

Η ιπτάμενη τέφρα ως μέσο προστασίας του περιβάλλοντος.

Δυνατότητες, προοπτικές αξιοποίησης.

Περίληψη

Η ιπτάμενη τέφρα είναι το λεπτά διαμερισμένο υπόλειμμα που προέρχεται από την καύση κονιοποιημένου άνθρακα στους κλιβάνους των ατμοηλεκτρικών σταθμών, το οποίο απάγεται από τα καυσάετρια και συλλέγεται στα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Παρ' ότι όμως η ίδια αποτελεί ένα στερεό βιομηχανικό απόβλητο, εντούτοις χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς. Με βάση τη χημική και ορυκτολογική της σύσταση, διακρίνει κανείς την ποζολανική και υδραυλική δράση που την καθιστά αξιοποιήσιμη στα δομικά υλικά. Όμως η περιεκτικότητα αυτής σε οξείδια Si, Al καθώς και Ca, σε συνδυασμό με το αλκαλικό pH, βοηθούν στην προσρόφηση στοιχείων και την καθιστούν ένα σημαντικό απορροπαντικό μέσο. Συγκεκριμένα, κατά την χρήση της σε βιομηχανικά απόβλητα, κατά την παραγωγή ποτών με απόσταξη, μέταλλα ως ο Cu, Fe, Ni, Cd και Zn, παρουσίασαν απομείωση της τάξης του 95%, καθιστώντας το απόβλητο απορριψίμο.

Παρουσιάζει ομοιότητες με ορυκτά ή ανόργανες ενώσεις, που χρησιμοποιούνται ως πυγμένα στη βιομηχανία χρωμάτων. Σε μελέτη με στόχο τη σύγκριση της ιπτάμενης τέφρας με άλλα γνωστά πυγμένα παρόμοιας κοκκομετρίας, σύστασης και ιδιοτήτων, έδειξε τη δυνατότητα να λειτουργήσει και ως αντιδιαβρωτικό πυγμένο.

1. Η σημερινή κατάσταση των ελληνικών ιπταμένων τεφρών.

Η ιπτάμενη τέφρα είναι ένα υλικό για το οποίο έχει χυθεί πολύ μελάνι, τόσο διεθνώς από τα μέσα της δεκαετίας του 1960, όσο και στην Ελλάδα, περίπου 10 χρόνια αργότερα.[1,2] Και αν οι πρώτες προσπάθειες είχαν έναν σαφώς εργαστηριακό χαρακτήρα, η έρευνα συνεχίστηκε με εντονότερους ρυθμούς σε εφαρμοσμένο επίπεδο που οδήγησε πολλές χώρες, στη θέσπιση προδιαγραφών για την χρήση της σε διάφορους τομείς, με προεξάρχοντα τον κατασκευαστικό. Αν και η σχετική έρευνα στην Ελλάδα πέρασε μέσα από περιόδους εξάρσεων και υφέσεων, τα τελευταία δέκα χρόνια παρατηρείται αξιοσημείωτη ερευνητική δραστηριότητα, ο ρυθμός της οποίας συνεχίζεται αμείωτος μέχρι τις μέρες μας, αν κρίνει κανείς από την πληθώρα των σχετικών εισηγήσεων που ανακοινώθηκαν στην ημερίδα που διοργανώθηκε τον Οκτώβριο του 1997 στην Πτολεμαίδα [3]. Σημαντικό σημείο, μάλιστα, είναι ότι η δραστηριότητα αυτή στρέφεται και σε άλλους, εκτός του κατασκευαστικού, τομείς, όπως είναι η προστασία του περιβάλλοντος [4], καθώς και η προσθήκη της στο κύκλωμα της παραγωγικής διαδικασίας διαφόρων βιομηχανικών κλάδων, στοχεύοντας

στην μερική υποκατάσταση υλικών με παρεμφερείς με αυτήν ιδιότητες.

Οι λόγοι που προ τριακονταετίας, περίπου, επέβαλαν την έναρξη των ερευνητικών προσπαθειών ήσαν [5]:

- Οι υψηλοί ρυθμοί ανάπτυξης που είχαν οδηγήσει σε αυξανόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, της οποίας σημαντικό μέρος παρ-

γεται με καύση διαφόρων μορφών άνθρακα, με συνεπακόλουθο την παραγωγή της ιπτάμενης τέφρας.

- Η συνειδητοποίηση από τους τεχνικούς, και επιστήμονες της εποχής εκείνης του, μέχρι τότε αγνώστου, περιβαλλοντικού προβλήματος και της συμμετοχής της τέφρας σε αυτό, γεγονός που οδήγησε και σε αύξηση της συλλεγόμενης, μέσω κατάλληλων φίλτρων, ποσότητας, καθώς και στην επέκταση των ερευνών ως προς τις επιπτώσεις που αυτή έχει ως ρυπαντής.

Οι ίδιοι λόγοι δεν χάνουν και σήμερα την επικαιρότητά τους, δεδομένου ότι ο λιγνίτης, παρά την σταδιακή εισαγωγή και χρησιμοποίηση του φυσικού αερίου, θα είναι τουλάχιστον για τα επόμενα τριάντα χρόνια η βασική ενεργειακή πηγή στην Ελλάδα, καλύπτοντας το 50%, περίπου, της εγκατεστημένης ισχύος. Οι παραχθέντες 8.8 εκατομμύρια τόνοι το 1995, αναμένεται να ξεπεράσουν τα 10 εκατομμύρια εφέτος, μετά την λειτουργία της 5ης μονάδας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, ποσότητα που θα αυξηθεί μελλοντικά, μετά την λειτουργία των νέων μονάδων της ΔΕΗ. Ένα ποσοστό της τάξεως του 85% από την ποσότητα αυτή, σήμερα, αποτίθεται στους τόπους των ορυχείων, δημιου-

των
Αγγελικής
Μουτσάτσου,
Επικ. Καθηγήτριας
Σταμάτη Τσίμα,
Αναπλ. Καθηγήτριά
Τμ. Χημικών
Μηχανικών Ε.Μ.Π.



Πίνακας 1: Σύσταση (%) τερφών διαφόρων ΑΗΣ.

	Άγιος Δημήτριος	Καρδιά	Πτολεμαίδα	Αμόνταιο	Μεγαλόπολη
SiO ₂	33-42	26-34	28-41	31-38	47-52
Al ₂ O ₃	9-12	12-17	13-19	17-21	12-22
Fe ₂ O ₃	5-6	4.5-5.5	4-7	2.5-4	5-10
CaO	29-38	33-41	23-39	27-35	5-15
MgO	4-6	2-6	2-4	3-5	1.5-3
TiO ₂	0.7-0.9	0.2-0.5	0.2-0.5	0.7-1.2	-
K ₂ O	0.8-1	0.5-1	1.2-1.5	0.6-1.2	1.5-3
Na ₂ O	0.5-1.5	0.3-0.6	0.3-0.8	0.5-0.7	0.3-0.7
SO ₃	4-9	6-8	6-8	4-9	3-5

γώντας περιβαλλοντικά, παρά τις προσπάθειες της ΔΕΗ για σταδιακή αποκατάσταση του περιβάλλοντος χώρου. Μόνο το 15% απορροφάται από την ταμινοβιομηχανία προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή τοιμέντων με ποζολάνη και ποζολανικών τοιμέντων, ποιότητες που συμπεριελήφθησαν και στο νέο πρότυπο EN 197-1 για το τοιμέντο.

Η επιστημονική κοινότητα έχει συνειδητοποιήσει ότι τα περιβαλλοντικά προβλήματα που οφείλονται στην τέφρα, μπορούν να περιοριστούν σημαντικά μέσα από την χρησιμοποίησή της σε διάφορες εφαρμογές, με αιχμή του δόρατος πάλι τον ευρύτερο κατασκευαστικό τομέα. Όμως η χημική και ορυκτολογική της σύσταση είναι τέτοιες που, όπως αποδεικνύεται στην συνέχεια, αυτή μπορεί, παράλληλα με δομικές εφαρμογές, να χρησιμοποιηθεί με ιδιαίτερη επιτυχία, τόσο ως μέσον κατακράτησης διαφόρων ρυπαντών, συμβάλλοντας έτσι διττά στη μείωση των προβλημάτων, όσο και σε διάφορες άλλες βιομηχανικές εφαρμογές, όπως ως ανυδαθρωτικό πυμέντο στην βιομηχανία χρωμάτων.

Στους λόγους αυτούς που επιβάλλουν την διεύρυνση των χρήσεων της τέφρας, θα πρέπει να προστεθούν και οι εξής :

- Η ογκούμενη κοινωνική πίεση, ιδίως από κατοίκους και φορείς πλησίον των τόπων των σταθμών, για αντιμετώπιση του προβλήματος με λύσεις περιβαλλοντικά αποδοτικές.
- Η εμπειρία που αποκτήθηκε από

την χρησιμοποίηση του υλικού στις διάφορες κατασκευές.

- Η ποιοτική αναβάθμιση των τερφών, κυρίως λόγω της ανάπτυξης νέων τεχνικών καύσης των ανθράκων.
- Η θέσπιση προδιαγραφών ως προς την καταλληλότητα του υλικού σε διάφορες χρήσεις.
- Η μεγαλύτερη δυνατότητα ποιοτικού ελέγχου, και
- Η σημαντικά μικρότερη τιμή της, σε σχέση με τα υλικά που καλείται μερικώς να υποκαταστήσει.

Τέλος, σε όσα εκτέθηκαν προηγουμένως, θα πρέπει να προστεθούν, τόσο η εμπειρία που αποκτήθηκε από την λειτουργία της μονάδας άλεσης κατεργασίας της τέφρας Πτολεμαΐδας, όσο και οι δυνατότητες της μονάδας δυναμικότητας κατεργασίας 500t ημερησίως [3,6]. Η μονάδα αυτή, παράλληλα: ι) με το εγκατεστημένο στα σιλό των ΑΗΣ Πτολεμαΐδας σύστημα συνεχούς δειγματοληψίας τέφρας και υ) την υπάρχουσα συστοιχία ομογενοποιητικών σιλό, έχει τη δυνατότητα να αίρει βασικά μειονεκτήματα που είχαν προ τριετίας οι τέφρες και τα οποία αποτελούσαν ανασταλτικούς παράγοντες για την ευρύτερη διάδοσή τους, κυρίως σε δομικές εφαρμογές. Τα μειονεκτήματα αυτά επγραμματικά ήσαν: η μεγάλη της ανομοιογένεια, οι περιοδικώς εμφανιζόμενες υψηλές τιμές θειικών (SO₃), η απαίτηση για συμπληρωματική άλεση και οι σχετικά υψηλές τιμές ελευθέρου CaO.

2. Χαρακτηριστικές ιδιότητες των ελληνικών ιπταμένων τερφών. Χρήσεις, δομικές εφαρμογές.

Είναι γνωστό ότι διεθνώς οι τέφρες διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε CaO. Οι Ελληνικές τέφρες και κυρίως αυτές της περιοχής Πτολεμαΐδας, όπου και συγκεντρώνεται το 75-80% της παραγωγής, ανήκουν στην κλάση C, δηλαδή στην κατηγορία τερφών υψηλού ποσοστού CaO, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 15-35%, σε αντίθεση με τις τέφρες της κλάσης F, όπου το CaO είναι μικρότερο του 10%. Άμεσα συσχετισμένη με τα ποσοστά SiO₂ και CaO είναι η διάκριση στην συμπεριφορά τους ως ποζολανικών και υδραυλικών υλικών. Έτσι οι τέφρες περιοχής Μεγαλόπολης που έχουν περισσότερο SiO₂ εμφανίζουν μεγαλύτερη ποζολανική δράση, έχουν δηλαδή εντονότερη τάση να αντιδράσουν με το Ca(OH)₂ που παράγεται κατά την ενυδάτωση του τοιμέντου. Σε αντίθεση, οι τέφρες περιοχής Πτολεμαΐδας, εμφανίζουν και αξιοσημειώτες υδραυλικές ιδιότητες, με αποτέλεσμα μέσα στο σκυρόδεμα να συμπεριφέρονται ως ασθενές ταμιέντο.

Στον πίνακα εμφανίζεται η περιοχή διακυμάνσης της σύστασης τερφών από διάφορους ΑΗΣ.

Οι δομικές χρήσεις όλων των Ελληνικών ιπταμένων τερφών που στηρίζονται στις ποζολανικές και υδραυλικές ιδιότητές τους, έχουν επανειλημμένα και διεξοδικά μελετηθεί, σε σημείο που αυτές σταδιακά πλέον, να περνούν σε εφαρμοσμένη κλίμακα,

Πίνακας 2: Χημική ανάλυση IT πειραμάτων κατεργασίας υγρού αποβλήτου.

Διαθέσιμο ασβέστιο	4.88 %	CaO	24.80%
Ελεύθερο ασβέστιο	2.11%	MgO	4.45%
SO₃	5.11%	Cu	0.25ppm
SiO₂	37.84%	Ni	0.42ppm
Al₂O₃	17.62%	Cr	0.83ppm
Fe₂O₃	7.58%	Cd	0.08ppm

Πίνακας 3: Φυσιχοημικά χαρακτηριστικά υγρού αποβλήτου.

PH	5.0	Cu	60.27-82.50 ppm
Θολότητα	33 NTU	Ni	0.41-8.36 ppm
Αιωρούμενα στερεά	0.397 %	Zn	3.15-31.25 ppm
Ολικά στερεά	2.6 %	Cd	0.06-1.36 ppm
SO₄	3.6 g/L	Cr	0.12-1.05 ppm
		Fe	60.25-157.50 ppm

όπου υπολείπεται η σύνταξη προδιαγραφών που να καθορίζουν την προσθήκη τους. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι τέφρες, εκτός από την βιομηχανία ταυμέντου όπου ήδη προστίθενται, μπορούν ακόμη σε μεγάλες ποσότητες να χρησιμοποιηθούν ως το 4^ο συστατικό σε ειδικές περιπτώσεις σκυροδεμάτων, στην οδοποιία, σε διάφορες φάσεις της, στην κατασκευή δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα και τέλος, σε διάφορα κονιάματα και ενέματα. Στις πρόσφατες δομικές εφαρμογές, θα πρέπει να αναφερθεί αξιοποίηση της τέφρας Πτολεμαΐδας με τη χρήση της ως βασικού συστατικού κατά την κατασκευή φράγματος με τη μέθοδο κυλινδρούμενου σκυροδέματος (RCC) [7].

Αντικείμενο της μελέτης αυτής πάντως, δεν είναι η επανάληψη λεπτομερειών από τις δομικές εφαρμογές,

αλλά η παράθεση των πρώτων αποτελεσμάτων από τις, σε εργαστηριακή κλίμακα, δοκιμές, για νέες χρήσεις του υλικού.

3. Χρήση των ιπταμένων τεφρών στην κατεργασία υγρών αποβλήτων.

Η απόρριψη υγρών αποβλήτων υπόκειται σε νομοθεσία που επιβάλλει τελικά την τροποποίηση πολλών φυσικών και χημικών ιδιοτήτων τους. Η επιλογή της διεργασίας θα έχει σχέση με την φύση του αποβλήτου, τα επιθυμητά χαρακτηριστικά, τον μηχανολογικό εξοπλισμό, την οικονομική, περιβαλλοντική και ενεργειακή μελέτη. Οι μεθοδολογίες για την κατεργασία που κατηγοριοποιούνται αρχικά ως φυσικές, χημικές και βιολογικές, διαχωρί-

ζονται όμως καλύτερα, βάσει του μηχανισμού της αντίδρασης, όπως ρόφηση, ιοντοεναλλαγή, σταθεροποίηση, εκχύλιση κλπ. Σε όλες αυτές τις διεργασίες, η χρήση οργανικών και ανόργανων μέσων δέσμευσης, έχει μελετηθεί εκτενώς. Η ιπτάμενη τέφρα παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι η περιεκτικότητα αυτής σε οξειδία Si, Al καθώς και Ca, σε συνδυασμό με τα αλκαλικό pH, βοηθούν στην προσρόφηση στοιχείων και την καθιστούν σημαντικό απορρυπαντικό μέσο. Όπως αναφέρεται και στα χαρακτηριστικά της Ελληνικής ιπτάμενης τέφρας, η μεγάλη περιεκτικότητα αυτής σε διαθέσιμο ασβέστιο καθώς και ορυκτολογική ανάλυση που πιστοποιεί την ύπαρξη ενώσεων Al -Ca, ευνοεί την προσρόφηση βαρέων

Πίνακας 4: % κατακράτηση μετάλλων σε συνάρτηση με τη ποσότητα της τέφρας και τη θερμοκρασία.

	Συγκέντρωση αποβλήτου (ppm)	Κατακράτηση (%)					
		15g		30g		50g	
		25°C	40°C	25°C	40°C	25°C	40°C
Cu	82,500	96,36	95,45	98,17	97,77	99,33	99,74
Ni	1,250	60,80	72,00	46,40	80,00	66,70	46,70
Zn	16,250	99,08	98,95	98,77	99,26	98,77	100,00
Cd	0,150	53,30	46,70	60,00	46,70	60,00	46,70
Cr	0,125	20,00	4,00	92,00	68,00	68,00	-
Fe	157,500	98,26	98,16	97,62	98,88	99,20	99,89

	Συγκεντρώσεις μετά έκπλυση (ppm)					
	15g		30g		50g	
	25°C	40°C	25°C	40°C	25°C	40°C
Cu	0,35	0,50	0,03	0,40	0,79	0,42
Ni	0,06	0,14	0,24	0,04	0,03	0,04
Zn	0,20	0,33	0,06	< 0,01	0,05	0,35
Cd	0,01	0,06	< 0,01	0,03	0,12	0,02
Cr	< 0,01	< 0,01	0,09	< 0,01	0,06	0,04
Fe	0,42	0,62	0,14	0,49	4,32	0,05

μετάλλων. Πειράματα με IT περιοχής Πτολεμαΐδας, της οποίας η σύσταση φαίνεται στον πίνακα 2, σε βιομηχανικά απόβλητα αποστακτηρίων με χαρακτηριστικά που δίδονται στον πίνακα 3, έδωσαν αποτελέσματα με δέσμευση Cu, Zn, Fe της τάξης του 95%, ενώ η αντίστοιχη δέσμευση για τα Ni, Cd και Cr ήταν της τάξης του 65%.

Τα αποτελέσματα αναφέρονται σε επτά αντιπροσωπευτικά δείγματα της ποιότητας του αποβλήτου, τα οποία συνελέγησαν κατά την διάρκεια της συλλογής για απόρριψη.

Παράμετροι που εξετάστηκαν ήταν: η ποσότητα ιπτάμενης τέφρας, ο χρόνος και η θερμοκρασία. Τα αποτελέσματα δίδονται στον πίνακα 4.

Ερευνητικά και προκειμένου να εξεταστούν οι ισόθερες απορρόφησης, η μεθοδολογία εννοείται από την μεγαλύτερη ποσότητα τέφρας και την υψηλότερη θερμοκρασία. Οι ισόθερες και στις τρεις περιπτώσεις (Cu, Zn, Fe) ακολουθούν την κατανομή Freundlich και δίδονται από την εξίσωση:

$$W = aP^{1/n}$$

Όπου W = κατακράτηση μετάλλων ανά γραμμάριο ιπτάμενης τέφρας και $p = \text{mg}$ μεταλλοκαπνόντων στο απόβλητο.

Η μελέτη του Cd και ιδιαίτερα στην υψηλή θερμοκρασία επικύρωσε την φυσική προσρόφηση του μετάλλου και χημικά δεν εννοείται από το αλκαλικό περιβάλλον που δημιουργεί η ιπτάμενη τέφρα. Η άποψη της φυσικής προσρόφησης του Cd, ενισχύεται και από το γεγονός ότι, κατά την δοκιμή εκπλυσιμότητας της ιπτάμενης τέφρας, μετά

την κατεργασία του αποβλήτου, παρατηρείται η παραλαβή ιόντων Cd, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 5.

Για το Ni η μελέτη απέδειξε την απαίτηση μεγαλύτερου χρόνου κατεργασίας, που τα πρώτα πειράματα, έδειξαν χρόνους ανάδευσης της τάξης των δύο ωρών. Απαραίτητη κρίθηκε και η μελέτη της συμπεριφοράς της τέφρας και μετά την προσρόφηση των μετάλλων, καθόσον τίθεται θέμα περαιτέρω απόθεσης.

Ακολούθησαν test εκπλυσιμότητας, τα οποία επιβεβαίωσαν τη σταθερότητα του υλικού. Θερμική κατεργασία μέχρι τους 1000°C, δίδει το ίδιο θερμογράφημα με αυτό της ιπτάμενης τέφρας. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το υλικό αυτό δεν περιορίζεται στην περαιτέρω χρήση του ακόμα και ως υπόστρωμα δρόμων.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι όλα τα πειράματα για την κατακράτηση των μετάλλων, έγιναν σε δείγματα τέφρας Πτολεμαΐδας που έχει υψηλή περιεκτικότητα Ca που είναι σημαντική για τον μηχανισμό της αντίδρασης. Χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη τέφρας, ακατέργαστη και κατεργασμένη, όπως αυτές ορίστηκαν στο εισαγωγικό κεφάλαιο. Στόχος για την χρήση της κατεργασμένης τέφρας, ήταν ο έλεγχος της αύξησης της περιεκτικότητας του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ στην τέφρα και στον μηχανισμό της κατακράτησης. Τελικό συμπέρασμα είναι ότι: 1) τα αποτελέσματα δεν μεταβάλλονται σημαντικά με την αύξηση της λεπτότητας της τέφρας, 2) η περιεκτικότητα του ασβεστίου, είτε ως CaO είτε ως $\text{Ca}(\text{OH})_2$, δρα με παρόμοιο τρόπο στην προσρόφηση των μετάλλων.

4. Χρήση της ιπτάμενης τέφρας στην βιομηχανία χρωμάτων.

Στην κοκκομετρία, στο ειδικό βάρος, στην τιμή pH, καθώς και στις υδραυλικές ιδιότητες της IT, διακρίνει κανείς ομοιότητα με τα ορυκτά ή τις ανόργανες ενώσεις, που γενικότερα χρησιμοποιούνται ως πυγμένα στην βιομηχανία χρωμάτων [9,10]. Σύμφωνα με τα κριτήρια αυτά έγιναν δοκιμές παρασκευής χρώματος και σύγκριση με πυγμένα παρόμοιας κοκκομετρίας, σύστασης και γενικά φυσικοχημικών ιδιοτήτων, ώστε να εξακριβωθεί η δυνατότητα χρήσης της με θετικά αποτελέσματα ως προς την απόχρωση, την καλυπτικότητα και την αδιαφάνεια, καθώς επίσης, αν μπορεί να λειτουργήσει και ως αντιδιαβρωτικό πυγμένο.

Οι δοκιμές για την μέτρηση αυτών, έγινε αντίστοιχα κατά ΕΛΟΤ 707 για την απόχρωση ΕΛΟΤ 721 για την καλυπτική ικανότητα και ΕΛΟΤ 1018 για αντιδιαβρωτική ικανότητα.

Τα αποτελέσματα υπήρξαν ενθαρρυντικά μόνο ως προς την τελευταία ιδιότητα, δηλαδή την προστασία από την διάβρωση, που ίσως, είναι και η σπουδαιότερη και από άποψη απορρόφησης ποσοτήτων ιπτάμενης τέφρας. Η τέφρα έδωσε, λόγω του αλκαλικού pH, μία πολύ καλή συμπεριφορά σε σειρά εμβαπτίσεων δοκιμών, που πραγματοποιήθηκαν σε αωρήματα και άλλων αντιδιαβρωτικών πυγμένων. Σε συνδυασμό πυγμένων παρουσιάστηκε το φαινόμενο του Pitting corrosion.

Σε περαιτέρω εξέταση, αποδείχθηκε ότι η περιεκτικότητα της τέφρας σε SO_4 θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά

την «σύνθεση» των λιγνέντων.

Γενικότερα, κατά την μέτρηση του δυναμικού διάβρωσης και τη δοκιμή της αλατονέφωσης, τα αποτελέσματα υπέδειξαν την απαίτηση σε έλεγχο του πάχους του film και την δοκιμή διαφορετικών συστάσεων και αναλογιών της

τέφρας στο λιγνέντο προκειμένου να έχει την άριστη εφαρμογή.

Από τις συγκεκριμένες δύο περιπτώσεις, που αναλύθηκαν στις παραγράφους 3 και 4, καθώς και από την εμπειρία μας, σχετικά με την προσθήκη της τέφρας σε δομικές χρήσεις, εξαγε-

ται αβίαστα το συμπέρασμα ότι μέσα από μία ορθολογική διαχείρισή της, σημαντικές ποσότητες από αυτήν, οι οποίες τώρα αποτιθέμενες προκαλούν οικολογικά προβλήματα, μπορούν να απορροφηθούν περιορίζοντας το πρόβλημα.

Βιβλιογραφία.

1. PAPAIIANNI, J. Strength and bond data for Greek high-lime flyash. Proceedings of the 2nd International Conference, CANMET/ACI, pp 367-386, Madrid 1986
2. ACI COMMITTEE, Use of fly ash in concrete, ACI Material Journal, Vol. 84, No 5 pp 389-409.
3. ΤΣΙΜΑΣ Σ, ΜΟΥΤΣΑΤΣΟΥ Α, Εμπειρία από τη λειτουργία της μονάδας άλεσης κατεργασίας τέφρας στην Πτολεμαίδα, Πρακτικά διημερίδας, σ.183-187, Κοζάνη 1997
4. ΑΛΜΠΙΑΝΗΣ Τα, ΔΑΝΗΣ Θ, Εφαρμογές και χρήση της IT και άλλων προσροφητικών υλικών στη δέσμευση και απομάκρυνση οργανικών τοξικών ουσιών από το νερό, Πρακτικά διημερίδας, σ.33-43, Κοζάνη 1997.
5. TSIMAS, S. ET ALL, Study on the evaluation possibilities of Hellenic fly ashes, Technical Chamber of Greece, pp 238., Athens 1985
6. KRAVARITIS, A., TSIMAS, S., MOUTSATSOU, A., AND TSIKNAKOU Y. Utilization of fly ash for construction of dams by RCC method, Proceedings Power - Gen'96 Europe, Vol. 1, pp 833-858., Boudapest 1996.
7. DUNSTAN, M.R.H. Fly ash as the fourth ingredient in concrete mixtures. Proceedings of the 2nd International Conference, CANMET/ACI, Madrid 1986.
8. MOUTSATSOU A, CHALARAKIS E., KORKOLIS A, TSIMAS S, The use of fly ash in the retention of metals from industrial wastes, V Congreso internacional de química de la anque, December 1998.
9. ZENO W, WICKS Jr, Film formation, Federation Series on Coatings Technology, June 1986.
10. ZENO W, WICKS Jr, Corrosion protection by Coatings, Federation Series on Coatings Technology, February 1987.