

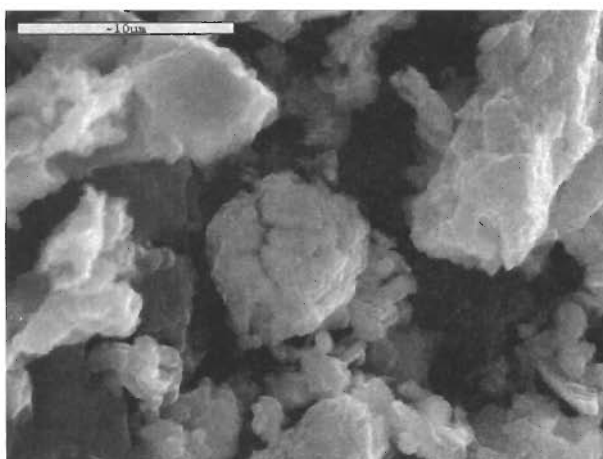


Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Μαργαρίτα Τσιουμάκα

Ορυκτολογική και Μορφολογική Μελέτη
του Εισπνεύσιμου Κλάσματος (PM10) της Ιπτάμενης Τέφρας
του Λιγνιτικού Κέντρου Μεγαλόπολης
σε Σχέση με την Επικινδυνότητα για την Υγεία

Διπλωματική Εργασία



Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2007

Περιεχόμενα

	Σελ.
1. Πρόλογος.....	1
2. Εισαγωγή.....	2
3. Υλικά και Μέθοδοι.....	5
4. Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	7
5. Συμπεράσματα.....	19
6. Βιβλιογραφία.....	21-22

1. Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στον Τομέα Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών (Η' εξάμηνο, 6 Δ.Μ).

Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι να μελετηθεί η ορυκτολογία και η μορφολογία του εισπνεύσιμου κλάσματος (PM10) της ιπτάμενης τέφρας του λιγνιτικού κέντρου Μεγαλόπολης σε σχέση με την επικινδυνότητα για την υγεία.

Η περάτωση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας έγινε υπό την επίβλεψη του κ. Ανέστη Φιλιππίδη Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ν. Καντηράνη Διδάκτορα του Τμήματος Γεωλογίας, για την βοήθειά του στις Ακτίνες-Χ και στο Σαρωτικό Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο.

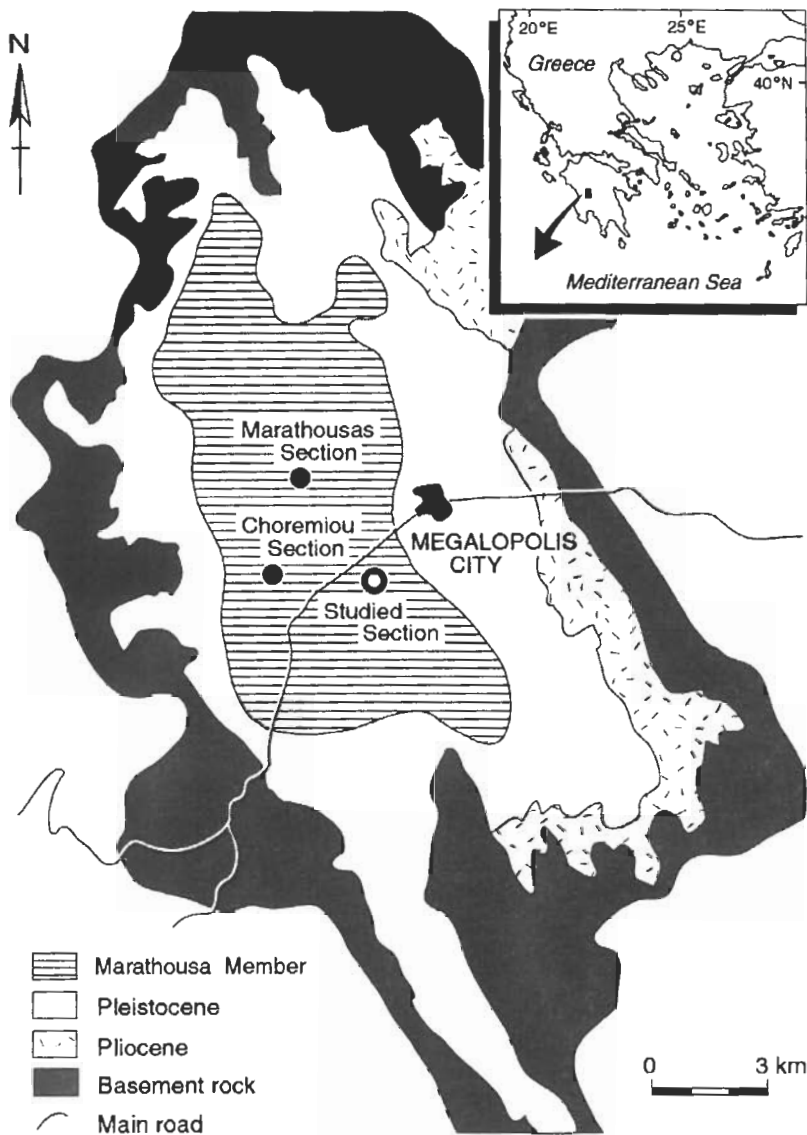
Θεσσαλονίκη 19-11-2007

Μαργαρίτα Τσιουμάκα

(ΑΕΜ:3333)

2. Εισαγωγή

Η λεκάνη της Μεγαλόπολης βρίσκεται στο κέντρο της Πελοποννήσου, 165 χλμ. N-ΝΔ της Αθήνας (Εικ. 1). Η βάση και τα περιθώρια της λεκάνης αποτελούνται από πετρώματα των ζωνών Γαβρόβου-Τρίπολης και Ωλονού-Πίνδου. Η λεκάνη συνιστά ένα μετα-ορογενετικό τεκτονικό βύθισμα ηλικίας Άνω Μειόκαινου, το οποίο είναι πληρωμένο από ακολουθία ιζημάτων του Νεογενούς και του Ολοκαίνου.



Εικόνα 1. Γεωλογικό σκαρίφημα της περιοχής μελέτης (Lüttig & Marinou, 1962)

Ο λιγνιτοφόρος σχηματισμός είναι πλειστοκαινικής ηλικίας και αποτελείται από εναλλαγές αργίλων, πράσινων αργιλωδών μαργών, μαργών και αμμωδών αργίλων και το συνολικό του πάχος ξεπερνά τα 200m. Το πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων κυμαίνεται από λίγα εκατοστά έως 5 μέτρα. Η ανάπτυξη πλούσιας βλάστησης που έγινε μέσα σε τέλματα ή αβαθείς λίμνες κατά τις θερμές περιόδους του Πλειστοκαινού είχε ως αποτέλεσμα τον ασυνεχή σχηματισμό λιγνιτικών στρωμάτων, που καλυπτόταν από φερτά γαιώδη υλικά του ποταμού Αλφειού. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν τρεις λιγνιτικοί ορίζοντες. Σύμφωνα με τους Sakorafa & Michailidis (1997), στη λεκάνη διακρίνονται τρία λιγνιτικά κοιτάσματα, πιθανόν λόγω της ύπαρξης τριών ανεξάρτητων λιμνών, με διαφορετικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά η καθεμία. Τα κοιτάσματα αυτά είναι: Χωρέμι - Μαραθούσα (ολικό βάθος 140μ.), Θωκνία - Κυπαρίσσια (ολικό βάθος 20-100 μ.) και Καρύταινα (ολικό βάθος 45μ.).

Αναλύσεις επί δειγμάτων λιγνίτη της Μεγαλόπολης έχουν δείξει ότι κυριαρχούν τα ορυκτά χαλαζίας, ιλλίτης, άστριοι, ασβεσίτης, γύψος και χλωρίτης. Σημειώνεται επίσης μικρή παρουσία σιδηροπυρίτη και βαρύτη.

Η θερμιδική αξία του λιγνίτη είναι 2437-5470 kcal/kg, με μέση τιμή 3582 kcal/kg επί ξηρού και άνευ τέφρας και χαρακτηρίζεται χαμηλή. Η υγρασία επί φυσικού κυμαίνεται από 47 ως 59%, ενώ το ποσοστό της τέφρας από 11 έως 57% κ.β.. Ο περιεχόμενος άνθρακας είναι της τάξης του 6,5 έως **35%**, οι πτητικές ενώσεις επί ξηρού κυμαίνονται από 30 έως 54%, και η **περιεκτικότητα** του θείου από 0,3-6%.

Τέλος, κοκκομετρικές αναλύσεις έχουν δείξει ότι οι λιγνίτες της Μεγαλόπολης χαρακτηρίζονται από υψηλό ποσοστό χονδρόκοκκων τεμαχιδίων >710μm (Sakorafa & Michailidis 1997).

Τα κοιτάσματα της Μεγαλόπολης υπόκεινται σε εντατική εκμετάλλευση από την Δ.Ε.Η. για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το 1969. Η παραγωγή λιγνίτη ανήλθε το 2006 σε 13,54 εκ. τόνους. Το λιγνιτωρυχείο τροφοδοτεί στον Α.Η.Σ. Μεγαλόπολης Α δύο μονάδες ισχύος 125MW η καθεμία και μία μονάδα 300MW και στον Α.Η.Σ. Μεγαλόπολης Β μία μονάδα ισχύος 300MW.

Παραπροϊόν της καύσης του λιγνίτη είναι η ιπτάμενη τέφρα, της οποίας η παραγωγή υπολογίζεται ότι φτάνει για τα λιγνιτικά πεδία Μεγαλόπολης και Πτολεμαΐδας μαζί τα 13εκ. τόνους ετησίως.

Το μεγαλύτερο μέρος της τέφρας αυτής, δεδομένου ότι ένα μικρό μόνο μέρος της τυγχάνει προς το παρόν εμπορικής εκμετάλλευσης, αποτίθεται εκ νέου στα κενά που αφήνουν οι εκσκαφές της εκμετάλλευσης ή σε σωρούς στην περιοχή γύρω από το πεδίο.

Ένα μέρος της ιπτάμενης τέφρας διασπείρεται από τον άνεμο στην γύρω κατοικημένη περιοχή μετά την επαναπόθεσή της και ένα άλλο είναι δυνατό να διαφεύγει από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα του εργοστασίου. Με δεδομένο και ότι η ετήσια παραγόμενη ποσότητα αυτής είναι πολύ μεγάλη, η γνώση της ορυκτολογίας, μορφολογίας, κοκκομετρίας και χημείας της είναι πολύ σημαντική, καθώς η εισπνοή των κόκκων της μπορεί ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της να επιφέρει ή όχι επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων.

Ιδιαίτερη σημασία έχουν τα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 10 μ m, γνωστά ως PM10. Αυτά εξαιτίας του μεγέθους τους εισέρχονται στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα και είναι κυρίως υπεύθυνα για τις διάφορες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Simson 1990, Georgakopoulos et al. 1992, Kassoli-Fournaraki et al. 1993, Hueglin et al. 1998, Τριανταφύλλου κ.α. 2000). Σημειώνεται ότι σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες νομοθεσίες το όριο για την μελέτη του εισπνεύσιμου κλάσματος ιπτάμενης τέφρας είναι τα 10 μ m και 2,10 μ m, καθώς τα σωματίδια με τέτοια διάμετρο είναι δυνατό να διαφύγουν των ηλεκτροστατικών φίλτρων προς την ατμόσφαιρα. Οι επιδράσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία και γενικότερα στο περιβάλλον σχετίζονται, εκτός από τη συγκέντρωσή τους και με την ορυκτολογία, μορφολογία και χημεία των σωματιδίων αυτών (Swaine 1990, Clark & Sloss 1992, Γεωργακόπουλος κ.α. 1992, 2002, Georgakopoulos et al. 1992, 1994, 1996, Guthrie & Mossman 1993, Kassoli-Fournaraki et al. 1993, Sengupta 1993, Φιλιππίδης 2002).

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την μελέτη της κοκκομετρίας, ορυκτολογίας και μορφολογίας του εισπνεύσιμου κλάσματος της ιπτάμενης τέφρας της Μεγαλόπολης με διάμετρο κόκκων μικρότερη από 10 μ m (PM10) σε σχέση με την πιθανή επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία.

3. Υλικά και Μέθοδοι

Τα δείγματα της ιπτάμενης τέφρας προέρχονται από ηλεκτροστατικό φίλτρο του Α.Η.Σ. του Λιγνιτικού Κέντρου της Μεγαλόπολης (ΛΚΜ).

Το αρχικό ολικό δείγμα MEG 1 λήφθηκε το 2001 ενώ, το MEG 2 το 2003.

Η απόληψη του κλάσματος των κόκκων με διάμετρο μικρότερη από 10 μm έγινε και για τα δύο δείγματα με ελεύθερη καθίζηση των κόκκων σε αιώρημα απιονισμένου νερού, εξαιτίας της επιτάχυνσης της βαρύτητας σύμφωνα με το νόμο του Stokes.

Μέσα σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml τοποθετήθηκαν 10 γραμμάρια από καθένα από τα αρχικά δείγματα MEG 1 και MEG 2. Προστέθηκε απιονισμένο νερό μέχρι η στήλη του νερού μέσα στο ποτήρι ζέσεως να φτάσει τα 4 cm.

Σύμφωνα με τον Τσιραμπίδη (2006) για την ελεύθερη πτώση κόκκων διαμέτρου >10 μm απαιτείται για κάθε 1cm ύψους αιωρήματος χρόνος απόληξης 135sec ή για τα 4cm συνολικού ύψους πτώσης απαιτούνται 540sec ή 9min.

Πριν από κάθε ελεύθερη πτώση έγινε έντονη ανάδευση με δονητή υπερήχων για πλήρη διαμερισμό του υλικού. Η διαδικασία επαναλήφθηκε τρεις φορές και η απόληξη έγινε κάθε φορά μετά από ανάδευση με το δονητή και αποταμίευση του υπερκείμενου αιωρήματος που περιείχε το λεπτομερέστερο κλάσμα. Η εκτίμηση του βαθμού διαύγειας του υπερκείμενου υγρού για την ολοκλήρωση της απόληξης ήταν υποκειμενική, ενώ ο χρόνος ανάδευσης με τη συσκευή υπερήχων ήταν περιορισμένος για να αποφευχθεί η θρόμβωση των κόκκων, εξαιτίας της υπερθέρμανσης του αιωρήματος.

Στη συνέχεια το υπερκείμενο κάθε (με διάμετρο <10 μm) διάλυμα κάθε δοχείου συλλέχθηκε και φυγοκεντρήθηκε στις 3000 RPM για 5min. Η φυγοκέντρηση επαναλήφθηκε μέχρι τα διαλύματα να καταστούν διαυγή. Με την απομάκρυνση του υπερκείμενου διαυγούς συλλέχθηκε το κλάσμα της φυγοκεντρικής πλύσης με διάμετρο μικρότερη από 10 μm . Η διαδικασία επαναλήφθηκε μέχρι να συγκεντρωθεί ποσότητα δείγματος αρκετή για μελέτη.

Τα υλικά που διαχωρίστηκαν με αυτόν τον τρόπο αφέθηκαν να στεγνώσουν σε θερμοκρασία δωματίου για μερικές ημέρες.

Προέκυψαν έτσι τα δείγματα MEG 1_{<10} και MEG 2_{<10} με διάμετρο κόκκων μικρότερη από 10μm και MEG 1_{>10} και MEG 2_{>10} με διάμετρο κόκκων μεγαλύτερη από 10μm.

Με ζυγίσεις των παραπάνω δειγμάτων σε ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας υπολογίστηκε η επί τοις εκατό συμμετοχή του κλάσματος των PM10 στα αρχικά ολικά δείγματα.

Η μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης των εξεταζόμενων δειγμάτων δειγμάτων έγινε με χρήση περιθλασίμετρου τύπου PHILIPS PW1820/00, εξοπλισμένο με μικροεπεξεργαστή PW1710/00, λυχνία Cu και φίλτρο Ni για τη λήψη CuK_α ακτινοβολίας, ενώ η περιοχή σάρωσης γωνίας 2θ ήταν 3-53 και η ταχύτητα σάρωσης 1,2 /min. Πριν την ακτινογράφιση των δειγμάτων έγινε έλεγχος της ευαισθησίας και της ακρίβειας του περιθλασιόμετρου με ειδικό πρότυπο καθαρού πυριτίου. Ο τρόπος προετοιμασίας των τυχαία προσανατολισμένων παρασκευασμάτων, οι δειγματολήπτες και οι συνθήκες σάρωσης όλων των δειγμάτων ήταν ακριβώς οι ίδιες. ο ημιποσοτικός προσανατολισμός των ορυκτολογικών φάσεων έγινε με βάση τις απαριθμήσεις (counts) συγκεκριμένων ανακλάσεων, που δεν επηρεάζονται από καμία άλλη ανάκλαση και λαμβάνοντας υπ' όψιν την πυκνότητα και τον συντελεστή απορρόφησης μάζας (Mass Absorption Coefficient CuK_α) των ορυκτολογικών φάσεων.

Η μορφολογία των κόκκων μελετήθηκε σε σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο τύπου JEOL (JSM-840) με σύστημα ανάλυσης LINK-AN 10000 Energy Dispersive System (SEM-EDS.) για τον υπολογισμό της χημικής σύστασης των εξεταζόμενων κόκκων.

4. Αποτελέσματα και Συζήτηση

Στο αρχικό ολικό δείγμα MEG 1 υπολογίστηκε ότι το ποσοστό του κλάσματος με διάμετρο κόκκων μικρότερη από 10 μ m είναι 17% του συνολικού, ενώ στο αρχικό ολικό δείγμα MEG 2 το αντίστοιχο ποσοστό ανέρχεται σε 16% κ.β..

Σημειώνεται ότι και στα δύο δείγματα βρέθηκε μικρή ποσότητα συσσωματωμάτων άκαυστου λιγνίτη. Τα υπολείμματα του άκαυστου λιγνίτη απομακρύνθηκαν με χειροδιαλογή πριν την ξήρανση του PM10 κλάσματος. Το ποσοστό του άκαυστου εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα του αρχικού λιγνίτη, τον τύπο του καυστήρα καθώς και τον ρυθμό τροφοδότησης και καύσης. Σύμφωνα με τους Clark & Sloss (1992) το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 1 έως 8%.

Τα περιθλασιογράμματα των δειγμάτων έδειξαν την παρουσία κρυσταλλικών φάσεων αλλά και άμορφης ύλης. Τα αποτελέσματα των ακτινογραφικών αναλύσεων και η ερμηνεία τους παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 έως 5.

Πίνακας 1: Ερμηνεία περιθλασιογράμματος δείγματος MEG1_{>10 μ m}

2θ	d (Å)	I (counts)	Ερμηνεία
20,820	4,263	25	Χαλαζίας
23,115	3,844	37	Ασβεστίτης
24,145	3,683	28	Αιματίτης
26,625	3,345	185	Χαλαζίας
27,870	3,198	32	Πλαγιόκλαστα
29,390	3,036	328	Ασβεστίτης
31,335	2,852	72	Ασβεστίτης
33,175	2,698	72	Αιματίτης
35,655	2,516	69	Αιματίτης
36,005	2,492	77	Ασβεστίτης
37,345	2,406	14	Ασβεστος
39,435	2,283	34	Χαλαζίας/Ασβεστίτης
43,220	2,091	41	Ασβεστίτης
43,915	2,060	10	Αιματίτης
47,475	1,913	22	Ασβεστίτης
48,460	1,876	37	Ασβεστίτης
49,520	1,839	14	Αιματίτης
50,090	1,819	10	Χαλαζίας
54,120	1,693	11	Αιματίτης
57,420	1,603	11	Ασβεστίτης

Πίνακας 2: Ερμηνεία περιθλασιογράμματος του δείγματος MEG_{1<10μm} (PM10)

2θ	d (Å)	I (counts)	Ερμηνεία
20,815	4,264	156	Χαλαζίας
22,020	4,033	24	Πλαγιόκλαστα
23,905	3,719	22	Πλαγιόκλαστα
25,480	3,493	185	Ανυδρίτης
26,635	3,344	605	Χαλαζίας
27,935	3,191	79	Πλαγιόκλαστα
31,345	2,851	67	Ανυδρίτης
35,635	2,517	36	Πλαγιόκλαστα
36,580	2,454	45	Χαλαζίας
38,675	2,326	11	Ανυδρίτης
39,425	2,283	24	Χαλαζίας
40,270	2,237	10	Χαλαζίας
40,890	2,205	19	Ανυδρίτης
42,305	2,134	9	Χαλαζίας
45,680	1,984	7	Χαλαζίας
50,105	1,819	30	Χαλαζίας
50,815	1,795	2	Χαλαζίας
52,090	1,754	5	Ανυδρίτης
55,855	1,644	5	Ανυδρίτης
59,915	1,542	14	Χαλαζίας
62,850	1,477	4	Χαλαζίας
68,060	1,376	12	Χαλαζίας
75,500	1,258	4	Χαλαζίας

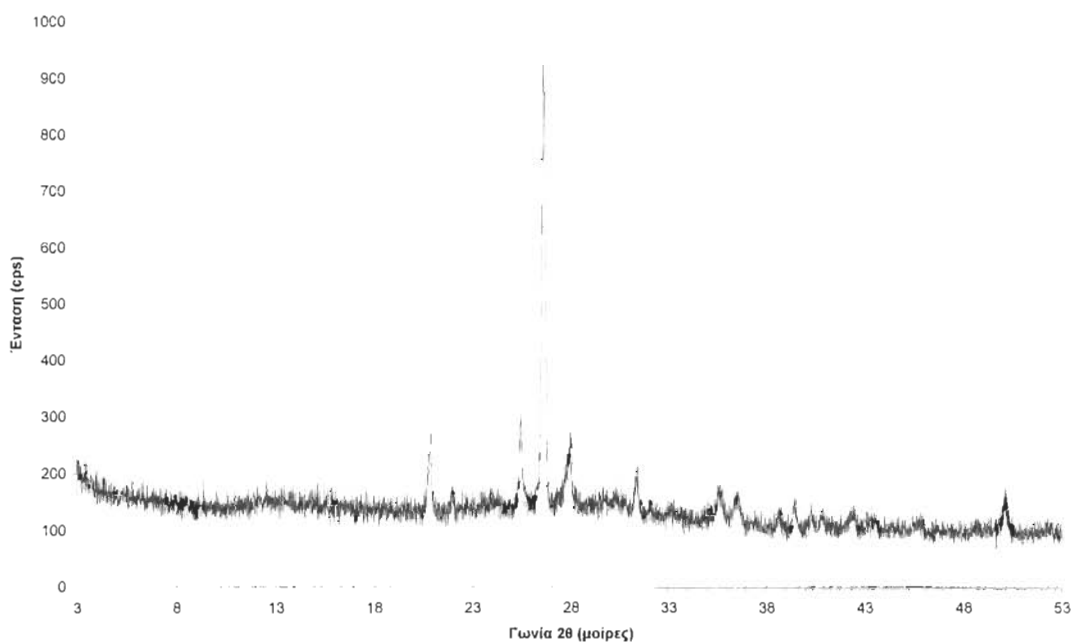
Πίνακας 3: Ερμηνεία περιθλασιογράμματος του δείγματος MEG_{2>10μm}

2θ	d (Å)	I (counts)	Ερμηνεία
20.875	4.252	724	Χαλαζίας
26.655	3.341	2190	Χαλαζίας
27.945	3.190	128	Πλαγιόκλαστα
29.505	3.025	119	Ασβεστίτης
36.570	2.455	166	Χαλαζίας/Πλαγιόκλαστα
39.470	2.281	104	Χαλαζίας/ Ασβεστίτης
42.405	2.129	64	Χαλαζίας/Πλαγιόκλαστα
45.805	1.979	40	Χαλαζίας
50.130	1.818	112	Χαλαζίας
54.930	1.670	24	Χαλαζίας
59.945	1.541	55	Χαλαζίας

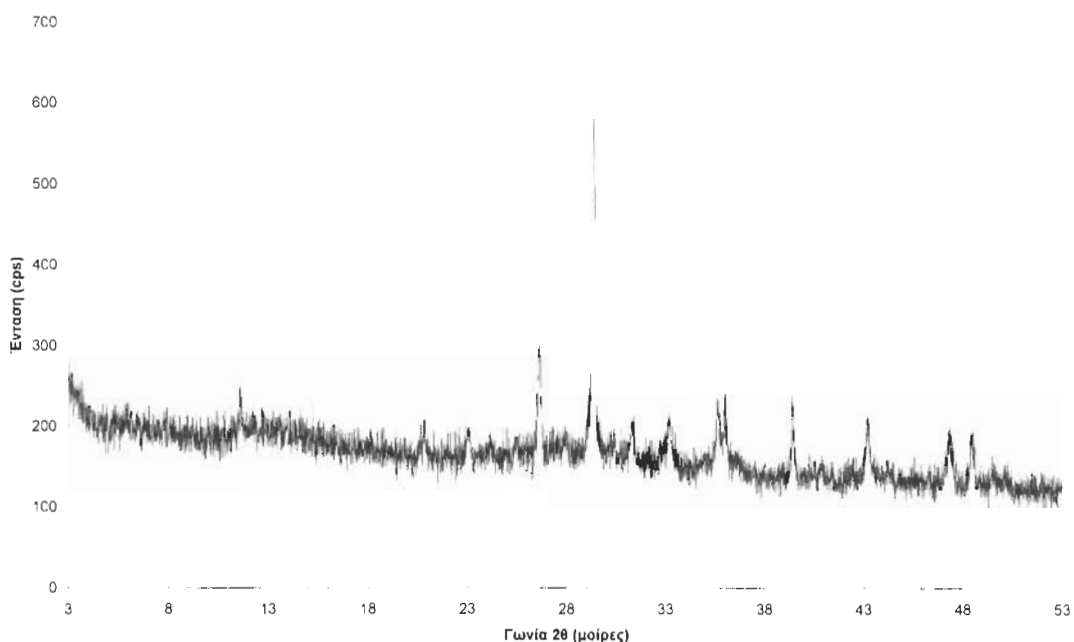
Πίνακας 4: Ερμηνεία περιθλασιογράμματος του δείγματος MEG_{2<10μm} (PM10)

2θ	d (Å)	I (counts)	Ερμηνεία
12,245	7,222	128	Αργιλικά ορυκτά
19,780	4,484	190	Αργιλικά ορυκτά
20,865	4,254	376	Χαλαζίας
26,655	3,341	1681	Χαλαζίας
27,895	3,195	90	Πλαγιόκλαστα
35,360	2,536	77	Πλαγιόκλαστα
36,615	2,452	98	Αργιλικά ορυκτά
39,500	2,279	66	Χαλαζίας
40,115	2,246	31	Χαλαζίας
42,405	2,129	45	Χαλαζίας/Πλαγιόκλαστα
50,135	1,818	110	Χαλαζίας
60,030	1,539	29	Χαλαζίας

Στις εικόνες 2 και 3 δίνονται αντιπροσωπευτικά περιθλασιογράμματα της αρχικής ιπτάμενης τέφρας και του PM10 κλάσματός της.



Εικόνα 2. Αντιπροσωπευτικό περιθλασιογράμμα αρχικής ιπτάμενης τέφρας MEG2.



Εικόνα 3. Αντιπροσωπευτικό περιθλασιόγραμμα του PM10 κλάσματος της της ιπτάμενης τέφρας MEG2.

Η ημιποσοτική ορυκτολογική σύσταση των εξεταζόμενων δειγμάτων δίνεται στον Πίνακα 5.

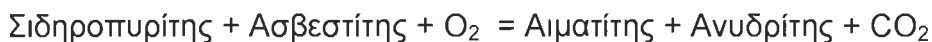
Πίνακας 5: Ημιποσοτική ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) της ιπτάμενης τέφρας Μεγαλόπολης και του εισπνεύσιμου κλάσματός της.

	Q	P	C	H	G	L	A	Am
MEG 1 (ολικό)	49	6					29	16
MEG 1 _{<10μm} (PM10)	13	2	45	15		3		22
MEG 2 (ολικό)	46	8		4	8		20	14
MEG 2 _{<10μm} (PM10)	10		53	10	5		4	15

Q: χαλαζίας, P: πλαγιόκλαστο, C: ασβεστίτης, H: αιματίτης, G: γκελενίτης, L: άσβεστος, A: ανυδρίτης, Am: άμορφο υλικό.

Οι φάσεις χαλαζίας, ασβεστίτης, ανυδρίτης και πλαγιόκλαστα αποτελούν αρχικά συστατικά του εξορυσσόμενου λιγνίτη, ενώ οι υπόλοιπες δημιουργούνται κατά τη διαδικασία της καύσης.

Οι ανυδρίτης και αιματίτης σχηματίζονται πιθανά από τους περιεχόμενους σιδηροπυρίτη και ασβεστίτη σύμφωνα με την αντίδραση:

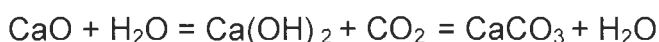


(Mitchell and Gluskoter 1976)

Συγκεκριμένα, ο αιματίτης αρχίζει να σχηματίζεται από τους 300 °C σε δείγματα λιγνίτη πλούσια σε Fe, και τους 600 °C σε δείγματα με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε Fe, χωρίς να αποκλείεται ωστόσο ο αιματίτης να συμμετέχει σε ένα μικρό ποσοστό και στα αρχικά συστατικά του λιγνίτη.

Ο ανουδρίτης, σε δείγματα σχετικά πλούσια σε Fe₂O₃, CaO και SO₃ και με παρουσία οξυγόνου μέσα στους καυστήρες εμφανίζεται κατά την καύση και αυτός στους 300 °C και παραμένει έως τους 1200 °C. Σε δείγματα φτωχότερα εμφανίζεται στους 450 °C και δεν παραμένει μέχρι την ίδια ανώτερη θερμοκρασία.

Το CaO σχηματίζεται από τη θερμική αποικοδόμηση του ασβεστίτη σε υψηλές θερμοκρασίες >700 °C (Καντηράνης 2001) ή στους 650 °C ανάλογα με την ολική χημεία του λιγνίτη (Kassoli-Fournaraki et al. 1992, Filippidis et al. 1996), ενώ είναι δυνατό κατά τη διαδικασία ψύξης της ιπτάμενης τέφρας παρουσία νερού να σχηματιστεί ξανά ασβεστίτης σύμφωνα με την αντίδραση:



Ο τρόπος με τον οποίο προέρχεται κάθε ορυκτολογική φάση που ανιχνεύθηκε στα δείγματα φαίνεται συνοπτικά στον πίνακα 6.

Πίνακας 6: Προέλευση ορυκτολογικών φάσεων στην ιπτάμενη τέφρα Μεγαλόπολης

Ορυκτό	Τρόπος σχηματισμού
Χαλαζιάς	-Περιέχεται στον αρχικό λιγνίτη.
Πλαγιόκλαστα	-Περιέχονται στον αρχικό λιγνίτη.
Αργιλικά ορυκτά	-Περιέχονται στον αρχικό λιγνίτη.
Ασβεστίτης	-Περιέχεται στον αρχικό λιγνίτη ή δευτερογενώς σύμφωνα με την αντίδραση: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
Ανουδρίτης	$-\text{FeSO}_4 + \text{CaCO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2$, (T >450 °C)
Ασβεστος	-Θερμική αποικοδόμηση του CaCO ₃ .
Αιματίτης	$-\text{FeSO}_4 + \text{CaCO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2$ (T >300 °C) (-Περιέχεται πιθανά στον αρχικό λιγνίτη.)

(Filippidis & Georgakopoulos 1992, Filippidis et al.1992, 1996, 1997, Kassoli-Fournaraki et al.1992, Φιλιππίδης κ.α. 1997).

Οι διαφοροποιήσεις που παρατηρήθηκαν στην ορυκτολογία και στα ποσοστά συμμετοχής των ορυκτών στην ιπτάμενη τέφρα ανάμεσα στο παλιότερο δείγμα MEG1 και στο νεότερο MEG2 είναι φυσιολογικές και αναμενόμενες και μπορούν να αποδοθούν κυρίως στο ότι:

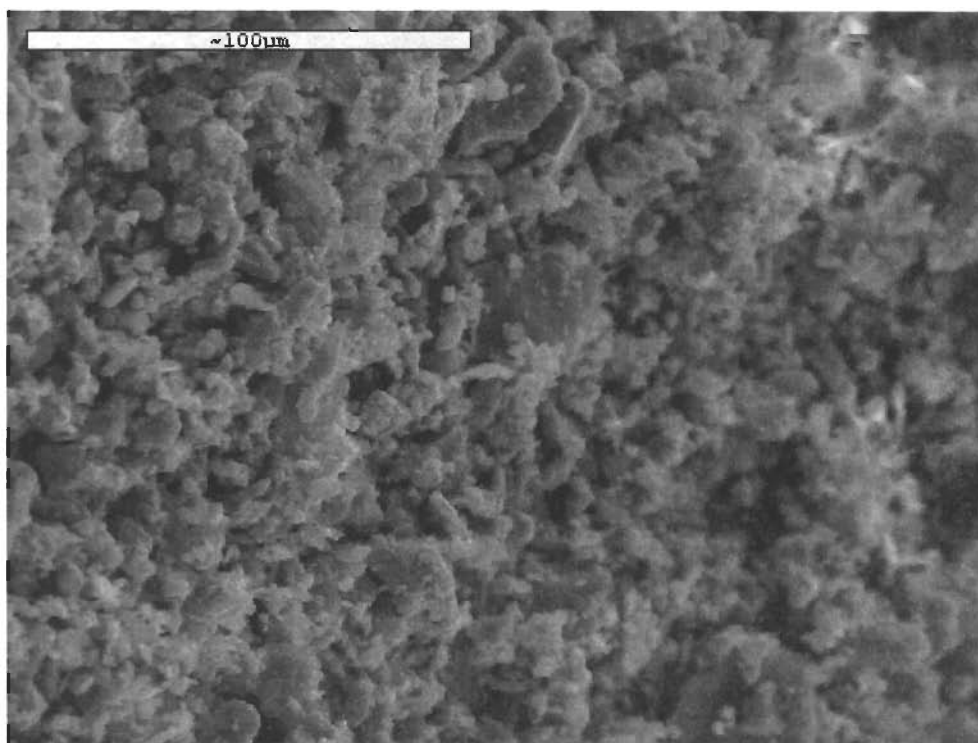
- ο εξορυσσόμενος λιγνίτης περιέχει ποσότητα ενδιάμεσων στείρων υλικών που μπορεί να παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση περιεχομένων ορυκτών.
- η θερμοκρασία που επικρατεί στους καυστήρες των ατμοηλεκτρικών σταθμών δεν είναι σταθερή αλλά παρουσιάζει και αυτή ένα εύρος τιμών που με τη σειρά τους επηρεάζουν τις διεργασίες εντός των καυστήρων και συνεπώς τα τελικά ποσοστά συμμετοχής των ορυκτολογικών φάσεων στην τέφρα.

Αντίστοιχες εργασίες για την ορυκτολογία της ιπτάμενης τέφρας της λεκάνης της Πτολεμαΐδας έχουν δείξει ότι αυτή αποτελείται κυρίως από ανυδρίτη, άσβεστο, ασβεστίτη, γκελενίτη, χαλαζία, καλιούχους άστριους και πλαγιόκλαστο. Σημειώνεται δε μικρή συμμετοχή ή/και ίχνη αιματίτη, γύψου, αμφιβόλων καθώς και άμορφου και άκαυστου υλικού (Filippidis & Georgakopoulos 1992, Michailidis et al. 1997.)

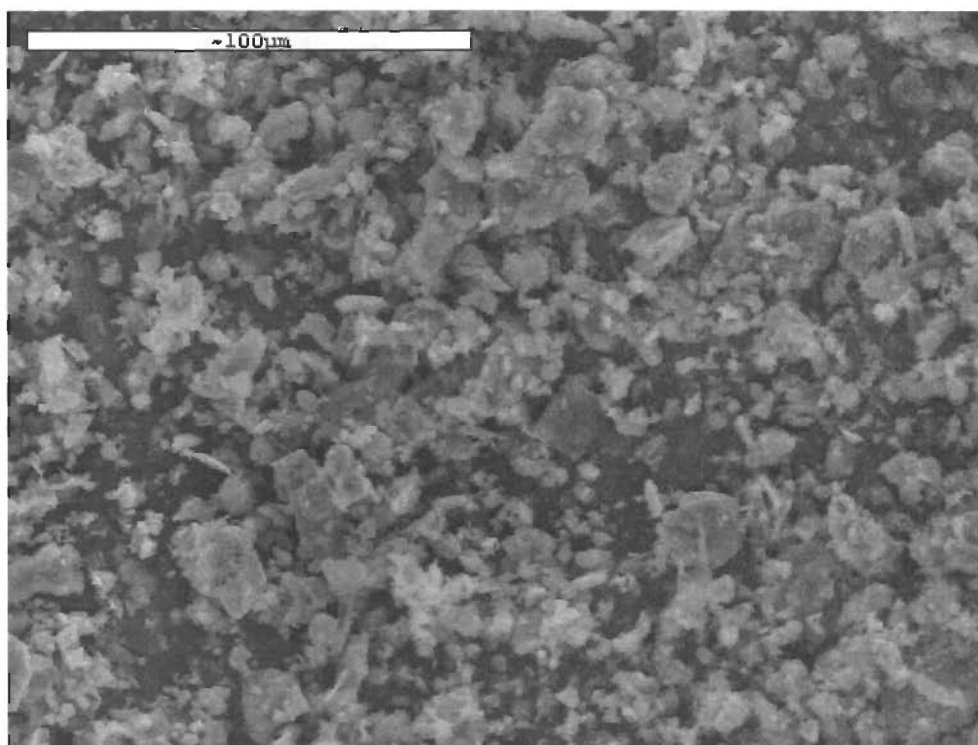
Οι διαφορές ανάμεσα στην ορυκτολογική σύσταση της ιπτάμενης τέφρας της Μεγαλόπολης και αυτής της Πτολεμαΐδας οφείλονται προφανώς στην διαφορετική σύσταση της λιγνιτικής πρώτης ύλης καθώς και στην διαφορετική ορυκτολογική σύσταση των ενδιάμεσων στείρων που συνεξορυσσονται. Η ιπτάμενη τέφρα που προκύπτει από την καύση στην Πτολεμαΐδα έχει περισσότερο αλκαλοπυριτική σύσταση σε σχέση με αυτήν της Μεγαλόπολης που είναι περισσότερο θειοασβεστιτική.

Για την μελέτη στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο επιλέχθηκε το πιο πρόσφατο και εισπνεύσιμο δείγμα MEG 2 και συγκεκριμένα το εισπνεύσιμο κλάσμα του (PM10).

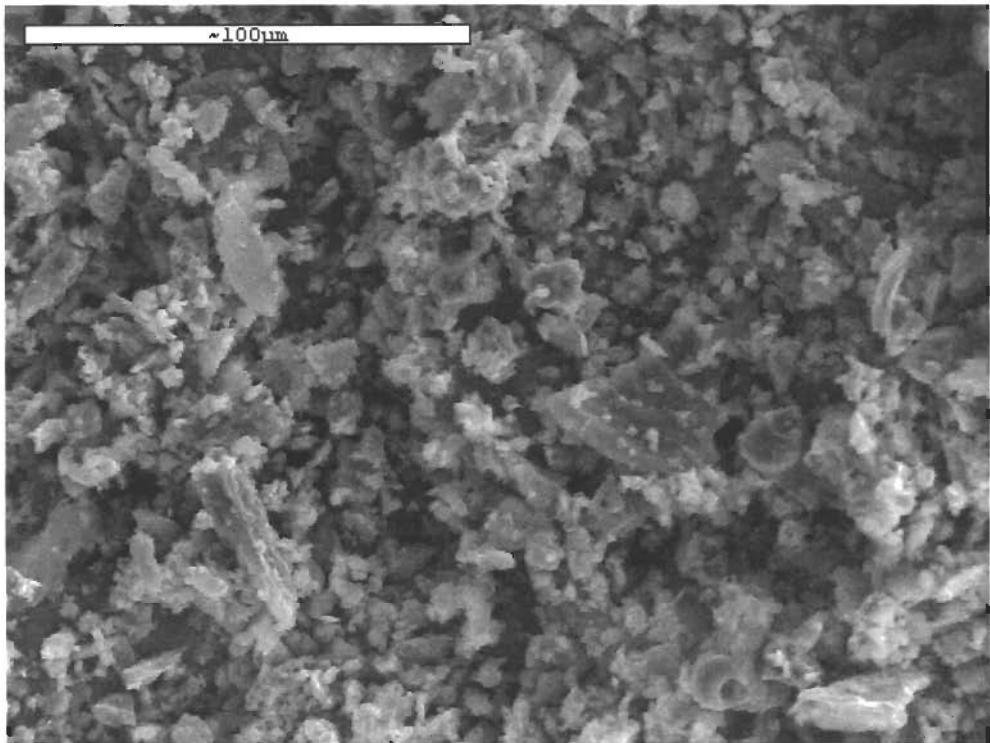
Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνεται η μορφολογία των κόκκων του εξεταζόμενου υλικού.



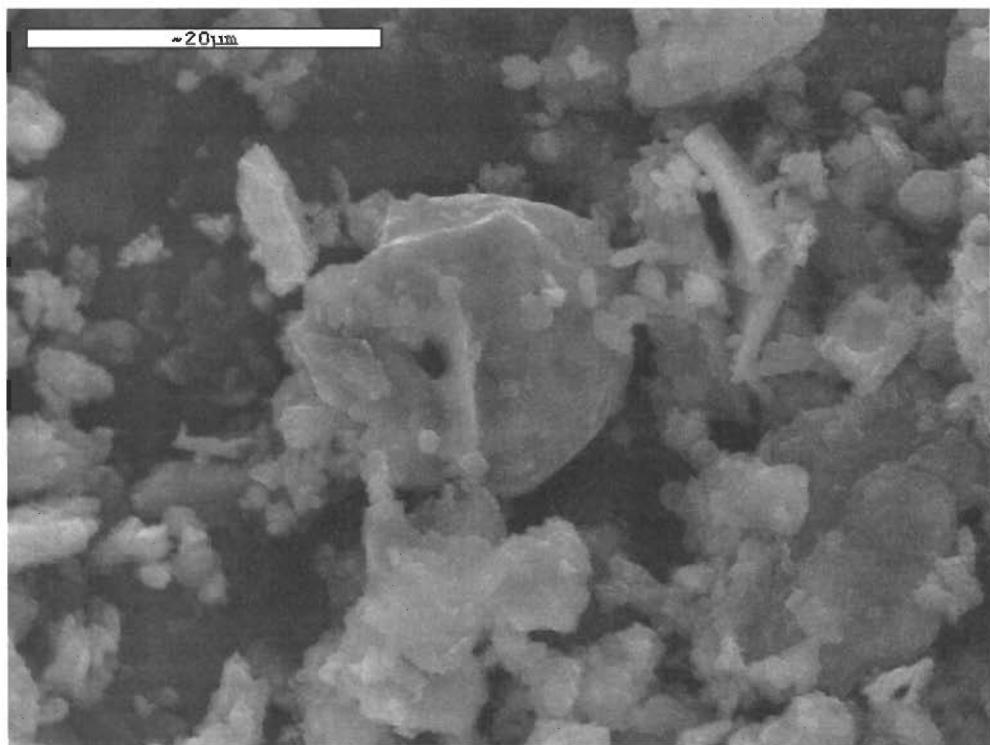
Εικόνα 4. Γενική άποψη της κοκκομετρίας του εξεταζόμενου κλάσματος.



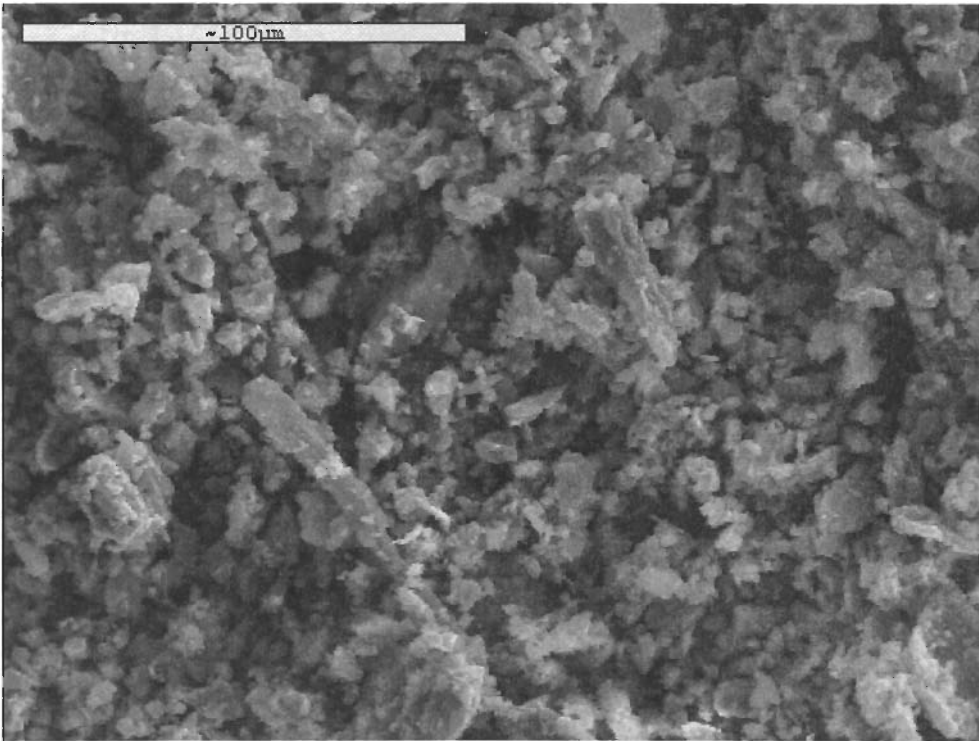
Εικόνα 5. Γενική άποψη της κοκκομετρίας του εξεταζόμενου κλάσματος.



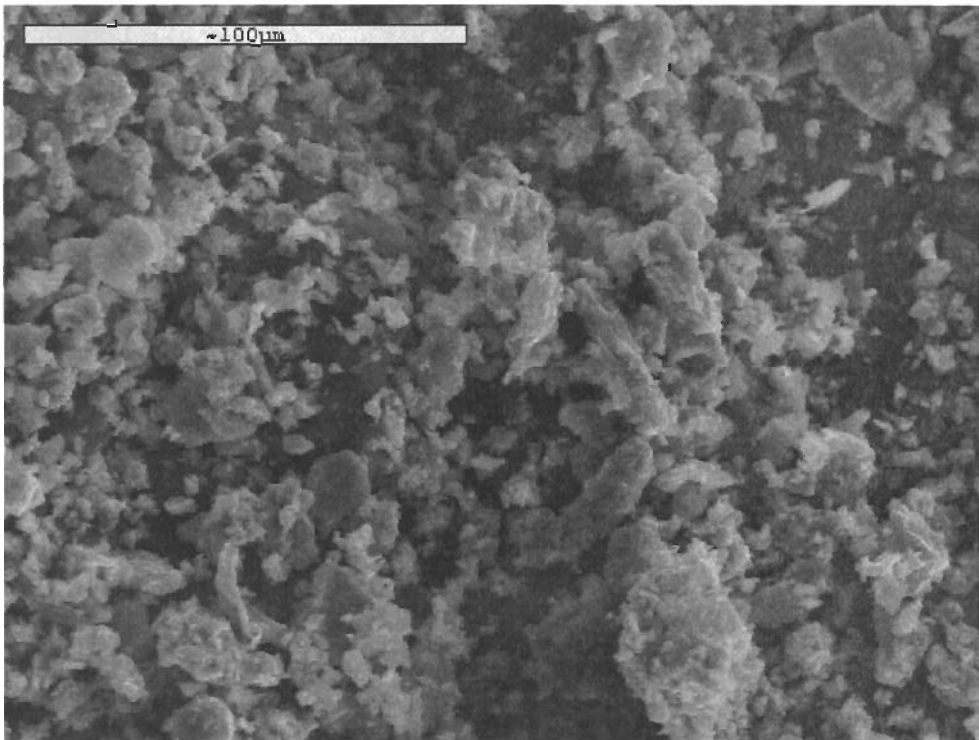
Εικόνα 6. Γενική εικόνα της μορφολογίας των κόκκων.



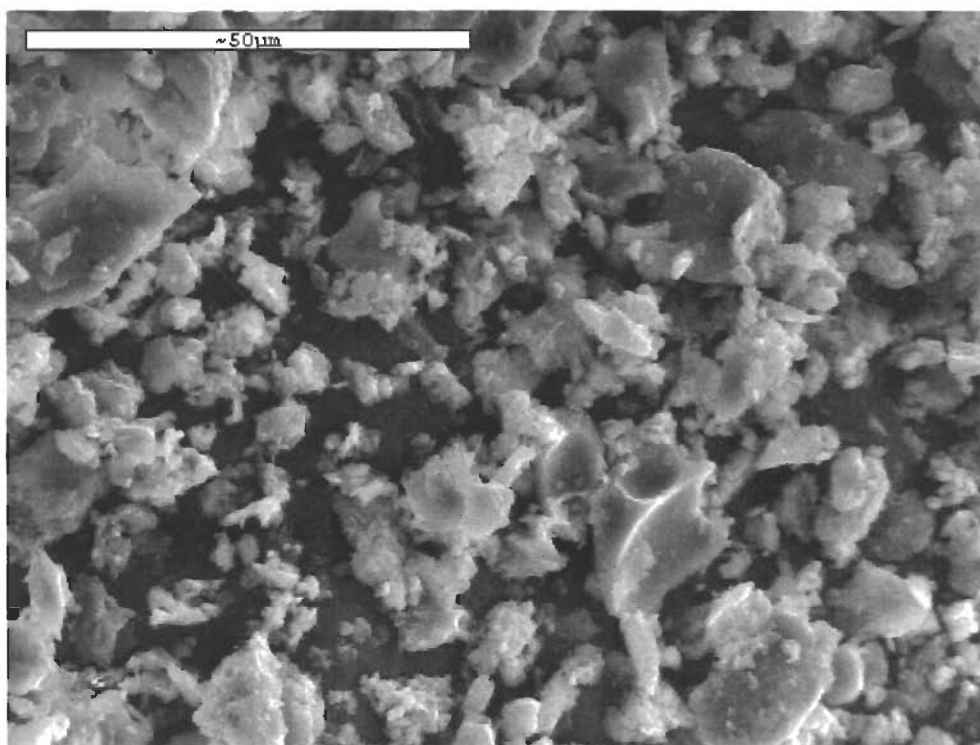
Εικόνα 7. Στρογγυλεμένος κόκκος χαλαζία.



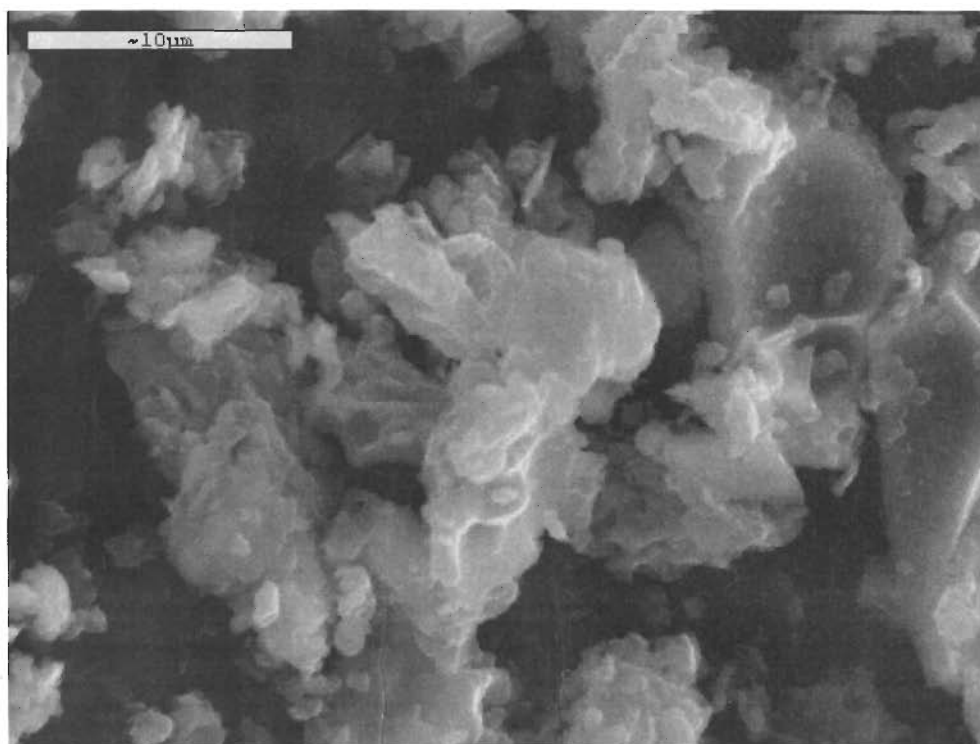
Εικόνα 8. Γενική εικόνα της μορφολογίας των κόκκων.



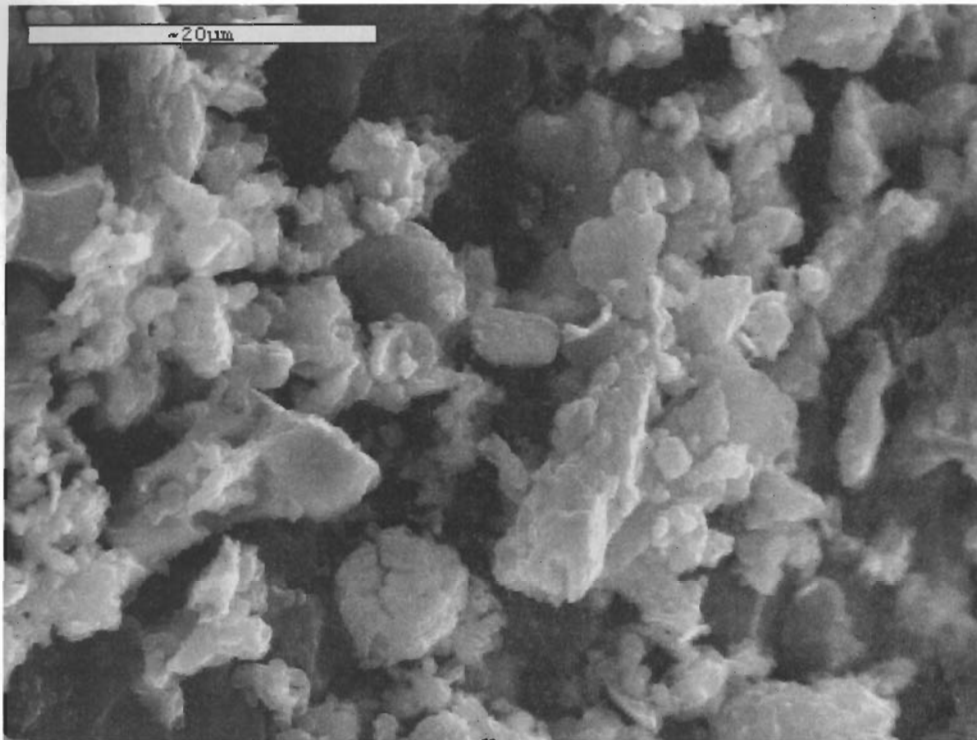
Εικόνα 9. Γενική εικόνα της μορφολογίας των κόκκων.



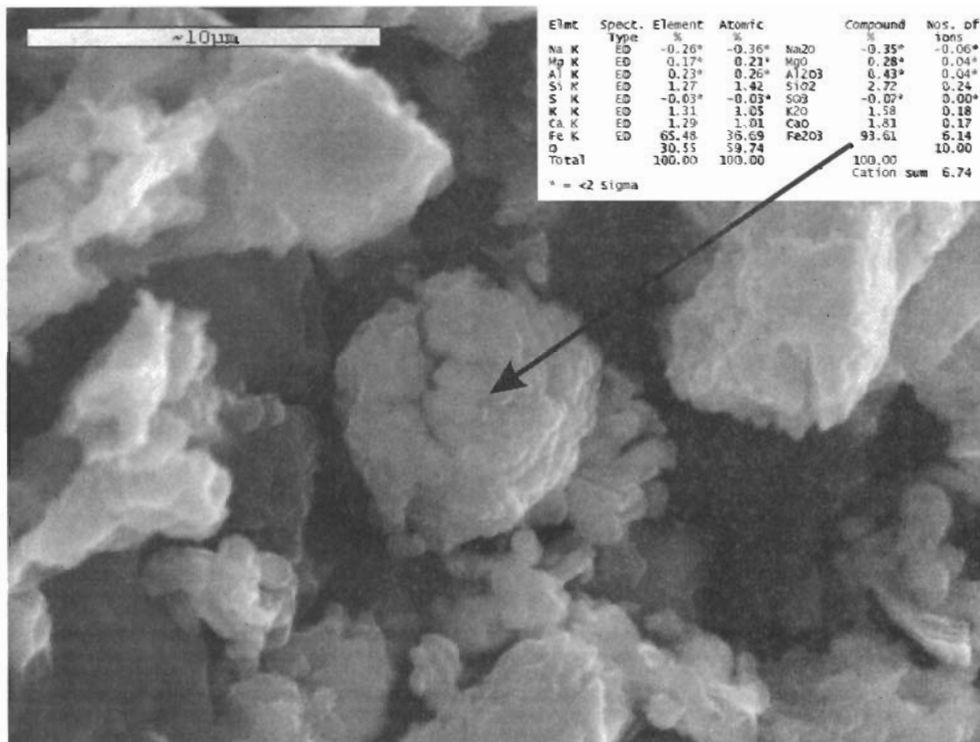
Εικόνα 10. Μορφολογία κόκκων εισπνεύσιμου κλάσματος (PM10).



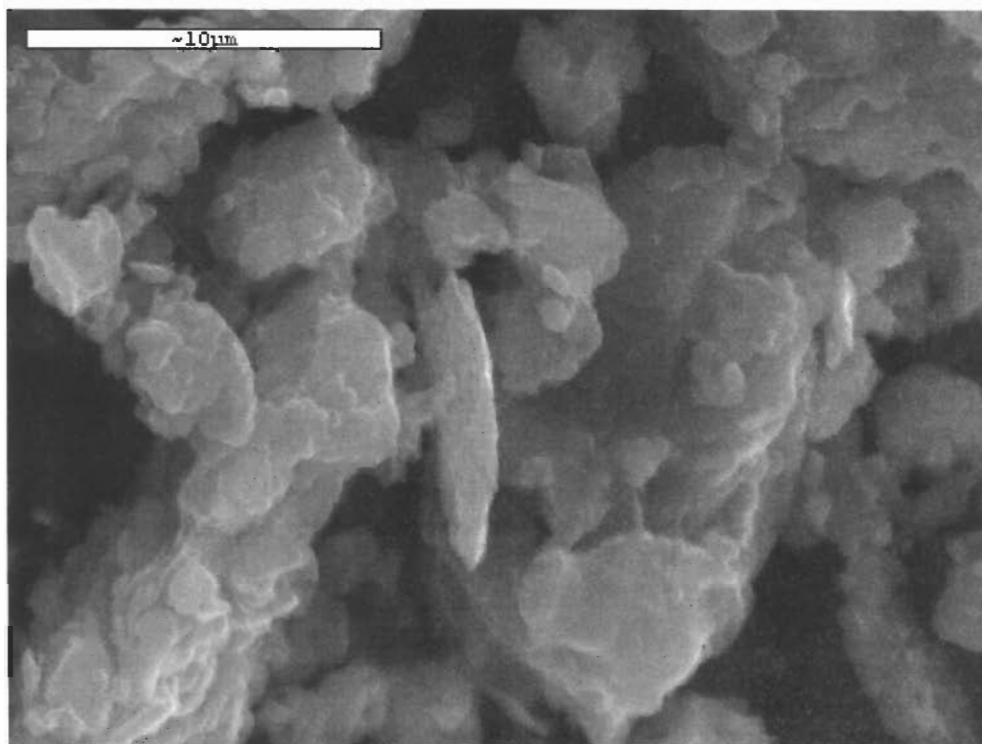
Εικόνα 11. Μορφολογία κόκκων εισπνεύσιμου κλάσματος (PM10).



Εικόνα 12. Μορφολογία κόκκων εισπνεύσιμου κλάσματος (PM10).



Εικόνα 13: Λεπτομέρεια της εικόνας 12, όπου φαίνεται συσσωμάτωμα κόκκων αιματίτη, καθώς και η χημική του ανάλυση.



Εικόνα 14. Φυλλόμορφοι κόκκοι ορυκτών.

Η Εικόνα 4 δίνει μια γενική ενδεικτική όψη του υλικού.

Στην Εικόνα 5 φαίνονται καλά οι σφαιρικοί και γωνιώδεις κόκκοι γενικώς.

Η Εικόνα 6 είναι λεπτομέρεια της Εικόνας 5 και παρατηρείται καλοστρογγυλεμένος και σφαιροειδής κόκκος χαλαζία.

Η Εικόνα 7 είναι γενική.

Στην Εικόνα 8 φαίνονται αρκετοί επιμήκεις κόκκοι.

Στην Εικόνα 9 παρατηρούνται ως επί το πλείστον σφαιροειδείς κόκκοι και αρκετοί γωνιώδεις.

Η Εικόνα 10 δίνει μια γενική εικόνα του υλικού και διακρίνονται σε αυτήν τόσο σφαιρικές όσο και γωνιώδεις μορφές.

Η Εικόνα 11 είναι λεπτομέρεια της Εικόνας 10 και δίνει έμφαση σε κόκκους γωνιώδεις και άλλους με κογχώδη θραυσμό.

Στην Εικόνα 12 φαίνονται μεταξύ άλλων κάποιοι σφαιρικοί κόκκοι.

Η Εικόνα 13 είναι λεπτομέρεια της Εικόνας 9 και φαίνεται σε αυτήν πιο καθαρά σφαιρικό συσσωμάτωμα κόκκων αιματίτη.

Στην Εικόνα 14 παρατηρούνται περισσότερο φυλλόμορφοι κόκκοι.

5. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν δύο δείγματα από την ιπτάμενη τέφρα του σταθμού της ΔΕΗ στη Μεγαλόπολη όσον αφορά την ορυκτολογική σύσταση, το εισπνεύσιμο κλάσμα και την μορφολογία των κόκκων τους.

Το ποσοστό του κλάσματος με διάμετρο κόκκων μικρότερη από 10 μm –PM10 για το δείγμα MEG1 βρέθηκε 17% επί του συνόλου της ιπτάμενης τέφρας, ενώ για το MEG2 16%.

Το MEG1_{>10 μm} (μη εισπνεύσιμο) βρέθηκε να αποτελείται από χαλαζία, ασβεστίτη και πλαγιόκλαστα, ενώ καταγράφηκε και μια μικρή παρουσία αιματίτη.

Η ορυκτολογική σύσταση του MEG1_{<10 μm} - PM10 αποτελείται από χαλαζία, πλαγιόκλαστα και ανυδρίτη.

Το MEG2_{>10 μm} αποτελείται από χαλαζία, πλαγιόκλαστα και ασβεστίτη, ενώ το MEG2_{<10 μm} – PM10 περιέχει αργιλικά ορυκτά, χαλαζία και πλαγιόκλαστα.

Από την παρατήρηση του εισπνεύσιμου κλάσματος του δείγματος MEG2 στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο προκύπτει ότι επικρατούν σε αυτό οι σφαιρικοί ή σφαιροειδείς μάλλον κόκκοι ενώ ανάμεσά τους παρατηρούνται και πιο επιμήκεις ή γωνιώδεις κόκκοι και ορισμένοι που εμφανίζουν κογχώδη θραυσμό (πιθανά πρόκειται για θρυμματισμένα glass shards χαλαζία). Ξεχωρίζουν επίσης χαρακτηριστικά σφαιρικά συσσωματώματα αιματίτη και τραπεζοειδείς κρύσταλλοι μάλλον αστρίων.

Όσον αφορά την πιθανή επικινδυνότητα για την υγεία από την εισπνοή του κλάσματος των 10 μm , πρέπει να παρατηρηθεί πως από άποψη μορφολογίας των κόκκων το δείγμα δεν φαίνεται να έχει εικόνα πολύ επιβαρυντική, αφού οι περισσότεροι κόκκοι είναι αποστρογγυλεμένοι και πολύ λιγότεροι είναι οι επιμήκεις και αιχμηροί. Άλλωστε απουσιάζουν σαφώς οι βελονοειδείς κρύσταλλοι που θεωρούνται και οι πιο επικίνδυνοι, καθώς λόγω σχήματος μένουν καλά στερεωμένοι στο αναπνευστικό σύστημα και αποβάλλονται δύσκολα.

Μεγάλη σημασία ωστόσο στην επικινδυνότητα παίζουν εκτός από την μορφολογία και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των περιεχόμενων κόκκων. Ορυκτά με μεγάλη σκληρότητα και ανθεκτικότητα στη χημική διάλυση,

καταφέρνουν να παραμείνουν απρόσβλητα από την άμυνα του οργανισμού και άρα ευθύνονται για τη δημιουργία προβλημάτων υγείας.

Οι πιθανές βλάβες που μπορούν να προκληθούν στο αναπνευστικό από την εισπνοή σκόνης ορυκτών είτε αυτή είναι φυσικής/κοσμικής προέλευσης είτε προέρχεται από ανθρωπογενείς, καταρτίζουν έναν κατάλογο πολύ σοβαρών ασθενειών που περιλαμβάνει τη σιλίκωση, την πνευμονοκονίωση, την ασβέστωση, την ίνωση, το κακόηθες μεσοθυλίωμα αλλά και τους διάφορους καρκίνους του αναπνευστικού.

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας θα πρέπει εξαιτίας του περιορισμένου αριθμού των δειγμάτων να θεωρηθούν ενδεικτικά. Καθώς όμως η έκθεση των κατοίκων και των εργαζόμενων της περιοχής στα αιωρούμενα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας είναι από χρόνια έως δια βίου, απαιτείται εκτενέστερη και λεπτομερέστερη μελέτη όλων των παραμέτρων του εισπνεύσιμου κλάσματος, για την άντληση ασφαλέστερων συμπερασμάτων σε σχέση με το βαθμό επικινδυνότητας των υλικών αυτών και τη λήψη των κατάλληλων μέτρων προστασίας του πληθυσμού της ευρύτερης περιοχής.

6. Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

- Clark B.L. & Sloss L.L. (1992): Trace elements – Emission from coal combustion and gasification. IEA Coal Research, IEACR/49, London.
- 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 from the Ptolemais basin, Greece. *Int. Journal of Coal Geology*, 30, 303-314.
- Filippidis A., Georgakopoulos A., Kassoli-Fournaraki A, Blondin J. & Fernandez -Turiel J.L. (1997): The sulphocalcic coal fly ashes of Ptolemais(Macedonia, Greece) and Gardanne (Provence , France).*Coal Fly Ash, European Sem. (Marseilles 18/4/97), proc.*, 149-158.
- Georgakopoulos A., Kassoli -Fournaraki A. & Philippidis A. (1992): Morphology, mineralogy, and chemistry of the fly ash from Ptolemais lignite basin (Greece) in relation to some problems in human health. *Trends in Mineralogy*, 1, 301-305.
- Georgakopoulos A., Philippidis A. & Kassoli–Fournaraki A. (1994): Morphology and trace element contents of the fly ash from the Main and Northern lignite fields, Ptolemais, Greece. *Fuel*, 73 (11), 1802-1804.
- Georgakopoulos A., Philippidis A., Kassoli -Fournaraki A., Fernandez -Turiel J.L. & Llorens J.F. (1996): The content of some trace elements in surface soils and fly ash of Ptolemais lignite basin, Macedonia, Greece. *3rd Int. Conf. Environ. Pollution (Thessaloniki), Proc.*, 114-118.
- Guthrie G.D. & Mossman B.T. (1993): Health effects of mineral dusts. *Reviews in Mineralogy*, 28, Mineralogical Society of America, Michigan.
- Hueglin Ch., Gehrig R., Moor Ch., Baltensperger A. & Monn Ch. (1998): Characterization of PM10 and PM2.5 in Switzerland. *Journal of Aerosol Science*, 29, Suppl. 1, 119-120.
- Kassoli–Fournaraki A., Georgakopoulos A. & Philippidis A. (1992): Heating experiments of the Ptolemais lignite in the temperature range from 100 °C to 500 °C. *Neues Jahrbuch fur Mineralogie Monatshefte*, 11, 487-493.
- Kassoli-Fournaraki A., Georgakopoulos A., Michailidis K. & Philippidis A. (1993): Morphology, mineralogy and chemistry of the respirable - size (<10µm) fly ash fraction from the Main and Northern lignite fields in Ptolemais, Macedonia, Greece. In: *Current Research in Geology Applied to Ore Deposits (Fenoll Hach-Ali, Torres-Ruiz & Gervilla, Eds)*, 727-730.
- Lüttig G. & Marinos G. (1962): Zur Geologie der neuen griechischen Braunkohlen-Lagerstätte von Megalopolis, *Braunkohle* 6, 222-231.
- Michailidis K., Sakorafa V. & Foscolos A. (1997): Laboratory assessment of technological properties of lignites from the Ptolemais and megalopolis fields, Greece. *Mineral Wealth*, 105, 43-48.
- Mitchell R.S. & Gluskoter H.J. (1976): Mineralogy of ash of some American coals, variations with temperature and source. *Fuel*, 55, 90 – 96.

- Sakorafa V. & Michailidis K. (1997): The geology and coal petrology of a Pleistocene lignite profile at Horemi mine, Megalopolis Basin, Peloponnese (southern Greece). *Int. Journal of Coal Geology*, 33, 73-91.
- Sengupta M. (1993): *Environmental Impacts of mining*. Lewis, Boca Raton.
- Simson R.W. (1990): A model to control emissions which avoid violations of PM 10 health standards for both short and long term exposure, *Atmospheric Environment*, 24A (4), 917-924.
- Swaine J.D. (1990): *Trace elements in coal*. Butterworths, London.

Ελληνόγλωσση

- Γεωργακόπουλος Α., Φιλιππίδης Α., Fernandez -Turiel J.L., Κασώλη-Φουρναράκη Α. & Ιορδανίδης, Α. (2002) : Λιθογενής και ανθρωπογενής προέλευση των ιχνοστοιχείων σε επιφανειακά εδάφη της λιγνιτοφόρου λεκάνης Αμυνταίου - Πτολεμαΐδας - Κοζάνης. 6^ο Πανελλ. Γεωγραφικό Συν. (Θεσσαλονίκη), Πρακτ., τομ.Ι Ι, 335-342 .
- Γεωργακόπουλος Α., Φιλιππίδης Α. & Κασώλη -Φουρναράκη Α. (1992): Ορυκτολογία , χημεία και μορφολογία τέφρας από εργαστηριακή καύση σε 1000 °C και ιπτάμενης τέφρας του λιγνίτη Πτολεμαΐδας–Αξιοποίηση και περιβάλλον. Διημερίδα: Λιγνίτης και Ενεργειακό Ισοζύγιο (Κοζάνη), Πρακτ., 12σ.
- Καντηράνης Ν. (2001): Μελέτη ασβεστοποίησης των κρυσταλλικών ασβεστόλιθων Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Σ.Θ.Ε., Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Τριανταφύλλου Α., Φιλιππίδης Α., Πάτρα Α., Παυλίδης Α. & Καντηράνης Ν. (2000): Συγκεντρώσεις, ορυκτολογία και μορφολογία αιωρούμενων σωματιδίων PM 10 στην πόλη της Κοζάνης. 1^ο Συν. Επιτρ. Οικον. Γεωλογίας & Γεωχημείας, Ε.Γ.Ε. (Κοζάνη), Πρακτ., 452-462.
- Τσιραμπίδης Α. (2006): Πετρολογία Ιζηματογενών Πετρωμάτων. Τμήμα Γεωλογίας, Σ.Θ.Ε., Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Φιλιππίδης Α. (2002): Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωχημεία. Τμήμα Γεωλογίας, Σ.Θ.Ε., Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Φιλιππίδης Α., Κασώλη-Φουρναράκη Α. & Γεωργακόπουλος Α. (1997): Ορυκτολογία, κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία ιπτάμενων τεφρών των ΑΗΣ του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας–Αμυνταίου. Διημερίδα: Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές (Κοζάνη), Πρακτ., Β, 159-168.