

## ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΜΑΡΓΓΑ<sup>TM</sup> ΚΩΝ ΕΝΣΤΡΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΟΥ ΛΕΚΑΝΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑΣ-ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ, Δ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ\*

Χ. ΣΑΧΑΝΙΔΗΣ<sup>1</sup>, Α. ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ<sup>2</sup>, Α. ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ<sup>2</sup>, Α. ΚΑΣΩΔΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ<sup>2</sup>

### ΣΥΝΟΨΗ

Από τα ενεργά ορυχεία του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου ελήφθησαν 65 δείγματα μάργας Πλειοκαινικής ηλικίας, τα οποία αναλύθηκαν με τις μεθόδους INAA και ICP-OES, για να προσδιορισθεί η περιεκτικότητα αυτών σε 39 ιχνοστοιχεία. Προσδιορίστηκε επίσης η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε άνθρακα, θείο και η απώλεια πύρωσης. Η περιεκτικότητα των στοιχείων ανά ορυχείο, η μερική στατιστική επεξεργασία τους και η σύγκριση με την Παγκόσμια Ανώτατη Μέση Τιμή των κυριότερων πετρωμάτων του Φλοιού της γης (Π.Α.Μ.Τ.Φ), μας επιτρέπει να εξάγουμε, σε πρώτη φάση, χρήσιμα συμπεράσματα ως προς την οριζόντια και κατακόρυφη κατανομή των ιχνοστοιχείων μέσα στις μάργες του λιγνιτικού κοιτάσματος της Νεογενούς λεκάνης. Επίσης χρήσιμα συμπεράσματα προκύπτουν σε ότι αφορά τη συμπεριφορά των ιχνοστοιχείων των μαργαϊκών ενστρώσεων κατά τα διάφορα στάδια της εκμετάλλευσής, της καύσης και άλλων χρήσεων.

### ABSTRACT

Sixty-five marl samples were collected from the outcrops of six active and one abandoned mine of Ptolemais-Amynteon Lignite Center, Northern Greece. Core samples were also collected from the West Field, a Neogene lignite deposit located at the same area. The concentrations of 39 trace elements were determined using Instrumental Neutron Activation analysis (INAA) and Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). Carbon and sulfur contents and the loss on ignition of the samples were also determined. The classification of the trace elements concentrations in each mine and their statistical processing allows determining the horizontal and vertical distribution in the coal deposits and in the entire basin. Regarding the vertical distribution of elements and geochemical groups, significant variations of the concentrations in both the different marl seams and the upper, intermediate and lower lignite seams were determined. The mining, processing, transportation, storage and utilization of marls release, among others, some amounts of trace elements into the environment. However, the low concentrations of all trace elements, except Pb in the South field, compared to the upper mean values of world rocks Crust (W.C.U.M.V) (enrichment factor <0.8) is of great environmental concern and prove the non hazardous role of the marl during mining, beneficiation and usage.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** ιχνοστοιχεία μαργών, λιγνιτοφόρος σειρά, λεκάνη Πτολεμαΐδας, Δ. Μακεδονία

**KEY WORDS:** trace elements in marls, lignite-bearing sequence, Ptolemais basin, Western Macedonia

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λιγνιτοφόρος λεκάνη Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, η μεγαλύτερη και σημαντικότερη της Ελλάδος, φιλοξενεί τα μεγαλύτερα αποθέματα λιγνίτη της χώρας, 65-70% των συνολικών αποθεμάτων, ενώ τα βέβαια αποθέματα ξεπερνούν τα 4 δις. τόνους λιγνίτη (Koukouzas et al., 2000; Varvarousis et al., 2000). Είναι γνωστό ότι η εξόρυξη, η διακίνηση και οι αποθέσεις των υλικών εξόρυξης καθώς και η καύση του λιγνίτη στην περιοχή του λεκανοπεδίου Πτολεμαΐδας δημιουργούν έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα. Ιδιαίτερα περιβαλλοντικά προβλήματα όμως, είναι δυνατόν να δημιουργήσουν και οι συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στις μαργαϊκές ενστρώσεις, οι οποίες συνεξορυσούνται με τα λιγνιτικά στρώματα κατά την εκμετάλλευση των κοιτασμάτων. Όπως στην καύση των λιγνιτών τα ανόργανα συστατικά υφίστανται μια σειρά φυσικών και χημικών μεταβολών και τα

\* TRACE ELEMENT CONTENTS IN MARLS OF THE PTOLEMAIS-AMYNTEON LIGNITE BASIN, WESTERN MACEDONIA, GREECE

1. ΔΕΗ/ΛΙΓΝΙΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ-ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ/ΤΟΜΕΑΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, 502 00 ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ.

2. ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ, ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ, 540 06 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ. e-mail address: ageorgak@geo.auth.gr

κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία μπορεί να συγκεντρωθούν στην ιπτάμενη και την καταπίπτουσα τέφρα (Kassoli-Fournaraki et al. 1993; Sachanidis et al. 2000), το ίδιο, αλλά σε μικρότερο βαθμό, συμβαίνει και με τις μάργες. Ως ιχνοστοιχεία ορίζουμε τα στοιχεία των οποίων η συγκέντρωση σε μια λιγνιτοφόρα στιβάδα είναι μικρότερη του 0.02% (200ppm ή λιγότερο). Η περιεκτικότητα των ιχνοστοιχείων στις λιγνιτοφόρες λεκάνες εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως την προσφορά ιχνοστοιχείων κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών, τον εμπλουτισμό κατά την αποσύνθεση, ταφή και καταβύθιση της οργανικής ύλης, την ιζηματογένεση και τη διαγένεση, την ενανθράκωση και τέλος τη δημιουργία νέων ορυκτών, ενώ από την άλλη μεριά η κατακόρυφη και οριζόντια μεταβολή των ιχνοστοιχείων σε μια λιγνιτοφόρα λεκάνη επηρεάζεται από γεωλογικές παραμέτρους, όπως η φύση και η έκπλυση των πετρωμάτων, το υδρολογικό δίκτυο της περιοχής, το κλίμα, η γεωχημική σύσταση των περιβαλλόντων πετρωμάτων, η έκπλυση των πετρωμάτων του υπεδάφους και των περιθωρίων της λεκάνης ιζηματογένεσης και η έκπλυση πάνω και κάτω από τις λιγνιτοφόρες στιβάδες (Finkelman 1993; Swaine and Goodarzi, 1995; Filippidis et al. 1996a, 1996b; Christianis et al. 1998; Georgakopoulos 2001). Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση των αποτελεσμάτων του προσδιορισμού της μέσης περιεκτικότητας σε 39 ιχνοστοιχεία 65 μαργαϊκών δειγμάτων των ορυχείων της λεκάνης Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, η ταξινόμηση αυτών κατά ορυχείο, ο συσχετισμός τους με την Παγκόσμια Ανώτερη Μέση Τιμή των κυριοτέρων πετρωμάτων του Φλοιού της γης (Π.Α.Μ.Τ.Φ) και η εξαγωγή των πρώτων γενικών συμπερασμάτων ως προς την οριζόντια και κατακόρυφη κατανομή τους καθώς επίσης και η διερεύνηση της περιβαλλοντικής τους σημασίας.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Τα 65 μαργαϊκά δείγματα πάρθηκαν από έξι ενεργά ορυχεία του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (ΑΚΠ-Α): Ορυχείο Νοτίου Πεδίου, Ορυχείο Τομέα 6, Ορυχείο Πεδίου Κομάνου, Ορυχείο Βορείου Πεδίου, Ορυχείο Πεδίου Αμυνταίου, Ορυχείο Αλόφουσας Αναργύρων, από το εξοφλημένο ορυχείο του Πεδίου Καρδιάς και από πυρηνοληψία στο υπό διάνοιξη Ορυχείο Δυτικού Πεδίου. Η δειγματοληψία έγινε στα ανοικτά πρανή των ορυχείων ακολουθώντας την επιμέρους λιθοστρωματογραφική ενότητα κάθε ορυχείου. Η συλλεχθείσα ποσότητα του δείγματος (10 κιλά περίπου) αντιπροσώπευε όλο το πάχος του γεωλογικού στρώματος ή της στιβάδας. Η εργαστηριακή επεξεργασία των δειγμάτων περιελάμβανε την ξήρανση των δειγμάτων σε θερμοκρασία 20°C για χρονικό διάστημα 15 ημερών και θραύση σε αχάτινο γουδί. Το μέγεθος των κονιοποιημένων κόκκων δεν ξεπέρασε σε κοκκομετρία το 1mm. Λόγω του μεγάλου αριθμού των μαργαϊκών στρωμάτων που υπάρχουν μέσα στο λιγνιτικό κοιτάσμα (22 μαργαϊκά στρώματα στο Ορυχείο Νοτίου Πεδίου) και της μεγάλης διακύμανσης που παρουσιάζει το πάχος τους (από χιλιοστομετρικές ενστρώσεις ως 14μ. το μέγιστο), ο αριθμός των δειγμάτων που πάρθηκε σε συνάρτηση με το πάχος του κοιτάσματος, περιορίστηκε από 3 ως 10 ανά ορυχείο. Η ταξινόμηση των δειγμάτων (Πίνακας 1) ακολουθεί τη χρονοστρωματογραφική σειρά από τα ανώτερα προς τα κατώτερα μαργαϊκά στρώματα του κοιτάσματος (π.χ. το δείγμα SM4 προέρχεται από το πρώτο μαργαϊκό στρώμα του Ορυχείου Νοτίου Πεδίου, ενώ το δείγμα SM19 από το τελευταίο). Για τα υπόλοιπα ορυχεία η ταξινόμηση είναι: TEM4-TEM19 Ορυχείο Τομέα 6, KRM3-KRM15 Ορυχείο Καρδιάς, KMM1-KMM17 Ορυχείο Κομάνου, NM3-NM19 Ορυχείο Βορείου Πεδίου, WM4-WM23 Ορυχείο Δυτικού Πεδίου, AMM4-AMM23 Ορυχείο Πεδίου Αμυνταίου, APM5-APM9 Ορυχείο Αλόφουσας Αναργύρων Αμυνταίου. Οι χημικές αναλύσεις των ιχνοστοιχείων έγιναν με τη μέθοδο INAA (Instrumental Neutron Activation analysis) και ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry). Ειδικότερα με ICP αναλύθηκαν τα στοιχεία Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Cd και Bi. Η προετοιμασία για την ανάλυση αυτών των στοιχείων περιελάμβανε ολική διαλυτοποίηση με χρήση υδροχλωρικού οξέος (HCl), νιτρικού οξέος (HNO<sub>3</sub>), υδροφθορικού οξέος (HF) και υπερχλωρικού οξέος (HClO<sub>4</sub>). Τα στοιχεία Ba, Sr, Y, Sc, Zr, Be και V προετοιμάσθηκαν με σύντηξη, χρησιμοποιώντας μεταβολικό ή τετραβορικό οξύ LiB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>/LiBO<sub>2</sub>. Με INAA αναλύθηκαν τα στοιχεία Au, As, Br, Co, Cs, Hf, Ir, Mo, Rb, Sb, Sc, Se, Ta, Th, U, W και οι σπάνιες γαίες (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu). Ο προσδιορισμός του θείου (S) και του άνθρακα (C) έγινε με συσκευή LECO. Προσδιορίστηκε επίσης και η απώλεια πύρωσης. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μέσου όρου της συγκέντρωσης κάθε ιχνοστοιχείου ανά ορυχείο, όπως και η μέση τιμή της συγκέντρωσης του συνόλου των ορυχείων σε σύγκριση με την Π.Α.Μ.Τ.Φ και τον προκύπτοντα συντελεστή εμπλουτισμού.

## 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τον Πίνακα 2 προκύπτει ότι η περιεκτικότητα σε ιχνοστοιχεία των μαργών του λιγνιτικού κοιτάσματος της λεκάνης Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα συγκρινόμενη με την Ανώτατη Μέση Τιμή των κυριοτέρων πετρωμάτων του Φλοιού της γης (Π.Α.Μ.Τ.Φ) (Rose et al. 1979; Mason and Moore 1982; Faure 1991; Krauskopf and Bird 1995). Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η περιεκτικότητα του μολύβδου (Pb) στο

Ορυχείο Νοτίου Πεδίου, η οποία συγκρινόμενη με την Π.Α.Μ.Τ.Φ εμφανίζεται ελαφρά εμπλουτισμένη (1.33). Ο συντελεστής εμπλουτισμού, που προκύπτει από το πηλίκο της μέσης τιμής ορυχείων με την Π.Α.Μ.Τ.Φ, είναι χαμηλός ως πολύ χαμηλός (<0.8) για τα στοιχεία As, Au, Ba, Be, Br, Co, Cr, Cs, Cu, Hf, Mo, Ni, Pb, Rb, Sc, Ta, Th, U, V, Zn, Zr, Sn, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb και Lu. Έξι στοιχεία (Ag, Bi, Cd, Ir, Se και W) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες ή παρόμοιες με αυτή του ορίου ανιχνευσιμότητας της μεθόδου ανάλυσης. Διαφοροποίηση στην κατανομή των ιχνοστοιχείων παρατηρείται κατά την οριζόντια και κατακόρυφη ανάπτυξη των μαργαϊκών στρωμάτων εντός του κοιτάσματος και της λεκάνης. Έτσι, στα ορυχεία Νοτίου πεδίου και Τομέα 6, δηλαδή στα νότια τμήματα της λεκάνης, παρατηρούνται οι μικρότερες περιεκτικότητες στα στοιχεία Rb, Sc, Th, U, Ba, Y, Sn, Zr, Be, V, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb και Lu. Μεγαλύτερες περιεκτικότητες παρατηρούνται στο Ορυχείο Καρδιάς (κεντρικά τμήματα λεκάνης) στα στοιχεία Hf, Sb, Th, U, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Ba και Sr, στο Δυτικό Πεδίο (κεντρικά τμήματα λεκάνης) στα στοιχεία Co, Hf, Rb, Tb, Yb, Y και Sn και στο Ορυχείο Αμυνταίου στα στοιχεία Br, Sc, Ni, Be και V. Αύξηση της περιεκτικότητας των ιχνοστοιχείων από τα κεντρικά τμήματα της λεκάνης προς τα βόρεια παρατηρείται στα στοιχεία Rb, Cr, Cu, Zn, Ni, Ba και στις σπάνιες γαίες (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu). Κατά την κατακόρυφη ανάπτυξη του κοιτάσματος υπάρχει εμφανής διαφοροποίηση της περιεκτικότητας των ιχνοστοιχείων. Η ενδιάμεση μαργαϊκή στιβάδα του Νοτίου Πεδίου εμφανίζει τις μεγαλύτερες περιεκτικότητες στα περισσότερα σχεδόν στοιχεία, εκτός των Pb και Sr, που έχουν τις μεγαλύτερες περιεκτικότητες στα δύο τελευταία στρώματα του κοιτάσματος. Οι μεγαλύτερες επίσης περιεκτικότητες για την πλειοψηφία των ιχνοστοιχείων, παρατηρούνται στα δύο πρώτα μαργαϊκά στρώματα της ανώτερης λιγνιτικής στιβάδας του Ορυχείου Καρδιάς, στα ανώτερα και κατώτερα στρώματα του Ορυχείου Κομάνου, στο κατώτερο στρώμα του Βορείου Πεδίου, στα κατώτερα του Δυτικού πεδίου και Αμυνταίου (Ανω Μειοκαινικές μάργες) και για τα περισσότερα στοιχεία της Απόφυσης Αναργύρων. Στο Ορυχείο Κομάνου η διαφοροποίηση της συγκέντρωσης στα ιχνοστοιχεία Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Sn, Ba, Sr, Y, Zr, Be, V, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu μεταξύ της ανώτερης και κατώτερης λιγνιτικής στιβάδας γίνεται πιο εμφανής με αύξηση της συγκέντρωσης στην κατώτερη στιβάδα. Επίσης, από τον Πίνακα 1 προκύπτει ότι η τιμή της συγκέντρωσης των ιχνοστοιχείων, ακολουθώντας τη χρονοστρωματογραφική σειρά του κοιτάσματος δεν είναι σταθερή, σχεδόν για όλα τα ιχνοστοιχεία. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του Ba και Sr στα Ορυχεία Καρδιάς και Αμυνταίου, συγκριτικά με τα άλλα ορυχεία, εξηγείται από τις τοπικές παλαιογεωγραφικές συνθήκες και ιδιαιτέρως του υδρογραφικού δικτύου της Πλειοκαινικής λίμνης, που τροφοδοτούνταν με μεγαλύτερες ποσότητες ανθρακικών ιζημάτων από την περιορισμένη ζώνη της λεκάνης. Η μεγαλύτερη επίσης συγκέντρωση του κοβαλτίου (Co) στο Δυτικό Πεδίο σχετίζεται με την παρουσία λεπτόκοκκων άμμων και αργίλων (ανόργανη σύνδεση του Co με σιδηροπυρίτη και σουλφίδια) στα κατώτερα γκριζοπράσινα μαργαϊκά στρώματα. Η παρατηρούμενη γενικά αύξηση της συγκέντρωσης των ιχνοστοιχείων σε συγκεκριμένους στρωματογραφικούς ορίζοντες του λιγνιτοφόρου σχηματισμού, συνδέεται άμεσα με την αλλαγή της πετρολογικής σύστασης τους (βαθμιαία μετάβαση κατακόρυφων και κυρίως πλευρικών επαφών), μεταπίπτοντας σε αμμώδεις ως ισχυρούς αμμώδεις αργιλομάργες, μαργαϊκές αργίλους και αργίλους.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στις Πλειοκαινικές μάργες του λιγνιτικού κοιτάσματος Πτολεμαϊδας-Αμυνταίου βρίσκονται σε χαμηλά ως πολύ χαμηλά επίπεδα. Ο συντελεστής εμπλουτισμού σε σχέση με την Π.Α.Μ.Τ.Φ. είναι χαμηλός ως πολύ χαμηλός (<0.8) για 29 ιχνοστοιχεία (As, Au, Ba, Be, Br, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Yb, Tb, Lu, Co, Cr, Cs, Cu, Hf, Mo, Ni, Pb, Rb, Sc, Ta, Th, U, V, Zn, Zr) και ελαφρά εμπλουτισμένος για τον Pb στο ορυχείο Νοτίου Πεδίου. Κατά την οριζόντια και την κατακόρυφη ανάπτυξη των μαργαϊκών στρωμάτων μέσα στο κοιτάσμα παρατηρείται διαφοροποίηση στην κατανομή των ιχνοστοιχείων. Οι μικρότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στα νότια τμήματα της λεκάνης στα ιχνοστοιχεία Rb, Sc, Th, U, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Ba, Y, Sn, Zr, Be και V και οι μεγαλύτερες στα κεντρικά και βόρεια τμήματα της λεκάνης στα στοιχεία Hf, Sb, Th, U, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Ba, Sr, Co, Rb, Tb, Yb, Y, Sn, Br, Sc, Be και V. Από περιβαλλοντική άποψη και σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Πινάκων 1 και 2, τα κυριότερα πιθανώς τοξικά ιχνοστοιχεία (Sb, As, Be, Cd, Cr, Co, Pb, Ni και Se) βρίσκονται σε πάρα πολύ χαμηλά επίπεδα (<0.4), ενώ το U παρουσιάζεται χαμηλότερο του 0.7. Σε συνδυασμό με το ελαφρά αλκαλικό pH που επικρατεί στα νερά και εδάφη της περιοχής, η επίδραση των πιθανώς τοξικών ιχνοστοιχείων και όλων των άλλων υπολοίπων στα εδάφη και υπόγεια νερά είναι ελάχιστη και φυσιολογική.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- CHRISTANIS, K., GEORGAKOPOULOS, A., FERNANDEZ-TURIEL, J.L. & BOUZINOS, A. 1998. Geological factors influencing the concentration of the trace elements in the Philippi peatland, eastern Macedonia, Greece. *Int.J.Coal Geol.* **36**, 295-313.
- FAURE, G. 1991. *Principles and Applications of Inorganic Geochemistry*. (MacMillan, New York).
- FILIPPIDIS, A., GEORGAKOPOULOS, A., KASSOLI-FOURNARAKI, A., MISAELIDES, P., YIAKKOUPIS, P. & BROUSSOULIS, J. 1996a. Trace element contents in composited samples of three lignite seams from the central part of the Drama lignite deposit, Macedonia, Greece. *Int. J. Coal Geol.* **29**, 219-234.
- FILIPPIDIS, A., GEORGAKOPOULOS, A. & KASSOLI-FOURNARAKI, A. 1996b. Mineralogical components of some thermally decomposed lignite and lignite ash samples from the Ptolemais Basin, Greece. *Int. J. Coal Geol.* **30**, 303-314.
- FINKELMAN, R.B. 1993. Trace and Minor elements in coal. In: *Organic Geochemistry* Engel, M.H., Macko S.A.(Eds.), 593-607 (Plenum Press, New York).
- GEORGAKOPOULOS, A. (2001). Trace elements in the Lava Xylite/Lignite Deposit, Servia Basin, Northern Greece. *Energy Sources* **23(2)**, 143-156.
- KASSOLI-FOURNARAKI, A., GEORGAKOPOULOS, A., MICHAELIDIS, K. & FILIPPIDIS, A. 1993. Morphology, mineralogy and chemistry of the respirable-size (<5µm) fly ash fraction from the Main and Northern lignite fields in Ptolemais, Macedonia, Greece. In: *Current Research in Geology Applied to Ore Deposits*, F. Hach-Ali, J. Torres-Ruiz & F. Gervilla, Eds., La Guioconda, Granada, 727-730.
- KOUKOUZAS, C., KOTIS, Th., METAXAS, A., PLOUMIDIS, M., VARVAROUSIS, G., DIMITRIOU, D. & IOAKIM, Ch. 2000. Potential of lignite deposits and palaeoclimatic evolution of Ptolemais basin during the Neogene-Quaternary periods. Geological Society of Greece, Special Publications, **No 9**, 151-162. *Proceedings Interim Colloquium RCMNS, Patras, Greece, May 1998*.
- KRAUSKOPF, K.B & BIRD, D.K. 1995. *Introduction to Geochemistry*, 647pp. (MacGraw-Hill, New York).
- MASON, B. & MOORE, C.B. 1982. *Principles of Geochemistry*, 344pp. (Wiley, New York).
- ROSE, A.W., HAWKES, H.E. & WEBB, J.S. 1979. *Geochemistry in Mineral Exploration* (Academic Press, London).
- 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*, Editor: A. Anagnostopoulos, pp. 533-540. 28 Aug.-1 Sept. 2000, Thessaloniki, Greece.
- SWAINE, D.J. & GOODARZI, F. 1995. *Environmental aspects of trace elements in coal*, 312pp. (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands).
- VARVAROUSIS, G., METAXAS, A., KOTIS, Th. & PLOUMIDIS, M. 2000. The Neogene lignite deposits of Kozani-Servia basin, Western Macedonia, Greece. Geological Society of Greece, Special Publications, **No 9**, 227-233. *Proceedings Interim Colloquium RCMNS, Patras, Greece, May 1998*.





Πίνακας 2. Μέση τιμή συγκέντρωσης ιχνοστοιχείων ανά ορυχείο στα μαργαϊκά δείγματα  
 Table 2. Average trace element concentrations in marls from Ptolemais-Amynteon

	Όριο Ανίχν. <sup>1</sup>	Νότιο Πεδίο	Τομέας 6	Πεδίο Καρδιάς	Π. Κομά-νου	Βόρειο Πεδίο	Δυτικό Πεδίο	Π. Αμυ-νταίου	Π. Αναρ-γύρων	Μ.Τ.Ο <sup>2</sup>	Π.Α.Μ.Τ.Φ. <sup>3</sup>	Σ.Ε <sup>4</sup>
<b>Au</b> ppb	5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	6	<0,8
<b>As</b> ppm	2	<2,3	<2,1	<4,4	<2,8	<3,1	<2,7	<2,9	2,67	<3	13	<0,2
<b>Br</b> ppm	1	<4,4	<2,8	<2,3	<2,1	<3,5	<1,7	<5,3	5,00	<5	6,2	<0,8
<b>Co</b> ppm	1	<4,7	<2	7,1	11,8	7,9	<39	13	15,00	<11	200	<0,06
<b>Cr</b> ppm	1	65	25,6	26,1	103,4	66,6	87,6	103	87,33	71	2000	0,04
<b>Cs</b> ppm	0,5	<0,74	<0,5	<1,7	<2,6	<2	2,2	<2,54	2,03	<2,1	5	<0,42
<b>Hf</b> ppm	0,5	<0,55	<0,5	<2,6	<1,9	<1,4	<41	<2,1	1,20	<1,2	5,2	<0,23
<b>Ir</b> ppm	5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	0,003	-
<b>Mo</b> ppm	5	<5	<5	<5,1	<5	<5	<5	<5	<5	<5	6,5	<0,77
<b>Rb</b> ppm	20	<20	<20	<37,9	<45,7	<40,8	<82	<63	42,67	<43	220	<0,19
<b>Sb</b> ppm	0,2	<0,21	<0,22	<0,8	<0,4	<0,27	<0,3	<0,3	0,23	<0,2	1,5	<0,13
<b>Sc</b> ppm	0,1	1,8	0,9	3,6	6,2	4,47	7,2	6,67	7,13	4,7	35	0,13
<b>Se</b> ppm	3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	0,6	-
<b>Ta</b> ppm	1	<1	<1	<1,1	<1	<1	<1	<1,14	<1	<1	4,2	<0,23
<b>Th</b> ppm	0,5	<0,9	0,6	<15,7	<4,3	<3,43	4,6	<5,24	4,40	<4,96	50	<0,09
<b>U</b> ppm	0,5	<1,1	<0,8	3,9	2,5	<1,15	<1,25	<2,9	1,07	<1,9	3,7	<0,5
<b>W</b> ppm	3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	2,2	-
<b>La</b> ppm	0,5	2,3	1,4	31,5	12,9	10,33	14,9	14,36	11,5	12	101	0,12
<b>Ce</b> ppm	3	<4,9	<1,3	<53,1	<26,6	<22,6	34	32,00	27,67	<31	170	<0,2
<b>Nd</b> ppm	5	<5,4	<5	<20,6	<13,6	<11,6	<14,7	<15,7	10	<10	55	<0,2

<sup>1</sup> Όριο Ανίχνευσης

<sup>2</sup> Μέση Τιμή Ορυχείων

<sup>3</sup> Π.Α.Μ.Τ.Φ.: Παγκόσμια Ανώτατη Μέση Τιμή των κυριότερων πετρωμάτων του Φλοιού

<sup>4</sup> Συντελεστής Εμπλουτισμού σε σχέση με την Π.Α.Μ.Τ.Φ.

Πίνακας 2 (συνέχεια).  
Table 2 (Continued).

	Όριο ANIXN. <sup>1</sup>	Νότιο Πεδίο	Τομέας 6	Πεδίο Καρδιάς	Π.Κομά- νου	Βόρειο Πεδίο	Δυτικό Πεδίο	Π.Αμυ- νταίου	Π.Αναρ- γύρων	Μ.Τ.Ο <sup>2</sup>	Π.Α.Μ.Τ .Φ. <sup>3</sup>	Σ.Ε <sup>4</sup>
Sm ppm	0,1	<0,4	0,3	2,9	<2,4	1,91	2,7	2,69	2,27	<2,1	10	<0,21
Eu ppm	0,1	<0,1	<0,1	<0,7	<0,5	<0,4	0,6	<0,6	0,37	<0,5	1,6	<0,31
Tb ppm	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	<0,6	<0,65	<0,6	<0,5	<0,6	1,6	<0,4
Yb ppm	0,1	<0,2	<0,14	<0,7	<1,2	<0,9	1,44	1,39	1,07	<1,3	4	<0,33
Lu ppm	0,05	<0,05	<0,05	<0,1	<0,2	<0,17	<0,23	<0,22	0,16	<0,16	1,2	<0,13
Cu ppm	1	4,3	2,5	17,9	11,1	11,8	15,44	15,43	19,67	12	110	0,11
Pb ppm	5	<64	<5,9	<43,1	<13,2	<11,8	<11	<17,1	13,00	<13	48	<0,27
Zn ppm	1	37,1	34,4	51,3	52,9	53,7	66,56	61,28	71,33	54	118	0,45
Ag ppm	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,11	-
Ni ppm	1	58,9	19,0	22,4	58,6	42,6	52,89	60,6	44,67	44,96	2000	0,02
Cd ppm	0,5	<0,5	<0,5	<0,6	<1	<0,5	<0,52	<0,5	<0,5	<0,58	0,3	-
Bi ppm	10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0,4	-
Ba ppm	1	61,6	50,6	543,1	148,8	130,1	185,44	279,86	224,67	203,02	1220	0,17
Sr ppm	1	201,7	171,6	318,3	160,2	168,1	121,67	288,29	216,00	205,73	800	0,26
Y ppm	1	<2,4	<1,7	7,4	<11,7	<8,9	14,89	12,29	9,00	<8,5	40	<0,21
Sn ppm	1	<2	<1,1	<3,8	<6,2	<4,8	7,67	<6,4	6,67	<4,83	6	<0,8
Zr ppm	1	13	9	85	59	45	75	70	50	51	260	0,2
Be ppm	1	<1	<1	<1,3	<1,2	<1,2	<1,33	<1,6	<1	<1,2	3	<0,4
V ppm	5	<9,4	<6,3	<31,3	<38,3	<27,8	43,56	<46,4	35,67	39,61	264	<0,15

<sup>1</sup> Όριο Ανίχνευσης

<sup>2</sup> Μέση Τιμή Ορυχείων

<sup>3</sup> Π.Α.Μ.Τ.Φ.: Παγκόσμια Ανώτατη Μέση Τιμή των κυριότερων πετρωμάτων του Φλοιού

<sup>4</sup> Συντελεστής Εμπλουτισμού σε σχέση με την Π.Α.Μ.Τ.Φ.