

ΛΙΘΟΓΕΝΗΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΟΥ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ-ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑΣ-ΚΟΖΑΝΗΣ¹

**A. ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ², A. ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ³, J.L. FERNÁNDEZ-TURIEL⁴,
A. ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ⁵, A. ΙΟΡΔΑΝΙΔΗΣ⁶**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντιπροσωπευτικά δείγματα επιφανειακών και αδιατάρακτων εδαφών της λιγνιτοφόρου λεκάνης Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας-Κοζάνης (εννέα δείγματα εντός λεκάνης και τρία εκτός αυτής), μελετήθηκαν ως προς την περιεκτικότητά τους σε 45 ιχνοστοιχεία με ICP-MS. Διερευνήθηκε η λιθογενής (περιβάλλοντα πετρώματα της λεκάνης) και/ή ανθρωπογενής (εκμετάλλευση λιγνιτών-ιπτάμενη τέφρα, λιγνίτης, εξωτερικές αποθέσεις και Α.Η.Σ.) προέλευση καθώς και η περιβαλλοντική σημασία των ιχνοστοιχείων. Τα ιχνοστοιχεία Ba, Cr, Ni, Rb, Sr, V και Zn παρουσιάζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις στα δείγματα των εδαφών. Σε σύγκριση με τον παγκόσμιο μέσο όρο των επιφανειακών εδαφών, 37 ιχνοστοιχεία παρουσιάζουν συντελεστή εμπλουτισμού <3,0. Ο Ag, το Ge και το Se εμφανίζουν συντελεστή εμπλουτισμού >3,0 σε όλα ανεξαιρέτως τα δείγματα εδαφών. Συντελεστή εμπλουτισμού >3,0 παρουσιάζουν δέκα δείγματα εδαφών για το Ni, επτά για το Cr, τρία για το Zn, δύο για το Co και ένα για το W. Ο εμπλουτισμός αυτών των στοιχείων έχει πρωτίστως λιθογενή χαρακτήρα για τα στοιχεία Co και W, ανθρωπογενή για τα Ge και Se, ενώ τα στοιχεία Ag, Ni, Cr και Zn παρουσιάζουν τόσο λιθογενή όσο και ανθρωπογενή χαρακτήρα.

ABSTRACT

The concentrations of 45 trace elements were determined by ICP-MS in twelve uncultivated surface soil samples inside (S1, S2, S4-S10) and outside (S3, S11, S12) the Amynteo-Ptolemais-Kozani lignite basin, in six surrounding rock samples as well as in a composite fly ash sample. The six rock samples were chosen to be representative of the surrounding formations of the lignite basin, gneisses, limestones, ophiolites and granites. Equal quantities of fly ash from the four main Power Stations (Agios Dimitrios, Kardias, Ptolemais, Amynteo) were carefully mixed and homogenized to obtain the composite fly ash sample. The enrichment factors, which are the ratio of an element concentration to that of the worldwide average for surface soils, are also determined for all analyzed samples. The concentrations of the elements As, B, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Hg, Ho, La, Li, Mo, Nb, Nd, Pb, Pr, Rb, Sb, Sc, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, U, V, Y and Zr, are more or less similar to the worldwide surface soils average, with enrichment factors <3.0. Three elements (Ag, Ge and Se) showed enrichment factors >3.0 in all soil samples, Ni in ten soil samples, Cr in seven, Zn in three, Co in two and W in one soil sample. The enrichment of the elements Co and W is mainly attributed to lithogenic (surrounding rocks) influences, while the enrichment of Ge and Se mainly implies anthropogenic influences (intensive lignite exploitation, combustion in Power Stations, fly ash, landfill in external deposits). Both lithogenic and anthropogenic influences are inferred from the enrichment of Ag, Ni, Cr and Zn.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ εδάφη, ιπτάμενη τέφρα, ιχνοστοιχεία, λιγνιτοφόρος λεκάνη Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας-Κοζάνης

KEYWORDS soil, fly ash, trace elements, Amynteo-Ptolemais-Kozani lignite basin

1:LITHOGENIC AND ANTHROPOGENIC ORIGIN OF TRACE ELEMENTS IN SURFACE SOILS FROM AMYNTEO-PTOLEMAIS-KOZANI LIGNITE BASIN

2:Αναπλ. Καθηγητής (ageorgak@geo.auth.gr), 3:Καθηγητής, 4:Κύριος Ερευνητής, 5:Καθηγήτρια, 6:Δρ. Γεωλόγος

2,3,5,6:Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 540 06 Θεσσαλονίκη.

4:Consejo Superior de Investigaciones Cientificas (CSIC), Institute of Earth Sciences "Jaume Almera", Barcelona, Spain.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κάθε αδιατάρακτο οικοσύστημα χαρακτηρίζεται από ισορροπημένο κύκλο τροφοδοσίας και αποκομιδής των στοιχείων (κύριων και ιχνοστοιχείων) και ισορροπημένη ενέργεια. Τα εδάφη, δεν αποτελούν μόνο μέρος του οικοσυστήματος, αλλά λειτουργούν ως φίλτρα καθαρισμού, ως μονάδες προσωρινής αποθήκευσης χρήσιμων συστατικών για τη ζώσα ύλη και ως σύστημα μετατροπής, προφυλάσσοντας όλο το οικοσύστημα από κάθε μορφής ρύπανση. Δραματικές και μη αναστρέψιμες αλλαγές έχουν επέλθει στην ήδη πολύ ευαίσθητη ισορροπία μεταξύ των εδαφών και των ιχνοστοιχείων, οι συγκεντρώσεις των οποίων έχουν ιδιαίτερη οικολογική και βιολογική σημασία. Η προέλευση των ιχνοστοιχείων ποικίλλει. Τα λιθογενή στοιχεία προέρχονται κατευθείαν από τη λιθόσφαιρα, τα εδαφογενή προέρχονται επίσης από τη λιθόσφαιρα, αλλά η συγκέντρωσή τους στα στρώματα του εδάφους ελέγχεται από εδαφογενετικές διαδικασίες, ενώ τα *ανθρωπογενή* είναι στοιχεία που επιβαρύνουν τα εδάφη, σαν άμεσο ή έμμεσο αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Kabata-Pendias and Pendias, 1992; Georgakopoulos et al., 1996). Οι ανθρώπινες δραστηριότητες βρίσκονται στην πρώτη θέση σε ότι αφορά τη βιοδιαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων. Η απόθεση *ανθρωπογενών* ιχνορυπαντών στα επιφανειακά εδάφη κατόπιν μεταφοράς των μέσω της ατμόσφαιρας είναι δυνατό να μετρηθεί και για την Ευρώπη είναι (σε $\text{gr ha}^{-1} \text{year}^{-1}$): 7 As; 0,05 Be; 3 Cd; 20 Cr; 17 Cu; 17 Ni; 156 Pb; 0,5 Se; 38 V; 88 Zn (Pacyna, 1986). Στην παρούσα εργασία μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις 45 ιχνοστοιχείων σε δείγματα επιφανειακών και αδιατάρακτων εδαφών, σε δείγματα περιβαλλόντων τη λιγνιτοφόρο τάφρο Κοζάνης-Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου πετρωμάτων και σε σύνθετο δείγμα ιπτάμενης τέφρας από τους Α.Η.Σ. της περιοχής. Ακολούθησε σύγκριση των αποτελεσμάτων με τη μέση περιεκτικότητα σε ιχνοστοιχεία των επιφανειακών εδαφών παγκοσμίως και διερευνήθηκε η πιθανότητα προέλευσης των στοιχείων των εδαφών τόσο από τα περιβάλλοντα πετρώματα όσο και από την εκμετάλλευση των λιγνιτών της περιοχής.

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ, ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στην παρούσα μελέτη ελήφθησαν δώδεκα δείγματα επιφανειακών και αδιατάρακτων εδαφών (S1-S12), τα εννέα (S1, S2, S4-S10) εντός της λιγνιτοφόρου λεκάνης της Πτολεμαΐδας και τα τρία (S3, S11, S12) εκτός αυτής (Σχήμα 1). Τα Μεσοζωϊκά-Παλαιοζωϊκά πετρώματα που περιβάλλουν τη λεκάνη της Πτολεμαΐδας αποτελούνται κυρίως από ανθρακικά και μεταμορφωμένα πετρώματα καθώς και οφιόλιθους, φλύσχη και πυριγενή πετρώματα (I.G.M.E., 1983). Από τους σχηματισμούς αυτούς ελήφθη από ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα, ως ακολούθως: AR1 γρανίτης, AR2 γνεύσιος, AR3 γνεύσιο-σχιστόλιθος, AR4 Ιουρασικός-Τριαδικός ασβεστόλιθος, AR5 οφιόλιθος, AR6 Κρητιδικός ασβεστόλιθος. Στους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς Αγίου Δημητρίου, Καρδιάς, Πτολεμαΐδας και Αμυνταίου-Φιλώτα έγινε δειγματοληψία ιπτάμενης τέφρας που διήρκεσε ένα μήνα. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε Α.Η.Σ., κάθε ημέρα και επί τριάντα ημέρες, λαμβανόταν συγκεκριμένη ποσότητα ιπτάμενης τέφρας και κατόπιν οι ίσες αυτές ποσότητες αναμείχθηκαν ώστε να προκύψει αντιπροσωπευτικό δείγμα της ιπτάμενης τέφρας του κάθε Α.Η.Σ. Στη συνέχεια οι ποσότητες αυτές αναμείχθηκαν και ομογενοποιήθηκαν, ώστε να παραχθεί σύνθετο δείγμα ιπτάμενης τέφρας, αντιπροσωπευτικό όλων των Α.Η.Σ. Τα δείγματα αναλύθηκαν με τη μέθοδο ICP-MS, σε συσκευή Elan 5000, Perkin Elmer και προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις 45 ιχνοστοιχείων. Οι αναλύσεις έγιναν στο εργαστήριο ICP-MS του Consejo Superior de Investigaciones Cientificas (CSIC), Institute of Earth Sciences "Jaume Almera", Barcelona, Spain.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ, ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα δώδεκα επιφανειακά δείγματα εδαφών, παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Τα στοιχεία As, B, Be, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Th, U, V και Zn, παρουσιάζουν ιδιαίτερο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον και χαρακτηρίζονται ως πιθανώς τοξικά, Potentially Toxic Trace Elements-PTTE (Finkelman, 1995; Swaine and Goodarzi, 1995). Εξ'αυτών, τα As, B, Cd, Hg, Mo, Pb, Se και Zn είναι εξαιρετικά πτητικά και διαφεύγουν εύκολα στο περιβάλλον, μέσω των καπναερίων, κατά την καύση των ανθράκων (Meij, 1995). Με βάση τη γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης, αλλά και τις έντονες κλιματικές μεταβολές, οι οποίες οδηγούν στη διατύπωση ενός «χαοτικού» μοντέλου διασποράς των αέριων ρύπων από τους Α.Η.Σ., τα λιγνιτωρυχεία και τις εξωτερικές αποθέσεις των στείρων και της ιπτάμενης τέφρας (chaotic model in the plume effect),

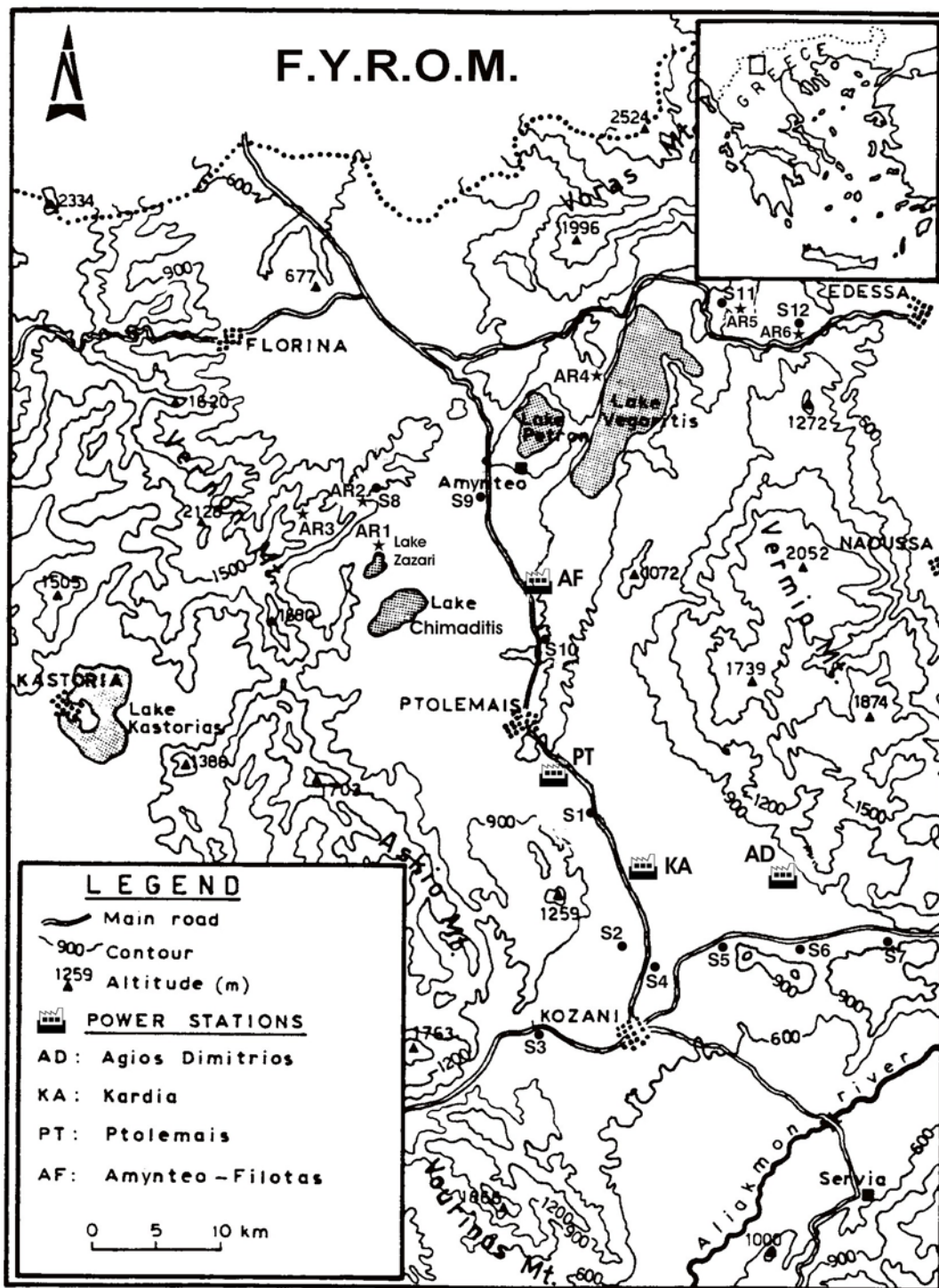
πιστεύεται ότι ο εμπλουτισμός των εδαφών σε ορισμένα στοιχεία και σε ορισμένες θέσεις, μπορεί κυρίως να αποδοθεί στην ιδιαίτερα εντατική εκμετάλλευση του λιγνίτη στην περιοχή. Σε όλα τα δείγματα των εδαφών, εντός και εκτός λεκάνης, τα ιχνοστοιχεία που παρουσιάζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις είναι το Ba (133–527 ppm), το Cr (35–929 ppm), το Ni (25–914 ppm), το Sr (41–246 ppm), το V (40–110 ppm), το Rb (32–138 ppm) και ο Zn (89–255 ppm). Τα στοιχεία As, B, Ce, Co, Cu, Ga, La, Li, Nd, Pb και Zr παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες των 100 ppm, ενώ τα στοιχεία Ag, Be, Bi, Cd, Cs, Dy, Er, Eu, Gd, Ge, Hf, Hg, Ho, Mo, Nb, Pr, Sb, Sc, Se, Sm, Sn, Ta, Tb, Th, U, W και Y, παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες των 20 ppm. Στο σύνθετο δείγμα ιπτάμενης τέφρας (Πίνακας 2), τα στοιχεία με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση είναι τα Ba (432 ppm), Cr (340 ppm), Ni (332 ppm), Sr (431 ppm), V (163 ppm) και Zn (249 ppm). Τα υπόλοιπα στοιχεία καθώς και όλα του μέσου όρου των λιγνιτών, παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες των 100 ppm. Μεταξύ των έξι αντιπροσωπευτικών δειγμάτων των περιβαλλόντων πετρωμάτων, το οφιολιθικό δείγμα (AR5), παρουσιάζει, όπως είναι φυσικό, τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε Co (126 ppm), Cr (2683 ppm), Ni (1264 ppm) και Zn (187 ppm). Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 100 ppm παρουσιάζουν τα στοιχεία Sr και Zn στα ανθρακικά πετρώματα, τα στοιχεία Ba, Sr και Zn στα μεταμορφωμένα και τα στοιχεία Ba, Ce, Rb, Sr και Zn στο γρανίτη. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται και η μέση περιεκτικότητα σε ιχνοστοιχεία των λιγνιτών της περιοχής (Georgakopoulos et al., 1995; Georgakopoulos, 2001; Iordanidis et al., 2001; Sachanidis et al., 2000), η οποία δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές από τις τυπικές συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στους άνθρακες παγκοσμίως (Swaine, 1990; Clarke and Sloss, 1992; Swaine and Goodarzi, 1995). Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι “συντελεστές εμπλουτισμού” των συγκεντρώσεων όλων των ιχνοστοιχείων όλων των εξετασθέντων δειγμάτων εδαφών. Ως “συντελεστή εμπλουτισμού” ενός ιχνοστοιχείου ορίζουμε το λόγο της συγκέντρωσης αυτού του στοιχείου σε ένα δείγμα προς τη μέση συγκέντρωση στα επιφανειακά εδάφη παγκοσμίως (Kabata-Pendias and Pendias, 1992; CCME, 1997; 1999). Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα στοιχεία As, B, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Hg, Ho, La, Li, Mo, Nb, Nd, Pb, Pr, Rb, Sb, Sc, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, U, V, Y και Zr, παρουσιάζουν σε όλα τα δείγματα εδαφών συντελεστή εμπλουτισμού <3 και οι συγκεντρώσεις τους, συγκρινόμενες με τις μέσες συγκεντρώσεις των επιφανειακών εδαφών παγκοσμίως, μπορούν να θεωρηθούν ως φυσιολογικές. Η παρουσία στην κατηγορία αυτή και των επικίνδυνων για το περιβάλλον ιχνοστοιχείων As, B, Be, Cd, Cs, Cu, Hg, Mo, Pb, Sb, Th, U και V, κρίνεται ως ιδιαίτερα σημαντική. Αντίθετα, τα στοιχεία Ag (18–37 φορές), Ge (3,1–9,4 φορές) και Se (5,8–18,7 φορές), εμφανίζονται εμπλουτισμένα σε όλα ανεξαιρέτως τα δείγματα εδαφών. Τόσο τα περιβάλλοντα πετρώματα, όσο και το σύνθετο δείγμα ιπτάμενης τέφρας καθώς και ο λιγνίτης, παρουσιάζουν περίπου την ίδια περιεκτικότητα σε άργυρο με αυτή των δώδεκα δειγμάτων εδαφών. Ο Ag συνήθως δεν είναι καθόλου πτητικός κατά τη διαδικασία της καύσης των ανθράκων (Meij, 1995), ενώ παράλληλα, σε ουδέτερα ή αλκαλικά περιβάλλοντα, εμφανίζει πολύ χαμηλή έως μηδενική κινητικότητα κατά τη διάβρωση των πετρωμάτων (Kabata-Pendias and Pendias, 1992). Με βάση τα παραπάνω, ο Ag μπορεί να θεωρηθεί τόσο ως λιθογενές όσο και ως ανθρωπογενές στοιχείο. Το Ge συνήθως ανήκει στα πολύ πτητικά κατά την καύση των ανθράκων στοιχεία. Το Se, στοιχείο μεγάλης περιβαλλοντικής σημασίας, κατατάσσεται συνήθως και αυτό μεταξύ των πλέον πτητικών στοιχείων κατά την καύση των ανθράκων (Meij, 1995; Pacyna, 1986). Επιπλέον, κατατάσσεται και μεταξύ των στοιχείων με πολύ υψηλή κινητικότητα κατά τη διάβρωση των πετρωμάτων (Kabata-Pendias and Pendias, 1992). Ο εμπλουτισμός όλων των δειγμάτων εδαφών σε Ge και Se πρέπει πρωτίστως να αποδοθεί στη διαδικασία εκμετάλλευσης του λιγνίτη και στην εκπομπή και μεταφορά της ιπτάμενης τέφρας και δευτερευόντως στη διάβρωση των περιβαλλόντων πετρωμάτων, γεγονός που εξηγεί και των εμπλουτισμό τους στα τρία δείγματα εδαφών εκτός λεκάνης. Τα εναπομένοντα ιχνοστοιχεία είναι αυτά που παρουσιάζουν εμπλουτισμό στα περισσότερα δείγματα των εδαφών αλλά όχι σε όλα (Ni και Cr) και αυτά που εμφανίζονται εμπλουτισμένα σε ένα έως τρία δείγματα εδαφών (Zn, Co και W). Το Ni είναι εμπλουτισμένο στα δέκα από τα δώδεκα δείγματα, με συντελεστές εμπλουτισμού που κυμαίνονται από 3,1 έως 39,7 και το Cr είναι εμπλουτισμένο στα επτά από τα δώδεκα δείγματα εδαφών, με συντελεστές εμπλουτισμού που κυμαίνονται από 3,0 έως 14,7. Ο Zn εμφανίζεται εμπλουτισμένος σε τρία δείγματα (S3, S4 και S6) με συντελεστές εμπλουτισμού 3,0–3,9, το Co σε δύο δείγματα (S2 και S3) με

συντελεστές εμπλουτισμού 4,0 και 5,5, ενώ το W σε ένα δείγμα (S8) με συντελεστή εμπλουτισμού 11,3. Το Ni είναι ένα στοιχείο με μικρή έως πάρα πολύ μικρή κινητικότητα κατά τη διάβρωση των πετρωμάτων, παρουσιάζει όμως περιεκτικότητα 1264 ppm στον οφιόλιθο, μέση περιεκτικότητα στις ιπτάμενες τέφρες της τάξεως των 332 ppm, μέση περιεκτικότητα στα περιβάλλοντα πετρώματα (πλην του οφιολιθικού δείγματος) της τάξεως των 24 ppm και μέση περιεκτικότητα στους λιγνίτες 43 ppm. Ανήκει συνήθως στην κατηγορία των εξαιρετικά πτητικών στοιχείων κατά την καύση των ανθράκων. Ο εμπλουτισμός του Ni στα δείγματα S2-S5, S11 και S12 μπορεί πρωτίστως να αποδοθεί στους παρακείμενους οφιόλιθους, ενώ ο εμπλουτισμός των δειγμάτων S1, S6, S7 και S10 στα παρακείμενα λιγνιτωρυχεία, Α.Η.Σ. και εξωτερικές αποθέσεις. Ο εμπλουτισμός του Cr στα δείγματα S2-S5 και S12 μπορεί να αποδοθεί κυρίως στους παρακείμενους οφιόλιθους (2683 ppm Cr), ενώ για τα δείγματα S1 και S10 κυρίως στα παρακείμενα λιγνιτωρυχεία, Α.Η.Σ. και εξωτερικές αποθέσεις. Ο συνήθως πολύ πτητικός κατά την καύση των ανθράκων Zn, εμφανίζεται παράλληλα και αρκετά κινητικός κατά τη διάβρωση των πετρωμάτων. Ο εμπλουτισμός του Zn στο δείγμα εδάφους S3 οφείλεται κυρίως στη διάβρωση των παρακείμενων πετρωμάτων (οφιόλιθος 187 ppm Zn και ανθρακικά πετρώματα 111-201 ppm Zn), ενώ στα δείγματα S4 και S6 οφείλεται τόσο στη διάβρωση των περιβαλλόντων πετρωμάτων όσο και σε ανθρωπογενή αίτια (εκμετάλλευση λιγνιτών). Οι θέσεις δειγματοληψίας S4 και S6 βρίσκονται πολύ κοντά σε οφιόλιθο (187 ppm Zn) και σε ανθρακικά πετρώματα (111-201 ppm Zn), καθώς επίσης αρκετά κοντά στο ορυχείο Νοτίου Πεδίου, στους Α.Η.Σ. Καρδιάς και Αγίου Δημητρίου και στην εξωτερική απόθεση του Νοτίου Πεδίου. Το Co συνήθως παρουσιάζει ενδιάμεση ή ανόργανη συγγένεια στους λιγνίτες (Georgakopoulos et al., 1994; Filippidis et al., 1996). Ο εμπλουτισμός του Co στα δείγματα εδαφών S2 και S3 μπορεί να αποδοθεί κυρίως στους παρακείμενους οφιόλιθους (126 ppm Co). Το W είναι εξαιρετικά κινητικό σε ουδέτερα ή αλκαλικά περιβάλλοντα κατά τη διάβρωση (Kabata-Pendias and Pendias, 1992) και η υψηλή περιεκτικότητά του δείγματος S8 σε W οφείλεται πρωτίστως στον παρακείμενο γνεύσιο (14-51 ppm W) και στο γειτονικό γρανίτη (57 ppm W).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment) (1997). Recommended Canadian soil quality guidelines. CCME, Winnipeg, Canada.
- [2] CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment) (1999). Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. CCME, Winnipeg, Canada.
- [3] Clarke, L.B., Sloss, L.L. (1992). *Trace elements-emissions from coal combustion and gasification*. IEA Coal Res. 49, 11pp.
- [4] Filippidis, A., Georgakopoulos, A., Kassoli-Fournaraki, A., Misaelides, P., Yiakkoupis, P., Broussoulis, J. (1996). Trace element contents in composited samples of three lignite seams from the central part of the Drama lignite deposit, Macedonia, Greece. *International Journal of Coal Geology* 29: 219-234.
- [5] Finkelman, R.B. (1995). Modes of occurrence of environmentally-sensitive trace elements in coal. In: *Environmental Aspects of Trace Elements in Coal*. Swaine, D.J., Goodarzi, F. Eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 24-50.
- [6] 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(11): 1802-1804.
- [7] Georgakopoulos, A., Fernández-Turiel, J.L., Filippidis, A., Llorens, J.F., Kassoli-Fournaraki, A., Querol, X., Lopez-Soler, A. (1995). Trace element contents of the Lava xylite/lignite and Ptolemais lignite deposits, Macedonia County, Greece. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Coal Science, Oviedo, Pajares & Tascón* (Eds.), Elsevier, Coal Science & Technology 24: 163-166.
- [8] Georgakopoulos, A., Filippidis, A., Kassoli-Fournaraki, A., Fernández-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. In: *Proceedings of the Third International Conference on Environmental Pollution, Thessaloniki*, Anagnostopoulos, A. (Ed.), 114-118.
- [9] Georgakopoulos, A. (2001). Trace elements in the Lava Xylite/Lignite Deposit, Serbia Basin, Northern Greece. *Energy Sources* 23(2): 143-156.

- [10] I.G.M.E. (1983). Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, 1:500.000, Αθήνα.
- [11] Iordanidis, A., Georgakopoulos, A., Filippidis, A., Kassoli-Fournaraki, A. (2001). A Correlation Study of Trace Elements in Lignite and Fly Ash Generated in a Power Station. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 79(2): 133-141.
- [12] Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (1992). *Trace Elements in Soils and Plants*, 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton, 365pp.
- [13] Meij, R. (1995). The distribution of trace elements during the combustion of coal. In: *Environmental Aspects of Trace Elements in Coal*. Swaine, D.J., Goodarzi, F. Eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 111-127.
- [14] Pacyna, J.M. (1986). Atmospheric trace elements from natural and anthropogenic sources. In: *Toxic Metals in the Atmosphere*, Nriagu, J.O. and Davidson, C.I., Eds., J. Wiley, London, 33-47.
- [15] Sachanidis, Ch., Georgakopoulos, A., Filippidis, A., Kassoli-Fournaraki, A., Iordanidis, A., Kantiranis, N. (2000). Environmental aspects of trace elements in Ptolemais-Amynteon lignites, Northern Greece. In: *Proceedings of the Fifth International Conference on Environmental Pollution*, 28/8-1/9, 2000, Thessaloniki, Greece. A. Anagnostopoulos (Ed.), 533-540.
- [15] Swaine, D.J. (1990). *Trace Elements in Coal*. Butterworths, London, 278pp.
- [16] Swaine, D.J., Goodarzi, F. (1995). *Environmental Aspects of Trace Elements in Coal*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 312pp.



Σχήμα 1. Τοπογραφικός χάρτης της λεκάνης Φλώρινας-Πτολεμαΐδας-Κοζάνης και θέσεις δειγματοληψίας. S1-S12: δείγματα επιφανειακών εδαφών, AR1-AR6: δείγματα περιβαλλόντων πετρωμάτων.

Fig. 1. Topographical map of Florina-Ptolemais-Kozani basin and sample location. S1-S12: surface soil samples, AR1-AR6: surrounding rocks samples.

ΕΤΟΙΧΕΙΟ	S1	S2	S3	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	Eδ.	S1/Eδ	S2/Eδ	S3/Eδ	S4/Eδ	S5/Eδ	S6/Eδ	S7/Eδ	S8/Eδ	S9/Eδ	S10/Eδ	S11/Eδ	S12/Eδ
Ar	1.3	1.3	1.2	1.6	1.1	1.1	1.3	2.2	1.7	1.4	1.5	0.06	21.7	21.5	19.2	19.7	26.7	18.3	18.2	21.5	37.3	28.3	22.8	25.7
As	17.1	19.0	26.1	17.7	14.1	18.8	9.9	15.2	19.2	21.6	26.1	8.9	1.9	2.1	2.9	1.8	2.0	1.6	2.1	1.1	1.7	2.2	2.4	2.9
B	3.1	2.8	6.8	23.2	13.5	2.5	30.3	13.9	9.0	30.3	10.5	39	0.1	0.1	0.2	0.1	0.6	0.3	0.1	0.9	0.4	0.2	0.9	0.3
Ba	306	331.9	133.4	300.4	369.5	250.2	527.4	237.9	249.3	460	236.9	495	0.6	0.7	0.3	0.7	0.6	0.7	0.5	1.1	0.5	0.5	0.9	0.5
Be	2.2	2.0	1.0	1.7	2.3	1.6	2.4	1.3	1.4	3.8	2.5	1.6	1.4	1.2	0.6	1.2	1.1	1.4	1.0	1.5	0.8	0.9	2.4	1.6
Bi	0.4	0.4	0.2	0.4	0.4	0.3	0.5	0.1	0.1	0.5	0.3	0.2	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.5	0.5	0.5	2.5	1.5
Cd	0.5	0.9	0.5	0.8	0.8	0.9	1.1	0.8	0.8	1.1	1.0	0.5	1.0	1.7	1.1	1.1	1.5	1.6	1.9	2.1	1.5	1.6	2.2	1.9
Ce	99.0	84.3	28.4	63.8	82.5	49.7	74.0	26.3	30.9	51.1	37.0	48.7	2.0	1.7	0.6	1.2	1.3	1.7	1.0	1.5	0.5	0.6	1.0	0.8
Co	14.9	38.6	53.2	17.2	14.2	12.2	11.7	10.6	22.5	13.4	24.8	9.6	1.6	4.0	5.5	2.4	1.8	1.5	1.3	1.2	1.1	2.3	1.4	2.6
Cr	191.4	928.7	735	427	158	139.4	35.3	49.8	204.7	63.4	213.1	63	3.0	14.7	11.7	3.9	6.8	2.5	2.2	0.6	0.8	3.2	1.0	3.4
Cs	4.2	4.2	3.1	3.7	5.2	3.8	1.7	2.2	2.2	9.7	5.8	4	1.1	1.1	0.8	0.9	0.9	1.3	1.0	0.4	0.5	0.6	2.4	1.4
Cu	31.9	37.2	23.8	27.7	33.0	29.4	42.7	26.7	30.8	30.4	43.0	23	1.4	1.6	1.0	2.0	1.2	1.4	1.3	1.9	1.2	1.3	1.3	1.9
Dy	4.8	4.6	2.1	4.0	4	3.2	4.2	2.3	2.9	4.0	4.2	5.2	0.9	0.9	0.4	0.7	0.8	0.8	0.6	0.8	0.4	0.6	0.8	0.8
Er	2.6	2.4	1.1	2.1	2.2	1.7	2.3	1.2	1.5	2	2.1	1.9	1.4	1.3	0.6	1.1	1.1	1.2	0.9	1.2	0.6	0.8	1.1	1.1
Eu	1.5	1.3	0.6	1.1	1.2	0.9	1.3	0.7	0.8	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	0.5	0.8	0.9	1.0	0.8	1.1	0.6	0.7	1.2	1.1
Ga	26.3	26.5	11.7	23.6	28.4	21	21.9	9.1	11.6	23.9	16.4	17	1.5	1.6	0.7	1.6	1.4	1.7	1.2	1.3	0.5	0.7	1.4	1.0
Gd	6.2	5.3	2.3	5.1	4.9	4.0	6.0	2.9	3.6	5.8	5.8	6.6	0.9	0.8	0.4	0.7	0.8	0.7	0.6	0.9	0.4	0.5	0.9	0.9
Ge	9.2	9.1	7.3	9.2	11.6	8.4	9.8	3.8	7.0	9.1	8.0	1.2	7.4	7.3	5.9	7.4	7.4	9.4	6.8	7.9	3.1	5.7	7.4	6.5
Hf	1.8	1.6	0.9	1.4	0.9	5.4	2.3	0.6	1.1	1.4	1.6	5	0.4	0.3	0.2	1.1	0.3	0.2	1.1	0.5	0.1	0.2	0.3	0.3
Hg	0.2	0.2	0.2	<0.05	<0.05	0.1	0.2	<0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	2.0	2.0	2.0	1.0	0.0	0.0	1.0	2.0	0.0	1.0	1.0	1.0
Ho	0.9	0.9	0.4	0.7	0.7	0.6	0.9	0.5	0.6	0.8	0.8	1	0.9	0.9	0.4	0.7	0.7	0.7	0.6	0.9	0.5	0.6	0.8	0.8
La	38.7	32.3	12.8	30.5	31.9	24.7	34.1	16.4	17.6	27.7	22.9	26.1	1.5	1.2	0.5	1.0	1.2	1.2	0.9	1.3	0.6	0.7	1.1	0.9
Li	37.2	44.6	29.5	37.5	49.0	38.4	12.1	11.4	14.6	75.6	26.6	38	1.0	1.2	0.8	1.5	1.0	1.3	1.0	0.3	0.3	0.4	2.0	0.7
Mo	0.3	1.1	0.6	1.3	1.0	1.1	3.3	0.9	1.0	1.2	1.1	2	0.2	0.5	0.3	0.2	0.7	0.5	0.6	1.6	0.4	0.5	0.6	0.6
Nb	1.4	0.9	1.7	0.6	4.3	11.3	17.2	6.9	10.5	17.2	12.8	12	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.4	0.9	1.4	0.6	0.9	1.4	1.1
Nd	34.3	28.6	11.4	26.7	27.2	21.2	31.6	13.9	16.1	29.8	26.3	21.5	1.6	1.3	0.5	1.2	1.2	1.3	1.0	1.5	0.6	0.8	1.4	1.2
Ni	95.1	436.3	913.8	149	99.4	92.7	25.3	66.5	169.7	71.9	160.4	23	4.1	19.0	39.7	7.5	6.5	4.3	4.0	1.1	2.9	7.4	3.1	7.0
Pb	26.3	38.9	19.4	40.6	49.0	36.2	32.7	19.7	28.9	47.0	35.5	29.6	0.9	1.3	0.7	1.0	1.4	1.7	1.2	1.1	0.7	1.0	1.6	1.2
Pr	8.6	7.1	3.1	7.2	6.9	5.7	9.4	3.6	4.2	7.9	6.4	8.7	1.0	0.8	0.4	0.7	0.8	0.8	0.7	1.1	0.4	0.5	0.9	0.7
Rb	73.8	65.1	31.7	67.2	108.4	67.8	90.3	49.2	51.1	137.6	75.0	72.5	1.0	0.9	0.4	1.6	0.9	1.5	0.9	1.2	0.7	0.7	1.9	1.0
Sb	0.2	0.6	0.6	0.2	0.2	0.6	2.6	0.5	0.6	0.6	1.1	0.9	0.2	0.6	0.7	2.9	0.2	0.3	0.7	2.9	0.5	0.7	0.7	1.2
Sc	11.4	13.2	9.5	10.7	9.8	9.1	12.0	6.7	10.7	8.9	10.8	8.7	1.3	1.5	1.1	1.5	1.2	1.1	1.1	1.4	0.8	1.2	1.0	1.2
Se	4.0	3.3	2.3	4.1	4.1	4.3	4.4	2.4	2.3	2.9	2.5	0.4	10.0	8.1	5.9	18.7	10.2	10.2	10.8	11.0	6.1	5.8	7.4	6.2
Sm	6.4	5.6	2.3	5	5.4	4.3	5.9	2.8	3.3	6.1	6.5	5.5	1.2	1.0	0.4	0.9	0.9	1.0	0.8	1.1	0.5	0.6	1.1	1.2
Sn	1.0	1.6	3.2	0.5	1.0	1.0	3.2	2.6	2.5	3.0	3.0	1.1	0.9	1.4	2.9	2.9	0.4	0.9	0.9	2.9	2.3	2.2	2.7	2.7
Sr	150.8	173.4	86.6	136.5	130.2	77.4	168.1	144.1	103.8	150.7	40.6	190	0.8	0.9	0.5	1.3	0.7	0.7	0.4	0.9	0.8	0.5	0.8	0.2
Ta	0.2	0.1	0.2	0.1	2.6	0.8	2.6	0.5	2.1	1.4	0.8	0.9	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	2.9	0.9	2.9	0.6	2.3	1.6	0.8
Tb	0.9	0.9	0.4	0.7	0.7	0.6	0.8	0.4	0.5	0.8	0.8	0.7	1.3	1.2	0.5	1.0	1.0	1.0	0.8	1.1	0.6	0.8	1.1	1.1
Th	13.0	11.2	4.5	10.0	11.0	8.6	10.7	5.2	5.5	12.7	8.2	8.3	1.6	1.3	0.5	1.3	1.2	1.3	1.0	1.3	0.6	0.7	1.5	1.0
U	4.8	5.5	1.4	2.9	2.6	2.3	4.4	1.5	3.1	5.0	2.1	3.6	1.4	1.5	0.4	0.9	0.8	0.7	0.6	1.2	0.4	0.9	1.4	0.6
V	54.1	109.6	46.3	95.8	91.2	87.1	49.0	40.1	94.8	95.5	102.2	92.6	0.6	1.2	0.5	0.6	1.0	1.0	0.9	0.5	0.4	1.0	1.0	1.1
W	0.4	0.5	0.4	0.2	0.6	1.5	20.3	1.5	1.5	5.2	3.6	1.8	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.4	0.8	11.3	0.8	0.8	2.9	2.0
Y	19.4	18.7	9.1	16.3	17.1	14.9	11.3	6.7	8.1	10	11.2	25	0.8	0.7	0.4	0.6	0.7	0.7	0.6	0.5	0.3	0.3	0.4	0.4
Zn	97.9	131.5	255.3	158.4	255.2	142.9	155.3	88.8	98.1	140.8	140.6	66	1.5	2.0	3.9	3.0	2.4	3.9	2.2	2.4	1.3	1.5	2.1	2.1
Zr	54.3	50.2	27.5	46.3	34.2	62.3	10.9	19.6	32.5	36.2	53.8	254	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2

ΕΤΟΙΧΕΙΟ	AR-1 ΓΡΑΝΙΤΗΣ	AR-2 ΓΝΕΥΣΙΟΣ	AR-3 ΓΝΕΥΣΙΟ- ΕΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	AR-4 ΙΟΥΡ.-ΤΡΙΑΔΙΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	AR-5 ΟΦΙΟΛΙΘΟΣ	AR-6 ΚΡΗΤΙΑΔΙΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	ΕΥΝΘΕΤΟ ΔΕΙΓΜΑ ΙΠΠ. ΤΕΦΡΑΣ	Μ.Ο. ΛΙΓΝΙΤΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ
Ag	1.0	0.6	0.9	0.8	1.1	0.6	0.9	0.4
As	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	4,0	<0,10	27,7	8,8
B	1,2	0,4	0,3	1,4	<0,05	2,1	41,0	17,6
Ba	732,8	853,9	737,5	15,1	9,9	23,1	431,9	64,9
Be	3,1	1,5	1,7	0,1	<0,10	0,2	2,6	0,5
Bi	0,1	0,4	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	0,4	0,2
Cd	0,5	0,3	0,5	0,4	0,4	0,3	1,1	0,6
Ce	101,2	56,1	47,7	1,1	0,2	5,4	75,1	14,4
Co	16,9	17,9	13,6	4,1	126,4	6,8	27,7	4,4
Cr	29,7	10,6	12,3	15,3	2682,6	33,6	339,9	73,2
Cs	3,3	0,6	0,9	0,1	0,1	0,4	6,5	1,0
Cu	11,9	7,7	13,8	4,8	8,1	8,8	60,9	11,8
Dv	3,6	2,7	2,3	0,1	0,1	0,5	4,5	1,1
Er	2,2	1,7	1,6	0,2	0,2	0,4	2,5	0,6
Eu	1,6	0,9	0,7	0,1	0,1	0,2	1,3	0,3
Ga	16,4	13,2	13,5	0,3	1,2	0,5	35,3	4,5
Gd	5,7	3,7	2,7	<0,01	<0,01	0,4	5,6	1,4
Ge	1,6	1,3	2,0	0,2	1,3	0,1	12,9	1,0
Hf	0,7	0,4	0,3	0,1	0,2	0,2	2,0	1,0
Hg	1,0	0,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,5	0,1
Ho	0,7	0,5	0,4	<0,01	<0,01	0,05	0,9	0,2
La	43,5	23,2	20,1	0,6	0,2	2,7	36,7	6,8
Li	15,0	6,5	4,2	1,3	1,0	2,3	67,4	9,8
Mo	0,7	0,3	0,8	0,1	0,3	0,3	7,1	1,6
Nb	6,9	2,1	1,1	0,1	<0,01	0,2	7,5	3,5
Nd	36,6	22,3	16,9	0,5	0,2	3,1	31,6	5,9
Ni	25,3	20,6	23,1	24,3	1263,6	28,9	332,4	42,8
Pb	23,5	9,9	10,8	1,8	1,7	2,4	30,6	5,4
Pr	10,4	6,3	5,2	0,2	0,1	0,7	7,0	1,7
Rb	127,9	81,7	86,6	1,8	0,6	6,6	66,3	10,8
Sb	0,2	0,2	0,5	0,3	0,3	0,3	1,2	0,7
Sc	6,7	3,4	3,1	0,6	10,4	0,3	15,4	3,3
Se	3,8	0,5	3,8	6,7	6,5	<0,10	9,3	2
Sm	6,1	3,6	3,2	0,1	0,1	0,9	5,7	1,3
Sn	2,1	1,4	1,5	0,6	0,8	0,6	1,4	1,8
Sr	590,7	156,5	156,6	21,0	2,8	180,7	431,4	64,9
Ta	0,8	0,2	0,07	<0,01	0,03	<0,01	2,8	1,5
Tb	0,8	0,5	0,5	0,08	0,1	0,2	0,8	0,2
Th	19,3	10,6	10,8	0,3	0,3	0,7	15,7	2,5
U	4,5	2,0	3,3	0,2	0,2	1,6	35,3	17,5
V	47,9	20,1	12,9	<0,10	20,9	7,1	162,7	56,2
W	56,5	50,8	14,1	3,3	2,7	7,4	2,8	1,2
Y	20,9	17,5	14,8	0,8	0,4	3,7	22,0	5,9
Zn	177,01	96,1	188,0	111,3	187,1	201,4	249,1	44,3
Zr	8,3	5,6	4,8	0,7	0,6	3,9	60,9	18,1

Πίνακας 2. Περιεκτικότητα σε ιχνοστοιχεία (σε ppm) των περιβαλλόντων πετρωμάτων, του σύνθετου δείγματος λιπτανεμης τέφρας και μέσος όρος των λιγνιτών της λεκάνης Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας-Κοζάνης.

Table 2. Trace element contents (in ppm) of the surrounding rocks, the composite fly ash sample and mean values of the Amvnteo-Ptolemais-Kozani lignites.