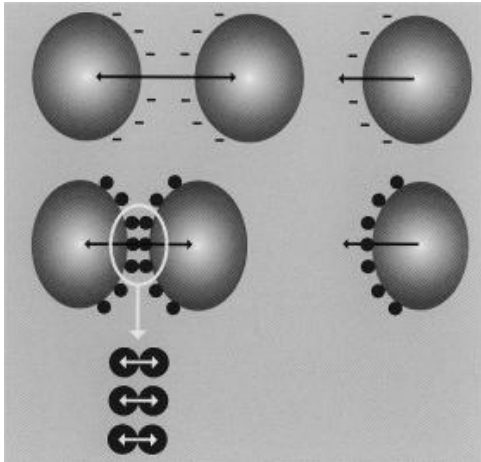


Εικόνα 8: χημικός τύπος της λιγνίνης (Borregaard Lignotech).

2.2 Μηχανισμός δράσης λιγνοσουλφονικών

Η αποτελεσματικότητα των λιγνοσουλφονικών εξαρτάται από τον μηχανισμό δράσης τους και συγκεκριμένα από την προσρόφηση των μορίων στην επιφάνεια του αργιλικού τριασβεστίου C_3A . Η διασπορά των σωματιδίων του τσιμέντου μετά την προσθήκη του νερού και του προσμίκτη πραγματοποιείται στην συγκεκριμένη περίπτωση με δύο διαφορετικούς μηχανισμούς (εικ. 9):

- την ηλεκτροστατική απώθηση (electrostatic repulsion)
- την στερική παρεμπόδιση (steric hindrance)



Εικόνα 9: μηχανισμός δράσης λιγνοσουλφονικών ρευστοποιητών (Borregaard Lignotech).

Στην πρώτη περίπτωση, η προσρόφηση των λιγνοσουλφονικών μορίων καθιστά την επιφάνεια του τσιμέντου αρνητική, ούτως ώστε τα αρνητικά φορτισμένα σωματίδια του τσιμέντου απωθούνται μεταξύ τους. Στη δεύτερη περίπτωση, οι αλυσίδες των διακλαδισμένων πολυμερών μορίων παρεμποδίζουν τα σωματίδια του τσιμέντου να προσεγγίσουν μεταξύ τους, προκαλώντας την διασπορά τους. Η διατήρηση της εργασιμότητας είναι καλύτερη με λιγνοσουλφονικά υψηλού μοριακού βάρους, επειδή χρονικά διαρκεί περισσότερο μέχρι να υπερκαλυφθεί ένα μεγάλο μόριο με προϊόντα της ενυδάτωσης και να απενεργοποιηθεί, παρά με ένα μικρό μόριο.

2.3. Ιδιότητες και εφαρμογές λιγνοσουλφονικών ρευστοποιητών

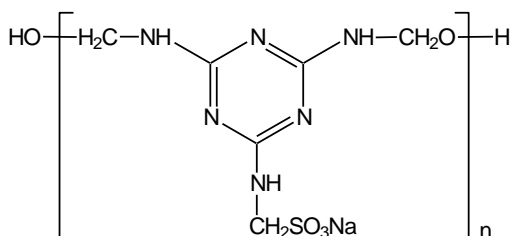
- Μείωση νερού ανάμιξης $\geq 5\%$ και αύξηση των αντοχών
- Εισαγωγή αέρα
- Περιορισμένη διαθεσιμότητα λόγω περιβαλλοντικών προβλημάτων
- Επιβραδυντική δράση λόγω ομάδων φαινόλης και σακχάρων
- Μεταφερόμενο σκυρόδεμα (~ 0,5% κ.β. CEM σε διάλυμα 40%)
- Αμμωνιακό άλας για παραγωγή γυψοσανίδων (ΗΠΑ)

2.4. Υπερρευστοποιητές Σκυροδέματος

Οι υπερρευστοποιητές είναι δομικά χημικά πρόσμικτα, με την βοήθεια των οποίων επιτυγχάνεται υψηλή ρευστοποίηση (εργασιμότητα) του σκυροδέματος. Επίσης μειώνουν σημαντικά την αναγκαία ποσότητα νερού για την επίτευξη δεδομένης εργασιμότητας, με συνέπεια πολύ υψηλότερες αντοχές, σε σύγκριση με τα λιγνοσουλφονικά. Η προσθήκη τους στο σκυρόδεμα συνιστάται να γίνεται τελευταία από όλα τα υλικά. Η εξήγηση είναι ότι κατά την επαφή του αργιλικού τριασβεστίου με το νερό δημιουργούνται κρύσταλλοι Ετρινγκίτη, στην επιφάνεια των οποίων προσροφώνται τα μόρια του υπερρευστοποιητή και αναπτύσσουν την δράση τους. Στους υπερρευστοποιητές σκυροδέματος συγκαταλέγονται:

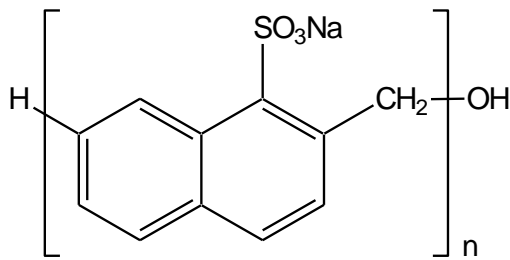
- τα σουλφωριομένα συμπυκνώματα μελαμίνης-φορμαλδεΐδης (SMF)
- τα σουλφωριομένα συμπυκνώματα ναφθαλενίου-φορμαλδεΐδης (SNF)
- τα συμπολυμερή μεθακρυλικού οξέως και μεθακρυλικού εστέρα με πλάγιες αλυσίδες από μονάδες αιθυλενοξειδίου (πολυκαρβοξυλικά: PC)

Τα σουλφωριομένα συμπυκνώματα μελαμίνης-φορμαλδεΐδης (sulfonated melamine formaldehyde condensates: SMF) αναπτύχθηκαν για την εφαρμογή στο σκυρόδεμα στην Γερμανία το 1962 και γενικά έχουν την χημική δομή που δείχνει η εικόνα 10 (Plank, J., 2004).



Εικόνα 10: σουλφωριομένα συμπυκνώματα μελαμίνης-φορμαλδεΐδης SMF.

Κατά σύμπτωση πάλι το 1962 στην Ιαπωνία (Plank, J., 2004) αναπτύχθηκαν τα σουλφωριομένα συμπυκνώματα ναφθαλενίου-φορμαλδεΐδης (sulfonated naphthalene formaldehyde condensates: SNF) όπως δείχνει η εικ. 11:



Εικόνα 11: σουλφωριομένα συμπυκνώματα ναφθαλενίου-φορμαλδεΐδης SNF.

Τα συμπυκνώματα SMF και SNF προκαλούν κατά την προσθήκη τους στο σκυρόδεμα την διασπορά των σωματιδίων του τσιμέντου με τον μηχανισμό της ηλεκτροστατικής απώθησης. Τα μόριά τους προσροφώνται σχεδόν ακαριαία στην επιφάνεια του τσιμέντου και επειδή καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο σε σχέση με το λιγνοσουλφονικά, υπερκαλύπτονται πολύ γρήγορα από τους κρυστάλλους του Ετρινγκίτη και το σκυρόδεμα χάνει την εργασιμότητά του. Επομένως δεν συνιστούνται για έτοιμο σκυρόδεμα που πρόκειται να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις με την μπετονιέρα (πίν. 3).

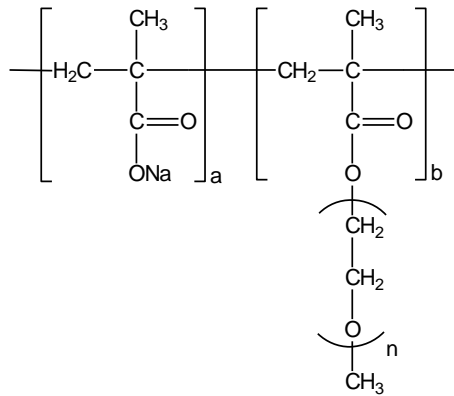
Πίνακας 3. Ιδιότητες και εφαρμογές πολυσυμπυκνωμάτων SMF και SNF (Plank, J., 2004)

ΥΠΕΡΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΕΣ SMF	ΥΠΕΡΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΕΣ SNF
<ul style="list-style-type: none"> Χρήση ως 40% άχρωμο διάλυμα ή λευκή σκόνη Μόνο σε μορφή άλατος νατρίου Περιέχουν 2-6 % Na_2SO_4 Δεν εισάγουν αέρα Υψηλές αντοχές Μείωση νερού έως 25 % Προκατασκευές Δάπεδα ανυδρίτη 	<ul style="list-style-type: none"> Χρήση ως 40% διάλυμα ή σκόνη χρώματος καφέ Άλατα νατρίου και ασβεστίου Περιέχουν Na_2SO_4: επιβράδυνση Εισάγουν αέρα Σκυρόδεμα Ξηρά κονιάματα Γυψοσανίδες Δοσολογία: 0,5 – 2 % κ.β. CEM

2.5 Πολυκαρβοξυλικοί υπερρευστοποιητές

Η ανάπτυξή τους έγινε επιτακτική την δεκαετία του '90 στην Ιαπωνία όπου είχε επέλθει δραματική υποβάθμιση της ποιότητας των αδρανών και το σκυρόδεμα έπρεπε να μεταφέρεται με τις μπετονιέρες σε τεχνικά έργα στο κέντρο του Τόκιο από μεγάλες αποστάσεις διάρκειας έως δύο ωρών. Σε απλή μορφή πρόκειται για συμπολυμερή μεθακρυλικού οξέος (methacrylic acid: MAA) και μεθακρυλικού εστέρα με πλάγιες αλυσίδες από μονάδες

αιθυλενοξειδίου (methoxypolyethyleneglycol ester of methacrylic acid: MPEG ester) όπως δείχνει ο χημικός τύπος στην εικ. 12.



Εικόνα 12: χημική δομή πολυκαρβοξυλικών υπερρρευστοποιητών (Plank, J., 2004).

Τα πολυκαρβοξυλικά δρουν με τον μηχανισμό της στερικής παρεμπόδισης ένεκα των πλάγιων αλυσίδων και προσφέρουν την δυνατότητα στον παραγωγό να συνθέσει υπερρρευστοποιητές «ραμμένους στα μέτρα» με την τροποποίηση της χημικής δομής, όπως α) μεταβολή του μήκους της κύριας και της πλάγιας αλυσίδας, και β) διακύμανση του αριθμού των καρβοξυλικών ομάδων (COO⁻) και των πλάγιων αλυσίδων. Ένεκα του χαμηλότερου αρνητικού σε σχέση με τα πολυσυμπυκνώματα SMF και SNF δεν προσροφώνται ακαριαία στους κρυστάλλους του Ετρινγκίτη αλλά σταδιακά. Αυτό σημαίνει μεγαλύτερη διατήρηση της εργασιμότητας (slump retention). Για την επίτευξη όμως μίας δεδομένης αρχικής εργασιμότητας απαιτείται υψηλή δοσολογία.

Ο πίνακας 4 δείχνει την σχέση ανάμεσα στη χημική δομή και στη δράση των πολυκαρβοξυλικών υπερρρευστοποιητών στο σκυρόδεμα:

Πίνακας 4. Ιδιότητες πολυκαρβοξυλικών υπερρυστοποιητών (Hauck, H.-G., 2004)

Ιδιότητα	Χαρακτηριστικά της χημικής δομής πολυκαρβοξυλικών υπερρυστοποιητών		
	σχετικό μήκος της κύριας αλυσίδας	σχετικό μήκος της πλάγιας αλυσίδας	πυκνότητα φορτίου της κύριας αλυσίδας
καλή ρυστοποίηση	μεσαίο	μικρό	υψηλή
διατήρηση εργασιμότητας	μικρότερο	μεσαίο	χαμηλή
καλή πρόιμη αντοχή	μικρό	μεγάλο	μεσαία

2.6 Ιδιότητες και εφαρμογές πολυκαρβοξυλικών

- Χαμηλή δοσολογία (περίπου 0,1 – 0,3 % κ.β. τσιμέντου)
- Μείωση νερού ανάμιξης έως 40 % με σημαντική αύξηση των αντοχών
- Διαλύματα νατρίου με 40 % στερεά
- Εισαγωγή αέρα
- Μεταφερόμενο σκυρόδεμα, προκατασκευές, τούνελ, εμφανές σκυρόδεμα, αυτοεπιπεδούμενα κονιάματα,
- Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα

2.7 Προβλήματα συμβατότητας πολυκαρβοξυλικών με το τσιμέντο

Τα πολυκαρβοξυλικά δεν είναι συμβατά με όλους τους τύπους τσιμέντων και η δράση τους επηρεάζεται σημαντικά από την εκάστοτε χημική και ορυκτολογική σύσταση του τσιμέντου. Η αποσαφήνιση της έλλειψης συμβατότητας αποτελεί αντικείμενο της επιστημονικής έρευνας και μέχρι σήμερα το πρόβλημα δεν έχει λυθεί (Plank, J., 2006). Αναφέρεται ότι α) η ύπαρξη θειϊκού καλίου (K_2SO_4) στο τσιμέντο προκαλεί την συρρίκνωση και κατά συνέπεια την αδρανοποίηση των πολυκαρβοξυλικών (Yamada, K., 2001) και β) ο ανταγωνισμός (*competitive adsorption*) μεταξύ των προσμίκτων για την προσρόφηση στο τσιμέντο μειώνει την ρυστοποιητική ικανότητα (Plank, J., 2003).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ο συγγραφέα ευχαριστεί θερμά τον Dr. Möser, Εργαστήριο Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde, Bauhaus-Universität Weimar, για την ευγενική παραχώρηση των φωτογραφιών του Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου ESEM.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Βιάζης Γεώργιος Α., «Τεχνολογία δομικών υλικών», Αθήνα, Νοέμβριος 2003
- «Betontechnische Daten», HEIDELBERGCEMENT, 2005 (in German)
- Borregaard Lignotech, «The admixture Handbook»
- Danilatos, G., “Foundations of Environmental Scanning Electron Microscopy”, *Advances in Electronics and Electron Physics* 71 (1998) 109-250
- Hauck H.-G., “Fließmittel der neuen Generation für die Transportbetonindustrie”, *Beton*, Vol. 3 (2004) 128-130 (in German)
- Plank J. & Winter C., “Adsorption von Fließmitteln an Zement in Gegenwart von Verzögerern”, *GDCh-Monographie Band 27* (2003), p. 55-64 (in German)
- Plank, J., Stephan, D. & Hirsch, C.: “Bauchemie”, Winnacker/Küchler: *Chemische Technik-Prozesse und Produkte*, Band 7 (Industrieprodukte), 5. Auflage, Verlag Wiley-VCH, Weinheim (2004), p. 1-168 (in German)
- Plank J., Bassioni G., Dai Z., Keller H., Sachsenhauser B. & Zouaoui N., “Neues zur Wechselwirkung zwischen Zementen und Polykarboxylat-Fließmitteln”, in *Proceedings of the 16. ibausil*, Weimar, Germany, September 20-23, 2006, 1-0579 (in German)
- Stark, J. & Wicht, B., «Zement und Kalk – Der Baustoff als Werkstoff», Birkhäuser Verlag, CH-4010 Basel, 2000
- Stark, J., Möser, B. & Bellmann, F., “New Approaches to Cement Hydration in the Early Hardening Stage”, in *Proceedings of the 11th International Congress of the Chemistry of Cement ICC*, Durban, South Africa, May 11-16, 2003
- Yamada K., Ogawa S. & Hanehara S., “Kontrolling of the adsorption and dispersing force of polycarboxylate-type superplasticizer by sulfate ion concentration in aqueous phase”, *Cem. Con. Res.* Vol. 31 (2001) 375-383