

## Η σωστή διαχείριση των ιπτάμενων τεφρών ως απαραίτητη προϋπόθεση για την διεύρυνση του ποσοστού αξιοποίησης των

**Τσίμας Σ.**

*Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Ηρώων  
Πολυτεχνείου 9, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, Τ.Κ. 157 73, Αθήνα, ΕΒΙΠΑΡ*

*Λέξεις Κλειδιά:* Ιπτάμενες Τέφρες,, Διαχείριση ιπταμένων τεφρών, ποιοτικά χαρακτηριστικά

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Είναι δεδομένο ότι οι Ελληνικές Ιπτάμενες τέφρες λόγω των εγγενών χαρακτηριστικών τους εμφανίζουν σημαντικές ποιοτικές διαφοροποιήσεις όχι μόνο μεταξύ Βορείου και Νοτίου πεδίου ή μεταξύ των διαφορετικών ΑΗΣ αλλά ακόμα μεταξύ των μονάδων ενός ΑΗΣ ή τέλος υπάρχουν διαφοροποιήσεις στην ίδια μονάδα, σε συνάρτηση με τον χρόνο, λόγω διαφοροποίησης της ποιότητας του τροφοδοτούμενου λιγνίτη. Μέχρι στιγμής οι τέφρες συλλέγονται ανά μονάδα ΑΗΣ χωρίς να γίνει προσπάθεια διαχωρισμού τους με βάση καίρια ποιοτικά χαρακτηριστικά, όπως είναι πχ η περιεκτικότητα τους σε  $SO_3$  ή το  $CaO_f$ , η οποία θα διευκόλυνε την περαιτέρω κατεργασία τους. Την αναγκαιότητα του διαχωρισμού καθιστά πιο επιτακτική η ύπαρξη εφαρμογών συμπληρωματικών των διαφορετικών ποιοτήτων των τεφρών. Στο πλαίσιο της εργασίας γίνεται και μία ανασκόπηση των υφιστάμενων εργαλείων για μία αποτελεσματική διαχείριση των ιπταμένων τεφρών.

## The management of high calcium fly ashes as the requisite condition for the extension of their uses

**Tsimas S.**

*National Technical University of Athens, School of Chemical Engineering  
EVIPAR Industrial By-Products Research and Development Association*

*Keyword:* Fly ashes, management of, intrinsic characteristics of

**ABSTRACT:** Hellenic fly ashes which in their majority show different quality characteristics are stored, without any classification, in silos (one for each unit) before their limited evaluation. The extension of their uses meets serious problems mainly due to their inhomogeneity, even though there are known applications which demand ashes with different characteristics. So large quantities of them either due to the fact of non-conformity with the existing standards or due to their overproduction, are dumped causing serious problems to the environment. Available managerial tools aiming to overcome these problems and to increase their application rate are discussed in this paper.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΜΕΡΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι ιπτάμενες τέφρες (IT) είναι το σημαντικότερο παραπροϊόν από την καύση των ορυκτών ανθράκων (Coal Combustion Products – CCP) και σε επίπεδο ΕΕ καλύπτουν περίπου τα 2/3 της συνολικής παραγωγής των. Σύμφωνα με στοιχεία της ECOBA (<http://www.ecoba.com>, 2009) για την Ευρώπη των 15 μελών η παραγωγή αυτή εκτιμάται σε 43 εκατ. τόνους και περίπου ισομοιράζεται στις IT που προέρχονται από λιθάνθρακες (LCFA) (~21 εκατ. τόνοι) και στις IT που προέρχονται από την καύση λιγνιτών (HCFA) (~22 εκατ. τόνοι). Το ποσοστό αξιοποίησης για τους δύο τύπους IT στον ευρύτερο κατασκευαστικό τομέα, σύμφωνα με τα ίδια στοιχεία, έχει φθάσει το 48%. Η βασική διαφορά τους είναι ότι οι πρώτες, σε αντίθεση με τις δεύτερες, καλύπτονται από τις προδιαγραφές του EN 450-1 καθόσον έχουν δραστικό CaO, ελCaO και SO<sub>3</sub> μικρότερα από τα αντίστοιχα όρια που είναι 10%, 2,5% και 3%. Η πλειοψηφία των HCFA δεν καλύπτονται από το EN 450-1 καθόσον έχουν είτε ελCaO περισσότερο από 2,5% είτε έχουν θειικά περισσότερα από 3%. Επομένως η εικόνα που παρουσιάζεται στην Ευρώπη όσον αφορά στην αξιοποίηση είναι απατηλή γιατί το συνολικό 48% αντιστοιχεί σε 78% αξιοποίηση για την LCFA και μόνο 18% για την HCFA. Από τα 22 εκατ. τόνους της HCFA, η Ελλάδα συμβάλει περίπου στην μισή Ευρωπαϊκή παραγωγή, αλλά ο βαθμός αξιοποίησης των Ελληνικών τεφρών που είναι στο 10% (στα σύνθετα τσιμέντα), υπολείπεται του Ευρωπαϊκού. Σημαντική Ελληνική ιδιαιτερότητα αποτελεί επίσης η διαπίστωση ότι μόνο στην Ελλάδα το σύνολο των Ιπτάμενων τεφρών ανήκει στην κατηγορία HCFA. Οι περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες είτε διαθέτουν μόνο LCFA είτε διαθέτουν και τους δύο τύπους. Οπότε, αυτονόητα, στρέφουν το ενδιαφέρον τους και εστιάζουν πολύ περισσότερο τις προσπάθειές τους στην αξιοποίηση, μέσω του EN 450-1, των LCFA. Το θέμα είναι τι κάνει η Ελλάδα;

## 2. ΟΙ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΤΕΦΡΕΣ ΥΨΗΛΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ

Είναι γνωστό ότι οι προσπάθειες (και οι φωνές) που έχουν ενταθεί τα τελευταία χρόνια δεν είναι ουτοπικές, δεν αποβλέπουν μόνο στα αδιαμφισβήτητα περιβαλλοντικά οφέλη (Tsimas et. al., 2007) και δεν διακατέχονται από σοβινιστική θεώρηση. Ο ελληνικός επιστημονικός και τεχνικός κόσμος δεν θα ήταν τόσο επίμονος αν δεν υπήρχαν τα ευρήματα πλειάδας σημαντικών Ελλήνων αλλά και ξένων ερευνητών όπου καταδεικνύονται τα αδιαμφισβήτητα πλεονεκτήματα των Ιπταμένων τεφρών στον χώρο των δομικών υλικών και της οδοποιίας. Έχει αποδειχθεί ότι οι υψηλού ασβεστίου ιπτάμενες τέφρες (HCFA) στις οποίες υπάγονται οι Ελληνικές έχουν, υπό προϋποθέσεις, θετική συνεισφορά στα σκυροδέματα, στα οποία θα εφαρμοσθούν, καθόσον βελτιώνουν σε μεγάλο βαθμό πολλές από τις ιδιότητες τους, όπως είναι η ανάπτυξη αντοχών, ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας ενυδάτωσης, η ανθεκτικότητα των κατασκευών κλπ. (Parayianni, 1986). Από τις μελέτες αυτές έχει προκύψει ότι οι τέφρες, ανάλογα με την χρήση τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως έχουν (ακατέργαστες), σε συγκεκριμένες εφαρμογές, είτε (σε σημαντικά μεγαλύτερο ποσοστό) μετά από κατεργασία (κατεργασμένες) που γίνεται με σκοπό να εξαλείψει τους αρνητικούς παράγοντες. Ειδικά για την Ελλάδα εκτός από την υπερπεντηκονταετή ερευνητική εμπειρία χρήσης των ελληνικών τεφρών στο σκυρόδεμα, έχουν γίνει επιτυχείς πιλοτικές εφαρμογές στην κατασκευή οδοστρωμάτων και προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος. Κορωνίδα όλων αυτών των εφαρμογών αποτέλεσε η κατασκευή του υδροηλεκτρικού φράγματος Πλατανόβρυσης

της ΔΕΗ, στο οποίο το 80% των συνδετικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για το κυρίως σώμα του φράγματος ήταν ειδικών προδιαγραφών τέφρα Πτολεμαΐδας. Η κατασκευή του φράγματος αυτού συνιστά την πρώτη αξιολογή εφαρμογή με απευθείας χρήση ΙΤ σε δομικό έργο και είναι σπουδαίας σημασίας για την εθνική οικονομία. (Κραβαρίτης Α., κ. ά., 1996,)

Με εφελτήριο αυτή την σημαντική εμπειρία, σε παλαιότερες μελέτες και σε προσπάθεια αύξησης του ποσοστού αξιοποίησης των Ελληνικών τεφρών, είχαν εντοπισθεί οι παρακάτω τομείς οι οποίοι και έπρεπε να αντιμετωπισθούν

- οι εγγενείς παράγοντες οι οποίοι συναρτώνται άμεσα με την ποιότητα της τέφρας,
- η μη ύπαρξη προδιαγραφών για την ποιότητα των Ελληνικών Τεφρών
- η μη ύπαρξη πολιτικής βούλησης από πλευράς υπευθύνων (κυρίως ΔΕΗ ΑΕ) για την δημιουργία ενός φορέα που θα είχε ως αποκλειστικό αντικείμενο δραστηριοτήτων την διαχείριση της τέφρας.

## *2.1 Τα εγγενή χαρακτηριστικά ως στοιχεία της ποιότητας της τέφρας*

Ο επιστημονικός κόσμος της χώρας που δραστηριοποιείται προς την κατεύθυνση αυτή έχει εντοπίσει εδώ και πολλά χρόνια τους εγγενείς παράγοντες που περιοδικά υποβαθμίζουν την ποιότητα της Ελληνικής τέφρας και έχει βρει φθηνές και επιτυχείς λύσεις, μέσα από την κατάλληλη κατεργασία, για την υπερπήδηση των προβλημάτων και την περαιτέρω αξιοποίηση. Έτσι, πέραν των χρήσεων που βρίσκει η τέφρα ως έχει (ακατέργαστη τέφρα), προκειμένου για προσθήκη στο σκυρόδεμα, τα εγγενή χαρακτηριστικά των Ελληνικών ΙΤ συνοπτικά, είναι (Τσίμας Σ. κ. ά., 1999): i) *Η Ανομοιογένεια*: στην φυσική, χημική, και ορυκτολογική σύσταση λόγω διαφορετικής προέλευσης λιγνίτη, συνθηκών καύσης, και μέσων συλλογής, ii) *Η Λεπτότητα*: Η ΙΤ και κυρίως η προερχόμενη από τους ΑΗΣ Μεγαλόπολης, είναι σχετικά χονδρόκοκη, παρουσιάζοντας έτσι χαμηλή ενεργότητα. Επιπλέον το χονδρόκοκκο υλικό περιέχει υψηλότερα ποσοστά άκαυστου άνθρακα που προκαλεί διογκώσεις στην κατασκευή, iii) *Το Υψηλό ποσοστό ελεύθερου CaO*: Αυτό προκαλεί προβλήματα διογκώσεων και απότομης έκλυσης θερμότητας που οδηγούν σε ρηγμάτωση της κατασκευής. Το πρόβλημα αυτό απαντάται ιδιαίτερα στις τέφρες περιοχής Πτολεμαΐδας και iv) *Το Υψηλό ποσοστό θεικών*: Αυτά δημιουργούν προβλήματα ύστερης διόγκωσης.

Για την αντιμετώπιση των εγγενών προβλημάτων που προαναφέρθηκαν, έχουν αναπτυχθεί από τους Έλληνες επιστήμονες και τεχνικούς δύο σημαντικά εργαλεία, όπως είναι: i) ο μύλος άλεσης-κατεργασίας με ταυτόχρονη μερική ενυδάτωση. Με το εργαλείο αυτό αντιμετωπίζονται επιτυχώς τα προβλήματα της λεπτότητας (ανάγκη για συμπληρωματική άλεση) και του υψηλού ποσοστού ελεύθερου CaO και ii) το σύστημα προεπιλογής των τεφρών με το οποίο αντιμετωπίζεται τα άλλα δύο επισημανθέντα προβλήματα της ακατέργαστης τέφρας δηλαδή το πρόβλημα της ανομοιογένειας καθώς και αυτό του υψηλού ποσοστού θεικών. Για την προαναφερθείσα κατασκευή του φράγματος άλλωστε έγινε συνδυασμένη εφαρμογή και των δύο κριτηρίων για την αντιμετώπιση των προβλημάτων της τέφρας

Η ανάπτυξη παρεμφερών συστημάτων κατεργασίας προβλέπεται σε πανευρωπαϊκό επίπεδο τόσο στο πλαίσιο του EN 450-1 όσο και σε ισχύουσες Εθνικές προδιαγραφές. Ήδη η αναθεωρημένη έκδοση του EN 450-1 καλύπτει και τέφρες που προέρχονται από μονάδες που περιλαμβάνουν διεργασίες όπως κοκκομετρική ταξινόμηση, επιλογή ξήρανση, ανάμιξη, άλεση και μείωση του άκαυστου άνθρακα. (Berg W. V., 2006).

## *2.2 Οι Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές για της Τέφρα ( ΦΕΚ 551/18-4-2007)*

Η μη ύπαρξη μέχρι σήμερα Εθνικών Τεχνικών Προδιαγραφών για τις Ελληνικές Ιπτάμενες τέφρες αποτελούσε αποτρεπτικό παράγοντα για την διεύρυνση των χρήσεων των. Ο τεχνικός κόσμος της χώρας μέχρι πρότινος ευρίσκετο με τα χέρια δεμένα καθώς δεν είχε την κάλυψη από την Πολιτεία για την χρησιμοποίηση ενός συμπληρωματικού με το τσιμέντο (το οποίο παραμένει αναντικατάστατο) δομικού υλικού το οποίο παράλληλα με την θετική του συμβολή σε ορισμένες ιδιότητες του σκυροδέματος, οδηγεί και σε μείωση του κόστους ορισμένων τεχνικών έργων. Προς τούτο ομάδα Ελλήνων επιστημόνων σε σειρά διαδοχικών ομάδων εργασίας (στις οποίες συμμετείχαν φορείς τόσο από τον επιστημονικό όσο και από τον κατασκευαστικό χώρο) με πρωτοβουλία του ΤΕΕ και ιδιαίτερα του Τμήματος του της Δυτικής Μακεδονίας, επεξεργάστηκε σχέδιο Τεχνικών Προδιαγραφών το οποίο στις 18/4/2007 εγκρίθηκε και δημοσιεύθηκε στο ΦΕΚ 551 και μετά από μία αρχική περίοδο 6 μηνών, είναι σε ισχύ από τις 18/10/2007, (ΦΕΚ 551, 1997). Στο ΦΕΚ προδιαγράφονται οι παρακάτω δύο κατηγορίες τεφρών οι οποίες θα χρησιμοποιούνται μόνο σε εφαρμογές αόπλου σκυροδέματος, καθώς επίσης σε κονιάματα και ενέματα:

ι) *ET1 που είναι ακατέργαστη τέφρα με  $R_{45}<45\%$  και  $SO_3<7\%$ . Στην κατηγορία EIT1, συμπεριλαμβάνονται οι ΙΤ που διατίθενται όπως συλλέγονται ή με στοιχειώδη ομογενοποίηση επιλεκτικά συλλεγόμενου υλικού, για τις οποίες μπορεί να καθορισθούν όρια ανάλογα με την προβλεπόμενη χρήση. Τέτοια όρια μπορούν να καθορίζονται στις Προδιαγραφές που αφορούν τη συγκεκριμένη χρήση, όπως π.χ. χρήση ΙΤ στην κατασκευή οδοστρωμάτων στην οδοποιία. Στην περίπτωση αυτή οι απαιτήσεις ανάπτυξης αντοχής είναι μικρές: Χαρακτηριστικό πεδίο εφαρμογής, η ανάμιξη ΙΤ και εδαφικού υλικού για υπόβαση οδοστρωμάτων.*

ιι) *ET2 που είναι κατεργασμένη τέφρα με  $R_{45}<30\%$  ,  $SO_3<5\%$  και  $CaO_f <3\%$ . Στην κατηγορία EIT2 συμπεριλαμβάνονται οι ΙΤ που είναι δυνατό να υποκαταστήσουν ποσοστό τσιμέντου CEM I στο σκυρόδεμα φερουσών άοπλων κατασκευών. Για την παραγωγή κατεργασμένης τέφρας απαιτείται σύστημα ομογενοποίησης, άλεσης/υδρόλυσης και ποιοτικού ελέγχου ώστε να αποδίδεται ένα υλικό που να εμπίπτει στις διατάξεις της Προδιαγραφής αυτής. Αυτό προϋποθέτει ότι η τροφοδοσία του συστήματος άλεσης υδρόλυσης θα γίνεται με ένα προεπιλεγμένο υλικό με ιδιότητες εντός ορίων (max or min).*

Στο δεύτερο μέρος της προδιαγραφής, υπό μορφή οκτώ παραρτημάτων, αναφέρονται όλες οι λεπτομέρειες για τις μεθοδολογίες προσδιορισμού της χημικής σύστασης των ιπταμένων τεφρών με υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο. Θα πρέπει να τονισθεί ότι λόγω των ιδιαιτεροτήτων των ιπταμένων τεφρών αυτής της κατηγορίας, δεν εφαρμόστηκαν αυτούσιες οι μεθοδολογίες που ακολουθούνται για τις χαμηλού ασβεστίου τέφρες, αλλά έγινε

επιστημονική προσαρμογή μετά από σειρά εργαστηριακών δοκιμών. Τα παραρτήματα αυτά εκτός από τα κομβικά στοιχεία όπως είναι τα  $\text{SO}_3$ ,  $\text{CaO}_f$  και η απώλεια πύρωσης, αναφέρονται και σε μεθοδολογίες προσδιορισμού και των υπόλοιπων χημικών χαρακτηριστικών των ιπταμένων τεφρών στις οποίες περιλαμβάνονται και ο προσδιορισμός του ενεργού πυριτίου.

### 3. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΙΠΤΑΜΕΝΩΝ ΤΕΦΡΩΝ ΣΤΟ ΝΕΟ ΦΕΚ

Δεδομένων των εξής:

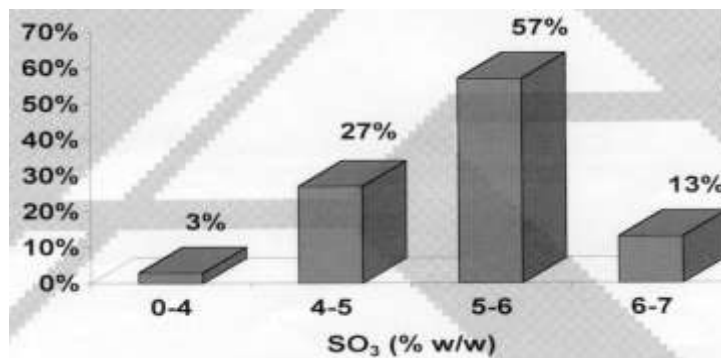
i) ο μύλος άλεσης έχει την ευελιξία να ανταποκριθεί τόσο σε απαιτήσεις διαφόρων τελικών λεπτοτήτων, όσο και σε ποιοτικές διαφοροποιήσεις σχετικά με την τελική τιμή του  $\text{CaO}_f$  σε συνάρτηση βέβαια με την αρχική του,

ii) ο μύλος δεν επιφέρει καμιά μείωση στην τιμή των θεικών τα οποία παραμένουν τα ίδια μεταξύ εισόδου και εξόδου του μύλου,

iii) χαρακτηριστική ιδιότητα των τεφρών είναι η ανομοιογένεια (μεταξύ διαφορετικών ΑΗΣ ή/και μονάδων του αυτού ΑΗΣ) που οφείλεται όχι μόνο στην ποιότητα των λιγνιτών αλλά και στις λειτουργικές συνθήκες που επικρατούν στους λέβητες των επιμέρους μονάδων,

μία επιτυχημένη συμμόρφωση και των δύο προβλεπόμενων τύπων ET1 και ET2, με τις απαιτήσεις που θέτει η Ελληνική Τεχνική Προδιαγραφή, προϋποθέτει ένα σύστημα σωστής προεπιλογής τους, μέσω του ελέγχου ανά τακτά χρονικά διαστήματα των βασικών χημικών τους χαρακτηριστικών. Άμεσος στόχος τέτοιων συστημάτων είναι να εντοπισθούν και να απομακρυνθούν ποιότητες τεφρών που έχουν είτε πολύ υψηλό  $\text{CaO}_f$  είτε κυρίως υψηλές τιμές  $\text{SO}_3$  που όπως επισημάνθηκε θα δημιουργήσουν προβλήματα στα σκυροδέματα που θα εφαρμοσθούν. Με βάση την εμπειρία που αποκτήθηκε κατά την διάρκεια κατασκευής του φράγματος η προεπιλογή στηρίζεται σε τρεις διακριτές ενέργειες: 1) εγκατάσταση συστημάτων συνεχούς δειγματοληψίας της τέφρας μετά την καύση της και πριν την συγκέντρωση της στα σιλό αποθήκευσης τέφρας, 2) προσδιορισμό, με σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές, ακόμα και *in situ*, των περιεχομένων  $\text{CaO}_f$  και  $\text{SO}_3$  και 3) συλλογή και ανάμειξη των κατάλληλων ποιοτήτων τεφρών. Με την προεπιλογή επιτυγχάνεται η συγκέντρωση και φύλαξη των κατάλληλων ποιοτήτων τεφρών διότι, όπως προαναφέρθηκε, χαρακτηριστική ιδιότητα των τεφρών είναι η ανομοιογένεια. (Tsimas et al., 2008)

Καίτοι η εικόνα της μεταβολής ποιότητας της τέφρας σε συνάρτηση με το χρόνο ποικίλει, εν τούτοις είναι χαρακτηριστική η εικόνα που υπάρχει μέσα από ένα δείγμα 18.000 μετρήσεων  $\text{SO}_3$  σε ΙΤ που προερχόταν ως επί το πλείστον από την 4<sup>η</sup> μονάδα του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν κατά την διάρκεια της κατασκευής του φράγματος 10/95-4/97. Το 30% των δειγμάτων τέφρας, έδειξαν τιμές  $\text{SO}_3$  μεγαλύτερες του 7% και ως εκ τούτου δεν οδηγήθηκαν για άλεση και περαιτέρω κατεργασία στον μύλο. Η κατανομή του υπόλοιπου 70% φαίνεται στο σχήμα 1. Παρατηρείται λοιπόν ότι το 70 % από αυτή τη ποσότητα είχε τιμές μεταξύ 5 και 7% και βάσει των Ελληνικών προδιαγραφών θα εντασσόταν στην ET1, ενώ το 30% είχε τιμές  $\text{SO}_3 < 5\%$  και επομένως θα ανήκε στην ET2.



Σχήμα 1. Κατανομή SO<sub>3</sub> προεπιλεγμένων τεφρών

Τελικώς επομένως προκύπτει ότι από το σύνολο της εξετασθείσας ΙΤ το:

30% δεν συμμορφώνεται με το ΦΕΚ 551

50% (0.7X70%) δίνει τέφρα ET1

20% δίνει τέφρα ET2

Η εικόνα βεβαίως είναι ενδεικτική, καθόσον αναφέρεται σε μία μονάδα, ενός ΑΗΣ και σε μία παλαιότερη χρονική περίοδο. Υποδηλώνει πάντως ότι μέσα από ένα έλεγχο (όχι τόσο επισταμένο όπως κατά την διάρκεια της κατασκευής του φράγματος), εντοπίζονται εύκολα οι ποσότητες εκείνες των τεφρών που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν περισσότερο εντασσόμενες στις Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Προκειμένου να συμμορφώνονται με τις ισχύουσες προδιαγραφές ώστε να αυξηθεί το ποσοστό αξιοποίησης τους στον κατασκευαστικό τομέα, οι Ιπτάμενες τέφρες στις περισσότερες περιπτώσεις πρέπει να υποστούν την κατάλληλα κατεργασία. Δεδομένου ότι τα βασικά χημικά χαρακτηριστικά των Ελληνικών ΙΤ κυμαίνονται πολλές φορές γύρω από τα κρίσιμα όρια που θέτουν οι προδιαγραφές, είναι πολύ χρήσιμη η εγκατάσταση ενός συστήματος προεπιλογής των τεφρών πριν την κύρια κατεργασία. Με το σύστημα αυτό θα γίνει η ορθολογικότερη διαχείριση των διατιθέμενων ποσοτήτων και θα διαχωριστούν οι ποιότητες εκείνες που έχουν αποδεκτά ποιοτικά χαρακτηριστικά και κυρίως αποδεκτά θειικά.

#### 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

<http://www.ecoba.com/ecobaccps.html>, ECOBA Statistics on Production and Utilization of CCPs in Europe.

Berg W. v., Feuerborn H-J, "Lignite fly ash in Europe-Properties and Use, Proceedings of the International Seminar 'Processing and Usage of High Calcium Fly ash", Belchatow Poland 2006, p. 29-38

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, 1996, p. 833-858

Papayianni I., "Strength and Bond Data for Greek High-Lime Fly Ash Concrete", ACI-SP-91, Editor V. M. Malhotra, Volume 1, Detroit 1986, 367-386.

Tsimas S., Moutsatsou-Tsima A., "Upgrade of high calcium Hellenic Fly Ashes for their use in concrete", International Conference: *Creating with concrete* Vol: Modern concrete materials: binders, additions and admixtures, Dundee, UK, (1999), 159-165.

Tsimas S., Moutsatsou A., Antiohos S., The use of industrial byproducts in cement and concrete as a key to promote sustainability in the construction sector", TCMB 3<sup>rd</sup> International Symposium, May 2007, Istanbul, Turkey.

Tsimas S., Vardaka G., Zervaki M., "The preselection of high calcium fly ashes as the first step for their further evaluation", EuroCoalAsh, Warsaw (2008), pp249-256

ΦΕΚ551, Τεύχος Β, Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές, «Ελληνικές Ιπτάμενες Τέφρες» Αθήνα 18/4/2007.