

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΤΩΝ ΑΗΣ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Αδαμίδου Κ.¹, Γεωργακόπουλος Α.², Αμανατίδου Ε.³ και Τσικριτζής Λ.³

¹ Αμιγής Νομαρχιακή Επιχείρηση Ν. Α. Κοζάνης «Κέντρο Περιβάλλοντος» (ΚΕ.ΠΕ.), 1^ο χλμ. Ε.Ο. Πτολεμαΐδας-Κοζάνης, Πτολεμαΐδα, 502 00, kepe@otenet.gr

² Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. 541 24 Θεσσαλονίκη, ageorgak@geo.auth.gr

³ Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (Τ.Ε.Ι.) Δυτικής Μακεδονίας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Τεχνολογιών Αντιρρύπανσης, Κοίλα Κοζάνης, 501 00, Κοζάνη, elsa@teikoz.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία διερευνά τα μορφολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας από όλες τις μονάδες όλων των Ατμοηλεκτρικών Σταθμών (ΑΗΣ) του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας (ΛΚΔΜ). Αρχικά γίνεται διαχωρισμός των δειγμάτων της ιπτάμενης τέφρας σε πέντε κλάσματα (<63, 63-125, 125-250, 250-500 και >500 μ m) και προσδιορίζονται τα ποσοστά αυτών των κλασμάτων. Η ορυκτολογική μελέτη των δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ, έδειξε ότι τα δείγματα της ιπτάμενης τέφρας αποτελούνται κυρίως από άμορφο υλικό, ασβεστίτη, χαλαζία, ανυδρίτη, άσβεστο (lime) και αστρίους (κυρίως πλαγιόκλαστα). Σε μικρότερες ποσότητες εμφανίζεται ο πορτλανδίτης. Επουσιωδώς παρατηρούνται μαρμαρυγίες, αργιλικά ορυκτά και γκελενίτης. Γύψος και αιματίτης υπάρχουν σε πολύ μικρές ποσότητες σε πολύ λίγα δείγματα. Το ολικό ποσοστό του άμορφου υλικού κυμαίνεται από 3-37 (% κ.β.). Οι ασβεστίτης, χαλαζίας, άστριοι και μαρμαρυγίας είναι ορυκτά που περιέχονται στον εξορυσσόμενο λιγνίτη. Εξετάζονται επίσης τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας, με σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Μορφολογικά, η ιπτάμενη τέφρα αποτελείται από ακανόνιστα, ωειδή και σφαιρικά σωματίδια. Παρατηρούνται ακόμη πληροσφαιρίδια, κενοσφαιρίδια και <10 μ m σφαιρικά σωματίδια, τα οποία είναι εισπνεύσιμα. Όλα τα σωματίδια που έχουν εισπνεύσιμο μέγεθος είναι σφαιρικά. Είναι εμφανής η απουσία σωματιδίων με μορφή ινώδη ή ακτινωτή, γεγονός ιδιαίτερα θετικό για τη δημόσια υγεία.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τέφρα των ανθράκων είναι ένα χημικό προϊόν μεγάλης περιβαλλοντικής σημασίας (Suloway et al. 1983). Η συνολική ετήσια παραγωγή τέφρας από τους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς (Α.Η.Σ.) του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας (Λ.Κ.Δ.Μ) ξεπερνά τους 7,05 x 10³ τόνους. Οι τεράστιες ποσότητες που καθημερινά παράγονται από κάθε Α.Η.Σ., κυρίως υπό μορφή ιπτάμενης τέφρας, περιέχουν κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία σε υψηλές συγκεντρώσεις. Ο τρόπος σύνδεσης των ιχνοστοιχείων με τα σωματίδια της τέφρας, κυρίως της ιπτάμενης, καθώς και η συμπεριφορά τους κατά την καύση είναι φαινόμενα εξαιρετικά περίπλοκα (Finkelman 1994). Ορισμένα στοιχεία παρουσιάζουν ισχυρή σύνδεση με συγκεκριμένα ορυκτά και δεν απομακρύνονται από αυτά σε οποιοσδήποτε συνθήκες, ενώ άλλα απλώς προσκολώνται στην επιφάνεια των σωματιδίων και μεταφέρονται, όντας ιδιαίτερα πτητικά. Το μέγεθος των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας που διαφεύγουν από τις καπνοδόχους μαζί με τα καπναέρια και βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, κυμαίνεται από 0,01 μ m έως 20 μ m. Ιδιαίτερα μεγάλη σημασία έχει η μορφολογία αυτών των σωματιδίων καθώς οι ινώδη ή ακτινωτά σωματίδια σε εισπνεύσιμο μέγεθος (<10 μ m), μπορούν να προκαλέσουν τεράστια βλάβη στις κυψελίδες των πνευμόνων σε σύγκριση με σφαιρικά σωματίδια. Έχει τέλος αποδειχθεί ότι τα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας με μέγεθος μεγαλύτερο των 10 μ m μπορούν να καταπίπτουν

στη γη κοντά στο σημείο παραγωγής τους, δηλ. τους Α.Η.Σ., ενώ τα σωματίδια με διαστάσεις μεταξύ 0,01 και 10 μm μπορούν να απομακρυνθούν από τους Σταθμούς με τα αέρια ρεύματα, συμπεριφερόμενα και αυτά ως αέρια. Στο πλαίσιο της παρούσης μελέτης έγινε κλασματικός διαχωρισμός δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας από όλους τους Α.Η.Σ. του Λ.Κ.Δ.Μ. σε 5 διαφορετικά κλάσματα και προσδιορισμός του ποσοστού του κάθε κλάσματος σε σχέση με την ολική τέφρα. Επιπρόσθετα, διερευνήθηκε η ορυκτολογική σύσταση, τόσο της ολικής τέφρας, όσο και όλων των κλασμάτων αυτής, καθώς και η μορφολογία των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας (σφαιρίδια κενά ή πλήρη, σπογγώδεις κρύσταλλοι, ινώδεις κρύσταλλοι) και η ορυκτολογική σύσταση αυτών.

2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Τα δείγματα της ιπτάμενης τέφρας ελήφθησαν στο air lift κάθε μονάδας, στο σημείο όπου η τέφρα οδηγείται από τις χόανες των ηλεκτροστατικών φίλτρων στο σιλό της τέφρας. Η δειγματοληψία διήρκεσε 30 ημέρες και περιελάμβανε συλλογή 250 g δείγματος κάθε 2 ώρες επί 24ώρου βάσεως, κατόπιν ανάμειξης και ομογενοποίησης. Το τελικό αντιπροσωπευτικό δείγμα κάθε μονάδας κάθε Α.Η.Σ. ελήφθη κατόπιν ανάμειξης του μηνιαίου δείγματος, τεταρτημοριοποίησης και ομογενοποίησης. Ελήφθησαν συνολικά 14 δείγματα Ι.Τ.: AD1, AD3, AD4, AD5 είναι τα δείγματα του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου. AM1, AM2 είναι τα δείγματα του ΑΗΣ Αμυνταίου. KR1, KR2, KR3, KR4 είναι τα δείγματα του ΑΗΣ Καρδιάς. PT1, PT2, PT3, PT4 είναι τα δείγματα του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας. Αρχικά έγινε διαχωρισμός όλων των ομογενοποιημένων δειγμάτων ολικής τέφρας σε πέντε (5) κλάσματα, με σκοπό την καλύτερη διερεύνηση της ορυκτολογικής σύστασης της Ι.Τ. Ο διαχωρισμός περιλάμβανε κοσκίνισμα των δειγμάτων σε ξηρή κατάσταση (dry sieving) με μηχανικά δονούμενο σύστημα επάλληλων κόσκινων με διάμετρο βροχιδίων που μειώνεται κατά $\frac{1}{2}$. Τα δείγματα τέφρας αναλύθηκαν με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων Χ (PXRD-Powder X-ray diffraction), ώστε να προσδιοριστεί η ορυκτολογική τους σύσταση καθώς και τα ποσοστά άμορφου υλικού. Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο Philips PW 1710, με χρήση ακτινοβολίας Ni-filtered CuK α , σε τυχαία προσανατολισμένα δείγματα. Η σάρωση έγινε σε γωνία 2 θ 3-63 $^\circ$, με ταχύτητα σαρώσεως 1,2 $^\circ$ /min. Η ημιποσοτική εκτίμηση των διαφόρων ορυκτολογικών φάσεων στηρίχθηκε στην ένταση των επιμέρους ανακλάσεων, την πυκνότητα, καθώς και τους συντελεστές απορρόφησης μάζας των στοιχείων στην ακτινοβολία CuK α . Η διερεύνηση της μορφολογίας των σωματιδίων των 14 δειγμάτων ολικής ιπτάμενης τέφρας έγινε με Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σαρώσεως (Scanning Electron Microscope-SEM) τύπου JEOL JSM-840 εφοδιασμένο με μικροαναλυτή τύπου LINK AN 10000 EDS, στο Διατμηματικό Εργαστήριο Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Κλασματικός διαχωρισμός και μορφολογία των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας

Τα αποτελέσματα του κλασματικού διαχωρισμού των 14 δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας σε πέντε κλάσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Παρατηρείται ότι τα μεγάλα κλάσματα (250-500 μm και >500 μm), αντιπροσωπεύουν από 1,2 μέχρι 7,7% μόνο, του συνόλου της Ι.Τ. Ο σχηματισμός κάθε σφαιριδίου της τέφρας προκύπτει από διάφορες φυσικές και χημικές αντιδράσεις, που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της καύσης του λιγνίτη. Τα μεγέθη των κόκκων των περισσοτέρων ιπτάμενων τεφρών που μελετήθηκαν κυμαίνονται μεταξύ <1 μm έως 100 μm , με τα περισσότερα σωματίδια να παρουσιάζουν διάμετρο κάτω από 50 μm , ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του σταθμού. Μεταξύ των διαφόρων μορφολογικών κατηγοριών των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας, διακρίνονται οι κενές σφαίρες (κενόσφαιρες) και οι πλήρεις σφαίρες (πληρόσφαιρες) (Σχ. 1). Οι πληρόσφαιρες είναι κενόσφαιρες, οι οποίες μπορούν να περικλείουν άλλες μικρόσφαιρες (διαμέτρου ακόμη και μικρότερης του 1 μm) και τα προκύπτοντα σωματίδια να καταλήξουν σε πληρόσφαιρες. Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESP's) κατακρατούν πάνω από 99% της ιπτάμενης τέφρας (Berkowitz 1994, Durham et al. 1997, Fernández-Turiel et al. 2004). Κάτω από ιδανικές συνθήκες λειτουργίας τα σωματίδια άνω των 10 μm δεν αναμένεται να εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Η Ι.Τ. περιέχει όμως, όπως ήδη αναφέρθηκε, και σωματίδια διαμέτρου χαμηλότερης του 1 μm ή λίγων μm , τα οποία θεωρούνται εισπνεύσιμα. Ένα μικρό μέρος του συνόλου του εισπνεύσιμου κλάσματος της Ι.Τ. δεν κατακρατείται από τα φίλτρα και διαχέεται κατευθείαν στην ατμόσφαιρα. Οι κενές σφαίρες (κενόσφαιρες) και οι

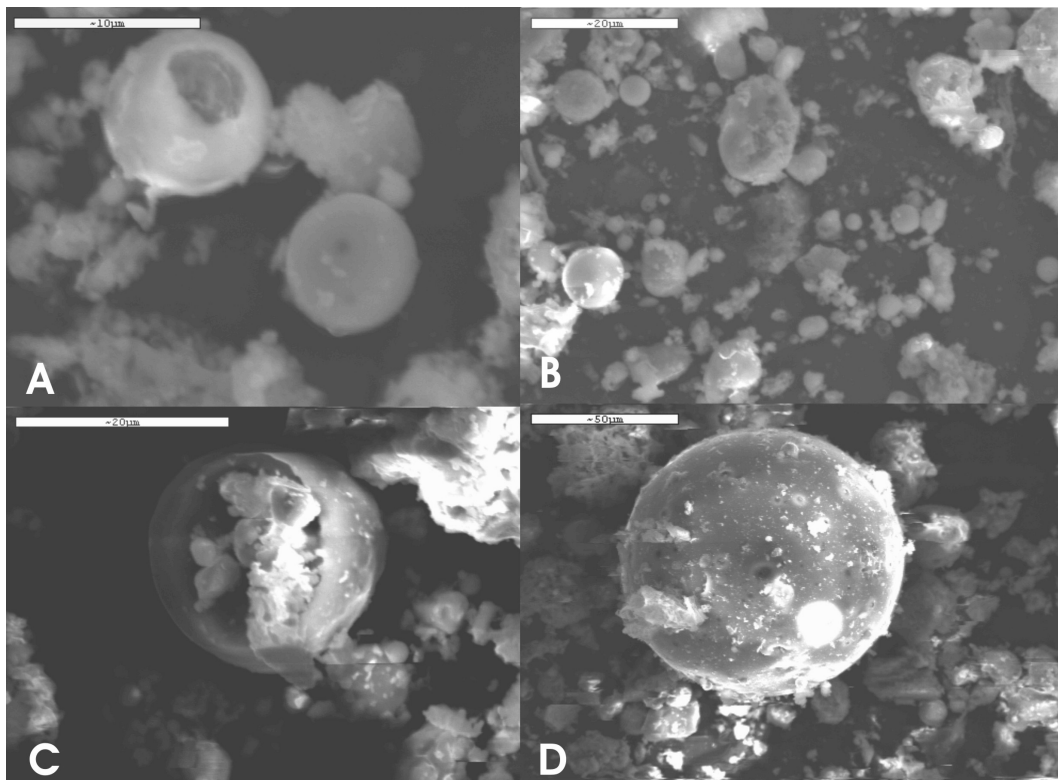
πλήρεις σφαίρες (πληρόσφαιρες) συνιστούν το μεγαλύτερο ποσοστό (70 - 88%) των σωματιδίων για το σύνολο των δειγμάτων ολικής Ι.Τ της παρούσης μελέτης. Τα δείγματα με τη μεγαλύτερη σφαιρικότητα των σωματιδίων είναι αυτά που προέρχονται από τον ΑΗΣ Καρδιάς. Από την αξιολόγηση των εικόνων που ελήφθησαν στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σαρώσεως φαίνεται ότι όλα τα σωματίδια που έχουν εισπνεύσιμο μέγεθος είναι σφαιρικά ή ακανόνιστα. Είναι εμφανής η απουσία σωματιδίων με μορφή ινώδη ή ακτινωτή. Τέτοια σωματίδια, εάν έχουν μέγεθος <10 μ m είναι εισπνεύσιμα και η βλάβη που μπορεί να προκαλέσουν στις κυψελίδες των πνευμόνων είναι πολύ μεγάλη καθόσον, λόγω της συγκεκριμένης μορφολογίας, κυριολεκτικά τις «τρυπούν». Ανάλογα συμπεράσματα κατέδειξαν και προηγούμενες σχετικές ερευνητικές εργασίες (Georgakopoulos et al. 1992,1994, Georgakopoulos 2003). Τα μορφολογικά, ορυκτολογικά και χημικά χαρακτηριστικά του εισπνεύσιμου κλάσματος δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας που προέρχονταν από την καύση λιγνίτη του Κύριου και Βόρειου Πεδίου της λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας διερευνήθηκαν σε προηγούμενη εργασία (Kassoli-Fournaraki et al. 1993). Το υψηλό ποσοστό σφαιρικών σωματιδίων καταδεικνύει υψηλή συμπύκνωση μέσα στους καυστήρες. Σε ποσοστό περίπου 75-80% τα σωματίδια της Ι.Τ. είναι ασβεστιπικής σύστασης (κρυσταλλικής ή άμορφης). Σε ποσοστό 20-25% η σύσταση είναι πυριτική. Στα σφαιρίδια το άμορφο υλικό τείνει να βρίσκεται στην εξωτερική πλευρά του σφαιριδίου, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό εφόσον υπάρχει εκμετάλλευση της Ι.Τ. ως παραπροϊόντος της καύσεως του λιγνίτη. Στην περίπτωση χρησιμοποίησης μεγάλων ποσοτήτων ιπτάμενης τέφρας στην οδοποιία, τις κατασκευές ή άλλες βιομηχανικές εφαρμογές, απαιτείται θραύση των σωματιδίων της σε ειδική διάταξη με σφαιρόμυλους.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα κλασματικού διαχωρισμού 14 δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας σε πέντε κλάσματα.

Δείγμα	Μέγεθος κόκκων (μ m)					Αθροισμα
	< 62	62-125	125-250	250-500	>500	
	Ποσοστό (%)					
AM1	42,8	35,3	14,1	6,4	1,3	100,0
AM2	54,2	28,9	12,6	3,7	0,6	100,0
KR1	59,1	31,9	7,9	1,0	0,2	100,0
KR2	64,6	23,8	9,0	2,2	0,3	100,0
KR3	58,2	28,9	10,4	2,4	0,2	100,0
KR4	53,8	34,7	9,1	2,2	0,1	100,0
PT1	30,5	56,7	9,7	2,7	0,3	100,0
PT2	40,8	42,2	12,6	3,7	0,6	100,0
PT3	56,0	33,0	9,2	1,6	0,2	100,0
PT4	52,8	29,4	12,7	4,4	0,7	100,0
AD1	54,1	28,3	11,9	4,2	1,5	100,0
AD3	48,4	37,9	9,8	3,1	0,8	100,0
AD4	48,8	37,1	10,3	3,1	0,7	100,0
AD5	50,5	41,6	5,8	1,6	0,5	100,0

3.2 Αποτελέσματα ορυκτολογικών αναλύσεων

Ο ημι-ποσοτικός προσδιορισμός του ποσοστού των ορυκτών, καθώς και του ολικού άμορφου υλικού έγινε με χρήση εξωτερικών standards ακτίνων-X, που αποτελούνται από τα συγκεκριμένα ορυκτά και ενός άμορφου φυσικού υλικού [100% μη κρυσταλλικό υλικό-ηφαιστειακή ύαλος της Σαντορίνης] (Kantiranis et al. 2005). Τα δείγματα και τα standards αναλύθηκαν ακτινογραφικά κάτω από τις ίδιες ακριβώς συνθήκες. Τα δείγματα της ιπτάμενης τέφρας αποτελούνται κυρίως από άμορφο υλικό, ασβεστίτη, χαλαζία, ανυδρίτη, άσβεστο (lime) και αστρίους (κυρίως πλαγιόκλαστα) (Πίν. 2). Σε μικρότερες ποσότητες εμφανίζεται ο πορτλανδίτης. Επουσιωδώς παρατηρούνται μαρμαρυγίες, αργίλικα ορυκτά και γκελενίτης. Γύψος και αιματίτης υπάρχουν σε πολύ μικρές ποσότητες σε πολύ λίγα δείγματα. Το ανόργανο άμορφο υλικό που δημιουργείται κατά την καύση του λιγνίτη, καθώς και ο άκαυστος λιγνίτης της Ι.Τ. δίνει στα ακτινογράμματα μια πολύ ευρεία κορυφή (background back-saddle), που αρχίζει σε γωνία 2 θ ~10 $^{\circ}$ και συνήθως τελειώνει σε 2 θ ~30 $^{\circ}$ (Σχ. 2). Το ολικό ποσοστό του άμορφου υλικού κυμαίνεται από 3-37 (% κ.β.), με τα υψηλότερα ποσοστά να καταγράφονται στις μονάδες IV και V του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου και στο Αμύνταιο, ενώ τα χαμηλότερα ποσοστά άμορφου υλικού στην τέφρα παρατηρούνται στους Α.Η.Σ. Πτολεμαΐδας και Καρδιάς. Σε ανάλογα συμπεράσματα οδηγήθηκαν και οι εργασίες των Filippidis & Georgakopoulos (1992), Filippidis et al. (1992,1996), Kassoli-Fournaraki et al. (1992), Sakorafas et al. (1996).



Σχήμα 1. Μικροφωτογραφίες από Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σαρώσεως δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας. (Α) Μικροφωτογραφία της ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (x4000), όπου διακρίνεται μια τυπική μορφή κενόσφαιρας σε εισπνεύσιμο μέγεθος και μια κενόσφαιρα μεγέθους περίπου 7µm. (Β) Μικροφωτογραφία ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Αμυνταίου με σφαιρικά και ελλειψοειδή σωματίδια Ι.Τ. και εμφανείς κρυστάλλους χαλαζία. (Γ) Τυπική μορφή πλήρωςσφαιρας του ΑΗΣ Καρδιάς. (Δ) Μικροφωτογραφία της ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ Καρδιάς (x600), όπου διακρίνεται πλήρωςσφαιρα με επικαθήσεις ασβεστίτη.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα ορυκτολογικών αναλύσεων δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας όλων των μονάδων των ΑΗΣ του Γλιγκτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας, με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ.

Α/Α	Δείγμα	Ημιοσοτική ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.)												Σύνολο
		Άμορφο	Q	F	M	Cl	C	Po	L	An	Gy	Ht	Ge	
1	AD1_63	15	13	3	3	tr	6	7	27	21	0	0	2	98
2	AD1_125	14	22	5	4	tr	9	11	22	10	0	0	2	99
3	AD1_250	14	36	11	0	0	18	0	13	8	0	0	0	100
4	AD1_500	11	35	10	0	0	23	0	10	10	0	0	0	100
5	AD3_63	6	7	tr	0	3	12	14	32	22	0	0	2	100
6	AD3_125	10	12	tr	7	3	10	11	28	16	0	0	2	98
7	AD3_250	21	27	9	0	0	20	0	14	10	0	0	0	100
8	AD3_500	15	35	7	0	3	22	0	10	7	0	0	0	100
9	AD4_63	15	5	tr	0	tr	10	11	26	21	7	0	2	98
10	AD4_125	16	12	8	5	2	10	11	20	15	0	0	2	100
11	AD4_250	23	28	9	0	0	21	0	13	7	0	0	0	100
12	AD4_500	37	30	4	0	0	12	0	10	7	0	0	0	100
13	AD5_63	30	4	2	0	tr	7	8	24	18	0	4	tr	97
14	AD5_125	36	6	3	6	0	7	7	16	12	0	5	2	100
15	AD5_250	25	21	8	0	0	25	4	11	8	0	0	0	100
16	AD5_500	16	31	10	0	0	22	0	8	12	0	0	0	100
17	AM2_63	28	7	2	0	0	7	4	21	27	0	0	4	100
18	AM2_125	33	12	6	0	tr	6	6	17	16	0	0	3	99
19	AM2_250	19	30	11	0	0	12	0	11	13	0	0	4	100
20	AM2_500	19	45	9	0	0	7	0	8	9	0	0	3	100

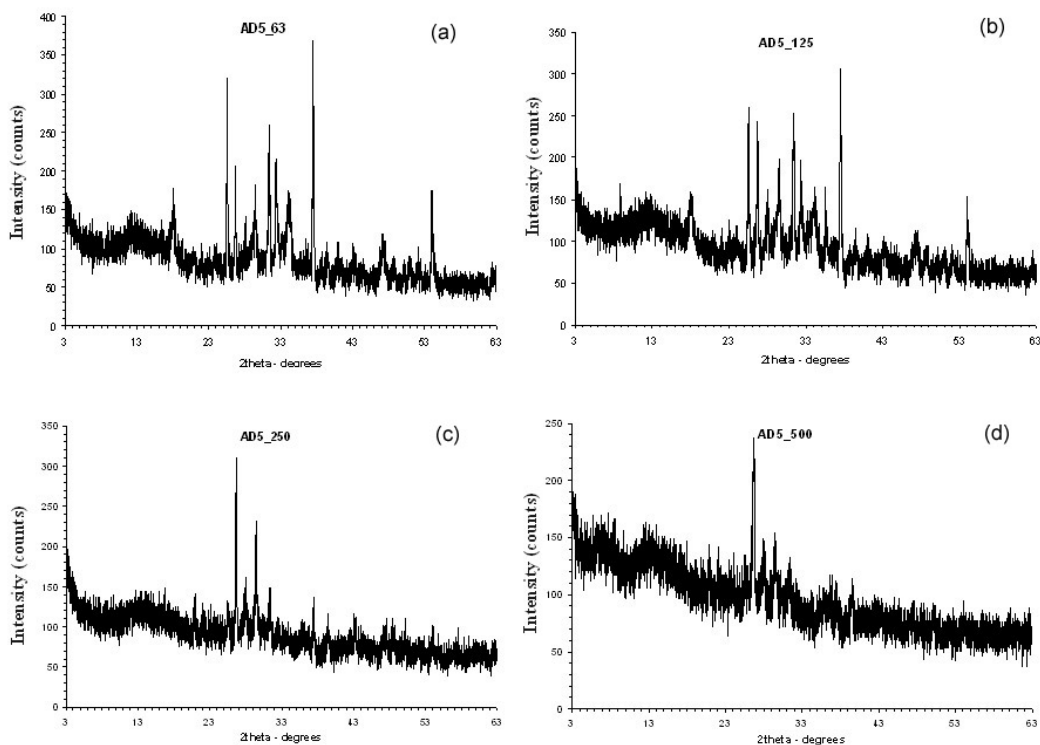
Πίνακας 2. Συνέχεια...

Α/Α	Δείγμα	Ημιποσοτική ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.)												
		Άμορφο	Q	F	M	Cl	C	Po	L	An	Gy	Ht	Ge	Σύνολο
21	AM1_63	28	7	3	0	0	5	5	23	26	0	0	2	100
22	AM1_125	22	14	6	0	4	6	5	20	19	0	0	2	100
23	AM1_250	17	40	15	0	0	5	0	11	9	0	0	2	100
24	AM1_500	19	46	18	0	2	5	0	2	9	0	0	0	100
25	KR2_63	21	8	3	0	tr	6	15	28	16	0	0	3	99
26	KR2_125	14	9	38	0	2	3	11	10	8	0	4	0	100
27	KR2_250	20	20	12	5	3	11	13	6	9	0	0	0	100
28	KR2_500	18	32	5	0	0	16	14	4	10	0	0	0	100
29	KR3_63	3	7	0	0	2	6	11	42	26	0	0	2	100
30	KR3_125	15	12	6	0	2	5	14	28	15	0	0	3	100
31	KR3_250	24	23	10	0	0	11	3	12	12	0	0	6	100
32	KR3_500	7	50	13	0	0	13	0	8	6	0	0	3	100
33	KR4_63	9	7	tr	0	2	6	11	31	26	0	6	tr	98
34	KR4_125	10	14	7	0	2	11	9	25	19	0	0	2	100
35	KR4_250	17	29	11	0	4	13	4	10	7	0	4	tr	99
36	KR1_63	15	13	tr	0	4	8	9	25	23	0	0	tr	97
37	KR1_125	23	14	8	0	0	6	9	20	18	0	0	2	100
38	KR1_250	14	28	9	0	0	18	4	15	12	0	0	0	100
39	KR1_500	12	38	6	0	0	23	4	6	9	0	0	tr	99
40	PT2_63	6	12	2	3	tr	10	6	22	38	0	0	0	99
41	PT2_125	11	20	tr	7	tr	10	4	16	29	0	0	0	97
42	PT2_250	12	17	4	11	0	16	6	10	24	0	0	0	100
43	PT2_500	13	39	0	4	0	19	0	7	18	0	0	0	100
44	PT3_63	6	17	6	3	0	9	2	15	35	0	6	0	100
45	PT3_125	14	17	6	8	0	10	2	14	29	0	0	0	100
46	PT3_250	10	25	5	0	4	19	5	10	22	0	0	0	100
47	PT3_500	29	35	3	0	3	17	0	3	11	0	0	0	100
48	PT4_63	9	9	6	6	2	5	7	24	31	0	0	2	100
49	PT4_125	11	15	31	8	2	7	3	10	13	0	0	tr	99
50	PT4_250	11	32	10	0	0	11	6	11	19	0	0	0	100
51	PT4_500	19	53	5	0	0	5	0	5	13	0	0	0	100
52	PT1_63	10	14	3	4	0	9	0	18	37	0	5	0	100
53	PT1_125	7	21	4	5	3	10	4	15	26	0	5	0	100
54	PT1_250	8	33	24	0	0	16	0	6	13	0	0	0	100
55	PT1_500	10	42	6	0	tr	28	0	3	9	0	0	0	99

Q: Χαλαζίας, F: άστριοι (κυρίως πλαγιόκλαστα), M: Μαρμαρυγίες, Cl: Αργιλικά ορυκτά, C: Ασβεστίτης, Po: Πορτλανδίτης, L: Άσβεστος, An: Ανυδρίτης, Gy: Γύψος, Ht: Αιματίτης, Ge: Γκελενίτης, tr <2% κ.β.

Ορισμένα από τα παραπάνω ορυκτά είναι αρχικά συστατικά του εξορυσσόμενου λιγνίτη, ενώ κάποια αλλά προκύπτουν δευτερογενώς και σύμφωνα με ορισμένες αντιδράσεις κατά την καύση του λιγνίτη. Συγκεκριμένα ο χαλαζίας είναι αρχικό συστατικό του εξορυσσόμενου λιγνίτη. Ο ανυδρίτης (CaSO_4) προκύπτει δευτερογενώς με αφυδάτωση της γύψου ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) δια μέσου του βασσανίτη ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$). Προκύπτει επίσης από την αντίδραση οξειδίου του ασβεστίου (από διάσπαση ανθρακικών ορυκτών) και διοξειδίου του θείου (διάσπαση σουλφιδίων). Ο αιματίτης (Fe_2O_3) προκύπτει δευτερογενώς από τον σιδηροπυρίτη (FeS_2), ο οποίος αρχικά διασπάται και χάνει το S και στη συνέχεια οξειδώνεται και δίνει τον αιματίτη. Οι μαρμαρυγίες και τα αργιλικά ορυκτά αποτελούν αρχικά συστατικά του εξορυσσόμενου λιγνίτη. Επίσης και οι άστριοι υπάρχουν πρωτογενώς και αποτελούν αρχικά συστατικά του εξορυσσόμενου λιγνίτη. Παρατηρείται ότι τα ποσοστά κυρίως του χαλαζία αυξάνουν στα μεγάλα κλάσματα (250-500 και >500 μm), τα οποία όπως ήδη αναφέρθηκε αντιπροσωπεύουν από 1,2 μέχρι 7,7% μόνο, του συνόλου της Ι.Τ., ενώ το ίδιο φαίνεται να συμβαίνει και με τις συγκεντρώσεις του ασβεστίτη. Ακριβώς το αντίθετο φαίνεται ότι συμβαίνει με την άσβεστο (lime) και τον ανυδρίτη. Η προσκόλληση της τέφρας στα τοιχώματα του καυστήρα και σε άλλες θερμο-απορροφητικές επιφάνειες, καθώς και η διάβρωση των τοιχωμάτων εξ' αιτίας των σκληρών ορυκτών (χαλαζίας, άστριοι), είναι ένας σημαντικός παράγοντας, ο οποίος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τόσο στο σχεδιασμό του καυστήρα, όσο και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Η ορυκτολογική σύσταση της Ι.Τ. συνδέεται άμεσα και με τη μελέτη των πιθανών επικαθήσεων και επισκωριάσεων που εμφανίζονται στα μεταλλικά μέρη των καυστήρων των ΑΗΣ κατά την καύση

των ανθράκων και οι οποίες προκαλούν σημαντικά προβλήματα στην ομαλή λειτουργία των Σταθμών (Fernández-Turiel et al. 2004). Τα ορυκτολογικά και χημικά χαρακτηριστικά της τέφρας καθορίζουν μεταξύ άλλων και το βαθμό απόδοσης του καυστήρα και γενικότερα τις συνθήκες καύσης. Κατά τη διάρκεια της καύσης μετασχηματίζονται τα ανόργανα υλικά σε ενδιάμεσα είδη, τα οποία περιλαμβάνουν αέρια, υγρά και στερεά. Οι επικαθήσεις και οι επισκωριάσεις συμβαίνουν όταν τα ενδιάμεσα είδη της τέφρας συγκεντρώνονται σε επιφάνειες μεταφοράς θερμότητας. Η συγκέντρωση των σωματιδίων της τέφρας εξαρτάται από την ικανότητα των ανόργανων υλικών να καταφθάνουν στις επιφάνειες μεταφοράς θερμότητας και να σχηματίζουν ισχυρούς δεσμούς με τις επιφάνειες αυτές. Τα ορυκτά της τέφρας μεταφέρονται στις επιφάνειες αυτές μέσω διαφόρων μηχανισμών ανάλογα με το μέγεθος και τη φυσική τους κατάσταση. Ο σχηματισμός ενός ισχυρού δεσμού εξαρτάται από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά της μεταλλικής επιφάνειας, τη θερμοκρασία της, τη συμπεριφορά τήξης των σωματιδίων της τέφρας και τη θερμική και χημική συμβατότητα των αποθέσεων με τη μεταλλική επιφάνεια. Μόλις δημιουργηθεί ισχυρός δεσμός με την επιφάνεια υπό μορφή στρώσης, τότε η θερμοκρασία της επιφάνειας αυξάνεται και αυτό οδηγεί στην πιο αποτελεσματική συλλογή συγκρουόμενων σωματιδίων τέφρας. Επιπλέον, τα σωματίδια τέφρας που αποτίθενται, μπορούν να αντιδράσουν με ανόργανες ενώσεις που βρίσκονται σε αέρια φάση.



Σχήμα 1. Περιθλασιογράμματα των τεσσάρων κλασμάτων [(a) <63, (b) 63-125, (c) 125-250, (d) 250-500 μm] του δείγματος AD5 που προέρχεται από τη μονάδα 5 του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου.

Ο σχηματισμός μιας χαμηλού ιξώδους υγρής φάσης μπορεί να οδηγήσει σε μία αυξανόμενη δυνατότητα απόθεσης και στο σχηματισμό μιας “συλλεκτικής” επιφάνειας, που έχει ως αποτέλεσμα την γρήγορη αύξηση των επικαθήσεων. Στην παρούσα μελέτη διαπιστώθηκε ότι τα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας έχουν μέγεθος κυρίως 10-62 μm , ενώ κυριαρχούν τα ανθρακικά και πυριτικά ορυκτά. Η υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο του λιγνίτη της Δυτικής Μακεδονίας και ιδιαίτερα αυτού του Νοτίου Πεδίου, μπορεί να μειώνει τη λειτουργικότητα των Σταθμών, εξ αιτίας των συσσωματώσεων και των επικαθήσεων που δημιουργούνται (Kolovos et al. 2002c, Fernández-Turiel et al. 2004, Sofiropoulos et al. 2005). Τα φαινόμενα αυτά είναι αποτέλεσμα της διάσπασης του CaCO_3 , το οποίο προέρχεται τόσο από τις λιγνιτοφόρες στιβάδες όσο και από τις ενδιάμεσες, στείρες ενστρώσεις, οι οποίες συνεξορύσσονται μαζί με το λιγνίτη (Kolovos et al. 2002a,b,c, Kolovos 2003 a,b).

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εργασία διερευνά τα μορφολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας από όλες τις μονάδες των Ατμοηλεκτρικών Σταθμών (ΑΗΣ) του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας (ΛΚΔΜ). Ο διαχωρισμός των δειγμάτων της ιπτάμενης τέφρας σε πέντε κλάσματα (<63, 63-125, 125-250, 250-500 και >500 μm) κατέδειξε ότι τα μεγάλα κλάσματα (250-500 και >500 μm) αποτελούν μόνο το 1,2 μέχρι 7,7%, του συνόλου της Ι.Τ. Η ορυκτολογική μελέτη των δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ, έδειξε ότι τα δείγματα της ιπτάμενης τέφρας αποτελούνται κυρίως από άμορφο υλικό, ασβεστίτη, χαλαζία, ανυδρίτη, άσβεστο (lime) και αστρίους (κυρίως πλαγιόκλαστα). Σε μικρότερες ποσότητες εμφανίζεται ο πορτλανδίτης. Επουσιωδώς παρατηρούνται μαρμαρυγίες, αργιλικά ορυκτά και γκελενίτης. Γύψος και αιματίτης υπάρχουν σε πολύ μικρές ποσότητες σε πολύ λίγα δείγματα. Το ολικό ποσοστό του άμορφου υλικού κυμαίνεται από 3-37 (% κ.β.). Οι ασβεστίτης, ο χαλαζίας, οι αστριοί και ο μαρμαρυγίας είναι ορυκτά που περιέχονται στον εξορυσσόμενο λιγνίτη. Μορφολογικά, η ιπτάμενη τέφρα αποτελείται από ακανόνιστα, ωοειδή και σφαιρικά σωματίδια. Παρατηρούνται ακόμη πληροσφαιρίδια, κενοσφαιρίδια και <10 μm σφαιρικά σωματίδια τα οποία είναι εισπνεύσιμα. Όλα τα σωματίδια που έχουν εισπνεύσιμο μέγεθος είναι σφαιρικά. Είναι εμφανής η απουσία σωματιδίων με μορφή ινώδη ή ακτινωτή, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για τη δημόσια υγεία.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Berkowitz N. 1994. An introduction to coal technology (2nd edition), Academic Press, Inc., N.Y., 398p.
- Durham M.D., Baldrey K.E., Bustard C.J., Martin C.E. & Dharmarajan N.N. 1997. New ESP additive controls particulates. *Power Eng.*, 101(6), 44.
- Fernández-Turiel J.L., Georgakopoulos A., Gimeno D., Papastergios G. & Kolovos N. 2004. Ash Deposition in a Pulverized Coal-Fired Power Plant after High-Calcium Lignite Combustion. *Energ. Fuel.*, 18, 1512-1518.
- Filippidis A. & Georgakopoulos A. 1992. Mineralogical and chemical investigation of fly ash from the Main and Northern lignite fields in Ptolemais, Greece. *Fuel*, 71(4), 373-376.
- Filippidis A., Georgakopoulos A. & Kassoli-Fournaraki A. 1992. Mineralogical components from ashing at 600°C to 1000°C of the Ptolemais lignite, Greece. *Trends in Mineralogy*, 1, 295-300.
- Filippidis A., Georgakopoulos A. & Kassoli-Fournaraki A. 1996. Mineralogical components of some thermally decomposed lignite and lignite ash samples from the Ptolemais Basin, Greece. *Int. J. of Coal Geol.*, 30, 303-314.
- Finkelman R.B. 1994. Modes of occurrence of potentially hazardous elements in coal: level of confidence. *Fuel Proc.Tech.*, 32, 21-34.
- Georgakopoulos A., Kassoli-Fournaraki A. & Filippidis A. 1992. Morphology, mineralogy and chemistry of the fly ash from the Ptolemais lignite basin (Greece) in relation to some problems in human health. *Trends in Mineralogy*, 1, 301-305.
- Georgakopoulos A., Filippidis A. & Kassoli-Fournaraki A. 1994. Morphology and trace element contents of the fly ash from Main and Northern lignite fields, Ptolemais, Greece. *Fuel* 73, 1802-1804.
- Georgakopoulos A. 2003. Chemistry and morphology of fly ashes from the main lignite power stations of Northern Greece, Proceedings 8th International Conference on Environmental Science and Technology. Global Network for Environmental Science and Technology "Global Nest" and Department of Environmental Studies, University of the Aegean. September 8th - 10th, 2003, Lemnos Island, Greece, 256-263.
- Kantiranis N., Georgakopoulos A., Filippidis A. & Drakoulis A. 2005. Mineralogy and organic matter content of bottom ash samples from Agios Dimitrios power plant, Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece* vol. XXXVI, 2004, Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki, April 2004, 320-326.
- Kassoli-Fournaraki A., Georgakopoulos A. & Filippidis A. 1992. Heating experiments of the Ptolemais lignite in the temperature range from 100°C to 500°C. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte*, H11, 487-493.
- Kassoli-Fournaraki A., Georgakopoulos A., Michailidis K. & Filippidis A. 1993. Morphology, mineralogy and chemistry of the respirable-size (<5 μm) fly ash fraction from the Main and Northern lignite fields in Ptolemais, Macedonia, Greece. In: Proceedings 2nd Biennial SGA Meeting "Current Res. Geol. Applied to Ore Deposits" (Fenoll Hach-Ali, J. Torres-Ruiz & F. Gervilla, Eds.), La Guioconda, Granada, Spain, 9-11/9/1993, 727-730.
- Kolovos N., Georgakopoulos A., Filippidis A. & Kavouridis C. 2002a. Environmental Effects of Lignite and Intermediate Steriles Coexcavation in the Southern Lignite Field Mine of Ptolemais, Northern Greece. *Energ. Source.*, 24, 561-573.

- Kolovos N., Georgakopoulos A., Filippidis A. & Kavouridis C. 2002b. The Effects on the Mined Lignite Quality Characteristics by the Intercalated Thin Layers of Carbonates in Ptolemais Mines, Northern Greece. *Energ. Source.*, 24, 761-772.
- Kolovos N., Georgakopoulos A., Filippidis A. & Kavouridis C. 2002c. Utilization of lignite reserves and simultaneous improvement of dust emissions and operation efficiency of a Power Plant by controlling the calcium (total and free) content of the fed lignite. Application on the Agios Dimitrios Power Plant, Ptolemais, Greece; *Energ. Fuel.*, 16, 1516-1522.
- Kolovos N. 2003a. The Contribution of Carbonaceous Layers to the Lignite Exploitation in Southern Field Mine, Ptolemais, Greece. *Energ. Source.*, 25(4), 279-291.
- Kolovos N. 2003b. Lignite Quality Prediction Techniques in the Southern Lignite Field Mine, Ptolemais, Greece. *Energ. Source.*, 25(5), 429-437.
- Sakorafa V., Michailidis K. & Burrigato F. 1996. Mineralogy, geochemistry and physical properties of fly ash from the Megalopolis lignite fields, Peloponese, Southern Greece. *Fuel*, 79, 419-423.
- Sotiropoulos D., Georgakopoulos A. & Kolovos N. 2005. Impact of free-calcium oxide content of the fly ash on dust and sulfur dioxide emissions in a lignite-fired Power Plant. *J. Air Waste Manage.*, (in Press).
- Suloway J.J., Roy W.R., Skelly T.M., Dickerson T.R., Schuller R.M. & Griffin R.A. 1983. Chemical and toxicological properties of coal fly ash. *Environ. Geol. Notes*, 105, 1-70.

ABSTRACT

MINERALOGICAL AND MORPHOLOGICAL STUDY OF FLY ASH SAMPLES FROM THE POWER STATIONS OF THE WESTERN MACEDONIAN LIGNITE CENTER

Adamidou K.¹, Georgakopoulos A.², Amanatidou E.³ and Tsikritzis L.³

¹ *Purely Prefectural Enterprise of Kozani "ENVIRONMENTAL CENTRE", 1st Km Ptolemais-Kozani, 502 00 Ptolemais, kepe@otenet.gr*

² *Department of Mineralogy-Petrology-Economic Geology, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki, ageorgak@geo.auth.gr*

³ *Technological Educational Institute of Western Macedonia, 501 00, Kozani, elsa@teiko.z.gr*

More than 73% of the electrical power requirements of Greece are generated in coal-fired power plants that consume approximately 65 million tons of lignite per year and produce near 13 million tons of fly ash. The main coal mining area in Northern Greece is the Lignite Center of Western Macedonia. The lignites exploited in opencast mines are used to generate electricity in the Power Stations of Liptol (43 MW), Amynteo-Filotas (600 MW), Ptolemais (620 MW), Kardias (1200 MW), Agios Dimitrios (1585 MW), and Meliti (330 MW). The exploitation and the combustion of low quality fossil fuel (lignite) in these Power Stations is a source of environmental pollution in North-western Greece. The kilometric scale coal opencast mines introduce severe changes in the local landscape, drainage system, and infrastructures due to the mobilisation of large volumes of materials. Besides, the large coal consumption in the Thermal Power Stations generates large volumes of solid wastes (fly ash mainly) and air emissions. These wastes can introduce severe changes in the water, soil and air quality. The Power Stations are equipped with particulate control systems such as electrostatic precipitators (ESP's), designed to confront the fly ash emissions. In the present study fly ash samples from Agios Dimitrios, Kardias, Ptolemais and Amynteo-Filotas Power Stations are studied for their mineralogical and morphological features. Scanning electron microscopy revealed that the fly ash samples consist of spherical, oval or irregularly shaped particles of varying size. The major mineral phases detected in the different fly ash samples were calcite, quartz, anhydrite, CaO (lime), amorphous material [3-37 wt %] and feldspars, while, micas, clays, and gehlenite, were determined in minor amounts. Trace amounts of gypsum and hematite were also found. Some minerals contained in the fly ash (calcite, quartz, micas, and feldspars) were initial constituents of the mined lignite, while others were formed during the combustion of the lignite.