

Διερεύνηση της αποτελεσματικότητας των ρευστοποιητών σε πήγματα τσιμέντου με Ιπτάμενη Τέφρα Μεγαλόπολης

Ι. Παπαγιάννη, Φ. Καρκαντελίδου

Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, 54124 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας στον κατασκευαστικό τομέα έχει τονώσει το ενδιαφέρον για την προσθήκη υλικών με τσιμεντοειδείς ιδιότητες στο τσιμέντο Portland. Τα συμπληρωματικά αυτά υλικά είναι ποζολάνες λεπτής κοκκομετρίας (φυσικής προέλευσης ή βιομηχανικά παραπροϊόντα) και χρησιμοποιούνται, είτε ως ανάμιγμα τσιμέντου Portland, είτε ως μερική αντικατάσταση του τσιμέντου στο σκυρόδεμα. Όταν λαμβάνει χώρα αντικατάσταση τσιμέντου, το σκυρόδεμα αναπτύσσει χαμηλότερες πρώιμες αντοχές, σε σύγκριση με το απλό τσιμέντο Portland. Το μειονέκτημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με την προσθήκη ενός κατάλληλου ρευστοποιητή. Οι ρευστοποιητές, χημικά πρόσμικτα που επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητες του φρέσκου και σκληρυμένου σκυροδέματος, χαρακτηρίζονται για την υψηλή ικανότητα διασποράς τους, διατηρώντας ταυτόχρονα την εργασιμότητα του σκυροδέματος. Ωστόσο, η προσθήκη των ρευστοποιητών μπορεί να προκαλέσει προβλήματα συμβατότητας που οφείλονται στη χημική σύσταση των επιλεγμένων κονιών, τη λεπτότητα άλεσης, το λόγο N/K. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η διερεύνηση του καταλληλότερου τύπου ρευστοποιητή και της απαιτούμενης δοσολογίας σε κάθε σύστημα, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση.

Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκαν δύο τύποι ρευστοποιητών. Ο πρώτος τύπος είναι ένα πολυμερές με βάση τη σουλφονική ναφθαλίνη φορμαλδεΐδη, (SNF), και ο δεύτερος ένα πολυμερές με βάση τον πολυκαρβοξυλικό αιθέρα, (PC). Οι ρευστοποιητές προστέθηκαν σε συστήματα που περιείχαν 20, 30 και 40% αντικατάσταση του τσιμέντου Portland από Ιπτάμενη Τέφρα Μεγαλόπολης, σε δοσολογίες από 1 έως 3% κ.β. κονιών.

Σκοπός της παρούσας ερευνητικής εργασίας ήταν να προσδιοριστεί ποιος τύπος ρευστοποιητή είναι καταλληλότερος, και σε ποια δοσολογία, για καθένα σύστημα κονιών που χρησιμοποιήθηκε. Η αποτελεσματικότητα των ρευστοποιητών αξιολογήθηκε ελέγχοντας την ανάπτυξη των μηχανικών χαρακτηριστικών (αντοχή σε κάμψη και θλίψη, κατά EN 196-1) και του ανοιχτού πορώδους (κατά RILEM CPC 11.3) σε διάφορες ηλικίες. Επιπρόσθετα, προσδιορίστηκε η κατανομή των πόρων με υδραργυρικό πορωσίμετρο και η παρουσία των ενυδρών C-S-H ενώσεων, χρησιμοποιώντας θερμική ανάλυση (DTA-TG) και περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο ρευστοποιητής τύπου PC λειτουργεί καλύτερα, ενώ όταν προστίθεται σε δοσολογία 3% κ.β. κονιών, αναπτύσσονται αντοχές παρόμοιες με αυτές του blended τσιμέντου.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: αντοχή, ιπτάμενη τέφρα, πολυκαρβοξυλικός αιθέρας, πήγμα, πορώδες, ρευστοποιητής, σουλφονική ναφθαλίνη φορμαλδεΐδη

Study of superplasticizers effectiveness in cement pastes containing Greek Fly Ash from Megalopolis region

I. Papayianni, F. Karkantelidou

Lab. of Building Materials, Civil Engineering Department AUTH, 54124 Thessaloniki

ABSTRACT: The interest in energy saving has stimulated the use of cementitious materials in Portland cement. Supplementary cementing materials are finely divided pozzolans (natural pozzolans or industrial by-products) that are used either as blended Portland cement or as partial replacement for cement in concrete mixtures. When cement replacement is taken place, the concrete mixture performs lower early strength development comparing to the plain portland cement. This deficiency can be overcome by adding a suitable superplasticizer. Superplasticizers, the key components that can greatly modify the properties of fresh and hardened concrete, are designed essentially for their high dispersing ability and their high workability retention. However, superplasticizers addition can lead to incompatibility problems that are caused by cement composition, fineness, w/b ratio. Thus, an investigation of the superplasticizer proper type and dosage is necessary, in order to achieve the optimum performance.

In this study, two of the widely used types of superplasticizers were tested. One based on sulphonated naphthalene formaldehyde condensate (SNF) and another based on polycarboxylate polymers (PC). The superplasticizers were added in mixtures containing 20, 30 and 40% Portland cement replacement with Greek fly ash from Megalopolis region, in dosages from 1 to 3% by mass binders.

The aim of the research work was to find which type of superplasticizer, and in which dosage, was more suitable for each type of binder system. The action of superplasticizer on cement pastes was estimated by monitoring strength development (flexural and compressive, according to EN 196-1) and open porosity (according to RILEM CPC 11.3) at different ages. Furthermore, pore size distribution, through mercury porosimeter, and hydrated C-S-H presence, through DTA-TG and XRD analysis, were defined. The results showed that PC type superplasticizer seems to be more effective, while when added in dosage 3% by mass binder, the strength development is comparable to the plain blended type cement system.

KEY WORDS: fly ash, polycarboxylate, paste, porosity, strength, superplasticizer, sulfonated naphthalene formaldehyde

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Οι ρευστοποιητές αντιπροσωπεύουν σήμερα ένα σημαντικό κομμάτι της οικογένειας των προσμίκτων για τη παραγωγή σύγχρονων ανθεκτικών σκυροδεμάτων [1]. Στο σκυρόδεμα υψηλής απόδοσης, η ρευστότητα και η απώλεια κάθισης είναι θεμελιώδη χαρακτηριστικά, υπεύθυνα για την ποιότητά του. Η ρευστότητα ελέγχεται από τη διασπορά των σωματιδίων του τσιμέντου, ενώ η απώλεια κάθισης από τη διαδικασία της ενυδάτωσης. Είναι ευρέως γνωστό ότι με την προσθήκη ρευστοποιητών επιτυγχάνεται αυξημένη ρευστότητα και μειωμένη απώλεια κάθισης, ιδιότητες που επηρεάζουν την ομοιογενή σκυροδέτηση. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει αναπτυχθεί και είναι διαθέσιμη στην αγορά μια μεγάλη ποικιλία ρευστοποιητών. Οι ρευστοποιητές αυτοί ανήκουν σε διαφορετικές βασικές δομικές ομάδες, όπως είναι το λιγνοσουλφονικό οξύ (LS), η σουλφονική μελαμίνη φορμαλδεΐδη (SMF), η σουλφονική ναφθαλίνη φορμαλδεΐδη (SNF), και τα πολυκαρβοξυλικά οξέα (CE). [2]

Η κύρια λειτουργία των ρευστοποιητών είναι η διασπορά των συσσωματωμένων σωματιδίων του τσιμέντου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται βελτίωση της εργασιμότητας του σκυροδέματος, χωρίς την αύξηση του περιεχόμενου νερού [3-7]. Οι ρευστοποιητές αλληλεπιδρούν με τις συνεχείς χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου [3, 8-9]. Στα πρώτα στάδια της ενυδάτωσης μπορεί να σχηματιστεί μία οργανο-μεταλλική φάση (OMP) γύρω από τα σωματίδια του τσιμέντου, καταναλώνοντας το ρευστοποιητή με τρόπο μη παραγωγικό. Ωστόσο, ο βαθμός στον οποίο αυτό αλλάζει την εργασιμότητα είναι ακόμα ασαφής. Η κατανόηση αυτών των επιδράσεων αποτελεί βασική πτυχή στο να προβλεφθούν ποιοι συνδυασμοί τσιμέντου και ρευστοποιητών μπορούν να οδηγήσουν σε καλύτερη εργασιμότητα και ποιοι όχι. Μια συχνή προσέγγιση είναι να συγκρίνουμε τις επιδράσεις που μπορούν να προκαλέσουν οι διάφοροι ρευστοποιητές σε τσιμέντα διαφορετικών συστάσεων. Τέτοια αποτελέσματα μπορούν να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά είναι ιδιαίτερα επιρρεπή σε παρερμηνείες λόγω του μεγάλου αριθμού των διαφορών που μπορεί να προκύψουν μεταξύ των υπό μελέτη τσιμέντων. Οι πιο προφανείς από αυτές είναι η χημική σύσταση καθώς και η σύσταση των φάσεων του τσιμέντου. Ειδικότερα, το περιεχόμενο C_3A και τα αλκάλια, η λεπτότητα άλεσης του τσιμέντου, το ποσοστό και το είδος του θεικού ασβεστίου στο τσιμέντο, η χημική φύση και το μέσο μοριακό βάρος του ρευστοποιητή, η δοσολογία και ο τρόπος προσθήκης του στο μίγμα [10]. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι μία περαιτέρω άλεση μπορεί να επηρεάσει την απορρόφηση ορισμένων ρευστοποιητών, προκαλώντας διαφορές στην εργασιμότητα ανάμεσα σε τσιμέντα που παράγονται από το ίδιο κλίνκερ [11].

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικοί τύποι ρευστοποιητών [12, 13]. Ο πρώτος τύπος είναι ένας παραδοσιακός μειωτής νερού με βάση τη σουλφονική ναφθαλίνη φορμαλδεΐδη (SNF) και ο δεύτερος ένα καινοτόμο πρόσμικτο με βάση πολυμερή τροποποιημένου πολυκαρβοξυλικού αιθέρα (PCE).

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να προσδιορίσει τον τύπο και τη δοσολογία του ρευστοποιητή που είναι κατάλληλα για χρήση σε μικτά συστήματα κονιών που αποτελούνται από τσιμέντο Portland και τσιμεντοειδή υλικά (όπως η ιπτάμενη τέφρα) που διατίθενται στην Ελλάδα.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ:

Υλικά

Για τη μελέτη της αποτελεσματικότητας των ρευστοποιητών, τύπος και δοσολογία, χρησιμοποιήθηκαν τρεις συνδυασμοί κονιών, που αποτελούνταν από τσιμέντο Portland υψηλής αντοχής (CEM I42.5) και Ιπτάμενη Τέφρα από την περιοχή της Μεγαλόπολης. Παρασκευάστηκαν πάστες κανονικής συνεκτικότητας σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 196-3, τόσο χωρίς, όσο και με ρευστοποιητή σε ποσοστά από 1 έως 3% κ.β. κονιάς. Τα χαρακτηριστικά των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν παρατίθενται στον Πίνακα 1, ενώ στον Πίνακα 2 φαίνονται οι συνθέσεις που παρασκευάστηκαν και τα ποσοστά των ιπτάμενων τεφρών που αντικατέστησαν το τσιμέντο. Στην εικόνα 1 φαίνεται η κατανομή του μεγέθους κόκκων των συστημάτων που μελετήθηκαν.

Οι ρευστοποιητές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των Ευρωπαϊκών και Αμερικάνικων Προτύπων, EN 934-2:2001 και ASTM C-494, και είναι απαλλαγμένοι από χλώριο (Πίνακας 3). Ο πρώτος τύπος ρευστοποιητή, πολυμερές με βάση τη σουλφονική ναφθαλίνη φορμαλδεΐδη (SNF), χρησιμοποιείται για την παραγωγή υψηλής αντοχής ρεοπλαστικού σκυροδέματος με χαμηλό λόγο N/T, ενώ ο δεύτερος τύπος, πολυμερές με βάση τον πολυκαρβοξυλικό αιθέρα (PC), συνίσταται για την παραγωγή ρεοπλαστικού σκυροδέματος υψηλών μηχανικών αντοχών, αρχικών και τελικών.

Έλεγχοι

Είκοσι ένα συστήματα πηγμάτων κανονικής συνεκτικότητας παρασκευάστηκαν σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 196-3. Η προσθήκη ρευστοποιητή σε ποσότητες από 1 έως 3% κ.β. κονιάς πραγματοποιήθηκε μαζί με το νερό της ανάμιξης. Μετά την ολοκλήρωση της ανάμιξης, το ανάμιγμα τοποθετήθηκε σε μήτρες διαστάσεων 25x25x300 mm, απ' όπου διαμορφώθηκαν δοκίμια διαστάσεων 25x25x100 mm και 25x25x25 mm για τον έλεγχο της καμπτικής και της θλιπτικής αντοχής, αντίστοιχα. Οι μετρήσεις του ανοιχτού πορώδους έγιναν σύμφωνα με την μέθοδο RILEM CPC 11.3. Όλα τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε θάλαμο γήρανσης, σχετικής υγρασίας 99±1 % και θερμοκρασίας 20±1 °C, μέχρι την ηλικία ελέγχου. Οι αντοχές και το πορώδες προσδιορίστηκαν κατά την 1^η, 3^η, 7^η, 28^η, 90^η, 180^η και 360^η ημέρα. Επιπλέον, προσδιορίστηκε η κατανομή των πόρων με υδραργυρικό πορωσίμετρο και η παρουσία των ενυδρών C-S-H ενώσεων, χρησιμοποιώντας θερμική ανάλυση (DTA-TG) και περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD).

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά Πρώτων Υλών που χρησιμοποιήθηκαν

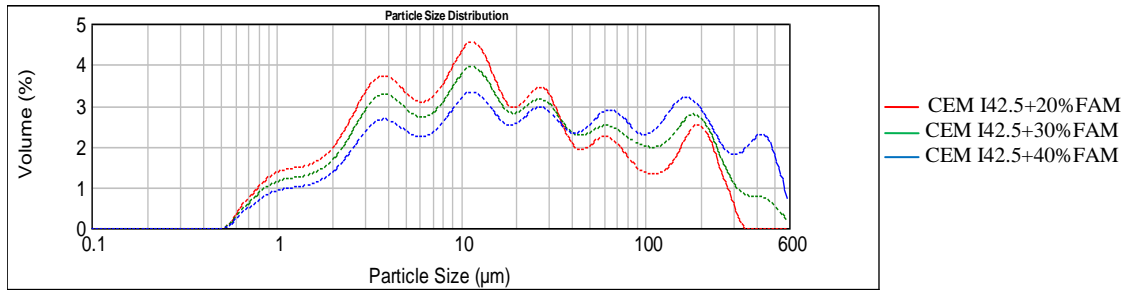
Χαρακτηριστικά	CEM I42.5	Ιπτάμενη Τέφρα Μεγαλόπολης (FAM)
Χημική Σύσταση (% κ.β.)		
Na ₂ O	0.57	0.54
K ₂ O	1.08	3.29
CaO	66.84	18.75
MgO	3.91	1.90
Fe ₂ O ₃	8.11	8.20
Al ₂ O ₃	2.40	16.00
SiO ₂	19.55	48.32
SO ₃		2.48
Απώλεια πύρωσης	1.91	3.00
Αδιάλυτο υπόλειμμα	0.8	14.64
Λεπτότητα Άλεσης R ₄₅ μm	1.5	25%
Ποζολανικότητα με τσιμέντο 28-ημέρες (EN 450-1)	-	60%
Ποζολανικότητα με άσβεστο 28-ημέρες (ASTM C593)	-	7.26 MPa
Φαινόμενο ειδικό βάρος	3.141	2.340
Ειδική επιφάνεια (m ² /g)	0.921	0.257

Πίνακας 2. Σύσταση των πηγμάτων στα συστήματα μικτών κονιών

Σύσταση	Κανονική Συνεκτικότητα κατά EN 196-3 Διείσδυση εμβόλου Vicat (mm)	Λόγος N/K	% Μείωση του Λόγου N/K
CEM I 42.5+20% Τέφρα Μεγαλόπολης	7	0.29	
CEM I 42.5+20% Τέφρα Μεγαλόπολης +SNF 1%	7	0.26	10.34
CEM I 42.5+20% Τέφρα Μεγαλόπολης +SNF 2%	8	0.25	13.79
CEM I 42.5+20% Τέφρα Μεγαλόπολης +SNF 3%	8	0.24	17.24
CEM I 42.5+20% Τέφρα Μεγαλόπολης +PC 1%	5	0.23	20.69
CEM I 42.5+20% Τέφρα Μεγαλόπολης +PC 2%	4	0.22	24.14
CEM I 42.5+20% Τέφρα Μεγαλόπολης +PC 3%	4	0.21	27.59
CEM I 42.5+30% Τέφρα Μεγαλόπολης	6	0.31	
CEM I 42.5+30% Τέφρα Μεγαλόπολης +SNF 1%	7	0.29	6.45
CEM I 42.5+30% Τέφρα Μεγαλόπολης +SNF 2%	5	0.28	9.68
CEM I 42.5+30% Τέφρα Μεγαλόπολης +SNF 3%	8	0.27	12.90
CEM I 42.5+30% Τέφρα Μεγαλόπολης +PC 1%	5	0.26	16.13
CEM I 42.5+30% Τέφρα Μεγαλόπολης +PC 2%	4	0.26	16.13
CEM I 42.5+30% Τέφρα Μεγαλόπολης +PC 3%	4	0.25	19.35
CEM I 42.5+40% Τέφρα Μεγαλόπολης	5	0.34	
CEM I 42.5+40% Τέφρα Μεγαλόπολης +SNF 1%	5	0.31	8.82
CEM I 42.5+40% Τέφρα Μεγαλόπολης +SNF 2%	5	0.31	8.82
CEM I 42.5+40% Τέφρα Μεγαλόπολης +SNF 3%	4	0.30	11.76
CEM I 42.5+40% Τέφρα Μεγαλόπολης +PC 1%	5	0.29	14.71
CEM I 42.5+40% Τέφρα Μεγαλόπολης +PC 2%	4	0.29	14.71
CEM I 42.5+40% Τέφρα Μεγαλόπολης +PC 3%	4	0.28	17.65

Πίνακας 3. Τεχνικά χαρακτηριστικά ρευστοποιητών

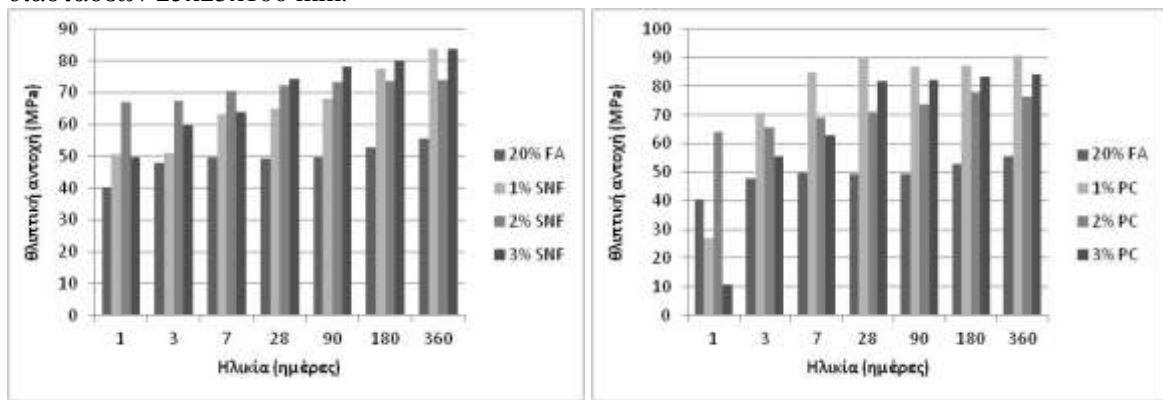
Ρευστοποιητής	Εμφάνιση	Ειδικό βάρος στους 20 °C (gr/ml)	Τιμή pH στους 20 °C	Περιεχόμενο χλώριο (%)
SNF	Καφέ υγρό	1.185 – 1.205	8.5 – 9.8	≤ 0.01
PC	Καφέ υγρό	1.080 – 1.150	~ 6.6	≤ 0.01



Εικόνα 1: Κατανομή μεγέθους κόκκων των συστημάτων που περιέχουν 20, 30 και 40% αντικατάσταση τσιμέντου από Ιπτάμενη Τέφρα

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ: Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, η αύξηση του ποσοστού της ιπτάμενης τέφρας στο ανάμικτο με το τσιμέντο (20, 30 και 40% αντικατάσταση τσιμέντου) αυξάνει την απαίτηση σε νερό για την παρασκευή πάστας κανονικής συνεκτικότητας (οι λόγοι N/K είναι 0.29, 0.31 και 0.34 αντίστοιχα). Η προσθήκη των δύο τύπων ρευστοποιητών σε ποσοστά από 1-3% κ.β. κονιάς έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του λόγου N/K σε όλα τα συστήματα. Η % όμως μείωση του λόγου αυτού ελαττώνεται, όσο αυξάνει το ποσοστό του τσιμεντοειδούς υλικού στο σύστημα.

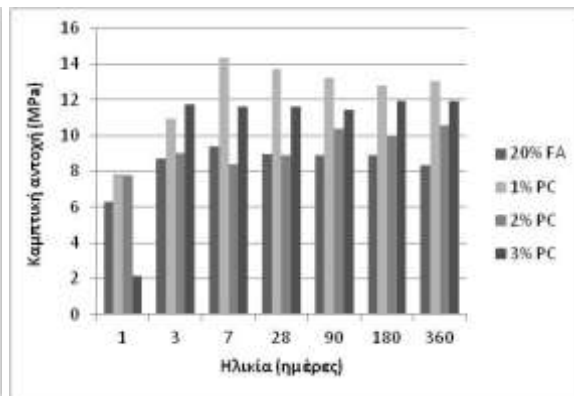
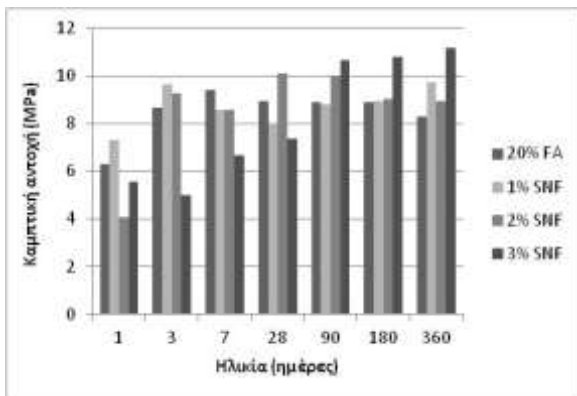
Η ανάπτυξη των αντοχών, σε θλίψη και σε κάμψη, των πηγμάτων που περιέχουν 20% Τέφρα Μεγαλόπολης και με τους δύο τύπους ρευστοποιητών σε δοσολογίες από 1% έως 3% κ.β. κονιάς φαίνεται στα διαγράμματα 1 και 2. Στα διαγράμματα 3 και 4, φαίνεται η ανάπτυξη των αντοχών για το σύστημα που περιέχει 30% Τέφρα Μεγαλόπολης, ενώ για το σύστημα που περιέχει 40% Τέφρα Μεγαλόπολης τα αντίστοιχα διαγράμματα είναι τα 5 και 6. Όσον αφορά στον προσδιορισμό της αντοχής σε θλίψη λήφθηκε ο μέσος όρος τεσσάρων κυβικών δοκιμίων διαστάσεων 25x25x25 mm, ενώ για τον προσδιορισμό της αντοχής σε κάμψη ο μέσος όρος δύο πρισματικών δοκιμίων διαστάσεων 25x25x100 mm.



(α)

(β)

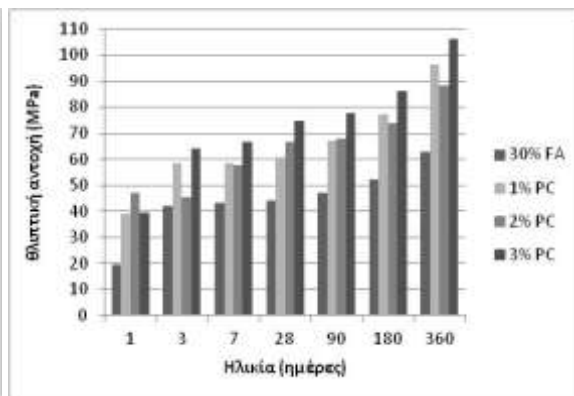
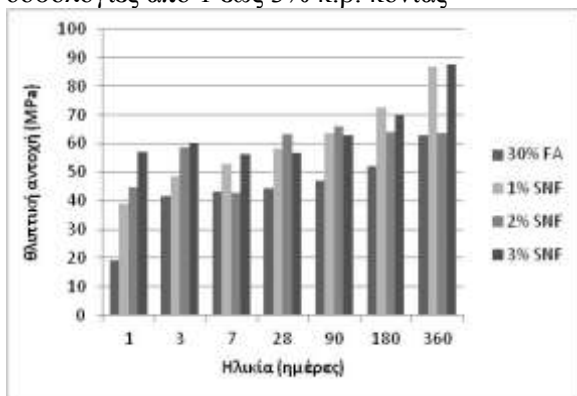
Διάγραμμα 1: Ανάπτυξη της θλιπτικής αντοχής σε πάστες κανονικής συνεκτικότητας στο σύστημα κονιών με 20% κ.β. Τέφρα Μεγαλόπολης σε διάφορες ηλικίες. (α) Προσθήκη ρευστοποιητή SNF σε δοσολογίες από 1 έως 3% κ.β. κονιάς, (β) Προσθήκη ρευστοποιητή PC σε δοσολογίες από 1 έως 3% κ.β. κονιάς



(α)

(β)

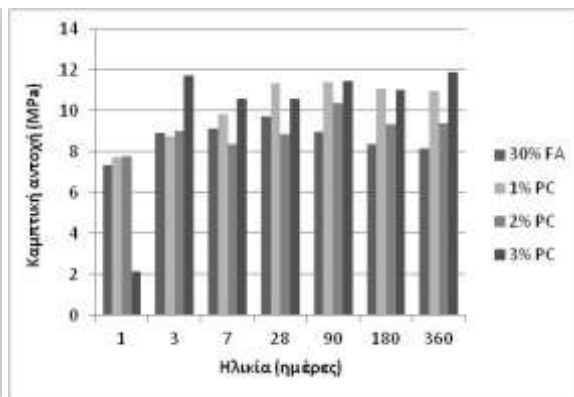
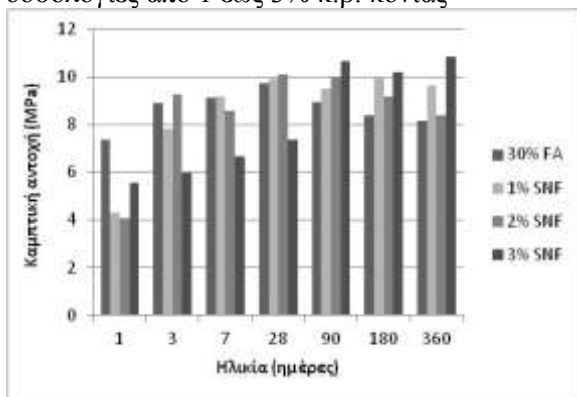
Διάγραμμα 2: Ανάπτυξη της καμπτικής αντοχής σε πάστες κανονικής συνεκτικότητας στο σύστημα κονιών με 20% κ.β. Τέφρα Μεγαλόπολης σε διάφορες ηλικίες. (α) Προσθήκη ρευστοποιητή SNF σε δοσολογίες από 1 έως 3% κ.β. κονιάς, (β) Προσθήκη ρευστοποιητή PC σε δοσολογίες από 1 έως 3% κ.β. κονιάς



(α)

(β)

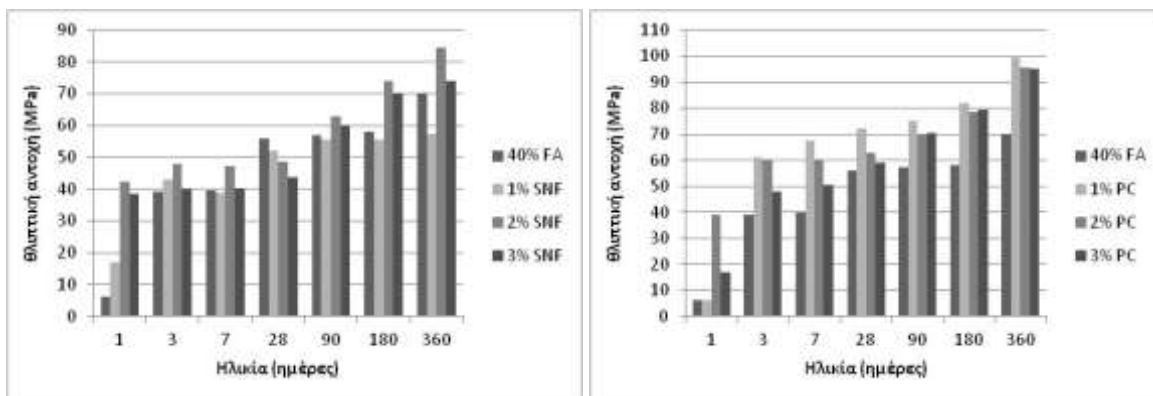
Διάγραμμα 3: Ανάπτυξη της θλιπτικής αντοχής σε πάστες κανονικής συνεκτικότητας στο σύστημα κονιών με 30% κ.β. Τέφρα Μεγαλόπολης σε διάφορες ηλικίες. (α) Προσθήκη ρευστοποιητή SNF σε δοσολογίες από 1 έως 3% κ.β. κονιάς, (β) Προσθήκη ρευστοποιητή PC σε δοσολογίες από 1 έως 3% κ.β. κονιάς



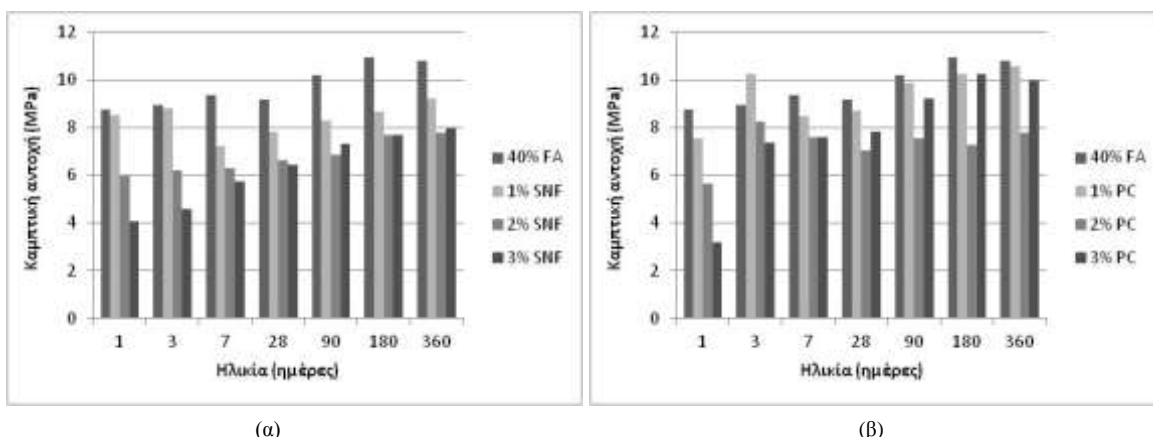
(α)

(β)

Διάγραμμα 4: Ανάπτυξη της καμπτικής αντοχής σε πάστες κανονικής συνεκτικότητας στο σύστημα κονιών με 30% κ.β. Τέφρα Μεγαλόπολης σε διάφορες ηλικίες. (α) Προσθήκη ρευστοποιητή SNF σε δοσολογίες από 1 έως 3% κ.β. κονιάς, (β) Προσθήκη ρευστοποιητή PC σε δοσολογίες από 1 έως 3% κ.β. κονιάς

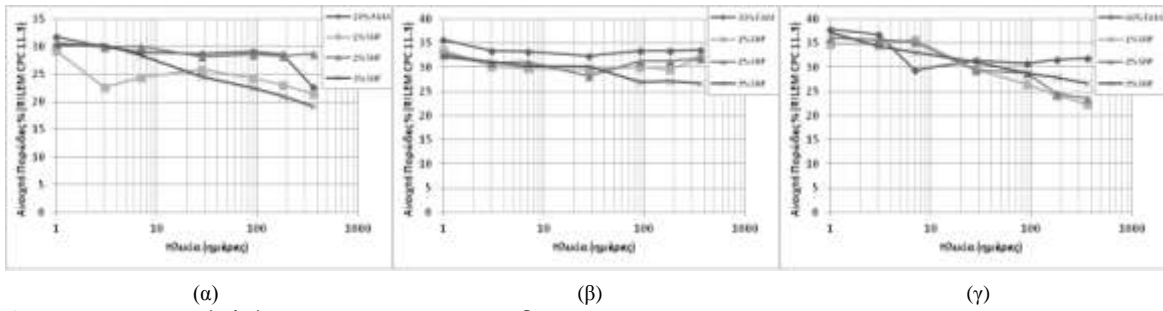


Διάγραμμα 5: Ανάπτυξη της θλιπτικής αντοχής σε πάστες κανονικής συνεκτικότητας στο σύστημα κονιών με 40% κ.β. Τέφρα Μεγαλόπολης σε διάφορες ηλικίες. (α) Προσθήκη ρευστοποιητή SNF σε δοσολογίες από 1 έως 3% κ.β. κονιάς, (β) Προσθήκη ρευστοποιητή PC σε δοσολογίες από 1 έως 3% κ.β. κονιάς

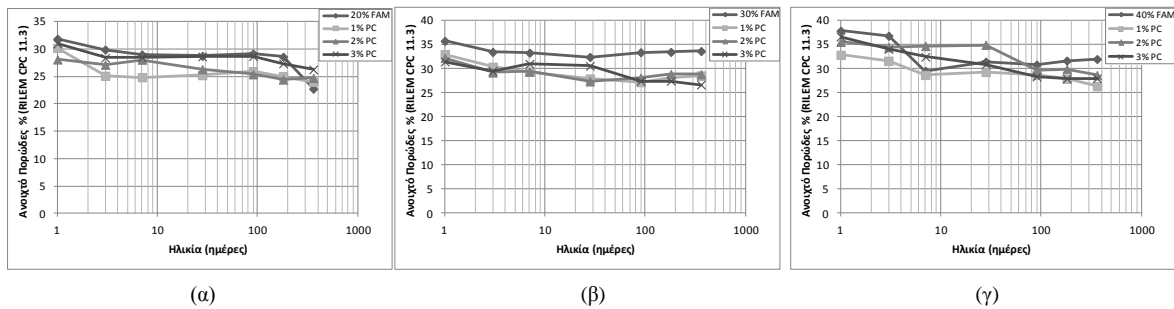


Διάγραμμα 6: Ανάπτυξη της καμπτικής αντοχής σε πάστες κανονικής συνεκτικότητας στο σύστημα κονιών με 40% κ.β. Τέφρα Μεγαλόπολης σε διάφορες ηλικίες. (α) Προσθήκη ρευστοποιητή SNF σε δοσολογίες από 1 έως 3% κ.β. κονιάς, (β) Προσθήκη ρευστοποιητή PC σε δοσολογίες από 1 έως 3% κ.β. κονιάς

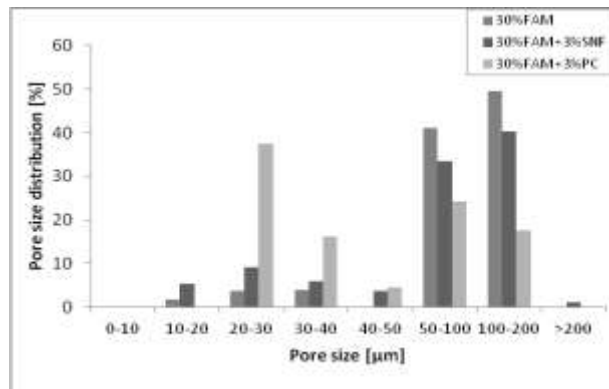
Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα η προσθήκη των ρευστοποιητών (και των δύο τύπων) αυξάνει τη θλιπτική αντοχή όλων των συστημάτων που εξετάστηκαν. Ιδιαίτερα αξιόλογη είναι η ανάπτυξη των πρώιμων αντοχών (ηλικίας έως 28 ημερών), ανεξάρτητα απ τη δοσολογία των ρευστοποιητών. Επιπρόσθετα, προσδιορίστηκε το ανοιχτό πορώδες, που συνδέεται άμεσα με την αντοχή σε κάμψη, και οι τιμές του οποίου παρατίθενται στα διαγράμματα 7 και 8. Στο Διάγραμμα 9 φαίνεται η κατανομή των πόρων για το σύστημα που περιέχει 30% κ.β. Τέφρα Μεγαλόπολης και προσθήκη 3%κ.β. κονιάς ρευστοποιητή (SNF και PC τύπου), ενώ στο Διάγραμμα 10α-10β η θερμοσταθμική και η ορυκτολογική ανάλυσή του.



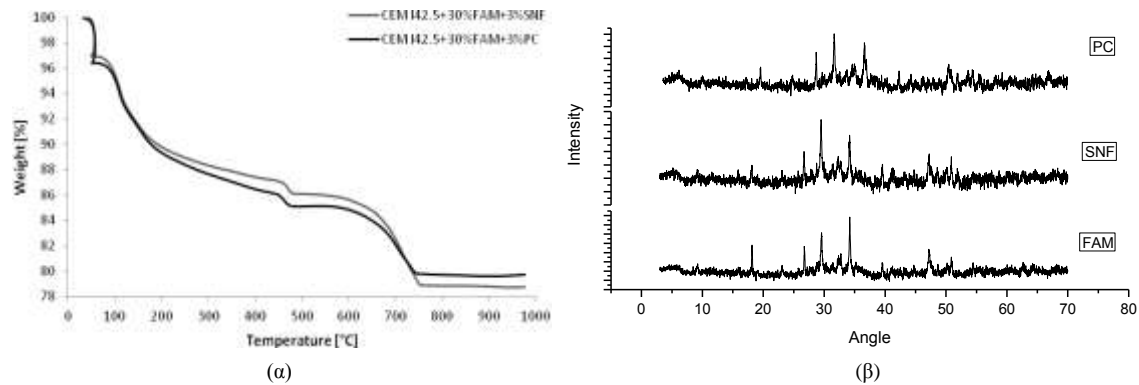
Διάγραμμα 7: Εξέλιξη του ανοιχτού πορώδους σε συνάρτηση με τον χρόνο σε πάστες κανονικής συνεκτικότητας με προσθήκη ρευστοποιητή SNF από 1-3%κ.β. κονιάς. (α) Πήγμα με 20% κ.β. Τέφρα Μεγαλόπολης, (β) Πήγμα με 30% κ.β. Τέφρα Μεγαλόπολης και (γ) Πήγμα με 40% κ.β. Τέφρα Μεγαλόπολης.



Διάγραμμα 8: Εξέλιξη του ανοιχτού πορώδους σε συνάρτηση με τον χρόνο σε πάστες κανονικής συνεκτικότητας με προσθήκη ρευστοποιητή PC από 1-3%κ.β. κονιάς. (α) Πήγμα με 20% κ.β. Τέφρα Μεγαλόπολης, (β) Πήγμα με 30% κ.β. Τέφρα Μεγαλόπολης και (γ) Πήγμα με 40% κ.β. Τέφρα Μεγαλόπολης.



Διάγραμμα 9: Η κατανομή πόρων στο σύστημα CEM I42.5+30% Τέφρα Μεγαλόπολης, αναφοράς και με προσθήκη ρευστοποιητή (SNF και PC) 3%κ.β. κονιάς



Διάγραμμα 10α-10β: (α) Η θερμοσταθμική ανάλυση και (β) η ορυκτολογική ανάλυση στο σύστημα CEM I42.5+30% Τέφρα Μεγαλόπολης, αναφοράς και με προσθήκη ρευστοποιητή (SNF και PC) 3%κ.β. κονιάς

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ: Η αντικατάσταση τσιμέντου από Ιπτάμενη Τέφρα (υλικό με τσιμεντοειδείς ιδιότητες) αυξάνει την απαίτηση σε νερό, για δεδομένη εργασιμότητα. Η προσθήκη των ρευστοποιητών (και των δύο τύπων) μειώνει αισθητά το λόγο N/K του συστήματος. Η μεγαλύτερη μείωση επιτυγχάνεται στο σύστημα που περιέχει 20% κ.β. Τέφρα Μεγαλόπολης. Αντίθετα, όσο αυξάνεται το ποσοστό της Τέφρας στο σύστημα, τόσο ελαττώνεται και η δραστηριότητα των ρευστοποιητών στην % μείωση του λόγου N/K. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο PC τύπος λειτουργεί περισσότερο αποτελεσματικά ως μειωτής νερού, σε σχέση με τον SNF τύπο. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να εξηγηθεί απ το γεγονός ότι στον PC τύπο λαμβάνουν χώρα δύο μηχανισμοί λειτουργίας (ηλεκτροστατική απόθεση, όπως στον SNF τύπο, και στερική τροχοπέδη)

Η προσθήκη των ρευστοποιητών σε όλα τα συστήματα που μελετήθηκαν συμβάλει στην αύξηση της θλιπτικής αντοχής. Η μεγαλύτερη αύξηση της θλιπτικής αντοχής παρατηρείται στο σύστημα που περιέχει 30% Τέφρα Μεγαλόπολης και μπορεί να συγκριθεί με αυτή του blended τσιμέντου (CEM IV32.5).

Επιπρόσθετα, η τιμή του ανοιχτού πορώδους των δοκιμίων αυξάνεται, όσο αυξάνει το ποσοστό της Τέφρας στο σύστημα. Αυτό εξηγείται απ το γεγονός ότι οι καμπύλες της κατανομής του μεγέθους κόκκων των παραπάνω συστημάτων μετατοπίζονται προς τα πιο χονδρόκοκκα κλάσματα, όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό της αντικατάστασης του τσιμέντου από την Τέφρα.

Ο ρευστοποιητής τύπου PC είναι αποτελεσματικότερος απ τον SNF τύπο. Πετυχαίνει καλύτερη διασπορά των σωματιδίων και αυτό φαίνεται τόσο από τη μεγαλύτερη μείωση του λόγου N/K, όσο και από την κατανομή των πόρων. Ο κύριος όγκος των πόρων, με τον PC τύπο, κυμαίνεται από 20-40 μm, ενώ με τον SNF τύπο, από 50-200 μm. Επιπλέον, από τις θερμοσταθμικές καμπύλες και τα ακτινογραφήματα περιθλασιμετρίας ακτίνων X προκύπτει ότι με την προσθήκη του PC τύπου ο βαθμός σχηματισμού των ενύδρων ασβεστοπυριτικών ενώσεων (C-S-H) είναι μεγαλύτερος.

Συμπερασματικά, είναι φανερό ότι οι ρευστοποιητές, και ειδικά οι πολυκαρβοξυλικού τύπου, έχουν κάνει εφικτή την αντικατάσταση σημαντικών ποσοτήτων τσιμέντου Portland με πουζολανικά βιομηχανικά παραπροϊόντα, όπως η ιπτάμενη τέφρα, μειώνοντας μ' αυτό τον τρόπο το κόστος και ενισχύοντας την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ:

1. P.-C. Aïtcin, M. Baalbaki, “Concrete admixtures: key components of hardened concretes”, International RILEM Workshop on Concrete Technology—New Trends, Industrial Application, E & FN SPON, London, UK, 1994, pp. 33– 47.
2. S. Chandra, J. Björnström, “Influence of superplasticizer type and dosage on the slump loss of Portland cement mortars—Part II” *Cem Concr Res* 32 (2002) 1613 – 1619.
3. C. Jolicoeur, M.-A. Simard, “Chemical admixtures –cement interactions: Phenomenology and physico-chemical concepts”, *Cem. Concr. Compos.* 20 (1998) 87– 101.
4. V.S. Ramachandran, “Concrete Admixtures Handbook”, second ed., Noyes Publications, Park Ridge, NJ, 1995, pp. 410– 517.
5. H. Uchikawa, “Function of organic admixture supporting high performance concrete”, in: J.G. Cabrera, R. Rivera-Villarreal (Eds.), *Proceedings of the International RILEM Conference on the Role of Admixtures in High Performance Concrete*, RILEM Publications, Cachan, France, 1999, pp. 69–96.
6. H. Uchikawa, S. Hanehara, D. Sawaki, “The role of steric repulsive force in the dispersion of cement particles in fresh paste prepared with organic admixtures”, *Cem. Concr. Res.* 27 (1997) 37–50.
7. K. Yoshioka, E. Sakai, M. Daimon, Role of steric hindrance on the performance of superplasticizers in concrete, *J. Am. Ceram. Soc.* 80 (1997) 2667– 2671.
8. V. Fernon, A. Vichot, N. Le Goanvic, P. Colombet, F. Corazza, U. Costa, “Interaction between portland cement hydrates and polynaphthalene sulfonates”, in: V.M. Malhotra (Ed.), *Proceedings of the 5th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*, SP-173, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA, 1997, pp. 225–248.
9. H. Matsuyama, J.F. Young, “The Formation of C-S-H/polymer complexes by hydration of reactive b-dicalcium silicate”, *Concr. Sci. Eng.* 1 (1999) 66–75.
10. P.-C. Aïtcin, “High Performance Concrete”, E & FN Spon (1998)
11. Y.F. Houst, R.J. Flatt, P. Bowen, H. Hofmann, J. Widmer, U. Sulser, U. Maeder, T.A. Bürge, “Influence of superplasticizer adsorption on the rheology of cement pastes”, in: J.G. Cabrera, R. Rivera-Villarreal (Eds.), *Proceedings of the International RILEM Conference on the Role of Admixtures in High Performance Concrete*, RILEM Publications, Cachan, France, 1999, pp. 387–402.
12. Spiratos, N., Page, M., Mailvaganam, N., Mahlotra, V.M., Jolicoeur, C., “Superplasticizers for concrete: fundamentals, technology, and practice, *Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc.*, Ottawa, Canada, 2003
13. Collepardi, M., “The New Concrete”, Tintoretto editions, 2006