

Πρόταση Σχεδίου Εθνικών Προδιαγραφών για τη Χρήση Ιπτάμενης Τέφρας Υψηλής Περιεκτικότητας σε Ασβέστιο στο Σκυρόδεμα

Δ. Γεωργιάκη, Ν. Κοϊμτσίδης, Α. Μουτσάτσου, Γ. Μπατής, Ι. Παπαγιάννη, Ε. Παπαδάκης, Α. Σακελλαρίου, και Σ. Τσίμας

Ομάδα εργασίας του ΤΕΕ/ Τμήμα Δυτικής Μακεδονίας

Λέξεις κλειδιά: Ιπτάμενη τέφρα, υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο, προδιαγραφές, σκυρόδεμα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Με αυτό το σχέδιο κανονισμού προδιαγράφονται οι απαιτήσεις ή τα όρια που πρέπει να πληρούνται από τις ασβεστούχες Ελληνικές ιπτάμενες τέφρες (ΙΤ) για τη χρήση τους ως ποζολανικά πρόσθετα με υδραυλικές ιδιότητες Τύπου ΙΙ (κατά EN 206-1, 2000) σε σκυρόδεμα (χυτό ή προκατασκευασμένο), καθώς επίσης και σε κονιάματα και ενέματα σε συνεργασία με τσιμέντο Portland CEM I σύμφωνα με ότι ορίζει το EN 206-1. Το ποσό προσθήκης ή αντικατάστασης του τσιμέντου Portland καθορίζεται βάσει μεθόδων προσδιορισμού ενεργότητας (k-value ή equivalent performance που προδιαγράφονται στο EN 206-1), ή βάσει ειδικής προδιαγραφής που έχει συνταχθεί μετά από πειραματική μελέτη και έχει γίνει αποδεκτή από αρμόδιο φορέα αξιολόγησης. Σχετικά με τις διαδικασίες παραγωγής, εφαρμογής, και συντήρησης των σκυροδεμάτων με ΙΤ ακολουθούνται οι κατά περίπτωση ισχύουσες προδιαγραφές. Πεδίο εφαρμογής αποτελούν κατασκευές με φέρον σκυρόδεμα ή προϊόντα σκυροδέματος στα οποία η αντικατάσταση του τσιμέντου Portland αποφέρει οικονομικά και τεχνικά οφέλη. Συνιστάται να χρησιμοποιείται σε οπλισμένα σκυροδέματα, ιπτάμενη τέφρα ως υποκατάστατο του τσιμέντου σε ποσοστό <40% του τσιμέντου Portland ενώ για άοπλα σκυροδέματα η ΙΤ μπορεί να αντικαταστήσει μεγαλύτερα ποσοστά, ανάλογα με τις απαιτήσεις του σκυροδέματος όσον αφορά τα μηχανικά χαρακτηριστικά και την ανθεκτικότητα που προδιαγράφονται στο έργο. Η ταυτόχρονη προσθήκη ΙΤ και άλλων πρόσθετων υλικών στο σκυρόδεμα με τσιμέντο Portland δεν αποκλείεται αλλά δεν αποτελεί αντικείμενο του κανονισμού αυτού.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο τρόπος με τον οποίο τα πρόσθετα υλικά χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα (χυτό ή προκατασκευασμένο) καθώς και στα κονιάματα και ενέματα σε συνεργασία με το τσιμέντο Portland προσδιορίζεται από το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 206-1 (2000) Concrete-Part 1, όπου αναφέρονται δύο μέθοδοι προσθήκης των υλικών αυτών στο σκυρόδεμα. Η μέθοδος του συντελεστή ενεργότητας (k-value) και η μέθοδος της ισοδύναμης συμπεριφοράς (equivalent concrete performance). Η καταλληλότητα των πρόσθετων που θα χρησιμοποιηθούν με μια από τις υποδεικνυόμενες μεθόδους εφόσον δεν καλύπτεται από σχετικό πρότυπο πρέπει να πιστοποιείται με τη συμμόρφωση των πρόσθετων υλικών στις διατάξεις είτε

Ευρωπαϊκής Τεχνικής Έγκρισης (European Technical Approval) είτε

Σχετικού εθνικού κανονισμού ή ισχυουσών διατάξεων για συγκεκριμένη εφαρμογή σκυροδέματος στο πλαίσιο του EN 206-1

Οι ιπτάμενες τέφρες διακρίνονται ανάλογα με τη σύστασή τους σε πυριτικές, ασβεστοπυριτικές και ασβεστούχες (ή πλούσιες σε άσβεστο) με ποζολανικές ή/ και υδραυλικές ιδιότητες. Οι Ελληνικές ιπτάμενες τέφρες ανήκουν στην κατηγορία των ασβεστοπυριτικών και πλούσιων σε άσβεστο τερφρών.

Η καταλληλότητα των πυριτικών ιπτάμενων τερφρών για τη χρήση τους στο σκυρόδεμα στο πλαίσιο του EN 206-1 καλύπτεται από το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 450-1 (2000). Για τις ασβεστούχες τέφρες δεν υπάρχει πρότυπο και η δυνατότητα χρησιμοποίησής τους μπορεί να διασφαλισθεί μόνο βάσει εθνικού σχετικού κανονισμού που θα προσαρμόζεται / εντάσσεται στο EN 206-1. Οι ιπτάμενες τέφρες που προδιαγράφονται (όπως και στην περίπτωση των πυριτικών ιπτάμενων τερφρών) μπορεί να έχουν υποστεί κατεργασία όπως επιλεκτική συλλογή, ομογενοποίηση, άλεση, ή μείωση ποσοστού ελευθέρως ασβέστου ή άλλη κατεργασία προς βελτίωση των ιδιοτήτων και της αποτελεσματικότητας των υλικών.

Οι Ελληνικές ΙΤ αποτελούν παραπροϊόν των Ατμοηλεκτρικών σταθμών της ΔΕΗ που βρίσκονται στην περιοχή λεκανοπεδίου Πτολεμαΐδας και στην περιοχή Μεγαλόπολης. Συλλέγονται στα ηλεκτροστατικά φίλτρα των σταθμών. Η κύρια καύσιμος ύλη είναι τα λιγνιτικά κοιτάσματα της κάθε περιοχής αντίστοιχα. Οι ΙΤ είναι ασβεστο-αργιλλο-πυριτικής σύστασης και σχηματίζουν κονίες με ποζολανικές ή και υδραυλικές ιδιότητες. Το 76% των ΙΤ παράγονται στην Πτολεμαΐδα ενώ το άλλο 24% στην Μεγαλόπολη. Η ετήσια παραγωγή των Ελληνικών ΙΤ ανέρχεται σε $8-9 \times 10^6$ τόνους. Κύρια χαρακτηριστικά των τερφρών είναι:

Η ανομοιογένεια (οι διακυμάνσεις) στη σύσταση που οφείλονται στην ποιότητα του λιγνίτη τροφοδοσίας και στις συνθήκες και διαδικασίες καύσης του.

Η σχετική υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο. Η περιεκτικότητα σε CaO της ΙΤ Πτολεμαΐδας είναι πάνω από 20% ενώ της Μεγαλόπολης γύρω στο 10-15%.

Η κατά περιόδους υψηλή περιεκτικότητα σε θειικά πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια των υπαρχόντων κανονισμών για υλικά που προστίθενται στο τσιμέντο/ σκυρόδεμα.

Η λεπτότητα των ΙΤ κυμαίνεται 45-55% ως συγκρατούμενο ποσοστό στο κόσκινο 45 μ m.

Η αναγκαιότητα της σύστασης εθνικού πλαισίου κανονισμών ή διατάξεων για τη χρήση των ελληνικών ιπτάμενων τερφρών σε σκυρόδεμα και προϊόντα σκυροδέματος προκύπτει από τα παρακάτω δεδομένα:

Έχει συσσωρευτεί ερευνητική εμπειρία μισού αιώνα από τη χρήση των Ελληνικών τερφρών στο σκυρόδεμα (βλ. σχετική επισυναπτόμενη βιβλιογραφία).

Έχει κατασκευασθεί και λειτουργεί περίπου μία πενταετία το Φράγμα της Πλατανόβρυσης με κυλινδρούμενο σκυρόδεμα στο οποίο η συνδετική κονία αποτελούνταν από 80% κατεργασμένη ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας και 20% Portland I45.

Έχουν γίνει πολλές επιτυχείς πιλοτικές εφαρμογές όπως κατασκευή οδοστρωμάτων και προκατασκευασμένων προϊόντων σκυροδέματος.

Υπάρχει (από επένδυση που έγινε στη διάρκεια κατασκευής φράγματος Πλατανόβρυσης) υποδομή (συγκρότημα άλεσης και επεξεργασίας – εργαστήρια και σύστημα ελέγχου ποιότητας) για την παραγωγή ιπτάμενων τερφρών που να εμπίπτουν σε προδιαγραφές.

Έχει γίνει στο πλαίσιο έργου που χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Βιομηχανίας και ανέλαβε το Κ.Τ.Ε.Σ.Κ. προαπαιτούμενη πειραματική εργασία τύπου round robin test που μπορεί να αξιοποιηθεί για τη σύσταση προδιαγραφών.

Υπάρχει Μελέτη Σκοπιμότητας – Βιωσιμότητας του Εργοστασίου Επεξεργασίας Ιπτάμενης Τέφρας (Σεπτέμβριος 1998) ANKO, ΚΤΕΣΚ, ΙΝΤΕΛΕΚ ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ Α.Ε. Εδώ και είκοσι χρόνια, οι ιπτάμενες τέφρες προστίθενται κατά την τελική άλεση του τσιμέντου. Η προσθήκη αυτή προβλεπόταν με το ΠΔ του 1980 που αναφερόταν στο τσιμέντο και βεβαίως προβλέπεται με το πρότυπο EN197-1, το οποίο από τις αρχές του 2002 ισχύει στην Ελλάδα.

Υπάρχει δεδηλωμένο ενδιαφέρον από χρήστες / κατασκευαστές δομικών έργων και προϊόντων σκυροδέματος.

Υπάρχει η συγκυρία της κατασκευής μεγάλων έργων υποδομής στην Ελλάδα (έργα οδοποιίας και παράλληλα έργα) στα επόμενα χρόνια.

Η χρήση των ιπτάμενων τεφρών στο δομικό τομέα κάτω από εθνικές προδιαγραφές αποφέρει οικονομία και ενισχύει την πολιτική περιβαλλοντικής μέριμνας που υπαγορεύεται από τις αρχές της αειφόρου και βιώσιμης ανάπτυξης.

Το παρόν σχέδιο έχει συνταχθεί από Ομάδα Εργασίας του ΤΕΕ που αποτελείται από τους Ν. Κοιμτσίδα, ΠΜ, Πρόεδρο ΤΕΕ/ΤΔΜ, ως συντονιστή, Γ. Μπατή, ΧΜ, Αναπλ. Καθηγήτη ΕΜΠ, Ι. Παπαγιάννη, ΠΜ και Χ, Καθηγήτρια ΑΠΘ, Ε. Παπαδάκη, Δρ. ΧΜ, Α. Σακελλαρίου, Δρ. ΠΜ και Σ. Τσίμα, ΧΜ, Καθηγήτη ΕΜΠ υπό την επιστημονική ευθύνη της κ. Ι. Παπαγιάνη. Η Ομάδα πλαισιώθηκε από τις Δ. Γεωργιλάκη ΧΜ και Α. Μουτσάτσου, ΧΜ, Αναπλ. Καθηγήτρια ΕΜΠ με ειδικό αντικείμενο την προσαρμογή των χημικών απαιτήσεων των υψηλού ασβεστίου τεφρών, στα υπάρχοντα σχετικά Πρότυπα.

2 ΣΥΝΤΑΞΗ ΣΧΕΔΙΟΥ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ

Για την σύνταξη εθνικού σχεδίου προδιαγραφών για τις υψηλής περιεκτικότητας σε άσβεστο τέφρες ακολουθήθηκε η φιλοσοφία του σχετικού προτύπου EN 450-1 και των συνοδευόντων μεθοδολογιών και βασίστηκε στην υπάρχουσα σειρά προτύπων EN196, EN197 που αφορούν το τσιμέντο Portland καθώς και στο EN 206 που αφορά το σκυρόδεμα. Συμπληρωματικά ελήφθησαν υπόψη οι σχετικοί κανονισμοί ASTM και CAN/CSA καθώς και ο Ελληνικός κανονισμός Τεχνολογίας Σκυρ/τος όπως φαίνεται στην σχετική λίστα που δίνεται στη συνέχεια.

Για τις ανάγκες του εθνικού προτύπου εκτός των ορισμών για προσθήκη τύπου II (EN 206-1) και ιπτάμενων τεφρών (EN 197-1) δίνονται οι ορισμοί της ακατέργαστης και κατεργασμένης τέφρας ως ακολούθως:

Προσθήκη τύπου II

Λεπτόκοκκο ανόργανο, ποζολανικό ή λανθάνον (latent) υδραυλικό υλικό που μπορεί να προστεθεί στο σκυρόδεμα, έτσι ώστε να βελτιώσει κάποιες ιδιότητές του ή έτσι ώστε να πετύχει ειδικές ιδιότητες (βλέπε EN 206-1)

Ιπτάμενη τέφρα

Λεπτόκοκκο υλικό αποτελούμενο από κυρίως σφαιρικά, υαλώδη σωματίδια, προερχόμενα από την καύση κονιορτοποιημένου άνθρακα. Έχει ποζολανικές ιδιότητες και περιέχει απαραίτητα SiO₂ και Al₂O₃, με την περιεκτικότητα σε ενεργό SiO₂ –όπως αυτή ορίζεται στο EN 197-1– να είναι τουλάχιστον 25% κ.β. Η ιπτάμενη τέφρα λαμβάνεται με την

ηλεκτροστατική ή μηχανική απομάκρυνση τερφωδών σωματιδίων από τους καπναγωγούς κλιβάνων που καίνε κονιορτοποιημένο άνθρακα.

Ακατέργαστη Ιπτάμενη Τέφρα

Είναι η ιπτάμενη τέφρα που διατίθεται όπως συλλέγεται ή μετά από στοιχειώδη ομογενοποίηση επιλεκτικά συλλεγόμενου υλικού.

Κατεργασμένη Ιπτάμενη Τέφρα

Είναι η ιπτάμενη τέφρα η οποία, μετά την (επιλεκτική ή μη) συλλογή της, αλέθεται και ενδεχομένως παράλληλα με την άλεση της, ενυδατούται μερικώς εντός του μύλου.

Έτσι οι Ελληνικές ιπτάμενες τέφρες είναι δυνατόν να ταξινομηθούν ως εξής:

Ανάλογα με τη χημική σύστασή τους σε ΙΤ μέσης περιεκτικότητας σε CaO 10-15% όπως είναι η ΙΤ της Μεγαλόπολης με ποζολανικά κυρίως χαρακτηριστικά και υψηλής περιεκτικότητας σε CaO όπως είναι η ΙΤ της Πτολεμαΐδας CaO >20% με ποζολανικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά. Ανάλογα με την επεξεργασία που έχουν υποστεί πριν τη διάθεσή τους στο εμπόριο διακρίνονται σε ΙΤ:

Ακατέργαστες **a**

Κατεργασμένες **b**

Στην κατηγορία **a**, συμπεριλαμβάνονται οι ΙΤ που διατίθενται όπως συλλέγονται ή με στοιχειώδη ομογενοποίηση επιλεκτικά συλλεγόμενου υλικού και οι οποίες είναι δυνατόν να εμπίπτουν σε όρια ανάλογα με τη χρήση που θα βρουν. Τέτοια όρια αναφέρονται στους κανονισμούς που αφορούν τη συγκεκριμένη χρήση όπως πχ είναι η οδοποιία. Συνήθως οι απαιτήσεις ανάπτυξης αντοχής είναι μικρές. Χαρακτηριστικό πεδίο εφαρμογής η ανάμιξη ΙΤ+ έδαφος για υπόβαση οδοστρωμάτων.

Στην κατηγορία **b** συμπεριλαμβάνονται οι ΙΤ που είναι δυνατό να υποκαταστήσουν ποσοστό τσιμέντου Portland στο σκυρόδεμα φερουσών κατασκευών. Για την παραγωγή κατεργασμένης τέφρας απαιτείται σύστημα ομογενοποίησης, άλεσης/ υδρόλυσης και ποιοτικού ελέγχου ώστε να αποδίδεται ένα υλικό που να εμπίπτει στις διατάξεις του κανονισμού αυτού. Αυτό προϋποθέτει ότι η τροφοδοσία του συστήματος άλεσης υδρόλυσης θα γίνεται με ένα προεπιλεγμένο υλικό με ιδιότητες εντός ορίων (max or min). Η διαδικασία παραγωγής της επεξεργασμένης ΙΤ δεν αποτελεί αντικείμενο του παρόντος κανονισμού.

Βασικό στοιχείο της προδιαγραφής είναι η δυνατότητα που παρέχεται για χρήση της ελληνικής τέφρας κατά περίπτωση (ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου). Έτσι για ορισμένα έργα αόπλου σκυροδέματος όπως π.χ. φράγματα, οδοστρώματα, δάπεδα, έτοιμα προϊόντα σκυρ/τος η ιπτάμενη τέφρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υψηλά ποσοστά αντικατάστασης τσιμέντου ενώ σε άλλες εφαρμογές η αντικατάσταση αυτή θα είναι περιορισμένη. Θα ακολουθείται για την εύρεση του βέλτιστου ποσοστού προσθήκης σε αντικατάσταση τσιμέντο η μέθοδος του συντελεστή ενεργότητας (K value) και η μέθοδος ισοδύναμης επιτελεστικότητας (equivalent concrete performance) που ορίζονται στο EN 206-1 (2000) πρότυπο βάσει των οποίων γίνεται και η προσθήκη των μη ασβεστούχων τερφών ή και των άλλων πουζολανικών πρόσθετων.

Είναι φανερό ότι με τον τρόπο αυτό ο καθορισμός του βέλτιστου ποσοστού δεν βασίζεται μόνο στις μηχανικές αντοχές αλλά και στην ανθεκτικότητα δηλαδή στην ολική επιτελεστικότητα των ιπτάμενων τεφρών.

3 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Με το σχέδιο προδιαγράφονται οι απαιτήσεις της χημικής σύστασης των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων με ανώτατα ή κατώτερα αποδεκτά όρια τιμών. Η συμμόρφωση με τις τιμές αυτές εκτιμάται με στατιστική αξιολόγηση βάσει μεθοδολογίας που αναπτύσσεται στο Κεφάλαιο 8 του EN 450-1 που υιοθετείται με σχετικές τροποποιήσεις εάν χρειάζεται. Οι μέθοδοι δοκιμασίας που προδιαγράφονται είναι μέθοδοι αναφοράς. Διαφορετικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν εφόσον έχει τεκμηριωθεί η σχέση τους με τις μεθόδους αναφοράς. Οι ΙΤ θα αποθηκεύονται και παραδίδονται σε ξηρή κατάσταση ακολουθώντας αντίστοιχες διατάξεις του προτύπου που αφορά το τσιμέντο. Στο σχέδιο αυτό δίδονται σε παράρτημα οι πρότυπες μεθοδολογίες προσδιορισμού σύστασης φυσικοχημικών και μηχανικών χαρακτηριστικών με τις τροποποιήσεις που προτείνονται όπου απαιτείται από την ιδιαιτερότητα των ασβεστούχων τεφρών. Τα θέματα που απασχόλησαν περισσότερο την ομάδα εργασίας ήταν η ελεύθερη άσβεστος και η περιεκτικότητα σε θειικά των ελληνικών ΙΤ.

Στην περίπτωση της κατηγορίας b των ελληνικών ιπτάμενων τεφρών το ποσοστό ελευθέρως ασβέστου όπως προσδιορίζεται με τη μέθοδο EN 451-1 (Παράρτημα B4a) δεν πρέπει να ξεπερνά το 3% κατά βάρος. Στις περιπτώσεις όπου αυτό είναι μεγαλύτερο, τότε κατά την κατεργασία άλεσης της τέφρας γίνεται και μερική ενυδάτωση της, προς Ca(OH)_2 , μέσα στον μύλο. Στην περίπτωση αυτή το CaOf της τέφρας προσδιορίζεται από την διαφορά :

$\text{CaOf} = \text{CaOf} (\text{κατά EN 451-1}) - \text{CaO} (\text{ως } \text{Ca(OH)}_2)$

Το CaO που ευρίσκεται ως Ca(OH)_2 προσδιορίζεται έμμεσα σύμφωνα με την μεθοδολογία που περιγράφεται στο παράρτημα B4β (προσδιορισμός του Ca(OH)_2 σε δείγματα ενυδατωμένης ιπτάμενης τέφρας με σταθμική θερμοβαρυτομετρική ανάλυση ασβεστίου)

Το ποσοστό των θειικών εκπεφρασμένο ως SO_3 , όπως προσδιορίζεται στο Παράρτημα B3 δεν πρέπει να ξεπερνά το 5.5% κατά βάρος. Σε περίπτωση που το προσδιορισθέν ποσοστό SO_3 ευρίσκεται μεταξύ 5.5 και 7% κατά βάρος, η ΙΤ δεν απορρίπτεται εφόσον εμπίπτει στις άλλες απαιτήσεις, αλλά ακολουθείται η λογική των Καναδικών Κανονισμών CAN/CSA-A235-M86 όπου εάν υπάρχει θετική αξιόπιστη έκθεση βασισμένη σε πειραματική μελέτη, η ΙΤ γίνεται αποδεκτή.

Όσον αφορά στο δείκτη δραστηκότητας και στη σταθερότητα όγκου και στο χρόνο πήξης προτείνονται στο σχέδιο αυτό εκτός των standard μίγμάτων βάσει EN 196-1 τσιμέντο/τέφρα = 75/25 και ο έλεγχος αποδοχής σε μίγματα τσιμέντου /τέφρα 50/50 για επιπλέον ασφάλεια. Με αυτό τον τρόπο το βέλτιστο ποσοστό καθορίζεται περισσότερο με κριτήρια επιτελεστικότητας και είναι πιο κοντά στην πραγματική κατάσταση.

4 ΣΥΝΙΣΧΥΟΝΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ

Αναφέρονται τα σχετικά Ευρωπαϊκά και ASTM πρότυπα. Στην βιβλιογραφία υπάρχουν επίσης τα σχετικά Καναδικά και Ισπανικά πρότυπα. Οι σχετικές Ισπανικές προδιαγραφές

αναφέρονται επειδή είναι το πρώτο εθνικό πρότυπο ευρωπαϊκής χώρας που αφορά ασβεστούχες τέφρες (UNE 83420) και είναι εν ισχύει. Επισημαίνεται ότι: το πρότυπο EN 451-2 που συνοδεύει το EN 450-1 δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση των ασβεστούχων τεφρών. Τα Καναδικά πρότυπα εμφανίζουν την μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα στις ιδιαιτερότητες των ΙΤ ώστε να επιτυγχάνεται όσο το δυνατό μεγαλύτερη αξιοποίηση των ιδιοτήτων των ΙΤ.

| | |
|----------------------------|--|
| EN 450-1 2003 | Fly ash for concrete – Part 1 : Definition, specifications and conformity criteria |
| EN 196-1: 1994 | Methods of testing cement- Determination of strength |
| EN 196-2: 1994 | Methods of testing cement- Chemical analysis of cement |
| EN 196-3: 1994 | Methods of testing cement- Determination of setting time and soundness |
| EN 196-6: 1989 | Methods of testing cement- Determination of fineness |
| EN 196-7: 1989 | Methods of testing cement- Methods of taking and preparing samples of cement |
| EN 196-21 1989 | Methods of testing cement- Determination of chloride, carbon dioxide and alkali content of cement |
| EN 197-1:/ELOT 197 2000 | Cement –Part 1: Composition, specification and conformity criteria for common cements |
| EN 206-1: 2000 | Concrete – Part 1: Specification, production, performance and conformity |
| EN 451-1: 2000 | Methods of testing fly ash- Part 1: Determination of free calcium oxide content |
| EN 451-2: 1994 | Methods of testing fly ash- Part 2: Determination of fineness by wet sieving |
| ASTM D6316-00 | Standard test method for determination of total combustible and carbonate carbon in solid residues from coal and coke. |
| ASTM D 3682-01 | Standard test method for major and minor elements in coal and coke ash by Atomic Absorption |
| ASTM D5016-98 | Standard test method for sulfur in ash from coal, coke and residues from coal combustion using high temperature tube furnace combustion method with infrared absorption. |
| ASTM E1868-02 | Standard test method for loss-on-drying by thermo-Gravimetry. |
| ASTM E473-00 | Standard terminology relating to thermal analysis |
| ASTM E1953-02 | Standard practice for description of thermal analysis apparatus. |
| ASTM E1131-98 | Standard test method for compositional analysis by |

| | |
|----------------------------|--|
| ASTM E1142-97 | thermogravimetry. Standard terminology relating to thermophysical properties |
| ASTM E886-94 | Standard practices for dissolution of refuse-derived fuel ash samples for analyses of metals |
| ASTM 885-98(reapproved 96) | Standard test method for Analyses of Metals in refuse-derived fuel by Atomic Absorption Spectroscopy |
| ASTM D1193 | Specification for Reagent Water |

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Οδηγία της Ε.Ε. για το χαρακτηρισμό των αποβλήτων: Αβλ.ΕΓ 1994 Νρ. 5 Σ. 15.
2. Έκθεση της ΔΕΠ-ΔΕΗ «Στοιχεία για τη διαχείριση της τέφρας και της ιλύος των λιγνιτικών ΑΗΣ της ΔΕΗ», Ιούλιος 1997.
3. Τσίμας Σ., «Αναξιοποίητη μένει η ιπτάμενη τέφρα», *Οικονομικός Ταχυδρόμος*, Φ21 (2246), 1997, σ.56-9.
4. Malhotra, V.M. and Mehta P. K., "Pozzolanic and Cementitious Materials", Gordon and Breach Publishers, 1996, pp 111-153.
5. Papayianni I., "An Investigation on the Pozzolanicity and hydraulic Reactivity of a High-Calcium Fly Ash", *Magazine of Concrete Research*, Vol. 39, No 138, March 1987, pp 19-28.
6. Papayianni I., "Strength and Bond Data for Greek High-Lime Fly Ash Concrete", ACI-SP-91, Editor V. M. Malhotra, Volume 1, Detroit 1986, pp 367-386.
7. Papayianni I., "Long-time Study of Pozzolanic Materials Performance in Durability of Reinforced Concrete", 3rd Int. Conf. on Durability of Building Materials and Components, Technical Center of Finland (VTT), Espoo, August 12-18 1986, Vol. 3, pp 187-208.
8. Papayianni I. and Mavria P., "Durability Testing of Roller Compacted Concrete of Platanovryssi Dam", Proceeding of 12th Hellenic Symposium on Concrete". Edited by Technical Chamber of Greece, Lemessos, October 29-31, 1996, pp 247-258.
9. Papayianni I., "Cooperation of Cement-Fly Ash System in High-Paste Roller Compacted Concrete", Proc. of 10th Int. Congress on the Chemistry of Cement, Gotenburg, Sweden, June 2-6, 1997, Vol. 3, Bii086, 4pp.
10. Papayianni I., "Performance of a High-Calcium Fly Ash in Roller Compacted Concrete", ACI SP-132, Vol. 1, Editor V. M. Malhotra, Detroit, 1992, pp 367-386.
11. Public Power Corporation, "Hydroelectric Project of Platanovryssi", Development Department of the Public Power Corporation of Greece", Contract PLH-2. Construction of RCC Dam, Technical Specifications, ATHENS - 1992.
12. Kravaritis A., Tsimas S., Moutsatsou A., Tsiknakou Y., "Utilization of Fly Ash for Construction of Dams by RCC Method", Proc. Power-Gen '96, Europe, Vol. 1, pp 833-858.
13. Papayianni I., Tsiknakou Y., Stefanakos J., Tsimas S., Spanos H., "Use of Treated Greek Fly Ash in Roller Compacted Concrete", Proc. of 12th Hellenic Symposium on Concrete. Edited by Technical Chamber of Greece, Lemessos, October 29-31, 1996, pp 125-136.
14. Tsimas S., "Beneficiation of high calcium fly ash in Greece", Invited for presentation in the conference, *Fly ash from power plants*, October 2001, Poland, Proc. P 273-84.
15. Papadakis, V.G., M.N. Fardis, and C.G. Vayenas, "Hydration and Carbonation of Pozzolanic Cements", *ACI Mat. J.*, 89(2), 119-130 (1992).
16. Παπαδάκης, Ε.Γ. και Ε.Ι. Pedersen, «Παραγωγή, Αξιολόγηση και Χρήση Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές στην Δανία», *Διημερίδα: Χρήση των Ελληνικών Ιπτάμενων Τεφρών στις Κατασκευές*, ΓΓΕΤ-ΚΤΕΣΚ, Κοζάνη, 1997.
17. Μπούσιος Α. και Ε.Γ. Παπαδάκης, «Μελέτη Σκοπιμότητας – Βιωσιμότητας του Εργοστασίου Επεξεργασίας Ιπτάμενης Τέφρας Πτολεμαΐδας», *Έκθεση προς την ΑΝ.ΚΟ ΑΕ, ΚΤΕΣΚ, Αθήνα, Σεπτέμβριος 1998*.
18. Papayianni I. "Utilization of High Volume Fly Ash Concrete for Roller Compacted Concrete Dams" ACI Conf. on Concrete Technology for Sustainable Development in the Twenty Century. Edited by P.K. Mehta February 1999 pp 126-142.
19. Papadakis, V.G., "Experimental Investigation and Theoretical Modeling of Silica Fume Activity in Concrete", *Cement and Concrete Research*, 29(1), 79-86 (1999).
20. Papadakis, V.G., E.J. Pedersen, and H. Lindgreen, "An AFM-SEM Investigation of the Effect of Silica Fume and Fly Ash on Cement Paste Microstructure", *Journal of Materials Science*, 34(4), 683-690 (1999).

21. Papayianni I. "High Calcium Fly Ash Applications in Concrete Construction" invited presentation at the 6th CANMET/ACI Conf. on Fly Ash, Slag and Natural Pozzolans, Madras, 2000.
22. Papadakis, V.G., "Effect of Fly Ash on Portland Cement Systems. Part I: Low-Calcium Fly Ash", *Cement and Concrete Research*, 29(11), 1727-1736 (1999).
23. Papadakis, V.G., "Effect of Fly Ash on Portland Cement Systems. Part II: High-Calcium Fly Ash", *Cement and Concrete Research*, 30(10), 1647-1654 (2000).
24. Papadakis, V.G., "Effect of Supplementary Cementing Materials on Concrete Resistance Against Carbonation and Chloride Ingress", *Cement and Concrete Research*, 30(2), 291-299 (2000).
25. Tsimas, S., V.G. Papadakis, and S. Antiochos, "Study and Upgrade of Supplementary Materials for Cement and Concrete", International Symposium: Cement and Concrete Technology in the 2000s, Istanbul, September 2000.
26. Mira, P., V.G. Papadakis, and S. Tsimas, "Effect of Lime Putty Addition on Structural and Durability Properties of Concrete", *Cement and Concrete Research*, 32(5), 683-9 (2002).
27. Papadakis, V.G. and S. Tsimas, "Use of Supplementary Cementing Materials for Sustainable Building-Sector Growth"; *Final Report* to European Commission, Project No. HPMF-CT-1999-00370, National Technical University of Athens, Athens, June 2001.
28. Papadakis, V.G. and S. Tsimas, "Supplementary Cementing Materials in Concrete - Part I: Efficiency and Design", *Cement and Concrete Research*, 32(10), 1525-1532 (2002).
29. Papadakis, V.G., S. Antiochos, and S. Tsimas, "Supplementary Cementing Materials in Concrete - Part II: A Fundamental Estimation of the Efficiency Factor", *Cement and Concrete Research*, 32(10), 1533-8 (2002).
30. Papadakis, V.G. and S. Tsimas, "Greek Supplementary Cementing Materials and their Incorporation in Concrete", *Cement and Concrete Composites*, accepted (2003).
31. Σ. Κόλλιας, Α. Σακελλαρίου, Δ. Κλουκίνας, Β. Τσουκής, 'Σκυρόδεμα οδοστρωμάτων συμπυκνούμενο με οδοστρωτήρα με χρήση Ελληνικής Ιπτάμενης Τέφρας', 11^ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος ΤΕΕ. Κέρκυρα 1994.
32. Α. Σακελλαρίου, Α. Παπαθανασίου, Κ. Τσιφλάς, 'Συμβολή του Εργαστηρίου Σκυροδέματος του ΚΔΕΠ/ΤΕΔΥ στις διεργαστηριακές δοκιμές για αξιοποίηση των Ελληνικών Ιπτάμενων Τεφρών' *Διημερίδα :Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις κατασκευές*. ΚΤΕΣΚ. Κοζάνη 1997.
33. Α. Σακελλαρίου, Γ. Παυλάκης, Α. Καραγγελής, 'Δοκιμές άμεσου εφελκυσμού σε δοκίμια κυλινδρούμενου σκυροδέματος με χρήση Ιπτάμενης Τέφρας από το φράγμα της Πλατανόβρυσης της ΔΕΗ' *Διημερίδα :Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις κατασκευές*. ΚΤΕΣΚ. Κοζάνη 1997.
34. Σ. Κόλλιας, Α. Σακελλαρίου, 'Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας σε εργαστηριακές δοκιμές διερεύνησης των ιδιοτήτων του κυλινδρούμενου σκυροδέματος για χρήση στην οδοστρωσία' *Διημερίδα :Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις κατασκευές*. ΚΤΕΣΚ. Κοζάνη 1997.
35. Α. Σακελλαρίου 'Ελληνικές Ιπτάμενες Τέφρες στο Σκυρόδεμα' Μελέτη βάσει πεπραγμένων της Ομάδας Εργασίας για την σύνταξη κανονισμού χρήσης Ιπτάμενης Τέφρας στο άοπλο σκυρόδεμα. *Έκδοση ΚΔΕΠ/ΔΕΗ*. 1998.
36. I. Papayianni, Th Valiasis "Heat Deformations of Fly Ash Concrete" Under publication in the special Issue of Cement and Concrete Composites.