

ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Κ. Κ. Σίδερης, Δ. Βίτσα, Ι. Παυλοπούλου, Ν. Τσιλιακούδης

Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΘ, Βασ. Σοφίας 12, 67 100, Ξάνθη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δυνατότητα χρήσης βιομηχανικών παραπροϊόντων στην παρασκευή σκυροδέματος. Παρασκευάστηκαν σκυροδέματα με ιπτάμενη τέφρα Μεγαλόπολης (ΙΤΜ), ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας (ΙΤΠ), κατεργασμένη ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας (ΚΤΠ) και φαρίνα ηλεκτροφίλων (ΦΗΦ). Οι ιδιότητες που μετρήθηκαν ήταν η επίδραση των παραπροϊόντων στην κάθιση και στη διατήρηση της κάθισης του μείγματος, η επίδραση στον αρχικό χρόνο πήξης των σκυροδεμάτων καθώς και η επίδραση στη θλιπτική αντοχή σε διάφορες ηλικίες. Παράλληλα μετρήθηκαν και τα βάθη ενανθράκωσης όλων των σκυροδεμάτων μετά από έκθεσή τους σε θάλαμο επιταχυνόμενης ενανθράκωσης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, η χρήση όλων των παραπροϊόντων στο εξετασθέν ποσοστό (20% σε αντικατάσταση της άμμου) οδήγησε σε αύξηση της αντοχής στις 28 ημέρες. Όμως, μόνο τα μείγματα με ΦΗΦ και ΙΤΜ παρουσίασαν την ίδια σχεδόν κάθιση με το μείγμα αναφοράς. Αντίθετα, στις άλλες δύο περιπτώσεις η επίδραση της τέφρας Πτολεμαΐδας στην κάθιση των μειγμάτων ήταν έντονα αρνητική, ενώ η προσθήκη τους οδήγησε σε μείωση του αρχικού χρόνου πήξης των σκυροδεμάτων.

Λέξεις κλειδιά: ιπτάμενη τέφρα, φαρίνα ηλεκτροφίλων, εργασιμότητα, θλιπτική αντοχή, ενανθράκωση.

USE OF INDUSTRIAL BY-PRODUCTS IN CONCRETE

K.K. Sideris, D. Vitsa, I. Paulopoulou and N. Tsiliakoudis

Lab. of Building Materials, Department of Civil Engineers, DUTH, 12 Vas. Sophias str, 671 00 Xanthi.

ABSTRACT: In this reasearch the use of industrial by-products in concrete is experimentally investigated. The materials tested were three fly ashes of lignite origin and cement kiln dust. The concrete properties measured were the slump and slump retention, the initial setting time as well as the compressive strength and carbonation resistance of concrete mixtures. All tested materials were added in the mixture at a 20% per weight of cement dosage by replacing the aggregates. The compressive strength at the age of 28 days was increased for all mixtures. Addition of Ptolemaida's fly ash significantly reduced the intial slump of concrete mixtures as well as the initial setting time.

Keywords: lignite fly ash, cement kiln dust, workability, compressive strength, carbonation.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σκυρόδεμα έχει ως υλικό τύχει ευρύτατης διάδοσης στο χώρο των κατασκευών λόγω της εύκολης μεταφοράς του και της ιδιότητάς του να αναπτύσσει σε μικρό χρονικό διάστημα υψηλές αντοχές. Σε αντίθεση όμως με όλα τα άλλα οικοδομικά υλικά, χαρακτηρίζεται από μία μοναδική ιδιαιτερότητα: η ποιότητα του υλικού που παραγγέλλεται και έρχεται στην κατασκευή, δεν εξασφαλίζει και την ποιότητα του τοποθετημένου στην κατασκευή υλικού. Η εξήγηση αυτής της ιδιαιτερότητας είναι το γεγονός ότι ανάμεσα στο όχημα μεταφοράς και στην οικοδομή παρεμβάλλονται η διάστρωση, η συμπύκνωση και η συντήρηση του σκυροδέματος, εργασίες απαραίτητες προκειμένου το υλικό να αναπτύξει τη σωστή δομή που θα του επιτρέψει την εξέλιξη των ιδιοτήτων του στο βέλτιστο βαθμό. Προκειμένου η διάστρωση και η συμπύκνωση του νωπού σκυροδέματος να πραγματοποιηθούν με τον πλέον σωστό τρόπο, απαιτείται ένα σκυρόδεμα με υψηλό βαθμό εργασιμότητας, δηλαδή υψηλή τιμή κάθισης την οποία να μπορεί να διατηρεί για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Σκυροδέματα με χαμηλή κάθιση ή γρήγορη απώλειά της μετά την προσθήκη υπερρευστοποιητή δημιουργούν προβλήματα τόσο στη διάστρωση όσο και στη συμπύκνωσή τους, με συνέπεια τη δημιουργία εσωτερικών κενών (φωλιές) στα δομικά στοιχεία σκυροδέματος. Αποτέλεσμα της ελλιπούς συμπύκνωσης του σκυροδέματος είναι λοιπόν η αύξηση του πορώδους του στο έργο, γεγονός που μειώνει την ανθεκτικότητα των κατασκευών αλλά και την πραγματική αντοχή των στοιχείων του έργου. Στην παρούσα εργασία μελετάται πειραματικά η δυνατότητα προσθήκης βιομηχανικών παραπροϊόντων στο σκυρόδεμα. Συγκεκριμένα μελετάται η επίπτωση της προσθήκης τους τόσο στην εξέλιξη των μηχανικών αντοχών, όσο και στη μεταβολή της κάθισης των νωπών μειγμάτων.

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.

Παρασκευάστηκαν τέσσερα μείγματα σκυροδέματος με χρήση διαφορετικών βιομηχανικών παραπροϊόντων: της ιπτάμενης τέφρας Μεγαλόπολης (ITM), της ιπτάμενης τέφρας Πτολεμαΐδας (ITΠ), της κατεργασμένης τέφρας Πτολεμαΐδας (KTΠ) και της φαρίνας ηλεκτροφίλτρων (ΦΗΦ). Η χημική ανάλυση των υλικών παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

Όλα τα υλικά προστέθηκαν στο μείγμα αντικαθιστώντας την άμμο σε ποσοστό 20% του βάρους του τσιμέντου. Οι αναλογίες μείξεως των παρασκευασθέντων σκυροδεμάτων καθώς και οι μετρήσεις της αρχικής τιμής της κάθισης παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 1: Χημική ανάλυση ιπταμένων τεφρών και φαρίνας ηλεκτροφίλτρων.

Οξείδια (%)	ΦΗΦ	ITM	ITΠ	KTΠ
SiO ₂	13,68	47.08	27,10	45.15
Ενεργό SiO ₂	--	15.69	-	22.58
Al ₂ O ₃	4,36	18.62	11,22	17.50
Fe ₂ O ₃	2,30	6.72	4,14	8.18
CaO	42,59	17.50	38,43	14.87
Ενεργό CaO	--	--	12,34	1.64
MgO	1,23	3.81	3,46	3.44
SO ₃	0,10	3.28	6,31	4.72
Na ₂ O	0,28	0.68	0,81	--
K ₂ O	0,79	1.52	0,54	--
Διερχόμενα από το κόσκινο 45 μm	---	65.5	16	25.5

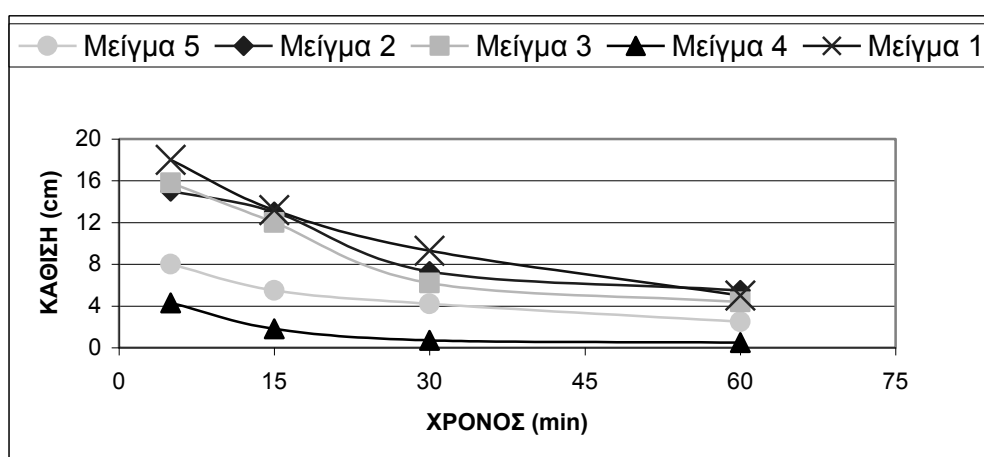
Πίνακας 2. Αναλογίες μείξεως παρασκευασθέντων σκυροδεμάτων.

Αναλογίες μείξεως (Kg/m ³)	Μείγμα 1	Μείγμα 2	Μείγμα 3	Μείγμα 4	Μείγμα 5
CEM ΠΑ/Μ 42.5N	330	330	330	330	330
Άμμος (ασβεστολιθική)	980	914	914	914	914
Γαρμπίλι	150	150	150	150	150
Χαλίκι	750	750	750	750	750
ΦΗΦ	---	66	---	---	---
ITM	---	---	66	---	---
ITΠ	---	---	---	66	---
ΚΤΠ	---	---	---	---	66
Νερό	210	210	210	210	210
Υπερ/της (%)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Κάθιση (cm)	18	15	16	4	8

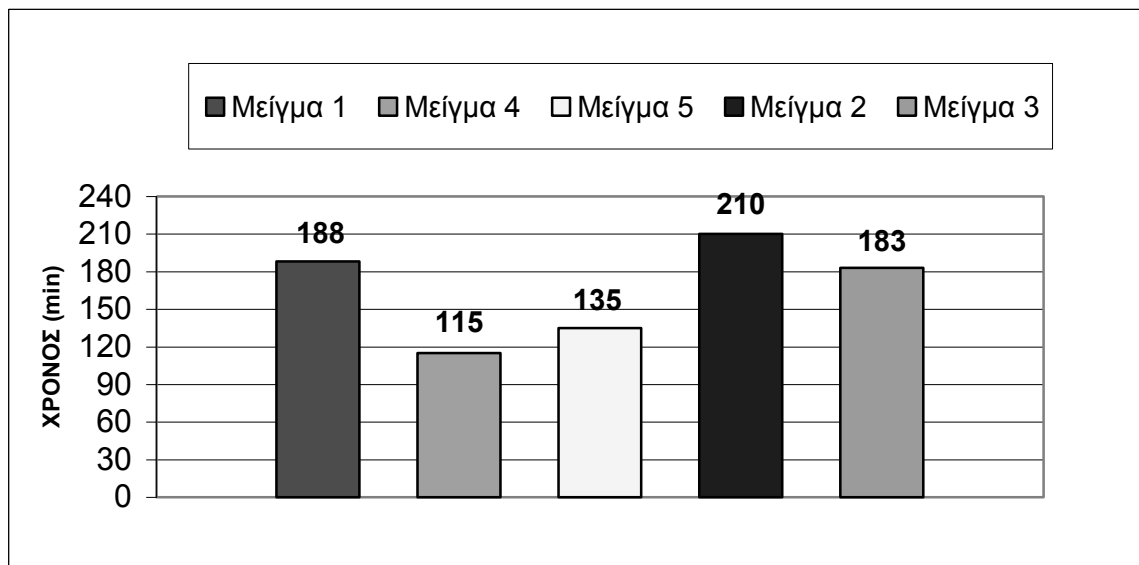
Η τιμή της κάθισης μετρούταν για μία ώρα μετά την παρασκευή των μειγμάτων, προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση των υλικών στη διατήρηση του εργασίμου των μειγμάτων. Η μεταβολή της κάθισης παρουσιάζεται για όλα τα μείγματα στο Σχήμα 1.

Η προσθήκη φαρίνας ηλεκτροφίλτρων καθώς και ιπτάμενης τέφρας Μεγαλόπολης δεν επηρέασε ουσιαστικά τη μεταβολή της κάθισης των μειγμάτων 2 και 3, παρά το γεγονός ότι μείωσε ελαφρώς την αρχική τιμή της σε σχέση με το μείγμα αναφοράς. Η μείωση όμως τόσο της αρχικής κάθισης όσο και της μεταβολής της σε χρονικό διάστημα μίας ώρας ήταν μεγάλη για τα μείγματα 4 και 5. Ιδιαίτερα το μείγμα 4, στην παρασκευή του οποίου χρησιμοποιήθηκε ακατέργαστη τέφρα Πτολεμαΐδας, παρουσίασε αρχική κάθιση ίση με το 20% αυτής του μείγματος αναφοράς, ενώ και αυτή μηδενίστηκε σε διάστημα 30 λεπτών της ώρας.

Ανάλογα είναι και τα αποτελέσματα της επίδρασης των παραπροϊόντων στον αρχικό χρόνο πήξης των σκυροδεμάτων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 1. Μεταβολή της κάθισης σε σχέση με το χρόνο.



Σχήμα 2: Αρχικός χρόνος πήξης παρασκευασθέντων μειγμάτων.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.

Σε όλα τα μείγματα μετρήθηκε η θλιπτική αντοχή σε διάφορες ηλικίες κατά EN196-1. Η μέτρηση της θλιπτικής αντοχής πραγματοποιήθηκε σε κυβικά δοκίμια σκυροδέματος 150x150x150 mm ενώ η τιμή κάθε ηλικίας αποτελεί το μέσο όρο τριών μετρήσεων. Οι μετρήσεις των θλιπτικών αντοχών παρουσιάζονται για όλα τα μείγματα στον Πίνακα 3.

Παράλληλα παρασκευάστηκαν κυλινδρικά δοκίμια σκυροδέματος διαστάσεων 60x100 mm. Τα δοκίμια αυτά, αφού συντηρήθηκαν όπως ορίζει ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-97) για διαφορετικές ηλικίες, τοποθετήθηκαν σε θάλαμο επιταχυνόμενης ενανθράκωσης, με συγκέντρωση CO₂ = 10%, σχετική υγρασία 70% και θερμοκρασία 20±2 °C. Μετά από παραμονή έξι εβδομάδων στον ανωτέρω θάλαμο τα δοκίμια θραύστηκαν και ψεκάστηκαν με διάλυμα φαινολοφθαλείνης, προκειμένου να μετρηθεί το βάθος ενανθράκωσης (RILEM, 1988). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για όλα τα μείγματα στον Πίνακα 4.

Πίνακας 3: Θλιπτική αντοχή σκυροδεμάτων σε διαφορετικές ηλικίες.

	Θλιπτική αντοχή (MPa)				
	Μείγμα 1	Μείγμα 2	Μείγμα 3	Μείγμα 4	Μείγμα 5
2 ημέρες	13,24	17,96	15,19	17,62	16,86
28 ημέρες	28,67	31,79	30,21	36,76	39,66
60 ημέρες	32,01	34,13	33,44	42,15	42,16

Η θλιπτική αντοχή των μειγμάτων στην παρασκευή των οποίων χρησιμοποιήθηκε ιπτάμενη τέφρα (μείγματα 3, 4 και 5) παρουσιάστηκε αυξημένη σε σχέση με την αντίστοιχη του μείγματος αναφοράς σε όλες τις μετρηθείσες ηλικίες. Από τις τέφρες που χρησιμοποιήθηκαν στην αύξηση της αντοχής περισσότερο συνεισέφερε η κατεργασμένη τέφρα Πτολεμαΐδας, λόγω της μεγαλύτερης λεπτότητας και της μεγαλύτερης περιεκτικότητάς της σε ενεργό πυρίτιο. Το μείγμα 3 που παρασκευάστηκε με ιπταμένη τέφρα Μεγαλόπολης παρουσίασε πολύ μικρή αύξηση αντοχών

σε κάθε ηλικία σε σχέση με το μείγμα αναφοράς. Αντίστοιχα το μείγμα 4 (ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας) ανέπτυξε αντοχές ελαφρά χαμηλότερες από τις αντίστοιχες του μείγματος 5 (κατεργασμένη ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας) στις ηλικίες των 28 και 60 ημερών. Ανάλογα αποτελέσματα όσον αφορά την επίδραση των τεφρών στην αύξηση των αντοχών των μειγμάτων αναφέρονται και σε άλλες εργασίες (Sideris et al, 2005).

Πίνακας 4: Βάθος ενανθράκωσης σκυροδεμάτων για διαφορετικό χρόνο συντήρησης.

	Βάθος ενανθράκωσης (mm)				
	Μείγμα 1	Μείγμα 2	Μείγμα 3	Μείγμα 4	Μείγμα 5
1 ημ.	30	30	30	27	30
3 ημ.	20	10	17	18	19
7 ημ.	7	5	9	5	9

Αυξημένες αντοχές σε σχέση με το μείγμα αναφοράς ανέπτυξε και το σκυρόδεμα που παρασκευάστηκε με προσθήκη φαρίνας ηλεκτροφίλτρων (μείγμα 2). Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε αντίθεση με όσα αναφέρονται στην εργασία των Σίδερης κα, 2005. Στην εργασία αυτή παρασκευάστηκε μείγμα αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με προσθήκη φαρίνας ηλεκτροφίλτρων, τα δοκίμια του οποίου παρουσίασαν αξιοσημείωτη μείωση της θλιπτικής αντοχής σε όλες τις ηλικίες. Στο μείγμα εκείνο είχε προστεθεί ποσότητα ΦΗΦ ίση με το 58% του βάρους του τσιμέντου, αναλογία σχεδόν τριπλάσια με αυτήν που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Η επίδραση της φαρίνας ηλεκτροφίλτρων στις μηχανικές και άλλες ιδιότητες του σκυροδέματος βρίσκεται υπό μελέτη.

Αναφορικά με το βάθος ενανθράκωσης, η προσθήκη φαρίνας ηλεκτροφίλτρων ή ιπτάμενης τέφρας είχε σε κάθε περίπτωση ευνοϊκά αποτελέσματα. Τα δοκίμια των μειγμάτων 2, 3, 4 και 5 που είχαν υποστεί υγρή συντήρηση τριών ή επτά ημερών πριν την εισαγωγή τους στο θάλαμο ενανθράκωσης, παρουσίασαν μειωμένο βάθος ενανθράκωσης σε σχέση με το μείγμα αναφοράς. Τα δοκίμια όλων των μειγμάτων με συντήρηση 1 ημέρας είχαν ενανθρακωθεί πλήρως.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η προσθήκη βιομηχανικών παραπροϊόντων στο σκυρόδεμα μεταβάλλει τις ιδιότητες τόσο του νωπού, όσο και του σκληρυμένου μείγματος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, όλα τα υλικά που εξετάστηκαν οδήγησαν σε αύξηση της θλιπτικής αντοχής των σκυροδεμάτων στα οποία προστέθηκαν. Η αύξηση της αντοχής υπήρξε μεγαλύτερη στα μείγματα με ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας –κατεργασμένη και ακατέργαστη- και μικρότερη στα μείγματα με ΦΗΦ και ιπτάμενη τέφρα Μεγαλόπολης. Επίσης ευνοϊκή υπήρξε η επίδραση όλων των υλικών στη μείωση του βάθους ενανθράκωσης όλων των δοκιμίων που υπέστησαν υγρή συντήρηση 3 ή 7 ημερών.

Όσον αφορά την επίδραση των παραπροϊόντων στις ιδιότητες των νωπών μειγμάτων, αυτή μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες: στα υλικά τα οποία δεν επέφεραν αξιοσημείωτες αλλαγές στην κάθιση, τη διατήρηση της κάθισης και τον αρχικό χρόνο πήξης των μειγμάτων, και σε αυτά που οδηγούν σε σημαντική μείωση των ανωτέρω ιδιοτήτων. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν η φαρίνα ηλεκτροφίλτρων και η τέφρα Μεγαλόπολης και στη δεύτερη οι δύο τέφρες Πτολεμαΐδας με την ακατέργαστη να παρουσιάζει τα δυσμενέστερα αποτελέσματα.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

RILEM TC 56, 1988. Measurement of hardened concrete carbonation depth CPC 18, *Materials and Structures*, Vol 21, (126), pp.453-455.

Sideris K.K., Savva A. Papayianni I. 2005. Sulfate Resistance and Carbonation of plain and blended cements, *Cement and Concrete Composites*, (in press).

Σίδερης Κ.Κ., Γκυζάς Κ., Διχάλα Ε., Κοτσάνης Π. και Στρατηγόπουλος Β., 2005 Χρήση Βιομηχανικών Παραπροϊόντων για την Παρασκευή Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος, *Πρακτικά 1^{ου} Ελληνικού Συνεδρίου για την αξιοποίηση των βιομηχανικών παραπροϊόντων στις κατασκευές*, Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2005.