

1^ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ

ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ,
ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ
ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ

με θέμα:

«ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ»



ΠΡΑΚΤΙΚΑ

**Τ.Ε.Ι. ΚΟΖΑΝΗΣ
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000**

1^ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ

**ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ,
ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ
ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ**

με θέμα:

**«ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ»**

12 - 13 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 2000

ΤΕΙ ΚΟΖΑΝΗΣ

ΠΡΑΚΤΙΚΑ

ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Πρόεδρος:

Βαβελίδης Μ., Καθηγητής, Α.Π.Θ.

Οργανωτικός Γραμματέας:

Κορωναίος Α., Λέκτορας, Α.Π.Θ.

Ταμίας:

Μέλφος Β., Δρ., Α.Π.Θ.

Μέλη:

Χαραλαμπίδης Γ., Καθηγητής, Τ.Ε.Ι. Κοζάνης

Ράσιου Α., Δρ., ΙΓΜΕ Κοζάνης

Καβουρίδης, Κ., Αναπλ. Καθηγητής, Πολυτεχνείου Κρήτης,

Δ/ντής ΔΚΠ-Α

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΑΓΙΟΥΤΑΝΤΗΣ Ζ., Αν. Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης
ΒΑΒΕΛΙΔΗΣ Μ., Καθηγητής ΑΠΘ
ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ Ε., Καθηγητής ΑΠΘ
ΒΑΡΝΑΒΑΣ Σ., Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών
ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΣ Α., Καθηγητής ΕΜΠ
ΒΟΥΛΓΑΡΟΠΟΥΛΟΣ Α., Καθηγητής ΑΠΘ
ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α., Επ. Καθηγητής ΑΠΘ
ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΗΣ Γ., Καθηγητής ΑΠΘ
ΚΑΡΑΚΩΣΤΑΣ Θ., Καθηγητής ΑΠΘ
ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α., Καθηγήτρια ΑΠΘ
ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ Α., Λέκτορας ΑΠΘ
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΣ Θ., Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης
ΜΑΤΑΡΑΓΚΑ-ΒΑΡΤΗ Μ., Δρ. Γεωλόγος ΙΓΜΕ
ΜΕΛΦΟΣ Β., Δρ. Γεωλόγος ΑΠΘ
ΜΙΣΑΗΛΙΔΗΣ Π., Αν. Καθηγητής ΑΠΘ
ΝΤΑΜΠΙΤΖΙΑΣ Σ., Δρ. Γεωλόγος, ΙΓΜΕ
ΣΑΚΕΛΑΡΟΠΟΥΛΟΣ Γ., Καθηγητής ΑΠΘ
ΣΙΚΑΛΙΔΗΣ Κ., Επικ. Καθηγητής ΑΠΘ
ΣΚΑΡΠΕΛΗΣ Ν., Αν. Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών
ΣΟΥΛΙΟΣ Γ. Καθηγητής ΑΠΘ
ΣΤΑΜΑΤΑΚΗΣ Μ., Αν. Καθηγητής Παν/μίου Αθηνών
ΣΤΡΑΤΗΣ Ι., Καθηγητής ΑΠΘ
ΤΡΩΝΤΣΙΟΣ Γ., Λέκτορας ΑΠΘ
ΤΣΟΚΑΣ Γ., Αν. Καθηγητής ΑΠΘ
ΤΣΙΠΗΣ Κ., Καθηγητής ΑΠΘ
ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ Α., Αν. Καθηγητής ΑΠΘ
ΤΣΟΥΤΡΕΛΗΣ Χ., Καθηγητής ΕΜΠ
ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α., Καθηγητής ΑΠΘ
ΦΩΣΚΟΛΟΣ Α., Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης
ΧΡΗΣΤΑΝΗΣ Κ., Επ. Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών
ΧΡΙΣΤΟΦΙΔΗΣ Γ., Καθηγητής ΑΠΘ

Οργανωτική και Οικονομική Ενίσχυση

- ▶ Γεωλογικό Τμήμα Α.Π.Θ.
- ▶ ΔΕΗ
- ▶ Δήμος Κοζάνης
- ▶ Νομαρχία Κοζάνης
- ▶ ΤΕΙ Κοζάνης

Οικονομική Ενίσχυση

- ▶ Γενική Γραμματεία Έρευνας Τεχνολογίας
- ▶ Εγνατία Οδός Α.Ε.
- ▶ ΓΜΜΑΕ ΛΑΡΚΟ
- ▶ ΤΕΝΑ ΑΤΕΕ
- ▶ Τεχνομπετόν Α.Ε.
- ▶ TVX Hellas
- ▶ Υπουργείο Μακεδονίας - Θράκης

Η διοργάνωση του Συνεδρίου ενισχύθηκε οικονομικά και από το ΕΠΕΤ II και τη XVI Γ.Δ. της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Γεωχημικός άτλας ΒΔ. Μακεδονίας <i>I. Αγγελικάκης, Δ. Βρυνιώτης</i>	17
Νικελιούχα κοιτάσματα στη δυτική Μακεδονία. Παρόν και προοπτικές <i>A. Αποστολίκας, E. Φρογουδάκης, K. Μαγκλάρας</i>	25
Remediation of soil and groundwater by high volatile chlorinated hydrocarbons in pleistocene aquifers in the Cologne embayment, Germany <i>P. Aslanidis, T. Kreuser, M. Schlierkamp</i>	35
Εμφανίσεις προσχωματικού χρυσού και ορυκτών της ομάδας του λευκόχρυσου στην περιοχή του ποταμού Αλιάκμονα <i>M. Βαβελίδης, B. Χαριστός, E. Seidel</i>	46
Ανάπτυξη λογισμικού graind για την αρχειοθέτηση μηχανικών αναλύσεων και ταξινόμηση εδαφών. Εφαρμογή σε εδάφη Δυτικής Μακεδονίας <i>E. Βασιλειάδης, Φ. Γερούκη</i>	64
Μελέτη εμπορικών τύπων μαρμάρου στη λατομική ζώνη Τρανόβαλτου Κοζάνης <i>Δ. Γαλανάκης, Π. Μαστρογιάννης, Π. Πλούμης, Η. Κελεσιδής</i>	73
Εφαρμογή των μεθόδων διαγραφιών στον εντοπισμό διοξειδίου του άνθρακα στην περιοχή Μεσοχωρίου, Φλώρινας <i>A. Γεωργακόπουλος, K. Παπακωνσταντίνου</i>	83
Διερεύνηση της αλληλεπίδρασης τοξικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων με τον μαργαϊκό ασβεστόλιθο του λιγνιτικού κέντρου Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου <i>A. Γκοντελίτσας, Π. Μισαηλίδης, A. Φιλιππίδης, E. Παυλίδου, N. Καντηράνης</i>	96
Γεωλογικά, ορυκτολογικά και γεωχημικά χαρακτηριστικά των σιδηρονικελιούχων λατεριτών του δυτικού Βερμίου <i>Δ. Ηλιόπουλος, Π. Γρηγόρης, A. Φωτιάδης, E. Κυρίτσης</i>	111
Γεωχημική μελέτη του λιγνιτικού κοιτάσματος Αμυνταίου <i>A. Ιορδανίδης, A. Γεωργακόπουλος, A. Φιλιππίδης, A. Κασώλη-Φουρνάρη</i>	124

Η αξιοποίηση του λιγνιτικού κοιτάσματος Πτολεμαΐδας - Τα πλεονεκτήματα της λιγνιτικής δραστηριότητας για την ανάπτυξη της Δυτικής Μακεδονίας & της χώρας μας <i>Κ. Καβουρίδης</i>	137
Ο προσδιορισμός του συντελεστή αραίωσης για τον υπολογισμό των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων πολυστρωματικών λιγνιτικών κοιτασμάτων τύπου Πτολεμαΐδας <i>Κ. Καβουρίδης, Μ. Γαλετάκης</i>	158
Υψηλού-ασβεστίου άσβεστος και υδράσβεστος του ασβεστόλιθου Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας για χρήση στην κατεργασία νερού <i>Ν. Καντηράνης, Α. Φιλιππίδης, Α. Τσιραμπίδης, Β. Χρηστάρας, Α. Κασώλη-Φουραράκη</i>	177
Μελέτη του κρυσταλλικού ασβεστόλιθου Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας <i>Ν. Καντηράνης, Α. Τσιραμπίδης, Α. Φιλιππίδης, Β. Χρηστάρας, Α. Κασώλη-Φουραράκη</i>	184
Διερεύνηση της μεταβολής των τιμών του διοξειδίου του άνθρακα (ανόργανο) και γεωγραφική κατανομή του στην περιοχή του ορυχείου Μαυροπηγής <i>Χ. Κολοβός</i>	196
Οικονομική και περιβαλλοντική σημασία της συνεξόρυξης των ενδιάμεσων στερών υλικών του λιγνιτωρυχείου νότιου πεδίου του ΛΚΠ-Α <i>Ν. Κολοβός, Α. Γεωργακόπουλος, Α. Φιλιππίδης, Κ. Καβουρίδης, Α. Κασώλη-Φουραράκη, Ν. Καντηράνης, Κ. Σταμούλης, Δ. Σωτηρόπουλος, Κ. Λάσκος</i>	212
Ορυκτολογία, πετρολογία και γεωχημεία του πλουτωνίτη της Καστανιάς (Βέροιο) <i>Α. Κορωναίος, Π. Τσούτσικα, Γ. Ελευθεριάδης, Ε. Seidel</i>	223
Συγκριτική γεωχημική μελέτη πλουτωνιτών της βόρειας Πελαγονικής ζώνης <i>Α. Κορωναίος, Τ. Σολδάτος, Γ. Χριστοφίδης, Φ. Γερούκη</i>	243
Ορυκτολογική και πετρογραφική μελέτη σκυροδέματος με χρήση ιπτάμενης τέφρας Πτολεμαΐδας <i>Ν. Κούκουζας, Χ. Βασιλάτος, Ι. Γλαράκης</i>	261
Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των λιγνιτικών κοιτασμάτων Ξυλιτικού τύπου των Αν. Περιθωριών των νεογενών λεκανών Πτολεμαΐδας-Φλώρινας <i>Θ. Κώτης, Κασ. Παπανικολάου</i>	273

Αξιοποίηση στειρών μαρμάρων Τρανόβαλτου Κοζάνης για χρήση τους στη βιομηχανία ως πληρωτικών υλικών <i>Κ. Λασκαρίδης</i>	288
Μελέτη της μορφολογίας και της γεωχημείας ιπτάμενης τέφρας από περιοχές του νομού Κοζάνης - Περιβαλλοντικές επιπτώσεις <i>Κ. Μιχαηλίδης, Γ. Τρώντσιος</i>	299
Σύνθεση ζεόλιθου από ιπτάμενη τέφρα του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου με επίδραση διαλυμάτων NaOH <i>Θ. Μουχτάρης, Α. Φιλιππίδης, Α. Κασώλη-Φουρνιάρη, Δ. Χαριστός</i>	308
Στατιστική επεξεργασία των ποιοτικών χαρακτηριστικών του γεωλογικού λιγνίτη της Δ. Μακεδονίας <i>Δ. Ναλμπάντη, Μ. Λεοντίδης, Κ. Λιάκουρα</i>	319
Χαρξβουργίτες / δουνίτες για ολιβινικά προϊόντα υψηλών προδιαγραφών στα οφιολιθικά συμπλέγματα Βουρινού και Πίνδου <i>Σ. Νταμπίτζιας, Α. Ράσιου</i>	330
Παρουσία, ανίχνευση και προέλευση των ινών αμιάντου στα νερά του ποτάμιου συστήματος του Αλιάκμονα <i>Σ. Οικονομίδης, Σ. Σκλαβούνος, Κ. Μιχαηλίδης, Θ. Κουίμτζής</i>	341
Η συμβολή των βιοδεικτών και της ανθρακοπετρογραφίας στη μελέτη του περιβάλλοντος εναπόθεσης των γαιανθράκων από τις λεκάνες Βεύης-Φλώρινας, Λάβας-Κοζάνης, Μοσχοποτάμου-Πιερίας και Παλαιοχωρίου Καλαβρύτων <i>Κασσιανή Ε. Παπανικολάου</i>	351
Ομογενοποίηση του λιγνίτη που τροφοδοτείται στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της περιοχής Πτολεμαΐδας κατά τη διαχείρισή του στις αυλές των ορυχείων και των σταθμών <i>Φ. Παυλινάκης, Ζ. Αγιουτάντης</i>	365
Ποιότητα νερών λιγνιτικού κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (ΛΚΠ-Α) - Προβλήματα - Διορθώσεις και η σχέση τους με το περιβάλλον <i>Χ. Σαχανίδης, Κ. Λάσκος</i>	380
Ϊζηματογενή νικελούχα σιδηρομεταλλεύματα και λατεριτικοί φλοιοί αποσάθρωσης στη ΝΔ Βαλκανική: ορυκτολογικές, ιστολογικές συσχετίσεις και γένεση <i>Νίκ. Σκαρπέλης</i>	398

Αποθέσεις λευκών μαγνησιούχων ορυκτών στη λεκάνη της Κοζάνης και η δυνατότητα χρήσης τους ως επιβραδυντικών καύσης <i>M. Σταματάκης, Π. Καρκάνας, S.D. Inglethorpe</i>	413
Προσδιορισμός των φυσικοχημικών μορφών των βαρέων και τοξικών μετάλλων σε τροφοδότη λιγνίτη και ιπτάμενη τέφρα του ΑΗΣ Καρδίας καθώς και σε αποθέσεις και εδάφη της περιοχής Κοζάνης-Πτολεμαΐδος <i>X. Τζούλης, Φ. Γερούκη, Α.Η. Φώσκολος</i>	427
Εμπομπές ρύπων από τους λιγνιτικούς σταθμούς στον άξονα Σκοπίων – Πτολεμαΐδας – Κοζάνης: Ένα σενάριο διασποράς <i>A. Τριανταφύλλου, Γ. Χαραλαμπίδης, Ν. Καραμάρκος, Γ. Βατάλης</i>	439
Συγκεντρώσεις, ορυκτολογία και μορφολογία αιωρούμενων σωματιδίων PM10 στην πόλη της Κοζάνης <i>A. Τριανταφύλλου, Α. Φιλιππίδης, Α. Πάτρα, Α. Παυλίδης και Ν. Καντηράνης</i>	452
Μελέτη ανθρακικών πετρωμάτων περιοχών Δ. Μακεδονίας <i>A. Τσιραμπίδης</i>	463
Ο υποκλάδος των λιγνιτωρυχείων. Εξέλιξη και προοπτικές <i>I. Τσώλας</i>	474
Chromites in the southern sector of Xerolivado chrome mine of Vourinos, Macedonia, Greece <i>A. Filippidis, A. Kassoli-Fournaraki, N. Kantiranis</i>	485
Περιβαλλοντική και οικονομική σημασία της μεθόδου VLF και της ορυκτολογικής - χημικής σύστασης στην εκμετάλλευση του λευκού μαρμάρου της Καστανιάς Βερμίου <i>Σ. Φιλιππίδης, Ν. Καντηράνης, Α. Φιλιππίδης, Α. Κασώλη-Φουρναράκη</i>	498
Δυνατότητα χρήσης ελληνικών φυσικών ζεολίθων στην ανάπλαση λιγνιτωρυχείων του λιγνιτικού κέντρου Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου <i>A. Φιλιππίδης, Α. Κασώλη-Φουρναράκη</i>	506
Η σημασία των ισοτόπων μολύβδου στον έλεγχο της περιβαλλοντικής μόλυνσης: Το παράδειγμα της Αττικής και της λεκάνης της Κοζάνης, Δ. Μακεδονία <i>Γ. Χαραλαμπίδης, Å Göran</i>	516
Καταληκτικά Σχόλια	527
Ευρετήριο Συγγραφέων	539

ΠΡΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΕΔΡΟ ΤΗΣ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ Α.Π.Θ. ΜΙΧΑΛΗ ΒΑΒΕΛΙΑΔΗ

Εκλεκτοί Προσκεκλημένοι,

Ως Πρόεδρος της οργανωτικής Επιτροπής, σας καλωσορίζω στο 1^ο Συνέδριο της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, που γίνεται για πρώτη φορά στην Κοζάνη και έχει ως θέμα τον ορυκτό πλούτο και το περιβάλλον της Δυτικής Μακεδονίας.

Η οργάνωση αυτή του Συνεδρίου έχει τρεις κυρίως στόχους:

Ο πρώτος είναι να συγκεντρώσει και να φέρει σε άμεση επικοινωνία Έλληνες (γεω)επιστήμονες που ασχολούνται με θέματα ορυκτού πλούτου, εκμετάλλευσης και περιβάλλοντος.

Ο δεύτερος στόχος είναι η κοινωνική επαφή όλων αυτών των ανθρώπων που κατά τη διάρκεια των διαλειμμάτων, των γευμάτων και της δεξίωσης θα έχουν την ευκαιρία να συσφίξουν τις σχέσεις τους και να ξεκινήσουν νέες συνεργασίες.

Ο τρίτος στόχος είναι να επισημάνει στην Ελληνική κοινωνία τη σημασία των ορυκτών πόρων στην ανάπτυξη της Δυτικής Μακεδονίας και γενικότερα της οικονομίας της χώρας μας και να γνωστοποιήσει πρόσφατες ερευνητικές εργασίες σχετικά με την ορθολογική εκμετάλλευση και τις προσπάθειες στην εξεύρεση τρόπων για την προστασία και αποκατάσταση του περιβάλλοντος.

Για την επίτευξη των στόχων αυτών η επιτροπή επέλεξε τη Δ. Μακεδονία επειδή η περιφέρεια αυτή αποτελεί μια από τις πλουσιότερες σε ορυκτές πρώτες ύλες περιοχές της Ελλάδας.

Στη Δυτική Μακεδονία εντοπίζονται σημαντικά κοιτάσματα που βρίσκονται ή βρίσκονται σε εκμετάλλευση όπως χρωμίου, νικελίου, εκμεταλλεύσεις χρυσού κατά την αρχαιότητα, κοιτάσματα βιομηχανικών ορυκτών και πετρωμάτων όπως μαρμαρα, χουντίτης και αμιάντος, καθώς επίσης σημαντικά κοιτάσματα ενεργειακών πρώτων υλών από τα αποθέματα των οποίων καλύπτονται κατά 55-60% οι ανάγκες της χώρας μας σε ενέργεια.

Η οργανωτική επιτροπή γνωρίζοντας τη σημασία του ορυκτού πλούτου της περιοχής για τη χώρα μας και τη σπουδαιότητα της έρευνας και της παρουσίασης των αποτελεσμάτων που σχετίζονται με τον ορυκτό πλούτο και το περιβάλλον απηύθυνε πρόσκληση από το Φθινόπωρο του 1998 σε όλους τους χώρους της επιστημονικής κοινότητας αλλά και της πολιτείας που εμπλέκονται με τα θέματα αυτά.

Το συνέδριο έχει την τιμή να φιλοξενεί σήμερα 100 περίπου διακεκριμένους

επιστήμονες από το χώρο των Γεωεπιστημών, Χημικών και Μηχανικών μεταλλείων, που εκπροσωπούν τα πανεπιστήμια Αθηνών, Θεσ/νίκης, Πάτρας και Κρήτης, τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, τα Τεχνολογικά Ιδρύματα, το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Έρευνών, τη Δημόσια Επιχείρηση Πετρελαίου και ιδιωτικές μεταλλευτικές εταιρείες.

Οι επιστήμονες αυτοί θα παρουσιάσουν τα νεώτερα ερευνητικά δεδομένα σχετικά με τον Ορυκτό Πλούτο και το περιβάλλον της Δυτικής Μακεδονίας.

Συνολικά επιλέχθηκαν και θα παρουσιαστούν στο Συνέδριο 42 επιστημονικές εργασίες από τις 55 που υποβλήθηκαν για κρίση. Στη διαδικασία κρίσης των εργασιών που έχει καθιερωθεί εδώ και μεγάλο χρονικό διάστημα από την Ελληνική Γεωλογική Εταιρεία, συμμετείχαν 31 διακεκριμένοι Έλληνες επιστήμονες ειδικοί στα γνωστικά αντικείμενα του συνεδρίου.

Η Οργανωτική Επιτροπή λοιπόν με αισθήματα συναδελφικής εκτίμησης σας υποδέχεται στην Κοζάνη και σας ευχαριστεί γιατί με τη σημερινή σας παρουσία ενισχύετε την έρευνα των γεωεπιστημών που εκτελείται στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας.

Πολύ σύντομα θα εκδοθεί και ο τόμος των πρακτικών με το πλήρες κείμενο των ερευνητικών εργασιών. Ο τόμος αυτός θα κυκλοφορήσει σ' όλο τον Ελλαδικό χώρο.

Πιστεύουμε ότι η διοργάνωση αυτού του συνεδρίου αποτελεί μια ουσιαστική προσφορά των Μελών της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας και ιδιαίτερα της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας.

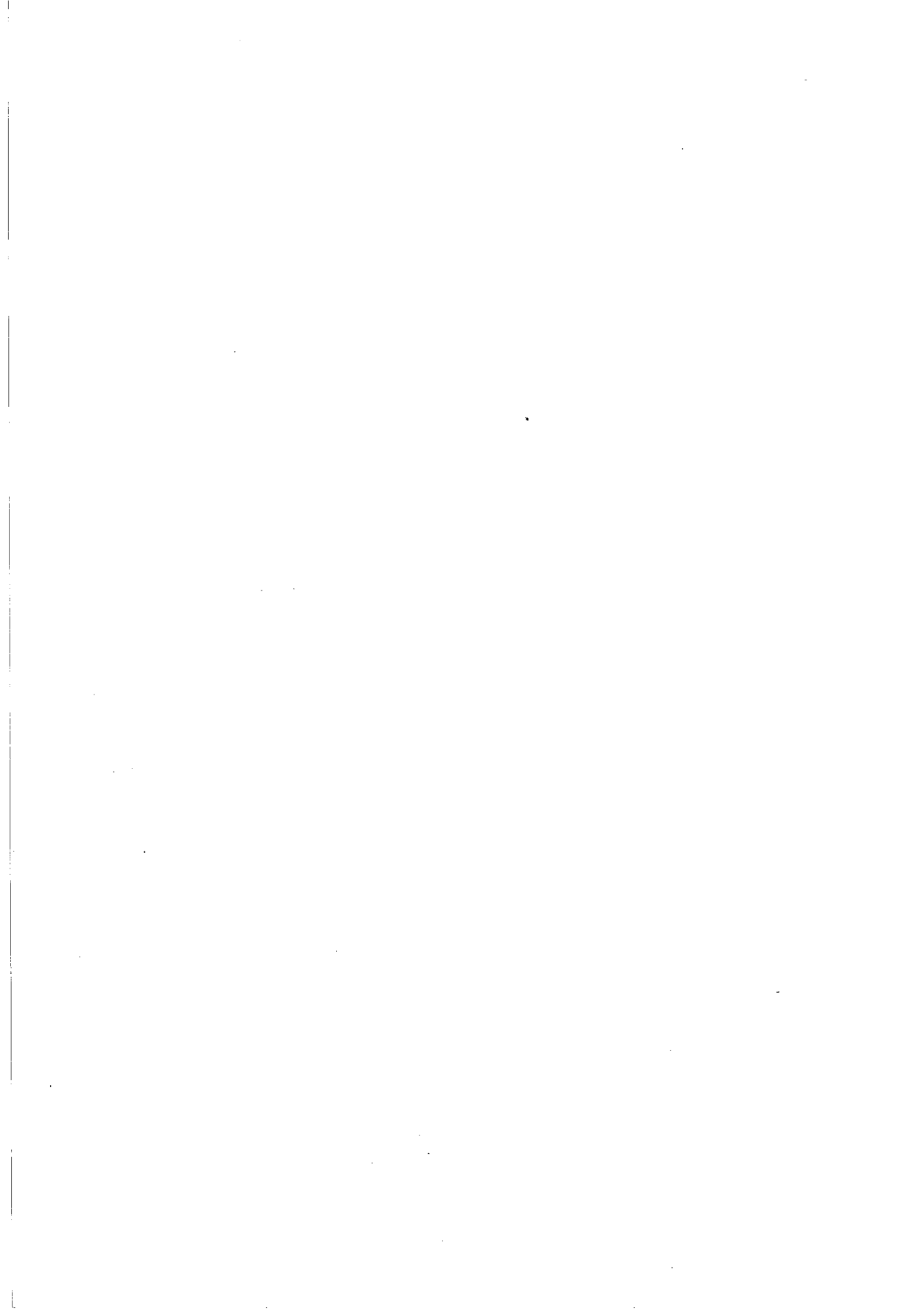
Η επιτυχία όμως ενός Συνεδρίου δεν εξαρτάται μόνο από το επιστημονικό του επίπεδο, αλλά και από τους οικονομικούς πόρους του, και τη συμπαράσταση πολλών ανθρώπων και φορέων. Θεωρούμε λοιπόν υποχρέωση μας να εκφράσουμε τις ειλικρινείς ευχαριστίες μας σε όλους όσους στήριξαν ηθικά και οικονομικά τη διοργάνωση του Συνεδρίου.

Αρχίζοντας με το Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Μακεδονίας που μας φιλοξενεί, τη Νομαρχία Κοζάνης, το Δήμο Κοζάνης, τη ΔΕΗ, τη Γενική Γραμματεία Έρευνας Τεχνολογίας και την Ευρωπαϊκή Ένωση, το ΑΚΠ-Α, το Υπουργείο Μακεδονίας Θράκης, το Τμήμα Γεωλογίας του Α.Π.Θ, τις ιδιωτικές εταιρείες: την TVX Hellas, τη Γενική Μεταλλευτική Μεταλλουργική Α.Ε. ΛΑΡΚΟ, την TENA ATEE, την Τεχνομπετόν Α.Ε. και την Εγνατία Οδό Α.Ε.

Επιτρέψτε μου ακόμη να ευχαριστήσω θερμά όλους του συναδέλφους μου στην Οργανωτική Επιτροπή για τη συλλογική προσπάθεια που καταβλήθηκε όλο το χρονικό διάστημα της προετοιμασίας, καθώς επίσης να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους μεταπτυχιακούς φοιτητές του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. (Α. Ιορδανίδη, Ν. Καντηράνη, Β. Καπινά, Ε. Κιουρτζόγλου, Α. Μπουρλίβα, Δ. Νταρλαγιάννης, Σ. Οικονομίδης και Π. Τσούτσικα), τη Γραμματέα του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Μακεδονίας (Κ. Κωσταρέλλα-Σιδερά) και τους σπουδαστές του Τμήματος Γεωτεχνολογίας και

Περιβάλλοντος του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Μακεδονίας (Σ. Γιαννουσόπουλο, Α. Γρίβα, και Σ. Τουφεκτσή) για την υπεύθυνη και πρόθυμη εργασία που πρόσφεραν στη διοργάνωση.

Σας ευχαριστώ και πάλι για τη συμμετοχή σας και σας εύχομαι καλή διαμονή στην Κοζάνη.



ΚΗΡΥΞΗ ΕΝΑΡΞΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΑΠΟ ΤΟΝ ΝΟΜΑΡΧΗ ΚΟΖΑΝΗΣ κ. ΠΑΣΧΟ Ι. ΜΗΤΛΙΑΓΚΑ

Κύριε Πρόεδρε της Οργανωτικής Επιτροπής, κυρίες και κύριοι Σύεδροι,

Αισθάνομαι ιδιαίτερη τιμή και χαρά που ο Νομός Κοζάνης στον Ακαδημαϊκό αυτό χώρο του ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας φιλοξενεί σήμερα το 1^ο Συνέδριο της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας με θέμα “Ορυκτός Πλούτος και Περιβάλλον στη Δυτική Μακεδονία”.

Ο Νομός Κοζάνης αποτελεί ως γνωστό από κοιτασματολογικής πλευράς, μια πλουτοπαραγωγική δύναμη που τροφοδότησε και τροφοδοτεί και σήμερα την ανάπτυξη της χώρας. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την καύση του λιγνίτη, οι χρωμίτες, ο αμιάντος, τα μάρμαρα του Νομού Κοζάνης και τα διάφορα βιομηχανικά του ορυκτά, τον κατατάσσουν στην κατηγορία των πιο μεγάλων πλουτοπαραγωγικών δυνάμεων της χώρας. Ταυτόχρονα αυτή η εκμετάλλευση των φυσικών πόρων είχε και έχει τις επιπτώσεις της στο περιβάλλον της περιοχής.

Στη σημερινή εποχή η τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα στον άνθρωπο να χρησιμοποιεί τους φυσικούς πόρους και να βελτιώνει τα επίπεδα διαβίωσης του, προστατεύοντας το φυσικό περιβάλλον.

Η τοποθέτηση των φίλτρων στους ΑΗΣ παρά τις σοβαρές εκκρεμότητες που υπάρχουν ακόμη, μείωσε σημαντικά την παραγωγή των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και βελτίωσε αισθητά, σε σχέση με το παρελθόν, την ποιότητα ζωής που συνδέεται με το περιβάλλον χωρίς να έχει λύσει οριστικά το πρόβλημα.

Η τοπική μας κοινωνία έχει αποδεχθεί την ανάπτυξη τέτοιων βιομηχανικών δραστηριοτήτων αλλά προβάλλει δεκαετίες τώρα το αίτημα της προστασίας της από τις αρνητικές επιπτώσεις που έχουμε στο περιβάλλον από τις δραστηριότητες αυτές.

Η σύγχρονη περιβαλλοντική τεχνολογία βελτιώνει την καθημερινή ζωή των πολιτών αφού αμβλύνει τις αρνητικές συνέπειες, κυρίως στην υγεία των πολιτών, περιορίζει αισθητά τις βασικές πηγές ρύπανσης και αποτελεί μια ισχυρή εναλλακτική λύση στην κλασική παγκόσμια βιομηχανία.

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι σύνθετα. Χρηζουν όλο και περισσότερο μιας διεπιστημονικής προσέγγισης και απαιτούν ένα ευρύ φάσμα, επιστημονικών πολιτικών και κοινωνικών αναλύσεων τόσο για την κατανόηση, όσο και για την επίλυσή τους.

Είναι αυτονόητο ότι οι ενέργειες μας σ' αυτόν τον τομέα σήμερα, θα επηρε-

άσουν σημαντικά τη ζωή των επομένων γενεών. Υπάρχει μια πιθανότητα οι σωρευτικές επιδράσεις των ανθρωπίνων πράξεων να δημιουργήσουν έναν διαφορετικό κόσμο με πολλά προβλήματα και για το λόγο αυτό επιβάλλεται να υπάρξουν περιβαλλοντικοί περιορισμοί. Είναι φανερό ότι αυτό που η φύση στο πέρασμα των γεωλογικών αιώνων δημιούργησε (4,5 δις έτη ηλικία της γης) ο άνθρωπος από το 1950 και μετά, σε 50 χρόνια δηλ., τείνει να εξαφανίσει. Άρα, η ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων μαζί με την περιβαλλοντική προστασία οφείλει στη σύγχρονη Ελλάδα και κοινωνία να είναι μια συνιστώσα που θα λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν στο σχεδιασμό και στην εκμετάλλευση των γεωμεταλλευτικών έργων.

Η Ν.Α. Κοζάνης στο παρελθόν αλλά και σήμερα στέκεται αρωγός στις προσπάθειες της επιστημονικής κοινότητας να αντιμετωπίσει τα σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκύπτουν από την εκμετάλλευση των πρώτων υλών με έναν τρόπο σύγχρονο, αποτελεσματικό και προσανατολισμένο στην βελτίωση της ποιότητας ζωής του πολίτη.

Προκειμένου να υπάρχει μία σαφής και ολοκληρωμένη αντίληψη και προσέγγιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων στην περιοχή, η Ν.Α. Κοζάνης ανέλαβε και υλοποίησε την πρωτοβουλία ίδρυσης Κέντρου Περιβάλλοντος, το οποίο βέβαια, θα λειτουργεί ανεξάρτητα και αξιοπίστα για την εκτίμηση των σχετικών ζητημάτων και μεγεθών αλλά και θα υποδεικνύει τρόπους παρεμβάσεων και λύσεις στα όποια προβλήματα μας απασχολήσουν στο μέλλον.

Η δημιουργία του νέου Πανεπιστημιακού Τμήματος Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων και η μετεξέλιξη του Τμήματος Ορυχείων του ΤΕΙ Κοζάνης σε Τμήμα Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος είναι ένα χρήσιμο εργαλείο έρευνας και αντιμετώπισης των σύνθετων γεωπεριβαλλοντικών προβλημάτων της περιοχής μας.

Η έρευνα και η τεχνολογία πρέπει να συνδεθούν με τη βιομηχανία και με τις μεταλλευτικές επιχειρήσεις. Ο ιδιωτικός τομέας πρέπει να αναλάβει μεγαλύτερους επιχειρηματικούς κινδύνους να υπολογίσει τα κέρδη του σε ευρύτερους χρονικούς ορίζοντες και να τολμήσει μακρόπνοους προγραμματισμούς.

Εύχομαι τα αποτελέσματα του συνεδρίου να συμβάλουν στη διεύρυνση της επιστημονικής γνώσης και να διευκολύνουν δράσεις προς την κατεύθυνση της ορθολογικής διαχείρισης των φυσικών πόρων και του περιβάλλοντος συμβάλλοντας στην ανάπτυξη της περιοχής και γενικότερα της χώρας μας.

Με τις σκέψεις αυτές εύχομαι καλή επιτυχία στις εργασίες σας και κηρύσσω την έναρξη του Συνεδρίου.

**ΑΝΑΚΟΙΝΩΘΕΙΣΕΣ
ΕΡΓΑΣΙΕΣ**



ΓΕΩΧΗΜΙΚΟΣ ΑΤΛΑΣ ΒΔ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Ι. Αγγελικάκης¹, Δ. Βρυνιώτης¹

Περίληψη

Η εργασία αυτή καταγράφει και μελετά το γεωχημικό ανάγλυφο της ΒΔ. Μακεδονίας, για τα στοιχεία U, Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Hg, Mn, Cr, στα ιζήματα ρεμάτων. Προκύπτει μία ταξινόμηση-ομαδοποίηση των στοιχείων αυτών με βάση τη μεταξύ τους συσχέτιση σε α) U-Hg, β) Cu-Zn-Mn-Pb, γ) Co-Ni-Cr. Αναλύσεις έγιναν και για Sr, V, Ag, Cd, Mo, Sb.

Εντοπίζεται κάποιο ενδιαφέρον σε κοιτασματολογικούς και περιβαλλοντικούς στόχους. Το κοιτασματολογικό ενδιαφέρον εστιάζεται βασικά στο U και δευτερευόντως στα Cr, Ni. Το περιβαλλοντικό ζήτημα έχει περισσότερο ενδιαφέρον γιατί εντοπίζονται περιοχές με αυξημένες συγκεντρώσεις στα στοιχεία U, Hg αλλά και με ενδεχόμενο ανεπάρκειας ή υπερεπάρκειας στα στοιχεία Cu, Zn, Mn, Co, Ni, Cr.

Abstract

A systematic stream sediment (ST/SD) reconnaissance geochemical survey (sampling density ~ 1,63 samples/km²) was undertaken, in northern Greece, with the aim of compilation of The Geochemical Atlas of Northwestern Macedonia. The area under investigation is characterised by the development of: Eastern Pelagonian Zone, Western Pelagonian Zone, Middle Hellenic trough and Igneous rocks (ophiolites, granites).

The samples were analysed for: U, Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Cr, Mn, Hg, Sr, V, Ag, Cd, Mo, Sb.

The statistical analyses of the analytical data distinguished the following groups of elements: a) U - Hg, b) Cu - Zn - Mn - Pb, c) Co - Ni - Cr.

According to the results two main target areas for potential uranium mineralisation were found and one for Cr-Ni. But the main interest of this investigation is centralised on the environmental impact of the positive and negative geochemical anomalies of the elements: Cu - Zn - Mn - Co - Ni - Cr (deficiency - excess elements) and the positive geochemical anomalies of: U, Hg, Pb (toxic elements).

Εισαγωγή

Η περιοχή που ερευνήθηκε περιλαμβάνει τα Φύλλα Χάρτου (Φ.Χ.) 1:50.000 Ανταρτικό, Φλώρινα, Βεύη, Μεσοποταμιά, Καστοριά, Πτολεμαΐδα, Νεστόριο, Άργος Ορεστικό και Σιάτιστα. Συγκεντρώθηκαν 6.936 δείγματα ιζήματος ρέματος

1. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), Μεσογείων 70, Αθήνα 115 27.

που αντιστοιχούν σε μία μέση πυκνότητα $1,6 \text{ δ/κμ}^2$. Οι αναλύσεις έγιναν στο κλάσμα -80 mesh με συσκευή AAS, εκτός των U, Hg που έγιναν με συσκευές SCIN-TREX UA-3 και UGG-3 αντίστοιχα. Η στατιστική επεξεργασία των αναλυτικών δεδομένων μας έδωσε μία σειρά παραμέτρους και συσχετίσεις που μας βοήθησαν να διαμορφώσουμε τις κλάσεις για την παρουσίαση των γεωχημικών χαρτών.

Οι κύριοι στόχοι της έρευνας αυτής ήταν: α) Ο εντοπισμός περιοχών με θετικές γεωχημικές ανωμαλίες οι οποίες ενδέχεται να έχουν σχέση με μεταλλορύπανση φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης (υπερεπάρκεια-τοξικότητα ιχνοστοιχείων), β) Ο εντοπισμός περιοχών με αρνητικές γεωχημικές ανωμαλίες που μπορεί να έχουν σχέση με ανεπάρκειες απαραίτητων ιχνοστοιχείων σε φυτά, ζώα, ανθρώπους και γ) Ο καθορισμός περιοχών με κοιτασματολογικό ενδιαφέρον.

Η οριοθέτηση περιοχών, μέσα στις οποίες είναι πιθανόν να εμφανίζονται παθήσεις (διαφορετικής σοβαρότητας και πυκνότητας) στα φυτά, στα ζώα και τον άνθρωπο, που οφείλονται στην ανεπάρκεια, υπερεπάρκεια ή και τοξικότητα διαφόρων χημικών στοιχείων στο περιβάλλον συνδεδεμένων με τα πετρώματα και τα εδάφη, αποτελεί μία αναγκαιότητα σήμερα για την καλύτερη διαχείριση των φυσικών πόρων και τη χρήση της γης.

Γεωλογικά - Κοιτασματολογικά στοιχεία

Η περιοχή έρευνας από γεωτεκτονικής πλευράς βρίσκεται κατά το μεγαλύτερο της μέρος στην Πελαγονική ζώνη, Ανατολική και Δυτική (ΜΗΓΚΙΡΟΣ κ.α. 1988). Στο δυτικό και νότιο τμήμα της περιοχής απαντούν και μολασσοί σχηματισμοί της Μεσοελληνικής Αύλακας.

Η Ανατολική Πελαγονική ζώνη καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής που ερευνήθηκε. Αποτελείται από το Παλαιοζωϊκό κρυσταλλικό υπόβαθρο με γρανιτογενέσιους, γνεύσιους (όρθο- και πάρα-) και σχιστολίθους σε εναλλαγές με σιπολίτες, μάρμαρα και σερπεντινίτες και το Νεοπαλαιοζωϊκό φυλλιτικό σύστημα από ελαφρά μεταμορφωμένα πετρώματα από κροκαλοπαγή, αρκόζες, αρκοζικούς ψαμίτες και σχιστολίθους με φακούς ασβεστολίθων.

Η Δυτική Πελαγονική ζώνη χαρακτηρίζεται από την παρουσία της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης με οφιολίθους καθώς και την παρουσία αλπικών ανθρακικών πετρωμάτων (ασβεστόλιθοι και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι).

Η εκδήλωση του βασικού-υπερβασικού μαγματισμού με τη δημιουργία των οφιολίθων στη Δυτ. Πελαγονική, αλλά και του όξινου μαγματισμού στην Ανατ. Πελαγονική με το σχηματισμό του γρανίτη της Φλώρινας, σε συνδυασμό με τις γεωτεκτονικές διεργασίες που ακολούθησαν, είχαν σαν αποτέλεσμα τη μεταλλοφορία της περιοχής.

- *Χαλκούχος μεταλλοφορία.* Αυτή συνδέεται κύρια με υδροθερμικό χαλαζία σε φακούς μέσα στο ασθενώς μεταμορφωμένο φυλλιτικό σύστημα (ΠΛΑΣΤΗΡΑΣ 1979). Εμφανίζεται στα ΝΑ. του Φ.Χ. Μεσοποταμιάς, στο ΝΔ. άκρο του Φ.Χ.

Φλώρινας καθώς και στα Φ.Χ. Καστοριάς και Πτολεμαΐδας.

- *Μεταλλοφορία σιδήρου*. Συναντάται και ως θειούχος αλλά και με μορφή οξειδίων. Ο πρώτος τύπος εμφανίζεται στη θέση Πισοδέρι της Φλώρινας αλλά και σε διάφορες θέσεις στα Φ.Χ. Καστοριάς, Σιάτιστας και Πτολεμαΐδας. Ο δεύτερος τύπος παρουσιάζει ακόμα μεγαλύτερη εξάπλωση στα περισσότερα Φ.Χ. της ερευνηθείσας περιοχής (ΜΑΡΑΤΟΣ 1973).
- *Σιδηρονικελιούχος μεταλλοφορία*. Προέρχεται από τη λατεριτική αποσάθρωση των οφιολιθικών πετρωμάτων και εμφανίζεται σε διάφορες θέσεις πλησίον του χωριού της Ιεροπηγής.
- *Χρωμίτης*. Συναντάται με τον δουνίτη, στα όρια του δουνίτη με τον χαρτζβουργίτη και στους πυροξένους στις περιοχές Ιεροπηγής, ΝΔ. της Καστοριάς και στο ΝΔ. τμήμα του Φ.Χ. Σιάτιστας.
- Στην περιοχή υπάρχουν ακόμα εμφανίσεις βωξίτη σε καρστικά έγκοιλα ανθρακικών πετρωμάτων, λευκολίθου σε διάφορες θέσεις των οφιολίθων και φυσικά τα μεγάλα κοιτάσματα λιγνιτών στη λεκάνη της Πτολεμαΐδας.

Γεωχημική χαρτογράφηση

Μετά τη στατιστική επεξεργασία των αναλυτικών δεδομένων και με τη βοήθεια σειράς γεωχημικών παραμέτρων και συσχετίσεων κατασκευάσαμε τους γεωχημικούς χάρτες των στοιχείων U, Hg, Cu, Zn, Co, Ni, Mn, Pb, Cr, τους οποίους και παρουσιάζουμε εκτός κειμένου.

Οι συντελεστές συσχέτισης των στοιχείων και η κατασκευή του δενδρογράμματος αυτών (που δείχνουν κατα πόσο το ένα στοιχείο συνδέεται ή όχι και παρακολουθεί το άλλο) μας έδωσαν την παρακάτω ομαδοποίηση των στοιχείων:

α) U-Hg, β) Cu-Zn-Mn-Pb, γ) Co-Ni-Cr.

Από αυτά τα Cu-Zn, Co-Ni παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη θετική συσχέτιση με συντελεστές 0.69 και 0.77 αντίστοιχα. Ο Hg είναι το μόνο στοιχείο με το οποίο το U παρουσιάζει θετική συσχέτιση. Παρά το γεγονός λοιπόν ότι η συσχέτιση U-Hg είναι πολύ μικρή (0.1) εν τούτοις διακρίνουμε την ομάδα των στοιχείων U-Hg, διότι όπως διακρίνεται και στους αντίστοιχους γεωχημικούς χάρτες, στις κυριότερες ανωμαλίες U έχουμε και ανωμαλίες Hg.

Ομάδα των στοιχείων U-Hg

Οι πλέον αξιόλογες περιοχές γεωχημικού ενδιαφέροντος για “υψηλό” γεωχημικό ανάγλυφο U-Hg είναι:

1) Περιοχή Άρδασσας - Προαστείου, 2) Περιοχή Ολυμπιάδας, 3) Περιοχή όρους Βόρα (ανατολικά της Αχλάδας), 4) Περιοχή ΝΔ. του Ακρίτα, 5) Περιοχή Πράσινου - Οξυάς, 6) Περιοχή ΒΑ. Λ. Καστοριάς και 7) Περιοχή Φ.Χ. Ανταρτικού (ΑΓΓΕΛΙΚΑΚΗΣ & ΒΡΥΝΙΩΤΗΣ 1974).

Από αυτές, οι περιοχές (4) και (5) φαίνεται να είναι οι σημαντικότερες από

πλευράς κοιτασματολογικού ενδιαφέροντος για U, όπου το “υψηλό” ανάγλυφο του εν λόγω στοιχείου αναπτύσσεται σε περιβάλλον αμιφβολιτικού και/ή βιοτιτικού γρανίτη-γρανодиορίτη. Επιπλέον οι απόλυτες τιμές των αναλύσεων για ουράνιο είναι αρκετά ενδιαφέρουσες (ακραίες τιμές άνω των 20 ppm) και σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα δεδομένα δικαιολογείται μια περαιτέρω λεπτομερής γεωχημική - κοιτασματολογική έρευνα. Εξετάζοντας όμως τις υπόλοιπες περιοχές για τα στοιχεία U-Hg από πλευράς περιβαλλοντικών επιπτώσεων κρίνουμε ότι, αν και σε μερικές από τις παραπάνω περιοχές παρουσιάζονται υψηλές συγκεντρώσεις U-Hg, δεν υπάρχει λόγος ανησυχίας επειδή οι τιμές αυτές είναι λίγες και έχουν μεγάλη διασπορά. Αναλυτικότερα από τη μελέτη του γεωχημικού χάρτη του U, διακρίνουμε σημαντικές περιοχές οι οποίες γεωχημικά ανήκουν στην υψηλότερη κλάση του U, δηλαδή πάνω από 0,72 ppm. Στις περιοχές αυτές, πρέπει να επισημάνουμε ότι υπάρχουν θέσεις όπου η περιεκτικότητα των ιζημάτων ρεμάτων σε U φθάνει τα 10-20 ppm τοπικά. Ο Hg συγκαταλέγεται επίσης στα λίαν τοξικά βαρέα μέταλλα. Η μέση σύσταση του γήινου φλοιού είναι 80 ppb (LEVINSON 1974). Το μέγιστο της διακύμανσης στην περιοχή της έρευνάς μας φθάνει τα 633 ppb.

Ομάδα των στοιχείων Cu- Zn - Mn - Pb

Οι περιοχές υψηλού γεωχημικού ανάγλυφου που έχουν το μεγαλύτερο γεωχημικό ενδιαφέρον για τα παραπάνω στοιχεία είναι:

1) Ευρύτερη περιοχή από το όρος Άσκιο στο Φ.Χ. Σιάτιστα μέχρι το όρος Τρικλάριο στο Φ.Χ. Μεσοποταμιά. 2) Περιοχή Προαστίου - Πτολεμαΐδας - Περδίκα. 3) Περιοχή Κλειδίου. 4) Περιοχή Σκοπού. 5) Περιοχή Αλώνων.

Η περιοχή (1) είναι μία ζώνη που εκτείνεται από το ΒΔ. άκρο της περιοχής έρευνας και φθάνει στο ΝΑ άκρο. Η ζώνη αυτή αναπτύσσεται κατα κύριο λόγο πάνω σε υπόβαθρο σχιστοκερατολιθικής διάπλασης με οφιολίθους της Δυτικής Πελαγονικής ζώνης σε πολλές θέσεις της οποίας είναι επωθημένο το νεοπαλαιοζωϊκό φυλλιτικό σύστημα της Ανατολικής Πελαγονικής. Και στις περιοχές (4) και (5) το υψηλό γεωχημικό ανάγλυφο φαίνεται να εξηγείται από το γεωλογικό υπόβαθρο. Στην περιοχή (4) απαντούν μεταμορφωμένα βασικά εκρηξιγενή ως παρεμβολές εντός του κρυσταλλοσχιστώδους της Πελαγονικής. Στην περιοχή (5) το υπόβαθρο δομείται από το γρανίτη της Φλώρινας και το κρυσταλλοσχιστώδες της Πελαγονικής. Για τις άλλες περιοχές (2) και (3) έχουμε ενδείξεις μεταλλορύπανσης ανθρώπογενούς προέλευσης (εργοστάσια, εγκαταστάσεις, στρατιωτικές δραστηριότητες κλπ.).

Εκτός όμως από τις παραπάνω περιοχές με υψηλό γεωχημικό ανάγλυφο έχουμε και περιοχές με χαμηλό γεωχημικό ανάγλυφο για τα στοιχεία Cu - Zn - Mn. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι: 1) Το ανατολικό τμήμα του Φ.Χ. Νεστόριου, 2) Το κεντρικό τμήμα του Φ.Χ. Καστοριάς, 3) Το βόρειο τμήμα του Φ.Χ. Μεσοποταμιάς, 4) Το τμήμα μεταξύ των Φ.Χ. Φλώρινας - Βεύης- Πτολεμαΐδας - Καστοριάς.

Πίνακας 1. Γεωχημικά δεδομένα

Table 1. Geochemical data

Στοιχείο σε ppm	1.	2.	3.	4.		5.	
	Μέση σύσταση Γήινου φλοιού	Μέση σύσταση εδαφών	Κατώτερο όριο ανίχνευσης	Μέγιστη Ελάχιστο	Διακύμανση Μέγιστο	Διακύμανση σε ποσοστό 95%	
U	2,7	1	0,15	0,15	21	0,15	0,72
Hg*	80	30	4	4	633	4	145
Cu	55	2-100	2	2	215	3	52
Zn	70	10-300	0,5	10	1050	20	130
Mn	950	850	1	10	17000	180	1970
Pb	12,5	2-200	7	7	480	7	45
Co	25	1-40	3	3	167	5	50
Ni	75	5-500	3	3	6550	6	380
Cr	100	5-1000	8	8	1145	8	300
Sr	375	50-1000	3	50	230	50	150
Ag	0,07	0,1	2	2	7,2	0	1
Cd	0,2	1	1	1	10	1	2
V	135	20-500	45	45	450	45	100

* σε ppb ΣΗΜ. 1,2: Στοιχεία από LEVINSON (1974)
3,4,5: Δεδομένα παρούσης έρευνας.

* in ppb NOTE 1,2: From LEVINSON (1974)
3,4,5: Present study data.

5) Το τμήμα στο ΒΑ. άκρο του Φ.Χ. Βεύης. Οι χαμηλές τιμές οφείλονται φυσικά στο γεωλογικό υπόβαθρο που συνίσταται από μάργες, γρανιτογενείς και ορθογενείς κατά περίπτωση.

Τα παραπάνω στοιχεία Cu, Zn και Mn, εκτός του Pb που είναι τοξικό σε κάθε ποσότητα, είναι απαραίτητα για τη ζωή φυτών και ζώων μέχρι κάποια όρια. Όταν ξεπερνούν τα 100, 300 και 850 ppm αντίστοιχα μπορεί να αρχίζει ο κίνδυνος της μεταλλορύπανσης και φυσικά γίνονται επιβλαβή για τη ζωή αφού καθίστανται τοξικά (THORNTON & WEBB 1979). Αντίθετα όταν βρίσκονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα υπάρχει κίνδυνος ανεπάρκειας. Όταν π.χ. ο Cu είναι κάτω από 6 ppm στα εδάφη παρατηρείται συνήθως έλλειψη Cu στα σιτηρά. Αυτά τα κατώτερα όρια ενδέχεται να εμπίπτουν στην κατώτερη κλάση του Cu (βλ. γεωχημικό χάρτη Cu) και μπορεί να υπάρχει πρόβλημα για τις περιοχές χαμηλού γεωχημικού αναγλύφου που αναφέραμε παραπάνω. Όταν η έλλειψη Cu συνδυάζεται με περιεκτικότητα Mo > 2 ppm τότε τα αποτελέσματα είναι χειρότερα, γιατί προκαλούνται υποχαλωώσεις στα σιτηρά, τα βοοειδή και τα πρόβατα (THORNTON & WEBB

1970). Εκτός από την υποχάλκωση, το Μο σε υψηλές περιεκτικότητες (> 20 ppm) προκαλεί μολυβδένωση στα βοοειδή (THOMPSON ET AL. 1972). Φυσικά η υπερεπάρκεια (τοξικότητα) στα παραπάνω στοιχεία μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα και στον άνθρωπο, μέσω της τροφικής αλυσίδας.

Σε περιοχές όπου το έδαφος χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές Ζn, υψηλό pH και ύπαρξη ελεύθερου CaCO_3 , η διαθεσιμότητα του Ζn μειώνεται ακόμη περισσότερο και σε καλλιέργειες καλαμποκιού π.χ. που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στον Ζn θα υπάρχουν προβλήματα ανάπτυξης. Αντίστοιχα προβλήματα από τη μείωση της διαθεσιμότητάς του παρουσιάζονται και στο Μn το οποίο να σημειωθεί ότι έχει παρόμοια συμπεριφορά με αυτή του Co σε περιπτώσεις ανεπάρκειας (THORNTON & WEBB 1970). Περιεκτικότητες κάτω των 300 ppm σε Μn στα εδάφη, θεωρούνται χαμηλές συγκεντρώσεις και ύποπτες για τροφοπενίες.

Ομάδα των στοιχείων Co - Ni - Cr

Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζουν παρόμοιο γεωχημικό ανάγλυφο με πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ τους. Περιοχές με υψηλό γεωχημικό ανάγλυφο έχουμε 1) στο ΝΑ. τμήμα του Φ.Χ. Σιάτιστας, 2) στο ΒΔ. άκρο του Φ.Χ. Άργους Ορεστικού, 3) στο Δ. τμήμα του Φ.Χ. Μεσοποταμιάς και 4) στο ΝΑ. τμήμα του Φ.Χ. Πτολεμαΐδας. Στις 3 πρώτες περιοχές έχουμε υπόβαθρο υπερβασικών πετρωμάτων ενώ στην τελευταία επικρατεί ένα λατυποκροκαλοπαγές με μεγάλη αναλογία σερπεντινικών κροκαλών (ΑΓΓΕΛΙΚΑΚΗΣ & ΒΡΥΝΙΩΤΗΣ 1994).

Σε περιοχές όπου το υπόβαθρο αποτελείται από βασικά-υπερβασικά πετρώματα, τα οποία έχουν κανονικές υψηλές συγκεντρώσεις Co, Ni, Cr, μπορεί να προκληθεί λόγω αυτών των συγκεντρώσεων τοξικότητα στα δημητριακά και άλλα είδη φυτών που καλλιεργούνται στα εδάφη αυτά. Όταν έχουμε ανεπάρκεια τώρα στα στοιχεία αυτά (περιεκτικότητες Co < 5-10 ppm, Ni < 10-20 ppm και Cr < 15-20 ppm) υπάρχει πιθανότητα τροφοπενιών. Έλλειψη Co π.χ. δημιουργεί προβλήματα στα πρόβατα και τα βοοειδή (εξασθένηση των ζώων από έλλειψη της βιταμίνης B12, στην οποία συμμετέχει το Co) (THORNTON & ALLOWAY 1974). Τέτοια περίπτωση έχει παρατηρηθεί στην περιοχή της Χερσονήσου της Σιθωνίας σε περιοχή όπου τα μητρικά πετρώματα είναι κυρίως γρανιτικά (Χ'ΓΕΩΡΓΙΟΥ-ΣΤΑΥΡΑΚΗ 1989).

Για τη περιοχή μας μπορεί να έχουμε τροφοπενίες Co, Ni, Cr στις περιοχές με την κατώτερη κλάση των στοιχείων αυτών (βλ. αντίστοιχους γεωχημικούς χάρτες) και συγκεκριμένα στο κεντρικό τμήμα του Φ.Χ. Καστοριάς που προεκτείνεται προς το ΒΔ άκρο του Φ.Χ. Πτολεμαΐδας.

Συμπεράσματα

Από την παρούσα εργασία συνοπτικά καταλήγουμε στα παρακάτω: Η γεωχημική χαρτογράφηση στα πλαίσια της οποίας κατασκευάζονται και οι γεωχημικοί Άτλα-

ντες, μπορεί να συμβάλλει: α) Στη στήριξη της γεωλογικής χαρτογράφησης, ειδικά σε δυσπρόσιτες, πυκνής βλάστησης κλπ. περιοχές. Συγκεκριμένα στη περιοχή μας χαρτογραφούνται με ικανοποιητικό τρόπο αρκετές πετρολογικές ενότητες, όπως οι μολασσοί σχηματισμοί της Μεσοελληνικής Αύλακας από τις τελευταίες δύο κλάσεις του Cu, η σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφιολίθους της Δυτικής Πελαγονικής από τις ανώτερες κλάσεις του Mn, οι γρανίτες από τις ανώτερες κλάσεις του U κτλ. β) Στον καθορισμό κοιτασματολογικών στόχων, σε μια πρώτη προσέγγιση, που πρέπει να συναξιολογηθούν και με άλλα γεωλογικά-κοιτασματολογικά στοιχεία. Οι γεωχημικές ανωμαλίες U στις περιοχές Ακρίτα και Πράσινου - Οξυάς με τιμές που φθάνουν τα 20 ppm U δεν πρέπει να μας αφήνουν αδιάφορους για παραπέρα διερεύνηση και επίσης οι αντίστοιχες των στοιχείων Co-Ni-Cr στο Δ.τμήμα του Φ.Χ. Μεσοποταμιάς χαρτογραφούν τα ήδη γνωστά κοιτάσματα Ni και Cr της περιοχής πλησίον του χωριού της Ιεροπηγής. γ) Στο μεγάλο ζήτημα του περιβάλλοντος, φυσικά πάλι σαν πρώτη προσέγγιση και προβληματισμό. Στην περιοχή μελέτης εντοπίζονται αρκετές περιοχές και για αρκετά ιχνοστοιχεία που μπορούν να αποτελέσουν στόχους λεπτομερέστερης διερεύνησης. Τέτοιες είναι οι περιοχές Ακρίτα, Πράσινου - Οξυάς, Ανταρτικού για τα U-Hg με υψηλές σχετικά συγκεντρώσεις. Οι περιοχές με "υψηλό" γεωχημικό ανάγλυφο στα υπόλοιπα στοιχεία που εξετάζονται, αλλά και αυτές με "χαμηλό", μας οδηγούν στην ανάγκη διερεύνησης κατά πόσο έχουμε υπερεπάρκεια-τοξικότητα σε κάποια από αυτά και κατά πόσο ανεπάρκειες με επίσης αρνητικές συνέπειες. "Υψηλό" γεωχημικό ανάγλυφο, στα στοιχεία Cu - Zn - Mn - Pb, έχουμε στις περιοχές Άσκιου - Τρικλαρίου, Προαστείου - Πτολεμαΐδας - Περδία, Κλειδίου, Σκοπού και Αλώνων ενώ στα στοιχεία Co - Ni - Cr έχουμε στο ΝΑ. τμήμα του Φ.Χ. Σιάτιστας, στο ΒΔ. άκρο του Φ.Χ. Άργους Ορεστικού, στο Δ. τμήμα του Φ.Χ. Μεσοποταμιάς και στο ΝΑ. τμήμα του Φ.Χ. Πτολεμαΐδας. Αντίθετα τώρα "χαμηλό" γεωχημικό ανάγλυφο, για τα στοιχεία Cu - Zn - Mn - Pb, έχουμε στο Α. τμήμα του Φ.Χ. Νεστόριου, στο κεντρικό τμήμα του Φ.Χ. Καστοριάς, στο Β. τμήμα του Φ.Χ. Μεσοποταμιάς, στο τμήμα μεταξύ των Φ.Χ. Φλώρινας - Βεύης - Πτολεμαΐδας - Καστοριάς και στο ΒΑ. άκρο του Φ.Χ. Βεύης, ενώ στα στοιχεία Co - Ni - Cr έχουμε από την ευρύτερη περιοχή του κεντρικού τμήματος του Φ.Χ. Καστοριάς μέχρι το ΒΔ. άκρο του Φ.Χ. Πτολεμαΐδας.

Βιβλιογραφία

- ΑΓΓΕΛΙΚΑΚΗΣ Ι. & ΒΡΥΝΙΩΤΗΣ Δ. (1994). Γεωχημικός Άτλας ΒΔ. Μακεδονίας. Έκθεση ΙΓΜΕ.
- HOWARTH R.J. & THORNTON I. (1983). Regional Geochemical Mapping and its Application to Environmental Studies. In: Thornton I. (ed) Applied Environmental Geochemistry. London, Academic Press. Ch. 2, p. 41-73.
- LEVINSON A.A. (1974). Introduction to exploration Geochemistry. Applied Publishing

Ltd. Calgary.

- ΜΑΡΑΤΟΣ Γ. (1973). Επεξηγηματικό τεύχος του Μεταλλογενετικού χάρτη της Ελλάδος. Έκδοση ΕΘΙΓΜΕ.
- ΜΙΓΚΙΡΟΣ Γ., ΒΙΔΑΚΗΣ Μ. & ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ Γ. (1988). Οι οφιόλιθοι στη γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων. Έκθεση ΙΓΜΕ.
- ΠΛΑΣΤΗΡΑΣ Β. (1979). Γεωλογική - κοιτασματολογική μελέτη του ερευνητέου υπό του δημοσίου χώρου Καστοριάς. Έκθεση ΙΓΜΕ.
- THOMPSON I., THORNTON I. & WEBB J.S. (1972). In: J. Sci. Fd. Agric. 23 p. 871-891.
- THORNTON I. & WEBB J.S. (1970). In: Trace Element Metabolism in Animals. Proc. WAAR/IBP International Symposium, Mills C.F. (ed). Livingston, London, 397-407.
- THORNTON I. & WEBB J.S. (1979). Aspects of Geochemistry and Health in the United Kingdom. In: Phil, Trans, R. Soc. London, B 288, 151-168.
- THORNTON I. & ALLOWAY B. J. (1974). Geochemical aspects of the Soil - plant - animal relationship in the development of trace elements deficiency and excess. Proc. Nut.Soc. 33, 257-266.
- Χ΄ΓΕΩΡΓΙΟΥ - ΣΤΑΥΡΑΚΗ Π. (1989). Αξιολόγηση γεωχημικών δεδομένων από ιζήματα περιοχής Χαλκιδικής. Ερμηνεία υπερεπάρκειας ή ανεπάρκειας στοιχείων και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον. Έκθεση ΙΓΜΕ.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 25-34</p>
---	---	--

ΝΙΚΕΛΙΟΥΧΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ. ΠΑΡΟΝ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Α. Αποστολίκας, Ε. Φρογουδάκης, Κ. Μαγκλάρας¹

Περίληψη

Η Δυτική Μακεδονία αποτελεί μέχρι σήμερα ένα σημαντικό μεταλλευτικό κέντρο. Η ΓΜΜΑΕ ΛΑΡΚΟ μια από τις μεγαλύτερες μεταλλευτικές επιχειρήσεις της χώρας δραστηριοποιείται από εικοσαετίας στην περιοχή, εξορύσσοντας λιγνίτη στα Σέρβια Κοζάνης. Την τελευταία δεκαετία ξεκίνησε και την αξιοποίηση νικελιούχων κοιτασμάτων στην Ιεροπηγή Καστοριάς, συγχρόνως επεκτάθηκε στον τομέα του νικελίου και σε όμορες χώρες.

Με στόχο την αύξηση του αποθεματικού της δυναμικού αναπτύσσει μια αξιολογή ερευνητική δραστηριότητα, τα αποτελέσματα της οποίας δίνουν ιδιαίτερα θετικές προοπτικές για ύπαρξη νέων κοιτασμάτων νικελίου. Με την ολοκλήρωση της γεωλογικής έρευνας είναι βέβαιο ότι η δραστηριότητα της ΓΜΜΑΕ ΛΑΡΚΟ θα αποκτήσει μια ιδιαίτερη δυναμική, συνεισφέροντας στην αναπτυξιακή πορεία της Δυτικής Μακεδονίας.

Summary

Western Macedonia is concerned an important mining centre. GMMSA LARKO, one of the biggest mining industries of the country has been active in this region for the past 20 years, excavating lignite in Serbia Kozani. For the last 10 years it has started to process Nickel deposits in Ieropigi Kastoria, simultaneously expanding in other areas of Nickel in neighbouring countries. With the objective of increasing reserves in has developed its research activity, the results of which are positive for new Nickel deposits. Once this geological research is completed, it is certain that the activities of the company will gain particular potential offering a developmental course for Western Macedonia.

Εισαγωγή

Ο ορυκτός πλούτος σαν τομέας ανάπτυξης έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην αναπτυξιακή πορεία της Δυτικής Μακεδονίας και ιδιαίτερα του Νομού Κοζάνης.

Βεβαίως, όπως σε ολόκληρη την Ελλάδα υπήρξε και στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας μια κάμψη της μεταλλευτικής δραστηριότητας. Παρ' όλες τις δυσμενείς εξελίξεις που αντιμετωπίζει ο κλάδος του νικελίου, η Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ εισήλθε με γρήγορους ρυθμούς στην επέκταση της δραστηριότητας της στη Βόρεια Ελλάδα

1. Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ, Αμαλίας 20, 10557 Αθήνα.

και σε όμορες χώρες πραγματοποιώντας σημαντικές επενδύσεις. Στην έρευνα και εξόρυξη νικελίου ανοίγει μια νέα σελίδα στον μεταλλευτικό τομέα και δημιουργεί σημαντικές προϋποθέσεις για την αναπτυξιακή προοπτική της περιοχής Δυτικής Μακεδονίας.

Ιστορικό της Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ

Η ΛΑΡΚΟ ιδρύθηκε το 1963 με σκοπό την αξιοποίηση των σιδηρονικελούχων μεταλλευμάτων Λοκρίδας.

Το 1966 άρχισε η λειτουργία του Μεταλλουργικού Εργοστασίου Λάρυμνας με πρώτη ύλη από το κοιτάσμα Αγίου Ιωάννη Βοιωτίας, ενώ από το 1969 εντάχθηκαν στην παραγωγική διαδικασία και τα Μεταλλεία Ευβοίας.

Το 1982 η ΛΑΡΚΟ πέρασε στην κυριότητα φορέων του ευρύτερου Δημόσιου Τομέα με κύριους μετόχους την ΕΤΕ, την Εμπορική Τράπεζα και την Α.Ε.Ε.Χ.Π. Λιπασμάτων.

Το 1987 η ΛΑΡΚΟ εισήλθε σε καθεστώς εκκαθάρισης εν λειτουργία, το 1988 περιήλθε στην κυριότητα του Ο.Α.Ε.

Το 1989 ιδρύθηκε η Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ με την σημερινή της μορφή και μετόχους την ΔΕΗ, τον ΟΑΕ, την ΕΤΕ και την ΕΤΕΒΑ.

Η θέση της εταιρίας στο διεθνές δίκτυο παραγωγών νικελίου – Δραστηριότητες στην Ελλάδα

Η παγκόσμια παραγωγή νικελίου δείχνει τα τελευταία χρόνια μια σταδιακή αύξηση, αντίστοιχα αυξητική τάση εμφανίζει και η κατανάλωση του (Πίν. 1).

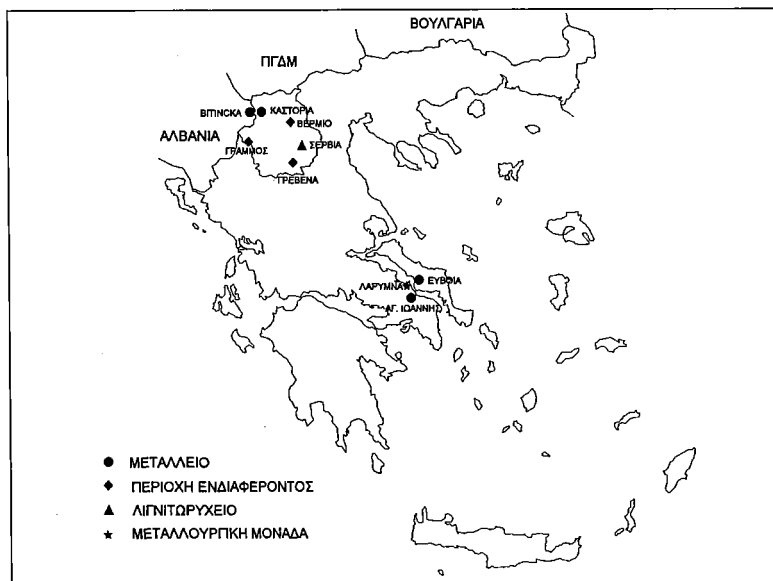
Η Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ αποτελεί τον μοναδικό φορέα αξιοποίησης των Ελληνικών νικελούχων κοιτασμάτων. Η ετήσια παραγωγή μεταλλεύματος στα τρία μεταλλεία της (Αγίου Ιωάννη, Εύβοιας, Καστοριάς) ξεπερνά τα δύο εκατομμύρια τόνους και η παραγωγή νικελίου τα τελευταία χρόνια εμφανίζει αυξητικές τάσεις ξεπερνώντας τους 17.000 Τη ετησίως.

Το 1999 εξαιτίας των δυσμενών συνθηκών στην παγκόσμια αγορά νικελίου, κατά την οποία υπήρξε πτώση των τιμών από 3.3 σε 1.7 \$/Lb, η Εταιρία μας όπως και οι αντίστοιχες παγκοσμίως πέρασαν μια σημαντική κρίση. Πρόσφατα επήλθε μια ανάκαμψη των τιμών νικελίου και αναστροφή του αρνητικού κλίματος.

Πίνακας 1. Παγκόσμια παραγωγή-κατανάλωση νικελίου σε χιλιάδες τόνους

Table 1. World production-consumption of nickel in thousand tons

	1997	1998	1999 Πρόβλεψη
Παραγωγή νικελίου	969	976	980
Κατανάλωση νικελίου	964	969	984



Σχήμα 1. Περιοχές δραστηριότητας της Γ.Μ.Μ.Α.Ε ΛΑΡΚΟ.
Figure 1. Areas of activity of G.M.M.S.A. LARKO.

Το σύνολο του παραγόμενου νικελίου εξάγεται στις Ευρωπαϊκές χαλυβουργίες ανοξείδωτου χάλυβα και καλύπτει το 2% της παγκόσμιας παραγωγής καθιστώντας έτσι την Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ σε παράγοντα με σημαντική οικονομική βαρύτητα για την Ελληνική Οικονομία.

Η Εταιρεία δραστηριοποιείται σε έξι συνολικά Νομούς (Σχ. 1):

- Διοίκηση Αθήνα
- Μεταλλείο Αγίου Ιωάννη Βοιωτίας
- Μεταλλείο Ευβοίας
- Μεταλλείο Καστοριάς
- Λιγνιτωρυχείο Σερβίων Κοζάνης
- Μεταλλουργικό εργοστάσιο Λάρυμνας Φθιώτιδας.

Παράλληλα προωθεί μία επέκταση της δραστηριότητας στις όμορες χώρες και από το 1998 δραστηριοποιείται και στην Αλβανία με το Μεταλλείο νικελίου της Bitincka.

Συνολικά απασχολεί άμεσα 1.250 εργαζόμενους και έμμεσα πλέον των 3.000. Γίνεται σαφές ότι η Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ διασφαλίζει σημαντικό αριθμό θέσεων εργασίας στους έξι Νομούς που δραστηριοποιείται και εξασφαλίζει ικανοποιητικά εισοδήματα και την παραμονή του πληθυσμού στην περιφέρεια και ιδιαίτερα σε Νομούς με σημαντικά προβλήματα απασχόλησης.

Νικελιούχα κοιτάσματα Δυτικής Μακεδονίας

Τα κοιτάσματα νικελίου κατέχουν εξέχουσα θέση στον ορυκτό πλούτο της Ελλάδας και όπως προαναφέρθηκε η συνεισφορά της Εταιρίας μας στην βιομηχανική ανάπτυξη της χώρας είναι σημαντική.

Η ΛΑΡΚΟ είναι σταθερά προσανατολισμένη στον εντοπισμό νέων κοιτασμάτων και η έρευνα παραμένει βασική στρατηγική της επιλογή. Με στόχο συνεπώς την αύξηση ποσοτικά και ποιοτικά των αποθεμάτων της η ερευνητική δραστηριότητα στράφηκε και πέρα από τα μέχρι τώρα κύρια κέντρα έρευνας και εκμετάλλευσης (Βοιωτία - Εύβοια). Οι νέες δραστηριότητες επικεντρώνονται στην Βόρεια Ελλάδα και κυρίως στον χώρο της Δυτ. Μακεδονίας.

Γεωλογικό περιβάλλον κοιτασμάτων

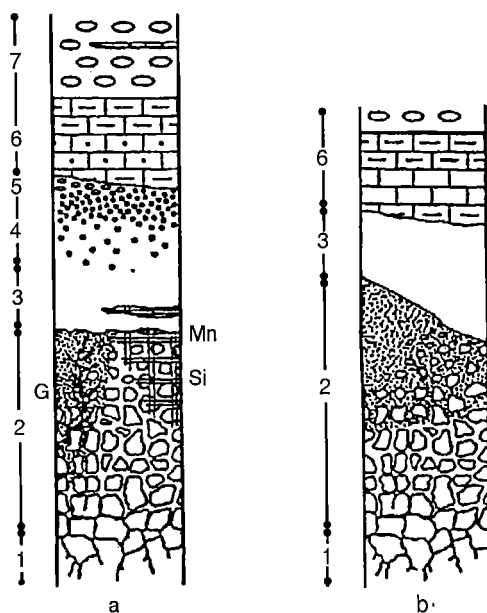
Η εμφάνιση των νικελιούχων κοιτασμάτων στην Δυτική Μακεδονία συνδέεται με την Πελαγονική-Υποπελαγονική γεωτεκτονική ζώνη, των οποίων χαρακτηριστικό είναι η παρουσία υπερβασικών πετρωμάτων που αποτελούν και τα μητρικά πετρώματα των νικελιούχων κοιτασμάτων (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ 1985). Η μεταλλοφορία στην περιοχή του Βερμίου και του Γράμμου εμφανίζεται υπό μορφή στρωμάτων ή φακών και εντοπίζεται στις επαφές οφιολίθων με Ανω Κρητιδικά ιζήματα. Αντιθέτως οι εμφανίσεις του Παλαιοχωρίου Γρεβενών και Ιεροπηγής Καστοριάς υπέρκεινται υπερβασικών πετρωμάτων και υπόκεινται Μειοκαινικών ιζημάτων της Μεσοελληνικής αύλακας.

Από την εξέλιξη των ζωνών αυτών και την σημαντική παρουσία υπερβασικών μαζών στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας προκύπτουν θετικές προϋποθέσεις για την ύπαρξη σημαντικών κοιτασμάτων νικελίου.

Κοιτάσματα Ιεροπηγής Καστοριάς

Η τελευταία δεκαετία αποτελεί σταθμό για την έρευνα και την εκμετάλλευση νικελιούχων κοιτασμάτων στην Δυτική Μακεδονία. Κατά την διάρκεια 1989-1992 πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες γεωλογικές-γεωτρητικές έρευνες στο χώρο της Ιεροπηγής Καστοριάς με σκοπό την διερεύνηση και αξιολόγηση των εμφανίσεων νικελιούχου λατερίτη της περιοχής, οι έρευνες συνεχίζονται και σήμερα στην ευρύτερη περιοχή των μεταλλείων με θετικά αποτελέσματα.

Η έρευνα έδωσε ένα σημαντικό λατεριτικό κοιτάσμα, το οποίο αναπτύσσεται επί των οφιολίθων και υπόκειται Μειοκαινικών ασβεστολιθικών κροκαλοπαγών (Σχ. 2). Πρόκειται για τυπικούς λατερίτες στους οποίους κατά τόπους εμφανίζονται και οι τρεις ζώνες ενός πλήρους λατεριτικού προφίλ, σιδηρούχος - νοντρονιτική-σαπρολιθική ζώνη (SKARPELIS 1997). Τα αποτελέσματα της μέχρι τώρα έρευνας κρίνονται ιδιαίτερα θετικά και τα αποθέματα που εντοπίστηκαν ξεπερνούν τα 6.000.000 Tn με αξιόλογη περιεκτικότητα νικελίου, η οποία κατά μέσο όρο ανέρχεται σε 1.35 % Ni (Πίν. 2). Επειδή η ανάπτυξη του σιδηρούχου τμήματος εί-



Σχήμα 2. Σχηματική τομή νικελιούχων κοιτασμάτων Ιεροπηγής Καστοριάς (a) – Bitincka Αλβανίας (b): 1. Υπερβασικά 2. Σαπρολιθική-Νοντρονιτική ζώνη 3. Γκαϊτιτική ζώνη 4. Πισολιθικό σιδηρούχο κάλυμμα 5. Ιζηματογενές σιδηρομετάλλευμα 6-7. Ηώκαινικά ιζήματα. Si: Πυριτωμένα υπερβασικά και σαπρόλιθος G: Φλέβες γαρνιερίτη Mn: Οξειδία μαγγανίου.

Figure 2. Schematic sections through the lateritic profiles of Kastoria(a) and S.E Albania (b): 1. bedrock 2. saprolite-clay zones 3. goethitic zone 4. pisolitic ferricrete 5. reworked iron-ore 6-7. eocene sediments. Si: silicified bedrock and saprolite, G: garnierite veins, Mn: managanese oxides (SKARPELIS 1997).

ναι περιορισμένη τα αποθέματα αυτά αφορούν μόνο το μη σιδηρούχο κοίτασμα. Η υψηλή περιεκτικότητα νικελίου σε συνδυασμό με τον παράγοντα σχέση αποκάλυψης και τα σημερινά ισχύοντα τεχνικοοικονομικά δεδομένα καθιστούν ένα σημαντικό μέρος των αποθεμάτων (περί τα 4.000.000 tn) εκμεταλλεύσιμα.

Κοίτασμα Bitincka Αλβανίας

Θεωρείται σκόπιμο να αναφερθούμε στο κοίτασμα Bitincka Αλβανίας, το οποίο σε συνδυασμό με το κοίτασμα Ιεροπηγής και τα πιθανά κοιτάσματα στην Δυτική Μακεδονία μπορούν να επιφέρουν μια ανακατανομή των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων της ΛΑΡΚΟ.

Το κοίτασμα Bitincka βρίσκεται σε απόσταση περίπου 15 χλμ. από το Μεταλλείο Ιεροπηγής. Αναπτύσσεται στην βόρεια προέκταση της Δυτικής πλευράς της

Πίνακας 2. Μέση χημική σύσταση επί της (%) νικελιούχου μεταλλεύματος Ιεροπηγής Καστοριάς και Bitincka Αλβανίας (ΛΑΡΚΟ)

Table 2. Middle chemical composition (%) of nickel ore in Ieropigi of Kastoria and Bitincka of Albania (LARKO)

Ιεροπηγή										
Καστοριάς	Loi%	Fe₂O₃	Ni	Co	SiO₂	CaO	MgO	Al₂O₃	Cr₂O₃	MnO
Σιδηρούχος										
Ζώνη	12,80	52,00	1,15	0,06	15,00	8,30	3,10	3,50	2,70	0,70
Σαπρολιθική										
Ζώνη	15,20	19,10	1,35	0,06	32,30	12,00	16,70	1,52	1,22	0,51
Bitincka										
Αλβανίας										
Σιδηρούχος										
Ζώνη	13,50	51,40	1,12	0,07	13,20	9,80	3,70	0,90	3,10	0,48
Σαπρολιθική										
Ζώνη	16,80	18,90	1,32	0,05	37,50	4,60	16,50	2,70	1,12	0,25

Μεσοελληνικής αύλακας και εμφανίζει τα ίδια χαρακτηριστικά με το κοίτασμα Ιεροπηγής (Σχ. 2). Πρόκειται για in situ νικελιούχο μετάλλευμα που σχηματίστηκε από την χημική αποσάθρωση των υπερβασικών της περιοχής (SKARPELIS et al. 1996), το μεταλλοφόρο στρώμα έχει ένα μήκος 2 Km με μέσο πάχος του σιδηρούχου οριζόντα 2 m και του σαπρολιθικού 4 m.

Πρόκειται για ένα μεγάλο σε μέγεθος κοίτασμα, τα συνολικά αποθέματα υπερβαίνουν τα 100.000.000 Tn με μέση περιεκτικότητα 1,20% Ni (Πίν. 2).

Το κοίτασμα ερευνήθηκε εν μέρει το 1998 από την Εταιρία μας. Μόλις οι συνθήκες το επιτρέψουν θα συνεχισθεί η έρευνα και θα αρχίσει η εκμετάλλευσή του.

Μεταλλοφόρες εμφανίσεις – Περιοχές ενδιαφέροντος

Εκτός των ερευνηθέντων κοιτασμάτων, ο ευρύτερος χώρος της Δυτικής Μακεδονίας όπως προαναφέρθηκε παρουσιάζει σημαντικές γεωλογικές προϋποθέσεις για ύπαρξη και άλλων κοιτασμάτων νικελίου. Η Εταιρία μας διαθέτει έναν μεγάλο αριθμό Αδειών Μεταλλευτικών Ερευνών και ήδη βρίσκεται στο τελικό στάδιο αξιολόγησης των στοιχείων για ορισμένες περιοχές με θετικά αποτελέσματα (Πίν. 3) που προέκυψαν από την κοιτασματολογική έρευνα τα τελευταία χρόνια.

Έχουμε βάσιμες ενδείξεις για εντοπισμό σημαντικών κοιτασμάτων, τα οποία θα μπορούσαν να ενταχθούν στα υπό εκμετάλλευση κοιτάσματα. Πρόκειται για περιοχές που καλύπτουν τους Νομούς Κοζάνης - Γρεβενών και Καστοριάς, επισημαίνεται όμως ότι η κοιτασματολογική έρευνα δεν έχει ολοκληρωθεί και βρίσκεται σε εξέλιξη.

Περιοχή Δυτικού Βερμίου Νομού Κοζάνης

Ο Νομός Κοζάνης και ιδιαίτερα ο χώρος του Δυτικού Βερμίου στον άξονα Ακρινή-Πύργοι παρουσιάζει τεράστιο κοιτασματολογικό ενδιαφέρον (PHOTIADIS et al. 1998, AARNISALO et al. 1999). Εμφανίσεις νικελιούχου μεταλλεύματος εντοπίζονται στην ευρύτερη περιοχή Ακρινής, αλλά την μεγαλύτερη εξάπλωσή τους έχουν στη περιοχή Κομνηνών.

Η πρώτη φάση της έρευνας που αφορά λεπτομερή χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:5000 της περιοχής μεταξύ Κάτω Γραμματικού-Ακρινής και δειγματοληψίες εδάφους για διενέργεια χημικών αναλύσεων έχει ολοκληρωθεί. Από τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτει μια αξιολογή μεταλλοφορία ανατολικά των οικισμών Κομνηνά-Άγιος Χριστόφορος, μήκους άνω των 3 Km με μέσο πάχος 6 μέτρα και αξιολογες περιεκτικότητες νικελίου (Πίν. 3), που είναι κατά μέσο όρο 1,32%. Επίσης μικρότερης έκτασης μεταλλοφορία αλλά με υψηλές περιεκτικότητες νικελίου (1,50%) εντοπίστηκε ανατολικά της Ακρινής. Στο άμεσο μέλλον προγραμματίζεται η έναρξη των γεωτρητικών εργασιών στους χώρους κοιτασματολογικού ενδιαφέροντος, με σκοπό τον ακριβή προσδιορισμό των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών του κοιτάσματος.

Περιοχή Παλαιοχωρίου - Ποντινής Νομού Γρεβενών

Στη περιοχή Παλαιοχωρίου-Ποντινής εμφανίζονται επί των υπερβασικών μια σειρά φακών νικελιούχου μεταλλεύματος με σημαντικότερο αυτόν νοτιοδυτικά του οικισμού Παλαιοχωρίου. Πρόκειται για αυτόχθονο μαγνητιτικό σιδηρούχο μετάλλευμα που σχηματίστηκε από τη λατεριτίωση του υποκείμενου σεορπεντινίτη (ΟΡΦΑΝΟΥΔΑΚΗΣ et al. 1997). Το μήκος της μεγαλύτερης εμφάνισης ανέρχεται σε 300 m, με μέσο πάχος 5 m και μέση περιεκτικότητα νικελίου 1,44%. Οι εμ-

Πίνακας 3. Ενδεικτική χημική σύσταση επί της (%) νικελιούχων εμφανίσεων περιοχών Βερμίου - Παλαιοχωρίου - Γράμμου (ΛΑΡΚΟ)

Table 3. Indicative chemical composition (%) of nickel's occurrence of the areas Bermio - Paleochori - Grammos (LARKO)

Περιοχή	LOI%	Fe ₂ O ₃	Ni	Co	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO
Δυτικό Βέρμιο										
N. Κοζάνης	5,75	63,30	1,32	0,08	11,98	0,18	5,97	7,94	3,17	0,92
Παλαιοχωρι										
N. Γρεβενών	6,03	55,72	1,44	0,10	20,91	0,33	5,55	6,09	3,14	0,53
Γράμμος										
N. Καστοριάς	8,50	62,40	0,81	0,06	13,50	1,23	1,81	6,55	2,97	0,61

φαινίσεις καλύπτονται από Μολασσικούς σχηματισμούς της Μεσοελληνικής αύλακας. Με βάση την γεωλογική δομή, μεγάλη ανάπτυξη των υπερβασικών και των Μολασσικών στρωμάτων και σε συνδυασμό με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του μεταλλεύματος (Πίν. 3), η περιοχή παρουσιάζει ιδιαίτερο μεταλλευτικό ενδιαφέρον και θα αποτελέσει στο άμεσο μέλλον αντικείμενο λεπτομερούς έρευνας.

Περιοχή Γράμμου Νομού Καστοριάς

Στην περιοχή του ορεινού όγκου Γράμμου η Υποπελαγονική ζώνη αποτελείται από υπερβασικά πετρώματα και ασβεστολίθους του Ανώτερου Κρητιδικού. Στην επαφή των ασβεστολίθων με τα υποκείμενα υπερβασικά αναπτύσσονται φακοί σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος (PLASTIRAS 1980), η παρουσία μεγάλου μήκους επαφής Κρητιδικών ασβεστολίθων και υπερβασικών πετρωμάτων αποτελεί αξιόλογο παράγοντα για την προοπτική ύπαρξης σημαντικής μεταλλοφορίας. Η περιοχή αυτή έχει προγραμματισθεί να αποτελέσει στο άμεσο μέλλον αντικείμενο λεπτομερούς έρευνας. Επίσης φακοί μεταλλεύματος εμφανίζονται και εντός των ιζημάτων της Μεσοελληνικής αύλακας. Πρόκειται για μετάλλευμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο και περιορισμένη έκταση, συνεπώς οι εμφανίσεις αυτές δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο κοιτασματολογικό ενδιαφέρον.

Παραγωγικές δραστηριότητες στη Δυτική Μακεδονία

Η παραγωγική δραστηριοποίηση της ΛΑΡΚΟ στον τομέα του νικελίου στην Δυτική Μακεδονία ξεκίνησε το 1990 με την εκμετάλλευση του κοιτάσματος Ιεροπηγής Καστοριάς, αλλά η συστηματική εκμετάλλευση του άρχισε το 1996. Το διάστημα της τριετίας 1996-1998 για την ανάπτυξη των μεταλλείων έχουν επενδυθεί πάνω από 1.000.000.000 δρχ. για έργα υποδομής, εγκαταστάσεις και εξοπλισμό.

Μέχρι σήμερα παρήχθησαν και μεταφέρθηκαν στην μεταλλουργική μονάδα Λαρυμνας 900.000 τόνοι μεταλλεύματος με μέση περιεκτικότητα νικελίου 1.46%. Η εξόρυξη και η μεταφορά του μεταλλεύματος πραγματοποιείται με εργολαβικό εξοπλισμό από εργολάβους της ευρύτερης περιοχής. Η ΛΑΡΚΟ απασχολεί στα μεταλλεία της άμεσα 15 άτομα, ακόμη 120 άτομα απασχολούνται σαν προσωπικό των εργολάβων. Θα πρέπει να σημειωθεί ακόμη ότι η Εταιρία μας δραστηριοποιείται και στο Νομό Κοζάνης, όπου διαθέτει ένα από τα μεγαλύτερα ιδιωτικά λιγνιτωρυχεία της χώρας μας. Η παραγωγή λιγνίτη πραγματοποιείται στη Λάβα Σερβίων για την κάλυψη των αναγκών της μεταλλουργικής μονάδας μας σε καύσιμη ύλη. Παράγονται ετησίως με εργολαβικό εξοπλισμό 400.000 τόνοι λιγνίτη, από το 1977 έως σήμερα παρήχθησαν συνολικά 4.000.000 τόνοι λιγνίτη. Στην ευρύτερη περιοχή των Σερβίων διαθέτουμε μια σειρά Οριστικών Παραχωρήσεων με βεβαιωμένα αποθέματα ύψους 15.000.000 tn. Άμεσα και έμμεσα η ΛΑΡΚΟ απασχολεί στην περιοχή συνολικά 150 άτομα.

Αποτίμηση της σημερινής κατάστασης – Προοπτικές ανάπτυξης στη Δυτική Μακεδονία

Πραγματοποιώντας μια γενική αποτίμηση της μεταλλευτικής δραστηριότητας της ΛΑΡΚΟ στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας θεωρούμε ότι ήταν ιδιαίτερα αποδοτική στο διάστημα που αυτή βρίσκεται σε εξέλιξη. Από την μέχρι τώρα πορεία της έρευνας προέκυψαν σημαντικά κοιτάσματα νικελίου, τα οποία στήριξαν σε σημαντικό βαθμό την παραγωγή νικελίου της χώρας μας.

Η εγκατάσταση μονάδας εξόρυξης-εμπλουτισμού στην ευαίσθητη περιοχή της Ιεροπηγής Καστοριάς επέδρασε ιδιαίτερα στην αύξηση της απασχόλησης του πληθυσμού και στην οικονομία της περιοχής. Συνολικά στις δύο παραγωγικές μονάδες της στη Δυτική Μακεδονία δημιούργησε 270 θέσεις εργασίας και το συνολικό ποσό που διοχετεύεται στην τοπική οικονομία ανέρχεται σε 5 δις. δρχ. ετησίως προβλέπεται ότι στο μέλλον με την προωθούμενη και επιβεβλημένη συνεργασία μας με την Αλβανική πλευρά η συνεισφορά στον τομέα αυτό θα είναι θετικότερη.

Επισημαίνουμε ότι η έρευνα της ΛΑΡΚΟ εμφανίζει μια ιδιαίτερη δυναμική και εκτείνεται σε όλο τον Ελλαδικό χώρο και κυρίως στην Μακεδονία. Από τα στοιχεία των κοιτασματολογικών εργασιών που έχουν διεξαχθεί από την Εταιρία μας στον ευρύτερο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας προκύπτει ότι υπάρχουν σημαντικές προϋποθέσεις ύπαρξης κοιτασμάτων με σημαντικά ποσοτικά και ποιοτικά μεγέθη, τα οποία θα οδηγήσουν σε ενίσχυση της μεταλλευτικής δραστηριότητας. Τα οριστικά αποτελέσματα βεβαίως αναμένονται μετά το πέρας και των γεωτρητικών εργασιών.

Το παραγόμενο σήμερα στη Βόρεια Ελλάδα μετάλλευμα κατεργάζεται στην μεταλλουργική μονάδα της Λάρυμνας Φθιώτιδας, με υψηλό για την Εταιρία μας κόστος μεταφοράς. Για τον λόγο αυτό η ΛΑΡΚΟ προγραμματίζει άμεσα την εγκατάσταση στην περιοχή Καστοριάς υδρομεταλλουργικής μονάδας κατεργασίας του μεταλλεύματος σε πρώτη φάση σε ημι-βιομηχανική κλίμακα, με προοπτικές επέκτασης των εγκαταστάσεων για την κατεργασία του συνόλου των μεταλλευμάτων της Βόρειας Ελλάδας. Η εφαρμογή της καινοτόμου υδρομεταλλουργικής μεθόδου, η οποία αναπτύχθηκε από την ΛΑΡΚΟ σε συνεργασία με το ΕΜΠ εμφανίζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Επεξεργασία μεταλλευμάτων με κατώτερο όριο περιεκτικότητας Ni 0.85%, με αποτέλεσμα την αύξηση των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων νικελίου της χώρας μας.
- Δυνατότητα επεξεργασίας του συνόλου των μεταλλευμάτων της Βόρειας Ελλάδος κοντά στο χώρο εξόρυξης, χωρίς να απαιτείται η μεταφορά τους στη μεταλλουργική μονάδα της Λάρυμνας.
- Χαμηλό κόστος μεταλλουργικής κατεργασίας.

Με βάση τα παραπάνω η μελλοντική πορεία της μεταλλευτικής δραστηριότη-

τας της ΛΑΡΚΟ φαίνεται να είναι ιδιαίτερα αισιόδοξη και θα μπορούσε να αναδειχθεί σε έναν σημαντικό παράγοντα στην αναπτυξιακή προοπτική της Δυτικής Μακεδονίας. Έχουμε την πεποίθηση ότι η Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας και οι φορείς των Νομών θα αξιοποιήσουν σε συνεργασία με την ΛΑΡΚΟ τις δυνατότητες που παρουσιάζονται, για το καλό της περιοχής.

Βιβλιογραφία

- AARNISALO J., LAMBERG P., PAPUNEN H., MAKELA K., ELIOPOULOS D., RIPIS C., DIMOU E., MAGLARAS K., APOSTOLIKAS A., MELAKIS M., ECONOMOU-ELIOPOULOS M., BOURGEOIS B., ELO S., PIETILA R., VAROUFAKIS S., VASSILAS N., PERANTONIS S., AMPAZIS N., CHAROU E., GUSTAVSSON N., STEFOULI M., MORTEN E., SPYROPOULOS C., VOUROUROS G., STAVRAKAS Y. & KATSOULAS D. (1999). Integrated technologies for minerals exploration: Pilot project for nickel ore deposits. In: Proceedings of the second annual workshop (EUROTHEN '99), Cagliari Sardinia, Italy, 3-27.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδας. University studio press, Θεσσαλονίκη, p. 207.
- ΟΡΦΑΝΟΥΔΑΚΗΣ Α., ΜΠΟΣΚΟΣ Ε. & ΚΑΣΤΡΙΤΗΣ Ι. (1997). Ορυκτολογική και γεωχημική μελέτη του Fe-Ni-συχου λατερίτη της περιοχής Παλαιοχωρίου (Νομού Γρεβενών). Γεωενημέρωση, 1 (27).
- PHOTIADES A., SKOURTSIS-CORONEOU V. & GRIGORIS P. (1998). The stratigraphic and paleogeographic evolution of the eastern Pelagonian margin during the Late Jurassic-Cretaceous interval (western Vermion Mountain – western Macedonia, Greece). In: Bulletin of the Geological Society of Greece, Patras, Vol. XXXII/1, 71-77.
- SKARPELIS N. (1997). Eocene nickel deposits in Greece and Albania. In: Papunen (ed.) Mineral Deposits, Rotterdam, 503-506.
- SKARPELIS N., GRAZHDANI A. & BURRI S. (1996). Tertiary nickel lateerites of S.E. Albania. Geociencias, Rev. Univ. Aveiro, 10, 1, 1-13.

**REMEDICATION OF SOIL AND GROUNDWATER BY
HIGH VOLATILE CHLORINATED HYDROCARBONS
IN PLEISTOCENE AQUIFERS
IN THE COLOGNE EMBAYMENT, GERMANY**

P. Aslanidis*, T. Kreuser, M. Schlierkamp***

Abstract

A combined soil and groundwater contamination in one of the former industrial sites of Cologne provides a good example how to solve contamination problems and allocate a new construction planning. During remediation the geological-hydraulic situation had to be considered as well as the specific interests of all parties in respect to environmental protection under reasonable economic propositions. The remediation of contaminated soil was performed by 6 separate soil vapour extraction devices with adsorption on active carbon filters positioned on individual centres of soil pollution. Soil vapour extraction for 5 contamination centres were terminated in 1999 after 10 months of activity by reaching constant values of Tetrachlorethylene and Trichlorethylene below 10 mg/m³. One centre is still extracted. Groundwater remediation is proposed by a shallow tray horizontal stripper with a total final concentration of less than 10 µg/l chlorinated hydrocarbons.

Introduction

The contamination of groundwater by high volatile chlorinated hydrocarbons is an ubiquitous phenomenon because of their high mobility and diffusion rates and their frequent use in various industrial production and treatment processes (as dissolution and dilution agents or in cleaning procedures of textiles, metals and other materials) in the past (HOV 1987). Additionally they were used to degrease metallic surfaces, to decompose animal carcasses, or as an intermediate product for the production of plastic material.

Out of 100% of expenditures utilised for groundwater remediation 80 % of the costs are needed for the expulsion of chlorinated hydrocarbons (BALLSCHMITTER, HALTRICH, KÜHN & NIEMITZ 1987). This group of contaminants thus

* Dr. Panagiotis Aslanidis & Michael Schlierkamp, Dipl. Geol., G.A.S. GmbH, Vogelsangerstraße 162, 50823 Koeln

** Prof. Dr. T. Kreuser, Geology Department, Zuelpicherstraße 49 a, 50674 Koeln

occupies an important place in many remediation concepts especially since they are extremely mobile in aqueous and gaseous phases, are not reduced effectively by micro-organisms and may be persistent for many decades. Furthermore some of them are cancerogenic, i.e. Vinylchloride, a typical degradation product occurring in "ancient" contaminations, also some representatives of this group have demonstrated mutagenous properties in animal test series.

For the city of Cologne several dozens of sites contaminated by chlorinated hydrocarbons are known, however, only few of them are actually under extraction or are already remediated. There is strong evidence that at least the same number of contamination sites is still unknown so far and awaits further action. Groundwater remediation projects have to be financed by local, regional or federal authorities and it takes a lot of time until these projects reach a phase when remediation can be started. Problems in prediction of depth of contamination, hydraulic properties, groundwater flow direction, artificial draw down of groundwater table, legal issues of responsibilities of former and present users, exact input of contaminants, mobility through time, adsorption capacity of the solid aquifer material, diffusion and convection processes in time and space in a 4-dimensional model make each case complicated and difficult. The present paper presents a project without giving detailed information on location, names or historical information due to data security reasons being characteristic for many other examples in the area. It is attempted further to demonstrate all relevant steps of project management and administration, i.e. historical industry research, contaminant spectrum, mobility of parameters in the unsaturated and saturated zone as well as measures which already have been and will be taken at a later stage.

Geologic framework

The area of interest is situated in the Cologne embayment which is characterised by a Miocene downwarp filled up successively by Pleistocene to Holocene fluvial deposits of the ancient river Rhine. The groundwater table is unconfined and the aquifer consists of coarse grained sand and gravel of the Lower Terrace. Frequently these deposits are overlain by silts and clays from suspension deposits of former oxbow lakes and cut off meanders of the former Rhine valley (Fig. 1).

Within the city limits anthropogenic fills which consist mainly of disintegrated building material (bricks, mortar, cement, ashes, etc.) are found ubiquitously. They were spread over the entire city area after removing the destroyed buildings left over after world war II. In depths between 12 to > 20 m the Quarternary/Tertiary boundary is located the latter consisting of silts and clays with low hydraulic conductivities. They provide an impermeable layer and act as the aquiclude for the quarternary aquifer.

The geologic and hydraulic properties of the aquifer are important for the mi-

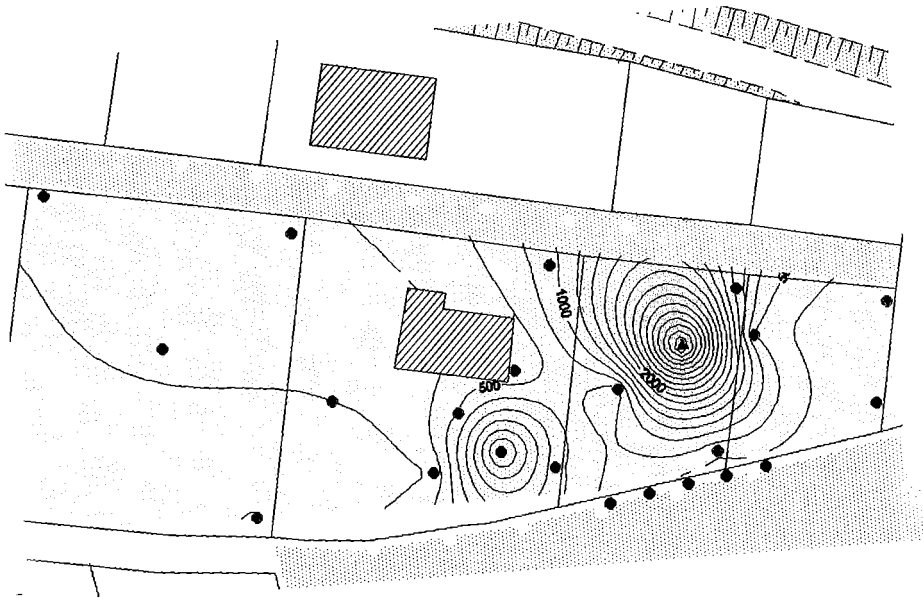


Figure 1. Contamination of chlorinated hydrocarbons in the soil air on the area of a former industrial site before remediation. The length of the area is appr. 160 m. The focus of contamination shows concentrations up to 15,000 mg/m³.

gration of chlorinated hydrocarbons. The permeability, adsorption ratios on grains or organic matter in the unsaturated zone and low hydraulic conductivities in fine grained soils govern the migration pathways and the residence time of chlorinated compounds before they reach the aquifer. It is important to map the unsaturated zone in order to estimate hydraulic conductivity, re- and adsorption ratio and the original contaminant site by a number of shallow drill holes. Especially, the occur-

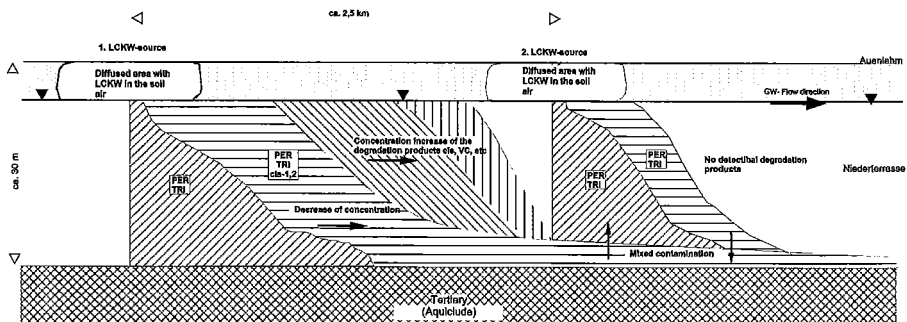


Figure 2. 2-dimensional reconstruction of the contaminant plume of Trichlorethylene and Tetrachlorethylene within the aquifer including the locations of input.

rence of anthropogenic material (mostly with high hydraulic conductivities) or the mapping of "windows" in the uppermost loamy deposits which allow a direct inflow of contaminants into the aquifer has to be known in detail before any scheme for remediation processes can be developed.

The chlorinated compounds offer a wide range of densities resulting in a different migration, diffusion and transport behaviour in the aquifer. The combination of the chlorinated compounds also may indicate the "age" of the contaminant plume which often is evidence for the origin of contamination and the responsible (Fig. 2).

Physical-chemical properties of the main contaminants

High volatile chlorinated hydrocarbons are low-molecular, mostly synthetic hydrocarbons where one or more hydrogen atoms are substituted by a corresponding number of chlorine atoms. With rising degree of substitution the density, boiling point and lipophily rise simultaneously with decreasing vapour pressure and solubility. The five most important compounds (Dichlorethane, Dichlormethan, 1,1,1-Trichlorethane, Trichlorethylene and Tetrachlorethylene) are harmful to health (DREHER 1986). They are classified under class 3 Water Risk Assessment (WK3: strongly harmful; SCHULTE, 1997).

In 1994, the total consumption in Germany of these 5 compounds amounted to 260,000 tons. The main pollution was confirmed via the atmosphere, only minor amounts (< 2 %) are transported into the groundwater (RIPPEN, 1992).

The specific density of individual chlorinated hydrocarbons vary between 0.91 g/ml (Vinylchloride, VC) and 1.62 g/ml (Tetrachlorethylene). The boiling point at 1,023 bar varies between -13 °C and + 121 °C. Solubility attains 100 mg/l for Tetrachlorethylene and 20,000 mg/l for Dichlorethane. The biotic degradation is neglectable with the exception of Dichlorethane.

Under aerobic conditions Tetrachlorethylene is sequentially degraded reductively: at first it is transformed to Trichlorethylene, then to *cis*-1,2-Dichlorethylene and finally to Vinylchloride (McCARTY & REINHARD 1985). The presence of these metabolites is an important indication for the estimation of the approximate age of the contamination and the development of a contaminant plume in the aquifer (CHAPELLE & LOVELY 1992).

Migration and mobility of contaminants

Three types of migration mechanisms are known:

1. in phase
2. dissolved (in seeping water and/or groundwater)
3. dissolved and gaseous

In principle, one has to assume a two- or polyphase flow pattern in the aquifer

for it is possible to detect these 3 phases separately in the aquifer (KOWALEWSKY 1993).

Chlorinated hydrocarbons can be transported only in phase if their concentration is above the residual saturation. The latter is dependant on the hydraulic conductivity in the saturated and unsaturated zone as well as on the water solubility of the individual compound. Hydraulic conductivities of 1×10^{-4} m/s show a residual saturation of 30 l/m³-50 l/m³, others of 1×10^{-2} m/s attain only a saturation 3 l/m³-5 l/m³. Values in the unsaturated zone are 1.5 times above those in the saturated zone. In the aquifer the hydrocarbons coexist in a 2-phase system with water under generally vertical flow directions (GRATHWOHL & EINSELE 1991). Lateral transportation is performed mainly by dissolution processes in the flowing groundwater body.

If chlorinated hydrocarbons are soluted in water, the density of the solution is only slightly higher than that of the environment and a horizontal transport predominates. Once the compounds have penetrated the aquifer as a phase, they are accumulating in sinks and are relatively stationary thereafter.

The high volatility of contaminants in the unsaturated zone creates a gas-filled porespace in the soil (conductivities must be available), transport is performed laterally and vertically whereby large areas may be contaminated by diffusion. Spreading mechanisms are explained by diffusion processes in the unsaturated zone which occur 2-3 decimal multiplication factors faster than in the aquifer (SCHWILLE & WEBER 1991). In any remediation concept, the characteristic transport variables have to be included resulting in a cost effective and ecologically well balanced extraction process.

The biotic degradation of monoaromatic hydrocarbons in the aquifer has been observed to a limited extent in nature, however, because of the low oxygen concentration only low degradation rates were observed. Conditions of degradation strongly increase when oxygen is introduced by soil vapour injection processes by a series of several injection wells combined with sufficient quantities of nitrate as electron acceptor (HUTCHINS 1991).

History and research framework of the contaminated site

Before starting the project a comprehensive historical research was performed. Data material from different sources were incorporated, such as reports, files from the local administration offices, ancient telephone registers, company records and analyses. The contamination of the soil vapour is characterised by high proportions of chlorinated compounds (> 90 % Tetrachlorethylene) with a concentration of up to 15,000 mg/m³ in the centre of contamination in various depths. (Fig. 1)

Contaminant input originated from two different sources: 1. leakage of two tanks situated above surface and additionally from a leaking channel in the subsur-

face; 2. the area lies directly in the downstream flow direction of a massive groundwater contamination plume with chlorinated compounds 2 km away from the site. Both plumes consist mainly of Tetrachlorethylene and Trichlorethylene. Despite of two detailed contamination centres which were excavated in the past the concentration values for chlorinated hydrocarbons in the soil vapour were still extremely high. Also, no change in the groundwater contamination was recognisable although the centre of contamination some 2 km upstream underwent intense groundwater stripping for more than 8 years (Fig. 2).

The groundwater table is approximately 9 m below surface and attains a thickness of 15 m. The aquifer consists of sands and gravel of the Lower terrace of the Rhine. This composition is accompanied by high porosities and excellent hydraulic conductivities (appr. 5×10^{-3} m/s) resulting in a rapid flow velocity of several m/day. The Quarternary aquifer is limited by impermeable Tertiary deposits at 19-23 m depth.

The entire aquifer in the surrounding research area is highly contaminated by chlorinated compounds. Although a separation of different input sources is extremely difficult, it was attempted to detect single input sources by analysing the different compositions of the compounds. In the lower compartments of the aquifer, besides Trichlorethylene and Tetrachlorethylene the degradation product *cis*-1,2-Dichlorethylene has been detected. Since this metabolite product takes some time to be transformed and is not present in the upper compartments of the aquifer it may be assumed that this plume derives from another contamination plume situated some distance upstream. To reach the lower aquifer compartments a considerable amount of time is necessary. If this input is considered as autochthonous, the contaminant should also be detected in the medium and upper compartments of the aquifer. In the upper groundwater compartments *cis*-1,2-Dichlorethen is completely missing. There, only Tetrachlorethylene and Trichlorethylene were detected (Fig. 3).

Because the composition of the entire group of chlorinated hydrocarbons is equal to the locally measured soil vapour composition it is assumed that the contamination of the upper aquifer is due to an autochthonous contamination input from the surface. Additional evidence is supplied by the arriving groundwater contamination values by chlorinated compounds, and additional rising concentrations of these compounds further downstream of the research area.

In the upstream area of the contamination site, groundwater was remediated by pump-and-treat measures with steadily decreasing values since 8 years. Because of the present results, the authorities were informed about the existence of a second contamination centre. A detailed conceptual model was presented to the authorities of the city council which will lead to a groundwater remediation in the near future by shallow tray strippers.

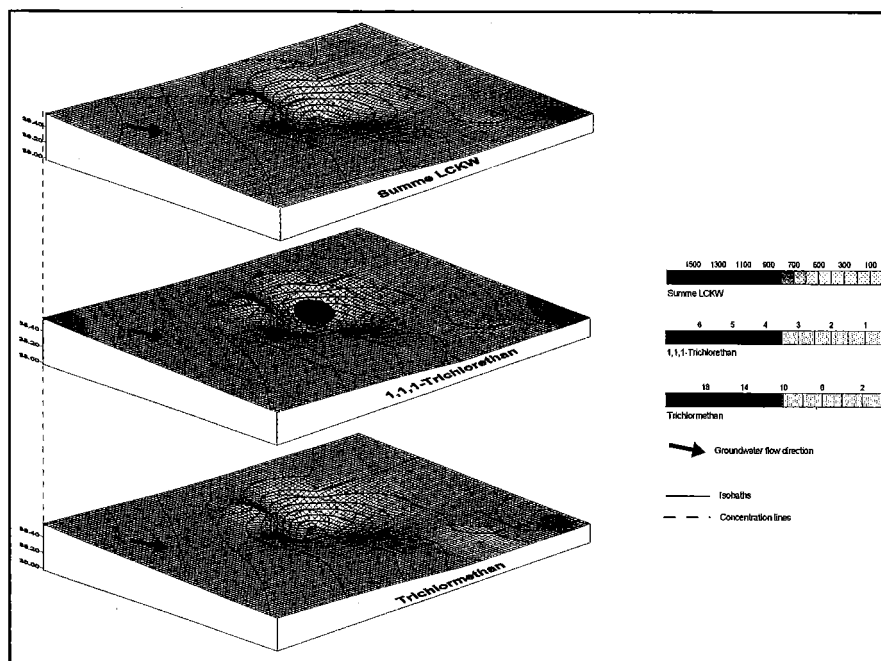


Figure 3. Groundwater draw down of the incoming flow directly before the main contamination with highest foci of concentrations of Trichlormethane, 1,1,1-Trichlorethene and the sum of all high volatile chlorinated hydrocarbons. Three separate foci of contamination were detected.

Research on possible remediation measures

From literature, recommendations for the remediation of high volatile chlorinated hydrocarbons from groundwater and the unsaturated zone are gathered although in this paper only general measures are presented which have to be modified in detail for individual case studies (ITVA 1996).

During the preliminary estimation of potential contaminant source areas, samples were taken from the existing soil vapour extraction wells and from some up- and downstream located groundwater sampling wells which were analysed and examined by several assessment lists. These are: the "BAYERISCHE LIST (1989)" and the "LAWA LIST (1994)" which appoint boundary values for a functionally orientated specific use. From these statements the action, in combination with the local authorities involved, in regard to the soil vapour extraction and groundwater remediation, resulted.

Preliminary remediation investigations in regard to soil vapour extraction incorporated 21 dynamic soundings placed in the centres of contamination. From soil vapour analyses the concentrations values were rated and the actual contamination

centres were mapped.

Based on these results, 22 permanent soil vapour extraction wells were drilled with a diameter of 2" unto a depth of 10 m. Procedures of this technique are outlined in STRAUB (1992) and are not further explained here. A test phase of two weeks with one soil vapour extraction plant with a capacity of 360 m³/h was started 1 month later. From each soil vapour extraction well the range of transmission was measured with an electronic anemometer in order to plan the sufficient number of single extraction devices and the best combination during active extraction on single soil vapour extraction wells. The range of transmission did not differ considerably, the sandy-gravelly subsurface usually showed ranges from 15 - 22 m.

Remediation measurements

A total of 6 individual soil vapour extraction devices were installed. Each plant had an extraction capacity of 360 m³/h and was equipped with 2 separate active carbon filters operating in line. Individual wells were extracted alternatively (with a maximum of 3 wells connected at the same time controlled by one plant). During the first weeks all extraction plants were analysed 4 times per week which was reduced to 2 times a week after 3 months. In accordance to the analysed chlorinated hydrocarbon concentrations, wells were extracted actively or disconnected and left for

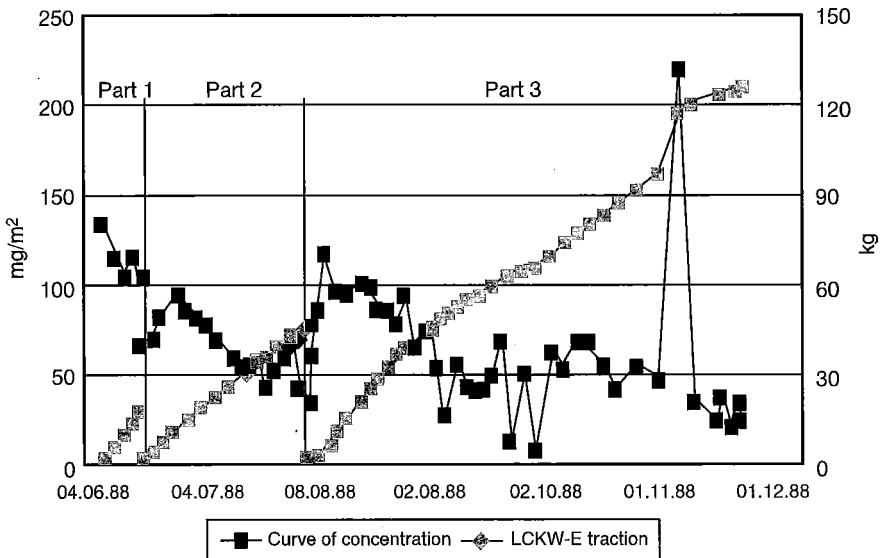


Figure 4. Graph showing the development of concentration of chlorinated hydrocarbons and the total extraction curve for the installation No. 3 from June - November 1998. Part 1 to 3 characterise the different extraction wells of installation No. 3.

some weeks to "regenerate" again. Within a framework of 8 months the concentrations of chlorinated compounds were reduced extensively. At present only one extraction device with 2 wells is still operating and the actual concentration is around 40 mg/m³. The total amount of extracted chlorinated hydrocarbons was calculated to be about 500 kg (Fig. 4).

Parallel to the remediation procedure a conceptual working plan was developed in cooperation with the local authorities which shows practicable solutions to proceed with the simultaneous construction of several housing complexes on the remediated ground. The local authorities have accepted to allow i.e. excavation and foundation works under special conditions resulting in an extensive construction schedule parallel to the extraction of soil vapour on the site.

Future groundwater remediation measurements

General references and proceedings on ground water remediation schemes are given i.e. by REICHERT & RÖMER (1996).

The conceptual model for a remediation scheme of groundwater contaminations by chlorinated hydrocarbons is a horizontal stripper and not the usual vertical stripping devices. This groundwater remediation scheme is characterised by a modular concept where the quantity of groundwater pumped into the plant is in relation to the hydraulic properties, thickness of the aquifer and the size of the individual horizontal stripper. The stripped chlorinated compounds are adsorbed on active carbon filters and the clean air is released into the atmosphere. The cleaned water is led into two reinfiltration wells situated downstream of the general flow direction to minimise energy costs and remediation time.

The limiting concentration values of successfully stripped waters and reinfiltration into the aquifer were arranged with the local environmental authority, fixed at 10 µg/m³. The modular concept of the horizontal stripper is based on a variable number of trays and a blower turbulating the water and creating bubbles from which the chlorinated compounds deaerate. The number of trays is related to the concentration of the inbound water and the quantity of water pumped into the stripper. Capacities vary between 5 m³/h and 40 m³/h.

Due to the low vapour pressure of chlorinated compounds this technique is predestinated for excellent results in ground waterstripping. Compared with conventional stripping techniques the financial and technical input is in equilibrium and the framework of a changing remediation scenario, i.e. rapidly changing concentration values, discharge quantities of groundwater from heterogeneous aquifers or reinfiltration problems due to clogging etc. thus offer the best instruments for any economical remediation scenario without changing the entire system.

The principle of such a stripping device is described as follows: About ten 2" groundwater sampling wells are drilled into the aquifer to a depth of 12-14 m. Each

well is equipped with injection devices from which pressurised air (from a compressor) is forced into the aquifer. Air bubbles are thus forced to flow through the aquifer reducing the vapour pressure of the chlorinated hydrocarbons and resulting in an output rise of the gaseous phase. The gaseous hydrocarbons migrate upwards and mix with the soil vapour of the unsaturated zone. From the already existing soil vapour extraction wells, this gas is extracted via soil vapour extraction plants and adsorbed on active carbon filters.

This two-fold remediation concept was necessary because of the sensitive use of the neighbouring area as a play ground for small children and because the chlorinated hydrocarbons cannot be entirely stripped to 100%. Unsufficient experiences with this technique are forcing us to start a preliminary test phase in order to localise the plume in the aquifer. Output rates have to be stabilised over a period of 1-2 weeks, active stripping phases will alternate with passive phases to regenerate the concentration differences within the plume. The entire remediation time is planned to last for about 5 years which incorporates a constant sampling procedure, monitoring and intelligent use of the stripping technology.

References

- BALLSCHMITTER K., HALTRICH W., KÜHN W. & NIEMITZ W. (1987). Halogenorganische Verbindungen in Wässern.- HOV Studie, Forschungsberichte Wasserwirtschaft 10204323, 515 S., Weinheim (VHC Verlag).
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1989). Behandlung von Grundwasser-verunreinigungen durch leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe, München.
- CHAPELLE F.H. & LOVELY D.R. 1992. Competitive exclusions of sulfate reduction by Fe III-reducing bacteria. A mechanism for producing discrete zones of high-iron ground water.- *Groundwater*, 30:29-36.
- DREHER E.L. 1986. Chlorinated hydrocarbons. In: ULLMANN's encyclopedia of industrial chemistry. 5. Aufl., A6:233-398, Weinheim.
- GRATHWOHL P. & EINSELE G. 1991. Verhalten verschiedener leichtflüchtiger chlorierter Kohlenwasserstoffe (LCKW) im Untergrund. In: ROSENKRANZ, D. Et al. (eds.), *Bodenschutz*, 1650, 9. Lfrg., X/91, Berlin (Schmidt Verlag).
- HOV 1987. Halogenorganische Verbindungen in Wässern.- Hrsg. Fachgruppe Wasserchemie in der GDC im Auftrag des Umweltbundesamtes, Forschungsbericht Wasserwirtschaft 10104313, Weinheim (VHC Verlag).
- HUTCHINS S.R. 1991. Biodegradation of monoaromatic hydrocarbons by aquifer microorganisms using oxygen, nitrate or nitrous oxide as the terminal electron acceptor.- *Applied environmental microbiology*, 57:2403-2407.
- ITVA (Ingenieurtechnischer Verbund Altlasten eV.), 1996. Sanierungsuntersuchung. ITVA Arbeitshilfe, 38 S., Berlin (Entwurf).

- LAWA (Landesamt für Wasser- und Abfallwirtschaft), 1993: Empfehlungen für die Erkundung und Behandlung von Grundwasserschäden, Düsseldorf.
- KOWALEWSKI J.B. 1993. Altlastenlexikon.- 199 S., Essen.
- McCARTY P.L. & REINHARD M. 1985. Processes affecting the movement and fate of trace organics in the subsurface environment. Artificial recharge of groundwater: 627-646, Butterworth Publishers, Boston.
- RIPPEN G. 1992. Handbuch der Umweltchemikalien, Bd. 2, 2. Erg. Lief., Landsberg/Lech (economied Verlag).
- REICHERT J.K. & RÖMER M. 1997. Sanierungsmaßnahmen. In: Fachgruppe Wasserchemie der GDCh (Hrsg.): Chemie und Biologie der Altlasten, 6.3: 423-454, Weinheim.
- SCHWILLE F. & WEBER D. 1991. Model experiments on gravity spreading of heavy organic vapors in the zone of aeration.- Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe, 12: 153-211, Karlsruhe.
- STRAUB J. 1992. Ausbreitungsverhalten von LCKW in der ungesättigten Zone.- Hydrogeologie und Umwelt, 4, 119 S., Würzburg.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 46-63</p>
---	---	--

ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΥΣΟΥ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΩΝ ΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ ΤΟΥ ΛΕΥΚΟΧΡΥΣΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΑΛΙΑΚΜΟΝΑ

Μ. Βαβελίδης¹, Β. Χαριστός¹ και Ε. Seidel²

Περίληψη

Συστηματικές έρευνες κατά μήκος του Αλιάκμονα ποταμού και των χειμάρρων του καθώς επίσης στην περιοχή της Λεκάνης των Σερβίων έδειξε για πρώτη φορά την παρουσία προσχωματικού χρυσού και ορυκτών της ομάδας του λευκόχρυσου.

Το μέγεθος των κόκκων χρυσού στον Αλιάκμονα κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 0,8 mm, έχουν κυρίως φυλλώδη μορφή και είναι αποστρογγυλεμένα με κεκαμένα ή αναδιπλωμένα άκρα. Στη Λεκάνη των Σερβίων ο χρυσός έχει μέγεθος μεταξύ 0,1 και 3,8 mm και έχει κυρίως μαζώδη μορφή. Σε ένα μεγάλο ποσοστό των κόκκων χρυσού παρατηρείται απομάκρυνση αργύρου. Η καθαρότητα του χρυσού είναι κατά μέσο όρο 870 στα Σέρβια και 890 στον Αλιάκμονα. Οι περιεκτικότητες στο χρυσό ανέρχονται μέχρι 4,60% Hs, 0,58% Cu, 0,68% As, 0,53% Pt, 0,31% Ir, 0,20% Sb και 0,13% Te.

Τα ορυκτά της ομάδας του λευκόχρυσου διακρίνονται σύμφωνα με τη χημική τους σύσταση σε κράματα του Os-Ir-Ru (ιριδοσμίνης, οσμυρίδιο και ρουθενιριδοσμίνης), κράματα Pt-Fe (ισοφερροπλάτινα και σε μια περίπτωση τετραφεροπλάτινα), κράματα Os-Ir-Rh και Os-Ir-Pt. Μέσα στα ορυκτά της ομάδας του λευκόχρυσου εντοπίστηκαν εγκλείσματα λαουρίτη, κοκκιροϊριδίσιτη, χολιγκορθίτη, σπερριλίτη, στυβιοπαλλαδινίτη ή μερπιέιτη, κείθκονίτη, χονγκοκίτη και ενός κράματος Ru-Rh-Os-Ir-Pt.

Abstract

Systematic investigations along the Aliakmon river and its torrents, as well as in the Serbia basin, showed for the first time the presence of placer gold and platinum-group minerals. The size of the gold grains in Aliakmon river ranges between 0.1 and 0.8 mm. The grains are found in the form of sheets and are rounded with bend or folded edges. Gold grains in the Serbia basin are sized between 0.1 and 3.8 mm and they have mainly a massive form. In a relatively big amount of the gold grains, a Ag-leaching has been observed. The gold fineness in Aliakmon river is 890 on average and in the Serbia basin 870 on average. Gold contains up to 4.60 wt Hg, 0.58 wt% Cu, 0.68 wt% As, 0.53 wt% Pt, 0.31 wt% Ir, 0.20 wt% Sb and 0.13 wt% Te. The platinum-group mi-

1. Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54006 Θεσσαλονίκη.

2. Department of Mineralogy and Geochemistry, University of Cologne, Germany.

nerals are grouped, regarding their chemical composition, in Os-Ir-Ru-alloys (iridosmine, osmiridium and rutheniridosmine), Pt-Fe-alloys (isoferroplatinum and in one case tetraferroplatinum), Os-Ir-Rh-alloys and Os-Ir-Pt alloys. Inclusions of laurite, cuprorhodsite, hollingworthite, sperrylite, stibiopalladinite or mertieite, tulameenite, vincentite, keithconnite, hongshiite and a Ru-Rh-Os-Ir-Pt alloy are found within the platinum-group minerals.

Εισαγωγή

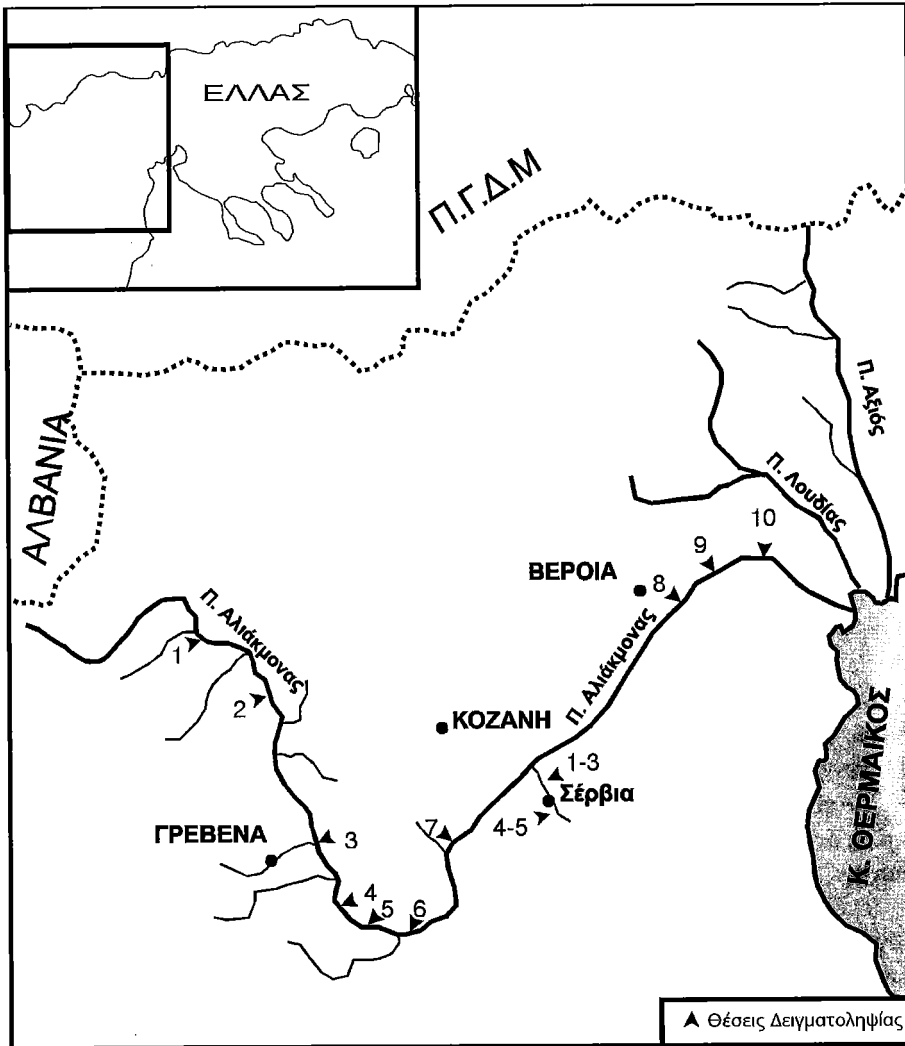
Τα μέταλλα και ιδιαίτερα ο χρυσός, από την ανακάλυψή τους είχαν πολλαπλή χρησιμότητα και εξέχουσα σημασία για τους αρχαίους λαούς και ιδιαίτερα για τους Αρχαίους Έλληνες. Εντυπωσιακά μεγάλος είναι ο αριθμός των χρυσών κοσμημάτων που βρίσκεται στα νεκροταφεία της ελληνοιστικής εποχής στη Μακεδονία.

Ο χρυσός αποτέλεσε σε πολλές περιπτώσεις αντικείμενο λατρείας και είχε την δύναμη να στήσει και να καταστρέψει ολόκληρους πολιτισμούς. Ο Φίλιππος ΙΙ, ο διορατικός αυτός Μακεδόνας βασιλιάς, στηρίζει τη δύναμη του βασιλείου του εκτός των άλλων και στο χρυσό, που συστηματικά εκμεταλλεύεται από τα μεταλλεία της Μακεδονίας και της Θράκης. Ο Τίτος Λίβιος μας αναφέρει χαρακτηριστικά: “Ο Φίλιππος αύξησε τις προσόδους του βασιλείου του εκσυγχρονίζοντας παλιά μεταλλεία που είχαν τεθεί εκτός λειτουργίας και ανοίγοντας καινούργια σε πολλά μέρη”.

Το ελληνικό υπέδαφος είναι πλούσιο σε κοιτάσματα ευγενών και άλλων μετάλλων. Τα τελευταία χρόνια γίνονται και πάλι εντατικές προσπάθειες από ερευνητικούς φορείς και από μεταλλευτικές εταιρείες για τον εντοπισμό νέων κοιτασμάτων χρυσού σε πολλές περιοχές της Ελλάδας. Σήμερα μετά από τον εντοπισμό νέων αποθεμάτων σχεδιάζεται η εξόρυξη και η μεταλλουργία χρυσού στη Θράκη και σε ένα από τα σημαντικότερα κοιτάσματα της Ευρώπης στην Ολυμπιάδα Χαλκιδικής.

Τα κοιτάσματα χρυσού στην Ελλάδα βρίσκονται κυρίως στον χώρο της Μακεδονίας και της Θράκης. Στα κοιτάσματα αυτά ο χρυσός εντοπίζεται κυρίως αυτοφυής σε προσχώσεις ποταμών. Αυτοφυής απαντά επίσης ο χρυσός σε μεταλλεύματα σιδήρου-μαγγανίου, πορφυριτικού χαλκού, μικτών θειούχων, σκάρων, χαλαζιακές φλέβες και σε μεταλλεύματα επιθερμικού χρυσού. Στην τελευταία περίπτωση απαντά και υπό μορφή ενώσεων.

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στη μελέτη του προσχωματικού χρυσού και των ορυκτών της ομάδας του λευκόχρυσου που εντοπίστηκαν για πρώτη φορά στη περιοχή του Αλιάκμονα. Η μελέτη αυτή γίνεται στα πλαίσια ενός ευρύτερου προγράμματος που αναφέρεται στην αρχαία μεταλλευτική δραστηριότητα χρυσού στον χώρο της Μακεδονίας και της Θράκης και στην πηγή προέλευσης χρυσών αρχαιολογικών ευρημάτων από ανασκαφές της προϊστορικής έως και ύστερης κλασικής εποχής. Το πρόγραμμα αυτό εκπονείται σε συνεργασία με πολλά από τα αρχαιολογικά μουσεία της Μακεδονίας και Θράκης, συμπεριλαμβανομένου και αυτού της Αιανής Νομού Κοζάνης. Η χρηματοδότηση γίνεται από τη Γενική Γραμ-



Σχήμα 1. Απλοποιημένος χάρτης της περιοχής έρευνας με τις θέσεις δειγματοληψίας.

ματεία Έρευνας και Τεχνολογίας καθώς και από την Επιτροπή Ερευνών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Γεωλογία

Ο ποταμός Αλιάκμονας πηγάζει από την Πίνδο, ρέει κυρίως στο χώρο της δυτικής Μακεδονίας και εκβάλλει στο Θερμαϊκό κόλπο (Σχ. 1). Η λεκάνη απορροής του ποταμού καλύπτει γεωλογικά την Υποπελαγονική και την Πελαγονική ζώνη. Στον

κάτω ρου του τροφοδοτείται από τις προσχώσεις της πεδιάδας Θεσσαλονίκης-Γιαννιτών.

Η Πελαγονική ζώνη αποτελείται από το κρυσταλλοσχιστώδες Παλαιοζωϊκή ή/και Προκάμβριας ηλικίας, από γνευσιωμένους γρανίτες του Άνω Λιθανθρακοφόρου, από μετακλαστικές ιζηματογενείς ακολουθίες Πέρμιας-Κάτω Τριαδικής ηλικίας, ανθρακικά καλύμματα ελαφρώς ανακρυσταλλωμένα Τριαδικής-Ιουρασιακής ηλικίας και επικλυσιογενή ιζήματα του Κρητιδικού (KILIAS & MOUNTRAKIS 1988). Σημαντικά αλλόχθονα οφιολιθικά σώματα εντοπίζονται επίσης στην Πελαγονική που είναι τοποθετημένα κυρίως στα δύο περιθώρια της ζώνης, ενώ μερικές μικρές εμφανίσεις βρίσκονται διασπαρμένες και στο εσωτερικό της.

Η Υποπελαγονική ζώνη αντιπροσωπεύει την Μεσοζωϊκή ωκεάνια λεκάνη δυτικά της Πελαγονικής, η οποία άρχισε να σχηματίζεται στο κάτω Τριαδικό. Περιοχική συμπίεση στο μέσο Ιουρασικό είχε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη μιας ζώνης υποβύθισης με κλίση προς τα δυτικά. Πάνω από την ζώνη αυτή σχηματίστηκαν οφιόλιθοι, τμήματα των οποίων μεταφέρθηκαν βορειοανατολικά πάνω από το πρίσμα επαύξησης της Πελαγονικής και επωθήθηκαν πάνω στο ανθρακικό κάλυμμα του παθητικού περιθωρίου της Πελαγονικής (ROSS & ZIMMERMAN 1996). Ο Βούρινος αποτελείται από SSZ οφιολίθους, ενώ οι οφιόλιθοι της Πίνδου είναι από MOR έως SSZ τύπου υποδεικνύοντας περισσότερες από μία μανδυακές εστίες και ηφαιστειακά κέντρα (CAPEDRI et al 1980, PEARCE et al. 1984, KOSTOPOULOS 1988, JONES & ROBERTSON 1991). Κατά το Ολιγόκαινο-Μέσο Μειόκαινο δημιουργήθηκε στην Υποπελαγονική μία αύλακα, όπου αποτέθηκαν μεγάλου πάχους μολασσικά ιζήματα. Τέλος στη λεκάνη απορροής του Αλιάκμονα ποταμού εντοπίζονται λιμναία ιζήματα που αποτέθηκαν κατά το Νεογενές.

Η λεκάνη Σερβίων-Λάβας, βρίσκεται εντός της λεκάνης απορροής και νότια του ποταμού Αλιάκμονα και τοποθετείται στην Πελαγονική. Η λεκάνη αυτή έχει πληρωθεί από Νεογενή ιζήματα, όπως ιλύς, άργιλος και άμμος στους βαθύτερους και από μαργαϊκή άργιλο έως μάργα στους ανώτερους ορίζοντες, με παρεμβολές λιγνιτοφόρων οριζόντων (ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΣ & ΜΠΡΑΣΟΥΛΗΣ 1973).

Μέσα στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα, στο χώρο της Πελαγονικής και Υποπελαγονικής ζώνης εντοπίζονται διάφορες μεταλλοφορίες όπως χρωμίτης στον Βούρινο και τη Ροδιανή Κοζάνη, καθώς και στα οφιολιθικά σώματα, νότια της Βεργίνας, σιδηρομεταλλεύματα (λειμωνίτης, μαγνητίτης) στα Ριζώματα Ημαθίας μέσα σε σχιστόλιθους, σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα στη Σφηκιά Ημαθίας σε σερπεντινίτη, μεταλλοφόρα σώματα μαγγανίου σε κερατολίθους στο Μοναχίτι Γρεβενών και τέλος μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη - χαλκοπυρίτη σε οφιολίθους στο Περιβόλι Γρεβενών.

Μορφολογία και χημική σύσταση κόκκων χρυσού

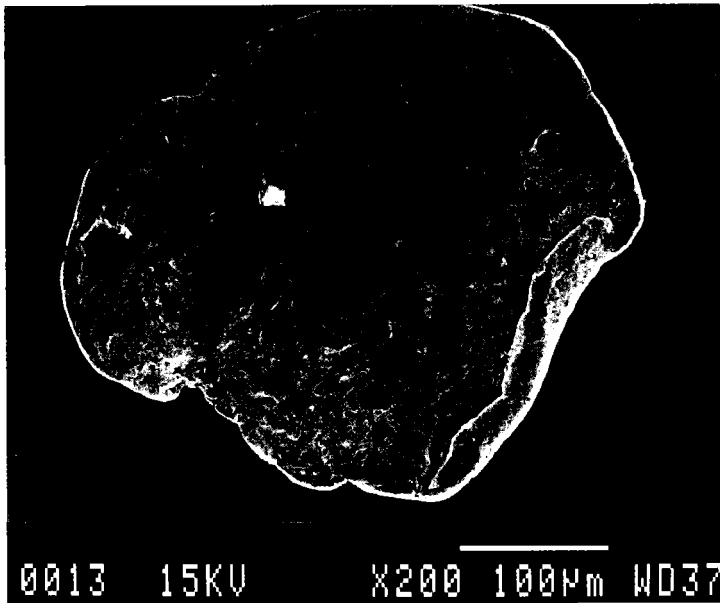
Συστηματική δειγματοληψία σε αλλούβια κροκαλοπαγή ιζήματα κατά μήκος της κοίτης του Αλιάκμονα καθώς και στις αναβαθμίδες του, έδειξε για πρώτη φορά

την ύπαρξη προσχωματικού χρυσού αλλά και ορυκτών της ομάδας του λευκόχρυσου.

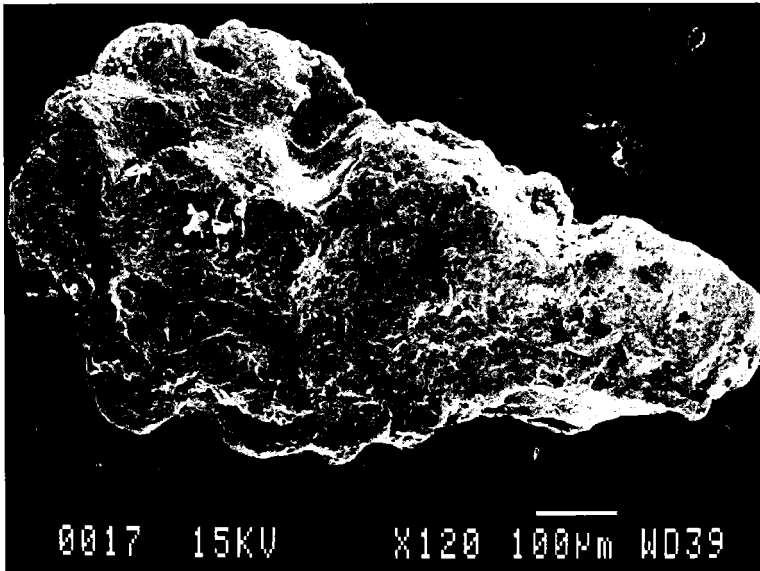
Τα μεταλλικά ορυκτά που προσδιορίστηκαν στο βαρύ κλάσμα των ιζημάτων είναι: χρωμίτης, χρωμίτης σιδηροχρωμίτης, μαγνητίτης, μαρτιπιωμένος μαγνητίτης, ιλμενίτης, αιματίτης, ιλμενίτης-αιματίτης, λειμωνίτης, νικέλιο, σιδηροπυρίτης, μαγνητοπυρίτης, χρυσός και ορυκτά της ομάδας του λευκόχρυσου.

Στα ιζήματα της κύριας αρτηρίας διάβρωσης της λεκάνης των Σερβίων τα ορυκτά που προσδιορίστηκαν είναι μαγνητίτης, αιματίτης, ιλμενίτης, βραουνίτης, σιδηροπυρίτης με μορφή φραμποειδή και χρυσός.

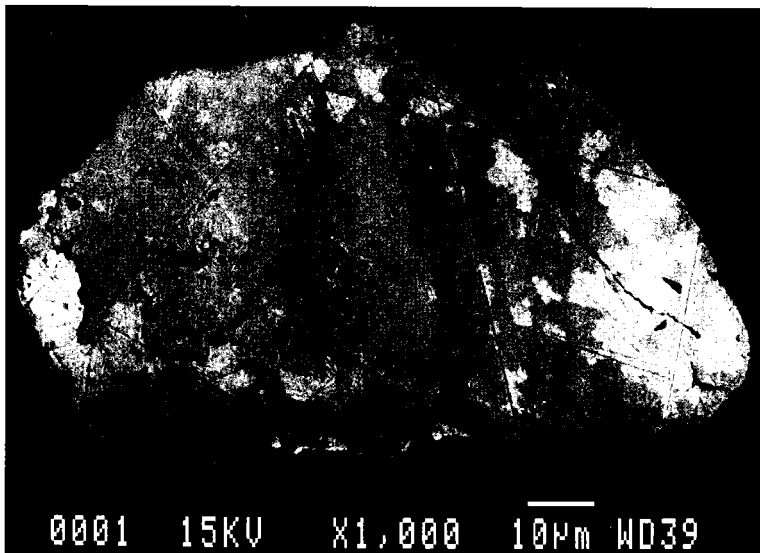
Το μέγεθος των κόκκων χρυσού στον Αλιάκμονα κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 0,8 mm. Το μεγαλύτερο ποσοστό των κόκκων είναι φυλλώδους μορφής, αποστρογγυλεμένοι (Εικ. 1), με κεκαμένα ή αναδιπλωμένα άκρα και λεία επιφάνεια. Στη λεκάνη των Σερβίων το μέγεθος των κόκκων κυμαίνεται μεταξύ 0,1 mm και 3,8 cm και έχουν κυρίως μαζώδη μορφή (Εικ. 2) και οδοντωτό περίγραμμα. Ένα χαρακτηριστικό που συναντάται στον χρυσό των περιοχών έρευνας είναι η ανάπτυξη πορώδους επιφάνειας, που οφείλεται στην απομάκρυνση του αργύρου κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του από το ποτάμιο σύστημα, λόγω της ηλεκτροχημικής διάβρωσης του κόκκου. Κάτω από το μικροσκόπιο, η απομάκρυνση αυτή του αργύρου έχει κυρίως τη μορφή ζώνης (Εικ. 3).



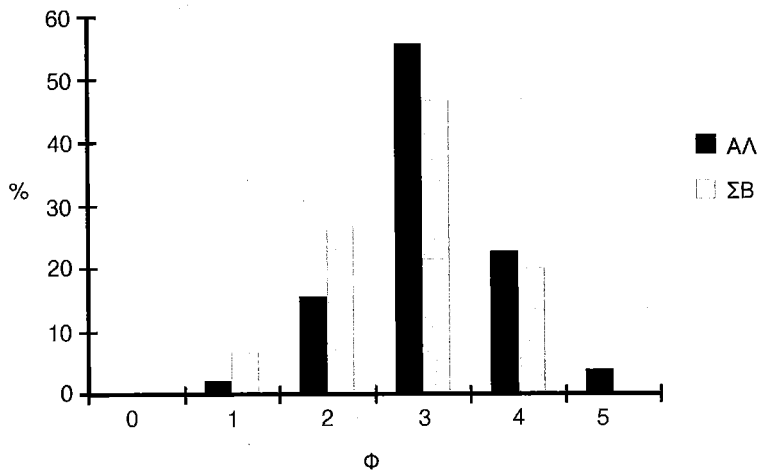
Εικόνα 1. Φυλλώδης κόκκος χρυσού με αποστρογγυλεμένο περίγραμμα από τον ποταμό Αλιάκμονα.



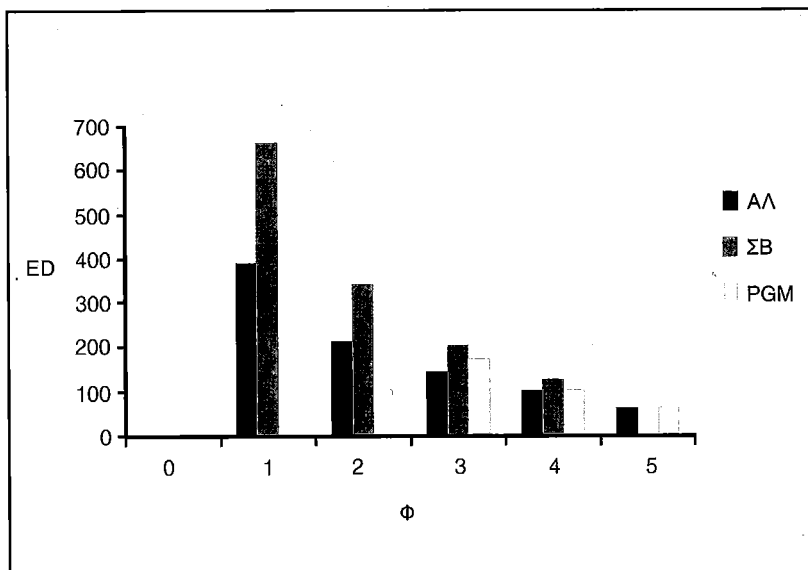
Εικόνα 2. Μαζώδης κόκκος χρυσού από τα Σέρβια Κοζάνης.



Εικόνα 3. Ανάπτυξη περιφερειακής ζώνης από την απομάκρυνση αργύρου (λευκό) σε κόκκο χρυσού (τεφρό) όπως αυτή φαίνεται σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο με οπισθοανακλώμενη δέσμη ηλεκτρονίων.



Σχήμα 2. Διαγράμματα κατανομής μεγεθών πλάτους (κλίμακα Φ) των κόκκων χρυσού από τον ποταμό Αλιάκμονα (ΑΛ) και από τα Σέρβια Κοζάνης (ΣΒ).

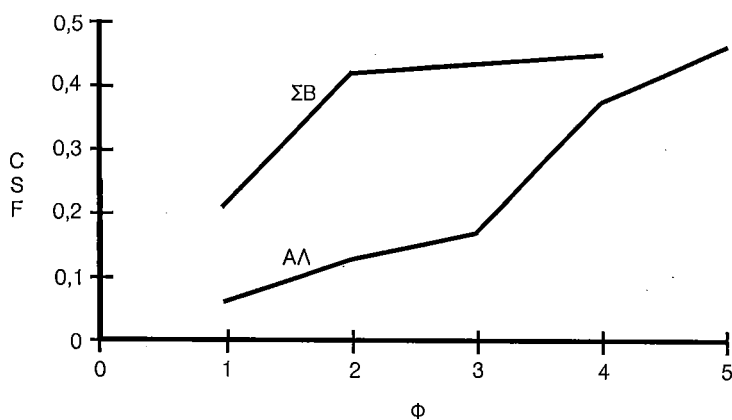


Σχήμα 3. Συγκριτικό διάγραμμα της ισοδύναμης διαμέτρου (ED) των κόκκων χρυσού και των ορυκτών της ομάδας του λευκόχρυσου (PGM) από τον ποταμό Αλιάκμονα (ΑΛ) και από τα Σέρβια Κοζάνης (ΣΒ).

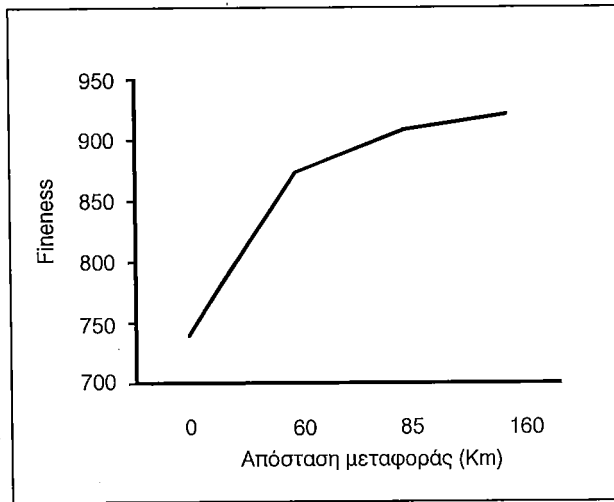
Στο Σχήμα 2 παρατίθεται η κατανομή των μεγεθών του πλάτους (σε κλίμακα Φ) του χρυσού από τον ποταμό Αλιάκμονα και από τα Σέρβια Κοζάνης και φαίνεται ότι η διάμετρος των κόκκων χρυσού από τα Σέρβια είναι κατά μέσο όρο μεγαλύτερη από αυτήν των κόκκων χρυσού του Αλιάκμονα. Συγκεκριμένα το 81% των ψηγμάτων από τα Σέρβια έχουν πλάτος μεγαλύτερο από 0,125 mm ενώ για τον Αλιάκμονα το ποσοστό των κόκκων που έχουν πλάτος μεγαλύτερο των 0,125 mm είναι 73%.

Προκειμένου να συγκριθούν τα ψήγματα του χρυσού ως προς το μέγεθος και τη σφαιρικότητα τους, υπολογίσθηκαν η ισοδύναμη διάμετρος ($ED = [(6/\pi) LBT]^{1/3}$), και ο παράγοντας σφαιρικότητας κατά Corey ($CSF = T/(LB)^{1/2}$), αντίστοιχα. Από τα Σχήματα 3 και 4 προκύπτει ότι τα μεγαλύτερα και σφαιρικότερα ψήγματα, για δεδομένο πλάτος βρέθηκαν στα Σέρβια. Συνδυασμός μεγάλου μεγέθους και υψηλών τιμών σφαιρικότητας υποδεικνύει μικρή απόσταση μεταφοράς σύμφωνα με τον GIUSTI (1985).

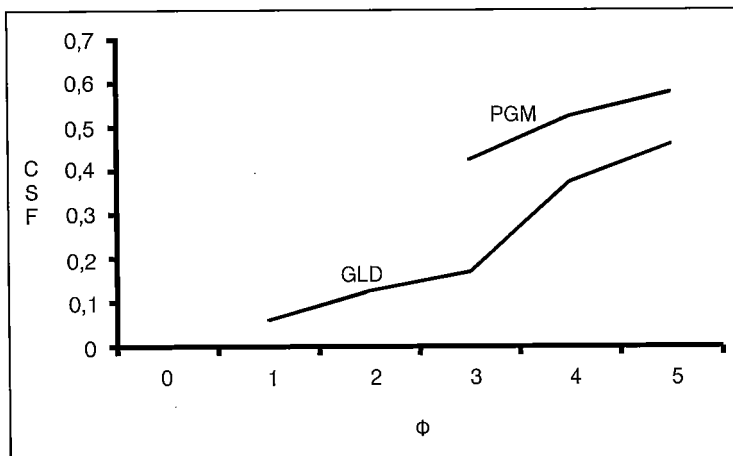
Η χημική σύσταση των ψηγμάτων χρυσού, μελετήθηκε με ηλεκτρονικό μικροαναλυτή τύπου Zeol 230, στην Κολωνία της Γερμανίας. Η δε καθαρότητα του χρυσού υπολογίσθηκε σύμφωνα με τον τύπο $fineness = [w\%Au/(w\%Au + w\%Ag)] * 1000$ (FISHER 1945). Από τη μελέτη αυτή προέκυψε ότι στην περιοχή Σερβίων Κοζάνης η καθαρότητα των ψηγμάτων κυμαίνεται μεταξύ 640 και 1000, κατά μέσο όρο αυτή είναι 870. Στον ποταμό Αλιάκμονα η καθαρότητα των ψηγμάτων κυμαίνεται από 640 έως 1000, κατά μέσο όρο αυτή είναι 890. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5 η καθαρότητα των κόκκων χρυσού παρουσιάζει αύξηση με την απόσταση μεταφοράς στον ποταμό Αλιάκμονα. Για μια απόσταση 160 χιλ. παρατηρήθηκε σύμφωνα με τις μέχρι τώρα έρευνές μας μεταβολή της μέσης περιεκτικότητας του χρυσού μέχρι



Σχήμα 4. Συγκριτικό διάγραμμα σφαιρικότητας (CSF) των κόκκων χρυσού από τον Αλιάκμονα (ΑΛ) και τα Σέρβια (ΣΒ) Κοζάνης.



Σχήμα 5. Διαγράμματα μεταβολής της καθαρότητας των ψηγμάτων χρυσού από τον Αλιάκμονα με την απόσταση μεταφοράς.



Σχήμα 6. Συγκριτικό διάγραμμα σφαιρικότητας (CSF) των κόκκων χρυσού (GLD) και των ορυκτών της ομάδας του λευκόχρυσου (PGM) από τον ποταμό Αλιάκμονα.

34%. Τα ιχνοστοιχεία που ανιχνεύθηκαν στο χρυσό είναι υδράργυρος, αρσενικό, χαλκός, λευκόχρυσος, ιρίδιο, τελλούριο και αντιμόνιο. Οι περιεκτικότητες του για τα Σέρβια κυμαίνονται από τιμές κάτω του ορίου ανίχνευσης του μικροαναλυτή μέχρι 1,36%, 0,68%, 0,34%, 0,46%, 0,31%, 0,13% και 0,14% αντίστοιχα. Αντιπρο-

Πίνακας 1. Ενδεικτική χημική σύσταση ψηγμάτων χρυσού από τον ποταμό Αλιάκμονα (No. 1-6) και από τα Σέρβια Κοζάνης (No. 7-12)

No.	Cu	Hg	Te	Sb	Au	As	Ir	Pt	Ag	Total
1	-	2,23	0,10	-	62,25	-	-	-	35,13	99,71
2	-	-	-	0,09	100,33	0,25	0,17	0,16	0,31	101,31
3	0,18	0,85	0,03	-	94,39	-	0,08	-	5,97	101,50
4	0,25	-	0,04	0,09	90,49	-	-	0,15	9,65	100,67
5	0,01	0,4	0,05	0,07	93,45	-	0,06	-	7,57	101,61
6	-	3,71	-	-	81,87	-	-	-	13,98	99,56
7	0,06	1,05	-	-	87,82	-	0,12	0,46	12,24	101,75
8	0,01	-	0,02	0,04	88,21	-	0,02	-	12,25	100,55
9	0,18	0,40	-	-	79,22	-	-	-	20,04	99,84
10	0,13	0,50	-	-	99,38	-	0,02	-	1,80	101,83
11	-	0,27	0,13	0,07	76,03	-	0,17	0,14	23,37	100,18
12	-	0,13	0,03	0,01	99,99	-	0,12	-	0,01	100,29

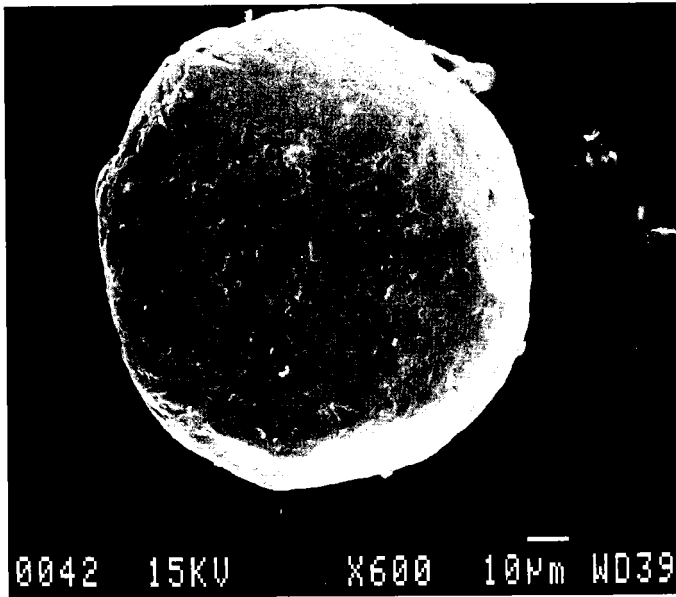
σωρευτικές συστάσεις του χρυσού από τον Αλιάκμονα και τα Σέρβια δίνονται στον πίνακα 1. Για τα ίδια ιχνοστοιχεία οι περιεκτικότητες του χρυσού στον Αλιάκμονα κυμαίνονται από τιμές κάτω του ορίου ανίχνευσης του μικροαναλυτή μέχρι 4,6%, 0,57%, 0,58%, 0,53%, 0,27%, 0,13% και 0,2% αντίστοιχα (Πίν. 1).

Ορυκτά της ομάδας του λευκόχρυσου

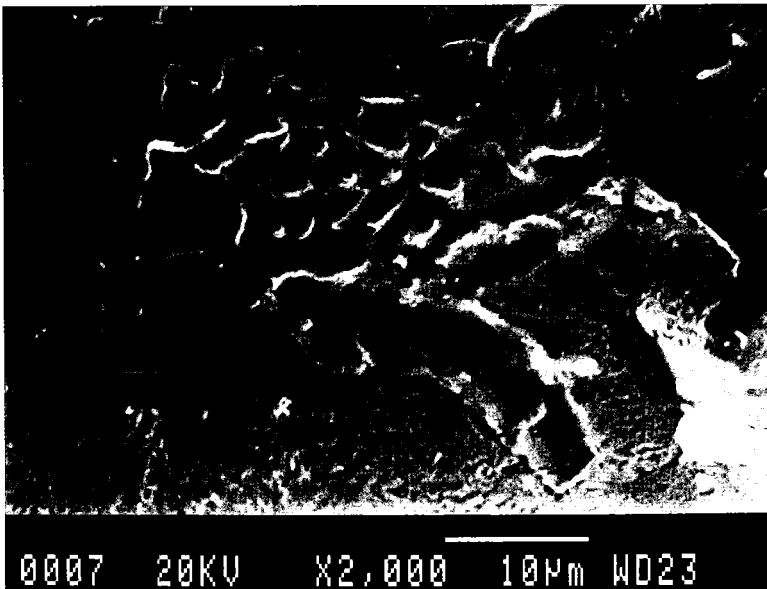
Στον ποταμό Αλιάκμονα εντοπίστηκαν για πρώτη φορά ψήγματα ορυκτών της ομάδας του λευκόχρυσου και συγκεκριμένα κράματα Os-Ir-Ru, Pt-Fe, Os-Ir-Rh και Os-Ir-Pt.

Ο AUGÉ (1985) αναφέρει ορυκτά της ομάδας του λευκόχρυσου (ρουθενιριδισμίνης, ιριδοσμίνης, οσμυρίδιο, οσαρσίτης, ιραρσίτης Os-λαουρίτης και λαουρίτης) σε χρωμιτίτες από το Βούρινο, το μέγεθος των οποίων κυμαίνεται από 2 μm έως 9 μm . Ακόμη, από τους TARKIAN et al. (1996) σε χρωμιτίτες της Πίνδου διαπιστώθηκε λαουρίτης μεγέθους μικρότερου των 10 μm , σπερρυλίτης μεγέθους μικρότερου των 15 μm και Pt(Ni,Fe)₃ μεγέθους μέχρι 40 μm .

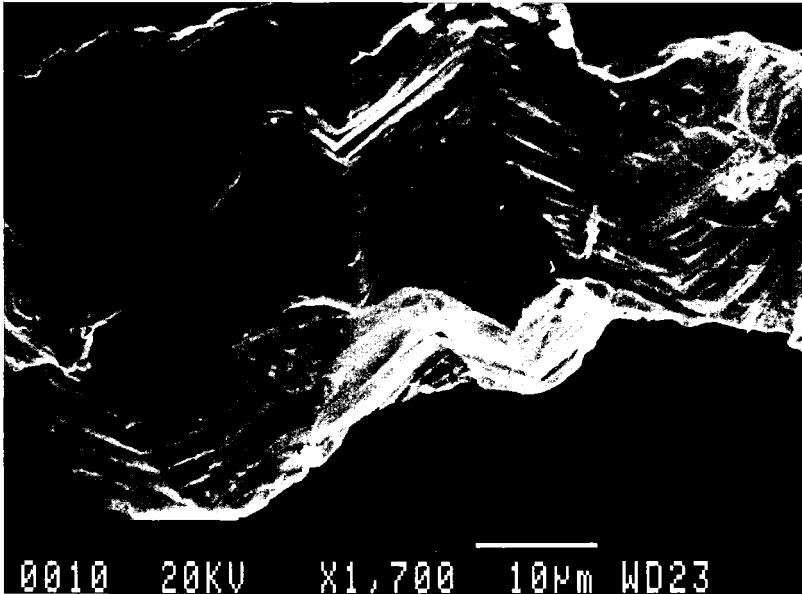
Από τις μικροσκοπικές παρατηρήσεις προκύπτει ότι η μορφή των ορυκτών της ομάδας του λευκόχρυσου που μελετήθηκαν στην περιοχή έρευνας είναι συνήθως αποστρογγυλεμένη (Εικ. 4). Στην επιφάνειά τους συχνά εμφανίζονται βαθιές χαραξίες, πόροι ενίοτε προσανατολισμένοι, και διαλυσηγενή σχήματα (Εικ. 5). Τα χαρακτηριστικά αυτά αποδίδονται στη μηχανική και χημική καταπόνηση των κόκκων κατά την υδραυλική μεταφορά τους στο ποτάμιο σύστημα. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που χαρακτηρίζονται από την διατήρηση κρυσταλλικών δομών (Εικ. 6). Το μέγεθος των ορυκτών της ομάδας του λευκόχρυσου κυμαίνεται από 84 μm έως 335 μm (κατά μήκος). Όπως φαίνεται στα Σχήματα 3 και 6 τα ορυκτά των



Εικόνα. 4. Αποστρωγγυλεμένος κόκκος Pt-Fe.



Εικόνα 5. Προσανατολισμένοι πόροι και διαλυσηγενή σχήματα στην επιφάνεια κόκκων κραμάτων Os-Ir-Ru.



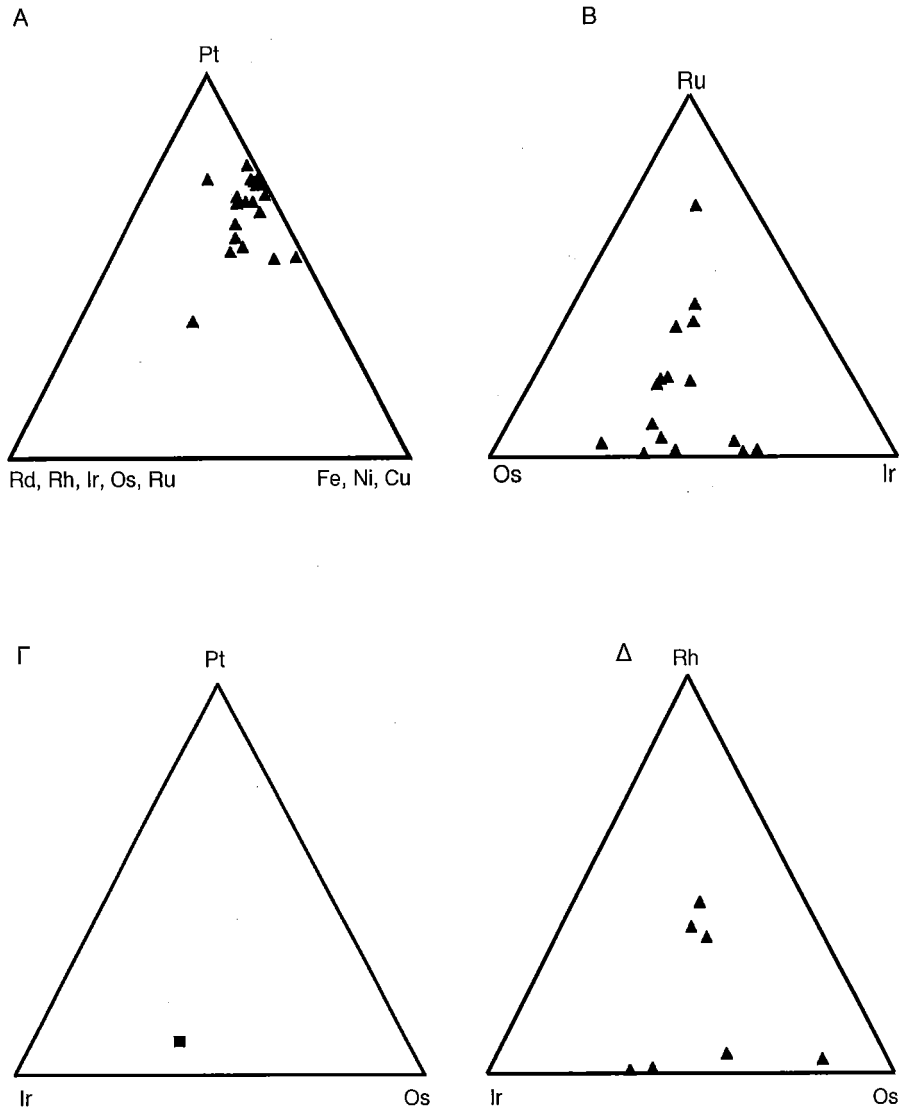
Εικόνα 6. Κόκκος Os-Ir-Ru στον οποίο διατηρούνται κρυσταλλικές δομές.

PGE έχουν μεγαλύτερο μέγεθος και είναι σφαιρικότερα από τα ψήγματα του χρυσού για δεδομένο πλάτος.

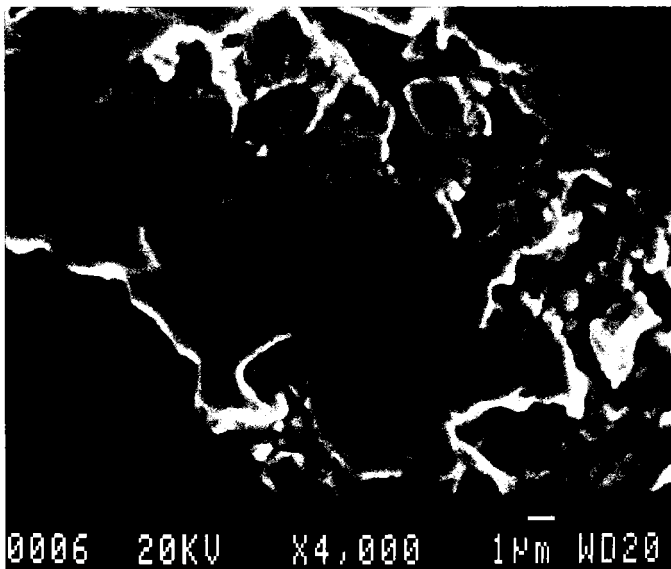
Από την χημική τους σύσταση που υπολογίστηκε με ηλεκτρονικό μικροαναλυτή, τα κράματα Os-Ir-Ru που προσδιορίστηκαν είναι ιριδοσμίνης, οσμυρίδιο και ρουθενιριδοσμίνης (Σχ. 7). Σύμφωνα με την αναθεωρημένη ονοματολογία (HARRIS & CABRI, 1991) τα ορυκτά της ομάδας αυτής είναι όσμιο, ιρίδιο και ρουθένιο. Αντιπροσωπευτικές συστάσεις των κραμάτων αυτών δίδονται στον Πίνακα 2. Δεν είναι σπάνια η ανομοιογένεια της σύστασης, σχετικά με τις περιεκτικότητες των τριών κύριων στοιχείων (Os-Ir-Ru), με αποτέλεσμα να συνυπάρχουν δύο

Πίνακας 2. Ενδεικτικές χημικές συστάσεις κραμάτων Os-Ir-Ru (No 1-3), Os-Ir-Pt (No 4), Os-Ir-Rh (No 5-6) . No 1 ρουθενιριδοσμίνης, No 2 οσμυρίδιο, No 3 ιριδοσμίνης, No 4 ιρίδιο, No 5 όσμιο, No 6 ρόδιο

No	Fe	Ni	Cu	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	As	Total
1	0,15	0,02	0,36	12,53	1,24	—	47,92	35,28	1,76	—	99,26
2	0,28	2,46	0,04	0,81	0,37	0,047	36,19	60,52	—	—	100,72
3	0,52	0,02	0,43	0,56	0,08	0,06	54,72	40,88	0,11	—	97,38
4	0,20	0,05	0,54	2,11	0,96	0,04	34,23	53,13	8,07	—	99,33
5	0,06	—	—	—	0,58	0,12	77,15	15,83	—	3,05	96,79
6	—	—	—	—	27,42	1,51	36,77	31,35	—	1,72	98,77



Σχήμα 7. Τριγωνικά διαγράμματα συστάσεως ορυκτών της ομάδας του λευκόχρυσου από της περιοχές έρευνας: Α. Κράματα Fe-Pt, Β. Κράματα Os-Ir-Ru, Γ. Κράματα Os-Ir-Pt, Δ. Κράματα Os-Ir-Rh.



Εικόνα 7. Λαουρίτης (σκοτεινό τεφρό) στην περιφέρεια κόκκων Os-Ir-Ru (ανοικτό τεφρό).

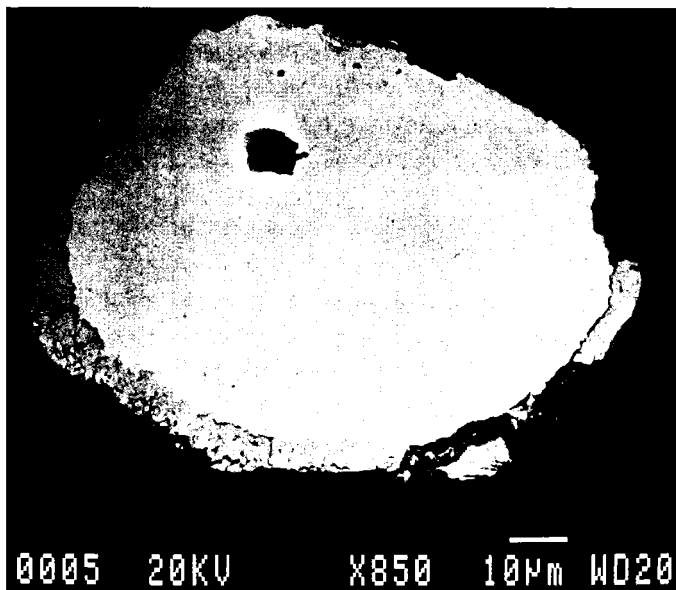
ορυκτολογικές φάσεις αυτής της ομάδας στα όρια ενός κόκκου.

Τα εγκλείσματα που παρατηρήθηκαν σε ορυκτά αυτής της ομάδας είναι ισοφερροπλατίνα (Pt_3Fe) με μορφή ατράκτου σε οσμυρίδιο, κουπροϊριδοσίτης ($CuIr_2S_4$) σε ιριδοσμίνη και λαουρίτης (RuS_2) (Εικ. 7) στη λοβώδη περιφέρεια ρουθενιριδοσμίνης και πλησίον αυτής, είτε γεμίζοντας τα κενά ανάμεσα στους λοβούς είτε ως ιδιόμορφη φάση. Παρατηρήθηκαν ακόμα απομειξείς Fe-Pt σε κόκκο οσμίου, καθώς επίσης έγκλεισμα ολιβίνη στο εσωτερικό ενός κόκκου οσμίου.

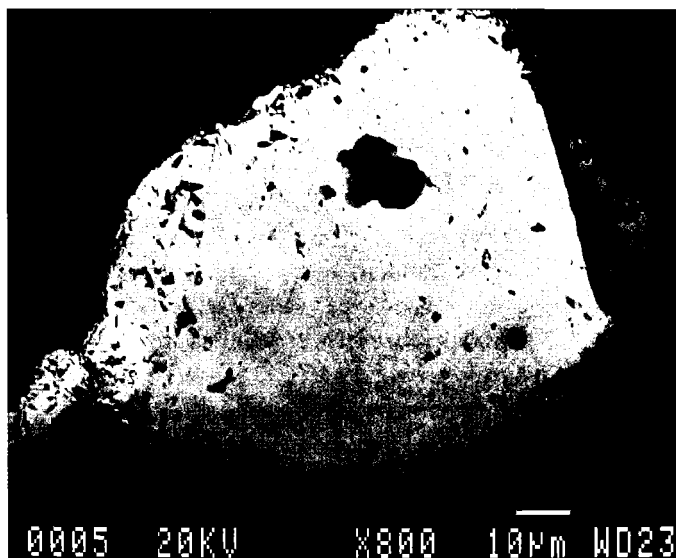
Μέρος των συστάσεων των κραμάτων Fe-Pt που βρέθηκαν ανταποκρίνονται στον τύπο Pt_3Fe (ισοφερροπλατίνα) (Πίν. 3). Σε μία περίπτωση ανιχνεύθηκε τετραφερροπλατίνα (Pt_4Fe) (Εικ. 8) με μορφή ζώνωσης γύρω από κόκκο ισοφερροπλατίνας. Οι υπόλοιπες αποκαλούνται με τον γενικό όρο κράμα Pt-Fe (Σχ. 7). Σε κόκκο ισοφερροπλατίνας εντοπίστηκαν ιδιόμορφα εγκλείσματα χολλιγκορθίτη ($RuAsS_2$) στο εσωτερικό, σπερριλίτη ($PtAs_2$) ως υπιδιόμορφη φάση στην περιφέρεια περιβαλλόμενο στην εξωτερική του πλευρά από σφιβιοπαλαδινίτη ή μερτιεΐτη ($Pd_{11}Sb_4$) και τέλος, επίσης στην περιφέρεια, ιδιόμορφοι κρύσταλλοι τουλαμεενίτη ($(CuFe)Pt$). Ο βινσεντίτης ($Pd_3(TeAs)$) εμφανίζεται ως σφαιρικό έγκλεισμα σε κόκκο του οποίου μέρος της περιφέρειας περιβάλλεται από δύο επάλληλες ζώνες, με τον κείθκονίτη (Pd_3Te) να αποτελεί την εξωτερική ενώ την εσωτερική το κράμα $CuPd$ (Εικ. 9). Ο χονγκσιίτης ($CuPt$) εμφανίζεται με μορφή ζώνης που περιβάλλει κόκκο ισοφερροπλατίνας στο εσωτερικό του οποίου αναπτύσσονται

Πίνακας 3. Ενδεικτικές χημικές συστάσεις κομιμάτων Fe-Pt. Νο 1-6 ισοφερροπλάτινα, Νο 7 τετραφερροπλάτινα

No.	Cu	As	S	Te	Ni	Pt	Rh	Os	Fe	Ru	Pd	Ir	Ag	Total
1	0,26	0,29	-	0,05	0,53	80,57	5,75	0,563	9,58	-	1,85	1,97	0,26	101,68
2	0,12	0,49	-	-	0,25	78,80	0,42	-	10,42	-	8,42	0,23	0,12	99,26
3	0,47	0,57	0,15	-	0,53	88,58	0,85	-	9,16	-	0,32	0,50	0,20	101,32
4	0,95	0,42	0,12	0,03	1,05	82,43	0,26	-	9,71	0,16	1,52	2,30	0,16	99,09
5	0,16	0,49	-	0,04	0,19	90,66	0,19	-	9,34	-	0,57	0,26	0,19	102,08
6	0,49	0,62	-	0,09	0,39	84,62	0,25	-	8,91	-	3,19	0,21	0,17	98,93
7	2,35	-	-	-	1,13	77,00	0,97	-	16,50	-	-	1,73	-	99,68



Εικόνα 8. Τετραφεροπλατίνα (σκοτεινό τεφρό) με μορφή ζώνης σε κόκκο ισοφεροπλατίνας (ανοικτό τεφρό).



Εικόνα 9. Βινσεντίτης με μορφή σφαιρικού εγκλείσματος (σκοτεινό τεφρό) στο εσωτερικό κόκκου Pt-Fe (ανοικτό τεφρό). Η εξωτερική ζώνη είναι κειθκονίτης (τεφρό) και η ενδιάμεση κράμα Cu-Pd (σκοτεινό τεφρό).

ακανόνιστες ταινίες κράματος Ru-Rh-Os-Ir-Pt.

Βρέθηκε ένα μόνο ψήγμα κράματος Os-Ir-Pt, του οποίου η σύσταση προβάλλεται στο πεδίο του ιριδίου (Σχ. 7, Πίν. 2 ανάλυση 4).

Τα κράματα Os-Ir-Rh προβάλλονται στο πεδίο του οσμίου, ιριδίου και ροδίου (Πίν. 2 αναλύσεις 5, 6). Σε μία περίπτωση βρέθηκε κόκκος αυτού του κράματος σε σύμφυση με κράμα Pt-Fe.

Συμπεράσματα

1. Ο χρυσός στην περιοχή των Σερβίων είναι μεγαλύτερης διαμέτρου από αυτά του ποταμού Αλιάκμονα με το 81% των κόκκων να είναι μεγαλύτεροι από 0,125 mm ενώ για το ίδιο μέγεθος το ποσοστό των κόκκων από τον Αλιάκμονα είναι 73%.
2. Οι χαμηλότερες τιμές της ισοδύναμης διαμέτρου και της σφαιρικότητας των ψηγμάτων του χρυσού από τον Αλιάκμονα, σε συνδυασμό με την μορφολογία τους, είναι ενδεικτικές μεγαλύτερης απόστασης μεταφοράς αν υποθεθεί ένας κύκλος ιζηματογένεσης.
3. Παρατηρείται ένα ευρύ πεδίο τιμών της καθαρότητας του χρυσού και στις δύο περιοχές έρευνας, η μέση τιμή της οποίας είναι παραπλήσια.
4. Οι υφές που παρατηρήθηκαν στους κόκκους των PGM, όπως ιδιόμορφα εγκλείσματα σουλφιδίων PGM, ολιβίνης και οι απομίξεις κραμάτων Pt-Fe σε κόκκους Os-Ir-Ru αναμφίβολα υποδεικνύουν πρωτογενή προέλευση των ψηγμάτων της ομάδας του λευκόχρυσου. Η πρωτογενής προέλευση τους ενισχύεται από την ανάπτυξη υδροθερμικών ορυκτών της ομάδας του λευκόχρυσου στην περιφέρεια αρκετών ψηγμάτων, όπως είναι ο τουλαμεενίτης, ο χογκσιίτης και ο λαουρίτης που αντικαθιστά στην περιφέρεια κράμα Ru-Os-Ir, αλλά και άλλων ορυκτών υψηλής θερμοκρασίας όπως ο κειθκονίτης, ο σπερριλίτης και κράματα τα Pd-Sb.
5. Η ανάπτυξη πόρων, βαθιών χαραξέων και διαλυσηγενών σχημάτων δείχνει ότι κατά την μεταφορά τους στο ποτάμιο σύστημα, τα ψήγματα των PGM υφίστανται φθορά που οδηγεί στη μείωση του μεγέθους τους.
6. Η συχνή διατήρηση στην περιφέρεια των κόκκων πρωτογενών φάσεων υψηλής θερμοκρασίας, και η διατήρηση κρυσταλλικών δομών υποδεικνύει μικρή μηχανική καταπόνηση στο ποτάμιο σύστημα.
7. Παρατηρείται μεγάλη διαφορά τόσο στο μέγεθος όσο και στην ορυκτολογική σύσταση των προσχωματικών PGM από αυτά που εντοπίστηκαν στον Βούρινο και στην Πίνδο. Ο προσδιορισμός την προέλευσης των ορυκτών της ομάδας του λευκόχρυσου είναι αντικείμενο υπό μελέτη, θα μπορούσε όμως τόσο η διαφορά στη σύσταση όσο και αυτή του μεγέθους των κόκκων να αποδοθεί εν μέρει στο γεγονός ότι τα ιζήματα αποτελούν φυσικές θέσεις εμπλουτισμού από την διάβρωση μεγάλων ποσοτήτων πρωτογενών πετρωμάτων και στην πιθανό-

τητα να μην έχουν μελετηθεί επαρκώς οι οφιόλιθοι της περιοχής έρευνας. Γεγονός που είναι μέσα στους μελλοντικούς στόχους μας.

Βιβλιογραφία

- ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΣ Ι.Χ. & ΜΠΡΑΣΟΥΛΗΣ Δ.Ι. (1973). Λιγνιτοφόρος λεκάνη Κοζάνης-Σερβίων (Γεωλογία-Κοιτασματολογία-Γεωτρικτή έρευνα). Κοιτασματολογική έρευνα, ΙΓΜΕ, No 1., σελ. 77.
- AUGE T. (1985). Platinum-group-mineral inclusions in ophiolitic chromitite from the Vourinos complex, Greece. *Can. Min.*, 23, 163-171.
- CAPEDRI C., VENTURELI G., BOCCHI G., DOSTAL J., GARUTI G. & ROSSI A. (1980). The geochemistry and petrogenesis of an ophiolitic sequence from Pindos, Greece. *Contrib. Mineral. Petrol.* 74, 189-200.
- FISHER N.H. (1945). The fineness of gold with special reference to Morobe goldfields, New Guinea. *Econ. Geol.*, 40, 449-495.
- GIUSTI L. (1986). The morphology, mineralogy, and behavior of "fine-grained" gold from placer deposits of Alberta: sampling and implications for mineral exploration. *Can. J. EARTH Sci.*, 23, 1662-1672.
- HARRIS D.S. & CABRI L.J. (1991). Nomenclature of platinum-group-element alloys: review and revision. *Can. Mineral.*, 29, 231-237.
- JONES G. & ROBERTSON A.H.F. (1991). Tectono-stratigraphy and evolution of the mesozoic Pindos ophiolite and related units, Northwestern Greece. *J. Geol. Soc.*, 148, 267-288.
- KILLIAS A. & MOUNTRAKIS D. (1988). The Pelagonian nappe: tectonics metamorphism and magmatism. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXIII/1, 29-46.
- PEARCE J.A., LIPPARD S.J. & ROBERTS S. (1984). Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. In: Kokelaar, P.B., Howells, M.F. Eds., *Marginal Basin Geology*. Geol. Soc. Spec. Publ., London, 16, 77-94.
- ROSS J.V. & ZIMMERMAN J. (1996). Comparison of evolution and tectonic significance of the Pindos and Vourinos ophiolite suites, northern Greece. *Tectonophysics*, 256, 1-15.
- TARKIAN M., ECONOMOU-ELIOPOULOS M. & SAMBANIS G. (1996). Platinum-group minerals in chromitites from the Pindos ophiolite complex, Greece. *N. Jb. Miner.*, 4, 145-160.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 64-72</p>
---	---	--

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ GRAIND ΓΙΑ
ΤΗΝ ΑΡΧΕΙΟΘΕΤΗΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΚΑΙ
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΛΑΦΩΝ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΕΛΑΦΗ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Ε. Βασιλειάδης¹, Φ. Γερούκη¹

Περίληψη

Η σημασία των κοκκομετρικών/μηχανικών αναλύσεων για την κατάταξη των εδαφών είναι σημαντική για πολλούς κλάδους της επιστήμης. Ο χειρισμός όμως μεγάλου αριθμού δεδομένων καθιστά την κατάταξή τους εξαιρετικά χρονοβόρα. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται το λογισμικό πακέτο GRAIND το οποίο αναπτύχθηκε από το ΙΓΜΕ για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των κοκκομετρικών αναλύσεων. Το συγκεκριμένο λογισμικό, παρέχει την δυνατότητα εισαγωγής των αποτελεσμάτων των μηχανικών αναλύσεων σε βάση δεδομένων, επιτρέπει την επεξεργασία τους ανά δείγμα και προβάλλει τα αποτελέσματα σε τριγωνικά διαγράμματα κατάταξης. Συγχρόνως δημιουργεί αρχεία με κατάλληλη γραμμογράφηση για την κατασκευή εδαφολογικών χαρτών με πραγματικές γεωγραφικές συντεταγμένες.

Abstract

Soils are generally mixtures of differing sizes and shapes. This variety affects their physical and chemical properties and hence their behaviour. Therefore, the estimation of the proportions of the various particles of a soil is quite important in many disciplines. The plotting of the grain size analyses data on triangular diagrams, offers an adequate approximation of the classification of soils, according to the proportions of the three major fractions. (clay, silt, sand). The present study, refers to the development by IGME, of the software GRAIND, which facilitates the treatment of large numbers of analytical data. This software offers the user the possibility of entering particle -size analyses results in a database, allows data-treatment for each sample and projects the results on triangular classification plots. Furthermore, it creates appropriate files of different type of line shading, for the compilation of soil classification maps, with real coordinates.

Εισαγωγή

Το έδαφος αποτελεί ένα ετερογενές, πολύμικτο υλικό που συνίσταται από τρεις φάσεις: στερεά, υγρά και αέρια.

Η στερεά φάση του εδάφους, αποτελείται από τεμαχίδια διαφόρου μεγέθους,

1. ΙΓΜΕ. Μεσογείων 70, 11527 Αθήνα

τα οποία δυνατόν να είναι κρυσταλλικά ή άμορφα, ανόργανα ή οργανικά. Τα αδρόκοκκα ανόργανα τεμαχίδια (άμμος και ιλύς) αποτελούν το σκελετικό μέρος του εδάφους, ενώ τα λεπτόκοκκα (άργιλος) το κολλοειδές μέρος αυτού. Τα τελευταία, εξαιτίας του μικροσκοπικού τους μεγέθους έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια σε αντίθεση με τα πρώτα και ως εκ τούτου την ικανότητα να αντιδρούν κυρίως χημικώς. Έτσι η περιεκτικότητα ενός εδάφους σε άργιλο καθορίζει για παράδειγμα την ιοντο-ανταλλαγή και προσρόφηση των διαφόρων ιόντων, το πορώδες, υδατοπερατότητα κλπ. Επομένως η κατανομή και η επί τοις εκατό περιεκτικότητα ενός εδάφους στα τρία προαναφερθέντα κλάσματα (άργιλος, ιλύς, άμμος), αποτελεί ένα φυσικό σταθερό χαρακτηριστικό του και ως εκ τούτου η μηχανική/κοκκομετρική ανάλυση ενός εδάφους είναι σημαντική για την ταξινόμηση, μορφολογία και συμπεριφορά του.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τον προσδιορισμό του ποσοστού των τριών κλασμάτων σε εδαφικά δείγματα. Στην παρούσα μελέτη υιοθετήθηκε η ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος της καθίζησης που στηρίζεται στον νόμο του Stokes (ΑΛΕΞΙΔΗΣ 1980) όπου πρακτικά υπολογίζεται η ταχύτητα πτώσης ενός σωματιδίου συγκεκριμένης πυκνότητας και ακτίνας σε ένα μέσο διασποράς (νερό εν προκειμένω).

Η γραφική παράσταση των παραμέτρων που υπολογίστηκαν, δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού του ποσοστού της άμμου - ιλύος και αργίλου που συνιστά ένα εδαφικό δείγμα.

Η προβολή της ποσοστιαίας αναλογίας των τριών κλασμάτων σε τριγωνικό διάγραμμα (HUNT 1972) αποδίδει την κατάταξη του συγκεκριμένου δείγματος ως προς την μηχανική του σύνθεση. Τα τριγωνικά διαγράμματα, χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την κατάταξη των εδαφών από πολλούς επιστημονικούς κλάδους. Όμως η ύπαρξη μεγάλου αριθμού δειγμάτων καθιστά τη χρήση των συγκεκριμένων διαγραμμάτων εξαιρετικά χρονοβόρα και δυσχερή.

Μεθοδολογία

Για το λόγο αυτό και δεδομένου ότι στα πλαίσια του έργου του Β' Κ.Π.Σ. ΠΕΠ ΔΥΤ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ "Εδαφοχημική-εδαφολογική μελέτη περιοχής Κοζάνης Πτολεμαΐδας" έπρεπε να επεξεργαστούν τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων ~ 1500 δειγμάτων, αναλύθηκε το πρόβλημα (DAVIS 1973) και συντάχθηκε το λογισμικό πακέτο GRAIND για την ταξινόμηση των εδαφών και τη δημιουργία κατάλληλων αρχείων, ώστε να καταστεί δυνατή η χωρική αποτύπωση των καταταγμένων πλέον εδαφών σε χάρτες.

Το συγκεκριμένο λογισμικό στην αρχή δημιουργεί και ενημερώνει μία βάση δεδομένων, που για κάθε δείγμα, περιλαμβάνει τη διάμετρο των κόκκων (D), την ποσοστιαία αναλογία τους (P) στο δείγμα, καθώς και τις γεωγραφικές συντεταγμένες κάθε δείγματος. Σε δεύτερη φάση, μετά τη σχεδίαση της συνάρτησης $P = f(D)$,

υπολογίζονται τα ποσοστά αργίλου, ιλύος και άμμου για κάθε δείγμα.

Τα συγκεκριμένα ποσοστά προβάλλονται σε πεδία τριγωνικών διαγραμμάτων (Clay, Silt, Sand) που έχουν οριστεί από το USDA (U.S. Department of Agriculture) (HUNT 1972) και συγχρόνως δημιουργούνται αρχεία με την εξής γραμμογράφηση: Easting, Northing Value Clay%, Silt%, Sand%, Sample. Θα πρέπει επίσης να τονιστεί, ότι το συγκεκριμένο λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα προβολής των δεδομένων της μηχανικής ανάλυσης και σε άλλα τριγωνικά διαγράμματα με διαφορετικά πεδία (π.χ. εδαφοτεχνική κατάταξη), (HUNT 1972).

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των μηχανικών αναλύσεων, καθώς και οι χάρτες που προέκυψαν από αυτά παρουσιάζονται στα σχήματα 1 έως 6.

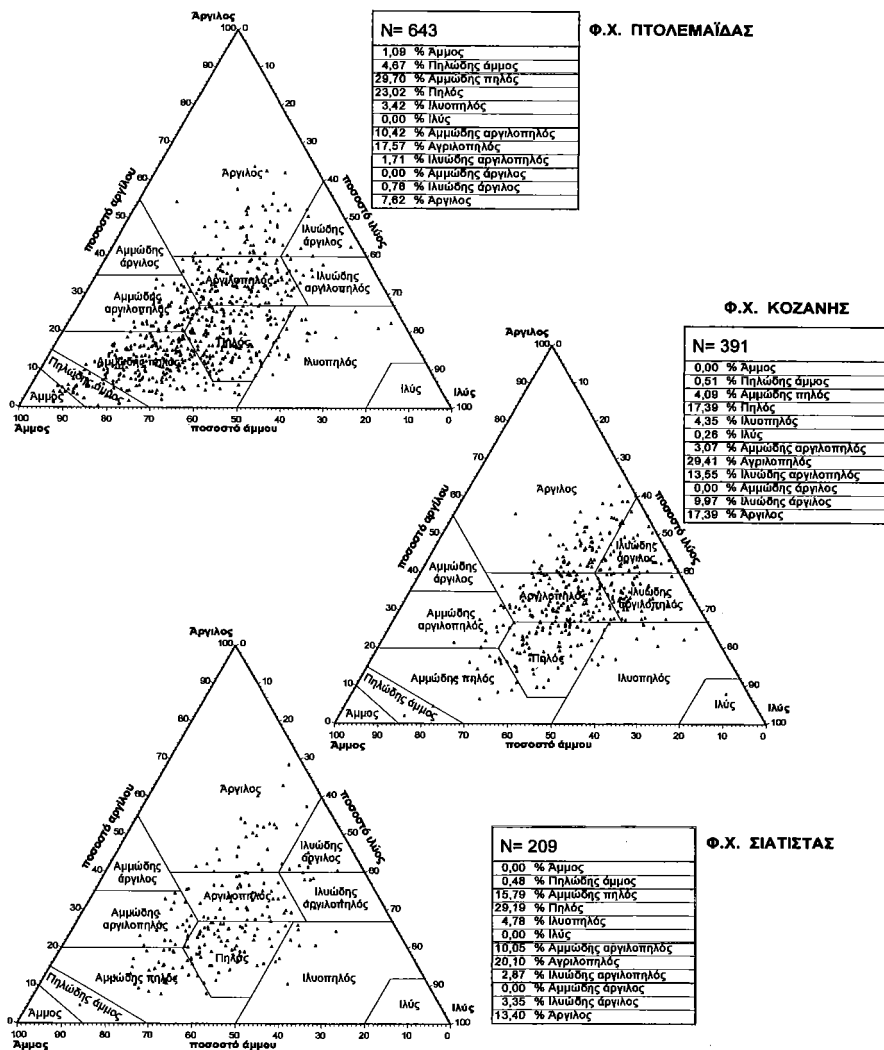
Από το σχήμα 1, διαπιστώνεται ότι τα εδάφη και των τριών Φ.Χ, κατατάσσονται στην κατηγορία “πηλώδη - αργιλώδη” με κυμαινόμενα όμως ποσοστά, στις επιμέρους κατηγορίες. Εμφανής διαφορά παρατηρείται μόνον μεταξύ των Φ.Χ. ΚΟΖΑΝΗΣ και ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ, όπου το ποσοστό του αργιλικού κλάσματος ανέρχεται σε 17,39% και 7,62% αντίστοιχα. Από τα σχήματα 2 και 3 η διαφορά αυτή καθίσταται εμφανής. Η παρατηρούμενη διαφορά προφανώς αντανακλά τους διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς των δύο φύλλων χάρτου.

Για την πλέον λεπτομερή μελέτη του χάρτη ταξινόμησης των εδαφών στο Φ.Χ. ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ έγινε ανάλυση της ποσοστιαίας συμμετοχής των τριών κλασμάτων (άργιλος, ιλύς, άμμος) και τα αποτελέσματα υπό μορφή χαρτών εμφανίζονται στα σχήματα 4, 5 και 6, όπου από την ένταση της γραμμοσκίασης καθίσταται εμφανής η τάξη μεγέθους του κάθε κλάσματος στον χώρο.

Είναι προφανές, ότι το συγκεκριμένο λογισμικό παρέχει την δυνατότητα δημιουργίας εδαφολογικών/εδαφοτεχνικών χαρτών, με όποια πυκνότητα δειγματοληψίας επιβάλλεται. Η χρήση τέτοιων χαρτών είναι εύκολη και άμεσα λειτουργική από οποιοδήποτε και μπορούν να αποτελέσουν βασικό εργαλείο υποδομής.

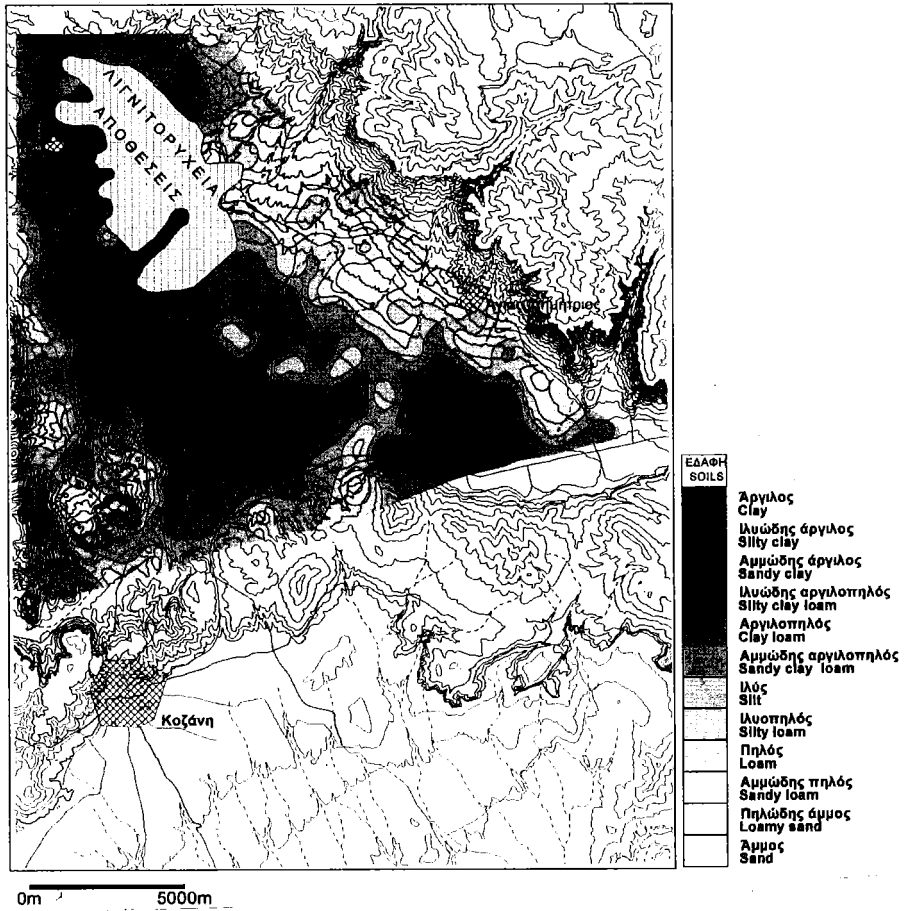
Βιβλιογραφία

- ΑΛΕΞΙΑΔΗΣ Α.Α. (1980). Φυσική και χημική ανάλυση του εδάφους. ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη σ. 383.
- DAVIS J.C. (1973). Statistics and data analysis in Geology I.Wiley & Sons Inc. USA p. 550.
- HUNT, C. B. (1972). Geology of soils: Their evolution, classification and uses. W.H Freeman and Company San Francisco p. 344.
- ΙΓΜΕ Γεωλογικά Φ.Χ. ΣΙΑΤΙΣΤΑ, ΚΟΖΑΝΗ, ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ, ΠΥΡΓΟΙ.



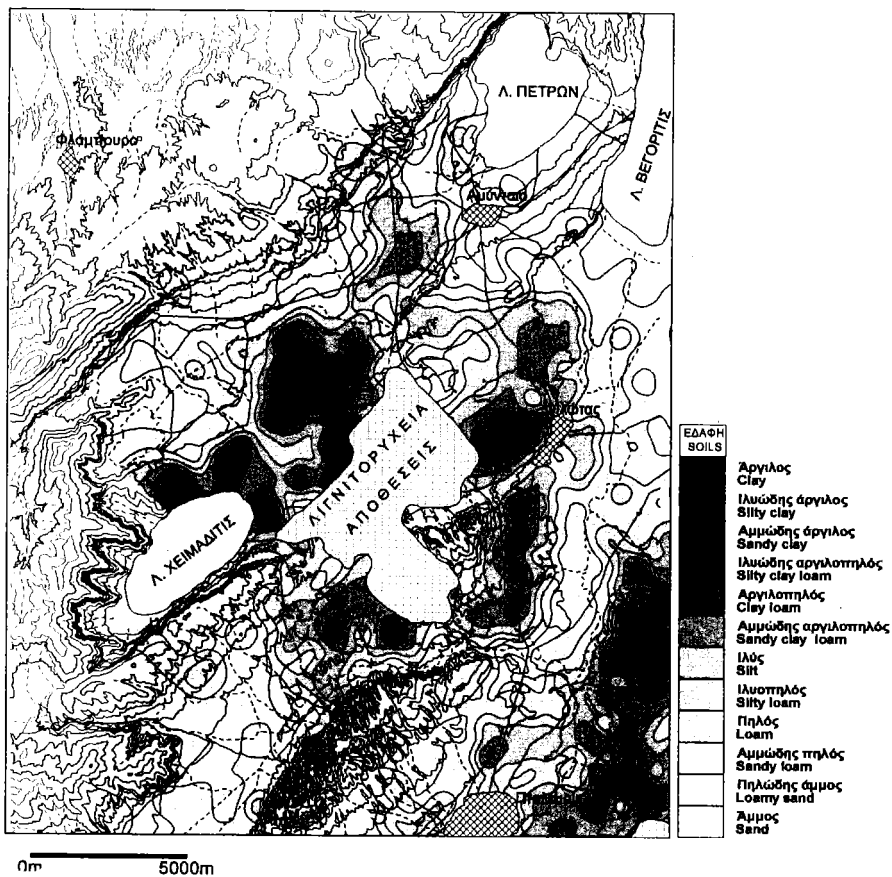
Σχήμα 1. Προβολή του ποσοστού άμμου, ιλύος και αργίλου των εδαφών της περιοχής έρευνας σε τριγωνικά διαγράμματα κατά HUNT (1972).

Figure 1. Proportions of sand, silt and clay in the soil samples of the study area HUNT (1972).



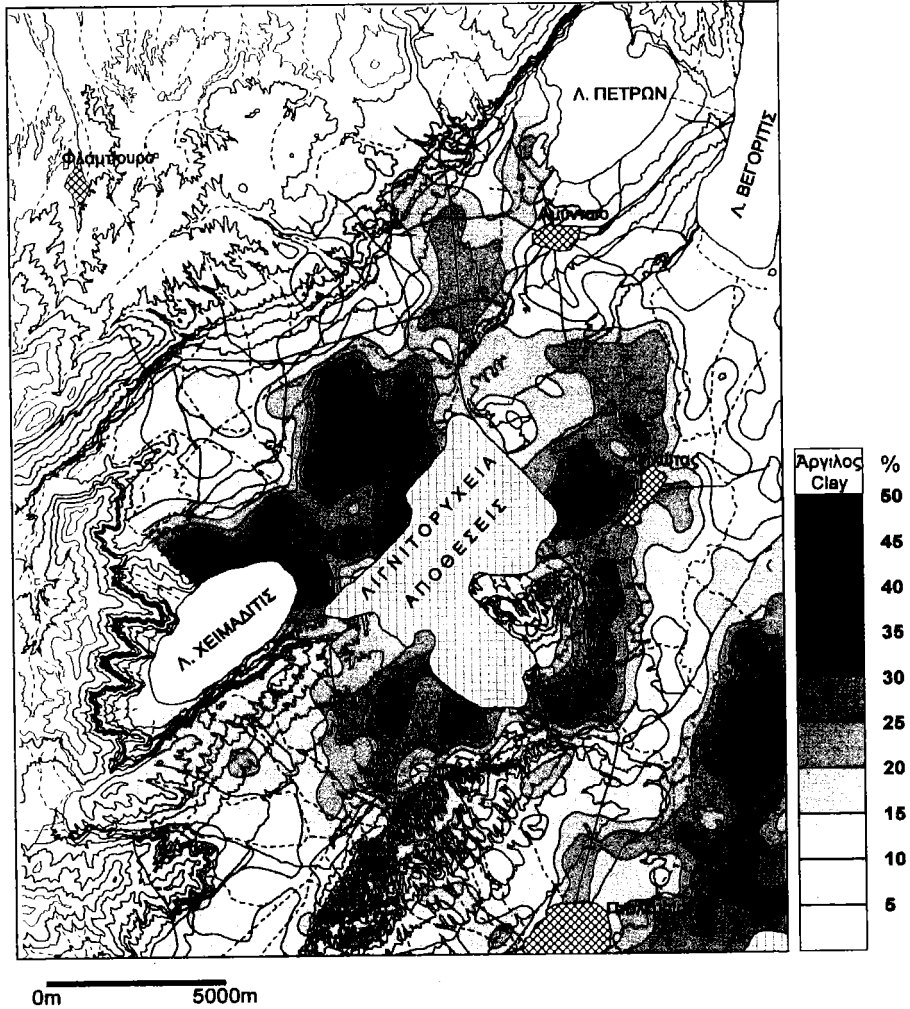
Σχήμα 2. Χάρτης κοκκομετρικής ταξινόμησης των εδαφών (Φ.Χ. ΚΟΖΑΝΗΣ).

Figure 2. Particle-size classification map of soils (KOZANI MAP SHEET).



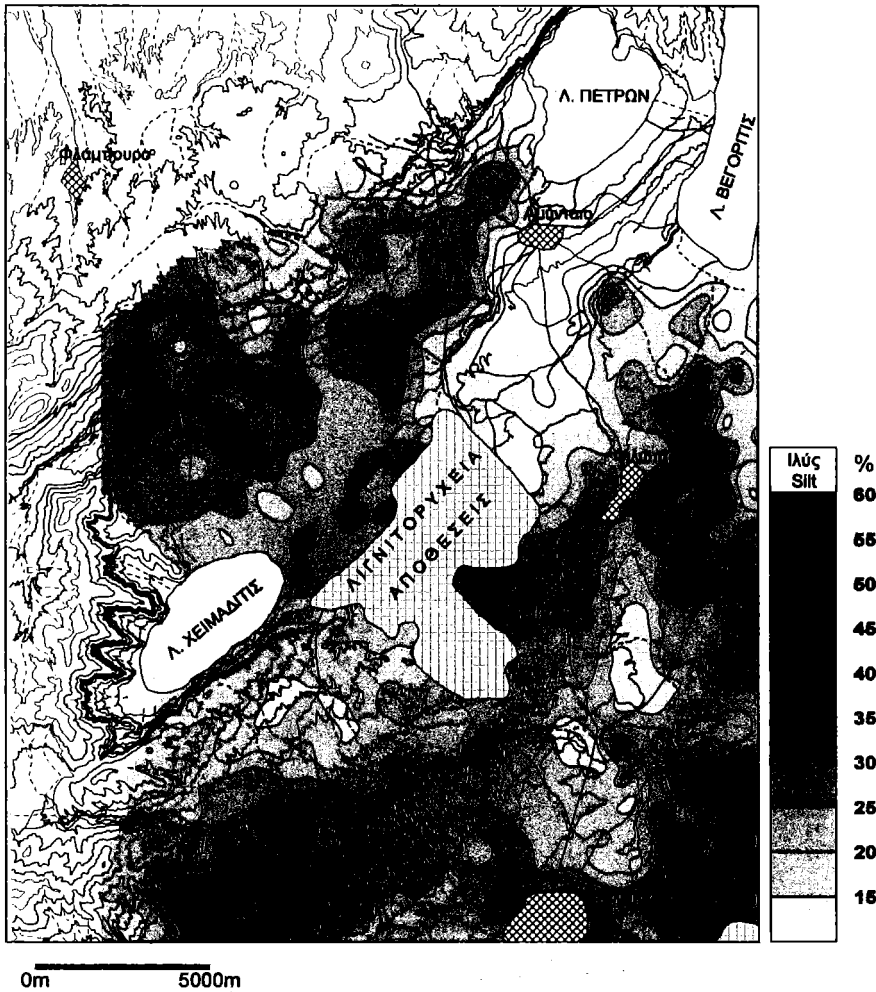
Σχήμα 3. Χάρτης κοκκομετρικής ταξινόμησης των εδαφών (Φ.Χ. ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ).

Figure 3. Particle-size classification map of soils (PTOLEMAIS MAP SHEET).



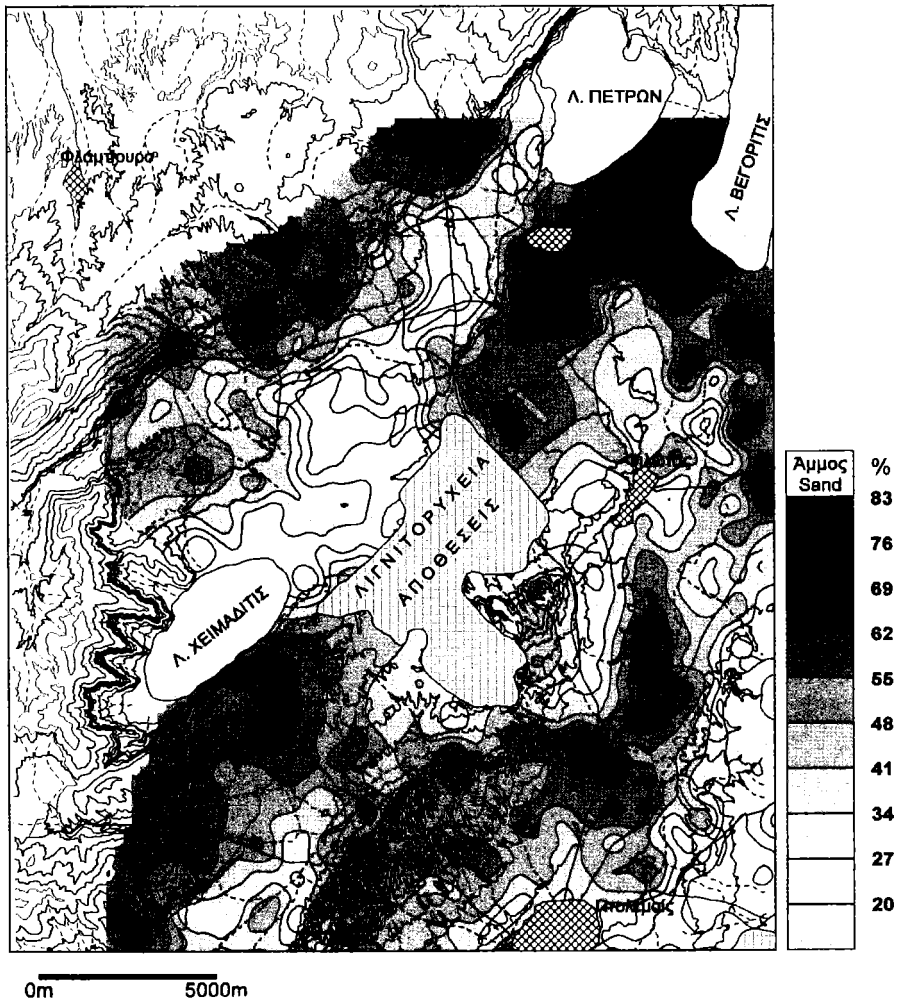
Σχήμα 4. Χάρτης ποσοστιαίας συμμετοχής του αργιλικού κλάσματος των εδαφών (Φ.Χ. ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ).

Figure 4. Proportional analysis map of the soil clay fraction (PTOLEMAIS MAP SHEET).



Σχήμα 5. Χάρτης ποσοστιαίας συμμετοχής του κλάσματος ιλύος των εδαφών (Φ.Χ. ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ).

Figure 5. Proportional analysis map of the soil silt fraction (PTOLEMAIS MAP SHEET).



Σχήμα 6. Χάρτης ποσοστιαίας συμμετοχής του κλάσματος άμμου των εδαφών (Φ.Χ. ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ).

Figure 6. Proportional analysis map of the soil sand fraction (PTOLEMAIS MAP SHEET).

ΜΕΛΕΤΗ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΤΥΠΩΝ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΣΤΗ ΛΑΤΟΜΙΚΗ ΖΩΝΗ ΤΡΑΝΟΒΑΛΤΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ

Δ. Γαλανάκης*, Π. Μαστρογιάννης*, Π. Πλούμης*, Η. Κελεσιδής*

Περίληψη

Τα μάρμαρα της περιοχής Τρανόβαλτου, είναι ασβεστιτικά, λευκού έως υπόλευκου χρώματος, ανήκουν στην Πελαγονική ζώνη και η ηλικία τους τοποθετείται στο Τριαδικό-Ιουρασικό. Τα αποθέματα στην συγκεκριμένη περιοχή είναι σημαντικά αλλά οι γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν καθιστούν δύσκολη την εκμεταλλεύσή τους. Ο ισχυρή αλπική παραμόρφωση που έχουν υποστεί, σε συνδυασμό με την έντονη ρηξιγενή τεκτονική έχει ως αποτέλεσμα ο συντελεστής αποληψιμότητας να είναι εξαιρετικά χαμηλός. Η συνεχής όμως εκμετάλλευση των μαρμάρων στην ευρύτερη περιοχή του Τρανόβαλτου, οφείλεται κυρίως στα πολύ καλά ποιοτικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζει και στην καθετοποιημένη παραγωγή των διάφορων εμπορικών τύπων και όγκων μαρμάρων με τη δημιουργία μονάδων επεξεργασίας στον τόπο εξόρυξης. Τα μάρμαρα του Τρανόβαλτου είναι κατάλληλα για όλες τις κατασκευαστικές χρήσεις, αλλά και για πολλές βιομηχανικές.

Abstract

The calcitic white to semi-white marbles of Tranovaltos area belong to the Pelagonian zone and their age is placed between Triassic and Jurassic. The marble reserves in this particular area are significant but the geological conditions cause difficulties in their exploitation. Due to the intensive Alpine deformation in combination with the intensive fault tectonics that they have undergone, the recovery coefficient is extremely low. However the persistent exploitation of the marbles in the Tranovaltos area, is explained by the good quality characteristics and by the convenience of the existence of the processing plants next to the quarries where all the commercial types and various block-sizes are fully processed. The marbles of Tranovaltos are suitable for all building uses as well as for many industrial applications.

Εισαγωγή

Η περιφέρεια της δυτικής Μακεδονίας διαθέτει αξιόλογη ποικιλία διακοσμητικών πετρωμάτων όπως μάρμαρα και γρανίτες. Ορισμένα από τα πλέον αξιόλογα κοιτάσματα μαρμάρων του ελλαδικού χώρου αποτελούν σημαντικό πλουτοπαραγωγί-

Study of commercial types of marbles in the quarry zone of Tranovaltos Kozani

* Ι.Γ.Μ.Ε., Μεσογείων 70 115 27, Αθήνα

κό δυναμικό για την περιοχή του Τρανόβαλτου Κοζάνης. Τα εξαιρετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά, ιδιαίτερα των λευκών μαρμάρων της περιοχής, τα καθιστούν περιζήτητα στην ελληνική και διεθνή αγορά, την οποία αδυνατεί να καλύψει η σημερινή λατομική παραγωγή. Η έλλειψη πρώτης ύλης είναι το σημαντικότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις μαρμάρου, ενώ τα εγκατεστημένα εργοστάσια επεξεργασίας μαρμάρου που βρίσκονται στην συγκεκριμένη περιοχή είναι υπερδιπλάσιας δυναμικότητας από την υπάρχουσα πρώτη ύλη.

Έχει γίνει πλέον σαφές από όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς (πολιτεία, επιχειρήσεις κλπ.) η σημασία μιας ολοκληρωμένης μελέτης που θα αφορά όλες τις φάσεις αξιοποίησης των μαρμάρων, από τον προσδιορισμό των χώρων εκμετάλλευσης μέχρι τη διάθεση του τελικού προϊόντος στην αγορά.

Το παράρτημα Κοζάνης του Ε.Ο.Μ.Μ.Ε.Χ. (1994) στο επιχειρησιακό σχέδιο ανάπτυξης των περιοχών Τρανόβαλτου και Σερβίων, διαπιστώνει τα παρακάτω σημαντικά προβλήματα στις μονάδες εξόρυξης, επεξεργασίας και εμπορίας.

- α) Δυσκολία διάθεσης του ημίλευκου μαρμάρου (αποτελεί το 80% της συνολικής παραγωγής) εξαιτίας της προτίμησης στο λευκό.
- β) Απουσία συμμετοχής σε διεθνείς εκθέσεις μαρμάρου εξαιτίας του υψηλού κόστους.
- γ) Επιβάρυνση του περιβάλλοντος εξαιτίας έλλειψης συνολικού σχεδιασμού για τη διάθεση των στεριών και άλλων αποβλήτων.
- δ) Έλλειψη υποδομών ύδρευσης, αποχέτευσης και οδικού δικτύου.
- ε) Ελλιπή μέτρα ασφάλειας και υγιεινής των εργαζομένων.
- ζ) Αδυναμία διασφάλισης σταθερής ποιότητας των προϊόντων.
- η) Ανεπαρκή διεύθυνση λειτουργίας των μονάδων και έλλειψη σύγχρονων μεθόδων προβολής των προϊόντων.
- θ) Ανεπαρκές επίπεδο εκπαίδευσης των εργαζομένων σε μηχανήματα σύγχρονης τεχνολογίας με αποτέλεσμα την περιορισμένη αξιοποίησή τους.
- ι) Παντελή απουσία επιστημονικού προσωπικού στην παραγωγή, επεξεργασία και διαχείριση.

Στόχος αυτής της εργασίας είναι η μελέτη των εμπορικών τύπων μαρμάρου που υπάρχουν στην περιοχή, ώστε να εξασφαλιστεί η αναγκαία πρώτη ύλη στο στενό λατομικό χώρο του Τρανόβαλτου και να στηριχτούν οι επιχειρήσεις του κλάδου του μαρμάρου της περιοχής που αντιμετωπίζουν προβλήματα, εξαιτίας της μειωμένης παραγωγής.

Αυτή η μελέτη αποτελεί ένα μικρό τμήμα του όλου ερευνητικού προγράμματος που αφορά το μαρμαρικό δυναμικό της δυτικής Μακεδονίας και αναφέρεται στη στενή λατομική περιοχή του Τρανόβαλτου (Σχ. 1). Εκτός της γεωλογικής δομής, της ρηξιγενούς τεκτονικής και των εργαστηριακών αναλύσεων που παρουσιάζονται, έγινε προσπάθεια να διαχωριστούν και να χαρτογραφηθούν οι διάφοροι εμπορικοί τύποι μαρμάρων ανάλογα με τις χρωματικές τους διαφοροποιήσεις.

Η μαρμαροφόρα περιοχή του Τρανόβαλλου (Σχ. 1) βρίσκεται περίπου 25 km νότια της Κοζάνης. Η λατομική δραστηριότητα στην περιοχή άρχισε το 1954. Σήμερα δραστηριοποιούνται δώδεκα εταιρίες με δεκαέξι λατομεία από τα οποία μόνο τα εννέα βρίσκονται σε λειτουργία. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός που διαθέτουν αυτές οι εταιρίες αποτελείται από εικοσιπέντε σκαπτικά (τσάπες), είκοσι φορτωτές, είκοσι πέντε αυτοκίνητα, δέκα διατηρητικά μηχανήματα και δεκαπέντε αδαμαντοφόρες συρματοκοπές. Η συνολική παραγωγή σε ογκομάζα είναι 2.000 m³, ενώ σε ξοφάρια είναι περίπου 40.000 τόν. το χρόνο (1996).

Στην ευρύτερη περιοχή Τρανόβαλλου είναι επίσης εγκατεστημένα δεκατέσσερα εργοστάσια επεξεργασίας μαρμάρου, με μηχανολογικό εξοπλισμό που αποτελείται από τρία μονόλαμα, είκοσι οριζόντια - κάθετα μηχανήματα, δεκαεφτά κόφτες, και επτά γυαλιστικές μηχανές.

Το σύνολο των εργαζομένων στις λατομικές δραστηριότητες προέρχεται από τη γύρω περιοχή. Απασχολούνται περίπου τετρακόσια άτομα, από τα οποία το 45% εργάζεται στα λατομεία και το 55% στα εργοστάσια μεταποίησης του μαρμάρου. Όσον αφορά το ιδιοκτησιακό καθεστώς, ολόκληρη η λατομική περιοχή είναι κοινοτική έκταση που ανήκει στην κοινότητα Τρανόβαλλου (σήμερα δήμος Καμβουνίων).

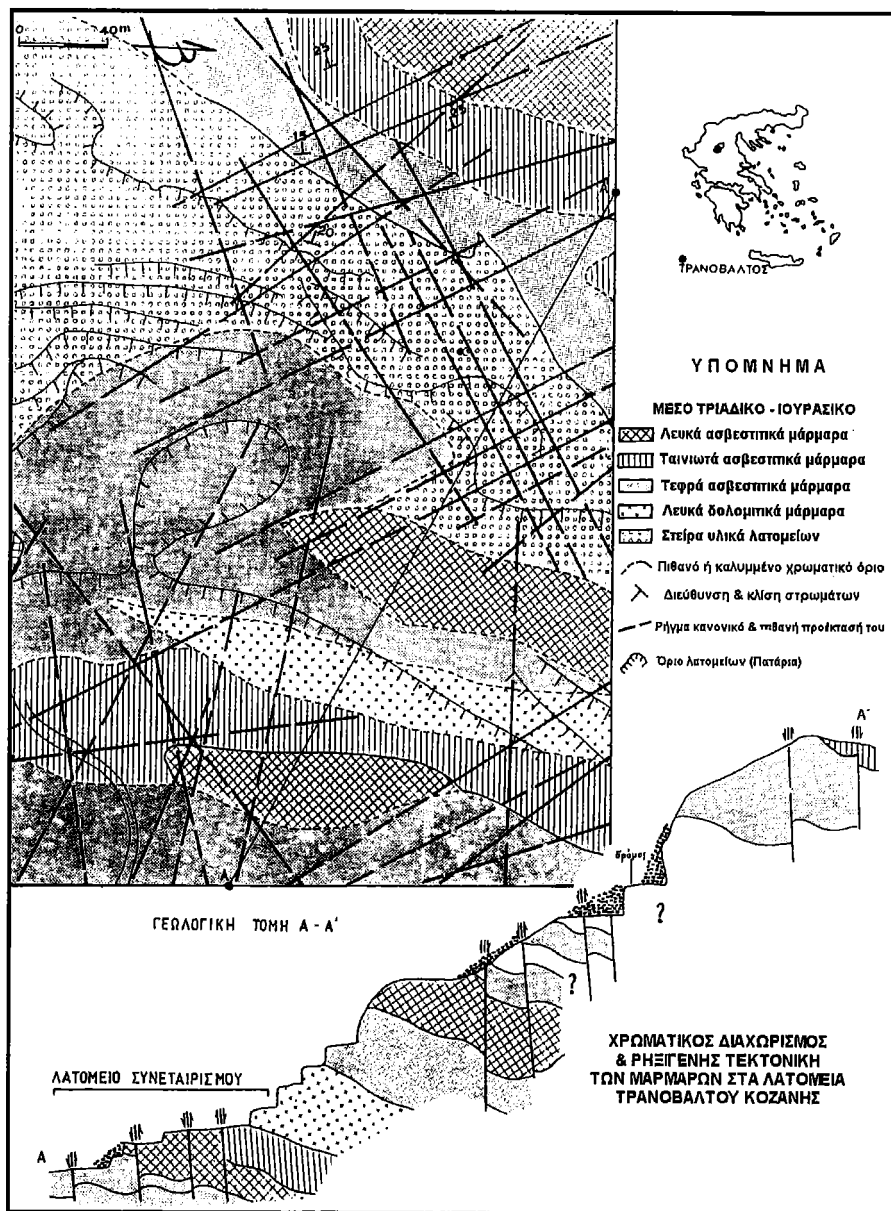
Γεωλογικά στοιχεία

Η περιοχή μελέτης αποτελείται από γεωλογικούς σχηματισμούς που ανήκουν λιθοστρωματογραφικά και γεωτεκτονικά στο δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής ζώνης. Οι παλαιότεροι σχηματισμοί που απαντούν εδώ είναι Παλαιοζωϊκής έως Κάτω-Τριαδικής ηλικίας, (Σχ. 1) και αποτελούνται από επιδοιτιτικούς-μαρμαρυγιακούς γνευσιοσχιστόλιθους και χλωριτικούς, επιδοιτιτικούς και αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους ποικίλου χρώματος. Πάνω τους αναπτύσσεται η ανθρακική σειρά που έχει ηλικία Μέσου Τριαδικού - Ιουραϊκού.

Γενικά η ανθρακική ακολουθία αποτελείται από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους έως μάρμαρα και δολομίτες, τα κατώτερα μέλη της οποίας έχουν χρώμα λευκό έως ροδόλευκο με συχνές εναλλαγές τεφρόλευκων, ενώ τα ανώτερα μέλη γενικά παρουσιάζουν τεφρό χρώμα.

Τα κατώτερα μέλη, τα οποία είναι σε εκμετάλλευση, αποτελούνται από παχυστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους ποικίλου χρώματος. Από τα κατώτερα μέλη, η κύρια δραστηριότητα εκμετάλλευσης γίνεται στους λευκούς οριζόντες, οι οποίοι έχουν και τη μεγαλύτερη εμπορική αξία, ενώ γίνεται σημαντική εκμετάλλευση σε θέσεις όπου εναλλάσσονται λευκοί και τεφρόλευκοι οριζόντες με χαμηλότερη όμως εμπορική αξία.

Τα ανώτερα μέλη της ανθρακικής ακολουθίας εξαπλώνονται δυτικά της λατομικής περιοχής και είναι κυρίως μεσοστρωματώδεις δολομιτικοί ασβεστόλιθοι (ΠΑΛΑΙΟΚΩΣΤΑΣ & ΓΡΙΒΑΣ 1995). Η σειρά ολοκληρώνεται με εναλλαγές λε-



Σχήμα 1. Γεωλογικός χάρτης τμήματος της λατομικής περιοχής του Τρανόβαλτου, (ΜΑΣΤΡΟΓΙΑΝΝΗΣ & ΓΑΛΑΝΑΚΗΣ 1998).

Figure 1. Part of geological map of the Tranovaltos quarry area, (MASTROYANNIS & GALANAKIS 1998).

πτοστρωματωδών μαρμάρων, φυλλιτών και σχιστόλιθων πάνω στους οποίους έχει επωθηθεί το οφιολιθικό σύμπλεγμα.

Το οφιολιθικό σύμπλεγμα της περιοχής αποτελείται από υπερβασικά πετρώματα (σερπεντινίτες, δουνίτες και πυροξενίτες), καθώς και βασικά πετρώματα (γάββρους), χρώματος σκουροπράσινου και είναι επωθημένο τόσο επί των παλαιozoικών γνευσιοσχιστόλιθων όσο και επί της ανθρακικής σειράς του Τριαδικού-Ιουρασικού που περιγράφηκε προηγουμένως.

Πάνω στο προνεογενές αυτό υπόβαθρο απαντούν πρόσφατες αποθέσεις Πλειοπλειστοκαινικής και Ολοκαινικής ηλικίας. Τα Πλειστοκαινικά ιζήματα αποτελούνται από ποταμοχερσαία έως ποταμολιμναία υλικά, κυρίως κροκαλοπαγή, αργίλους και άμμους. Οι αλλουβιακές αποθέσεις αποτελούνται κυρίως από άμμους, ιλύες, αργίλους και ασύνδετες κροκάλες και λατύπες.

Τεκτονικά στοιχεία

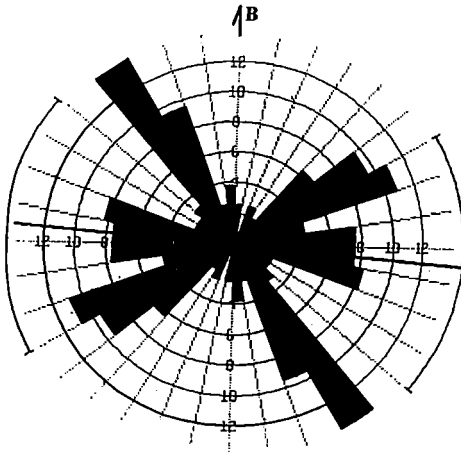
Η παραμόρφωση που έχει υποστεί η ευρύτερη περιοχή του Τρανόβαλτου είναι ιδιαίτερα σύνθετη και οφείλεται αρχικά στο γεωδυναμικό γεγονός που προκάλεσε την τοποθέτηση των οφιόλιθων επί των μαρμάρων, με γενική διεύθυνση προώθησης $B 40^{\circ}-50^{\circ}$ (WRIGHT 1986).

Η συμπιεστική τεκτονική στην οποία οφείλεται η τοποθέτηση των οφιόλιθων επί των μαρμάρων είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία πτυχωσιγενών δομών, ανάστροφων ρηγμάτων, καθώς και πτυχών διάτμησης που οφείλονται σε ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης. Τα μάρμαρα, εξαιτίας της ισχυρής συμπίεσης που έχουν δεχτεί, είναι πτυχωμένα, με κλειστές κεκλιμένες πτυχές των οποίων η αξονική διεύθυνση είναι $B20^{\circ} \Delta$ και η βύθιση των αξόνων είναι κυρίως προς τα βορειοδυτικά. Στην παραμόρφωση των μαρμάρων έχουν συμβάλλει επίσης και οι διατμητικές πτυχές, οι οποίες όμως είναι ανοικτές και έχουν αξονική διεύθυνση $B65^{\circ} A$ και βύθιση αξόνων προς ΒΑ (ΓΑΛΑΝΑΚΗΣ 1993).

Ο ισχυρός κατακερματισμός που παρατηρείται στα μάρμαρα του Τρανόβαλτου δεν οφείλεται όμως μόνο στην παλιά πτυχωσιγενή τεκτονική, αλλά κυρίως στην πρόσφατη ρηξιγενή, που έχει εκδηλωθεί με μεγάλα κανονικά ρήγματα και πυκνά συστήματα διακλάσεων.

Διακρίνονται τρία συστήματα κανονικών ρηγμάτων που επηρεάζουν τα μάρμαρα της περιοχής και τα οποία έχουν διεύθυνση περίπου $A-\Delta$, $BA-N\Delta$ και $B\Delta-NNA$. Οι διευθύνσεις αυτές παρουσιάζονται στο συνολικό ροδοδιάγραμμα συχνότητας (Σχ. 2), ύστερα από την επεξεργασία και αξιολόγηση των στοιχείων υπαίθρου.

Κατά μήκος των ρηγμάτων αυτών παρατηρούνται τεκτονικά λατυποπαγή το πάχος των οποίων κυμαίνεται από 1 έως 10 m, ανάλογα με το μέγεθος της διάρρηξης. Επίσης εντός της μάζας του τεκτονικού λατυποπαγούς απαντώνται δευτερογενείς αποθέσεις αργιλικών και ασβεστιτικών υλικών.



Σχήμα 2. Συνολικό ροδοδιάγραμμα συχνότητας των διαρρήξεων που επηρεάζουν την περιοχή της λατομικής ζώνης του Τρανόβαλτου.

Figure 2. Frequency fracture roses diagram which affect on Tranovaltos quarry zone.

Οι κύριες διευθύνσεις των επιπέδων των διακλάσεων που αναγνωρίστηκαν και έχουν προκαλέσει ισχυρό κατακερματισμό στα μάρμαρα, ταυτίζονται με τις διευθύνσεις των ρηγμάτων που έχουν επηρεάσει την περιοχή. Η πυκνότητα των διακλάσεων είναι πολύ μεγάλη με αποτέλεσμα να δημιουργείται πυκνό διαρρηκτικό δίκτυο (Σχ. 3) γεγονός που μειώνει δραματικά το συντελεστή αποληψιμότητας. Η παρατήρηση των ροδοδιαγραμμάτων συχνότητας των διευθύνσεων των διακλάσε-



Σχήμα 3. Σύστημα πυκνών διακλάσεων που κατακερματίζει τα μάρμαρα του Τρανόβαλτου.

Figure 3. System of dense joints in the Tranovaltos marbles.

ων δείχνει καθαρά ότι οι τρεις διευθύνσεις που κατακερματίζουν τα μάρμαρα είναι: α. $N55^{\circ}A - N75^{\circ}A$ β. $N90^{\circ}A - N100^{\circ}A$ γ. $N25^{\circ}\Delta - N40^{\circ}0\Delta$.

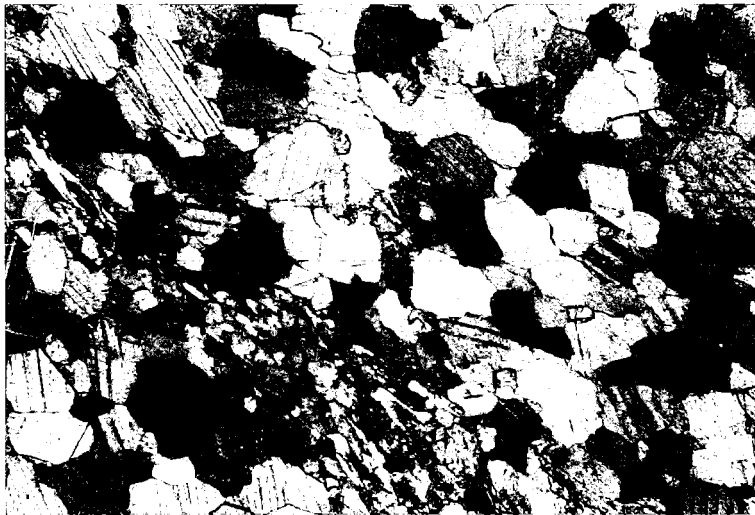
Οι κλίσεις των επιπέδων των ρηγμάτων και των διακλάσεων που προέρχονται από την πρόσφατη ρηξιγενή τεκτονική είναι γενικά μεγάλες, μεταξύ $70^{\circ}-90^{\circ}$. Το παλαιότερο σύστημα ρηγμάτων είναι αυτό με διεύθυνση περίπου $BBA-NNA$ ($N25^{\circ}\Delta-N100\Delta$), ενώ τα άλλα δύο συστήματα είναι νεότερα και έχουν άμεση σχέση με το μεγάλο ενεργό ρήγμα των Σερβίων (FAUGERES 1978). Η πυκνότητα των νεότερων διαορθρωτικών συστημάτων είναι πολύ μεγάλη, γιατί η ευρύτερη περιοχή μελέτης εντάσσεται μέσα στη ρηξιγενή ζώνη που έχει δημιουργηθεί μεταξύ του ρήγματος των Σερβίων και του ρήγματος που διέρχεται ανατολικά του Τρανόβαλτου και ορίζει τον ορεινό όγκο της Βουνάσας (RONDOYIANNI et al 1996). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη πυκνότητα των διακλάσεων που πολύ συχνά φτάνει τις 15 ανά μέτρο, με αποτέλεσμα σε πολλές θέσεις τα μάρμαρα να είναι λατυποποιημένα (Σχ. 3) και ο συντελεστής αποληψιμότητας ακόμα περισσότερο μειωμένος. Οι νεότερες διακλάσεις δεν έχουν πληρωθεί με δευτερογενές υλικό ή το δευτερογενές υλικό πλήρωσης είναι χαλαρό, στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες της πρόσφατης δράσης των ρηξιγενών ζωνών με τις οποίες συνδέονται οι διακλάσεις αυτές.

Εργαστηριακές εξετάσεις

Ορυκτολογική - Πετρογραφική εξέταση

Η εξέταση λεπτών τομών στο πολωτικό μικροσκόπιο του μαρμάρου της περιοχής Τρανόβαλτου έδειξε ότι πρόκειται για ασβεστίτικο μάρμαρο με γρανοβλαστικό ιστό και συμπαγή υφή. Αποκλειστικό ορυκτολογικό συστατικό με μορφή υπιδιομόρφων έως αλλοτριομόρφων κρυστάλλων με περίπου ίσο μέγεθος (κατά μέσο όρο $0,15\text{ mm}$) είναι ο ασβεστίτης. Ενίοτε διακρίνονται πολύ μικρότεροι σε μέγεθος κρύσταλλοι δολομίτη σε συγκεντρώσεις ακανόνιστου σχήματος. Παρατηρούνται επίσης διάσπαρτοι δολομιτικοί κρύσταλλοι ισομεγέθεις με αυτούς του ασβεστίτη. Σε ορισμένες τομές εντοπίστηκαν επίσης ελάχιστοι κρύσταλλοι χαλαζία, αστρίων και μοσχοβίτη. Οι μικροσκοπικά χρωματικές διαφοροποιήσεις του μαρμάρου (λευκό, τεφρό) δεν διακρίνονται μικροσκοπικά. Οι ακανόνιστου σχήματος φακοειδείς ταινίες απαλού κιτρινοκαστανού χρώματος, "νερά" του μαρμάρου αποτελούνται από μικροκρυσταλλικό δολομίτη και μοσχοβίτη (Σχ. 4).

Δεν διακρίνονται χαρακτηριστικά τεκτονικής καταπόνησης του πετρώματος στους κρυστάλλους του ασβεστίτη (τουλάχιστον στις θέσεις από όπου ελήφθησαν τα δείγματα). Με τα υπάρχοντα στοιχεία της μικροσκοπικής εξέτασης η μερική δολομιτώση δεν φαίνεται να βρίσκεται σε συνάρτηση με τεκτονικές (επιγενετικές) διεργασίες, παρά μόνο με το εγκλωβισμένο Mg του θαλασσινού νερού κατά την ιζηματογένεση, πριν από την καθολική μεταμόρφωση.



Σχήμα 4. (⊥ Nicols) Τμήμα ακανόνιστης φακοειδούς ταινίας, “νερά” του μαρμάρου. Αποτελείται από μικροκρυστάλλους δολομίτη και μοσχοβίτη και διατρέχει διαγώνια την εικόνα από την αριστερή κατακόρυφη πλευρά προς το μέσο της κάτω οριζόντιας.

Figure 4. (⊥ Nicols) Part of irregular lenticular band marbles. It is consisted from dolomite fine crystals and muscovite and it runs diagonal from the left vertical side to the centre of the low horizontal side.

Χημική ανάλυση

Για την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών του μαρμάρου του Τρανόβαλτου έγιναν χημικές αναλύσεις σε δύο αντιπροσωπευτικά δείγματα της περιοχής οι οποίες έδωσαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Με βάση τις παραπάνω χημικές αναλύσεις μπορούμε να κατατάξουμε το πέτρωμα της περιοχής Τρανόβαλτου Κοζάνης στα καθαρά ασβεστιτικά μάρμαρα.

Φυσικομηχανικές ιδιότητες

Οι φυσικομηχανικές ιδιότητες καθορίζουν κατά κύριο λόγο τις καλύτερες χρήσεις του μαρμάρου. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε αντιπροσωπευτικά δοκί-

Πίνακας 1. Χημική σύσταση (κ.β.%) των μαρμάρων Τρανόβαλτου
Table 1. Chemical composition (% wt) of the Tranovaltos marbles

Δείγμα	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Απ. Πυρ.	Χρώμα
1	54.5	0.7	0.7	0,11	0.03	0,01	0,07	43,4	Λευκό
2	54.0	1.0	0.8	0,12	0,03	0,01	0,03	43,4	Υπόλευκο

μια κατάλληλα διαμορφωμένα, σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές.

Οι τέσσερις πρώτες δοκιμές έγιναν σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Αμερικάνικου συστήματος A.S.T.M., ενώ η τελευταία σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Γερμανικού DIN. Από τα αποτελέσματα των δοκιμών (Πιν. 2) προκύπτει ότι το μάρμαρο της περιοχής Τρανόβαλτου είναι κατάλληλο για όλες τις κατασκευαστικές χρήσεις, αλλά και για πολλές βιομηχανικές.

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της μελέτης για τη δυνατότητα μεγαλύτερης αξιοποίησης των μαρμάρων της περιοχής Τρανόβαλτου Κοζάνης μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Η ευρύτερη περιοχή μελέτης έχει δεχθεί τη δράση αλπικών συμπιεστικών τεκτονικών φάσεων οι οποίες έχουν δημιουργήσει πτυχωσιγενείς δομές, ανάστροφα ρήγματα και ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης με αντίστοιχες διαμημητικές πτυχές. Η επώθηση των οφιολίθων του Βούρινου έχει επηρεάσει καθοριστικά την ευρύτερη περιοχή μελέτης και ιδιαίτερα έχει επιφέρει ισχυρή καταπόνηση και θρυμματισμό των μαρμάρων. Σημαντικό ρόλο στον κατακερματισμό των μαρμάρων έχει παίξει η πρόσφατη ρηξιγενής τεκτονική η οποία εκφράζεται με κανονικά ρήγματα και διακλάσεις, αποτέλεσμα της οποίας είναι η μείωση ακόμα περισσότερο του συντελεστή αποληψιμότητας. Οι δυσμενείς τεκτονικές συνθήκες που επικρατούν στην στενή περιοχή των λατομείων του Τρανόβαλτου είναι ίδιες και στην ευρύτερη περιοχή, ως εκ τούτου επέκταση των λατομικών δραστηριοτήτων σε γειτονικές περιοχές θα αντιμετωπίζει πάντα τα ίδια προβλήματα τεκτονικής.
2. Ο κατακερματισμός των μαρμάρων επιβαρύνεται επιπλέον από τη χρήση εκρηκτικών υλών, μολονότι χρησιμοποιούνται μικρές ποσότητες, γιατί προσβάλλουν και υγιείς όγκους μαρμάρων με αποτέλεσμα να μειώνεται η εμπορική τους αξία.
3. Τα μάρμαρα της περιοχής μελέτης είναι ασβεστιτικά κυρίως μικροκρυσταλλικά έως μεσοκρυσταλλικά. Το χρώμα τους παρουσιάζει ζωνώδη και πλευρική διαφοροποίηση και διακρίνονται τρεις χρωματικοί εμπορικοί τύποι μαρμά-

Πίνακας 2. Αποτελέσματα φυσικομηχανικών δοκιμών των δειγμάτων που αναλύθηκαν
Table 2. Results of the physical and mechanical tests of the analysed samples

Δείγμα	Φαν. ιδ. Βάρος kg/m ³	Απορροφ %	Αντοχή σε θλίψη kg/cm ²		Αντοχή σε κάμψη kg/cm ²		Φθορά από τριβή mm	Χρώμα
			Ξηρή	Υγρή	Ξηρή	Υγρή		
1.	2644	0,14	739,2	848,4	127,96	146,45	4,53	Λευκό
2.	2655	0,18	1118,1	1131,5	121,3	138,13	4,53	Υπόλευκο

ρων: λευκά, ταινωτά και τεφρά.

4. Με βάση τα ορυκτοχημικά τους χαρακτηριστικά, τις φυσικομηχανικές τους ιδιότητες, τα μαρμαρα είναι κατάλληλα για όλες τις χρήσεις (εσωτερικές και εξωτερικές δαπεδοστρώσεις και επενδύσεις κλπ.).
5. Ο πολύ χαμηλός συντελεστής αποληψιμότητας έχει επιβάλλει την καθετοποιημένη παραγωγή των διαφόρων τύπων και όγκων μαρμάρων δίπλα στη λατομική περιοχή με τη δημιουργία μονάδων επεξεργασίας.
6. Τέλος η έλλειψη μιας συνολικής μελέτης σχεδιασμού της λειτουργίας των λατομείων έχει σαν αποτέλεσμα την άναρχη και μη ορθολογική εκμετάλλευσή τους, ενώ η αυθαίρετη απόθεση των στείρων υλικών σε διάφορες θέσεις της λατομικής περιοχής (όπως θέσεις όπου υπάρχει εκμεταλεύσιμο κοίτασμα) δημιουργεί πρόσθετα προβλήματα στην ομαλή ανάπτυξη των λατομείων, στην εξόρυξη της πρώτης ύλης, ακόμα και στους δρόμους προσπέλασης.

Βιβλιογραφία

- ΓΑΛΑΝΑΚΗΣ Δ. (1994). Γεωλογική-Τεκτονική μελέτη της μαρμαροφόρου περιοχής Τρανόβαλτου Κοζάνης. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα αδημ. έκθεση, σ. 12.
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΜΙΚΡΟΜΕΣΑΙΩΝ ΜΕΤΑΠΟΙΗΤΙΚΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΧΕΙΡΟΤΕΧΝΙΑΣ (Παράρτημα Κοζάνης) (1994). Επιχειρησιακό σχέδιο ανάπτυξης των μαρμαροφόρων περιοχών Τρανόβαλτου-Σερβίων. Κοζάνη, αδημ. Έκθεση, σ. 18.
- FAUGERES J. (1978). Recherches geomorphologiques en Grece septentrionale. These Univ. Paris IV.
- ΜΑΣΤΡΟΓΙΑΝΝΗΣ Π. & ΓΑΛΑΝΑΚΗΣ Δ. (1998). Ρηξιγενής τεκτονική και χρωματικές διαφοροποιήσεις των μαρμάρων στα λατομεία Τρανόβαλτου Κοζάνης. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα Αδημ. Έκθεση σ. 14.
- ΠΑΛΑΙΚΩΣΤΑΣ Γ. & ΓΡΙΒΑΣ Η. (1995). ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ. Αξιολόγηση των λευκών ανθρακικών ορυκτών πρώτων υλών της μαρμαροφόρου περιοχής Τρανόβαλτου Νομού Κοζάνης. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα Αδημ. Έκθεση σ. 15.
- ΡΟΝΤΟΥΙΑΝΝΙ ΤΗ., ΓΑΛΑΝΑΚΗΣ Δ. & ΚΟΥΡΟΥΖΙΔΗΣ Μ. (1996). The "Unforeseen Kozani earthquake of May 13, 1995. Inter. Meet. 24-28 May, Kozani, Greece.
- WRIGHT (1986). The pattern of deformation in the Vourinos Complex, Greece and its relevance to the distribution of chromite deposits, Unpubl. I.G.M.E. Athens.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 83-95</p>
---	---	--

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΓΡΑΦΙΩΝ
ΣΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΣΟΧΩΡΙΟΥ, ΦΛΩΡΙΝΑΣ

Α. Γεωργακόπουλος¹, Κ. Παπακωνσταντίνου²

Περίληψη

Η εφαρμογή των Διαγραφιών (Loggings) στην αναγνώριση του περιεχομένου διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) σε γεωλογικούς σχηματισμούς στην περιοχή Μεσοχωρίου Φλώρινας αποτελεί την πρώτη βασική προσέγγιση για την ολοκληρωμένη έρευνα και ανάπτυξη κοιτασμάτων διοξειδίου του άνθρακα στην Ελλάδα. Τα όργανα μέτρησης διαγραφιών που χρησιμοποιήθηκαν είναι: Ηλεκτρικά, Νετρονίων και Πυκνότητας, Ηχητικής Αντιστάθμισης και Φυσικής Ακτινοβολίας Γάμμα. Με τη χρήση των Διαγραφιών Καθετότητας-Προσανατολισμού εξασφαλίστηκε ο άρτιος εξοπλισμός των γεωτρήσεων. Στην εργασία περιγράφονται αναλυτικά οι τεχνικές προδιαγραφές και οι συνθήκες λειτουργίας των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν.

Η ερμηνεία των Διαγραφιών, έχοντας ως στόχο το διαχωρισμό των γεωλογικών στρωμάτων που περιέχουν νερό από τα αντίστοιχα με διοξείδιο του άνθρακα, παρουσιάζει αποτελέσματα που ικανοποιούν την ανάγκη αυτή και αποτελούν το βασικό εργαλείο στην αναγνώριση του κοιτασματολογικού δυναμικού στο συγκεκριμένο πεδίο.

Abstract

Well logging applications, as they have been recently used to identify the presence of carbon dioxide in the field of Mesohori - Florina, Northern Greece, form the modern approach to the development of this reservoir. This paper presents the results of such applications in four development wells. Sonde details as well as applications of Electric, Sidewall Density and Neutron Logs are presented. The Borehole Verticality and Direction Log is also presented as an integral part for checking the well construction. Industry standard interpretation techniques have been used for the identification of carbon dioxide producing zones.

Εισαγωγή

Στην περιοχή Μεσοχωρίου Φλώρινας έχουν μέχρι σήμερα εκτελεστεί λεπτομερείς ερευνητικές εργασίες για τον εντοπισμό αερίου CO₂ ή μείγματος αερίου και νε-

-
1. Επίκουρος Καθηγητής, Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
 2. Μηχανικός Πετρελαίων, Georesources Technology L.T.D., P.O. Box 1431, Kavala, Greece.

ρού. Από τη διεξαχθείσα έρευνα έχει αποδειχθεί η ύπαρξη διαδοχικών οριζόντων με αέριο και γίνεται εκμετάλλευση αυτού σε βιομηχανική κλίμακα. Η προέλευση του αερίου είναι δύσκολο να αποδοθεί με ακρίβεια, δεδομένου ότι στη φύση υπάρχουν στρώματα CO₂ τόσο οργανικής όσο και ανόργανης προέλευσης. Το CO₂ απαντάται σε αδρομερείς σχηματισμούς, κυρίως εντός αδρόκοκκων άμμων, οι οποίες εναλλάσσονται με μικροκοκκάλες και ιλυομιγή άργιλο. Οι έρευνες έδειξαν ότι στην περιοχή υπάρχει πυκνό δίκτυο ρηγμάτων, τα οποία μετακινούν τους γεωλογικούς σχηματισμούς και καθιστούν έτσι δυσχερή την παρακολούθηση των στρωμάτων που φέρουν CO₂. Η εφαρμογή των διαγραφιών βοηθά τα μέγιστα στην αναζήτηση αερίου σε μια περιοχή με έντονο τεκτονισμό και με αδρομερείς σχηματισμούς-ταμιευτήρες, ενώ επιτυγχάνεται και ο διαχωρισμός των ζωνών αερίου από τους υδροφόρους ορίζοντες (HENRY 1979, DESBRANDES 1982). Προϋπόθεση για τα παραπάνω είναι η εκτέλεση των διαγραφιών εντός όσο το δυνατόν πυκνότερου δικτύου γεωτρήσεων. Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτέλεσης διαγραφιών εντός τεσσάρων γεωτρήσεων, οι οποίες διέτρησαν τους σχηματισμούς σε βάθος που ξεπερνά τα 300 m και οι οποίες δεν απέχουν μεταξύ τους παρά μόνο 300 m περίπου.

Μέθοδοι έρευνας

Η αναγνώριση της παρουσίας διοξειδίου του άνθρακα με την εφαρμογή διαγραφιών σε ασωλήνωτες γεωτρήσεις συνδέεται κυρίως με τη χρήση εκείνων του πορώδους. Ουσιαστικά είναι οι μόνες μετρήσεις που επηρεάζονται από την παρουσία αερίου έναντι της παρουσίας νερού. Το διοξείδιο του άνθρακα ανιχνεύεται συνήθως στη ζώνη διείδυσης του πολφού πλησίον του τοιχώματος της γεώτρησης ή μερικές φορές στον "παρθένο" σχηματισμό, εάν η διείδυση του πολφού είναι ελάχιστη ή ανύπαρκτη.

Στην παρούσα μελέτη εκτελέστηκαν έξι διαφορετικά είδη διαγραφιών σε τέσσερις γεωτρήσεις (Γ1, Γ2, Γ3, Γ4), στην περιοχή Μεσοχωρίου Φλώρινας. Το βάθος των γεωτρήσεων φθάνει τα 300 περίπου μέτρα. Παρακάτω περιγράφονται τα όργανα με τα οποία εκτελέστηκαν αυτές οι διαγραφίες καθώς και η αρχή λειτουργίας αυτών (SCHLUMBERGER EDUCATIONAL SERVICES 1989, SERRA 1984).

Μονάδα Ηλεκτρικών Διαγραφιών (Electric Logging Probe)

Με τη Μονάδα Ηλεκτρικών Διαγραφιών επιβιβάζεται η αναγνώριση υδροφόρων στρωμάτων, ο καθορισμός της ποιότητας του νερού, ο στρωματογραφικός συσχετισμός μεταξύ γεωτρήσεων καθώς και ο εντοπισμός των ορίων των γεωλογικών σχηματισμών, των διαπερατών ζωνών και ο έμμεσος υπολογισμός του πορώδους. Για τις μετρήσεις των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων, χαμηλής συχνότητας ηλεκτρικό ρεύμα διπλής κατεύθυνσης, παραγόμενο από τη μονάδα, διοχετεύεται μέσα στους γεωλογικούς σχηματισμούς και επιστρέφει μέσω του γεωλογικού

σχηματισμού στη θωράκιση του καλωδίου, πάνω από τη σύνδεση. Τα οφειλόμενα σε αυτή τη ροή ρεύματος δυναμικά, μετρούνται στα αισθητήρια ηλεκτρόδια σε σχέση με ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς, το οποίο βρίσκεται είτε στην επιφάνεια είτε εντός της οπής της γεώτρησης. Οι μετρήσεις αυτές μετατρέπονται σε φαινόμενες αντιστάσεις των γεωλογικών σχηματισμών από ένα μικροεπεξεργαστή μέσα στη γεώτρηση και μεταδίδονται στην επιφάνεια σε ψηφιακή μορφή. Το φυσικό δυναμικό (Spontaneous Potential-SP) μετράται χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρόδιο οδηγό, μη πολούμενο, στη μονάδα και ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς στην επιφάνεια. Οι μετρήσεις έγιναν στο εύρος $-1V$ έως $+1V$ για το SP, 1 έως $10,000 \text{ Ohm-m}$ για τις ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις, ενώ χρησιμοποιήθηκε θωρακισμένο καλώδιο για την επιστροφή του ρεύματος και επιφανειακή γείωση ως ρεύμα αναφοράς.

Μονάδα Καθετότητας (Verticality Probe)

Η μονάδα καθετότητας και κατεύθυνσης γεωτρήσεων εξασφαλίζει συνεχείς μετρήσεις της κλίσης και της κατεύθυνσης της γεώτρησης. Με τη χρήση της επιτυγχάνεται μια εκτίμηση του πάχους των στρωμάτων και προσδιορίζονται τα πραγματικά βάθη επαφής των γεωλογικών σχηματισμών. Περιλαμβάνει ένα τριαξονικό μαγνητόμετρο για τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης της σε σχέση με το μαγνητικό βορρά και δύο επιταχυντές για τη μέτρηση της κλίσης. Ένας μικροεπεξεργαστής εντός της γεώτρησης επεξεργάζεται τις πληροφορίες από τα όργανα καταγραφής και υπολογίζει την τελική κλίση και το αζιμούθιο σε πραγματικό χρόνο. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε είχε ακρίβεια αζιμούθιου ± 20 , κλίμακα κλίσης $0-300$, ακρίβεια κλίσης $\pm 0.25^\circ \text{C}$ (κλίμακα 300) και ανιχνευτή φυσικής ακτινοβολίας γάμμα από Ιωδιούχο Νάτριο NaI, $50-25 \text{ mm}$.

Μονάδα Πυκνότητας Γάμμα Πλευρικού Τοιχώματος (Sidewall Density Gamma Probe)

Η μονάδα πυκνότητας γάμμα πλευρικού τοιχώματος επιτυγχάνει υψηλής ακριβείας μέτρηση της πυκνότητας και τέλει διαχωρισμό των ορίων των στρωμάτων, με τη χρήση πολλαπλών ανιχνευτών, όπως ο ανιχνευτής μεγάλου διαστήματος (LSD-48 cm) και οι ανιχνευτές μικρού διαστήματος (HRD-24 cm και BRD-14 cm). Τόσο η πηγή όσο και οι ανιχνευτές έχουν προστασία βολφραμίου. Τα ενεργά ανοίγματα της πηγής και του ανιχνευτή διατηρούνται σε επαφή με τα τοιχώματα της γεώτρησης με μηχανοκίνητη υποστήριξη. Η ακριβής μέτρηση της πυκνότητας εξασφαλίζεται χρησιμοποιώντας κατάλληλα διαγράμματα βαθμονόμησης. Η φυσική ακτινοβολία γάμμα ανιχνεύεται από έναν ανιχνευτή υψηλής ευαισθησίας από ιωδιούχο νάτριο, διαστάσεων $50 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$, κοντά στην κορυφή της μονάδας και απομακρυσμένο από την πηγή της ακτινοβολίας. Με τη χρήση της μονάδας πλευρικής πυκνότητας επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός της λιθολογίας (από κοινού με άλλες διαγραφίες σχηματισμών) και της συνεκτικότητας του εδάφους, ο συσχετισμός μεταξύ των μετρήσεων της πυκνότητας και του πορώδους (με άλλες διαγρα-

φίες), ο εντοπισμός κοιλοτήτων και ελλειπούς τοιμέντωσης γύρω από τη σωλήνωση της γεώτρησης καθώς και η περιεκτικότητα τέφρας στον άνθρακα. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε πηγή ραδιενέργειας ^{137}Cs σε κλίμακα πυκνότητας 1-3 g/cc.

Μονάδα Νετρονίων (Απλού διαστήματος) / Neutron Probe (Single Spacing)

Η μονάδα νετρονίων επιτρέπει την εκτέλεση διαγραφιών και ημι-ποσοτικών μετρήσεων τόσο σε ανοικτές γεωτρήσεις όσο και δια μέσου χαλύβδινων ή πλαστικών σωληνώσεων ή και των σωλήνων διατήρησης. Κατά τις μετρήσεις νετρονίων χρησιμοποιείται ένας ανιχνευτής ^3He , τοποθετημένος 45 cm από μια ερμητικά κλειστή, μετακινούμενη, πηγή νετρονίων. Τα γρήγορα νετρόνια από την πηγή διασκορπίζονται μέσα στους γεωλογικούς σχηματισμούς και επιβραδύνονται από το υδρογόνο των σχηματισμών μέχρις ότου να φθάσουν σε επίπεδο θερμοκρασίας οπότε και απορροφούνται. Το ρεύμα των “θερμικών” νετρονίων που φθάνουν στον ανιχνευτή εξαρτάται από την περιεκτικότητα του σχηματισμού σε υδρογόνο και συνεπώς από το πορώδες αυτού. Η μονάδα μετρά επίσης και τη φυσική ακτινοβολία γάμμα του σχηματισμού με τη χρήση κρυστάλλου σπινθηρισμού από NaI, τοποθετημένου στην κορυφή της μονάδας, μακριά από την πηγή νετρονίων. Με τις διαγραφίες νετρονίων επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός της λιθολογίας και του πορώδους, ο συσχετισμός γεωλογικών στρωμάτων μεταξύ διαφορετικών γεωτρήσεων καθώς και ο συσχετισμός των διαγραφιών σωληνωμένων και μη σωληνωμένων γεωτρήσεων (PATCHETT & COALSON 1979). Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε πηγή νετρονίων $^{241}\text{Am}-\text{Be}$ και ανιχνευτής νετρονίων ^3He .

Μονάδα Αντιστάθμισης Ήχου Πλήρους Κυματομορφής (Full Waveform / Compensated Sonic Probe)

Η ακουστική μονάδα χρησιμοποιεί μια σειρά από δύο πομπούς και δύο δέκτες, οι οποίοι μπορούν να λειτουργούν με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε μόνο ο τρόπος λειτουργίας με αντιστάθμιση ήχου (compensated sonic mode). Οι τρόποι λειτουργίας πλήρους κυματομορφής (Full waveform sonic mode) και διαγραφίας τοιμέντωσης (Cement-Bond Log-CBL) δεν χρησιμοποιήθηκαν. Κατά την αντιστάθμιση ήχου η μονάδα εξασφαλίζει συνεχή δεδομένα ταχύτητας από τις πρώτες αφίξεις επιμήκων κυμάτων. Και τα δύο ζεύγη πομπών και δεκτών χρησιμοποιούνται σε αυτό τον τρόπο λειτουργίας ώστε να εξασφαλίσουν αντιστάθμιση για το ρευστό εντός της γεώτρησης. Με το όργανο αυτό μετρώνται η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο γεωλογικό σχηματισμό, οι χρόνοι μετάδοσης $\text{TX}_1\text{-RX}_1$, $\text{TX}_1\text{-RX}_2$, $\text{TX}_2\text{-RX}_2$, $\text{TX}_2\text{-RX}_1$, η πλήρης κυματομορφή (για κάθε δέκτη), ο χρόνος πρώτης άφιξης (Δt) καθώς και το πλάτος της πρώτης άφιξης (CBL). Εξ'αυτών συνάγονται οι ταχύτητες των κυμάτων P και S και ο ολοκληρωμένος παροδικός χρόνος (Integrated transit time). Η μέθοδος επιτρέπει την αναγνώριση της λιθολογίας και τον προσδιορισμό του πορώδους, την εκτίμηση της αντοχής των πετρωμάτων και της ελαστικότητας αυτών, τη διόρθωση

της σεισμικής ταχύτητας, τον εντοπισμό διακλάσεων και ενδείξεων διαπερατότητας σε σκληρά πετρώματα καθώς και τον εντοπισμό φτωχής ή απύσους τσιμέντωσης πίσω από τη σωλήνωση των γεωτρήσεων.

Τα όργανο που χρησιμοποιήθηκε είχε συχνότητα φωρατή 23 kHz, διάστημα TX-RX₁ 710 mm, διάστημα TX-RX₂ 1110 mm, απόκτηση κυματομορφής κάθε 2 msec και εκτελούσε δειγματοληψία κάθε 4 msec.

Μονάδα Φυσικής Ακτινοβολίας Γάμμα (Natural Gamma Probe)

Με αυτή τη μέθοδο διαγραφιών ανιχνεύεται το σύνολο της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα που προέρχεται από τους γεωλογικούς σχηματισμούς. Η ραδιενέργεια αυξάνεται όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα των σχηματισμών σε άργιλο και συνεπώς οι διαγραφίες αυτές αποτελούν το καταλληλότερο εργαλείο για τον προσδιορισμό αυτής της περιεκτικότητας. Η μονάδα συνήθως χρησιμοποιεί κρύσταλλο σπινθηρισμού από ιωδιούχο νάτριο. Η μέθοδος αυτή χρησιμεύει για το συσχέτισμό μεταξύ των γεωτρήσεων.

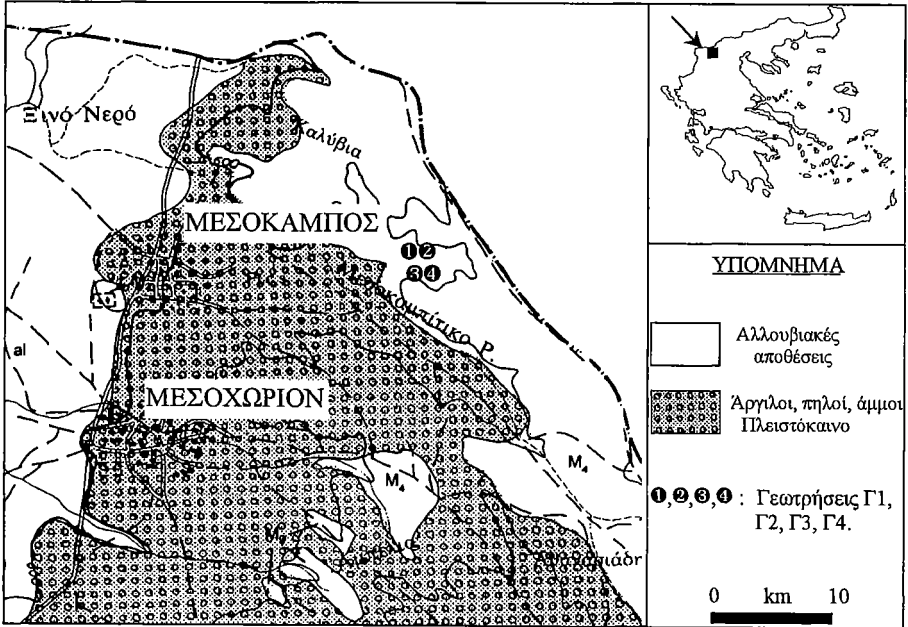
Γεωλογία της περιοχής

Η περιοχή Μεσοχωρίου βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του νομού Φλώρινας, πολύ κοντά στα σύνορα με την πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας (Σχ. 1).

Οι γεωτρήσεις Γ1, Γ2, Γ3 και Γ4 απέχουν μεταξύ τους περίπου 300 μέτρα και εκτελέστηκαν μέχρι ένα βάθος 280-300 μέτρων. Αρχικά παρατηρούνται εναλλαγές ιλυομιγούς αργίλου, καφέ ανοικτού χρώματος με άμμο και μικρές κροκάλες. Έχουν επίσης βρεθεί αραιές μικροενστρώσεις λιγνίτη, ο οποίος σε κάποιες γεωτρήσεις εμφανίζεται ως ανεξάρτητο στρώμα σημαντικού πάχους (μέχρι 30 μέτρα). Η ύπαρξη αερίου (CO₂) διαπιστώθηκε σε βάθη μεγαλύτερα των 160 μέτρων, εντός άμμων, μεσόκοκκων και αδρόκοκκων και μικροκροκαλών. Οι σχηματισμοί αυτοί εναλλάσσονται με λευκότεφρη ιλυομιγή άργιλο και αραιές ενστρώσεις λιγνίτη. Σύμφωνα με τους ΝΙΚΑΣ et al. (1990), τα αδρομερή υλικά αποτελούνται αποκλειστικά από αποστρωγγυλεμένα θραύσματα μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Η περιγραφή των τεσσάρων γεωτρήσεων δίδεται στο Σχήμα 2.

Αποτελέσματα και συζήτηση

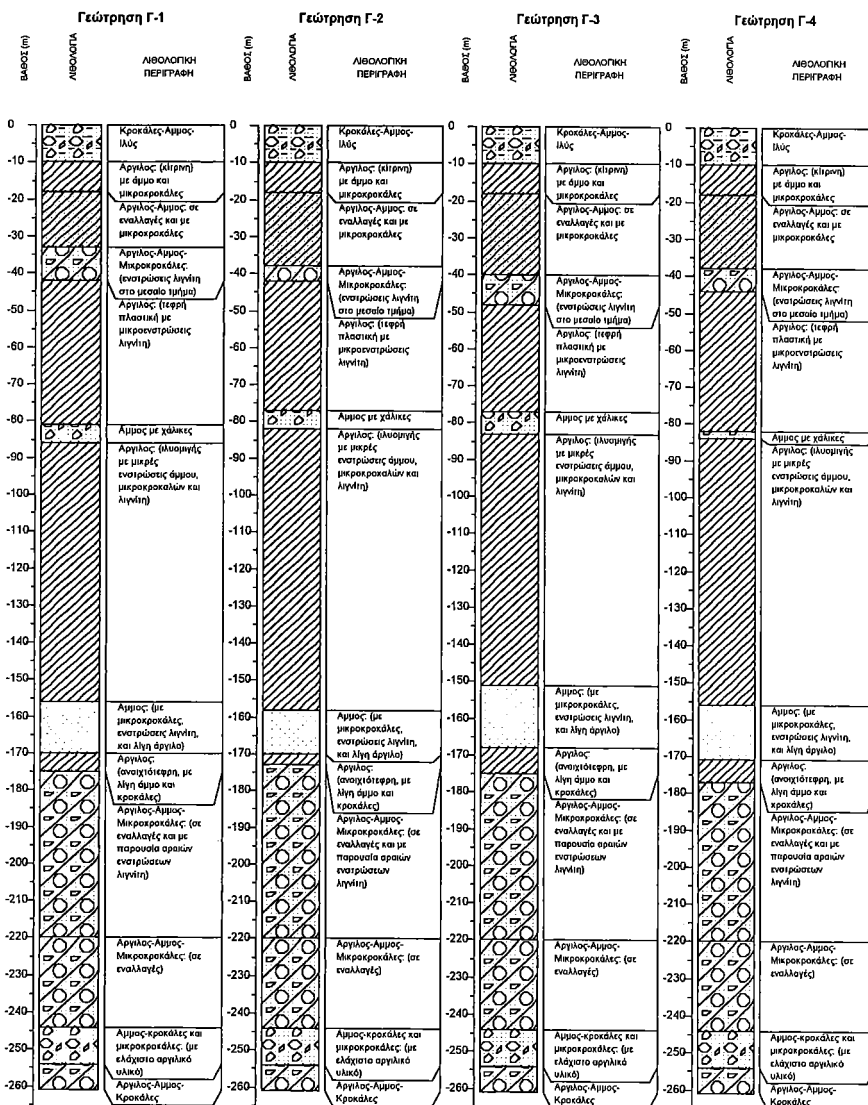
Οι μετρήσεις της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα έχουν αρχικά σα στόχο τη λεπτομερή αναγνώριση των διατρηθέντων γεωλογικών στρωμάτων στη γεώτρηση, δηλαδή αργίλων, άμμων, λιγνιτών, ψαμμιτών κλπ., αλλά και τη συσχέτιση μεταξύ των γεωτρήσεων, ώστε να διαπιστωθεί η συνέχεια των ζωνών ενδιαφέροντος. Το Σχήμα 3 παρουσιάζει τη συσχέτιση μεταξύ των γεωτρήσεων Γ1, Γ2, Γ3 και Γ4. Η Διαγραφή Νετρονίων στη γεώτρηση Γ1 παρουσιάζεται στο Σχήμα 4 (NEUT σε CPS). Τα υψηλής ενέργειας νετρόνια που εκπέμπονται, επιβραδύνονται λόγω συγκρού-



Σχήμα 1. Χάρτης της περιοχής Μεσοχωρίου Φλώρινας και θέσεις των γεωτρήσεων.

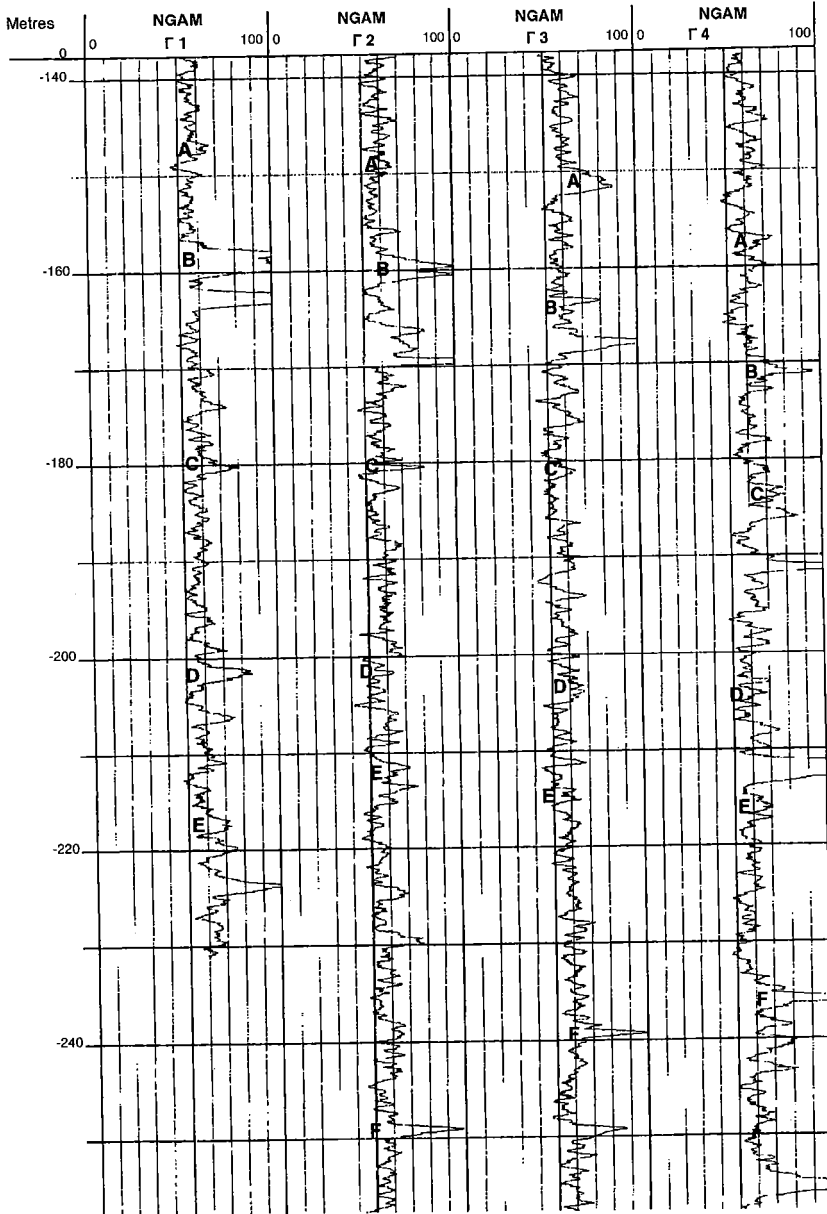
Figure 1. Map of the Mesohori Florinas area and location of the boreholes.

σεων με ατομικούς πυρήνες. Τα άτομα υδρογόνου είναι μακράν τα πιο αποτελεσματικά στη διεργασία της επιβράδυνσης καθότι η μάζα τους είναι σχεδόν ίση με εκείνη των νετρονίων. Συνεπώς η διασπορά των νετρονίων οφείλεται κυρίως στην πυκνότητα του υδρογόνου. Έτσι, για την ερμηνεία των καταγραφών, χρησιμοποιείται ο “δείκτης υδρογόνου” (hydrogen index), που είναι η αναλογία του αριθμού των ατόμων υδρογόνου ανά μονάδα όγκου του μέσου, προς τον αριθμό εκείνο του νερού στους 75° F. Η διαγραφή Νετρονίων αποτελεί το “κλειδί” στην αναγνώριση του αερίου στις ασωλήνωτες γεωτρήσεις. Καθώς η σύγκριση του διοξειδίου του άνθρακα με το νερό βασίζεται στην παρουσία υδρογόνου, το αέριο εμφανίζεται ως χαμηλό πορώδες. Η χαμηλή πυκνότητα του αερίου παρουσιάζει έντονα τη μειωμένη ή ανύπαρκτη παρουσία του υδρογόνου. Το αποτέλεσμα είναι ότι η παρουσία διοξειδίου του άνθρακα δείχνει στις μετρήσεις χαμηλότερο πορώδες από το πραγματικό. Το αέριο χαμηλής πίεσης, περιεχόμενο στο νερό είναι συνήθως ευκολότερα αναγνωρίσιμο λόγω της χαμηλής πυκνότητας του υδρογόνου. Οι διαγραφές Νετρονίων παρουσία αργίλων παρουσιάζουν σχετικά αυξημένο πορώδες, δηλαδή αντίθετα από εκείνο που καταγράφεται παρουσία αερίου. Ποιοτικά, η παρουσία αργίλων και διοξειδίου του άνθρακα σε άμμους μπορεί να εμφα-



Σχήμα 2. Περιγραφή των γεωτρήσεων Γ1, Γ2, Γ3, Γ4 της περιοχής Μεσοχωρίου.

Figure 2. Lithostratigraphy of the G1, G2, G3, G4 boreholes in the Mesohori area.



Σχήμα 3. Συσχέτιση των διαγραφιών φυσικής ακτινοβολίας γάμμα μεταξύ των γεωτρήσεων Γ1, Γ2, Γ3 και Γ4 της περιοχής Μεσοχωρίου Φλώρινας.

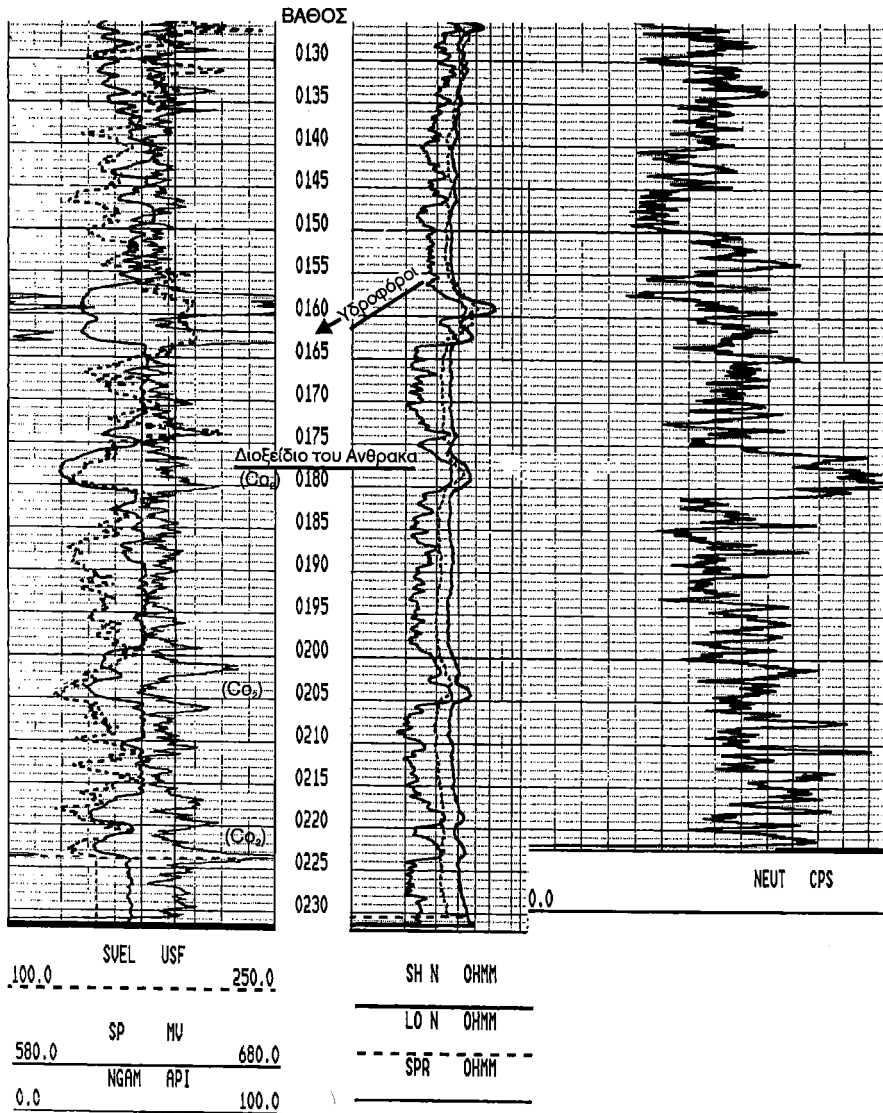
Figure 3. Correlation between the natural gamma ray logs of the boreholes Γ1, Γ2, Γ3 and Γ4, in the Mesohori Florinas area.

νίζεται ως ένας καθαρός σχηματισμός γεμάτος νερό.

Οι Ηλεκτρικές Διαγραφίες που παρουσιάζονται στο Σχήμα 4 περιλαμβάνουν τις μετρήσεις του Φυσικού Δυναμικού (SP) και τριών ηλεκτρικών αντιστάσεων αντιστοίχως, δηλαδή εκείνη του μονού σημείου (SPR), την βραχεία αντίσταση (SH N) 16" και τη μακρά αντίσταση (LO N) 64". Οι μετρήσεις αυτές, συνδυαζόμενες με τις μετρήσεις της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα αποτελούν τον οδηγό στον εντοπισμό των υδροφόρων στρωμάτων (FERTL 1981, BASSIOUNI 1994, INGERMAN 1995). Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι υδροφόροι ορίζοντες, όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 4, έχουν χαμηλό βαθμό CPS (Counts Per Second) στη διαγραφή των νετρονίων, δηλαδή υψηλή συγκέντρωση υδρογόνου. Οι αντίστοιχοι διαπερατοί ορίζοντες με υψηλό βαθμό CPS νετρονίων είναι εκείνοι που περιέχουν διοξείδιο του άνθρακα, εφόσον διαθέτουν χαμηλή συγκέντρωση υδρογόνου.

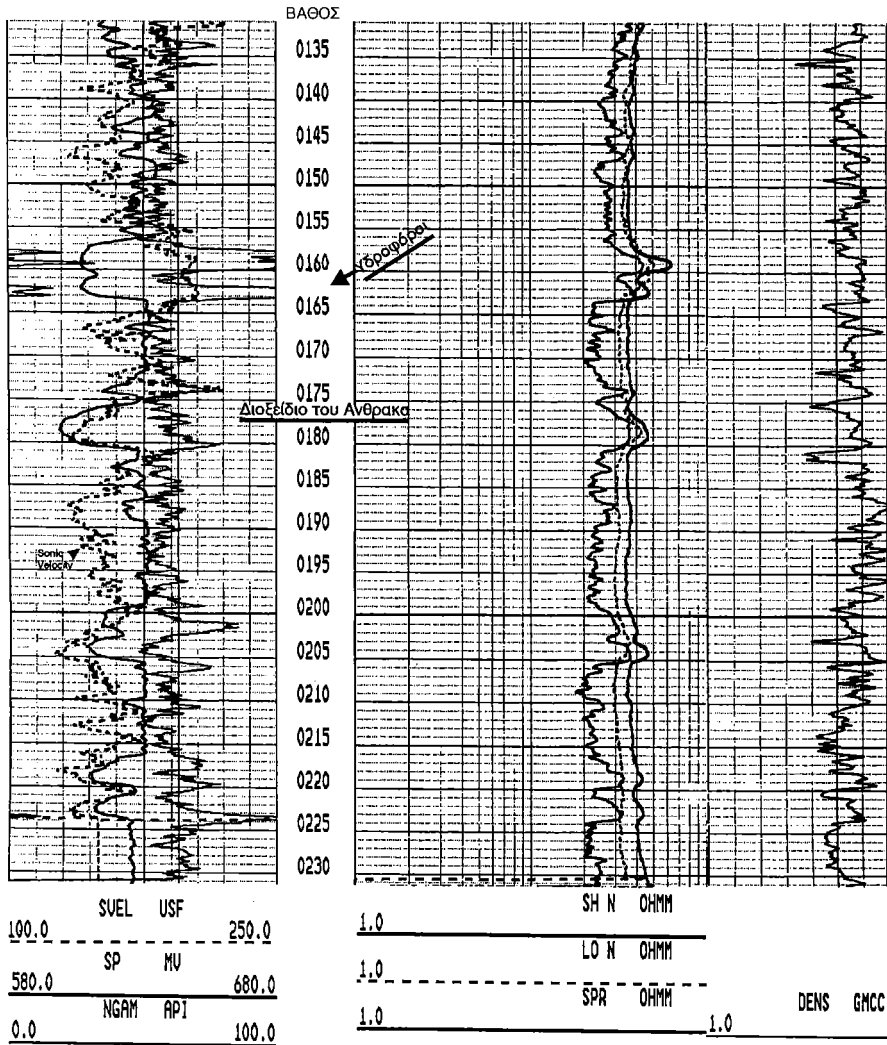
Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται επίσης οι Διαγραφίες Ηχητικής Αντιστάθμισης στην ίδια γεώτρηση (SVEL=Sonic Velocity in $\mu\text{secs ft}^{-1}$), σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες Ηλεκτρικές Διαγραφίες. Οι διαγραφίες αυτές καταγράφουν την ταχύτητα του ηχητικού κύματος συμπίεστικότητας ανά μονάδα διάδοσης. Σε γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι δεν είναι συμπαγείς (συνήθως εκεί όπου οι παρακείμενες άργιλοι έχουν ταχύτητα διάδοσης μεγαλύτερη των $100\mu\text{S/ft}$), οι επιδράσεις της παρουσίας αερίου στις διαγραφίες αυτές είναι ικανοποιητικές. Ποσοτικά δεν είναι προβλέψιμες καθότι είναι μια υπόθεση ναι-όχι. Το ποσοστό κορεσμού σε αέριο δεν αποτελεί παράμετρο εμφάνισης της επίδρασης αυτής. Ο εντοπισμός των γεωλογικών σχηματισμών που περιέχουν διοξείδιο του άνθρακα βασίζεται στην αναγνώριση της παρουσίας διαπερατών ζωνών με ανάπτυξη του φυσικού δυναμικού, αύξηση των ηλεκτρικών αντιστάσεων και χαμηλές ταχύτητες ηχητικών κυμάτων συμπίεστικότητας. Το αντίστροφο συμβαίνει με την παρουσία των υδροφόρων, πλήρως κορεσμένων σε νερό, όπου η αναμενόμενη ταχύτητα του ηχητικού κύματος συμπίεστικότητας είναι περίπου $240\mu\text{s/ft}$. Κατά τη μέτρηση του φυσικού δυναμικού δεν μετράται μια απόλυτη τιμή αλλά η μεταβολή μέσα στη γεώτρηση με το βάθος. Η κλίση της καμπύλης είναι η ένδειξη της μεταβολής του δυναμικού. Έτσι, απέναντι σε άργιλους δεν καταγράφεται καμμία μεταβολή ενώ σε διαπερατό στρώμα, όπου η πυκνότητα του ρεύματος αυξάνεται, προκαλείται μεταβολή του δυναμικού.

Οι μετρήσεις πυκνότητας των γεωλογικών σχηματισμών με τη χρήση του φωρατή πυκνότητας γάμμα πλευρικού τοιχώματος (Σχ. 5, DENSITY in GMCC, grams per cubic centimeter), επιβεβαιώνουν την παρουσία διοξειδίου του άνθρακα, όπως έχει αναλυθεί προηγουμένως. Ουσιαστικά χρησιμοποιείται πάλι ο συνδυασμός με άλλες διαγραφίες και η ύπαρξη διοξειδίου του άνθρακα συμπίπτει αυτή τη φορά με τη χαμηλή πυκνότητα όπως συνέπιπτε με την περιοχί υψηλού πορώδους στις διαγραφίες νετρονίων. Το αέριο εμφανίζεται ως προφανής αύξηση στο πορώδες (δηλαδή ως μείωση της πυκνότητας). Οι επιδράσεις της αλλαγής στον κορεσμό



Σχήμα 4. Παρουσίαση των ηλεκτρικών διαγραφών και των διαγραφών ηχητικής αντιστάθμισης και νετρονίων στη γεώτρηση Γ1 της περιοχής Μεσοχωρίου Φλώρινας.

Figure 4. Electric, Neutron and Compensated Sonic logs in the borehole Γ1, Mesohori Florinas area.

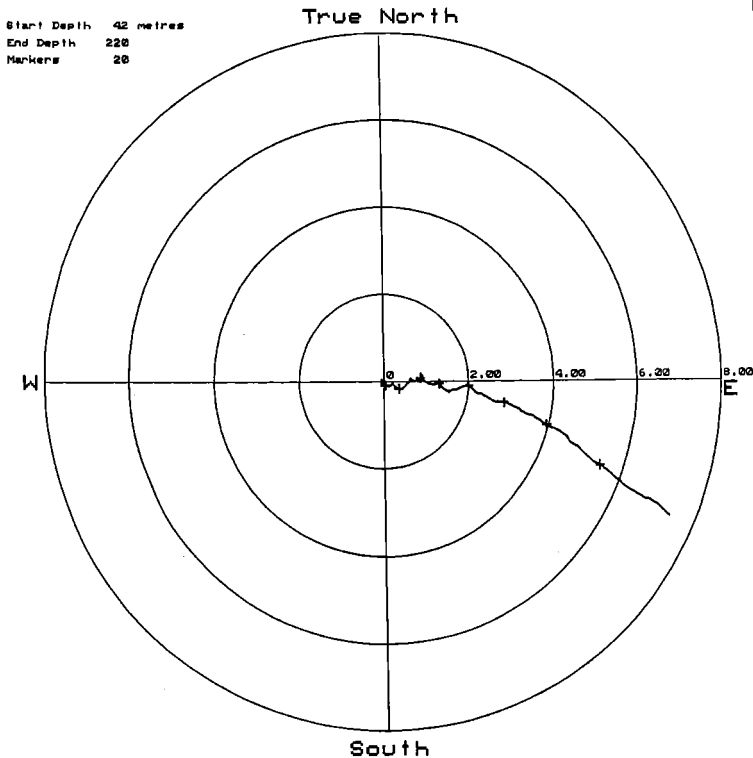


Σχήμα 5. Παρουσίαση των ηλεκτρικών διαγραφιών και των διαγραφιών ηχητικής αντιστάθμισης και πυκνότητας στη γεώτρηση Γ1 της περιοχής Μεσοχωρίου Φλώρινας.

Figure 4. Electric, Density and Compensated Sonic logs in the borehole Γ1, Mesohori Florinas area.

του σχηματισμού είναι προβλέψιμες ποσοτικά λόγω της προβλεπόμενης σχέσης μεταξύ πορώδους, πυκνότητας του σχηματισμού και ρευστών. Οι άργιλοι θεωρείται ότι έχουν πυκνότητα περίπου ίδια με την άμμο και προστιθέμενοι σε ένα πορώδες πέτρωμα τείνουν να μειώσουν το φαινόμενο πορώδες. Σε μερικές περιπτώσεις οι άργιλοι που βρίσκονται στα πετρώματα είναι χαμηλότερης πυκνότητας από τους κόκκους της άμμου και η παρουσία τους εμφανίζεται ως αύξηση στο πορώδες. Έτσι στην διαγραφή πυκνότητας οι άργιλοι έχουν ένα φαινόμενο πορώδες της τάξεως 0-15%.

Η εφαρμογή των Διαγραφιών Καθетότητας / Προσανατολισμού των γεωτρήσεων, εξασφαλίζει την αριότητα της κατασκευής, καθότι οι διαβρωτικές ιδιότητες του διοξειδίου του άνθρακα απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στη μηχανική ολοκλή-



Σχήμα 6. Διαγραφή Καθетότητας / Προσανατολισμού της γεώτρησης Γ1 της περιοχής Μεσοχωρίου Φλώρινας.

Figure 6. Verticality log of the borehole Γ1, Mesohori Florinas area.

ρωση των γεωτρήσεων. Η παρουσίαση αυτής της διαγραφίας εντός της γεώτρησης Γ1 γίνεται στο Σχήμα 6, όπου διακρίνεται απόκλιση 7.2 μέτρων περίπου προς τα Νοτιοανατολικά.

Συμπεράσματα

Η χρήση των διαγραφιών για την αναγνώριση των γεωλογικών σχηματισμών που περιέχουν διοξείδιο του άνθρακα στο πεδίο Μεσοχωρίου Φλώρινας, αποτελεί την καταλληλότερη προσέγγιση για τη σωστή ανάπτυξη του ταμιευτήρα. Ο συνδυασμός των Ακουστικών διαγραφιών και των διαγραφιών Νετρονίων αποτελεί το καλύτερο εργαλείο για την ποιοτική αναγνώριση της παρουσίας διοξειδίου του άνθρακα. Ο συνδυασμός αυτός δουλεύει σωστά εφόσον και τα δύο όργανα μετρήσεων έχουν σχεδόν την ίδια ανταπόκριση στις αργίλους και ο διαχωρισμός λόγω της παρουσίας διοξειδίου του άνθρακα εμφανίζεται ακόμη και στις περιπτώσεις όπου οι σχηματισμοί είναι πολύ αργιλικοί. Η χρήση των Ηλεκτρικών διαγραφιών σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες του πορώδους επιβεβαιώνουν τους “καθαρούς” υδροφόρους ορίζοντες.

Βιβλιογραφία

- BASSIOUNI Z. (1994). Theory, Measurement and Interpretation of Well Logs. Society of Petroleum Engineers, Richardson, Texas.
- DESTRANDES R. (1982). Diagraphies dans les sondages. Technip Editions, Paris, p. 575.
- FERTL W.H. (1981). Openhole Crossplot Concepts – A Powerful Technique in Well Log Analysis. J. Petroleum Technol., 33, 3, 535-549.
- HENRY K.C. (1979). Gas detection in the extremely shaly Bowdoin formation of Northern Montana. SPWLA 20TH Annual Logging Symposium, June 3-6, Paper T.
- INGERMAN V.G. (1995). Statistical Integration of Log Data for Lithology Determination and Formation Evaluation. The Log Analyst, 36, No 3 (May-June).
- ΝΙΚΑΣ Κ., ΣΤΟΥΡΝΑΡΑΣ Σ. & ΣΦΕΤΣΟΣ Κ. (1990). Εκθεση εργασιών Α' σταδίου για τον εντοπισμό φυσικού αερίου CO₂ στην περιοχή παραχώρησης Ο.Π. 5 της Carbonica Α. Ε. στο Ν. Φλώρινας. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.
- PATCHETT J. G. & COALSON E. B. (1979). The determination of porosity in sandstones and shaly sandstones. Part one-Quality control. SPWLA 20TH Annual Logging Symposium, June 3-6, Paper QQ.
- SCHLUMBERGER EDUCATIONAL SERVICES (1989). Log Interpretation Principles / Applications, Houston, Texas, p. 198.
- SERRA O. (1984). Fundamentals of well-log interpretation. 1. The acquisition of logging data. Developments in Petroleum Science 15A, Elsevier, Amsterdam, p. 440.

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΞΙΚΩΝ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ
ΜΕ ΤΟΝ ΜΑΡΓΑΪΚΟ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ
ΚΕΝΤΡΟΥ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ - ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ**

**Α. Γκοντελίτσας^{1*}, Π. Μισαηλίδης¹, Α. Φιλιππίδης²,
Ε. Παυλίδου³, Ν. Καντηράνης²**

Περίληψη

Δείγμα μαργαϊκού ασβεστόλιθου, ο οποίος φιλοξενείται στα κοιτάσματα λιγνίτη της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (Δ. Μακεδονία), αφέθηκε να αλληλεπιδράσει με σειρές υδατικών διαλυμάτων που περιείχαν τοξικές συγκεντρώσεις (10-1000 ppm) Cr, Cd, Hg, Pb, Th και U. Τα πειραματικά αποτελέσματα, βασισμένα σε φασματοσκοπικές και μικροσκοπικές τεχνικές, απέδειξαν ότι τα διαλελυμένα μέταλλα αντιδρούν έντονα με την επιφάνεια των κρυστάλλων του ασβεστίτη που αποτελεί ~96% του υλικού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση διαφορετικών ποσοστών των μετάλλων από τα υδατικά μέσα (χωρίς αναγκαστική ακινητοποίησή τους στο ανθρακικό πέτρωμα) με διάφορους μηχανισμούς ρόφησης συμπεριλαμβανομένης και εκτεταμένης χημικής καθίζησης αδιάλυτων στερεών φάσεων (υδροξειδία, ανθρακικές) των οποίων η σταθερότητα θα πρέπει να εξετασθεί.

Abstract

A representative and well-characterized (by powder X-ray diffraction) sample of marly limestone, hosted in the extended lignite deposits of the Ptolemais-Amyntaion area (W. Macedonia, Greece), was individually interacted with a series of aqueous solutions containing toxic concentrations (10-1000 ppm) of Cr, Cd, Hg, Pb, Th and U. The solid and liquid experimental products were studied using spectroscopic (atomic absorption spectroscopy, high resolution γ -ray spectroscopy / instrumental neutron activation analysis, infrared spectroscopy) and microscopic (scanning electron microscopy) techniques. The experimental results approved that the dissolved metals interact intensively with the surface of the calcite crystals comprising ~96% of the geological

1. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Χημείας, 540 06 Θεσσαλονίκη.
2. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, 540 06 Θεσσαλονίκη.
3. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Φυσικής, 540 06 Θεσσαλονίκη.

* Παρούσα διεύθυνση: Δρ. Αθανάσιος Γκοντελίτσας, TVX Hellas A.E., Διεύθυνση Περιβάλλοντος & Ποιοτικού Ελέγχου, 63082 Στρατώνι, Τηλ.: 0376-29201, Fax: 0376-29219, E-mail: athgod@tvx.gr.

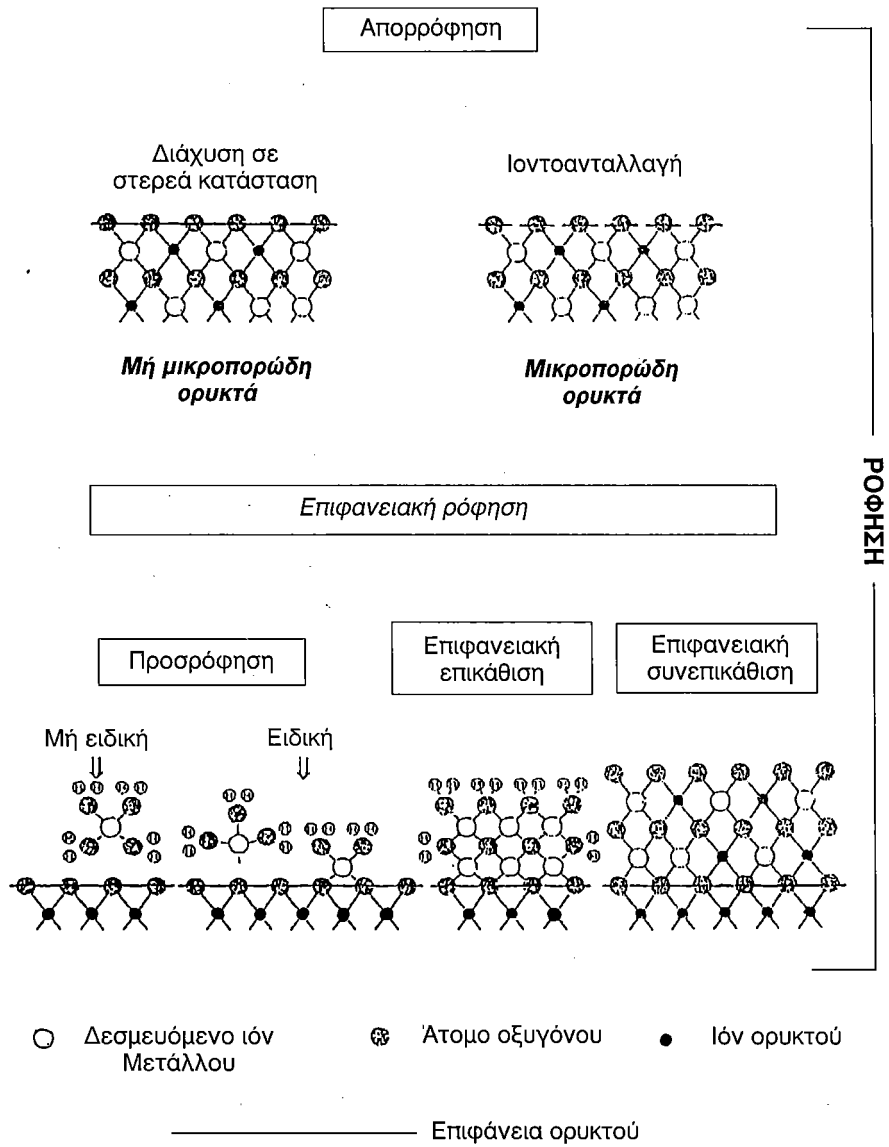
material. In the case of Cr and Pb the interaction leads to surface precipitation / co-precipitation and to massive chemical precipitation of insoluble solid metal phases (hydrated hydroxides and carbonates respectively) confirmed in the solid experimental products. The rest metals (Cd, Hg, Th, U) are also removed from the aqueous solutions to the solid phase, in different percentage, by various sorption mechanisms which can be absorption (possibly through solid-state diffusion), adsorption and surface precipitation / co-precipitation. Excluding most probably the case of Cd, it can be concluded, that the removal of the above metals from the aqueous media is not necessarily accompanied by their immobilization on the carbonate rock, and further research is needed concerning the long-term stability and chemical behavior of the produced secondary solid metal phases.

Εισαγωγή

Η διακίνηση στην φύση των βαρέων μετάλλων από τις πηγές ρύπανσης, η οποία έχει ως τελικό αποτέλεσμα την προσβολή των ζώντων οργανισμών, συντελείται κυρίως μέσω υδατικών μέσων (είτε είναι τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα ή ακόμη τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα) ενώ η διασπορά τους ελέγχεται σημαντικά από τις αλληλεπιδράσεις με τα στερεά συστατικά της γεώσφαιρας που είναι τα ορυκτά των εδαφών και των πετρωμάτων (π.χ. FAURE 1992, KRAUSKOPF & BIRD 1995). Η αλληλεπίδραση των διαλελυμένων βαρέων μετάλλων με τα γεωλογικά υλικά σχετίζεται με συγκεκριμένα φυσικοχημικά φαινόμενα (π.χ. ρόφιση, οξείδωση/αναγωγή, μετασχηματισμοί φάσεων) τα οποία λαμβάνουν χώρα πρωταρχικά στις διεπιφάνειες στερεών / υδατικών μέσων (π.χ. HOCELLA Jr. & WHITE 1990, STUMM 1992, VAUGHAN & PATTRICK 1995, BRADY 1996, βλ. Σχ. 1) και καθορίζουν άμεσα την περαιτέρω διάχυση του ρυπαντή σε ένα δεδομένο γεωλογικό σύστημα.

Ωστόσο, ιδιαίτερα σημαντικός είναι και ο ρόλος των χημικών ιδιοτήτων του κάθε ορυκτού που αλληλεπιδρά με τα βαρέα μέταλλα ως συνάρτηση της δομής του αλλά και της χημικής του σύστασης. Ορυκτά με μικροπορώδη (πόροι < 20 \approx) και μεσοπορώδη (πόροι 20-500 \approx) κρυσταλλική δομή η οποία μπορεί να εμπεριέχει ευκόλως ανταλλάξιμα ιόντα (π.χ. ζεόλιθοι, φυλλοπυριτικά ορυκτά, οξείδια / υδροξείδια / οξυ-υδροξείδια του Fe και Mn) εμφανίζουν έντονες ροφητικές / ιοντοανταλλακτικές ιδιότητες και είναι σε θέση να δεσμεύσουν και να ακινητοποιήσουν σε όλη την μάζα τους σημαντικές ποσότητες βαρέων μετάλλων από το υδατικό μέσο, παρεμποδίζοντας επομένως την επιπλέον διασπορά τους στο περιβάλλον (π.χ. JENNE 1998, MISAEELIDES et al. 1999a).

Από την άλλη μεριά, πολύ διαδεδομένα ορυκτά με τυπικώς μακροπορώδη / μη-μικροπορώδη δομή (π.χ. χαλαζιάς, άστριοι) είναι θεωρητικά σχεδόν "ανενεργά" έχοντας την δυνατότητα να προσροφήσουν μόνο στην επιφάνειά τους μικρές ποσότητες βαρέων μετάλλων (π.χ. MISAEELIDES et al. 1998a, MISAEELIDES et al. 1998b) ανάλογα με τις υπάρχουσες φυσικοχημικές παραμέτρους του υδατικού μέσου (pH, θερμοκρασία, ιοντική ισχύς, κλπ.). Στην περίπτωση αυτή, που η κρυσταλλική δομή δεν ευνοεί ισχυρές αλληλεπιδράσεις, η χημική σύσταση του ορυκτού α-



Σχήμα 1. Μηχανισμοί ρόφησης μετάλλων από ορυκτά σε υδατικά διαλύματα (ΓΚΟΝΤΕΛΙΤΣΑΣ 1995).

Figure 1. Metal sorption mechanisms by minerals in aqueous solutions (GODELITSAS 1995).

ποδεικνύεται ως ο καθοριστικός παράγοντας που ελέγχει τις χημικές αντιδράσεις που θα συμβούν στην επιφάνειά του εάν έλθει σε επαφή με διαλελυμένα βαρέα μέταλλα.

Έτσι, διάφορα άλλα μακροπορώδη ορυκτά με χημική σύσταση εντελώς διαφορετική από αυτή των τεκτοφυριτικών, όπως ο ασβεστίτης, παρουσιάζουν μία εντελώς “ενεργή” επιφάνεια η οποία χωρίς να συμμετέχει σημαντικά σε πραγματικά φαινόμενα ρόφησης-δέσμευσης, συμβάλλει αποφασιστικά στην μερική τροποποίηση της αρχικής κατάστασης των μετάλλων στο υδατικό μέσο. Ως συνέπεια μπορούν να παρατηρηθούν έντονα φαινόμενα επιφανειακής επικάλυψης και συνεπικάλυψης (βλ. Σχ. 1) αλλά και εκτενούς χημικής καθίζησης όπου τα αρχικά διαλελυμένα ιόντα των βαρέων μετάλλων αλληλεπιδρώντας με την επιφάνεια του ανθρακικού γεωλογικού υλικού μετατρέπονται σε στερεές (κρυσταλλικές ή και άμορφες) αδιάλυτες φάσεις, κυρίως ανθρακικές και υδροξειδίων, οι οποίες είτε συμφύονται στην επιφάνειά του συνδεδεμένες με χημικούς δεσμούς είτε αναμειγνύονται αυτοτελείς με τους χημικώς τροποποιημένους κρυστάλλους του ασβεστίτη (π.χ. OATES 1998). Η δημιουργία στερεών διαλυμάτων στην επιφάνεια του ορυκτού (μέσω διάχυσης σε στερεά κατάσταση) είναι επίσης πιθανή ανάλογα με την συγκέντρωση του μετάλλου στο υδατικό μέσο και την ιοντική του ακτίνα. Θα πρέπει ακόμη να σημειωθεί ότι τα φαινόμενα που παρατηρούνται επηρεάζονται άμεσα και από την υδατική χημεία των διαλελυμένων βαρέων μετάλλων η οποία εκφράζεται γενικά από αντιδράσεις υδρόλυσης των αντίστοιχων κατιόντων που έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία διαφορετικών ιοντικών ειδών ή και ουδέτερων (π.χ. υδροξειδία) σε συνάρτηση με το pH.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η αλληλεπίδραση υδατικών διαλυμάτων που περιέχουν υψηλές/τοξικές συγκεντρώσεις ορισμένων βαρέων μετάλλων (Cr, Pb, Cd, Hg, Th, U) με τον μαργαϊκό ασβεστόλιθο του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (ΛΚΠ-Α) ο οποίος φιλοξενείται στα γνωστά κοιτάσματα λιγνίτη από τα οποία τροφοδοτούνται οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί της περιοχής. Το συγκεκριμένο πέτρωμα αποτελείται κατά ~96 % από μικροκρυσταλλικό ασβεστίτη και η όλη περιβαλλοντική του σημασία είναι προφανής αφενός μεν διότι αποτελεί ένα γεωλογικό μέσο διακίνησης των υδάτων προς τους υδροφόρους ορίζοντες της λεκάνης, αφετέρου δε διότι είναι το ενδιάμεσο στείρο υλικό που συσσωρεύεται στις αποθέσεις της εκμετάλλευσης του λιγνίτη στο ΛΚΠ-Α.

Πειραματικό μέρος

Ο χαρακτηρισμός του μαργαϊκού ασβεστόλιθου πραγματοποιήθηκε με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ κόνεως / XRD (Philips PW 1820/00, CuKα με φίλτρο Ni, 3-53K 2θ, 1.2K/min) καθώς και με σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (JSM 840-A Jeol SEM) εφοδιασμένο με μικροαναλυτή (Oxford ISIS 300 EDS). Ο ημιποσοτικός προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης του πετρώματος έγινε με βάση τις

απαριθμήσεις συγκεκριμένων ανακλάσεων στο διάγραμμα XRD και λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα και το συντελεστή απορρόφησης μάζας των ορυκτολογικών φάσεων.

Κατά την πειραματική διαδικασία που αφορούσε την αλληλεπίδραση με τοξικές συγκεντρώσεις των προαναφερθέντων μετάλλων (10, 50, 100, 250, 500 και 1000 ppm), ορισμένη ποσότητα (0.5 g) αντιπροσωπευτικού δείγματος του πετρώματος, ομογενοποιημένου και θραυσμένου (< 2 mm), αφέθηκε να αντιδράσει για μεγάλο χρονικό διάστημα, υπό συνεχή ανακίνηση, με 100 mL αντίστοιχων υδατικών διαλυμάτων νιτρικών αλάτων των μετάλλων (Merck, pro analysi). Τα διαλύματα του Cd και Hg ήταν ιχνοθετημένα με πολύ μικρές ποσότητες (~ 200 kBq/100 mL) ^{115m}Cd ($T_{1/2}$: 44.8 ημ.) και ^{203}Hg ($T_{1/2}$: 46.6 ημ) ενώ τα διαλύματα U και Th πιστοποιήθηκαν φασματοφωτομετρικά (Shimadzu UV-160A) χρησιμοποιώντας τον δείκτη Arsenazo-III σύμφωνα με την μέθοδο του SAVVIN (1964). Τα αιωρήματα που πρέκυσαν μικροδιηθήθηκαν με χρήση συσκευής Sartorius εφοδιασμένης με κατάλληλους ηθμούς κυτταρίνης (MicronSep) και τα στερεά πειραματικά προϊόντα ξηράθηκαν στην ατμόσφαιρα.

Οι συγκεντρώσεις του Cr και του Pb στα διηθήματα μετρήθηκαν με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης (Perkin Elmer A300) χρησιμοποιώντας πρότυπα διαλύματα της Merck, ενώ των Cd και Hg με φασματοσκοπία ακτίνων-γ υψηλής διακριτικής ικανότητας (αχιχεντής REGe της Canberra συνδεδεμένος με αναλυτή πολλαπλών διαύλων Canberra S-35 Plus) χρησιμοποιώντας ως πρότυπα τα αρχικά ιχνοθετημένα διαλύματα. Οι προσδιορισμοί του U και του Th πραγματοποιήθηκαν στα διαχωρισμένα στερεά με ανάλυση με νετρονική ενεργοποίηση συνδυασμένης με φασματοσκοπία ακτίνων-γ υψηλής διακριτικής ικανότητας, έπειτα από ακτινοβόληση με θερμικά νετρόνια στον 5 MW ερευνητικό πυρηνικό αντιδραστήρα του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. “ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ” (ροή 5×10^{13} n/cm²s). Οι συγκεντρώσεις του U και του Th μετρήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη την εκπεμπόμενη ακτινοβολία-γ (^{233}Pa και ^{239}Np , προϊόντων της διασπάσεως του ^{233}Th και ^{239}U) των δειγμάτων και ανάλογων πιστοποιημένων προτύπων του IAEA και της US Geological Survey. Τα στερεά πειραματικά προϊόντα μελετήθηκαν εκτενώς και με χρήση του σαρωτικού ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, καθώς επίσης και με φασματοσκοπία υπερούθρου (Perkin Elmer 1650 FT-IR) σε δισκία KBr.

Αποτελέσματα και συζήτηση

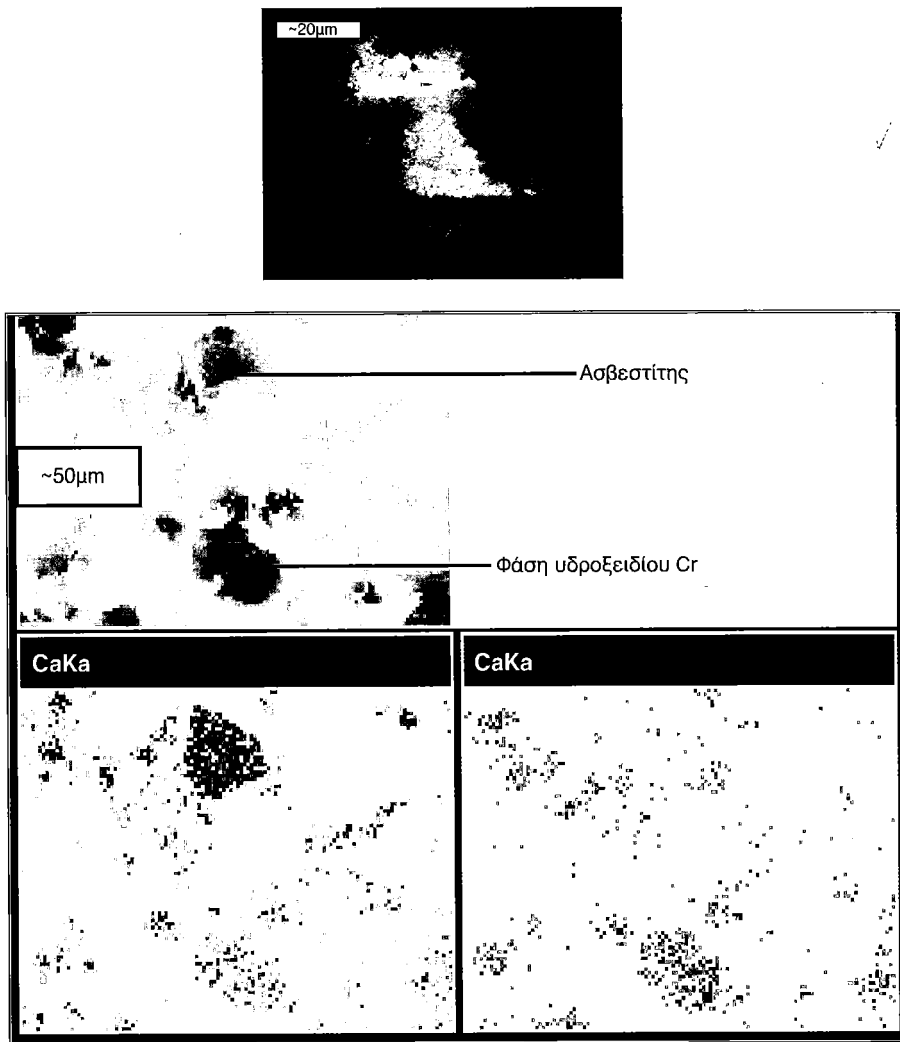
Ο χαρακτηρισμός του ανθρακικού ιζηματογενούς πετρώματος με XRD και SEM-EDS έδειξε ότι πρόκειται για μαργαϊκό ασβεστόλιθο ο οποίος περιέχει ~96 % ασβεστίτη, ενώ η υπόλοιπη μάζα του υλικού πληρώνεται από φυλλοπυριτικά ορυκτά (ορυκτά της αργίλου και μαρμαρυγίες). Πολύ σημαντική είναι επίσης η παρουσία μικροαπολιθωμάτων (έως και ~10 μm) τα κελύφη των οποίων έχουν σύσταση πυριτική και σύμφωνα με σαφείς ενδείξεις στα διάγραμμα XRD είναι

άμορφα στερεά.

Η αντίδραση του μαργαϊκού ασβεστολίθου με τα υδατικά διαλύματα των προαναφερθέντων μετάλλων διαφορετικής συγκέντρωσης οδηγεί γενικά σε απομάκρυνση διαφορετικών ποσοστών των μετάλλων από το υδατικό μέσο που έχει ως συνέπεια την άμεση “μεταφορά” τους στην στερεά φάση. Αυτό σημαίνει ότι τα διαλελυμένα βαρέα μέταλλα απομακρυνόμενα από τα διαλύματα δεν δεσμεύονται αναγκαστικά από τα ορυκτά του πετρώματος μέσω διάφορων μηχανισμών ρόφησης (βλ. Σχ. 1), αλλά μπορούν να μετατραπούν και σε αυτοτελείς στερεές φάσεις (κρυσταλλικές ή άμορφες) οι οποίες σχηματίζουν τελικά ένα είδος μείγματος με το αρχικό γεωλογικό υλικό. Θα πρέπει βέβαια να τονισθεί ότι παρόλο που τα υπάρχοντα φυλλοπυριτικά ορυκτά εμφανίζουν λόγω της δομής τους έντονες ροφητικές/ιοντοανταλλακτικές ιδιότητες, το μικρό ποσοστό τους στο πέτρωμα υποβαθμίζει σημαντικά την συμμετοχή τους σε αντιδράσεις αλληλεπίδρασης με τα βαρέα μέταλλα ενώ ο ασβεστίτης είναι εκείνος ο οποίος ευθύνεται σχεδόν αποκλειστικά για τα φαινόμενα που παρατηρούνται. Σπουδαίο ρόλο παίζει επίσης και η υφή του εν λόγω ανθρακικού πετρώματος και πιο συγκεκριμένα η χαλαρή του συνεκτικότητα, που έχει ως αποτέλεσμα τα υδατικά διαλύματα να διασπούν εύκολα την μειωμένη συνοχή των γεφρών συσσωματωμάτων των ορυκτολογικών συστατικών δημιουργώντας αιωρήματα ή και πολφούς ανάλογα με την αρχική αναλογία στερεού/υγρού. Ανάλογα ιζηματογενή ανθρακικά πετρώματα (π.χ. ασβεστόλιθοι) στα οποία οι κρύσταλλοι των ορυκτών έρχονται σε στενή επαφή μεταξύ τους σχηματίζοντας μία συμπαγή και συνεκτική μάζα έχουν διαφορετική συμπεριφορά απέναντι σε υδατικά διαλύματα βαρέων μετάλλων τα οποία μπορούν να αντιδράσουν με ένα συγκεκριμένο όγκο του στερεού κυρίως σε ελεύθερες επιφάνειες ή στο εσωτερικό εισχωρώντας μέσω φυσικών ασυνεχειών (μικρορωγμές, διακλάσεις, κλπ.). Επομένως, τουλάχιστον σε πειραματικό επίπεδο, μία ποσότητα μαργαϊκού ασβεστολίθου αλληλεπιδρά ισχυρότερα με ένα διάλυμα βαρέως μετάλλου από ότι μία ίδια ποσότητα ασβεστολίθου ή ακόμη και ενός μεταμορφωμένου ανθρακικού πετρώματος (π.χ. μαρμάρου) διότι σχεδόν όλοι οι περιεχόμενοι κόκκοι του ασβεστίτη βρίσκονται με την πάροδο του χρόνου εκτεθειμένοι απέναντι στα μεταλλοϊόντα. Αυτό μεταφράζεται από το γεγονός ότι οι αντιδράσεις διαλελυμένων βαρέων μετάλλων με ορυκτά και πετρώματα, που μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα διάφορα φαινόμενα ρόφησης, εννοούνται άμεσα από την ειδική επιφάνεια των αντιδρώντων στερεών η οποία στην περίπτωση του μαργαϊκού ασβεστολίθου είναι ιδιαίτερα αυξημένη συγκρινόμενη με αυτή ενός δείγματος τυπικού ασβεστολίθου. Ακόμη και σε ανάλογες περιπτώσεις γεωλογικών υλικών διαφορετικής σύστασης και δομής τα οποία εμφανίζουν πραγματική ιοντοανταλλακτική ικανότητα επικρατεί η ίδια αρχή: για παράδειγμα ο βιοτίτης, που θεωρείται ως ένα από τα πιο “ενεργά” ορυκτολογικά συστατικά ενός τυπικού γρανίτη ως προς την δυνατότητα να δεσμεύει βαρέα μέταλλα από υδατικά διαλύματα (MISAELIDES et al. 1998b και

1999b), αντιδρά εντονότερα όταν βρίσκεται υπό την μορφή μικροκρυσταλλικών συσσωματωμάτων (ή σε πειράματα κονιοποιημένος) παρά υπό την μορφή ευμεγεθών ιδιόμορφων κρυστάλλων.

Τα πειραματικά αποτελέσματα που αφορούν την αλληλεπίδραση του μαργαϊ-



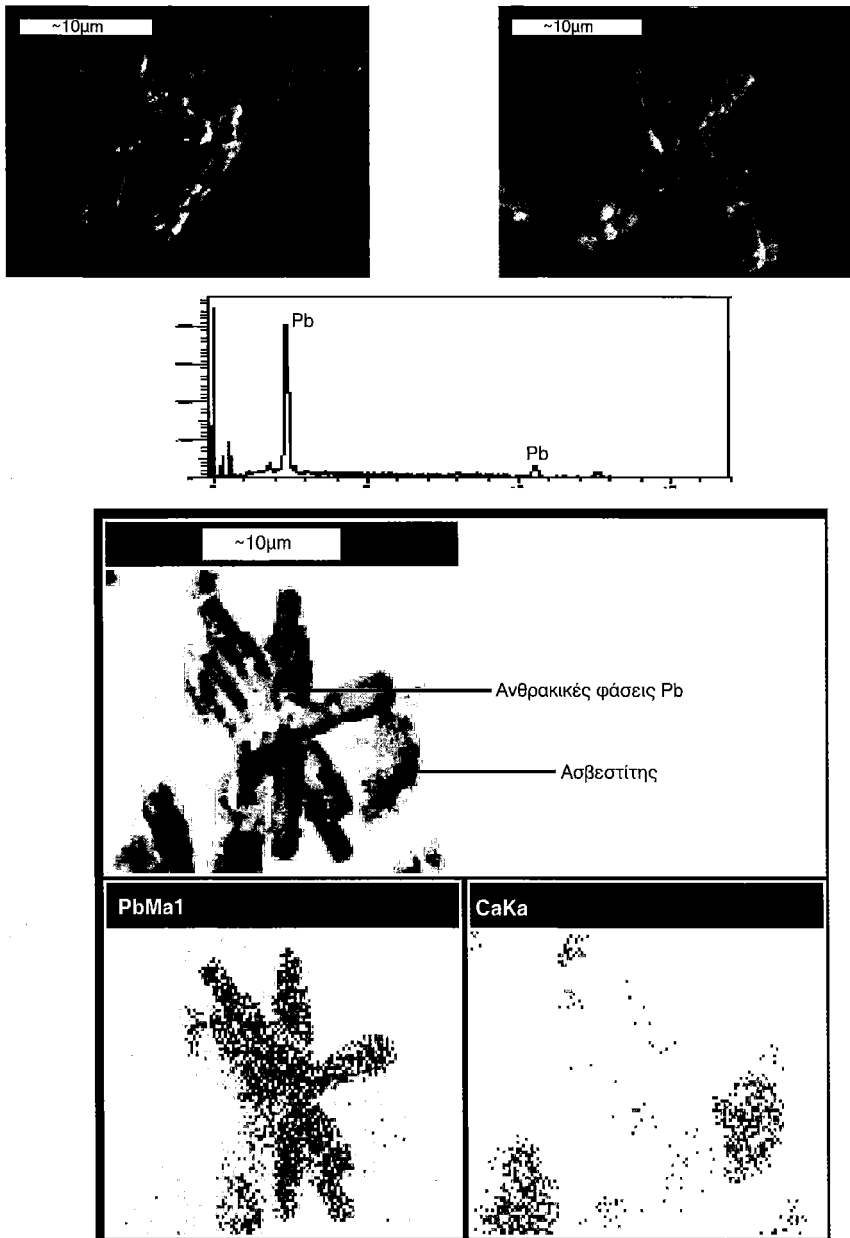
Σχήμα 2. Δεδομένα SEM-EDS που αφορούν την διερεύνηση του μαργαϊκού ασβεστόλιθου έπειτα από αλληλεπίδραση με υδατικό διάλυμα τοξικής συγκέντρωσης Cr.

Figure 2. SEM-EDS data concerning the investigation of marly limestone after interaction with aqueous solution containing a toxic concentration of Cr.

κού ασβεστολίθου με τα υδατικά διαλύματα του Cr, έδειξαν ότι σχεδόν όλη η ποσότητα του αρχικώς διαλελυμένου Cr απομακρύνεται από το υδατικό μέσο και συσσωρεύεται στην στερεά φάση υπό την μορφή αδιάλυτων ενώσεων του μετάλλου (Σχ. 2). Οι ενώσεις αυτές είναι πιθανότατα άμορφα ενυδατωμένα υδροξειδία του Cr, όπως υποδεικνύεται από τα αντίστοιχα φάσματα υπερύθρου στα οποία είναι εμφανείς μία ευρεία κορυφή με μέγιστο στα 3417 cm^{-1} και μία ιδιαίτερα οξεία στα 1384 cm^{-1} , χαρακτηριστικές ενυδατωμένων υδροξειδίων των μετάλλων (π.χ. FARMER 1974). Αυτό σημαίνει ότι η αλληλεπίδραση του πετρώματος με το διαλελυμένο Cr οδηγεί όχι απλώς σε επιφανειακή επικάλυψη υδροξειδίων του μετάλλου στους κρυστάλλους του ασβεστίτη, αλλά και σε ανεξάρτητη πραγματική χημική καθίζηση μεγάλου εύρους η οποία μπορεί να οφείλεται σε ραγδαία υδρόλυση (BAES & MESMER 1986) των αρχικών κατιόντων του Cr (Cr^{3+}) λόγω αύξησης του pH που προκαλείται σταδιακά από την παραμονή του λεπτομερώς διαμερισμένου ανθρακικού στερεού στο υδατικό μέσο. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να ειπωθεί ότι το pH των αρχικών διαλυμάτων του Cr για τις συγκεντρώσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν γύρω στην ουδέτερη περιοχή, και αυτό συσχετίζεται με το ζ-δυναμικό του ασβεστίτη (φόρτιση των κρυστάλλων του) το οποίο καθορίζει την δυνατότητα της επιφάνειας του ορυκτού να αντιδρά με διαλελυμένα κατιόντα ή ανιόντα ανάλογα με το pH του υδατικού μέσου. Σε αντίθεση με τα πυριτικά μακροπορώδη / μη μικροπορώδη ορυκτά (π.χ. χαλαζίας, άστριοι) των οποίων το ισοδυναμικό σημείο (PZC) είναι σε $\text{pH} \sim 2$, και πάνω από την τιμή αυτή φορτίζονται αρνητικά προσροφώντας στην επιφάνειά τους κατιόντα, το PZC των ανθρακικών ορυκτών βρίσκεται γενικά στην περιοχή $\text{pH} \sim 6$ με αποτέλεσμα να είναι σε θέση να προσροφήσουν κατιόντα μόνο σε υψηλές τιμές pH όπου όμως αυτά υδρολύονται και μετατρέπονται σε αδιάλυτα υδροξειδία. Ωστόσο, σημαντικό ρόλο στις διεργασίες αλληλεπίδρασης κατιόντων μετάλλων με τον ασβεστίτη διαδραματίζει και η συγκέντρωσή τους στο υδατικό μέσο, που σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο απομακρύνονται από το διάλυμα και “μεταφέρονται” στην στερεά φάση. Σύμφωνα με τους SCHOSSELER et al. (1999), οι οποίοι μελέτησαν την αλληλεπίδραση διαλελυμένων κατιόντων Cu (Cu^{2+}) με την επιφάνεια του ασβεστίτη χρησιμοποιώντας τεχνικές φασματοσκοπίας ηλεκτρονικού παραμαγνητικού συντονισμού (EPR), σε χαμηλές συγκεντρώσεις παρατηρείται μία απότομη αντίδραση προσρόφησης η οποία ακολουθείται από μία αργή απομάκρυνση ενυδατωμένων κατιόντων των μετάλλων από το διάλυμα με συνέπεια την απορρόφησή τους και τον σχηματισμό σε επιφανειακές στοιβάδες του ορυκτού ενός στερεού διαλύματος (π.χ. $\text{Cu}_x\text{Ca}_{(1-x)}\text{CO}_3$ στην περίπτωση του Cu) μέσω διάχυσης σε στερεά κατάσταση (βλ. επίσης Σχ. 1). Στις παραπάνω διεργασίες σοβαρό ρόλο παίζουν τα εκτεθειμένα στην επιφάνεια του ασβεστίτη ανθρακικά ιόντα ($> \text{CaO}_2\text{CO}$) του κρυσταλλικού πλέγματος, καθώς και ενυδατωμένες θέσεις του τύπου $> \text{CaOH}$ και $> \text{CO}_3\text{H}$, με αποτέλεσμα τα αρχικώς εφυδατωμένα ιόντα των μετάλλων να αφυδατώνονται

ραγδαία καθώς προσροφώνται στην επιφάνεια. Αυξανόμενης της συγκέντρωσης παρατηρούνται έντονα φαινόμενα επιφανειακής επικάθισης /συνεπικάθισης που συνεπάγονται την δημιουργία στην επιφάνεια του ασβεστίτη κρυσταλλικών ή άμορφων φάσεων των μετάλλων που μπορεί να είναι, ανάλογα με το μέταλλο, ανθρακικές, υδροξειδία, καθώς και υδροξυ-ανθρακικές. Η επιφανειακή επικάθιση υδροξυ-ανθρακικών φάσεων έχει αναφερθεί από τους ZACHARA et al. (1989) για την περίπτωση της αλληλεπίδρασης του ασβεστίτη με Zn, όπου παρατηρείται η δημιουργία υδροψευδαργυρίτη $[Zn_5(OH)_6(CO_3)_2]$ ή και της ενυδατωμένης μορφής του με βάση αποτελέσματα SEM-EDS, XRD και φάσματα φωτοηλεκτρονίων με ακτίνες-X (XPS). Βέβαια, σε ακόμη υψηλότερες συγκεντρώσεις ενδέχεται να συμβεί και μαζική χημική καθίζηση κρυσταλλικών ή άμορφων στερεών φάσεων των μετάλλων οι οποίες συνυπάρχουν αυτοτελείς με τους χημικώς τροποποιημένους κρυστάλλους του ασβεστίτη (δηλ. με αυτούς που έχουν ροφήσει μέσω διαφορετικών μηχανισμών ιόντα μετάλλων).

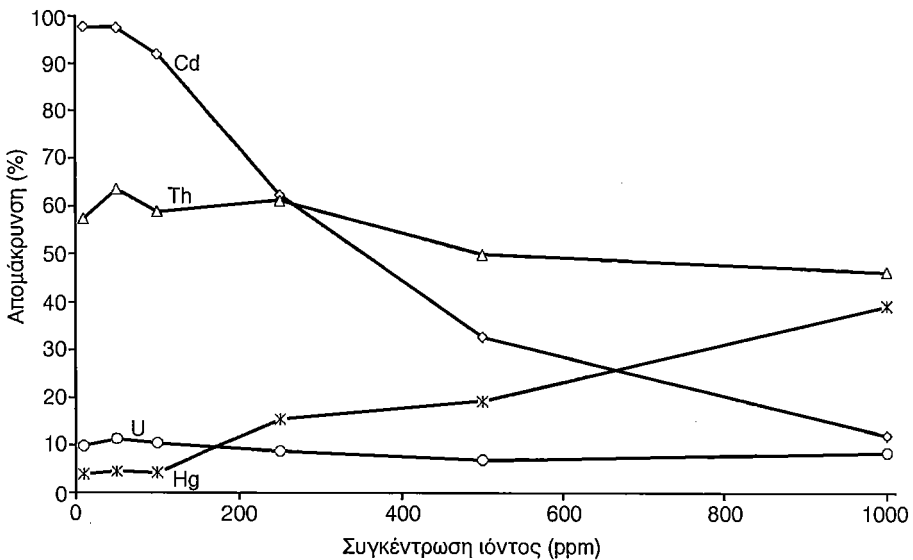
Το παραπάνω φαινόμενο παρατηρήθηκε και στην περίπτωση του Pb όπου επίσης σχεδόν όλη η αρχική ποσότητα του μετάλλου απομακρύνθηκε από τα υδατικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν και “μεταφέρθηκε” στην στερεά φάση, χωρίς όμως να διαπιστωθεί (σύμφωνα με τα φάσματα υπερύθρου) η δημιουργία υδροξειδίων / ενυδατωμένων υδροξειδίων αλλά ο σχηματισμός ευδιάκριτων στο SEM (Σχ. 3) συσσωματωμάτων ανθρακικών φάσεων. Επομένως, όπως δεικνύεται από τα πειραματικά αποτελέσματα, η αλληλεπίδραση των κατιόντων Pb (Pb^{2+}) με τον μαργαϊκό ασβεστόλιθο έχει ως αποτέλεσμα την εκτεταμένη κρυστάλλωση ενώσεων τύπου κερουσίτη ($PbCO_3$) ο οποίος είναι αδιάλυτος στο ύδωρ και η δομή του είναι ρομβικής συμμετρίας (τύπου αραγωνίτη) σε αντίθεση με τον μητρικό ασβεστίτη (τριγωνική). Σύμφωνα με τους STURCHIO et al. (1997) τα μέταλλα με ιοντική ακτίνα μικρότερη από αυτή του Ca ($0.99 \approx$) ροφώνται θεωρητικά σε σημαντικό βαθμό από τους κρυστάλλους του ασβεστίτη (π.χ. Mn, Co, Ni, Zn, Cd), ακόμη και μέσω επιφανειακής επικάθισης / συνεπικάθισης σχηματίζοντας ανθρακικές φάσεις με δομή τριγωνικής συμμετρίας. Από την άλλη μεριά τα μέταλλα με ιοντική ακτίνα μεγαλύτερη από αυτή του Ca (π.χ. Sr, Ba) αντιδρούν μάλλον ασθενώς σχηματίζοντας ανθρακικές φάσεις με δομή ρομβικής συμμετρίας. Παρ’ όλα αυτά οι παραπάνω συγγραφείς χρησιμοποιώντας τεχνικές βασισμένες σε ακτίνες-X από σύνχροτρο καθώς και μικροσκοπία ατομικής ισχύος (AFM) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο Pb παρά την μεγάλη ιοντική ακτίνα του ($1.20 \approx$) απορροφείται ευκρινώς από τον ασβεστίτη αντικαθιστώντας ιόντα Ca σε επιφανειακές στοιβάδες του κρυσταλλικού πλέγματος. Βέβαια, οι συγκεντρώσεις των διαλυμάτων που χρησιμοποιήσαν ήταν πάρα πολύ χαμηλές ώστε να παρατηρήσουν φαινόμενα επιφανειακής επικάθισης και μάλιστα χημικής καθίζησης, όπως συνέβη στην παρούσα μελέτη, όπου όμως φαίνεται να επιβεβαιώνεται ο σχηματισμός ανθρακικών φάσεων με δομή αραγωνίτη.



Σχήμα 3. Δεδομένα SEM-EDS που αφορούν την διερεύνηση του μαργαϊκού ασβεστόλιθου έπειτα από αλληλεπίδραση με υδατικό διάλυμα τοξικής συγκέντρωσης Pb.

Figure 3. SEM-EDS data concerning the investigation of marly limestone after interaction with aqueous solution containing a toxic concentration of Pb.

Η εκλεκτικότητα του ασβεστίτη όσον αφορά την ρόφηση ορισμένων μετάλλων από υδατικά διαλύματα χαμηλών συγκεντρώσεων έχει αναφερθεί και από τους ZACHARA et al. (1991), σύμφωνα με τους οποίους παρατηρείται η σειρά $Cd > Zn \geq Mn > Co > Ni > Ba = Sr$ σε ανάλογη συσχέτιση με τον βαθμό ενυδάτωσης των μεταλλοϊόντων στο υδατικό μέσο. Εξαιρώντας τις περιπτώσεις του Cr και του Pb, όπου η απομάκρυνση των μετάλλων αυτών από το διάλυμα είναι σχεδόν ολοσχερής όπως περιγράφηκε παραπάνω, μεταξύ των υπόλοιπων μετάλλων που διερευνήθηκαν (Cd, Hg, Th, U) και απομακρύνονται σε διαφορετικά ποσοστά, η αυξημένη αυτή ρόφηση του Cd σε χαμηλές συγκεντρώσεις αποδεικνύεται χαρακτηριστικά (Σχ. 4). Αυτό δεν συμβαίνει στις υψηλότερες συγκεντρώσεις παρέχοντας την ένδειξη ότι η παρατηρούμενη απομάκρυνση του Cd από τον ασβεστίτη, που είναι το κύριο ορυκτό του μαργαϊκού ασβεστόλιθου, πραγματοποιείται πιθανότατα μέσω προσρόφησης και απορρόφησης σε επιφανειακές στοιβάδες και ίσως μέσω επιφανειακής επικάλυψης / συνεπικάλυψης μικρής έκτασης, χωρίς να παρατηρούνται έντονα φαινόμενα επιφανειακής επικάλυψης και χημικής καθίζησης. Σύμφωνα με τους STIPP et al. (1992) και με βάση αποτελέσματα τεχνικών ανάλυσης επιφανειών (XPS, AES, LEED), το Cd μπορεί να προσροφηθεί από αραιά διαλύματα στην επιφάνεια του ασβεστίτη αλλά και να απορροφηθεί μέσω διάχυσης σε



Σχήμα 4. Απομάκρυνση (%) των Cd, Hg, Th και U από τα υδατικά τους διαλύματα τοξικών συγκεντρώσεων (10-1000 ppm) μετά την αλληλεπίδραση με τον μαργαϊκό ασβεστόλιθο.

Figure 4. Removal (%) of Cd, Hg, Th and U from their aqueous solutions containing toxic concentrations (10-1000 ppm) after the interaction with the marly limestone.

στερεά κατάσταση σχηματίζοντας επιφανειακά στερεά διαλύματα ενώ μπορεί να ανιχνευθεί και επιταξιακή κρυστάλλωση σταβίτη (CdCO_3) στις $\{101\}$ επιφάνειες σχιστότητας του ορυκτού. Η δημιουργία στερεών διαλυμάτων στην επιφάνεια των κρυστάλλων του ασβεστίτη, κατά την διάχυση των ιόντων Cd (Cd^{2+}) η οποία δεν οφείλεται σε μετανάστευσή τους μέσω φυσικών μικρο-ασυνεχειών (π.χ. μικρο-ρωγμές), έχει αναφερθεί και από τους DAVIS et al. (1987) και είναι φαινόμενο ιδιαίτερα σημαντικό διότι ένα μεγάλο ποσοστό του Cd δεσμεύεται πραγματικά και ακινητοποιείται πάνω στο ανθρακικό γεωλογικό υλικό. Την αντίθετη εικόνα παρουσιάζει ο Hg (βλ. Σχ. 4), η απομάκρυνση του οποίου αυξάνεται στα διαλύματα υψηλότερης συγκέντρωσης. Ωστόσο, η υδρόλυση των κατιόντων του Hg (Hg^{2+}) είναι γενικά πολύ πιο έντονη από την αντίστοιχη των κατιόντων του Cd, και είναι πολύ πιθανό αυξανόμενης της συγκέντρωσης να εντείνεται η ρόφηση μέσω επιφανειακής επικάθισης των σχηματιζόμενων υδροξειδίων αλλά και οξειδίων του μετάλλου, όπως έχει αποδειχθεί από τους MISAEILIDES et al. (1996) με χρήση τεχνικών βασισμένων σε επιταχυντές σωματιδίων (RBS) και επιφανειακής ανάλυσης (XPS) για την δέσμευση του Hg σε επιφάνειες κρυστάλλων ζεολιθών.

Η απομάκρυνση του Th από τα υδατικά του διαλύματα είναι επίσης σημαντική και σε γενικές γραμμές περίπου σταθερή (μέσος όρος $\sim 56\%$) για όλες τις συγκεντρώσεις που χρησιμοποιήθηκαν (βλ. Σχ. 4). Θα πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι τα αρχικά διαλύματα του μετάλλου είναι εκ φύσεως αρκετά όξινα ($3 < \text{pH} < 4$) με αποτέλεσμα να αναμένεται έντονη υδρόλυση του κατιόντος Th (Th^{4+}) λόγω αύξησης του pH κατά την αλληλεπίδραση με τον μαργαϊκό ασβεστόλιθο. Στην πραγματικότητα το ενυδατωμένο κατιόν του Th είναι σταθερό μόνο σε υδατικά διαλύματα με $\text{pH} < 3$ ενώ για υψηλότερες τιμές pH υδρολύεται ισχυρά δίνοντας διάφορα μονοπυρηνικά αλλά και πολυπυρηνικά / πολυμερή προϊόντα υδρόλυσης (διαλελυμένα ή και αδιάλυτα) του γενικού τύπου $[\text{Th}_x(\text{OH})_y]^{(4x-y)+}$ τα οποία μπορούν να αντιδράσουν με γεωλογικά υλικά (π.χ. GODELITSAS et al. 1996a, MISAEILIDES & GODELITSAS 1999).

Παρόμοια πειραματικά αποτελέσματα εξάγονται και για το U όπου όμως η απομάκρυνση είναι μεν επίσης περίπου σταθερή, αλλά συγκριτικά πολύ χαμηλότερη (μέσος όρος για όλα τα διαλύματα $\sim 9\%$). Και στην περίπτωση αυτή τα αρχικά διαλύματα του μετάλλου είναι όξινα ($3.5 < \text{pH} < 5$), ενώ το σχηματιζόμενο κατιόν του ουρανυλίου (UO_2^{2+}) υδρολύεται έντονα αυξανόμενου του pH σχηματίζοντας διάφορα προϊόντα υδρόλυσης με γενικό τύπο $[(\text{UO}_2)_x(\text{OH})_y]^{(2x-y)+}$ τα οποία είναι σε θέση, μαζί με το ουρανύλιο, να αντιδράσουν ιδίως με τις επιφάνειες των ορυκτών (π.χ. MISAEILIDES et al. 1996, GODELITSAS et al. 1996b, MISAEILIDES & GODELITSAS 1999). Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι η αλληλεπίδραση του U και του Th με τον μαργαϊκό ασβεστόλιθο συνοδεύεται από αρκετά περίπλοκα χημικά φαινόμενα, ενώ η απορρόφηση των μετάλλων αυτών από τον περιεχόμενο ασβεστίτη θα πρέπει να είναι αμελητέα λόγω της μεγάλης ιοντικής ακτίνας

και του σθένους του ενυδατωμένου κατιόντος Th αλλά και του ενυδατωμένου ουρανυλίου το οποίο στην πραγματικότητα είναι ένα ογκώδες σύμπλοκο ιόν δομής εξαγωνικής διπυραμίδας με το άτομο του U στο κέντρο. Η δέσμευση μέσω μηχανισμών προσρόφησης είναι δυνατή, ενώ η επιφανειακή επικάλυψη / συνεπικάλυψη θα πρέπει να θεωρηθεί βέβαια σε συμφωνία με τους DRAN et al. (1988) και CARROLL et al. (1992) οι οποίοι χρησιμοποιώντας εκτός των άλλων φασματοσκοπία RBS πιστοποίησαν ότι στην επιφάνεια μονοκρυστάλλων ασβεστίτη μπορεί να δημιουργηθεί ένα ιδιαίτερα παχύ “στρώμα” (έως και ~3 μm) αποτελούμενο από ανθρακικές φάσεις του U ή και του Th αντίστοιχα (π.χ. ραδεροφορντίνη: UO_2CO_3).

Συμπερασματικά θα μπορούσε να αναφερθεί ότι ο μελετούμενος μαργαϊκός ασβεστόλιθος είναι γενικά σε θέση να απομακρύνει διαφορετικές ποσότητες των βαρέων μετάλλων που διερευνήθηκαν από τα υδατικά τους διαλύματα τοξικών συγκεντρώσεων. Ωστόσο, με εξαίρεση μάλλον της περίπτωσης του Cd, περαιτέρω ερευνητική δραστηριότητα είναι επιτακτική σχετικά με την μακροχρόνια σταθερότητα και χημική συμπεριφορά των στερεών φάσεων των μετάλλων (ανθρακικές, υδροξειδία ή και οξειδία) που δημιουργούνται είτε ως αυτοτελείς είτε στην επιφάνεια του ασβεστίτη. Αυτό θα αποτελέσει την βάση για την διευκρίνηση πιθανών μηχανισμών δευτερογενούς διασποράς των βαρέων μετάλλων, όπου η πηγή τους δεν θα είναι πλέον κάποιο διερχόμενο υδατικό μέσο αλλά οι προαναφερθέντες στερεές ενώσεις.

Ευχαριστίες

Η παρούσα ανακοίνωση αποτελεί μέρος ευρύτερης ερευνητικής εργασίας που υποστηρίχθηκε από τον Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας (I.A.E.A., Vienna) στα πλαίσια του Προγράμματος “*Application of Radiochemical and Accelerator-Based Analytical Techniques to the Investigation of the Interaction of Heavy Metals with Geologic Materials Present in the Environment of Industrial and Nuclear Waste Repositories / GRE-8793*” (επιστημονικός υπεύθυνος: Αναπλ. Καθηγητής Π. Μισαηλίδης) καθώς και από το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (I.K.Y.) στα πλαίσια της μεταδιδακτορικής ερευνητικής εργασίας του πρώτου εκ των συγγραφέων με τίτλο “*Μελέτη της Αλληλεπίδρασης Τοξικών Συγκεντρώσεων Βαρέων Μετάλλων με Γεωλογικά Υλικά του Ελληνικού Χώρου Χρησιμοποιώντας Προηγμένες Φασματοσκοπικές Τεχνικές*” που εκπονήθηκε στο Α.Π.Θ.. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλονται επίσης στον κ. Ι. Ανούση (Ινστιτούτο Πυρηνικής Τεχνολογίας & Ακτινοπροστασίας) για την ακτινοβόληση των υλικών με θερμικά νετρόνια στον 5 MW ερευνητικό πυρηνικό αντιδραστήρα του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. “ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ”. Τέλος, ο υποψήφιος διδάκτορας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κ. Ν. Καντηράνης ευχαριστεί θερμά το I.K.Y. για την υποστήριξη των σπουδών του.

Βιβλιογραφία

- BAES C.F. & MESMER R.E. (1986). *The Hydrolysis of Cations*. Krieger Publ. Co., Malabar.
- BRADY P.V., Ed. (1996). *Physics and Chemistry of Mineral Surfaces*. CRC Press, New York.
- ΓΚΟΝΤΕΛΙΤΣΑΣ Α. (1995). Σύνθεση και Μελέτη Συμπλόκων Ενώσεων Καθηλωμένων σε Φυσικούς Ζεολίθους. Διαδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημείας, Α.Π.Θ., σ. 132.
- CARROLL S.A., BRUNO J., PETIT J.-C. & DRAN J.-C. (1992). Interactions of U(VI), Nd and Th(IV) at the calcite solution interface. *Radiochim. Acta* 58/59, 245-252.
- DAVIS J.A., FULLER C.C. & COOK A.D. (1987). A model for trace metal sorption processes at the calcite surface: Adsorption of Cd²⁺ and subsequent solid solution formation. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51, 1477-1490.
- DRAN J.-C., DELLA MEA G., PACCAGNELLA A., PETIT J.-C. & MENAGER M.-T. (1988). Sorption of actinide analogues on granite minerals studied by MeV ion beam techniques. *Radiochim. Acta*, 44/45, 299-304.
- FARMER V., Ed. (1974). *The Infrared Spectra of Minerals*. Mineralogical Society Monograph No. 4, London.
- FAURE G. (1992). *Principles and Applications of Inorganic Geochemistry*. MacMillan, New York, p. 626.
- GODELITSAS A., MISAELIDES P., CHARISTOS D., FILIPPIDIS A. & ANOUSIS I. (1996a). Interaction of HEU-type zeolite crystals with thorium aqueous solutions. *Chem. Erde*, 56, 143-156.
- GODELITSAS A., MISAELIDES P., FILIPPIDIS A., CHARISTOS D. & ANOUSIS I. (1996b). Uranium sorption from aqueous solutions on sodium-form of HEU-type zeolite crystals. *J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles*, 208, 393-402.
- HOHELLA Jr. M.F. & WHITE A.F., Eds. (1990). *Mineral-Water Interface Geochemistry*. Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy, Vol. 23, Washington D.C.
- JENNE E., Ed. (1998). *Adsorption of Metals by Geomedia*. Academic Press, New York.
- KRAUSKOPF B.K. & BIRD K.D. (1995). *Introduction to Geochemistry*. McGraw-Hill Inc., 3rd Edition, New York.
- MISAELIDES P., GODELITSAS A., KOSSIONIDIS S. & MANOS G. (1996). Investigation of chemical processes at mineral surfaces using accelerator-based and surface analytical techniques: heavy metal sorption on zeolite crystals. *Nucl. Instr. Methods.*, B113, 296-299.
- MISAELIDES P., GODELITSAS A., NOLI F., KOKKORIS M. & HARISSOPULOS S. (1998a). Application of radiochemical, accelerator-based and surface analytical techniques to the investigation of the U- and Th-interaction with tectosilicate minerals. In "Actinides and the Environment", Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 303-306.

- MISAEELIDES P., GODELITSAS A., STEPHAN A., MEIJER J., ROLFS C., HARISOPULOS S., KOKKORIS M. & FILIPPIDIS A. (1998b). Application of proton microprobe and ^{12}C -Rutherford backscattering spectroscopy to the identification of $\text{Hg}(\text{II})$ -cations sorbed by granite minerals. *Radiochim. Acta*, 83, 43-48.
- MISAEELIDES P. & GODELITSAS A. (1999). Interaction of actinides with natural microporous materials: a review. *Czech. J. Physics*, 49, 167-174.
- MISAEELIDES P., MACASEK F., PINNAVAIA T. and COLLELA C., Eds. (1999a). *Natural Microporous Materials in the Environmental Technology*. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht.
- MISAEELIDES P., GODELITSAS A., HARISSOPULOS S. & ANOUSIS I. (1999b). Interaction of granitic biotite with lanthanides and actinides. In *Abstracts of the 7th Int. Conference on "Chemistry and Migration Behavior of Actinides and Fission Products in the Geosphere"*, Lake Tahoe Nevada/California, p. 69.
- OATES J.A.H. (1998). *Lime and Limestone*. Wiley-VCH, Germany, p. 455.
- SAVVIN S.B. (1964). Analytical applications of Arsenazo-III. Determination of thorium, uranium, protactinium, neptunium, hafnium and scandium. *Talanta*, 11, 1-6.
- SCHOSSELER P.M., WEHRLI B. & SCHWEIGER A. (1999). Uptake of Cu^{2+} by the calcium carbonates vaterite and calcite as studied by continuous wave (CW) and pulse electron paramagnetic resonance. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63, 1955-196.
- STIPP L.S., HOHELLA F.M. Jr., PARKS A.G. & LECKIE O.J. (1992). Cd^{2+} uptake by calcite, solid-state diffusion, and the formation of solid-solution: Interface processes observed with near-surface sensitive techniques (XPS, LEED, and AES). *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56, 1941-1954.
- STUMM W. (1992). *Chemistry of the Solid-Water Interface: Processes at the Mineral-Water and Particle-Water Interface in Natural Systems*. J. Wiley, New York.
- STURCHIO C.N., CHIARELLO P.R., CHENG L., LYMAN F.P., BEDZYK J.M., QIAN Y., YOU H., YEE D., GEISSBUHLER P., SORENSEN B.L., LIANG Y. & BAER R.D. (1997). Lead adsorption at the calcite-water interface: Synchrotron X-ray standing wave and X-ray reflectivity studies. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, 251-263.
- VAUGHAN D.J. & PATTRICK, Eds. (1995). *Mineral Surfaces*. Mineralogical Society Monograph, Chapman & Hall, London.
- ZACHARA J.M., COWAN C.E. & RESCH C.T. (1991). Sorption of divalent metals on calcite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55, 1549-1562.
- ZACHARA J.M., KITTRICK J.A., DAKE L.S. & HARSH J.B. (1989). Solubility and surface spectroscopy of zinc precipitate on calcite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53, 9-19.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 111-123</p>
---	---	--

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ, ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΣΙΔΗΡΟΝΙΚΕΛΙΟΥΧΩΝ ΛΑΤΕΡΙΤΩΝ ΤΟΥ ΔΥΤΙΚΟΥ ΒΕΡΜΙΟΥ

Δ. Ηλιόπουλος¹, Π. Γρηγόρης¹, Α. Φωτιάδης¹, Ε. Κυρίτσης¹

Περίληψη

Χημική (κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία συμπεριλαμβανομένων Th, U, REE και PGE) και ορυκτολογική σύσταση δειγμάτων κατά μήκος κατακόρυφων τομών σε σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα της περιοχής Δ. Βερμίου έδειξαν την παρουσία βωξιτικού νικελιούχου μεταλλεύματος στην περιοχή Παρχάρι, που αναπτύσσεται επάνω σε σερπεντινωμένο περιδοσίτη. Οι χαμηλές περιεκτικότητες Al_2O_3 , TiO_2 , REE, Th, και U είναι κοινό χαρακτηριστικό των αυτόχθονων νικελιούχων λατεριτικών μεταλλευμάτων. Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων της ομάδας του λευκοχρυσού κυμαίνονται από 88-329 ppb στους νικελιούχους λατερίτες και 66-134 ppb στους βωξιτικούς. Παρατηρείται μία προτίμηση στη συγκέντρωση του Pt σε σχέση με το Pd, και μία αύξηση του λόγου Pt/Pd στα ανώτερα τμήματα των τομών. Η παρατηρούμενη αύξηση του Al συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση των Ti, REE, Th, και U στους βωξιτικούς λατερίτες. Ο γκαιτίτης που συνυπάρχει με βοημίτη στους βωξιτικούς λατερίτες παρουσιάζει μία αύξηση του λόγου Al/Fe προς τα ανώτερα τμήματα των τομών. Η χημική σύσταση του μεταλλεύματος και η ορυκτοχημική σύσταση των κόκκων του χρωμίτη στους νικελιούχους και βωξιτικούς λατερίτες του Βερμίου, είναι ενδεικτικά των κύριων παραγόντων που επέδρασαν και των συνθηκών που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια διαχωρισμού των μεταλλικών συστατικών, μεταφοράς και συγκέντρωσης/επαναπόθεσης τους και σε μικρότερο βαθμό της συνεισφοράς υλικού από τα βασικά οφιολιθικά πετρώματα που αποτελούν τμήμα των μητρικών τους πετρωμάτων.

Abstract

The Ni-laterite ores in W. Vermion can be classified as (a) in situ Ni-laterites (Profitis Ilias), (b) transported Ni-laterites (Metallia) and (c) bauxitic Ni-laterites (Parhari). The Ni-laterite ore is mainly comprised of goethite, hematite, chlorite, quartz, calcite and chromite. Talc is a common mineral in the lower part, while in the upper part of the ore illite predominates. The bauxitic Ni-laterite is mainly composed of goethite, hematite, boehmite, illite, chlorite (Fe-rich), quartz, calcite and chromite. A small amount of sulfides are also present.

Chemical (major oxides and trace elements including Th and U, REE and PGE) and mineralogical compositions of samples taken from vertical profiles through Ni-laterite ores from W. Vermion revealed the presence of bauxitic Ni-laterite in the Parhari district, lying on top of serpenti-

1. I.G.M.E., Μεσογείων 70, 115 27 Αθήνα.

nized peridotite. Low Al_2O_3 , TiO_2 , REE, Th and U contents are a common characteristic of Ni-laterite ores with in situ features. PGE content ranges from 88 to 329 ppb in Ni-laterites and from 66 to 134 ppb in bauxitic Ni-laterites. There is a dominance of Pt over Pd, and an increase in the Pt/Pd ratio upward through the lateritic profiles. An increase in the Al content is accompanied by increase in the Ti, REE, Th and U contents in the bauxitic Ni-laterite ores. The dominant mineral goethite in the Ni-laterite profiles, co-exists with boehmite in the bauxitic Ni-laterites and exhibits an increase of the Al/Ti ratio towards the top of these profiles. The bulk rock composition, and the compositional variation of chromite grains within the Ni-laterites and bauxitic Ni-laterites from Vermion may indicate that major factors controlling their composition, are the conditions during leaching, transportation and precipitation/re-deposition of their components, and to a lesser extent contribution from basic ophiolitic rock types-portion of their parent rocks.

Εισαγωγή

Η περιοχή μελέτης αποτελεί γεωγραφικό τμήμα του Ν.Δ Βερμίου, ενώ οι λιθολογικοί σχηματισμοί που συναντώνται προσδιορίζουν το ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής Ζώνης όπως επίσης και τις παρυφές της Δυτικής Αλμωπίας (BRAUD 1967, BRAUD et al, 1984).

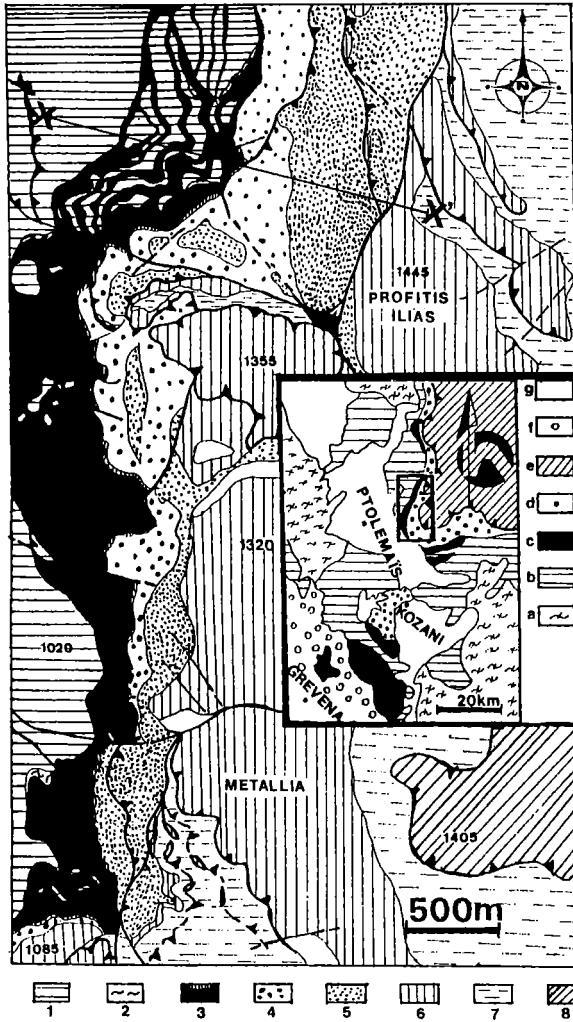
Οι σιδηρονικελιούχες μεταλλοφόρες συγκεντρώσεις του Βερμίου είναι στρωματογραφικά ισοδύναμες με αυτές της Εύβοιας, της Ιεροπηγής (Καστοριά) και βορειότερα με αυτές της Αλβανίας. Κοιτασματολογικά διακρίνονται σε αυτόχθονες (Προφήτης Ηλίας), ετερόχθονες (Μεταλλεία) και σε βωξιτικούς Νι-λατερίτες (Παρχάρι). Αναπτύσσονται σε περιδοτίτες και φέρουν επικλυσιογενώς είτε ανθρακικά πετρώματα του Κενομανίου είτε καλύπτονται με μολασσικά κροκαλοπαγή του Μειοκαίνου (Καστοριά) (MOUNTRAKIS 1982).

Γεωλογία

Η νοτιοδυτική πλευρά του Βερμίου, κατά τους PHOTIADES et al. (1998), δομείται από μια σειρά σχηματισμών χαρακτηριστικών της Πελαγονικής Ζώνης, και αποτελείται (Εικ. 1) διαδοχικά από:

- Μάρμαρα Τριαδικής-Ιουρασιακής ηλικίας υπερκείμενα από μεταίξήματα (σχιστόλιθοι).
- Οφιολιθικό κάλυμμα αποτελούμενο από διαμελισμένες ενότητες σερπεντινωμένων χαρτζβουργιτών και δουνιτών που φιλοξενεί τον λατεριτικό μεταλλοφόρο ορίζοντα.
- Κροκαλοπαγή και κλαστικά ροής ανθρακικών κυρίως σχηματισμών.
- Ασβεστόλιθοι με ρουδιστές, και
- Φλύσχης.

Αναλυτικότερα, η σειρά των μαρμάρων αποτελείται από αλληπάλγηλα στρώματα (10-50 cm) λεπτοκρυσταλλικών μαρμάρων των οποίων τα ανώτερα μέλη γίνονται λεπτοταινιώδη με ψευδοστρώσεις και κονδύλους λευκών πυριτιολίθων. Στα κατώτερα τμήματα αναπτύσσονται κυρίως δολομιτικά μάρμαρα στα οποία ε-



Εικόνα 1. Γεωλογικός χάρτης περιοχών Προφήτη Ηλία και Μεταλλείων (Δ. Βέρμιο), 1:5000, a: γνεύσοι, b: μάρμαρα, c: οφιόλιθοι, d: ανθρακικό επικάλυμμα οφιολίθων, e: τεκτονικό κάλυμμα Ανω Βερμίου, f: μολάσα, g: Πλειο-Τεταρτογενείς σχηματισμοί. 1: μάρμαρα Πελαγονικής, 2: μετα-ιζηματογενείς σχηματισμοί, 3: οφιόλιθοι και λατεριτικός ορίζοντας, 4: ανθρακικά κροκαλοπαγή, 5: κλαστικά ροής, 6: ρονδιστοφόροι ασβεστόλιθοι, 7: μεταβατικά στρώματα και φλύσχη, 8: κάλυμμα Ανω Βερμίου. (PHOTIADES et al. 1998).

Figure 1. Geological map of the Profitis Ilias and Metallia districts, W. Vermion, 1:5000, a: gneisses, b: marbles, c: ophiolites, d: conglomeratic limestone cover, e: High Vermion nappe, f: molasse, g: Plio-Quaternary formations. 1: Pelagonian marbles, 2: meta-sediment series, 3: ophiolites and Fe-Ni horizon, 4: conglomeratic limestones, 5: debris flows, 6: limestone with Rudists, 7: transitional series and flysch, 8: High Vermion nappe. (PHOTIADES et al. 1998).

ντοπίστηκαν φύκη Τριαδικής ηλικίας. Η όλη ανθρακική σειρά δεν πρέπει να υπερβαίνει στρωματογραφικά προς τα επάνω το κατώτερο Ιουρασικό. Γενικά τα μάρμαρα παρουσιάζουν μεγάλου μήκους κατακεκλιμένες και ισοκλινείς πτυχές συνοδευόμενες από σχιστότητα ροής, η οποία προκλήθηκε από την πρόωμη επαπτομενική τεκτονική φάση του Ανώτερου Ιουρασικού. Η Τριαδικό-Ιουρασική ανθρακική σειρά με πυριτολίθους μεταβαίνει προς τα άνω σε ασβεστιτικούς σχιστολίθους και σε καστανόχρους μεταπηλιτικούς σχιστόλιθους με χαλαζιακές φλέβες οι οποίοι τέλος εξελίσσονται σε χλωριτοσχιστόλιθους εγκλείοντας φακούς μεταφαισειακών πετρωμάτων. Γενικά τα μεταίζηματα Μεσο-Ιουρασικής ηλικίας φέρουν παράλληλη στρωμάτωση με τα υποκείμενα μάρμαρα και αποτελούν μετα-ηφαισειοϊζηματογενή υλικά συσσώρευσης επί του βυθισμένου Πελαγονικού ηπειρωτικού περιθωρίου λόγω της εγγύτητας και της τεκτονικής προέλασης των οφιολιθικών καλυμμάτων.

Τα οφιολιθικά πετρώματα του Βερμίου καταλαμβάνουν μία επιμήκη ζώνη μήκους 40 km και πλάτους μερικών δεκάδων έως εκατοντάδων μέτρων και αποτελούνται από διαμελισμένους και παραμορφωμένους –λόγω θραυσίγενους καταπόνησης και μυλονιτίωσης– σερπεντινωμένους τεκτονίτες χαρτζβουργιτικής και δουνιτικής σύστασης με υψηλές συγκεντρώσεις χρωμίτη. Στα βαθύτερα τμήματα της υπερμαφικής ενόθητας συναντώνται σχιστώδεις σερπεντινίτες, σερπεντινικοί ραουβάκες και λεπτοστρωσιγενή φακοειδή μάρμαρα. Στα ανώτερα τμήματα τα υπερβασικά πετρώματα αναπτύσσουν έντονα φαινόμενα λατεριτώσης και φιλοξενούν τον σιδηρονικελιούχο μεταλλοφόρο ορίζοντα μεγίστου πάχους 10 μέτρων. Τα υπερβασικά πετρώματα που υπόκεινται του μεταλλοφόρου ορίζοντα χαρακτηρίζονται τόσο από εμποτισμούς όσο και από την ύπαρξη πλέγματος φλεβιδίων αποτελούμενων από ανθρακικά ορυκτά (ασβεστίτη-δολομίτη), χαλαζία και Νιούχα πυριτικά ορυκτά. Το πλέγμα των φλεβιδίων έχει επιγενετικό χαρακτήρα και δεν συνδέεται με τις τυπικές λατεριτικές εξαλλοιώσεις.

Επί του σιδηρονικελιούχου ορίζοντα ή και επί των υπερβασικών διαμέσου ενός αργίλο-πυριτικού σχηματισμού, αναπτύσσονται ασύμφωνα οι ανθρακικοί κροκαλοπαγείς σχηματισμοί. Οι ορίζοντες αυτοί είναι συμπαγείς, ποικίλου πάχους και συνίστανται από καλά αποστρωγγυλωμένες ανθρακικές κροκάλες κύρια προερχόμενες από τα Τριαδικά-Ιουρασικά μάρμαρα και φέροντας πεπλατυσμένα τεμάχια σχιστολίθων-πρασινοσχιστολίθων εντός ανθρακικής και πηλιτικής συνδετικής ύλης. Επίσης εντός της συνδετικής ύλης απαντούν ανακρυσταλλωμένα θραύσματα ελασματοβραγχίων και γαστεροπόδων. Απουσιάζουν στοιχεία οφιολιθικής προέλευσης μεταξύ των κροκαλών. Η ηλικία του σχηματισμού είναι Κενομάνιο.

Η κλαστική σειρά αποτελείται από κλαστικά ροής τα οποία διαβαθμίζονται σε μικρο-αδρο-φαμμιτικές φλυσχοειδείς ρυθμικές εναλλαγές πλούσιες κατά θέσεις σε καστανέρυθρους ορίζοντες, με επανεπεξεργασμένο λατεριτικό υλικό- πτωχό σε σιδηρονικελιούχες συγκεντρώσεις- και φέροντας πολλαπλές εναλλαγές και εν-

στρώσεις μικροκροκαλοπαγών ασβεστολίθων Τουρωνίου ηλικίας. Προς τα άνω κυριαρχούν αδρομερέστεροι κροκαλοπαγείς ερυθρόλευκοι ανθρακικοί οριζόντες οι οποίοι εναλλάσσονται με κλαστικούς πλακώδεις ασβεστολίθους. Τόσο τα κροκαλοπαγή όσο και τα κλαστικά ροής γενετικώς συνδέονται με τις ενδο-Τουρώνιες τεκτονικές φάσεις οι οποίες προκάλεσαν την ανάδυση και διάβρωση εκτεταμένων τμημάτων της Πελαγονικής Ζώνης.

Επί των κλαστικών ασβεστολίθων αναπτύσσονται κοραλλιογενείς ασβεστόλιθοι με Ρουδιστές του Σενωνίου, υπερκείμενοι στη συνέχεια από τεφρόλευκους ασβεστόλιθους πλούσιους σε οργανογενή θραύσματα (ρουδιστών, ελασματοβραγχίων κλπ.) ενώ στα ανώτερα μέλη τους εξελίσσονται σε μικριτικούς ασβεστόλιθους πλούσιους σε *Globotruncana* Μαιστριχτίου ηλικίας.

Τέλος επί των κοραλλιογενών ασβεστολίθων αναπτύσσεται φλύσχη, ο οποίος από έντονα μαργαϊκό και ιλυολιθικό σχηματισμό μεταβαίνει προς τα άνω σε ψαμιμιτικές και κροκαλοπαγείς εναλλαγές πλούσιες σε χαλαζιακές κροκάλες και υλικά προερχόμενα από τη διάβρωση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του υποβάθρου της Πελαγονικής Ζώνης.

Τεκτονική

Η σημερινή δομή της περιοχής αυτής του Βερμίου, κατά τους PHOTIADES et al (1998) είναι το αποτέλεσμα διαδοχικών παραμορφώσεων, που προκλήθηκαν κατά την τεκτονική τοποθέτηση του οφιολιθικού καλύμματος κατά το Ανω Ιουρασικό καθώς και από την τεκτονική συμπίεστική φάση του Ηωκαίνου, η οποία προκάλεσε την επώθηση της Αλμωπίας επί της Πελαγονικής Ζώνης, δημιουργώντας εκτεταμένες λεπιώσεις και αυξομοιώσεις του Πελαγονικού φλύσχη.

Οι πτυχώσεις και η μεταμόρφωση των ανθρακικών της Πελαγονικής Ζώνης οφείλεται στην επώθηση των οφιολιθικών καλυμμάτων κατά την συμπίεστική τεκτονική του Ανω Ιουρασικού, κατά την οποία οι οφιόλιθοι συμπαρέσυραν αμβιβολιτικά τεμάχη και φακούς μαρμάρων από το υποκείμενο ηπειρωτικό περιθώριο, οι δε οφιόλιθοι αποτελούν επάλληλες λεπιωμένες υπερβασικές ενότητες με αξονικές πτυχές B-N.

Κατά την μεταφλύσχη περίοδο η περιοχή συμπιέζεται έντονα με κατεύθυνση Α-Δ συνοδευόμενη από την οριστική επώθηση των εσωτερικών Ζωνών επί των εξωτερικών οδηγώντας στην αποκόλληση στο επίπεδο των σεραπαντινιτών με τους Κρητιδικούς σχηματισμούς της Αλμωπίας και την επώθηση τους από Α-Δ πάνω στους σχηματισμούς της Πελαγονικής προκαλώντας πτυχωμένες δομές με διεύθυνση B-N σε μεγάλη και μικρή κλίμακα.

Οι σχηματισμοί που δεν μετακινήθηκαν εφαιπτομενικά κατά τη διάρκεια του ίδιου εντατικού πεδίου υπέστησαν οριζόντιες δεξιόστροφες διατμητικές κινήσεις κατά την B-N και Α-Δ διευθύνσεις.

Ενώ κατά τους συμπίεστικούς καλυμματικούς τεκτονισμούς η περιοχή της ορο-

σειράς του Βερμίου προσεβλήθη από κανονικά ρήγματα συνήθως κάθετα ως προς την Δυναρική διεύθυνση (B-N). Η ρηξιγενής τεκτονική ενεργοποιεί και παλαιότερα τεκτονικά επεισόδια τα οποία διαμορφώνουν και τη σημερινή μορφολογία της περιοχής.

Χαρακτηριστικά των σιδηρονικελιούχων λατεριτικών μεταλλευμάτων

Τα σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα της περιοχής του Δυτικού Βερμίου διακρίνονται σε:

- Αυτόχθονα (Προφήτης Ηλίας)
- Ετερόχθονα (Μεταλλεία)
- Βωξιτικούς λατερίτες (Παρχάρι).

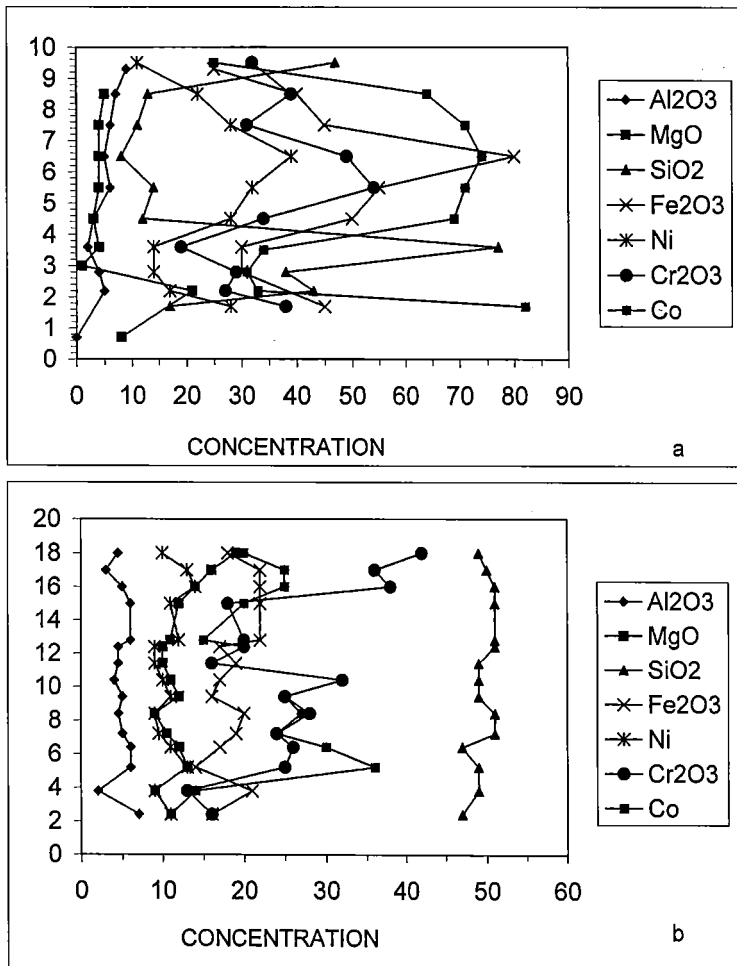
Στην κατηγορία των αυτόχθονων λατεριτικών μεταλλευμάτων, ο εξαλλοιωμένος φλοιός (Ζώνη του σαπρολίτη), που αναπτύσσεται σε φρέσκο περιδοτίτη, καλύπτεται από μία ζώνη η οποία στη βάση της είναι έντονα πυριτωμένη και διασχίζεται από φλεβίδια ασβεσίτη, ενώ το ανώτερο τμήμα της χαρακτηρίζεται από έντονη αιματίωση και πυριτίωση. Η σιδηρονικελιούχος μεταλλοφορία αναπτύσσεται επάνω στη ζώνη αυτή και έχει πάχος 5-7 μέτρα. Η μεταλλοφορία στη βάση της είναι πηλιτικού τύπου και σταδιακά προς τα πάνω διαβαθμίζεται σε πισολιθική. Το σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα αποτελείται από γκαιτίτη, αιματίτη, χλωρίτη, χαλαζία, ασβεσίτη και χρωμίτη. Επίσης τα κατώτερα τμήματα της μεταλλοφορίας χαρακτηρίζονται από την παρουσία τάλκη, ενώ στα ανώτερα τμήματα κυριαρχεί ιλλίτης.

Το σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα της περιοχής Μεταλλεία παρουσιάζει όλα τα χαρακτηριστικά ενός ετερόχθονου σχηματισμού αν και αναπτύσσεται επάνω σε υπερβασικά πετρώματα. Ο σερπεντινίτης επάνω στον οποίο αναπτύσσεται η μεταλλοφορία προέρχεται από σερπεντινίωση ενός πυροξενικού περιδοτίτη χωρίς την παρουσία ζώνης μετάβασης. Η μεταλλοφορία κύρια αντιπροσωπεύει ιζηματογενές σιδηρούχο μέταλλευμα το οποίο στη βάση του χαρακτηρίζεται από πυριτική σύσταση και η κορυφή του αποτελείται από πολύμικτο κλαστικό μέταλλευμα, το οποίο έχει σαν συνδετικό υλικό ένα μείγμα από αργιλλικά ορυκτά και οξειδία σιδήρου. Το πάχος του σχηματισμού είναι 10-15 μέτρα και είναι χαμηλής περιεκτικότητας τόσο σε νικέλιο όσο και σίδηρο.

Οι βωξιτικοί νικελιούχοι λατερίτες αναπτύσσονται επάνω σε έντονα εξαλλοιωμένους περιδοτίτες και εντοπίζονται σε μια απόσταση μικρότερη του 1 χλμ. βόρεια από τον Προφήτη Ηλία. Η μεταλλοφορία κύρια αποτελείται από γκαιτίτη, αιματίτη, βοημίτη, ιλλίτη, χλωρίτη (πλούσιο σε Fe), χαλαζία, ασβεσίτη και χρωμίτη. Επίσης έχουν εντοπισθεί μικρές ποσότητες θειούχων ορυκτών.

Γεωχημικά χαρακτηριστικά του μεταλλεύματος

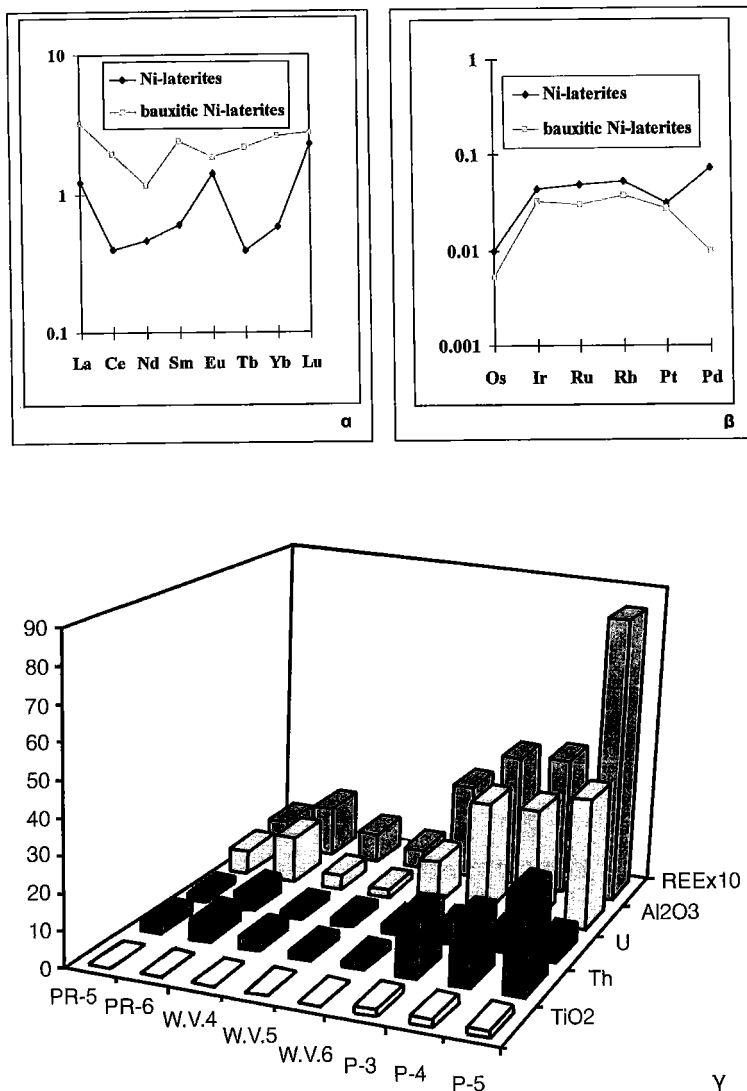
Η παρουσία του νικελίου είναι χαρακτηριστική σε όλους τους τύπους των μεταλλοφοριών που μελετήθηκαν με τιμές που δεν ξεπερνούν το 2 wt%. Ωστόσο, οι τι-



Εικόνα 2. Διάγραμμα διακύμανσης Al_2O_3 , MgO , SiO_2 , Fe_2O_3 , Ni , Cr_2O_3 και Co σε κατακόρυφες τομές κατά μήκος των σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων (α) Προφήτη Ηλία και (β) Μεταλλείων, Δ. Βέρμιο. (Al_2O_3 , MgO , SiO_2 , Fe_2O_3 σε βάρος % και Ni , Cr_2O_3 και Co σε ppm).

Figure 2. Distribution diagrams of Al_2O_3 , MgO , SiO_2 , Fe_2O_3 , Ni , Cr_2O_3 and Co in vertical profiles through the Ni-laterite ores at (a) Profitis Ilias and (b) Metallia. W. Vermion. (Al_2O_3 , MgO , SiO_2 , Fe_2O_3 are expressed in wt% and Ni , Cr_2O_3 and Co in ppm).

μές αυτές παρουσιάζουν διακυμάνσεις τόσο οριζοντίως όσο και καθέτως και υπάρχει μία εκλεκτικότητα στη συγκέντρωσή του στα ανώτερα και κατώτερα τμήματα των μεταλλοφόρων σωμάτων (Εικ. 2). Ορυκτοχημικές μελέτες έδειξαν ότι το νικέλιο συνδέεται κύρια με το γαρνιερίτη και λιγότερο με τους μαρμαρυγίτες (σε-



Εικόνα 3. Απεικόνιση σχέσης (α) REE και (β) PGE ως προς τις τιμές ανηγμένων χονδρίτη σε νικελιούχους και βωξιτικούς λατερίτες στο Δ. Βέρμιο. (γ) Σχέση REE, Al₂O₃, U, Th και TiO₂ σε βωξιτικούς (P-3, P-4, P-5) και νικελιούχους λατερίτες στο Δ. Βέρμιο.

Figure 3. REE (α) and PGE (β) normalized chondrite patterns in bauxitic and Ni-laterite ores from W. Vermion. (γ) Correlation of REE, Al₂O₃, U, Th and TiO₂ in bauxitic (P-3, P-4, P-5) and Ni-laterite ores from W. Vermion.

οικίτης).

Η περιεκτικότητα των σπανίων γαιών είναι υψηλότερη στους βωξιτικούς λατερίτες (μέχρι 1230 ppm) από ότι στους νικελιούχους λατερίτες (μέχρι 258 ppm), ενώ ένας περιορισμένος διαχωρισμός των σπανίων γαιών εξηγείται με το λόγο La/Lu (χαρακτηριστικός των ελαφρών και βαρέων REE) ο οποίος είναι 40 για τους νικελιούχους λατερίτες και 80 για τους βωξιτικούς λατερίτες αντίστοιχα. Οι περιεκτικότητες θορίου και ουρανίου είναι γενικά χαμηλές για τους νικελιούχους λατερίτες, ενώ για τους βωξιτικούς λατερίτες το θόριο κυμαίνεται από 17 ως 28 ppm και το ουράνιο φθάνει τα 4.5 ppm. Σε γενικές γραμμές παρατηρείται ότι η αύξηση της περιεκτικότητας του Al συνοδεύεται από αύξηση του Ti, REE και U (Εικ. 3γ).

Οι συγκεντρώσεις των ορυκτών της ομάδας των πλατινοειδών στους λατερίτες που μελετήθηκαν είναι γενικά χαμηλές. Οι χαμηλότερες τιμές βρέθηκαν στη ζώνη του σαπρολίτη, οι οποίες είναι μικρότερες από αυτές των φιλοξενούντων πετρωμάτων και των υπερβασιικών πετρωμάτων της ευρύτερης περιοχής (ECONOMOU-ELIOPOULOS 1996). Ένας εμπλουτισμός παρατηρείται στο Pt (μέχρι 48 ppb), Pd (7 ppb) και το Au (16 ppb) στον κοκκινόχρωμο εξαλλοιωμένο περιδοτίτη που αναπτύσσεται πάνω από τη ζώνη του σαπρολίτη στον Προφήτη Ηλία, ενώ οι υψηλότερες τιμές για τον σιδηρονικελιούχο λατερίτη που παρατηρήθηκαν είναι 14 ppb για το Os, 32 ppb για το Ir, 66 ppb για το Ru, 20 ppb για το Rh, 86 ppb για το Pt, και 186 ppb για το Pd. Αν και οι περιεκτικότητες των στοιχείων της ομάδας του λευκοχρύσου είναι πολύ χαμηλές, είναι ωστόσο υψηλότερες από αυτές των βωξιτών (LASKOU & ECONOMOU, 1989) και σε ορισμένα δείγματα λατεριτών οι περιεκτικότητες είναι μεγαλύτερες από αυτές των χρωμιτών (ECONOMOU-ELIOPOULOS 1996). Επίσης, παρατηρείται μία εκλεκτική αύξηση της περιεκτικότητας του Pt σε σχέση με το Pd και μία αύξηση στο λόγο του Pt/Pd προς τα ανώτερα τμήματα των μελετηθέντων τομών, αν και δείγματα από τα ανώτατα τμήματα παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές σε Pt και Pd. Η απεικόνιση της σχέσης των τιμών των ορυκτών της ομάδας των πλατινοειδών και των σπανίων γαιών ως προς τον ανοιγμένο χονδρίτη παρουσιάζουν παρόμοια τάση και έχουν επίπεδο σχήμα (Εικ. 3α, β).

Ορυκτοχημεία

Η χημική ούσταση του χρωμίτη σαν επουσιώδης οάση των υπερβασιικών πετρωμάτων της περιοχής του Βερμίου παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση. Πιο συγκεκριμένα, ο μέσος λόγος των Cr # $[Cr/(Cr+Al)]$ και Mg # $[Mg/(Mg+Fe^{2+})]$ στον χαρτζβουργίτη είναι 0,65 και 0,54 αντίστοιχα, στο δουνίτη 0,80 και 0,52 και στον ορθοπυροξενίτη 0,52 και 0,60 αντίστοιχα. Η σύγκριση της σύστασης των κόκκων του χρωμίτη παρέχει σημαντική πληροφόρηση για την διάκριση σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων που συνδέονται με αποσάθρωση επί τόπου ή μεταφορά και επαναπόθεση του κλαστικού και χημικού υλικού σε μικρή απόσταση και σε

μεταλλεύματα που δημιουργήθηκαν από μεταφορά του υλικού σε μεγάλη απόσταση. Το Mn αντικαθιστά το Mg και τον Fe^{2+} στις τετραεδρικές θέσεις της δομής του χρωμίτη και η υψηλή περιεκτικότητα του Mn στα σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα είναι χαρακτηριστική. Εκτός από τους κόκκους του σιδηρο-μαγγανιούχου χρωμίτη η μέση τιμή του λόγου Cr # $[Cr/(Cr+Al)]$ σε χρωμιτικούς κόκκους που απαντούν σαν εποσειώδεις οάσεις στο υπόβαθρο και στον έντονα αποσαθρωμένο περιδοτίτη (ζώνη του σαπρολίτη) είναι 0,53. Η τιμή αυτή είναι παρόμοια με αυτή των διάσπαρτων κόκκων του χρωμίτη μέσα στο υπερκείμενο σιδηρονικελιούχο μεταλλευμα στην τιμή του Προφήτη Ηλία. Αντίθετα, ο λόγος Cr # $[Cr/(Cr+Al)]$ κυμαίνεται μεταξύ 0,52 και 0,80 σε κόκκους χρωμίτη στις οριζόντιες τομές του βωξιτικού λατερίτη και είναι συγκρίσιμος της σύστασης του χρωμίτη σε υπερβασικά πετρώματα της ευρύτερης περιοχής, συμπεριλαμβανομένων χαρτζιουργιτών, δουνιτών και ορθοπυροξενιτικών δουνιτών.

Το νικέλιο κύρια συνδέεται με πυριτικά ορυκτά, αν και μερικά λεπτόκοκκα ορυκτά, όπως ο γκαιτίτης, τα οποία είναι συστατικά του συνδετικού υλικού, περιέχουν υψηλές περιεκτικότητες νικελίου. Επιπρόσθετα, το συνδετικό υλικό παρουσιάζει αυξημένη περιεκτικότητα σε χρώμο η οποία ξεπερνά το 2% κατά βάρος του Cr_2O_3 . Ο γκαιτίτης είναι κύριο ορυκτό στις νικελιούχες λατεριτικές τομές, ενώ ο βοημίτης που συνυπάρχει με γκαιτίτη είναι το κύριο ορυκτό στους βωξιτικούς λατερίτες. Επί πλέον, ο γκαιτίτης παρουσιάζει διακυμάνσεις στην περιεκτικότητα του Al (αντικατάσταση Al^{3+} από Fe^{3+}) με τον λόγο Al/Fe να αυξάνει προς τα ανώτερα τμήματα των τομών.

Συζήτηση

Παραμένουν αρκετά ερωτηματικά αναφορικά με την πηγή προέλευσης και τις συνθήκες σχηματισμού των αποσαθρωμένων φλοιών, τη μεταφορά και επαναπόθεση των νικελιούχων λατεριτών, τη διαγένεσή τους και τα επακόλουθα στάδια της διαγένεσης. Η παρουσία υψηλού πορώδους και έντονων διατιμήσεων στα πετρώματα ευνοούν την προς τα κάτω απόπλυση των μεταλλικών συστατικών. Αν και η παρούσα μελέτη είναι ακόμη σε εξέλιξη, τα ορυκτολογικά και γεωχημικά στοιχεία σε συνδυασμό με δεδομένα προηγούμενων μελετών παρέχουν σημαντική πληροφόρηση αναφορικά με τα προβλήματα της γένεσης των κοιτασμάτων αυτής της κατηγορίας.

Το νικελιούχο λατεριτικό κοίτασμα του Προφήτη Ηλία στο Δ. Βέρμιο, της Καστοριάς, της Τσόκας στη Λοκρίδα και της Bitinka στην Αλβανία παρουσιάζουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι: (α) αναπτύσσονται σε σερπεντινωμένο περιδοτίτη, ακολουθούμενο από την ζώνη του σαπρολίτη, η οποία έχει υποστεί εκτεταμένη τεκτονική καταπόνηση, και στην συνέχεια ακολουθεί η σιδηρούχος ζώνη (β) χαμηλή περιεκτικότητα Al_2O_3 , TiO_2 , και REE, (γ) χαμηλές περιεκτικότητες Pt, Pd και Au, αλλά υψηλότερες τιμές Pt ή και Pd

από ότι στους βωξιτικούς λατερίτες και συχνά υψηλότερες από ότι στα κοιτάσματα χρωμίου (δ) επιλεκτική παρουσία Pt σε σχέση με το Pd και μία αύξηση του λόγου Pt/Pd προς τα ανώτερα τμήματα των τομών στους λατερίτες, ενώ δείγματα από τα ανώτατα σημεία των ίδιων τομών παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές Pt και Pd (TASHKO et al 1996, ECONOMOU-ELIOPOULOS et al 1996, 1997, αδημοσίευτα στοιχεία). Επιπλέον η σύσταση υπολειμματικών κόκκων χρωμίτη κατά μήκος των οριζόντιων τομών στους λατερίτες που μελετήθηκαν παρουσιάζουν διαφορές ως προς την σύσταση αυτού καθαυτού του χρωμίτη ή στο εύρος διακύμανσης της σύστασής του.

Ωστόσο, η μεγάλη διακύμανση της σύστασης των κόκκων του χρωμίτη στους νικελιούχους λατερίτες είναι συμβατή με την προσφορά κλαστικού και χημικού υλικού από τους διάφορους τύπους υπερβασικών πετρωμάτων των οφιολιθικών συμπλεγμάτων. Συνεπώς, με βάση τη σύσταση των χρωμιτικών κόκκων, η οποία είναι χαμηλή σε σίδηρο (παραπλήσια με την αρχική σύσταση), η σύγκριση μεταξύ της σύστασης του χρωμίτη στη ζώνη του σαπρόλιθου και του υπερκείμενου σιδηρονικελιούχου οριζοντα, είναι δυνατόν να συμβάλλει στη διάκριση μεταξύ σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων που συνδέονται με επί τόπου αποσάθρωση και αυτών που προέρχονται από μεταφορά κλαστικού και χημικού υλικού από μεγάλη απόσταση, αν και για τον καθορισμό της προέλευσης των κοιτασμάτων αυτών ένας συνδυασμός και άλλων παραγόντων είναι απαραίτητος.

Μεταξύ των παραγόντων που ελέγχουν την συγκέντρωση των σπανίων γαιών (REE) στους λατερίτες είναι τα μητρικά πετρώματα, η διάρκεια της λατεριτώσης, το μέγεθος των μεταλλοφόρων σωμάτων, η απόσταση της μεταφοράς και οι συνθήκες pH και Eh (MAKSIMOVIC & PANTO 1991). Οι περιεκτικότητες REE, Al, Ti, Th, U στους μελετηθέντες λατερίτες και η σχέση τους κύρια με τους βωξιτικούς λατερίτες συνιστούν παρόμοιες συνθήκες απόπλυσης, μεταφοράς, και απόθεσης ή και επαναπόθεσης. Επιπλέον η σχετικά χαμηλή τιμή του λόγου La/Lu είναι δυνατόν να αντιπροσωπεύει χαμηλό βαθμό διαχωρισμού (κλασματοποίησης) και πιθανών περιορισμένες μεταβολές του ασθενούς αλκαλικού έως αλκαλικού pH (MAKSIMOVIC & PANTO 1991).

Επιπλέον τα υπάρχοντα στοιχεία ορυκτών της ομάδας του λευκοχρύσου στους λατερίτες δείχνουν εμπλουτισμό σε Pt (μέχρι 86 ppb) και Pd (μέχρι 186 ppb), ο οποίος είναι υψηλότερος από ότι σε τυπικούς χρωμίτες της ευρύτερης περιοχής (μικρότερο από 10 ppb). Οι συγκεντρώσεις Os, Ir, Ru, και Rh είναι αξιόλογες (9 ppb Os, 32 ppb Ir, και 66 ppb Ru). Η πρωτογενής μεταλλοφορία PGE σε οφιολιθικά συμπλέγματα κύρια συνδέεται με τη μεταλλοφορία του χρωμίτη στη βάση της σωρευτικής σειράς και/ή στα ανώτερα τμήματα της μανδουακής σειράς, κοντά στην ασυνέχεια του Moho ή στη μαγματική σειρά των οφιολίθων (AUGE & MARIZOT 1995, ECONOMOU-ELIOPOULOS 1996). Είναι γνωστό ότι η λατεριτική αποσάθρωση έχει ισχυρή επίδραση στην πρωτογενή μεταλλοφορία των ορυκτών της ο-

μάδας του λευκοχρύσου και οδηγεί στη διαλυτοποίηση και μεταφορά των πλατινοειδών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων ορυκτών και συγκεκριμένα Pt-Fe (BOWLES 1986, AUGÉ & MARIZOT 1995). Οι BOWLES et al (1995), θεωρούν ότι οι μηχανισμοί διαλυτοποίησης και μεταφοράς πιθανόν έγιναν κάτω από οξειδωτικές συνθήκες και η συγκέντρωση σε αναγωγικό περιβάλλον.

Συνεπώς, οι χαμηλές συγκεντρώσεις PGE στη ζώνη του σαπρολίτη και ο εμπλουτισμός τους στη ζώνη του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος, η επιλεκτική παρουσία του Pt σε σχέση με το Pd καθώς και η αύξηση του λόγου Pt/Pd προς τα ανώτερα τμήματα κατά μήκος των τομών που μελετήθηκαν, πιθανόν να συνδέονται με τις συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια της λατεριτίωσης που είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία αποσαθρωμένων φλοιών μεταλλεύματος, που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια επανακινητοποίησης και επαναπόθεσης των συστατικών τους και της μετέπειτα διαγένεσης. Η επαναπόθεση και μεταφορά των βωξιτικών νικελιούχων λατεριτών μπορεί να έγινε σε μεγάλη απόσταση, αν και αναπτύσσονται επάνω σε περιδοτίτες.

Βιβλιογραφία

- AUGÉ TH. & MARIZOT P. (1995). Stratiform and alluvial platinum mineralization in the New Caledonia ophiolite complex. *Can. Mineral.*, 33, 1023-1045.
- BOWLES J.F.W. (1986). The development of Platinum-Group Minerals in Laterites. *Econ. Geol.*, 81, 1278-1285.
- BOWLES J.F.W., GIZE A.P., VAUGHAN D.J., & NORRIS S.J. (1995). Organic controls on platinum-group (PGE) solubility in soils: initial data. *Chron. Rech. Min.*, 520, 65-73.
- BRAUD J. (1967). Stratigraphie, tectonique, métamorphisme et ophiolite dans le Vermion septentrional Macedoine-Grece. These, Université de ParisXI, Orsay, 213.
- BRAUD J., BRUNN J.H., & CAMPION G. (1984). La chaîne du Vermion, ses nappes et sa bande broyée. *Bull. Soc. Geol. France*, 7, 26, 713-717.
- ECONOMOU-ELIOPOULOS M. (1996). Platinum-group element distribution in chromite ores from ophiolite complexes: implications for their exploration. *Ore Geology Reviews*, 11, 363-381.
- ECONOMOU-ELIOPOULOS M., ELIOPOULOS D., & LASKOU M., (1996). Mineralogical and Geochemical Characteristics of Ni-laterites from Greece and Yugoslavia. Plate tectonic aspects of the Alpine metallogeny in the Carpatho-Balkan region. Proceedings of the annual meeting of IGCP project 356. Sofia, 1996, I, 113-120.
- ECONOMOU-ELIOPOULOS M., ELIOPOULOS D., APOSTOLIKAS A. & MAGLARAS K. (1997). Precious and rare earth element distribution in Ni-laterites from Lokris area, Central Greece. In *Mineral Deposits*, Papunen (ed), Balkema, Rotterdam, 411-414.
- LASKOU M. & ECONOMOU M. (1989). Platinum-group element and gold concen-

- trations in Greek bauxites. *Geologica Balkanica*, 21 (2), 65-77.
- MAKSIMOVIC Z. & PANTO G. (1991). Contribution to the geochemistry of the rare earth elements in the karst bauxite deposits of Yugoslavia and Greece. *Geoderma*, 51, 93-109.
- MOUNTRAKIS D. (1982). Emplacement of the Castor ophiolite on the western edge of the internal Hellenides (Greece). *Ofioliti*, 2/3, 397-406.
- PHOTIADES A.S, KOURTSIS-CORONEOU V. & GRIGORIS P. (1998). The stratigraphic and palaeogeographic evolution of the eastern Pelagonian margin during the late Jurassic-Cretaceous interval (Western Vermion Mountain-W. Macedonia, Greece). *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXXII, 71-77.
- TASHKO A., LASKOU M., ELIOPOULOS D., & ECONOMOU-ELIOPOULOS M. (1996). The behavior of Pt, Pd, and Au during lateritization process of the ultramafic rocks of the Shebenic-Pogradec massif, Albania. Plate tectonic aspects of the Alpine metallogeny in the Carpatho-Balkan region. Proceedings of the annual meeting of IGCP project 356. Sofia, 1996, I, 121-131.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 124-136</p>
---	---	--

ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ

**Α. Ιορδανίδης¹, Α. Γεωργακόπουλος¹,
Α. Φιλιππίδης¹, Α. Κασώλη-Φουρναράκη¹**

Περίληψη

Από τη λιγνιτοφόρο λεκάνη Αμυνταίου συλλέχθηκαν δείγματα λιγνιτικών στρώσεων και στείων πετρωμάτων. Η χημική σύσταση των παραπάνω δειγμάτων προσδιορίστηκε με τις μεθόδους XRF και ICP-AES. Με βάση τις συγκεντρώσεις των στοιχείων μελετήθηκε η κατακόρυφη κατανομή των στοιχείων στη λεκάνη. Παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις των στοιχείων Si, Al, Fe, Co, Na, K, Mg, Ni, Ti στα ανώτερα και κατώτερα αργιλομαργαίκα πετρώματα του πεδίου Αμυνταίου. Τα ενδιάμεσα των λιγνιτών μαργαίκα πετρώματα παρουσιάζονται εμπλουτισμένα στα στοιχεία Ca, Sr και F, ενώ τα λιγνιτικά δείγματα παρουσιάζονται εμπλουτισμένα στα στοιχεία S, Sb και W. Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων στα λιγνιτικά δείγματα συσχετίστηκαν με το αντίστοιχο ποσοστό τέφρας με σκοπό να προσδιοριστεί έμμεσα η σύνδεση των στοιχείων με το οργανικό ή ανόργανο μέρος του λιγνίτη. Έτσι, τα στοιχεία Al, Cu, Si, Ti, Fe, Ba, Na και Ni φαίνεται να έχουν ανόργανη συγγένεια, το στοιχείο F είναι πτητικό και ενδεχομένως εμφανίζει οργανική σύνδεση, ενώ τα στοιχεία που παρουσιάζουν ενδιάμεση σύνδεση είναι τα K, Cr, W, P, Mo, Mn, Pb, B, S, Mg, Sb, Ca, Sr, Cd, Co και Zn. Το μόνο λοιπόν στοιχείο που παρουσιάζεται πτητικό κατά την καύση και άρα επικίνδυνο για το περιβάλλον είναι το F.

Abstract

Representative samples of lignite and rock strata of the entire stratigraphic column of Amynteon field, Northern Greece, were collected in situ. The lignite samples were ashed according to DIN standards and the ash content was estimated. Chemical analyses of major and trace elements by X-ray Fluorescence (XRF) and Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES) methods were performed on lignite and rock samples. The vertical distribution of the elements in Amynteon lignite field showed that both overburden rocks and clayey marls of the base of Amynteon field show high concentrations of the elements Si, Al, Fe, Co, Na, K, Mg, Ni and Ti, while the intermediate marls show high concentrations of the elements Ca, Sr and F. Lignite samples have high concentrations of S, Sb and W. The geochemical affinity of the elements was indirectly estimated by plotting the elemental concentrations of lignite samples versus relative ash content. The elements Al, Si, Ti, Fe, Ba, Na, Ni, Cu, show inorganic affinity, while K, Cr,

1. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, 540 06 Θεσσαλονίκη.

Zn, Co, P, Cd, Mn, B, Pb, Mo, S, Ca, Mg, Sb, W and Sr show intermediate affinity. Only F volatilizes during combustion, hence being a potential hazardous air pollutant.

Εισαγωγή

Η συγκέντρωση και κατανομή των χημικών στοιχείων σε ένα λιγνιτικό κοίτασμα, καθώς και ο τρόπος σύνδεσης των στοιχείων αυτών με το ανόργανο ή το οργανικό μέρος του λιγνίτη μπορούν να επηρεάσουν την οργάνωση του τρόπου εκμετάλλευσης του κοιτάσματος (από την εξόρυξη έως και την καύση του) και να βοηθήσουν στην εκτίμηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η συγκέντρωση των χημικών στοιχείων σε ένα λιγνιτικό κοίτασμα εξαρτάται από την πρόσληψή τους από τα φυτά κατά τη διάρκεια ανάπτυξής τους και από τον εμπλουτισμό τους κατά την αποσύνθεσή των φυτών, την ιζηματογένεση, τη διαγένεση, την ταφή και ενανθράκωση και τέλος από τη διαδικασία δημιουργίας νέων ορυκτών (GLUSKOTER et al. 1977, BOUSKA 1981, SWAINE 1990). Η κατακόρυφη και οριζόντια κατανομή των χημικών στοιχείων σε ένα κοίτασμα ανθράκων, επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες: τη σύσταση των αρχικών πετρωμάτων, το ρυθμό βύθισης και ανόδου της λεκάνης ιζηματογένεσης, τις κοίτες ροής των ποτάμιων υδάτων, το κλίμα και τις υδρολογικές συνθήκες, τη γεωχημεία του υπεδάφους και τέλος την έκπλυση των πετρωμάτων του υπεδάφους και των περιθωρίων της λεκάνης ιζηματογένεσης (SWAINE 1990, FINKELMAN 1993, SWAINE & GOODARZI 1995, FILIPPIDIS et al. 1996a).

Η γεωχημική μελέτη ενός κοιτάσματος ανθράκων είναι σημαντική τόσο για οικονομικούς όσο και για περιβαλλοντικούς λόγους. Κατά την καύση των λιγνιτών στους ΑΗΣ, υψηλές συγκεντρώσεις ορισμένων χημικών στοιχείων προκαλούν επικαθίσεις, επισκωριάσεις και διάβρωση των καυστήρων. Επίσης, η περιβαλλοντική νομοθεσία που σχετίζεται με την μόλυνση που προκαλείται από την εκμετάλλευση των ανθράκων στα εδάφη, στα υπόγεια ύδατα και στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, επιβάλλει συνεχώς αυστηρότερα μέτρα (CLARKE & SLOSS 1992, SENGUPTA 1993). Το γεγονός αυτό καθιστά σημαντική την συμβολή της γεωχημείας, καθώς και τον προσδιορισμό της χημικής συγγένειας των στοιχείων, η οποία καθορίζει την συμπεριφορά τους κατά την καύση και τον εμπλουτισμό τους στους αέριους ρυπαντές, τα αιωρούμενα σωματίδια και την ιπτάμενη ή καταπίπτουσα τέφρα (ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ et al. 1992, GEORGAKOPOULOS et al. 1992, 1994, 1995, 1996, KASSOLI-FOURNARAKI et al. 1993, FINKELMAN 1993, ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ et al. 1997, FILIPPIDIS et al. 1997, ΙΟΡΔΑΝΙΔΗΣ 1998). Η χημική σύσταση του λιγνίτη επηρεάζει επίσης την ορυκτολογική σύσταση των προϊόντων καύσης του λιγνίτη (FILIPPIDIS & GEORGAKOPOULOS 1992, KASSOLI-FOURNARAKI et al. 1992, FILIPPIDIS et al. 1992, 1996b). Έτσι, μπορούν να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα για την μείωση των κινδύνων που προέρχονται από την έκλυση αέριων ρυπαντών και την απόθεση στερεών ή υγρών αποβλήτων.

Σκοπός της εργασίας είναι η γεωχημική μελέτη του λιγνιτικού κοιτάσματος Αμυνταίου, με έμφαση στην κατανομή κυρίων στοιχείων και ιχνοστοιχείων και στον προσδιορισμό της πιθανής χημικής συγγένειας των στοιχείων αυτών.

Υλικά και μέθοδοι έρευνας

Από τη στρωματογραφική στήλη του πεδίου Αμυνταίου ελήφθησαν συνολικά 19 δείγματα, 7 δείγματα λιγνιτικών στρωμάτων και 12 δείγματα υπερκειμένων (A1, A2, A2a, A3, A4), ενδιάμεσων (A6, A8, A10, A13) και υποκειμένων (A16, A17, A18) “στείρων” πετρωμάτων. Τα δείγματα λιγνιτών είναι από την επιφάνεια του πεδίου Αμυνταίου προς τα κάτω τα A5, A7, A9, A11, A12, A14, και A15.

Όλα τα δείγματα ξηράθηκαν στον αέρα σε περιβάλλον δωματίου για 10 μέρες περίπου και στη συνέχεια κονιοποιήθηκαν σε μέγεθος κόκκων < 1 mm, σε αχάτινο γουδί. Τα λιγνιτικά δείγματα τεφροποιήθηκαν σύμφωνα με την μεθοδολογία DIN, και οι τέφρες που προέκυψαν αναλύθηκαν χημικά.

Η χημική ανάλυση των δειγμάτων έγινε με τη χρήση δύο μεθόδων, της Φασματομετρίας ατομικής εκπομπής επαγωγικού ζεύγους πλάσματος, ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy) και της Φασματομετρίας φθορισμού ακτίνων X, XRF (X-Ray Fluorescence). Πιο συγκεκριμένα, αναλύθηκαν με XRF (με όριο ανιχνευσιμότητας 50 ppm) τα κύρια στοιχεία Al, Ca, Fe, Mg, Mn, K, Si, Na, Ti και τα ιχνοστοιχεία S, Sr, P και F. Με ICP μέθοδο (με όριο ανιχνευσιμότητας 1 ppm) αναλύθηκαν τα ιχνοστοιχεία Sb, B, Ba, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mo, Ni, W και Zn.

Για την XRF ανάλυση, τα δείγματα κονιοποιήθηκαν περαιτέρω σε μέγεθος κόκκων μικρότερο των 40 μm και στη συνέχεια κατασκευάστηκαν ταμπλέτες (pellets) πάχους 2 mm, οι οποίες οδηγήθηκαν στη συσκευή ανάλυσης XRF. Για την ICP ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι διαλυτοποίησης των δειγμάτων : διάλυση με βασιλικό ύδωρ [μείγμα δύο ισχυρών οξέων, του υδροχλωρίου (HCl) και του νιτρικού οξέος (HNO₃) με αναλογία 3:1 (HCl συγκέντρωσης 37% και HNO₃ συγκέντρωσης 65 %)] και με υπεροξείδιο του νατρίου (Na₂O₂).

Αποτελέσματα

Η οπτική παρατήρηση των στείων πετρωμάτων κατά τη δειγματοληψία, οδήγησε στην παρακάτω περιγραφή της πετρογραφικής σύστασης των δειγμάτων: A1 [άργιλοι μέσα στις οποίες έχουμε δύο σειρές κροκαλοπαγών με το συνολικό πάχος του στρώματος να κυμαίνεται μεταξύ ενός και δέκα μέτρων (κόκκινη σειρά - Άνω Πλειστόκαινο)], A2 [άμμοι κίτρινης με λίγα αργιλομαργαϊκά με το μέσο πάχος του στρώματος αυτού να είναι 30 με 40 μέτρα (κίτρινη σειρά - Μέσο προς Άνω Πλειστόκαινο)], A2a [συγκρίμματα (concretions) που βρίσκονται μέσα στην κίτρινη σειρά], A3 [αργιλομάργες, κατά θέσεις ισχυρώς αμμούχες, με μέσο πάχος 10 μέτρα (πράσινη σειρά - Κάτω Πλειστόκαινο)], A4 [αμμοχάλικο με κροκάλες και

υπερβασικά κομμάτια, μέσου πάχους 3 μέτρων, Βιλλαφράγκιου ηλικίας], Α6 [μάργα αμμούχος, πάχους 60 εκατοστών περίπου], Α8 [άμμος και αργιλομάργα πάχους 3 μέτρων], Α10 [αργιλομαργαϊκό στρώμα πάχους 70 εκατοστών], Α13 [μάργα πάχους 4 μέτρων], Α16 [χουμώδης άργιλος], Α17 [αργιλομάργα], Α18 [αργιλομαργαϊκό (από καρτό γεώτρησης)] (ΠΑΥΛΙΔΗΣ 1985, ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ et al. 1979).

Πίνακας 1. Χημικές αναλύσεις των λιγνιτικών δειγμάτων
Table 1. Chemical analyses of the lignite samples

	A5	A7	A9	A11	A12	A14	A15	Μέση τιμή
Τέφρα %	14,8	16,1	11,1	10,8	21,2	16,2	26,1	26,1
<i>Ανάλυση με XRF (%)</i>								
Si	0,42	1,00	0,30	0,46	2,70	0,80	3,80	1,35
Ti	0,02	0,05	0,02	0,03	0,13	0,05	0,18	0,07
Al	0,36	0,70	0,35	0,43	1,60	0,60	2,10	0,88
Fe	1,30	0,90	0,66	0,80	1,40	1,30	1,70	1,15
Mg	0,90	1,00	0,90	0,70	1,00	0,80	0,70	0,46
Ca	3,90	4,40	3,50	3,10	3,70	5,00	3,40	3,86
Na	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,06	0,04
K	0,04	0,08	0,03	0,04	0,16	0,07	0,02	0,07
<i>Ανάλυση με XRF (ppm), όριο ανιχνευσιμότητας 50 ppm</i>								
F	1200	1100	1200	1100	780	1300	990	1096
Mn	210	230	47	46	110	90	73	115
P	130	210	170	90	250	700	80	233
Sr	130	140	140	120	160	150	110	136
S	16000	14000	8000	8000	11000	1100	20000	11157
<i>Ανάλυση με ICP-AES (ppm), όριο ανιχνευσιμότητας 1 ppm</i>								
Sb	204	109	54	68	23	32	51	77
B	25	21	14	30	20	80	60	36
Ba	260	423	235	360	353	608	431	381
Cd	5	1	1	1	1	1	1	2
Cr	77	65	24	15	107	42	28	51
Co	5	3	2	1	2	2	1	2
Cu	20	19	10	7	25	21	36	20
Pb	47	9	9	5	7	3	9	13
Mo	76	6	5	1	8	19	13	18
Ni	17	19	11	11	90	25	37	30
W	105	49	22	1	11	4	10	29
Zn	193	265	164	234	171	407	202	234

Πίνακας 2. Χημικές αναλύσεις υπερχειμένων, ενδιάμεσων και υποχειμένων πετρωμάτων του πεδίου Αμυνταίου.
Table 2. Chemical analyses of overburden, intermediate and floor rocks of Amynteon lignite field (in ppm, unless indicated otherwise).

	Υπερχειμένα πετρώματα		Ενδιάμεσα πετρώματα		Υποχειμένα πετρώματα		A8	A10	A13	Μέση τιμή	A16	A17	A18	Μέση τιμή
	A1	A2	A2a	A3	A4	Μέση τιμή								
	<i>Ανάλυση με XRF (%)</i>													
Si %	29,30	25,40	20,50	24,80	27,90	25,60	0,33	0,80	0,23	10,30	21,70	20,40	25,10	22,40
Ti %	0,60	0,47	0,38	0,55	0,35	0,47	0,01	0,03	0,28	0,08	0,70	0,60	1,10	0,80
Al %	10,50	7,20	5,50	8,30	4,80	7,30	0,18	0,36	0,15	3,20	10,70	8,70	10,60	10,00
Fe %	6,80	5,80	4,50	7,10	4,60	5,80	0,56	0,90	0,80	3,20	3,90	6,40	7,20	5,80
Mg %	1,30	3,80	3,40	4,20	4,30	3,40	0,90	0,56	0,90	2,80	1,90	6,00	3,10	3,60
Ca %	1,10	6,20	14,20	4,40	4,80	6,10	39,20	38,80	39,10	27,20	1,40	7,60	1,60	3,50
Na %	0,30	0,53	0,52	0,37	0,80	0,50	0,07	0,07	0,12	0,08	0,17	0,64	1,20	0,67
K %	1,50	2,10	1,60	2,50	1,20	1,80	0,02	0,07	0,02	0,90	1,00	1,90	3,00	1,96
	<i>Ανάλυση με XRF (ppm), όριο ανιχνευσιμότητας 50 ppm</i>													
F	510	580	670	700	360	564	3400	3200	4300	2200	150	560	890	533
Mn	1200	1800	1600	1300	800	1340	710	690	310	1100	240	1100	750	697
P	410	500	600	350	350	442	500	190	600	210	375	1500	500	1200
Sr	110	180	150	160	130	146	340	330	340	340	335	180	200	160
S	190	60	35	500	16000	3357	1400	2400	1000	1800	1650	400	500	1967
	<i>Ανάλυση με ICP-AES (ppm), όριο ανιχνευσιμότητας 1 ppm</i>													
Sb	46	80	61	62	62	62	22	43	59	50	44	61	35	44
B	51	87	76	134	37	77	38	43	32	29	36	32	13	20
Ba	354	443	409	444	317	393	271	325	410	316	331	341	351	395
Cd	2	1	1	1	1	1	47	48	1	1	24	1	2	2
Cr	152	122	112	256	143	157	9	16	10	124	40	377	140	235
Co	17	25	21	37	33	27	2	2	2	9	4	16	43	34
Cu	33	38	26	53	27	36	4	5	1	22	8	195	97	125
Pb	6	5	5	6	2	5	1	4	3	7	4	6	14	12
Mo	25	25	15	27	12	21	1	1	1	11	3	15	19	19
Ni	100	400	320	410	230	292	7	13	6	190	54	340	121	257
W	4	1	1	1	136	136	0	0	7	11	5	6	9	6
Zn	220	305	247	344	227	269	138	166	189	186	170	228	240	233

Πίνακας 3. Χημικές αναλύσεις των τερφών των λιγνιτικών δειγμάτων**Table 3.** Chemical analyses of the lignite ash samples (in ppm, unless indicated otherwise)

	A5	A7	A9	A11	A12	A14	A15	Μέση τιμή
<i>Ανάλυση με XRF (%)</i>								
Si %	2,30	7,20	2,50	2,40	14,30	5,00	16,00	7,10
Ti %	0,13	0,30	0,14	0,14	0,50	0,26	0,59	0,29
Al %	2,80	4,90	3,10	3,10	9,20	4,50	9,50	5,30
Fe %	5,60	6,80	5,40	6,60	5,30	6,90	5,60	6,02
Mg %	10,10	7,50	8,90	9,20	5,80	5,80	3,00	7,18
Ca %	30,20	21,90	30,90	30,60	15,00	29,10	11,40	24,16
Na %	0,40	0,33	0,41	0,40	0,28	0,30	0,29	0,34
K %	0,23	0,56	0,25	0,21	0,79	0,40	0,90	0,48
<i>Ανάλυση με XRF (ppm), όριο ανιχνευσιμότητας 50 ppm</i>								
Mn	1600	1200	450	440	470	510	300	710
P	1400	1100	1400	800	1100	4200	500	1500
Sr	900	700	1000	1000	570	710	330	744
S	85000	81000	86000	80000	44000	73000	65000	73429
<i>Ανάλυση με ICP-AES (ppm), όριο ανιχνευσιμότητας 1 ppm</i>								
Sb	60	51	85	85	54	80	74	70
B	105	113	108	84	102	127	83	103
Ba	772	885	870	852	930	1458	915	955
Cd	2	2	2	2	2	2	1	2
Cr	85	74	112	84	619	176	157	187
Co	8	21	9	13	16	16	26	16
Cu	63	78	95	162	110	103	115	104
Pb	8	8	10	12	10	8	10	9
Mo	67	49	55	39	26	37	37	44
Ni	93	83	84	128	300	130	110	133
W	6	15	15	7	0	8	4	8
Zn	297	300	257	282	280	379	235	290

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των λιγνιτικών δειγμάτων φαίνονται στον Πίνακα 1, των στεριών πετρωμάτων στον Πίνακα 2 και των τερφών των λιγνιτικών δειγμάτων στον Πίνακα 3. Στους παραπάνω πίνακες έχουν υπολογιστεί και οι μέσες συγκεντρώσεις των δειγμάτων σε κάθε στοιχείο.

Συζήτηση

Κατανομή των χημικών στοιχείων

Η μελέτη της οριζόντιας και κατακόρυφης κατανομής κυρίων στοιχείων και ιχνοστοιχείων σε κοιτάσματα ανθράκων χρησιμοποιείται ευρύτατα σε παγκόσμιο

επίπεδο (MUCHERJEE et al. 1992, WARWICK et al. 1996, WARWICK et al. 1997, MUCHOPADHYAY et al. 1998). Στην παρούσα εργασία, με βάση τις συγκεντρώσεις κάθε στοιχείου στα δείγματα λιγνιτών και στείρων πετρωμάτων (βλ. Πίνακες 1 και 2), μελετήθηκε η κατανομή των στοιχείων σε όλο το πάχος του πεδίου Αμυνταίου.

Έτσι, το αργίλιο (Al) εμφανίζεται εμπλουτισμένο στα δείγματα A1 ως A4, καθώς και στα δείγματα A13 και A16 ως A18. Την ίδια κατανομή παρουσιάζει και το πυρίτιο (Si). Τα αργιλοπυριτικά ορυκτά στα οποία συγκεντρώνονται τα δύο αυτά στοιχεία είναι φυσικό να πλεονάζουν στα “στείρα” πετρώματα και να εμφανίζονται ελαττωμένα στα λιγνιτικά στρώματα. Το ασβέστιο (Ca) παρουσιάζει υψηλές συγκεντρώσεις στα δείγματα A6, A8, A10 και A13, δηλαδή στα ενδιάμεσα των λιγνιτών “στείρα” πετρώματα που είναι περισσότερο μαργαϊκά. Την ίδια κατανομή παρουσιάζει και το στρόντιο (Sr), η χημική συμπεριφορά του οποίου είναι γνωστό ότι είναι παρόμοια με αυτή του ασβεστίου, ιδιαίτερα στα ιζηματογενή πετρώματα. Το θείο (S) παρουσιάζει υψηλές συγκεντρώσεις στα δείγματα A4 (“στείρα”), A5, A7, A9, A11, A12 και A15 (λιγνιτικές στρώσεις). Παρατηρείται δηλαδή μια εκλεκτική σύνδεση του θείου με την οργανική ύλη, που ίσως δείχνει αυξημένα ποσοστά σουλφιδίων στο λιγνίτη Αμυνταίου. Ο εμπλουτισμός του δείγματος A4 σε θείο ίσως να οφείλεται σε έκπλυση του υποκείμενου στρώματος λιγνίτη (A5) και μεταφορά και συγκέντρωση του θείου στο σχηματιζόμενο τότε στρώμα A4. Το βολφράμιο (W) βρίσκεται σε υψηλές περιεκτικότητες στα δείγματα A4, A5, A7 και A9. Είναι εμφανής μια εκλεκτική συγκέντρωση του βολφραμίου στο λιγνίτη, ενώ ο εμπλουτισμός στο δείγμα A4 εξηγείται όπως παραπάνω με την περίπτωση του θείου. Δεν υπάρχουν δημοσιευμένες εργασίες που να αναφέρονται σε συγκεντρώσεις βολφραμίου στα περιβάλλοντα πετρώματα, βάσει των οποίων θα μπορούσε να εξηγηθεί η αυξημένη περιεκτικότητα των λιγνιτικών δειγμάτων σε W. Το κάδμιο (Cd) εμφανίζεται με χαμηλές συγκεντρώσεις στο σύνολο των δειγμάτων εκτός από δύο εξαιρετικά υψηλές τιμές στα δείγματα A6 και A8. Ο μόλυβδος (Pb) παρουσιάζει μια γενικά ομοιόμορφη κατανομή, με εξαίρεση μια εξαιρετικά υψηλή τιμή στο λιγνιτικό δείγμα A5. Το μολυβδένιο (Mo) παρουσιάζει την ίδια κατανομή με τον μόλυβδο, δηλαδή μία εξαιρετικά υψηλή συγκέντρωση στο λιγνιτικό στρώμα A5. Το νικέλιο (Ni) βρίσκεται σε υψηλές περιεκτικότητες στα δείγματα A2, A2α, A3, A13, A16 και A17.

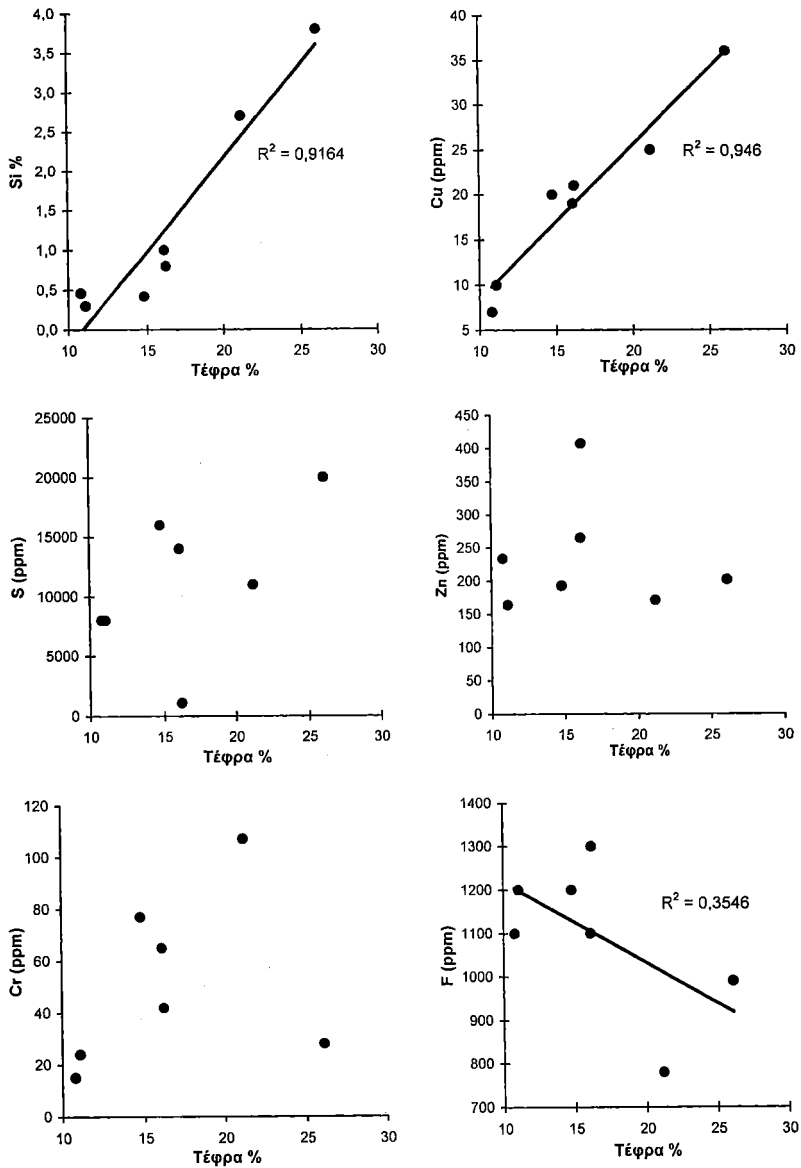
Γενικά παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις των στοιχείων Si, Al, Fe, Co, Na, K, Mg, Ni, Ti στα ανώτερα (κόκκινη, κίτρινη και πράσινη σειρά) και κατώτερα “στείρα” αργιλομαργαϊκά πετρώματα του πεδίου Αμυνταίου. Τα ενδιάμεσα των λιγνιτών μαργαϊκά πετρώματα παρουσιάζονται εμπλουτισμένα στα στοιχεία Ca, Sr και F, γεγονός που ίσως υποδηλώνει την παρουσία ορυκτών όπως ο απατίτης στα πετρώματα αυτά. Τα λιγνιτικά δείγματα παρουσιάζονται γενικά εμπλουτισμένα στα στοιχεία S, Sb και W. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το δείγμα A13

παρουσιάζει υψηλότερες συγκεντρώσεις σε πολλά από τα χημικά στοιχεία που αναλύθηκαν (Fe, Al, Mg, Si, Co, Na, Cr, Ni, K, Mn, Ti) σε σύγκριση με τα γειτονικά δείγματα (A5-A12 προς τα πάνω και A14, A15 προς τα κάτω). Οι υψηλές συγκεντρώσεις Ca στα ιζηματογενή στρώματα της λεκάνης Αμυνταίου υποδηλώνουν ότι η πηγή τροφοδοσίας κατά τον σχηματισμό των ιζημάτων ήταν τα ασβεστολιθικά πετρώματα των ανατολικών και νότιων περιθωρίων (Βέρμιο όρος και πρόβουνοι), ενώ υψηλές συγκεντρώσεις Ni και Cr φανερώνουν ότι τα πετρώματα προέλευσης ήταν τα μεταμορφωμένα πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου της Πελαγονικής ζώνης.

Γεωχημική συγγένεια

Ο προσδιορισμός της οργανικής και ανόργανης συγγένειας των στοιχείων, της σύνδεσης δηλαδή κάθε στοιχείου με το οργανικό ή το ανόργανο μέρος του λιγνίτη, έχει ιδιαίτερη σημασία για την εκτίμηση της συμπεριφοράς των επικίνδυνων για το περιβάλλον ιχνοστοιχείων, τόσο κατά τη διάρκεια του καθαρισμού και της καύσης των ανθράκων όσο και κατά την οξειδωση και έκπλυση που λαμβάνει χώρα στα ορυχεία και στις αποθέσεις των παραγόμενων από την καύση αποβλήτων (FINKELMAN 1995). Η γεωχημική συγγένεια των στοιχείων είναι αντικείμενο παγκόσμιας έρευνας, κυρίως κατά την τελευταία δεκαετία (FINKELMAN 1994, SPEARS & ZHENG 1999). Ο προσδιορισμός της συγγένειας μπορεί να γίνει έμμεσα, με στατιστικούς συσχετισμούς της περιεκτικότητας των στοιχείων με την τέφρα (HOWER et al. 1991, NASCU et al. 1995, VASSILEV et al. 1997, NEWMAN et al. 1997) ή άλλα στοιχεία (QUEROL et al. 1997), με την κλασματοποίηση των ανθράκων και τη χημική ανάλυση των διαφορετικών κλασμάτων που προκύπτουν ή από τη μελέτη της συμπεριφοράς των στοιχείων κατά τις δοκιμές καύσης ή έκπλυσης δειγμάτων ανθράκων.

Στην παρούσα εργασία κατασκευάστηκαν διαγράμματα συσχέτισης της συγκέντρωσης κάθε στοιχείου σε όλα τα λιγνιτικά δείγματα με το αντίστοιχο ποσοστό τέφρας. Η καταγραφή θετικών κλίσεων στα διαγράμματα αυτά φανερώνει την συγκέντρωση του στοιχείου στην τέφρα κατά την καύση, γεγονός που αποδίδεται στην ανόργανη συγγένεια του στοιχείου αυτού. Αρνητικές κλίσεις δείχνουν ότι τα στοιχεία ή χημικές ενώσεις αυτών είναι πτητικά κατά την καύση, γεγονός που αποτελεί πιθανή ένδειξη της σύνδεσης του στοιχείου με το οργανικό μέρος του λιγνίτη. Έτσι, ανόργανη συγγένεια φαίνεται να έχουν τα στοιχεία Al, Cu, Si, Ti, Fe, Ba, Na και Ni, ενώ τα στοιχεία που παρουσιάζουν ενδιάμεση σύνδεση είναι τα K, Cr, W, P, Mo, Mn, Pb, B, S, Mg, Sb, Ca, Sr, Cd, Co και Zn. Το φθόριο (F) είναι πτητικό στοιχείο, παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με την τέφρα και ενδεχομένως υποδηλώνει οργανική συγγένεια (Σχ. 1). Η μέση περιεκτικότητα του φθορίου στα λιγνιτικά δείγματα Αμυνταίου είναι 1096 ppm, δηλαδή διπλάσια από την ανώτερη περιεκτικότητα των παγκόσμιων ανθράκων σε F [500 ppm] (SWAINE 1990). Το



Σχήμα 1. Διαγράμματα απεικόνισης της περιεκτικότητας των στοιχείων στα λιγνιτικά δείγματα σε σχέση με τα αντίστοιχα ποσοστά τέφρας. Ανόργανη συγγένεια: Si, Cu. Ενδιάμεση συγγένεια: S, Zn, Cr. Οργανική συγγένεια: F.

Figure 1. Elemental concentrations versus ash content of the lignite samples. Inorganic affinity: Si, Cu. Intermediate affinity: S, Zn, Cr. Organic affinity: F.

γεγονός αυτό φανερώνει αυξημένη επικινδυνότητα για το στοιχείο αυτό. Είναι επίσης χαρακτηριστική η απουσία F από τις τέφρες των λιγνιτικών δειγμάτων. Τα παραπάνω συμπεράσματα που αφορούν στη χημική συγγένεια των στοιχείων επιβεβαιώνονται και από την σύγκριση των πινάκων 1 και 3. Οι μέσες περιεκτικότητες των λιγνιτικών τεφρών σε χημικά στοιχεία δείχνουν εμπλουτισμό σε σχέση με τις αντίστοιχες περιεκτικότητες των λιγνιτικών δειγμάτων για όλα σχεδόν τα στοιχεία, με εξαίρεση τα στοιχεία Sb, Cd και W. Το γεγονός αυτό ενισχύει την παραπάνω εκτίμηση της χημικής συγγένειας των στοιχείων. Για παράδειγμα αναφέρονται τα στοιχεία Cu και Zn, τα οποία παρουσιάζουν ανόργανη και ενδιάμεση συγγένεια αντίστοιχα. Έτσι, στον πίνακα 3 παρατηρούμε ότι οι τιμές συγκέντρωσης του Cu στην τέφρα των λιγνιτών κυμαίνονται μεταξύ 63 και 162 ppm, ενώ οι αντίστοιχες τιμές στα λιγνιτικά δείγματα (7-36 ppm) είναι πέντε περίπου φορές μικρότερες, γεγονός που υποδηλώνει εμπλουτισμό του Cu στην τέφρα, δηλαδή ανόργανη συγγένεια. Κατά τον ίδιο τρόπο, οι τιμές του Zn είναι περίπου ίδιες στις τέφρες (235-300 ppm) και στους λιγνίτες (164-407 ppm), γεγονός που με τη σειρά του υποδηλώνει ενδιάμεση συγγένεια.

Έχει παρατηρηθεί ότι άνθρακες εμπλουτισμένοι σε ανθρακικά ορυκτά παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά τέφρας. Για το λόγο αυτό μερικοί ερευνητές (BEATON et al. 1991) συνηθίζουν να διαιρούν τις περιεκτικότητες κάθε στοιχείου στα λιγνιτικά δείγματα με το αντίστοιχο ποσοστό τέφρας, ώστε να εξαλείφονται οι διαφορές που οφείλονται στη διαφορετική ορυκτολογική σύσταση των τεφρών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο έμμεσος προσδιορισμός της οργανικής / ανόργανης σύνδεσης των στοιχείων, που πραγματοποιείται με τη χρήση στατιστικών συσχετισμών είναι από μόνος του μια σοβαρή ένδειξη, αλλά πρέπει να συνδυαστεί με άμεσους τρόπους προσδιορισμού της συγγένειας, όπως η χρήση ηλεκτρονικού μικροαναλυτή διασποράς ενέργειας ακτίνων X (SEM-EDX).

Βιβλιογραφία

- BEATON A.P., GOODARZI F. & POTTER J. (1991). The petrography, mineralogy and geochemistry of Paleocene lignite from southern Saskatchewan, Canada, *International Journal of Coal Geology*, 17, 117-148.
- BOUSKA V. (1981). *Geochemistry of coal*, Elsevier, Amsterdam, p. 284.
- CLARKE L.B. & SLOSS L.L. (1992). Trace elements-emissions from coal combustion and gasification, IEA Coal Research, London, p. 111.
- ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α., ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α. & ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α. (1997). Ορυκτολογία, κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία ιπτάμενων τεφρών των ΑΗΣ του λιγνιτικού κέντρου Πτολεμαΐδας Αμυνταίου. Διημερίδα: Χρήση της ιπτάμενης τέφρας στις κατασκευές, Κοζάνη (3-4/10/97), Πρακτ., Τομ. Β, 159-168.
- 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 Mineral., 1, 295-300.

- FILIPPIDIS A. & GEORGAKOPOULOS A. (1992). Mineralogical and chemical investigation of fly ash from the Main and Northern lignite fields in Ptolemais, Greece, Fuel, 71, 373-376.
- FILIPPIDIS A., GEORGAKOPOULOS A., KASSOLI-FOURNARAKI A., MISAELEDIS P., YIAKKOUPIS P. & BROUSSOULIS J. (1996a). Trace element contents in composited samples of three lignite seams from the central part of Drama lignite deposit, Macedonia, Greece, International Journal of Coal Geology, 29, 219-234.
- FILIPPIDIS A., GEORGAKOPOULOS A. & KASSOLI-FOURNARAKI A. (1996b). Mineralogical components of some thermally decomposed lignite and lignite ash from the Ptolemais basin, Greece, Intern. J. Coal Geol., 30, 303-314.
- FILIPPIDIS A., GEORGAKOPOULOS A., KASSOLI-FOURNARAKI A., BLOWNDIN J. & FERNANDEZ-TURIEL J.L. (1997). The sulphocalcic coal fly ashes of Ptolemais (Macedonia, Greece) and Gardanne (Provence, France), European Sem. Coal Fly Ash, Marceilles (18/4/97), Proc., 149-158.
- FINKELMAN R.B. (1993). Trace and minor elements in Coal. In: Engel M.H. & Macko S.A. (Eds), Organic Geochemistry, Plenum, New York, 593-607.
- FINKELMAN R.B. (1994). Modes of occurrence of potentially hazardous elements in coal: levels of confidence, Fuel Processing techn., 39, 21-34.
- FINKELMAN R.B. (1995). Modes of occurrence of environmentally sensitive trace elements in coal. In: Swaine D.J. & Goodarzi F. (Eds) Environmental aspects of trace elements in coal, Kluwer, Netherlands, p. 313.
- ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α., ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α. & ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α. (1992). Ορυκτολογία, χημεία και μορφολογία τέφρας από εργαστηριακή καύση σε 1000°C και ιπτάμενης τέφρας του λιγνίτη Πτολεμαΐδας-Αξιοποίηση και Περιβάλλον. Δημοσίευση: Λιγνίτης και ενεργειακό ισοζύγιο, Σημερινή κατάσταση-Προοπτικές, Κοζάνη (2-3/10/92), Πρακτ., σ. 12.
- GEORGAKOPOULOS A., FILIPPIDIS A. & KASSOLI-FOURNARAKI 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 Mineral., 1, 301-305.
- GEORGAKOPOULOS A., FILIPPIDIS A. & KASSOLI-FOURNARAKI A. (1994). Morphology and trace elements contents of the fly ash from Main and Northern lignite fields, Ptolemais, Greece, Fuel, 73 (11), 1802-1804.
- GEORGAKOPOULOS A., FERNANDEZ-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: Pajares J.A. & Tascon J.M.D (Eds), Coal Science, Elsevier, Amsterdam, 24, 163-166.
- GEORGAKOPOULOS A., FILIPPIDIS A., KASSOLI-FOURNARAKI A., FERNAN-

- DEZ-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 Intern. Conf. on Environ. Pollution (16-20/9/96) Thessaloniki, Greece, 114-118.
- GLUSKOTER H.J., RUCH R.R., MILLER W.G., CAHILL R.A., DREHER G.B. & KUHN J.K. (1977). Trace elements in coal: occurrence and distribution. Illinois State Geol. Survey, Circular 499, p. 154.
- HOWER J.C., RIMME S.M. & BLAND A.E. (1991). Geochemistry of the Blue Gem coal bed, Knox County, Kentucky, *International Journal of Coal Geology*, 18, 211-231.
- ΙΟΡΔΑΝΙΔΗΣ Α. (1998). Γεωχημεία του λιγνιτικού κοιτάσματος Αμυνταίου, περιοχής Πτολεμαΐδας, Διατριβή Ειδίκευσης, Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη, σ. 86.
- KASSOLI-FOURNARAKI A., GEORGAKOPOULOS A. & FILIPPIDIS A. (1992). Heating experiments of the Ptolemais lignite in the temperature range from 100°C to 500°C. *N. Jb. Miner. Mh.*, 11, 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: Fenoll Hach A.L.P., Torres-Ruiz J. & Gervilla R. (Eds), *Current Research in Geology applied to Ore Deposits, La Gniocanda, Granada*, 727-730.
- ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ Κ., ΚΩΤΗΣ Θ., ΠΛΟΥΜΙΔΗΣ Μ. & ΜΕΤΑΞΑΣ Α. (1979). Γεωλογική-κοιτασματολογική μελέτη του λιγνιτικού κοιτάσματος Αναργύρων Αμυνταίου, *ΙΓΜΕ, Κοιτ. Ερ.*, No 9, σ. 69.
- MUKHERJEE K.N., DUTTA N.R., CHANDIA D. & SHINGH M.P. (1992). Geochemistry of trace elements of Tertiary coals of India, *International Journal of Coal Geology*, 20, 99-113.
- MUCHOPADHYAY P.K., GOODARZI F., GRANDLEMIRE A.L. GILLIS K.S., MACNEIL D.J. & SMITH W.D. (1998). Comparison of coal composition and elemental distribution in selected seams of Sydney and Stellarton Basins, Nova Scotia, Eastern Canada, *International Journal of Coal Geology*, 37, 113-141.
- NASCU H.I., COMSULEA D.I. & NIAC G. (1995). The distribution of inorganic elements between coal and mineral matter in Rumanian lignite, *Fuel*, 74 (1), 119-123.
- NEWMAN N.A., MOORE T.A. & ESTERLE J.S. (1997). Geochemistry and Petrography of the Taupiri and Kupakupa coal seams, Waikato Coal Measures (Eocene), New Zealand, *International Journal of Coal Geology*, 33, 103-133.
- ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ. (1985). Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας (Δ. Μακεδονία), *Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ*, σ. 265.
- QUEROL X., WHATELEY M.K.G., FERNANDEZ-TURIEL J.L. & TUNCALI E. (1997). Geological controls on the mineralogy and geochemistry of the Beypazari lignite, central Anatolia, Turkey, *International Journal of Coal Geology*, 33, 255-271.
- SENGUPTA M. (1993). Environmental impacts of mining, Lewis, Boca Raton, U.S.A.,

p. 494.

- SPEARS D.A. & ZHENG Y. (1999). Geochemistry and origin of elements in some UK coals, *International Journal of Coal Geology* 38, 161-179.
- SWAINE D.J. (1990). Trace elements in coal. Butterworths, London, p. 278.
- SWAINE D.J. & GOODARZI F. (1995). Environmental aspects of trace elements in coal, Kluwer, Netherlands, p. 313.
- VASSILEV S.V., KITANO K. & VASSILEVA C.G. (1997). Relations between ash yield and chemical and mineral composition of coals, *Fuel*, 76 (1), 3-8.
- WARWICK P.D., CROWLEY S.S., RUPPERT L.F. & PONTOLILLO J. (1996). Petrography and geochemistry of the San Miguel lignite, Jackson group (Eocene), south Texas, *Organic Geochemistry*, 24 (2), 197-217.
- WARWICK P.D., CROWLEY S.S., RUPPERT L.F. & PONTOLILLO J. (1997). Petrography and geochemistry of selected lignite beds in the Gibbons Creek mine (Manning Formation, Jackson Group, Paleocene) of east-central Texas, *International Journal of Coal Geology*, 34, 307-326.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΥΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 137-157</p>
--	---	--

Η ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ
ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ - ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
ΤΗΣ ΛΙΓΝΙΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ
ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ & ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ ΜΑΣ

Κ. Καβουρίδης¹

Περίληψη

Η Ελλάδα εισάγει ενέργεια ίση με το 70% των συνολικών ενεργειακών αναγκών. Το επόμενο 30%, που είναι η εγχώρια παραγωγή, βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στους λιγνίτες που αποτελούν τη βασική ενεργειακή πρώτη ύλη της χώρας μας.

Η συμμετοχή του λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά την τελευταία 10ετία κυμάνθηκε από 75-80%. Στην ίδια περίοδο ο λιγνίτης, που εξορύσσεται στα Λιγνιτωρυχεία του ΛΚΠ-Α, συνέβαλε σε ποσοστό 60-66% στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του διασυνδεδεμένου συστήματος της χώρας μας.

Στην ευρύτερη περιοχή Πτολεμαΐδας λειτουργούν σήμερα, τέσσερα (4) μεγάλα συγκροτήματα ορυχείων, με ετήσιο ρυθμό παραγωγής λιγνίτη 48 εκ. τον. και συνολικής διακίνησης 250 εκ. m³ στ.

Τα βεβαιωμένα αποθέματα λιγνίτη της περιοχής Πτολεμαΐδας επαρκούν για να τροφοδοτήσουν τις εγκατεστημένες μονάδες τουλάχιστον για 50 χρόνια ακόμη.

Για την εκμετάλλευση και ανάπτυξη των λιγνιτωρυχείων η προστασία και η αποκατάσταση του περιβάλλοντος, αποτελεί στόχο πρώτης προτεραιότητας.

Η ενεργειακή αξιοποίηση του εκτεταμένου κοιτάσματος της λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας, αποτελεί μια εθνική επιτυχία, αφού χάρις στον λιγνίτη που εξορύσσεται στα λιγνιτωρυχεία του ΛΚΠ-Α, η ΔΕΗ πέτυχε την αξιόπιστη κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια της χώρας μας, και το σημαντικότερο, με τη μικρότερη για τον οικιακό καταναλωτή τιμή της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η ασφάλεια του εφοδιασμού που παρέχει ο λιγνίτης και η συμβολή του στην ανάπτυξη της τοπικής οικονομίας της Δυτικής Μακεδονίας, αποτελεί παράγοντα ξεχωριστής σημασίας για την Εθνική οικονομία και για τις περιοχές που λειτουργούν τα ορυχεία και οι ηλεκτρικές μονάδες

Summary

PPC is by far the major producer of solid fuels in Greece. Currently the known exploitable reserves of solid fuels, are 4,0 billions tones of lignite and 4 billion cubic meters of peat.

1. Διευθυντής ΛΚΠ-Α ΔΕΗ, Αν. Καθηγητής στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, 50 200 Πτολεμαΐδα.

Mining of Lignite in Greece started in 1951 at the Aliveri underground mine and was continued at the open cast mines at Ptolemais (1955) and Megalopolis (1919). For about 50 years PPC has successfully exploited the Greece Lignite deposit for the production of electricity in order to satisfy the demand in Greece. Today PPC produces 61 million tons of lignite and handles approximately 275 million cubic meters of masses (overburden, lignite and intercalated) per year. Lignite is the main energy resource in Greece and its combustion provides 75-80% of the electrical energy consumed in Greece.

The Lignite Center of Ptolemais – Amyndeon (LCP-A) operated by the Greece PPC (PPC) is located in northern Greece, about 110 km west of the city of Thessaloniki. The lignite deposits under exploitation cover an area of 120 km² including 4000 Mt of proven geological reserves and 2700 Mt of exploitable lignite under current economic and technological criteria. Today LCP-A manages four active mines which in 1997 have a rate of handling 245 million cubic meter of material and producing approx. 48 million tones of lignite.

The main advantage of PPC'S coal orientated development program are the following: Low cost of energy, Ensured Supply, Economizing on foreign exchange, domestic energy source. The established direction, for the unique European energy market, has created a new environment different from the one up until today. The creation of the unique internal energy market, places the mines with the imperative need to yield a more competitive product and to organize their development with regard to the market.

Το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα

Στη μέχρι σήμερα πορεία της ανθρωπότητας η οικονομική ανάπτυξη εμφανίζεται άμεσα συνδεδεμένη ή ακόμα και εξαρτημένη από τις εξελίξεις στον τομέα της ενέργειας. Με βάση και την ιστορική πραγματικότητα οι πλέον σημαντικές φάσεις ανάπτυξης της σύγχρονης κοινωνίας σχετίζονται άμεσα με τις ανακαλύψεις και τις εφαρμογές νέων τεχνολογιών στον τομέα της ενέργειας. Ως εκ τούτου η διαχείριση των ενεργειακών ζητημάτων και ιδιαίτερα αυτών της ηλεκτροπαραγωγής αποτελούν μείζονα θέματα των σύγχρονων βιομηχανικών και αναπτυσσόμενων κοινωνιών (ΤΣΟΤΣΟΡΟΣ 1995).

Η διασφάλιση των ενεργειακών αναγκών είναι σήμερα ζήτημα ύπαρξης των κρατών και τα συμφέροντα που έχουν αναπτυχθεί στους τομείς της εκμετάλλευσης των ενεργειακών πηγών, της μεταφοράς, αποθήκευσης και επεξεργασίας των καυσίμων και τέλος της μετάτροπής των σε ενέργεια, είναι από τα πιο ισχυρά και μεγαλύτερα στον κόσμο. Στον βαθμό της διασφάλισης των συμφερόντων αυτών πολύ αίμα έχει χυθεί, ενώ οι οικονομικές κρίσεις που προήλθαν από την ενέργεια συγκλόνισαν κυριολεκτικά τον πλανήτη. Όλοι θυμόμαστε ακόμη τις δύο μεγάλες πετρελαϊκές κρίσεις στη 10ετία του 70, ενώ και “ο Πόλεμος στον Περσικό Κόλπο” και οι διαμάχες της Ρωσίας με τις χώρες του Καυκάσου, έχουν και αυτές τα αίτια τους στην ενέργεια.

Ένα πρώτο ερώτημα που εύλογα προκύπτει στον καθένα είναι, αν τα διαθέσιμα σήμερα αποθέματα των καυσίμων-ενεργειακών πρώτων υλών επαρκούν για να καλύψουν τις μελλοντικές ανάγκες της ανθρωπότητας. Με άλλα λόγια μπορεί να

προβλεφθεί και περιγραφεί το μέλλον του παγκόσμιου ενεργειακού προβλήματος για τα επόμενα π.χ. 50 χρόνια;

Η απάντηση δεν είναι εύκολη σ' ένα ιδιαίτερο σύνθετο και πολύπλοκο πρόβλημα με αβεβαιότητα όσον αφορά τους παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη του (ΓΚΡΟΣ 1997).

Ασφαλής πρόβλεψη είναι ότι ο πληθυσμός της γης το 2050, θα πλησιάζει τα 20 δις, που σημαίνει τριπλασιασμό του σημερινού. Ασφαλής επίσης πρόβλεψη είναι ότι το 1,2 δις Κινέζων και το 0,9 δις Ινδών με την επιζήτηση περισσότερων ανέσεων, θα αυξήσουν τη σημερινή χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, που ανέρχεται στο 1/13 της Ευρωπαϊκής και θα προσπαθήσουν να πλησιάσουν τα Ευρωπαϊκά επίπεδα. Κατά το διεθνή Οργανισμό ενέργειας αναμένεται για τα επόμενα 15 χρόνια σημαντική αύξηση τόσο της συνολικής ενέργειας (~ 45%), όσο και της ηλεκτρικής ενέργειας (~ 75%).

Και στην περίπτωση, που η κατανάλωση ενέργειας παραμείνει στα σημερινά επίπεδα, τα γνωστά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου εξαντλούνται σε δυο γενιές. Ειδικότερα τα αποθέματα πετρελαίου με βάση τα σημερινά διαθέσιμα στοιχεία επαρκούν για 50 χρόνια και του φυσικού αερίου για 70 χρόνια περίπου.

Το φυσικό αέριο βρίσκει τα τελευταία χρόνια μεγαλύτερη εφαρμογή στην ηλεκτροπαραγωγή με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος επειδή κατά την καύση του προκύπτει κατά 40% μικρότερη εκπομπή CO₂. Τα οικολογικά όμως πλεονεκτήματα του φυσικού αερίου, για να είναι πραγματικά απαιτούν τη μεταφορά και διανομή του με τήρηση υψηλού βαθμού ασφαλείας. Ιδιαίτερα σε χώρες, που έχουν μεγάλη σεισμική δραστηριότητα, π.χ. Ελλάδα, Τουρκία, Αρμενία, το μεθάνιο που περιέχει το φυσικό αέριο, έχει δυσμενέστερη επίδραση στο κλίμα από το CO₂ έτσι ώστε και μικρές απώλειες κατά τη μεταφορά του, να καθιστούν προβληματική τη χρησιμοποίησή του.

Η παραγωγή ηλεκτρισμού από τον άνθρακα κατέχει διεθνώς πρωτεύουσα θέση, με ποσοστό σχεδόν 40%. Ο άνθρακας καλύπτει σήμερα περίπου το 30% της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης με 3,5 δις τόννους.

Τα τελευταία 20 χρόνια αυξήθηκε η κατανάλωσή του κατά 1,0 δις τόννους. Την επόμενη 10ετία προβλέπεται νέα αύξηση, επίσης της τάξεως του 1,0 δις τόννους. Συνεπώς και στην επόμενη 10ετία, θα διατηρήσει χωρίς αμφιβολία ο ενεργειακός αυτός φορέας την κυρίαρχη θέση του.

Σε πίνακα, που δημοσιεύθηκε πρόσφατα σε Γερμανικό δελτίο αναφέρει ότι η Ελλάδα εισάγει ενέργεια ίση με 70% των συνολικών και ενεργειακών αναγκών και βρίσκεται στην τελευταία θέση πριν από την Ιταλία, την Ισπανία και το Βέλγιο. Το υπόλοιπο 30%, που είναι η εγχώρια παραγωγή βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στους λιγνίτες. Χωρίς τους λιγνίτες η χώρα μας, θα βρισκόταν στη χειρότερη θέση στην Ευρώπη με όλες τις αυτονόητες επιπτώσεις για την ανταγωνιστικότητα της Ελληνικής Βιομηχανίας και της Εθνικής Οικονομίας (ΜΠΟΥΣΙΟΣ 1997).

Έρευνα και αποθέματα λιγνιτών - Το κοιτάσμα Πτολεμαΐδας

Οι λιγνίτες Πτολεμαΐδας ήταν γνωστοί τουλάχιστον από την Τουρκοκρατία. Το 1939 εκδηλώνεται η πρώτη σοβαρή προσπάθεια αξιοποίησης του λιγνίτη, με τη σύνταξη της έκθεσης του Γερμανού καθηγητού KEGEL, ο οποίος κλήθηκε στη χώρα μας για να εξετάσει τις δυνατότητες λιγνιτοπαραγωγής για κάλυψη ενεργειακών αναγκών.

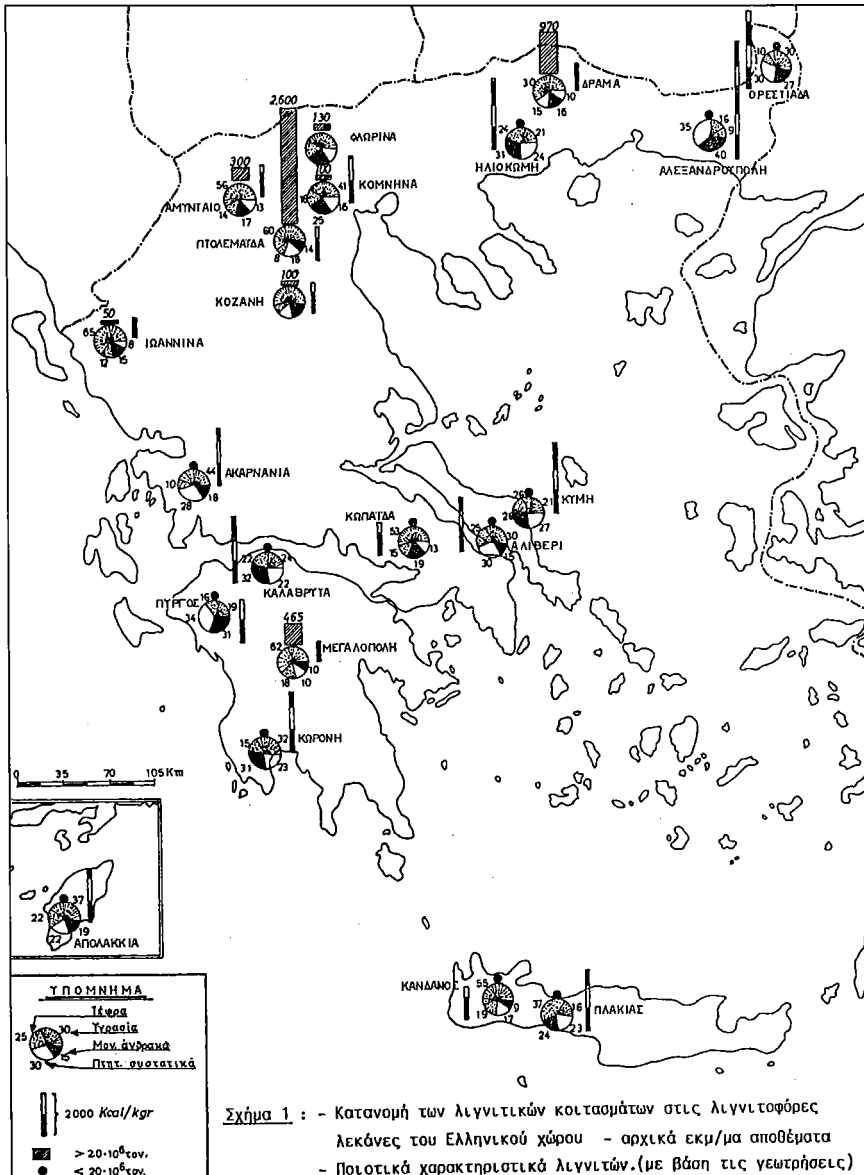
Από τις μέχρι σήμερα έρευνες τα γεωλογικά αποθέματα της χώρας μας υπολογίζονται σε 10,5 δις. τον., από τα οποία τα βεβαιωθέντα είναι 6,7 δις. τον., τα δυνατά αποθέματα 2,4 δις. τον. και τα πιθανά υπολογίζονται σε 1,4 δις. τον. (ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ 1992, ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ κ.α. 1992). Με τα σημερινά τεχνολογικά και οικονομικά δεδομένα και με βάση τις μέχρι σήμερα κοιτασματολογικές έρευνες, εκμεταλλεύσιμα είναι περίπου 4,0 δις τον., που ισοδυναμούν με 550 εκ. τον. πετρελαίου και έχουν σημερινή αξία πάνω από 100 δις \$. Στα παραπάνω αποθέματα δεν υπολογίζονται τα αποθέματα των μικρών και μεγάλων κοιτασμάτων τύρφης, μεταξύ των οποίων και το τεράστιο κοιτάσμα τύρφης και τυρφολιγνίτη των Φιλίππων με 4,3 δις κυβικά μέτρα απόθεμα.

Η κατανομή των λιγνιτικών αποθεμάτων στη χώρα μας δίνεται στο χάρτη 1. Όπως προκύπτει και από τα στοιχεία του χάρτη αυτού, στη Δυτική Μακεδονία και συγκεκριμένα στην τεκτονική τάφρο, που αναπτύσσεται στον άξονα Φλώρινα - Πτολεμαΐδα - Κοζάνη - Ελασσόνα είναι συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο λιγνιτικό δυναμικό της χώρας μας, που αποτελεί το 65-70% του συνολικού αποθέματος της χώρας. Τα βέβαια γεωλογικά αποθέματα, που είναι συγκεντρωμένα στην ευρύτερη λεκάνη Πτολεμαΐδας, ξεπερνούν τα 4,0 δις τον. λιγνίτη. Με τα σημερινά οικονομικά και τεχνολογικά δεδομένα τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα (01.01.99) εκτιμώνται 2,5 δις τον. περίπου, που ισοδυναμούν με 300 εκ. τον. πετρελαίου και έχουν σημερινή αξία πάνω από 62,5 δις \$.

Στους παρακάτω πίνακες 1, 2 δίνονται τα βασικά στοιχεία ογκομετρήσεων των λιγνιτοφόρων πεδίων, που βρίσκονται σε εκμετάλλευση ή έχει προγραμματισθεί η εκμετάλλευσή τους για την τροφοδοσία ατμοηλεκτρικών σταθμών. Επισημαίνεται ότι η κοιτασματολογική έρευνα του ελλαδικού χώρου δεν έχει ολοκληρωθεί και υπάρχουν περιθώρια ακόμη για εντοπισμό νέων αποθεμάτων, οικονομικών ή μη εκμεταλλεύσιμων σήμερα, που θα μπορούσαν όμως να συμβάλλουν στις αυξημένες ανάγκες του μέλλοντος. Ως εκ τούτου η έρευνα πρέπει να συνεχισθεί τουλάχιστον με το σημερινό ρυθμό, με στόχο πάντα την επαύξηση των ενεργειακών μας αποθεμάτων. Οι προοπτικές για θετικά αποτελέσματα διαγράφονται ευνοϊκές.

Η αξιοποίηση του κοιτάσματος της λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας - Τα λιγνιτωρυχεία διαχρονικά και σήμερα

Η προσπάθεια, σε μεγάλη κλίμακα, για την ενεργειακή αξιοποίηση του λιγνίτη Πτολεμαΐδας ξεκίνησε το 1955, (σύσταση της εταιρίας ΛΙΠΤΟΛ από το ΜΠΟ-



Χάρτης 1. Λιγνίτες ανά την Ελλάδα

Πίνακας 3. Λιγνιτικές Μονάδες Περιοχής ΑΚΠ-Α του διασυνδεδεμένου δικτύου ΔΕΗ

ΑΗΣ	Εγκατεστημένη ισχύς (MW)	Έτος λειτουργίας
1. ΛΙΠΤΟΛ	$10 + 33 = 43$	1959, 65
2. ΠΤΟΛΕΜΑΔΑΣ	$70 + 125 + 125 + 300 = 620$	1959, 62, 65, 73
3. ΚΑΡΔΙΑΣ	$4 \times 300 = 1200$	1974, 75, 80, 81
4. ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	$2 \times 300 + 2 \times 310 + 1 \times 365 = 1585$	1984, 84, 85, 86, 97
5. ΑΜΥΝΤΑΙΟ	$2 \times 300 = 600$	1986, 87
Σύνολο ΑΚΠ-Α	4048	
Νέες μονάδες		
1. ΦΛΩΡΙΝΑ Ι	330	2001
Γενικό σύνολο	4.378	

ΔΟΣΑΚΗ), με το επιφανειακό λιγνιτωρυχείο της ΛΙΠΤΟΛ στο Κύριο Πεδίο, ετήσιας δυναμικότητας 1,8 εκ.τον./έτος, που προοριζόταν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μπρικέτας, ξηρού λιγνίτη, χημικών και αζωτούχων λιπασμάτων (Βιομηχανικό Συγκρότημα ΛΙΠΤΟΛ).

Σήμερα η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην ευρύτερη λεκάνη Πτολεμαΐδας ανήκει στην αρμοδιότητα του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (ΑΚΠ-Α), που αποτελεί και τη μεγαλύτερη Υπηρεσιακή Μονάδα της ΔΕΗ.

Οι θερμοηλεκτρικές μονάδες, που σήμερα τροφοδοτούνται με λιγνίτη, που εξορύσσεται στα λιγνιτωρυχεία του ΑΚΠ-Α, δίνονται στον πίνακα 3.

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι το 1999 στο δίκτυο της ΔΕΗ λειτουργούν 17 λιγνιτικές μονάδες στην ευρύτερη περιοχή Πτολεμαΐδας συνολικής ισχύος **4.048 MW**, που αποτελεί το **46%** της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος του διασυνδεδεμένου συστήματος της χώρας μας.

Πίνακας 4. Ποσοστιαία συμμετοχή λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

ΕΤΟΣ %	Ποσοστιαία συμμετοχή λιγνίτη
1980	44,5
1985	65,5
1990	76,3
1994	79,3
1995	75,5
1996	74,7
1997	76,9
1998	75,9

Όμως η ηλεκτρική ενέργεια, που παρήχθη από τις λιγνιτικές μονάδες της περιοχής του ΑΚΠ-Α, ανήλθε σε επίπεδο ρεκόρ κατά την τελευταία ζετία (~23.200 GWH), ενώ το 1998 έφθασε τις ~24.600 GWH. Η ποσοστιαία συμμετοχή των μονάδων αυτών στη συνολική παραχθείσα ενέργεια του διασυνδεδεμένου συστήματος της χώρας, διαμορφώθηκε στα επίπεδα του 65% στην υπόψη περίοδο.

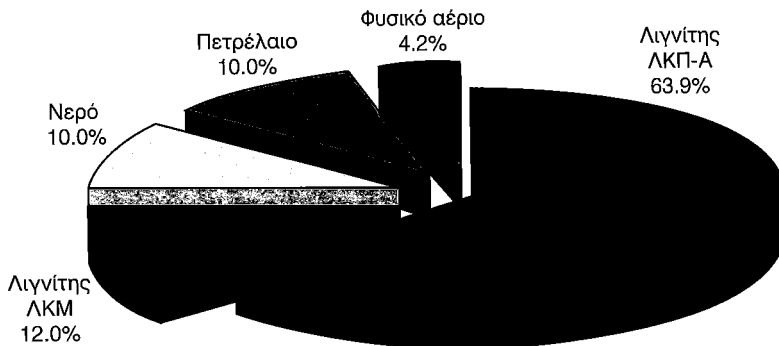
Αν συνυπολογισθεί και η ισχύς της λιγνιτικής μονάδας της Μεγαλόπολης τότε η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των λιγνιτικών μονάδων ανέρχεται σε **4.898 MW**, που αντιστοιχεί σε 56% περίπου της εγκατεστημένης ισχύος του διασυνδεδεμένου συστήματος.

Επισημαίνεται ότι η συμμετοχή του συνόλου των λιγνιτικών μονάδων στην παραχθείσα ενέργεια από το διασυνδεδεμένο δίκτυο της ΔΕΗ, κυμάνθηκε μεταξύ 75-77%, πίνακας 4, κατά την τελευταία ζετία (27.000 GWH) με μέγιστη τιμή της παραγωγής το 1998, που έφθασε σε 27.200 GWH.

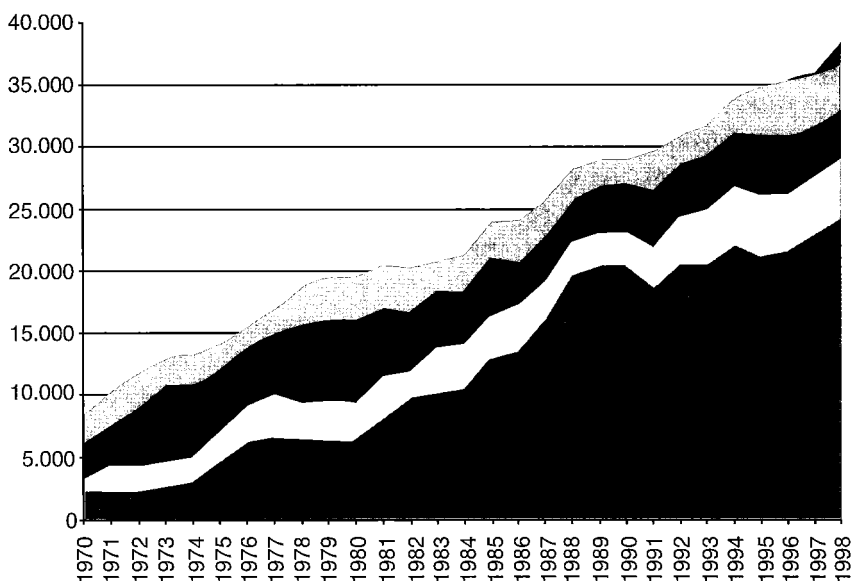
Στο διάγραμμα 1 δίνεται η συμμετοχή των διαφόρων ενεργειακών πρώτων υλών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το 1998.

Η αυξητική τάση που παρουσίασε τις τελευταίες δύο 10ετίες, η συμμετοχή του λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, φαίνεται στον παρακάτω πίνακα και το διάγραμμα 2, (περιλαμβάνεται το σύνολο της λιγνιτικής παραγωγής ΑΚΠ-Α και ΑΚΜ).

Τα στοιχεία του πίνακα επιβεβαιώνουν, ότι ο κύριος άξονας των ενεργειακών προγραμμάτων της ΔΕΗ κατά την υπόψη περίοδο, υπήρξε η αξιοποίηση του βασικού εγχώριου ενεργειακού πόρου της χώρας μας, που είναι ο **Λιγνίτης**. Η σκοπιμότητα αυτής της επιλογής παραμένει αδιαμφισβήτητη. Στην πράξη συνεχώς επιβεβαιώνονται οι ευνοϊκές επιπτώσεις, που έχει η επιλογή αυτή στην **ενεργειακή**



Διάγραμμα 1. Συμμετοχή διαφόρων πηγών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για το έτος 1998.



Διάγραμμα 2. Συμμετοχή διαφόρων πηγών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, απαρχής από το 1970.

και οικονομική ανάπτυξη της χώρας μας.

Τα βεβαιωμένα αποθέματα της ευρύτερης περιοχής Πτολεμαΐδας επαρκούν να τροφοδοτήσουν τις εγκατεστημένες σήμερα και τις προγραμματισθείσες να ενταχθούν λιγνιτικές μονάδες τουλάχιστον για 50 ακόμα χρόνια.

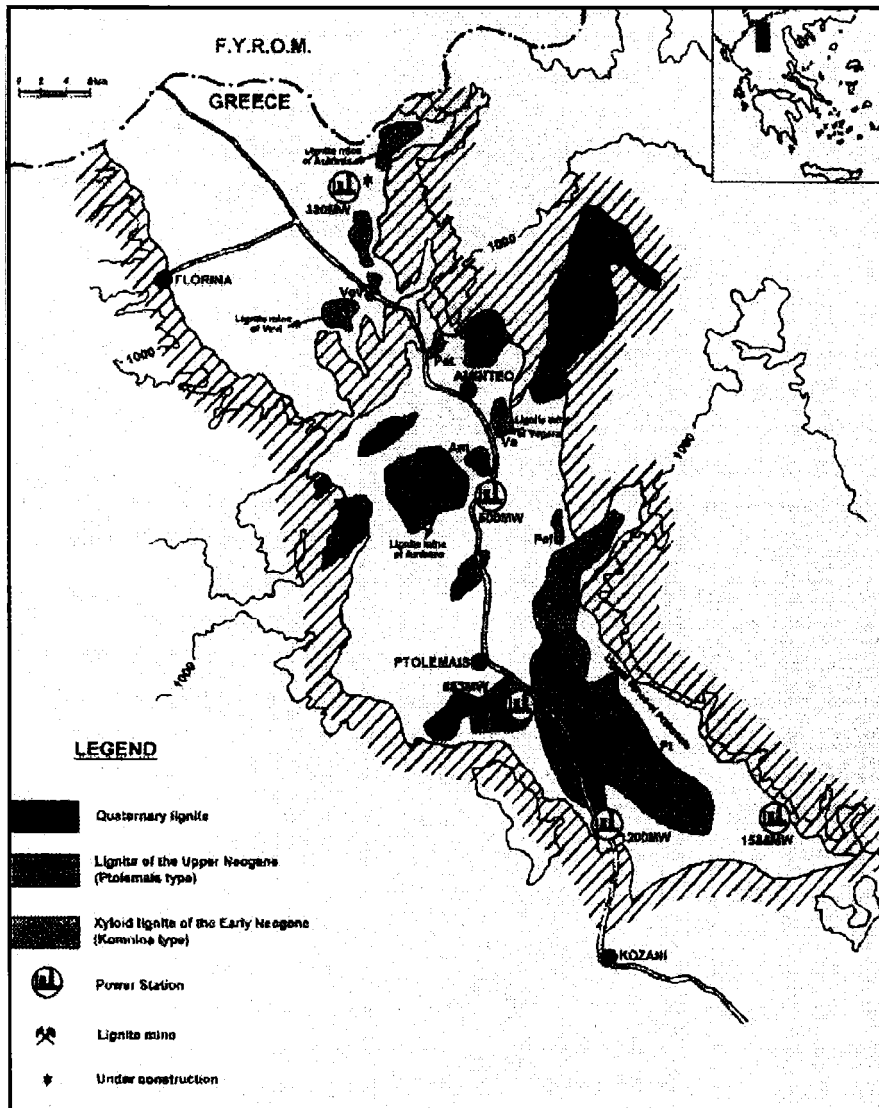
Διαχρονική εξέλιξη και σημερινή κατάσταση των λιγνιτωρυχείων ΛΚΠ-Α

Όπως προαναφέρθηκε η συστηματική εκμετάλλευση του κοιτάσματος Πτολεμαΐδας ξεκίνησε το 1955 από το επιφανειακό λιγνιτωρυχείο του Ορυχείου Κυρίου Πεδίου.

Τα λιγνιτωρυχεία, που μέχρι σήμερα εντάχθηκαν στο σύστημα εκμετάλλευσης του ΛΚΠ-Α και ήδη έχει ολοκληρωθεί η εξόφλησή τους είναι τα ακόλουθα (χάρτης 2,3).

Σήμερα στο ΛΚΠ-Α λειτουργούν τα παρακάτω 4 συγκροτήματα Ορυχείων (Χάρτης 2).

- ✓ **Ορυχείο Κυρίου Πεδίου.** Περιλαμβάνει τις εκμεταλλεύσεις Βορείου Πεδίου και Πεδίου Κομάνου, που αποτελούν τη διάδοχη κατάσταση του εξοφληθέντος κοιτάσματος του Κυρίου Πεδίου. Το σύστημα αυτό έχει ετήσια παραγωγή λιγνίτη 8-10 εκ. τον. και καλύπτει τις ανάγκες του ΑΗΣ Πτολίδας και του Βιομηχανικού



Χάρτης 2. Λιγνιτικά κοιτάσματα, Ορυχεία και Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί στην ευρύτερη περιοχή Πτολεμαΐδας.

Συγκροτήματος της τέως ΛΠΠΟΛ.

- ✓ **Ορυχείο Πεδίου Καρδιάς.** Από το 1995 το Ορυχείο αυτό περιλαμβάνει την εκμετάλλευση του Τομέα 6 με ετήσια παραγωγή λιγνίτη 15 εκ. και καλύπτει τις ανάγκες του ΑΗΣ Καρδιάς.
- ✓ **Ορυχείο Νοτίου Πεδίου.** Περιλαμβάνει την εκμετάλλευση του ομώνυμου Πεδίου. Είναι το μεγαλύτερο Ορυχείο της ΔΕΗ με προγραμματισμένη ετήσια παραγωγή λιγνίτη 18-22 εκ. τον., ποσότητα επαρκή για να καλύπτει τις ανάγκες των πέντε μονάδων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου.
- ✓ **Ορυχείο Πεδίου Αμυνταίου.** Περιλαμβάνει τις εκμεταλλεύσεις του Πεδίου Αναργύρων και του κυρίως Πεδίου Αμυνταίου. Το σύστημα αυτό έχει ετήσια παραγωγή λιγνίτη 8 εκ. τον. και καλύπτει τις ανάγκες του ομώνυμου ΑΗΣ.

Εκτός από τα πιο πάνω Ορυχεία, βρίσκεται στο στάδιο έναρξης η διάνοιξη ενός ακόμα Ορυχείου, του **Δυτικού Πεδίου** ή Ορυχείο Μαυροπηγής. Η εκμετάλλευση, που προβλέπεται να αρχίσει το 2000, αποτελεί τη διάδοχη εκμετάλλευση των Ορυχείων Βορείου Πεδίου και Κομάνου, που η εξάντλησή τους προβλέπεται να γίνει σταδιακά στο χρονικό διάστημα 2000-2005.

Η αξία των εγκατεστημένων παγίων των Λιγνιτωρυχείων του ΛΚΠ-Α, εκτιμάται ότι προσεγγίζει τα 500 δις σε σημερινές τιμές.

Τα λιγνιτωρυχεία του ΛΚΠ-Α έχουν σημερινό (2000) ετήσιο ρυθμό παραγωγής λιγνίτη 51 εκ. τον. και συνολικής διακίνησης 250 εκ. Μ³στ. Η παραγωγή του ΛΚΠ-Α καλύπτει πάνω από το 80% της συνολικής παραγωγής από τα λιγνιτωρυχεία της ΔΕΗ, (ΛΚΠ-Α και ΛΚΜ). Η μαζική αυτή επενδυτική πολιτική, που εφαρμόστηκε μέχρι σήμερα στην ανάπτυξη των λιγνιτωρυχείων του ΛΚΠ-Α, εξασφαλίζει ένα συγκριτικό πλεονέκτημα στο λιγνίτη Πτολ/δας σε σχέση με τις άλλες ανταγωνιστικές ενεργειακές πρώτες ύλες και επιτρέπει, σήμερα πια, να είναι το **“ανταγωνιστικό εθνικό καύσιμο”**.

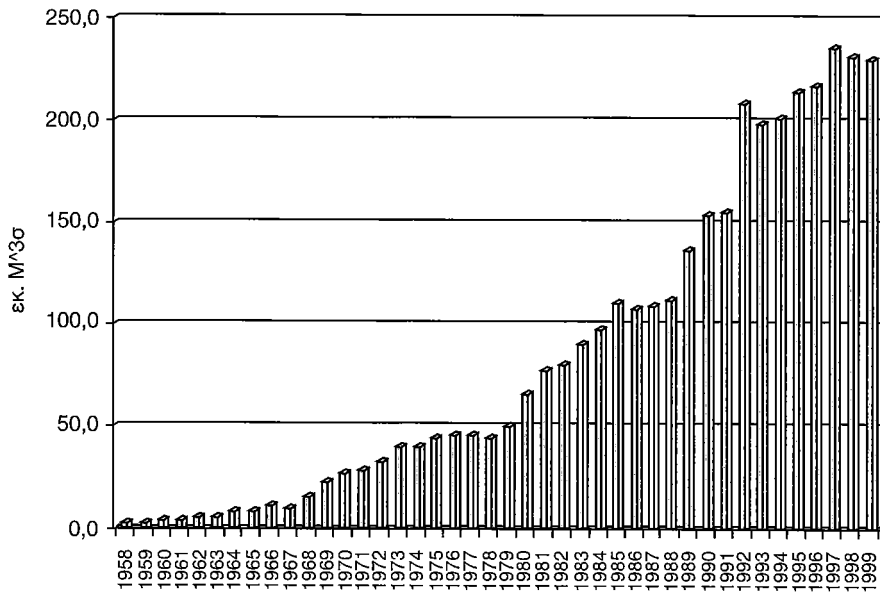
Στα 40 χρόνια περίπου, που πέρασαν από τότε που το πρώτο τρένο μετέφερε το λιγνίτη από το Κύριο Πεδίο προς το Βιομηχανικό Συγκρότημα της ΛΠΠΟΛ, έχουν εξορυχθεί και καταναλωθεί 850 εκ. τον. λιγνίτη, που αντιστοιχούν σε ισάριθμα βαρέλια πετρελαίου και η χώρα μας εξοικονόμησε πάνω από 4,0 τρις. δρχ. σε συνάλλαγμα και σε σημερινές τιμές.

Η ραγδαία ανάπτυξη των λιγνιτωρυχείων του ΛΚΠ-Α και τα εντυπωσιακά αποτελέσματα εκμετάλλευσης, που επιτεύχθηκαν διαχρονικά, φαίνονται παραστατικά στα διαγράμματα 3 και 4, που δίνουν την απαραίτητη εξέλιξη των συνολικών εκσκαφών και της παραγωγής λιγνίτη.

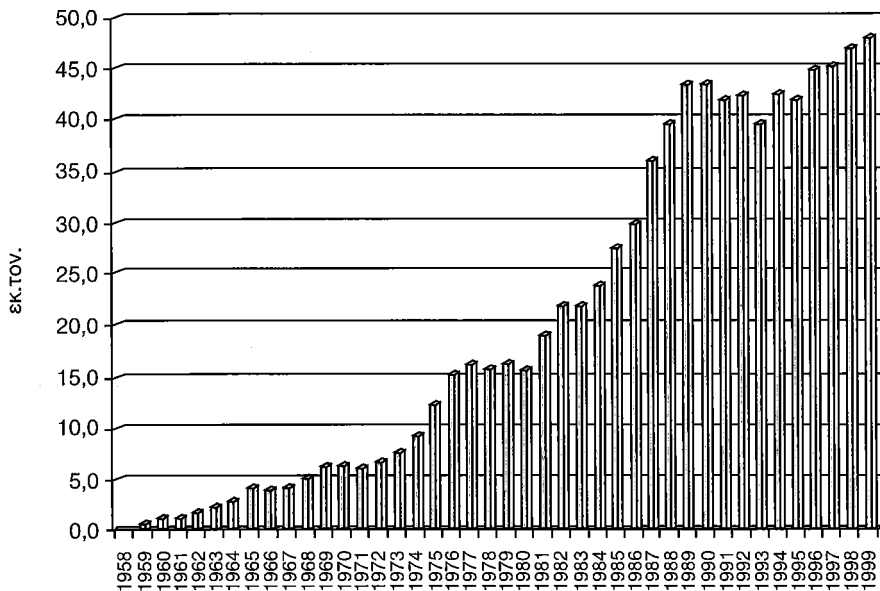
Στο διάγραμμα 5 δίνεται και η εξέλιξη της δύναμης του προσωπικού.

Από τα πιο πάνω διαγράμματα προκύπτουν τα εξής :

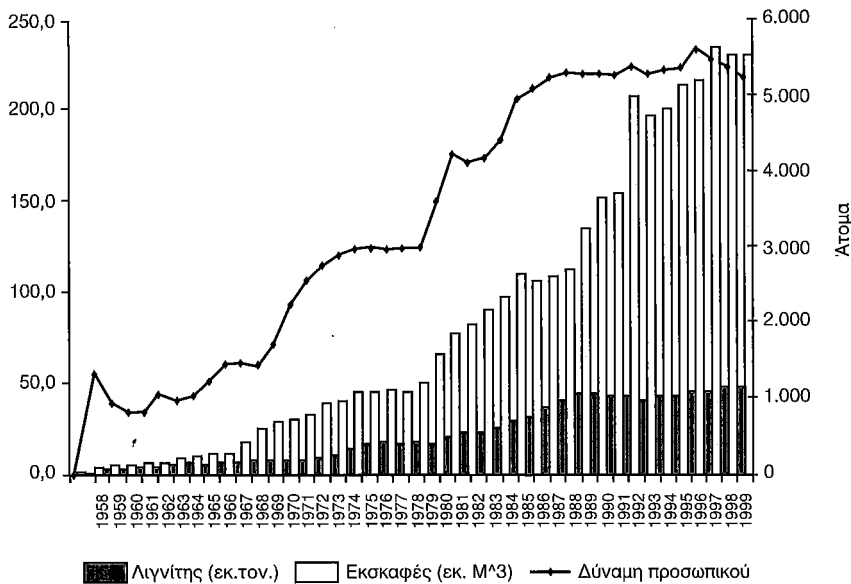
- ✓ **Η πολιτική που εφαρμόστηκε στον Τομέα των Ορυχείων, οδήγησε διαχρονικά σε μια θεαματική αύξηση της παραγωγής λιγνίτη και των συνολικών εκσκαφών.**



Διάγραμμα 3. Εξέλιξη συνολικών εκσκαφών παραχής λειτουργίας των Ορυχείων ΛΚΠ-Α.



Διάγραμμα 4. Εξέλιξη παραγωγής λιγνίτη παραχής λειτουργίας των Ορυχείων ΛΚΠ-Α.



Διάγραμμα 5. Εξέλιξη δύναμης προσωπικού σε σχέση με τις συνολικές εκσκαφές & την παραγωγή λιγνίτη.

- ✓ Η αύξηση της δύναμης του προσωπικού, παρακολούθησε κατά βάση την αναπτυξιακή πορεία των Ορυχείων, που συνδυάστηκε και με την ένταξη πρόσθετου παραγωγικού εξοπλισμού.

Η σημασία της αποκατάστασης περιβάλλοντος στα λιγνιτωρυχεία

Θα πρέπει παράλληλα όμως, να επισημανθεί ότι η εκμετάλλευση των λιγνιτωρυχείων και η λειτουργία των θερμοηλεκτρικών σταθμών συνδέεται και με περιβαλλοντικά προβλήματα και βλαπτικές επιπτώσεις, για τις οποίες σήμερα τουλάχιστον υπάρχουν και οικονομικές και τεχνολογικές δυνατότητες. Οφείλουμε όμως να αναγνωρίσουμε ότι σαν Επιχείρηση δεν εξαντλήσαμε στο παρελθόν τις δυνατότητες μας για περιορισμό μέχρι αναστροφή του μεγάλου περιβαλλοντικού προβλήματος της περιοχής.

Στο σημείο αυτό είναι σκόπιμο να δούμε πως αντιμετωπίζει σήμερα η Επιχείρηση το θέμα της προστασίας και αποκατάστασης του περιβάλλοντος στα λιγνιτωρυχεία και να περιγράψουμε συνοπτικά τα μέτρα, που προωθήθηκαν τα τελευταία χρόνια.

Κατά την εκμετάλλευση του λιγνίτη στα επιφανειακά ορυχεία δημιουργούνται τεράστιες εκσκαφές και αποθέσεις, που έχουν σαν αποτέλεσμα:

- τη δέσμευση μεγάλων εκτάσεων γης, για μεγάλα χρονικά διαστήματα
- την πρόκληση σοβαρών αλλοιώσεων στη μορφολογία και αισθητική της περιοχής
- τη διατάραξη της χλωρίδας και της πανίδας
- τη διατάραξη της ισορροπίας των επιφανειακών και υπόγειων νερών
- τη μεταβολή της κοινωνικο-οικονομικής δομής της περιοχής.

Αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων

Όπως προαναφέρθηκε η δέσμευση μεγάλων εκτάσεων, η πρόκληση αλλοιώσεων στη μορφολογία της περιοχής, η διατάραξη της χλωρίδας και πανίδας, αποτελούν τις βασικές αιτίες περιβαλλοντικών οχλήσεων, που δημιουργούν τα ορυχεία.

Το ΛΚΠ-Α, από την έναρξη λειτουργίας του, έκανε σοβαρές προσπάθειες να αποκαθιστά κατά τον καλύτερο τρόπο τις τελικές επιφάνειες, που προκύπτουν μετά την εκμετάλλευση του λιγνίτη και να λαμβάνει μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος.

Τα άμεσα μέτρα, που προωθήθηκαν στην κατεύθυνση της προστασίας και αποκατάστασης του περιβάλλοντος στα ορυχεία, έχουν συνοπτικά ως εξής:

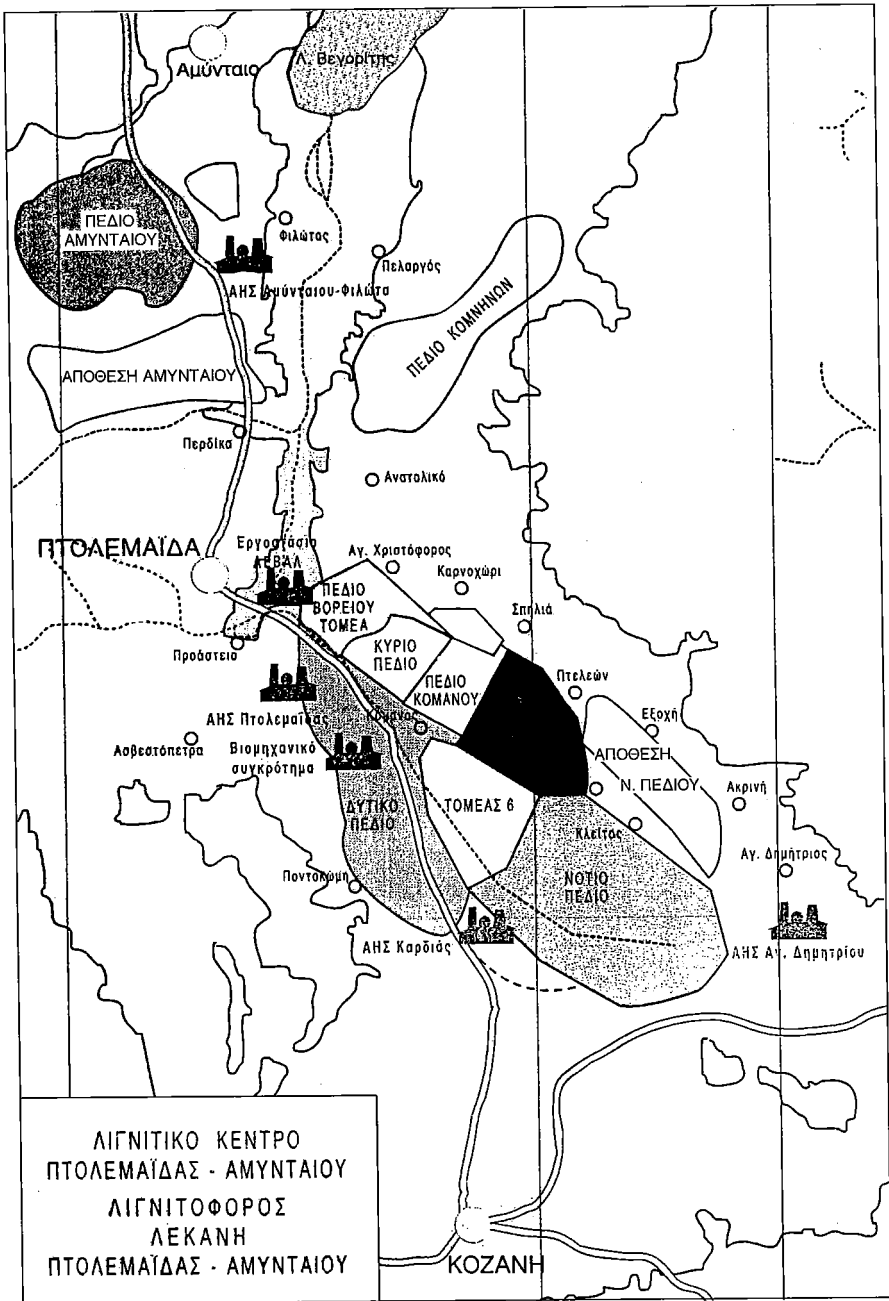
α) Εκπόνηση ειδικής μελέτης “περιβαλλοντικού σχεδιασμού”, το βασικό πλαίσιο της οποίας προβλέπει τα εξής:

- οργάνωση των υπηρεσιών και ανάληψη συγκεκριμένων ευθυνών τήρησης των περιβαλλοντικών όρων, που καθορίζουν οι σχετικές περιβαλλοντικές μελέτες
- συστηματικές μετρήσεις όλων των περιβαλλοντικών παραμέτρων και σχεδίαση μέτρων αντιμετώπισης
- συστηματοποίηση του αρχείου της ισχύουσας Νομοθεσίας
- καταγραφή όλων των περιβαλλοντικών προβλημάτων του ΛΚΠ-Α.

β) Κατάρτιση 5ετούς προγράμματος έργων περιβάλλοντος 1996-2000, στο οποίο προβλέπονται ανά έτος 1,2 δις δρχ. για το χώρο των λιγνιτωρυχείων.

Παρακάτω αναφέρονται επιγραμματικά μερικά από τα έργα-δράσεις της περιόδου 1994-99 και εκτελέστηκαν στα πλαίσια του ως άνω προγράμματος.

- Αποκαταστάθηκαν τελικές επιφάνειες 20.200 στρεμμάτων και βρίσκονται σε στάδιο αποκατάστασης άλλα 6.000 στρέμματα (οι αποκαταστάσεις αφορούν διαμορφώσεις των τελικών επιφανειών, κάλυψη μεγάλου μέρους σε γόνιμο έδαφος, έργα υποδομής, αρδευτικά δίκτυα, κλπ.). Στο χώρο 4 δίνονται οι τελικές επιφάνειες των νέων εδαφών, που έχουν διαμορφωθεί στα ορυχεία και η κατάσταση από πλευράς αποκατάστασης του περιβάλλοντος.
- Ανά έτος φυτεύονται 400.000 δενδρύλλια περίπου, με αποτέλεσμα σήμερα να έχουν φυτευθεί συνολικά 6.500.000 δένδρα περίπου, καλύπτοντας έκταση 10.000 στρεμμάτων.
- Συνεχίζονται με μεγάλη επιτυχία οι πειραματικές καλλιέργειες στα νέα ε-



Χάρτης 3. Λιγνιτοφόρος λεκάνη Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου.

δάφη, που ξεκίνησαν από το 1986 και σε συνεργασία με Πανεπιστημιακούς φορείς συστηματοποιούνται με στόχο τη μεγαλύτερη δυνατή στρεμματική απόδοση.

- Κατασκευάστηκε και λειτουργεί στην εσωτερική απόθεση Κ. Πεδίου καταφύγιο μικρών ζώων για την προστασία της πανίδας στην περιοχή.
- Βρίσκεται σε στάδιο ολοκλήρωσης επιδεικτικό δασοπονικό πάρκο, δίπλα στο εκθεσιακό Κέντρο για την επιμόρφωση των μαθητών, που επισκέπτονται το ΛΚΠ-Α και ξεπερνούν ανά έτος τις 5.000.
- Ολοκληρώνεται επίσης στο χώρο δίπλα από το Εκθεσιακό Κέντρο, το πιλοτικό θερμοκήπιο, έκτασης ενός (1) στρέμματος, για υδροπονικές καλλιέργειες και χρήση τηλεθέρμανσης σε συνεργασία με το ΕΘΙΑΓΕ.
- Γίνεται συστηματική διαχείριση των οικιακών αποβλήτων καθώς και των στερεών.
- Έγινε προμήθεια ειδικού κινητού σταθμού μέτρησης θορύβου και καταρτίζονται ειδικοί χάρτες για την περιοχή του ΛΚΠ-Α.
- Γίνεται οργανωμένη και σύμφωνα με την ισχύουσα Νομοθεσία, διαχείριση των ελαιολιπαντικών.

Από τα ανωτέρω γίνεται κατανοητό ότι η προστασία και αποκατάσταση του περιβάλλοντος αποτελεί για την Επιχείρηση θέμα μεγάλης οικονομικής, κοινωνικής και πολιτικής σημασίας.

Η ΔΕΗ κινείται προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης των εδαφών και την αναβάθμιση του περιβάλλοντος της περιοχής με στόχο στο τέλος της εκμετάλλευσης, να επιστρέψει ένα νέο χώρο, βελτιωμένο, που να συνδέεται αισθητά και αρμονικά με το υπόλοιπο τοπίο.

Τα πλεονεκτήματα της λιγνιτικής δραστηριότητας και οι προοπτικές του λιγνίτη με τις επερχόμενες αλλαγές

Πλεονεκτήματα λιγνιτικής δραστηριότητας

Η λιγνιτική δραστηριότητα, που αναπτύχθηκε μέχρι σήμερα στο Ν. Κοζάνης και στη Δυτική Μακεδονία γενικότερα, για την ενεργειακή αξιοποίηση του εκτεταμένου κοιτάσματος της λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας, αποτελεί μια εθνική επιτυχία αφού χάρις στο λιγνίτη που εξορύσσεται στα λιγνιτωρυχεία του ΛΚΠ-Α η ΔΕΗ δημιούργησε το μέγιστο μεταπολεμικό επίτευγμα της χώρας, που είναι η αξιοπίστη κάλυψη των πάσης φύσεως αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια στη χώρα μας.

Με την πραγματοποίηση επενδύσεων εντάσεως κεφαλαίου, αξιοποίησε το σημαντικότερο - ενεργειακό φορέα της χώρας, το κοιτάσμα Πτολεμαΐδας, που στην τελευταία 5ετία από μόνο του (χωρίς τη Μεγαλόπολη), καλύπτει το 65% των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια, γεγονός που επέτρεψε την προώθηση του εξηλεκτρισμού ως και το τελευταίο χωριό της Ελληνικής επικράτειας και το σημαντικότερο

με την μικρότερη για τον οικιακό καταναλωτή τιμή της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Τα πλεονεκτήματα του λιγνιτικού προσανατολισμού των μέχρι σήμερα αναπτυξιακών προγραμμάτων της ΔΕΗ, για την περιοχή και τη χώρα μας γενικότερα, μπορεί να συνοψισθούν στα εξής:

➤ *Οικονομικότητα Λιγνίτη*

Η ΔΕΗ στηρίζοντας τις τελευταίες 10ετίες την ηλεκτροπαραγωγή στο λιγνίτη εξασφάλισε, χάρις σ' ένα εκτεταμένο επενδυτικό πρόγραμμα, τις χαμηλότερες τιμές ρεύματος στην Ευρώπη.

Επίσης από τα διαθέσιμα οικονομικά στοιχεία, προκύπτει ότι το μέσο κόστος της λιγνιτικής KWh κατά την τελευταία 5ετία διαμορφώθηκε, κατά μέσο όρο, για το σύνολο των λιγνιτικών σταθμών περίπου στις 10 δρχ./KWh στην έξοδο των σταθμών παραγωγής, που είναι το χαμηλότερο σε σύγκριση με το αντίστοιχο κόστος όλων των άλλων ανταγωνιστικών καυσίμων.

➤ *Εξοικονόμηση Συναλλάγματος*

Η χρησιμοποίηση του λιγνίτη υποκαθιστά εισαγόμενα καύσιμα ή ηλεκτρική ενέργεια αξίας περίπου 325 δις δρχ./έτος. Το μέγεθος αυτό από μόνο προσδιορίζει τη σημασία της λιγνιτικής δραστηριότητας στην ανάπτυξη της Εθνικής οικονομίας.

➤ *Ασφάλεια Εφοδιασμού*

Το στοιχείο αυτό προδίδει μεγάλη οικονομική και πολιτική σημασία στον ελληνικό λιγνίτη, ιδιαίτερα αν ληφθεί υπόψη ότι υπάρχει σε μεγάλη ποσότητα και εξορύσσονται υπαίθρια και σχετικά εύκολα. Η δυνατότητα μακροπρόθεσμης πρόβλεψης της τιμής του, που με βάση τις αξιόπιστες Μεταλλευτικές Μελέτες δεν προβλέπεται αύξηση, σε σταθερές τιμές του κόστους εξόρυξης του λιγνίτη, αυξάνουν επιπρόσθετα τη σημασία του όσον αφορά την ενεργειακή ασφάλεια της χώρας.

Αντίθετα η εισαγωγή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου εξαρτώνται από τα δρώμενα στο διεθνές πολιτικοοικονομικό σκηνικό και η τιμή των αποτελεί ένα άγνωστο παράγοντα, που δυσκολεύει τον οικονομικό σχεδιασμό της χώρας. Επιπρόσθετα η εισαγωγή τους προϋποθέτει τη διαρροή μεγάλων συναλλαγματικών αποθεμάτων και την απώλεια θέσεων εργασίας με ιδιαίτερα αρνητικές επιπτώσεις στην περιφερειακή ανάπτυξη της χώρας μας.

Η χώρα μας βρίσκεται σε μια περιοχή απρόβλεπτη και ανεξέλεγκτη από πλευράς ασφάλειας και συγκρούσεων και επί πλέον διανύουμε μια εποχή όχι ήρεμη και ως εκ τούτου η ασφάλεια που παρέχει ο λιγνίτης, αποτελεί βασικό παράγοντα, για τη χάραξη της ενεργειακής πολιτικής στη χώρας μας.

➤ *Ο Λιγνίτης είναι εγχώριος*

Ο παράγοντας αυτός είναι ξεχωριστής σημασίας, για τις περιοχές που λειτουργούν τα Ορυχεία και οι θερμοηλεκτρικές μονάδες.

Σύμφωνα με απολογιστικά οικονομικά στοιχεία από τη ΔΕΗ αποδίδονται στην τοπική κοινωνία της Δυτικής Μακεδονίας σε ετήσια βάση περίπου 90 δις, που ενισχύουν σημαντικά το τοπικό εισόδημα.

➤ *Πόρος ανάπτυξης βιομηχανικών περιοχών*

Ήδη μέσα στο 1997 θεσπίστηκε με νόμο το Τέλος ανάπτυξης των βιομηχανικών περιοχών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνιτικούς σταθμούς. Τα σημαντικά ποσά που διατίθενται από τη ΔΕΗ στο πλαίσιο του τέλους αυτού, αναμένεται να αποτελέσουν μοχλό ανάπτυξης για τους νομούς, που έχουν ανάλογη δραστηριότητα. Σε ετήσια βάση διατίθενται περίπου 2-2,5 δις δρχ. στο Νομό Κοζάνης, 0,5 δις δρχ. στο Νομό Φλώρινας και 0,6 δις δρχ. στο Νομό Αρκαδίας. Το τέλος ανάπτυξης υπολογίζεται ως το 0,4% επί του κύκλου εργασιών της ΔΕΗ.

➤ *Απασχόληση - Θέσεις εργασίας*

Η αξιοποίηση του κοιτάσματος και η λειτουργία των λιγνιτικών σταθμών στην περιοχή έχουν δημιουργήσει:

- 10.000 θέσεις εργασίας (8.500 άμεσες θέσεις)
- 300 θέσεις εργασίας με διμηνες συμβάσεις και απασχόληση μέσω τρίτων χωρίς να συνυπολογίζονται οι επιπλέον θέσεις εργασίας από τις δορυφορικές επιχειρήσεις, που αναπτύσσονται γύρω από τις δραστηριότητες της ΔΕΗ.

➤ *Τηλεθέρμανση*

Στην περιοχή Πτολεμαΐδας, τα λιγνιτωρυχεία και οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί διασφαλίζουν τη δυνατότητα συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμικής ενέργειας. Σήμερα η θέρμανση της Πτολεμαΐδας και της Κοζάνης γίνεται με ζεστό νερό, το οποίο εξασφαλίζεται από τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της περιοχής. Έτσι οι πόλεις αυτές, με τη συνεργασία της ΔΕΗ, προσφέρουν στους κατοίκους τους, με οικολογικό τρόπο, φθηνή οικιακή θέρμανση. Η τηλεθέρμανση είναι για την Ελλάδα μια νέα, πρωτοποριακή εφαρμογή, που ξεκίνησε για πρώτη φορά στην Πτολεμαΐδα, με τη συνεργασία της ΔΕΗ. Ήδη βρίσκονται σε εξέλιξη προγραμματισμοί για την τηλεθέρμανση των πόλεων του Αμυνταίου και της Φλώρινας.

Προοπτικές της λιγνιτικής δραστηριότητας

Η ήδη εκδοθείσα οδηγία, για την Ενιαία Ευρωπαϊκή Αγορά ενέργειας, έχει δημιουργήσει ένα νέο περιβάλλον διαφορετικό απ' αυτό που ίσχυε μέχρι σήμερα. Οι σημαντικές ανακατατάξεις και αλλαγές που επιφέρει η οδηγία αυτή στο χώρο της ενέργειας, σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, έχουν σαν αποτέλεσμα, να επηρεάζεται άμεσα ο ρόλος και η σημασία του λιγνίτη και ως εκ τούτου ή όλη λιγνιτική δραστηριότητα τίθεται αντιμέτωπη με ορισμένα κρίσιμα προβλήματα, που απαιτούν άμεση λύση.

Η δημιουργία της ενιαίας εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, θέτει τα

Ορυχεία μπροστά στην επιτακτική ανάγκη, να γίνει το προϊόν της περισσότερο ανταγωνιστικό και να προχωρήσει στην οργάνωσή τους με όρους αγοράς. Η ανταγωνιστικότητα των καυσίμων, γίνεται πλέον σημαντικός παράγοντας, για την επιλογή των νέων μονάδων, που θα προστεθούν στο σύστημα, αλλά και τη συνέχιση της λειτουργίας των παλιών.

Οι συντελούμενες αλλαγές στον ενεργειακό τομέα, επιβάλλουν τη διαμόρφωση μιας καινούργιας επιχειρηματικής στρατηγικής, προκειμένου ο λιγνίτης να διατηρήσει τη σημερινή θέση του στην ηλεκτροπαραγωγή.

Στους βασικούς άξονες της καινούργιας επιχειρηματικής στρατηγικής για τα επερχόμενα έτη, θα πρέπει να συμπεριληφθούν με απόλυτη προτεραιότητα οι παρακάτω στόχοι προκειμένου ο λιγνίτης να διατηρήσει και βελτιώσει την αξιοπιστία και ανταγωνιστικότητας.

- Αναβάθμιση του ανθρωπίνου δυναμικού με λήψη μέτρων για βελτίωση της συναίνεσης και ενεργοποίησης του προσωπικού στην υλοποίηση των στόχων του Επ. Προγραμματισμού. Το προσωπικό πρέπει να έχει αίσθημα ασφάλειας και να αισθάνεται ότι η πορεία του στην επιχείρηση δεν εξαρτάται από τις πολιτικές και ιδεολογικές προτιμήσεις του, αλλά από την προσφορά του.
- Αλλαγή νοοτροπίας διοικούντων και εργαζομένων και συνειδητοποίηση των χαρακτηριστικών και παραμέτρων της ανταγωνιστικής αγοράς, που διαμορφώνει η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι το επίπεδο λειτουργίας της λιγνιτικής δραστηριότητας στο σύνολό της θα πρέπει να είναι καλύτερο από το αντίστοιχο των ανταγωνιστών και ότι η οικονομικότητα του λιγνίτη θα πρέπει να επιβεβαιώνεται καθημερινά.
- Διαχείριση των πόρων με ιδιωτικοοικονομικά κριτήρια με υπερχομματική συναίνεση και εξασφάλιση διοικητικής συνέχειας και συνέπειας στη λειτουργία των Ορυχείων.
- Αύξηση της προσπάθειας, για προστασία και αποκατάσταση του περιβάλλοντος και εξασφάλιση της κοινωνικής αποδοχής με την εφαρμογή πιο επιθετικής περιβαλλοντικής και αναπτυξιακής πολιτικής.
- Ενθάρυνση των ιδιωτών, για τη δημιουργία δορυφορικών επιχειρήσεων στην ευρύτερη περιοχή των Ορυχείων, που θα αναλάβουν την υποστήριξη των λιγνιτωρυχείων και ΑΗΣ, τόσο στην αντιμετώπιση αιχμών, όσο και σε δραστηριότητες που έχουν τη δυνατότητα να είναι πιο αποδοτικές από τη ΔΕΗ.
- Εφαρμογή νέων τεχνολογιών καύσης του λιγνίτη στις νέες μονάδες, που να διαθέτουν υψηλό βαθμό απόδοσης και να είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον. Η περαιτέρω αναβάθμιση των εγκατεστημένων λιγνιτικών μονάδων, για την αύξηση του βαθμού απόδοσης, έχει πρώτη προτεραιότητα.

Σημαντικό βήμα στην κατεύθυνση αυτή, είναι και η δημιουργία θυγατρικών εταιριών, όπως έχει γίνει με την πλειοψηφία Ηλεκτρικών Επιχειρήσεων στην Ευ-

ρωπαϊκή Ένωση.

Μια προσέγγιση των δυνατοτήτων και των ευκαιριών που υπάρχουν, για δημιουργία τέτοιων επιχειρήσεων με τους τοπικούς φορείς (Τοπική Αυτοδιοίκηση) και τις παραγωγικές μονάδες της περιοχής είναι:

- **Αξιοποίηση τέφρας**
- **Αξιοποίηση θερμικής ενέργειας - θερμικά απόβλητα**
- **Χρησιμοποίηση ξηρού λιγνίτη, που παράγεται στο βιομηχανικό συγκρότημα του ΛΚΠ-Α για τηλεθέρμανση οικισμών του Νομού Κοζάνης και της Δυτικής Μακεδονίας**
- **Οργανοχουμικά λιπάσματα**
- **Συνεργεία υποστήριξης της λειτουργίας των Ορυχείων**
- **Παραγωγή γνώσεων.**

Οι τοπικοί φορείς σε συνεργασία με τις Υπηρεσίες της ΔΕΗ επιβάλλεται να ασχοληθούν πιο ενεργά με τον προβληματισμό, που δημιουργείται γύρω από την κύρια και τις παράλληλες δραστηριότητες της ΔΕΗ και να δουν με περισσότερη αισιοδοξία το μέλλον του τόπου μας.

Επίλογος

Μέσα στα 40 χρόνια που πέρασαν από την έναρξη της συστηματικής αξιοποίησης του κοιτάσματος Πτολεμαΐδας η πολυπαθής περιοχή μας μετεβλήθηκε στο μεγαλύτερο Ενεργειακό & Βιομηχανικό Κέντρο της χώρας μας και σ' ένα από τα μεγαλύτερα Ενεργειακά Κέντρα της Ευρώπης. Η ανάπτυξη του Νομού Κοζάνης και ειδικότερα της Πτολεμαΐδας υπήρξε ραγδαία και δυναμική, που ξεπέρασε κάθε πρόβλεψη. Η παλιά ηρεμία της γεωργοκτηνοτροφικής περιοχής σφύζει τώρα από ζωή, με ικανοποιητικό εισόδημα των εργαζομένων, ισχυρές οικονομικές μονάδες, κοινωνική και πολιτιστική ανάπτυξη κλπ. Βέβαια η ανάπτυξη και η πρόοδος έχει και τις αδύνατες πλευρές.

Ας προσπαθήσουμε να μειώσουμε τις βλαπτικές συνέπειες όλοι μαζί Επιχείρηση, Πολιτεία και φορείς της τοπικής κοινωνίας και ας μη μεμψιμοιρούμε για αυτές τις συνέπειες της ανάπτυξης.

Είναι βέβαιο ότι η λιγνιτική περίοδος, που ακόμα έχει πολύ δρόμο να διανύσει (50-60 χρόνια), αποτελεί τον πιο σημαντικό και καθοριστικό ιστορικό σταθμό του τόπου αυτού. Με την αξιοποίηση των λιγνιτών Πτολεμαΐδας δε μεταβλήθηκε μόνο η Δυτική Μακεδονία, αλλά ολόκληρη η Ελλάδα.

Στις νέες συνθήκες, που δημιουργούνται με την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας για να διατηρήσει ο λιγνίτης Πτολεμαΐδας τη σημερινή κυρίαρχη θέση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας, θα πρέπει να προωθηθούν με προτεραιότητα:

- **Περαιτέρω μείωση του κόστους λιγνίτη και διατήρησή του σε χαμηλά επίπε-**

δα σε σχέση με τα άλλα καύσιμα.

- Συνέχιση με μεγαλύτερη ένταση της προσπάθειας για προστασία και αποκατάσταση του περιβάλλοντος στα Ορυχεία.
- Διατήρηση μόνιμα καλών και αξιόπιστων σχέσεων με τις τοπικές κοινωνίες.

Με τα μέτρα αυτά πιστεύεται ότι ο λιγνίτης θα αποτελέσει και στο νέο αιώνα μια επιλογή, που εκτός από οικονομική και ασφαλής, θα είναι, όπως και το παρελθόν, κοινωνικά αποδεκτή.

Βιβλιογραφία

- ΤΣΟΤΣΟΡΟΣ Σ. “Ενέργεια και ανάπτυξη στη Μεταπολεμική περίοδο”, Κέντρο Νεοελληνικών Ερευνών Εθνικού Ιδρύματος Ερευνών, Αθήνα 1995.
- ΓΚΡΟΣ Γ. “Ο ενεργειακός δρόμος στον 21ο αιώνα”, Τεχνικά Χρονικά, 5/97, σελ. 23-25.
- ΜΠΟΥΣΙΟΣ ΑΙΜ. “Το έργο της Πτολεμαΐδας και η Ιστορία της ΛΙΠΤΟΛ”, ΚΤΕΣΚ, Αθήνα 1997.
- ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ Κ. “Ελληνικοί Λιγνίτες - Έρευνες - Δυναμικό”, Διημερίδα ΣΜ/ ΔΕΗ, ΤΕΕ, Πτολεμαΐδα ΟΚΤ. 1992.
- ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ Κ., ΚΩΤΗΣ Θ., ΜΕΤΑΞΑΣ Α., ΠΛΟΥΜΙΔΗΣ Μ., ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Δ. “Η λιγνιτοφορία της λεκάνης Πτολεμαΐδας”, Διημερίδα ΣΜ/ ΔΕΗ - ΤΕΕ, Πτολεμαΐδα, ΟΚΤ. 1992.
- ΚΑΒΟΥΡΙΔΗΣ Κ. “Η αξιοποίηση του κοιτάσματος Πτολεμαΐδας - συμβολή στο ενεργειακό ισοζύγιο - σημερινή κατάσταση και προοπτικές με την απελευθέρωση της ηλεκτρικής ενέργειας”, Τεχνικά Χρονικά, 5/97, σελ. 79-96.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 158-176</p>
---	---	--

Ο ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΡΑΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΙΜΩΝ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΤΥΠΟΥ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ

Κ. Καβουρίδης¹, Μ. Γαλετάκης²

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η επίδραση της ρύπανσης/αραίωσης των εκσκαπόμενων λιγνιτικών στρωμάτων λόγω της συνεξόρυξης των αγόνων υλικών κατά τη διαδικασία της εκλεκτικής εκσκαφής στην ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων πολυστρωματικών λιγνιτικών κοιτασμάτων.

Στις βασικές παραμέτρους του αλγορίθμου, που αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό των εκμεταλλεύσιμων λιγνιτικών αποθεμάτων περιλαμβάνεται και ο συντελεστής ρύπανσης/αραίωσης ή εναλλακτικά το ισοδύναμο πάχος ρυπαντικού στρώματος ανά στρώμα εκμετάλλευσης.

Για τον υπολογισμό του πάχους του ισοδύναμου ρυπαντικού στρώματος αναπτύχθηκε ένα αιτιοκρατικό πρότυπο που βασίζεται στα γεωμετρικά και κοιτασματολογικά δεδομένα του μετώπου και τις παραμέτρους του εξοπλισμού εξόρυξης.

Το αιτιοκρατικό αυτό πρότυπο χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των λιγνιτικών γεωτρήσεων στα κοιτάσματα των Ορυχείων Νοτίου Πεδίου (Τομείς 1-2), Τομέα 6 και Μαυροπηγής. Το πάχος του ισοδύναμου ρυπαντικού στρώματος που υπολογίστηκε για τα προαναφερθέντα τρία κοιτάσματα κυμαίνεται από 14-7,5 cm, για εκσκαφείς με διάμετρο καδοτροχού από 12 έως 7,5 m και για διάφορες συνθήκες στη γεωμετρία εκσκαφής.

Για το κοιτάσμα του Τομέα 6, που η εκμετάλλευσή τους βρίσκεται σε εξέλιξη, υπολογίστηκαν τα απολήψιμα αποθέματα με βάση τον αναπτυχθέντα αλγόριθμο για διάφορα πάχη ρυπαντικού στρώματος και τα αποτελέσματα αυτά συσχετίστηκαν με τα αντίστοιχα που επιτεύχθηκαν στην πράξη.

Από τη σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αυτών, προκύπτει ότι το πάχος ρυπαντικού, που δίνει καλή συσχέτιση με τα αποτελέσματα εκμετάλλευσης, κυμαίνεται από 7,5-1,0 cm, γεγονός που επιβεβαιώνει την αξιοπιστία του αλγορίθμου.

-
1. Διευθυντής ΛΚΠ-Α/ΔΕΗ - Αν. Καθηγητής στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, 50200 Πτολεμαΐδα.
 2. Δρ. Μεταλλειολόγος Μηχανικός, Τμήμα Μηχ. Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, 73100 Χανιά.

1. Το πολυστρωματικό κοίτασμα της λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας

Στη Δυτική Μακεδονία και ειδικότερα στην τεκτονική τάφρο, που αναπτύσσεται στον άξονα **Φλώρινα-Πτολεμαΐδα-Κοζάνη-Ελασσόνα** είναι συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο δυναμικό της χώρας μας. Τα συνολικά βεβαιωμένα αποθέματα ανέρχονται σε 4,3 δις τον., που αποτελούν τα 2/3 των συνολικών λιγνιτικών αποθεμάτων της χώρας μας. Απ' αυτά τα 3,7 δις τον. είναι, με τα σημερινά οικονομοτεχνικά δεδομένα, υπαίθρια απολήψιμα.

Ο μεγάλος όγκος των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων, 2,1 δις τον., περίπου είναι συγκεντρωμένος στα κοιτάσματα που βρίσκονται μεταξύ Κοζάνης και Πτολεμαΐδας.

Η λιγνιτοφορία των ως άνω κοιτασμάτων αναπτύσσεται σε πολλά επίπεδα στρώματα μικρού και ποικίλου πάχους, που εναλλάσσονται με ενδιάμεσες στείρες επιστρώσεις διαφορετικής λιθολογικής και πετρογραφικής σύστασης.

Η πολυστρωματικότητα των κοιτασμάτων της περιοχής Πτολεμαΐδας συσχετίζεται με τον τρόπο γένεσης των κοιτασμάτων.

Τα στρώματα του λιγνίτη προήλθαν από την ενανθράκωση κύρια κατώτερων υδροβίων-υδροχαρών φυτών (βρύα, καλάμια κλπ.), που αναπτύχθηκαν στη φάση του νεογενούς έλους, ενώ κατά τη φάση των λιμνών από τα φερτά υλικά προήλθαν τα ενδιάμεσα στρώματα στείρων (μάργες, άργιλλος κλπ.). Έτσι προέκυψαν τα λιγνιτικά στρώματα μορφής Zebra-σάντουιτς, ή πολυστρωματικά κοιτάσματα (Σχ. 1). Το πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων και των ενδιάμεσων στείρων ενστρώσεων ποικίλλει από λίγα εκατοστά (~3 cm) μέχρι 5,0 m περίπου.

Η συχνή εναλλαγή αγόνων και λιγνιτικών στρωμάτων αποτελεί δυσμενή παράγοντα για το Ορυχείο, αφού από τη μια επαυξάνει το κόστος εκμετάλλευσης με την επιβαλλόμενη, λόγω του μικρού πάχους, εκλεκτική εξόρυξη και από την άλλη επιφέρει αναπόφευκτη ανάμειξη του λιγνίτη με τις άγονες λεπτές επιστρώσεις, που δεν μπορούν να διαχωρισθούν και απομακρυνθούν, με αποτέλεσμα τη χειροτέρευση της ποιότητας του ήδη φτωχού σε θερμίδες και πλούσιου σε τέφρα λιγνίτη.

2. Σύντομη περιγραφή ορυχείων και μεθόδου εκμετάλλευσης

Τα κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά των πολυστρωματικών κοιτασμάτων της Πτολεμαΐδας, σε συνδυασμό με τους αναγκαίους υψηλούς παραγωγικούς ρυθμούς, επέβαλαν ήδη προ 40 ετών την επιλογή της επιφανειακής εκμετάλλευσης με την εφαρμογή της συνεχούς εκσκαφής, μεταφοράς και απόθεσης, γνωστής ως "Γερμανική μέθοδος".

Η μέθοδος αυτή συνδυάζει τη χρησιμοποίηση ηλεκτροκίνητων μηχανημάτων μεγάλης δυναμικότητας συνεχούς λειτουργίας, εκσκαφής (καδοφόροι εκσκαφείς), μεταφοράς (ταινιόδρομοι) και απόθεσης (αποθέτες).

Σήμερα στην ευρύτερη περιοχή Πτολεμαΐδας λειτουργούν τα παρακάτω 4 μέγαρα συγκροτήματα Ορυχείων:

✓ **Ορυχείο Κυρίου Πεδίου.** Περιλαμβάνει τις εκμεταλλεύσεις Βορείου Πεδίου και

Πεδίου Κομάνου. Το σύστημα αυτό έχει ετήσια παραγωγή λιγνίτη 8-10 εκ. τον και καλύπτει τις ανάγκες του ΑΗΣ Πτολίδας και του Βιομηχανικού Συγκροτήματος της τέως ΛΙΠΤΟΛ.

- ✓ ***Ορυχείο Πεδίου Καρδιάς.** Από το 1995 το Ορυχείο αυτό περιλαμβάνει την εκμετάλλευση του Τομέα 6 με ετήσια παραγωγή λιγνίτη 15 εκ. και καλύπτει τις ανάγκες του ΑΗΣ Καρδιάς.*
- ✓ ***Ορυχείο Νοτίου Πεδίου.** Περιλαμβάνει την εκμετάλλευση του ομώνυμου Πεδίου. Είναι το μεγαλύτερο Ορυχείο της ΔΕΗ με προγραμματισμένη ετήσια παραγωγή λιγνίτη 18-22 εκ. τον., ποσότητα επαρκή για να καλύπτει τις ανάγκες των πέντε μονάδων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου.*
- ✓ ***Ορυχείο Πεδίου Αμυνταίου.** Περιλαμβάνει τις εκμεταλλεύσεις του Πεδίου Αναργύρων και του κυρίως Πεδίου Αμυνταίου. Το σύστημα αυτό έχει ετήσια παραγωγή λιγνίτη 8 εκ. τον. και καλύπτει τις ανάγκες του ομώνυμου ΑΗΣ.*

Τα λιγνιτωρυχεία του ΛΚΠ-Α έχουν σημερινό (1999) ετήσιο ρυθμό παραγωγής λιγνίτη **50 εκ. τον.** και συνολικής διακίνησης **250 εκ. Μ³ στ.** Η παραγωγή του ΛΚΠ-Α καλύπτει πάνω από το 80% της συνολικής παραγωγής από τα λιγνιτωρυχεία της ΔΕΗ, (ΛΚΠ-Α και ΛΚΜ).

Το προσωπικό που σήμερα απασχολείται στα Ορυχεία ανέρχεται σε 5.500 άτομα.

3. Μεθοδολογία υπολογισμού των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων πολυστρωματικών λιγνιτικών κοιτασμάτων

Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό των λιγνιτικών απολήψιμων αποθεμάτων πολυστρωματικών κοιτασμάτων βασίζεται στην αξιολόγηση των διαθέσιμων γεωτρητικών δεδομένων της ερευνηθείσας περιοχής του Ορυχείου με την εφαρμογή κατάλληλων κριτηρίων αξιολόγησης.

Τα κριτήρια αυτά εξαρτώνται από τον εξοπλισμό εξόρυξης και τις προδιαγραφές του καυσίμου.

Το πρώτο και βασικό στάδιο της μεθοδολογίας αξιολόγησης των γεωτρήσεων, για τον υπολογισμό των απολήψιμων αποθεμάτων ενός πολυστρωματικού κοιτάσματος, αφορά την ενοποίηση των διακεκριμένων λιγνιτικών και ενδιάμεσων στείρων ενστροφώσεων σε εκμεταλλεύσιμα και σε στείρα στρώματα ή πακέτα (blocks) εκμετάλλευσης, που είναι δυνατή η εκλεκτική εκσκαφή τους με την επιλεγείσα τεχνολογία εκμετάλλευσης. Οι βασικές παράμετροι που υπεισέρχονται στη διαδικασία ενοποίησης των λιγνιτικών και ενδιάμεσων στείρων στρωμάτων και στον καθορισμό των απολήψιμων στρωμάτων είναι οι εξής:

- ✓ **Ελάχιστο πάχος εκλεκτικής εξόρυξης λιγνιτικού και στείρου στρώματος.**
- ✓ **Μέγιστη επιτρεπόμενη τέφρα λιγνιτικού κοιτάσματος. Τα ενοποιημένα στρώματα που η ποιότητά τους είναι ανώτερη του καθορισθέντος ορίου χαρακτηρίζονται ως τεχνικός/απολήψιμος λιγνίτης, ενώ εκείνα με κατώτερη ποιότητα ως**

τεχνικά στείρα.**✓ Ο βαθμός ρύπανσης /αραίωσης και οι απώλειες εκμετάλλευσης.**

Με τον καθορισμό των παραπάνω παραμέτρων είναι δυνατόν να υπολογισθεί η ποσότητα και ποιότητα του απολήψιμου λιγνίτη με την εφαρμογή είτε συμβατικών-γεωμετρικών μεθόδων είτε στατιστικών και γεωστατιστικών μεθόδων, ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα.

Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε από τη ΔΕΗ λειτουργεί ως εξής:

Οι ενδιάμεσες στρώσεις άγονων υλικών που έχουν πάχος μεγαλύτερο από αυτό που ορίστηκε ως ελάχιστο πάχος εκλεκτικής εξόρυξης χαρακτηρίζονται ως απορριπτόμενο υλικό και δεν συμπεριλαμβάνονται στα εκμεταλλεύσιμα λιγνιτικά στρώματα.

Οι υπόλοιπες στρώσεις λιγνίτη και αγόνων υλικών, που παρεμβάλλονται μεταξύ δύο από τις προαναφερόμενες απορριπτόμενες στρώσεις σχηματίζουν το ενοποιημένο στρώμα (block ή πακέτο εκσκαφής). Λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες εκμετάλλευσης και την επιφανειακή ρύπανση, αν το πάχος του τμήματος αυτού είναι μεγαλύτερο από το ελάχιστο πάχος που έχει οριστεί και αν η περιεκτικότητά του σε τέφρα επί ξηρού είναι μικρότερη από το ανώτατο όριο που επίσης έχει οριστεί, τότε το συγκεκριμένο τμήμα θεωρείται ως λιγνίτης.

Μετά την ολοκλήρωση της αξιολόγησης κάθε γεώτρησης, το πρόγραμμα δημιουργεί ένα τετραγωνικό κανάβο στις κορυφές του οποίου υπολογίζεται το πάχος του λιγνίτη και των αγόνων υλικών και οι τιμές των ποιοτικών παραμέτρων, με βάση τα δεδομένα των τριών πλησιέστερων γεωτρήσεων και με την εφαρμογή της μεθόδου της αντίστροφης σταθμισμένης απόστασης (inverse weighted distance):

$$P = \frac{\sum_{i=1}^3 \left[\frac{P}{d_i^2} \right]}{\sum_{i=1}^3 \left[\frac{1}{d_i^2} \right]}$$

Όπου:

P = η παράμετρος παρεμβολής.

d_i = η απόσταση μεταξύ της κορυφής του κανάβου και της θέσης της γεώτρησης.

Στη συνέχεια το πρόγραμμα δίνει τα αποτελέσματα του υπολογισμού των μαζών στην προσδιορισμένη περιοχή του Ορυχείου (ανώτερο και κατώτερο επίπεδο και τα τελικά πρηνή εκσκαφής).

4. Η σημασία και οι μέθοδοι προσδιορισμού του συντελεστή ρύπανσης /αραίωσης

4.1. Η σημασία του συντελεστή ρύπανσης/αραίωσης - Ορισμοί

Η σημασία του συντελεστή ρύπανσης/αραίωσης στον ποσοτικό και ποιοτικό υπολογισμό των αποθεμάτων των λιγνιτικών κοιτασμάτων τύπου Zebra και ο καθο-

ρισμός των παραγόντων, που επηρεάζουν τον υπόψη συντελεστή, διερευνήθηκε για πρώτη φορά πειραματικά στο τέλος της 10ετίας του 1980 (ΚΑΒΟΥΡΙΑΔΗΣ & ΓΑΛΕΤΑΚΗΣ 1996).

Τα αποτελέσματα της έρευνας και τα στατιστικά στοιχεία της ποιότητας του τροφοδοτηθέντος λιγνίτη στους ΑΗΣ αποτέλεσαν τη βάση, για την ανάπτυξη ενός αλγορίθμου, που σήμερα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των αποθεμάτων πολυστρωματικών κοιτασμάτων. Στον αλγόριθμο αυτό η σωστή εκτίμηση του συντελεστή ρύπανσης/αραιώσης επηρεάζει καθοριστικά την ποσότητα και ποιότητα των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων. Οι άλλες παράμετροι του αλγορίθμου βασίζονται στα στοιχεία της κοιτασματολογικής έρευνας.

Επισημαίνεται ότι η ποσότητα και ποιότητα των απολήψιμων αποθεμάτων που υπολογίζονται με τις συμβατικές-γεωμετρικές μεθόδους, αποκλίνουν σημαντικά από τα πραγματικά στοιχεία αν στον αλγόριθμο δεν ληφθεί υπόψη ο συντελεστής ρύπανσης/αραιώσης και οι απώλειες εκμετάλλευσης. Συνεπώς η μη σωστή εκτίμηση του συντελεστή ρύπανσης/αραιώσης έχει καταστροφικές συνέπειες στη λειτουργία ενός λιγνιτικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αφού τα χαρακτηριστικά του προδιαγραφέντος καυσίμου, θα αποκλίνουν από την ποιότητα του εξορυσσόμενου λιγνίτη.

Με τον όρο ρύπανση ή αραιώση του λιγνίτη εννοείται ο υποβιβασμός της ποιότητας του εξορυσσόμενου λιγνίτη, λόγω της συναπόληψης στείρων ενστρώσεων κατά τη διαδικασία της εκλεκτικής εξόρυξης των λιγνιτικών στρωμάτων.

Με τον όρο απώλεια εννοείται η μείωση της ανάκτησης του λιγνίτη λόγω κύρια της αναγκαιότητας καθαρισμού του λιγνίτη στη διεπιφάνεια με τα στείρα στρώματα.

Η ρύπανση/αραιώση της ποιότητας και η επίδραση στα ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία λόγω της συνεξόρυξης των στείρων εξαρτώνται από τον τύπο του καδοφόρου εκσκαφέα (μήκος μπούμας καδοτροχού, διάμετρος καδοτροχού κλπ.), το πάχος και την κλίση των στρωμάτων, καθώς επίσης και από άλλους παράγοντες όπως εξηγείται στο επόμενο κεφάλαιο.

Η ρύπανση ή αραιώση διακρίνεται:

- Στη συστηματική ρύπανση, που λαμβάνει χώρα κατά τις εναλλαγές των πακέτων εκσκαφής, από τα απολήψιμα λιγνιτικά τμήματα στα αντίστοιχα στείρα (διεπιφάνειες τεχνικού λιγνίτη/τεχνικών ενδιαμέσων στείρων) και οφείλεται στην αδυναμία του εξορυκτικού εξοπλισμού να διαχωρίσει πλήρως τα δύο διαφορετικά στρώματα.
- Στη μη συστηματική ρύπανση εκμετάλλευσης που σχετίζεται με τον ανθρωπίνο παράγοντα και τις ιδιάζουσες συνθήκες μετώπου (κλίσεις στρωμάτων, τεκτονική κοιτάσματος, καιρικές συνθήκες κ.α.)

4.2. Μέθοδοι προσδιορισμού του συντελεστή ρύπανσης

Για τον υπολογισμό της ρύπανσης/αραιώσης, που προκαλείται κατά την εκλεκτική εξόρυξη λιγνιτικών κοιτασμάτων με καδοφόρο εκσκαφέα χρησιμοποιούνται

σήμερα οι παρακάτω μέθοδοι (GALETAKIS 1997, ΓΑΛΕΤΑΚΗΣ 1997).

- Εμπειρικές μέθοδοι που βασίζονται σε δεδομένα παλαιότερων όμοιων εκμεταλλεύσεων.
- Στατιστικές μέθοδοι που βασίζονται στην ανάλυση-συσχέτιση στοιχείων ποιότητας μεταξύ δειγμάτων γεωτρήσεων, δειγμάτων μετώπων και του ποιοτικού ελέγχου της παραγωγής (GALETAKIS 1997, GALETAKIS & KAVOURIDIS 1995).
- Μέθοδοι που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη όπως νευρωνικά δίκτυα και ασαφής λογική (ΜΕΒΟΡΑΧ & ΦΥΝΤΙΚΑΚΗΣ 1993). Πρόκειται για τεχνικές που αναπτύχθηκαν τα τελευταία χρόνια και βρίσκονται σε στάδιο εξέλιξης.
- Αιτιοκρατικές μέθοδοι. Ο υπολογισμός της ρύπανσης/αρραίωσης βασίζονται στην ανάπτυξη ενός μαθηματικού προτύπου για τον υπολογισμό της συστηματικής ρύπανσης λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους εκμετάλλευσης. Η συνολική ρύπανση υπολογίζεται με χρήση συντελεστών διόρθωσης για να συμπεριληφθεί και η μη συστηματική ρύπανση που δεν είναι εύκολο να εισαχθεί σ' ένα μαθηματικό πρότυπο. Η δυσκολία προσδιορισμού της τυχαίας ρύπανσης δεν μειώνει την αξία του μαθηματικού προτύπου, για τον υπολογισμό της συστηματικής ρύπανσης, επειδή αυτή αποτελεί την κυριότερη πηγή υποβάθμισης της ποιότητας και επιπλέον δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης αιτίου-αποτελέσματος.

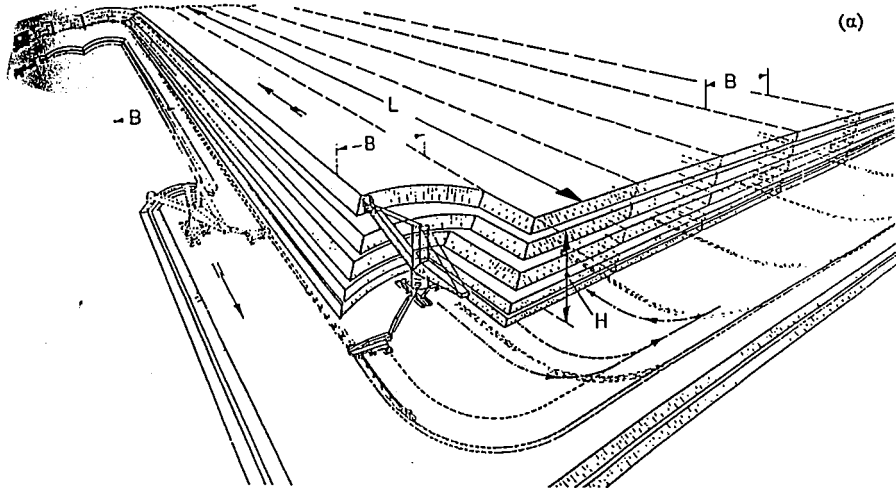
4.2.1. Αιτιοκρατικό πρότυπο

Η ανάπτυξη ενός αιτιοκρατικού προτύπου, βασίζεται στη διαδικασία εξόρυξης που εφαρμόζεται στην κατά μέτωπο εκσκαφή με καδοφόρο εκσκαφέα (ΜΕΒΟΡΑΧ & ΦΥΝΤΙΚΑΚΗΣ 1993).

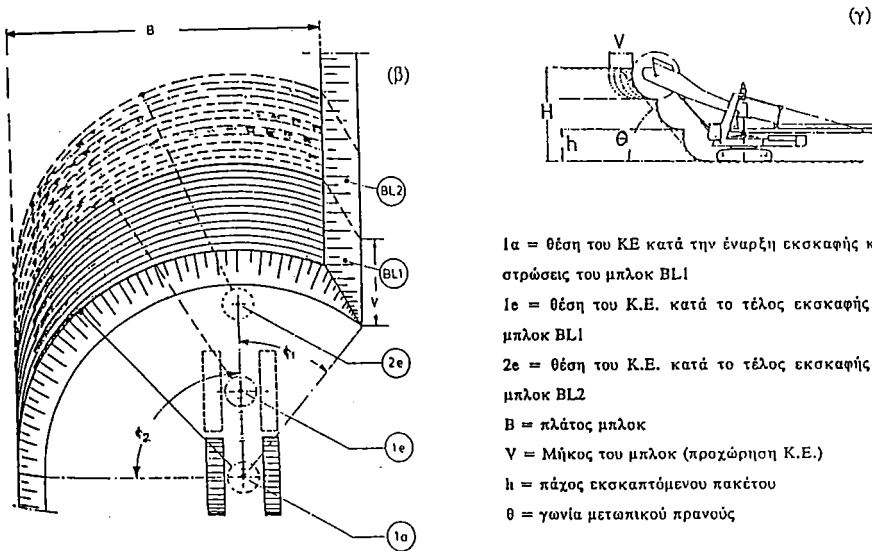
Στο σχήμα 1 δίνεται μια ιδέα της κατά μέτωπο εκλεκτικής εξόρυξης. Ο καδοτροχός περιστρέφεται με φορά αντίθετη των δεικτών του ρολογιού με ταυτόχρονη περιφορά του βραχίονα του καδοτροχού περί το κέντρο στήριξής του, εξορύσσοντας έτσι ένα όγκο δρεπανοειδούς κάτοψης και μεταβαλλόμενης διατομής, που στην πράξη ονομάζεται "πάσο". Ο εκσκαφέας στη συνέχεια προχωράει κατά ένα βήμα που είναι ίσο με το βάθος εντομής και εξορύσσει το επόμενο πάσο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου εξαντληθεί όλη η προχώρηση, οπότε ο καδοτροχός κατεβαίνει στο παρακάτω στρώμα.

Από την αναλυτική μελέτη της διαδικασίας εξόρυξης προέκυψε ότι η συστηματική ρύπανση και η απώλεια εκμετάλλευσης, είναι αποτέλεσμα δύο επιμέρους συνιστωσών. Το ένα τμήμα της συνολικής ρύπανσης και απώλειας, αποτελούν τα μη εκσκαπτόμενα υβώματα, που δημιουργούνται κατά την κοπή διαδοχικών πάσων και το εκσκαπτόμενο υλικό που διαφεύγει από τον κάδο προς το δάπεδο της εκσκαφής (Σχ. 2). Το δεύτερο τμήμα αποτελεί η ρύπανση και η απώλεια λόγω διεύθυνσης του καδοτροχού στα υπερκείμενα του εκσκαπόμενου πακέτου στρώματα, κατά την απόληψη του τελευταίου πάσου του πακέτου (Σχ. 3).

Για τον υπολογισμό των παραπάνω αναπτύχθηκε ένα αιτιοκρατικό πρότυπο υπολογισμού, που βασίζεται στα γεωμετρικά στοιχεία του μετώπου και τις παραμέ-



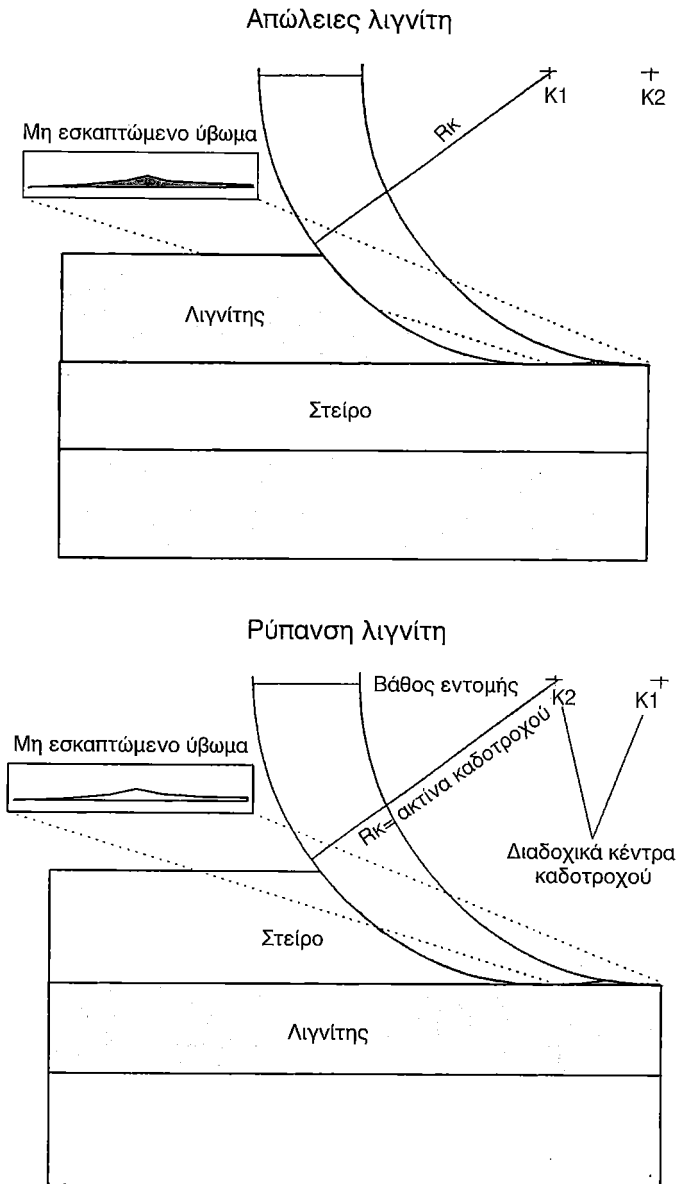
B = πλάτος μετώπου H = ύψος μετώπου L = μήκος μετώπου



- 1α = θέση του Κ.Ε. κατά την έναρξη εκσκαφής και στρώσεις του μπλοκ BL1
- 1ε = θέση του Κ.Ε. κατά το τέλος εκσκαφής μπλοκ BL1
- 2ε = θέση του Κ.Ε. κατά το τέλος εκσκαφής μπλοκ BL2
- B = πλάτος μπλοκ
- V = Μήκος του μπλοκ (προχώρηση Κ.Ε.)
- h = πάχος εκσκαπόμενου πακέτου
- θ = γωνία μεταπικτού πρανούς

Σχήμα 1. Εκσκαφή με καδοφόρο εκσκαφέα.

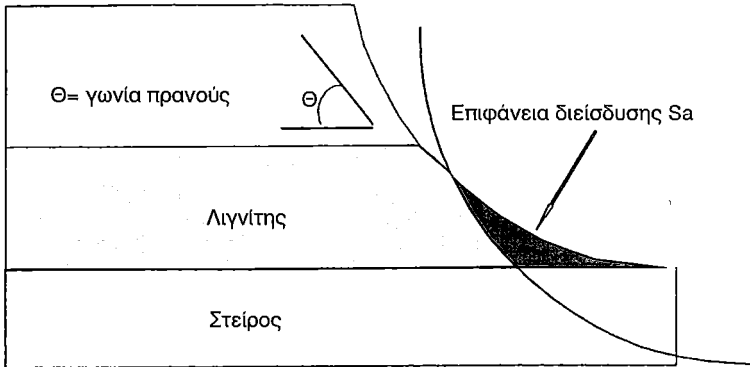
Figure 1. Excavation with bucket wheel excavator.



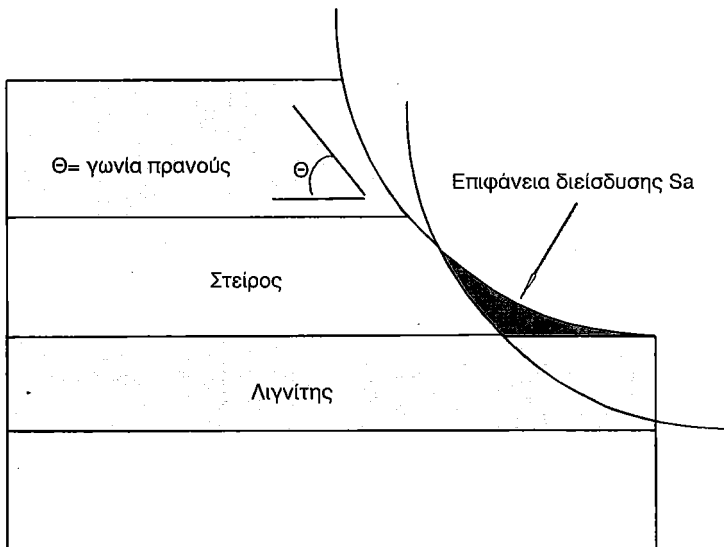
Σχήμα 2. Δημιουργία μη εσκαπτόμενων υβωμάτων.

Figure 2. Creation of the non-excavated rib.

Απώλειες λιγνίτη

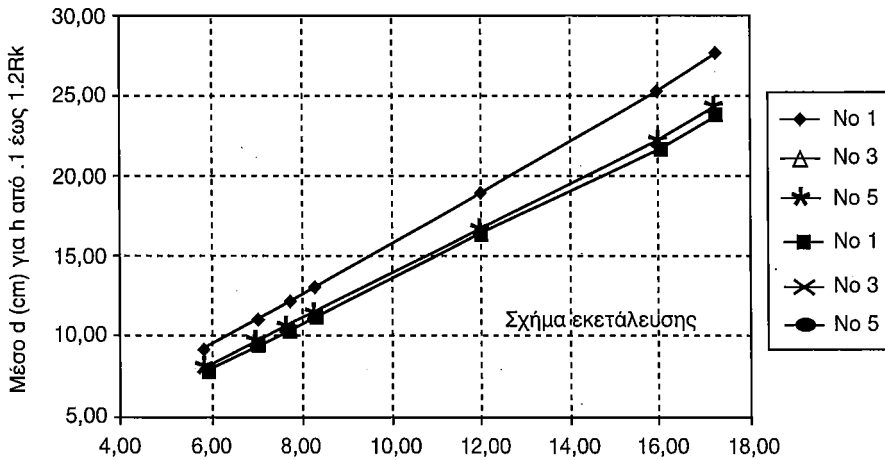


Ρύπανση λιγνίτη



Σχήμα 3. Διείσδυση του καδοτροχού στα υπερκείμενα στρώματα.

Figure 3. Penetration of bucket wheel to the upper layers.



Σχήμα 4. Συσχέτιση του d με τη διάμετρο του καδοτροχού για 3 διαφορετικές περιπτώσεις εκμετάλλευσης.

Figure 4. Dilution (d , cm) versus bucket-wheel diameter ($2R_k$) for different exploitation cases.

τρος του εξορυκτικού εξοπλισμού (ΓΑΛΕΤΑΚΗΣ 1997). Το ισοδύναμο πάχος ρυπαντικού στρώματος d , υπολογίστηκε σαν το άθροισμα των επιμέρους ρυπάνσεων d_u και d_a , που οφείλονται αντίστοιχα στα μη εκσκαπτόμενα υβώματα και στη διείδυση του καδοτροχού στο υπερκείμενο στρώμα. Το d αποδείχθηκε ότι είναι συνάρτηση των παρακάτω παραγόντων:

$$d = d_a + d_u = f(a_0, R_k, \varphi_1, \varphi_2, h, h', \theta, n)$$

όπου

a_0 : βήμα προώθησης του καδοφόρου εκσκαφέα

R_k : ακτίνα καδοτροχού

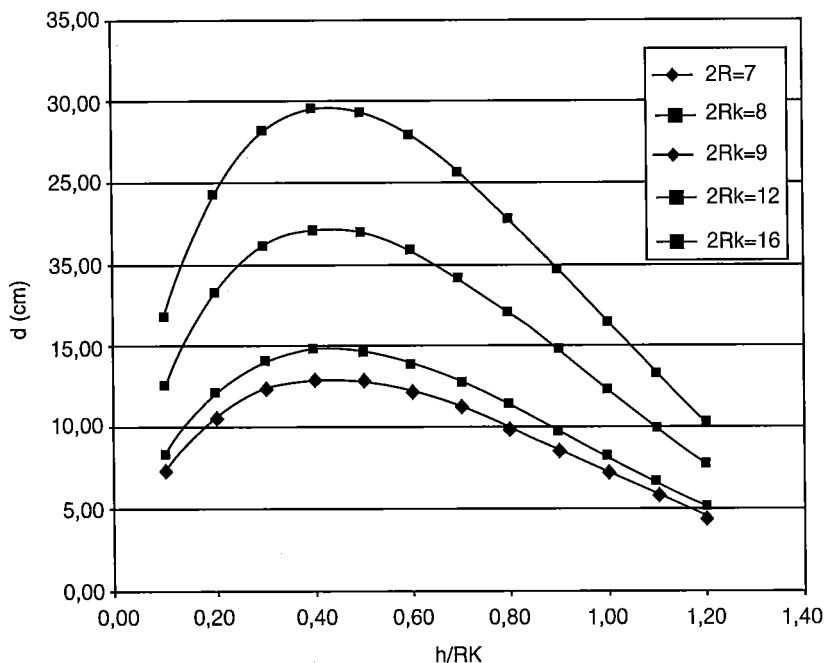
φ_1, φ_2 : γωνίες περιφοράς βραχίονα καδοτροχού

h, h' : πάχος εκσκαπτόμενου & υπερκείμενου στρώματος αντίστοιχα

θ : γωνία προανούς

n : αριθμός εκσκαπτόμενων πάσων ανά πακέτο.

Εξαιτίας της πολυπλοκότητας των αναλυτικών σχέσεων κατασκευάστηκαν μια σειρά πινάκων και διαγραμμάτων, όπου έχει υπολογιστεί η τιμή του d για τυπικές διατάξεις εκμετάλλευσης με καδοφόρο εκσκαφέα (ΓΑΛΕΤΑΚΗΣ 1997). Για την γρήγορη εκτέλεση των υπολογισμών αναπτύχθηκε μια ειδική εφαρμογή σε περιβάλλον Excel της Microsoft. Μεταξύ του d και της ακτίνας R_k του καδοτροχού, υπάρχει μια γραμμική σχέση (θετική συσχέτιση), που για κάθε ένα σχήμα ένταξης είναι διαφορετική (Σχ. 4). Περιπτώσεις εκμεταλλεύσεων που περιλαμβάνουν λειτουργία του εκσκαφέα με περιφορά του βραχίονα του καδοτροχού σε μεγάλες



Σχήμα 5. Διάγραμμα υπολογισμού του d βάση του λόγου h/R_k για εκσκαφείς διαφόρων μεγεθών.

Figure 5. Diagram for the estimation of d as function of h/R_k for different bucket-wheel excavators.

γωνίες, επιτείνουν σημαντικά τα φαινόμενα ρύπανσης και απωλειών και επιπλέον δεν ενδείκνυνται για υψηλές αποδόσεις. Αντίθετα σχήματα ένταξης που περιλαμβάνουν περιφορά του βραχίονα του καδοτροχού σε μικρότερες γωνίες συμβάλλουν στη μείωση της ρύπανσης και των απωλειών ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζουν υψηλές αποδόσεις. Στο σχήμα 4 δίνει το d σαν συνάρτηση του R_k , για τρία διαφορετικά σχήματα εκμετάλλευσης, ενώ στο σχήμα 5 δίνεται η συσχέτιση του d με το λόγο h/R_k .

5. Εφαρμογή του αναπτυχθέντος προτύπου σε πολυστρωματικά κοιτάσματα της περιοχής Πτολεμαΐδας

Ο υπολογισμός της ρύπανσης κατά το στάδιο αξιολόγησης του κοιτάσματος περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Αξιολόγηση των γεωτρήσεων σύμφωνα με την ισχύουσα μεθοδολογία, χωρίς όμως να ληφθεί υπόψη η ρύπανση του λιγνίτη στο στάδιο αυτό. Από την αξιολόγηση υπολογίζονται ο αριθμός η_λ και τα πάχη $d_{\lambda,i}$ των εκμεταλλεύσιμων λι-

γνιτικών στρωμάτων (τεχνικός λιγνίτης) και τα αντίστοιχα η_{σ} και $d_{\sigma,i}$ των ενδιαμέσων στείων στρωμάτων.

- Κατασκευή των πινάκων κατανομής πάχους του τεχνικού λιγνίτη και των τεχνικών ενδιαμέσων με βάση τα στοιχεία της αξιολόγησης.
- Υπολογισμός του d από πίνακες ή διαγράμματα (Σχ. 4) λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους της εκμετάλλευσης και τα λειτουργικά και τεχνικά στοιχεία του εξοπλισμού εξόρυξης. Το μέσο ισοδύναμο πάχος ρυπαντικού στρώματος d υπολογίζεται ως εξής:

$$d = \sum_{i=1}^{\eta} f_i d_i$$

όπου:

η = αριθμός κλάσεων στρωμάτων τεχνικού λιγνίτη και

f_i = σχετική συχνότητα εμφάνισης της κλάσης i

- Τελική αξιολόγηση του κοιτάσματος (υπολογισμός εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων και μέσης ποιότητας). Η τελική ποιότητα του εξορυσσόμενου λιγνίτη $\chi_{\text{τελ}}$ υπολογίζεται λαμβάνοντας υπ' όψιν τη ρύπανση εκμετάλλευσης. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιείται ο συντελεστής ρύπανσης r , που εκφράζει το βάρος των στείων ενστρώσεων που επιβαρύνουν τη μονάδα βάρους του τεχνικού λιγνίτη και εκφράζεται επί τοις εκατό %. Ο υπολογισμός του δίνεται από τη σχέση:

$$r = \frac{d}{d_{\lambda}} \times \frac{\rho_{\sigma}}{\rho_{\lambda}} \times 100$$

όπου: d_{λ} , ρ_{λ} είναι το μέσο πάχος και η πυκνότητα του τεχνικού λιγνίτη και d και ρ_{σ} το μέσο πάχος του ρυπαντικού στρώματος και η πυκνότητά του.

- Η τελική ποιότητα του εξορυσσόμενου λιγνίτη $\chi_{\text{τελ}}$ υπολογίζεται με βάση τη σχέση:

$$\chi_{\text{τελ}} = [\chi + r\chi_{\sigma}] / [1 + r]$$

όπου:

$\chi_{\text{τελ}}$, είναι η παράμετρος ποιότητας του εξορυσσόμενου λιγνίτη

χ , είναι η παράμετρος ποιότητας του τεχνικού λιγνίτη

χ_{σ} , είναι η παράμετρος ποιότητας του ρυπαντικού στρώματος και

r είναι ο συντελεστής ρύπανσης.

Αν η προκύπτουσα ποιότητα του εξορυσσόμενου λιγνίτη είναι εκτός των προδιαγραφών χρήσης, που έχουν τεθεί και απαιτείται απόρριψη σημαντικού τμή-

ματος του αρχικού αποθέματος για να προκύψει μέση ποιότητα εντός των ορίων, τότε απαιτείται επανεξέταση των παραμέτρων εκμετάλλευσης ώστε να καταστεί δυνατός ο περιορισμός της ρύπανσης.

Το αναπτυχθέν πρότυπο υπολογισμού της ρύπανσης και των απωλειών εκμετάλλευσης εφαρμόστηκε στα παρακάτω κοιτάσματα της περιοχής Πτολεμαΐδας.

- **Κοίτασμα Νοτίου Πεδίου (Τομείς 1,2).**
- " **Τομέα 6.**
- " **Μαυροπηγής.**

Πίνακας 1. Στοιχεία γεωλογικού και εκμεταλλεύσιμου-τεχνικού λιγνίτη

<i>Πάχος (cm)</i>	Νότιο Πεδίο (Τομείς 1,2)		Τομέας 6		Μαυροπηγή
	Γεωλογικός	Τεχνικός	Γεωλογικός	Τεχνικός	Γεωλογικός
Μέση τιμή	169	227	115	144	108,72
Μέγιστο	2.390	2.700	2.180	2.945	1.100
Ελάχιστο	3,0	29	5,0	30	10
Αριθμός	3.933	2.550	4.818	3.062	4.412
<i>AWF (%)</i>					
Μέση τιμή	26,21	25,96	24,19	24,56	24,90
Μέγιστο	75,80	39,9	74,10	36	73,60
Ελάχιστο	7,3	10,2	7,0	7,0	6,0
Αριθμός	3.933	2.550	4.818	3.062	4.412
<i>W (%)</i>					
Μέση τιμή	56,26	56,48	57,59	57,73	56,68
Μέγιστο	58,40	66,23	69,8	69,8	70,0
Ελάχιστο	34	37,9	35	42,5	30,0
Αριθμός	2.367	1.560	2.101	1.586	4.412
<i>ΚΘΔ (cal/g)</i>					
Μέση τιμή	1.385	1.403	1.406	1.403	1.340
Μέγιστο	2.040	2.040	1.924	1.915	3.075
Ελάχιστο	233	650	674	932	498
Αριθμός	1.226	957	1.139	1.010	1.182
Αριθμός Γεωτρήσεων		155		130	232

όπου:

- AWF είναι η τέφρα επί ξηρού
- W είναι η υγρασία επί φυσικού και
- ΚΘΔ είναι η κατώτερη θερμογόνος δύναμη

Πίνακας 2. Κατανομή παχών τεχνικού λιγνίτη και υπολογισμός του ισοδύναμου πάχους ρυπαντικού στρώματος d

ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΔΙΓΝΙΤΗΣ	ΤΟΜΕΑΣ 1,2				ΤΟΜΕΑΣ 6				ΜΑΥΡΟΠΗΓΗ												
	Μέση Τιμή	Συχνότητα, f_i	$d_i R_k$	Πάχος d_i (cm)	Μέση Τιμή	Συχνότητα, f_i	$d_i R_k$	Πάχος d_i (cm)	Μέση Τιμή	Συχνότητα, f_i	$d_i R_k$	Πάχος d_i (cm)	Μέση Τιμή	Συχνότητα, f_i	$d_i R_k$	Πάχος d_i (cm)					
0-50	25	0.21	0.04	8.08	2.121	0.25	0.07	4.80	1.20	1.20	0.07	4.80	1.20	0.145	0.20	8.08	1.171				
101-150	125	0.23	0.13	10.16	2.921	0.331	0.20	8.08	2.67	2.67	0.20	8.08	2.67	0.11	0.33	9.60	1.056				
151-200	175	0.12	0.21	13.28	1.992	0.13	0.33	9.60	1.25	1.25	0.33	9.60	1.25	0.125	0.47	10.24	1.28				
201-250	225	0.095	0.29	14.56	1.729	0.084	0.47	10.24	0.61	0.61	0.60	10.24	0.61	0.095	0.60	10.24	0.972				
251-300	275	0.076	0.38	15.6	1.482	0.06	0.60	10.24	0.37	0.37	0.73	9.36	0.37	0.07	0.73	9.36	0.655				
301-350	325	0.043	0.46	16.32	0.877	0.04	0.73	9.36	0.19	0.19	0.87	6.40	0.19	0.05	0.87	6.40	0.32				
351-400	375	0.037	0.54	16.4	0.758	0.03	0.87	6.40	0.12	0.12	1.00	6.24	0.12	0.405	1.00	6.24	2.527				
401-450	425	0.029	0.63	16.08	0.582	0.02	1.00	6.24	0.05	0.05	1.13	4.96	0.05								
451-500	475	0.027	0.71	15.36	0.518	0.011	1.13	4.96	0.03	0.03	1.20	4.00	0.03								
501-500	525	0.021	0.79	13.6	0.357	0.008	1.20	4.00	0.14	0.14	1.20	4.00	0.14								
> 500		0.11	1.17	7.04	0.985	0.036	1.20	4.00													
d = Σ fixdi7.98																					
Σενάριο 1													9,38								9,97
Σενάριο 2													7,52								

Με κριτήριο το απολήψιμο απόθεμα των ως άνω κοιτασμάτων, θεωρούνται ίσου μεγέθους (ύψος αποθεμάτων 180-200 εκ. τον.).

Με βάση τα στοιχεία των εκτελεσθεισών γεωτρήσεων κατασκευάστηκαν τα μοντέλα των ως άνω κοιτασμάτων και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα METAL, που αναπτύχθηκε από τη ΔΕΗ, υπολογίστηκαν τα αποθέματα λιγνίτη καθώς επίσης τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του γεωλογικού και εκμεταλλεύσιμου (τεχνικός) λιγνίτη.

Στον πίνακα 1 δίνονται συνοπτικά τα αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης του πάχους και της ποιότητας του λιγνίτη των ως άνω κοιτασμάτων με τα ίδια κριτήρια αξιολόγησης, που χρησιμοποιήθηκαν στις αντίστοιχες Μεταλλευτικές Μελέτες. Για το Ορυχείο Νοτίου Πεδίου οι χρησιμοποιούμενοι εκσκαφείς έχουν διάμετρο καδοτροχού 12 m, ενώ για άλλα δύο κοιτάσματα 7,5 m.

Στον πίνακα 2 δίνονται οι κατανομές πάχους του τεχνικού λιγνίτη, και υπολογίζεται το ισοδύναμο πάχος ρυπαντικού στρώματος, για κάθε ένα κοιτάσμα με βάση το διάγραμμα του σχήματος 6 και για τα σενάρια προχώρησης ανά πάσο εκσκαφής, που δίνονται στον πίνακα 3.

Με βάση το μοντέλο, που αναπτύχθηκε, για τα εξετασθέντα σενάρια το πάχος του ρυπαντικού στρώματος κυμαίνεται από 11,4-14,3 cm, για το Ορυχείο Νοτίου

Πίνακας 3.

	Μέγιστη προχώρηση ανά πάσο εκσκαφής (m)	
	Σενάριο 1	Σενάριο 2
Εκσκαφείας Ο.Ν.Π. (μήκος βραχίονα 44 m Διάμετρος καδοτροχού 12 m)	25	28
Εκσκαφείας Τομέα 6 & Μαυροπηγής (μήκος βραχίονα 28 m Διάμετρος καδοτροχού 7,5 m)	18	20

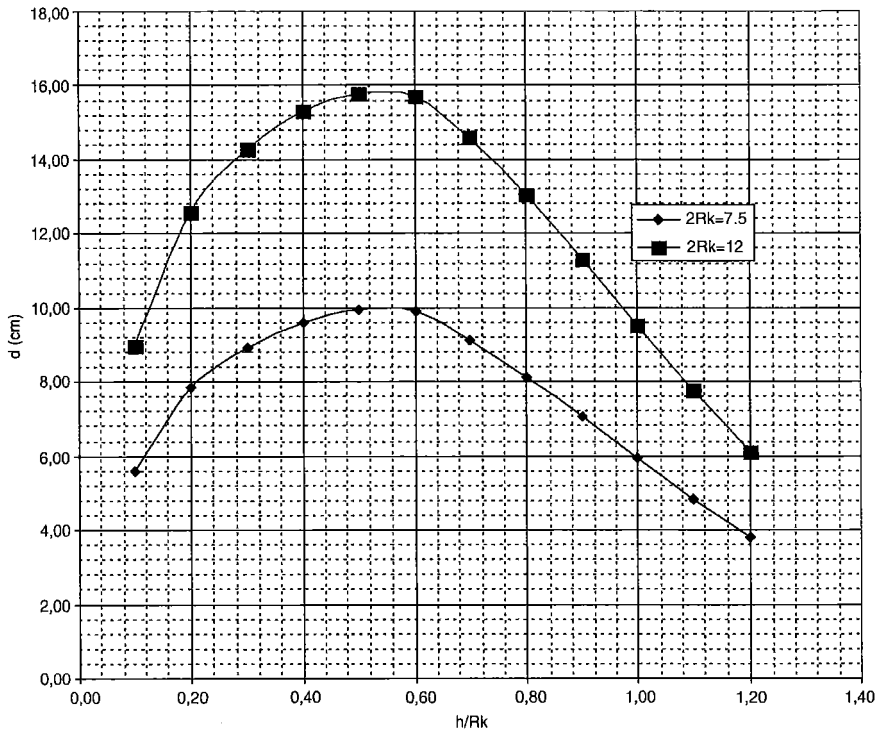
Πίνακας 4. Υπολογισμός του συντελεστή ρύπανσης και της τελικής ποιότητας

	Τομέας 1,2 Ν. Πεδίο	Τομέας 6	Μαυροπηγή
Μέσο πάχος τεχνικού λιγνίτη (cm)	227	150	
Μέσο πάχος ρυπαντικού στρώματος (cm)	11.5	7.5	8.0
AWF Τεχνικού λιγνίτη %	25.96	25.77	
AWF ρυπαντικού στρώματος %	90	90	90
Συντελεστής ρύπανσης %	7.6	7.5	
AWF εξορυσσόμενου λιγνίτη	30.48	30.25	
AWF παραγόμενου λιγνίτη 1996-1998	33.4	29.8	

Πεδίου και από 7,5-9,5 cm, για το Ορυχείο Τομέα 6 και Μαυροπηγής.

Στον πίνακα 4 δίνεται το φαινόμενο της αραίωσης εκφραζόμενο με το συντελεστή ρύπανσης/αραίωσης, που εκφράζει το βάρος των στείρων ενστρώσεων, που επιβαρύνουν τη μονάδα βάρους του εκμεταλλεύσιμου/τεχνικού λιγνίτη επί %.

Στον ίδιο πίνακα δίνεται και η επίπτωση της ρύπανσης στην ποιότητα του λιγνίτη.



Σχήμα 6. Διάγραμμα υπολογισμού του ισοδύναμου πάχους ρυπαντικού στρώματος.

Παράμετροι εκμετάλλευσης:

> Γωνία μετωπικού προανούς	$\Theta = 60^\circ$		
> Γωνίες περιφοράς του βραχίονα του καδοτροχού	$\varphi_1 = 20-30^\circ$ $\varphi_2 = 60-70^\circ$		
> Βάθος εντομής για 2Rk=7,5	0,8 m		
	2Rk=12	1,2 m	
		Σενάριο 1	Σενάριο 2
> Μέγιστη προχώρηση για 2Rk=7,5 μήκος βραχίονα		18	20
	2Rk=12	25	28

6. Αξιοπιστία αναπτυχθέντος αλγόριθμου

Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας του αναπτυχθέντος μοντέλου προσδιορισμού του συντελεστή ρύπανσης και του αλγορίθμου υπολογισμού των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων, έγινε σύγκριση των απολογιστικών στοιχείων της ποσότητας και ποιότητας του παραχθέντος λιγνίτη στο Ορυχείο του Τομέα 6 με τα αντίστοιχα αποτελέσματα, που προκύπτουν με την εφαρμογή του προαναφερθέντος αλγορίθμου.

Η διερεύνηση αυτή αναφέρεται στα αποτελέσματα εκμετάλλευσης, για τη στάθμη του Ορυχείου 1.7.93-1.7.98.

Για την πραγματοποίηση αυτή του ελέγχου έγιναν οι εξής εργασίες:

- ✓ ψηφιοποίηση της στάθμης του Ορυχείου από 1.7.93
- ✓ ψηφιοποίηση της στάθμης του Ορυχείου από 1.7.98
- ✓ υπολογισμός των συνολικών εκσκαφών αποθεμάτων και ποιότητας λιγνίτη, ψηφιοποιώντας τον αναπτυχθέντα αλγόριθμο και συγκεκριμένα κριτήρια αξιολόγησης των γεωτρήσεων
- ✓ σύγκριση των αποτελεσμάτων του προγράμματος αλγορίθμου με τα απολογιστικά στοιχεία του Ορυχείου την υπόψη περίοδο.

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των ως άνω στοιχείων συνοψίζονται στον πίνακα 5.

Από την αξιολόγηση των στοιχείων του πίνακα, προκύπτει ότι αν στον αλγόριθμο υπολογισμού των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων χρησιμοποιηθεί πάχος ρυπαντικού στρώματος 7,5-10 cm, τότε τα αποτελέσματα που προκύπτουν (ποσοτικά και ποιοτικά) είναι ακριβή και αξιόπιστα και δεν αποκλίνουν από τα πραγματικά στοιχεία εκμετάλλευσης.

Συμπεράσματα

1. Η εφαρμογή των συμβατικών μεθόδων υπολογισμού των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων σε πολυστρωματικά λιγνιτικά κοιτάσματα λεπτής στρωμάτωσης δι-

Πίνακας 5.

	Υπολογισμός με βάση τον αλγόριθμο			Απολογιστικά στοιχεία Εκμετάλλευσης		Απόκλιση %	
	(1)	(2)	(3)	(2) - (1)	(3) - (1)	× 100	
	R=0 cm	R= 7 cm	R= 10 cm	R=0 cm	R= 7 cm	R= 10 cm	
Συν. Εκσκ. (εκ. m ³)	184	184	184	186,7	+ 1,5	+ 1,5	+ 1,5
Λιγνίτης (εκ. Τον.)	53,9	51,8	50,96	51,1	- 5,2	- 1,4	+ 0,27
Μέση τ. ε.ξ. %	22,8	27,0	28,6	29,8	+ 30,7	+ 10,4	+ 4,2
Μέση Κ.Θ.Ι. (kcal/kg)	1.386	1.327	1.308	1.368	- 1,3	+ 3,1	+ 4,6

νει αποτελέσματα που αποκλίνουν σημαντικά από τα πραγματικά στοιχεία εκμετάλλευσης, τόσο τα ποσοτικά όσο και τα ποιοτικά στοιχεία.

2. Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε για τη σωστή και ακριβή εκτίμηση της ποσότητας και ποιότητας των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων των πολυστρωματικών λιγνιτικών κοιτασμάτων, βασίζεται στη χρησιμοποίηση κατάλληλων κριτηρίων αξιολόγησης των γεωμετρικών δεδομένων της κοιτασματολογικής έρευνας. Τα κριτήρια αυτά εξαρτώνται από τον εξοπλισμό εξόρυξης και τις προδιαγραφές του καυσίμου. Στις βασικές παραμέτρους αυτού του αλγορίθμου περιλαμβάνεται και ο βαθμός ρύπανσης/αραιώσης και οι απώλειες εκμετάλλευσης των εκσκαπτομένων λιγνιτικών στρωμάτων. Με την εφαρμογή αυτού του συντελεστή είναι δυνατόν να υπολογισθεί η χειρότερηση της ποσότητας του καυσίμου λόγω της συνεξόρυξης των ενδιάμεσων στειρών ενστρώσεων κατά τη διαδικασία της εκλεκτικής εξόρυξης.
3. Για τον προσδιορισμό του συντελεστή ρύπανσης/αραιώσης, που αναπτύσσεται κατά την εκλεκτική εκσκαφή με καδοφόρο εκσκαφέα λεπτής στρωμάτωσης κοιτασμάτων, διερευνήθηκε η εφαρμογή αιτιοκρατικής μεθόδου. Το αιτιοκρατικό πρότυπο που αναπτύχθηκε, βασίζεται στα γεωμετρικά στοιχεία εκσκαφής του μετώπου και τις παραμέτρους λειτουργίας του καδοφόρου εκσκαφέα (διάμετρος καδοτροχού, μήκος βραχίονα καδοτροχού, συνθήκες μετώπου κλπ.).
4. Η εφαρμογή του αιτιοκρατικού αυτού προτύπου οδηγεί σε πάχος ρυπαντικού στρώματος, που κυμαίνεται από 7,5-14 cm ανά εκσκαπτόμενο στρώμα, για κοιτάσματα τύπου Πτολεμαΐδας και για καδοφόρους εκσκαφείς με διάμετρο καδοτροχού 7,5-12 cm και βραχίονα καδοτροχού από 28-44 m.

Ο συντελεστής αραιώσης υπολογίζεται για αυτό τον τύπο του κοιτάσματος σε 7,5%.

Με τη χρησιμοποίηση αυτού του συντελεστή ρύπανσης/αραιώσης τα αποτελέσματα που προκύπτουν με βάση το πρόγραμμα/αλγόριθμο METAL, είναι ακριβή και αξιόπιστα και δεν αποκλίνουν από τα πραγματικά στοιχεία εκμετάλλευσης.

Βιβλιογραφία

- ΚΑΒΟΥΡΙΔΗΣ Κ. Η αξιοπιστία του κοιτάσματος Πτολεμαΐδας-συμβολή στο ενεργειακό ισοζύγιο - σημερινή κατάσταση και προοπτικές με την απελευθέρωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Τεχνικά Χρονικά 5/97, σελ. 79-96.
- ΚΑΒΟΥΡΙΔΗΣ Κ. & ΓΑΛΕΤΑΚΗΣ Μ. (1996) Προσδιορισμός της ποιότητας του παραγόμενου λιγνίτη στην περιοχή Πτολεμαΐδας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, Ορυκτός Πλούτος Νο 98 σελ. 25-42.
- ΓΑΛΕΤΑΚΗΣ Μ. (1997) Προσδιορισμός της ποιότητας του λιγνίτη που εξορύσσεται με τη συνεχή μέθοδο εκμετάλλευσης από πολυστρωματικά κοιτάσματα, Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης.

- GALETAKIS M. (1997) Determination of dilution of lignite during selective mining with bucket-wheel excavators using neural networks techniques, MineIT 97 1st international conference on Information Technologies in the Mineral Industry (via Internet) 1-12 December.
- GALETAKIS M. & KAVOURIDIS K. (1995), A statistical approach to the quality of Ptolemaes multi-seam lignite deposits and its affect to selective mining". Proceedings, XV Congress of the Carpatho-Balkan Geological Association, September 17-20, Athens, pp. 19-20.
- ΜΕΒΟΡΑΧ Ρ & ΦΥΝΤΙΚΑΚΗΣ Π. (1993) Δημιουργία μοντέλου για τον υπολογισμό της αραίωσης και των απωλειών λιγνίτη κατά την εκλεκτική εξόρυξη με καδοφόρους εκσκαφείς, Μεταλλειολογικά Χρονικά τόμος 3, τεύχος 4, σελ. 47-73.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 177-183</p>
---	---	--

ΥΨΗΛΟΥ-ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ ΑΣΒΕΣΤΟΣ ΚΑΙ ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ ΤΟΥ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΥ ΑΓΙΟΥ ΠΑΝΤΕΛΕΗΜΟΝΑ ΦΛΩΡΙΝΑΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ*

**Ν. Καντηράνης¹, Α. Φιλιππίδης², Α. Τσιραμπίδης²,
Β. Χρηστάρας², Α. Κασώλη-Φουρναράκη²**

Περίληψη

Αντιπροσωπευτικά δείγματα του ασβεστόλιθου του Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας, ασβεστοποιήθηκαν πλήρως στους 1050 °C. Η παραγόμενη άσβεστος κονιοποιήθηκε και στη συνέχεια ενυδατώθηκε για την παραγωγή υδρασβέστου. Η ποιοτική αξιολόγηση της άσβεστου και υδρασβέστου έγινε σύμφωνα με τη μεθοδολογία και τα κριτήρια του πρότυπου ποιότητας DIN 19611 που αναφέρεται στη χρήση άσβεστου και υδρασβέστου για την κατεργασία νερού (πόσιμο, πίσινας και βιομηχανίας). Η αναλογία κατά μάζα υδατοδιαλυτού CaO για την κονιοποιημένη άσβεστο βρέθηκε να είναι 84%, ενώ η αναλογία κατά μάζα υδατοδιαλυτού Ca(OH)₂ για την υδράσβεστο βρέθηκε να είναι 92%. Αυτές οι τιμές κατατάσσουν τα δύο προϊόντα του εξεταζόμενου ασβεστόλιθου σε υψηλού-ασβεστίου άσβεστο τύπου 2 και σε υψηλού-ασβεστίου υδράσβεστο τύπου 1 για κατεργασία νερού. Οι προδιαγραφές του προτύπου ποιότητας DIN 19611 (εμφάνιση υδατικού διαλύματος, ισοδύναμο εξουδετέρωσης OH⁻, αναλογία κατά μάζα Mg²⁺ και SO₄²⁻, αναλογία κατά μάζα υδατοδιαλυτού CaO και υδατοδιαλυτού Ca(OH)₂, καθώς και υπόλοιπο κατακράτησης ξηρού και υγρού κοσκινίσματος) ικανοποιούνται τόσο από την υψηλού-ασβεστίου άσβεστο όσο και από την υψηλού-ασβεστίου υδράσβεστο του Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας για χρήση στην κατεργασία νερού.

Abstract

Representative samples of Agios Panteleimonas (Florina) limestone were fully calcined at 1050 °C. The produced lime was pulverized and subsequently hydrated. The specifications of the produced lime and hydrated lime were determined following the methodologies of the quality standard DIN 19611, which applies to use of lime and hydrated lime in water treatment (drinking, swimming pool and industrial water). The value of water-soluble CaO by mass was found to be 84% for the pulverized lime, while for the hydrated lime the water-soluble Ca(OH)₂ was 92%. These values classify the two products of the studied limestone to high-calcium lime type 2 and to

* High-Ca quick lime and hydrated lime of the limestone from Agios Panteleimonas Florina for use in water processing.

1. Υποψ. Διδακτ., Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
2. Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 540 06 Θεσσαλονίκη.

hydrated high-calcium lime type 1. The requirements of the quality standard DIN 19611 (appearance of the aqueous solutions, neutralization equivalent OH^- , proportion by mass of Mg^{2+} and SO_4^{2-} , proportion by mass of water-soluble CaO and $\text{Ca}(\text{OH})_2$, as well as residue remaining after dry and wet sieving), are satisfied by the pulverized high-calcium lime, as well as by the hydrated high-calcium lime of Agios Panteleimonas, Florina, for use in water treatment.

Εισαγωγή

Η σημαντικότερη χημική ιδιότητα των ασβεστόλιθων είναι η θερμική τους αποικοδόμηση και η μετατροπή τους σε άσβεστο (CaO) και CO_2 . Η αντίδραση αυτή καλείται ασβεστοποίηση και συμβαίνει στους $898\text{-}902,5^\circ\text{C}$ σε μερική πίεση (CO_2) 1 ατμ. (BOYNTON 1980, GUTSCHICK 1995, OATES 1998). Σε θερμοκρασίες $< 350^\circ\text{C}$ η άσβεστος αντιδρά ραγδαία με νερό, απελευθερώνοντας θερμότητα και δίνει υδράσβεστο.

Τόσο η άσβεστος, όσο και η υδράσβεστος έχουν πολύ σημαντικές χρήσεις και ευρεία κατανάλωση. Στην Ελλάδα το 1994 παρήχθησαν 500.000 τόνοι ασβέστου σε σύνολο 118 εκατ. τόνων που ήταν η παγκόσμια παραγωγή (MILLER 1997, OATES 1998). Η αξία της ασβέστου το 1997 ήταν ~ 57 δολ./μετρ. τόνο, ενώ της υδρασβέστου ~ 80 δολ./μετρ. τόνο. Ειδικότερα για την άσβεστο που χρησιμοποιείται στην κατεργασία νερού η τιμή της το 1997 ήταν ~ 63 δολ./μετρ. τόνο (MILLER 1997).

Οι σημαντικότερες χρήσεις της ασβέστου και των προϊόντων της είναι (BOYNTON 1980, ΠΕΝΤΑΡΑΚΗΣ 1981, HARBEN 1992, LOUGHBROUGH 1994, GUTSCHICK 1995, OATES 1998): κατασκευές και οικοδομική (κονιάματα, πλίνθοι, σκυροδέματα κ.ά.), οδοποιία, κατεργασία εδαφών, κατεργασία νερού και υγρών αποβλήτων, επεξεργασία σιδήρου και χάλυβα, κατεργασία αέριων εκπομπών, παραγωγή ζωοτροφών, εντομοκτόνων, χημικών, κολών κ.ά., κατεργασία τροφίμων (ζάχαρη, γαλακτοκομικά, φρούτα, λαχανικά κ.ά.) κατεργασία δερμάτων, καθώς και σε άλλες χρήσεις (βιομηχανία ύαλου, κεραμοποιία, επεξεργασία μη σιδηρούχων μετάλλων, βιομηχανία ελαστικών, πολφοί γεωτρούσεων, χαρτοβιομηχανία, παραγωγή ασβεστοκαρβιδίου, βιομηχανία χρωμάτων κ.ά.). Η κατεργασία νερού με άσβεστο και υδράσβεστο είναι η τρίτη πιο σημαντική ποσοτικά χρήση της άσβέστου (GUTSCHICK 1995).

Υψηλού-ασβεστίου άσβεστος μπορεί να χρησιμοποιηθεί α) στη ρύθμιση του pH του νερού στο επιθυμητό επίπεδο για κατακρήμνιση και κατεργασία, β) στην αποσκλήρυνση νερών με απομάκρυνση των διαλυτών ιόντων Ca και Mg και γ) στη ρύθμιση του pH του κατεργασμένου νερού για ελαχιστοποίηση της διάβρωσης και απόπλυσης των μετάλλων (OATES 1998).

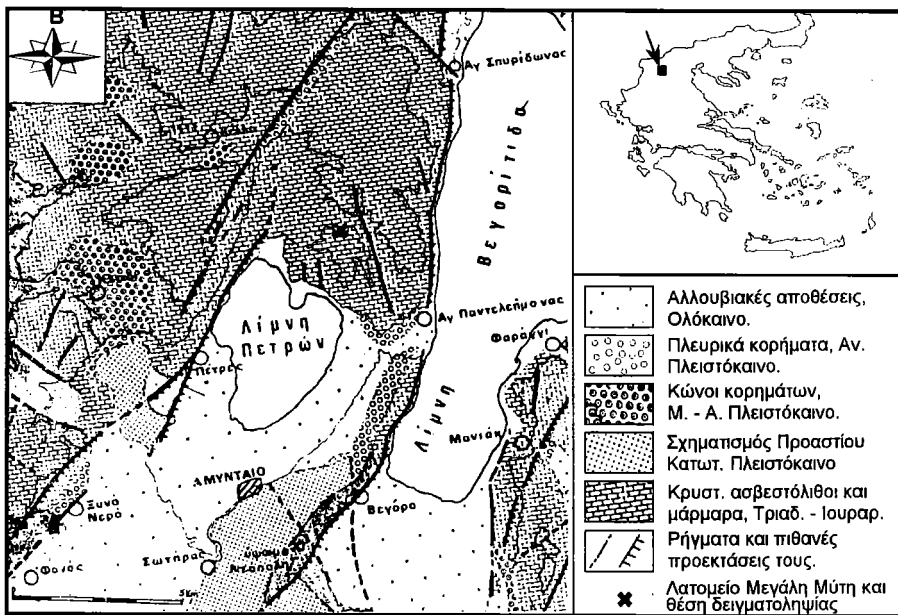
Ο κρυσταλλικός ασβεστόλιθος του Αγίου Παντελεήμονα αποτελείται από $\sim 96\%$ ασβεσίτη. Την ορυκτολογική σύστασή του συμπληρώνουν τα ορυκτά δολομίτης, μοσχοβίτης, χαλαζίας, άστριοι, τάλκης, χλωρίτης, καολινίτης, σμεκτίτης και σιδηροπυρίτης (KANTHPANHS 1998). Σε προηγούμενες ασβεστοποιήσεις στους 1050°C

του τεφρού κρυσταλλικού ασβεστόλιθου, παρατηρήθηκε εκτός της ασβέστου (93%) και ιχνών περικλαστού και σχηματισμός μιας μη κρυσταλλικής φάσης (~6%) (KANTIRANIS et al. 1998, 1999). Η παρουσία της μη κρυσταλλικής φάσης οφειλόταν στην απότομη ψύξη των δοκιμίων.

Σ' αυτή την εργασία γίνεται ποιοτική αξιολόγηση της ασβέστου και υδρασβέστου που παράγεται από την ασβεστοποίηση του ασβεστόλιθου του Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας, για χρήση τους στην κατεργασία νερού. Για την αξιολόγηση χρησιμοποιείται ως βάση το Γερμανικό πρότυπο DIN 19611 "High-calcium lime for use in water treatment" και το οποίο αναφέρεται στην κατεργασία νερού για ποικίλες χρήσεις (πόσιμο, πισίνας και βιομηχανικό).

Υλικά, μέθοδοι έρευνας και αποτελέσματα

Αντιπροσωπευτικά δείγματα του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου μεγέθους περίπου 3 cm που προερχόμενα από λατομείο αδρανών στη θέση Μεγάλη Μύτη του Αγίου Παντελεήμονα (Σχ. 1), ασβεστοποιήθηκαν πλήρως σε θερμοκρασία 1050°C. Ο χρόνος παραμονής στη θερμοκρασία ασβεστοποίησης ήταν 60 min, ενώ ο χρόνος προθέρμανσης ήταν 120 min. Ο ρυθμός θέρμανσης μέχρι την επίτευξη της θερμοκρασίας ασβεστοποίησης ήταν 8,75°C/min, ενώ ο ρυθμός ψύξης ήταν 5°C/min.



Σχήμα 1. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής Πετρών-Βεγορίτιδος (Παυλίδης 1985).

Figure 1. Geological map of the Petron-Vegoritida area (ΠΑΥΛΙΔΗΣ 1985).

Οι ασβεστοποιήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ηλεκτρικό φούρνο τύπου Multitherm N11/HR ελεγχόμενης ακρίβειας $\pm 2^\circ\text{C}$.

Η άσβεστος που παράχθηκε κονιοποιήθηκε πλήρως σε μορφή αναφούς σκόνης και μέρος της ενυδατώθηκε για την παραγωγή υδρασβέστου. Έλεγχος της ορυκτολογικής σύστασης της ασβέστου και υδρασβέστου έγινε με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD). Η παρασκευή της υδρασβέστου έγινε σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφεται στο DIN 19611 (1983) και στο NATIONAL LIME ASSOCIATION (1995). Η ποιοτική αξιολόγηση της ασβέστου και υδρασβέστου για χρήση στην κατεργασία νερού, έγινε σύμφωνα με τα κριτήρια του DIN 19611. Στους Πίνακες 1 και 2 δίνονται τα αποτελέσματα των προσδιορισμών για την άσβεστο και υδράσβεστο, καθώς και οι προδιαγραφές που θέτει το πρότυπο DIN 19611.

Πίνακας 1. Κονιοποιημένη υψηλού-ασβεστίου άσβεστος του Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας
Table 1. Pulverized high-calcium lime of Agios Panteleimonas, Florina

Criterion / Κριτήρια	Άσβεστος Αγίου Παντελεήμονα	Προδιαγραφή DIN 19611
Appearance of the aqueous solution / Εμφάνιση του υδατικού διαλύματος	άχρωμο	άχρωμο
Neutralization equivalent (OH ⁻) of the water soluble constituent / Ισοδύναμο εξουδετέρωσης (OH ⁻) των υδατοδιαλυτών συστατικών, (mol/kg)	29,9	≥ 28,5
Proportion by mass of magnesium (Mg ²⁺) / Αναλογία κατά μάζα μαγνησίου (Mg ²⁺) (g/kg)	9,1	Θ15
Proportion by mass of sulfate (SO ₄ ²⁻) / Αναλογία κατά μάζα θεικών (SO ₄ ²⁻), (g/kg)	0,5	Θ10
Proportion by mass of water-soluble CaO / Αναλογία κατά μάζα υδατοδιαλυτού CaO (Ενεργό ποσοστό οξειδίου του ασβεστίου), (%)	84	≥ 80
Residue remaining on 0.63 sieve (dry sieving-wire cloth media) / Υπόλοιπο κατακράτησης σε υφασμάτινο κόσκινο βροχίδας 0,63 mm (ξηρό κοσκίνισμα), (g/kg)	-	μη εφαρμόσιμο
Residue remaining on 0.1 sieve (wet sieving-wire cloth media) / Υπόλοιπο κατακράτησης σε υφασμάτινο κόσκινο βροχίδας 0,1 mm (υγρό κοσκίνισμα), (g/kg).	15	≤ 30

Πίνακας 2. Υψηλού-ασβεστίου υδράσβεστος του Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας
Table 2. Hydrated high-calcium lime of Agios Panteleimonas, Florina

Κριτήριο / Κριτήρια	Υδράσβεστος Αγίου Παντελεήμονα	Προδιαγραφή DIN 19611
Appearance of the aqueous solution / Εμφάνιση του υδατικού διαλύματος	άχρωμο	άχρωμο
Neutralization equivalent (OH ⁻) of the water soluble constituent / Ισοδύναμο εξουδετέρωσης (OH ⁻) των υδατοδιαλυτών συστατικών, (mol/kg)	25,0	≥ 22,7
Proportion by mass of magnesium (Mg ²⁺) / Αναλογία κατά μάζα μαγνησίου (Mg ²⁺), (g/kg)	7,6	≤ 12
Proportion by mass of sulfate (SO ₄ ²⁻) / Αναλογία κατά μάζα θειικών (SO ₄ ²⁻), (g/kg)	0,4	≤ 8
Proportion by mass of water-soluble Ca(OH) ₂ / Αναλογία κατά μάζα υδατοδιαλυτού Ca(OH) ₂ (Ενεργό ποσοστό υδροξειδίου του ασβεστίου), (%)	92	≥ 84
Residue remaining on 0.63 sieve (dry sieving-wire cloth media) / Υπόλοιπο κατακράτησης σε υφασμάτινο κόσκινο βροχίδας 0,63 mm (ξηρό κοσκίνισμα), (g/kg).	0	0
Residue remaining on 0.1 sieve (wet sieving-wire cloth media) / Υπόλοιπο κατακράτησης σε υφασμάτινο κόσκινο βροχίδας 0,1 mm (υγρό κοσκίνισμα), (g/kg).	12	≤ 24

Συζήτηση και συμπεράσματα

Από την ασβεστοποίηση του κρυσταλλικού ασβεστόλιθου του Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας προκύπτει η ενεργή μορφή του, η άσβεστος (κονιοποιημένη υψηλού-ασβεστίου άσβεστος) και στην συνέχεια η ενυδατωμένη μορφή του, η υδράσβεστος (ενυδατωμένη υψηλού-ασβεστίου άσβεστος). Η άσβεστος και η υδράσβεστος του ασβεστόλιθου του Αγίου Παντελεήμονα πληρούν τις προδιαγραφές των κριτηρίων που προβλέπονται στο πρότυπο ποιότητας DIN 19611 για χρήση στην κατεργασία νερού. Ειδικότερα, οι αναλογίες των Mg²⁺ και SO₄²⁻ στην άσβεστο και υδράσβεστο εμφανίζονται ιδιαίτερα χαμηλές. Αυτό σχετίζεται κυρίως με την περιεκτικότητα σε ίχνη του δολομίτη και του σιδηροπυρίτη στον αρχικό κρυσταλλικό ασβεστόλιθο και την περιεκτικότητα σε ίχνη του περικλάστου στο ασβεστοποιημένο υλικό. Οι αυξημένες τιμές του ενεργού ποσοστού του CaO στην άσβεστο και του Ca(OH)₂ στην υδράσβεστο, σχετίζονται κυρίως με την υψηλή περιεκτικότητα του ασβεστίτη (~96%) στον αρχικό ασβεστόλιθο και της ασβέστου (98%) στον ασβεστοποιημένο στους 1050 °C ασβεστόλιθο.

Ο ΟΑΤΕΣ (1998) διαχωρίζει την υψηλού-ασβεστίου άσβεστο για κατεργασία νερού σε τρεις τύπους ανάλογα με το περιεχόμενο % υδατοδιαλυτού CaO: Τύπος 1 (≥ 87), τύπος 2 (≥ 84) και τύπος 3 (≥ 80). Επίσης, διαχωρίζει την υψηλού-ασβεστίου υδράσβεστο για κατεργασία νερού σε τρεις τύπους ανάλογα με το περιεχόμενο % υδατοδιαλυτού $\text{Ca}(\text{OH})_2$: Τύπος 1 (≥ 92), τύπος 2 (≥ 87) και τύπος 3 (≥ 83). Σύμφωνα με τους Πίν. 1 και 2 η άσβεστος του Αγίου Παντελεήμονα μπορεί να καταταχθεί ως τύπος 2, ενώ η υδράσβεστος ως τύπος 1.

Ο ΟΑΤΕΣ (1998) για τους παραπάνω τρεις τύπους ασβέστου προτείνει ανώτατα όρια για τα εξής οξειδία: SiO_2 (2,0-4,0 wt%), Al_2O_3 (0,5-2,0 wt%), Fe_2O_3 (0,5-1,5 wt%) και MnO_2 (0,15-0,4 wt%). Η άσβεστος του Αγίου Παντελεήμονα πληρεί τα όρια του ΟΑΤΕΣ (1998) ως προς τα οξειδία αυτά: $\text{SiO}_2=1,13\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3=0,39\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=0,04\%$ και $\text{MnO}_2 < 0,01\%$ (ΚΑΝΤΗΡΑΝΗΣ 1998). Επίσης, ο ΟΑΤΕΣ (1998) προτείνει ανώτατα όρια για την υψηλού-ασβεστίου άσβεστο στην κατεργασία νερού για τα ιχνοστοιχεία: Sb, As, Cd, Cr, Pb, Hg, Ni και Se. Η περιεκτικότητα των ιχνοστοιχείων της ασβέστου του Αγίου Παντελεήμονα, καθώς και η συνεισφορά της σε ιχνοστοιχεία κατά την κατεργασία νερού που προορίζεται για πόσιμο, αλλά και η σύγκριση με τα Ελληνικά πρότυπα ποιότητας γλυκών νερών για υδροληψία πόσιμο νερού (Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. 1995) θα μελετηθούν μελλοντικά.

Η εμφάνιση του υδατικού διαλύματος της υψηλού-ασβεστίου ασβέστου και υδρασβέστου του Αγίου Παντελεήμονα είναι άχρωμη όπως προϋποθέτει και το πρότυπο ποιότητας DIN 19611. Επίσης, οι λοιπές προδιαγραφές του προτύπου ικανοποιούνται τόσο στην άσβεστο όσο και στην υδράσβεστο. Ιδιαίτερη σημασία έχει το ενεργό ποσοστό του CaO και του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ το οποίο αποτελεί ουσιαστικά και τον δείκτη της δραστηριότητας μιας ασβέστου ή υδρασβέστου κατά την κατεργασία νερού. Οι τιμές αυτές και για τα δύο προϊόντα είναι αισθητά υψηλές, σύμφωνα με το πρότυπο DIN 19611.

Ευχαριστίες

Ο υποψήφιος διδάκτορας κ. Ν. Καντηράνης ευχαριστεί θερμά το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών για την υποστήριξη των σπουδών του.

Βιβλιογραφία

BOYNTON R.S. (1980). Chemistry and Technology of Limestone. Wiley & Sons, New York, p. 577.

DIN 19611 (1983). High-calcium lime for use in water treatment p. 7.

GUTSCHICK K.A.* (1995). Lime and Limestone. In: Howe-Grant M. (Ed.), Encyclopedia of Chemical Technology. Wiley & Sons, New York, vol. 15, 319-359.

HARBEN P.W. (1992). The Industrial Minerals Handybook. Industrial Minerals Division, Metal Bulletin PLC, London, p. 148.

KANTHPANHS N. (1998). Πετρολογική, γεωχημική και τεχνολογική μελέτη των Ιου-

- ρασιικών ανθρακικών πετρωμάτων Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας. Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Διατριβή Ειδίκευσης, σελ. 69.
- KANTIRANIS N., FILIPPIDIS A., TSIRAMBIDES A., CHRISTARAS V. & KASSOLI-FOURNARAKI A. (1998). Volatilization of arsenic during calcination of crystalline limestone from Agios Panteleimonas, Florina, Macedonia, Greece. Proc. 4th Intern. Conf. on Environmental Pollution-Toxic Metals, Thessaloniki, 73-78.
- KANTIRANIS N., TSIRAMBIDES A., FILIPPIDIS A. & CHRISTARAS, V. (1999). Technological characteristics of the calcined limestone from Agios Panteleimonas, Macedonia, Greece. Materials and Structures, 32, 546-551.
- LOUGHBROUGH R. (1994). European burnt lime. Environment shows promise for a mature market. Industrial Minerals, 5, 27-37.
- MILLER M. M. (1997). Lime. U.S. Geological Survey, Minerals Information, p. 16.
- National Lime Association (1995). Lime - Handling, Application and Storage. National Lime Association, Arlington, Va. Bulletin 213, p. 109.
- OATES J. A. H. (1998). Lime and limestone. Chemistry and technology, production and uses. Wiley-VCH, Weinheim, Germany, p. 455.
- ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ. (1985). Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας – Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας (Δ. Μακεδονία). Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Διδακτορική Διατριβή, σ. 265.
- ΠΕΝΤΑΡΑΚΗΣ Ε. (1981). Συνοπτική θεώρηση των δυνατοτήτων και των εφαρμογών του ασβεστόλιθου και της ασβέστου. Η σημερινή κατάσταση και οι δυνατότητες για την Ελλάδα. Ορυκτός Πλούτος 11, 23-44.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (1995). Περιβάλλον - Νομοθεσία. ΚΥΑ 46399/4352/86 (ΦΕΚ 438B/3-7-86). ΔΙ.ΠΕ.ΧΩ. Κεντρικής Μακεδονίας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 105-121.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 184-195</p>
---	---	--

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΥ ΑΓΙΟΥ ΠΑΝΤΕΛΕΗΜΟΝΑ ΦΛΩΡΙΝΑΣ^{1*}

**Ν. Καντηράνης¹, Α. Τσιραμπίδης², Α. Φιλιππίδης²,
Β. Χρηστάρας², Α. Κασώλη-Φουρναράκη²**

Περίληψη

Η περιοχή μελέτης ανήκει στο βόρειο-ανατολικό τμήμα της Πελαγονικής ζώνης που αποτελεί το ανατολικό ανθρακικό κάλυμμά της. Σ' αυτή την περιοχή το συγκεκριμένο κάλυμμα αποτελείται εξολοκλήρου από έναν τεφροπράσινο ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο που έχει έντονα καταπονωθεί τεκτονικά. Ο ιστός του είναι σπαρτικός με μέσο μέγεθος κόκκων 1,0 mm. Η ορυκτολογική του σύσταση είναι: ασβεσίτης = 98%, δολομίτης = 2% και ίχνη μοσχοβίτη, χαλαζία, αστρών, τάλκη, χλωρίτη, καολινίτη, σμεκτίτη και μεταλλικών ορυκτών. Η κατεργασία του με H₂O₂ 30% δείχνει την παρουσία 0,8% οργανικού υλικού, ενώ η διαλυτοποίησή του με θερμό διάλυμα 0,5N HCl αφήνει 1,1% αδιάλυτο υπόλειμμα. Από το σχετικά χαμηλό ποσοστό του αδιάλυτου υπολείμματος και το μικρό λόγο Sr/Ca (0,001) συμπεραίνεται ότι ο εξεταζόμενος ασβεστόλιθος είναι ένα αρκετά καθαρό ανθρακικό πέτρωμα. Επίσης, αυτός ο ασβεστόλιθος σε σχέση με τους ασβεστόλιθους άλλων χωρών είναι πλουσιότερος σε CaO και φτωχότερος στα υπόλοιπα κύρια στοιχεία. Το ποσοστό των ξένων προσμίξεων στον εξεταζόμενο ασβεστόλιθο είναι 1,95% (παγκόσμιος μέσος όρος 18%) επιβεβαιώνοντας έτσι τη σχετικά υψηλή καθαρότητά του. Με βάση τις διεθνείς ποιοτικές προδιαγραφές ο κρυσταλλικός ασβεστόλιθος του Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή αδρανών υλικών όλων των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων και για ποικίλες εφαρμογές, για την παραγωγή ασβέστου, για τη βελτίωση εδαφών, για την αποθείωση καπνοδόχων βιομηχανικών μονάδων και για ποικίλες περιβαλλοντικές χρήσεις.

Abstract

The area of study belongs to the northeastern part of the Pelagonian zone which is its eastern carbonate nappe. In the studied area this nappe is completely consisted of gray-green recrystallized limestone tectonically strained. Its texture is sparitic and presents mean grain size 1.0 mm. Its mineralogical composition is: calcite = 98%, dolomite = 2% and traces of muscovite, quartz, feldspars, talc, chlorite, kaolinite, smectite, and metallic minerals. Its treatment with H₂O₂ 30% shows the presence of 0.8% organic matter, while its dissolution with hot solution of 0.5N HCl gives

* Study of the Crystalline Limestone from Agios Panteleimonas, Florina.

1. MSc, Υποψ. Διδασκ., Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.
2. Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, 54006 Θεσσαλονίκη.

1.1% insoluble residue. From the relatively low percentage of the insoluble residue and the low ratio of Sr/Ca (0.001) it is concluded that the studied limestone is a sufficient pure carbonate rock. Additionally, this limestone in relation to worldwide limestones is richer in CaO and poorer in the rest of the main chemical elements. The percentage of the impurities in the studied limestone is 1.95% (worldwide average M8%) confirming thus its high purity. On the basis of international quality requirements the crystalline limestone of Agios Panteleimonas Florina may be used for the production of aggregates of all granulometric grades and for various applications, for the production of lime, for soil conditioning, for the flue-gas desulfurization of plants, and for various environmental uses.

Εισαγωγή

Τα ανθρακικά πετρώματα βρίσκουν σήμερα πολλές εφαρμογές και συγκαταλέγονται μεταξύ των 30 σπουδαιότερων πρώτων υλών. Σ' ότι αφορά την παγκόσμια σειρά κατάταξης ανάλογα με την αξία τους οι βιομηχανικοί ασβεστόλιθοι για όλες τις βιομηχανικές εφαρμογές κατέχουν την 11η θέση, εκτός της βιομηχανίας τσιμέντου όπου κατέχουν την 5η θέση (LUTTING 1980).

Οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες θρυμματίζονται για παραγωγή αδρανών υλικών όλων των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων και χρησιμοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές (ως συστατικά τσιμέντων, ως οδικά ή σιδηροδρομικά υποστρώματα, ως φίλτρα καθαρισμού νερών κ.ά.). Ως διακοσμητικοί λίθοι, μαζί με τα μάρμαρα, εμφανίζουν ιδανικά χρώματα και αισθητική, υψηλή θλιπτική αντοχή, καθώς και υψηλή αντοχή στην κάμψη και στην αποσάθρωση (ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ 1996). Ως ευτηκτικά υλικά κατά την εκκαμίνευση σιδηρούχων ενώσεων, για την απομάκρυνση του SiO_2 κατά τον εξευγενισμό του αργιλίου και ως σταθεροποιητικά και ενισχυτικά υλικά στις ασβεστονατρίουχους υάλους. Χρησιμοποιούνται στην κατεργασία του χαρτοπολυτού για την αφαίρεση του SO_2 σχηματίζοντας $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$. Ως ευτηκτικά ή πληρωτικά συστατικά σε υλικά στίλβωσης ή σμάλτου (κεραμικές βιομηχανίες). Για παραγωγή MgO που είναι σημαντικό δύστηκτο υλικό. Το CaO μαζί με πυριτία, αλουμίνα, θεικές ενώσεις και ενώσεις σιδήρου σε ποικίλες αναλογίες παράγουν τσιμέντο κατασκευών. Επίσης, χρησιμοποιούνται στην αποθείωση καπνοδόχων βιομηχανικών μονάδων και στον καθαρισμό ποικίλων αποβλήτων, υδάτινων συστημάτων και εδαφών (π.χ. περιβαλλοντικές εφαρμογές, γεωργία κ.ά.). Το Ca και το Mg είναι απαραίτητα στοιχεία στην παρασκευή λιπασμάτων. Το Ca είναι συστατικό πολλών ζωοτροφών. Πύρωση των ανθρακικών πετρωμάτων σε $1.000-1.100^\circ\text{C}$ δημιουργεί άσβεστο (HARBEN 1992).

Μια σοβαρή αδυναμία πλήθους ασβεστοκαμίνων της χώρας μας ήταν μέχρι πρόσφατα η παραγωγή ασβέστου μη σταθερής ποιότητας. Κατά τον ΠΕΝΤΑΡΑΚΗ (1981) αυτό το γεγονός ήταν συνέπεια της παλαιάς τεχνολογίας και τεχνικής του ψησίματος, καθώς και της χρήσης πρώτης ύλης διάφορων ποιότητων.

Ο ΛΑΣΚΑΡΙΔΗΣ (1989) εξετάζοντας τη δυνατότητα χρήσης των λευκών ασβεστόλιθων και δολομιτών στη βιομηχανία, διαπίστωσε ότι μεταξύ των κατάλλη-

λων ως υλικών πλήρωσης στη χαρτοβιομηχανία είναι εκείνα που προέρχονται από την περιοχή Βεύης και ακατάλληλα των περιοχών Παναγίτσας και Περαίας-Πύργων, γιατί παρουσιάζουν υψηλό βαθμό απόξεσης.

Οι ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ & ΣΟΥΛΙΟΣ (1990) μελετώντας τις μαρμαροφόρες περιοχές μεταξύ της λίμνης Βεγορίτιδος, τεναγών του Αγρα, νότιων παρυφών του Βόρα και βόρειων παρυφών του Βερμίου, συμπέραναν ότι πρόκειται για ενδιαφέροντα κοιτάσματα, τόσο ως προς τα αποθέματα όσο και ως προς την εμφάνιση και τις φυσικομηχανικές ιδιότητες. Τα αποτελέσματα όλων των δοκιμών εμπίπτουν στα αποδεκτά όρια που προβλέπονται από τις αμερικάνικες και ελληνικές προδιαγραφές.

Οι ΚΑΝΤΙΡΑΝΙΣ et al. (1999) εξετάζοντας τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της παραγόμενης ασβέστου από τον τεφρό ασβεστόλιθο του Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας, διαπίστωσαν ότι είναι υψηλής ποιότητας.

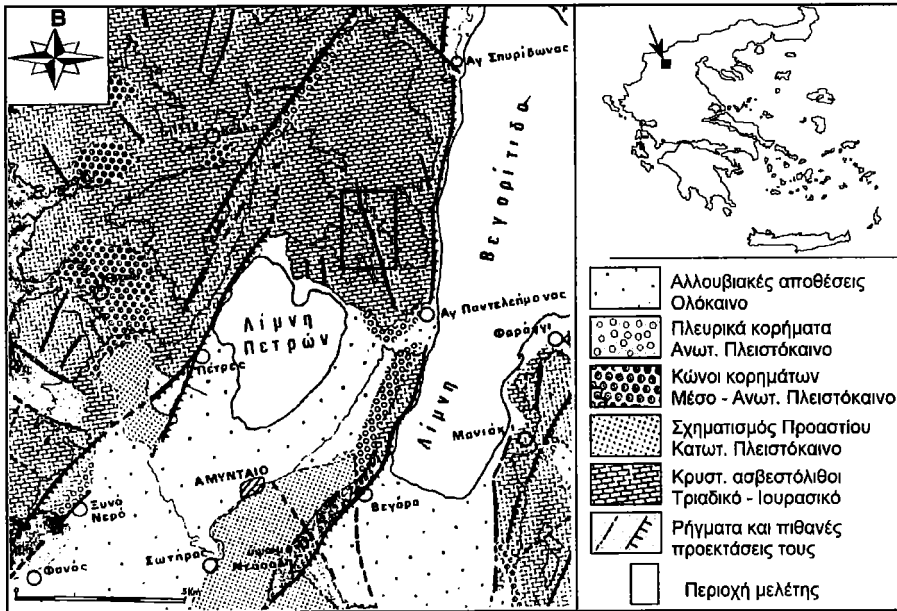
Τα περισσότερα ανθρακικά πετρώματα προσφέρονται άφθονα σε παγκόσμια κλίμακα και σε χαμηλές τιμές. Για τις περισσότερες χρήσεις σημαντικό ρόλο παίζουν η τιμή και η προσφορά των ανθρακικών πετρωμάτων στο εμπόριο. Η συμβολή του ασβεστόλιθου σε παραδοσιακές εφαρμογές (π.χ. οδοποιία, οικοδομική) είναι τόσο μεγάλη, ώστε δεν έχουν εκτιμηθεί οι δυνατότητες χρήσεών του και σε άλλους τομείς της βιομηχανίας ή γεωργίας.

Στην εργασία αυτή εξετάζεται η ορυκτολογική και χημική σύσταση, καθώς και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τεφροπράσινου κρυσταλλικού ασβεστόλιθου της περιοχής Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας και προτείνονται νέοι τομείς για βιομηχανική του εκμετάλλευση.

Γεωλογική τοποθέτηση

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται μεταξύ των λιμνών Βεγορίτιδος και Πετρών, περίπου 2 km ΒΔ του χωριού Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας (Σχ. 1). Πρόκειται για μια περιοχή έντονου τεκτονισμού (Σχ. 2) και αναγλύφου που χαρακτηρίζεται από την απουσία αξιόλογης βλάστησης (ΚΑΝΤΗΡΑΝΗΣ 1998). Η περιοχή ανήκει στο βόρειο-ανατολικό τμήμα της Πελαγονικής ζώνης που αποτελεί το ανατολικό ανθρακικό κάλυμμα της ηλικίας Τριαδικού-Ιουρασιικού. Αυτό το κάλυμμα αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μάρμαρα, σιπολίτες και δολομίτες και χαρακτηρίζεται καθαρά ως νηριτικής προέλευσης (ΠΑΥΛΙΔΗΣ 1985).

Η κύρια τεκτονική γραμμή που δεσπόζει στη δομή της περιοχής είναι το μεγάλο ρήγμα της Βεγορίτιδος. Η παράταξή του είναι ΒΒΑ-ΝΝΔ, το μήκος του στη ΒΔ πλευρά της λίμνης την οποία οριοθετεί, είναι περίπου 12 km και είναι τυπικό κανονικό ρήγμα. Οι παρατάξεις των διακλάσεων και των μικρορηγμάτων είτε ταυτίζονται με εκείνες των μεγάλων ρηγμάτων, είτε σχηματίζουν μικρές γωνίες (15°-20°) με αυτά. Με γεωλογικά κριτήρια ορισμένα από τα ρήγματα της περιοχής μπορούν να χαρακτηριστούν ενεργά και η περιοχή στο σύνολό της, παρουσιάζοντας έντονη τεκτονική δραστηριότητα και σχεδόν καθόλου σεισμική δράση, χαρακτηρίζεται γεωλογικά ενεργός (ΠΑΥΛΙΔΗΣ 1985).



Σχήμα 1. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής Πετρών-Βεγορίτιδας (ΠΑΥΛΙΔΗΣ 1985).

Figure 1. Geological map of the Petron-Vegoritida area (PAVLIDES 1985).



Σχήμα 2. Τεκτονικά καταπονημένος ασβεστόλιθος της περιοχής μελέτης.

Figure 2. Tectonically strained limestone of the studied area.

Υλικά και μέθοδοι

Από τον ασβεστόλιθο πάρθηκαν αντιπροσωπευτικά δείγματα και κατασκευάστηκαν λεπτές και σιλπνές λεπτές τομές για εξέταση στο πολωτικό και μεταλλογραφικό μικροσκόπιο των ιστολογικών χαρακτηριστικών και ορυκτολογικών συστατικών του.

Αντιπροσωπευτικό υλικό του ασβεστόλιθου κονιοποιήθηκε σε αχάτινο γουδί για τον ποιοτικό και ημιποσοτικό προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ. Χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο Philips με ακτινοβολία CuK_α , φίλτρο Ni, ταχύτητα γωνιομέτρου $1,2^\circ/\text{min}$, ταχύτητα καταγραφικού 1 cm/min και περιοχή σάρωσης $3-53^\circ 2\theta$. Η μορφή των παρασκευασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τυχαία προσανατολισμένα (κόνεως). Η ημιποσοτική εκτίμηση των ορυκτών φάσεων έγινε από αυτά τα περιθλασιογράμματα χρησιμοποιώντας τις μεθόδους των SCHULTZ (1964) και PERRY & HOWER (1970).

Δέκα γραμμάρια του κονιοποιημένου ασβεστόλιθου κατεργάστηκαν με H_2O_2 30% για την αφαίρεση της οργανικής ύλης (JACKSON 1974). Σε φιάλη φυγοκέντρησης των 250 ml ρίχνουμε το κονιοποιημένο υλικό, την τοποθετούμε σε υδρόλουτρο με θερμοκρασία περίπου 80°C και προσθέτουμε σταδιακά συνολική ποσότητα H_2O_2 30 ml, αναδεύοντας συνεχώς. Αφήνουμε στο υδρόλουτρο περίπου για 2,5 ώρες. Κατόπιν, χρησιμοποιώντας ρυθμιστικό διάλυμα με $\text{pH}=5,0$, φυγοκεντρούμε και αποχύνουμε. Ακολουθεί νέα φυγοκεντρική πλύση με το ίδιο διάλυμα. Η διαφορά βάρους αρχικού και κατεργασμένου υλικού εκφρασμένη επί τοις % είναι το οργανικό περιεχόμενο του δείγματος που εξετάζεται.

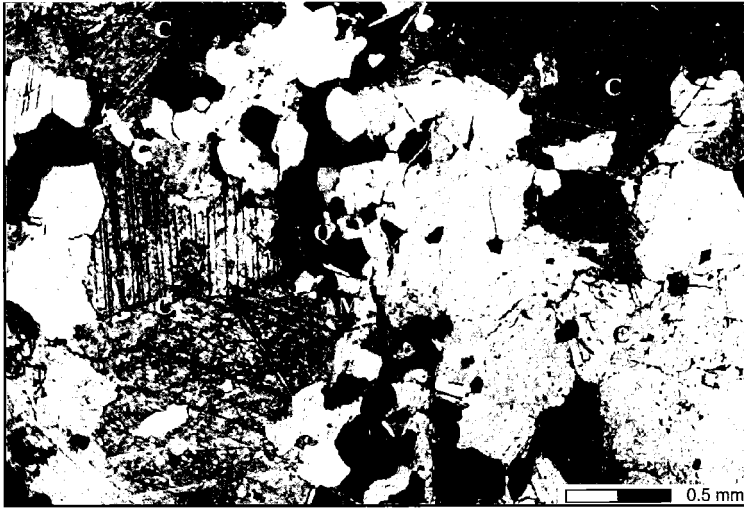
Μέρος του κονιοποιημένου ασβεστόλιθου διαλυτοποιήθηκε σε θερμό διάλυμα 0,5N HCl με μαγνητικό αναδευτήρα για 15 λεπτά. Ξεπλύθηκε με απιονισμένο νερό και φυγοκέντριση στις 1.000 στροφές/min, ξεράθηκε σε θερμοκρασία 80°C και ζυγίστηκε. Η κατεργασία αυτή έγινε τρεις φορές για διάφορες αρχικές ποσότητες υλικού (5, 10 και 47 g). Η διαφορά βάρους σε ποσοστό επί τοις % αποτελεί το αδιάλυτο υπόλειμμα του ασβεστόλιθου. Μετά από αυτή την κατεργασία το αδιάλυτο υπόλειμμα υποβλήθηκε σε περιθλαση ακτίνων-Χ για τον προσδιορισμό των ορυκτών συστατικών του.

Η μέθοδος που εφαρμόστηκε για τη χημική ανάλυση του ασβεστόλιθου αυτής της μελέτης ήταν η επαγωγική ακτινοβολία διπλού πλάσματος σε συνδυασμό με φασματομετρία μάζας (ICP-MS). Χρησιμοποιείται για την ανάλυση των κύριων στοιχείων, καθώς και ενός ευρέως φάσματος ιχνοστοιχείων με διαλυτοποίηση μικρής ποσότητας κονιοποιημένου δείγματος.

Αποτελέσματα

Πετρογραφική εξέταση

Από τη μικροσκοπική εξέταση των λεπτών τομών σε πολωμένο διερχόμενο φως ο ασβεστόλιθος διαπιστώνεται ότι είναι ολοκρυσταλλικός. Ο ιστός του είναι



Σχήμα 3. Μικροφωτογραφία λεπτής τομής του ασβεστόλιθου που εξετάζεται. C = ασβεσίτης, M = μοσχοβίτης, Q = χαλαζίας. N⁺.

Figure 3. Microphotograph of thin section of the studied limestone. C = calcite, M = muscovite, Q = quartz. N⁺.

σπαρτικός με μέσο μέγεθος κόκκων 1,0 mm και μέγιστο μέγεθος 2,5 mm. Κατά FOLK (1959) θεωρείται σπαρτικός ασβεστόλιθος, ενώ κατά DUNHAM (1962) κρυσταλλικός ασβεστόλιθος, εξαιτίας της παντελούς απουσίας αλλόχθονων συστατικών και του σχετικά μεγάλου μεγέθους των κρυστάλλων του ασβεσίτη. Μικροσκοπικά, αναγνωρίστηκαν ασβεσίτης που είναι το κυρίαρχο ορυκτό, χαλαζίας, κυρίως σε φλεβίδια που διαπερνούν τη μάζα του ασβεστόλιθου (Σχ. 3) και μοσχοβίτης με μορφή επιμήκων κρυστάλλων οι οποίοι είναι τεκτονικά καταπονεμένοι και φαίνεται να ακολουθούν τις διευθύνσεις των μικροδιακλάσεων που υπάρχουν στον ασβεστόλιθο. Σε μικρά ποσοστά αναγνωρίστηκε και τάλκης η παρουσία του οποίου σημαίνει επίδραση χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης στο αρχικό ασβεστολιθικό υλικό. Επομένως, το αρχικό ανθρακικό πέτρωμα ανακρυσταλλώθηκε σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής φάσης και προέκυψε έτσι ο τεφροπράσινος ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος. Εκτός των παραπάνω ορυκτών εντοπίστηκαν και κρύσταλλοι μεταλλικών ορυκτών στα φλεβίδια που διατρέχουν τη μάζα του ασβεστόλιθου και που προέκυψαν κατά τη μεταμόρφωσή του. Τέλος, βρέθηκαν και ελάχιστοι κρύσταλλοι αστρίων.

Η μέση τιμή του οργανικού υλικού που περιέχεται στον ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο βρέθηκε ίση με 0,8%, ενώ του αδιάλυτου υπολείμματος βρέθηκε ίση με 1,1%.

Πίνακας 1. Ημιποσοτική ορυκτολογική σύσταση (κ.β. %) του κρυσταλλικού ασβεστόλιθου και του αδιάλυτου υπολείμματός του

Table 1. Semi-quantitative mineralogical composition (wt. %) of the crystalline limestone and its insoluble residue

	Ασβεστόλιθος	Αδιάλυτο υπόλειμμα
Ασβεσίτης	98	-
Δολομίτης	2	-
Χαλαζία	Ίχνη	17
Πλαγιόκλαστο	Ίχνη	5
Κ-άστριος	-	3
Μοσχοβίτης	Ίχνη	59
Τάλκης	Ίχνη	-
Καολινίτης + Σμεκτίτης	Ίχνη	9
Χλωρίτης	Ίχνη	-
Μεταλλικά ορυκτά	Ίχνη	7

Ίχνη = < 2%, - = δεν ανιχνεύθηκε

Ακτινογραφική εξέταση

Στον Πίνακα 1 δίνεται η εκατοστιαία ημιποσοτική ορυκτολογική σύσταση του ασβεστόλιθου και του αδιάλυτου υπολείμματός του με χρήση των περιθλασιογραφιών τους. Ο ασβεσίτης (98%) είναι το κύριο συστατικό αυτού του ασβεστόλιθου. Επίσης, αναγνωρίστηκαν δολομίτης (2%) και ίχνη μοσχοβίτη, χαλαζία, αστρίων, χλωρίτη, τάλκη, αργιλικών ορυκτών (καολινίτης+σμεκτίτης) και μεταλλικών ορυκτών. Η αναλογία αυτών στο αδιάλυτο υπόλειμμα επιβεβαιώνει την επικράτηση του μοσχοβίτη.

Πρέπει πάντα να έχουμε υπόψη μας ότι τα ορυκτά του αδιάλυτου υπολείμματός αποτελούν κατά μέσο όρο μόλις το 1,1% του αρχικού ασβεστολιθικού πετρώματος. Από το σχετικά χαμηλό ποσοστό του αδιάλυτου υπολείμματός και το μικρό λόγο Sr/Ca (0,001), συμπεραίνεται ότι ο ασβεστόλιθος που εξετάζεται είναι ένα αρκετά καθαρό ανθρακικό πέτρωμα (ΡΗΓΑΣ κ.α. 1990).

Χημική ανάλυση

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων του ασβεστόλιθου δίνονται στους Πίνακες 2 και 3 αντίστοιχα. Στους ίδιους πίνακες δίνονται για σύγκριση δεδομένα της χημικής σύστασης των ανθρακικών πετρωμάτων του φλοιού της γης (MASON & MOORE 1982) και των ελληνικών εμπορικών ασβεστόλιθων, δολομιτών και μαρμάρων (H.E.P.O. 1997). Διαπιστώνεται ότι ο ασβεστόλιθος του Αγίου Παντελεήμονα σε σχέση με τους ασβεστόλιθους σε παγκόσμια κλίμακα είναι πλουσιότερος σε CaO και φτωχότερος στα υπόλοιπα κύρια χημικά στοιχεία, σε σχέση όμως με το σύνολο των ελληνικών α-

Πίνακας 2. Χημική σύσταση (κ.β. %) του κρυσταλλικού ασβεστόλιθου
Table 2. Chemical composition (wt. %) of the crystalline limestone

	Ασβεστόλιθος ¹	Παγκόσμιος μ.ο. ασβεστόλιθων ²	Μ.ο. ελληνικών ασβεστόλιθων, δολομιτών και μαρμάρων ³
SiO ₂	1,57	5,19	0,87
TiO ₂	0,01	0,06	δ.α.4
Al ₂ O ₃	0,32	0,81	0,30
Fe ₂ O ₃	0,01	0,54	0,23
MnO	< 0,01	0,11	0,02
MgO	1,51	7,89	4,77
CaO	52,96	42,57	50,02
Na ₂ O	< 0,01	0,05	0,06
K ₂ O	< 0,01	0,33	0,05
P ₂ O ₅	< 0,01	0,04	δ.α.4
L.O.I. ₅	43,63	42,36	43,62
Σύνολο	100,05	99,95	99,94

¹Μέσος όρος οκτώ αναλύσεων, ²MASON & MOORE (1982), ³H.E.P.O. (1997), ⁴Δεν αναλύθηκε, ⁵Απώλεια πύρωσης.

Πίνακας 3. Αφθονία των ιχνοστοιχείων (ppm) στον κρυσταλλικό ασβεστόλιθο
Table 3. Abundance of the trace elements (ppm) in the crystalline limestone

Ασβεστ. ¹	Παγκόσμιος μ.ο. ανθρακικών ²	Ασβεστόλιθος ¹	Παγκόσμιος μ.ο. ανθρακικών ²	Ασβεστόλιθος ¹	Παγκόσμιος μ.ο. ανθρακικών
Li	1 5	Zr	2 19	Tb	0,0 0,2
Be	0,1 0,X3	Nb	0,6 0,3	Dy	0,1 1,1
B	4 20	Mo	0,5 0,4	Ho	0,0 0,3
V	<5 20	Ag	0,9 0,0X	Er	0,1 0,7
Cr	11 11	Cd	0,3 0,09	Tm	0,0 0,1
Co	2,5 0,1	Sn	1,3 0,X	Yb	0,1 0,7
Ni	26 20	Sb	0,4 0,2	Lu	0,0 0,2
Cu	6 4	Cs	0,2 0,X	Hf	0,3 0,3
Zn	29 20	Ba	10 10	Ta	0,1 0,0X
Ga	0,5 4	La	0,9 6,3	W	0,7 0,6
Ge	0,1 0,2	Ce	2 10	Tl	0,2 0,2
As	8 1	Pr	0,2 1,5	Pb	3 9
Se	7 0,08	Nd	0,8 6,2	Bi	0,3 0,2
Rb	3 3	Sm	0,2 1,4	Th	0,3 1,7
Sr	376 610	Eu	0,1 0,3	U	1,4 2,2
Y	0,9 6,4	Gd	0,1 1,4		

¹Μέσος όρος οκτώ αναλύσεων, ²MASON & MOORE (1982), ³Τάξη μεγέθους

σβεστόλιθων, δολομιτών και μαρμάρων είναι πλουσιότερος σε SiO_2 και Al_2O_3 (Πίν. 2). Περιέχει 1,95% ξένες προσμίξεις γεγονός που επιβεβαιώνει τη σχετικά υψηλή καθαρότητά του. Μεταξύ των ιχνοστοιχείων επικρατούν τα (ppm): Sr (376), Zn (29), Ni (26), Cr (11) και Ba (10) από τα οποία το Sr περιέχεται σε πολύ μικρότερη αναλογία σε σχέση με τον παγκόσμιο μέσο όρο του. Απεναντίας, η περιεκτικότητα ορισμένων σημαντικών ιχνοστοιχείων όπως του As και του Se, είναι πολύ υψηλότερη σε σχέση με τον παγκόσμιο μέσο όρο τους σε ανθρακικά πετρώματα (Πίν. 3).

Ποιοτικά χαρακτηριστικά

Για την επιλογή ενός ασβεστολιθικού πετρώματος σε διάφορες χρήσεις πρέπει να εκπληρώνονται ορισμένες προδιαγραφές. Στον Πίνακα 4 δίνονται οι κύριες προδιαγραφές χρήσεων (κ.β.%) των ανθρακικών πετρωμάτων με βάση τη χημική τους σύσταση και τις τιμές των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων τους. Είναι δυνατό για ορισμένες χρήσεις όπως στη χαρτοβιομηχανία, να είναι σημαντικότερες άλλες παράμετροι όπως η λευκότητα, η αποξεστικότητα, η απορροφητικότητα ελαίου, η υγρασία και το μέγεθος κόκκων (ΛΑΣΚΑΡΙΔΗΣ 1989) και όχι η ορυκτολογική και χημική σύσταση. Επίσης, είναι σημαντικό να εξετάζονται επιμέρους ιδιότητες ανάλογα με τη χρήση όπως είναι η πτητικότητα των ιχνοστοιχείων που περιέχονται σ' έναν ασβεστόλιθο κατά την ασβεστοποίηση και η οργανική ή ανόργανη χημική τους συγγένεια (KANTIRANIS et al. 1999).

Από την ορυκτολογική ανάλυση βρέθηκε ότι ο εξεταζόμενος ασβεστόλιθος είναι πολύ πλούσιος σε ασβεστίτη (98%), ενώ η χημική του ανάλυση έδειξε ότι οι τιμές των SiO_2 , MgO και Al_2O_3 κυμαίνονται μεταξύ 0,3% και 1,57%. Η συμμετοχή των υπόλοιπων οξειδίων είναι οριακή ή κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας (0,01%).

Συμπεράσματα

Ο ιστός του ασβεστόλιθου από τον Άγιο Παντελεήμονα Φλώρινας είναι σπαριτικός με μέσο μέγεθος κόκκων 1,0 mm και μέγιστο μέγεθος 2,5 mm. Από τη μικροσκοπική και ακτινογραφική εξέτασή του διαπιστώνεται ότι αποτελείται από ασβεστίτη 98%, δολομίτη 2% και ίχνη μοσχοβίτη, χαλαζία, πλαγιόκλαστου, κालούχου αστρίου, τάλη, χλωρίτη, καολινίτη, σμεκτίτη και μεταλλικών ορυκτών. Η ύπαρξη του τάλη σημαίνει δράση χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης (πρασινοσχιστολιθική φάση).

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης επαλήθευσαν τα συμπεράσματα των μικροσκοπικών και ακτινογραφικών παρατηρήσεων. Ο ασβεστόλιθος που εξετάζεται αποτελείται από CaO 53%, ενώ το σύνολο των προσμίξεων του (οξειδία εκτός των CaO και MgO) αποτελούν το 1,95% του αρχικού υλικού, από τις οποίες το SiO_2 είναι 1,57%. Ο μέσος όρος των προσμίξεων των ασβεστολιθικών πετρω-

μάτων του φλοιού της γης είναι Μ8% (MASON & MOORE 1982), ενώ των ελληνικών εμπορικών ασβεστόλιθων, δολομιτών και μαρμάρων είναι Μ1,5% (H.E.P.O. 1997) (Πίν. 2). Άρα, ο εξεταζόμενος ασβεστόλιθος είναι ένα αρκετά καθαρό ανθρακικό πέτρωμα.

Με βάση τις προδιαγραφές του Πίνακα 4 ο ασβεστόλιθος του Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

Πίνακας 4. Κύριες ποιοτικές απαιτήσεις για χρήση των ανθρακικών πετρωμάτων με βάση τη χημική σύστασή τους (κ.β. %) και τις τιμές των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων τους (CARR & ROONEY 1975, BOYNTON 1980, POWER 1985, HARBEN 1992)

Table 4. Main quality requirements for use of the carbonate rocks on the basis of their chemical composition (wt. %) and values of their physicomchanical properties (CARR & ROONEY 1975, BOYNTON 1980, POWER 1985, HARBEN 1992)

Παραγωγή αδρανών	Μέγεθος τεμαχιδίων = 1-200 mm
Παραγωγή ασβέστου	Μέγεθος τεμαχιδίων < 40 mm, CaCO ₃ > 95, SiO ₂ < 1
Βελτιωτικά εδαφών	Μέγεθος τεμαχιδίων < 5 mm, MgO < 5
Περιβαλλοντικές χρήσεις	Μέγεθος τεμαχιδίων < 2 mm, CaCO ₃ = 85-95, MgO + A.Y. < 5
Τσιμεντοβιομηχανία	CaCO ₃ > 65, MgO < 5, A.Y. < 1,5, F < 0,1
Βιομηχανία λιπασμάτων	Μέγεθος τεμαχιδίων = 0,2-2 mm, CaCO ₃ > 60, MgO = 5-20
Μεταλλουργία	Μέγεθος τεμαχιδίων < 30 mm, CaCO ₃ > 97, SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + FeO + MnO < 3, P < 0,02, S < 0,1
Κατεργασία σακχαρότευτλων	CaCO ₃ > 98,5, SiO ₂ < 0,5
Αποθείωση καπνοδόχων	Μέγεθος τεμαχιδίων < 0,1 mm, CaCO ₃ > 95, SiO ₂ < 2, Al ₂ O ₃ < 1, Fe ₂ O ₃ < 1, MgO < 1, MnO < 0,02, Cl < 0,1
Συμπληρώματα ζωοτροφών	CaCO ₃ > 98, SiO ₂ M0, Al ₂ O ₃ M0, As+F+Hg+Pb+H.M.M 0
Παραγωγή υαλοπινάκων	Μέγεθος τεμαχιδίων = 1-5 mm, CaO > 55, Al ₂ O ₃ < 0,35, Fe ₂ O ₃ < 0,08, MgO < 0,8, SO ₃ < 0,05, A.Y. < 0,6, C < 0,1, υγρασία < 0,05
Παραγωγή φιαλών	Μέγεθος τεμαχιδίων = 1-5 mm, Fe ₂ O ₃ < 0,1, Cr ₂ O ₃ < 0,001, υγρασία < 0,1
Χαρτοβιομηχανία	Μέγεθος κόκκων < 10 μm, CaCO ₃ = 95-97, λευκότητα > 90%, αποξεστικότητα < 35 mg, απορροφητικότητα ελαίου < 30 ml/100 g
Βιομηχανία ελαστικών	Μέγεθος κόκκων < 10 μm, CaCO ₃ > 98, (Na ₂ O+K ₂ O) < 0,03, MnO < 0,02, CuO < 0,005, L.O.I. < 0,2
Παραγωγή ασβεστοκαρβιδίου	CaCO ₃ > 97, SiO ₂ < 1,2, (Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃) < 0,5, MgO < 0,5, P < 0,004, S = ίχνη
Φαρμακευτική	CaCO ₃ > 98,8, (Mg+αλκάλεια) < 1, Fe < 0,05, H.M. < 0,002, F < 0,0005, As < 3 (ppm), Pb < 3 (ppm), Hg < 0,5 (ppm), A.Y. < 0,2

A.Y. = αδιάλυτο υπόλειμμα, H.M. = βαρέα μέταλλα, L.O.I. = απώλεια πύρωσης.

- Για την παραγωγή αδρανών υλικών όλων των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων και για ποικίλες εφαρμογές (π.χ. σε διάφορα σκυροδέματα, σε οδικά ή σιδηροδρομικά υποστρώματα, σε τοίχους αντιστήριξης πρανών, σε φράγματα, σε αναβαθμίδες ποταμών, ως φίλτρα διήθησης ή καθαρισμού νερών κ.ά.).
- Για την παραγωγή ασβέστου, αν και η περιεκτικότητά του σε SiO_2 (1,57%) θεωρείται οριακή. Ο έντονος τεκτονισμός του πετρώματος δημιουργεί θραύσματα μεγέθους 6-20 cm που είναι ιδανικά για την απευθείας τροφοδοσία κατακόρυφης υψικαμίνου (BOYNTON 1980).
- Για τη βελτίωση εδαφών ως συλλίπασμα.
- Για την αποθείωση καπνοδόχων βιομηχανικών μονάδων.
- Για ποικίλες περιβαλλοντικές χρήσεις (π.χ. καθαρισμός νερών κ.ά.).

Ευχαριστίες

Ο υποψήφιος διδάκτορας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κ. Νικόλαος Καντηράνης ευχαριστεί θερμά το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών για την υποστήριξη των σπουδών του.

Βιβλιογραφία

- BOYNTON R.S. (1980). *Chemistry and Technology of Limestone*, (2nd ed.). Wiley & Sons, N. York, p. 577.
- CARR D.D. & ROONEY L.F. (1975). *Limestone and Dolomite*. In: S. J. Lefond (ed.), *Industrial Minerals and Rocks*. American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, N. York, 757-789.
- DUNHAM R.J. (1962). *Classification of carbonate rocks according to depositional texture*. In: W. E. Ham (ed.), *Classification of Carbonate Rocks*. Mem. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 1, 108-121.
- FOLK R.L. (1959). *Practical petrographic classification of limestones*. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 43, 1-38.
- HARBEN P.W. (1992). *The Industrial Minerals Handybook*. Ind. Miner. Div., Metal Bull. PLC, London, p. 148.
- Hellenic Export Promotion Organization (1997). *Hellenic Marble Directory*, (3rd ed.). Athens, p. 66.
- JACKSON M.L. (1974). *Soil chemical analysis*. Adv. course. Madison, Wisconsin, p. 690.
- KANTHPANΗΣ Ν. (1998). *Πετρολογική, γεωχημική και τεχνολογική μελέτη των Ιουρασιακών ανθρακικών πετρωμάτων Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας*. Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σ. 69.
- KANTIRANIS N., TSIRAMBIDES A., FILIPPIDIS A. & CHRISTARAS B. (1999). *Technological characteristics of the calcined limestone from Agios Panteleimonas, Macedonia, Greece*. Materials & Structures, 32, 546-551.
- KANTIRANIS N., FILIPPIDIS A., TSIRAMBIDES A., CHRISTARAS B. & KASSO-

- LI-FOURNARAKI A. (1999). Volatilization of arsenic during calcination of crystalline limestone from Agios Panteleimonas, Florina, Macedonia, Greece. Proc. 4th Int. Congr. Envir. Pollution, Toxic metals, Thessaloniki, 73-78.
- ΛΑΣΚΑΡΙΔΗΣ Κ. (1989). Εξέταση λευκών Ελληνικών ασβεστόλιθων και δολομιτών για τη χρήση τους στη βιομηχανία (π.χ. στη χαρτοβιομηχανία). Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., 23/2, 295-304.
- LUTTING G. (1980). Industrial minerals and rocks in the area of the Federal Republic of Germany. In: General geology of the Federal Republic of Germany. Schweizerbart, Stuttgart, 37-59.
- MASON B. & MOORE C.B. (1982). Principles of Geochemistry, (4th ed.). Wiley & Sons, N. York, p. 344.
- ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ. (1985). Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας (Δ. Μακεδονία). Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σ. 265.
- ΠΕΝΤΑΡΑΚΗΣ Ε. (1981). Συνοπτική θεώρηση των δυνατοτήτων και των εφαρμογών του ασβεστόλιθου και της ασβέστου. Η σημερινή κατάσταση και οι δυνατότητες για την Ελλάδα. Ορυκτός Πλούτος, 11, 23-44.
- PERRY E. & HOWER J. (1970). Burial diagenesis in Gulf coast pelitic sediments. Clays Clay Miner., 18, 165-177.
- POWER T. (1985). Limestone specifications. Limiting constraints on the market. Ind. Minerals, 65-91.
- ΡΗΓΑΣ Κ., ΣΟΥΝΔΟΥΛΟΥΝΑΚΗΣ Ν. & ΓΕΩΡΓΟΥΣΗΣ Γ. (1990). Ορυκτολογική - ορυκτοχημική σύσταση, δομή και φυσικομηχανικές ιδιότητες των ελληνικών μαρμάρων. Πρακτ. Συνεδρίου "Το Ελληνικό Μάρμαρο", ΓΕΩΤ.Ε.Ε., Θεσσαλονίκη, 179-187.
- SCHULTZ L.G. (1964). Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre Shale. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper, 391-C, p. 33.
- ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ Α. (1996). Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά πετρώματα. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σ. 310.
- ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ Β. & ΣΟΥΛΙΟΣ Γ. (1990). Τεχνικογεωλογική μελέτη μερικών κοιτασμάτων μαρμάρου στα όρια των ζωνών Αλμωπίας και Πελαγονικής. Πρακτ. Συνεδρίου "Το Ελληνικό Μάρμαρο", ΓΕΩΤ.Ε.Ε., Θεσσαλονίκη, 131-140.

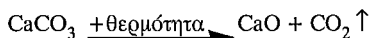
<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 196-211</p>
---	---	--

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ
ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (ΑΝΟΡΓΑΝΟΥ) ΚΑΙ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΤΟΥ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΜΑΥΡΟΠΗΓΗΣ

X. Κολοβός¹

Περίληψη

Η τιμή του διοξειδίου του άνθρακα ενός λιγνιτικού στρώματος είναι μέτρο της περιεκτικότητάς του σε ανθρακικά ορυκτά (ασβεστίτης, αραγωνίτης, δολομίτης, κλπ.). Τα ορυκτά αυτά, θερμαινόμενα κατά την καύση του λιγνίτη στους ΑΗΣ, διασπώνται σε διοξείδιο του άνθρακα και στο οξείδιο του αντίστοιχου μετάλλου, π.χ.



Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του CO₂ τόσο χειρότερη θεωρείται η ποιότητα του λιγνίτη. Η παρούσα εργασία εξετάζει τις τιμές του διοξειδίου του άνθρακα στο κοίτασμα του Ορ. Μαυροπηγής, σύμφωνα με τις αναλύσεις που έγιναν σε δείγματα γεωτρήσεων από το Φυσικοχημικό Εργαστήριο του ΑΚΠ-Α. Η επεξεργασία των στοιχείων έγινε σε Η/Υ με ειδικό πακέτο προγραμμάτων της ΔΕΗ.

Το Ορυχείο Μαυροπηγής προγραμματίζεται να διανοιγεί στο Βόρειο τμήμα του Δυτικού Πεδίου της λεκάνης Κοζάνης-Πτολ/δας, ως διάδοχο των Εκμεταλλεύσεων Βόρειου Πεδίου & Πεδίου Κομάνου.

Abstract

The value of CO₂ (INORGANIC) of a lignitic layer is expressing its content in carbonic minerals, such as calcite, aragonite, dolomite, etc. These minerals are mainly found in thin interbedded waste layers, but also as thin-grained calcareous sand in the lignite layers. When the run-of-mine lignite is burnt in the Power Stations Furnaces, the crystalline structure of these minerals is deformed and CO₂ is emitted e.g.



1. ΔΕΗ/ΑΚΠ-Α/Ορ. Κύριου Πεδίου/Τομέας Μεταλλευτικών Μελετών, Τ.Θ. 21, 502 00 Πτολεμαΐδα.

This reaction demands heat, which is taken from the one produced by the burning lignite. As a result, high CO₂-value indicates poor quality of the respective lignite layer.

The paper deals with the variation of CO₂-values in the Mavropigi deposit. Mavropigi mine is planned to be opened in the Northern part of the West Field of the Kozani-Ptolemais basin, to replace the North Sector Mine and Komanos Mine exploitations which will be fully exploited during the coming decade.

The examined data refer to the borehole lignite samples, as analyzed by the Physicochemical Laboratory of P-ALC. 73 boreholes (out of a total of 346 in the Northern Part of West Field area) were carefully selected, in order to cover evenly the whole mine area with its possible extensions, to cover as many yearly drilling programs as possible, and to check that they are analyzed for CO₂. Examination of the CO₂-value variation was performed in 5 different ways: of every individual layer of geological lignite, individually exploitable layers only (not blocks), average CO₂-value of the total borehole individually exploitable lignite, estimation of CO₂-value of run-of-mine lignite blocks, influence of introducing dilution when evaluating the deposit.

The average CO₂-value of the exploitable blocks (run-of-mine lignite) based on borehole data was estimated at ≈7%. A separate study to locate certain blocks of lignite that need special handling (blending or dressing) seems to be necessary, in order to minimize problems to Ptolemais Power Station.

Εισαγωγή

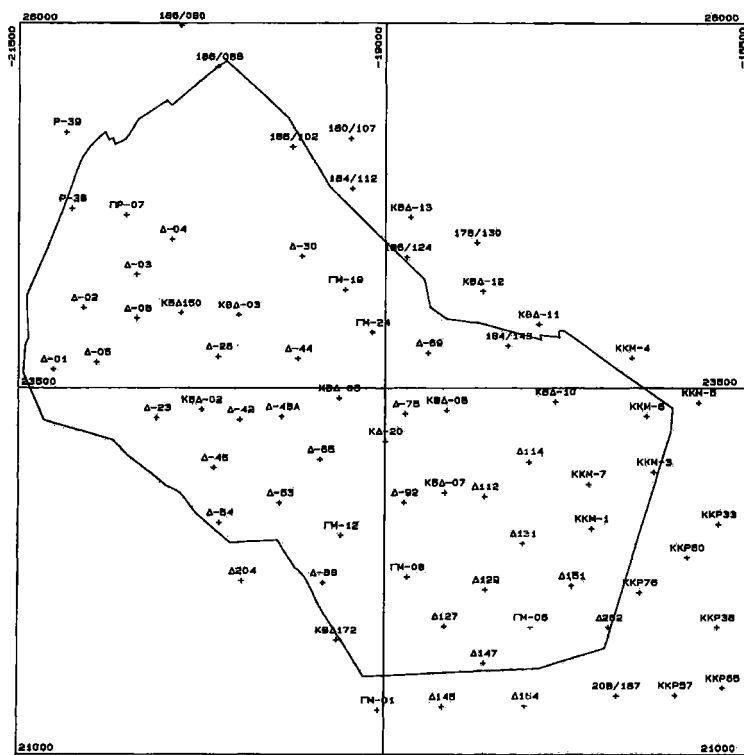
Στόχο της παρούσας εργασίας αποτελεί ο προσδιορισμός του CO₂ (ανόργανου), προκειμένου να εμπλουτιστεί η γνώση του λιγνίτη Μαυροπηγής με την εξέταση ενός επιπλέον ποιοτικού χαρακτηριστικού και να υποβοηθηθεί η εκλεκτική εξόρυξη των διαφόρων ποιοτήτων κατά τη μελλοντική εκμετάλλευση του Ορυχείου.

Η εξέταση των τιμών του CO₂ (ανόργανου) έγινε σε δείγμα 73 γεωτρήσεων, οι θέσεις των οποίων φαίνονται στο Σχ. 1, μαζί με το εξωτερικό περιγράμμα του Ορυχείου Μαυροπηγής. Η επιλογή των γεωτρήσεων του δείγματος έγινε έτσι ώστε:

- ✓ να εξασφαλίζει τη γεωγραφική κάλυψη όλης της έκτασης του Ορυχείου,
- ✓ να περιλαμβάνει τις περιοχές επέκτασης των ορίων του Ορυχείου προς Δυσμάς και Νότο,
- ✓ η κατανομή των γεωτρήσεων να είναι κατά το δυνατό ομοιόμορφη (σχηματισμός καννάβου με μέση απόσταση γεωτρήσεων 357 μ.),
- ✓ να ληφθούν γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν σε διαφορετικά γεωτρητικά προγράμματα και να καλύπτουν ευρύ χρονικό φάσμα, και
- ✓ να πρόκειται για γεωτρήσεις του 1980 και μετά, προκειμένου να υπάρχουν οι τιμές ανάλυσης CO₂ και ο τρόπος λήψης των δειγμάτων να προσεγγίζει περισσότερο τον τρόπο εκμετάλλευσης στα Ορυχεία του ΑΚΠ-Α.

Στοιχεία του ορυχείου

Η σύνταξη Μελέτης Εκμετάλλευσης του Δυτικού Πεδίου ανατέθηκε από τη ΔΕΗ στη Γερμανική Εταιρεία RheinBraun Engineering (RBE), παράλληλα προς την εκπόνηση του Στρατηγικού Σχέδιου Ανάπτυξης των Ορυχείων του ΑΚΠ-Α μέχρι



Σχήμα 1. Κάτοψη θέσεων γεωτρήσεων δείγματος και περίγραμμα Ορυχείου Μαυροπηγής.

Figure 1. Examined borehole positions and Mavropigi Mine pit.

το 2020 (Technical Mine Master Plan - TMMP).

Τα βασικά στοιχεία της Μελέτης Εκμετάλλευσης του Δυτικού Πεδίου ολοκληρώθηκαν από την RBE το 1995 και καθορίστηκε ότι το συνολικό Δυτικό Πεδίο διαιρείται σε 2 τμήματα, Βόρειο & Νότιο. Το Βόρειο τμήμα προβλέπεται να αποληφθεί με τη διάνοιξη νέου υπαίθριου Ορυχείου και να καλύψει μία περίοδο 25 ετών, ενώ ο παραγόμενος λιγνίτης θα καλύπτει ανάγκες αρχικά των ΑΗΣ Πτολεμαΐδας + ΑΗΣ ΛΚΠ-Α και στη συνέχεια μόνο του ΑΗΣ Καρδιάς, συμπληρωματικά προς το Ορυχείο Καρδιάς/Τομέα 6.

Το 1996/97 αναθεωρήθηκε η μελέτη του Βόρειου τμήματος του Δυτικού Πεδίου από τη ΔΑΟ της ΔΕΗ, και το νέο Ορυχείο ονομάστηκε Ορυχείο Μαυροπηγής. Τα βασικά στοιχεία εσκαφών και τα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη που θα παραχθεί, σύμφωνα με την αναθεωρημένη μελέτη, αναλύονται ως εξής:

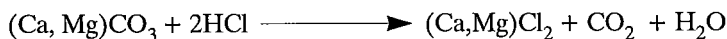
Συνολικές εκσκαφές	(X 10⁶ M³σ)	689,0
Λιγνίτης	(X 10⁶ T)	139,1
Υπερκείμενα	(X 10 ⁶ M ³ σ)	266,3
Ενδιάμεσα	(X 10 ⁶ M ³ σ)	246,2
Υποκείμενα	(X 10 ⁶ M ³ σ)	63,1
Σχέση εκμετάλλευσης (Y+E)/Λ,	(M³/T)	3,68:1
Μέση υγρασία	(%)	56,5
Μέση τέφρα επί ξηρού	(%)	29,3
Μέση Κατώτερη Θερμογόνα Δύναμη	(Kcal/Kg)	1297
Μέσο Ειδικό βάρος λιγνίτη	(t/m ³)	1,23

Γενικά για το διοξείδιο του άνθρακα

Όπως πολλοί γαιάνθρακες, έτσι και οι λιγνίτες της περιοχής Κοζάνης-Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου περιέχουν ανθρακικά ορυκτά (κυρίως ασβεσίτης, δολομίτης, κλπ.). Ο ασβεσίτης αποτελεί το κύριο συστατικό των ασβεστολίθων και των μαρμάρων. Σε σημαντική ποσότητα επίσης περιέχεται στις μάργες και τα ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή. Όλα τα πετρώματα αυτά είτε συναντώνται μέσα στη λεκάνη Κοζάνης-Πτολεμαΐδας, είτε στους ορεινούς όγκους των παρυφών της.

Τα ορυκτά αυτά απαντούν συνήθως στις λεπτές στείρες ενστρώσεις που διακόπτουν τη συνέχεια των λιγνιτικών στρωμάτων. Μπορεί επίσης να βρίσκονται μέσα στα λιγνιτικά στρώματα σε μορφή χονδρόκοκκης ασβεστολιθικής άμμου ή μικρών χαλικιών. Τα κελύφη επίσης των απολιθωμάτων, που συναντώνται κατά θέσεις σε αφθονία στους λιγνίτες της περιοχής Κοζάνης-Πτολεμαΐδας, συνεισφέρουν και αυτά στο σύνολο των ανθρακικών ορυκτών. Τα όμβρια νερά επίσης, προερχόμενα από περιοχές ασβεστολίθων εμπλουτίζονται σε $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ και όταν βρεθούν στις κατάλληλες συνθήκες χάνουν CO_2 και αποθέτουν CaCO_3 .

Κατά την καύση του λιγνίτη στους ΑΗΣ τα ορυκτά αυτά διασπώνται και απελευθερώνουν CO_2 , συνεισφέροντας έτσι στο συνολικό άνθρακα που προσδιορίζεται κατά τη στοιχειομετρική (ultimate) ανάλυση ενός δείγματος λιγνίτη. Η αντίδραση διάσπασης είναι ενδόθερμη και μειώνει την ποσότητα ενέργειας που θα παραχθεί από ένα γαιάνθρακα άλλως πλούσιο σε "ολικό" άνθρακα. Η διάσπαση π.χ. του ανθρακικού ασβεστίου γίνεται στους $\approx 550^\circ\text{C}$ και απορροφά ενέργεια $\approx 425 \text{ Kcal/Kg}$, ενώ η διάσπαση άλλων ανθρακικών ορυκτών συνεχίζεται μέχρι τους $\approx 1000^\circ\text{C}$. Συνεπώς η γνώση της ποσότητας άνθρακα που εκλύεται ως CO_2 από τη διάσπαση των ανθρακικών ορυκτών είναι απαραίτητη, προκειμένου να προσδιοριστεί ο πράγματι καίόμενος άνθρακας. Κατά τις προδιαγραφές ASTM η περιεκτικότητα ενός γαιάνθρακα σε ανθρακικά άλατα προσδιορίζεται με προσβολή του δείγματος με (συνήθως υδροχλωρικό) οξύ και μέτρηση του παραγόμενου CO_2 , κατά την αντίδραση:



Η διαδικασία αυτή ωστόσο απαιτεί χρόνο μερικών ωρών και δεν είναι ευχερής όταν απαιτείται η ταχεία εξέταση μεγάλου αριθμού δειγμάτων. Για τη μέτρηση του CO_2 στο Φυσικοχημικό εργαστήριο του ΛΚΠ-Α, (μετά την αρχική θέρμανση στους 130°C για 45' προκειμένου να προσδιορισθεί η υγρασία), ακολουθείται η διαδικασία της πύρωσης του δείγματος σε θερμοκρασία $\approx 500^\circ\text{C}$, παραμονή στη θερμοκρασία αυτή για διάστημα 3 ωρών και συνέχιση της πύρωσης στους $\approx 780^\circ\text{C}$ για 2 ακόμη ώρες. Η διαφορά (μείωση) βάρους του δείγματος από τους $\approx 500^\circ\text{C}$ στους $\approx 780^\circ\text{C}$ είναι το ποσοστό του CO_2 . Η διαδικασία αυτή δίνει με πολύ καλή προσέγγιση την τιμή του CO_2 επειδή τα λιγνιτικά κοιτάσματα της περιοχής Κοζάνης-Πτολεμαΐδας χαρακτηρίζονται από μεγάλη παρουσία ασβεστίου, όπως φαίνεται από τις στοιχειακές αναλύσεις της τέφρας.

Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται συγκριτικά η σύσταση της τέφρας του λιγνίτη Ορυχείων Πτολεμαΐδας, του λιγνίτη Δυτικού Πεδίου και του ΑΗΣ Μεγαλόπολης:

Στοιχειακή ανάλυση τέφρας

Συστατικό	ΑΗΣ	ΑΗΣ Καρδιάς		Δυτικό	ΑΗΣ
	Πτολεμ/δας (1) (%)	(2) (%)	(3) (%)	Πεδίο (4) (%)	Μεγαλ/λης (5) (%)
SiO_2	30,3	29	24,1	29	49
Al_2O_3	14,7	13,3	13,3		16
Fe_2O_3	5,1	4,9	4,6	21,5 (6)	9,7
MgO	3,0	3,9	3,2	3,7	4
CaO	34,0	41,0	44,5	31,5	16,5
SO_3	10,4	5,5	7,4	15,2	1,8

(1) Έκτακτο δείγμα 03.02.95, (2) Μέση τιμή έτους 1990, (3) Μίγμα λιγνίτη των 4 Μονάδων το Φεβ.1995 (4) Μέση τιμή 3 γεωτρήσεων από τη Γεωλογική Μελέτη Δυτικού Πεδίου της ΔΛΕ [4] (Δ65 Μαυροπηγής, Δ345 & Δ394 Νότιου Δυτικού), (5) Έκτακτο δείγμα 27.02.95, (6) Άθροισμα ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$)

Σύμφωνα με τα πιο πάνω, η τιμή του διοξειδίου του άνθρακα ενός λιγνιτικού στρώματος είναι μέτρο της περιεκτικότητάς του σε ανθρακικά ορυκτά. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του CO_2 τόσο χειρότερη θεωρείται η ποιότητα του λιγνίτη. Δοκιμές “εμπλουτισμού” του λιγνίτη με τη μέθοδο των βαρέων διαμέσων (ΤΣΑΚΑΡΙΣΙΑΝΟΣ Α., ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΗΣ Δ. & ΚΙΤΣΙΚΟΠΟΥΛΟΣ Χ. 1994, ΚΙΤΣΙΚΟΠΟΥΛΟΣ Χ. & ΜΑΡΚΟΥΛΗΣ Μ. 1992) κατέδειξαν τη δυνατότητα διαχωρισμού και απομάκρυνσης από το λιγνίτη του μεγαλύτερου μέρους των ορυκτών αυτών.

Εξέταση των τιμών του CO₂

Η εξέταση των τιμών του CO₂ βασίστηκε σε αρχεία γεωτρήσεων, που περιλαμβάνουν συνολικά 346 γεωτρήσεις για την ευρύτερη περιοχή του Ορυχείου Μαυροπηγής (μόνο το Βόρειο τμήμα του Δυτικού Πεδίου). Για 12 από τις γεωτρήσεις αυτές δεν υπάρχουν στοιχεία ανάλυσης. Άλλες 20 γεωτρήσεις αφορούν κυρίως το Πεδίο Προαστίου, στα Βόρεια όρια του Ορυχείου Μαυροπηγής. Σημειώνεται τέλος ότι σε όλες τις παλαιές γεωτρήσεις, (της δεκαετίας του 1960, κυρίως στην περιοχή του ορύγματος Διαβολορέματος), η ανάλυση δεν περιλαμβάνει τιμή για το CO₂.

Με βάση τα στοιχεία αυτά διαμορφώθηκαν 2 διαφορετικά μηχανογραφικά αρχεία του δείγματος των 73 γεωτρήσεων για επεξεργασία σε Η/Υ με το ειδικό λογισμικό METAL (ΚΑΡΑΜΑΛΙΚΗΣ Ν.Α. 1992).

- ⇒ ένα αρχείο πρωτογενών γεωτρητικών στοιχείων με τιμές μόνο τέφρας επί ξηρού
- ⇒ ένα αρχείο πρωτογενών γεωτρητικών στοιχείων με τιμές τέφρας επί ξηρού + CO₂

Η εξέταση των τιμών του CO₂ περιλαμβάνει 5 διαφορετικά στάδια και για κάθε στάδιο δημιουργήθηκε ξεχωριστό μηχανογραφικό αρχείο γεωτρήσεων:

- Στο 1^ο στάδιο εξετάστηκαν όλα τα στρώματα, τα οποία ο γεωλόγος που έκανε την περιγραφή της γεώτρησης θεώρησε ως ανθρακούχα και έλαβε δείγμα τους για ανάλυση. Εξετάζονται οι τιμές CO₂ των μεμονωμένων στρωμάτων και υπολογίζεται το μέσο CO₂ της κάθε γεώτρησης.
- Στο 2^ο στάδιο έγινε αξιολόγηση των γεωτρήσεων με τα τυποποιημένα κριτήρια αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται για το Ορυχείο Κύριου Πεδίου. Εξετάστηκαν οι τιμές CO₂ μόνο για τα στρώματα που πληρούν τα κριτήρια αξιολόγησης και υπολογίζεται το μέσο CO₂ της κάθε γεώτρησης μετά την αξιολόγηση. Δεν περιλαμβάνονται τυχόν ενδιάμεσα στείρα που θα συνεξορυχθούν με το λιγνίτη, ούτε λαμβάνεται υπόψη η υγρασία και το ειδικό βάρος λιγνίτη & ενδιάμεσων.
- στο 3^ο στάδιο, συνέχεια του 2^{ου}, ελήφθη υπόψη η επίδραση του πάχους κάθε στρώματος και υπολογίστηκε το μέσο σταθμισμένο CO₂ κάθε γεώτρησης.
- στο 4^ο στάδιο έγινε αξιολόγηση των γεωτρήσεων πρώτα με τιμή μόνο τέφρας επί ξηρού και στη συνέχεια με τιμή (τέφρας επί ξηρού + CO₂). Το μέσο CO₂ κάθε γεώτρησης υπολογίστηκε σαν η διαφορά των μέσων τιμών (τέφρα επί ξηρού + CO₂) μείον (τέφρα επί ξηρού) και περιλαμβάνονται τα ενδιάμεσα στείρα που τυχόν θα συνεξορυχθούν με το λιγνίτη, ενώ λαμβάνεται υπόψη στον αλγόριθμο αξιολόγησης η υγρασία και το ειδικό βάρος λιγνίτη & ενδιάμεσων.
- Το 5^ο και τελευταίο στάδιο περιλαμβάνει την εξέταση της επίδρασης της εισαγωγής ρυπαντικού στρώματος κατά την αξιολόγηση των γεωτρήσεων.

Εξέταση των τιμών CO₂ στα στρώματα που έγινε δειγματοληψία

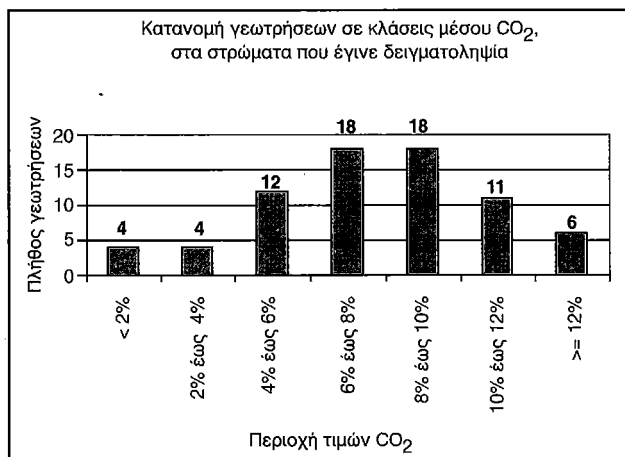
Τα στρώματα που εξετάστηκαν, για τα οποία ο γεωλόγος που έκανε την περιγραφή της γεώτρησης θεώρησε ως ανθρακούχα και έλαβε δείγμα για ανάλυση, είναι 1545 στις 73 γεωτρήσεις. Τα στρώματα αυτά μπορεί να είναι είτε λιγνίτης, είτε ανθρακούχα άργιλος, είτε ανθρακούχα μάργα. Ανάλογα με την περιεκτικότητα σε CO₂ ένα δείγμα λιγνίτη μπορεί να χαρακτηριστεί “αργιλούχο” ή “ασβεστούχο” και επηρεάζεται η μακροσκοπική του εμφάνιση (π.χ. αλλαγή τόνου χρώματος).

Για την εξέταση των τιμών CO₂ δεν ελήφθη υπόψη το πάχος των στρωμάτων ή οποιοσδήποτε άλλος παράγοντας. Το μέσο CO₂ προέκυψε ως μέσος αριθμητικός των τιμών CO₂ των μεμονωμένων στρωμάτων.

Παρατηρήθηκε ότι στις γεωτρήσεις που έχει γίνει δειγματοληψία σε πολλά στρώματα αυξάνεται η τιμή του μέσου CO₂, επειδή στην περίπτωση αυτή συμμετέχουν στρώματα που πιθανότατα είναι κακής ποιότητας και γι’ αυτό δεν είναι εκμεταλλεύσιμα. Η δειγματοληψία πολλών λεπτών (πάχους 10 έως 40 εκατοστών) στρωμάτων συντελεί συνήθως στη μείωση της μέσης τιμής CO₂, επειδή τα στρώματα αυτά, μη απολήψιμα λόγω πάχους, συνήθως είναι λιγνίτης πολύ καλής ποιότητας, με χαμηλή τιμή CO₂.

Υπάρχει μια ζώνη ιδιαίτερα χαμηλών μέσων τιμών CO₂ κατά μήκος του ΒΑ ορίου του Ορυχείου Μαυροπηγής, που ακολουθεί περίπου το ρέμα Σουλού. Ίδια εικόνα προκύπτει και για το Βόρειο τμήμα του Ορυχείου, στην περιοχή του ορύγματος Διαβολορέματος. Στο Κεντρικό, Δυτικό και στο Νότιο τμήμα του Ορυχείου οι μέσες τιμές CO₂ είναι αυξημένες, ιδιαίτερα στην περιοχή του χωριού Κόμανος και προς την Εξωτερική Απόθεση ΙΙΙ (Καρδιάς).

Στις γεωτρήσεις **ΚΑ20** (περίπου στο κέντρο του Ορυχείου) και κυρίως **ΚΒΑ172** (στο Δυτικό όριο, κοντά στο χωριό Μαυροπηγή) η δειγματοληψία αφορά



το πλήρες πάχος της λιγνιτοφόρας στοιβάδας, συνεπώς οι μέσες τιμές CO₂ αυτών των γεωτρήσεων, 14,2% και 12,4% αντίστοιχα, πρέπει να θεωρούνται **ενδεικτικές της μέγιστης μέσης τιμής CO₂** του κοιτάσματος Μαυροπηγής. Η μέγιστη μέση τιμή CO₂ στα στρώματα που έγινε δειγματοληψία είναι 15,73% στη γεώτρηση ΚΚΜ-5, (κοντά στο χωριό Κόμανος), αλλά η γεώτρηση αυτή δεν θεωρείται ενδεικτική του κοιτάσματος.

Η μέση τιμή του CO₂ στα 1545 στρώματα που έγινε δειγματοληψία είναι 8,09%, με (πολύ μεγάλη) τυπική απόκλιση 5,92%.

Εξέταση των τιμών CO₂ στα στρώματα απολήψιμου λιγνίτη μετά από αξιολόγηση των γεωτρήσεων

Στο δεύτερο στάδιο έγινε αξιολόγηση των γεωτρήσεων με τα τυποποιημένα κριτήρια αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται για το Ορυχείο Κύριου Πεδίου, και, με τη μορφή που εισάγονται στην αντίστοιχη οθόνη του μεταλλευτικού πακέτου ΜΕΤΑΛ, έχουν ως εξής:

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΣΤΕΙΡΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

1. ΤΕΦΡΑ + CO₂: 0.00%
2. ΤΕΦΡΑ + CO₂ > 40.00% ΚΑΙ ΠΑΧΟΣ > 29.00 cm

ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΣΤΕΙΡΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ (ΣΤΕΙΡΟ ΔΙΑΚΟΠΗΣ)

ΣΤΕΙΡΟ ΜΕ ΠΑΧΟΣ > 26.00 cm

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΕΝΟΣ ΜΠΛΟΚ ΣΑΝ ΛΙΓΝΙΤΗ

ΤΕΦΡΑ + CO₂ < 35.10% ΠΑΧΟΣ > 29.00 cm

Ε.Β. ΛΙΓΝΙΤΗ: 1.20 gr/cm³ Ε.Β. ΣΤΕΙΡΟΥ: 1.70 gr/cm³ Κ.Θ.Δ. ΣΤΕΙΡΟΥ: 358 Kcal/Kg

ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΕΙΡΟΥ: 40.44% ΤΕΦΡΑ ΣΤΕΙΡΟΥ: 76.05%

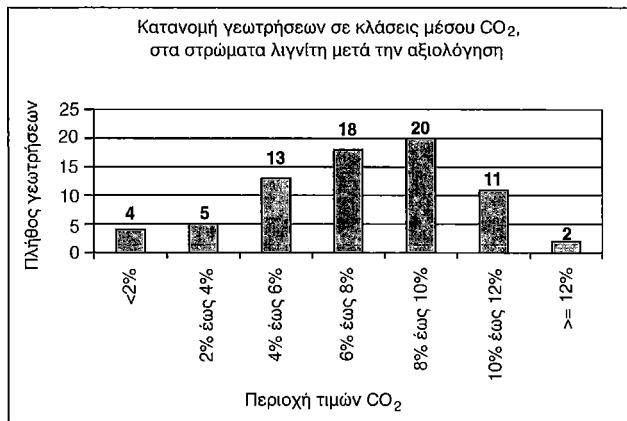
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΑΧΟΣ ΡΥΠΙΑΝΤΙΚΟΥ ΣΤΕΙΡΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ: 0 cm

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΦΑΙΡΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ ΛΟΓΩ ΑΠΩΛΕΙΩΝ: 20 cm

Στο στάδιο αυτό έγινε αξιολόγηση των γεωτρήσεων με βάση την τιμή της “τέφρας επί ξηρού” και εξετάστηκαν μόνο τα **στρώματα αυτοτελώς απολήψιμου λιγνίτη**. Δεν περιλαμβάνονται τυχόν ενδιάμεσα στείρα που θα συνεξορυχθούν με το λιγνίτη, ούτε λαμβάνεται υπόψη η υγρασία και το ειδικό βάρος λιγνίτη & ενδιάμεσων.

Η μέση τιμή του CO₂ στα 1071 στρώματα που έμειναν μετά την αξιολόγηση είναι 7,25%, με (πολύ μεγάλη) τυπική απόκλιση 4,92%. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές CO₂ της κάθε γεώτρησης μετά την αξιολόγηση.

Οι τιμές αυτές, συγκρινόμενες με τις τιμές για το μέσο CO₂ στα στρώματα που έγινε δειγματοληψία, δείχνουν άλλοτε μείωση, άλλοτε αύξηση και άλλοτε μένουν σταθερές. Η μεταβολή αυτή εξαρτάται από τον τρόπο που έχει γίνει η δειγματοληψία:

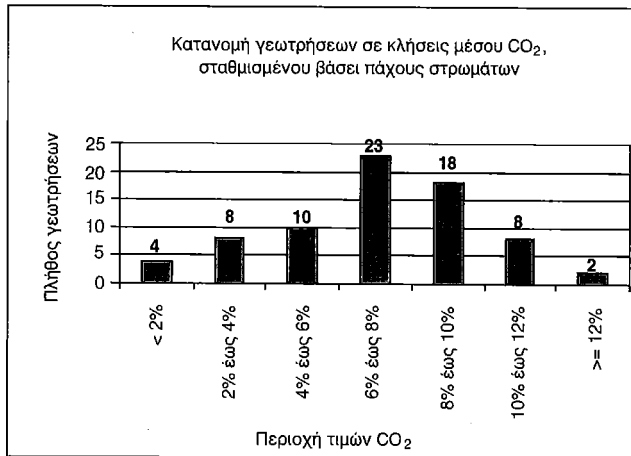


- ◆ αν έχουν ληφθεί πολλά δείγματα από στρώματα στο πάνω μέρος της στοιβάδας, (γεωλογικά νεότερα), αυτά συνήθως είναι κακής ποιότητας και γι' αυτό δεν είναι εκμεταλλεύσιμα, απορρίπτονται κατά την αξιολόγηση και προκύπτει σαφής μείωση της τιμής του CO₂.
- ◆ Αν έχει γίνει δειγματοληψία πολλών λεπτών (πάχους 10 έως 40 εκατοστών) στρωμάτων, αυτά δεν είναι εκμεταλλεύσιμα, απορρίπτονται κατά την αξιολόγηση λόγω του μικρού πάχους και αυτό συντελεί στην αύξηση της μέσης τιμής CO₂, επειδή τα στρώματα αυτά, μη απολήψιμα λόγω πάχους, συνήθως είναι λιγνίτης πολύ καλής ποιότητας, με χαμηλή τιμή CO₂.
- ◆ Είναι δυνατό να συνυπάρχουν σε μια γεώτρηση και οι δυο πιο πάνω παράγοντες, με διαφορετική βαρύτητα έκαστος, και στις περιπτώσεις αυτές συνήθως δεν μεταβάλλεται σημαντικά η τιμή του μέσου CO₂. Ρόλο πιθανά παίζει στην περίπτωση αυτή και η εμπειρία του γεωλόγου που κάνει τη δειγματοληψία, προκειμένου να αποφύγει τη λήψη επιπλέον δειγμάτων σε στρώματα που από τα μακροσκοπικά τους χαρακτηριστικά μπορούν να χαρακτηριστούν ως μη απολήψιμα. Αυτό διαπιστώνεται από την έντονη μεταβολή του αθροιστικού πάχους των στρωμάτων στα οποία έχει γίνει δειγματοληψία.

Η γεωγραφική κατανομή των τιμών μέσου CO₂ δείχνει ότι και πάλι οι χαμηλότερες τιμές συναντώνται στο Βόρειο και Ανατολικό όριο του Ορυχείου.

Εξέταση των τιμών CO₂ σταθμίζοντας το πάχος των στρωμάτων

Στο τρίτο στάδιο ελήφθη υπόψη η επίδραση του πάχους κάθε στρώματος και υπολογίστηκε το μέσο σταθμισμένο CO₂ κάθε γεώτρησης. Το στάδιο αυτό αποτελεί συνέχεια του 2^{ου}, αναφέρεται δηλαδή και αυτό στα στρώματα της κάθε γεώτρησης μετά την αξιολόγηση. Οι μέσες τιμές CO₂ που προέκυψαν με τον τρόπο αυτό αναφέρονται σαν “σταθμισμένο CO₂”.



Παρατηρείται μια τάση μείωσης (κατά 5-8% περίπου) της μέσης τιμής CO₂ έναντι της μέσης τιμής CO₂ της ίδιας γεώτρησης όταν δεν λαμβάνεται υπόψη το πάχος του στρώματος, χωρίς ωστόσο να λείπουν και οι εξαιρέσεις.

Οι μέσες τιμές του “σταθμισμένου CO₂” αντιστοιχούν στην ποιότητα του λιγνίτη που θα εξορυχθεί από κάθε γεώτρηση σε **αυτοτελώς** εξορύξιμα στρώματα. Δεν πρόκειται για “πακέτα” στρωμάτων, και δεν λαμβάνεται υπόψη η επίδραση τυχόν συνεξορυσσόμενων ενδιάμεσων στειρών, καθώς και της υγρασίας και του ειδ. βάρους των στρωμάτων.

Εξέταση των τιμών μέσου CO₂ των αξιολογημένων γεωτρήσεων ως διαφορά (Τ.Ε.Ξ - CO₂) – (Τ.Ε.Ξ.)

Το τέταρτο στάδιο της διερεύνησης περιλαμβάνει αξιολόγηση των γεωτρήσεων πρώτα με τιμή μόνο τέφρας επί ξηρού και στη συνέχεια με τιμή “τέφρας επί ξηρού + CO₂”. Το μέσο CO₂ κάθε γεώτρησης υπολογίστηκε σαν η διαφορά των μέσων τιμών “τέφρα επί ξηρού + CO₂” μείον “τέφρα επί ξηρού” και συνεπώς στην περίπτωση αυτή περιλαμβάνονται τα ενδιάμεσα στείρα που τυχόν θα συνεξορυχθούν με το λιγνίτη, ενώ λαμβάνεται υπόψη στον αλγόριθμο αξιολόγησης η υγρασία και το ειδικό βάρος λιγνίτη & ενδιάμεσων στειρών.

Ο προσδιορισμός κριτηρίων αξιολόγησης των γεωτρήσεων με τιμή “τέφρας επί ξηρού + CO₂” έτσι ώστε να προκύπτει το ίδιο πάχος απολήψιμου λιγνίτη όπως κατά την αξιολόγηση με τιμή μόνο “τέφρας επί ξηρού” αποδείχθηκε **αδύνατος**, μετά από διαδικασία επαναληπτικών αξιολογήσεων, κατά τις οποίες επιτεύχθηκε ταύτιση του πάχους απολήψιμου λιγνίτη μόνο για 37 από τις 73 συνολικά γεωτρήσεις. Συγκεκριμένα έγιναν επαναληπτικές αξιολογήσεις των γεωτρήσεων με τιμή “τέφρας επί ξηρού + CO₂”, κατά τις οποίες διαφοροποιήθηκαν μόνο τα όρια τι-

μών για το χαρακτηρισμό “στείρου στρώματος” και “μπλοκ απολήψιμου λιγνίτη” (παράμετροι με έντονη γραφή),

Στον πιο κάτω πίνακα δίνονται ενδεικτικά τα όρια τιμών (Τ.Ε.Ξ. + CO₂) που χρησιμοποιήθηκαν στις επαναληπτικές αξιολογήσεις και ο αντίστοιχος αριθμός γεωτρήσεων για τις οποίες επιτεύχθηκε ταύτιση του πάχους απολήψιμου λιγνίτη προς αυτό που λαμβάνεται κατά την αξιολόγηση μόνο με τιμή Τ.Ε.Ξ. < 35,1%:

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΣΤΕΙΡΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

1. ΤΕΦΡΑ + CO₂: 0.00%
2. ΤΕΦΡΑ + CO₂ > 40.00% ΚΑΙ ΠΑΧΟΣ > 29.00 cm

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΕΝΟΣ ΜΠΛΟΚ ΣΑΝ ΛΙΓΝΙΤΗ

ΤΕΦΡΑ + CO₂ < 35.10% ΠΑΧΟΣ > 29.00 cm

ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι παρέμειναν αμετάβλητες:

ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗΣ ΕΞΟΥΣΗΣ ΣΤΕΙΡΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ (ΣΤΕΙΡΟ ΔΙΑΚΟΠΗΣ)

ΣΤΕΙΡΟ ΜΕ ΠΑΧΟΣ > 26.00 cm

Ε.Β. ΛΙΓΝΙΤΗ: 1.20 Ε.Β. ΣΤΕΙΡΟΥ: 1.70 Κ.Θ.Δ. ΣΤΕΙΡΟΥ: 358

ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΕΙΡΟΥ: 40.44 ΤΕΦΡΑ ΣΤΕΙΡΟΥ: 76.05

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΑΧΟΣ ΡΥΠΑΝΤΙΚΟΥ ΣΤΕΙΡΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ: 0 cm

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΦΑΙΡΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ ΛΟΓΩ ΑΠΩΛΕΙΩΝ: 20 cm

	A/A Όριο (Τ.Ε.Ξ. + CO ₂) για το χαρακτηρισμό μπλοκ σαν λιγνίτη	Όριο (Τ.Ε.Ξ. + CO ₂) για το χαρακτηρισμό “στείρου στρώματος”	Αριθμός γεωτρήσεων για τις οποίες επιτεύχθηκε ταύτιση του πάχους απολήψιμου λιγνίτη
1	< 35,1	> 40,0	7
2	< 36,1	> 50,0	12
3	< 36,1	> 80,0	12
4	< 37,1	> 50,0	14
.....
30	< 50,0	> 50,0	21
31	< 50,0	> 70,0	17

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΣΤΕΙΡΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

1. ΤΕΦΡΑ + CO₂: 0.00%
2. ΤΕΦΡΑ + CO₂ > 99.00% ΚΑΙ ΠΑΧΟΣ > 20.00 cm

**ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗΣ ΕΞΟΥΡΥΞΗΣ ΣΤΕΙΡΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ
(ΣΤΕΙΡΟ ΔΙΑΚΟΠΗΣ)**

ΣΤΕΙΡΟ ΜΕ ΠΑΧΟΣ > 20.00 cm

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΕΝΟΣ ΜΠΛΟΚ ΣΑΝ ΛΙΓΝΙΤΗ

ΤΕΦΡΑ + CO₂ < 50.00% ΠΑΧΟΣ > 50.00 cm

Ε.Β. ΛΙΓΝΙΤΗ: 1.20 Ε.Β. ΣΤΕΙΡΟΥ: 1.80 Κ.Θ.Δ. ΣΤΕΙΡΟΥ: 358

ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΕΙΡΟΥ: 40.44 ΤΕΦΡΑ ΣΤΕΙΡΟΥ: 76.05

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΑΧΟΣ ΡΥΠΑΝΤΙΚΟΥ ΣΤΕΙΡΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ: 7 cm

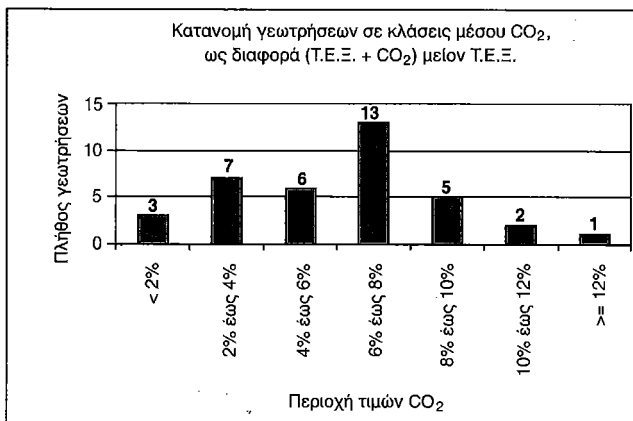
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΦΑΙΡΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ ΛΟΓΩ ΑΠΩΛΕΙΩΝ: 20 cm

Εξετάστηκε επίσης το σύνολο των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν από τη ΔΑΟ κατά τη σύνταξη της Μελέτης Εκμετάλλευσης Ορυχείου Μαυροπηγής:

Με το σενάριο αυτό δεν μπορεί να επιτευχθεί ταύτιση του πάχους απολήψιμου λιγνίτη σε καμιά γεώτρηση ως προς τα άλλα σενάρια αξιολόγησης, λόγω της εισαγωγής ρυπαντικού στρώματος, που δεν έχει ληφθεί υπόψη σε κανένα από τα προηγούμενα σενάρια και επηρεάζει σημαντικά την αξιολόγηση (ΚΟΛΟΒΟΣ Χ.Ι. & ΜΠΑΡΜΠΑΣ Τ. 1995).

Το πιο σημαντικό πρόβλημα που δημιουργείται από τις αποκλίσεις στο πάχος του απολήψιμου λιγνίτη είναι η **διαφοροποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κοιτάσματος**: είναι δυνατό ο συνολικός απολήψιμος λιγνίτης μιας γεώτρησης να μη διαφοροποιείται σημαντικά, ταυτόχρονα όμως, λόγω του πολυστρωματικού χαρακτήρα του κοιτάσματος, μπορεί ο απολήψιμος λιγνίτης να προέρχεται από άλλα στρώματα, πέραν αυτών που θεωρούνται, με την παραδοσιακή θεώρηση του ΔΚΠ-Α, απολήψιμα. Επηρεάζονται με τον τρόπο αυτό τα όποια χρονοδιαγράμματα παραγωγής.

Οι διαφορές στην αξιολόγηση ουσιαστικά αντιστοιχούν σε περιοχές πιθανότητας είτε να “υποεκτιμηθεί” είτε να “υπερεκτιμηθεί” ο περιεχόμενος λιγνίτης κατά



τη μελέτη του κοιτάσματος. Οι έννοιες “υποεκτίμηση” & “υπερεκτίμηση” αναφέρονται στο λιγνίτη που υπολογίζεται κατά τον παραδοσιακό τρόπο στο ΛΚΠ-Α (αξιολόγηση των γεωτρήσεων με βάση την τιμή της “τέφρας επί ξηρού”). Με τον τρόπο αυτό μπορούμε π.χ. να δούμε ότι η αξιολόγηση των γεωτρήσεων με το σύνολο των παραμέτρων (τιμές “τέφρας επί ξηρού + CO₂”), που έχουν χρησιμοποιηθεί στη Μελέτη εκμετάλλευσης Ορυχείου Μαυροπηγής του ΤΣΜΟ/ΔΑΟ, οδηγεί σε υπολογισμό 13,36% περισσότερου απολήψιμου λιγνίτη. Δεδομένου ότι με τις παραμέτρους αυτές έχουν αξιολογηθεί 48 γεωτρήσεις επί συνόλου 293 (ποσοστό 16,4%), η πιθανότητα “υπερεκτίμησης” (με την πιο πάνω έννοια) του απολήψιμου λιγνίτη είναι πολύ μικρή, ≈2,2% (με την παραδοχή ίσης ζώνης επιρροής για όλες της γεωτρήσεις). Με επανασχεδιασμό των τελικών ορίων του Ορυχείου, σε επιλεγμένες περιοχές, εκτιμάται ότι τελικά θα υπάρξει μικρή βελτίωση της συνολικής σχέσης εκμετάλλευσης του Ορυχείου έναντι αυτής που αναφέρεται στην αναθεωρημένη Μελέτη Εκμετάλλευσης.

Στατιστική ανάλυση των τιμών CO₂

- Το πάχος των στρωμάτων στα οποία έγινε δειγματοληψία (1545 στρώματα στο δείγμα των 73 γεωτρήσεων) κυμαίνεται από 1,0 μ. μέχρι 94,80 μ., με μέση τιμή τα 20,99 μ.
- Η μέση τιμή του CO₂ στα αυτοτελώς απολήψιμα λιγνιτικά στρώματα του κοιτάσματος Μαυροπηγής κυμαίνεται περί το 7% (μέσο CO₂ σταθμισμένο βάσει πάχους στρωμάτων).
- Αν ληφθεί υπόψη η επίδραση της υγρασίας και του ειδικού βάρους των στρωμάτων, τότε και στην περίπτωση αυτή το μέσο CO₂ εκτιμάται κοντά στο 7%.

Με βάση τα στοιχεία των γεωτρήσεων του δείγματος, η μέση τιμή CO₂ του κοιτάσματος περιοχής Ορυχείου Μαυροπηγής είναι ≈7%. Η τιμή αυτή αναμένεται να αυξηθεί ελαφρά (κατά 8-10%, δηλαδή σε ≈7,5-7,7%) κατά την εκμετάλλευση του κοιτάσματος, λόγω ρύπανσης του λιγνίτη από τα ενδιάμεσα στείρα, στις περιοχές όπου επικρατούν ως ενδιάμεσα στρώματα οι μάργες.

Η στατιστική κατανομή του πλήθους των 73 γεωτρήσεων σε κλάσεις διαστημάτων τιμών CO₂, για τα 4 διαφορετικά στάδια της διερεύνησης δίνεται σε μορφή ραβδογραμμάτων και δείχνουν εικόνα που προσομοιάζει σε κανονική κατανομή. Όπως έχει αποδειχθεί (ΚΟΛΟΒΟΣ Χ.Ι. 1990, 1991), η κανονική κατανομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του καυσίμου τροφοδοσίας των ΑΗΣ.

Εξέταση της μέσης τιμής CO₂ με τις προδιαγραφές καυσίμου του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας

Στο 5^ο και τελευταίο στάδιο έγινε αξιολόγηση των γεωτρήσεων με τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για το Ορυχείο Κύριου Πεδίου και με εισαγωγή ρυπαντικού

στρώματος 7 cm.

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης αυτής συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των ίδιων γεωτρήσεων με τιμή “τέφρας επί ξηρού + CO₂”.

Και στην περίπτωση αυτή ωστόσο μόνο σε 13 γεωτρήσεις, επί συνόλου 73, επιτυγχάνεται ταύτιση του πάχους απολήψιμου λιγνίτη με τους 2 τρόπους αξιολόγησης.

Το αθροιστικό πάχος απολήψιμου λιγνίτη για το δείγμα των 73 γεωτρήσεων είναι για τα βασικά σενάρια αξιολόγησης:

- ♦ αξιολόγηση με τιμή “τέφρας επί ξηρού” → 1037,15 μ.
- ♦ αξιολόγηση με τιμή “τέφρας επί ξηρού + CO₂”
(σύνολο παραμέτρων ΤΣΜΟ/ΔΑΟ) → 1175,72 μ.

Η εισαγωγή ρυπαντικού στρώματος 7 cm στο σύνολο των παραμέτρων αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται για τις εκμεταλλεύσεις του Ορυχείου Κύριου Πεδίου μειώνει το αθροιστικό πάχος του απολήψιμου λιγνίτη σε 930,30 μ., δηλαδή κατά 10,3%.

Για τις επόμενες αναθεωρήσεις της μελέτης εκμετάλλευσης του Ορυχείου Μαυροπηγής, προτείνεται η συνέχιση της αξιολόγησης των γεωτρήσεων –με το μεταλλευτικό πακέτο METAL (ΚΑΡΑΜΑΛΙΚΗΣ Ν.Α. 1992)– λαμβάνοντας υπόψη **μόνο την τιμή της τέφρας επί ξηρού**, που υπάρχει για όλες τις γεωτρήσεις, και όχι το άθροισμα “τέφρα επί ξηρού + CO₂”, για το οποίο αφενός δεν υπάρχουν αποδεκτά κριτήρια αξιολόγησης, αφ’ ετέρου τιμές CO₂ υπάρχουν για μερικές μόνο γεωτρήσεις.

Τονίζεται τέλος ότι μόνο η χρήση Η/Υ με το μεταλλευτικό πακέτο προγραμματίων METAL κάνει δυνατή την εξέταση τόσο μεγάλου αριθμού “σεναρίων” αξιολόγησης των γεωτρήσεων, καθόσον με τον παλαιό-χειρωνακτικό τρόπο αξιολόγησης απαιτείται τεράστιο χρονικό διάστημα για την αξιολόγηση 73 γεωτρήσεων με 33 διαφορετικούς τρόπους.

Συσχέτιση της μέσης τιμής CO₂ με τις προδιαγραφές καυσίμου του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας

Ο λιγνίτης που θα εξορυχθεί από το Ορυχείο Μαυροπηγής προορίζεται για την τροφοδότηση του ΑΗΣ Πτολ/δας. Στις προδιαγραφές καυσίμου του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας δεν περιλαμβάνεται πρόβλεψη για το αποδεκτό ποσοστό CO₂, αλλά μόνο για τα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά (προδιαγραφή 4^{ης} Μονάδας):

Ποιοτικά χαρακτηριστικά	Γενικό Καύσιμο	Βασικό Καύσιμο
Κατώτερη Θερμογόνα Δύναμη (Kcal/Kg)	1300 – 2030	1320 - 1750
Υδρογόνο (%)	1,45 – 1,85	1,65
Υγρασία (%)	52 – 60	57
Τέφρα (επί φυσικού) (%)	6 – 22	13

Ωστόσο, στις κατά πολύ νεότερες Μονάδες του ΑΗΣ Αμυνταίου-Φιλώτα, το όριο για το CO_2 είναι 0H5%, τόσο για το “βασικό” (basic) όσο και για το “χειρότερο” (worst) καύσιμο τροφοδοσίας του ΑΗΣ.

Σύμφωνα με τις πιο πάνω παρατηρήσεις, η μέση τιμή CO_2 του λιγνίτη που θα εξορυχθεί από το Ορυχείο Μαυροπηγής ($\approx 7\%$) υπερβαίνει το όριο προδιαγραφής για καύση σε ΑΗΣ (0-5%). Απαιτείται συνεπώς να προγραμματισθεί στάδιο μελέτης για τον προσδιορισμό των στρωμάτων εκείνων του κοιτάσματος που υπερβαίνουν σημαντικά το όριο του 5% και η εξέταση τρόπων και διαδικασιών χειρισμού ή κατεργασίας των στρωμάτων αυτών, προκειμένου να βελτιωθούν τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά (ανάμιξη και ομογενοποίηση ποιοτήτων στο Bunker του Ορυχείου ή την αυλή λιγνίτη του ΑΗΣ).

Συμπεράσματα

- ♦ Η εξέταση των τιμών του CO_2 στην περιοχή του Ορυχείου Μαυροπηγής με βάση επιλεγμένο δείγμα 73 γεωτρήσεων δείχνει μια ζώνη ιδιαίτερα χαμηλών μέσων τιμών CO_2 κατά μήκος του ΒΑ ορίου του Ορυχείου Μαυροπηγής, που ακολουθεί περίπου το ρέμα Σουλού. Ίδια εικόνα προκύπτει και για το Βόρειο τμήμα του Ορυχείου, στην περιοχή του ορύγματος Διαβολορέματος. Στο Κεντρικό, Δυτικό και στο Νότιο τμήμα του Ορυχείου οι μέσες τιμές CO_2 είναι αυξημένες, ιδιαίτερα στην περιοχή του χωριού Κόμανος και προς την Εξωτερική Απόθεση ΙΙΙ (Καρδιάς). Η μέση τιμή CO_2 του κοιτάσματος περιοχής Ορυχείου Μαυροπηγής, με βάση τα γεωτρητικά στοιχεία, είναι $\approx 7\%$.
- ♦ Η μέση τιμή CO_2 **υπερβαίνει** ελαφρά το όριο προδιαγραφής για καύση σε ΑΗΣ. Απαιτείται συνεπώς στάδιο μελέτης για τον προσδιορισμό των στρωμάτων εκείνων του κοιτάσματος που υπερβαίνουν σημαντικά το όριο του 5% και η εξέταση τρόπων και διαδικασιών χειρισμού ή κατεργασίας των στρωμάτων αυτών, προκειμένου να βελτιωθούν τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά.
- ♦ Ο προσδιορισμός κριτηρίων αξιολόγησης των γεωτρήσεων με τιμή “τέφρας επί ξηρού + CO_2 ” έτσι ώστε να προκύπτει το ίδιο πάχος απολήψιμου λιγνίτη όπως κατά την αξιολόγηση με τιμή μόνο “τέφρας επί ξηρού” αποδείχθηκε αδύνατος.
- ♦ Η εξέταση μεγάλου αριθμού «σεναρίων» αξιολόγησης των γεωτρήσεων είναι δυνατή μόνο με χρήση ειδικού προγράμματος H/Y, καθόσον με τον παλαιό-παραδοσιακό τρόπο απαιτείται τεράστιο χρονικό διάστημα για την αξιολόγηση 73 γεωτρήσεων με 33 διαφορετικούς τρόπους.

Βιβλιογραφία

- ΚΟΛΟΒΟΣ Χ.Ι. (1990). “Στατιστική ανάλυση των τιμών της Κατώτερης Θερμογόνας Δύναμης του μίγματος λιγνίτη-ξύλιτη του ΑΗΣ Καρδιάς”, Δημοσίευση έκθεση ΔΕΗ/ΑΚΠ-Α, σ. 200.

- ΚΟΛΟΒΟΣ Χ.Ι. (1990). "Στατιστική ανάλυση των τιμών της Κατώτερης Θερμογόνας Δύναμης του λιγνίτη τροφοδοσίας του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου", Δημοσίευτη έκθεση ΔΕΗ/ΛΚΠ-Α, σ. 146.
- ΚΟΛΟΒΟΣ Χ.Ι. (1991). "Στατιστική ανάλυση των τιμών των Βασικών Ποιοτικών Χαρακτηριστικών του λιγνίτη τροφοδοσίας του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου", Δημοσίευτη έκθεση ΔΕΗ/ΛΚΠ-Α, σ. 689.
- ΚΕΦΑΛΑΣ Σ. & ΞΗΡΟΠΟΥΛΟΥ Ι. (1987). "Γεωλογική διερεύνηση της περιοχής Διαβολορέματος – Μαυροπηγής – Ποντοκώμης της λεκάνης Πτολεμαΐδας", ΔΕΗ, Αθήνα, σ. 60.
- ΚΑΡΑΜΑΛΙΚΗΣ Ν.Α. (1992). "Πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή για την αξιολόγηση λιγνιτικών κοιτασμάτων", Ορυκτός Πλούτος, 76, 39-50.
- ΚΟΛΟΒΟΣ Χ.Ι. & ΜΠΑΡΜΠΑΣ Τ. (1995). "Η αξιολόγηση των γεωτρήσεων και ο υπολογισμός των αποθεμάτων στο Δυτικό Πεδίο», Δημοσίευτη έκθεση ΔΕΗ/ΛΚΠ-Α, σ. 33.
- ΤΣΑΚΑΡΙΣΙΑΝΟΣ Α., ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΗΣ Δ. & ΚΙΤΣΙΚΟΠΟΥΛΟΣ Χ. (1994). "Μελέτη των επιπτώσεων της λειτουργίας των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α από την τροφοδοσία εμπλουτισμένου λιγνίτη", Δημοσίευτη έκθεση, Αθήνα, σ. 48.
- ΚΙΤΣΙΚΟΠΟΥΛΟΣ Χ. & ΜΑΡΚΟΥΛΗΣ Μ. (1992). "Οι νεότερες εξελίξεις στην τεχνολογία εμπλουτισμού των λιγνιτικών και ξυλιτικών κοιτασμάτων και η επίδρασή τους στην ορθολογική εκμετάλλευση των αποθεμάτων από τη ΔΕΗ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας", Πρακτικά Δημερίδας "Λιγνίτης και Ενεργειακό ισοζύγιο. Σημερινή κατάσταση-Προοπτικές", ΤΕΙ Κοζάνης, 2-3 Οκτωβρίου 1992, σ. 41.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 212-222</p>
---	---	--

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΥΝΕΞΟΡΥΞΗΣ ΤΩΝ ΕΝΔΙΑΜΕΣΩΝ ΣΤΕΙΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΩΡΥΧΕΙΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΤΟΥ ΛΚΠ-Α

**N. Κολοβός¹, Α. Γεωργακόπουλος², Α. Φιλιππίδης², Κ. Καβουρίδης¹,
Α. Κασώλη-Φουρνάρακη², Ν. Καντηράνης², Κ. Σταμούλης¹,
Δ. Σωτηρόπουλος³, Κ. Λάσκος¹**

Περίληψη

Τα ενδιάμεσα λεπτά στρώματα των στείρων υλικών του ορυχείου του Νοτίου Πεδίου που συνεξορύσσονται με τον λιγνίτη, χαρακτηρίζονται πετρολογικά ως μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και περιέχουν 90-95% ασβεσίτη, 5-7% μαργαργίτες+αργιλικά ορυκτά και < 4% αστρίους. Τα ανθρακικά ορυκτά που ήδη περιέχονται στον ίδιο τον λιγνίτη, αυξάνουν τη συμμετοχή τους στον απολήψιμο λιγνίτη με τη συνεξόρυξη των μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Η συνεξόρυξη των μαργαϊκών ασβεστόλιθων επιφέρει αύξηση του ποσοστού της τέφρας και μείωση της θερμογόνου δύναμης του απολήψιμου λιγνίτη, καθώς επίσης και αύξηση του ποσοστού του ελεύθερου CaO στην τέφρα του λιγνίτη. Η αύξηση του ελεύθερου CaO στην τέφρα του λιγνίτη αυξάνει τις εκπομπές στερεών σωματιδίων στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου. Η αύξηση της θερμοκρασίας που συνοδεύει την ενυδάτωση του ελεύθερου CaO, επιφέρει την απώλεια νερού διαβροχής της τέφρας και τη φθορά των εγκαταστάσεων αποκομιδής της. Η εκτίμηση της περιεκτικότητας του ελεύθερου CaO στην τέφρα του λιγνίτη μπορεί να γίνει έμμεσα με τη χρήση ενός συντελεστή, ο οποίος προσδιορίζεται από τον λόγο CO₂ επί ξηρού και τέφρα επί ξηρού του απολήψιμου λιγνίτη.

Abstract

Intercalated thin layers of sterile materials, which are co-excavated with lignite in the Southern Field mine of Ptolemais, are petrologically characterized as marly limestones. These marly limestones contain 90-95% calcite, 5-7% micas+clays and < 4% feldspars. The co-excavation of the marly limestone layers, increase the content of the carbonate minerals (already contained in the lignite), increase the ash content and decrease the calorific value of the mined lignite, as well as increase the free CaO content in the lignite ash. The increase of the free CaO content in the lignite ash results in the increase of the solid particle emissions in the power plant of Agios Dimitrios. The temperature increase, which follows the hydration of free CaO, results in the evapora-

1. ΔΕΗ / ΛΚΠ-Α, ΤΘ 21, 502 00 Πτολεμαΐδα.
2. Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, 540 06 Θεσσαλονίκη.
3. ΔΕΗ / ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, ΤΘ 136, 501 00 Κοζάνη.

tion of the ash water and in the damage of the ash transportation equipment. The concentration of free CaO in the lignite ash can be estimated through a coefficient which is obtained from the ratio of CO₂-content (db) and the ash-content (db) of the mined lignite.

Εισαγωγή

Η ποιότητα του απολήψιμου λιγνίτη από οικονομικής και περιβαλλοντικής απόψεως, σχετίζεται μεταξύ άλλων με την ποιότητα της οργανικής ύλης, την περιεκτικότητα του λιγνίτη σε ανόργανα συστατικά, καθώς και τη φύση των ενδιάμεσων στείων υλικών που συνεξορύσσονται (FOSCOLOS et al. 1989, SWAINE 1990, CLARKE & SLOSS 1992, KABOYPIΔΗΣ 1992, ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ κ.α. 1992, GEORGAKOPOULOS et al. 1995, ΜΙΧΑΙΛΙΔΙΣ et al. 1997, SAKORAFΑ & ΜΙΧΑΙΛΙΔΙΣ 1997, ΙΟΡΔΑΝΙΔΙΣ et al. 1999).

Η ποιότητα του απολήψιμου λιγνίτη, καθώς και των παραγόμενων προϊόντων καύσης του λιγνίτη στους ΑτμοΗλεκτρικούς Σταθμούς (ΑΗΣ), έχουν σημαντική επίδραση στις εργασίες του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (ΛΚΠ-Α), των ΑΗΣ και στην λειτουργία των ηλεκτροστατικών φίλτρων. Η περιεκτικότητα του απολήψιμου λιγνίτη σε ανθρακικά ορυκτά και η συγκέντρωση του ελεύθερου CaO στις τέφρες του λιγνίτη, μπορούν πιθανώς να δημιουργήσουν οικονομικής και περιβαλλοντικής φύσεως προβλήματα κατά την εκμετάλλευση και αξιοποίηση των λιγνιτικών κοιτασμάτων (ΚΑΒΟΥΡΙΑΔΗΣ κ.α. 1991, GEORGAKOPOULOS et al. 1992, 1994, 1996, KASSOLI-FOURNARAKI et al. 1993, ΙΤΣΚΟΣ 1994, ΚΑΒΟΥΡΙΔΕΣ & ΠΑΥΛΟΥΔΑΚΙΣ 1999, ΚΑΒΟΥΡΙΔΕΣ et al. 1999). Το ελεύθερο CaO δημιουργείται κατά την καύση του λιγνίτη με τη διάσπαση των ανθρακικών ορυκτών, που περιέχονται όχι μόνο στον λιγνίτη, αλλά και στα λεπτά ενδιάμεσα στρώματα που συνεξορύσσονται με τον λιγνίτη (FILIPPIDIS et al. 1992, 1996, KASSOLI-FOURNARAKI et al. 1992).

Το λιγνιτικό κοίτασμα του Νοτίου Πεδίου αναπτύσσεται εντός της λεκάνης Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου και χαρακτηρίζεται από εναλλαγές λιγνιτικών και ενδιάμεσων στείων ενστρώσεων. Οι ιπτάμενες τέφρες του ΛΚΠ-Α, καθώς και του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου είναι θειοασβεστιτικού χαρακτήρα, παρουσιάζουν όμως έντονη διακύμανση στην ορυκτολογική και χημική σύστασή τους (FILIPPIDIS & GEORGAKOPOULOS 1992, ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ κ.α. 1992, ΔΗΜΗΤΡΟΥΛΑ κ.α. 1997, FILIPPIDIS et al. 1997, ΦΙΛΙΠΠΙΑΔΗΣ κ.α. 1997).

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη των οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων της συνεξορύξης των ενδιάμεσων στείων υλικών και του ελεύθερου CaO που δημιουργείται κατά την καύση του απολήψιμου λιγνίτη του Νοτίου Πεδίου στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου του ΛΚΠ-Α.

Υλικά και μέθοδοι έρευνας

Συλλέχθηκαν 87 δείγματα απολήψιμου λιγνίτη από τα μέτωπα εξορύξης του Νοτίου Πεδίου, στα οποία προσδιορίστηκαν η υγρασία, η τέφρα, το CO₂ και η θερ-

μογόνος δύναμη, ενώ η τέφρα αναλύθηκε ως προς το ελεύθερο CaO. Οι χημικές αναλύσεις του λιγνίτη και της τέφρας πραγματοποιήθηκαν στο φυσικοχημικό εργαστήριο του ΛΚΠ-Α. Ο προσδιορισμός του ελεύθερου CaO στην τέφρα έγινε με τη μέθοδο της αιθυλενογλυκόλης.

Αντιπροσωπευτικά δείγματα στείων υλικών του Νοτίου Πεδίου (3 υπερκείμενων σχηματισμών, 14 ενδιάμεσων στείων σχηματισμών και 8 ενδιάμεσων που συνεχίζονται) εξετάστηκαν ως προς την ορυκτολογική τους σύσταση με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) σε τυχαία προσανατολισμένα δείγματα. Χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο Philips με ακτινοβολία CuK_α , φίλτρο Ni, ταχύτητα σάρωσης $1,2^\circ/\text{min}$ και περιοχή σάρωσης $3-53^\circ (2\theta)$. Ο ημιοσοτικός προσδιορισμός των ορυκτολογικών φάσεων έγινε με βάση τις απαριθμήσεις (counts) συγκεκριμένων ανακλάσεων και λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα και τον συντελεστή απορρόφησης μάζας (mass absorption coefficient CuK_α) των ορυκτολογικών φάσεων.

Για τη μελέτη επίδρασης των μαργαϊκών ασβεστόλιθων στην ποιότητα του λιγνίτη και την περιεκτικότητα της τέφρας σε ελεύθερο CaO, πραγματοποιήθηκαν ανάμιξεις λιγνίτη και μαργαϊκού ασβεστόλιθου (σε ποσοστά 5, 10, 15 και 20%) και ακολούθως στα δείγματα ανάμιξης προσδιορίστηκαν τα ποσοστά τέφρας επί ξηρού και το ελεύθερο CaO στην τέφρα, καθώς και η ανωτέρα θερμογόνος δύναμη επί ξηρού στο χημείο του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου. Οι μετρήσεις των εκπεμπόμενων στερεών σωματιδίων πραγματοποιήθηκαν με θολερόμετρα, τα οποία είναι εγκατεστημένα μετά τα ηλεκτροστατικά φίλτρα των μονάδων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου.

Αποτελέσματα και συζήτηση

Οι ποιοτικές παράμετροι του απολήψιμου λιγνίτη των μετώπων εξόρυξης του Νοτίου Πεδίου, παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις (Πίν. 1) και επιβεβαιώνουν την ανομοιογένεια του λιγνίτη (FOSCOLOS et al. 1989, ΚΑΒΟΥΡΙΑΔΗΣ 1992, ΚΟΥ-

Πίνακας. 1. Ποιοτικές παράμετροι 87 δειγμάτων απολήψιμου λιγνίτη μετώπων εξόρυξης του Νοτίου Πεδίου

Table 1. Quality parameters of 87 samples of recoverable lignite from excavation benches of Southern Field

Παράμετρος	Μέση τιμή	Διακύμανση
Υγρασία (%)	53,7	44,0 - 59,1
Τέφρα ως έχει (%)	12,7	5,7 - 31,8
Τέφρα επί ξηρού (%)	27,1	13,2 - 56,7
CO ₂ επί ξηρού (%)	5,0	0,7 - 22,0
Κατωτέρα Θερμογόνος Δύναμη (kcal/kg)	1498	696 - 1894
Συντελεστής Σ = (CO ₂ /Τέφρα επί ξηρού) × 100	18,5	1,3 - 53,0
Ελεύθερο CaO της τέφρας (%)	12,5	0,0 - 53,0

Πίνακας 2. Ημιποσοτική ορυκτολογική σύσταση (κ.β. %) στειρών υλικών του Νοτίου Πεδίου με τη μέθοδο XRD

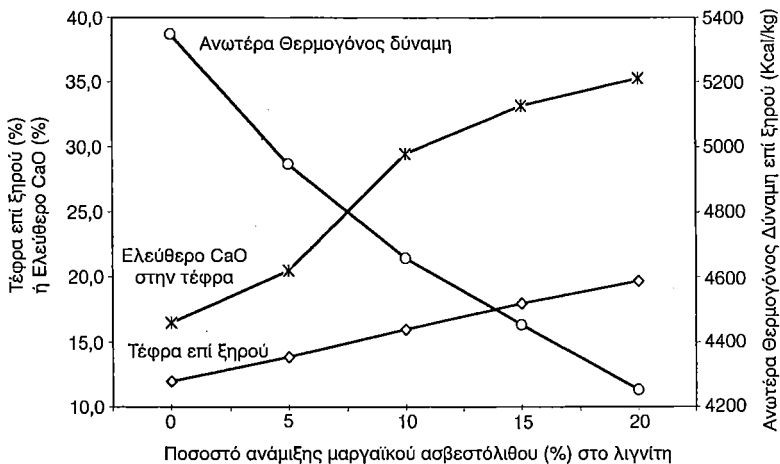
Table 2. Semiquantitative mineralogical composition (wt. %) of sterile materials from Southern Field, based on XRD analysis

Δείγμα	Ορυκτά						Χαρακτηρισμός
	Ασβε- σίτης	Αραγω- νίτης	Χαλα- ζίας	Αστριοι	Ολικά αργιλικά*	Αμφίβολοι	
<i>Υπερμείμενα</i>							
A1	6	-	32	54	8	-	Χαλαζιοαστριούχα άμμος
A2	7	-	43	42	5	3	Ασριοχαλαζιούχα άμμος
A3	ίχνη**	-	12	81	4	ίχνη	Αστριούχα άμμος
<i>Ενδιάμεσα</i>							
M4	93	-	-	-	7	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
M7	93	ίχνη	-	-	6	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
M8	92	ίχνη	-	-	7	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
M9	93	ίχνη	-	-	6	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
M10	94	-	-	-	6	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
M11	87	-	-	-	13	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
M12	6	-	15	68	11	-	Αστριούχα άμμος
M13	93	ίχνη	-	-	6	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
M14	93	-	-	-	7	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
M15	81	-	9	5	5	-	Χαλαζιοαστριούχος Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
M20	91	ίχνη	-	-	8	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
M21	93	ίχνη	-	-	6	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
M22	86	ίχνη	-	-	13	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
M23	51	-	14	17	18	-	Χαλαζιακός αστριούχος ασβεστόλιθος
<i>Ενδιάμεσα που συνεξορύσσονται</i>							
EM1	95	-	-	-	5	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
EM2	90	-	-	4	6	-	Αστριούχος μαργαϊκός ασβεστόλιθος
EM3	93	-	-	-	7	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
EM4	93	-	-	-	7	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
EM5	94	-	-	-	6	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
EM6	94	-	-	-	6	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
EM7	94	-	-	-	6	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
EM8	94	-	-	-	6	-	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος

* Μαργαρυγίες + αργιλικά ορυκτά, ** ίχνη < 3%.

ΚΟΥΖΑΣ κ.α. 1992, GEORGAKOPOULOS et al. 1995, FILIPPIDIS et al. 1996, MICHAILIDIS et al. 1997). Η περιεκτικότητα της τέφρας σε ελεύθερο CaO επίσης παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις (Πίν. 1) και εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα των ανθρακικών ορυκτών στον λιγνίτη, αλλά και από την περιεκτικότητα κυρίως σε ασβεσίτη των στρώματων που συνεξορύσσονται με τον λιγνίτη (Πίν. 2). Τα ενδιάμεσα στρώματα των μαργαϊκών ασβεστόλιθων που συνεξορύσσονται περιέχουν > 90% ασβεσίτη, μικρές ποσότητες μαρμαρυγιών+αργιλικά ορυκτά και σπανίως αστρίους (Πίν. 2). Οι υπερκείμενοι σχηματισμοί του Νοτίου Πεδίου περιέχουν κυρίως χαλαζία και αστρίους. Η πλειοψηφία των ενδιάμεσων στρώματων σχηματισμών που δεν συνεξορύσσονται είναι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, που περιέχουν κυρίως ασβεσίτη και σε μικρότερες αναλογίες μαρμαρυγίες+αργιλικά ορυκτά (Πίν. 2).

Η ανάμιξη του μαργαϊκού ασβεστόλιθου στον λιγνίτη επιφέρει την αύξηση του ποσοστού της τέφρας και του ελεύθερου CaO στην τέφρα, ταυτόχρονα δε μειώνει τη θερμογόνο δύναμη (Πίν. 3 και Σχ. 1). Εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι ο ασβεσίτης περιέχεται σε πολύ υψηλά ποσοστά στους ενδιάμεσους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους που συνεξορύσσονται με τον λιγνίτη (Πίν. 2). Επίσης, σημαντικό θεωρείται το γεγονός ότι δεν παρατηρείται διαφοροποίηση στην ορυκτολογική σύσταση των ενδιάμεσων αυτών στρώματων, αν και τα δείγματα έχουν συλλεχθεί από θέσεις που απέχουν μεταξύ τους, τόσο ως προς την οριζόντια, όσο και ως προς την κατακόρυφο, κάτι που δείχνει σταθερότητα στην τροφοδοσία των ενδιάμεσων στρωμά-



Σχήμα 1. Επίδραση του μαργαϊκού ασβεστόλιθου στην ποιότητα του λιγνίτη και της τέφρας.

Figure 1. The influence of the marly limestone on the lignite and ash quality.

Πίνακας 3. Ποιοτικές παράμετροι μιγμάτων λιγνίτη-μαργαϊκού ασβεστόλιθου.

Table 3. Quality parameters of lignite-marly limestone mixtures

Παράμετροι	Αρχικός λιγνίτης	Ανάμειξη μαργαϊκού ασβεστόλιθου (%) στον λιγνίτη			
		5	10	15	20
Τέφρα επί ξηρού (%)	12,0	13,9	16,0	18,0	19,7
Α.Θ.Δ. επί ξηρού (kcal/kg)	5349	4949	4658	4454	4254
Ελεύθερο CaO στην τέφρα (%)	16,5	20,5	29,5	33,2	35,3

Α.Θ.Δ.: Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμη

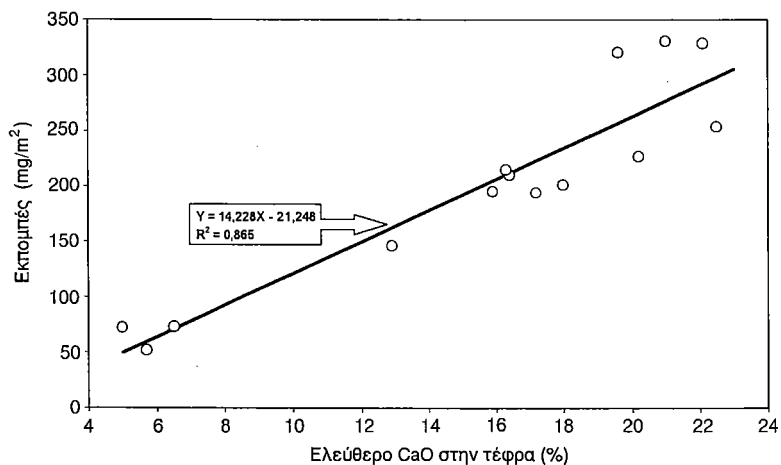
των σε ασβεστίτη στον απολήψιμο λιγνίτη. Η αύξηση του ελεύθερου CaO στην ι-πτάμενη τέφρα του λιγνίτη αυξάνει τις εκπομπές στερεών σωματιδίων στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου (Πιν. 4 και Σχ. 2). Το γεγονός αυτό συνδέεται με την αύξηση της αντίστασης της ιπτάμενης τέφρας και ακολούθως με τη μειωμένη απόδοση των ηλεκτροστατικών φίλτρων. Το ελεύθερο CaO δημιουργείται κατά την καύση του απολήψιμου λιγνίτη με τη διάσπαση των ανθρακικών ορυκτών (FILIPPIDIS et al. 1992, 1996, KASSOLI-FOURNARAKI et al. 1992).

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων οδηγεί στη συσχέτιση του ποσοστού του ελεύθερου CaO στην τέφρα του λιγνίτη με τα στοιχεία της άμεσης ανάλυσης (proximate analysis), τα οποία μπορούν να προσδιοριστούν σχετικά σύντομα. Έτσι προκύπτει ένας χρήσιμος συντελεστής (Σ) για τον απολήψιμο λιγνίτη, όπου $\Sigma = (\text{CO}_2/\text{τέφρα επί ξηρού}) \times 100$. Ο συντελεστής (Σ) συσχετίζεται γραμμικά με το ελεύθερο CaO στην τέφρα του λιγνίτη (Σχ. 3). Για τιμές $\Sigma > 17\%$, αντιστοιχούν τιμές του ελεύθερου CaO $> 11\%$, ποσοστό πέραν του οποίου παρατηρούνται προβλήματα στην αποτελεσματική λειτουργία των ηλεκτροστατικών φίλτρων. Το ποσοστό 11% του ελεύθερου CaO αφορά στην παρούσα κατάσταση των λεβήτων και των ηλεκτροστατικών φίλτρων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου. Έτσι, όταν τα ποσοστά του CO₂ επί ξηρού και της τέφρας επί ξηρού, είναι γνωστά για τον απολήψιμο λιγνίτη, εξάγεται με μεγάλη προσέγγιση το ποσοστό του ελεύθερου CaO στην τέ-

Πίνακας 4. Εκπομπές στερεών σωματιδίων και ελεύθερο CaO στην τέφρα του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου

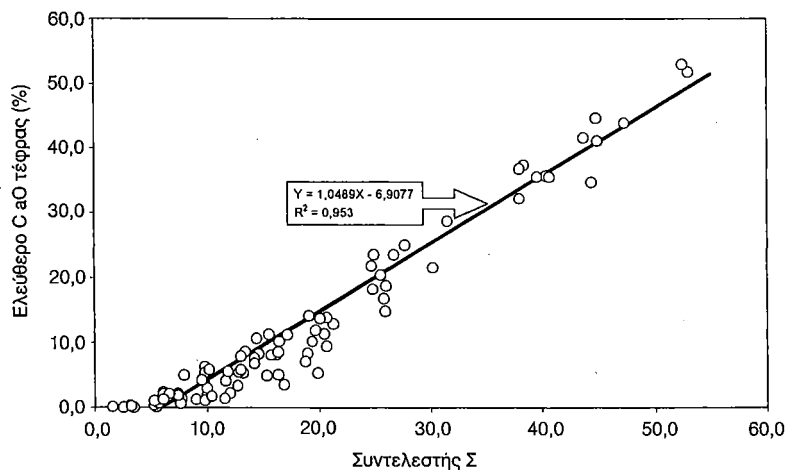
Table 4. Solid particle emissions and free CaO content in the lignite ash of Agios Dimitrios Power Plant

Εκπομπές σωματιδίων (mg/m ³)														
	52	72	73	146	195	254	329	331	321	227	194	210	215	201
Ελεύθερο CaO στην τέφρα (%)														
	5,7	5,0	6,5	12,9	15,9	22,5	22,1	21,0	19,6	20,2	17,2	16,4	16,3	18,0



Σχήμα 2. Σχέση εκπομπών στερεών σωματιδίων και ελεύθερου CaO στην τέφρα του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου.

Figure 2. Solid particle emissions vs free CaO content in the lignite ash of Agios Dimitrios Power Plant.



Σχήμα 3. Σχέση του συντελεστή $\Sigma = [(CO_2 \text{ του λιγνίτη}/\text{Τέφρα επί ξηρού}) \times 100]$ και της περιεκτικότητας ελεύθερου CaO στην τέφρα του λιγνίτη.

Figure 3. The coefficient $\Sigma = [(CO_2 \text{ lignite}/\text{Ash content-db}) \times 100]$ vs free CaO-content of the lignite ash.

φρα του λιγνίτη (Σχ. 3). Επισημαίνεται ότι ο προσδιορισμός του ελεύθερου CaO στην τέφρα του λιγνίτη μπορεί να επιτευχθεί και με τη μέθοδο XRD.

Η υψηλή περιεκτικότητα σε ελεύθερο CaO της τέφρας του λιγνίτη, πέραν του περιβαλλοντικού προβλήματος, δημιουργεί επίσης προβλήματα στις εγκαταστάσεις αποκομιδής της τέφρας. Η αύξηση της θερμοκρασίας που συνοδεύει την ενυδάτωση του ελεύθερου CaO, έχει ως αποτέλεσμα τη ξήρανση της διαβρεγμένης τέφρας (απώλεια νερού διαβροχής), με αποτέλεσμα να απαιτούνται μεγάλες ποσότητες νερού για να αποκτήσει η μεταφερόμενη τέφρα υγρασία 30%, όπως προβλέπεται από τους κανονισμούς. Παράλληλα η αύξηση της θερμοκρασίας της μεταφερόμενης τέφρας έχει επιπτώσεις στις μεταλλικές και κυρίως στις ελαστικές επιφάνειες σε μακροχρόνια βάση. Θα πρέπει να επισημανθεί, ότι το ελεύθερο CaO έχει και θετικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, καθόσον δεσμεύει το SO₂ (φυσική αποθείωση) προς σχηματισμό ανυδρίτη (FILIPPIDIS et al. 1992, 1996, KASSOLI-FOURNARAKI et al. 1992). Η συγκέντρωση του θείου στον λιγνίτη του Νοτίου Πεδίου είναι περίπου σταθερή. Σε αντίθετη περίπτωση η σχέση της σύστασης της τέφρας με την απόδοση των ηλεκτροστατικών φίλτρων θα πρέπει να περιλάβει και τη συγκέντρωση του θείου. Η σχέση θείου και CaO στην απόδοση των ηλεκτροστατικών φίλτρων είναι ανταγωνιστική.

Συμπεράσματα

Τα ενδιάμεσα στρώματα των στείων υλικών του Νοτίου Πεδίου που συνεξορύσσονται με τον λιγνίτη, χαρακτηρίζονται πετρολογικά ως μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και περιέχουν 90-95% ασβεσίτη, 5-7% μαρμαρυγίτες+αργιλικά ορυκτά και < 4% αστρίου. Η συνεξορύξη των λεπτών στρωμάτων μαργαϊκού ασβεστόλιθου επιφέρει αύξηση του ποσοστού της ιπτάμενης τέφρας, αύξηση του ελεύθερου CaO στην ιπτάμενη τέφρα και ταυτόχρονα μειώνει τη θερμογόνο δύναμη του απολήψιμου λιγνίτη. Το ελεύθερο CaO της ιπτάμενης τέφρας δημιουργείται κατά την καύση του λιγνίτη με τη διάσπαση των ανθρακικών ορυκτών που περιέχονται όχι μόνο στον ίδιο τον λιγνίτη, αλλά και στα λεπτά ενδιάμεσα στρώματα των μαργαϊκών ασβεστόλιθων που συνεξορύσσονται με το λιγνίτη.

Η αύξηση του ελεύθερου CaO στην ιπτάμενη τέφρα του λιγνίτη αυξάνει τις εκπομπές στερεών σωματιδίων στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου. Η υψηλή περιεκτικότητα της ιπτάμενης τέφρας σε ελεύθερο CaO δημιουργεί επίσης προβλήματα στις εγκαταστάσεις αποκομιδής της τέφρας, όπου η αύξηση της θερμοκρασίας, που συνοδεύει την ενυδάτωση του ελεύθερου CaO, επιφέρει την ξήρανση της διαβρεγμένης τέφρας (απώλεια νερού διαβροχής) και τη φθορά σε μακροχρόνια βάση των μεταλλικών και ελαστικών επιφανειών των εγκαταστάσεων.

Ο συντελεστής (Σ) που χαρακτηρίζει τον απολήψιμο λιγνίτη συνδέεται με το ελεύθερο CaO της τέφρας του λιγνίτη με γραμμική σχέση: $Y = 1,0489X - 6,9077$, ό-

που $Y =$ ελεύθερο CaO της τέφρας (%) και X ο συντελεστής (Σ). Για τιμές (Σ) > 17% περίπου, αντιστοιχούν τιμές του ελεύθερου $CaO > 11\%$ περίπου, ποσοστό πάνω από το οποίο παρατηρούνται προβλήματα στην αποτελεσματική λειτουργία των ηλεκτροστατικών φίλτρων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου.

Ευχαριστίες

Ο υποψήφιος διδάκτορας κ. Ν. Καντηράνης ευχαριστεί θερμά το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών για την υποστήριξη των σπουδών του.

Βιβλιογραφία

- CLARKE B. L. & SLOSS L. L. (1992). Trace elements – Emissions from coal combustion and gasification. IEA Coal Research, IEACR/49, London, p. 111.
- ΔΗΜΗΤΡΟΥΛΑ Μ., ΓΕΡΟΥΚΗ Φ. & ΦΩΣΚΟΛΟΣ Α. (1997). Ορυκτολογική, ορυκτοχημική και γεωχημική μελέτη της ιπτάμενης τέφρας των ΑΗΣ Κοζάνης-Πτολεμαΐδας. Δημερίδα: Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές, Κοζάνη (3-4/10/1997), Πρακτ. Τομ. Β', 143-158.
- FILIPPIDIS A. & GEORGAKOPOULOS, A. (1992). Mineralogical and chemical investigation of fly ash from the Main and Northern lignite fields in Ptolemais, Greece. Fuel, 71, 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 Mineral., 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. J. Coal Geol., 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), 149-158.
- ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α., ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α. & ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α. (1997). Ορυκτολογία, κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία ιπτάμενων τεφρών των ΑΗΣ του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου. Δημερίδα: Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές, Κοζάνη (3-4/10/97), Πρακτ. Τόμ. Β', 159-168.
- FOSCOLOS A. E., GOUDARZI F., KOUKOUZAS C. N. & HATZIYANNIS G. (1989). Reconnaissance study of mineral matter and trace elements in Greek lignites. Chemical Geology, 76, 107-130.
- 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 Mineral., 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., FERNANDEZ-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: *Coal Science & Technology* (Pajares & Tascon, Eds), Elsevier, 24, 163-166.
- GEORGAKOPOULOS A., FILIPPIDIS 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 Intern. Conf. *Envir. Pollution*, Thessaloniki (16-20/9/96), Proc., 114-118.
- ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α., ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α. & ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α. (1992). Ορυκτολογία, χημεία και μορφολογία τέφρας από εργαστηριακή καύση σε 1000°C και ιπτάμενης τέφρας του λιγνίτη Πτολεμαΐδας - Αξιοποίηση και περιβάλλον. *Διημερίδα: Λιγνίτης & Ενεργειακό Ισοζύγιο, Κοζάνη* (2-3/10/92), σ. 12.
- ΙΟΡΔΑΝΙΔΗΣ Α., ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α., ΜΑΡΚΟΒΑ Κ., ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α. & ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α. (1999). Application of TG-DTA to the study of Amynteon lignites, Northern Greece. 4th *MEDICTA*, Patras (29/8-1/9/99), Proc., 319-324.
- ΙΤΣΚΟΣ Σ. (1994). Επίδραση στη συμπεριφορά της τέφρας στο φλογοθάλαμο κατά τη χρήση CaO σαν αποθειωτικό μέσο. *Διδακτορική διατριβή, Παν/μιο Πάτρας*, σ. 243.
- KASSOLI-FOURNARAKI A., GEORGAKOPOULOS A. & FILIPPIDIS A. (1992). Heating experiments of the Ptolemais lignite in the temperature range from 100°C to 500°C. *N. Jb. Miner. Mh.*, 11, 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: *Current Res. Geology Applied to Ore Deposits* (Fenoll Hach-Ali, Torres-Ruiz & Gervilla, Eds), La Guioconda, Granada, 727-730.
- KAVOURIDES K. & PAVLOUDAKIS F. (1999). Supportive fuels and homogenisation methods to improve lignite quality produced from the Ptolemais-Amynteon multi-seam deposits for power generation purposes. *Thermie workshop, European Comm. Direct.-Gen. for Energy*, Thessaloniki (15-16/9/99), Proc., p. 17.
- KAVOURIDES K., NIKOLAIDES I. & LOGOTHETIS A. (1999). Improvements of the lignite quality produced from Ptolemais multi-seam deposits by using dry lignite for power generation. *Pre-drying processes for the efficient and clean utilization of brown coals in the EU market. Thermie workshop European comm. direct.-gen. for energy*, Athens (30/9-1/10/99), Proc., p. 15.
- ΚΑΒΟΥΡΙΑΔΗΣ Κ. (1992). Προσδιορισμός της ποιότητας του παραγόμενου από την εκμετάλλευση λιγνίτη με βάση τα στοιχεία της κοιτασματολογικής μελέτης. *Διημερίδα: Λιγνίτης & Ενεργειακό Ισοζύγιο, Κοζάνη* (2-3/10/1992), Πρακτ. σ. 34.

- ΚΑΒΟΥΡΙΔΗΣ Κ., ΚΩΣΤΑΚΗΣ Γ. & ΦΩΣΚΟΛΟΣ Α. (1991). Σημασία της ποιότητας του παραγόμενου λιγνίτη στη λειτουργία των θερμοηλεκτρικών σταθμών. Ημερίδα: Λιγνιτωρυχεία, πορεία-προβλήματα-προοπτικές, Αθήνα (10/6/1991), Πρακτ. σ. 25.
- ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ Κ., ΚΩΤΗΣ Θ., ΜΕΤΑΞΑΣ Α., ΠΛΟΥΜΙΔΗΣ Μ. & ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Δ. (1992). Η λιγνιτοφορία της λεκάνης Πτολεμαΐδας. Διημερίδα: Λιγνίτης & Ενεργειακό Ισοζύγιο, Κοζάνη (2-3/10/1992), Πρακτ. σ. 16.
- MICHAILIDIS K., SAKORAFI V. & FOSCOLOS A. (1997). Laboratory assessment of technological properties of lignites from the Ptolemais and Megalopolis fields, Greece. *Mineral Wealth*, 105, 43-48.
- SAKORAFI V. & MICHAILIDIS K. (1997). The geology and coal petrology of a Pleistocene lignite profile at Horemi mine, Megalopolis Basin, Peloponnese (Southern Greece). *Int. J. Coal Geology*, 33, 73-91.
- SWAINE J. D. (1990). Trace elements in coal. Butterworths, London, p. 278.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 223-242</p>
---	---	--

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ, ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ΠΛΟΥΤΩΝΙΤΗ ΤΗΣ ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ (ΒΕΡΜΙΟ)

Α. Κορωνάιος¹, Π. Τσούτσινα¹, Γ. Ελευθεριάδης¹, Ε. Seidel²

Περίληψη

Εξετάζεται ο ελαφρά υπεραργιλικός λευκογρανίτης της Καστανιάς (Βέρμιο) που διεισδύει στο παλαιοζωικό υπόβαθρο της Πελαγονικής. Αυτός συνίσταται από δυο κύριους πετρογραφικούς τύπους: έναν μοσχοβιτικό - βιοτιτικό αδρόκοκκο γρανίτη έως γρανοδιορίτη (GR-1) και έναν (βιοτιτικό) - μοσχοβιτικό λεπτόκοκκο έως μεσόκοκκο γρανίτη έως γρανοδιορίτη (GR-2). Τα γεωλογικά, ορυκτοχημικά και γεωχημικά στοιχεία δείχνουν ότι ο κάθε πετρογραφικός τύπος είναι αποτέλεσμα κλασματικής κρυστάλλωσης, ενώ είναι πιθανό να λειτούργησε παράλληλα και διαδικασία μη τέλειου αποχωρισμού υγρού - κρυστάλλων. Τα ορυκτά που αποχωρίζονται είναι πλαγιόκλαστο, βιοτίτης, τιτανίτης, απατίτης και ζιρκόνιο. Οι δυο πετρογραφικοί τύποι δεν προκύπτουν ο ένας από τον άλλον μέσω κάποιας διαδικασίας διαφοροποίησης. Η γένεση του πλουτωνίτη συνδέεται με περιβάλλον κατάδυσης και το μάγμα προέρχεται από μερική τήξη προϋπαρχόντων πυριγενών ή μεταπυριγενών πετρωμάτων.

Abstract

The Kastania pluton, located SSW of Veria, intrudes the Paleozoic Pelagonian basement. It belongs to the slightly peraluminous calcalkaline rock series and is composed of two main rock-types: a muscovite - biotite coarse grained granite to granodiorite (GR-1) and a fine to medium grained (biotite) - muscovite granite to granodiorite (GR-2). Geological and geochemical data indicate that the two rock types evolved independently from each other through fractional crystallization of plagioclase, K-feldspar and biotite. However a simultaneous crystal-liquid unmixing process may have played some role. The parental magmas were generated by partial melting of igneous or meta-igneous rocks in a subduction setting.

Εισαγωγή

Στο βόρειο τμήμα της Πελαγονικής Ζώνης απαντούν αρκετά πλουτωνικά πετρώματα αναπαλαιοζωικής ηλικίας. Συγκεκριμένα, από Βορρά προς Νότο, είναι ο πλουτωνίτης του όρους Baba στη F.Y.R.O.M. (ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ & ΚΥΡΙΑ-

-
1. Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. 540 06 Θεσσαλονίκη.
 2. Institut für Mineralogie und Geochemie, Universität zu Köln.

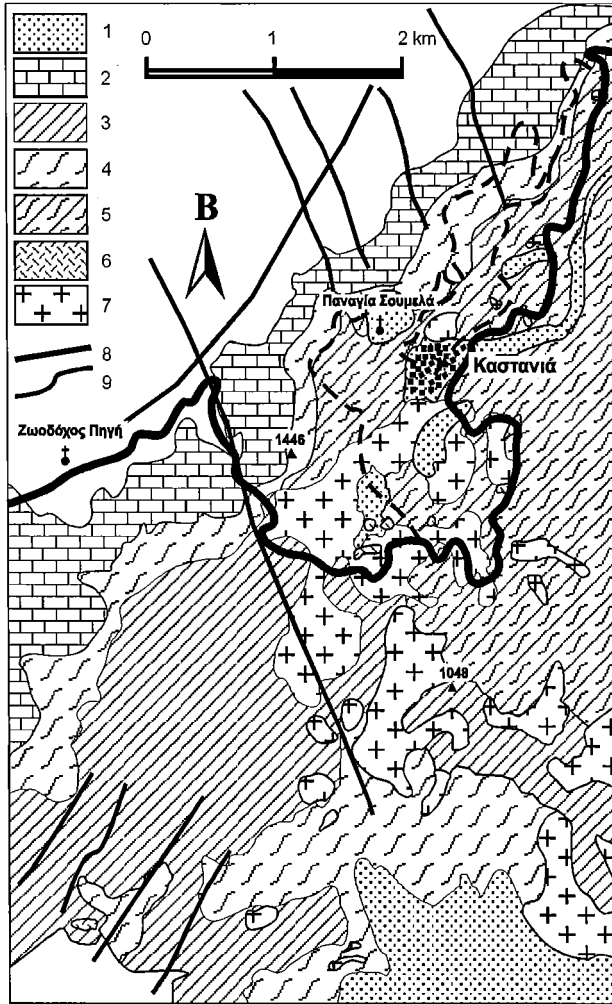
ΚΟΠΟΥΛΟΣ 1988), ο πλουτωνίτης του Βαρνούντα (ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ 1983 και ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991), ο πλουτωνίτης της Καστοριάς (ΠΛΑΣΤΗΡΑΣ 1983), ο πλουτωνίτης του Καταφυγίου (YARWOOD & AFTALION 1976, YARWOOD 1978), οι πλουτωνίτες της Ολυμπιάδας, Βερδικούσας και Διάβας (ΔΑΒΗ & ΜΙΓΚΙΡΟΣ 1980, PE-PIPER et al. 1993a, b), και ο πλουτωνίτης της Δεσκάτης (ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ et al. 1994). Οι περισσότεροι από τους παραπάνω πλουτανίτες αποτελούνται από ενδιάμεσα μεταργιλικά πετρώματα ενώ μόνο τα οξινότερα μέλη τους συχνά είναι υπεραργιλικά. Υπάρχουν όμως και υπεραργιλικοί πλουτωνίτες που δεν φαίνεται να συνδέονται με βασικότερα μεταργιλικά πετρώματα. Ένας τέτοιος πλουτωνίτης είναι ο πλουτωνίτης της Καστανιάς που εξετάζεται στη μελέτη αυτή από πετρογραφική, ορυκτολογική και χημική άποψη. Γίνεται προσπάθεια να προσδιοριστεί η πηγή προέλευσης του πλουτωνίτη και το γεωτεκτονικό περιβάλλον με το οποίο συνδέεται καθώς και η διαδικασία εξέλιξης του μάγματος.

Γεωλογία

Η Πελαγονική Ζώνη αποτελεί ένα τεκτονικό κάλυμμα που τοποθετήθηκε κατά το Ηώκαινο πάνω στην αλπικής ηλικίας (Τριαδικό-Ηώκαινο) ανθρακική ενότητα Ολύμπου και αποτελείται, από τους κατώτερους προς τους ανώτερους οριζόντες (ΚΙΛΙΑΣ & ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ 1988) από: α) ένα πολυμεταμορφωμένο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο παλαιοζωικής ηλικίας, β) μια μεταπλαστική ακολουθία άνω παλαιοζωικής-κάτω τριαδικής ηλικίας, γ) ένα ελαφρά ανακρυσταλλωμένο ανθρακικό κάλυμμα τριαδικοϊουρασικής ηλικίας και δ) ένα επικλυσιγενές ανθρακικό κάλυμμα κρητιδικής ηλικίας, που στους ανώτερους οριζόντες του μεταβαίνει σε ελαφρά μεταμορφωμένο παλαιοκαινικής ηλικίας φλύσχη. Στις κρυσταλλοσχιστώδεις μάζες διεισδύουν ενδιάμεσοι ως όξινοι πλουτωνίτες. Στην κρυσταλλοσχιστώδη μάζα του Βέρνου και Βαρνούντα διεισδύει ο πλουτωνίτης Καστοριάς-Βαρνούντα, ενώ στη μάζα των Περίων-Καμβουνίων δεσπόζουν δυο κύριες πλουτωνικές εμφανίσεις, αυτή της Βερδικούσας-Δεσκάτης και αυτή των Περίων, μαζί με πολλές άλλες, μικρότερης όμως έκτασης διεισδύει διεσπαρμένες σε όλη της την περιοχή.

Οι YARWOOD & DIXON (1977) θεωρούν ότι η περιοχή των Περίων αποτελείται από ένα "πακέτο" τεκτονικών λεπίων που τοποθετείται τεκτονικά πάνω στο γρανοδιορίτη των Περίων, που με τη σειρά του, είναι επωθημένος πάνω σε μικρότερου πάχους τεκτονικά λέπια αποτελούμενα από μετα-πυριγενή και μετα-ιζηματογενή πετρώματα.

Στην περιοχή μελέτης που βρίσκεται στο όρος Βέρμιο, βορειότερα των Περίων, εμφανίζονται ορθογνεύσιοι, μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι με παρεμβολές πρασινοσχιστόλιθων, μάγμαρα καθώς και μεταγάββροι και μεταδιαβάσες (Σχ. 1). Οι ορθογνεύσιοι και οι μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι αποτελούν το μεταμορφωμένο



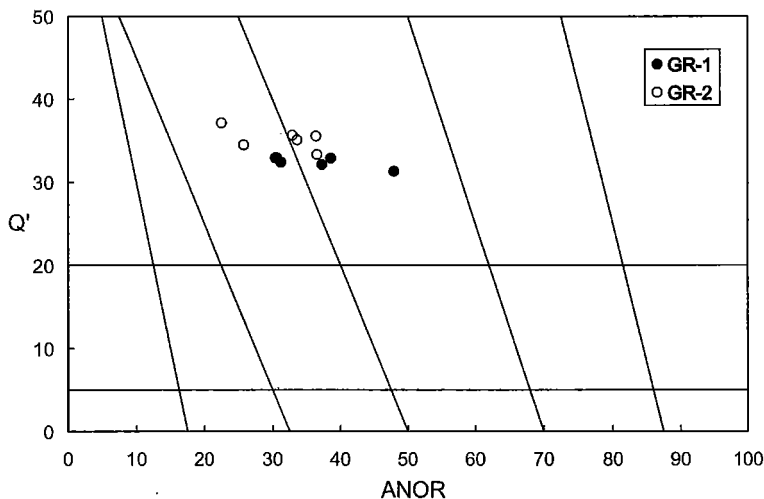
Σχήμα 1. Πετρογραφικός χάρτης του πλουτωνίτη της Καστανίας (υπό έκδοση φύλλο χάρτου Βελβενδός, ΙΓΜΕ, ΣΤΑΜΑΤΗΣ προς. επικοινωνία). 1: ιζηματογενείς αποθέσεις (Πλειόκαινο-Ολόκαινο), 2: ασβεστόλιθοι (Τριαδικό), 3: ορθογνήσιοι (Παλαιozoικό), 4: διμαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι (Παλαιozoικό), 5: ορθογνήσιοι και διμαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι που δε διαχωρίστηκαν (Παλαιozoικό), 6: μεταδιαβάσεις, μεταγάββρος (Ιουραϊκό), 7: γρανίτης (προ-ανωτριοδικό), 8: ρήγμα, 9: γεωλογικό όριο.

Figure 1. Petrographic map of the Kastania pluton (under publication sheet Velvendos, IGME, STAMATIS pers. communication). 1: sedimentary deposits (Pliocene-Holocene), 2: Limestones (Triassic), 3: orthogneisses (Paleozoic), 4: two-mica schists (Paleozoic), 5: unseparated orthogneisses and two-mica schists (Paleozoic), 6: metadiabases metagabbros (Jurassic), 7: granite (pre-Upper Triassic), 8: fault, 9: geological boundary.

προαλπικό υπόβαθρο της ενότητας Πεερίων (Κατ. έως Μέσο Παλαιοζωικό). Το υπόβαθρο αυτό καλύπτεται από τα μέσο έως άνω τριαδικά μάρμαρα της Πελαγονικής. Ο πλουτωνίτης της Καστανιάς διεισδύει στο μεταμορφωμένο προαλπικό υπόβαθρο και εγκλείει τμήματά του. Στο προαλπικό υπόβαθρο διεισδύουν και μεταβασιικά πετρώματα (μεταγάββροι και μεταδιαβάσες), που ανήκουν πιθανότατα στην οφειολιθική σειρά του Βερμίου.

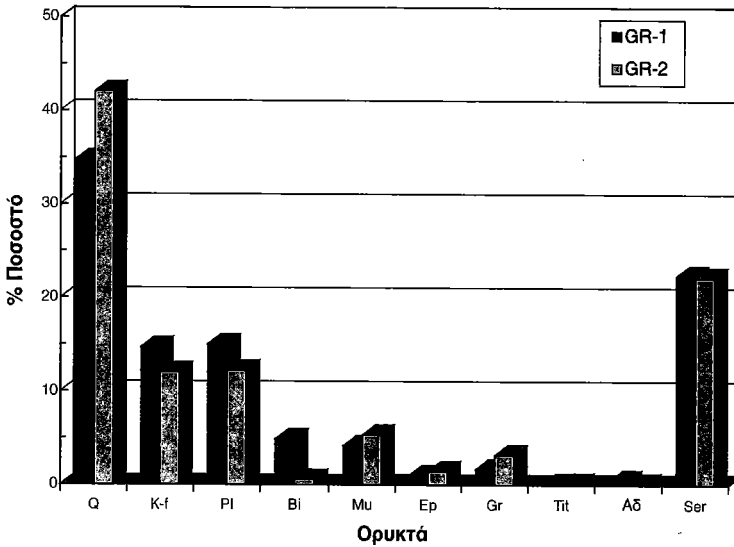
Πετρογραφία

Από τις παρατηρήσεις στο ύπαιθρο διαχωρίστηκαν δύο πετρογραφικοί τύποι, ένας αδρόκοκκος (GR-1) και ένας λεπτόκοκκος έως μεσόκοκκος (GR-2), οι οποίοι διεισδύουν ο ένας στον άλλον. Στο διάγραμμα Q-ANOR (STRECKEISEN & LE MAITRE 1979) (Σχ. 2) οι δύο τύποι προβάλλονται στα πεδία γρανίτη και γρανодиορίτη. Στο σχήμα 3 φαίνεται η μέση εκατοστιαία συμμετοχή του κάθε ορυκτού συστατικού στους πετρογραφικούς τύπους GR-1 και GR-2. Εκτός από τις διαφορές στο μέγεθος των κόκκων μεταξύ GR-1 και GR-2 βρέθηκαν και ορυκτολογικές διαφορές. Συγκεκριμένα, ο πετρογραφικός τύπος GR-1 έχει περισσότερο βιοτίτη, με μέση τιμή 4.9%, σε σχέση με τον GR-2, που έχει ελάχιστο βιοτίτη, με μέση τιμή 0.6%. Αντίθετα, ο GR-2 υπερέχει σε μοσχοβίτη και γρανάτη, σε σχέση με τον GR-1.



Σχήμα 2. Προβολή των αναλυθέντων δειγμάτων του πλουτωνίτη της Καστανιάς στο διάγραμμα Q-ANOR (STRECKEISEN & LE MAITRE 1979).

Figure 2. Plot of the analysed samples of the Kastania pluton on the Q-ANOR diagram (STRECKEISEN & LE MAITRE 1979).



Σχήμα 3. Μέση εκατοστιαία ορυκτολογική σύσταση των δύο πετρογραφικών τύπων του πλουτωνίτη της Καστανιάς.

Figure 3. Mean modal composition of the two petrographic types of the Kastania pluton.

GR-1

Είναι αδρόκοκκο πέτρωμα, λευκού έως λευκότεφρου χρώματος, με ιστό γρανιτικό και μερικές φορές πορφυροειδή με μεγακρυστάλλους μικροκλινή. Ως κύρια ορυκτά συστατικά απαντώνται χαλαζίας, μικροκλινης, πλαγιόκλαστο, βιοτίτης, μοσχοβίτης. Ως επουσιώδη ορυκτά υπάρχουν τιτανίτης, γρανάτης, αλλανίτης, απατίτης, ζιρκόνιο και μαγνητίτης. Ο χαλαζίας πολύ συχνά εμφανίζεται θρυμματισμένος. Ο Κ-άστριος είναι μικροκλινης περθιτωμένος ($Or_{92}Ab_8-Or_{94}Ab_6$), σπάνια καολινιωμένος. Εγκλείει σερικιτωμένα πλαγιόκλαστα και βιοτίτη. Το πλαγιόκλαστο απαντάται σε αλλοτριόμορφους και σπάνια σε υπιδιόμορφους κρυστάλλους ($Ab_{90}An_{10}-Ab_{98}An_2$). Είναι έντονα αλλοιωμένο σε σερικίτη, ενώ μερικές φορές αλλοιώνεται σε επίδοτο και ζοϊσίτη. Ο βιοτίτης απαντάται σε διάσπαρτους κρυστάλλους καστανού χρώματος. Χαρακτηριστικό είναι το "γώνιασμα" των κρυστάλλων του (kinking), γεγονός που δείχνει προτεκτονική κρυστάλλωσή του. Δεν είναι ποτέ αλλοιωμένος και εγκλείει τιτανίτη, αλλανίτη, μαγνητίτη, απατίτη, και ζιρκόνιο.

GR-2

Είναι λεπτόκοκκο έως μεσόκοκκο πέτρωμα λευκού χρώματος με γρανιτικό ιστο. Τοπικά είναι αποσαθρωμένο και τεκτονισμένο. Ως κύρια ορυκτά εμφανίζο-

νται χαλαζίας, Κ-άστριοι, πλαγιόκλαστο, και μοσχοβίτης ενώ ως επουσιώδη βιοτίτης, τιτανίτης, γρανάτης, αλλανίτης, απατίτης, ζιρκόνιο και μαγνητίτης. Ο χαλαζίας σχηματίζει αλλοτριόμορφους κρυστάλλους, ενώ συχνά εμφανίζεται θρυμματισμένος. Ο Κ-άστριος είναι μικροκλινή περθιτωμένος ($Or_{92}Ab_8 - Or_{94}Ab_6$). Εγκλείει πλαγιόκλαστα, μοσχοβίτη, τιτανίτη και βιοτίτη. Το πλαγιόκλαστο ($Ab_{95}An_5 - Ab_{96}An_4$) είναι έντονα αλλοιωμένο σε σερικίτη, επίδοτο και ζοϊσίτη. Ο βιοτίτης απουσιάζει ή συμμετέχει σε ποσοστό μέχρι 1.4%. Σε όσα δείγματα υπάρχει εμφανίζεται με τη μορφή μικρών διάσπαρτων κρυστάλλων. Ο μοσχοβίτης εμφανίζεται με ιδιόμορφους κρυστάλλους καθώς και σε συσσωματώματα.

Απλίτες

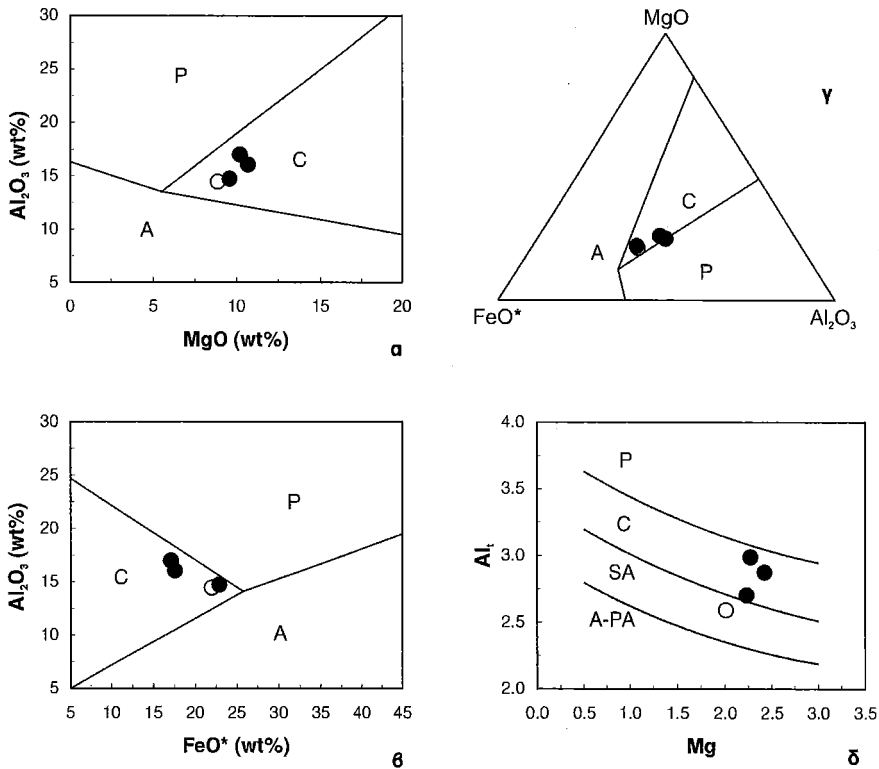
Απλιτικές φλέβες βρέθηκαν πολύ λίγες. Το πάχος τους δεν ξεπερνά τα 40 cm. Διασχίζουν και τους δύο πετρογραφικούς τύπους του πλουτωνίτη (GR-1, GR-2) εντελώς ακανόνιστα. Είναι λεπτόκοκκα πετρώματα λευκού χρώματος. Αποτελούνται από χαλαζία, Κ-άστριο, πλαγιόκλαστο, ενώ σαν επουσιώδη ορυκτά υπάρχουν μοσχοβίτης, τιτανίτης, γρανάτης, επίδοτο και ζοϊσίτης.

Ορυκτολογία

Ο χαλαζίας εμφανίζει κυματοειδή κατάσβεση, γεγονός που δείχνει την τεκτονική καταπόνηση του πετρώματος στο οποίο περιέχεται. Ο μικροκλινή εμφανίζεται με τη μορφή μεγακρυστάλλων και μικρών κρυστάλλων. Με την αύξηση του SiO_2 του πετρώματος γίνεται πλουσιότερος σε Si και φτωχότερος σε Al. Τα πλαγιόκλαστα έχουν σύσταση An_{10} που μειώνεται έως An_2 με την αύξηση του SiO_2 του πετρώματος. (Οι αναλύσεις των ορυκτών παρέχονται από τους συγγραφείς σε κάθε ζήτηση).

Οι βιοτίτες του GR-1 είναι πλουσιότεροι σε TiO_2 , K_2O και MgO από αυτούς του GR-2. Ο λόγος $FeO^*/(FeO^* + MgO)$ (FeO^* : ολικός σίδηρος ως δισθενής) έχει χαμηλότερες τιμές στους βιοτίτες του GR-1, από ότι σε αυτούς του GR-2, και επιπλέον στον GR-1 η τιμή του λόγου αυξάνεται με το SiO_2 του πετρώματος. Οι βιοτίτες του πλουτωνίτη προβάλλονται στο πεδίο C των βιοτιτών ασβεσταλκαλικών πετρωμάτων στα διαγράμματα $Al_2O_3 - MgO$, $Al_2O_3 - FeO^*$ και $MgO - FeO^* - Al_2O_3$ (Σχ. 4α, 4β και 4γ αντίστοιχα) (ABDEL-RAHMAN 1994). Επίσης στο διάγραμμα $Al - Mg$ των NACHIT et al. (1985) (Σχ. 4δ), που θεωρήθηκε από τους STUSSI & CUNEY (1996) πιο αντιπροσωπευτικό για τον προσδιορισμό της φύσης του μάγματος, όλοι οι βιοτίτες του GR-1 προβάλλονται στο πεδίο C των ασβεσταλκαλικών πετρωμάτων και ο βιοτίτης του GR-2 στο πεδίο SA των υποαλκαλικών πετρωμάτων.

Το υπιδιόμορφο σχήμα, το σχετικά μεγάλο μέγεθος των κρυστάλλων του μοσχοβίτη και η περιεκτικότητά τους σε TiO_2 , που κυμαίνεται από 0.53% έως 0.76%, δείχνουν την πρωτογενή προέλευσή τους (βλ. και ZEN 1988). Αντίθετα, οι προβολές των μοσχοβιτών στο διάγραμμα Ti-Mg-Na (δεν παρουσιάζεται) (MILLER et



Σχήμα 4. Προβολή των βιοτιτών των πλουτωνικών πετρωμάτων της Καστανιάς στα διαγράμματα ABDEL-RAHMAN (1994) (α, β, γ) (FeO^* : ολικός σίδηρος ως δισθενής) και NACHIT et al. (1985) (δ). Βιοτίτες από A: αλκαλικά, C: ασβεσταλκαλικά, P: υπεραργιλικά, A-PA: αλκαλικά – υπεραλκαλικά και SA: υπαλκαλικά πετρώματα. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 2.

Figure 4. Plot of the biotites of the Kastania plutonic rocks on the ABDEL-RAHMAN (1994) (α, β, γ) (FeO^* : total iron ferrous) and NACHIT et al. (1985) (δ) discrimination diagrams. Biotites from A: alkaline, C: calc-alkaline, P: peraluminous, A-PA: alkaline – peralkaline and SA: sub-alkaline rocks. Symbols as in figure 2.

al 1981) δεν είναι πολύ κοντά στο πεδίο των μαγματικών μοσχοβιτών.

Ο τιτανίτης εμφανίζεται με ιδιόμορφους κρυστάλλους. Οι τιτανίτες του GR-1 έχουν χαμηλότερο Al_2O_3 από αυτούς του GR-2. Το Ti τους μειώνεται, ενώ το Ca τους παρουσιάζει μικρή αύξηση με την αύξηση του SiO_2 του πετρώματος. Το επίδοτο έχει χαμηλές τιμές πιστασιότητας, αλλά από μορφολογικές και ιστολογικές παρατηρήσεις φαίνεται ότι δεν είναι μαγματικό. Σε ένα δείγμα βρέθηκε επιταξιακή α-

νάπτυξη επιδότου γύρω από κρυστάλλους αλλανίτη. Οι γρανάτες συναντώνται και στους δύο τύπους (GR-1 και GR-2). Όπως φαίνεται από ιστολογικές παρατηρήσεις και συγκεκριμένα από τη σχέση τους με τους βιοτίτες, οι γρανάτες δημιουργούνται από την αποικοδόμηση των τελευταίων. Έτσι, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν τη φύση του μάγματος ή τις πετρογενετικές διαδικασίες. Εμφανίζουν ζώνωση, κυρίως στο MnO και το CaO.

Γεωχημεία

Για τη γεωχημική εξέταση των πετρωμάτων της Καστανιάς αναλύθηκαν για κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία, με τη μέθοδο XRF, στο τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Κολωνίας, 12 δείγματα αντιπροσωπευτικά των δύο τύπων (Πίν. 1). Διαγράμματα μεταβολής επιλεγμένων κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων σε σχέση με το SiO₂ απεικονίζονται στο σχήμα 5. Από τα κύρια στοιχεία τα TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃t, MnO, MgO, CaO, και P₂O₅ εμφανίζουν ελάττωση με το SiO₂, το K₂O και K₂O + Na₂O αυξάνονται, και το Na₂O παραμένει σταθερό στον GR-1, ενώ στον GR-2 αρχικά μειώνεται και κατόπιν παραμένει σταθερό. Από τα ιχνοστοιχεία τα Zn, Ce, Sr, Zr ελαττώνονται με τη διαφοροποίηση τόσο στον GR-1 όσο και στον GR-2. Τα V και Co μειώνονται στον GR-1 και αυξάνονται στον GR-2. Τα Rb, Ba, La αυξάνονται στον GR-1, ενώ στον GR-2 εμφανίζουν διασπορά, ελάττωση και αύξηση αντίστοιχα. Τα Ga και Th εμφανίζονται γενικά σταθερά στον GR-1, ενώ στον GR-2 εμφανίζουν ελάττωση και αύξηση αντίστοιχα. Το Cr εμφανίζεται γενικά χωρίς σημαντικές μεταβολές.

Οι τάσεις των κύριων στοιχείων (Σχ. 5) είναι χαρακτηριστικές ασβεσταλκαλικών πετρωμάτων. Η ασβεσταλκαλική φύση των πλουτωνικών πετρωμάτων της Καστανιάς επιβεβαιώνεται και από την προβολή τους στα διαγράμματα FeOt/MgO - SiO₂ και FeOt/(FeOt+MgO) - SiO₂ (MIYASHIRO 1974) (δεν παρουσιάζονται). Με βάση το λόγο A/CNK, που κυμαίνεται από 1.05 έως 1.15, τα πλουτωνικά πετρώματα χαρακτηρίζονται ως ελαφρά υπεραργιλικά.

Εξέλιξη του μάγματος

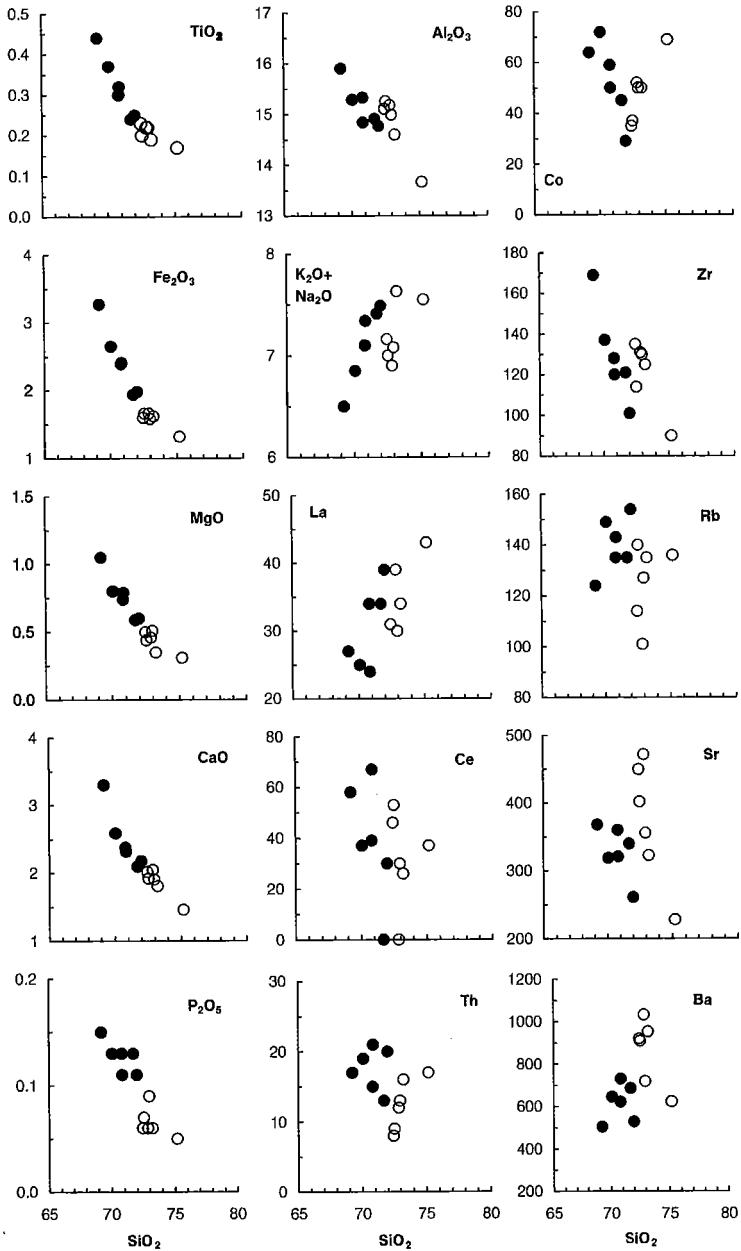
Η παρουσία συστηματικών μεταβολών στα διαγράμματα μεταβολής των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων και στη σύσταση των ορυκτών δείχνει την ύπαρξη κάποιας διαδικασίας εξέλιξης μάγματος. Τα κύρια στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία δείχνουν ακόμη ότι ο πλουτανίτης αποτελείται από δύο σειρές πετρωμάτων μη συμμαγματικές. Συγκεκριμένα, τα διαγράμματα μεταβολής των K₂O, Al₂O₃, Na₂O, La, Ba, Ce, Th, Zr, Sr και Rb (Σχ. 5) μεταβάλλονται με τέτοιο τρόπο στους δύο τύπους, GR-1 και GR-2, ώστε δημιουργούν μεταξύ τους δύο παράλληλες τάσεις. Αυτό δείχνει ότι δεν μπορεί να προέρχεται ο ένας πετρογραφικός τύπος από τον άλλο με κάποια διαδικασία διαφοροποίησης. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται και από τις υπαίθριες παρατηρήσεις, καθώς οι δύο τύποι διεισδύουν ο

Πίνακας 1. Αναλύσεις κύριων στοιχείων (βάρος%) και ιχνοστοιχείων (ppm) των πλουτωνικών πετρωμάτων της Καστανιάς

Table 1. Major (wt%) and trace (ppm) element analyses of the Kastania plutonic rocks.

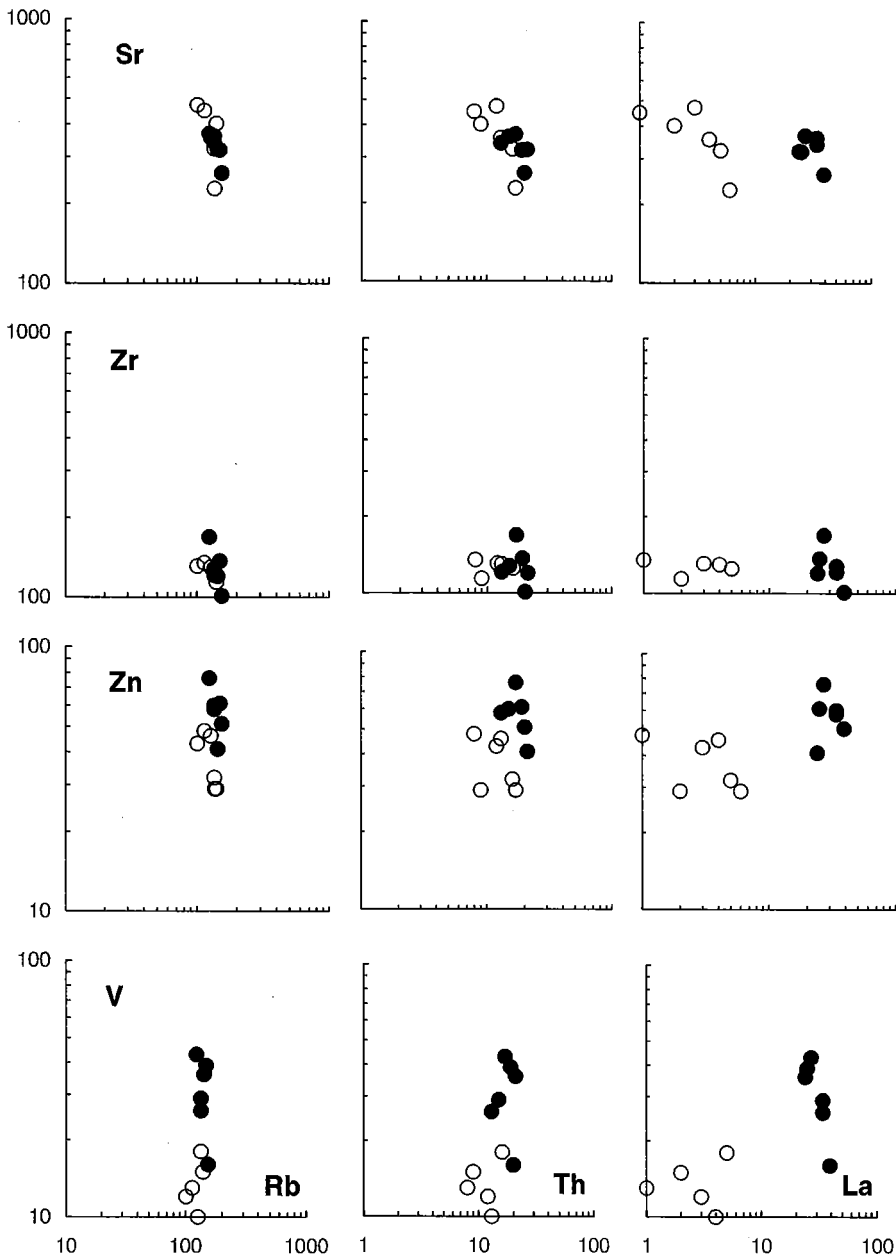
Δείγμα	Πετρογραφικός τύπος GR-1						Πετρογραφικός τύπος GR-2					
	KS-18	KS-16	KS-8	KS-23	KS-32	KS-20	KS-1	KS-4	KS-5	KS-31	KS-15	KS-24
SiO ₂	69.21	70.07	70.81	70.84	71.70	71.99	72.45	72.53	72.86	72.97	73.22	75.18
TiO ₂	0.44	0.37	0.30	0.32	0.24	0.25	0.23	0.20	0.22	0.22	0.19	0.17
Al ₂ O ₃	15.90	15.29	15.33	14.84	14.91	14.77	15.11	15.26	15.18	14.99	14.60	13.67
Fe ₂ O _{3t}	3.27	2.65	2.39	2.41	1.94	1.98	1.60	1.66	1.66	1.58	1.62	1.32
MnO	0.07	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.04	0.03
MgO	1.05	0.80	0.74	0.79	0.59	0.60	0.50	0.44	0.46	0.51	0.35	0.31
CaO	3.30	2.59	2.38	2.32	2.10	2.18	2.02	1.92	2.05	1.91	1.81	1.46
K ₂ O	2.83	3.23	3.12	4.17	3.67	3.76	2.83	3.13	2.89	2.97	4.18	4.02
Na ₂ O	3.67	3.62	3.98	3.17	3.74	3.73	4.33	3.87	4.01	4.11	3.45	3.53
P ₂ O ₅	0.15	0.13	0.13	0.11	0.13	0.11	0.06	0.07	0.06	0.09	0.06	0.05
L.O.I.	1.22	1.51	1.20	1.32	1.04	1.02	0.90	1.03	1.07	1.09	1.02	0.77
Σύν.	101.11	100.31	100.44	100.35	100.11	100.44	100.08	100.16	100.49	100.49	100.54	100.51
Sc	7	7	8	μ.ο.α.	6	6	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.
V	43	39	29	36	26	16	13	15	12	10	18	μ.ο.α.
Cr	6	9	8	6	6	μ.ο.α.	6	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.	10	μ.ο.α.
Co	64	72	59	50	45	29	35	37	52	50	50	69
Zn	76	61	60	41	58	51	48	29	43	46	32	29
Ga	24	24	25	20	23	24	22	22	23	22	21	18
Rb	124	149	135	143	135	154	114	140	101	127	135	136
Sr	368	319	360	321	340	261	450	402	472	356	323	228
Y	12	17	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.	14	μ.ο.α.	μ.ο.α.	11	μ.ο.α.	11	20
Zr	169	137	128	120	121	101	135	114	131	130	125	90
Nb	μ.ο.α.	8	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.	9	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.
Ba	505	646	622	730	686	529	920	909	1033	719	953	623
La	27	25	34	24	34	39	31	μ.ο.α.	39	30	34	43
Ce	58	37	39	67	μ.ο.α.	30	46	53	μ.ο.α.	30	26	37
Nd	20	μ.ο.α.	17	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.	15	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.
Th	17	19	15	21	13	20	8	9	12	13	16	17
U	μ.ο.α.	10	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.	5	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.	μ.ο.α.

Fe₂O_{3t}: ολικός σίδηρος ως τρισηνής, μ.ο.α.: συγκέντρωση μικρότερη από το όριο ανιχνευσιμότητας.



Σχήμα 5. Προβολή επιλεγμένων κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των πλουτωνικών πετρωμάτων της Καστανιάς ως προς το SiO₂. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 2.

Figure 5. Plot of selected major and trace elements vs. SiO₂ of the Kastania plutonic rocks. Symbols as in figure 2.



Σχήμα 6. Προβολή ιχνοστοιχείων των πλουτωνικών πετρωμάτων της Καστανιάς σε λογαριθμικά διαγράμματα. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 2.

Figure 6. Plot of trace elements of the Kastania plutonic rocks on log - log diagrams. Symbols as in figure 2.

ένας στον άλλον. Από την άλλη πλευρά είναι φανερό ότι τα πετρώματα του κάθε πετρογραφικού τύπου έχουν μεταξύ τους στενή χημική συγγένεια και αποτελούν μία συνεχή σειρά, που η εξέλιξή της πρέπει να οφείλεται σε διαδικασία μαγματικής διαφοροποίησης.

Η μεγάλη μεταβολή των συμβιβαστών ιχνοστοιχείων, π.χ. V, Zn, Zr, Sr και η μικρή μεταβολή των ασυμβιβαστων, Rb, La, Th (Πίν. 1, Σχ. 5), δείχνουν διαδικασία κλασματικής κρυστάλλωσης ως διεργασία διαφοροποίησης που έδωσε τους GR-1 και GR-2. Τα ιχνοστοιχεία V, Zn, Zr, Sr, Rb, Th, La χρησιμοποιήθηκαν σε λογαριθμικά διαγράμματα συμβιβαστού-ασυμβιβαστού ιχνοστοιχείου (Σχ. 6), όπου φαίνεται ότι οι κατανομές είναι σύμφωνες με αυτές της κλασματικής κρυστάλλωσης, αν και δεν αποκλείονται τα εξής:

- α) κλασματική κρυστάλλωση με ταυτόχρονη αφομοίωση (AFC), που όμως αυτή τη στιγμή δεν υπάρχουν ισοτοπικά δεδομένα για να υποστηριχθεί ή να αποκλειστεί η περίπτωση αυτή, και
- β) κλασματική κρυστάλλωση όπου το στερεό δεν αποχωρίζεται πλήρως από το υπολειμματικό υγρό (McCARTHY & HASTY 1976, SULTAN et al. 1986, SAWKA 1988, POLI & TOMMASINI 1991). Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο σε γρανιτικά μάγματα λόγω του μεγάλου τους ιξώδους. Τότε τα δείγματα δεν αντιπροσωπεύουν ούτε το υγρό ούτε το κρυσταλλούμενο στερεό αλλά είναι μίγματα αυτών. Μερικοί σχετικά υψηλοί συντελεστές συσχέτισης, που παρατηρούνται μεταξύ των διαφόρων στοιχείων στον GR-1 και περισσότερο στον GR-2, δείχνουν ότι είναι πολύ πιθανό να λειτούργησε παράλληλα με την κλασματική κρυστάλλωση και μια διαδικασία μη πλήρους αποχωρισμού (βλ. ROTTURA et al. 1993).

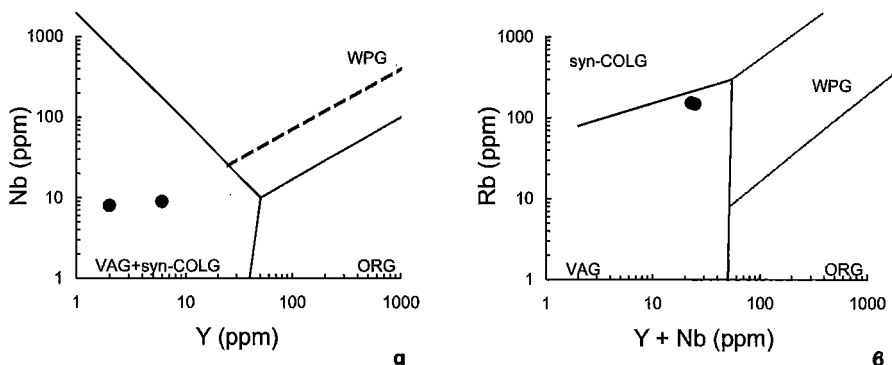
Σε μερικά από τα διαγράμματα του σχήματος 6 αναγνωρίζονται δυο παράλληλες τάσεις που σχηματίζουν οι GR-1 και GR-2 αντίστοιχα και επιβεβαιώνουν όσα αναφέρθηκαν προηγούμενα.

Τα διαγράμματα μεταβολής (Σχ. 5) των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων υποδεικνύουν τα ορυκτά που κρυσταλλώνονται κατά την εξέλιξη του μάγματος GR-1 και GR-2. Συγκεκριμένα, η μείωση των CaO, Sr δείχνει κρυστάλλωση πλαγιοκλάστου. Η μείωση των Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO και των Zn, V, Co δείχνει κρυστάλλωση βιοτίτη. Η μείωση του TiO₂ δείχνει κρυστάλλωση τιτανίτη, η μείωση του P₂O₅ δείχνει απατίτη, ενώ η μείωση του Zr δείχνει αποχωρισμό ζιρκονίου.

Γεωτεκτονικό περιβάλλον

Για τον προσδιορισμό του γεωτεκτονικού περιβάλλοντος σχηματισμού του πλουτωνίτη της Καστανιάς χρησιμοποιήθηκαν διαγράμματα που συνδέουν τη γεωχημεία με το γεωτεκτονικό περιβάλλον και βασίζονται είτε στα κύρια στοιχεία είτε στα ιχνοστοιχεία.

Στο διάγραμμα BROWN (1982, τροποποιημένο από WU & KERRICH 1986)



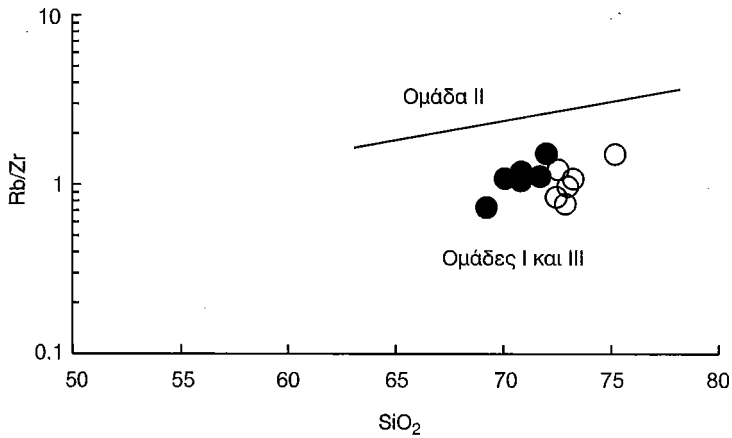
Σχήμα 7. Προβολή των πλουτωνικών πετρωμάτων της Καστανιάς στα διαγράμματα α) Nb - Y και β) Rb - Y+Nb (PEARCE et al. 1984). (ORG): γρανίτες μεσοωκεάνιας ράχης, (VAG): γρανίτες ηφαιστειακού τόξου, (WPG): ενδοπλακικοί γρανίτες, (syn-COLG): γρανίτες περιοχών σύγκρουσης ηπειρωτικών πλακών. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 2.

Figure 7. Plot of the Kastania plutonic rocks on the a) Nb - Y and β) Rb - Y+Nb (PEARCE et al. 1984) discrimination diagrams. (ORG): ocean-ridge granites, (VAG): volcanic arc granites, (WPG): within-plate granites, (syn-COLG): syn-collision granites. Symbols as in figure 2.

(δεν παρουσιάζεται) τα δείγματα του πλουτωνίτη προβάλλονται στο πεδίο των α-σβεσταλκαλικών σειρών συμπίεσης.

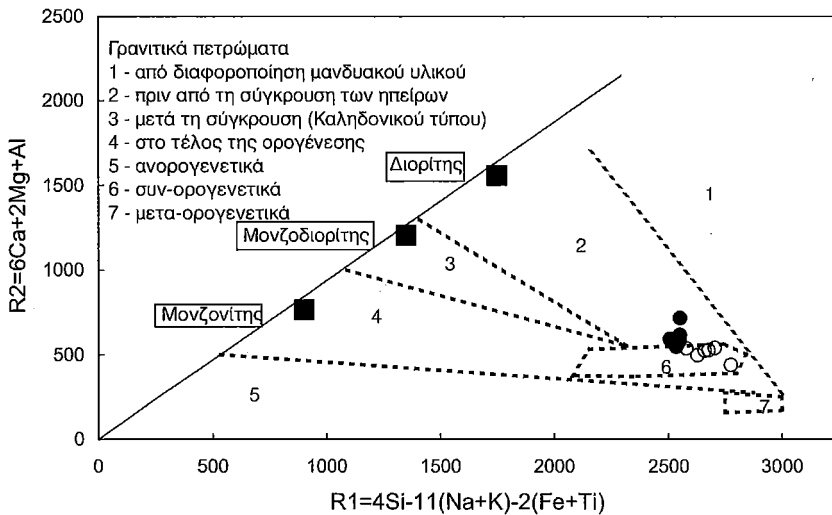
Από τα διαγράμματα Nb-Y και Rb-Y+Nb (PEARCE et al. 1984) (Σχ. 7), όπου προβάλλονται μόνο δύο δείγματα του GR-1, καθώς για τα υπόλοιπα τα ιχνοστοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας, φαίνεται ότι ο πλουτωνίτης της Καστανιάς συνδέεται με γεωτεκτονικό περιβάλλον ηφαιστειακού τόξου (VAG). Βέβαια το συμπέρασμα αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με κάθε επιφύλαξη εφόσον προέρχεται από την προβολή δύο μόνο δειγμάτων. Στο διάγραμμα Rb/Zr - SiO₂ (HARRIS et al. 1986) (Σχ. 8) τα δείγματα προβάλλονται στα πεδία των Ομάδων I και III, των γρανιτικών πετρωμάτων που συνδέονται με ηφαιστειακό τόξο πριν ή μετά την σύγκρουση των ηπειρωτικών πλακών.

Στο διάγραμμα R2-R1 (BATCHELOR & BOWDEN 1985) (Σχ. 9) ο GR-1 προβάλλεται στο πεδίο 2, που σημαίνει ότι συνδέεται με περιβάλλον ηφαιστειακού τόξου πριν από τη σύγκρουση των ηπειρωτικών πλακών. Το πεδίο 2 αντιστοιχεί στους VAG γρανίτες των PEARCE et al. (1984) ή στην ομάδα I των HARRIS et al. (1986). Επομένως ο GR-1 σαφώς παρουσιάζει γνωρίσματα γρανιτών που δημιουργήθηκαν πριν από τη σύγκρουση των ηπειρωτικών πλακών. Ο GR-2 προβάλλεται δίπλα στον GR-1 αλλά μέσα στο πεδίο 6, που σημαίνει ότι πρόκειται για ανατηκτικό πλουτωνίτη ο οποίος σχηματίστηκε κατά τη σύγκρουση ηπειρωτικών πλακών. Οι γρανίτες αυτοί είναι τήγματα του φλοιού και αντιστοιχούν στους syn-COLG γρανίτες των PEARCE et al. (1984) ή στην ομάδα II των HARRIS et al.



Σχήμα 8. Προβολή των πλουτωνικών πετρωμάτων της Καστανιάς στο διάγραμμα $Rb/Zr - SiO_2$ (HARRIS *et al.* 1986). Ομάδα II: συντεκτονικοί γρανίτες. Ομάδες I και III: γρανίτες πριν και μετά τη σύγκρουση αντίστοιχα. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 2.

Figure 8. Plot of the Kastania plutonic rocks on the $Rb/Zr - SiO_2$ discrimination diagram (HARRIS *et al.* 1986). Group II: syn-tectonic granites, Groups I and III: pre- and syn-collision granites. Symbols as in figure 2.



Σχήμα 9. Προβολή των πλουτωνικών πετρωμάτων της Καστανιάς στο διάγραμμα $R2-R1$ (BATCHELOR & BOWDEN 1985). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 2.

Figure 9. Plot of the Kastania plutonic rocks on the $R2-R1$ diagram (BATCHELOR & BOWDEN 1985). Symbols as in figure 2.

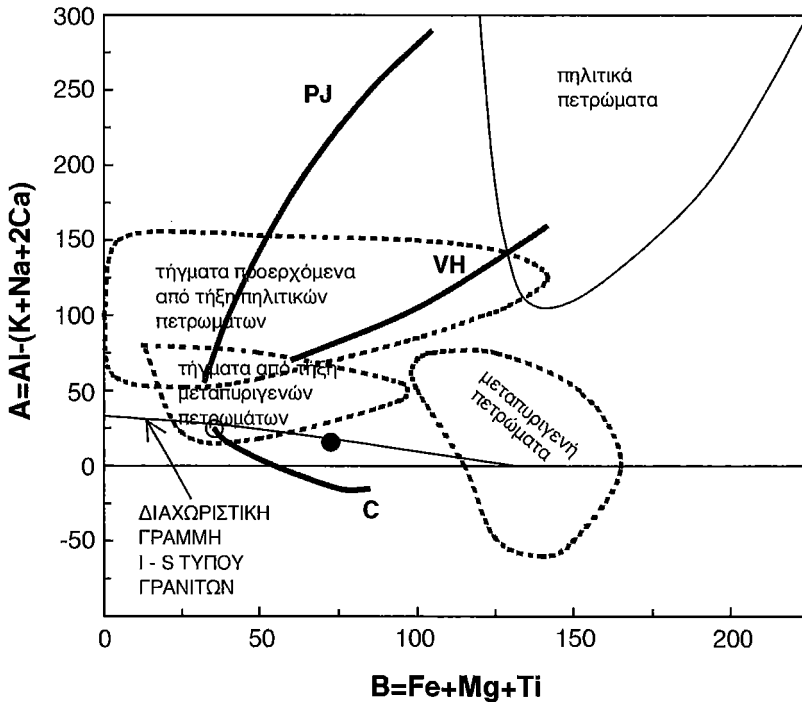
(1986). Αυτό σημαίνει ότι για τον GR-2 υπάρχει κάποια ασυμφωνία στο γεωτεκτονικό περιβάλλον που υποδεικνύεται από τα διαγράμματα των σχημάτων 8 και 9. Όμως πέρα από τη διαφορά γεωτεκτονικού περιβάλλοντος για τον GR-2 είναι σημαντικό ότι το διάγραμμα BATCHELOR & BOWDEN (1985) υποδεικνύει πως ο κάθε πετρογραφικός τύπος σχηματίστηκε σε διαφορετικό τεκτονικό περιβάλλον. Είναι πιθανό η διαφορά αυτή να σχετίζεται με την πηγή προέλευσης του πλουτωνίτη που θα συζητηθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Πηγή προέλευσης

Η προσπάθεια για εντοπισμό της πηγής προέλευσης του μάγματος γίνεται με βάση τα πετρολογικά στοιχεία, τις χημικές αναλύσεις των πετρωμάτων και τη χρήση των διαφόρων διαγραμμάτων. Εξετάζοντας τον πλουτωνίτη της Καστανιάς, με βάση τα χημικά και ορυκτολογικά κριτήρια των CHAPPEL & WHITE (1974) και WHITE & CHAPPEL (1977), παρατηρούμε ότι κάποια από αυτά (τα περισσότερα) δείχνουν ότι η πηγή προέλευσης του πλουτωνίτη μπορεί να είναι πυριγενές πέτρωμα του φλοιού (I-τύπος) και κάποια άλλα πως η πηγή είναι ιζηματογενές πέτρωμα (S-τύπος):

Κριτήριο	Τύπος
Εμφανίζονται υψηλές τιμές $\text{Na}_2\text{O} > 3.2\%$ και στους δύο πετρογραφικούς τύπους (Πίν.1).	I
Ο λόγος $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ κυμαίνεται από 0.8 ως 1.3 στον GR-1 και από 0.7 έως 1.2 στον GR-2.	I
Το CaO και το Sr εμφανίζουν σχετικά υψηλές περιεκτικότητες (Πίν. 1).	I
Στον GR-1 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}) < 1.1$ (μ. αν.), ενώ για τον GR-2 ισχύουν τα εξής: 3 δείγματα έχουν $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}) < 1.1$, ενώ τα υπόλοιπα 3 έχουν λόγο > 1.1 .	I
Το δυνητικό κορούνδιο είναι πάνω από 1% (CIPW norm).	S
Οι τιμές SiO_2 είναι υψηλές ($> 69\%$, Πίν. 1).	S
Τα διαγράμματα μεταβολής δείχνουν ευθύγραμμες τάσεις (Σχ. 4).	I
Εμφανίζεται μοσχοβίτης.	S
Στον πετρογραφικό τύπο GR-1 ο απαιτίτης εγκλείεται σε βιοτίτη.	I

Στο διάγραμμα A-B των DEBON & LE FORT (1983) (Σχ. 10) τα λιγότερο εξελιγμένα δείγματα των GR-1 και GR-2 προβάλλονται στο πεδίο των I-τύπου γρανιτών. Το GR-2 προβάλλεται στο πεδίο των τηγμάτων που προέρχονται από τήξη μεταπυριγενών πετρωμάτων και μακριά από το πεδίο των τηγμάτων μεταπηλιτικών πετρωμάτων, ενώ το GR-1 προβάλλεται μεταξύ του πεδίου των μεταπυρι-



Σχήμα 10. Προβολή των λιγότερο εξελιγμένων δειγμάτων των πλουτωνικών πετρωμάτων της Καστανιάς στο διάγραμμα A-B των DEBON & LE FORT (1983). PJ και VH: πορείες τηγμάτων από προοδευτική τήξη ηλιθικών πρωτόλιθων και C: από προοδευτική τήξη ενός μεταπυριγενούς πρωτόλιθου. Τα πεδία και οι πορείες των τηγμάτων είναι από VILLASECA et al. (1998 και αναφορές εκεί). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 2.

Figure 10. Plot of the less evolved Kastania plutonic rocks on the A - B diagram of DEBON & LE FORT (1983). PJ και VH: trajectories of liquids produced from melting of pelitic protoliths and C: from melting of a metaluminous igneous protolith. Fields and trajectories from VILLASECA et al. (1998 and references therein). Symbols as in figure 2.

γενών πετρωμάτων (πηγή) και του πεδίου των τηγμάτων τους. Φαίνεται, δηλαδή, και πάλι κάποια μικρή διαφορά μεταξύ GR-1 και GR-2 στην πηγή προέλευσης. Εδώ πρέπει να υπενθυμίσουμε τη διαφορά γεωτεκτονικού περιβάλλοντος που δείχνει το διάγραμμα BATCHELOR & BOWDEN (1985) και υποδεικνύει ότι οι δύο πετρογραφικοί τύποι σχηματίστηκαν σε διαφορετικά περιβάλλοντα με χρονική διαφορά μεταξύ τους. Βλέπουμε λοιπόν ότι τα χημικά δεδομένα κυρίως δείχνουν ότι ο κάθε τύπος συνδέεται με διαφορετικό γεωτεκτονικό περιβάλλον και διαφορετική πηγή προέλευσης.

Ο πλουτωνίτης της Καστανιάς είναι ένας λευκογρανίτης που θα μπορούσε να

αντιπροσωπεύει τήγμα μεταπυριγενών ή μεταϊζηματογενών πετρωμάτων. Πρέπει να λάβουμε όμως υπόψη ότι: α) αποτελείται από δύο πετρογραφικούς τύπους που ο ένας δεν προέρχεται από τον άλλο, χωρίς ωστόσο να έχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Οι υπαίθριες παρατηρήσεις όμως δείχνουν ότι τα δύο αυτά πετρώματα πρέπει να δημιουργήθηκαν σε ίδιο χρόνο, καθώς φαίνονται να διεισδύουν το ένα μέσα στο άλλο, να βρίσκονταν δηλαδή σχεδόν ταυτόχρονα σε μια πλαστική κατάσταση β) είναι ελαφρά υπεραργιλικός, κάτι που υποστηρίζεται όχι μόνο από τη γεωχημεία του αλλά και από την ορυκτολογική του σύσταση, αφού δεν περιέχει χαρακτηριστικά ορυκτά ισχυρά υπεραργιλικών πετρωμάτων γ) οι βιοτίτες του έχουν χαρακτηριστικά βιοτιτών ασβεσταλκαλικών παρά υπεραργιλικών πετρωμάτων, και δ) η πηγή προέλευσης έχει περισσότερο I- παρά S- χαρακτήρα.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω (α-δ), μια πιθανή εξήγηση της εικόνας στο διάγραμμα BATCHELOR & BOWDEN (1985) θα ήταν ότι τα δείγματα του GR-2 που προβάλλονται στο πεδίο των ανατηκτικών γρανιτών δεν είναι τίποτε άλλο παρά η αναμενόμενη τάση ενός μάγματος να εξελίσσεται προς τη σύσταση του ελαχίστου τήγματος. Όμως κάτι τέτοιο αποκλείεται, καθώς όπως προαναφέρθηκε ο GR-2 δεν μπορεί να προέρχεται από εξέλιξη του GR-1. Μια άλλη πιθανότερη εξήγηση για το γεωτεκτονικό περιβάλλον και την πηγή προέλευσης του πλουτωνίτη είναι ότι αυτός προέρχεται από μερική τήξη κάποιου πυριγενούς πετρώματος μάλλον παρά ιζηματογενούς, αν και δεν μπορεί με τα διαθέσιμα δεδομένα να αποκλειστεί ούτε ανάμιξη δύο πηγών, ούτε προέλευση από τήξη δύο διαφορετικών πηγών που τα τήγματα έδωσαν τους δύο πετρογραφικούς τύπους. Τα αρχικά μάγματα των δύο πετρογραφικών τύπων προέρχονται από την ίδια πηγή, που πιθανόν έχει σύσταση διοριτική, και αντιπροσωπεύουν διαφορετικούς βαθμούς μερικής τήξης της πηγής αυτής. Η εξήγηση αυτή συμφωνεί και με όσα αναφέρουν οι BATCHELOR & BOWDEN (1985) για την μεταβολή της σύστασης του μάγματος που δημιουργείται με τον αυξανόμενο βαθμό τήξης ενός προϋπάρχοντος πετρώματος. Συγκεκριμένα, υποστηρίζουν ότι, αν υποθεθεί πως οι πηγές του κατώτερου φλοιού έχουν συστάσεις που αντιπροσωπεύονται από αυτές του διορίτη, μονζοδιορίτη, μονζονίτη και τα πρώτα τήγματα που αποχωρίζονται από τη μερική τήξη της κάθε πηγής έχουν σύσταση που αντιπροσωπεύεται από το πεδίο 6 των ανατηκτικών γρανιτών, τότε, αυξανόμενου του βαθμού μερικής τήξης, θα δημιουργούνται τήγματα με συστάσεις πάνω σε υποθετικές καμπύλες διορίτης-6, μονζοδιορίτης-6 και μονζονίτης-6.

Συμπεράσματα

1. Ο πλουτωνίτης της Καστανιάς (Βέρμιο) είναι ένας ελαφρά υπεραργιλικός λευκογρανίτης που διεισδύει στο παλαιοζωικό υπόβαθρο της Πελαγονικής. Συνίσταται από δυο κύριους πετρογραφικούς τύπους: έναν αδρόκοκκο μοσχοβιτικό-βιοτιτικό γρανίτη έως γρανοδιορίτη (GR-1) και ένα λεπτόκοκκο έως με-

- σόκοκκο (βιοτιτικό)-μοσχοβιτικό γρανίτη έως γρανοδιορίτη (GR-2).
2. Ο κάθε πετρογραφικός τύπος είναι αποτέλεσμα κλασματικής κρυστάλλωσης, ενώ είναι πιθανό να λειτούργησε παράλληλα και διαδικασία μη τέλει αποχωρισμού υγρού-κρυστάλλων. Τα ορυκτά που αποχωρίζονται είναι πλαγιόκλαστο, βιοτίτης, τιτανίτης, απατίτης και ζιρκόνιο.
 3. Οι δυο πετρογραφικοί τύποι δεν προκύπτουν ο ένας από τον άλλον μέσω κάποιας διαδικασίας διαφοροποίησης.
 4. Η γένεση του πλουτωνίτη συνδέεται με περιβάλλον κατάδυσης.
 5. Τα αρχικά μάγματα των δύο πετρογραφικών τύπων προέρχονται από την ίδια πηγή, που πιθανόν έχει σύσταση διοριτική, και αντιπροσωπεύουν διαφορετικούς βαθμούς μερικής τήξης της πηγής αυτής.

Βιβλιογραφία

- ABDEL - RAHMAN A-F. M. (1994). Nature of Biotites from Alkaline, Calc-alkaline and Peraluminous Magmas. *Journal of Petrology*, 35,2, 525-1029.
- BATCHELOR R.A. & BOWDEN P. (1985). Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chem. Geol.*, 48, 43-55.
- BROWN G.C. (1982). Calc-alkaline intrusive rocks: their diversity, evolution and relation to volcanic arcs. In: *Andesites*, Thorpe R. S. ed., John Wiley and Sons, N. York, London, 437-461.
- CHAPPELL B.W. & WHITE A.J.R. (1974). Two contrasting granite types. *Pacific Geol.*, 8, 173-174.
- ΔΑΒΗ Ε.Ν. & ΜΙΓΚΙΡΟΣ Γ.Π. (1980). Γρανιτικά διεισδύσεις εντός του μεταμορφωμένου συστήματος εις Ανατολικήν Θεσσαλίαν. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, 15, 168-183.
- DEBON F. & LE FORT P. (1983). A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Trans. R. Soc. Edinburgh:Earth Sci.*, 73, 135-149.
- HARRIS N.B.W., PEARCE J.A. & TINDLE A.G. (1986). Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: *Collision Tectonics*, Coward, M.P. and Ries, A.C. eds, *Geol. Soc. Spec. Publ.*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, 19, 67-81.
- ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ Α.Ε. (1983). Συμβολή στη μελέτη των πλουτώνων πετρωμάτων του Δυτικού Βαρνούνα. *Διδακτορική διατριβή*, Πανεπιστήμιο Αθηνών, σ. 182.
- ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ Α., ΚΟΚΚΙΝΑΚΙΣ Α. & ΚΥΡΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Κ. (1994). Petrology and chemical characteristics of Deskati granitic rocks, Thessaly, Greece. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, 30/3, 79-88.
- ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ Α. & ΚΥΡΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Κ. (1988). Πετρογραφική και πετροχημική μελέτη των πλουτώνων πετρωμάτων του όρους Baba (Γιουγκοσλ.). *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, 23/2, 561-576.
- ΚΙΛΙΑΣ Α. & ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. (1988). Το τεκτονικό κάλυμμα της Πελαγονικής. *Τε-*

- κτονική, μεταμόρφωση και μαγματισμός. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., 23/1, 29-46.
- KOPΩΝΑΙΟΣ Α. (1991). Ορυκτολογία, πετρολογία και γεωχημεία του πλουτωνίτη του Ανατ. Βαγρονούντα. (ΒΔ. Μακεδονία). Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σ. 451.
- McCARTHY T.S. & HASTY R.A. (1976). Trace element distribution patterns and their relationship to the crystallization of granitic melts. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 40, 1351-1358.
- MILLER F.C., STODDARD F.E., BRADFISH J.L. & DOLLASE A.W. (1981). Composition of plutonic muscovite: genetic implications. *Canadian Mineralogist*, 19, 25-34.
- MIYASHIRO, A. (1974). Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Am. J. Sci.*, 274, 321-355.
- NACHIT, H., RAZAFIMAHERA N., STUSSI J. & CARRON J.P. (1985). Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoides. *Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Academie des Sciences.*, 301(11), 813-818.
- PEARCE J. A., HARRIS N.B.W. & TINDLE A.C. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25,4, 956-983.
- PE-PIPER G., DOUSOS T. & MIJARA A. (1993a). Petrology and regional significance of the Hercynian granitoid rocks of the Olympiada area, northern Thessaly, Greece. *Chem. Erde*, 53, 21-36.
- PE-PIPER G., DOUSOS T. & MPORONKAY C. (1993b). Structure, geochemistry and mineralogy of Hercynian granitoid rocks of the Verdikoussa area, northern Thessaly, Greece and their regional significance. *N. Jb. Miner. Abh.*, 165, 267-296.
- ΠΛΑΣΤΗΡΑΣ Β. Ν. (1983). Γεωλογική μελέτη της περιοχής νότια των Πρεσπών. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σ. 344.
- POLI G. & TOMMASINI S. (1991). A geochemical approach to the evolution of granitic plutons: a case study, the acid intrusions of Punta Falcone (northern Sardinia, Italy). *Chemical Geol.*, 92, 87-105.
- ROTTURA A., CAGGIANELLI A., CAMPANA R. & DEL MORO A. (1993). Petrogenesis of Hercynian peraluminous granites from the Calabrian Arc, Italy. *Eur. J. Mineral.*, 5, 737-754.
- SAWKA W.N. (1988). REE and trace element variation in accessory minerals and hornblende from the strongly zoned McMurry Meadows Pluton. California. *Trans. R. Soc. Ed. Earth Sci.*, 79, 157-168.
- STRECKEISEN A. & LE MAITRE R.W. (1979). A chemical approximation to the modal QAPF classification of the igneous rocks. *N. Jb. Min. Abh.*, 136, 169-206.
- STUSSI J.M. & CUNEY M. (1996). Nature of Biotites from Alkaline, Calc-alkaline and Peraluminous Magmas by A-F M. Abdel-Rahman: A comment. *Journal of Petrology*, 37,5, 1025-1029.
- SULTAN M., BATIZA R. & STURCHIO N.C. (1986). The origin of small-scale geochemical mineralogical variations in a granite intrusion. A crystallization and mixing

- model. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 93, 513-523.
- VILLASECA C., BARBERO L. & ROGERS G. (1998). Crustal origin of Hercynian peraluminous granitic batholiths of Central Spain: petrological, geochemical and isotopic (Sr, Nd) constraints. *Lithos*, 43, 55-79.
- WHITE A.J.R. & CHAPPELL B.W. (1977). Ultrametamorphism and granitoid genesis. *Tectonophysics*, 43, 7-22.
- WU T.W. & KERRICH R. (1986). Combined oxygen-isotope - compositional studies of some granitoids from the Grenville Province of Ontario. *Can. J. Earth Sci.*, 23, 1412-1432.
- YARWOOD G.A. (1978). The structure, metamorphism and geochronology of the High Pieria Mountains, N. Greece. Ph. D. Thesis (unpubl.), University Edinburgh, pp. 100.
- YARWOOD G. & AFTALION M. (1976). Field relations and U-Pb geochronology of a granite from the Pelagonian zone of the Hellenides (High Pieria, Greece). *Bull. Soc. Geol. Fran.*, 18(2), 259-264.
- YARWOOD G. & DIXON J. (1977). Lower Cretaceous and younger thrusting in the Pelagonian rocks of the High Pieria, Greece. VI coll. *Geol. Aegean region*, 269-280.
- ZEN E-AN. (1988). Phase relations of peraluminous granitic rocks and their petrogenetic implications. *Ann. Rev. Earth Planet Sci.*, 16, 21-51.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 243-260</p>
---	---	--

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΥΤΩΝΙΤΩΝ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ

Α. Κορωνάιος¹, Τ. Σολδάτος¹, Γ. Χριστοφίδης¹, Φ. Γερούκη²

Περίληψη

Εξετάζονται και συγκρίνονται γεωχημικά, πλουτωνικά πετρώματα άνω παλαιοζωικής ηλικίας από το χώρο της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης, τα οποία διεισδύουν στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο. Με βάση τη γεωγραφική τους κατανομή χωρίζονται σε δυο ομάδες: οι πλουτωνίτες Baba (BAB), Βαρνούνα (VAR), Αγ. Γερμανού (AGG), Οξύας (OXY), Πράσινου (PRA), Καστοριάς (KAS) και Άρδασσας (ARD) αποτελούν τη Βόρεια Ομάδα (BO) και οι πλουτωνίτες Καστανιάς (KST), Καταφυγίου (KAT), Ολυμπιάδας (OLY), Βερδικούσας (VER) και Δεσκάτης (DSK) αποτελούν τη Νότια Ομάδα (NO). Οι πλουτωνίτες της BO έχουν παρόμοια γεωχημικά χαρακτηριστικά, είναι κυρίως μεταργιλικόι με εξαίρεση τους OXY (υπεραργιλικός) και ARD (υπεραλκαλικός). Και στη NO οι πλουτωνίτες είναι κυρίως μεταργιλικόι. Ο KST ομοιάζει με τον KAT, και ο OLY με τον VER, όμως οι δύο πρώτοι διαφέρουν από τους δύο τελευταίους. Ο DSK (υπεραργιλικός) σαφώς διαφέρει από τους προηγούμενους. Σχετικά με το γεωτεκτονικό περιβάλλον, φαίνεται ότι οι περισσότεροι πλουτωνίτες του βορείου τμήματος της Πελαγονικής Ζώνης συνδέονται με σύγκρουση και καταβύθιση ωκεάνιας πλάκας κάτω από ηπειρωτική.

Abstract

Plutonic rocks of upper paleozoic age from the Northern Pelagonian Zone which intrude the crystalline basement are studied and compared. According to their spatial relationship they are divided into two groups: the plutonites of Baba (BAB), Varnous (VAR), Ag. Germanos (AGG), Oxya (OXY), Prasino (PRA), Kastoria (KAS) and Ardassa (ARD) consist the northern group (BO), and the plutonites of Kastania (KST), Katafygio (KAT), Olympias (OLY), Verdikoussa (VER) and Deskati (DSK) consist the southern group (NO). The plutonites of the BO group are mainly metaluminous and have similar geochemical characteristics. Exception are OXY (peraluminous) and ARD (peralkaline). In the NO group the plutonites are metaluminous as well. KST is similar to KAT and OLY to VER, but the former two differ from the latter two. DSK (peraluminous) is markedly different compared to the rest. Geotectonically the plutonites of the Northern Pelagonian Zone seem to relate to a volcanic arc environment.

1. Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ 540 06 Θεσσαλονίκη.
2. ΙΓΜΕ, Μεσογείων 70, 115 27 Αθήνα.

Εισαγωγή

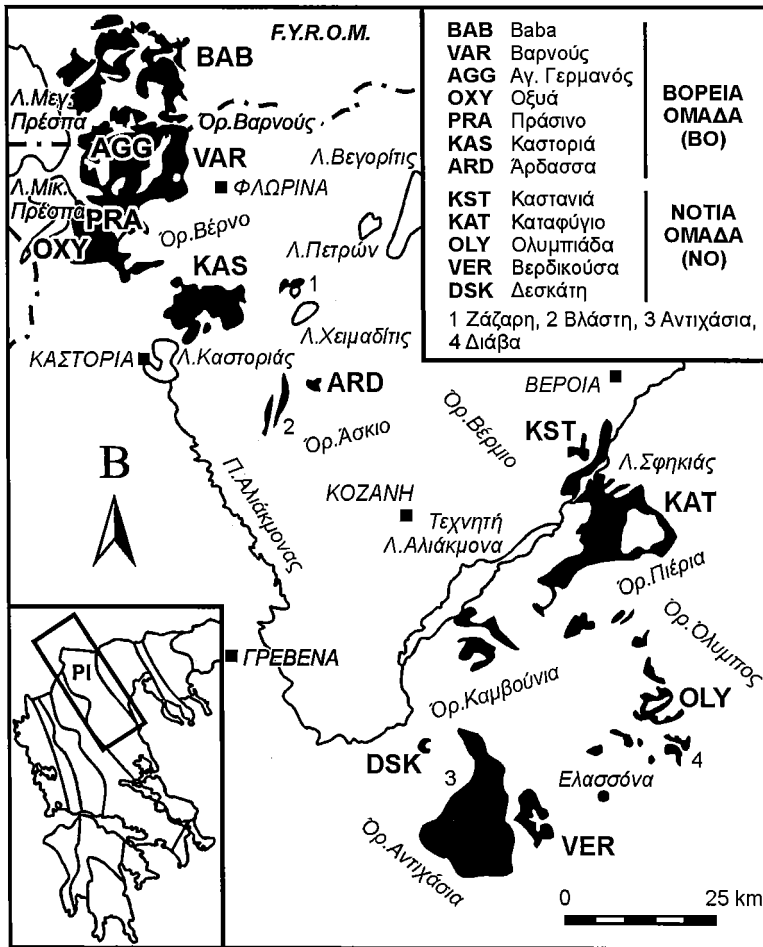
Η μελέτη του μαγματισμού μιας γεωτεκτονικής ζώνης βοηθάει στη διαμόρφωση ενός τεκτονομαγματικού μοντέλου αναφερόμενου στην εποχή κατά την οποία αυτός έλαβε χώρα. Επιπλέον η συγκριτική μελέτη μαγματικών πετρωμάτων ίδιας ηλικίας σε μια γεωτεκτονική ζώνη μπορεί να δώσει πληροφορίες για την εξέλιξη των πετρωμάτων αυτών καθώς και μια πρώτη εικόνα των γεωχημικών χαρακτηριστικών της αρχικής πηγής του μάγματος. Στη Βόρεια Πελαγονική Ζώνη απαντούν αρκετά ενδιάμεσα έως όξινα πλουτωνικά πετρώματα άνω παλαιοζωικής ηλικίας, τα οποία ενίοτε συνοδεύονται από βασικότερα πετρώματα και συχνά περιέχουν τέτοιας σύστασης εγκλείσματα.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιούνται δημοσιευμένα και αδημοσίευτα δεδομένα για τη σύγκριση των παραπάνω πλουτωνικών πετρωμάτων με στόχο να βρεθούν γεωχημικές ομοιότητες ή διαφορές μεταξύ τους, και να εξαχθούν συμπεράσματα αναφορικά με το γεωτεκτονικό περιβάλλον με το οποίο συνδέονται και τη σύσταση της αρχικής πηγής προέλευσης του μάγματος. Η μελέτη αυτή αποτελεί το πρώτο βήμα μιας ερευνητικής προσπάθειας η οποία θα περιλαμβάνει όλους τους πλουτωνίτες της Πελαγονικής Ζώνης με απώτερο σκοπό τη διευκρίνιση του τεκτονομαγματισμού και στη συνέχεια του τεκτονομεταμορφικού κύκλου στην περιοχή αυτή.

Γεωλογία

Η Πελαγονική Ζώνη αποτελεί ένα τεκτονικό κάλυμμα, που τοποθετήθηκε κατά το Ηώκαινο πάνω στην αλπικής ηλικίας (Τριαδικό-Ηώκαινο) ανθρακική ενότητα Ολύμπου και αποτελείται, από τους κατώτερους προς τους ανώτερους ορίζοντες από α) ένα πολυμεταμορφωμένο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο παλαιοζωικής ηλικίας, β) μια μετακλαστική ακολουθία άνω παλαιοζωικής-κάτω τριαδικής ηλικίας, γ) ένα ελαφρά ανακρυσταλλωμένο ανθρακικό κάλυμμα τριαδικο-ιουρασικής ηλικίας και δ) ένα επικλυσιογενές ανθρακικό κάλυμμα κρητιδικής ηλικίας που στους ανώτερους ορίζοντές του μεταβαίνει σε ελαφρά μεταμορφωμένο φλύσχη παλαιοκαινικής ηλικίας (ΚΙΛΙΑΣ & ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ 1988). Στις κρυσταλλοσχιστώδεις αυτές μάζες διεισδύουν ενδιάμεσοι ως όξινοι πλουτωνίτες (Σχ. 1).

Στην κρυσταλλοσχιστώδη μάζα του όρους Baba στην Π.Γ.Δ.Μ. (F.Y.R.O.M.) διεισδύει ο πλουτωνίτης του Baba (BAB) (ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ & ΚΥΡΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ 1989, ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ et al. 1992). Στην ελληνική πλευρά, προς νότο, στην οροσειρά του Βαρνούντα διεισδύουν ο πλουτωνίτης του Βαρνούντα (VAR) (ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ 1983, ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991), καθώς και τα μικρότερα σώματα Οξυάς (OXY) (ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ 1983), Αγ. Γερμανού (AGG) και Πράσινου (PRA). Τα μικρά αυτά σώματα έχουν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και γι' αυτό εξετάζονται ξεχωριστά και όχι μαζί με τον πλουτωνίτη VAR. Στη συνέχεια, στην οροσειρά του Βέρνου διεισδύει ο πλουτωνίτης της Καστοριάς



Σχήμα 1. Πλουτωνικά πετρώματα της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης (PI). Απλοποιημένος χάρτης κατά ΚΙΛΙΑΣ & ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ (1988).

Figure 1. Plutonic rocks of the Northern Pelagonian Zone (PI). Simplified map after KILLAS & MOUNTRAKHS (1988).

(KAS) (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ 1983, ΠΛΑΣΤΗΡΑΣ 1983). Στο Άσκιο διεισδύει ο πλουτωνίτης της Βλάστης (ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ 1992), της Άρδασσας (ARD) ή Κρούβρουσης και της Ζάζαρης. Στη νοτιοανατολική πλευρά του Βερμίου βρίσκεται ο πλουτωνίτης Καστανιάς (KST) (ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ κ.ά. 2000), ενώ στα Άνω Πιέρια ο πλουτωνίτης του Καταφυγίου (KAT) (YARWOOD & AFTALION 1976, YARWOOD 1978). Στη νοτιοδυτική πλευρά του Ολύμπου βρίσκονται οι πλουτωνίτες της Ολυμπιάδας (OLY) και Διάβας (ΔΑΒΗ & ΜΙΓΚΙΡΟΣ 1980, PE-PIPER et al.

1993α), στα Καμβούνια ο πλουτωνίτης της Δεσκάτης (DSK) (SFEIKOS & FRISCH 1993, KATERINOPOYLOS et al. 1994) και στα Αντιγάσια ο ομώνυμος πλουτωνίτης και ο πλουτωνίτης της Βερδικούσας (VER) (PE-PIPER et al. 1993β). Αρκετές ακόμη μικρότερης έκτασης εμφανίσεις υπάρχουν μεταξύ Πιερίων και Καμβούνιων, για τις οποίες δεν υπάρχουν γεωχημικά στοιχεία.

Αναφορικά με την ηλικία των πλουτωνιτών ο BAB αναφέρεται ως παλαιοζωικός (IZMAILOV 1960 από KATERINOPOULOS et al. 1992). Η ηλικία του VAR με Rb-Sr σε ολικό πέτρωμα είναι 297 ± 25 εκ.χρ. (ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991, KORONEOS et al. 1993). Ίδια εικάζεται ότι είναι και η ηλικία των AGG, OXY και PRA. Ο KAS με U-Pb σε ζιρκόνια έδωσε ηλικία 302 ± 15 εκ.χρ. (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ 1983). Ο πλουτωνίτης της Βλάστης θεωρείται από τον ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟ (1992) ως προέκταση του KAS, επομένως και ίδιας ηλικίας. Για τον ARD ο ίδιος συγγραφέας δέχεται ανώ λιθανθρακοφόρο ηλικία. Ο KAT που χρονολογήθηκε από τους YARWOOD & AFTALION (1976) με U-Pb σε ζιρκόνια, έδωσε 302 ± 5 εκ.χρ. Χρονολόγηση με Ar-Ar σε κερσοτίλβη έδωσε για τον OLY ηλικία 295 εκ.χρ. (SHERMER et al. 1989). Οι PE-PIPER et al. (1993α) βασιζόμενοι κυρίως στη χαρτογράφηση των SHERMER et al. (1989) αποδέχονται αυτή την ηλικία, και απορρίπτουν την μετά άνω κρητιδική ηλικία που προτείνουν οι ΔΑΒΗ & ΜΙΓΚΙΠΟΣ (1980) για τα πλουτωνικά πετρώματα OLY και Διάβας. Χρονολογήσεις με Rb-Sr σε βιοτίτες από τα πλουτωνικά πετρώματα της Διάβας έδωσαν ηλικίες από 277 ± 3 έως 286 ± 3 εκ.χρ. (KATERINOPOULOS et al. 1998). Ο DSK θεωρείται ως ερκύνιος από τους SFEIKOS & FRISCH (1993) ενώ χρονολογήσεις με Rb-Sr σε μοσχοβίτες του DSK έδωσαν ηλικίες από 225 ± 2 έως 273 ± 3 εκ.χρ. (KATERINOPOULOS et al. 1998). Τέλος χρονολόγηση με K-Ar σε βιοτίτη διοριτικής φλέβας, που διεισδύει στο γρανοδιορίτη VER, έδωσε ηλικία 288 ± 7 εκ.χρ. (PE-PIPER et al. 1993β) υποδεικνύοντας λίγο παλαιότερη ηλικία για τον τελευταίο. Χρονολογήσεις με Rb-Sr σε βιοτίτες του DSK έδωσαν ηλικίες από 30 ± 0.3 έως 87 ± 1 εκ.χρ. ενώ μοσχοβίτης από τα ίδια πετρώματα έδωσε 268 ± 3 εκ.χρ. (KATERINOPOULOS et al. 1998). Φαίνεται λοιπόν, ότι όλα τα πλουτωνικά σώματα της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης που μελετώνται σχετίζονται με ερκύνιας ηλικίας μαγματισμό. Στη συνέχεια τα πετρώματα αυτά υπέστησαν παραμόρφωση και μεταμόρφωση, οι οποίες πιστοποιήθηκαν και ραδιομετρικά (BARTON 1976, YARWOOD & AFTALION 1976, SHERMER et al. 1989, KORONEOS et al. 1993). Αυτές είχαν ως αποτέλεσμα να εμφανίζονται τα πετρώματα αυτά σε κάποιες περιοχές ως τυπικά πλουτωνικά και σε κάποιες άλλες ως γνευσιωμένα.

Πετρογραφία - Ορυκτολογία

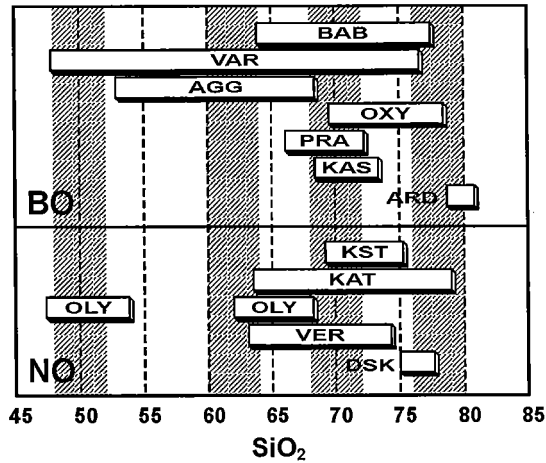
Τα πλουτωνικά πετρώματα της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης ταξινομήθηκαν με τη βοήθεια του διαγράμματος γεωχημικής ταξινόμησης Q'-ANOR (STRECKEISEN & LE MAITRE 1979) για λόγους ομοιομορφίας. Έτσι, τα πετρώματα του BAB

προβάλλονται στα πεδία του αλκαλιγρανίτη, γρανίτη, γρανοδιορίτη, χαλαζιακού μονζονίτη, και χαλαζιακού μονζοδιορίτη. Στο VAR εμφανίζεται ένα μεγάλο εύρος πετρογραφικών τύπων: αλκαλιγρανίτης, γρανίτης, γρανοδιορίτης, χαλαζιακός συνηίτης, χαλαζιακός μονζονίτης, χαλαζιακός μονζοδιορίτης, συνηίτης, μονζονίτης και μονζοδιορίτης. Ο AGG είναι κυρίως χαλαζιακός αλκαλισηνηίτης, χαλαζιακός συνηίτης, χαλαζιακός μονζονίτης και μονζονίτης, ο OXY είναι κυρίως αλκαλιγρανίτης, και ο PRA είναι κυρίως γρανίτης. Ο KAS περιλαμβάνει αλκαλιγρανίτη, γρανίτη, γρανοδιορίτη και ο ARD αλκαλιγρανίτη και γρανίτη. Οι KST και KAT είναι γρανίτες και γρανοδιορίτες. Ο OLY αποτελείται από γρανίτη, γρανοδιορίτη, χαλαζιακό μονζοδιορίτη και μονζοδιορίτη. Ο VER αποτελείται από αλκαλιγρανίτη, γρανίτη, γρανοδιορίτη και τοναίτη, ενώ υπάρχουν και διοριτικές φλέβες που πιθανότατα δε σχετίζονται με τα προηγούμενα πετρώματα. Τέλος ο DSK αποτελείται από αλκαλιγρανίτη και γρανίτη. Καθώς η χρησιμοποιηθείσα ταξινόμηση δε λαμβάνει υπόψη τον τρόπο εμφάνισης των πετρωμάτων στο ύπαιθρο, οι πηγματίτες και απλίτες προβάλλονται στο πεδίο του αλκαλιγρανίτη και τα εγκλείσματα στο πεδίο του μονζοδιορίτη.

Τα ορυκτά, από τα οποία αποτελούνται τα εξεταζόμενα πλουτωνικά πετρώματα που εξετάζονται, είναι χαλαζίας, Κ-άστριος, συνήθως μικροκλινης, πλαγιόκλαστο, αμφίβολος, βιοτίτης, μοσχοβίτης στα οξινότερα μέλη, και ως επουσιώδη μαγνητίτης, αλλαντίτης, τιτανίτης, ζιρκόνιο, απατίτης, σερικίτης, επίδοτο και χλωρίτης.

Γεωχημεία

Για τη γεωχημική εξέταση των πλουτωνικών πετρωμάτων της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης χρησιμοποιήθηκαν δημοσιευμένες (KATERINOΠΟΥΛΟΣ 1983, KATERINOΠΟΥΛΟΣ & ΚΥΡΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ 1989, ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991, PE-PIPER et al. 1993 a, b, KATERINOΠΟΥΛΟΣ et al. 1994, ΓΕΡΟΥΚΗ et al. 1995) και αδημοσίευτες αναλύσεις. Τα κύρια στοιχεία αναλύθηκαν με τη μέθοδο XRF ή AAS, ενώ τα ιχνοστοιχεία έχουν αναλυθεί με XRF, ICP ή INAA. Δημιουργήθηκε έτσι μια βάση δεδομένων από 323 χημικές αναλύσεις, η οποία είναι διαθέσιμη από τους συγγραφείς σε κάθε ζήτηση. Στην εκτίμηση των συμπερασμάτων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι διαφορές στις αναλυτικές μεθόδους και τα αναλυτικά εργαστήρια. Το εύρος μεταβολής του SiO₂ στους εξεταζόμενους πλουτωνίτες φαίνεται στο σχήμα 2, ενώ τα διαγράμματα μεταβολής επιλεγμένων κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων σε σχέση με το SiO₂ απεικονίζονται στα σχήματα 3 και 4 αντίστοιχα. Για λόγους καλύτερης απεικόνισης στα διαγράμματα οι πλουτωνίτες χωρίστηκαν σε δύο ομάδες με βάση τη γεωγραφική τους κατανομή, οι BAB (27 αναλύσεις), VAR (161), AGG (17), OXY (8), PRA (9), KAS (19), ARD (9) αποτελούν τη Βόρεια Ομάδα (BO) και οι KST (23), KAT (20), OLY (12), VER (9), DSK (9) αποτελούν τη Νότια Ομάδα (NO).



Σχήμα 2. Εύρος μεταβολής του SiO₂ (% κ.β.) στα plutωνικά πετρωμάτα της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης. Σκιασμένες περιοχές: βλέπε κείμενο.

Figure 2. Silica (% wt.) variation in the plutonic rocks of the Northern Pelagonian Zone. Shaded areas: see text.

Κύρια στοιχεία

TiO₂: Ελαττώνεται δίχως διαφοροποιήσεις από 1.8 έως 0.1% κ.β. για τη BO και από 1.5 έως 0% κ.β. για τη NO. Οι KST και KAT έχουν υψηλότερο ποσοστό TiO₂ από τους OLY και VER.

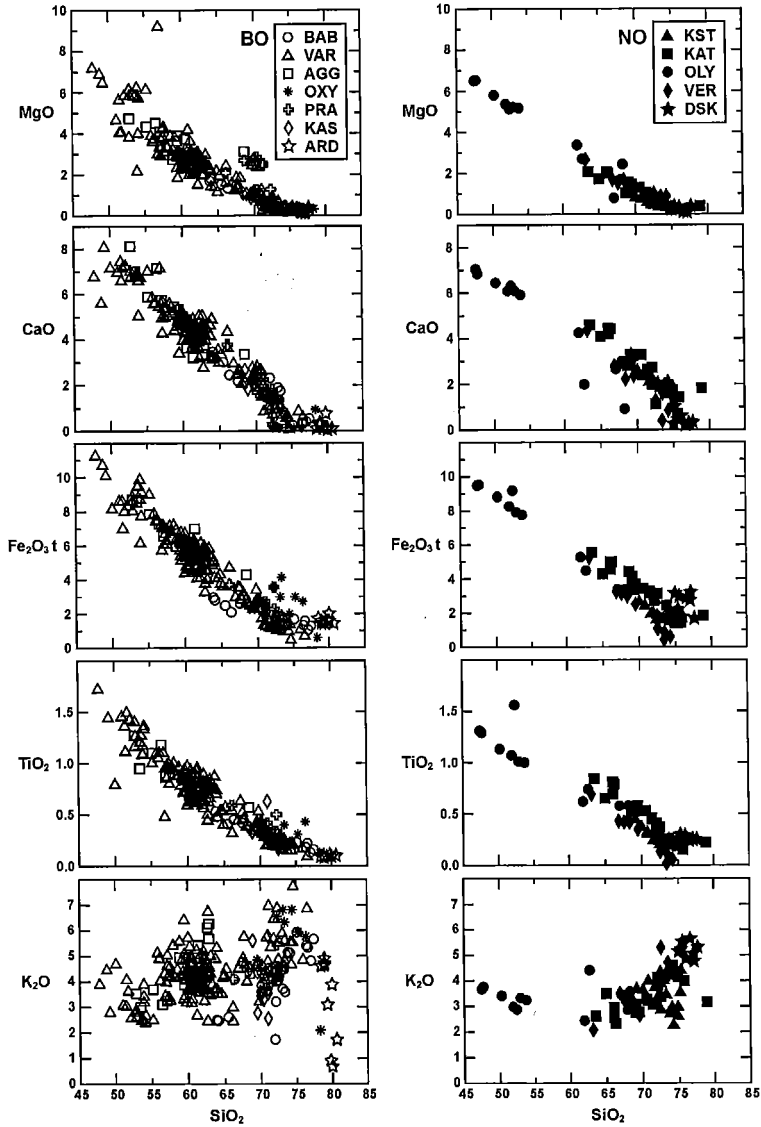
Al₂O₃: Στη BO, παρά τη μεγάλη διασπορά (11-19% κ.β.) στα βασικότερα δείγματα, αναγνωρίζεται αρχικά μία ελαφρώς αυξητική τάση, και ακολουθεί μείωση έως 10% κ.β. Τη χαμηλότερη περιεκτικότητα έχει ο ARD, ενώ ο BAB εμφανίζει υψηλότερες τιμές από τους VAR, KAS, OXY για δείγματα με ίδιο ποσοστό SiO₂. Στη NO το Al₂O₃ παρουσιάζει φθίνουσα τάση. Ο KAT έχει χαμηλότερο ποσοστό Al₂O₃ από τους KST, OLY και VER.

Fe₂O₃t: Ελαττώνεται από 11 έως 1% κ.β. περίπου. Οι OXY, ARD και DSK έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα –για ίδιου SiO₂ δείγματα– από τους υπόλοιπους plutωνίτες της BO και NO αντίστοιχα. Οι KST και KAT έχουν υψηλότερο Fe₂O₃t από τους OLY και VER.

MgO: Παρουσιάζει ελάττωση από 7 έως 0% κ.β. περίπου και στις δύο ομάδες.

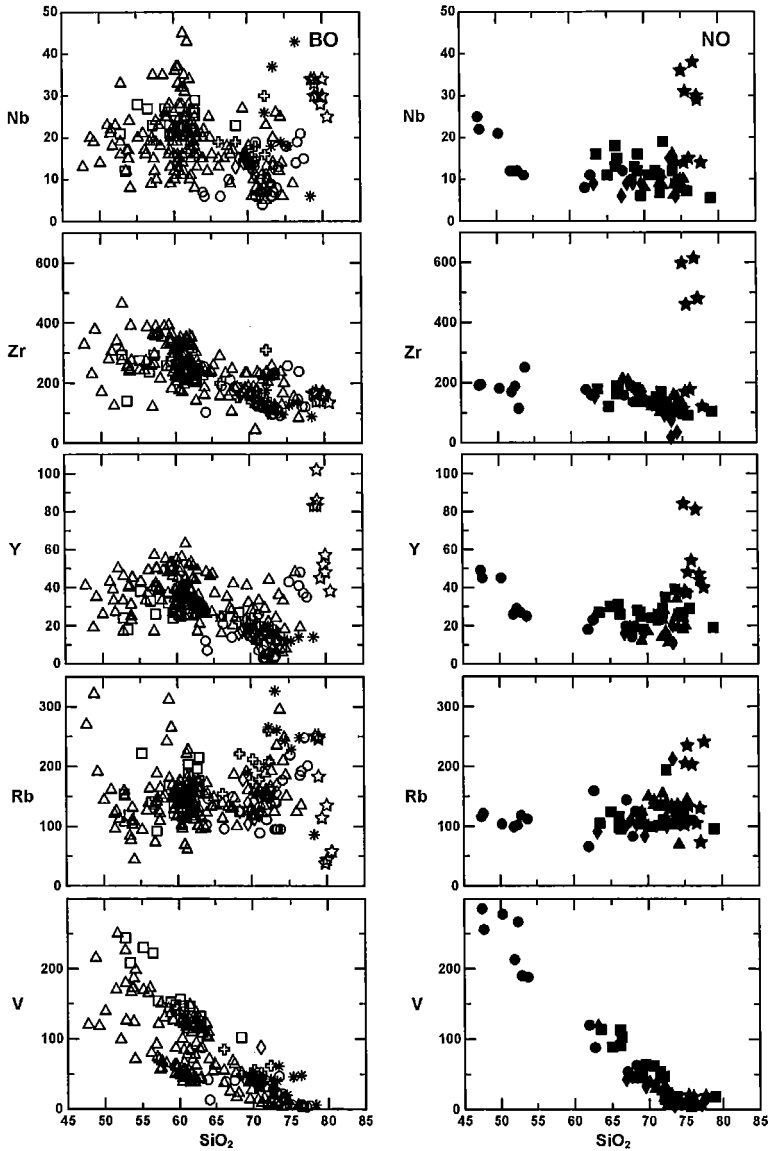
CaO: Ελαττώνεται από 8 έως 0% κ.β. περίπου στην BO. Στη NO οι KST και KAT έχουν υψηλότερο CaO από τους OLY και VER. Για ίδιου SiO₂ δείγματα ο DSK έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα CaO από τους υπόλοιπους plutωνίτες της NO.

Na₂O: Στη BO είναι γενικά σταθερό αν και με μεγάλη διακύμανση (2.5 έως 5.5% κ.β.). Στα δείγματα του OXY έχει περιεκτικότητες κάτω από 0.5% κ.β.



Σχήμα 3. Διαγράμματα μεταβολής επιλεγμένων κυρίων στοιχείων ως προς το SiO_2 (% κ.β.) των πλουτωνικών πετρωμάτων της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης.

Figure 3. Variation diagrams of selected major elements vs SiO_2 (% wt.) from the plutonic rocks of the Northern Pelagonian Zone.



Σχήμα 4. Διαγράμματα μεταβολής επιλεγμένων ιχνοστοιχείων (ppm) ως προς το SiO₂ (% κ.β.) των πλουτωνικών πετρωμάτων της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.

Figure 4. Variation diagrams of selected trace elements (ppm) vs SiO₂ (% wt.) from the plutonic rocks of the Northern Pelagonian Zone. Symbols as in figure 3.

(εκτός από 2). Στη NO αυξάνεται από 2 μέχρι 4% κ.β. και μετά παραμένει σταθερό. Εδώ ξεχωρίζει ο DSK που έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα Na_2O από τους υπόλοιπους πλουτωνίτες της NO για ίδιου SiO_2 δείγματα.

K_2O : Είναι γενικά σταθερό αν και με μεγάλη διακύμανση (2.5 έως 8% κ.β.) στη BO εκτός του ARD, που κυμαίνεται από 1 έως 5% κ.β. Τα δείγματα του OXY εμφανίζουν αρκετά υψηλό ποσοστό K_2O . Στα βασικότερα μέλη της NO το K_2O μειώνεται ελαφρά, ενώ στα υπόλοιπα αυξάνεται από 1 μέχρι 5% κ.β. Εδώ ξεχωρίζει ο DSK με υψηλότερη περιεκτικότητα K_2O για ίδιου SiO_2 δείγματα.

P_2O_5 : Ελαττώνεται τόσο στη BO (0-1% κ.β.), όσο και στη NO (0-0.4% κ.β.). Τα βασικότερα δείγματα της BO ($\text{SiO}_2 < 60\%$ κ.β.) είναι 2-3 φορές πιο εμπλουτισμένα από τα αντίστοιχα της NO.

Ιχνοστοιχεία

Rb: Στα πετρώματα της BO εμφανίζεται σχετικά σταθερό σε σχέση με το SiO_2 και αυξάνεται προς τις υψηλές τιμές SiO_2 . Διαφορετική συμπεριφορά δείχνει στον ARD όπου παρατηρείται έντονη διακύμανση. Σταθερό εμφανίζεται το Rb και στη NO με περιεκτικότητες κατά μέσον όρο χαμηλότερες έναντι της BO εκτός από τον DSK, όπου οι περιεκτικότητες κυμαίνονται από 50 ως 250 ppm.

Sr: Στη BO μειώνεται από 1500 ppm μέχρι σχεδόν μηδενικές τιμές, ενώ γενικά τα πετρώματα της NO έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες (κάτω από 700 ppm), και εμφανίζουν ελαφρά μείωση. Αρκετά χαμηλότερες τιμές έχει ο DSK (< 150 ppm).

Ba: Αυξάνεται στη BO από 400-2000 ppm περίπου μέχρι το 60% SiO_2 και στη συνέχεια μειώνεται. Στη NO αντίθετα παραμένει γενικά σταθερό στην περιοχή 550-1000 ppm. Τιμές κάτω από 550 ppm έχουν τα δείγματα του DSK.

Nb: Εμφανίζει πολύ μεγάλη διασπορά στα πετρώματα της BO (5-45 ppm). Ο ARD με σχετικά υψηλές τιμές Nb (25-35 ppm) φαίνεται να ξεχωρίζει από την τάση των υπολοίπων πετρωμάτων. Στη NO το Nb εμφανίζει ελάττωση με την αύξηση του SiO_2 από 25 έως 5 ppm. Κάποια δείγματα του DSK ξεχωρίζουν για τις υψηλότερες τιμές τους (30-40 ppm). Για περιεκτικότητες $\text{SiO}_2 > 60\%$ φαίνεται ότι οι KAT και KST έχουν γενικώς υψηλότερες συγκεντρώσεις από τους OLY και VER.

Zr: Ελαττώνεται από 400 έως 100 ppm στη BO. Και εδώ ο ARD φαίνεται να ξεχωρίζει λίγο από την τάση των υπολοίπων (130-180 ppm). Οι περιεκτικότητες στη NO είναι κάτω από 300 ppm, εκτός κάποιων δειγμάτων του DSK που φτάνουν τα 600 ppm. Πάνω από 60% SiO_2 ο ρυθμός ελάττωσης για τους KAT και KST είναι μικρότερος σχετικά με τους OLY και VER.

Y: Στη BO αυξάνεται από 20-50 ppm για $\text{SiO}_2 < 60\%$ περίπου και κατόπιν μειώνεται. Και εδώ ο ARD συμπεριφέρεται εντελώς διαφορετικά εμφανιζόμενος με τιμές κυμαινόμενες από 40-100 ppm. Στη NO το Y ελαττώνεται με την αύξηση του SiO_2 από 50 έως 10 ppm. Ο DSK ξεχωρίζει για τις υψηλότερες τιμές του (40-

85 ppm) με συμπεριφορά όμοια με τον ARD. Για περιεκτικότητες $\text{SiO}_2 > 60\%$ φαίνεται ότι οι KAT και KST έχουν γενικώς υψηλότερες συγκεντρώσεις από τους OLY και VER.

Th: Αυξάνεται με το SiO_2 και στις δύο ομάδες.

La: Κυμαίνεται από 0-100 ppm περίπου στη ΒΟ και από 0-70 ppm στη ΝΟ επιδεικνύοντας μεγάλη διασπορά.

Ce: Παρουσιάζει κωδωνοειδή τάση και στις δύο ομάδες έχοντας εύρος 0-150 ppm.

Nd: Ελαττώνεται από τα βασικότερα προς τα οξινότερα μέλη και στις δύο ομάδες.

Zn: Ελαττώνεται από 150 σε 10 ppm. Στη ΝΟ τα δείγματα του DSK έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα, σχετικά με άλλα δείγματα αντίστοιχου SiO_2 .

Cu: Κυμαίνεται από 0-45 ppm και στις δύο ομάδες. Στη ΒΟ έχει ιδιαίτερα μεγάλη διασπορά. Στη ΝΟ ελαττώνεται στους OLY και VER, ενώ οι KAT, KST και DSK έχουν χαμηλότερες τιμές που παραμένουν σταθερές.

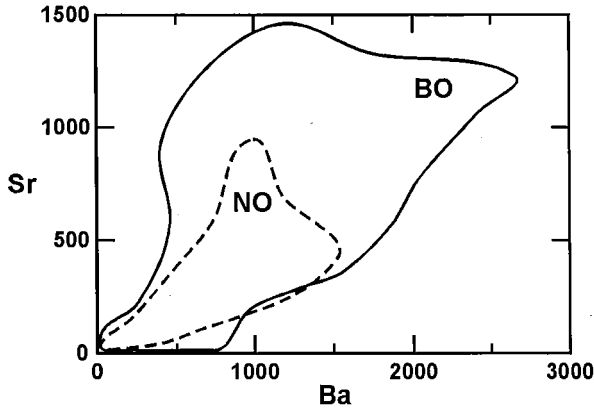
Ni: Εμφανίζει διασπορά τιμών στα βασικότερα μέλη της ΒΟ και ελαττώνεται προς τα όξινα μέλη. Στη ΝΟ έχει γενικά πολύ χαμηλότερες περιεκτικότητες.

Cr και *V*: Ελαττώνονται από τα βασικότερα προς τα οξινότερα μέλη και στις δύο ομάδες.

Co: Στη ΒΟ ελαττώνεται από 50 ppm έως 0 ppm περίπου. Οι OXY και ARD έχουν περιεκτικότητες από 10 έως 30 ppm. Στη ΝΟ παρατηρούνται διαφοροποιήσεις. Στους OLY και VER αυξάνεται από 30 σε 70 ppm περίπου, στον KAT ελαττώνεται από 30 σε 10 ppm και στον KST από 70 σε 10 ppm.

Γενικά, τα εξετασθέντα πετρώματα χαρακτηρίζονται από υψηλό ποσοστό αλκαλίων που κυμαίνεται από 5 μέχρι 11% κ.β. Επίσης, τα πετρώματα της ΒΟ είναι εμπλουτισμένα σε Sr, Ba (Σχ. 5), Ni και ελαφρώς εμπλουτισμένα σε Rb σχετικά με αυτά της ΝΟ. Με βάση το λόγο $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ (μοριακές αναλογίες) οι πλουτωνίτες της ΒΟ είναι μεταργιλικοί έως ελαφρώς υπεραργιλικοί. Υπεραργιλικό χαρακτήρα δείχνουν τα πιο διαφοροποιημένα δείγματα. Εξαιρέση αποτελούν ο ARD που είναι υπεραλκαλικός και ο OXY που είναι έντονα υπεραργιλικός. Στη ΝΟ τα πετρώματα εμφανίζονται υπεραργιλικά εκτός από τον KAT και τα βασικότερα μέλη του OLY που είναι μεταργιλικά.

Στο σχήμα 6 συγκρίνονται τα γεωχημικά χαρακτηριστικά (κυρίως ιχνοστοιχεία) όλων των πλουτωνιτών της παρούσας μελέτης με τη βοήθεια αραχνογραμμάτων κανονικοποιημένων ως προς τον πρωταρχικό μανδύα (SUN & McDONOUGH 1989). Μια τέτοια κανονικοποίηση έχει το πλεονέκτημα να παρουσιάζει τις επιδράσεις όλων των διεργασιών που μεσολαβούν κατά τη γένεση ενός γρανίτη πχ. από την τήξη της μανδυακής πηγής έως την κλασματική κρυστάλλωση και την αφομοίωση φλοιϊκού υλικού. Βέβαια, επειδή κάποιοι από τους δώδεκα πλουτωνίτες που συγκρίνονται έχουν αρκετά μεγάλο εύρος συστάσεων (Σχ. 2), η σύγκριση



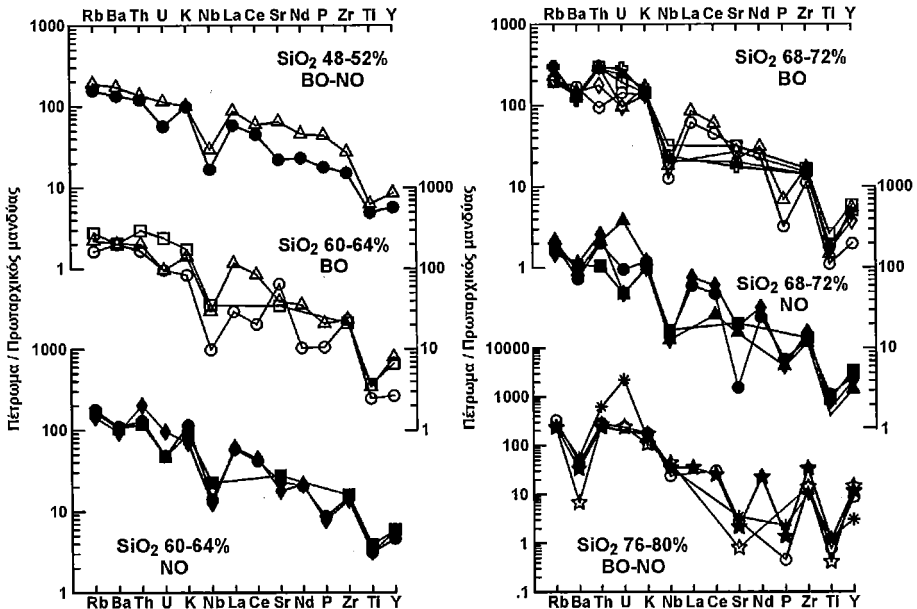
Σχήμα 5. Διάγραμμα μεταβολής Sr - Ba (ppm) των πλουτωνικών πετρωμάτων της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης.

Figure 5. Sr - Ba variation diagram (ppm) from the plutonic rocks of the Northern Pelagonian Zone.

στα αντίστοιχα διαγράμματα περιορίζεται στις περιοχές SiO_2 48-52%, 60-64%, 68-72% και 76-80% (σκιασμένες περιοχές στο σχήμα 2). Από τις περιοχές αυτές χρησιμοποιήθηκαν οι μέσοι όροι των δειγμάτων κάθε πλουτωνίτη (όπου ήταν διαθέσιμα παραπάνω από ένα δείγματα). Ειδικά για το εύρος SiO_2 48-52%, δεν ελήφθησαν υπ' όψιν τα εγκλείσματα, διότι είναι πιθανό να μη συνδέονται με τα πλουτωνικά πετρώματα. Από τα διαγράμματα αυτά φαίνεται ότι:

Σε όλους τους πλουτωνίτες εμφανίζονται οι αρνητικές ανωμαλίες Nb (εκτός των πολύ όξινων πετρωμάτων, Σχ. 6, SiO_2 76-80%) και Ti, οι οποίες είναι τυπικές όλων των μαγμάτων που συνδέονται με ζώνες κατάδυσης (SAUNDERS et al. 1980). Η αύξηση των ανωμαλιών αυτών με την διαφοροποίηση μπορεί να εξηγηθεί με την παρουσία στο στερεό, που ελέγχει τη διαφοροποίηση, μιας φάσης όπως η κερροσίλβη ή/και ο βιοτίτης.

Τα διαγράμματα κατανομής των OLY και VAR είναι παρόμοια αλλά ο VAR εμφανίζεται εμπλουτισμένος σε όλα τα στοιχεία, εκτός του K, σχετικά με τον OLY. Ο εμπλουτισμός αυτός που κυμαίνεται από 1.1 (στο Th) έως 3.1 (στο Sr), είναι μεγαλύτερος στα ισχυρά ασυμβίβαστα στοιχεία που βρίσκονται στην αριστερή πλευρά του διαγράμματος, σε σχέση με τα στοιχεία που βρίσκονται στη δεξιά πλευρά, και τα οποία συμπεριφέρονται ως λιγότερο ασυμβίβαστα. Ο εμπλουτισμός αυτός μπορεί να οφείλεται α) στην αφομοίωση φλουικού υλικού, β) σε διαφορετικό βαθμό μερικής τήξης και γ) σε τήξη διαφορετικής πηγής. Το βασικότερο μάγμα του VAR έχει προκύψει από μερική τήξη εμπλουτισμένου σε LILE μανδύα που μάλιστα είχε υποστεί δύο τουλάχιστον εμπλουτισμούς, ένα σχετιζόμενο με την



Σχημα 6. Αραχνογράμματα των πλουτωνικών πετρωμάτων της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης κανονικοποιημένα ως προς τη σύσταση του πρωταρχικού μανδύα (SUN & McDONOUGH 1989). Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.

Figure 6. Spidergrams of the plutonic rocks of the Northern Pelagonian Zone normalized to primordial mantle (SUN & McDONOUGH 1989). Symbols as in figure 3.

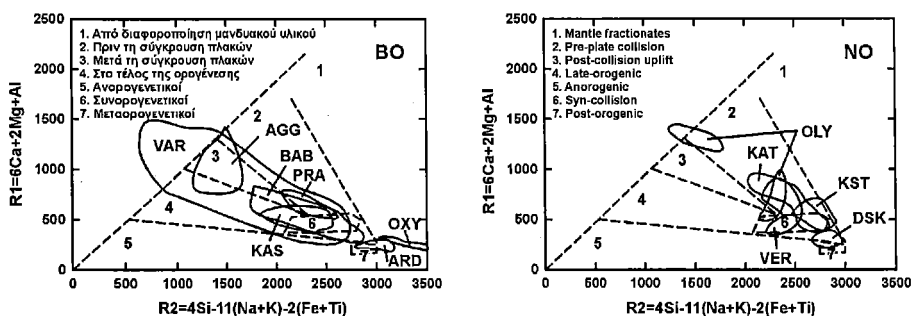
καταβύθιση και ένα πιθανόν προγενέστερο αυτής, ενώ με βάση ισοτοπικά δεδομένα αποκλείστηκε η διαδικασία αφομοίωσης φλοιϊκού υλικού (ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991, ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ κ.ά. 1994). Το τελευταίο επιβεβαιώνεται και από την απουσία αρνητικών ανωμαλιών Sr και Ba (εκτός της μικρής ανωμαλίας Sr του OLY), καθώς ο τυπικός φλοιός παρουσιάζει μεγάλες αρνητικές ανωμαλίες Sr και Ba. Ο διαφορετικός βαθμός μερικής τήξης θα δημιουργούσε μεγαλύτερες διαφορές στα ισχυρά ασυμβίβαστα στοιχεία σε σχέση με λιγότερο ασυμβίβαστα στοιχεία. Παρότι τα στοιχεία στον OLY εμφανίζουν χαμηλότερες περιεκτικότητες απότι στον VAR, είναι απίθανο αυτές να έχουν προκύψει από μερική τήξη μη εμπλουτισμένης μανδυακής πηγής. Πιθανό λοιπόν η διαφορά των κατανομών των στοιχείων OLY και VAR να οφείλεται σε ανομοιογενή εμπλουτισμό της πηγής.

Στο διάστημα SiO₂ 60-64%, στη μεν BO οι VAR και AGG φαίνονται όμοιοι ενώ ο BAB είναι πτωχότερος στα K, Nb, La, Ce, Nd, P και Y, στη δε NO οι KAT, OLY και VER φαίνονται όμοιοι με μικρές διαφορές ως προς το Th και U. Στο διάστημα SiO₂ 68-72%, δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ της μορφής των αραχνο-

γραμμμάτων των πλουτωνιτών της ΒΟ παρά μόνο κάποιες διαφορές στις περιεκτικότητες στοιχείων όπως Th, U, Sr, Nb και Y. Στη ΝΟ ο OLY έχει πολύ λιγότερο Sr σχετικά με τους υπόλοιπους πλουτωνίτες γεγονός που μπορεί να οφείλεται είτε στην παρουσία πλαγιοκλάστου στο στερεό που κρυσταλλώνεται είτε στην παρουσία του ως υπολειμματικής φάσης αν τα γρανοδιοριτικά αυτά πετρώματα δε σχετίζονται με τα βασικότερα (διοριτικά) μέλη (SiO_2 48-52%) που υπάρχουν στην περιοχή. Στο διάστημα SiO_2 76-80%, σημαντικές διαφορές παρατηρούνται στο Ba και Sr (ARD) και στο Th, U και Y (OXY).

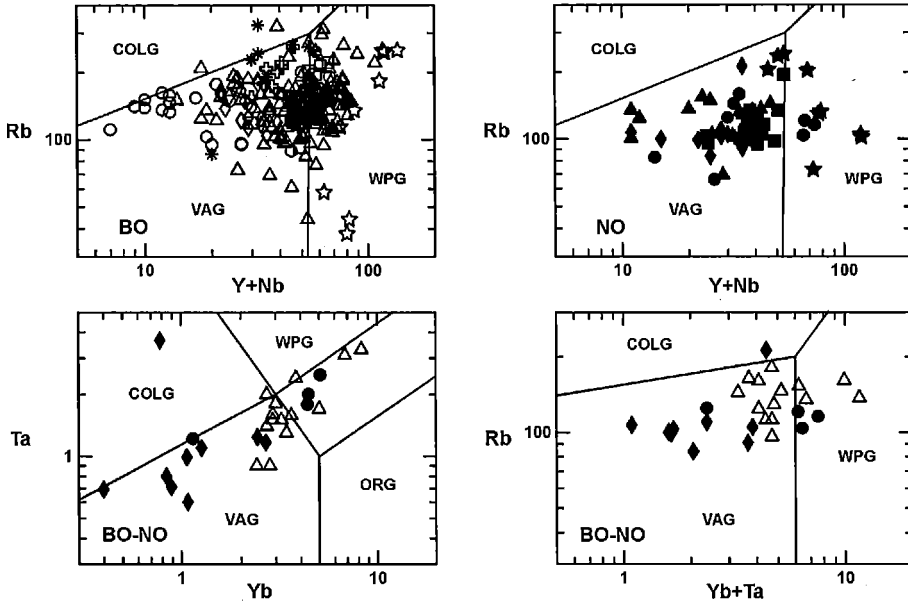
Γεωτεκτονικό περιβάλλον

Με βάση τα κύρια στοιχεία οι πλουτωνίτες της ΒΟ προβάλλονται στο διάγραμμα R1-R2 (BATCHELOR & BOWDEN 1985) (Σχ. 7) στα πεδία των γρανιτών ηφαιστειακού τόξου πριν τη σύγκρουση των ηπείρων (2), των γρανιτών Καληδονικού τύπου που σχηματίζονται μετά τη σύγκρουση (3), αυτών που σχηματίζονται κατά το τέλος της ορογένεσης (4) και των ανατηκτικών πλουτωνιτών που σχηματίζονται σε περιβάλλον σύγκρουσης ηπειρωτικών πλακών (6). Κάποια από τα δείγματα του ARD προβάλλονται στο πεδίο 7 των μεταορογενετικών γρανιτών και κάποια άλλα εκτός του πεδίου αυτού μαζί με τα δείγματα του OXY. Στη ΝΟ οι πλουτωνίτες προβάλλονται στα πεδία 2, και 6. Ο DSK προβάλλεται μεταξύ των πεδίων 6 και 7. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι στο πεδίο της ομάδας 6 των συντεκτονικών, ανατηκτικών πλουτωνιτών παρατηρείται κάποια επικάλυψη. Τούτο είναι αναπόφευκτο καθώς οι συστάσεις όλων των μαγμάτων εξελίσσονται προς τη σύσταση του ελαχίστου τήγματος.



Σχήμα 7. Προβολή των πλουτωνικών πετρωμάτων της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης στο διάγραμμα R1-R2 τεκτονομαγματικής διάκρισης πλουτωνιτών (BATCHELOR & BOWDEN 1985).

Figure 7. R1-R2 diagram (BATCHELOR & BOWDEN 1985) for the plutonic rocks of the Northern Pelagonian Zone. Fields relate to tectonomagmatic divisions of plutonites.



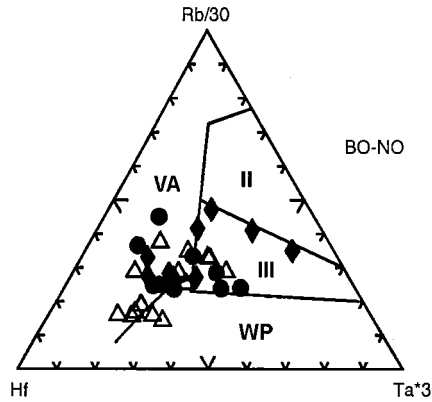
Σχήμα 8. Προβολή των πλουτωνικών πετρωμάτων της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης στα διακριτικά διαγράμματα Rb - (Y+Nb), Ta - Yb, Rb - (Yb+Ta) (PEARCE et al. 1984). ORG: γρανίτες μεσοωκεάνιας ράχης, VAG: γρανίτες ηφαιστειακών τόξων, WPG: ενδοπλακικοί γρανίτες, COLG: γρανίτες περιοχών σύγκρουσης ηπειρωτικών πλακών. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.

Figure 8. Rb - (Y+Nb), Ta - Yb, Rb - (Yb+Ta) discrimination diagrams (PEARCE et al. 1984) for the plutonic rocks of the Northern Pelagonian Zone. ORG: ocean-ridge granites, VAG: volcanic-arc granites, WPG: within-plate granites, COLG: collision granites. Symbols as in figure 3.

Με βάση τα ιχνοστοιχεία στο διάγραμμα Rb-(Y+Nb) (Σχ. 8) (PEARCE et al. 1984) οι πλουτωνίτες προβάλλονται κατά πρώτο λόγο στο πεδίο VAG και κατά δεύτερο στο πεδίο WPG, όπου προβάλλονται σαφώς οι ARD και DSK. Παρόμοια εικόνα δίνουν τα διαγράμματα Ta-Yb και Rb-(Yb+Ta) όπου τα περισσότερα δείγματα προβάλλονται στο πεδίο VAG. Όμως τα διαγράμματα PEARCE et al. (1984) αδυνατούν να διακρίνουν τα post-COLG γρανιτικά πετρώματα από τα VAG, διάκριση που επιτυγχάνεται με το διάγραμμα Rb-Hf-Ta των HARRIS et al. (1986) (Σχ. 9). Ένας μικρός αριθμός δειγμάτων για τα οποία τα ιχνοστοιχεία αυτά είναι διαθέσιμα χρησιμοποιήθηκαν για την προβολή στο τρίγωνο αυτό. Οι VAR, VER και OLY προβάλλονται κυρίως στο πεδίο VA των πλουτωνικών ηφαιστειακών τόξων (πριν από τη σύγκρουση των πλακών), ενώ μερικά δείγματά τους προβάλλονται στο πεδίο III των μετατεκτονικών πλουτωνιτών, και ελάχιστα στο πεδίο WP των ενδοπλακικών πλουτωνιτών. Με βάση τα παραπάνω φαίνεται ότι οι πε-

Σχήμα 9. Προβολή των πλουτωνικών πετρωμάτων της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης στο διακριτικό διαγράμμα Rb-Hf-Ta (HARRIS et al. 1986). VA: γρανίτες ηφαιστειακών τόξων, II: συνορογενετικοί γρανίτες, III: μετα-ορογενετικοί γρανίτες, WP: ενδοπλακικοί γρανίτες. Συμβολισμός όπως στο σχήμα 3.

Figure 9. Rb-Hf-Ta discrimination diagram (HARRIS et al. 1986) for the plutonic rocks of the Northern Pelagonian Zone. VA: volcanic-arc granites (pre-collision), II: Syn-collision granites, III: Post-collision granites WP: within-plate granites. Symbols as in figure 3.



ρισσότεροι πλουτωνίτες της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης συνδέονται με περιβάλλον σύγκρουσης και καταβύθισης ωκεάνειας πλάκας κάτω από ηπειρωτική χωρίς όμως να μπορεί να διευκρινιστεί ο χρόνος δημιουργίας τους σχετικά με το γεγονός της σύγκρουσης. Η προβολή των ARD και DSK στο πεδίο των ενδοπλακικών γρανιτών δε συνδέεται κατ' ανάγκη με το αντίστοιχο γεωτεκτονικό περιβάλλον, αλλά μπορεί να αντανακλά χαρακτηριστικά Α-τύπου μαγματισμού, υπόθεση που ενισχύεται και από άλλα γεωχημικά δεδομένα, όπως το υψηλό Nb, Zr και Y.

Από τα διαγράμματα πάντως του σχήματος 7 θα μπορούσε να υποθεθεί ότι η ΝΟ αντιπροσωπεύει την έναρξη του τεκτονομαγματικού κύκλου. Κάτι τέτοιο δε συμφωνεί με το διάγραμμα του σχήματος 9, αλλά ούτε επιβεβαιώνεται από τις ηλικίες των πετρωμάτων στις δύο ομάδες, οι οποίες εμφανίζονται περίπου ίδιες.

Συμπεράσματα

Η γεωχημική συγκριτική μελέτη των πλουτωνιτών που διεισδύουν στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Πελαγονικής Ζώνης έδειξε ότι υπάρχουν αρκετές ομοιότητες μεταξύ τους, αλλά και ότι μερικοί έχουν πολύ διαφορετικά χημικά χαρακτηριστικά.

1. Κοινά χαρακτηριστικά των εξεταζομένων πετρωμάτων είναι το υψηλό ποσοστό αλκαλίων τους και οι αρνητικές ανωμαλίες Nb (εκτός των πολύ όξινων πετρωμάτων) και Ti, που εμφανίζουν στα αραχνογράμματα και οι οποίες είναι τυπικές για μάγματα που συνδέονται με ζώνες κατάδυσης.
2. Με βάση τα κύρια στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία φαίνεται ότι οι περισσότεροι πλουτωνίτες του βορείου τμήματος της Πελαγονικής Ζώνης συνδέονται με περιβάλλον σύγκρουσης και καταβύθισης ωκεάνειας πλάκας κάτω από ηπειρωτική, χωρίς όμως να μπορεί να διευκρινιστεί ο χρόνος δημιουργίας τους σχετικά με το γεγονός της σύγκρουσης.

3. Οι διαφορές των δυο ομάδων (BO και NO) μεταξύ τους (εκτός των OXY, ARD και DSK) είναι ότι τα πετρώματα της BO έχουν υψηλότερες περιεκτικότητες Rb, Sr, Ba, Zr και Ni έναντι της NO, και ότι τα βασικότερα δείγματα της BO ($\text{SiO}_2 < 60\%$) είναι 2-3 φορές πιο εμπλουτισμένα σε P_2O_5 από τα αντίστοιχα της NO.
4. Οι πλουτωνίτες της BO είναι μεταργιλικό (εκτός των OXY και ARD) και μόνο τα πολύ όξινα δείγματα χαρακτηρίζονται ως ελαφρώς υπεραργιλικά. Έχουν παρόμοια γεωχημικά χαρακτηριστικά αν και ο BAB εμφανίζει σχετικά υψηλότερες τιμές Al_2O_3 ενώ στο διάστημα SiO_2 60-64%, είναι πτωχότερος σε K, Nb, La, Ce, Nd, P και Y.
5. Στη NO τα πετρώματα εμφανίζονται υπεραργιλικά εκτός από τον KAT και τα βασικότερα μέλη του OLY που είναι μεταργιλικά. Παρόλ'αυτα οι KST και KAT ομοιάζουν μεταξύ τους, όπως και οι OLY και VER. Οι δύο αυτές όμως υποομάδες παρουσιάζουν χαρακτηριστικές διαφορές μεταξύ τους (TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO, Nb, Y, Co).
6. Οι OXY, ARD και DSK διαφοροποιούνται ως προς τους άλλους πλουτωνίτες. Συγκεκριμένα: Ο OXY είναι έντονα υπεραργιλικός, έχει υψηλότερο Fe_2O_3 και χαμηλότερο Na_2O . Στο διάγραμμα R1-R2 προβάλλεται δεξιότερα του πεδίου των μεταορογενετικών γρανιτών. Ο ARD είναι υπεραλκαλικός, έχει πολύ χαμηλό Al_2O_3 , υψηλότερο Fe_2O_3 , μεγάλη διακύμανση στο K_2O , έντονη μείωση Rb και υψηλές τιμές Nb, Zr και Y. Ο DSK είναι υπεραργιλικός, έχει υψηλότερη περιεκτικότητα Fe_2O_3 , K_2O , Zr και Nb, Zr, Y σε κάποια δείγματα, και χαμηλότερη περιεκτικότητα CaO, Na_2O , Sr και Ba. Οι δύο τελευταίοι προβάλλονται ως μεταορογενετικοί ή ενδοπλακικοί γρανίτες, γεγονός που πιθανόν σχετίζεται με Α-τύπου μαγματισμό.
7. Οι κατανομές των ιχνοστοιχείων στα βασικότερα δείγματα (SiO_2 48-52%) υποδεικνύουν ανομοιογένεια στην μανδουακή πηγή προέλευσης μεταξύ OLY και VAR.

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε τη φοιτήτρια Ελένη Ελευθεριάδου για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων των χημικών αναλύσεων.

Βιβλιογραφία

- BARTON C.M. (1976). The tectonic vector and emplacement age of an allochthonous basement slice in the Olympos area, NE Greece. Bull. Soc. Geol. France, 18, 253-258.
- BATCHELOR R.A. & BOWDEN P. (1985). Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. Chem. Geol., 48, 43-55.
- ΓΕΡΟΥΚΗ Φ., ΜΑΘΘΑΙΟΠΟΥΛΟΣ Δ., ΚΑΤΣΙΚΗΣ Ι., ΚΟΥΓΚΟΥΛΗΣ Χ. & ΖΑΝ-

- ΝΑΣ Ι. (1995). Πλουτωνίτες στο χώρο της Βόρειας Πελαγονικής. Δημοσίευτη εσωτερική έκθεση, Ι.Γ.Μ.Ε.
- ΔΑΒΗ Ε.Ν. & ΜΙΓΚΙΠΟΣ Γ.Π. (1980). Γρανιτικά διεισδύσεις εντός του μεταμορφωμένου συστήματος εις Ανατολικήν Θεσσαλίαν. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., 15, 168-183.
- HARRIS N.B.W., PEARCE J.A. & TINDLE A.G. (1986). Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Collision Tectonics, Coward, M.P. & Ries, A.C. eds, Ceol. Soc. Spec. Publ., Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, 19, 67-81.
- ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ Α.Ε. (1983). Συμβολή στη μελέτη των πλουτώνιων πετρωμάτων του Δυτικού Βαρουνά. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, σ. 182.
- KATERINOPOULOS A., KOKKINAKIS A. & KYRIAKOPOULOS K. (1994). Petrology and chemical characteristics of Deskati granitic rocks, Thessaly, Greece. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., 30/3, 79-88.
- ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ Α. & ΚΥΡΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Κ. (1989). Πετρογραφική και πετροχημική μελέτη των πλουτώνιων πετρωμάτων του όρους Baba (Γιουγκοσλ.). Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., 23/2, 561-576.
- KATERINOPOULOS A., KYRIAKOPOULOS K., DEL MORO A., MITROPOULOS P. & GIANNOTTI U. (1992). Comparative study of Hercynian granitoids from N. W. Greece and S. Yugoslavia. Chem. Erde, 52, 261-276.
- KATERINOPOULOS A., KYRIAKOPOULOS K., DEL MORO A., KOKKINAKIS A. & GIANNOTTI U. (1998). Petrology, geochemistry and Rb/Sr age determination of Hercynian granitic rocks from Thessaly, Central Greece. Chem. Erde, 58, 64-79.
- ΚΙΛΙΑΣ Α. & ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. (1988). Το τεκτονικό κάλυμμα της Πελαγονικής. Τεκτονική, μεταμόρφωση και μαγματισμός. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., 23/1, 29-46.
- ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ Α. (1991). Ορυκτολογία, πετρολογία και γεωχημεία του πλουτανίτη του Ανατ. Βαρουνά. (ΒΔ Μακεδονία). Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σ. 451.
- KORONEOS A., CHRISTOFIDES G. DEL MORO A. & KILIAS A. (1993). Rb-Sr geochronology and geochemical aspects of the Eastern Varnountas plutonite (NW Macedonia, Greece). N. Jb. Miner. Abh., 165, 297-315.
- ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ Α., ΣΟΛΔΑΤΟΣ Τ., ΧΡΙΣΤΟΦΙΔΗΣ Γ. & ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΗΣ Γ. (1994). Γένεση του πλουτανίτη του Ανατολικού Βαρουνά (ΒΔ Μακεδονία). Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., 30/1, 193-204.
- ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ Α., ΤΣΟΥΤΣΙΚΑ Π. ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΗΣ Γ. & SEIDEL E. (2000). Ορυκτολογία, πετρολογία και γεωχημεία του πλουτανίτη της Καστανιάς (Βέρμιο). Στον ίδιο τόμο.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ.Μ. (1983). Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων. Πραγμ. για υψηλές, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σ. 289.

- PEARCE J.A., HARRIS N.B.W. & TINDLE A.C. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25, 4, 956-983.
- PE-PIPER G., DOUTSOS T. & MIJARA A. (1993a). Petrology and regional significance of the Hercynian granitoid rocks of the Olympiada area, northern Thessaly, Greece. *Chem. Erde*, 53, 21-36.
- PE-PIPER G., DOUTSOS T. & MPORONKAY C. (1993b). Structure, geochemistry and mineralogy of Hercynian granitoid rocks of the Verdikoussa area, northern Thessaly, Greece and their regional significance. *N. Jb. Miner. Abh.*, 165, 267-296.
- ΠΛΑΣΤΗΡΑΣ Β.Ν. (1983). Γεωλογική μελέτη της περιοχής νότια των Πρεσπών. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σ. 344.
- SAUNDERS A.D., TARNEY J. & WEAVER S.D. (1980). Transverse geochemical variations across the Antarctic peninsula: implications for the genesis of calc-alkaline magmas. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 46, 344-360.
- SFEIKOS A.C. & FRISCH W. (1993). Implications from rock chemical analysis and zircon crystal morphology for the origin of Pelagonian basement rocks in the Kamvounia mountains, North Thessaly. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, 28/2, 139-148.
- SHERMER E., LUX D. & BURCHFIEL B.C. (1989). Age and tectonic significance of metamorphic events in the mt. Olympos region, Greece. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, 23/1, 13-27.
- ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ Ν. (1992). Η γεωλογική δομή της Πελαγονικής ζώνης στο όρος Άσκιο (Δυτική Μακεδονία). Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σ. 251.
- STRECKEISEN A. & LE MAITRE R.W. (1979). A chemical approximation to the modal QAPF classification of the igneous rocks. *N. Jb. Min. Abh.*, 136, 169-206.
- SUN S.S. & McDONOUGH W.F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in the Ocean Basins*, Saunders, A.D. & Norry M.J. eds, *Ceol. Soc. London Spec. Publ.*, 42, 313-345.
- YARWOOD G.A. (1978). The structure, metamorphism and geochronology of the High Pieria Mountains, N. Greece. Ph. D. Thesis (unpubl.), University Edinburgh, pp. 100.
- YARWOOD G. & AFTALION M. (1976). Field relations and U-Pb geochronology of a granite from the Pelagonian zone of the Hellenides (High Pieria, Greece). *Bull. Soc. Geol. France*, 18(2), 259-264.

ΟΥΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ*

Ν. Κούκουζας¹, Χ. Βασιλάτος², Ι. Γλαράκης³

Περίληψη

Η ιπτάμενη τέφρα, που είναι το λεπτά διαμερισμένο υπόλειμμα της καύσης του λιγνίτη στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μελετάται στην παρούσα εργασία με σκοπό τη διερεύνηση χρήσης της στο σκυρόδεμα με την παραγωγή αντίστοιχων δοκιμίων σε πραγματική κλίμακα. Στην εργασία παρουσιάζονται ορυκτολογικές, πετρογραφικές και χημικές αναλύσεις τόσο της ιπτάμενης τέφρας όσο και του παραχθέντος σκυροδέματος. Το σκυρόδεμα που παράχθηκε από τσιμέντο, άμμο, νερό, αδρανή υλικά και τέφρα (σε διάφορες αναλογίες) παρουσιάζει μικρορωγματώσεις στη δομή του λόγω της μειωμένης συνάφειας της τέφρας με τα αδρανή υλικά. Παρόλα αυτά η τέφρα δρα συχνά ως συγκολλητικό υλικό και υλικό πληρώσεως των ρωγμών του σκυροδέματος. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις αντοχών σε δοκίμια του παραπάνω σκυροδέματος, που έδωσαν συγκρίσιμα αποτελέσματα αντοχής σε θραύση, με δοκίμια σκυροδέματος που δεν περιέχει τέφρα. Έτσι συμπεραίνεται ότι, η ανάμιξη της τέφρας στο σκυρόδεμα δεν επιφέρει ιδιαίτερο πρόβλημα στην αντοχή του, αλλά ορισμένες φορές αυτή πληρώνει τα κενά της μάζας του σκυροδέματος.

Abstract

In the present paper the fly ash, which is the finest residue of the lignite combustion entrapped by electrostatic filters at the electrical power stations, is examined, in order to determine the possibility of its usage in the production of concrete. It is implemented by testing concrete models in actual scale. Mineralogical, petrographical and chemical analyses of the fly ash as well as of the produced concrete are presented. The concrete that was produced by cement, sand, water, aggregates and fly ash (in various percentages) showed micro-cracks in its structure, due to the reduced interconnection of the fly ash with the aggregates. Nevertheless, the fly ash may act as adhesive material, as well as the material that fills the cracks of the concrete. Tests of the strength

* Mineralogical and Petrographical Study of Concrete by using Fly Ash from Ptolemais.

1. Κέντρο Τεχνολογίας και Εφαρμογών Στερεών Καυσίμων, Τεχνολογικό Πάρκο Αττικής, 153 10 Αγία Παρασκευή, Αθήνα.
2. Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας & Γεωχημείας, Πανεπιστημιούπολη, 15785, Ζωγράφου, Αθήνα.
3. Σκυρόδεμα Χαλκιδικής Α.Ε., 63200, Νέα Τένεδος, Χαλκιδική.

on models made by this concrete have shown comparable results in strength with reference concrete produced without ash. It is concluded that the mixing of fly ash in concrete does not affect its strength and sometimes it fills the cracks of the concrete mass.

Εισαγωγή

Η ιπτάμενη τέφρα είναι το λεπτό διαμερισμένο υπόλειμμα της καύσης του λιγνίτη στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται από τα καυσαέρια και συγκρατείται με ειδικές διατάξεις πριν από την έξοδο στην ατμόσφαιρα.

Οι ιπτάμενες τέφρες (IT) διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τις IT τύπου F, με χαμηλή περιεκτικότητα σε οξειδίο του ασβεστίου (< 5%), που προέρχονται από την καύση κυρίως λιθανθράκων και τις IT τύπου C, με υψηλή περιεκτικότητα σε οξειδίο του ασβεστίου (10-35%) που προέρχονται κυρίως από την καύση λιγνιτών. Οι IT της πρώτης κατηγορίας είναι αργιλοπυριτικής σύστασης και συμπεριφέρονται ως ποζολανικά υλικά, ενώ οι IT της δεύτερης κατηγορίας είναι ασβεστοαργιλικής και ασβεστοπυριτικής σύστασης και εμφανίζουν υδραυλικές ιδιότητες. Οι ελληνικές IT που παράγονται στους διάφορους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της Πτολεμαΐδας και της Μεγαλόπολης ανήκουν γενικά στην κατηγορία IT με υψηλό ποσοστό ασβεστίου. Όμως, οι τέφρες από τους σταθμούς της Μεγαλόπολης περιέχουν υψηλότερα ποσοστά SiO_2 , ενώ στα επιμέρους λιγνιτικά πεδία της Πτολεμαΐδας, ο λόγος CaO/SiO_2 της τέφρας παρουσιάζει διακυμάνσεις (ΣΤΑΜΑΤΑΚΗΣ κ.α. 1997).

Οι ιπτάμενες τέφρες ανήκουν στην κατηγορία των τεχνητών ποζολανών, δηλ. των πυριτικών ή αργιλοπυριτικών υλικών που στη φυσική τους κατάσταση έχουν ασήμαντες υδραυλικές ιδιότητες, αλλά σε λεπτό διαμερισμό, παρουσία υγρασίας και σε συνήθεις θερμοκρασίες, αντιδρούν χημικά με το υδροξείδιο του ασβεστίου σχηματίζοντας υλικά με υδραυλικές ιδιότητες. Η χρήση της IT στο σκυρόδεμα έγκειται στη βελτίωση αρκετών ιδιοτήτων του νωπού και του σκληρωμένου σκυροδέματος και στην αύξηση των αντοχών και της ανθεκτικότητάς του στο χρόνο.

Στο παρελθόν έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες για τη δυνατότητα χρήσης της τέφρας στο σκυρόδεμα (ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ 1992, ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗ 1995), καθώς και ειδική μελέτη από ομάδα εργασίας अपαρτιζόμενη από ειδικούς από το ΚΤΕΣΚ, τη ΔΕΗ, το ΓΓΜΕ, τις τοιμεντοβιομηχανίες (ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ και ΤΙΤΑΝ) και Ανώτατα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα, που στόχο είχε τη δημιουργία προδιαγραφών για τη χρήση της ιπτάμενης τέφρας στο σκυρόδεμα. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έχουν παρουσιαστεί σε σχετική ημερίδα (ΚΤΕΣΚ 1997).

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η διερεύνηση χρήσης της ιπτάμενης τέφρας στο σκυρόδεμα με την παραγωγή αντίστοιχων δοκιμών σε πραγματική κλίμακα. Πραγματοποιείται η ορυκτολογική και χημική εξέταση της ιπτάμενης τέφρας και του σκυροδέματος που παράγεται με αυτή.

Η εργασία αυτή αποτελεί μέρος έργου που έλαβε χώρα στα πλαίσια του προγράμματος για την Προτοβουλία για τις Μικρομεσαίες Επιχειρήσεις, που χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Ανάπτυξης και το Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας. Το ερευνητικό έργο είχε ως αντικείμενο την ανάπτυξη νέων προϊόντων και ειδικών εφαρμογών σκυροδέματος από την εταιρεία ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ Α.Ε. σε συνεργασία με το Κέντρο Τεχνολογίας και Εφαρμογών Στερεών Καυσίμων (ΚΤΕΣΚ).

Αναλυτικές μέθοδοι και υλικά

Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου συλλέχθηκαν επιλεκτικά δείγματα επεξεργασμένης ιπτάμενης τέφρας από τον ατμοηλεκτρικό σταθμό Πτολεμαΐδας και στάλθηκαν στην εταιρεία “ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ Α.Ε.” για την παραγωγή δοκιμών σκυροδέματος. Παράλληλα μέρος των δειγμάτων ΙΤ στάλθηκε για ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις στο εργαστήριο Οικονομικής Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Δείγματα σκυροδέματος που παράχθηκε με ΙΤ εξετάστηκαν ως προς την ορυκτολογική τους σύσταση στο ίδιο εργαστήριο του Πανεπιστημίου Αθηνών, ενώ φυσικοί προσδιορισμοί του σκυροδέματος πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο της εταιρείας.

Η ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων προσδιορίστηκε με τη βοήθεια της περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD), με πολωτικό μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός και με ηλεκτρονικό σαρωτικό μικροσκόπιο (SEM). Χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο τύπου Siemens D-5005, λυχνία χαλκού και μονοχρωμάτορας γραφίτη. Οι ορυκτολογικές φάσεις προσδιορίστηκαν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με το λογισμικό της εταιρείας Siemens (EVA) και τα αρχεία της JCPDS. Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο ήταν τύπου JEOL JSM-5600 το οποίο χρησιμοποιήθηκε και για τις χημικές αναλύσεις της ιπτάμενης τέφρας.

Οι φυσικοί προσδιορισμοί του σκυροδέματος έγιναν με βάση τους κανονισμούς του ΕΛΟΤ (1994), με τη χρήση ειδικής ηλεκτροϋδραυλικής πρέσας με ρυθμιζόμενη ταχύτητα, ώστε η εφαρμογή του φορτίου να είναι συνεχής και ομοιόμορφη, για τη μέτρηση της αντοχής τους στη θλίψη.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρασκευή αναμιγμάτων σκυροδέματος με την συμμετοχή ιπτάμενης τέφρας ήταν:

- Τσιμέντο: τύπου Ι/45 εργοστασίου “TITAN ΑΕ”, μονάδας Θεσ/νίκης.
- Αδρανή: αβεστολιθικά θραυστά λατομείου μέγιστου κόκκου 30 mm προέλευσης “ΛΑΤΟΜΕΙΑ ΤΑΓΑΡΑΔΩΝ ΕΠΕ”, εγκατεστημένα στο Νομό Θεσ/νίκης, καθώς και φυσική άμμος προέλευσης ποταμού Αξιού.
- Ιπτάμενη τέφρα: από τον ατμοηλεκτρικό σταθμό της Πτολεμαΐδας.

Τα αναμίγματα παρασκευάστηκαν σε εργαστηριακή κλίμακα (εργαστηριακός αναμίκτης). Σε όλες τις συνθέσεις έγινε διόρθωση υγρασίας και όλες είχαν σταθερή κοκκομετρική καμπύλη αδρανών (Πίν. 1). Παρασκευάστηκαν αναμίγματα,

Πίνακας 1. Αδρανή υλικά αναμιγμάτων σκυροδέματος
Table 1. Aggregates in concrete mixtures

α/α	Υλικό	Ποσότητα (kg/m ³)
1	θραυστή άμμος	532
2	φυσική άμμος	570
3	γαρμπίλι	209
4	χαλίμι	589

Πίνακας 2. Αριθμός δοκιμών που θραύστηκαν ανά ηλικία
Table 2. Number of crushed test models / time

Ηλικία	24h	3d	7d	14d	21d	28d	60d
Τεμάχια	2	2	3	2	2	6	2

όπου έγινε κατά βάρος αντικατάσταση του τσιμέντου από ιπτάμενη τέφρα. Όλα τα μίγματα περιείχαν κονία τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας 270 kg/m³ αθροιστικά. Η αντικατάσταση έγινε για τα εξής ποσοστά: 10%, 20%, 30% και 40%. Όλη η σειρά των αναμιγμάτων επαναλήφθηκε τρεις φορές (στον πίνακα 8 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι τιμών αντοχής σε θλίψη). Ο χρόνος ανάμιξης δεν ήταν σταθερός, αλλά διαρκούσε έως ότου η εργασιμότητα του μίγματος αποκτούσε την επιθυμητή τιμή. Η μέτρηση της εργασιμότητας έγινε με την μέθοδο της καταβύθισης. Η εργασιμότητα όλων των μιγμάτων ήταν από 10 cm έως 11 cm. Η απαίτηση της σταθερής εργασιμότητας είχε ως αποτέλεσμα ο λόγος νερού προς κονία (νερό / (τσιμέντο + ιπτάμενη τέφρας) να κυμαίνεται από 0,81-0,87. Από κάθε ανάμιγμα παρασκευάστηκαν 19 δοκίμια. Οι μήτρες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κύβοι, ακμής 15 cm και παρασκευασμένες από χυτοσίδηρο. Η συμπύκνωση του σκυροδέματος έγινε με δονητική τράπεζα. Τα δοκίμια παρέμειναν στο χώρο του εργαστηρίου 24 ώρες κατόπιν αφαιρέθηκαν από τις μήτρες και συντηρήθηκαν έως την ημέρα της θραύσης σε συνθήκες σχετικής υγρασίας από 90% έως 98% και θερμοκρασίας από 21°C έως 22,8°C. Ως σύνθεση αναφοράς παρασκευάστηκαν πέντε σειρές δοκιμών 19 τεμαχίων χωρίς ιπτάμενη τέφρα, ίδιας κοκκομετρίας με αυτά στα οποία έγινε αντικατάσταση τσιμέντου, περιεκτικότητας 270 kg/m³, τύπου I/45 και ίδιας εργασιμότητας.

Οι ηλικίες θραύσης που επιλέχθηκαν ήταν 24ώρες και 3, 7, 14, 21, 28 και 60 η-μέρες. Στον πίνακα 2 δίνεται ο αριθμός των δοκιμών που θραύτηκαν ανά ηλικία για κάθε ανάμιγμα.

Αποτελέσματα

Η ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας είναι ένα λεπτόκοκκο υλικό, η κοκκομετρία του οποίου μετρήθηκε και αναφέρεται στον πίνακα 3. Σύμφωνα με τις αναλύσεις η

Πίνακας 3. Κοκκομετρική σύσταση (κ.β. %) ιπτάμενης τέφρας Πτολεμαΐδας
Table 3. Granulometric composition (wt. %) of fly ash from Ptolemais

Μέγεθος κόκκων	Δείγματα ιπτάμενης τέφρας				
	T1	T2	T5	T6	TA
+45 μm	56.1	64.7	63.3	57.7	60.6
45-90 μm	43.9	35.3	36.7	42.3	39.4
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Πίνακας 4. Ορυκτολογική σύσταση ιπτάμενης τέφρας Πτολεμαΐδας με περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD)

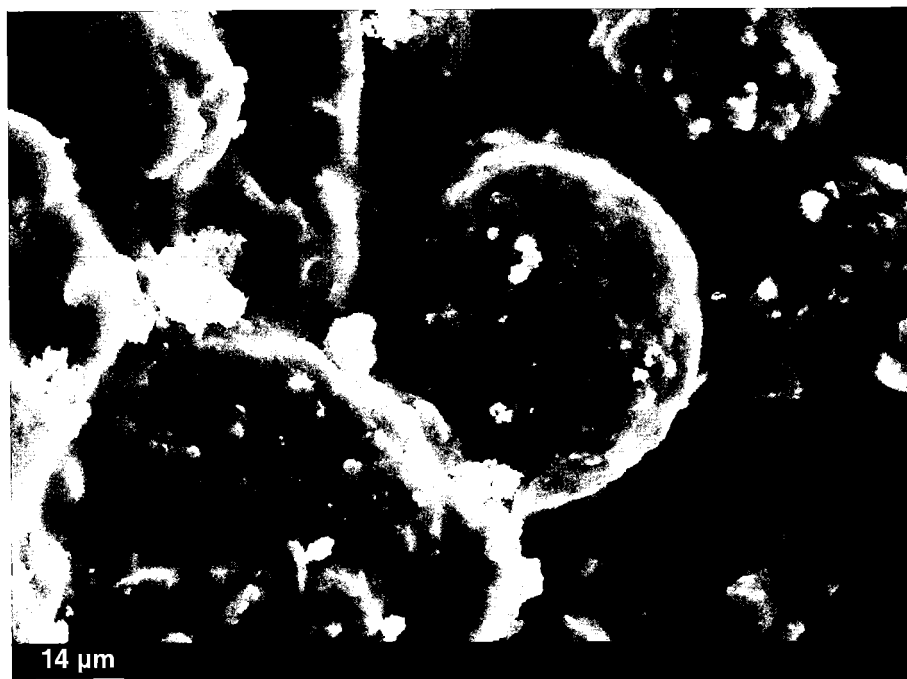
Table 4. Mineralogical composition of fly ash from Ptolemais by using X-ray diffraction

Ορυκτά	Χημικός τύπος	Ιπτάμενη Τέφρα				
		T1	T2	T5	T6	TA
Χαλαζία	SiO ₂	+	+	+	+	+
Άστριοι	(Na,K)AlSi ₃ O ₈	+	+	+	+	+
Γκελενίτης	Ca ₂ Al(Al,Si) ₂ O ₈	-	+	-	-	-
Ανυδρίτης	CaSO ₄	+	+	+	+	+
Άσβεστος	CaO	+	+	+	+	+
Πορτλανδίτης	Ca(OH) ₂	+	+	+	+	+
Μαρμαρυγίας	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH,F) ₂	-	-	-	+	-
Γκισμανίτης	CaAl ₂ Si ₂ O ₈₄ H ₂ O	+	-	+	+	+
Επίδοτο	Ca ₂ (Al,Fe)Al ₂ Si ₃ O ₁₂ (OH)	+	+	-	-	-
Χλωρίτης	(Mg,Fe ²⁺) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₉	+	+	+	-	+

Πίνακας 5. Ορυκτολογική σύσταση σκυροδέματος από τη μελέτη λεπτών τομών στο μικροσκόπιο

Table 5. Mineralogical composition of concrete after studying of thin sections in microscope

Ορυκτά	Χημικός τύπος	Σκυροδέμα			
		1	2	3	4
Χαλαζία	SiO ₂	+	+	+	+
Άστριοι	(Na,Si)AlSi ₃ O ₈	+	+	+	+
Επίδοτο	Ca ₂ (Al,Fe)Al ₂ Si ₃ O ₁₂ (OH)	+	+	-	-
Χλωρίτης	(Mg,Fe ²⁺) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₉	+	+	-	-
Βιοτίτης	K(Mg,Fe) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂	+	+	+	+
Άσβεστίτης	CaCO ₃	+	+	+	+
Ύελος		+	+	+	+



Εικόνα 1. Τυπική μορφή κενοσφαιρών στην ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας.

Figure 1. Typical shape of cenospheres in the fly ash of Ptolemais.

ιπτάμενη τέφρα περιέχει υλικό που η κοκκομετρία του υπερβαίνει τα 45 μm ($\geq 55\%$ της σύστασής του), ενώ το υπόλοιπο υλικό έχει κοκκομετρία 45-90 μm .

Τα αποτελέσματα των ορυκτολογικών αναλύσεων, φαίνονται στον πίνακα 4. Επιπλέον, από την μορφή των ακτινογραφημάτων προκύπτει και η ύπαρξη υέλου.

Η ιπτάμενη τέφρα εξετάστηκε με πολωτικό και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο για να ερευνηθεί η δομή της και τα περιεχόμενα σε αυτή ορυκτά. Διαπιστώθηκε ότι περιέχει υελώδη μάζα που αποτελεί το μεγαλύτερο τμήμα της κύριας μάζας της, ενώ υπάρχουν διάσπαρτοι φαινοκρύσταλλοι ορυκτών όπως χαλαζία, αστρίων, γκελενίτη, ανυδρίτη, ασβέστου, πορτλανδίτη και επίδοτου. Ο χαλαζίας και οι άστριοι είναι ορατοί με τη βοήθεια του πολωτικού μικροσκοπίου. Επίσης, εντοπίστηκαν με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και ορυκτά όπως μαγνητίτης και αιματίτης. Τα τελευταία αυτά είναι οξείδια σιδήρου υψηλών θερμοκρασιών και προέρχονται από την καύση του λιγνίτη σε θερμοκρασίες 700-800°C. Οι κενόσφαιρες της τέφρας είναι χαρακτηριστικές της δομής της και έχουν διάμετρο περίπου 20 μm (Εικ. 1). Η χημική τους σύσταση αναφέρεται στον πίνακα 6. Βρέθηκαν και άκαυστα σωματίδια λιγνίτη μέσα στην τέφρα, για τα οποία η μικροανάλυσή τους έδειξε παρουσία των στοιχείων Ca, Si, Al Fe και Mg.

Πίνακας 6. Χημική σύσταση (κ.β. %) της ιπτάμενης τέφρας**Table 6.** Chemical composition (wt. %) of fly ash

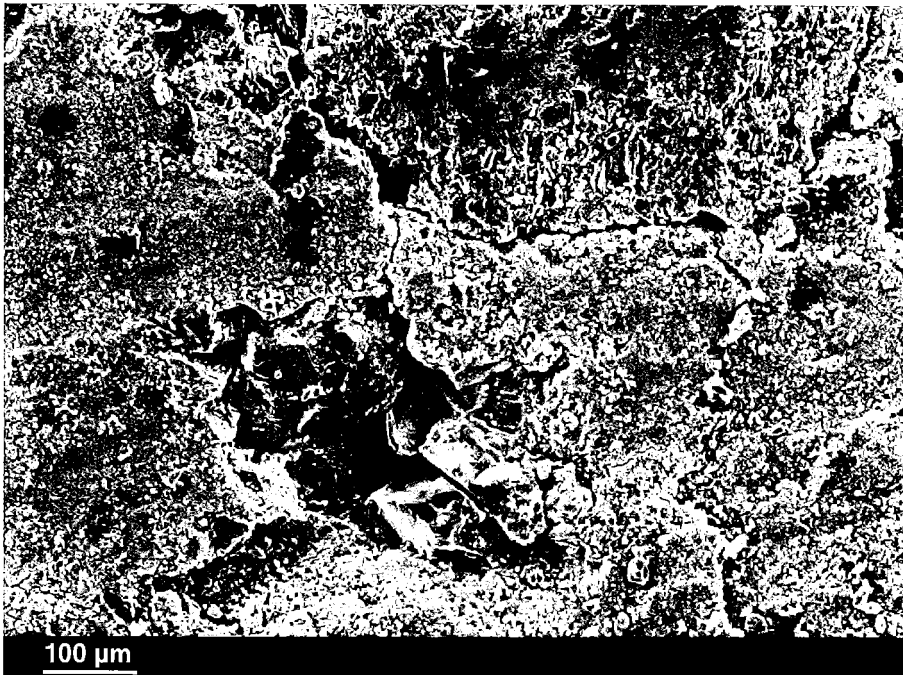
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	TA	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
SiO ₂	30.11	28.55	28.93	29.10	30.54	31.84	33.78	30.41	1.8640
Al ₂ O ₃	17.40	16.85	17.50	16.70	17.02	16.74	16.92	17.02	0.3168
TiO ₂	1.01	0.52	1.36	0.89	0.80	0.94	0.85	0.91	0.2518
Fe ₂ O ₃	7.34	6.19	6.16	5.82	6.71	7.01	6.04	6.47	0.5615
MgO	3.18	3.94	3.03	3.72	3.05	3.00	2.78	3.24	0.4221
CaO	26.85	26.02	27.69	27.78	26.22	23.91	22.57	25.86	1.9474
Na ₂ O	1.42	1.30	2.10	2.11	1.80	1.55	1.93	1.75	0.3275
K ₂ O	1.19	1.75	1.18	1.12	1.21	1.72	1.77	1.42	0.3071
SO ₃	8.62	11.36	8.53	10.32	9.39	9.56	9.84	9.66	0.9816
Total	97.12	96.48	96.48	97.56	96.74	96.27	96.48		

Πίνακας 7. Χημική σύσταση (κ.β. %) κενοσφαιρών της ιπτάμενης τέφρας**Table 7.** Chemical composition (wt. %) of cenospheres in fly ash

	K1	K2	K3	K4	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
SiO ₂	47.17	43.43	43.59	34.95	42.29	5.1854
Al ₂ O ₃	23.75	25.71	33.13	17.48	25.02	6.4458
TiO ₂	0.67	0.31	0.22	2.90	1.02	1.2671
Fe ₂ O ₃	6.39	5.00	3.08	7.21	5.42	1.8085
MgO	2.81	3.57	1.82	4.98	3.29	1.3298
CaO	10.93	6.80	6.65	25.55	12.48	8.9352
Na ₂ O	1.10	3.58	1.11	1.21	1.75	1.2211
K ₂ O	3.33	7.32	7.38	0.74	4.69	3.2441
SO ₃	1.97	3.30	0.78	0.61	1.66	1.2484
Total	98.12	99.02	97.76	95.63		

Το σκυρόδεμα επίσης εξετάστηκε με πολωτικό και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, αφού η οπτική παρατήρηση φαίνεται να είναι η πλέον αποτελεσματική μέθοδος αξιολόγησης της δομής του, με δεδομένο ότι τα ακτινογραφήματα δύσκολα ερμηνεύουν τη σύνδεση των υλικών μεταξύ τους. Διαπιστώθηκε ότι οι τύποι σκυροδέματος με αυξημένη περιεκτικότητα τέφρας έχουν ρωγμές στα σημεία, όπου εμφανίζονται οι φαινοκρύσταλλοι των ορυκτών, κυρίως του χαλαζία. Οι ρωγμές παρουσιάζονται τόσο γύρω από τους κρυστάλλους όσο και ανάμεσά τους δημιουργώντας ορισμένες φορές δίκτυο ρωγματώσεων στο σκυρόδεμα (Εικ. 2 και 3).

Στον πίνακα 8 αναφέρονται οι μέσες τιμές αντοχής σε θλίψη (kg/cm²) αναμιγμάτων με κονία τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας. Σε όλα τα αναμίγματα που η



Εικόνα 2. Μικροραγματώσεις του σκυροδέματος που οφείλονται στην ύπαρξη κρυστάλλων χαλαζία (κέντρο). Η κύρια μάζα του σκυροδέματος είναι ασβεστιτική δείχνοντας καλή ανάμιξη της τέφρας με τα υπόλοιπα συστατικά.

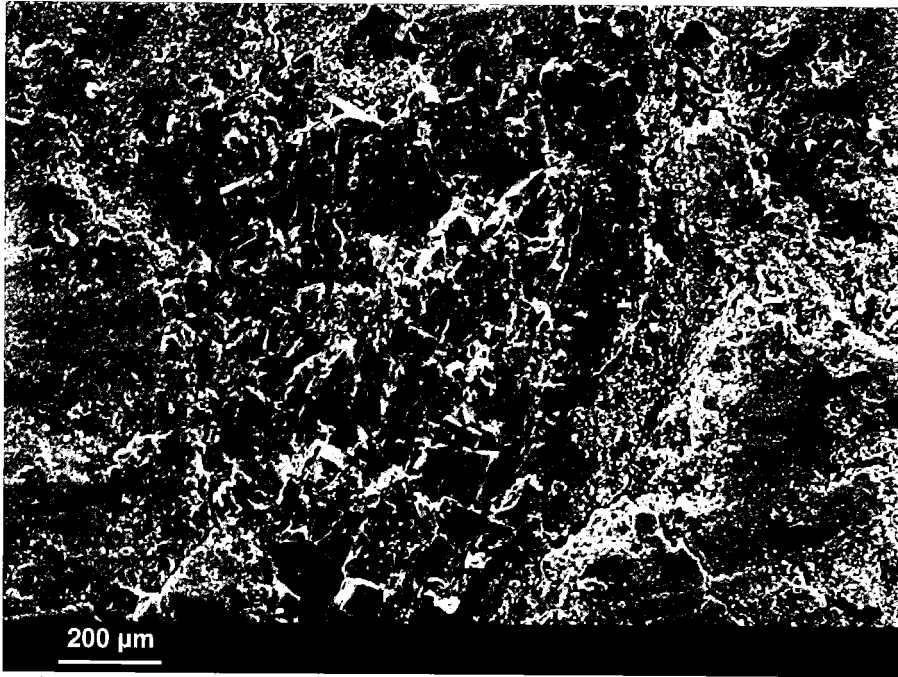
Figure 2. Microcracks in the mass of the concrete which are due to the quartz crystals (center). The ground mass of the concrete is calcareous showing good assimilation of the fly ash and the other components.

Πίνακας 8. Μέσες τιμές αντοχής σε θλίψη (kg/cm²) αναμιγμάτων με κονία τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας

Table 8. Mean values of compressive strength (kg/cm²) of concrete mixtures produced by cement and fly ash

α/α	Ποσοστό I.T.	Αντοχή σε θλίψη (kg/cm ₂)							
		24 h	3d	7d	14d	21d	28d	60d	7d/28d
1	10%	89,5	144	190	223,4	249	254,4	301	0,747
2	20%	62	115	162,3	194,6	199	245	276,3	0,663
3	30%	39,5	101,7	135,6	174	208	221,8	269	0,611
4	40%	40	80,5	111	143,7	162,8	191	216,9	0,581
5*	0%	97,7	168,7	221,4	251,8	280	288,9	304,6	0,766

* 5: Μέσες τιμές αντοχής σε θλίψη (kg/cm²) αναμιγμάτων αναφοράς.



Εικόνα 3. Οι μικρορωγματώσεις του τεφροσκυροδέματος δείχνουν να δημιουργούνται από το συσσωμάτωμα των κρυστάλλων χαλαζία-ασβεστίτη.

Figure 3. The microcracks in the central part of the picture are originated around the quartz-calcite crystals assemblage.

ιπτάμενη τέφρα συμμετέχει στην κονία δεν παρουσιάστηκε κανένα πρόβλημα από μακροσκοπική θεώρηση. Στο 30% των δοκιμών η θραύση συνεχίστηκε και μετά την ανώτατη τιμή και μας έδωσε δοκίμιο μορφής 2 αντίθετων κώνων. Χαρακτηριστικό είναι ότι όσο αυξάνει η ποσότητα της ιπτάμενης τέφρας που συμμετέχει στην κονία τόσο αυξάνει και η απαίτηση σε νερό, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή εργασιμότητα (Πίν. 9). Όπως ήταν αναμενόμενο τα αναμίγματα με ιπτάμενη τέ-

Πίνακας 9. Λόγοι νερού (N) προς κονία (T + IT) και καταβύθιση
Table 9. Ratio of water (N) to cement (T + IT) and sedimentation

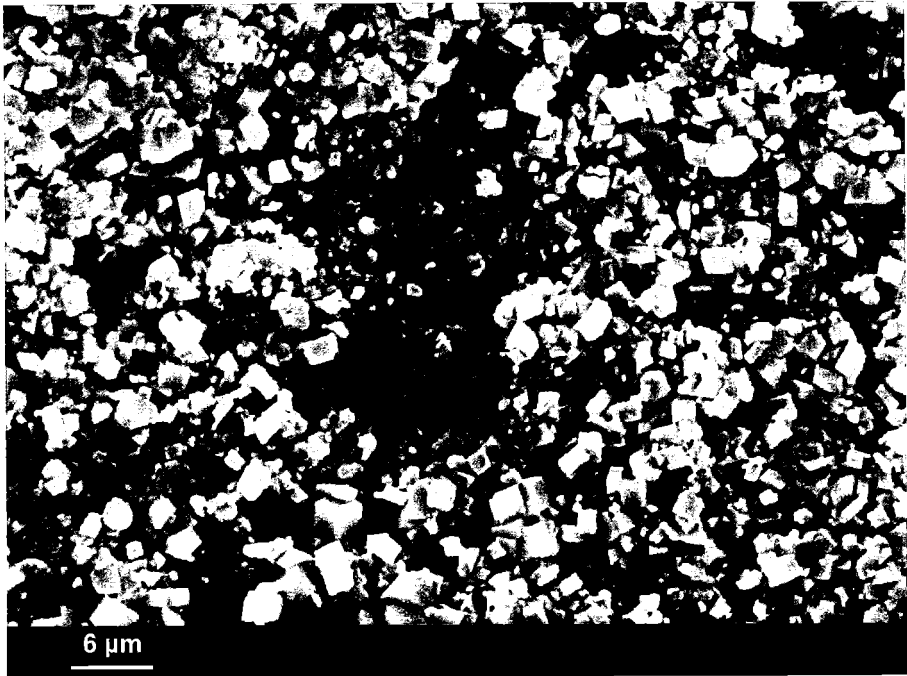
	Ποσοστό IT				
	Αναφορά 0%	10%	20%	30%	40%
N / (T + IT)	0,797	0,811	0,825	0,860	0,865
Καταβύθιση cm	10,5	10,5	11	10,75	10

φρα αναπτύσσουν αντοχές μετά την συμβατική ηλικία των 28 ημερών, με μεγαλύτερο ρυθμό απ' ό τι οι συνθέσεις αναφοράς. Όσο αυξάνει το ποσοστό της ιπτάμενης τέφρας τόσο μειώνονται οι αντοχές στις πρώιμες ηλικίες.

Συζήτηση - Συμπεράσματα

Η ορυκτολογική και χημική σύσταση της ιπτάμενης τέφρας της Πτολεμαΐδας έχει ερευνηθεί σε αρκετές μελέτες κατά το παρελθόν (π.χ. FILIPPIDIS & GEORGAKOPOULOS 1992, ΔΗΜΗΤΡΟΥΛΑ 1997). Η σύσταση της τέφρας όπως προσδιορίστηκε από την παρούσα εργασία, είναι παρόμοια με αυτή που δίνεται από τους προηγούμενους ερευνητές.

Παρατηρώντας τη δομή του σκυροδέματος σε μεγάλη μεγέθυνση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διαπιστώνεται ότι υπάρχουν ιδιόμορφοι ρομβοεδρικοί μικροκρύσταλλοι οι οποίοι καλύπτουν μίγματα τέφρας και αδρανών (Εικ. 4). Οι μικροαναλύσεις τους δείχνουν παρουσία Ca και προκύπτει ότι είναι ασβεσίτης. Αυτή η λεπτοδομή του σκυροδέματος που είναι γεμάτη από ασβεσίτη, είναι απόρροια



Εικόνα 4. Καλά κρυσταλλωμένοι ρομβοεδρικοί μικροκρύσταλλοι ασβεσίτη καλύπτουν μίγμα ιπτάμενης τέφρας και αδρανών.

Figure 4. Well crystallized rhombohedral calcite microcrystals cover fly ash-aggregates mixture.

του έντονου σπασίματος των σκύρων, που είναι ασβεστολιθικής σύστασης και πλήρωσης των κενών του σκυροδέματος με αυτά κατά τη διαδικασία παραγωγής του. Σε κάποια σημεία βρέθηκε μικρή ποσότητα τέφρας μέσα σε συσσωματώματα ασβεστίτη, γεγονός που δηλώνει την πλήρη ανάμιξή τους και την πλήρωση των κενών με το ένα ή το άλλο υλικό.

Σε ότι αφορά στα ορυκτά που περιέχονται στο σκυρόδεμα, διαπιστώνεται ότι οι κρύσταλλοι χαλαζία είναι έντονα κατακερματισμένοι και ακανόνιστου μεγέθους όπως και και των αστρίων, ενώ του βιοτίτη είναι μικρού μήκους και κερματισμένοι. Οι φαινοκρύσταλλοι του χαλαζία και των αστρίων είναι μεγάλου μεγέθους με διάμετρο που υπερβαίνει ενίοτε τα 10 mm. Τα οξειδία του σιδήρου παρουσιάζονται ως σφαιροειδή συσσωματώματα, ενώ ο ασβεστίτης σε μεγάλα ακανόνιστα τεμάχια, διαμέτρου μέχρι και 3,5 cm. Είναι σαφές ότι ο ασβεστίτης προέρχεται από τα αδρανή ασβεστολιθικά υλικά και γι' αυτό το λόγο παρουσιάζεται με την προαναφερόμενη μορφή στο σκυρόδεμα.

Στο σκυρόδεμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα παρατηρείται χειρότερη συνοχή στη δομή του που οφείλεται μάλλον στην μεγαλύτερη παρουσία αδρανών στην κύρια μάζα.

Διαπιστώθηκε ότι τα αδρανή που περιέχουν ασβεστίτη δίνουν καλύτερη συνοχή από αυτά που ίσως προέρχονται από μεταμορφωμένα πετρώματα και περιέχουν κυρίως χαλαζία, αστρίους, χλωρίτη, επίδοτο και άλλα ορυκτά. Και αυτό γιατί ο ασβεστίτης, εξαιτίας ίσως του πορώδους του, παρουσιάζει μεγαλύτερη απορρόφηση σε τέφρα και τσιμέντο κατά την παραγωγή του σκυροδέματος. Αντίθετα, οι κρύσταλλοι αστρίων, χαλαζία και των άλλων ορυκτών δύσκολα συγκολλούνται με το υπόλοιπο υλικό του σκυροδέματος.

Σε ορισμένα τμήματα του σκυροδέματος διαπιστώθηκε η ύπαρξη μικρορωγμών στην επαφή των αδρανών υλικών με το κυρίως υλικό (τέφρα και τσιμέντο) οι οποίες έχουν πληρωθεί με τέφρα και προσανατολισμένα μικροκρυσταλλικά ορυκτά του σιδήρου, γεγονός που σημαίνει ότι οι μικρορωγμές δημιουργήθηκαν στα πρώτα στάδια παραγωγής του σκυροδέματος και η τέφρα και τα σιδηροοξειδία κάλυψαν τα κενά που δημιουργήθηκαν εκ των υστέρων. Πιθανόν έτσι να βελτιώνεται η συνοχή του σκυροδέματος.

Εξάλλου πόροι σφαιρικού κυρίως σχήματος και μικρής διαμέτρου (έως 30 μm) βρέθηκαν μέσα στα ασβεστολιθικά και άλλα αδρανή υλικά που πιθανόν προέρχονται από εκμαγεία μικροαπολιθωμάτων. Μικρότεροι πόροι υπάρχουν και στην κυρίως μάζα του σκυροδέματος. Αυτό δηλώνει ότι τα υλικά του σκυροδέματος δεν είναι συμπαγή και ομογενοποιημένα, κάτι που ίσως δημιουργεί προβλήματα στη συνοχή του τελικού προϊόντος. Είναι πάντως γεγονός ότι η τέφρα και το τσιμέντο έχουν επιμελώς καλύψει όλα τα κενά του σκυροδέματος.

Όσον αφορά την εμφανιζόμενη μηχανική αντοχή του σκυροδέματος, αυτή επιτυγχάνεται βραδύτερα απ' ότι στο σκυρόδεμα χωρίς τέφρα, εξαιτίας της βραδείας

αντίδρασης της τέφρας με το $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Όσο αυξάνει το ποσοστό της ιπτάμενης τέφρας τόσο μειώνονται οι αντοχές στις πρώιμες ηλικίες.

Πρόσθετες αναλύσεις και μετρήσεις πρόκειται να πραγματοποιηθούν λαμβάνοντας υπόψη τις παρακάτω παραμέτρους:

- Τα αναμίγματα στα οποία συμμετέχει η ιπτάμενη τέφρα θα παρασκευάζονται με ποζολανικό τσιμέντο τύπου I/45, ενώ τα αναφοράς με τσιμέντο τύπου II/35 το οποίο περιέχει ποζολάνες.
- Θα μετρηθεί η θερμοκρασία των αναμιγμάτων τις πρώτες οκτώ ώρες μετά την ανάμιξη με περισσότερη βαρύτητα στις ώρες από 0 έως 3.
- Θα μετρηθούν οι αντοχές των 90, 120, 150 και 360 ημερών και
- Θα παρασκευαστεί τεφροσκυρόδεμα σε βιομηχανική κλίμακα και θα σκυροδετηθούν στοιχεία μεγάλου όγκου και θα μελετηθούν σε μακροπεριόδους 6 μηνών και 12 μηνών.

Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς εκφράζουν τις ευχαριστίες τους στον Δρ. Μ. Σταματάκη για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις του στο κείμενο.

Βιβλιογραφία

- ΔΗΜΗΤΡΟΥΛΑ Μ. (1997). Ορυκτολογική μελέτη του τεφροσκυροδέματος από το φράγμα της Πλατανόβρυσης (Ν. Δράμας). Πρακτικά Δημερίδας Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές Υπουργείο Ανάπτυξης και ΚΤΕΣΚ, Κοζάνη, Τόμος Α, 199-212.
- ΕΛΟΤ, (1994). Ελληνικό πρότυπο EN 196,1: Μέθοδοι δοκιμής τσιμέντου – προσδιορισμός αντοχών.
- 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.
- ΚΤΕΣΚ (1997). Πρακτικά Δημερίδας Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές, Υπουργείο Ανάπτυξης και ΚΤΕΣΚ, Κοζάνη, Τόμοι Α και Β.
- ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗ Ι. (1995). Πρόταση για τη σύνταξη σχεδίου κανονισμών σχετικά με τη χρήση των Ιπτάμενων Τεφρών υψηλού ποσοστού CaO στο σκυρόδεμα Α.Π.Θ., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
- ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ Ε. (1992). Γενικά στοιχεία για τις Ιπτάμενες Τέφρες και τις χρήσεις τους στις κατασκευές, Πανεπιστήμιο Πάτρας, Τμήμα Χημικών Μηχανικών.
- ΣΤΑΜΑΤΑΚΗΣ Μ. ΦΡΑΓΚΟΥΛΗΣ Δ. & ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ Α. (1997). Η διακύμανση της ποιότητας της Ελληνικής Ιπτάμενης Τέφρας και η επίδρασή της στην παραγωγή τεφροτσιμέντου.: Πρακτικά Δημερίδας Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές Υπουργείο Ανάπτυξης και ΚΤΕΣΚ, Κοζάνη, Τόμος Α, 213-228.

**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΤΩΝ ΛΙΓΝΙΤΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΞΥΛΙΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ
ΤΩΝ ΑΝ. ΠΕΡΙΘΩΡΙΩΝ ΤΩΝ ΝΕΟΓΕΝΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ
ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ - ΦΛΩΡΙΝΑΣ**

Θ. Κώτης¹, Κασ. Παπανικολάου²

Περίληψη

Στους Νεογενείς σχηματισμούς των Ανατολικών Περιθωρίων των λεκανών Πτολεμαΐδας-Φλώρινας φιλοξενούνται τα μεγαλύτερα κοιτάσματα ξυλιτικού τύπου της Ελλάδας.

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η καταγραφή και αξιολόγηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών αυτών των κοιτασμάτων, προκειμένου να διαφανεί η οικονομική και ενεργειακή τους σημασία. Οι λιγνίτες ξυλιτικού τύπου, με βαθμό ενανθράκωσης (R%) από 0.25 έως 0.33 κατατάσσονται στους μαλακούς λιγνίτες.

Η μέση θερμαντική ικανότητα "ως έχει" έρχεται σε ~2700 kcal/kg, η μέση υγρασία σε 42.8%, ενώ η μέση τιμή της τέφρας "επί ξηρού", με ανώτατο αποδεκτό όριο τέφρας 55%, ανέρχεται σε 30.4%.

Τα συνολικά βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα ανέρχονται σε ~850 εκατομ. τόνους, από τους οποίους 500 εκατομ. τόνοι θεωρούνται οικονομικά απολήψιμοι.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά, φυσικοχημικά και πετρογραφικά, καθιστούν τους λιγνίτες αυτούς αντικείμενο μελέτης προς αξιοποίηση και σε άλλες χρήσεις εκτός της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Abstract

The largest xylitic deposits of Greece are encountered in the eastern margin of Florina-Ptolemais area.

The aim of the present work is to evaluate and record the qualitative and quantitative parameters of these deposits in order to assess their energy potential and economic impact from this use.

The xylites with α rank, R%, ranging from 0.25 to 0.33 are classified as soft brown coals. The average calorific value, on an as received basis, is ~2700 kcal/kg, the average moisture content is 42.8% while the average ash content on a dry basis and an acceptable limit value of 55%, is 30.4%.

The geotogically proven reserves are calculated at 850 million tons, cut of which 500 million tons are mineable.

1. Δρ. Γεωλόγος-Κοιτασματολόγος, Ι.Γ.Μ.Ε., Μεσογείων 70, 11527 Αθήνα.

2. Δρ. Γεωλόγος-Ανθρακοπετρογράφος, Ι.Γ.Μ.Ε., Μεσογείων 70, 11527 Αθήνα.

The qualitative characteristics, which implies physicochemical and petrographic properties, renders these xylites subject to farther detail studies in order to probe their potential for other uses besides power generation.

Εισαγωγή - Γεωλογικό πλαίσιο

Οι λιγνιτοφόρες λεκάνες Πτολεμαΐδας-Φλώρινας, αποτελούν μέρος της μεγάλης τεκτονικής τάφρου που εκτείνεται προς Βορρά από το Μοναστήρι της πρώην Γιουγκοσλαβικής Δημοκρατίας της Μακεδονίας μέχρι τον ποταμό Αλιάκμονα προς Νότο. Η τεκτονική αυτή τάφρος, μήκους 150 km δημιουργήθηκε κατά τα μέσα της Τριτογενούς περιόδου ως αποτέλεσμα εκτεταμένων επιμήκων ρηγμάτων ΒΔ-ΝΑ έως ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης (ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ & ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ 1972, ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ κ.α. 1979, 1983) (Σχ. 1).

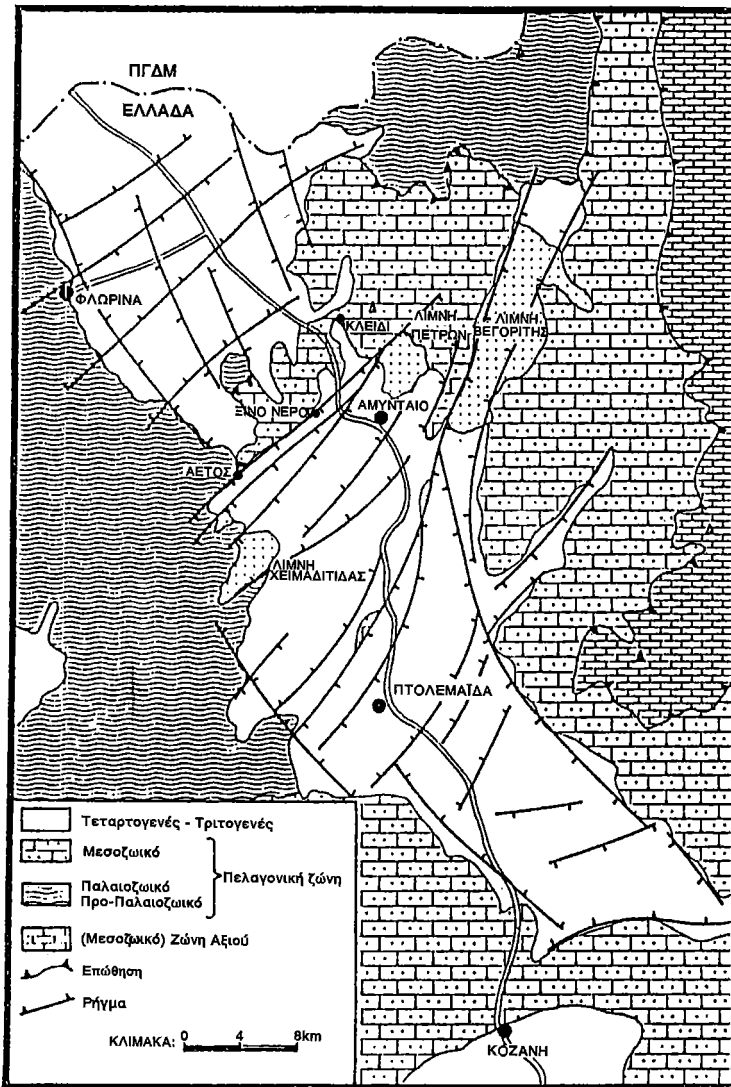
Η δραστηριοποίηση αυτού του μεγάλου ταφροειδούς βυθίσματος έγινε μέσα στους σχηματισμούς της Πελαγονικής ζώνης, οι οποίοι αποτελούν το υπόβαθρο και τα περιθώρια αυτού και συνίστανται κυρίως από ημικρυσταλλικούς έως κρυσταλλικούς Τριαδικοϊουρασιακούς ασβεστόλιθους και δολομίτες καθώς και από κρυσταλλικούς σχιστόλιθους και γνεύσιους Παλαιοζωικής ηλικίας. Οι τελευταίοι καταλαμβάνουν κυρίως το ΒΑ άκρο των Ανατολικών περιθωρίων.

Μετά τη δημιουργία της αρχικής τάφρου και της απόθεσης εντός αυτής των Νεογενών ιζημάτων, έντονος τεκτονισμός δημιούργησε νέα ρήγματα, τα οποία επηρέασαν τα αποτεθέντα ιζήματα με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν νέα βυθίσματα και εξάρματα. Η κύρια διεύθυνση αυτών των ρηγμάτων είναι ΒΑ-ΝΔ. Διάφοροι μελετητές τοποθετούν την αρχική δημιουργία τους σε ηλικίες από το τέλος του Νεογενούς έως τις αρχές του Τεταρτογενούς (ΒΕΤΟΥΛΗΣ 1951, 1957, ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ 1952). Νεότερες μελέτες (ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ κ.α. 1983, ΠΑΥΛΙΔΗΣ 1985, ΚΩΤΗΣ κ.α. 1992 και 1997) επισημαίνουν ρήγματα που έχουν επηρεάσει το Τεταρτογενές και τα οποία έχουν επαναδραστηριοποιηθεί μέχρι και το πολύ πρόσφατο παρελθόν.

Αποτέλεσμα όλων αυτών των τεκτονικών διεργασιών και ανεξάρτητα από τον ακριβή προσδιορισμό τους στο γεωλογικά χρόνο, είναι η δημιουργία ενδιάμεσων εξαρμάτων που διαχωρίζουν το όλο αρχικό βύθισμα σε επιμέρους λεκάνες.

Ένα τέτοιο εξάρμα είναι το εξάρμα Κλειδιού - Ξινού Νερού - Αετού, το οποίο με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ χωρίζει τη λεκάνη Φλώρινας προς Βορρά από τη λεκάνη Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας προς Νότο. Οι λεκάνες αυτές αποτελούν και την κύρια "πηγή" λιγνιτοφορίας στον ευρύτερο χώρο της ΒΔ Μακεδονίας (Σχ. 1).

Σε ότι αφορά στα ιζήματα της τάφρου, από τα μέσα του Μειόκαινου η ενιαία τότε λεκάνη Φλώρινας-Πτολεμαΐδας άρχισε να πληρώνεται με ηπειρωτικά ιζήματα. Η ίδιου τύπου ιζηματογένεση συνεχίστηκε σε διάφορες φάσεις και περιόδους μέσα στις επιμέρους λεκάνες που διαμορφώθηκαν εντωμεταξύ, κατά τη διάρκεια της τεκτονικής και γεωμορφολογικής εξέλιξης της τάφρου, από τη δημιουργία της

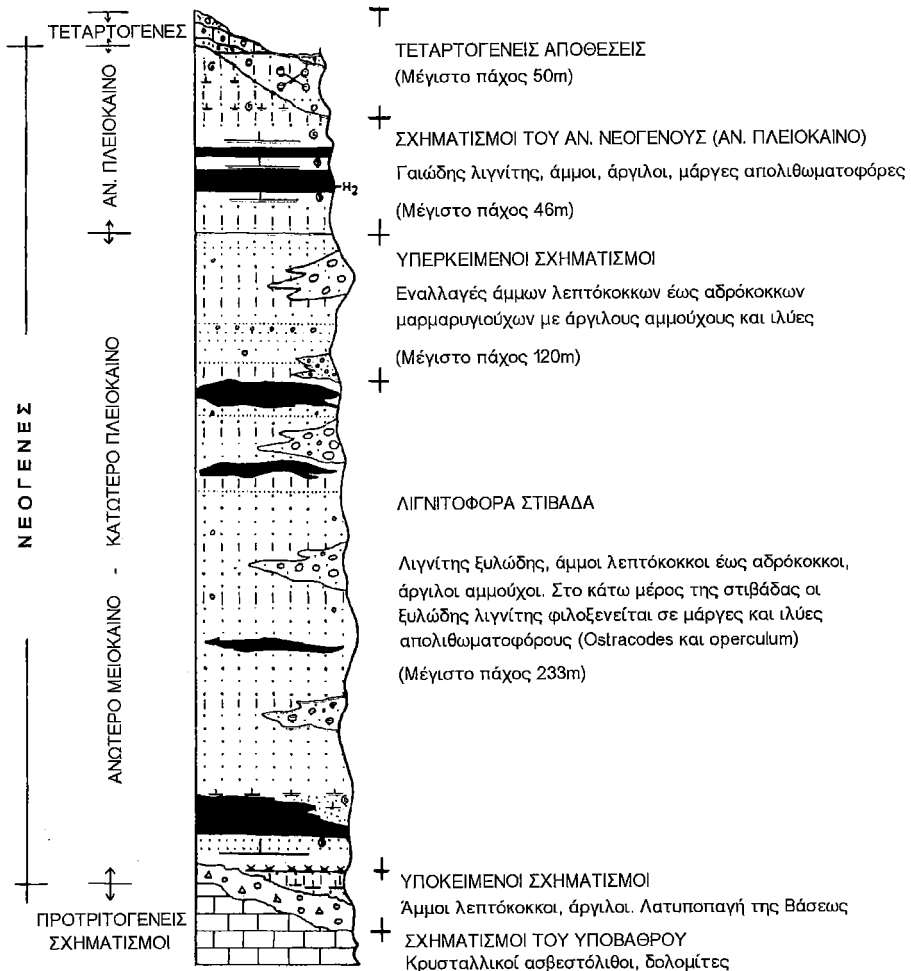


Σχήμα 1. Γεωλογικός και Τεκτονικός χάρτης τάφρου Φλώρινας-Πτολεμαΐδας (ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ & ΚΟΤΙΣ 1993).

Figure 1. Geological and Tectonic map of Florina-Ptolemais through (ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ & ΚΟΤΙΣ 1993).

μέχρι σήμερα (ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ et al. 1998).

Η τεκτονική κίνηση και η παλαιογεωγραφική διαμόρφωση των επί μέρους τμημάτων της ευρύτερης λεκάνης συνετέλεσαν ώστε τα ιζημάτα που αποτέθηκαν κατά τη Νεογενή περίοδο να διαφέρουν μεταξύ τους και ως προς το χρόνο απόθεσης και ως προς τη λιθολογική σύσταση των ιζημάτων. Τα Νεογενή ιζημάτα διαχωρίστηκαν σε δύο διακριτές μεταξύ τους σειρές. Στην Ανώτερη Νεογενή Σειρά και στην Κατώτερη Νεογενή Σειρά (ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ κ.ά. 1983, ΚΩΤΗΣ κ.ά. 1992 και 1997) (Σχ. 2).



Σχήμα 2. Στραματογραφική στήλη ξυλιτικού κοιτάσματος Βεύης (ΚΩΤΗΣ κ.ά. 1992).

Figure 2. Stratigraphic column of lignite xylite type of Vevi (KOTIS et al. 1992).

Οι δυο σειρές αποτέθηκαν σε συμφωνία μεταξύ τους με αποτέλεσμα, εκ πρώτης όψεως, να καθίσταται δυσχερής ο ακριβής στρωματογραφικός διαχωρισμός τους. Περιπτώσεις κατά τις οποίες έχει παρατηρηθεί ασυμφωνία μεταξύ των ιζημάτων των δυο σειρών, αποτελούν εξαίρεση στον κανόνα και οφείλονται σε αλλαγή τοπικά του περιβάλλοντος και των συνθηκών απόθεσης.

Οι δυο σειρές του Νεογενούς δεν διαφέρουν μόνο στη λιθολογική σύσταση των ιζημάτων που τις απαρτίζουν αλλά και στον τύπο της λιγνιτοφορίας που φιλοξενούν.

Στην Ανώτερη Νεογενή Σειρά έχουν αποθεθεί οι γαιώδεις λιγνίτες γνωστοί ως γαιώδεις λιγνίτες τύπου Πτολεμαΐδας (λιγνίτες των κοιτασμάτων Αναργύρων Αμυνταίου, Αγ. Χριστόφορου, λιγνιτικών πεδίων Πτολεμαΐδας κλπ).

Στην Κατώτερη Νεογενή Σειρά έχουν αποθεθεί οι λιγνίτες τύπου Ξυλάδους λιγνίτη οι οποίοι έχουν λάβει τη μεγαλύτερη τους ανάπτυξη στα Ανατολικά περιθώρια της ευρύτερης λεκάνης Πτολεμαΐδας-Φλώρινας.

Σε ότι αφορά στην ηλικία των ιζημάτων και κατ' επέκταση των λιγνιτών που η κάθε σειρά φιλοξενεί με βάση τις μακροβοτανικές, παλυνολογικές και στρωματογραφικές αναλύσεις και αξιολογήσεις, η Ανώτερη Νεογενής Σειρά προσδιορίστηκε Πλειοκαινικής ηλικίας ενώ η Κατώτερη Νεογενής Σειρά ως Κάτω Πλειοκαινική-Άνω Μειοκαινική (ΒΕΤΟΥΛΗΣ 1951 και 1957, ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ 1952, ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ & ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ 1972, ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ κ.ά 1981, 1983, 1988, ΚΩΤΗΣ κ.ά 1992 και 1996, GERSONDE & VELITZELOS 1978, SCENEIDER & VELITZELOS 1973, ΒΕΛΙΤΖΕΛΟΣ & PETRESCU 1981, ΛΟΑΚΙΜ 1985).

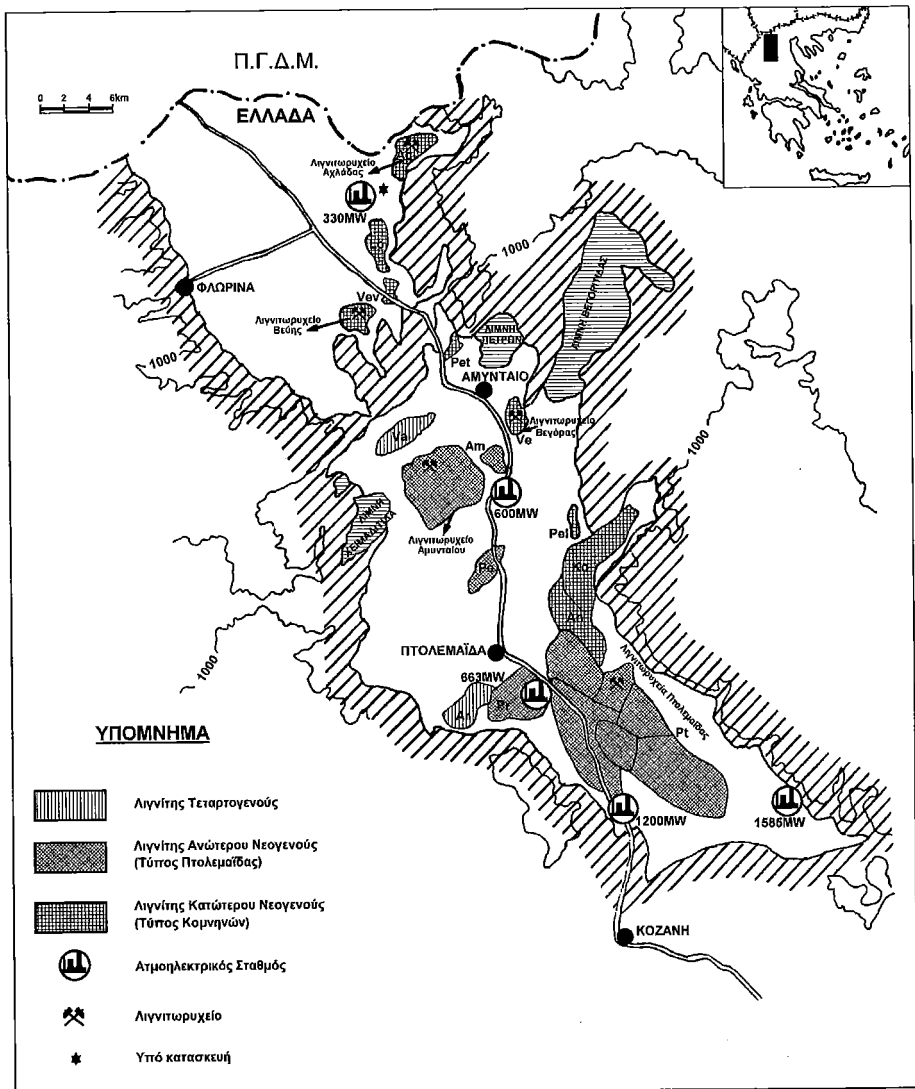
Αναφορικά με τους λιγνίτες της Κατώτερης Νεογενούς Σειράς στους οποίους αναφέρεται η παρούσα εργασία, τρεις είναι οι βασικοί λόγοι που τους καθιστούν μεγάλης οικονομικής και ενεργειακής σημασίας:

- Τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά
- Ο όγκος των αποθεμάτων
- Η δυνατότητα άμεσης εκμετάλλευσης και αξιοποίησης.

Στη συνέχεια επιχειρείται μια διεξοδικότερη ανάλυση των βασικών επιχειρημάτων για τη σημασία των λιγνιτικών αυτών κοιτασμάτων Ξυλιτικού τύπου.

Κοιτασματολογικά στοιχεία - Ποιοτικά χαρακτηριστικά

Τα κοιτάσματα της Κατώτερης Νεογενούς Σειράς από κοιτασματολογική άποψη δεν παρουσιάζουν ενιαία εξάπλωση αλλά συνιστούν μεμονωμένα και με διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά, γειτνιάζοντα κοιτάσματα. Η ασυνεχής αυτή ανάπτυξη της λιγνιτοφορίας σε όλη την έκταση των Ανατολικών περιθωρίων, είναι αποτέλεσμα του τεκτονισμού, της διαμόρφωσης του υποβάθρου και γενικά των παλαιογεωγραφικών συνθηκών που επικρατούσαν κατά την περίοδο της λιγνιτογένεσης.



Σχήμα 3. Λιγνιτικά κοιτάσματα και λιγνιτωρυχεία των λεκανών Φλώρινας-Πτολεμαΐδας (ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ & ΚΟΤΙΣ 1993).

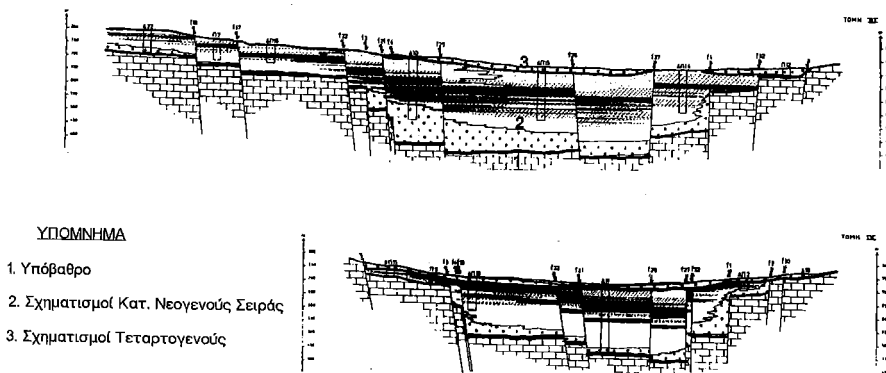
Figure 3. Lignite deposits and lignite mines Florina and Ptolemais Basins (ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ & ΚΟΤΙΣ 1993).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της ασυνέχειας της λιγνιτοφορίας αποτελούν τα λιγνιτικά κοιτάσματα των Αν. περιθωρίων της λεκάνης Φλώρινας, όπου σε ένα άξονα διεύθυνσης περίπου Β-Ν και μήκους περίπου 15 χιλιομέτρων αναπτύσσονται τα λιγνιτικά κοιτάσματα (από Β προς Ν) Αχλάδας, Λόφων, Βεύης, Βεγόρας και Κλειδιού. Το ίδιο συμβαίνει και με τα λιγνιτικά κοιτάσματα Κομνηνών και Ανατολικού Καρουχωρίου, στα Αν. περιθώρια της λεκάνης Πτολεμαΐδας (Σχ. 3). Τα προαναφερθέντα κοιτάσματα αποτελούν και τα κυριότερα λιγνιτικά κοιτάσματα ξυλιτικού τύπου των Αν. περιθωρίων Πτολεμαΐδας Φλώρινας.

Τα λιγνιτικά στρώματα που απαρτίζουν τα επί μέρους λιγνιτικά κοιτάσματα, ποικίλουν και ως προς τον αριθμό και ως προς το πάχος τους τόσο κατά την κάθετη όσο και κατά την οριζόντια εξάπλωση της λιγνιτοφορίας. Τα λιγνιτικά στρώματα διαχωρίζονται μεταξύ τους από επίσης ποικίλου πάχους και αριθμού, στείρων ενστρώσεων. Το σύνολο των λιγνιτικών και στείρων ενστρώσεων στο χώρο, καθώς και η τεκτονική, προσδιορίζει και τη μορφή αλλά και τη γεωμετρία κάθε κοιτάσματος (Σχ. 4). Το πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων κυμαίνεται από λίγα χιλιοστά μέχρι και ορισμένα μέτρα. Το μεγαλύτερο αθροιστικό πάχος γεωλογικού λιγνίτη παρατηρείται στο κοιτάσμα των Κομνηνών (23,70 m) ενώ το μικρότερο στο κοιτάσμα Λόφων (4 m).

Ο αριθμός και ο αθροιστικό πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων ποικίλλει πολλές φορές από θέση σε θέση. Συνήθως όμως παρατηρείται αύξηση και των δύο μεγεθών προς τους χώρους του κοιτάσματος με τη μεγαλύτερη συνίζηση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στους χώρους αυτούς η ταχύτητα ιζηματογένεσης ήταν μεγαλύτερη και ο οριζόντιος διαμελισμός των στρωμάτων εντονότερος (Σχ. 4).

Μακροσκοπικά και μακροπετρογραφικά, οι λιγνίτες ξυλιτικού τύπου των Αν.



Σχήμα 4. Εγκάρσιες τομές συσχέτισης κοιτάσματος Κομνηνών (ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ κ.ά. 1983).

Figure 4. Transversal correlative sections in Komnina deposit (KOUKOUZAS et al. 1983).

περιθωρίων δεν διαφέρουν ουσιωδώς μεταξύ τους. Χαρακτηρίζονται ξυλιτικοί λόγω της επικράτησης στην κύρια οργανοκλαστική μάζα ξυλιτικών τεμαχίων προερχομένων από τα σκληρά συστατικά των δέντρων, όπως κορμοί, κλάδοι και ρίζες. Το υψηλό ποσοστό σε τεξινίτη κατατάσσει τους λιγνίτες των Αν. περιθωρίων Πτολεμαΐδας-Φλώρινας μεταξύ των λιγνιτών της Ευρώπης με το υψηλότερο ποσοστό σε ξυλίτη. Το ποσοστό συμμετοχής των ξυλιτικών και μαλακών συστατικών ποικίλει για κάθε κοίτασμα, από Θέση σε θέση. Τα απανθρακωμένα ξυλιτικά συστατικά διατηρούν τον ιστό και την υφή του ξύλου και παρουσιάζουν χρώμα καστανό. Αντίθετα ο ιστός και η υφή των φυλλωδών, μαλακών συστατικών είναι λιγότερο διατηρημένα και παρουσιάζουν χρώμα καστανόμαυρο έως μαύρο.

Η παρουσία της ανόργανης ύλης, σε πολλές περιπτώσεις, είναι εμφανής (άμμοι, άργιλοι, μαρμαρυγίας, κελύφη απολιθωμάτων κλπ.). Η ανόργανη αυτή ύλη έχει παρεισφρήσει, όπως είναι προφανές, κυρίως μεταξύ των μαλακών συστατικών. Επίσης σε πολλές περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί παρουσία ανόργανης ύλης καθώς και συγκεντρώσεις σιδηροπυρίτη/μαρκασίτη και μέσα στα ξυλιτικά συστατικά όπως στα κοιτάσματα Βεύης και Κλειδιού (ΚΩΤΗΣ κ.ά 1992 και 1997, ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ 1992). Η συμπεριφορά στην κοπή και τη θραύση των λιγνιτών των Αν. Περιθωρίων, είναι διαφορετική μεταξύ δύο ή και περισσότερων δειγμάτων και οφείλεται στην παρουσία, κατά Θέση, διαφορετικού ποσοστού ξυλιτικών και μαλακών συστατικών.

Ως προς το βαθμό ενανθράκωσης (rank), με βάση τις τιμές του δείκτη ανακλαστικότητας στον ευ-ουλιμνίτη Β σε δείγματα αντιπροσωπευτικά των κοιτασμάτων Βεύης και Κομνηνών, οι οποίες έδειξαν (R%) μεταξύ 0.25 και 0.33, οι λιγνίτες ξυλιτικού τύπου κατατάσσονται στο στάδιο των μαλακών λιγνιτών (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ 1992).

Η περιεκτικότητα σε τέφρα, η οποία οφείλεται τόσο στις ανόργανες ύλες που βρίσκονται μέσα στα λιγνιτικά στρώματα όσο και στις στείρες ενστρώσεις οι οποίες λαμβάνονται μαζί με το λιγνίτη κατά την εκμετάλλευση, είναι ένας σημαντικός ποιοτικός δείκτης για κάθε κοίτασμα.

Το ποσοστό της περιεχόμενης τέφρας επί τοις % κυμαίνεται ευρύτατα όχι μόνο μεταξύ διαφορετικών κοιτασμάτων αλλά και από θέση σε θέση στο ίδιο το κοίτασμα και εξαρτάται, πέραν του ποσοστού της περιεχόμενης ανόργανης ύλης, και από την υγρασία.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι μέσες και ακραίες τιμές του ποσοστού της υγρασίας και της τέφρας “επί ξηρού” για τα κυριότερα λιγνιτικά κοιτάσματα ξυλιτικού και γαιώδους τύπου λιγνίτη των λεκανών Πτολεμαΐδας, Φλώρινας.

Από την επισκόπηση του πίνακα προκύπτει ότι σε ότι αφορά στην υγρασία τα λιγνιτικά κοιτάσματα ξυλιτικού τύπου υπολείπονται σημαντικά σε ποσοστό επί τοις % σε σχέση με τα αντίστοιχα του γαιώδους τύπου λιγνίτη ενώ δεν παρατηρούνται ουσιώδεις διαφορές σε ότι αφορά στο ποσοστό της τέφρας. Για την τελευταία

Πίνακας 1. Συγκριτικές τιμές τέφρας, υγρασίας, ολικού και καύσιμου Θείου, Ανόστρης και Κατώτερης Θερμαντικής Ικανότητας των κυριότερων λιγνιτικών κοιτασιμάτων “Ξυλιπικου” και “γαϊώδους” τύπου λιγνίτη των λεκανών Προλεμαΐδας - Φλώρινας (ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ & ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ 1972, ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ κ.ά 1979, ΚΩΤΗΣ κ.ά. 1977).

Average values for moisture, ash, total and combustible sulfur and calorific value of the main lignite deposits of the Ptolemais and Florina basins (ANASTOPOULOS & KOUKOZAS 1972, KOUKOZAS et al. 1978, KOTIS et al. 1977)

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ	Τέφρα “επί ξηρού”		Υγρασία		Ολικό S “επί φυσικού”		Θερμαντική Ικανότητα			
	Μέση τιμή %	Ακραιές τιμές %	Μέση τιμή %	Ακραιές τιμές %	Μέση τιμή %	Ακραιές τιμές %	Μέση τιμή %	Α.Θ.Ι. Κ.Θ.Ι. kcal/kg		
ΚΟΜΝΗΝΩΝ	32.0	21.0-40.0	40.7	11.4-55.4	1.05	0.62-1.62	0.33	0.12-0.57	2376	2055
ΒΕΥΗΣ	27.0	15.6-50.1	39.8	12.3-62.5	0.72	0.50-1.43	0.32	0.20-0.45	2682	2333
ΚΛΕΙΔΙΟΥ	28.9	16.6-52.0	44.9	39.4-51.8	1.38	0.75-1.75	0.76	0.30-0.89	2406	2040
Ν. ΠΕΔΙΟ ΠΤΟΛ/ΔΑΣ	28.5	20.8-43.2	55.0	46.0-68.0	0.57	0.37-1.49	0.32	0.26-0.98	1862	1420
ΑΜΥΝΤΑΙΟ	28.8	21.7-44.1	56.1	39.1-69.4	0.82	0.69-1.32	0.12	0.05-0.22	1850	1430

Πίνακας 2. Μέσες τιμές αναλύσεων τέφρας λιγνίτη για το κοφρασμα Βεύης Φλώρινας και Κομνηνών Προλεμαΐδας (ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ κ.α.1984, ΚΩΤΗΣ κ.ά.1992).

Average values of ashes analysis of the lignite deposits in the areas of Vevi Florina and Komnina Ptolemais basins (KOUKOZAS et al. 1984, KOTIS et al. 1992)

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	SO ₃ %	K ₂ O %	Na ₂ O %	TiO ₂ %	
									1.20	0.77
ΚΟΜΝΗΝΩΝ	46.5	6.01	19.79	10.16	2.12	6.34	1.95	1.21	1.20	1.20
ΒΕΥΗΣ	46.53	10.73	19.48	7.21	7.33	4.29	1.3S	0.47	0.77	0.77

όμως περίπτωση Θα πρέπει να επισημανθεί ότι με βάση τις τεχνικές προδιαγραφές εκμετάλλευσης, για τον προσδιορισμό του μέσου όρου της τέφρας για μεν τα κοιτάσματα ξυλιτικού τύπου ελήφθη ως ανώτατο όριο το ποσοστό της τέφρας “επί ξηρού” $\leq 55\%$, ενώ για τα αντίστοιχα κοιτάσματα τύπου Πτολεμαΐδας ως ανώτατο ποσοστό τέφρας “επί ξηρού” ελήφθη το ποσοστό $\leq 35-45\%$.

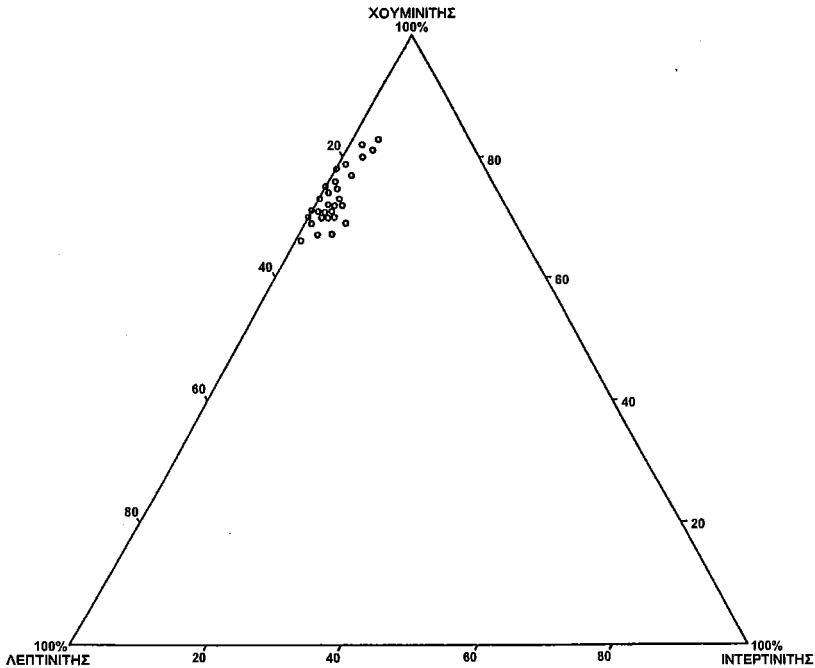
Οι μέσες τιμές της Ανώτερης και Κατώτερης Θερμαντικής ικανότητας και για τους δύο τύπους λιγνίτη δίδονται στον πίνακα 1.

Στον ίδιο πίνακα αναγράφονται οι μέσες και ακραίες τιμές του ολικού και καύσιμου Θείου που περιέχεται στους λιγνίτες των κυριότερων κοιτασμάτων ξυλιτικού και γαιώδους τύπου των λεκανών Πτολεμαΐδας-Φλώρινας. Είναι γνωστό ότι η παρουσία του θείου σε αυξημένες τιμές στους λιγνίτες επιδρά αρνητικά τόσο στην αξιοποίησή τους όσο και στην μόλυνση του περιβάλλοντος. Από την άποψη αυτή, όπως φαίνεται και από τον πίνακα, οι λιγνίτες της ευρύτερης περιοχής Πτολεμαΐδας-Φλώρινας όπου παράγεται πάνω από το 64% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, παρουσιάζουν χαμηλά ποσοστά περιεκτικότητας σε Θείο και μάλιστα σε τιμές πολύ πιο κάτω από τα ανώτερα όρια των διεθνών standards.

Έτσι όπως αναφέρθηκε το ποσοστό της περιεχόμενης τέφρας επηρεάζει άμεσα τη Θερμαντική ικανότητα του λιγνίτη η χημική σύσταση της τέφρας είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για να αξιολογηθεί η συμπεριφορά του λιγνίτη στη καύση. Στον πίνακα 2 δίδονται οι μέσες τιμές ανάλυσης τέφρας για τα αντιπροσωπευτικά κοιτάσματα “ξυλιτικού” τύπου των Αν. Περιθωρίων, Βεύης Φλώρινας και “ Κομνηνών Πτολεμαΐδας.

Με βάση τις τιμές αυτές υπολογίστηκαν οι δείκτες επικαθήσεων SI-SxB/o (όπου S η περιεκτικότητά σε καύσιμο S) και επισκωριάσεως FI=Nq₂OxB/o (όπου B/o=ο λόγος των βασικών προς όξινα οξείδια) (WARD 1983).

Οι δείκτες αυτοί είναι πολύ σημαντικοί διότι αυξημένες τιμές αυτών των δεικτών μειώνουν σημαντικά την απόδοση σε θερμότητα του λέβητα και επιπλέον συντελούν στη χημική διάβρωση των μετάλλων λόγω της προσκόλλησης σε αυτά επιβλαβών ορυκτών. Για τα δύο αντιπροσωπευτικά κοιτάσματα των Αν. Περιθωρίων, Βεύης και Κομνηνών, ο δείκτης επικαθήσεων (SI) κυμαίνεται μεταξύ 0.26 και 0.17, ενώ οι τιμές του δείκτη επισκωριάσεως (FI) κυμαίνονται μεταξύ 0.15 και 0.07. Επειδή οι τιμές των δυο αυτών δεικτών SI και FI είναι μικρότερες από 2 και 0.5 αντίστοιχα –οι οποίες αποτελούν τα όρια πάνω από τα οποία μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα στα μηχανικά τμήματα, αλλά και στην απόδοση του λέβητα (ΓΑΛΕΤΑΚΗΣ 1996), – φαίνεται ότι κατά την καύση των λιγνιτών των Αν. Περιθωρίων, δεν θα δημιουργηθούν προβλήματα, με αποτέλεσμα η απόδοση του λέβητα να είναι ικανοποιητική. Αυτό επιβεβαιώνεται εξ άλλου και από τις τιμές του σημείου τήξεως της τέφρας οι οποίες κυμαίνονται από 1240°C σε 1273°C, γεγονός που κατατάσσει τους λιγνίτες ξυλιτικού τύπου των Αν. περιθωρίων στους καλής ποιότητας και με καλή συμπεριφορά κατά την καύση.



Σχήμα 5. Τριαδικό διάγραμμα ανθρακοπετρογραφικής σύστασης λιγνιτών ξυλιτικού τύπου¹ (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ 1992).

Figure 5. Ternary diagram of coal petrology composition of xyloid lignite (PAPANIKOLAOU 1992).

Προκειμένου να εξετασθεί η δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης και χρήσης, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η εξέταση και μελέτη του οργανικού μέρους των λιγνιτών. Αυτό επιτυγχάνεται με την ανθρακοπετρογραφική ανάλυση δεδομένου ότι οι τεχνολογικές ιδιότητες ενός γαιάνθρακα είναι άμεσα συνδεδεμένες με την οργανική σύσταση και το βαθμό ενανθράκωσης.

Στην περίπτωση των λιγνιτών ξυλιτικού τύπου των Αν. περιθωρίων Φλώρινας - Πτολεμαΐδας, έγιναν αναλύσεις σε αντιπροσωπευτικά δείγματα των κυριότερων κοιτασμάτων αυτού του τύπου, Βεύης Φλώρινας και Κομνηνών Πτολεμαΐδας. Στο Σχ. 5 παρουσιάζεται το τριαδικό διάγραμμα της ανθρακοπετρογραφικής ανάλυσης των τριών κύριων ανθρακοπετρογραφικών ομάδων: του Χουμινίτη, που χημικά είναι η κατ' εξοχήν ομάδα του άνθρακα και υδρογόνου, του Λειπτινίτη, υδρογονούχου ομάδας και του Ινερτινίτη, της ομάδας που είναι αδρανής στις διεργασίες εξευγενισμού.

Σε όλα τα δείγματα η ομάδα του Χουμινίτη καταλαμβάνει τον κύριο όγκο του

οργανικού υλικού με ποσοστό που κυμαίνεται από 47% έως 72%. Οι χουμινίτες είναι ως επί το πλείστον του τύπου χουμοτελινίτης εμπλουτισμένες με ρητινούχες ουσίες. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το είδος των λειπτινιτών, καθιστά τους ξυλιτικούς αυτούς λιγνίτες ενεργούς στη μεταποιητική βιομηχανία. Υπόκεινται σε σημαντικό βαθμό σε υγροποίηση και αντιδρούν θετικά στην εξαερίωση (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ 1992).

Λόγω της μεγάλης ποσότητας σε ινώδη τεξιτινή θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα στις μελέτες σχεδιασμού για την ενδεχόμενη χρήση αυτών των λιγνιτών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο εμποτισμένος με ρητινούχες ουσίες τεξιτινίτης μαζί με το σημαντικό περιεχόμενο σε λειπτινίτη, αναμένεται να επηρεάσουν το σημείο ανάφλεξης, γεγονός που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό και επιλογή του λέβητα. Επίσης λόγω του γεγονότος ότι η θραύση του ινώδη τεξιτινίτη είναι δύσκολη, με αποτέλεσμα ο δείκτης άλεσης να αναμένεται πολύ μικρός, θα χρειαστεί να ληφθεί μέριμνα για την κατάλληλη επιλογή των μύλων (KOTIS et al. 1999).

Αποθέματα

Για τον υπολογισμό των αποθεμάτων, τόσο των γεωλογικών όσο και του απολήψιμου, ελήφθησαν υπόψη ο λιγνίτης με τέφρα “επί ξηρού” μέχρι 55% κατά μέγιστο.

Στον υπολογισμό του γεωλογικού αποθέματος καταγράφηκε η ποσότητα του αποθέματος που έχει διαπιστωθεί στο κοίτασμα, ανεξάρτητα από τη δυνατότητα οικονομικής εκμετάλλευσης. Σε αντίθεση με το απολήψιμο ή εκμεταλλεύσιμο απόθεμα όπου ο υπολογισμός των αποθεμάτων έγινε με προδιαγραφές και κανόνες αξιολόγησης που έχουν εφαρμογή στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις που πραγματοποιεί η ΔΕΗ στα λιγνιτωρυχεία Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου. Τα στοιχεία που παρατίθενται ελήφθησαν από κοιτασματολογικές μελέτες που πραγματοποίησε το

Πίνακας 3. Αποθέματα λεκανών Φλώρινας – Πτολεμαΐδας

Table 3. Proven and mineable coal deposits of Florina and Ptolemais area

Περιοχή	Κατηγορία αποθεμάτων				
	Γεωλογικά	Απολήψιμα αποθέματα με σχέση (Y+E)/Δ σε m/m			
		≤ 10:1	≤ 15:1	≤ 20:1	≤ 25:1
ΒΕΥΗΣ	74.5		36.5	43.7	43.7
ΑΧΛΑΔΑΣ-ΜΕΛΙΤΗΣ	96.5		1.8	7.8	23.0
ΜΕΛΙΤΗΣ-ΛΟΦΩΝ	157.8	17.7	37.9	64.4	78.0
ΚΛΕΙΔΙΟΥ	33.7			31.0	31.0
ΚΟΜΝΗΝΩΝ	264.0				153.0
ΑΝ. ΚΑΡΥΟΧΩΡΙΟΥ	205.0				152.0
Σύνολο	831.5				480.0

Ι.Γ.Μ.Ε. για λογαριασμό της Δ.Ε.Η. στο πλαίσιο των ερευνών των λιγνιτοφόρων λεκανών ΒΔ Μακεδονίας (ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ κ.ά. 1983, ΚΩΤΗΣ κ.ά. 1992, 1996, 1997).

Στον πίνακα 3 καταγράφονται τα γεωλογικά και απολήψιμα αποθέματα των κυριότερων κοιτασμάτων ξυλιτικού τύπου των λεκανών Φλώρινας-Πτολεμαΐδας.

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα, το σύνολο των γεωλογικών αποθεμάτων ανέρχεται σε ~850 εκατομ. τόνους, ενώ τα απολήψιμα αποθέματα με ανώτερη σχέση εκμεταλλευσιμότητας (Y+E)/ΛΘ25:1 m/m, ανέρχονται σε ~500 εκατομ. τόνους.

Συμπεράσματα

Οι λιγνίτες ξυλιτικού τύπου των Αν. περιθωρίων των λεκανών Φλώρινας-Πτολεμαΐδας μπορεί να χαρακτηριστούν ως προς τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά, τον όγκο των αποθεμάτων που περικλείουν και τη δυνατότητα εκμετάλλευσης και αξιοποίησης, ως τα σημαντικότερα λιγνιτικά κοιτάσματα της χώρας.

Ποιοτικά, οι ξυλιτικοί λιγνίτες Φλώρινας-Πτολεμαΐδας παρουσιάζουν βαθμό ενανθράκωσης (R%) μεταξύ 0.25 και 0.33. Η σχετικά προχωρημένη διαγένεση και η παρουσία του χουμοτελινίτη στη ζελατινοποιημένη μορφή τεξτ/ευ-ουλμινίτη κατατάσσει τους λιγνίτες ξυλιτικού τύπου, στη ζώνη μετάβασης προς τους σκληρούς λιγνίτες. Συγκριτικά με τους γαιώδεις λιγνίτες τύπου Πτολεμαΐδας (Πλειοκαινικής ηλικίας) οι ξυλιτικού τύπου λιγνίτες παρουσιάζουν μεγαλύτερο βαθμό ενανθράκωσης, χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας και υψηλότερο βαθμό θερμοαντικής ικανότητας.

Ως προς τον όγκο των αποθεμάτων, τα συνολικά βεβαιωμένα αποθέματα ανέρχονται σε ~850 εκατομ. τόνους από τους οποίους οι ~500 εκατομ. τόνοι μπορεί να θεωρηθούν οικονομικά απολήψιμοι.

Ως προς τις δυνατότητες εκμετάλλευσης και τις προοπτικές αξιοποίησης του μεγαλύτερου όγκου των αποθεμάτων αυτών, θα πρέπει να σημειωθεί ότι, με εξαίρεση τα κοιτάσματα των Δημόσιων λιγνιτωρυχείων Αχλάδας και Βεύης Φλώρινας, καμιά άλλη εκμετάλλευση ή αξιοποίηση δεν έχει γίνει μέχρι σήμερα. Οι οικονομικοτεχνικές προσεγγίσεις της ΔΕΗ έδειξαν ότι είναι δυνατή η εκμετάλλευση και αξιοποίησή τους με συμφέροντες οικονομικούς όρους προκειμένου να τροφοδοτήσουν με λιγνίτη υψηλής Θερμαντικής ικανότητας, όχι μόνο υφιστάμενους ΑΗΣ αλλά και τη νέα, υπό εγκατάσταση Α/Η μονάδα των 320 MW στη Φλώρινα.

Η επιλογή του λέβητα και των μύλων άλεσης του τροφοδότη λιγνίτη είναι θέμα σχεδιασμού σε συνάρτηση με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτού του ξυλώδους τύπου λιγνίτη.

Τέλος θα πρέπει να τονιστεί ότι τα ιδιαίτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά και η οργανοχημική σύσταση των λιγνιτών αυτών τους καθιστά αντικείμενο μελέτης για αξιοποίησή τους και για χρήσεις πέραν του ηλεκτρισμού, όπως για εξαέρωση ή

και υδροποίηση, παραγωγή ενεργού άνθρακα, ως αναγωγικό υπόστρωμα στη μεταλλουργία κλπ.

Βιβλιογραφία

- ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ Ι. & ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ Κ. (1972). Γεωλογική και κοιτασματολογική μελέτη Νοτίου τμήματος Λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδος. Γεωλ. Γεωφ. Μελέται. Τ.15, τ.1, 189σ., πιν. εκ. κ. 33, σχ. εκ. κ. 24.
- ΒΕΛΙΤΖΕΛΟΣ Ε. & PETRESCU I. (1981). Σπάνια φυτικά απολιθώματα από τη Νεογενή Λιγνιτοφόρα λεκάνη των Βεγόρων. *Ann. Geol. Pays Hell.* XXX/2, 767-777.
- ΒΕΤΟΥΛΗΣ Δ. (1951). Λιγνιτοφόρος λεκάνη Αμυνταίου-Βεγόρας. Γεωλ. Αναγν. ΙΓΕΥ. Αθήνα, Νο 14, 1-30.
- ΒΕΤΟΥΛΗΣ Δ. (1957). Συμβολή εις την γνώσιν της Γεωλογίας της λεκάνης Πτολεμαΐδος-Μακεδονίας. *Ann. Geol. Pays Hell.* 8, 48-79.
- ΓΑΛΕΤΑΚΗΣ Μ., (1996). Προσδιορισμός της ποιότητας των λιγνιτών που εξορύσσονται με τη συνεχή μέθοδο εκμετάλλευσης από πολυστρωματικά κοιτάσματα. Διδακτ. Διατριβή. Τμ. Μηχ. Ο.Π. Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά. σ. 323.
- GERSONDE R. & VELITZELOS E. (1978). Diatomeen – palaiokologie in Neogen – Becken von Vegora, N-W Mazedonien. *Ann. Geol. Pays Hell.* 29, 373-382.
- ΙΟΑΚΙΜ CH. (1985). Analyse Palynologique des depots lacustres du Pliocene de Ptolemais (Grece septentrionale): un element nouveau dans la reconstitution de l'histoire paleoclimatique des regions mediterraneennes orientales. *Paleobiologie continentale.* Montpellier. XIV, No 2, 315-332.
- KOTIS TH., ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ Ν., ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Κ., ΦΟΣΚΟΛΟΣ Α. & ΣΤΑΜΑΤΑΚΙΣ Μ. (1999). Characterization of lignite and its interburden beds from Florina coal basin, Greece Workshop Program – Thermie “new technologies for coal quality control and Homogenization”, 30-1/10-99, Athens (in press).
- ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ C. & ΚΟΤΙΣ ΤΗ. (1993). Lignite deposits in the Florina and Ptolemais Basin (Macedonia – Greece), A geological field trip guide book. 45th Annual Meeting (ICCP). Technical Univ. of Mineral Resources Ehgin. Univ. of Krete, 27/7-2/10, 1993, p. 25.
- ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ Κ., ΚΩΤΗΣ Θ., ΠΛΟΥΜΙΔΗΣ Μ., ΜΕΤΑΞΑΣ Α. & ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Δ. (1983). Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτοφόρου πεδίου “Αποφύσεως” περιοχής Αναργύρων Αμυνταίου. ΙΓΜΕ, Έρευν.Ενεργ. Πρώτων Υλών. Νο 1, σ. 52.
- ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ Κ., ΚΩΤΗΣ Θ., ΠΛΟΥΜΙΔΗΣ Μ., ΜΕΤΑΞΑΣ Α. & ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Δ. (1983). Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτικού κοιτάσματος Κορμηνηών Πτολεμαΐδας. ΙΓΜΕ, Έρευν. Ενεργ. Πρώτων Υλών. Νο 2, σ. 103.
- ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ Κ., ΚΩΤΗΣ Θ., ΠΛΟΥΜΙΔΗΣ Μ. & ΜΕΤΑΞΑΣ Α. (σε συνεργασία με ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Δ., και ΒΑΡΒΑΡΟΥΣΗ Γ.) (1988). Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτικού κοιτάσματος Περγίκα Πτολεμαΐδας. ΙΓΜΕ, Δ/ση Ενεργ. Πρώτων Υλών, Μελ. ΔΕΗ, 110σ, Πιν. εκ. κ. 49, Παρ. Ι, σ. 11.

- ΚΩΤΗΣ Θ., ΠΛΟΥΜΙΔΗΣ Μ., ΜΕΤΑΞΑΣ Α. & ΒΑΡΒΑΡΟΥΣΗΣ Γ. (1992). Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτικού κοιτάσματος υποπεριοχής Βεύης Ν. Φλώρινας (Δ. Μακεδονία). ΙΓΜΕ, Δ/ση Ενεργ. Πρώτων Υλών, Μελ. ΔΕΗ. 97σ., Πιν. εκ. κ. 6, σχ. εκ. κ. 24. Παρ. Ι, σ. 45, Παρ. ΙΙ σ. 10.
- ΚΩΤΗΣ Θ., ΠΛΟΥΜΙΔΗΣ Μ., ΜΕΤΑΞΑΣ Α. & ΒΑΡΒΑΡΟΥΣΗΣ Γ. (1996). Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτικών κοιτασμάτων Ανατολικών περιθωρίων λεκάνης Φλώρινας (Υποπεριοχή Μελίτης – Λόφων). ΙΓΜΕ, Δ/ση Ενεργ. Πρώτων Υλών, Μελ. ΔΕΗ. 91σ., Πιν. εκ. κ. 80, Παρ. Ι, σ. 11, Τόμοι 3.
- ΚΩΤΗΣ Θ., ΠΛΟΥΜΙΔΗΣ Μ., ΜΕΤΑΞΑΣ Α. & ΒΑΡΒΑΡΟΥΣΗΣ Γ. (1997). Κοιτασματολογική μελέτη λιγνιτικού κοιτάσματος περιοχής Κλειδιού Φλώρινας. ΙΓΜΕ, Δ/ση Ενεργ. Πρώτων Υλών, Μελ. ΔΕΗ. 87σ., Πιν. εκ. κ. 13, Παρ. Ι, σ. 11.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Κ. (1992). Ανθρακοπετρογραφική ανάλυση και μελέτη Λιγνιτών Βεύης. Παρ/μα. Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτικού κοιτάσματος υποπεριοχής Βεύης Ν. Φλώρινας (Δ. Μακεδονία). ΙΓΜΕ, Δ/ση Ενεργ. Πρώτων Υλών, Μελ. ΔΕΗ. σ. 45.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Κ. (1994). Διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών Ελληνικών Λιγνιτών με μεθόδους Οργανικής Πετρολογίας και Οργανικής Γεωχημείας. Διδακτ. Διατριβή. Τμ. Μηχ. Ο.Π. Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά. σ. 300.
- ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ Ι. (1952). Γεωλογική μελέτη της λιγνιτοφόρου περιοχής Πτολεμαΐδος. ΙΓΕΥ, Γεωλ. Γεωφ. Μελέται 2, Νο 1, σ. 95.
- ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ. (1985) Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας – Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας, Δ. Μακεδονία. Διδακτ. Διατριβή. Αριστ. Παν/μιο Θεσ/νίκης. Επιστ. Επετηρ. Παν/μίου Θεσ/νίκης. Επιστ. Επετηρ. Σχ. Θετικών Επιστ. Παρ. αρ. 43, 23ου τομ., 1-265.
- WARD G.R. (1983). Coal geology and coal technology. Sydney, 229-231.

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΕΙΡΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ ΤΡΑΝΟΒΑΛΤΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΩΣ ΠΛΗΡΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Κ. Λασκαρίδης¹

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας αξιοποίησης “στείρων” των λατομείων της Περιφέρειας Δ. Μακεδονίας (στις περιοχές Τρανόβαλτου και Μικρόβαλτου) ως πληρωτικών υλικών, με υψηλή προστιθέμενη αξία. Η εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος “Αξιοποίηση του μαρμαρικού δυναμικού Δυτ. Μακεδονίας”, υποπρόγραμμα “Λευκά ανθρακικά πετρώματα”, και χρηματοδοτήθηκε από την περιφέρεια Δυτ. Μακεδονίας.

Εξαιτίας της έντονης τεκτονικής στη μαρμαροφόρο περιοχή, η αποληψιμότητα των λατομείων σε ογκομάζα είναι πολύ χαμηλή, με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων στείρων υλικών, η εναπόθεση των οποίων δημιουργεί προβλήματα στην περιοχή.

Πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες, εργαστηριακές εξετάσεις, βιομηχανικές δοκιμές, οριοθετήσεις στείρων και αξιολόγηση των στοιχείων. Τα δείγματα παρουσίασαν υψηλή καθαρότητα, αρκετά υψηλή λευκότητα, χαμηλή ως μέτρια κιτρινότητα, καλή παραγωγή τελικού προϊόντος ανά ώρα λειτουργίας του μύλου και εύκολα ελεγχόμενη κοκκομετρία. Με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, τα στείρα υλικά από τις προεπιλεγμένες θέσεις του εξορυκτικού κέντρου Τρανόβαλτου Κοζάνης, είναι κατάλληλα για χρήση στις βιομηχανίες ως πληρωτικά υλικά.

Abstract

The aim of the work is to investigate the capability of exploiting the marble wastes from active quarries of the West Macedonia district (Tranovaltos and Microvaltos areas) as fillers with high added value. The work has been performed in the frame of the program “Exploitation of the marble potential of West Makedonia”, sub-program “White Carbonate Stones”, and has been financed by the district of West Makedonia.

Due to the tectonic formations of the area, local quarries yield increased amounts of marble wastes that create disposal and environmental problems.

At first, the collected samples have been analysed in the laboratory. Industrial grinding trials have been subsequently performed in order to evaluate them. The samples exhibited high purity, relatively high degree of whiteness, low to average yellow index, good production rate of the final

1. Applicability of marble wastes from the Tranovaltos-Kozani area for use as fillers in industry.

Δρ. Γεωλόγος, Δ/νση Κοιτασματολογίας Ι.Γ.Μ.Ε., Μεσογείων 70, 115 27 Αθήνα.

product per mill operational hour and easily controllable size distribution. Based on the above technical characteristics it is concluded that the marble wastes of the quarrying centre of the Tranovaltos area are appropriate for industrial use as fillers.

Εισαγωγή

Η αξιοποίηση των βιομηχανικών ορυκτών ως πληρωτικών υλικών είναι ένας δυναμικά αναπτυσσόμενος κλάδος. Σε παγκόσμιο επίπεδο σύμφωνα με το Γερμανικό πρότυπο DIN 55943 (1984), ως υλικό πλήρωσης ορίζεται ουσία αποτελούμενη από λεπτά σωματίδια, η οποία παραμένει ουσιαστικά αδιάλυτη στο χρησιμοποιούμενο μέσο και χρησιμεύει είτε στην αύξηση του όγκου, είτε στην καλύτερη τεχνικών ιδιοτήτων και/ή στο να επηρεάσει τις οπτικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Ο τομέας εφαρμογής τους είναι ευρύτατος. Περιλαμβάνει τους κλάδους παραγωγής χρωμάτων, πλαστικών, χάρτου, ελαστικών, φαρμακευτικών προϊόντων, συγκολλητικών και στεγανοποιητικών υλικών, ταπήτων, καλωδίων, κλπ. Η προσθήκη πληρωτικών υλικών στα διάφορα προϊόντα στόχο έχει την μείωση του κόστους παραγωγής αυτών και συγχρόνως τη βελτίωση ορισμένων χαρακτηριστικών τους.

Το φυσικό ανθρακικό ασβέστιο είναι σήμερα το κυρίως χρησιμοποιούμενο πληρωτικό στη βιομηχανική αγορά της Ευρώπης. Οι κύριοι λόγοι, οι οποίοι έχουν καταστήσει το φυσικό ανθρακικό ασβέστιο ως το πιο δημοφιλές πληρωτικό είναι ο συνδυασμός των σημαντικών αποθεμάτων, των μικρών αποστάσεων μεταφοράς και συνεπώς το κόστος του υλικού, η καταλληλότητα χρήσης του σε ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών, η δυνατότητα μεταφοράς του σε μορφή υδαρούς κονίας, η υψηλή λευκότητά του κλπ.

Οι κυριότερες ιδιότητες και οι απαιτούμενες προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν τα φυσικά ανθρακικά που χρησιμοποιούνται ως πληρωτικά και επικαλυπτικά υλικά κυρίως στις βιομηχανίες χάρτου, χρωμάτων, και πλαστικών, αναλόγως της παραγόμενης ποιότητας, είναι:

- α) Η λευκότητα: αποφασιστικής σημασίας κριτήριο καταλληλότητας, όταν τα ανθρακικά προσθέτονται σε προϊόντα που το χρώμα τους αποτελεί ουσιώδη ιδιότητα.
- β) Η χημική σύσταση: είναι καθοριστικό χαρακτηριστικό αφού και πολύ μικρά ποσοστά ανεπιθύμητων προσμίξεων επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητες των πληρωτικών.
- γ) Η κοκκομετρία: το μέγεθος και η κατανομή των σωματιδίων είναι το σημαντικότερο από τα χαρακτηριστικά που το υλικό αποκτά μετά από επεξεργασία, καθόσον μεταβάλλει τις ιδιότητες και την αξία των πληρωτικών και συνεπώς τους τομείς εφαρμογής τους και επηρεάζει τα χαρακτηριστικά των παραγόμενων προϊόντων.
- δ) Η αποξεστικότητα: η σκληρότητα των κόκκων είναι αποκλειστικά υπεύθυνη

για αυτή την ιδιότητα.

- ε) Η υδατοδιαλυτότητα: δεν πρέπει να είναι πάνω από 0,2%.
 ζ) Η τιμή του pH: η κατώτερη επιτρεπτή τιμή του για το ανθρακικό ασβέστιο είναι 6,5.

Οι προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν τα ανθρακικά που χρησιμοποιούνται ως πληρωτικά στη βιομηχανία, σύμφωνα με τα πρότυπα DIN 55918 (1984) & DIN 55919 (1980) είναι (Πίν. 1).

Στα πλαίσια του προγράμματος “Μελέτη αξιολόγησης μαρμαρικού δυναμικού Δυτικής Μακεδονίας”, το οποίο χρηματοδοτήθηκε από την περιφέρεια Δ. Μακεδονίας, εκτελέστηκε το υποπρόγραμμα “Λευκά ανθρακικά πετρώματα”, το οποίο άρχισε το 1996. Σκοπός του υποπρογράμματος ήταν η εκτέλεση ερευνητικών εργασιών όπως δειγματοληψίες, εργαστηριακές εξετάσεις, βιομηχανικές δοκιμές, οριοθετήσεις στειρών και τέλος αξιολόγηση των στοιχείων προκειμένου να διερευνηθεί η δυνατότητα αξιοποίησης των “στείων” των λατομείων που βρίσκονται εν λειτουργία και μη, καθώς και μέρος των κοιτασμάτων των μαρμαροφόρων περιοχών της Περιφέρειας Δ. Μακεδονίας, ως πληρωτικών υλικών, με υψηλή προστιθέμενη αξία.

Η εξορυκτική δραστηριότητα γίνεται δυτικά-βορειοδυτικά της Κοινότητας Τρανόβαλτου, τα τελευταία 40 χρόνια και την τελευταία πενταετία περίπου στην περιοχή Μικρόβαλτου του Τρανόβαλτου. Στην περιοχή λειτουργούν συνολικά 20 λατομεία (16 στον Τρανόβαλτο και 4 στον Μικρόβαλτο). Εξαιτίας της έντονης τεκτονικής στη μαρμαροφόρο περιοχή, η αποληψιμότητα των λατομείων σε ογκομάραρα είναι πολύ χαμηλή, με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων στειρών υλικών, η εναπόθεση των οποίων είχε δημιουργήσει και συνεχίζει και σήμερα, μεγάλα προβλήματα στην περιοχή.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 2, από την περιοχή Τρανόβαλτου, πάρθηκαν τα δείγματα: T1, T2, Σ1, Σ2, Π1, Β1 και από τον Μικρόβαλτο το δείγμα ME1. Τα

Πίνακας 1. Προδιαγραφές χρήσης ανθρακικών πετρωμάτων

Table 1. Norms for calcium carbonates

DIN 55918:	Ασβεστόλιθος ¹	DIN 55919:	Δολομίτης
CaCO ₃	min 98%	CaCO ₃	min 53%
pH	8-10	MgCO ₃	max 44,5%
Υγρασία	max 0,2%	CaCO ₃ /MgCO ₃	1,18-1,24
Λευκότητα	min 85% Elrepho	Υγρασία	max 0,2%
Υδατοδιαλυτότητα	max 0,2%	Υδατοδιαλυτότητα	max 0,2%
Cu	max 10 mg/kg	pH	8-10,5
Mg	200 mg/kg	Απωλ. πυρ.	46-48%

¹: περιλαμβάνεται και το μάραρο

Πίνακας 2. Θέση δειγματοληψίας και υψόμετρα
Table 2. Sampling locations and altitude

Δείγμα	Λατομείο Υψόμετρο (m)	
T ₁	Δ. ΤΥΡΝΕΝΟΠΟΥΛΟΥ	800
T ₂	»	840 - 870
Σ ₁	Συνεταιρισμού	850
Σ ₂	»	Δείγμ. σε σπειροειδή μορφή
Π ₁	Παπαθυμοπούλου	900
B ₁	BIOMAPM O.E.	830
ME ₁	EMATK - Μικρόβαλτος,	750

δείγματα είναι αντιπροσωπευτικά της όλης εξορυσσόμενης ποσότητας μαρμάρου της περιοχής.

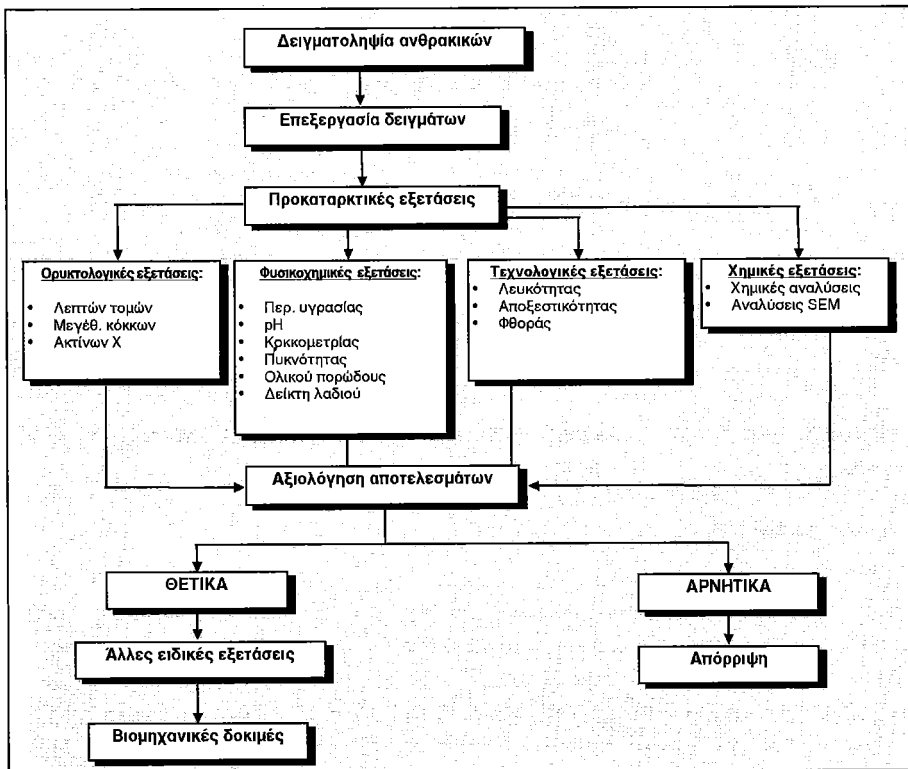
Γεωλογικά στοιχεία

Την περιοχή Τρανόβαλτου, που γεωτεκτονικά ανήκει στην Πελαγονική Ζώνη, δομούν οι γνευσιοσχιστόλιθοι, τα μάρμαρα και οι οφιόλιθοι. Τα μάρμαρα της περιοχής, τα οποία ενδιαφέρουν αυτή τη μελέτη, ανήκουν στο δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής ζώνης και είναι ηλικίας Τριαδικού - Ιουρασικού (ΜΑΥΡΙΔΗΣ & ΚΕΛΕΠΕΡΤΖΗΣ σε ΠΑΛΑΙΟΚΩΣΤΑ Γ. & ΓΡΙΒΑ Η. 1995). Τα ανθρακικά πετρώματα διακρίνονται σε δύο ενότητες. Τα ανώτερα μέλη είναι μεσοστρωματώδεις δολομιτικοί ασβεστόλιθοι πάνω στους οποίους έχουν επωθηθεί οι οφιόλιθοι. Τα κατώτερα μέλη αποτελούνται κυρίως από ασβεστιτικά μάρμαρα, έντονα τεκτονισμένα και διαφόρων χρωματικών αποχρώσεων (τεφρά - τεφρόλευκα - λευκά), τα οποία και εκμεταλλεύονται.

Υλικά και μέθοδοι

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε: α) σε σωρούς στείρων, οι οποίοι έχουν δημιουργηθεί κατά τη διάρκεια της μακρόχρονης εκμετάλλευσης των μαρμαροφόρων κοιτασμάτων στις προαναφερόμενες περιοχές και β) σε λατομεία, όπου γίνεται σήμερα εκμετάλλευση των λευκών-ημίλευκων ασβεστιτικών μαρμάρων. Εξαιτίας του ποικίλου χρωματικού δείκτη των στείρων που αποθέτονται, για περισσότερο αντικειμενική και ομοιόμορφη δειγματοληψία, χρησιμοποιήθηκε η "σπειροειδής δειγματοληψία". Ανά μέτρο απόστασης στους σωρούς των στείρων με φορά από κάτω προς τα πάνω, έγινε συλλογή δείγματος που βρίσκονταν στο σημείο αυτό. Η θέση τους παρουσιάζεται στον πίνακα 2.

Μετά τη δειγματοληψία επακολούθησε η επεξεργασία των δειγμάτων π.χ. παρασκευή λεπτών τομών, δοκιμίων λειοτρίβηση κλπ., με σκοπό τις προκαταρκτικές αναλύσεις. Οι αναλύσεις αυτές παρέχουν τις απαιτούμενες πληροφορίες για την



Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής εξετάσεων που πραγματοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη - Flow chart of performed examinations.

καταλληλότητα ή όχι της χρήσης των ανθρακικών ως πληρωτικών στις βιομηχανίες χρωμάτων, πλαστικών, χάρτου κ.α. Στο Σχ. 1 απεικονίζεται το διάγραμμα ροής αυτών των εξετάσεων.

Οι εξετάσεις που πραγματοποιούνται σε ειδικά εργαστήρια ελέγχου μεγάλων εταιριών παραγωγής, εμπορίας και χρήσης φυσικού CaCO_3 ως πληρωτικού, όπως για παράδειγμα της PLÜSS - STAUFER A.G., της EECI Europe, της HAINDL PAPIER GmbH κ.α. Αυτές οι εξετάσεις βασίζονται στις προδιαγραφές DIN και στα ειδικά φυλλάδια “υλικά πλήρωσης και επικάλυψης” του συλλόγου μηχανικών και χημικών χάρτου της Γερμανίας. Οι προεξετάσεις που θεωρούνται απαραίτητες για την προαξιολόγηση των ανθρακικών, με στόχο την πιθανή χρήση τους ως υλικά πλήρωσης στις βιομηχανίες πολυμερών και PVC, χρωμάτων, ελαστικών κλπ., είναι: βαθμός λευκότητας, χημική σύσταση, κατανομή σωματιδίων μετά τη λειοτριβήση, αποξεστικότητα και μορφή κόκκων. Επίσης, σε μερικά δείγματα έγινε προσδιορισμός της ειδικής επιφάνειας αυτών. Η ειδική επιφάνεια ενός υλικού εί-

ναι ο λόγος της συνολικής επιφάνειας του υλικού ως προς την μάζα του. Πρέπει να αναφερθεί ότι οι εξετάσεις αποξεστικότητας των υλικών έγιναν σε συνεργασία με την εταιρεία ΠΕΤΡΟΧΗΜ Α.Ε. στο εργαστήριό της. Επίσης, ο προσδιορισμός της ειδικής επιφάνειας έγινε σε δείγματα που στάλθηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικών διεργασιών του Martin - Luther - Universität στο Halle - Wittenberg.

Αποτελέσματα

Πετρογραφική εξέταση

Μακροσκοπικά το μάρμαρο Τρανόβαλτου χωρίζεται σε τρεις χρωματικές ποιότητες: το λευκό, το ημίλευκο και το τεφρό. Φυσικά, κατά την επεξεργασία του στα εργοστάσια, γίνονται περισσότεροι χρωματικοί διαχωρισμοί.

Εξετάζοντας στο πολωτικό μικροσκόπιο τις λεπτές τομές των δειγμάτων του Τρανόβαλτου, παρατηρούμε ότι: πρόκειται για ασβεστιτικό αδροκρυσταλλικό μάρμαρο, τεκτονικώς παραμορφωμένο, με ιστό πετρώματος γρανοβλαστικό μέχρι ανισοκοκκώδη και συμπαγή υφή. Το κύριο ορυκτολογικό συστατικό είναι ο ασβεστίτης σε κρυστάλλους με δύο κύριες κοκκομετρίες. Η πρώτη περιλαμβάνει κρυστάλλους μεγέθους περίπου 1 mm και με σχήμα κόκκων αλλοτριόμορφο, ενώ στη δεύτερη το σχήμα των κόκκων είναι υπιδιόμορφο με πολλά τριπλά σημεία επαφής και με μέγεθος περίπου 0,20 mm.

Η ιστολογική εικόνα του δείγματος ανταποκρίνεται σ' εκείνη ενός δυναμομεταμορφωμένου μαρμάρου, η μάζα του οποίου αποτελείται αφ' ενός από πορφυροκλάστες και αφ' ετέρου από γρανοβλαστικό υλικό ανακρυστάλλωσης, μωσαϊκού τύπου (υλικό της μικρής κοκκομετρίας), τα ποσοστά των οποίων μεταβάλλονται από δείγμα σε δείγμα. Οι πορφυροκλάστες παρουσιάζουν έντονα ίχνη τεκτονικής παραμόρφωσης όπως κάμπεις διδυμών, kink - bands - τεκτονικές διδυμίες και μικροδιακλάσεις.

Άλλα ορυκτά είναι συστατικά είναι: χαλαζίας, αλβίτης, μοσχοβίτης, κλινόχλωρο και λευκόξενος, σε διάσπαρτη μορφή, σε αμελητέες ποσότητες και σε διάφορους συνδυασμούς από δείγμα σε δείγμα.

Η χημική ανάλυση επιβεβαιώνει ότι τα μάρμαρα του Τρανόβαλτου είναι ασβεστιτικά (Πίν. 4).

Φυσικομηχανική εξέταση

Τα δείγματα των ασβεστιτικών μαρμάρων της περιοχής Τρανόβαλτου, μετά τη θραύση τους σε σιαγόνες (-25 mm), κυλίνδρους (-2 mm) και τη λειοτρίβσή τους σε δονούμενο τριβείο αχάτη, στα εργαστήρια της Δ.Τ.Ε.Μ. του ΙΓΜΕ, εξετάστηκαν ως προς το μέγεθος και την κατανομή των σωματιδίων τους. Η μελέτη των δειγμάτων έγινε σε συνεργασία με την εταιρεία ΠΕΤΡΟΧΗΜ Α.Ε. Ο προσδιορισμός του μεγέθους και της κατανομής των σωματιδίων, έγινε με τη μέθοδο σκέδασης του φωτός με ακτίνες Laser.

Το μέγεθος των σωματιδίων των δειγμάτων μετά τη λειοτριβήση είναι σε όλα τα δείγματα κάτω των 120 μm . Παρατηρούμε ότι, το 50% [d (0,5)] των κόκκων των δειγμάτων είναι κάτω των 5 μm , ενώ το 90% [d(0,90)] κάτω των 36 μm . Πρέπει να τονισθεί ότι, η κοκκομετρία των δειγμάτων είναι συνάρτηση του τρόπου και της διάρκειας λειοτριβής τους. Συνεπώς, με περισσότερη λειοτριβήση και ειδικό διαχωρισμό θα επιτευχθεί μικρότερη κοκκομετρία, η οποία είναι και επιθυμητή. Το μέγεθος και η μορφή των σωματιδίων είναι από τους κύριους λόγους της διαφορετικής συμπεριφοράς των διάφορων πληρωτικών υλικών ως προς την αποξεστικότητα τους. Τα αποτελέσματα όλων των φυσικομηχανικών εξετάσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 3.

Βιομηχανικές δοκιμές

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των πετρογραφικών, χημικών και φυσικομηχανικών εξετάσεων, καθώς και τον όγκο των στείρων, τα οποία σε ορισμένες περιοχές εκμετάλλευσης έχουν δημιουργήσει οξύ πρόβλημα, που μεταφράζεται σε επιβίωση των εταιριών, επιλέχθηκαν σε πρώτη φάση δύο περιοχές απόθεσης στείρων στον Τρανόβαλτο. Σκοπός ήταν να αξιολογηθεί η καταλληλότητά τους για χρήση στην παραγωγή πληρωτικών υλικών υψηλής προστιθέμενης αξίας. Οι θέσεις δειγματοληψίας των στείρων βρίσκονται στον ορεινό όγκο εξόρυξης, δυτικά της κοινότητας Τρανόβαλτου.

Η πρώτη θέση δειγματοληψίας βρίσκεται στις αποθέσεις στείρων του λατομείου της BIOMAPM. Η δεύτερη θέση δειγματοληψίας βρίσκεται στις αποθέσεις στείρων του Λατομείου του Συνεταιρισμού. Οι αποθέσεις του Συνεταιρισμού έχουν δημιουργήσει ένα λόφο, στον οποίο σύμφωνα με υπολογισμούς έχουν αποτε-

Πίνακας 3. Αποτελέσματα φυσικομηχανικών εξετάσεων των μαρμάρων περιοχής Τρανόβαλτου που αναλύθηκαν - Results of the physico-mechanical examinations of the analysed Tranovaltos area samples

Ιδιότητα	Σ_1	Σ_2	T_1	T_2	Π_1	B_1	ME_1
pH	9,68	9,35	9,62	9,60	9,47	9,57	9,60
Πυκνότητα (g/cm^3)	2,72						
Βαθμός λευκότητας-(DIN 6174)	92,5	93,4	92,8	94,2	90,6	94,6	93,6
Δείκτης κιτρινότητας	2,5	0,9	1,7	1,5	2,3	1,7	1,7
Ποσοστό υγρασίας (%)	0,05	0,04	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03
Αποξεστικότητα (mg)	66,5	40,7	63	69,7	54,8	57,8	35
Φθορά κατά BREUNIG (g/m^2) -(VWB ₁₂₀)	218	133,4	206,5	228,52	179,8	189,5	114,8
B.E.T. - Ειδική επιφάνεια (m^2/g)	2,3656± 0,0146			0,8338± 0,0151	0,8716± 0,0188	0,9974± 0,0127	

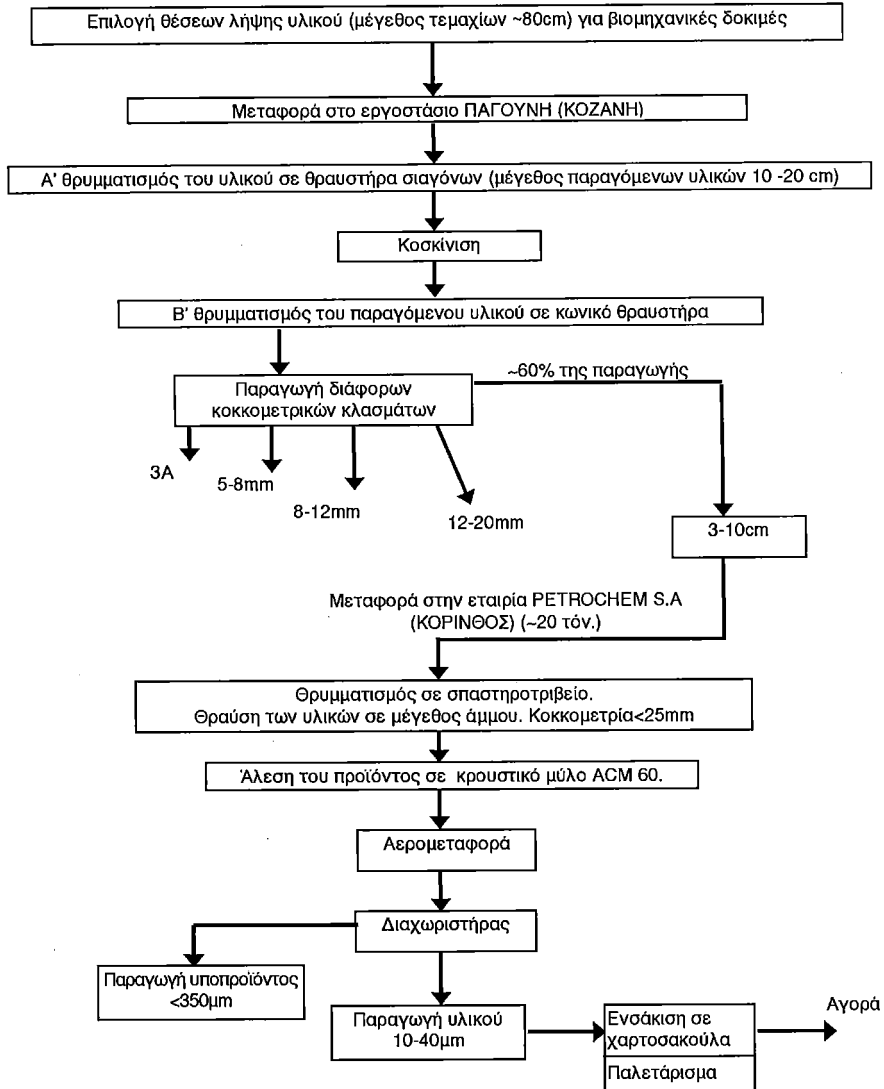
Πίνακας 4. Σύγκριση χαρακτηριστικών των παραγόμενων προϊόντων από τα ασβεστιτικά μάρμαρα του Τρανόβαλτου και του προϊόντος MICROBLANC 10 της εταιρίας PETRO-CHEM AE- Comparison of characteristics of samples with MICROBLANC 10 - PETRO-CHEM S.A.

	Δείγμα 1	Δείγμα 2	MICROBLANC 10 ¹	MICROBLANC 10 ¹
<i>Πρώτη ύλη</i>	<i>Λευκό τεφρόλευκο μάρμαρο Λατ. "BIOMARM" Λατ. ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΟΥ</i>	<i>Λευκό τεφρόλευκο μάρμαρο</i>	<i>Τεφρόλευκο Μάρμαρο Καβάλας</i>	<i>Λευκό τεφρόλευκο μάρμαρο Κορωπίου</i>
Χημική σύσταση (κ.β. %)				
CaCO ₃	96,4	95,5	99,00	97,8
MgO	1,0	1,6	0,760	0,3
CaO	54,0	53,5	53,3	55,0
SiO ₂	0,3	0,3	0,075	0,5
Fe ₂ O ₃	0,12	0,1	0,008	0,2
Al ₂ O ₃	0,07	0,08	0,032	0,04
K ₂ O	0,02	0,01		< 0,01
Na ₂ O	0,01	0,01		0,03
Απ. Πύρωσης	43,3	43,2	44,97	42,8
Υγρασία	< 0,2	< 0,2	< 0,2	
Αδιάλυτα σε HCl	< 0,5	0,5		
Λεπτότητα κόκκων				
d (0,50)				
-50% του προϊόντος	6,74 μm	7,04 μm	10 μm	7,12 μm
d (0,97)				
-97% του προϊόντος	42,67 μm	43,02 μm	40 μm	44,44 μm
< 2 μm				
Μετρημένο με σύστημα MALVERN	30%	30%	20%	30%
Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά				
Ειδικό βάρος (DIN 53193)			2,7 g/cm ³	
Λευκότητα (DIN 6174)	95,4%	95,5%	95,5%	95,0%
Κιτρινότητα	3,6%	1,8%	< 2%	3,5-4,5%
Τιμή pH (DIN 53200)	9,78	9,82	9	
Αποξεστικότητα (mg)	101,5 mg	117,8 mg		
Φθορά κατά BREUNIG (g/m ²)-VWB120	332,8 g/m ²	386,2g/m ²		

¹**Εφαρμογές:** Για υδατοδιαλυτά χρώματα εσωτερικής και εξωτερικής χρήσης, στόκο με πολυεστερική βάση, για κόλλες, ταπετσαρίες και μίγματα στεγανοποίησης.

θεί έως σήμερα περίπου 1.300.000 τόνοι στείρων. Ο όγκος αυτός αυξάνει ανά εργάσιμη ημέρα με περίπου 600 τόνους στείρων.

Μετά την επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας έγινε η μεταφορά των στείρων (περίπου 40 τόνοι ανά θέση δειγματοληψίας) από τα λατομεία στις εγκαταστάσεις της εταιρίας ΠΑΓΟΥΝΗ στην Κοζάνη, όπου πραγματοποιήθηκε η θραύση τους. Στη συνέχεια έγινε μεταφορά του θραυσμένου υλικού (περίπου 20 τόνοι ανά θέση



Σχήμα 2. Διάγραμμα ροής εργασιών - Flow chart of performed tasks.

δειγματοληψίας) στις εγκαταστάσεις της εταιρείας PETROCHEM S.A. στην Κόρινθο, για βιομηχανική λειοτριβήση (άλεση) του υλικού και αξιολόγηση αυτού. Στο διάγραμμα ροής του Σχήματος 2 παρατηρούμε τη διαδικασία που ακολουθήθηκε. Η λειοτριβήση έγινε σύμφωνα με τη διαδικασία λειοτριβήσης (άλεσης), για παραγωγή ενός εκ των υλικών της εταιρείας με την εμπορική ονομασία MICROBLANC 10, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των παραγόμενων προϊόντων (Πίν. 4).

Παρατηρήθηκε ότι, ενώ η παραγωγή των δύο προϊόντων (Δείγματα 1 και 2) έγινε με τον ίδιο τρόπο, διατηρώντας τα ίδια λειτουργικά χαρακτηριστικά των μηχανών όπως και κατά την παραγωγή του προϊόντος MICROBLANC 10, η παραγωγή τους ανά ώρα, ήταν διαφορετική. Στο Δείγμα 1 έχουμε παραγωγή 2.162 kg/h, ενώ στο Δείγμα 2 παραγωγή 2.450 kg/h. Η διαφορά αυτή στην παραγωγή οφείλεται στο ότι, η πρώτη ύλη του Δείγματος 1, έχει μεγαλύτερη ελαστικότητα στην κρούση κατά την παραγωγική διαδικασία του, με αποτέλεσμα την μικρότερη παραγωγή τελικού προϊόντος της επιθυμητής κοκκομετρίας. Το προϊόν του Δείγματος 2 είναι εφάμιλλο της παραγωγής του προϊόντος MICROBLANC 10 της εταιρείας PETROCHEM ΑΕ.

Αξιολόγηση παραγόμενων προϊόντων - Συμπεράσματα

Συγκρίνοντας τα παραγόμενα υλικά “Δείγμα 1” και “Δείγμα 2” του ασβεστιτικού μαρμάρου Τρανόβαλτου με το προϊόν MICROBLANC 10, της εταιρείας PETROCHEM παρατηρούμε ότι κυρίως το “Δείγμα 2” είναι εφάμιλλο του. Η αρκετά υψηλή λευκότητα του Δείγματος 2, η χαμηλή κιτρινότητα, η καλή παραγωγή τελικού προϊόντος ανά ώρα λειτουργίας του μύλου, η εύκολη ελεγχόμενη κοκκομετρία του, η ύπαρξη μεγάλων αποθεμάτων στείρων, στην περιοχή του Τρανόβαλτου, καθώς και η υψηλή καθαρότητά του, είναι τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που μπορούν να αναφερθούν. Όμως και το Δείγμα 1 μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλο ως πληρωτικό υλικό, μολονότι η παραγωγή του ανά ώρα λειτουργίας του μύλου είναι χαμηλότερη και παρουσιάζει σχετικά υψηλότερη κιτρινότητα. Γνωρίζοντας τις ποιοτικές και ποσοτικές απαιτήσεις της αγοράς μια μελλοντική παραγωγή πληρωτικού υλικού από τα στείρα της περιοχής Τρανόβαλτου, θα μπορούσε, ύστερα από κατάλληλη προβολή, να απορροφηθεί από την αγορά.

Με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, τα στείρα υλικά από τις προεπιλεγμένες θέσεις του εξορυκτικού κέντρου Τρανόβαλτου Κοζάνης, είναι κατάλληλα για χρήση στις βιομηχανίες ως πληρωτικά υλικά.

Πιθανή αξιοποίηση των στείρων θα οδηγούσε σε:

- A) Ορθολογιστική εκμετάλλευση του μαρμαροφόρου κοιτάσματος Τρανόβαλτου (παραγωγή ογκομαρμάρων – μαρμαρόσκονης – λεπτόκοκκων υλικών ειδικών κοκκομετριών – ελαχιστοποίηση των στείρων υλικών)
- B) Προστασία της μεταβολής του τοπίου, λόγω της μη απόθεσης στείρων υλικών μεγάλων διαστάσεων και

Γ) Αύξηση των εσόδων όλων των φορέων.

Το μεγάλο μειονέκτημα, το οποίο προς το παρόν καθιστά αδύνατη τη χρήση τους για παραγωγή λεπτόκοκκων πληρωτικών, είναι η απόσταση, καθώς και η έλλειψη καλής οδικής ή σιδηροδρομικής σύνδεσης της ευρύτερης περιοχής Κοζάνης με τα κοντινότερα λιμάνια για θαλάσσια μεταφορά του υλικού. Αυτό το γεγονός, καθιστά ασύμφορη προς το παρόν τη μεταφορά του υλικού, από τις υπάρχουσες στην Ελλάδα βιομηχανίες παραγωγής λεπτόκοκκων ανθρακικών πληρωτικών. Μια δεύτερη λύση για τη χρήση των στείρων θα ήταν η εγκατάσταση μονάδας θραύσης-λειοτριβής στην περιοχή Τρανόβαλτου, λύση η οποία συναντάει επίσης εμπόδια, εξαιτίας του υψηλού κόστους της επένδυσης και της κακής οδικής και σιδηροδρομικής σύνδεσης της περιοχής.

Ευχαριστίες

Εκφράζω τις ευχαριστίες μου στην Περιφέρεια Δυτ. Μακεδονίας, η οποία χρηματοδότησε το πρόγραμμα του Παραρτήματος Ι.Γ.Μ.Ε. της Κοζάνης με τίτλο: “Μελέτη μαρμαρικού δυναμικού Δυτ. Μακεδονίας”, συντονιστής του οποίου είναι ο προϊστάμενος του κος ΗΛ. ΚΕΛΕΣΙΔΗΣ.

Επίσης, ευχαριστώ τις εταιρίες ΛΑΤΟΜΕΙΑ ΠΑΓΟΥΝΗ Α.Ε., ΒΙΟΜΑΡΜ Ο.Ε., ΛΑΤΟΜΕΙΑ ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΟΥ ΤΡΑΝΟΒΑΛΤΟΥ και ΠΕΤΡΟΧΗΜ Α.Ε. για τη συνεργασία τους στην ολοκλήρωση της μελέτης.

Βιβλιογραφία

- ΛΑΣΚΑΡΙΔΗΣ Κ. (1991). Χρήση Φυσικού CaCO_3 ως υλικού πλήρωσης και επικάλυψης. Σημασία - Χαρακτηριστικά - Συγκρίσεις - Προτάσεις. Ι.Γ.Μ.Ε., αδημ. έκθεση, σ. 51.
- ΛΑΣΚΑΡΙΔΗΣ Κ. (1992). Λεπτόκοκκα λευκά ανθρακικά σαν πληρωτικά και η Ελληνική παραγωγή. Ι.Γ.Μ.Ε., αδημ. έκθεση σ. 18.
- LASKARIDIS K. (1994). Greek white calcitic marbles - Examination and Appraisal for Industry. Industrial Minerals, 319, 53-57.
- ΛΑΣΚΑΡΙΔΗΣ Κ. (1994). Ποιοτική Αξιολόγηση των Στείρων των Λατομείων Λευκού Ασβεστιτικού Μαρμάρου της Περιοχής Τρανόβαλτου του Νομού Κοζάνης για Αξιοποίηση στη Βιομηχανία. Ημερίδα με θέμα: “ΤΟ ΜΑΡΜΑΡΟ ΚΑΙ Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΔΥΤ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ”, Κοζάνη.
- ΛΑΣΚΑΡΙΔΗΣ Κ. (1996). Ποιοτική αξιολόγηση λευκών ανθρακικών της Μακεδονίας για βιομηχανικές χρήσεις. ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ, 100, 45-54.
- ΠΑΛΑΙΟΚΩΣΤΑΣ Γ. & ΓΡΙΒΑΣ Η. (1995). Αξιολόγηση των λευκών ανθρακικών ορυκτών πρώτων υλών της μαρμαροφόρου περιοχής Τρανόβαλτου του Νομού Κοζάνης. Ι.Γ.Μ.Ε., αδημ. έκθεση.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 299-307</p>
---	---	--

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΑΠΟ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Κ. Μιχαηλίδης¹, Γ. Τρόντσιος¹

Περίληψη

Μελέτη δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας από τις κοινότητες Πετρανών και Καπνοχωρίου του νομού Κοζάνης έδειξε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των σωματιδίων της (63.6% και 76.9% κ.β. αντίστοιχα) έχει μέγεθος > 20 μm, ενώ το εισπνεύσιμο κλάσμα (< 5 μm) είναι ποσοτικά χαμηλό (14.2% και 8.2% κ.β. αντίστοιχα). Γεωχημικά βρέθηκε ότι τα ιχνοστοιχεία Ba, Cr, As, Sb, U και Zn παρουσιάζουν σχεδόν σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα συγκεντρώσεις υψηλότερες της μέσης σύστασης του φλοιού της γης. Επίσης τα στοιχεία As, Co, Sc, Th, U και Zn παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές στο εισπνεύσιμο κλάσμα της τέφρας. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι η συνεχής εκπομπή τέφρας από τους ΑΗΣ Εορδαίας προκαλεί επιβάρυνση του περιβάλλοντος σε ιχνοστοιχεία, ορισμένα από τα οποία μπορεί να είναι επιβλαβή στην ανθρώπινη υγεία.

Abstract

Fly ash samples from Petrana and Kapnohori areas, Kozani county, are studied for their morphology, grain size fractionation and geochemistry. The grain size fraction > 20 μm predominates in both areas (63.6 wt% and 76.9% wt% respectively), while the respirable-size (< 5 μm) is relatively low (14.2 wt% and 8.2 wt% respectively). Scanning electron microscopy revealed that fly ash consists of irregularly shaped, oval and spherical particles of varying sizes. Chemically, the trace elements Ba, Cr, As, Sb, U and Zn occur in concentrations higher than the respective Clarke values in all size fractions. Besides, the elements As, Co, Sc, Th, U and Zn display their higher concentrations in the respirable-size fraction. The chemistry of the studied fly ash reveals that a widespread concern exists about the possibility of serious pollution from the emission of such toxic elements during the large-scale lignite combustion in Eordea area.

Εισαγωγή

Η καύση λιγνίτη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο μεγαλύτερο λιγνιτικό κέντρο της χώρας, στην περιοχή Πτολεμαΐδας, αποτελεί μια σημαντική ανθρωπογενή δράση που έχει ως αποτέλεσμα τη διαρκή ελευθέρωση στην ατμόσφαιρα πολλών

1. Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 1. Χάρτης της περιοχής όπου βρίσκονται οι κοινότητες Πετρανών και Καρνοχωρίου (Κλίμακα 1:250000).

Figure 1. Location map of the Petra and Karnochori areas (Scale 1:250000).

χημικών στοιχείων, είτε σε αέρια μορφή, είτε συνδεδεμένων με τα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας. Μερικά από τα στοιχεία αυτά έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί πάνω από ορισμένες συγκεντρώσεις είναι δυνατό να γίνουν τοξικά για το περιβάλλον και φυσικά να δημιουργήσουν προβλήματα υγείας στους κατοίκους των γύρω περιοχών (CLARKE & SLOSS 1992, FINKELMAN 1993, 1994).

Ιδιαίτερης σημασίας είναι η γνώση της γεωχημείας των μικρού μεγέθους σωματιδίων της τέφρας, γιατί σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές (DAVISON et al. 1974, NATUSCH et al. 1974, CHADWICK et al. 1987, SMITH 1987, GERMANI & ZOLLER 1988, CLARKE 1991) σ' αυτά υπάρχει συχνά έντονη τάση συγκέντρωσης ορισμένων τοξικών χημικών στοιχείων. Αυτά είναι δυνατό με την εισπνοή των σωματιδίων της τέφρας να μπουν στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα και να φτάσουν στους πνεύμονες με σοβαρές συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία.

Προηγούμενες έρευνες στην περιοχή Πτολεμαΐδας (π.χ. ΣΙΧΛΕΤΙΔΗΣ & Συν. 1992, KASSOLI-FOURNARAKI et al. 1993, GEORGAKOPOULOS et al. 1994, 1996, GEROUKI et al. 1996) αναφέρονται στη μελέτη της μορφολογίας, του μεγέθους και της γεωχημείας της τέφρας σε δείγματα από θέσεις κοντά στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς.

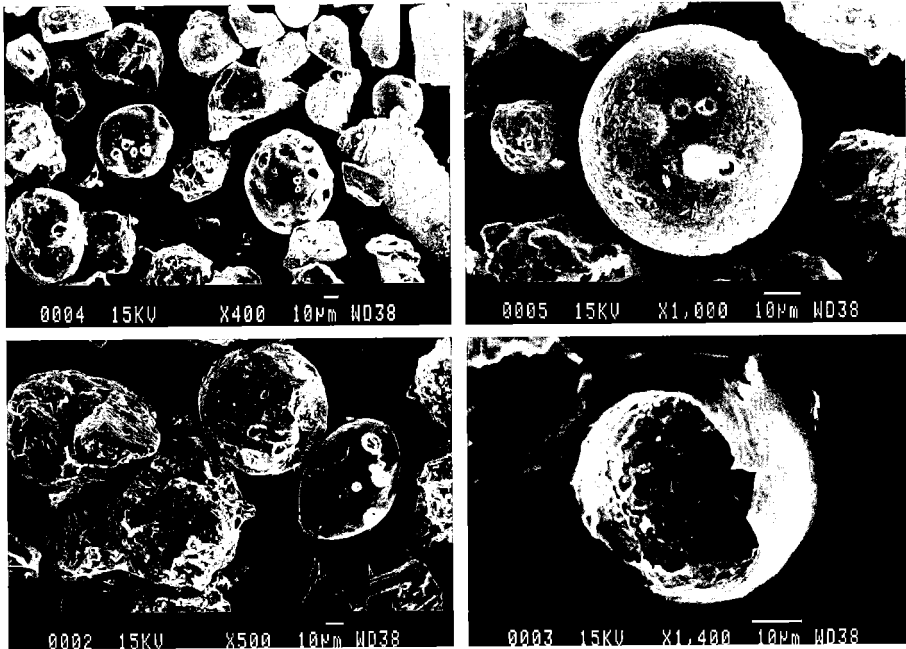
Στην εργασία αυτή μελετάται η κοκκομετρία, η μορφολογία και η γεωχημεία δειγμάτων τέφρας από τις κοινότητες Πετρανά και Καπνοχώρι Κοζάνης (Σχ. 1) που βρίσκονται μέχρι 20 χλμ. νοτιοανατολικά του λιγνιτικού κέντρου της Πτολεμαΐδας, σε μια προσπάθεια να διερευνηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και σε μεγάλες σχετικά αποστάσεις από τα κέντρα εκπομπής της ιπτάμενης τέφρας.

Δειγματοληψία και μέθοδοι έρευνας

Τα δείγματα της ιπτάμενης τέφρας συλλέχθηκαν το πρωί και για πέντε συνεχείς μέρες από δέκα διαφορετικά σημεία κάθε κοινότητας πάνω από επιφάνειες (στέγες ή παλακόνια σπιτιών) που είχαν προηγουμένως καθαριστεί. Στο συνολικό δείγμα από κάθε κοινότητα έγινε κοκκομετρική ταξινόμηση με τη χρήση κλασικών μεθόδων (κοσκίνισμα και φυγοκέντρωση) και διαχωρίστηκαν τέσσερα κλάσματα ($> 20 \mu\text{m}$, $20-10 \mu\text{m}$, $10-5 \mu\text{m}$ και $< 5 \mu\text{m}$). Στα επιμέρους κλάσματα έγιναν αναλύσεις ομάδας ιχνοστοιχείων με τη μέθοδο Instrumental neutron activation analysis (INAA) στα ACTIVATION LABS του Καναδά. Ποσότητα του ακατέργαστου υλικού χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη της μορφολογίας των σωματιδίων της τέφρας σε σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) τύπου JEOL JSM - 840 του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Αποτελέσματα - Συζήτηση

Μια γενική εικόνα του μεγέθους και της μορφολογίας των σωματιδίων της τέφρας φαίνεται στο σχήμα 2. Αυτή αποτελείται από ποικίλου μεγέθους και σχήματος ακανόνιστα σωματίδια, αλλά περιέχει και μεγάλο αριθμό χαρακτηριστικών ωο-



Σχήμα 2. Μικροφωτογραφίες από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σαρώσεως της ιπτάμενης τέφρας που μελετάται. Διακρίνονται τα χαρακτηριστικά ωοειδή και σφαιροειδή σωματίδια (κενοσφαιρίδια).

Figure 2. SEM micrographs of the studied fly ash. The characteristic oval and spherical particles (cenospheres) are discernible.

ειδών ή σφαιροειδών σωματιδίων (κενοσφαιρίδια).

Η κοκκομετρική ανάλυση έδειξε (Πίν. 1) ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των σωματιδίων της τέφρας (63.6% κ.β. για Πετρανά - 76.9% κ.β. για Καπνοχώρι) έχει μέγεθος > 20 µm. Συγκριτικά, στην κοινότητα Πετρανών είναι υψηλότερα τα ποσοστά των κλασμάτων < 20 µm σε σχέση με εκείνα της τέφρας από το Καπνοχώρι, λόγω της μεγαλύτερης απόστασης από τον πλησιέστερο ατμοηλεκτρικό σταθμό (ΑΗΣ). Το ποσοστό του εισπνεύσιμου κλάσματος (< 5 µm) (GAY & DAVIS 1987) είναι 8.2% (Καπνοχώρι) και 14.2% (Πετρανά).

Η γεωχημική μελέτη έδειξε (Πίν. 1) ότι όλα τα στοιχεία που αναλύθηκαν (εκτός από τα Rb και Cr) έχουν τιμές εντός των ορίων που τυπικά βρίσκονται στις τέφρες (KRONBERG et al. 1987). Σε σύγκριση με τα γεωχημικά δεδομένα της τέφρας από τα λιγνιτικά πεδία Πτολεμαΐδας (GEORGAKOPOULOS et al. 1994) τα στοιχεία Ba, Cr και Zn παρουσιάζονται με υψηλότερες τιμές, ενώ το Ni με χαμηλότερες. Τα στοιχεία Ba, Cr, As, Sb, U και Zn παρουσιάζουν, σχεδόν σ' όλα τα κοκ-

Πίνακας 1. Κοκκομετρική κατανομή (% κ.β.) και περιεκτικότητας ιννοστοιχείων (ppm) ιπτάμενης τέφρας από τις περιοχές Πετρανά και Καρνοχώριου.

Table 1. Grain size distribution (wt%) and concentration of trace elements (ppm) in fly ash from the Petrana and Karnohori areas.

Περιοχή	Κλάσμα Ποσοστό σε μm % κ.β.	Περιεκτικότητας σε ppm														
		Ba	Cr	Ni	As	Co	Rb	Sb	Sc	Se	Th	U	W	Zn	Mo	Hg
Πετρανά	>20	63.6	320	<20	14	10	27	1.5	5	<3	5.2	5.7	<1	252	7	<1
	20-10	14.4	590	<20	14	16	63	14	6.8	<3	7.1	6.7	<2	240	<1	<1
	10-5	7.8	520	<20	14	18	85	11	7.4	<3	7.2	6.2	<2	340	<1	<1
Καρνο- χώρι	<5	14.2	460	<20	20	23	45	11	12	<3	9.3	8.9	<2	340	<1	<1
	>20	76.9	320	110	16	11	33	1.3	5.3	<3	5.1	4.5	<1	157	4	<1
	20-10	7.8	460	<20	17	18	59	11	10	<3	9.9	7.4	<2	340	<1	<1
Καρνο- χώρι	10-5	7.1	430	<20	39	24	<15	12	13	<3	15	<1.0	<2	400	<1	<1
	<5	8.2	660	<20	52	31	45	13	19	<3	17	9.3	<2	570	<1	<1
	Ακρίβεια μέτρησης σε ppm	50	5	20	0.5	1	1.5	0.1	0.1	3	0.2	0.5	1	50	<1	1
Μέση σύσταση φλοιού ¹	425	100	75	1.8	25	90	0.2	22	0.05	8.1	2.3	1.5	70	1	0.08	
Προλεμάδα ²	404	204	160	-	20	57	-	14	-	-	-	<20	85	75	1.5	-
Τυπική συγκέντρωση σε άνθρακες ³	200	20	20	10	5	15	1	4	1	4	2	1	50	3	0.1	
Περιεκτικότητας σε τέφρα σε παγκόσμια κλίμακα ⁴	70- 6000	0.3- 150	5- 450	0.03- 800	3- 150	1.5- 20	1- 15	3- 110	0.03- 0.3	<2- 20	<2- 20	3- 6.2%	3- 200			

¹MASON & MOORE (1982),

²GEORGAKOPOULOS et al. (1994),

³CLARKE & SLOSS (1992),

⁴KRONBERG et al. (1987)

κομετρικά κλάσματα, συγκεντρώσεις υψηλότερες της μέσης σύστασης της λιθόσφαιρας (MASON & MOORE 1987).

Το Μο ανιχνεύεται μόνο στο κλάσμα > 20 μm και μάλιστα σε συγκεντρώσεις υψηλότερες της μέσης σύστασης της λιθόσφαιρας. Το Th παρουσιάζει υψηλές τιμές στα σωματίδια < 20 μm για την περιοχή Καπνοχωριού και μόνο για το κλάσμα < 5 μm για την περιοχή Πετρανών.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι τα στοιχεία As, Co, Sc, Th, Zn, U και κατά ένα βαθμό τα Ba, Cr, Sb παρουσιάζουν τάση συγκέντρωσης στα λεπτομερέστερα κλάσματα και ιδιαίτερα στο εισπνεύσιμο κλάσμα. Ο εμπλουτισμός αυτός, ιδιαίτερα σε χαλκόφιλα στοιχεία, των λεπτομερέστερων μεριδίων, αποδόθηκε σ' ένα μηχανισμό "εξαέρωσης στην καύση-συμπύκνωσης με ψύξη" πάνω στα μερίδια της τέφρας με τη μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια (CLARKE & SLOSS 1992). Τέτοιες παρατηρήσεις που έγιναν και παλαιότερα (π.χ. DAVISON et al. 1974, NATUSCH et al. 1974, CHADWICK et al. 1987), παρόλο που δεν είναι γενικά αποδεκτές, εντούτοις τονίζουν την αναγκαιότητα της γνώσης της γεωχημικής σύστασης της ιπτάμενης τέφρας στα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματά της, ώστε να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ιχνοστοιχείων μπορεί να καθορίζονται σε κάποιο βαθμό, από τη φυσική και χημική κατάσταση στην οποία βρίσκονται (MURRAY 1984). Η ποσότητα των ιχνοστοιχείων στο περιβάλλον μπορεί να είναι φυσική ή να επηρεάζεται από ανθρωπογενείς δράσεις. Μέχρι τώρα αποδείχτηκε ότι είναι δύσκολο να προσδιοριστεί ο βαθμός συμμετοχής κάθε πηγής στη δράση καθενός στοιχείου στο περιβάλλον. Σήμερα γίνεται προσπάθεια να συνεκτιμηθεί το συνολικό αποτέλεσμα από τη δράση όλων των ρυπαντών του περιβάλλοντος, παρά η δράση του καθενός στοιχείου ξεχωριστά (CLARKE & SLOSS 1992).

Πολλά από τα ιχνοστοιχεία σε περιορισμένες συγκεντρώσεις παίζουν σπουδαίο ρόλο σε διεργασίες διαφόρων βιοχημικών κύκλων των ζώντων οργανισμών. Αν αυτές διαταραχθούν με την προσθήκη αυξημένων ποσοτήτων των στοιχείων αυτών μπορεί να προκύψουν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα (CLARKE & SLOSS 1992, FINKELMAN 1993, 1994).

Η λειτουργία 14 ΑΗΣ στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου της Εορδαίας συνεπάγεται την εκπομπή στο περιβάλλον σημαντικών ποσοτήτων τέφρας (ρυθμός εκπομπής 1270 kg/h) εμπλουτισμένων σε ιχνοστοιχεία και σε χημικές ουσίες (NO_x , SO_x). Το μεγαλύτερο ποσοστό των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας που διαφεύγει από την καμινάδα ενός ΑΗΣ αποτίθεται συνήθως σε μια απόσταση μέχρι 10 χλμ. γύρω απ'αυτή, ενώ τα πολύ μικρά μερίδια μπορούν να μεταφέρονται μακρύτερα. Η απόσταση όμως μεταφοράς έχει απόλυτη σχέση με τη γεωμορφολογία της περιοχής, που με τη σειρά της καθορίζει την κίνηση των αερίων μαζών.

Στην περιοχή του λεκανοπεδίου Εορδαίας οι επικρατούντες άνεμοι, τόσο κατά τη χειμερινή, όσο και κατά τη θερινή περίοδο είναι βόρειοι-βορειοδυτικοί, κατά το τοπογραφικό ανάγλυφο του λεκανοπεδίου. Αυτό υποβοηθά τη μεταφορά των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας σε μεγάλες αποστάσεις και γι' αυτό παρατηρείται αυτή σε αυξημένη ποσότητα στις κοινότητες Πετρανών και Καπνοχωρίου. Σύμφωνα με τον FINKELMAN (1994) στοιχεία όπως τα As, Co, Cr, Sb, Mo, Pb, Se, Ni, Zn, κ.α. είναι μεταξύ των ουσιών που θεωρούνται επικίνδυνοι ρυπαντές της ατμόσφαιρας. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως τα στοιχεία Ba, Cr, As, Sb, U και Zn έχουν βρεθεί σε υψηλές συγκεντρώσεις στα δείγματα της τέφρας που μελετήθηκαν. Η έρευνα ομάδας επιστημόνων (ΣΙΧΛΕΤΙΔΗΣ & ΣΥΝ. 1992, 1993) για πιθανές συνέπειες στους κατοίκους των περιοχών της εισπνοής σωματιδίων τέφρας, έδειξε αυξημένα προβλήματα στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα με την εκδήλωση συμπτωμάτων χρόνιας ρινίτιδας, βρογχικού ερεθισμού, χρόνιας βρογχίτιδας, αλλά και οφθαλμικού ερεθισμού. Αυτά τα συμπτώματα έχουν, με βάση στατιστικά δεδομένα, σαφή συσχέτιση με την ποσότητα των σωματιδίων που εισπνέονται, αφού είναι τόσο εντονότερα, όσο πλησιέστερα προς τους ΑΗΣ βρίσκονται οι κάτοικοι. Ιδιαίτερα το στοιχείο Cr ενοχοποιείται για τα παραπάνω συμπτώματα στο αναπνευστικό σύστημα (LINDBERG & HEDENSTIERNA 1983).

Η κατάσταση σθένους του Cr (Cr^{3+} ή Cr^{6+}) είναι ιδιαίτερης σημασίας στην περιβαλλοντική του συμπεριφορά και τοξικότητα. Το Cr^{6+} είναι περισσότερο ευκίνητο και τοξικό (BIGNOLI 1989). Οι RAI & SZELMECZKA (1990) έδειξαν πειραματικά ότι στα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας το Cr βρίσκεται ως Cr^{3+} στο μεγαλύτερο ποσοστό. Εντούτοις και σε μικρά ποσοστά το Cr^{6+} μπορεί να προκαλεί ερεθισμούς και καρκίνο (FENDORF & ZASOSKI 1992). Αλλά και το As μπορεί να είναι καρκινογόνο και να προσβάλλει το περιφερειακό νευρικό σύστημα και τα αιμοφόρα αγγεία (WEC 1989).

Βιβλιογραφία

- BIGNOLI G. (1989). Health and environmental impact of chromium released from coal ash. *Journal of Coal Quality*, 8(3-4), 72-81.
- CHADWICK M.J., HIGHTON N.H., & LINDMAN N. (1987). The environmental significance of trace elements from coal combustion and conversion processes. In: *Environmental impacts of coal mining and utilisation*. National Energy Administration, Sweden. Oxford, U.K. Pergamon Press, 171-217.
- CLARKE L.B. (1991). The behaviour of trace elements during coal combustion and gasification: An overview.
- CLARKE B.L. & SLOSS L.L. (1992). Trace elements – Emissions from coal combustion and gasification. IEA Coal Research, IEA CR/49, London, 111 p.
- DAVISON R.L., NATUSCH D.F.S., WALLACE J.R., & EVANS C.A. (1974). Trace elements in fly ash: Dependence of concentration on particle size. *Environ. Sci. Te-*

chnol., 8, 1107-1113.

- FENDORF S.E. & ZASOSKI, R.J. (1992). Chromium (III) oxidation by MnO_2 . 1. Characterisation. *Environmental Science and Technology*, 26(1), 79-85.
- FINKELMAN R.B. (1993). Trace and minor elements in coal. In: ENGEL M.H. & MACKO S.A. (Eds), *Organic Geochemistry*. Plenum Press, New York, 593-607.
- FINKELMAN R.B. (1994). Modes of occurrence of potentially hazardous elements in coal: levels of confidence. *Fuel process. Technol.*, 39, 21-34.
- GAY A.J., & DAVIS P.B. (1987). Some environmental aspects of coal fly ash. In: VOLBORTH A. (Ed.), *Coal Science and Chemistry*, Elsevier, Amsterdam, 221-243.
- 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., FILIPPIDIS 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. In: ANAGNOSTOPOULOS A. (Ed.) *Third International conference on environmental pollution*. Thessaloniki September 16-20, 1996, 114-118.
- GERMANI M.S. & ZOLLER W.H. (1988). Vapour-phase concentrations of arsenic, selenium, bromine, iodine and mercury in the stack of a coal-fired power plant. *Environmental Sci. and Technol.* 22(9), 1079-1089.
- GEROUKI F., FOSCOLOS A.E. & DIMITROULA M. (1996). Environmental impact of trace elements encountered in fly ashes from power stations located in the wider area of Ptolemais basin. In: ANAGNOSTOPOULOS A. (Ed.) *Third International conference on environmental pollution*. Thessaloniki September 16-20, 1996, 214-218.
- KASSOLI-FOURNARAKI A., GEORGAKOPOULOS A., MICHAILIDIS K. & FILIPPIDIS A. (1993). Morphology, Mineralogy and chemistry of the respirable - size ($< 5 \mu\text{m}$), fly-ash fraction from the main and northern lignite fields in Ptolemais, Macedonia, Greece. In: FENOLL HACH-ALI P. TORRES-RUIZ J. & GERVILLA F. (Eds.), *Current Research in Geology Applied to Ore deposits*, 727-730.
- KRONBERG B.I., MURRAY F.H. FYFE W.S., WIDER C.G., BROWN J.R. & POWELL M. (1987). Geochemistry and Petrography of the Mattagami formation lignites (Northern Ontario). In: VOLBORTH, A. (Ed.), *Coal Science and Chemistry*, Elsevier, Amsterdam, 245-263.
- LINDBERG E. & HEDENSTIERNA G. (1983). Chrome plating. Symptoms and effects on lung function. *Arch. Environ. Health*, 38, 367-374.
- MASON B. & MOORE C.B. (1982). *Principles of Geochemistry*. John Wiley and Sons, London, p. 344.
- MURRAY F. (1984). The accumulation by plants of emissions from a coal-fired power plant. *Atmospheric Environment*, 18, 1705-1709.

- NATUSCH D.F.S., WALLACE J.R. & EVANS C.A. (1974). Toxic trace elements: Preferential concentration in respirable particles. *Science*, 183, 202-204.
- RAI, D & SZELMECZKA, R.W. (1990). Aqueous behaviour of chromium in coal fly-ash. *Journal of Environmental Quality*, 19, 378-382.
- ΣΙΧΑΕΤΙΔΗΣ Λ., ΔΑΣΚΑΛΟΠΟΥΛΟΥ Ε., ΤΣΙΟΤΣΙΟΣ Ι., ΒΑΜΒΑΛΗΣ Σ., ΧΛΩΡΟΣ Δ., ΚΟΥΠΙΔΟΥ Σ., ΜΑΥΡΙΔΗΣ Ο., ΒΛΑΧΟΓΙΑΝΝΗΣ Ε., ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ Κ. & ΖΕΡΕΦΟΣ Χ. (1992). Η επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής Εορδαίας (Συγκριτική κλινική και περιβαλλοντική μελέτη). *Ελληνική Ιατρική*, 58(3), 173-181.
- ΣΙΧΑΕΤΙΔΗΣ Λ., ΔΑΣΚΑΛΟΠΟΥΛΟΥ Ε., ΤΣΙΟΤΣΙΟΣ Ι., ΓΑΒΡΙΗΛΙΔΗΣ Α., ΧΛΩΡΟΣ Δ., ΒΑΜΒΑΛΗΣ Χ., ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ Κ., ΖΙΩΜΑΣ Ι. & ΖΕΡΕΦΟΣ Χ. (1993). Ατμοσφαιρική ρύπανση στο λεκανοπέδιο της Εορδαίας. Επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων. *Ελληνική Ιατρική*, 63, 391-400.
- SMITH I.M. (1987). Trace elements from coal combustion: emissions. IEA CR/01, London, U.K. IEA Coal Research p. 87.
- WEC (World Energy Conference) (1989). World Energy Conference Report 1989: an assessment of worldwide energy-related atmospheric pollution 2.1.-2.50.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 308-318</p>
---	---	--

ΣΥΝΘΕΣΗ ΖΕΟΛΙΘΟΥ ΑΠΟ ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ
ΤΟΥ ΑΗΣ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ
ΜΕ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ NaOH

Θ. Μουχτάρης¹, Α. Φιλιππίδης¹, Α. Κασώλη-Φουρναράκη¹, Δ. Χαριστός²

Περίληψη

Ιπτάμενη τέφρα του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου υπέστη κατεργασία με διαλύματα NaOH 0,1M και 0,5M στους 90 °C. Η διάρκεια του κάθε πειράματος ήταν 190 ώρες. Τα στερεά προϊόντα των πειραμάτων μελετήθηκαν με XRD και SEM-EDS. Η κατεργασία της ιπτάμενης τέφρας με 0,1M NaOH δεν κατέληξε στο σχηματισμό ζεολίθου. Παρόλη την υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο της αρχικής ιπτάμενης τέφρας, κατά την κατεργασία με 0,5M NaOH σχηματίστηκε ζεόλιθος τύπου GIS (gobbsinite-NaP1) σε ποσοστό της τάξης του 10-15%. Η παραγωγή ζεολίθων από Ελληνικές ιπτάμενες τέφρες προβάλλει ως πιθανή. Μια τέτοια προοπτική θα έδινε τη δυνατότητα χρήσης των Ελληνικών ιπτάμενων τερφρών σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών και βιομηχανικών εφαρμογών, με την προϋπόθεση της επίτευξης της μετατροπής της ιπτάμενης τέφρας σε ζεόλιθο σε σημαντικό ποσοστό.

Abstract

Lignite fly ash from the Agios Dimitrios power plant of the Lignite Center of Ptolemais-Amyntheon (L.C.P.-A.) was treated for 190 hours with 0.1M and 0.5M NaOH solutions at 90 °C temperature. The Agios Dimitrios fly ash used for the present experiments consists mainly of SiO₂ 38.53 wt%, CaO 23.28 wt%, Al₂O₃ 14.90 wt%, with Si/Al 2.28. It contains calcite, quartz, anhydrite and lime as main mineral phases, feldspars and melilites as secondary mineral phases and traces of micas+clays. The solid experimental products have been analyzed by means of XRD and SEM-EDS. The treatment of the fly ash with 0.1M NaOH did not produce any zeolite. Despite the high calcium content of the fly ash used, the treatment with 0.5M NaOH produced GIS type zeolite (gobbsinite-NaP1) with a 10-15% yield. The minerals anhydrite and lime were not observed in the solid products of both experiments. In the experiment where zeolite was formed the pH decreased from 13.5 to 11.3 while in that without zeolite formation the pH decreased from 12.9 to

-
1. Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 540 06 Θεσσαλονίκη. Dept. of Mineralogy-Petrology-Econ. Geology, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 540 06 Thessaloniki, Greece.
 2. Τομέας Γενικής και Ανόργανης Χημείας, Τμήμα Χημείας, Α.Π.Θ., 540 06 Θεσσαλονίκη. Dept. of General & Inorganic Chemistry, School of Chemistry, Aristotle University of Thessaloniki, 540 06 Thessaloniki, Greece.

11.9. The change in the concentration of the active OH^- between the initial NaOH solution and the final filtrate was more than 4 times greater in the experiment where zeolite was produced. This difference could be attributed to the direct action of the NaOH as a reagent in the formation of the chemically active sites leading to the zeolite synthesis, as well as to the buffering role of the synthesized zeolite on the pH of the aqueous solution. Zeolite production from Greek fly ashes emerges as possible. Such a prospect would give the opportunity of utilizing the Greek fly ashes in a wide range and scale of environmental and industrial applications, provided that the conversion of fly ash into zeolite would be achieved at a substantial rate.

Εισαγωγή

Στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ) της ΔΕΗ παράγονται ετησίως περίπου 8,5 εκατομ. τόνοι ιπτάμενης τέφρας, εκ των οποίων 6,2 εκατομ. τόνοι περίπου στους ΑΗΣ του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (ΛΚΠ-Α) και 2,3 εκατομ. τόνοι περίπου στους ΑΗΣ του Λιγνιτικού Κέντρου Μεγαλόπολης (ΛΚΜ). Από την παραγόμενη ιπτάμενη τέφρα των Ελληνικών ΑΗΣ, μόνο ένα μικρό ποσοστό (10-20%) χρησιμοποιείται στην τσιμεντοβιομηχανία και σε κατασκευές. Οι υπόλοιπες ποσότητες αποτίθενται στους χώρους απόθεσης των λιγνιτωρυχείων (ΔΕΗ 1997).

Τα τελευταία χρόνια ερευνήθηκε διεθνώς η δυνατότητα χρησιμοποίησης ιπτάμενης τέφρας για την παραγωγή ζεολίθων (HÖLLER & WIRSCHING 1985, MONDRAGON et al. 1990, SHIGEMOTO et al. 1993, LIN & HSI 1995, SINGER & BERKGAUT 1995, QUEROL et al. 1995a, b, AMRHEIN et al. 1996, QUEROL et al. 1997a, b, STEENBRUGGEN & HOLLMAN 1998). Στις εργασίες αυτές αναφέρεται η σύνθεση ζεολίθων διαφόρων τύπων από ιπτάμενη τέφρα σημαντικά διαφορετικής χημικής και ορυκτολογικής σύστασης από αυτήν του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου ιδιαίτερα σε ότι αφορά στο ποσοστό του περιεχόμενου ασβεστίου και στην παρουσία ορυκτολογικών φάσεων όπως ο ασβεστίτης, ο ανυδρίτης και το ελεύθερο οξείδιο του ασβεστίου (lime).

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της δυνατότητας σύνθεσης ζεολίθου από ιπτάμενη τέφρα του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε χημικά ήπιες συνθήκες (θερμοκρασία 90°C και διαλύματα NaOH 0,1M και 0,5M).

Πειραματική διαδικασία και μέθοδοι έρευνας

Ως αρχικό υλικό των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε ιπτάμενη τέφρα του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου. Ποσότητα 2 g της ιπτάμενης τέφρας τοποθετήθηκε σε κατάλληλη φιάλη, κατόπιν προστέθηκαν 25 ml διαλύματος NaOH και το μίγμα υποβλήθηκε σε κατεργασία με συνεχή περιστροφική ανάδευση (διάταξη μηχανικής περιστροφής Heidolph Typ VV1). Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία 90°C . Για τη διατήρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε θερμοστατούμενη διάταξη ελαιόλουτρου ρυθμισμένη στους $90 \pm 2^\circ\text{C}$ (λουτρό ορυκτελαίου Normschliff Gerä-

tebau Wertheim, type 4.912071). Η διάρκεια του κάθε πειράματος ήταν 190 ώρες. Μετά την κατεργασία το στερεό προϊόν διαχωρίστηκε με διήθηση σε χωνευτήριο Gooch G4, πλύθηκε ελαφρά με απεσταγμένο νερό και ξηράνθηκε στον αέρα μέχρι σταθερού βάρους. Μετρήθηκε το pH τόσο του αρχικού διαλύματος NaOH που χρησιμοποιήθηκε, όσο και του τελικού διηθήματος το οποίο προέκυψε. Χρησιμοποιήθηκε πεχάμετρο Metrohm 691 βαθμονομημένο με τα ρυθμιστικά διαλύματα (buffers) 4/7/9 της Metrohm.

Η ορυκτολογική σύσταση της αρχικής ιπτάμενης τέφρας και των στερεών προϊόντων των πειραμάτων προσδιορίστηκε με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο Philips με γωνιόμετρο PW 1820/00 και ελεγκτή (controller) τύπου PW 1710/00, ακτινοβολία CuKα και φίλτρο Ni. Η ταχύτητα σάρωσης ήταν 1,2°/min στο διάστημα 2θ 3-83°. Ο χαρακτηρισμός των ορυκτολογικών φάσεων ως κύριες, δευτερεύουσες και ίχνη έγινε με βάση τις αριθμημίες (counts) συγκεκριμένων ανακλάσεων, την πυκνότητα και το συντελεστή απορρόφησης μάζας (Mass Absorption Coefficient CuKα) των φάσεων που ταυτοποιήθηκαν.

Η χημική σύσταση της αρχικής ιπτάμενης τέφρας προσδιορίστηκε με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης (AAS). Χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο Perkin Elmer 5000.

Τα στερεά προϊόντα των πειραμάτων μελετήθηκαν με σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM), τύπου JEOL 840 με σύστημα ανάλυσης (EDS) τύπου ISIS 300 OXFORD.

Αποτελέσματα

Η ιπτάμενη τέφρα που χρησιμοποιήθηκε περιέχει κυρίως CaO, SiO₂ και Al₂O₃, με λόγο Si/Al 2,28 (Πίν. 1). Αποτελείται ορυκτολογικά από ασβεστίτη, χαλαζία, ανυδρίτη και ελεύθερο CaO (lime) ως κύριες φάσεις, άστριους και μελιλιθους ως δευτερεύουσες καθώς επίσης και μαρμαρυγίες+αργιλικά ορυκτά σε ίχνη (Πίν. 2). Υπάρχει επίσης ένδειξη από τη διακύμανση του υποβάθρου των ακτινογραμμά-

Πίνακας 1. Χημική σύσταση της αρχικής ιπτάμενης τέφρας Αγίου Δημητρίου
Table 1. Chemical composition of the initial Agios Dimitrios fly ash

SiO ₂ wt%	38,53	Na ₂ O	0,84
TiO ₂	0,25	K ₂ O	1,13
Al ₂ O ₃	14,90	P ₂ O ₅	0,35
Fe ₂ O ₃	5,95	SO ₃	4,12
MnO	0,18	Απώλεια Πύρωσης	6,03
MgO	4,76	Σύνολο	100,32
CaO	23,28	Si/Al	2,28

Πίνακας 2. Βάρος, pH, συγκέντρωση ενεργών OH^- και ορυκτολογική σύσταση της αρχικής ιπτάμενης τέφρας Αγίου Δημητρίου και των στερεών προϊόντων των πειραμάτων

Table 2. Weight, pH, concentration of the active OH^- and mineralogical composition of the initial Agios Dimitrios fly ash and of the solid products of the experiments

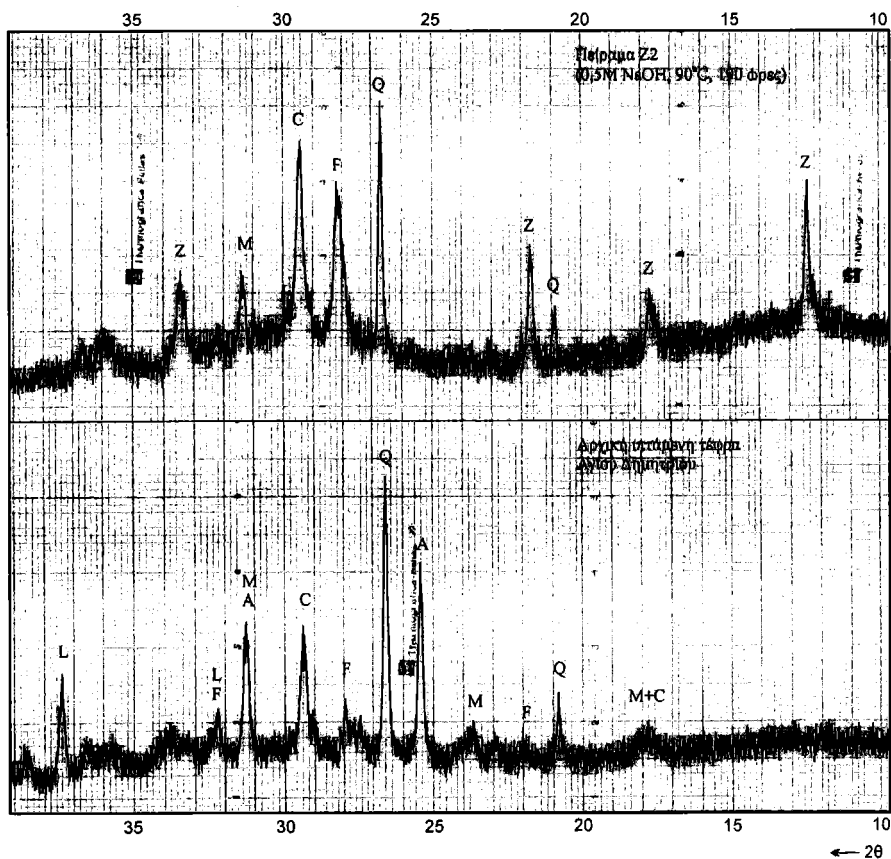
	Ιπτάμενη τέφρα Αγίου Δημητρίου (Ως έχει)	Πείραμα Z1 (90°C, NaOH 0,1M, 190 ώρες)	Πείραμα Z2 (90°C, NaOH 0,5M, 190 ώρες)
Βάρος αρχ. ιπτάμ. τέφρας (g)		2,00	2,00
Βάρος στερ. προϊόντ. πειράμ. (g)		2,03	2,94
pH αρχικού διαλύματος		12,90	13,52
pH διηθήματος		11,85	11,28
$[\text{OH}^-]$ αρχικ. διαλύματος (M)		0,079	0,331
$[\text{OH}^-]$ διηθήματος (M)		0,007	0,002
Ασβεσίτης	K	K	K
Χαλαζία	K	K	K
Ανυδρίτης	K	-	-
Lime (Ελεύθερο CaO)	K	-	-
Άστριοι	δ	δ	δ
Μελίλιθοι	δ	δ	δ
Ζεόλιθος	-	-	δ
Μαρμαρυγίες+αργιλικά ορυκτά	ίχνη	ίχνη	-

K: κύρια φάση, δ: δευτερεύουσα φάση, -: δεν ανιχνεύθηκε.

των σε χαμηλές τιμές 2θ, συμμετοχής άμορφου υλικού στην ιπτάμενη τέφρα (ΜΟΥΧΤΑΡΗΣ 1999).

Οι ορυκτολογικές και χημικές διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται μεταξύ διαφόρων δημοσιεύσεων για την ιπτάμενη τέφρα των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α (π.χ. ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ κ.ά. 1991, FILIPPIDIS & GEORGAKOPOULOS 1992, FILIPPIDIS et al. 1992, GEORGAKOPOULOS et al. 1992, ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ κ.ά. 1992, KASSOLI-FOURNARAKI et al. 1992, KASSOLI-FOURNARAKI et al. 1993, GEORGAKOPOULOS et al. 1994, FILIPPIDIS et al. 1996a, FILIPPIDIS et al. 1997, ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ κ.ά. 1997, ΜΠΟΥΣΙΟΣ & ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ 1997, ΜΟΥΧΤΑΡΗΣ 1999, ΜΟΥΧΤΑΡΗΣ κ.ά. 1999), μπορούν κυρίως να αποδοθούν στη διαφορετική σύσταση του καύσιμου υλικού.

Στα στερεά προϊόντα των πειραμάτων δεν ανιχνεύθηκαν τα ορυκτά ανυδρίτης και lime. Το στερεό προϊόν και των δύο πειραμάτων περιέχει ασβεσίτη και χαλαζία ως κύριες φάσεις, ενώ οι άστριοι και οι μελίλιθοι συμμετέχουν ως δευτερεύουσες φάσεις. Οι μαρμαρυγίες+αργιλικά ορυκτά δεν ανιχνεύθηκαν στο πείραμα Z2 όπου παρήχθη ζεόλιθος (Πίν. 2, Σχ. 1).



Υπόμνημα

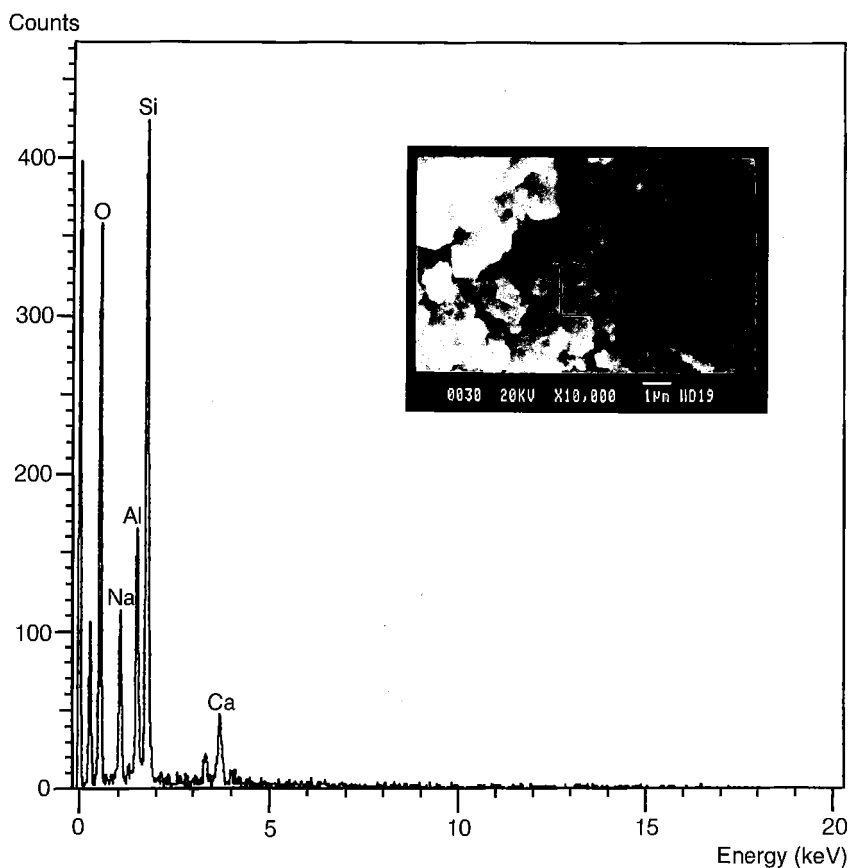
C: Ασβεστίτης, Q: Χαλαζίας, A: Ανυδρίτης, L: Lime, M: Μελιλιθοί,
F: Αστριόι, Z: Ζεόλιθος, M+C: Μαρμαρυγίες+αργιλικά ορυκτά

Σχήμα 1. Διαγράμματα XRD της αρχικής ιπτάμενης τέφρας Αγίου Δημητρίου και του στερεού προϊόντος του πειράματος Z2.

Figure 1. XRD patterns of the initial Agios Dimitrios fly ash and of the soil product of the experiment Z2.

Ο ζεόλιθος δεν ανιχνεύθηκε στο πείραμα Z1 που πραγματοποιήθηκε με τη χρήση διαλύματος NaOH 0,1M, ενώ ανιχνεύθηκε στο πείραμα Z2 στο οποίο χρησιμοποιήθηκε διάλυμα NaOH 0,5M (Πίν. 2, Σχήμα 1, Σχ. 2).

Ο ζεόλιθος ταυτοποιήθηκε με βάση τη μέθοδο XRD ως GIS type (gobbinsite- $\text{Na}_4\text{CaAl}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, NaP1- $\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$). Ο χαρακτηρισμός των ζεολιθικών τύπων έγινε σύμφωνα με τους Meier and Olson (1992). Η ποσότητα του ζεολίθου που σχηματίστηκε υπολογίστηκε ημιοποστικά και βρέθηκε να είναι



*Σχήμα 2. Φωτογραφία SEM και διάγραμμα ενέργειας EDS κρυστάλλου ζεολίθου (πείραμα Z2).
Figure 2. SEM photograph and EDS diagram of zeolite crystal (experiment Z2).*

της τάξης του 10-15%.

Το στερεό προϊόν του πειράματος Z2 παρουσίασε θεαματική διαφορά βάρους σε σχέση με το βάρος της αρχικής τέφρας που χρησιμοποιήθηκε (Πίν. 2). Ακόμη στο πείραμα Z2 παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του pH μεταξύ του αρχικού διαλύματος και του διηθήματος (Πίν. 2), ενώ στο πείραμα Z1 το pH μεταβλήθηκε πολύ λιγότερο.

Συζήτηση και συμπεράσματα

Ο σχηματισμός του ζεολίθου (GIS type) διαπιστώθηκε στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε με επίδραση διαλύματος NaOH 0,5M. Το ποσοστό παραγωγής του, το

οποίο υπολογίσθηκε ημιποσοτικά, ήταν της τάξης του 10-15%. Η απουσία του ανυδρίτη και του ελεύθερου οξειδίου του ασβεστίου (lime) στα στερεά προϊόντα των πειραμάτων αποδίδεται στο ότι τα συστατικά αυτά κατά την κατεργασία υφίστανται χημικές μεταβολές.

Αξιοσημείωτο είναι ότι στο πείραμα στο οποίο σχηματίσθηκε ζεόλιθος παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του pH μεταξύ του αρχικού διαλύματος και του διηθήματος (από ~13,5 σε ~11,3), ενώ στο πείραμα που δε σχηματίσθηκε ζεόλιθος το pH μεταβλήθηκε πολύ λιγότερο (από ~12,9 σε ~11,9).

Μετά από υπολογισμό της μεταβολής της συγκέντρωσης των ενεργών OH- μεταξύ του αρχικού διαλύματος NaOH και του τελικού διηθήματος, συμπεραίνουμε ότι στο πείραμα του σχηματισμού του ζεολίθου, η μεταβολή της συγκέντρωσης των ενεργών OH⁻ ήταν περισσότερο από 4 φορές μεγαλύτερη απ' ότι στο πείραμα στο οποίο δε σχηματίσθηκε ζεόλιθος. Αυτή η διαφορά αποδίδεται τόσο στην απευθείας δράση του NaOH ως αντιδραστηρίου για το σχηματισμό των χημικά ενεργών θέσεων με αποτέλεσμα τη σύνθεση του ζεολίθου όσο και στο ρυθμιστικό ρόλο του σχηματισθέντος ζεολίθου στο pH διαλυμάτων (FILIPPIDIS et al. 1996b, CHARISTOS et al 1997).

Ακόμη η σημαντική διαφορά βάρους του στερεού προϊόντος του πειράματος Z2 σε σχέση με την αρχική ιπτάμενη τέφρα μπορεί να αποδοθεί κυρίως στη δημιουργία της νέας ορυκτολογικής φάσεως (ζεόλιθος).

Σύνθεση ζεολίθου γενικά επιτυγχάνεται κατά την επίδραση διαλύματος NaOH σε αργιλοπυριτικά υλικά άμορφα ή κρυσταλλικά (BRECK 1974, CATALFAMO et al. 1993). Επομένως η παρουσία τέτοιων συστατικών στην ιπτάμενη τέφρα την καθιστά πιθανή πρώτη ύλη για σύνθεση ζεολίθου. Η δράση του NaOH αποδίδεται κυρίως στην ενεργοποίηση των κέντρων αντίδρασης των αργιλοπυριτικών υλικών, μέσω των οποίων πραγματοποιείται η σύνθεση του ζεολίθου. Η επίδραση του NaOH στα αργιλοπυριτικά υλικά ενοείται από την παρουσία του ατόμου του Al ως δομικού συστατικού το οποίο προκαλεί διαφοροποιήσεις στην κατανομή του ηλεκτρονικού φορτίου μεταξύ δεσμών Al-O και Si-O με συνέπεια την ισχυρότερη πόλωση χημικών δεσμών (STUMM & WOLLAST 1990) και την ενίσχυση των χημικά ενεργών κέντρων (κέντρα θετικού και αρνητικού φορτίου) στο πλέγμα. Οι δημιουργούμενες τερματικές (terminal) ομάδες όπως Si-OH , Si-ONa , Si-O^- , $(\text{Si-O})_3\text{Al-O}^-$ (RAGNARSDOTTIR 1993, DOVE & ELSTON 1992, CHARISTOS et al. 1997) με την επίδραση του NaOH, παρέχουν πιο σύνθετα από απόψεως δομής προϊόντα τα οποία πιθανώς καταλήγουν στο σχηματισμό του ζεολίθου.

Η σύνθεση gobbinsite από ιπτάμενη τέφρα καύσης ανθράκων δεν έχει αναφερθεί από άλλους ερευνητές. Σύνθεση ζεολίθου NaP1 αναφέρεται συχνά στη βιβλιογραφία (QUEROL et al. 1995a, b, AMRHEIN et al. 1996, QUEROL et al. 1997a, b, STEENBRUGGEN & HOLLMAN 1998) ενώ αναφέρεται και σύνθεση παραπλήσιων του NaP1 ή και διαφορετικών τύπων ζεολίθων (HÖLLER & WIR-

SCHING 1985, MONDRAGON et al. 1990, SHIGEMOTO et al. 1993, LIN & HSI 1995, SINGER & BERKGAUT 1995). Να σημειωθεί ότι απ' όλους τους παραπάνω ερευνητές χρησιμοποιήθηκαν ιπτάμενες τέφρες σημαντικά διαφορετικής χημικής και ορυκτολογικής σύστασης από αυτήν του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και γενικότερα των ιπτάμενων τεφρών του ΛΚΠ-Α. Συχνά μάλιστα τα δείγματά τους υπέστησαν κατεργασία κάτω από σημαντικά διαφορετικές συνθήκες, δηλαδή με χρησιμοποίηση διαφορετικών αντιδραστηρίων, υψηλών θερμοκρασιών, με την τήρηση ειδικών προϋποθέσεων προανάμιξης ή σύντηξης με άλλα υλικά, ή ακόμη σε μία περίπτωση (QUEROL et al. 1997a) με χρήση εξειδικευμένων διατάξεων (μικροκύματα).

Μολονότι έχει υποστηριχθεί (CATALFAMO et al. 1994, CATALFAMO et al. 1997) ότι σε ιπτάμενες τέφρες με αυξημένη περιεκτικότητα σε ασβέστιο παρεμποδίζεται η σύνθεση ζεολίθου, στη δική μας έρευνα και παρ' όλες τις ήπιες χημικά συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν, είχαμε παραγωγή ζεολίθου έστω και σε μικρό ποσοστό. Σε προηγούμενες εργασίες μας (ΜΟΥΧΤΑΡΗΣ κ. ά. 1999, ΜΟΥΧΤΑΡΗΣ 1999) είχε διερευνηθεί και η δυνατότητα σύνθεσης ζεολίθου από ιπτάμενη τέφρα του ΑΗΣ Αμυνταίου-Φιλώτα. Τα αποτελέσματα των εργασιών αυτών είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας. Ο στόχος όσον αφορά στην παραγωγή ζεολίθου από Ελληνική ιπτάμενη τέφρα φαίνεται να προβάλει ως εφικτός. Μια τέτοια προοπτική θα έδινε τη δυνατότητα χρήσης των Ελληνικών ιπτάμενων τεφρών σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών και βιομηχανικών εφαρμογών, με την προϋπόθεση της επίτευξης της μετατροπής της ιπτάμενης τέφρας σε ζεόλιθο σε σημαντικό ποσοστό.

Ενδιαφέρον θα ήταν ακόμη να επισημάνουμε ότι οι ιπτάμενες τέφρες του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου και γενικότερα του ΛΚΠ-Α με την υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο και ασβεσίτη, ίσως και με μικρής μόνο κλίμακας ζεολιθοποίηση να μπορούν να αποτελέσουν ένα περισσότερο αποδεκτό περιβαλλοντικά υλικό για απόθεση ή για χρήση ως εδαφοβελτιωτικού υλικού.

Βιβλιογραφία

- AMRHEIN C., HAGHIA G.H., KIM T.S., MOSHER P.A., GAGAJENA R.C., AMANIOS T. & TORRE DE LA L. (1996): Synthesis and Properties of Zeolites from Coal Fly Ash. *Environ. Sci. Technol.*, 30(3), 735-742.
- BRECK D.W. (1974): *Zeolite Molecular Sieves*. J. Wiley, New York, p. 313.
- CATALFAMO P., CORIGLIANO F., PRIMERANO P. & DI PASQUALE S. (1993): Study of the pre-crystallization stage of hydrothermally treated amorphous aluminosilicates through the composition of the aqueous phase. *J. Chem. Soc. Faraday Trans.*, 89(1), 171-175.
- CATALFAMO P., DI PASQUALE S., CORIGLIANO F. & MAVILIA L. (1997): Influence of the calcium content on the coal fly ash features in some innovative applica-

- tions. Resources, Conservation and Recycling, 20, 119-125.
- CATALFAMO P., PATANE G., PRIMERANO P., DI PASQUALE S. & CORIGLIANO F. (1994): The presence of calcium in the hydrothermal conversion of amorphous aluminosilicates into zeolite: Interference and removal. *Mat. Eng.*, 5(2), 159-173.
- CHARISTOS D., GODELITSAS A., TSIPI S. C., SOFONIOU M., DWYER J., MANOS G., FILIPPIDIS A. & TRIANTAFYLLIDIS C. (1997): Interaction of natrolite and thomsonite intergrowths with aqueous solutions of different initial pH values at 25 °C in the presence of KCl: Reaction mechanisms. *Applied Geochemistry*, 12, 693-703.
- ΔΕΗ (1997): Στοιχεία για τη διαχείριση της τέφρας και της ιλύος των λιγνιτικών ΑΗΣ της ΔΕΗ. Εσωτ. έκθεση, ΔΕΗ, Αθήνα, σ. 63.
- DOVE P.M. & ELSTON S.F. (1992): Dissolution kinetics of quartz in sodium chloride solutions: Analysis of existing data and a rate model for 25 °C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56, 4147-4156.
- 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.
- ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α., ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α. & ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α. (1991): Ορυκτολογική μελέτη υπάμενης τέφρας Βόρειου και Κύριου πεδίου λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας. 1ο Επιστημ. Συνέδριο Γεωεπιστήμες και Περιβάλλον, Πάτρα (15-18 Απρ.), περιλ., σ. 137.
- 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 Mineral.*, 1, 295-300.
- FILIPPIDIS A., GEORGAKOPOULOS A. & KASSOLI-FOURNARAKI A. (1996a): Mineralogical components of some thermally decomposed lignite and lignite ash from the Ptolemais basin, Greece. *Int. J. Coal Geol.*, 30, 303-314.
- FILIPPIDIS A., GEORGAKOPOULOS A., KASSOLI-FOURNARAKI A., BLONDIN J. & FERNÁNDEZ-TURIEL J.L. (1997): The sulphocalcic coal fly ashes of Ptolemais (Macedonia, Greece) and Gardanne (Provence, France). *European Sem. Coal Fly Ash (Marseilles, April 18)*, Proc., 149-158.
- FILIPPIDIS A., GODELITSAS A., CHARISTOS D., MISAELEIDES P. & KASSOLI-FOURNARAKI A. (1996b): The chemical behavior of natural zeolites in aqueous environments: Interactions between low-silica zeolites and 1M NaCl solutions of different initial pH-values. *Applied Clay Sci.*, 11, 199-209.
- ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α., ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α. & ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α. (1997): Ορυκτολογία, κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία υπάμενων τεφρών των ΑΗΣ του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου. Δημερίδα: Χρήση της Υπάμενης Τέφρας στις Κατασκευές (Κοζάνη, 3-4 Οκτ.), Πρακτ., τομ. Β, 159-168.

- ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α., ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α. & ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α. (1992): Ορυκτολογία, χημεία και μορφολογία τέφρας από εργαστηριακή καύση σε 1000 °C και ιπτάμενης τέφρας του λιγνίτη Πτολεμαΐδας - Αξιοποίηση και περιβάλλον. Διημερίδα: Λιγνίτης & Ενεργειακό Ισοζύγιο. Κοζάνη (2-3 Οκτ.), σ. 12.
- 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 Mineral., 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(11), 1802-1804.
- HÖLLER H. AND WIRSCHING U. (1985): Zeolite formation from fly ash. Fortschr. Miner., 63(1), 21-43.
- KASSOLI-FOURNARAKI A., GEORGAKOPOULOS A. & FILIPPIDIS A. (1992): Heating experiments of the Ptolemais lignite in the temperature range from 100 °C to 500 °C. N. Jb. Miner. Mh., 11, 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: Current Res. Geology Applied to Ore Deposits (Fernoll Hach-Ali, Torres-Ruiz & Gervilla, Eds), La Guioconda, Granada, 727-730.
- LIN C.F. & HSI H.C. (1995): Resource Recovery of Waste Fly Ash: Synthesis of Zeolite-like Materials. Environ. Sci. Technol., 29(4), 1109-1117.
- MEIER W.M. & OLSON D.H. (1992): Atlas of zeolite structure types. Butterworth-Heinemann, London p. 200.
- MONDRAGON F., RINCON F., SIERRA L., ESCOBAR J., RAMIREZ J. & FERNANDEZ J. (1990): New perspectives for coal ash utilization: synthesis of zeolitic materials. Fuel, 69, 263-266.
- ΜΟΥΧΤΑΡΗΣ Θ. (1999): Μετατροπή της Ιπτάμενης Τέφρας του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου σε Ζεολίθο με την Επίδραση Διαλυμάτων NaOH. Διατριβή Μ.Δ.Ε., Π.Μ.Σ. Τμήμ. Γεωλογ., Α.Π.Θ., σ. 47.
- ΜΟΥΧΤΑΡΗΣ Θ., ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α., ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α. & ΧΑΡΙΣΤΟΣ Δ. (1999): Σύνθεση Ζεολίθου από Ιπτάμενη Τέφρα του ΑΗΣ Αμυνταίου Φιλώτα με επίδραση NaOH 0,5M. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., XXXIII, 69-74.
- ΜΠΟΥΣΙΟΣ Α.Δ. & ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ Ν.Κ. (1997): Παρουσίαση του έργου της Ομάδας Εργασίας για τη σύνταξη προδιαγραφών στο σκυρόδεμα-Ποιοτικές Διαβαθμίσεις (στις χημικές αναλύσεις) των Ι.Τ. των ΑΗΣ της περιοχής Πτολεμαΐδος. Διημερίδα: Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές (Κοζάνη, 3-4 Οκτ.), Πρακτ., τομ. Α, 5-21.
- QUEROL X., ALASTUEY A., FERNÁNDEZ-TURIEL J.L. & LÓPEZ-SOLER A.

- (1995a): Synthesis of Zeolites by alkaline activation of ferro-aluminous fly ash. *Fuel*, 74(8), 1226-1231.
- QUEROL X., ALASTUEY A., LÓPEZ-SOLER A. & PLANA F. (1997a): A Fast Method for Recycling Fly Ash: Microwave-Assisted Zeolite Synthesis. *Environ. Sci. Technol.*, 31, 2527-2533.
- QUEROL X., PLANA F., ALASTUEY A., FERNÁNDEZ-TURIEL J.L. & LÓPEZ-SOLER A. (1995b): Synthesis of industrial minerals from fly ash. In: *Coal Science* (Pajares & Tascon, Eds) Elsevier, *Coal Science and Technology*, 24, 1979-1982.
- QUEROL X., PLANA F., ALASTUEY A. & LÓPEZ-SOLER A. (1997b): Synthesis of Na-zeolites from fly ash. *Fuel*, 76(8), 793-799.
- RAGNARSDOTTIR K.V. (1993): Dissolution kinetics of heulandite at pH 2-12 and 25°C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57, 2439-2449.
- SHIGEMOTO N., HAYASHI H. & MIYAURA K. (1993): Selective formation of Na-X zeolite from coal fly ash by fusion with sodium hydroxide prior to hydrothermal reaction. *J. Materials Sci.*, 29, 4781-4786.
- SINGER A. & BERKGAUT V. (1995): Cation Exchange Properties of Hydrothermally Treated Coal Fly Ash. *Environ. Sci. Technol.*, 29(7), 1748-1753.
- STEENBRUGGEN G. & HOLLMAN G.G. (1998): The synthesis of zeolites from fly ash and the properties of the zeolite products. *J. Geochem. Explor.*, 62, 305-309.
- STUMM W. & WOLLAST R. (1990): Coordination chemistry of weathering: Kinetics of the surface-controlled dissolution of oxide minerals. *Rev. Geophys.* 28, 53-69.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ
ΤΗΣ Δ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Δ. Ναλμπάντη¹, Μ. Λεοντίδης², Κ. Λιάκουρα³

Περίληψη

Η στατιστική επεξεργασία των κυριότερων ποιοτικών χαρακτηριστικών d (cm), Awf (%), W (%), Hu (kcal/kg) του γεωλογικού λιγνίτη της Δ. Μακεδονίας-Θεσσαλίας, στόχο έχει την καλύτερη γνώση της ταυτότητας του λιγνίτη *-in situ-* της περιοχής. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας αυτής θα βοηθήσουν στην κατεύθυνση της αποδοτικότερης εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων της περιοχής, καθώς και της βελτιστοποίησης της απόδοσης των ενεργειακών μονάδων (σταθερότερη ποιότητα τροφοδοτούμενου καυσίμου στη διάρκεια του χρόνου, μείωση κόστους λειτουργίας των μονάδων, ικανοποίηση των περιβαλλοντικών απαιτήσεων).

Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων προέκυψαν τα εξής:

- Το μέσο Πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων d (cm) είναι ανεξάρτητο του τύπου των κοιτασμάτων.
- Τα “γαιώδους” τύπου ή “matrix” κοιτάσματα Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου έχουν σε γενικές γραμμές χαμηλή μέση Τέφρα επί ξηρού Awf (%), υψηλή μέση Υγρασία W (%) και χαμηλή μέση Κ.Θ.Ι. Hu (kcal/kg), ενώ παράλληλα η διασπορά των τιμών της κάθε παραμέτρου εμφανίζεται μικρή. Αντίθετα, τα “ξύλιτικού” τύπου κοιτάσματα Φλώρινας, Ελασσόνας παρουσιάζουν υψηλή μέση Τέφρα επί ξηρού Awf (%), χαμηλή μέση Υγρασία W (%) και υψηλή μέση Κ.Θ.Ι. Hu (kcal/kg), ενώ η διασπορά των τιμών της κάθε παραμέτρου παρουσιάζεται μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη των “matrix” κοιτασμάτων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι τα “ξύλιτικού” τύπου κοιτάσματα, που παρουσιάζουν μεγάλο θερμιδικό περιεχόμενο αλλά ταυτόχρονα και μεγάλη διακύμανση στην ποιότητά τους, απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή τόσο κατά την εκμετάλλευσή τους όσο και κατά την τροφοδοσία των σταθμών.

1. Μηχανικός Μεταλλείων-Μεταλλουργός, ΔΕΗ/ΔΑΟ, Κηφισού και Δυρραχίου, 104 43, ΑΘΗΝΑ.
2. Δρ. Μηχανικός Μεταλλείων-Μεταλλουργός, ΔΕΗ/ΔΑΟ, Κηφισού και Δυρραχίου, 104 43, ΑΘΗΝΑ.
3. Μηχανικός Μεταλλείων-Μεταλλουργός, ΔΕΗ/ΔΑΟ, Κηφισού και Δυρραχίου, 104 43, ΑΘΗΝΑ.

Abstract

The statistical analysis and processing of the main quality characteristics d (cm), A_{wf} (%), W (%), H_u (kcal/kg), aims to determine the quality identity of geological lignite in W. Macedonia-Thessalia. These processing results will help to the optimal utilization of lignite deposits and the efficient operation of thermal power plants (stable quality in the fed lignite, decrease in operational cost of thermal power plants, facing the environmental issues).

The evaluation of the results gives the following conclusions:

- The mean thickness of the lignite layers d (cm) is not related to the deposit type ("matrix" or "xylite").

Generally, the "matrix" deposits of Ptolemais, Amynteon appear to have low mean Ash (water-free) values A_{wf} (%), high mean Moisture values W (%) and low mean Lower Calorific Values H_u (kcal/kg). Also, the standard deviation of each quality characteristic is low. On the contrary, the "xylite" deposits of Florina, Ellassona appear to have high mean Ash (water-free) values A_{wf} (%), low mean Moisture values W (%) and high mean Lower Calorific Values H_u (kcal/kg). Also, the standard deviation of each quality characteristic is higher than the corresponding to the "matrix" deposits.

According to the above mentioned conclusions the «xylite» deposits which present higher quality fluctuation require a particular attention in their exploitation and in the thermal power plants feeding.

Εισαγωγή

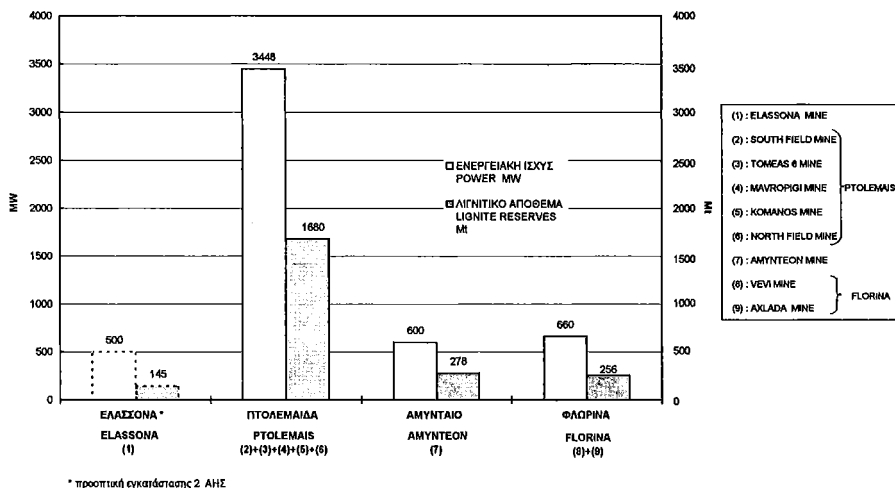
"Γεωλογικός λιγνίτης" θεωρείται ο λιγνίτης όπως αυτός προσδιορίζεται από τα δείγματα των γεωτρήσεων –λιγνίτης in situ– σε αντίθεση με το "λιγνίτη τροφοδοσίας" ο οποίος είναι το προϊόν της εξόρυξης που τροφοδοτεί, στην συνέχεια, τους σταθμούς.

Στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας-Θεσσαλίας εντοπίζονται τα μεγαλύτερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη της χώρας (Σχ. 1), τα οποία από Βορρά προς Νότο είναι (Σχ. 2):

- α) Λιγνιτικά κοιτάσματα Φλώρινας με εκμεταλλεύσιμο απόθεμα από 1.1.99:256 × 10⁶ t.
- β) Λιγνιτικό κοιτάσμα Αμυνταίου με εκμεταλλεύσιμο απόθεμα από 1.1.99:278 × 10⁶ t.
- γ) Λιγνιτικά κοιτάσματα Πτολεμαΐδας με εκμεταλλεύσιμο απόθεμα από 1.1.99: 1680 × 10⁶ t.
- δ) Λιγνιτικό κοιτάσμα Ελασσόνας με εκμεταλλεύσιμο απόθεμα: 145 × 10⁶ t.

Τα παραπάνω λιγνιτικά αποθέματα προβλέπεται να τροφοδοτούν με λιγνίτη τις ενεργειακές μονάδες της περιοχής για τα επόμενα 50 χρόνια.

Οι εγκατεστημένες ενεργειακές μονάδες που τροφοδοτούνται με λιγνίτη από το Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου είναι (KAVOURIDIS C. & PAV-LOUDAKIS F. 1999):



Σχήμα 2. Διάγραμμα ενεργειακής ισχύος (MW) - Εκμεταλλεύσιμοι λιγνιτικού αποθέματος (Mt) από 1.1.99.

Figure 2. Chart of power (MW) - Exploitable lignite reserves (Mt) from 1.1.99.

ΑΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ	: 620 MW	} 3448 MW
ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ	: 1200 MW	
ΑΗΣ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	: 1585 MW	
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ	: 43 MW	
ΑΗΣ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	: 600 MW	

Υπό κατασκευή βρίσκεται μία μονάδα 330 MW στην περιοχή της Φλώρινας, η οποία προβλέπεται να λειτουργήσει το 2002 (πιθανή η μελλοντική εγκατάσταση και 2ης μονάδας 330 MW), ενώ μελετάται η δυνατότητα εγκατάστασης, στο μέλλον, 2 μονάδων (συνολικά 500 MW) στην περιοχή της Ελασσόνας, γεγονός που έδωσε αφορμή να συμπεριληφθεί το κοίτασμα της Ελασσόνας στην εν λόγω εργασία (Σχ. 2).

Ο γεωλογικός λιγνίτης –in situ– ως γνωστόν, αφού εξορυχθεί, μεταφέρεται και τροφοδοτεί τον εκάστοτε ΑΗΣ (λιγνίτης τροφοδοσίας) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Για την αποδοτική λειτουργία των σταθμών και για την αποδοτικότερη επίσης, εκμετάλλευση του λιγνιτικού αποθέματος της περιοχής, είναι απαραίτητος ο ποιοτικός έλεγχος του εξορυσσόμενου λιγνίτη, καθώς και η συνεχής καταγραφή της διακύμανσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να γίνονται στη συνέχεια οι απαραίτητες ενέργειες (ανάμιξη, ομογενοποίηση κ.α.), ώστε τελικά το τροφοδοτούμενο καύσιμο να έχει όσο το δυνατόν σταθερότερη

ποιότητα στη διάρκεια του χρόνου κυμαινόμενη εντός των επιτρεπτών ορίων λειτουργίας των σταθμών.

Η απαίτηση αυτή γίνεται στις μέρες μας ολοένα και εντονότερη, λόγω του συνεχούς αυξανόμενου ανταγωνισμού της αγοράς, καθώς και των ολοένα και μεγαλύτερων περιβαλλοντικών απαιτήσεων της εποχής μας. Εξαιτίας λοιπόν, των νέων αυτών συνθηκών, του υπάρχοντος μεγάλου λιγνιτικού αποθέματος της περιοχής (2,3 Gt), της μεγάλης εγκατεστημένης ενεργειακής ισχύς (4048 MW) επιβάλλεται πλέον σήμερα, η όσο το δυνατόν αποδοτική-οικονομική λειτουργία των σταθμών και της εκμετάλλευσης. Η σταθερή ποιότητα του τροφοδοτούμενου λιγνίτη, στη διάρκεια του χρόνου, είναι απαίτηση που στοχεύει στην αποδοτικότερη λειτουργία των σταθμών.

Για τους παραπάνω λόγους, προέκυψε η ανάγκη σφαιρικής αντιμετώπισης του όλου θέματος. Επειδή σε προηγούμενη μελέτη του Τομέα Σχεδιασμού και Μελετών Ορυχείων (ΑΚΥΛΑΣ κ.α. 1999) παρατηρήθηκε, ότι η διακύμανση της ποιότητας του λιγνίτη τροφοδοσίας στον ΑΗΣ είναι ανάλογη της διακύμανσης της ποιότητας του γεωλογικού λιγνίτη, κρίθηκε αναγκαία η καταρχήν διερεύνηση και η στατιστική επεξεργασία των ποιοτικών χαρακτηριστικών του συνόλου του γεωλογικού λιγνίτη της Δ. Μακεδονίας.

Το θέμα αυτό πραγματεύεται η παρούσα εργασία, τα στατιστικά αποτελέσματα της οποίας εκτιμάται, ότι θα βοηθήσουν στην κατεύθυνση της αντιμετώπισης και επίλυσης των προβλημάτων της εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων και κατά συνέπεια και της τροφοδοσίας των Σταθμών.

Στατιστική επεξεργασία των ποιοτικών χαρακτηριστικών του γεωλογικού χάρτη

Με βάση τους προσδιορισμούς σε δείγματα λιγνίτη από τις γεωτρήσεις έγινε στατιστική ανάλυση της ποιότητας του γεωλογικού λιγνίτη των κοιτασμάτων, που βρίσκονται στον άξονα Φλώρινα-Αμύνταιο-Πτολεμαίδα-Ελασσόνα. Αυτή η μελέτη αφορούσε τις εξής 4 παραμέτρους:

1. Το πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων **d** (cm)
2. Την Τέφρα επί ξηρού δείγματος **Awf** (%)
3. Την Υγρασία σε δείγμα “ως έχει” **W** (%) και
4. Την Κατωτέρα Θερμογόνο Ικανότητα δείγματος “ως έχει” **Hu** (kcal/kg).

Το σύνολο των δειγμάτων των γεωτρήσεων που επεξεργάστηκαν ανέρχεται σε 80.000 περίπου, που αντιστοιχεί σε συνολικό εκμεταλλεύσιμο λιγνιτικό απόθεμα της τάξεως των 2,3 Gt.

Το πάχος των δειγμάτων που προέρχονται από τις γεωτρήσεις δίνει την εικόνα της δειγματοληψίας και όχι την αντιπροσωπευτική εικόνα των λιγνιτικών στρωμάτων του κοιτάσματος. Για τον λόγο αυτό ακολουθήθηκε κατ' αρχήν η διαδικασία ενοποίησης των μη διακοπτόμενων από στείρες ενστρώσεις διαδοχικών διακεκρι-

Πίνακας 1. Ποιοτικά χαρακτηριστικά του γεωλογικού λεγνίτη της Δ. Μακεδονίας
Table 1. Quality characteristics of geological lignite in W. Macedonia

	ΠΥΡΟΛΕΜΜΑΙΔΑ					ΦΛΩΡΙΝΑ			
	ΕΛΛΑΣΣΟΝΑ	Ν. ΠΕΔΙΟ	ΤΟΜΕΑΣ 6	ΜΑΥΡΟΠΗΓΗ	ΚΟΜΑΝΟΣ	Β. ΠΕΔΙΟ	ΑΜΥΝΤΑΙΟ	ΒΕΥΗ	ΑΧΑΛΔΑ
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1. Πάχος λεγν. στρωμάτων d (cm)									
Μέση τιμή	122.25	164.13	112.29	108.72	105.00	109.00	153.02	99.77	106.51
d min	10.00	3.00	5.00	10.00	5.00	2.00	10.00	10.00	10.00
d max	1090.00	1900.00	1210.00	1100.00	1190.00	1800.00	1090.00	1080.00	1080.00
αριθμός δειγμάτων n	464	3923	4811	4412	1714	4411	4496	1469	787
2. Τέτρα επί ξηρού (Awf %)									
Μέση τιμή	38.70	25.85	23.99	24.90	28.73	23.83	34.48	29.77	34.14
Τυπική απόκλιση (σ) *	13.24	9.40	7.95	8.61	7.10	6.97	10.04	14.00	12.39
Awf min	9.59	7.30	7.00	6.00	9.00	6.90	9.40	5.10	3.30
Awf max	68.60	75.30	74.10	73.60	61.10	69.50	72.30	75.50	74.00
αριθμός δειγμάτων n	461	3923	4811	4412	1714	4410	4399	1468	782
3. Υγρασία (W %)									
Μέση τιμή	39.47	55.95	57.52	56.68	56.39	57.80	55.08	38.09	42.15
Τυπική απόκλιση (σ) *	4.38	4.38	4.00	4.17	4.17	4.02	5.34	5.79	6.63
W min	30.00	34.10	35.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
W max	52.00	67.60	69.80	70.00	65.87	68.00	68.60	61.80	59.50
αριθμός δειγμάτων n	464	2357	2094	4412	1714	417	4496	1469	787
4. Κ.Θ.Ι. (Hu kcal/kg)									
Μέση τιμή	1913	1389	1408	1340	1292	1396	1373	2358	1922
Τυπική απόκλιση (σ) *	458	266	141	289	188	225	252	481	370
Hu min	616	233	674	498	500	386	643	846	874
Hu max	3130	2040	1924	3075	1827	2615	3175	3921	3156
αριθμός δειγμάτων n	457	1218	1138	1182	378	294	1703	1290	772

* Το 95 % των τιμών βρίσκονται στο διάστημα $x \pm 2\sigma$ όπου x : η μέση τιμή και σ : η τυπική απόκλιση

μένων λιγνιτικών στρωμάτων. Τα διαμορφωμένα –λόγω ενοποίησης– γεωλογικά στρώματα λιγνίτη έχουν ποιότητα, που προκύπτει από τον συνδυασμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επιμέρους στρωμάτων.

Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του ειδικού μεταλλευτικού προγράμματος H/Y Metal της ΔΕΗ. Ακολούθησε η στατιστική ανάλυση και επεξεργασία των δειγμάτων, όσον αφορά στις παραπάνω 4 παραμέτρους όλων των λιγνιτικών κοιτασμάτων που προαναφέρθηκαν, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Για τη λεκάνη της Πτολεμαΐδας μελετήθηκαν τα υπό εκμετάλλευση Ορυχεία Ν. Πεδίου και Τομέα 6, τα υπό εξόφληση Ορυχεία Κομάνου και Β. Πεδίου και το νέο υπό διάνοιξη Ορυχείο Μαυροπηγής.

Στην περιοχή της Φλώρινας διερευνήθηκαν τα κύρια υπό εκμετάλλευση Ορυχεία Βεύης και Αχλάδας και στην περιοχή της Ελασσόνας το μεγαλύτερο εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα της περιοχής, αυτό του Δομένικου. Επίσης, μελετήθηκε και το αντίστοιχο υπό εκμετάλλευση Ορυχείο Αμυνταίου.

Αναφέρεται ότι, όπως είναι εξάλλου γνωστό, τα κοιτάσματα της Φλώρινας και της Ελασσόνας θεωρούνται “ξυλιτικού” τύπου με υψηλό θερμοϊδικό περιεχόμενο, ενώ τα κοιτάσματα της λεκάνης Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου είναι “γαιώδους” τύπου ή “matrix” και σχετικά χαμηλής θερμοαντικής ικανότητας, με μικρές μόνον ενστροφές ξυλίτη (ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ & ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ 1972, ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ & ΓΙΑΚΚΟΥΠΗΣ 1998, ΚΩΤΗΣ 1992, ΚΩΤΗΣ 1995).

Αξιολόγηση των στατιστικών αποτελεσμάτων

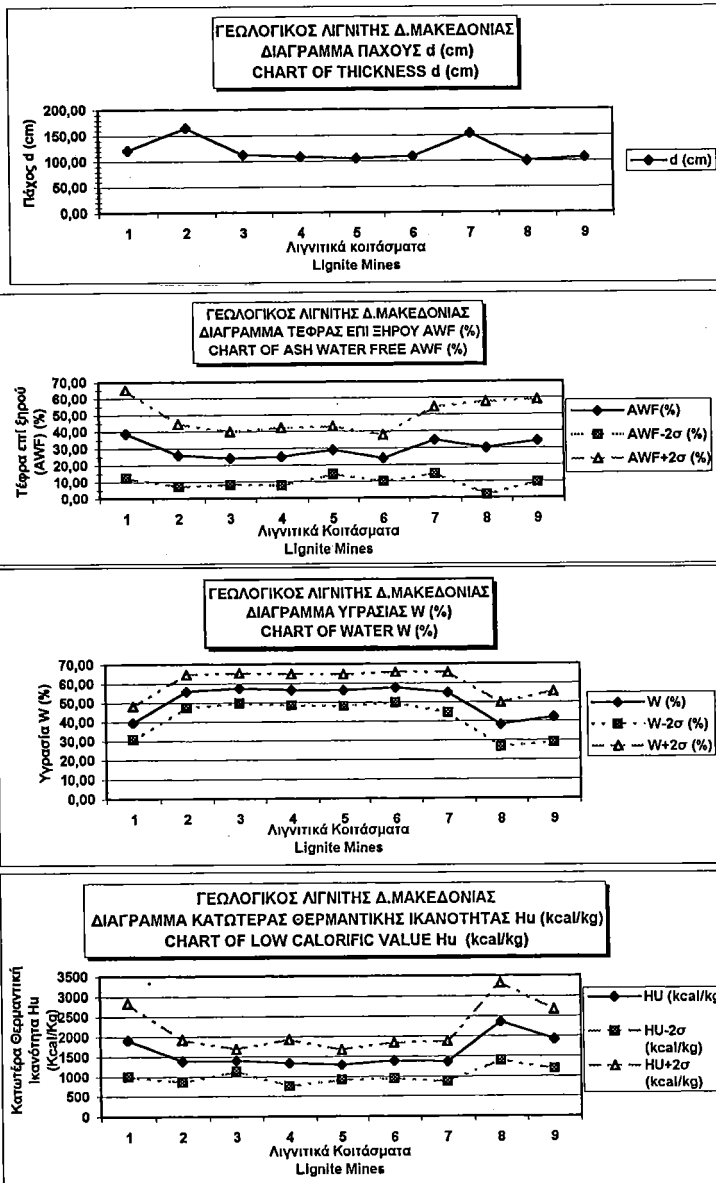
Αξιολογώντας τον Πίνακα 1 των αποτελεσμάτων διακρίνονται τα εξής:

- Κατ’ αρχήν το σύνολο των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για τη στατιστική επεξεργασία του κάθε ποιοτικού χαρακτηριστικού, χωριστά, είναι:
 1. Πάχος λιγνιτικών στρωμάτων d (cm) : ~ 26.500 δείγματα
(33% του συνόλου των δειγμάτων)
 2. Τέφρα επί ξηρού A_{wf} (%) : ~ 26.500 >> (33% " " ")
 3. Υγρασία W (%) : ~ 18.000 >> (23% " " ")
 4. Κ.Θ.Ι. H_u (kcal/kg) : ~ 8.500 >> (11% " " ")

Παρατηρείται ότι τα δείγματα που αφορούν στην Κατωτέρα Θερμογόνο Ικανότητα είναι σημαντικά λιγότερα σε σχέση με το σύνολο των δειγμάτων που επεξεργάστηκαν.

- Το μέσο πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων d (cm) κυμαίνεται από 1,0-1,22 m για το σύνολο των κοιτασμάτων, εκτός από εκείνα του Νοτίου Πεδίου και του Αμυνταίου που είναι και τα παχύτερα κοιτάσματα με μέσα πάχη 1,6 και 1,5 m αντίστοιχα. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στο διάγραμμα του μέσου πάχους των λιγνιτικών στρωμάτων d (cm) για όλα τα κοιτάσματα (Σχ. 3).

Παρατηρείται ότι και εντός της λεκάνης Πτολεμαΐδας, το πάχος των λιγνιτικών



Σχήμα 3. Η αριθμηση των λιγνιτικών κοιτασμάτων σύμφωνα με το Σχ. 2.

στρωμάτων των διαφόρων κοιτασμάτων είναι ανομοιογενές, γεγονός που εξηγείται από τον τρόπο σχηματισμού της λιγνιτοφόρου σειράς. Καθοριστικό ρόλο έπαιξαν το ανώμαλο υπόβαθρο της λεκάνης, η τεκτονική καθώς και ο διαφορετικός ρυθμός ιζηματογένεσης στα διάφορα σημεία της (ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ & ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ 1972).

- Η μέση Τέφρα επί ξηρού **Awf** (%) για τα “γαιώδους” τύπου ή “matrix” κοιτάσματα της λεκάνης Πτολεμαΐδας κυμαίνεται από 24-29%, ενώ για τα “ξυλιτικού” τύπου κοιτάσματα της Φλώρινας και Ελασσόνας κυμαίνεται από 30-39%. Το κοιτάσμα Αμυνταίου παρουσιάζει μέση Τέφρα επί ξηρού 34,5%.

Αντίστοιχα, η τυπική απόκλιση σ παρουσιάζεται μικρότερη στα κοιτάσματα Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου (7-10 %) και υψηλότερη στα κοιτάσματα Φλώρινας, Ελασσόνας (12-14 %). Το διάγραμμα της μέσης Τέφρας επί ξηρού **Awf** (%) καθώς και του διαστήματος **Awf** \pm **2 σ** (%), στο οποίο βρίσκεται το 95% των τιμών, παρουσιάζονται στο Σχ. 3.

- Η μέση Υγρασία **W** (%) για τα λιγνιτικά κοιτάσματα Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου κυμαίνεται από 55-58%, ενώ για τα “ξυλιτικού” τύπου κοιτάσματα Φλώρινας, Ελασσόνας κυμαίνεται από 38-42%.

Η τυπική απόκλιση σ παρουσιάζεται περίπου ίδια για όλα τα κοιτάσματα, και είναι της τάξεως του 4-4,4 % εκτός από τα κοιτάσματα του Αμυνταίου και Φλώρινας που κυμαίνεται από 5,3- 6,6 %. Το διάγραμμα της μέσης Υγρασίας **W** (%) καθώς και του διαστήματος **W** \pm **2 σ** (%), στο οποίο βρίσκεται το 95% των τιμών, παρουσιάζονται στο Σχ. 3.

- Γενικότερα, όπως έχει αποδειχθεί και σε παλαιότερες γεωλογικές μελέτες, τα πλουσιότερα σε Τέφρα δείγματα παρουσιάζουν εν γένει χαμηλότερο ποσοστό Υγρασίας, ενώ τα φτωχότερα υψηλότερο, γεγονός που παρατηρείται και στα εν λόγω αποτελέσματα (ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ & ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ 1972).
- Η μέση **K.Θ.Ι. Hu** (kcal/kg) για τα κοιτάσματα Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, από 1300-1400 kcal/kg, ενώ για τα κοιτάσματα Φλώρινας και Ελασσόνας κυμαίνεται σε υψηλότερα (από 1900-2360 kcal/kg). Επίσης η τυπική απόκλιση σ παρουσιάζεται μικρή στα κοιτάσματα Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου (από 140-290 kcal/kg), ενώ στα κοιτάσματα Φλώρινας και Ελασσόνας παρουσιάζεται μεγαλύτερη (από 370-480 kcal/kg). Το διάγραμμα της μέσης **K.Θ.Ι.** (kcal/kg) για όλα τα λιγνιτικά κοιτάσματα, καθώς και του διαστήματος **K.Θ.Ι.** \pm **2 σ** (kcal/kg), στο οποίο βρίσκεται το 95% των τιμών, παρουσιάζονται στο Σχ. 3.
- Τέλος, πραγματοποιήθηκε ανάλυση παλινδρόμησης για να διερευνηθεί η συσχέτιση **K.Θ.Ι.-Τέφρα επί ξηρού** για κάθε κοιτάσμα χωριστά. Οι αντίστοιχες εξισώσεις που συνδέουν την **K.Θ.Ι.** και την Τέφρα επί ξηρού, καθώς και οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης **R²** των εξισώσεων είναι:

Ελασσόνα	: $H_u = -31,813 Awf + 3136,8$	$R^2 = 0,82$	} $R^2 : 0,21-0,56$
Νότιο Πεδίο	: $H_u = -21,979 Awf + 2004,3$	$R^2 = 0,56$	
Τομέας 6	: $H_u = -12,759 Awf + 1718,7$	$R^2 = 0,27$	
Μαυροπηγή	: $H_u = -17,349 Awf + 1817,7$	$R^2 = 0,21$	
Κόμανος	: $H_u = -20,22 Awf + 1867,9$	$R^2 = 0,53$	
Βόρειο Πεδίο	: $H_u = -14,868 Awf + 1793,7$	$R^2 = 0,41$	
Αμύνταιο	: $H_u = -17,227 Awf + 1971,8$	$R^2 = 0,39$	
Βεύη	: $H_u = -29,139 Awf + 3203,9$	$R^2 = 0,66$	
Αχλάδα	: $H_u = -23,759 Awf + 2732,8$	$R^2 = 0,60$	$H_u : (\text{kcal/kg}), Awf : (\%)$

Παρατηρείται ότι στα “ξυλιτικού” τύπου κοιτάσματα Φλώρινας, Ελασσόνας υπάρχει μεγαλύτερη συσχέτιση των τιμών Κ.Θ.Ι. - Τέφρας επί ξηρού, με συντελεστή συσχέτισης R^2 που κυμαίνεται από 0,60-0,82, σε σχέση με τα “γαιώδους” τύπου ή “matrix” κοιτάσματα Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου όπου παρουσιάζεται μικρότερη συσχέτιση των τιμών με συντελεστή συσχέτισης R^2 που κυμαίνεται από 0,21-0,56.

Συμπεράσματα

Από την στατιστική ανάλυση και επεξεργασία 80.000 δειγμάτων γεωτρήσεων και μετά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, προέκυψαν τα εξής:

- Το μέσο Πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων d (cm) είναι ανεξάρτητο του τύπου των κοιτασμάτων.
- Τα “γαιώδους” τύπου ή “matrix” κοιτάσματα Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου έχουν σε γενικές γραμμές χαμηλή μέση Τέφρα επί ξηρού Awf (%), υψηλή μέση Υγρασία W (%) και χαμηλή μέση Κ.Θ.Ι. H_u (kcal/kg), ενώ παράλληλα η διασπορά των τιμών της κάθε παραμέτρου εμφανίζεται μικρή. Αντίθετα, τα “ξυλιτικού” τύπου κοιτάσματα Φλώρινας, Ελασσόνας παρουσιάζουν υψηλή μέση Τέφρα επί ξηρού Awf (%), χαμηλή μέση Υγρασία W (%) και υψηλή μέση Κ.Θ.Ι. H_u (kcal/kg), ενώ η διασπορά των τιμών της κάθε παραμέτρου παρουσιάζεται μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη των “matrix” κοιτασμάτων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεραίνεται, ότι τα «ξυλιτικού» τύπου κοιτάσματα της περιοχής, που παρουσιάζουν μεγάλο θερμιδικό περιεχόμενο, ταυτόχρονα παρουσιάζουν και μεγάλη διακύμανση στην ποιότητά τους, σε αντίθεση με τα “γαιώδους” τύπου ή “matrix” κοιτάσματα που παρουσιάζουν χαμηλό θερμιδικό περιεχόμενο, αλλά και ταυτόχρονα μικρή διακύμανση στην ποιότητά τους. Επομένως, με βάση την απαίτηση των σταθμών για τροφοδοτούμενο λιγνίτη σταθερής ποιότητας, στην διάρκεια του χρόνου, τα «ξυλιτικού» τύπου κοιτάσματα χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής τόσο κατά την εκμετάλλευσή τους, όσο και κατά την τροφοδοσία των σταθμών.

Βιβλιογραφία

- ΑΚΥΛΑΣ Ν., ΛΕΟΝΤΙΔΗΣ Μ., ΠΑΤΜΑΝΙΔΟΥ Λ., ΡΟΥΜΠΟΣ Χ. & ΛΙΑΚΟΥΡΑ Κ. (1999). Νότιο Πεδίο - Τομέας 6, Γεωλογικός Λιγνίτης, Εκμεταλλεύσιμος Λιγνίτης (στατιστική ανάλυση), ΔΕΗ/ΔΑΟ, ΤΟΜΕΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ, Έκθεση, Αθήνα, σ. 27.
- ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ Ι.Χ. & ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ Ν. (1972). Γεωλογική και κοιτασματολογική μελέτη νοτίου τμήματος λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας, ΙΓΜΕ Τομ. XVI, Αθήνα, σ. 187.
- ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Δ.Α. & ΓΙΑΚΚΟΥΠΗΣ Π.Γ. (1998). Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτικών κοιτασμάτων Ελασσόνας, Υποπεριοχή: Δομένικο Ελασσόνας, ΙΓΜΕ, Τόμος Ι, Κοζάνη, σ. 107.
- ΚΑΝΟΥΡΙΔΗΣ C. & ΠΑΥΛΟΥΔΑΚΗΣ F. (1999). Supportive fuels and homogenisation methods to improve lignite quality produced from the Ptolemais-Amynteon multi-seam deposits for power generation purposes, Report, THERMIE Workshop, THESSALONIKI, p. 52.
- ΚΩΤΗΣ Θ., ΠΛΟΥΜΙΔΗΣ Μ., ΜΕΤΑΞΑΣ Α. & ΒΑΡΑΒΑΡΟΥΣΗΣ Γ. (1992). Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτικού κοιτάσματος υποπεριοχής Βεύης Ν. Φλώρινας (Δ. Μακεδονία), ΙΓΜΕ, Αθήνα, σ. 94.
- ΚΩΤΗΣ Θ., ΜΕΤΑΞΑΣ Α., ΠΛΟΥΜΙΔΗΣ Μ. & ΒΑΡΑΒΑΡΟΥΣΗΣ Γ. (1995). Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτικών κοιτασμάτων ανατολικών περιθωρίων λεκάνης Φλώρινας (Υποπεριοχής Αχλάδας- Μελίτης), ΙΓΜΕ, Αθήνα, σ. 61.

ΧΑΡΖΒΟΥΡΓΙΤΕΣ/ΔΟΥΝΙΤΕΣ ΓΙΑ ΟΛΙΒΙΝΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΥΨΗΛΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΣΤΑ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΑ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑΤΑ ΒΟΥΡΙΝΟΥ ΚΑΙ ΠΙΝΔΟΥ

Σ. Νταμπίτζιας¹, Α. Ράσσιου²

Περίληψη

Τεράστια αποθέματα ελαφρά έως καθόλου σερπεντινωμένου χαρζβουργίτη (κυρίως) και δουνίτη, κατάλληλων, από οικονομοτεχνικής άποψης, για την παραγωγή ολιβινικών προϊόντων υψηλών προδιαγραφών εντοπίστηκαν στα οφιολιθικά συμπλέγματα του Βούρινου και της Πίνδου. Τα υπερβασιικά αυτά πετρώματα απαντούν σε ζώνη μήκους αρκετών χιλιομέτρων και πάχους αρκετών εκατοντάδων μέτρων, που αναπτύσσεται στην βάση ή κοντά στην βάση των οφιολιθικών αυτών συμπλεγμάτων. Τα ορυκτολογικά και χημικά χαρακτηριστικά του δουνίτη είναι σχεδόν πανομοιότυπα του αντίστοιχου Νορβηγικού που σχεδόν μονοπωλεί την Ευρωπαϊκή αγορά φυσικού ολιβίνη. Η σε ορθοπυρόξενο περιεκτικότητα του χαρζβουργίτη (κατά μέσο όρο 8% στο Βούρινο και 12% στην Πίνδο) ελαττώνει 2 έως 4 ποσοστιαίες μονάδες την σε MgO περιεκτικότητα του “ολιβινικού” προϊόντος. Η μείωση όμως αυτή, όπως έδειξαν δοκιμές καταλληλότητας σε βιομηχανική κλίμακα, δεν επηρεάζει σημαντικά τους δείκτες καταλληλότητας για όλα σχεδόν τα πεδία εφαρμογών του τελικού “ολιβινικού” προϊόντος.

Abstract

Immense deposits of fresh to slightly serpentinized harzburgite and dunite, suitable, from an economic point of view, as raw materials for high quality olivine products have been located in the Vourinos and Pindos ophiolite complexes. In each complex, these deposits are found in belts several kilometers in length in close correspondence to the basal thrust sole of the ophiolite. The mineralogical and chemical characteristics of the deposits are similar to those of the Norwegian deposits, the current industrial standard for Europe.

The orthopyroxene content of harzburgite (averaging 8% and 12% for the Vourinos and Pindos deposits respectively) decreases the bulk MgO content slightly below the required 48%. Trial olivine products with this low MgO content have been tested and found to be still competent for high standard olivine applications.

1. ΙΓΜΕ, Παράρτημα Θεσσαλονίκης.
2. ΙΓΜΕ, Παράρτημα Κοζάνης.

Εισαγωγή

“Αν ο ολιβίνης ήταν ερπετό και όχι ορυκτό, τότε πολύ πιθανόν να ήταν ο χαμαιλέων. Και αυτό όχι μόνο γιατί το βασικό χρώμα του ολιβίνης είναι το πράσινο, αλλά γιατί καθ’ όλη τη διάρκεια της εμπορικής του ύπαρξης στάθηκε ικανός να “προσαρμόζεται” εύκολα στις τεχνολογικές εξελίξεις σε κάθε μια από τις καταναλωτικές του αγορές”. Έτσι αρχίζει ο Α. SKILLEN ένα άρθρο του για τον ολιβίνης στο περιοδικό *Industrial Minerals*, Feb. 1995.

Από την ισόμορφη σειρά του ολιβίνης (Mg,Fe)₂SiO₄, ο πλούσιος σε Mg ολιβίνης χαρακτηρίζεται δύο κύριους πετρολογικούς τύπους (χαρτζβουργίτης και δουνίτης) των οφιολιθικών συμπλεγμάτων στους οποίους μάλιστα είναι και το κύριο ορυκτολογικό συστατικό (> 80% και 95% κ.ο. αντίστοιχα). Η μέση χημική σύσταση του ολιβίνης (φορστερίτης) στους προαναφερθέντες πετρολογικούς σχηματισμούς είναι περίπου MgO=50%, SiO₂=41%, FeO=8% και υπολ.=1% κ.β. Το σημείο τήξεως ενός φορστερίτη με αυτήν ή περίπου αυτήν την χημική σύσταση σε πίεση 1 atm υπολογίζεται σε περίπου 1800°C (του καθαρού φορστερίτη (Mg_2SiO_4) είναι 1910°C περίπου), έχει σκληρότητα 6,5-7,0 στην κλίμακα Mohs (στους 20°C) και το ειδικό του βάρος είναι 3,21 3,33 gr/cm³ (DEER et al. 1975). Επιπλέον ο ολιβίνης έχει κογχώδη θραυσμό και είναι ένα από τα πιο εύκολα αποσαθρούμενα πυριτικά ορυκτά.

Τα χαρακτηριστικά αυτά δίνουν στον ολιβίνης ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών στους κλάδους των πυριμάτων και των λειαντικών/αποξεστικών καθώς και σε περιβαλλοντικά θέματα που έχουν σχέση με την εξουδετέρωση όξινων μέσων. Ο ολιβίνης θεωρείται ένα φιλικό προς το περιβάλλον ορυκτό.

Οι προδιαγραφές της ολιβινικής πρώτης ύλης όσον αφορά τον κλάδο των πυριμάτων είναι αρκετά αυστηρές και έχουν σχέση με την περιεκτικότητα σε μαγνήσιο και την απώλεια πύρωσης. Για την α' ποιότητας άμμο χυτηρίων απαιτείται: MgO > 48% κ.β., απωλ. πύρωσης < 1,5% και ελεύθερο SiO₂ < 1% κ.β. Για τα μορφοποιημένα ή μη πυρίμαχα (τούβλα, μάζες), η σε FeO περιεκτικότητα του ολιβινικού προϊόντος θα πρέπει να μη υπερβαίνει το 7-8% κ.β. (8-9 Fe₂O₃) ενώ πολύ χαμηλότερη πρέπει να είναι η απώλεια πύρωσης. Για τα λειαντικά/αποξεστικά μέσα, η σε ολιβίνης περιεκτικότητα της άμμου φαίνεται να παίζει τον κυρίαρχο ρόλο.

Οφιολιθικά συμπλέγματα έχουν τεράστια εξάπλωση στον ελληνικό χώρο (Πίνδος, Βούρινος, Όθρυς, Εύβοια, Δ. Χαλκιδική κλπ.) και άρα εξ' ίσου τεράστιο είναι και το σε χαρτζβουργίτη και δουνίτη δυναμικό τους. Αναλλοίωτοι όμως δουνίτες και χαρτζβουργίτες, απαραίτητη προϋπόθεση για την χωρίς διαδικασίες εμπλουτισμό παραγωγή ολιβινικών προϊόντων υψηλών προδιαγραφών, σπανίζουν σ' όλο τον κόσμο. Είναι σχεδόν πάντα εξαλλοιωμένοι (σερπεντινωμένοι) και ο βαθμός σερπεντινώσεως είναι συνήθως μεγάλος (> 30% κ.β.). Εξαίρεση αποτελούσαν τα Νορβηγικά-Σουηδικά κοιτάσματα δουνίτη με σερπεντινώση < 5% κ.β. Το ότι ο Νορβηγικός “ολιβίνης” μονοπωλεί, σχεδόν την παγκόσμια αγορά οφείλεται στο

χαμηλό κόστος παραγωγής καθ' όσον δεν απαιτούνται διαδικασίες εμπλουτισμού του. Ολιβινική πρώτη ύλη στις προδιαγραφές της Νορβηγικής μπορεί να παραχθεί από μερικώς σερπεντινωμένους δουνίτες/χαρζβουργίτες με διάφορες μεθόδους εμπλουτισμού (θερμική κατεργασία, διαδοχικές λειοτριβήσεις με ταυτόχρονο μαγνητικό ή και βαρυτομετρικό διαχωρισμό) αλλά το κόστος παραγωγής της είναι απαγορευτικό.

Στα πλαίσια ενός ανταγωνιστικού ευρωπαϊκού προγράμματος Brite-EURAM II με τίτλο "Olivine/Dunite" for industrial and environmental applications 1993-95" και στη συνέχεια ενός προγράμματος ΠΕΠ της Περιφ. Δυτ. Μακεδονίας με τίτλο "Βιομηχανικά ορυκτά στην Περιφέρεια" εντοπίστηκαν από το ΙΓΜΕ τεράστια αποθέματα υγιούς χαρζβουργίτη και δουνίτη κατάλληλων, από οικονομοτεχνικής πλευράς, για την παραγωγή ολιβινικών προϊόντων υψηλών προδιαγραφών. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση των έργων αυτών.

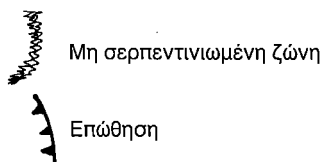
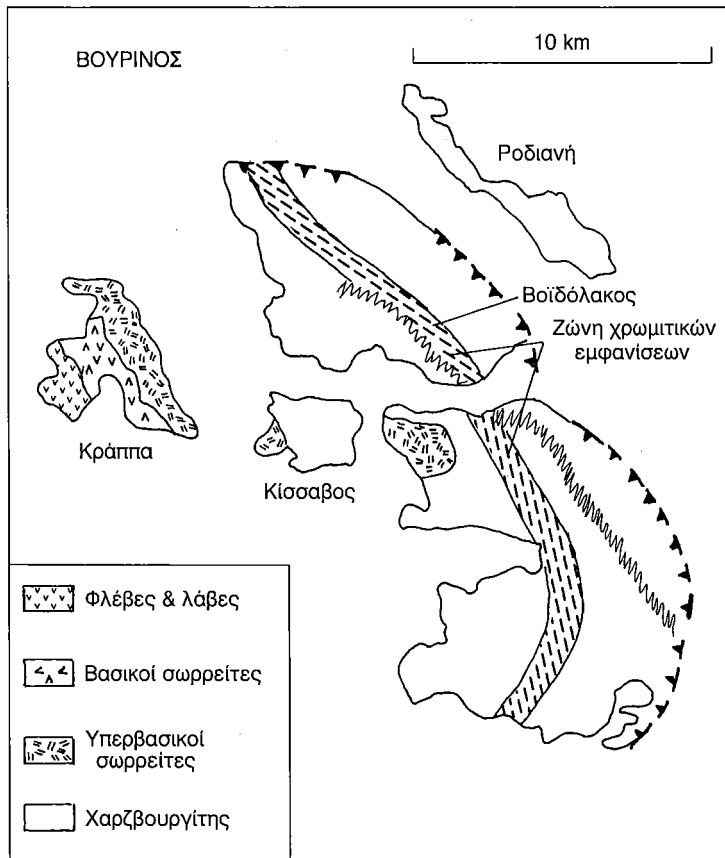
Οφιόλιθοι Δ. Μακεδονίας

Στα πολύ μεγάλα σε μέγεθος οφιολιθικά συμπλέγματα του Βούρινου και της Πίνδου, το κύριο υπερβασικό πέτρωμα είναι χαρζβουργίτης εντός του οποίου απαντούν επιπεδόμορφα (tabular), αδραχτοειδή/φακοειδή (rodiform) ή ακανόνιστου σχήματος παραμορφωμένα δουνιτικά σώματα των οποίων η μεγαλύτερη διάσταση κυμαίνεται από ένα μέτρο μέχρι και περισσότερο από ένα χιλιόμετρο (ECONOMOU et al 1986, RASSIOS et al 1990).

Βούρινος

Ο Βούρινος είναι η λιγότερο διαταραγμένη οφιολιθική μάζα των δυτικών Ελληνίδων και περιλαμβάνει μια πλήρη οφιολιθική σειρά με "υπερβασικούς τεκτονίτες στην βάση, υπερβασικούς σωρείτες στην συνέχεια και δια μέσου γαββροριτών καταλήγει στο σύστημα πολλαπλών φλεβών και σε μικρού, σχετικά, πάχους μαξιλαροειδείς λάβες (MOORES 1969, RASSIOS et al. 1983).

Δουνίτης στον Βούρινο, όπως και στην ιδεατή στρωματογραφική στήλη των οφιολίθων, απαντά στην μανδυακή σειρά και στην βάση των σωρειτών. Τα πετρώματα της μανδυακής σειράς καταλαμβάνουν μια έκταση 150 km² περίπου, με 7-10 Km χαρζβουργίτη επί της μεταμορφικής σόλας (ZIMMERMAN 1972). Μικρού σχερικά μεγέθους, διεισδυτικού χαρακτήρα δουνιτικά σώματα απαντούν στον χαρζβουργίτη αυτό. Στην ζώνη των χρωμιτών (Σχ. 1) τα δουνιτικά αυτά σώματα είναι πιο άφθονα από ότι στην υπόλοιπη μανδυακή σειρά (ΒΡΑΧΑΤΗΣ & ΓΡΙΒΑΣ, 1980). Το μεγαλύτερο δουνιτικό σώμα στον Βούρινο είναι αυτό του Ξερολίβαδου με περισσότερο από 5 Km επιφανειακό μήκος. Δεν φαίνεται όμως να υπάρχει σχέση μεταξύ του μεγέθους των δουνιτικών σωμάτων και της παρουσίας/όγκου μη σερπεντινωμένων δουνιτών. Καθόλου έως ελαφρά σερπεντινωμένοι δουνίτες και



Σχήμα 1. Γεωλογικό σκαρίφημα του οφιολιθικού συμπλέγματος του βούρινου.

χαρζβουργίτες απαντούν σε μια ζώνη η οποία εκτείνεται από μια περιοχή κοντά στην βάση των οφιολίθων μέχρι την ζώνη των χρωμιτών την οποία και καλύπτει εν μέρει. Αυτή η ζώνη εκτείνεται για περίπου 20 Km και έχει ένα φαινομενικό επιφανειακό πάχος από 0,5 έως 1 Km (Σχ. 1).

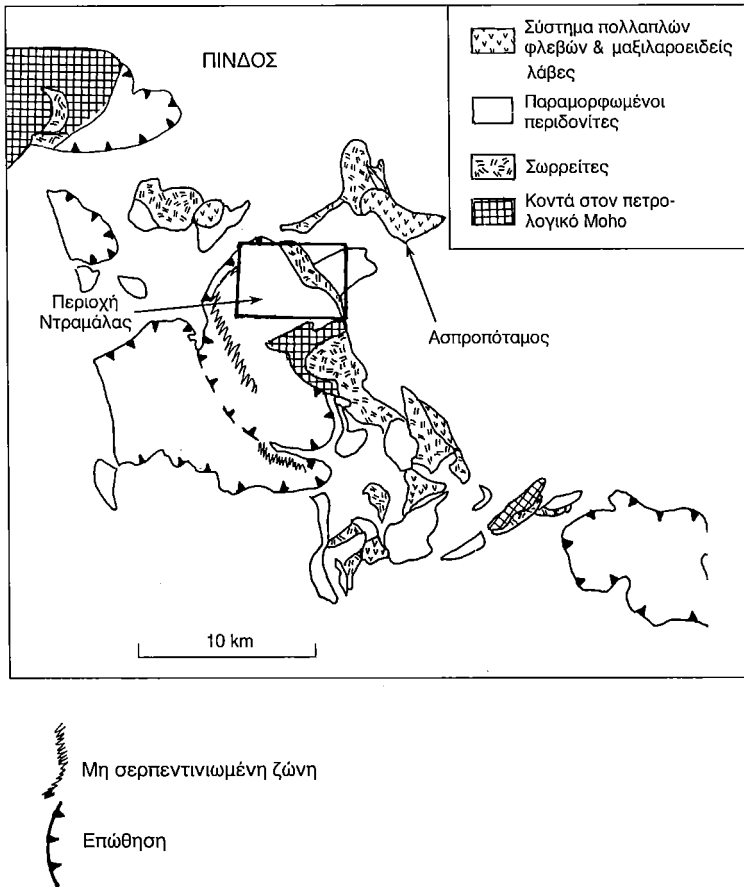
Ο δουνίτης της σωρειτικής σειράς είναι πάντα σερπεντινωμένος και δεν έχουν εντοπισθεί, μέχρι τώρα, δουνιτικά σώματα “κατάλληλα” για την παραγωγή ολιβι-

νικών προϊόντων υψηλών προδιαγραφών.

Από παρατηρήσεις σε υπόγειες στοές αλλά και από την μελέτη των πυρήνων πολλών γεωτρήσεων φαίνεται ότι υπάρχει μια τάση μείωσης του βαθμού σερπεντινίωσης μετά του βάθους. Η μείωση όμως αυτή δεν είναι αρκετή για να καταστήσει τα υπερβασικά αυτά πετρώματα στο βάθος κατάλληλα για την παραγωγή ολιβινικών προϊόντων υψηλών προδιαγραφών. Η μη σερπεντινωμένη ζώνη του Βούρινου φαίνεται ότι είναι ένα πρωτογενές χαρακτηριστικό του οφιολιθικού συμπλέγματος.

Πίνδος

Η επιφανειακή εξάπλωση περιδοτίτη, στο οφιολιθικό σύμπλεγμα της Πίνδου (από το Μέτσοβο μέχρι την Καστοριά) υπερβαίνει τα 600 Km² (RASSIOS 1990).



Σχήμα 2. Γεωλογικό σκαρίφημα του οφιολιθικού συμπλέγματος της Πίνδου.

Μεγάλα δουντιτικά σώματα, όπως αυτό του Ξερολίβαδου στον Βούρινο, λείπουν ακόμη και από την σωρρευτική ακολουθία. Μικρά δουντιτικά σώματα (1 έως 5 μ. πάχος και μέχρι αρκετές εκατοντάδες μέτρα μήκος) απαντούν σαν επιπεδόμορφα, έντονα παραμορφωμένα σώματα στην βάση της μανδυακής σειράς. Μεγαλύτερου μεγέθους αδραχτοειδή (rodiform) σώματα δουνίτη (διαστάσεων αρκετών δεκάδων μέτρων) αφθονούν εντός και κοντά στην περιοχή της πετρολογικής Μοχο.

Οι μόνοι μη σερπεντινωμένοι χαρζβουργίτες στην Πίνδο εντοπίστηκαν σε μια ζώνη στην περιοχή των ορεινών όγκων Ντραμάλας, Σαλατουρας και Μαυροβουνίου (Σχ. 2). Η ζώνη αυτή έχει περίπου 5 Km μήκος και 1 Km πλάτος και βρίσκεται ακριβώς επάνω από την αμφιβολιτική σόλα.

Πετρολογία δουνιτών/χαρζβουργιτών στις μη σερπεντινωμένες ζώνες

Η ορυκτολογική σύσταση δουνιτών/χαρζβουργιτών στα Μεσοζωϊκής ηλικίας, τουλάχιστον, οφιολιθικά συμπλέγματα είναι απλή. Ολιβίνης > 90%, χρωμίτης 1-2%, πυρόξενοι (σχεδόν πάντα ορθο-) < 10% στους δουνίτες και ολιβίνης > 70%, χρωμίτης ≈ 1-2% και πυρόξενοι (σχεδόν πάντα ορθο-) < 30% στους χαρζβουργίτες. Αυτά όσον αφορά τους "υγιείς" δουνίτες και χαρζβουργίτες. Σερπεντινώση του ολιβίνης και ταλκοποίηση (κυρίως) του ορθοπυρόξενου είναι τα προϊόντα εξαλλοίωσης των.

Με δεδομένο ότι η χημική σύσταση του ολιβίνης, του πυρόξενου και των προϊόντων εξαλλοίωσης των είναι σταθερή (Πίν. 1) προκύπτει ότι για το κριτήριο της απώλειας πύρωσης (L.O.I. < 1,5% για ολιβινικά προϊόντα υψηλών προδιαγραφών) ο χαρζβουργίτης ή ο δουνίτης θα πρέπει να είναι λιγότερο από 10% σερπεντινωμένοι. Η ελάττωση του MgO από την σερπεντινώση αυτή είναι περίπου 1%. Η παρουσία του ενσταντίτη επηρεάζει, όσον αφορά στις προδιαγραφές, μόνον την περιεκτικότητα σε MgO (10% ορθοπυρόξενος έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του MgO κατά 1,5% περίπου, 20% κατά 3% κλπ.). Η εξαλλοίωση του ορθοπυρόξενου σε τάληκη δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου την σε MgO περιεκτικότητα ενώ αυξάνει κατά 0,4% την απώλεια πύρωσης για κάθε 10% ολική μετατροπή ενστα-

Πίνακας 1. Ενδεικτικές μικροαναλύσεις ολιβίνης (1-4), ενσταντίνη (5 και 6), σερπεντίνη (7) και τάληκη (8) (1, 2, 5, 7, 8 Βούρινος, 3, 4, 6, Πίνδος)

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	40,4	41,2	41,2	40,8	56,9	57,2	40,8	60,7
FeO	7,3	8,1	8,2	7,6	5,3	5,7	4,5	1,2
MgO	51,1	50,1	49,7	50,4	35,3	34,5	39,8	32,7
Υπολ.*	0,8	0,7	0,8	0,7	1,7	1,8	0,6	0,9
Σύνολο	99,6	100,1	99,9	99,5	99,2	99,2	85,7	95,5

* (NiO + Cr₂O₃ + CaO + Al₂O₃)

ντίτη σε τάλκη. Από τα παραπάνω προκύπτει σε γενικές γραμμές ότι για την παραγωγή “ολιβινικής” πρώτης ύλης με τις προδιαγραφές των χυτηρίων ($MgO > 48\%$, L.O.I. $< 1,5\%$ κ.β και ελεύθερο $SiO_2 < 1\%$ –το τελευταίο δεν συζητείται γιατί δεν υπάρχει ποτέ χαλαζίας σε υπερβασικά πετρώματα και αφορά, μάλλον, ολιβινική πρώτη ύλη που παράγεται από σερπεντινη σε υψηλές ($> 700^\circ C$) θερμοκρασίες) θα πρέπει ένας δουνίτης να είναι λιγότερο από 10% σερπεντινωμένος και ένας χαρζβουργίτης λιγότερο από 10% σερπεντινωμένος και με περιεκτικότητα σε ενσταντίτη μικρότερη από 9% περίπου. Ένας υγής χαρζβουργίτης θα πρέπει να έχει λιγότερο από 16% ενσταντίτη.

Στην μη σερπεντινωμένη ζώνη στον Βούρινο απαντούν μυλωνιτικές ζώνες στις οποίες το μέγεθος των κόκκων του ολιβίνη είναι πολύ μικρό και συνήθως μικρότερον των 0.1 mm. Νερό που διευκόλυνε/συνόδευσε την παραμόρφωση εντοπίζεται σε νεοβλάστες μαγνησιούχων αμφιβόλων. Ενώ μερικές μυλωνιτικές ζώνες είναι ευδιάκριτες μονάδες πάχους μέχρι και 1 μέτρο, ζώνες παραμόρφωσης που χαρακτηρίζονται από την παρουσία μυλωνιτικών δομών ξεπερνούν, μερικές φορές, μερικές εκατοντάδες μέτρα πάχους. Συχνά παρατηρείται το φαινόμενο να τέμνονται δύο τέτοιες ζώνες. Οι περιοχές που ορίζονται από τέτοιες τομές δεν φαίνεται να πληρούν τα προαναφερθέντα κριτήρια καταλληλότητας. Αδρόκοκοι δουνίτες και χαρζβουργίτες με μέγεθος κόκκων ολιβίνη μεγαλύτερο των 2-4 mm δεν περιέχουν αμφιβόλους ή “κρυπτο-σερπεντινή”. Στα πετρώματα αυτά επικρατούν υψηλής P-T μανδουακές δομές (διαπειρικές) ή annealed δομές. Στον Βούρινο τέτοιες δομές παρατηρούνται ακριβώς επάνω από την σερπεντινική “σόλα” ενώ μόνο annealed δομές κοντά στην πετρολογική Μοho. Η περιεκτικότητα σε ορθοπυρόξενο στους περιδοτίτες της μη σερπεντινωμένης ζώνης κυμαίνεται από 0 έως 15% με μέσο όρο 8% περίπου. Η σερπεντινίωση σε αρκετά δείγματα (κυρίως αδρόκοκοι περιδοτίτες) είναι μηδενική ενώ λίγα από τα αναλυθέντα δείγματα είναι εκτός προδιαγραφών (Πίν. 2).

Μυλωνιτική είναι η επικρατούσα δομή στους περιδοτίτες της Πίνδου. Σε ζώνες έντονης κατακλάσεως, αμφίβολοι είναι μερικές φορές παρούσες και κατεβάζουν ελαφρά την περιεκτικότητα σε MgO ενώ η αύξηση της απώλειας πύρωσης είναι ασήμαντη. Δεν παρατηρήθηκαν διαπειρικές ή annealed δομές. Η σε MgO περιεκτικότητα του ολιβίνη και του ενσταντίτη είναι όπως και στο Βούρινο (βλ. Πίν. 1), ενώ η σε ενσταντίτη περιεκτικότητα είναι μεγαλύτερη (από 5 έως 30%) με ένα μέσο όρο 12% περίπου. Κλινοπυρόξενο (5-20%) απαντά στην Πίνδο αλλά σε λερζόλιθους. Λερζόλιθοι απαντούν στην μη σερπεντινωμένη ζώνη αλλά σε μικρές ποσότητες. Σε σύγκριση με τον Βούρινο ο βαθμός σερπεντινίωσης (μέσος όρος) είναι πολύ μικρότερος και πολλά δείγματα δίνουν ακόμη και αρνητικές τιμές στην απώλεια πύρωσης (λόγω μετατροπής του FeO σε Fe_2O_3). Επιπλέον, η μη σερπεντινωμένη ζώνη, ή μεγάλα τμήματά της, στην Πίνδο είναι ομοιογενής ενώ στο Βούρινο, για τον σχεδιασμό λατομικών δραστηριοτήτων και για τον υπολογισμό

Πίνακας 2. Χημικές αναλύσεις περιδοτιτών από διάφορες περιοχές του Βούρινου. Η χημική σύσταση των δειγμάτων της Πίνδου υπολογίσθηκε με βάση την ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων, την απώλεια πύρωσης των και τις τιμές του Πιν. 1, (1-8 Βούρινο, 9-14 Πίνδος)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO₂	40,8	41,2	40,9	40,6	40,1	40,4	40,1	39,9	42,20	40,0	41,9	40,7	40,80	41,5
Fe₂O₃	8,1	8,7	8,9	7,9	7,7	8,2	8,4	8,2	7,6	7,8	7,7	7,6	7,80	7,4
MgO	49,0	48,0	48,0	48,0	47,0	48,1	48,0	48,6	47,50	49,3	49,3	49,5	48,90	46,9
Υπολ*	1,0	1,1	0,9	1,3	1,8	1,3	0,9	0,9	1,20	0,7	1,0	0,8	1,40	1,1
Απ.Πύρ.	0,7	0,5	0,7	0,8	1,5	2,4	1,6	1,3	1,56	2,5	+0,12	1,2	0,98	3,0
Σύνολο	99,6	99,5	99,4	98,6	98,1	100,4	99,0	98,9	100,06	100,3	99,78	99,8	99,88	99,9

1,6 Ριζό, 2,7 Ντουμαράχη, 3,8 Κονιβός 4.Βοϊδόλακκος 5. Κουρσούμα.
(6,7,8 Μεγάλα δείγματα για δοκιμές καταλλ. Σε βιομηχανική κλίμακα)

% ορυκτ.					
	Σύσταση	Ολιβίνης	OPX.	Σερπεντίνης	Σπινέλιος
Δείγμα No 9		79	10,5	10	0,5
10		83	-	16	1
11		94	5	-	1
12		88	2	8	2
13		83	7	7	3
14		72	6	20	2

του αποθεματικού δυναμικού, του βαθμού απολιπημότητας κλπ, απαιτούνται πρόσθετες ερευνητικές εργασίες για μεγάλα τεμάχια εντός της ζώνης. Χαρακτηριστικές τιμές απώλειας πύρωσης και υπολογισμένης χημικής σύστασης δειγμάτων από την Πίνδο φαίνονται στον Πίν. 2.

Συζήτηση

Όπως φαίνεται από τον Πίν. 2 σχεδόν όλα τα δείγματα της Πίνδου πληρούν το κριτήριο της απώλειας πύρωσης. Επιπλέον η ζώνη παρουσιάζει μεγάλη ομοιογένεια, όσον αφορά το H₂O και δεν φαίνεται ότι θα υπάρξουν προβλήματα εκλεκτικής εκμετάλλευσης (άρα και βαθμού απολιπημότητας) σε τυχούσα μελλοντική εκμετάλλευση. Η τιμή του MgO είναι σε μερικά δείγματα (βλ. Πιν. 2) κάτω του 48%. Οι τιμές αυτές αντιπροσωπεύουν χαρξβουργίτη με μεγαλύτερη από 20-25% περιεκτικότητα σε ορθοπυρόξενο. Τέτοιες όμοιες περιεκτικότητες είναι μακροσκοπικά ευδιάκριτες και δεν παρατηρήθηκαν στην ύπαιθρο περιοχές ή μεγάλα τεμάχια με τόσο υψηλά ποσοστά πυρόξεων. Πολύ πιθανόν οι τιμές αυτές να είναι αντιπρο-

σωρευτικές μόνον των μικρών, σε διαστάσεις, δειγμάτων που αναλύθηκαν. Το αποθεματικό δυναμικό είναι τεράστιο και ικανό να καλύψει τις ανάγκες της παγκόσμιας αγοράς, για όλα τα γνωστά πεδία εφαρμογών του ολιβίνη για την επόμενη εκατονταετία!! Περιβαλλοντικοί λόγοι και οδικό δίκτυο ίσως να αποτελέσουν ανασταλτικούς παράγοντες σε επενδυτικές δραστηριότητες ενώ η απόσταση από τα κοντινότερα λιμάνια (Βόλος, Ηγουμενίτσα) θα επιβαρύνει αρκετά το κόστος του προϊόντος. Ενός προϊόντος (ακόμη και των υψηλών προδιαγραφών) με F.O.B τιμές στο πεδίο των 10-20.000 δρχ./τόννο.

Στο Βούρινο όπως προκύπτει από τις παρατηρήσεις υπαίθρου αλλά και από τη σύγκριση των χημικών αναλύσεων δειγμάτων χειρός και μεγάλων δειγμάτων για δοκιμές βιομηχανικής κλίμακας (βλ. Πίν. 2), ο βαθμός ομοιογένειας είναι πολύ χαμηλότερος από ότι στην Πίνδο. Έχει όμως πλεονέκτημα έναντι της Πίνδου σε θέματα περιβαλλοντικά, οδικού δικτύου και απόστασης από τον λιμένα του Βόλου ή και της Θεσσαλονίκης. Το γεωλογικό αποθεματικό δυναμικό είναι και εδώ τεράστιο. Για τον ακριβή όμως υπολογισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών όπως επίσης και για τον βαθμό αποληψιμότητας από διάφορα μέτωπα εκμετάλλευσης θα πρέπει να γίνουν επιπρόσθετες ερευνητικές εργασίες (επιφ. τρانشέρες, γεωτρήσεις πυρηνοληψίας μικρού βάθους, χαρτογράφηση σε μικρή κλίμακα και πλήθος αναλύσεων για απώλεια πύρωσης).

Το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς ολιβίνη είναι της τάξης των αρκετών εκατομμυρίων έως μερικών δεκάδων εκατομμυρίων τόννων τον χρόνο. Το μεγαλύτερο μέρος χρησιμοποιείται σαν προοδοποιητής σκουριών (slag conditioner) στις υψηλά καμίνους για την παραγωγή σιδήρου και ατσαλιού. Οι τιμές σ' αυτή την αγορά δεν είναι πολύ καλές, όπως επίσης δεν είναι και οι προδιαγραφές υψηλές. Λόγω των χαμηλών τιμών (3-5.000 δρχ/τόννο CIF) πρωταρχικό ρόλο παίζουν τα μεταφορικά.

Πυρίμαχα και χυτήρια είναι οι δύο τομείς με τις υψηλές προδιαγραφές και αρκετά καλές έως υψηλές τιμές. Το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς για "άμμο χυτηρίων" είναι μεγαλύτερο από 10 εκ. τόννους τον χρόνο αλλά στην συντριπτική τους πλειοψηφία τα χυτήρια χρησιμοποιούν χαλαζιακή άμμο. Σε ορισμένες, περιβαλλοντικά ευαίσθητες χώρες (π.χ. Σουηδία, Νορβηγία κλπ.) η χρήση της χαλαζιακής άμμου έχει απαγορευθεί για λόγους υγείας. Στις πολύ μεγάλες όμως αγορές (π.χ. Γαλλία, Ιταλία, ΗΠΑ) δεν υφίστανται αυτοί οι περιορισμοί. Στην περίπτωση που απαγορευτεί η χαλαζιακή άμμος στα χυτήρια, τότε ο ολιβίνης θα πάρει την θέση της καθόσον είναι η αμέσως φθηνότερη γνωστή λύση. Το μέγεθος της ελληνικής αγοράς για άμμο χυτηρίων είναι 10.000 περίπου τόννοι (χαλαζίας, χρώματα και τελευταία και ολιβίνης).

Για να έχει προοπτικές να αντικαταστήσει, στην Ελλάδα, ο ολιβίνης την (εισαγόμενη) χαλαζιακή άμμο θα πρέπει να είναι, στην αρχή τουλάχιστον, ανταγωνιστικός στην τιμή. Δηλαδή στα χυτήρια δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τις 20.000 δρχ. ο τόννος συσκευασμένη η ολιβινική άμμος σε τσουβάλια των 50 κιλών. Θα πρέπει

επίσης να τονισθεί εδώ ότι όπως έδειξαν δοκιμές, καταλληλότητας σε μικρά χυτήρια (χυτεύσεις < 1500°C) άμμοι με χειρότερες προδιαγραφές (π.χ. απώλεια πύρωσης 2,5%) συνεχίζουν να είναι κατάλληλες.

Από βιβλιογραφικά δεδομένα (SKILLEN 1995) αλλά και από εργαστηριακής κλίμακας προκαταρκτικές δοκιμές καταλληλότητας, φαίνεται ότι οι δουνίτες/ χαρζ-βουργίτες της Πίνδου και του Βούρινου είναι κατάλληλοι και για πυρίμαχες μάζες και για υλικό αμμοβολών. Το μέγεθος της ελληνικής και παγκόσμιας αγοράς για τις δύο αυτές χρήσεις είναι πολύ μεγαλύτερο από ότι για τα χυτήρια και οι τιμές αρκετά έως πολύ υψηλότερες. Ειδικότερα για τις πυρίμαχες μάζες θα πρέπει να δοθεί έμφαση στον εντοπισμό αποθεμάτων με το δυνατόν χαμηλότερο FeO στο τελικό προϊόν (π.χ. < 7-7,5%).

Ανακεφαλαιώνοντας τα μέχρι τώρα αποτελέσματα μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

- Τεράστιο το αποθεματικό δυναμικό της Πίνδου και του Βούρινου σε δουνίτη και (κυρίως) χαρζβουργίτη κατάλληλων, από οικονομικής πλευράς, για την παραγωγή ολιβινικών προϊόντων υψηλών προδιαγραφών.
- Το μέγεθος της ελληνικής αγοράς για χυτήρια, αμμοβολές και πυρίμαχα είναι αρκετά μεγάλο για να στηρίξει μια επένδυση. Απαραίτητη προϋπόθεση η ανταγωνιστικότητα των ολιβινικών προϊόντων σε σχέση με τις χρησιμοποιούμενες σήμερα, αντί ολιβίνη, πρώτες ύλες (χαλαζίας, σκουριές κλπ) και οι δοκιμές καταλληλότητας σε βιομηχανική κλίμακα.
- Το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς είναι τεράστιο. Η Νορβηγία φαίνεται ότι μονοπωλεί την Ευρωπαϊκή αγορά εδώ και μερικές δεκαετίες σε ολιβινικά προϊόντα υψηλών προδιαγραφών. Η είσοδος στην ευρωπαϊκή ή και στην παγκόσμια αγορά είναι μια δύσκολη υπόθεση. Θα χρειαστεί για κάτι τέτοιο μεγάλο χρονικό διάστημα και θα πρέπει να γίνουν πολύ προσεκτικές και μεθοδευμένες κινήσεις.
- Το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς για χρήση του ολιβίνη σαν προοδοποιητής σκουριών είναι τεράστιο. Οι τιμές για αυτή την χρήση είναι χαμηλές και το μεταφορικό κόστος (απόσταση από λιμάνι) παίζει πρωταρχικό ρόλο.
- Τα χαρακτηριστικά του ολιβίνη (πυριμαχότητα, σκληρότητα, ευκολία αποσάθρωσης/αντίδραση σε όξινο περιβάλλον, θερμοχωρητικότητα, μεγάλο ειδικό βάρος, φιλικότητα προς το περιβάλλον, λευκό έως ελαφρά πράσινο χρώμα της σκόνης του) έχουν εφαρμογές και σε άλλα γνωστά πεδία (μορφοποιημένα πυρίμαχα, θερμοσυσσωρευτές, βαριά τσιμέντα, χρώματα, βελτιωτής εδαφών κλπ) για τα οποία όμως θα πρέπει πρώτα να γίνουν δοκιμές καταλληλότητας.

Βιβλιογραφία

- Anonymous 1972, Penrose field conference on ophiolites. *Geotimes* 17, 24-25.
 ΒΡΑΧΑΤΗΣ Γ. & ΓΡΙΒΑΣ Η., 1980. Γεωλογική χαρτογράφηση στην περιοχή του

Βούρινου (1:10.000). ΙΓΜΕ, εσωτ. Έκθεση, σ. 80.

- DEER W.A., HOWIE R.A. & ZUSSMAN J. 1975. An introduction to the rock-forming minerals. Longman, 528 p.
- ECONOMOU M., DIMOU E., ECONOMOU G., MIGIROS G. VACONDIOS I., GRIVAS E., RASSIOS A. & DABITZIAS. S., 1986. Chromite deposits of Greece. in Karamata, S., ed., UNESCO's IGCP 197: Metallogeny of Ophiolites. Theophrastus, Athens, p. 129-159.
- MOORES E., 1969. Petrology and structure of the Vourinos Ophiolite Complex of Northern Greece. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 118, 74pp.
- ΝΤΑΜΠΙΤΖΙΑΣ Σ., ΡΑΣΣΙΟΥ Α., ΑΡΒΑΝΙΤΙΔΗΣ Ν., ΚΑΚΛΑΜΑΝΗΣ Ν., ΜΑΥΡΟΓΙΑΝΝΗΣ Ι., ΒΕΡΑΝΗΣ Ν., ΓΡΙΒΑΣ Η., ΚΟΥΤΚΟΥΛΗΣ Χ., ΗΛΙΑΔΗΣ Α. & ΘΕΟΔΩΡΟΥΔΗΣ Α., 1995: Olivine/dunite for industrial and environmental application (PART A- Geology/Beneficiation): BRE2-CT92-0344 (1993-1995).
- RASSIOS A., MOORES E. & GREEN H., 1983. Magmatic structure and stratigraphy of the Vourinos Ophiolite cumulate zone, Northern Greece. Ophiolite 8(3) 377-410.
- RASSIOS A., 1990. Internal structure and pseudostratigraphy of the Dramala peridotite massif, Pindos Mountains, Greece. Bull. Geol. Soc. Greece, XXV/I, 293-305.
- RASSIOS A., KONSTANTOPOULOU G. & VAKONDIOS, 1991. Tectonic Controls on Chrome Ore Localization Ophiolites, Greece. Inst. of Geology and Mineral Exploration, pp. 228.
- SKILLEN A., 1995. Olivine: Long live the evolution Ind. Minerals, February 1995, p. 23-31.
- ZIMMERMAN J., 1972. Emplacement of the Vourinos ophiolitic Complex, northern Greece. Geol. Soc. Am. Bull. 132:225-239.

**ΠΑΡΟΥΣΙΑ, ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
ΤΩΝ ΙΝΩΝ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΣΤΑ ΝΕΡΑ
ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΛΙΑΚΜΟΝΑ**

Σ. Οικονομίδης¹, Σ. Σκλαβούνος¹, Κ. Μιχαηλίδης¹, Θ. Κουϊμτζής²

Περίληψη

Στα νερά του συστήματος του ποταμού Αλιάκμονα παρατηρούνται συγκεντρώσεις αιωρούμενων ινών χρυσοτιλικού αμιάντου. Για την ανίχνευσή τους στα νερά του ποταμού και των παραποτάμων του χρησιμοποιούνται μεθοδολογίες τόσο Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) όσο και Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Διερχόμενης δέσμης (TEM). Η ανίχνευση του χρυσότιλου στα ιζήματα έγινε με την μέθοδο XRD. Οι περιοχές με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ινών βρίσκονται κοντά στην περιοχή των ορυχείων αμιάντου στη Μονή Ζιδανίου του Νομού Κοζάνης και εντοπίζονται στα ρέματα που αποστραγγίζουν την περιοχή του ορυχείου καθώς και στα σημεία του ποταμού που διέρχονται κοντά στα στείρα του ορυχείου. Μεγάλες συγκεντρώσεις ινών αμιάντου παρατηρούνται επίσης και στην λίμνη Πολυφύτου. Σύγκριση των αποτελεσμάτων διάφορων μεθοδολογιών οδήγησε σε μεταξύ τους διαφορές στα πλαίσια του στατιστικού σφάλματος.

Abstract

Remarkable concentrations of suspended chrysotile asbestos fibers are observed in the Aliakmon River system in Western Macedonia, Northern Greece. These fibers derive from (i) mechanical erosion of asbestos-bearing rocks situated among the serpentinites of the Vourinos ofiolite series, (ii) mining activities of asbestos mines near the Zidani Monastery, Mikrovalto area, Kozani, and (iii) urban or rural use of asbestos products. Water and precipitate samples were taken from various sites in Aliakmon River and from those tributaries that strain regions with ultrabasic rocks. For the determination of the quantity of asbestos fibers per liter of water Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) methods have been employed. The contents of the precipitate samples have been identified by use of X-ray diffraction methods. Higher concentrations of asbestos fibers per liter of water characterize the sampling sites of Aliakmon River itself near Zidani Mines as well as of its tributaries that strain the mine area. Higher concentrations of asbestos fibers per liter of water characterize also the sampling sites of

1. Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. 54006 Θεσσαλονίκη.
2. Εργαστήριο Ελέγχου Ρύπανσης Περιβάλλοντος, Τμήμα Χημείας Α.Π.Θ. 54006 Θεσσαλονίκη.

Polyfyto and Assomata lakes. This study has shown that the main source of asbestos fibers is the gangue from Zidani mine, which is located very close to Aliakmon River and Polyfyto Lake. The large concentration of fibers observed in sampling sites upstream the Zidani mine leads to the conclusion that mechanical erosion also contributes by some percentage, albeit small, to the total amount of fibers found in the river waters. A comparison of results obtained using different methods showed that the differences between them lie within statistic error.

Εισαγωγή

Οι ίνες αμιάντου στα νερά του ποταμού Αλιάκμονα στη Δυτική Μακεδονία ανιχνεύθηκαν για πρώτη φορά κατά τις αρχικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν για την υδροδότηση της πόλης της Θεσσαλονίκης με τα νερά του. Οι ίνες αυτές είναι δυνατόν να αποτελούνται κυρίως από το σερπεντινικό ορυκτό χρυσοτίλης αλλά και από ινώδη αμφιβολικά ορυκτά. Στην λεκάνη απορροής του Αλιάκμονα υπάρχουν πολλές εμφανίσεις τόσο σερπεντινικών πετρωμάτων τα οποία συνήθως φιλοξενούν τα ορυκτά του αμιάντου, όσο και ένα ορυχείο αμιάντου σε λειτουργία. Το ορυχείο αυτό βρίσκεται στην περιοχή της μονής Ζιδανίου στο Μικρόβαλτο Κοζάνης. Στην παρούσα εργασία ανιχνεύεται η διασπορά τους στο ποτάμιο σύστημα του Αλιάκμονα, είτε κατευθείαν από τα πετρώματα είτε σαν αποτέλεσμα της εξορυκτικής διαδικασίας. Για την πραγματοποίηση της μελέτης αυτής, έγιναν μετρήσεις ινών αμιάντου σε δείγματα νερού, σε διάφορα σημεία του ποταμού Αλιάκμονα, στις λίμνες Πολυφύτου, Σφηκιάς και Ασωμάτων και σε όλα τα πλευρικά ρέματα που καταλήγουν είτε στον Αλιάκμονα είτε στις ανωτέρω λίμνες και διαρρέουν περιοχές με υπερβασικά πετρώματα.

Η ανίχνευση και προσδιορισμός των ινών του αμιάντου έγινε τόσο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης και μικροανάλυση, όσο και με τη χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου διερχόμενης δέσμης. Επίσης έγινε ανίχνευση ινών σε στερεό ίζημα του ποταμού με χρήση ακτινών X.

Ορυκτολογία του αμιάντου – Εμφανίσεις στην περιοχή

Αν και στην εργασία αυτή αναφέρεται ο γενικός όρος “αμιάντος” θα πρέπει να σημειωθεί κατ’ αρχήν ότι ο όρος αυτός δεν αναφέρεται σε κάποιο συγκεκριμένο ορυκτό ούτε σε ομάδα ορυκτών. Είναι η κοινή εμπορική ονομασία των έξι πιο διαδεδομένων ινωδών πυριτικών ορυκτών. Αυτά τα έξι ορυκτά το πιο διαδεδομένο, ο χρυσοτίλης ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$) ανήκει στην ομάδα του σερπεντίνη, ενώ τα υπόλοιπα ανήκουν στην ομάδα των αμφιβόλων. Τα ορυκτά αυτά είναι: ο κροκιδόλιθος ή μπλε αμιάντος ($Na_2Fe^{3+}_2(Fe^{2+}_3, Mg)_3Si_8O_{22}(OH)_2$), ο οποίος είναι η ινώδης μορφή του ριβεκίτη, ο αμοσίτης ($Fe^{2+}_2(Fe^{2+}, Mg)_5Si_8O_{22}(OH)_2$), ο οποίος είναι η ινώδης μορφή του γρουνερίτη, ο ακτινόλιθος ($Ca_2(Mg, Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$), ο τρεμολίτης ($Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$) και ο ανθοφυλλίτης ($Mg_2(Mg, Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$). Ο χρυσοτίλης αποτελεί την πιο συνηθισμένη μορφή αμιάντου τόσο στην φύση όσο

και στο εμπόριο. Επειδή όμως έχουν κοινή εμπορική χρήση και κοινές παρενέργειες στην υγεία αναφέρονται μαζί με κοινό όνομα και εξετάζονται μαζί με βάση την μορφολογία των ινών τους (που είναι και το κοινό τους χαρακτηριστικό).

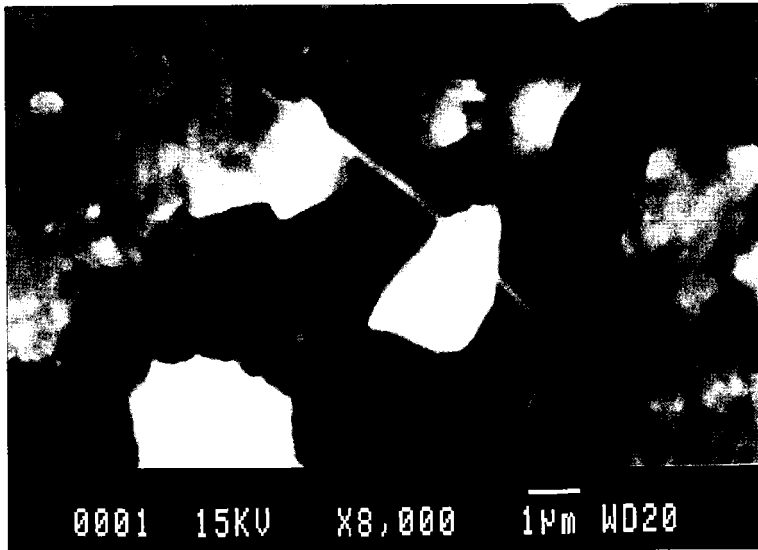
Η συντριπτική πλειοψηφία των εμφανίσεων αμιάντου στην περιοχή είναι σερπεντινικός αμιάντος. Το κοίτασμα της Μονής Ζιδανίου αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από χρυσοσιλικό αμιάντο (SKARPELIS & DABITSIAS 1987) ενώ στα αμφιβολικά ορυκτά που υπάρχουν στην περιοχή του κοιτάσματος δεν περιλαμβάνονται ούτε ινώδη ορυκτά ούτε αμφίβολοι που μπορούν να δώσουν ορυκτά αμφιβολικού αμιάντου (SKARPELIS & DABITSIAS 1987, KARKANAS 1995). Στην περιοχή που αποστραγγίζει το ποτάμιο σύστημα του Αλιάκμονα υπάρχουν αρκετές εμφανίσεις ορυκτών αμιάντου, οι περισσότερες μικρές και περιστασιακές, καθώς επίσης και το κοίτασμα της μονής Ζιδανίου που βρίσκεται κοντά στο χωριό Μικρόβαλτο του νομού Κοζάνης. Έτσι έχουν παρατηρηθεί εμφανίσεις των ορυκτών αυτών στην περιοχή του Άργους Ορεστικού Καστοριάς, μεταξύ των χωριών Μανιάκοι και Άργος Ορεστικό, στην περιοχή μεταξύ των χωριών Ταξιάρχης και Μικροκλεισούρα Γρεβενών, σε πολλά σημεία του όρους Βούρινος στα όρια των νομών Κοζάνης και Γρεβενών και ειδικότερα στην κοιλάδα του Αλιάκμονα από την μονή Οσίου Νικάνορος (Ζάβορδας) Γρεβενών και κατόπιν έως περίπου την περιοχή ανάντη της μονής Ιλαρίωνος Κοζάνης.

Αναλυτικές μέθοδοι – Μεθοδολογία

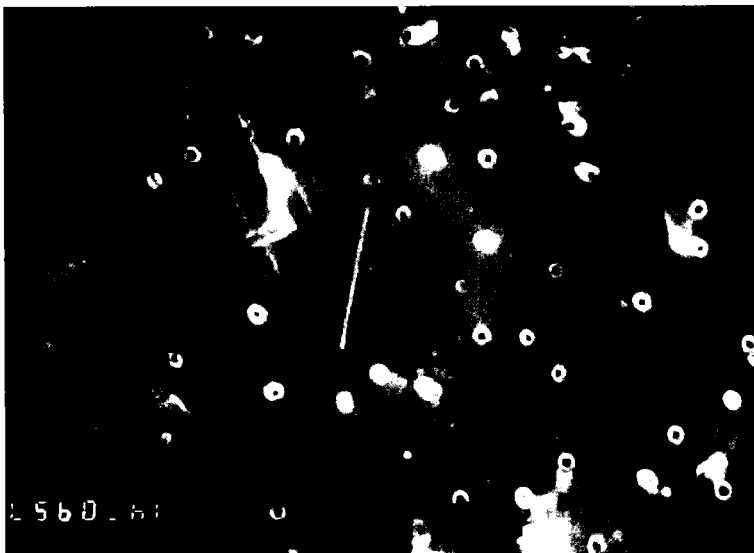
Για την ανίχνευση της παρουσίας των ινών αμιάντου στα νερά του ποταμού Αλιάκμονα και των παραποτάμων του χρησιμοποιήθηκαν μεθοδολογίες ηλεκτρονικής μικροσκοπίας τόσο σάρωσης (SEM) όσο και διερχόμενης δέσμης (TEM).

Κατά την μέθοδο ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης η μέτρηση και η μελέτη των ινών που ανιχνεύονται γίνεται κατ' ευθείαν στο φίλτρο στο οποίο γίνεται η διήθηση του δείγματος νερού (Εικ. 1). Στο δείγμα κατά τη συλλογή του γίνεται προσθήκη διαλύματος $HgCl_2$ 2,5% κ.β. και με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η ανάπτυξη μικροοργανισμών μέσα στο δείγμα. Οι μικροοργανισμοί αυτοί στη συνέχεια απομακρύνονται με την καύση του αρχικού φίλτρου σε συσκευή πλάσματος οξυγόνου. Η διεργασία αυτή γίνεται ώστε κατά την μελέτη των δειγμάτων στο σαρωτικό μικροσκόπιο να μην υπάρχουν σκελετικά στοιχεία από μικροοργανισμούς που πιθανόν να προσομοιάζουν με ίνες αμιάντου. Αν παρ' όλα αυτά υπάρχουν υπολείμματα από οργανισμούς χρησιμοποιείται επικουρικά και μικροανάλυση με EDS.

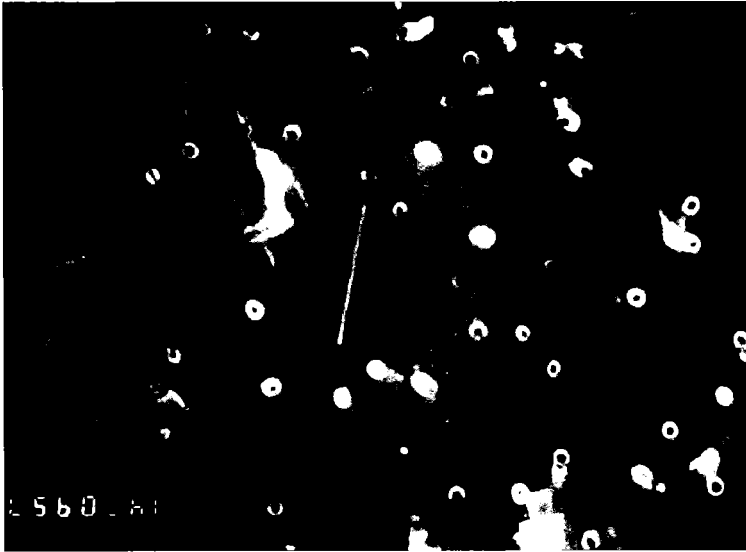
Η ίδια μέθοδος προετοιμασίας και συντήρησης του δείγματος ακολουθείται και στην περίπτωση που η μέτρηση γίνει με τη χρήση ηλεκτρονικής μικροσκοπίας διερχόμενης δέσμης (Εικ. 2). Στην περίπτωση αυτή όμως η μέτρηση δεν γίνεται απ' ευθείας στο φίλτρο στο οποίο έγινε η διήθηση αλλά το υπόλειμμα τοποθετείται μέσω ενός στρώματος άνθρακα στον φορέα που χρησιμοποιείται για την εισαγωγή των δειγμάτων στο μικροσκόπιο και στη συνέχεια το φίλτρο απομακρύνεται



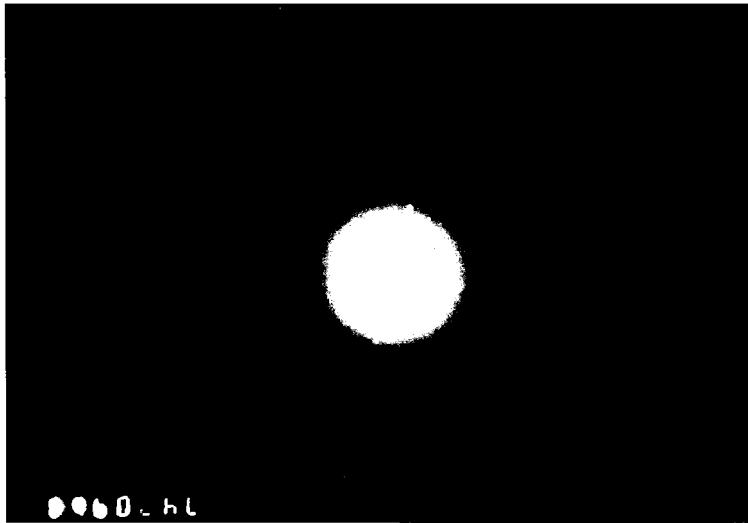
Εικόνα 1. Εικόνα ίνας αμιάντου από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης ανάμεσα σε φερτά υλικά.



Εικόνα 2. Ίνα αμιάντου όπως φαίνεται σε μικροσκόπιο διερχόμενης δέσμης (TEM).



Εικόνα 3. Ίνα αμιάντου όπως φαίνεται στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Διερχόμενης Δέσμης με τη χρήση της τεχνικής οπισθίου φωτισμού (backlight).



Εικόνα 4. Εικόνα TEM diffraction από ίνες αμιάντου στα νερά του ποταμού Αλιάκμονα.

με την επίδραση χλωροφορμίου (CHCl_3). Στην περίπτωση αυτή δεν είναι δυνατή η χρήση μικροαναλυτή για να αποκλειστεί η οργανική προέλευση του υλικού, αλλά βεβαιώνεται η κρυσταλλική δομή του με τη χρήση backlight τεχνικής (Εικ. 3) ή (το ιδανικότερο) με TEM diffraction (Εικ. 4), όπου όχι μόνο βεβαιώνεται η κρυσταλλική δομή του ορυκτού αλλά μπορεί και να μελετηθεί εκτενέστερα αυτή. Δυστυχώς επειδή τα δείγματα προέρχονται από φιλτράρισμα φυσικών νερών αυτές οι περιπτώσεις είναι σπανιότατες.

Τέλος ο εντοπισμός των ορυκτών αμιάντου γίνεται και σε ίζημα από την κοίτη των ρεμάτων ή και σε στερεό υπόλειμμα από τη διήθηση των ποταμίων υδάτων. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται αποκλειστικά για τον εντοπισμό επίμαχων σημείων με πιθανό περιβαλλοντικό πρόβλημα και όχι για ποσοτική ή έστω ημι-ποσοτική εκτίμηση της περιεκτικότητας των ιζημάτων σε ίνες αμιάντου. Αυτό γίνεται γιατί οι ίνες μετρούνται ως αριθμός και όχι σαν κατά όγκο ή κατά βάρος περιεκτικότητα στο ίζημα.

Αποτελέσματα - Μετρήσεις

Αν και η παρουσία των ινών αμιάντου στα νερά του ποτάμιου συστήματος του Αλιάκμονα εντοπίζεται κυρίως στην περιοχή της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου, αυτές έχουν ανιχνευθεί σε όλο το ποτάμιο σύστημα από την περιοχή στην οποία ενώνονται οι δύο κλάδοι του Αλιάκμονα (αυτός που έρχεται από τον Γράμμο και αυτός που έρχεται από την περιοχή των Πρεσπών) και κατάντη). Στις περιοχές που βρίσκονται ανάντη της γέφυρας στην Ε.Ο. Κοζάνης – Γρεβενών η παρουσία των ινών είναι σπάνια και περιστασιακή, και ανέρχεται σε 10^5 ίνες αμιάντου/λίτρο φυσικού νερού το πολύ, με συνθετικές τιμές πολύ χαμηλότερες. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα στην παρούσα εργασία έχουν βγει με μέτρηση των ινών όλων των μεγεθών που παρατηρήθηκαν στα δείγματα και όχι μόνο αυτών των άνω των 5 μm όπως προτείνουν η Π.Ο.Υ. και η Ε.Ρ.Α. Στα αποτελέσματα τα οποία δημοσιεύονται από αυτήν την εργασία το ποσοστό των άνω των 5 μm ινών είναι κατά μέσο όρο γύρω στο 10-20%.

Από την περιοχή στην οποία ο ποταμός Αλιάκμονας διέρχεται κοντά στα χωριά Ταξιάρχης και Μικροκλεισούρα του νομού Γρεβενών η παρουσία των ινών γίνεται πιο συχνή και σταθερή. Επίσης στην περιοχή αυτή ίνες ανιχνεύονται και στα πλευρικά ρέματα τόσο της αριστερής όχθης που αποστραγγίζουν τη Δυτική πλευρά του Βουρίνου, όσο και αυτά της δεξιάς όχθης δηλαδή τον Βενέτικο και τον Γρεβενιώτικο. Σε όλη την περιοχή των Γρεβενών οι τιμές των ινών ανά λίτρο που υπολογίστηκαν είναι της τάξης 10^5 - 10^6 . Στον Αλιάκμονα οι τιμές είναι σαφώς μεγαλύτερες και πλησιάζουν το 10^6 ενώ στα πλευρικά ρέματα της περιοχής οι τιμές βρίσκονται στο επίπεδο των $2 \cdot 10^5$ - $4 \cdot 10^5$ ινών/λίτρο. Μεγαλύτερη συγκέντρωση ινών παρουσιάζουν τα νερά του Γρεβενιώτικου για τον οποίο θα πρέπει να σημειωθεί ότι πρέπει να σημειωθεί ότι δεν πρέπει να αποκλειστεί και η περίπτωση της

ανθρωπογενούς προέλευσης των ινών που ανιχνεύονται καθώς ο παραπόταμος αυτός του Αλιάκμονα διέρχεται ακριβώς μέσα από τα Γρεβενά. Βέβαια τόσο ο Γρεβενιώτικος όσο και ο Βενέτικος πηγάζουν από περιοχές του όρους Όρλιακας με μεγάλες οφιολιθικές εμφανίσεις και η παρουσία ορυκτών αμιάντου εκεί είναι πιθανή αν και όχι βεβαιωμένη, η χρήση όμως των προϊόντων αμιάντου στην ύδρευση, άρδευση και στις κατασκευές είναι τόσο διαδεδομένη που μπορεί να δικαιολογήσει κάποιο μέρος της παρουσίας των ινών στον ποταμό αυτό.

Ο Αλιάκμονας παρουσιάζει περίπου κατ' όλο το μήκος του από την περιοχή του χωριού Παναγία Γρεβενών μέχρι να αρχίσει να σχηματίζει την τεχνητή λίμνη του Πολυφύτου σταθερές συγκεντρώσεις περίπου 10^6 ίνες/λίτρο, ενώ σε μεμονωμένες περιπτώσεις οι συγκεντρώσεις φτάνουν μέχρι και το διπλάσιο. Όλα, επίσης, τα ρέματα της περιοχής πλην ελαχίστων και εποχιακών εξαιρέσεων παρουσιάζουν συγκεντρώσεις άνω του $5 \cdot 10^5$ ίνες ανά λίτρο.

Την μεγαλύτερη ποσότητα ινών ανά λίτρο την παρουσιάζουν τα ρέματα τα οποία βρίσκονται ακριβώς στην περιοχή των ορυχείων και περνούν κάτω από τα στείρα του ορυχείου. Στα ρέματα αυτά, ειδικά στο νοτιότερο από αυτά, η συγκέντρωση έχει φτάσει μέχρι και στα 5 εκ. ίνες ανά λίτρο με μία ελαφριά πτωτική τάση κατά το πέρασμα των ετών για να βρίσκεται περί τα 3,5 εκ. ίνες ανά λίτρο στις πιο πρόσφατες μετρήσεις. Στα ιζήματα δε από τα ρέματα αυτά και μετά την απομάκρυνση των οξειδίων και των ανθρακικών ορυκτών από αυτά οι κυρίαρχες ανακλάσεις φαίνονται να είναι αυτές του ορυκτού χρυσοσίλης αν και αυτό από μόνο του δεν υποδηλώνει τίποτε για την συγκέντρωση των ινών εκφρασμένη σε ίνες ανά λίτρο.

Αρκετά μεγάλες επίσης είναι και οι συγκεντρώσεις που παρατηρούνται και στη λίμνη του Πολυφύτου. Στη λίμνη αυτή πάρθηκαν δείγματα σε διάφορα σημεία με τις μεγαλύτερες τιμές να βρίσκονται στην περιοχή της γέφυρας του Ρυμνίου (μέση τιμή $1,8 \cdot 10^6$ ίνες/λίτρο), χωρίς όμως οι διαφορές μεταξύ των σημείων να είναι ιδιαίτερα μεγάλες, αν και υπαρκτές. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι στις περιοχές τις οποίες έγινε δειγματοληψία τόσο στην όχθη όσο και στο κέντρο της λίμνης, οι μετρήσεις έδειξαν μια σχετικά μεγαλύτερη συγκέντρωση ινών στις όχθες της λίμνης.

Τέλος οι συγκεντρώσεις μετά το φράγμα του Πολυφύτου και μέχρι αυτό των Ασωμάτων, όπου και τελειώνει η σειρά των μετρήσεων, στο σημείο όπου μπαίνει ο Αλιάκμονας στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης, γενικά παρουσιάζονται σταθερές στα επίπεδα του 1 εκ. ίνες /λίτρο στην κυρίως κοίτη και του $5 \cdot 10^5$ στα περισσότερα πλευρικά ρέματα, παρουσιάζεται όμως μια μεγάλη συγκέντρωση σε ένα συγκεκριμένο πλευρικό ρέμα της δεξιάς όχθης του Αλιάκμονα, κοντά στο φράγμα της Σφηκιάς, της τάξης των 10^6 ινών ανά λίτρο φυσικού νερού (μέση τιμή $9 \cdot 10^5$ ίνες /λίτρο). Αύξηση τέλος παρουσιάζει και η συγκέντρωση των ινών στο φράγμα των Ασωμάτων με μέση τιμή της τάξης των $1,5 \cdot 10^6$ ίνες /λίτρο.

Πίνακας 1. Μέση ποσότητα ινών αμιάντου σε θέσεις του Αλιάκμονα (ΑΑ, ΑΛ) και πλευρικών ρεμάτων (ΡΑ, ΡΔ)

ΘΕΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΙΝΕΣ/ ΛΙΤΡΟ
AL 01	Κορομηλιά	0
AL 02	Διασταύρωση Νέας Λεύκης	0
AL 03	Γέφυρα Ποριάς	0 – 0,1 × 105
AL 04	Διασταύρωση Αμπελοχωρίου	0
AL 05	Νέα γέφυρα Νεάπολης	3 × 105
AL 06	Γέφυρα Ε.Ο. Κοζάνης - Γρεβενών	4,5 × 105
AL 07	Συμβολή με τα ρέματα κοντά στη Μικροκλεισούρα	6 × 105
AL 08	Συμβολή με Γρεβενιώτικο	9 × 105
AL 09	Συμβολή με Βενέτιο	9 × 105
AL 10	Γέφυρα Παναγιάς	7 × 105
AL 11	Γέφυρα Μεταλλική (πεζών) στη Ζάβορδα	9 × 105
AL 12	Μονή Παριώνα	6 × 105
AL 13	Γέφυρα Ρυμνίου	1,5 × 106
RA 02	2ο ρέμα από Δαφνερό προς Μικροκλεισούρα	8 × 105
RA 08	Ρέμα Ιτέας - Κνίδης	3 × 105
RA 12	1ο ρέμα από Νεοχώρι προς Παναγία	2 × 105
RA 13	2ο ρέμα από Νεοχώρι προς Παναγία (κιάσκι)	0
RA 14	Ανάμεσα Παναγία - Ζάβορδα μετα την άσφαλο	3 × 105
RA 15	Ανάμεσα Ζάβορδα - Σκούμισια	4 × 105
RA 16	1ο ρέμα από Σκούμισια προς Αιανή	7 × 105
RA 17	2ο ρέμα από Σκούμισια προς Αιανή	8 × 105
RA 18	Μεταλλεία Σκούμισιας	7 × 105
RD 01	Γρεβενιώτικος	5 × 105
RD 02	Βενέτικος	4 × 105
RD 03	1ο ρέμα από Δήμητρα προς Παλιουριά	3 × 105
RD 04	2ο ρέμα από Δήμητρα προς Παλιουριά	0
RD 05	1ο ρέμα από Ελάτη προς Λαζαράδες	9 × 105
RD 06	2ο ρέμα από Ελάτη προς Λαζαράδες	5 × 105
RD 07	2ο ρέμα από το μεταλλείο προς Ρύμνιο	3,4 × 106
RD 08	1ο ρέμα από το μεταλλείο προς Ρύμνιο	1,6 × 106
AA 1	Βαρβάρες	1,7 × 106
AA 13	Σφηκιά 2	6 × 105
AA 14	Σφηκιά 3	0
AA 2	Σφηκιά1	9 × 105
AA 3	Σφηκιά - Φράγμα	1,1 × 106
AA 4	Φράγμα Πολυφύτου	9,5 × 105
AA 5	Γέφυρα Σερβίων -Όχθη (Ναυτικός όμιλος)	1,8 × 105
AA 6	Γέφυρα Σερβίων (Κέντρο)	1,5 × 105

Για τη λήψη των παραπάνω αποτελεσμάτων οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν τόσο συγκριτικά όσο και επικουρικά. Ο τρόπος προετοιμασίας των δειγμάτων ώστε να γίνει η παρατήρηση εμπειρέχει, ειδικά με τη χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου διερχόμενης δέσμης, πολλούς κινδύνους και είναι δυνατόν το δείγμα να μην μπορεί να έρθει στην απαραίτητη μορφή ώστε να διεξαχθούν οι μετρήσεις. Γι' αυτόν το λόγο όπου ήταν δυνατό να παρθεί μέτρηση και με τις δύο μεθόδους ηλεκτρονικής μικροσκοπίας αυτό λειτούργησε και σαν σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων τους. Η σύγκριση αυτή στη συντριπτική πλειονότητα των περιπτώσεων έδωσε μικρές διαφορές μέσα στα πλαίσια του στατιστικού σφάλματος, γεγονός που μας δίνει το δικαίωμα να δεχθούμε τα αποτελέσματα και από δείγματα που τελικά κατέστη δυνατή η χρήση μόνο της μιας μεθόδου.

Σε κάθε θέση δειγματοληψίας έγιναν μετρήσεις σε διάφορες εποχές του έτους και κατά τη διάρκεια 3 ετών, χωρίς όμως να δώσουν ούτε κάποια εποχιακή κατανομή, ούτε κάποια συγκεκριμένη τάση κατά την πάροδο των ετών. Υπάρχει μία μικρή πτώση των συγκεντρώσεων καθώς ερχόμαστε σε πιο πρόσφατες δειγματοληψίες, αλλά το γεγονός ότι αυτή δεν είναι τόση ώστε να ξεφεύγει από τα όρια του στατιστικού σφάλματος, την κάνει μη δημοσιεύσιμη.

Τέλος, στα σημεία με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις και στα περισσότερα πλευρικά ρέματα της περιοχής των ορυχείων έγιναν ακτινογραφήματα XRD. Χωρίς να έχει γίνει ποσοτική αξιολόγηση, άλλωστε όπως αναφέρθηκε κάτι τέτοιο δεν έχει νόημα, παρά μόνον ποιοτική ανίχνευση του ορυκτού χρυσοτίλης, παρατηρήθηκε μία αύξηση της έντασης των ανακλάσεων του χρυσοτίλη ανάλογη με τις συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν στα νερά.

Προέλευση των ιών – Συμπεράσματα

Από την μελέτη των ανωτέρω μετρήσεων το αρχικό συμπέρασμα που βγαίνει είναι ότι οι ίνες αμιάντου που βρίσκονται στα νερά του ποταμίου συστήματος του Αλιάκμονα έχουν βρεθεί εκεί με διαφόρους τρόπους.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των ιών που βρίσκεται στην περιοχή της λίμνης Πολυφύτου και καπάντη προέρχεται από το κοίτασμα της μονής Ζιδανίου. Είτε από αιολική μεταφορά ιών από τα στείρα του ορυχείου είτε από διάβρωση αυτού καθ' εαυτού του κοιτάσματος και μεταφορά ιών από αυτό μέσω των ρεμάτων που αποστραγγίζουν την περιοχή του. Η ύπαρξη κάποιων υπολογισμών συγκεντρώσεων σε σημεία εντελώς απομακρυσμένα από κάθε εκμεταλλευτική δραστηριότητα αποδεικνύει ότι η διάβρωση αμιαντοφόρων πετρωμάτων είναι δυνατόν να προκαλέσει την εμφάνιση συγκεντρώσεων ιών μέσα σε φυσικά νερά. Ένα γεγονός που θα πρέπει να σημειωθεί σ' αυτό το σημείο είναι η κάποια αύξηση του αριθμού των ιών ανά λίτρο φυσικού νερού που παρατηρείται στα δείγματα από το φράγμα των Ασωμάτων, καθώς και η παρουσία ιών σε ρέματα που αποστραγγίζουν τη βόρεια πλευρά των Πιερίων, μακριά από το κοίτασμα της μονής Ζιδανίου. Το

γεγονός αυτό συντείνει στην ένδειξη ότι υπάρχει αρκετή συνεισφορά σε ίνες στο ποτάμιο σύστημα και μέσω διάβρωσης.

Παρ' όλα αυτά όμως στην περιοχή όπου ο Αλιάκμονας περνάει κοντά από τα στείρα του ορυχείου, οι συγκεντρώσεις των ινών υπερδιπλασιάζονται, και τα ρέματα που συμβάλλουν με τον Αλιάκμονα σε εκείνη την περιοχή μπορεί μεν να έχουν πάρα πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις ινών, πλην όμως έχουν πολύ μικρές παροχές, συγκρινόμενες με τον υδάτινο όγκο της λίμνης Πολυφύτου, ώστε να δικαιολογούν από μόνες τους αυτήν την αύξηση. Επίσης το γεγονός ότι στο κέντρο της λίμνης, όπου υπάρχει ροή των υδάτων, οι συγκεντρώσεις είναι συνήθως μικρότερες από ότι στις όχθες, όπου τα νερά είναι στάσιμα, υποδεικνύει ότι οι ίνες παρασύρονται εύκολα από τη ροή του ποταμού και κατά συνέπεια μεταφέρονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Από τα παραπάνω οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η μεγάλη πλειοψηφία των ινών που βρίσκονται στη λίμνη Πολυφύτου και κατάντη έχουν προέλευση τα στείρα του ορυχείου, ενώ ανάντη της γέφυρας στη μονή Ιλαρίωνος (Αιανή Ν. Κοζάνης), οι ίνες προέρχονται από μηχανική διάβρωση των αμιαντοφόρων πετρωμάτων της περιοχής.

Τέλος, δεν θα έπρεπε να αποκλειστεί εντελώς η περίπτωση της ανθρωπογενούς προέλευσης μέρους των ινών. Αλλά αν και η χρήση τόσο του αμιαντοσιμέντου στις κατασκευές όσο και σε σωλήνες ύδρευσης και άρδευσης είναι διαδεδομένη, αυτό είναι αρκετά ανθεκτικό ώστε να μην μπορεί να τροφοδοτήσει τα ποτάμια με τόσο μεγάλες ποσότητες ινών αμιάντου πλην ίσως μεμονωμένων και συγκεκρωμένων εξαιρέσεων (Γρεβενιώτικος, περιοχή Καστοριάς) και το γενικό ποσοστό τους κρίνεται ελάχιστο.

Βιβλιογραφία

- LEDOUX R.L. (1979) Short course in Mineralogical Techniques of Asbestos Determination. Mineralogical Association of Canada, Quebec, p. 279.
- MICHAELS L. & CHISSICK S.S. (19??). Asbestos. Vol. 1. Properties, Applications and Hazards. John Wiley & sons.
- SKARPELIS N. & DABITSIAS S. (1987). The chrysotile asbestos deposit at Zidani, Northern Greece. *Ofioliti*, 12 (2), 403-410.
- SKINNER H.C.W., ROSS M. & FRONDEL C. (1988) Asbestos and other Fibrous Materials. Oxford University Press, New York, p. 204.
- ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ Σ. (1995). Ορυκτολογική μελέτη των ορυκτών αμιάντου που χρησιμοποιούνται στην ελληνική βιομηχανία αμιαντοσιμέντου. Α.Π.Θ. σ. 26.
- KARKANAS P. (1995). The slip-fiber chrysotile asbestos deposit in the Zidani area, northern Greece. *Ore Geology Reviews*, 10, 19-29.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 351-364</p>
---	---	--

**Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΒΙΟΔΕΙΚΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΝΘΡΑΚΟΠΕΤΡΟ-
ΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΔΕΚΑΝΕΣ
ΒΕΥΗΣ-ΦΛΩΡΙΝΑΣ, ΛΑΒΑΣ-ΚΟΖΑΝΗΣ, ΜΟΣΧΟΠΟΤΑΜΟΥ-
ΠΙΕΡΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΙΟΥ ΚΑΛΑΒΡΥΤΩΝ***

Κασσιανή Ε. Παπανικολάου**

Περίληψη

Δείγματα γαιανθράκων από τις λιγνιτοφόρες περιοχές Φλώρινας, Λάβας, Μοσχοποτάμου και Καλαβρύτων μελετήθηκαν ανθρακοπετρογραφικά και Όργανο-γεωχημικά. Ο δείκτης ανακλαστικότητας (0.26-0.42, R%) κατατάσσει τα δείγματα σε μαλακούς φαιούς γαιάνθρακες (Φλώρινα, Καλάβρυτα, Λάβα) και υποβιτωμενιούχους C γαιάνθρακες (Λάβα και Μοσχοπόταμος). Ανθρακοπετρογραφικά τα δείγματα Φλώρινας χαρακτηρίζονται από υψηλή συμμετοχή τεξινίτη A και τεξτουλμινίτη A, εμπτισιμένους με ρητινούχες ουσίες, ενώ εκείνα της Λάβας και Μοσχοποτάμου από χουμοντετρινίτη. Από τους λιπτινίτες, στη Φλώρινα υπερισχύει ο ρεζινίτης και στη Λάβα ο λιπτοντετρινίτης.

Αεριοχρωματογραφία των κεκορεσμένων υδρογονανθράκων δείχνει ότι τα δείγματα Λάβας και Μοσχοποτάμου είναι πλούσια σε αλκάνια (n-C23 έως n-C33), της Φλώρινας σε διτερπενοειδή και των Καλαβρύτων σε σεσουίτερπενοειδή και διτερπενοειδή. Οι διαφορετικοί βιοδείκτες που προσδιορίστηκαν με φασματογραφία μάζας αποδίδονται σε διαφορετική βλάστηση (Λάβα και Μοσχοπόταμος μη ξυλώδη κυρίως αγγειόσπερμα, Φλώρινα και Καλάβρυτα κυρίως γυμνόσπερμα), αποτέλεσμα της διαφοράς κλίματος και ηλικίας.

Abstract

Coal samples from Florina, Lava, Moschopotamos and Kalavryta basins have been subjected to petrographic and organic geochemical analysis. The reflectance of the samples ranged from 0.26 to 0.42, R%, which ranks them as soft brown coals (Florina, Lava and Kalavryta) and sub-bituminous C coals (Lava and Moshopotamos). Maceral composition show a high concentration of textinite A and texto-ulminite A, both impregnated of resinitic material. The samples from Lava and Moschopotamos are comparatively rich in humodetrinite. Samples from Vevi are rich in

* The contribution of biomarkers and organic petrology to the characterisation of coal depositional environment from Vevi-Florina, Lava-Kozani, Moschopotamos-Pieria and Paleochori-Kalavrita coal basins.

** ΙΓΜΕ Μεσογείων 70, 115 27 Αθήνα.

resinite while samples from Lava in liptodetrinite.

Gas chromatography of the saturate fraction indicates that the n-alkanes (C23-C33) are predominant in the samples from Lava and Moschopotamos. Samples from Florina are rich in diterpanes while those from Kalavryta in sesquiterpenoids. The differences in the composition of these coals, revealed by the Gas chromatography – Mass spectrometry analysis of the saturate fraction, may be attributed to the differences in the plant input as a response to climatic change and to the age.

The study concludes that different source inputs were involved in the various basins. A mainly non-woody, angiosperm dominated, input made up the peat which went to form the coal deposits of Lava and Moschopotamos, while the Florina and Kalavryta lignites were formed by peats derived mainly from gymnosperms.

Εισαγωγή

Η παραγωγή του λιγνίτη στην Ελλάδα για ηλεκτρική ενέργεια ανέρχεται στα 59 εκ. τόνους ετησίως. Πιστεύεται ότι με την εγκατάσταση της μονάδας στη Φλώρινα και μιας άλλης μονάδας στην Ελασσόνα, η παραγωγή του λιγνίτη θα υπερβεί τα 65 εκ. τόνους ετησίως, καθιστώντας την Ελλάδα την τέταρτη χώρα σε παραγωγή λιγνίτη μετά τη Γερμανία, Ρωσία και Η.Π.Α.

Παρά το γεγονός ότι οι λιγνιτοφόρες λεκάνες έχουν εντοπισθεί και ευρίσκονται υπό εκμετάλλευση, η ερευνητική εργασία αναφορικά με τον πετρογραφικό κυρίως χαρακτηρισμό των ελληνικών λιγνιτών είναι περιορισμένη: TEICHMÜLLER 1968, CHRISTANIS 1983, CAMERON et al. 1984, KAOURAS 1989, KAOURAS et al. 1991, GENTZIS et al. 1990, GOODARZI et al. 1990, KALKREUTH et al. 1991, ANTONIADIS et al. 1992, ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ 1992, 1994, VALCEVA & GEORGAKOPOULOS 1993, ΚΑΛΑΪΤΖΙΔΗΣ κ.α. 1998, ΚΑΛΑΪΤΖΙΔΗΣ et al. 1999, ΡΑΠΑΖΙΣΙΜΟΥ & CHRISTANIS 1999, ΚΩΤΗΣ & ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ 1999. Πολύ περιορισμένος είναι επίσης ο αριθμός των εργασιών που αφορούν στην οργανική γεωχημεία των Ελληνικών λιγνιτών (VON DER DICK et al. 1989, FOWLER et al. 1991, ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ 1998, 1994).

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι ο χαρακτηρισμός λιγνιτών προερχομένων από λιγνιτοφόρες λεκάνες διαφορετικής ηλικίας, με τη χρήση δύο μη συμβατικών μεθόδων ανάλυσης, της οργανικής πετρογραφίας και της οργανικής γεωχημείας με απώτερο στόχο την ποιοτική διαφοροποίηση των Ελληνικών λιγνιτών ως προς το οργανικό μέρος, που διαφοροποιεί τους γαιάνθρακες στις τεχνολογικές διεργασίες και χρήσεις. Ο χαρακτηρισμός αφορά την οργανική σύσταση, τους βιοδείκτες, την προέλευση της οργανικής ύλης και το περιβάλλον εναπόθεσης.

Μεθοδολογία

Τα δείγματα της παρούσας μελέτης επιλέχθηκαν με βάση την ηλικία και το λιθότυπο των λιγνιτών. Προέρχονται από τις λιγνιτοφόρες λεκάνες Φλώρινας (Βεύη), Λάβας, Μοσχοποτάμου και Καλαβρυτών (Παλαιοχώρι). Τα δείγματα λήφθηκαν τόσο από

πυρήνες γεωτροήσεων (Φλώρινα-B, Καλάβρυτα), όσο και από τα μέτωπα εξόρυξης (Φλώρινα -BR, Λάβα).

Ο δείκτης ανακλαστικότητα και η σύσταση των οργανικών πετρογραφικών συστατικών έγιναν στο ανθρακοπετρογραφικό μικροσκόπιο MPV-II Leitz. Η ονοματολογία των οργανικών συστατικών βασίζεται στο ανθρακοπετρογραφικό εγχειρίδιο (ICCP 1971, 1975). Η ανθρακοπετρογραφική μέθοδος αναλυτικά αναφέρεται στην εργασία ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ (1994).

Για τον προσδιορισμό των βιοδεικτών τα δείγματα των λιγνιτών εκχυλίστηκαν με αξεοτροπικό μείγμα χλωροφορμίου-μεθανόλης (87/13) για 24 ώρες. Το εκχύλισμα απασφαλτώθηκε χρησιμοποιώντας n-πεντάνιο και στην συνέχεια διαχωρίστηκε σε κεκορεσμένους υδρογονάνθρακες, αρωματικές ενώσεις και ρητίνες διαμέσω υγρής χρωματογραφίας. Η αεριοχρωματογραφία για τον εντοπισμό των βιοδεικτών στους κεκορεσμένους υδρογονάνθρακες έγινε σε συσκευή VARIAN 3700 FID ενώ η αεριοχρωματογραφία-φασματογραφία μάζας σε συσκευή VG 70 SQ (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ 1994).

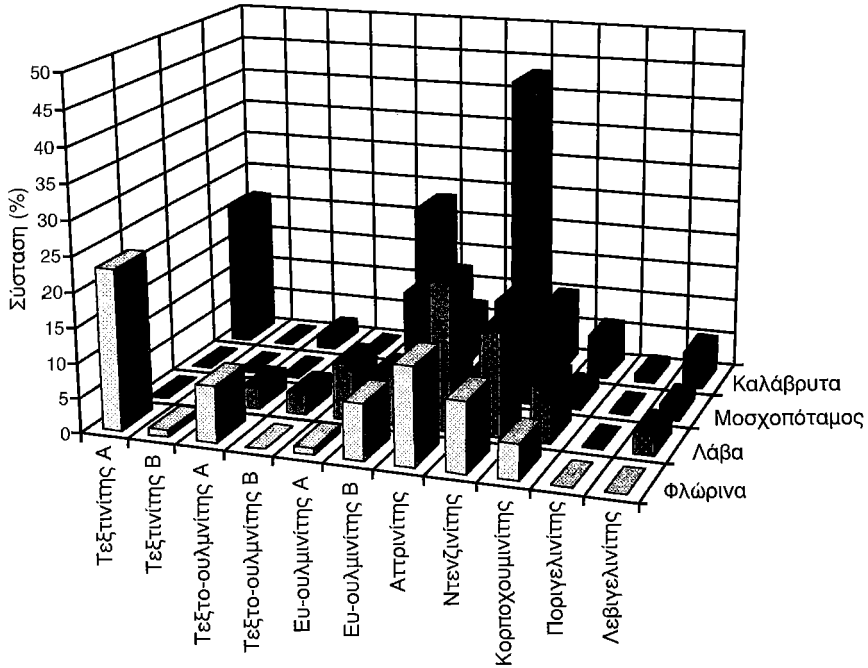
Τα δείγματα μελετήθηκαν ανθρακοπετρογραφικά και με μεθόδους οργανικής γεωχημείας, όπως αυτές περιγράφονται από την ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ (1994).

Αποτελέσματα

Ανθρακοπετρογραφία

Από την ανθρακοπετρογραφική ανάλυση προέκυψαν έντονες διαφορές στη σύσταση εντός των ομάδων χουμινίτη και λειπτινίτη. Οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των χουμινιτών και των λειπτινιτών παρουσιάζονται στις Εικόνες 1 και 2. Στους ξυλιτικούς λιγνίτες Φλώρινας και Καλαβρύτων υπερέχουν οι χουμοτελινίτες (57-75%), χαρακτηριζόμενοι από έντονο φθορισμό που υποδεικνύει την ύπαρξη υδρογονούχων ενώσεων και επομένως θετική συμπεριφορά στις διαδικασίες καύσης και εξαερίωσης. Αντίθετα οι γαιάνθρακες του Μοσχοποτάμου συνίστανται κυρίως από χουμοντετρινίτες και έχουν έντονη παρουσία αργιλικών ορυκτών σε λεπτοστρώσεις εναλλασσόμενες από χουμική ύλη συχνά φθορίζουσα, ένδειξη ότι η πιεζομετρική στάθμη του νερού στο παλαιότελμα παρουσίαζε διακυμάνσεις με περιόδους ανόδου τέτοιες ώστε περιστασιακά εδημιουργείτο σαπροπηλικό αναγωγικό περιβάλλον. Η παρουσία σιδηροπυρίτη σε βοτρυώδη (framboidal pyrite) μορφή υποδηλώνει επίσης αναερόβιες συνθήκες και δραστηριότητα θειο-βακτηρίων.

Η εξέταση με υπεριώδη ακτινοβολία προσδιόρισε ευρύ φάσμα λειπτινιτών, γεγονός που αυξάνει την θετική συμπεριφορά κατά τη διαδικασία καύσης ή/και εξαερίωσης. Κύριο και ταυτόχρονα πολύ κοινό συστατικό των λειπτινιτών είναι ο ρεζινίτης (Εικ. 2). Ο σουμπερινίτης, με τον ρεζινίτη εξέχοντα, υπερεπεί στα δείγματα της Φλώρινας. Άξιο παρατήρησης είναι η παρουσία του αλγινίτη στα δείγματα Λάβας, Μοσχοποτάμου, και Καλαβρύτων (Εικ. 2) και ο εμποτισμός του χουμοντετρινίτη με βιτουμινίτη στα δείγματα της Λάβας και κατά κάποιο τρόπο και στα



Εικόνα 1. Σύσταση του Χουμινίτη (κατά όγκο) σε δείγματα γαιανθράκων από τις λεκάνες Βεύης Φλώρινας, Λάβας, Μοσχοποτάμου, Περείας και Παλαιοχωρίων Καλαβρύτων.

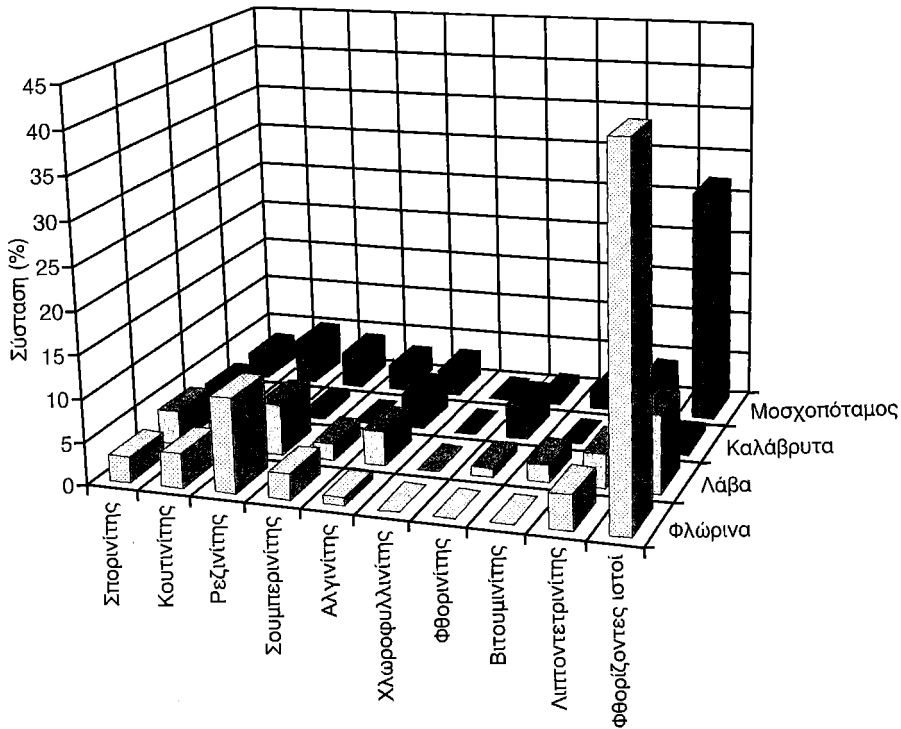
Figure 1. Average huminite composition of Greek coal samples from Florina, Lava, Moschopotamos and Kalavryta basins.

δείγματα του Μοσχοποτάμου.

Τέλος, όσον αφορά τον ινερτινίτη, σε όλα τα μελετηθέντα δείγματα παρατηρήθηκε σε ποσοστό λιγότερο του 5% κατ' όγκο, με κύριους εκπροσώπους τους σκληροτινίτη και ινερτοντερινίτη και κάποιους φουζινίτες στα δείγματα της Φλώρινας. Ο δείκτης ανακλαστικότητας (0.26-0.42, R%) κατατάσσει τα δείγματα σε μαλακούς φαιούς γαιάνθρακες (Φλώρινα, Καλάβρυτα, Λάβα) και υποβιτουμενιούχους C γαιάνθρακες (Λάβα και Μοσχοπόταμος).

Οργανική Γεωχημεία

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της εκχυλίσης. Τα εκχυλίσματα που λήφθηκαν κυμαίνονται από 4873 ως 70450 ppm. Υψηλές συγκεντρώσεις (> 19000 ppm) εκχυλίστηκαν κυρίως από τα δείγματα της Φλώρινας. Τα εκχυλίσματα όλων των δειγμάτων περιέχουν ετεροενώσεις (ρητίνες/ασφαλτένια). Τα ποσοστά των αλειφατικών και αρωματικών υδρογονανθράκων είναι χαμηλά (< 12%) χαρακτηριστικό γαιανθράκων χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης (HOLLERBACH 1980).



Εικόνα 2. Σύσταση του λιπτινίτη (κατά όγκο) σε δείγματα γαιανθράκων από τις λεκάνες Βεύης Φλώρινας, Λάβας, Μοσχοποτάμου Πιερίας και Παλαιοχωρίου Καλαβρυτών.

Figure 2. Average liptinite composition of Greek coal samples from Florina, Lava, Moschopotamos and Kalavryta basins.

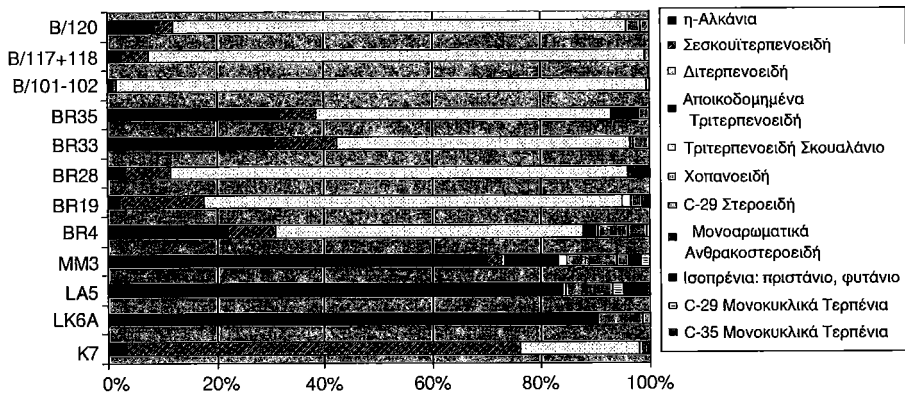
Οι λιγνίτες του Μοσχοποτάμου και της Λάβας, παρ' όλες τις μικρές συγκεντρώσεις εκχυλίσματος, παρουσιάζουν το υψηλότερο ποσοστό (περίπου 11%) των αλειφατικών και αρωματικών ενώσεων όλων των δειγμάτων.

Η παρουσία βιοδεικτών στο αλειφατικό κλάσμα μελετήθηκε με συνδυασμό αέριας χρωματογραφίας και φασματογραφίας μάζας. Η Εικόνα 3 δίνει την σύσταση του κλάσματος των κεκορεσμένων υδρογονανθράκων και παρουσιάζει το ισοζύγιο μάζας των ουσιών στο ίδιο κλάσμα. Στην ίδια εικόνα τα δείγματα διαχωρίζονται σε δύο χαρακτηριστικές ομάδες που γίνονται ακόμα σαφέστερες στα χρωματογραφήματα των εικόνων 4 και 5. Τα σεσκουϊ- και διτερπένια (> 60%) χαρακτηρίζουν τα δείγματα της Φλώρινας και των Καλαβρυτών ενώ αυτά του Μοσχοποτάμου και Λάβας περιέχουν κυρίως κανονικά αλκάνια. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται επίσης ο "δείκτης προτίμησης άνθρακα" (CPI=Carbon Preference Index) κυ-

Πίνακας 1. Εκχύλιση και ποσοστά αλκανίων, αρωματικών υδρογονανθράκων, ρητινών και ασφαλτενίων και δείκτης CPI

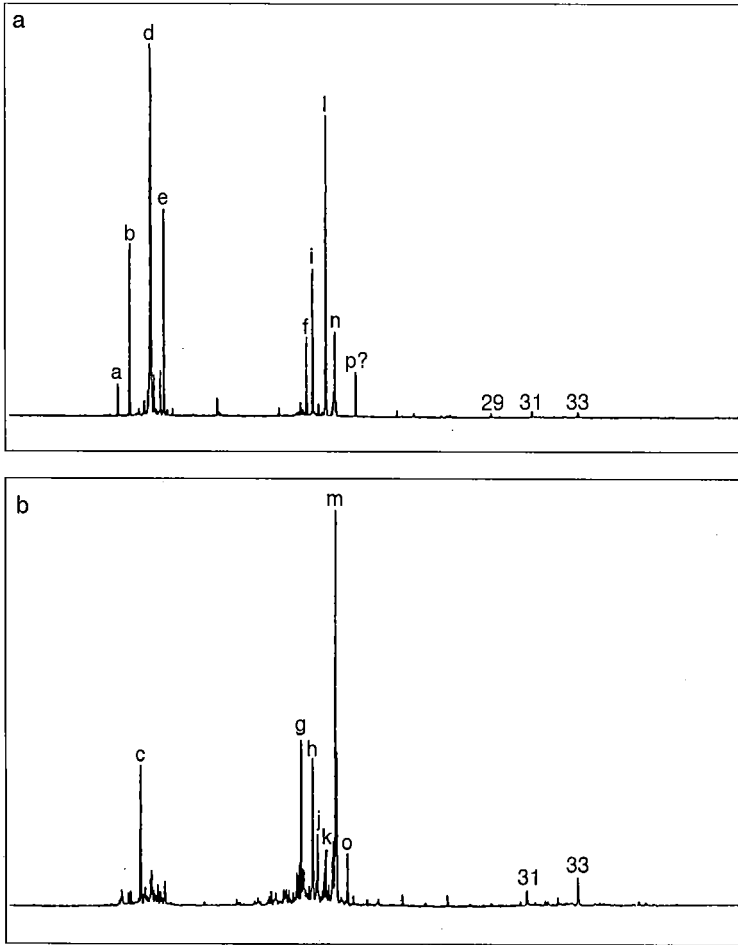
Table 1. Extract yield and percent of alkanes, aromatics, resins and asphaltenes and CPI index

Δείγμα	Ποσοστό Εκχυλίσματος (ppm)	n-Αλκάνια (%)	Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (%)	Ρητίνες (%)	Ασφαλτένια (%)	Δείκτης CPI*
B 101+102	43321	1.73	4.70	23.85	69.72	4.3
B 117+118	27564	2.66	3.10	3878	55.45	4.3
B 120	20289	2.03	2.36	27.13	68.48	5.4
BR4	27456	0.75	2.26	38.70	58.28	3.4
BR19	70450	0.24	1.43	27.68	70.65	-
BR28	27595	3.35	3.75	51.60	41.30	6.1
BR33	8969	1.13	5.25	49.50	44.13	4.8
BR35	19658	1.34	5.47	25.68	67.51	6.1
LAVA LK6A	8927	1.65	2.63	32.50	63.02	7.9
LAVA LA5	13667	0.34	1.53	11.85	86.27	4.7
MOS MM3	4873	3.94	6.66	28.26	61.77	4.8
KALAV K7	9839	3.79	8.23	29.70	58.28	3.7



Εικόνα 3. Εκατοστιαία σύνθεση των οργανικών ενώσεων στο κλάσμα των κεκορεσμένων υδρογονανθράκων.

Figure 3. Composition of saturate hydrocarbons in the extracts of coals from Florina, Lava and Moschopotamos basins.



Εικόνα 4. Κατανομή των σесκουϊτερπενοειδών και διτερπενοειδών σε: α) ξυλίτη Καλαβρύτων β) ξυλίτη Φλώρινας (Αναγνώριση αιχμών βλ. πίνακα 2).

Figure 4. Distribution of sesquiterpenoids and diterpenoids in a) Kalavryta xylites, b) Florina xylites. For peak identification, see Table 2.

μαινόμενος μεταξύ 3.7-7.9. Γενικά ο δείκτης προδίδει το ανώριμο στάδιο των δειγμάτων, το δε εύρος της διακύμανσης ίσως να αποδίδεται στο διαφορετικό είδος βλάστησης καθώς και στις μικρές περιεκτικότητες n-αλκανίων στους ξυλίτες Φλώρινας και Καλαβρύτων.

1η Ομάδα: Δείγματα Φλώρινας και Καλαβρύτων

Το κλάσμα των κεκορεσμένων υδρογονανθράκων αυτών των δειγμάτων κυριαρχείται από διτερπενοειδή και σесκουϊτερπενοειδή. Η ανθρακοπετρογραφία

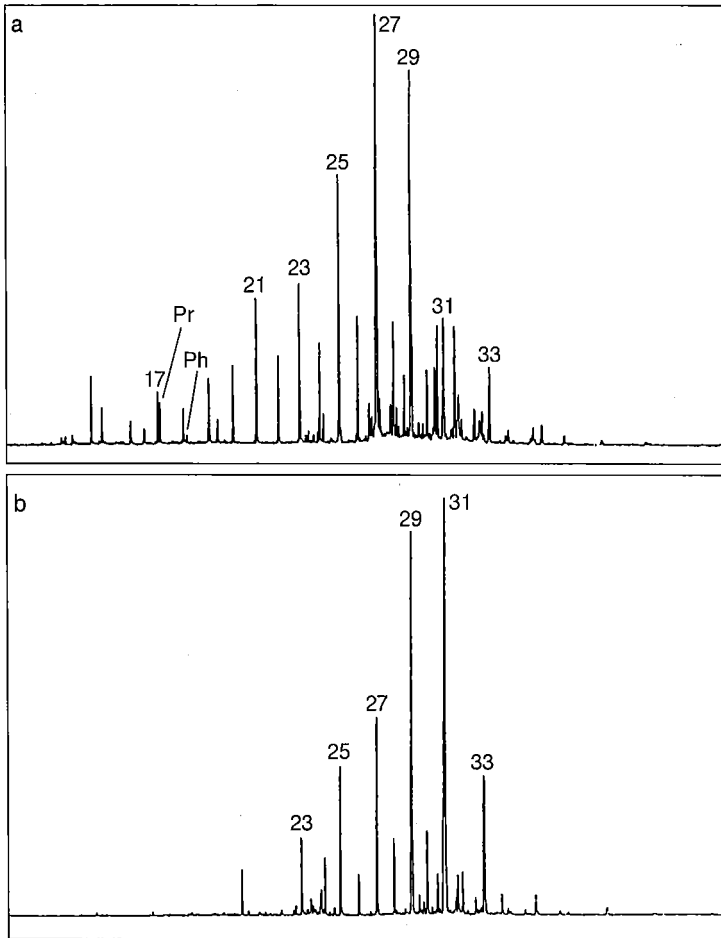
δείχνει ότι οι ξυλίτες είναι πλούσιοι σε ρεζινίτη, τεξινίτη και τεξτουλμινίτη, ένδειξη παρουσίας γυμνόσπερμων στον τυρφώνα. Τα σεσκούιτερπενοειδή που σπάνια ανιχνεύονται σε ιζήματα, λόγω της πτητικότητάς τους (GRANTHAM & DOUGLAS 1980), έχουν ανιχνευθεί σε σημαντικές ποσότητες σε γαιάνθρακες χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης κυρίως στο Τριτογενές (DEHMER 1988, WANG & SIMONEIT 1990).

Η αεριοχρωματογραφία (GC) και φασματογραφία μάζας (GC-MS) έδειξε στα δείγματα των Καλαβρύτων 70% σεσκούιτερπενοειδή, τα οποία αποτελούν πολύπλοκο μίγμα αγνώστων κεκορεσμένων και κυρίως ακόρεστων δικυκλικών σεσκούιτερπενοειδών με C₁₄ ή C₁₆ δομή. Διακρίνονται κυρίως τέσσερις αιχμές σεσκούιτερπενοειδών (Εικ. 4). Η μία αιχμή έχει M.B. 194 (Πίν. 2) και θραύσματα m/z στα 81, 75 και 179, που χαρακτηρίζουν την ένωση νορδιμάνιο. Αυτή η ένωση έχει ανιχνευθεί στο αργό πετρέλαιο της λεκάνης Ταρανάκη, Ν. Ζηλανδία (WESTON et al. 1989), που προέρχεται από ρεζινίτες. Μία άλλη αιχμή είναι το 4(β)-ευδεσμάνιο, που έχει ανιχνευθεί στο αργό πετρέλαιο στην Αυστραλία (ALEXANDER et al. 1983) και σε Τριτογενείς λιγνίτες και ανθρακούχους σχιστόλιθους της Αργεντινής (VILLAR et al. 1987) και αποτελεί βιοδείκτη φυτών ανώτερης βλάστησης.

Πίνακας 2. Αναγνώριση των αιχμών της εικόνας 4

Table 2. Identification of peaks for Figure 4

Σεσκούιτερπενοειδή	Ένωση	Μοριακό Βάρος	m/z
A	C15-A νορδιμάνιο	194	81
B	C15-άγνωστη	210	69
C	C15-άγνωστη	206	191
D	4ί-(H)-εύδεσμάνιο		
E	C15-άγνωστη	208	109
Διτερπενοειδή			
F	Άγνωστη	260	123
G	Δ ^{8,9} σανδαροκοπιμαρδιένιο	272	257
H	Άγνωστη	274	259
I	Νορπιμαράνιο	262	163
J	ισο-φυλλοκλαδάνιο	272	-
K	ισο-πιμαρα-7-15-διένιο	272	109
L	πιμαράνιο/Σανδαροκοπιμαράνιο	276	-
M	α-φυλλοκλαδάνιο	274	123
N	συνεγχύλιση αβιετάνιου & φυλλοκλαδάνιου	-	-
O	Διυδροαβιετάνιο	270	255
P	Σιμονελλίτης	252	237



Εικόνα 5. Κατανομή των κανονικών αλκανίων σε: α) λιγνίτη Μοσχοποτάμου β) λιγνίτη Λάβας (LK_{6A}).

Figure 5. Distribution of *n*-alkanes in a) Moschopotamos MM3 sample, b) Lava LK6A samples (carbon numbers on top of each peak, *pr*-pristane, *ph*-phytane).

Στους ξυλίτες της Φλώρινας επικρατεί η άγνωστη ένωση C₁₅H₂₆, ακόρεστο σε-σκούιτερπένιο με M.B. 206 και m/z 191, παρόμοια με αυτή που ανεγνωρίστηκε σε λιγνίτες της Ρηνανίας (DEHMER 1988). Στην GC και GC-MS ανάλυση κυριαρχούν τα διτερπένια (97%) με κύριο διτερπενοειδές το α-φυλλοκλαδάνιο, χαρακτηριστικό των λιγνιτών του μέσου Μειοκαίνου στο Oberfalz Γερμανίας (Dehmer, 1989), των συγγρικών λιγνιτών της λεκάνης Nograd (ALEXANDER et al. 1987) και λιγνιτικών λιθότυπων του Μειοκαίνου στη Βουλγαρία (STEFANOVA et al.

1995). Άλλα διτερεπνοειδή είναι το Δ8,9 σανδαρκοπιμαρδιένιο, ισο-φυλλοκλαδάνιο, ισο-πριμαρα-7-15-ένιο, διυδροαβιετάνιο, σιμονελλίτης και μία άγνωστη ένωση με M.B. 274 και m/z 259 (Πίν. 2). Αντίθετα, τα διτερεπνοειδή που πιστοποιούνται στις αλειφατικές ενώσεις των λιγνιτών των Καλαβρύτων είναι παράγωγα του αβιετικού και πιμαρικού οξέος με ίχνη φυλλοκλαδανίου/καουρανίων.

Φυλλοκλαδάνια και καουράνια έχουν πιστοποιηθεί στις ρητίνες των Podocarpaceae, Araucariaceae και Cupressaceae (THOMAS 1970, NOBLE et al. 1985). Φυλλοκλαδάνιο έχει ανιχνευθεί σε τύρφες και λιγνίτες (Dehmer, 1989) και σε αργιλικά ιζήματα του Ολιγοκαίνου (OTTO et al. 1995, OTTO 1996), των οποίων η κύρια φυτική μάζα προέρχεται από γυμνόσπερμα της οικογένειας των Taxodiaceae (π.χ. *Taxodium*, *Glyptostrobus*). Ως εκ τούτου η παρουσία φυλλοκλαδανίου, που είναι ένα τετρακυκλικό διτερεπνοειδές, μαρτυρεί την ύπαρξη αυτής της ομάδας των γυμνοσπέρμων στον ανωτέρω τυρφάνα.

Έτσι, τόσο τα πετρογραφικά συστατικά, όσο και οι βιοδείκτες, δείχνουν ότι οι ξυλίτες της Βεύης και των Καλαβρύτων προέρχονται από τυρφάνες ξυλώδους βλάστησης, κυρίως γυμνόσπερμων. Η διαφορά στη σύσταση των σεσκουί- και διτερεπνίων στις δύο λιγνιτοφορίες ίσως οφείλεται στην διαφορά ηλικίας μεταξύ λιγνιτοφορίας Καλαβρύτων (Πλειστόκαινο) και Φλώρινας (Μ.-Αν. Μειόκαινο). Σε αυτούς τους χρόνους οι κλιματολογικές συνθήκες άλλαξαν από ζεστές, θερμές υποτροπικές στο Μειόκαινο σε ξηρότερες εύκρατες προς το τέλος του Πλειοκαίνου, που ευνοούσε την ανάπτυξη των Pinaceae. Τα Pinaceae δίνουν ρητίνες με υψηλό ποσοστό αβιετικού οξέος (THOMAS 1970).

2η Ομάδα: Δείγματα Λάβας και Μοσχοποτάμου

Αυτή η ομάδα των λιγνιτών έχει παρόμοιους βιοδείκτες και πετρογραφικά χαρακτηριστικά. Είναι πλούσιοι σε χουμοντετρινίτες και συνηγορούν στην προέλευση από θαμνώδη βλάστηση, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν σεσκουίτερπένια και διτερεπένια. Οι κεκορεσμένοι υδρογονάνθρακες κυριαρχούνται από n-C₂₃ έως n-C₃₅, με κυρίαρχα το n-C₂₇, n-C₂₉ και n-C₃₁ (Εικόνα 5). Τέτοιοι κηροί (υδρογονάνθρακες) έχουν αναγνωριστεί σε φύλλα και μίσχους (TISSOT & WELTE 1984). Μεγάλες αλυσίδες n-αλκυλομονοκυκλικών αλκανίων (C₂₉-C₃₅) με περιττό αριθμό CPI πιστοποιήθηκαν σε αυτά τα δείγματα. Αυτές οι ενώσεις φαίνεται ότι προήλθαν από την κυκλοποίηση των προδρομών ενώσεων, που έδωσαν και τα κανονικά αλκάνια (DONG et al. 1993). Στα δείγματα του Μοσχοποτάμου πιστοποιούνται μικρού μήκους n-αλκάνια που πιθανόν να προήλθαν από βακτηριολογική/μικροβιακή επεξεργασία οργανικών ουσιών. Σε σχέση με τα λοιπά δείγματα, τα δείγματα του Μοσχοποτάμου έχουν μία έντονη παρουσία n-C₁₇ που μπορεί να οφείλεται στην παρουσία αλγινίτη.

Η εντονότερη μικροβιακή διεργασία, που παρουσιάζεται στα δείγματα του Μοσχοποτάμου και της Λάβας, φανερώνεται από την παρουσία αποδομημένων τρι-

τερπενοειδών, ιδιαίτερα στο δείγμα LA5 (Εικ. 3), διεργασία μειωμένη στα δείγματα της Φλώρινας και Καλαβρύτων. Άλλοι βιοδείκτες που δείχνουν τη μικροβιακή δράση είναι τα χοπανοειδή, ιδιαίτερα τα 22, 29, 30-τρινορχοπ-17(21)-ένιο, 17β(H)-τρινορχο-χοπάνιο, χοπ-17(21)ένιο, 17β(H)τρινορχοπάνιο και 17β-χομοχοπάνιο.

Συμπεράσματα

Με βάση την οργανική πετρογραφία και γεωχημεία οι γαιάνθρακες της λεκάνης του Μοσχοποτάμου παρουσιάζονται με τον υψηλότερο βαθμό ωρίμανσης.

Τα δείγματα Φλώρινας και Καλαβρύτων απαρτίζονται κυρίως από ξυλώδεις ιστούς (χουμοτελινίτης) με ρητινούχες ουσίες, είτε υπό μορφή ρητίνης ή ως διάσπαρτη λιπιδική ουσία εντός του ανόργανου μέρους του λιγνίτη. Οι βιοδείκτες φανερώνουν προέλευση από γυμνόσπερμα φυτά. Παλαιοβοτανικές μελέτες συμφωνούν ότι στους τυρφώνες επικρατούσαν *Glyptostobus*, χαρακτηριστική βλάστηση κατά το Τριτογενές σε όλο τον Ελλαδικό χώρο (VELITZELOS & GREGOR 1989). Το *Glyptostobus* είναι γυμνόσπερμο των *taxodiaceae* και συνυπάρχει με λίγους τύπους βλάστησης, κυρίως *laurophillous* θάμνους, στις λιγνιτοφόρες λεκάνες (SCHNEIDER 1990). Αυτό το κωνοφόρο αντέχει σε υψηλή στάθμη ύδατος και ίσως έτσι εξηγείται η αφθονία ανόργανης ύλης σε αυτό τον ξυλώδη τύπο λιγνιτών.

Οι λιγνίτες του Μοσχοποτάμου και της Λάβας χαρακτηρίζονται από την απουσία καλά διατηρημένων φυτικών ιστών (υψηλές περιεκτικότητες ζελατινοποιημένου χουμοντετρινίτη και χουμοκολλινίτη). Και οι δύο λιγνιτοφορίες χαρακτηρίζονται από υψηλό ανόργανο ποσοστό, κυρίως αργιλικά ορυκτά. Οι βιοδείκτες αυτών των λιγνιτών δείχνουν ότι τα γυμνόσπερμα φυτά απουσιάζουν από τα τέλματα, ενώ έντονη παρουσία είχαν τα αγγειόσπερμα, ιδιαίτερα θαμνώδους βλάστησης. Μελέτες των KALKREUTH et al. (1991) και ΚΩΤΗ & ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ (1999), που χρησιμοποίησαν TPI (Tissue Preservation Index) και GI (Gelification Index) για τη μελέτη των φάσεων των λιγνιτών του Μοσχοποτάμου, δείχνουν ότι το παλαιοπεριβάλλον εναπόθεσης κατά την κατακόρυφη ανάπτυξη της λιγνιτοφορίας έχει προέλθει από εναλλαγές τυρφώνα κατώτερης βλάστησης (reed marsh) και υγρού δασοτυρφώνα (wet forest swamp) που αναπτύχθηκαν σε ένα σύνθετο παλαιογεωγραφικό περιβάλλον με επικράτηση συνθηκών λιμνοτελματικού και χαμηλού δελταϊκού πεδίου. Τα τελευταία βρίσκονται σε απόλυτη συμφωνία με τους βιοδείκτες που ανιχνεύθηκαν.

Βιβλιογραφία

- ALEXANDER G., HUZAI M I., GRIMALT J. & ALBAIGES J. (1987). Occurrence and transformation of phyllocladanes in brown coals from Nograd Basin, Hungary. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51, p.12065-2073.
- ALEXANDER G., KAGI R. & NOBLE R. (1983). Identification of the bicyclic ses-

- quiterpanes, drimane and eudesmane in petroleum. *J. Chemical Society. Chemical Communication*, p. 226-228.
- ANTONIADIS P., KAOURAS G., KHANAGA P.A. & RIEGEL W. (1992). Petrographische Untersuchungen an der Neogenen Braunkohle in Becken von Chomatero-Koroni, S.W. Peloponnes, Griechenland. *Acta Palaeobot.* 32(1), p. 27-37.
- BRAY E.E. & EVANS E.D. (1961). Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source beds. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 22, p. 2-15.
- CAMERON A.R., KALKREUTH W.D. & KOUKOUZAS C.N. (1984). The petrology of Greek brown coals. *Int. J. Coal Geology* 4, 173-207.
- CHRISTANIS K. (1983). Ein Torf erzählt die Geschichte seines Moores (Phillipi, Griechisch-Ostmazedonien) *Telma*, 13:19-32 Hannover.
- DEHMER J. (1988). Petrographische und organisch-geochemische Untersuchungen an rezenten Torfen und tertiären Braunkohlen - Ein Beitrag zur Feizies und Genese gebänderter Braunkohlen. *Diss. Tech. Hochschule Aachen* p. 340.
- DEHMER J. (1989). Petrographical and organic geochemical investigation of the Oberfalz brown coal deposit, West Germany. *Int. J. Coal Geol.* II, pp. 273-290.
- DONG J.-Z., VORRINK W.P. & LEE M.L. (1993). Origin of long-chain alkylcyclohexanes and alkylbenzenes in a coal-bed wax. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 57, pp. 837-84.
- FOWLER M.G., GENTZIS T., GOODARZI F. & FOSCOLOS A.E. (1991). The petroleum potential of some Tertiary lignites from northern Greece as determined using pyrolysis and organic petrological techniques. *Organic Geochemistry*, 17, p. 805-826.
- GENTZIS T., GOODARZI F. & BROUSSOULIS Y. (1990). Petrographic characteristics and depositional environment of Greek lignites, II. Ioannina Basin, Western Greece. *J. Coal Qual.*, 9(2):53-61.
- GOODARZI F., GENTZIS T. & YIAKKOUPIS (1990). Petrographic characteristics and depositional environment of Greek lignites. I. Drama Basin, Northern Greece. *J. Coal Qual.*, 9(1):26-37.
- GRANTHAM P.J. AND DOUGLAS A.G. (1980). The nature and origin of sesquiterpenoids in some tertiary fossil resins. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44, p. 1801-1816.
- HOLLERBACH A. (1980). Vorkommen und Bedeutung von terpenoiden Chemofossilien in Edröl und Sedimenten. *Hab. Schrift. Tech., Hochschule Aachen*.
- INTERNATIONAL COMMITTEE FOR COAL PETROLOGY 1971. *International Handbook of Coal Petrography*, 1st Supplement to 2nd Edition; *Int. Com. for Coal Petrog.* Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, France.
- INTERNATIONAL COMMITTEE FOR COAL PETROLOGY 1975. *Analysis sub-commission fluorescence microscopy and fluorescence photometry*; *In Int. Com. for Coal Petrog.*, 2nd supplement to 2nd edition; Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, France.
- ΚΑΛΑΙΤΖΙΔΗΣ Σ., ΜΠΟΥΖΙΝΟΣ Α. & ΧΡΗΣΤΑΝΗΣ Κ., 1998. Το παλαιοπεριβάλλ-

- λον σχηματισμού του Ανω Ευλιπτικού Οριζοντα στο λιγνιτικό κοιτάσμα Πτολεμαΐδας. Πρακτ. 8ου Διεθ. Γεωλ. Συν., Πάτρα, Μάιος 1998, XXXII/2: 289-297.
- KALAITZIDIS S., BOUZINOS A. & CHRISTANIS K. (1999). The effect of the volcanic tephra deposition on peat-formation in Ptolemais lignite basin, Hellas. Poster presented at the 51st ICCP Meeting, Bucharest. September 1999.
- KALKREUTH W., KOTIS T., PAPANICOLAOU C. & KOKKINAKIS P. (1991). The geology and coal petrology of a Miocene lignite profile at Meliadi Mine, Katerini, Greece, *Int. J. Coal Geol.*, 17:51-67.
- KAOURAS G. (1989). Kohlepetrographische, palynologische und sedimentologische Untersuchungen der Pliozänen Braunkohle von Kariochori bei Ptolemais, N.W. Griechenland, Diss. Universität Göttingen, p. 220.
- KAOURAS G., ANTONIADIS P., BLICKWEDE H. & RIEGEL W. (1991). Petrographische und palynologische Untersuchungen an Braunkohlen in Becken von Drama, Ostmakedonien (Griechenland), *N. Jb. Geol. Palaönt. Mh.*, H3:145-162, Stuttgart.
- ΚΩΤΗΣ Θ. & ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Κ. (1999). Παλαιοπεριβάλλον απόθεσης των λιγνιτοφόρων ιζημάτων της Νεογενούς λεκάνης Μοσχοποτάμου Κατερίνης. *Επιστ. Συν., Ελλ. Γεωλ. Ετ., Αθήνα.*
- NOBLE R.A., ALEXANDER R., KAGI R.I. & KNOX J. (1985). Tetracyclic diterpenoid hydrocarbons in some Australian coals, sediments and crude oils. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49, p. 2141-2147.
- OTTO A. (1996). Palaobotanische und organisch- geochemische Untersuchungen an zwei oligozanen Tonprofilen aus dem Weißelster- Becken, Sachsen, Diss. Techn., Hochschule Aachen, p. 235.
- OTTO A., WALTHER H. & PUTTMAN W. (1994). Molecular composition of a leaf- and root-bearing Oligocene Oxbow Lake Clay in the Weissester Basin, Germany, *Org. Geochem.*, Vol. 22, No 2, pp. 275-286.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Κ. (1992). Ανθρακοπετρογραφική ανάλυση και μελέτη λιγνιτών Βεύης. Σε Κώτης, Θ., Πλουμίδης, Μ., Μεταξάς, Α. και Βαβαρούσης, Γ. (εκδ.). Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτικού κοιτάσματος υποπεριοχής Βεύης, Ν. Φλώρινας (Δυτική Μακεδονία). Ι.Γ.Μ.Ε. Νο 6803, Αθήνα, σ. 45.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Κ. (1994) Διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτηριστων Ελληνικών λιγνιτών με μεθόδους οργανικής πετρολογίας και οργανικής γεωχημείας. Διδ. Διατρ., Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, σ. 474.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Κ. (1998). Εφαρμογές της ανθρακοπετρογραφίας και πυρόλυσης Rock-Eval στην αξιολόγηση λιγνιτών για ηλεκτρικές και εξωηλεκτρικές χρήσεις. Πρακτ. 8ου Διεθ. Γεωλ. Συν., Πάτρα Μάιος 1998, XXXII/3, 335-342.
- PAPAZISIMOU S. & CHRISTANIS K. (1999). Preliminary results from the study of a Neogene lignite deposit of western Peloponnesus, Hellas. Poster presented at the 51st ICCP Meeting, Bucharest, September 1999.

- SCHNEIDER W. 1990. Floral Successions in Miocene Bogs of Central Europe. In Proc. Symp. Paleofloristic and Paleoclimatic Changes in the Cretaceous and Tertiary, 1989, pp. 205-212.
- STEFANOVA M., MAGNIER C. & VELINOVA D. (1995). Biomarker assemblance of some Miocen-aged Bulgarian lignite lithotypes. *Org. Geochem.*, vol. 23, No 11/12, pp. 1067-1084.
- TEICHMULLER M. (1968). Zur Petrographie und Diagenese eines fast 200 m mächtigen Torfprofils (mit Übergängen zur Weichbraunkohle?), im Quartar von Phillipi (Macedonien), *Geol. Mitt.* 8:65-110, Aachen.
- THOMAS B.R. (1970). Modern and Fossil Plant Resins. In: *Phytochemical Phylogeny* (Ed. Harbourne, J.B.), Chap. 4, p. 59-79, Academic Press.
- TISSOT B.P. & WELTE D.H. (1984). *Petroleum Formation and Occurrence*, Springer, p. 669.
- VALCEVA S. & GEORGAKOPOULOS A. (1993). Petrological characteristics of the Ptolemais lignite, Greece. A preliminary study. *Current Research in Geol. Appl. to Ore Deposits*. Fenoll Hach-ali, Torres Ruiz and Gervilla (eds), p. 779-782.
- VELITZELOS E. & GREGOR H.J. (1990). Some Aspects of the Neogene Floral History in Greece, *Rev. Paleobotany and Palynology*, 62, p. 291-307.
- VON DER DICK, FOWLER M.C. & KALKREUTH W. (1989). A preliminary assessment of the hydrocarbon potential of selected coals using hydrous pyrolysis. In: *contributions to Canadian Coal Geoscience*, *Geol. Surv. Can. paper* 89-8, 115-119.
- VILLAR H.J., POTTMAN W. & WOLF M. (1988). Organic geochemistry and petrography of Tertiary coals and carbonaceous shales from Argentina, *Org. Geochem.*, 13, p. 1011-1021.
- WANG T.-G. & SIMONEIT B.R.T. (1990). Organic geochemistry and coal petrology of Tertiary brown coal in the Zhoujing mine, Baise Basin, South China. *Fuel*, 69, p. 12-20.
- WESTON R.J., PHILP R.P., SHEPPARD C.M. & WOOLHOUSE A.D. (1989). Sesquiterpanes, diterpanes and other higher terpanes in oils from the Taranaki Basin of New Zealand. *Org. Geochem.*, 14, p. 405-421.

**ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΠΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΕΙΤΑΙ
ΣΤΟΥΣ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ
ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΤΟΥ ΣΤΙΣ ΑΥΛΕΣ ΤΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ**

Φ. Παυλουδάκης¹, Ζ. Αγιουτάντης²

Περίληψη

Η παραγωγή λιγνίτη που ανταποκρίνεται στις ποιοτικές προδιαγραφές καυσίμου των τροφοδοτούμενων ατμοηλεκτρικών μονάδων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την αύξηση του βαθμού απόδοσης τους και κατ' επέκταση για την ανταγωνιστικότητα του λιγνίτη απέναντι σε άλλα καύσιμα, ιδιαίτερα εν όψει της απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαχείριση του λιγνίτη στις αυλές των ορυχείων και των ατμοηλεκτρικών σταθμών με κατάλληλες μεθόδους που δίνουν έμφαση στην ομογενοποίηση του καυσίμου μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην επίτευξη του παραπάνω στόχου. Οι μέθοδοι αυτές αποτελούν μέρος ενός ευρύτερου συστήματος διασφάλισης ποιότητας του παραγόμενου λιγνίτη και συνδυάζονται άριστα τόσο με την μοντελοποίηση των υπό εκμετάλλευση κοιτασμάτων, όσο και με την τοποθέτηση συστημάτων συνεχούς (on-line) ανάλυσης της ποιότητας του παραγόμενου λιγνίτη πάνω στον ταινιόδρομο μεταφοράς.

Abstract

The production of lignite, which meets the fuel specifications of the fed thermal power plants, is a priority target for the Greek open-pit mines. The lignite quality affects considerably the efficiency of the thermal power units and, consequently, the competitiveness of lignite in the globalised energy market.

The implementation of lignite stacking and reclaiming methods that exhibit higher homogenisation efficiencies may improve the overall lignite handling procedure in the bunkers of the mines and the stockyards of the thermal power plants, contributing significantly to a better quality control.

For the determination of the type and the extension of the modifications in the existing bunkers and stockyards both engineering and economic criteria must be taken into account. A series of modifications in the operating pattern of the existing bucket-wheel stacker/reclaimers, combined with the development of a model of the lignite deposit that will support the mine production

1. Μηχανικός Ορυκτών Πόρων, Κέντρο Τεχνολογίας και Εφαρμογών Στερεών Καυσίμων, Τ.Θ. 95, 502 00 Πτολεμαΐδα.
2. Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, , 73100 Χανιά.

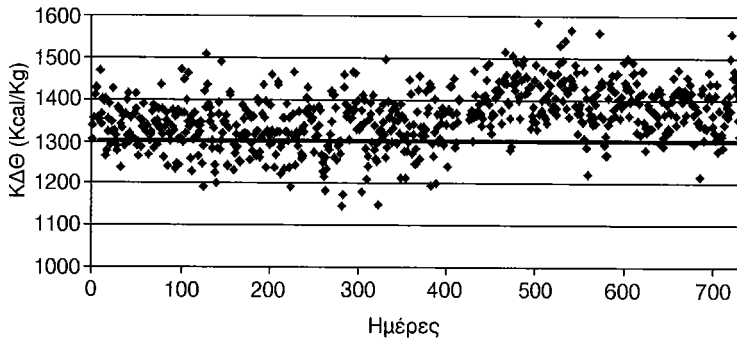
scheduling and the installation of on-line lignite quality analyzers, may prove a more feasible solution compared to the enlargement of the stockyards and the purchase of new lignite handling equipment that can achieve higher homogenisation efficiency.

Εισαγωγή

Η τροφοδοσία των ατμοηλεκτρικών σταθμών με λιγνίτη που εμπίπτει εντός των ορίων των ποιοτικών προδιαγραφών καυσίμου αποτελεί στόχο ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση υψηλών βαθμών απόδοσης των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής. Τα κύρια ποιοτικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη, όπως η θερμογόνος δύναμη και η περιεκτικότητα σε τέφρα, έχουν άμεση επίπτωση στην επίτευξη της ονομαστικής απόδοσης των μονάδων. Τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά επηρεάζουν επίσης τη διαθεσιμότητα των μονάδων, αφού η ένταση των φαινομένων επισκωρώσεων και επικαθήσεων στις εσωτερικές επιφάνειες των λεβήτων προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό την συχνότητα και τη διάρκεια των συντηρήσεων και επισκευών τους.

Η διασφάλιση της τροφοδοσίας των ατμοηλεκτρικών σταθμών με καύσιμο του οποίου τα κύρια ποιοτικά χαρακτηριστικά μεταβάλλονται εντός σχετικά στενών ορίων και πάντως εντός των προδιαγραφών καυσίμου των μονάδων αποτελεί πολυδιάστατο πρόβλημα. Ιδιαίτερα στην περίπτωση των ατμοηλεκτρικών σταθμών της περιοχής Πτολεμαΐδας, η πολυστρωματική φύση του λιγνιτικού κοιτάσματος, απόρροια των μεταβαλλόμενων συνθηκών στο παλαιοπεριβάλλον γένεσης του, και η έντονη διακύμανση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επάλληλων λιγνιτικών στρώσεων τόσο κατά την οριζόντια, όσο και κατά την κατακόρυφη έννοια, καθιστούν ακόμη δυσκολότερη την ικανοποίηση του προαναφερόμενου στόχου. Η αναπόφευκτη συνεξόρυξη στρώσεων αγόνων υλικών υποβαθμίζει την ποιότητα του παραγόμενου λιγνίτη. Η προσπάθεια εκλεκτικής εξόρυξης που επιχειρείται δεν έχει πάντα τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα, λόγω της περιορισμένης διακριτικής ικανότητας των μεγάλου μεγέθους εκσκαφών με καδοτροχό που επιλέχτηκαν με σκοπό την διασφάλιση του επιθυμητού ύψους παραγωγής. Ως αποτέλεσμα, τα εξορυσσόμενα τμήματα του κοιτάσματος (πακέτα εκμετάλλευσης) αποτελούνται από ένα σύνολο στρώσεων λιγνίτη και αγόνων υλικών με ποιότητα που χαρακτηρίζεται από τη μέση ποιότητα των επιμέρους στρώσεων. Επιπλέον, η περιορισμένη διακριτική ικανότητα στρώσεων των μηχανημάτων εκσκαφής συμβάλει στην περαιτέρω μόλυνση του παραγόμενου λιγνίτη με άγονα υλικά προερχόμενα από την υποκείμενη και υπερχείμνη του πακέτου εκμετάλλευσης στρώση αγόνου υλικού, καθώς και την απώλεια λιγνίτη προς τα υλικά που οδηγούνται στις εσωτερικές και εξωτερικές αποθέσεις.

Η κατάσταση που περιγράφηκε παραπάνω οδηγεί σε έντονες διακυμάνσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών του παραγόμενου λιγνίτη που σε μερικές περιπτώσεις δεν ανταποκρίνεται στα κατώτερα όρια ποιότητας που έχουν τεθεί από τους τροφοδοτούμενους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται



Σχήμα 1. Διακύμανση της ΚΘΔ του λιγνίτη που τροφοδοτήθηκε στον ΑΗΣ Καρδιάς κατά τη διετία 1997-98, με βάση τα ημερήσια δείγματα.

Figure 1. Variation of the Lower Heating Value of the lignite fed to Kardias thermal power plant during 1997-98 based on the daily samples.

ενδεικτικά οι διακυμάνσεις της Κατώτερης Θερμογόνου Δύναμης (ΚΘΔ) του λιγνίτη που καταναλώθηκε την διετία 1997-98 στον ΑΗΣ Καρδιάς, με βάση τα ημερήσια δείγματα που συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν εργαστηριακά. Είναι εμφανείς οι κατά περιόδους έντονες αποκλείσεις από την επιθυμητή ΚΘΔ των 1.300 kcal/kg.

Η μείωση της συχνότητας και έντασης των ποιοτικών διακυμάνσεων του λιγνίτη μπορεί να επιτευχθεί με διάφορα μέσα που μπορούν να εφαρμοστούν είτε ανεξάρτητα, είτε σε συνδυασμό. Τα μέτρα αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μέτρα που αφορούν το σχεδιασμό της παραγωγής των ορυχείων και σε μέτρα που αφορούν τη διαχείριση του παραγόμενου λιγνίτη στις αυλές (υπαίθριες αποθήκες) των ορυχείων και των ατμοηλεκτρικών σταθμών.

Ποιότητα του λιγνίτη και λειτουργία των ορυχείων

Ο έλεγχος της ποιότητας του εξορυσσόμενου λιγνίτη αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη τόσο του μακροχρόνιου, όσο και του βραχυχρόνιου προγράμματος εκμετάλλευσης ενός ορυχείου. Προκειμένου για τα υπαίθρια ορυχεία λιγνίτη, στόχος κάθε κοιτασματολογικής μελέτης είναι η ανάπτυξη μιας χωρικής βάσης δεδομένων (σε τρεις διαστάσεις) στην οποία θα καταχωρούνται στοιχεία ποιότητας των επάλληλων λιγνιτικών στρώσεων και των στρώσεων αγώνων υλικών, καθώς και κάθε άλλο στοιχείο που επηρεάζει την εκμετάλλευση ενός ορυχείου, όπως η θέση των ρηγμάτων, η ύπαρξη υπογείων υδροφορέων, κλπ. Η χωρική βάση δεδομένων, που αρχικά αναπτύσσεται με βάση τα στοιχεία της γεωτρητικής έρευνας, είναι δυνατό να ενημερώνεται τακτικά με νέα στοιχεία προερχόμενα από δειγματοληψίες μετώπου, γεωτρήσεις πύκνωσης κανάβου, κλπ.

Με βάση τα στοιχεία που καταχωρούνται στη χωρική βάση δεδομένων, ανα-



Σχήμα 2. Μοντέλο διαίρεσης κοιτάσματος σε στοιχεία εκμετάλλευσης (blocks) με βάση τις διακυμάνσεις ποιότητας διαστάσεις.

Figure 2. Deposit modeling based on the different qualities of the exploitation blocks.

πτύσσεται ένα ομοίωμα (μοντέλο) του κοιτάσματος (Σχ. 2). Το μοντέλο αυτό αποσκοπεί στη δημιουργία ενός εύχρηστου εργαλείου για τη βελτιστοποίηση της ανάπτυξης του ορυχείου, με βάση τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια, και με τελικό στόχο την αύξηση της καθαρής παρούσας αξίας του εξορυσσόμενου προϊόντος. Η ύπαρξη ενός τέτοιου μοντέλου βοηθά στη γρήγορη αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων για την προχώρηση της εκμετάλλευσης, με γνώμονα την ικανοποίηση των στόχων που έχουν τεθεί για το ύψος της παραγωγής και την ποιότητα του προϊόντος, και με δυνατότητα συνεκτίμησης μιας σειράς ενδεχομένων που είναι πιθανό να συμβούν κατά τη λειτουργία συστημάτων συνεχούς εκμετάλλευσης, τα οποία ως γνωστό διακρίνονται από περιορισμένη ευελιξία, προερχόμενη από κρατήσεις εξοπλισμού (που αυτόματα συνεπάγονται διακοπή της λειτουργία ολόκληρων κλάδων εκμετάλλευσης), προγραμματισμένες συντηρήσεις, μεταθέσεις εξοπλισμού, μειωμένες αποδόσεις λόγω καιρικών συνθηκών, κλπ.

Οι διαδικασίες ανάπτυξης της βάσης δεδομένων και του μοντέλου του κοιτάσματος απλουστεύονται και επιταχύνονται σε μεγάλο βαθμό με τη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών (Η/Υ). Η ΔΕΗ έχει η ίδια αναπτύξει λογισμικό που εφαρμόζει στην εκπόνηση μελετών για τα λιγνιτικά κοιτάσματα της χώρας μας (ΚΑΡΑΜΑΛΙΚΗΣ 1992). Παράλληλα, στη διεθνή αγορά κυκλοφορούν διάφορα εμπορικά προγράμματα που ήδη βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε επιφανειακές και υπό-

γειες εκμεταλλεύσεις κοιτασμάτων γαιανθράκων και μεταλλικών ή βιομηχανικών ορυκτών σε όλο τον κόσμο. Τα προγράμματα αυτά επιχειρούν να εκμεταλλευτούν την μεγάλη ταχύτητα ανάλυσης στοιχείων που επιτυγχάνεται με τη χρήση των Η/Υ με στόχο τη γρήγορη αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων. Οι λύσεις αυτές, προκειμένου για ένα λιγνιτικό κοιτάσμα, αφορούν την ταυτόχρονη εξόρυξη επιλεγμένων τμημάτων του κοιτάσματος με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά, από τα διαφορετικά μέτωπα εκμετάλλευσης του ορυχείου, έτσι ώστε το τελικό προϊόν (run-of-mine) που προκύπτει από την ανάμειξη των επιμέρους εξορυχθέντων τμημάτων του κοιτάσματος στο σύμπλεγμα του ορυχείου να χαρακτηρίζεται από μια μέση ποιότητα που εμπίπτει ή τουλάχιστον προσεγγίζει τις ισχύουσες προδιαγραφές καυσίμου των τροφοδοτούμενων ατμοηλεκτρικών σταθμών. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η αύξηση των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων του κοιτάσματος, αφού τμήματα του κοιτάσματος με υποβαθμισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά που θα οδηγούνταν στις αποθέσεις μπορούν πλέον να αποτελέσουν καύσιμο αν αναμειχθούν με καλής ποιότητας τμήματα του κοιτάσματος. Η ανάπτυξη ενός τέτοιου μοντέλου για ένα λιγνιτικό κοιτάσμα προϋποθέτει την ύπαρξη ικανών στοιχείων για τη δημιουργία μιας ισχυρής βάσης δεδομένων. Τα στοιχεία αυτά, όπως προαναφέρθηκε, προέρχονται κατ' αρχήν από τις δειγματοληψίες και αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη φάση υλοποίησης του προγράμματος ερευνητικών γεωτρήσεων. Το πλήθος των δειγμάτων ανά γεώτρηση και η πυκνότητα του κανάβου των γεωτρήσεων θα πρέπει να είναι ανάλογη με τη συχνότητα των μεταβολών των εξεταζόμενων ποιοτικών παραμέτρων του κοιτάσματος στην κατακόρυφη και την οριζόντια έννοια, αντίστοιχα. Διαφορετικά, η βάση δεδομένων που θα αναπτυχθεί θα είναι αναξιόπιστη και θα οδηγή την εκμετάλλευση του κοιτάσματος σε λάθος κατευθύνσεις.

Σε περιπτώσεις που η έλλειψη στοιχείων καθιστά αδύνατη την ανάπτυξη μιας αξιόπιστης βάσης δεδομένων, υπάρχει η δυνατότητα μερικής υποκατάστασής της με την εγκατάσταση συστημάτων on-line αναλύσεων του λιγνίτη. Τα συστήματα αυτά τοποθετούνται πάνω στον ταινιόδρομο μεταφοράς του λιγνίτη και έχουν τη δυνατότητα εκτίμησης των ποιοτικών παραμέτρων του σε χρόνο της τάξης των μερικών λεπτών. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι προκειμένου για μια απόσταση μεταφοράς του λιγνίτη από το ορυχείο προς τον ΑΗΣ της τάξης των 5 km, που σημαίνει ότι ο λιγνίτης χρειάζεται χρόνο περίπου 30min για να φτάσει από το ορυχείο στον ΑΗΣ, δίνεται η δυνατότητα ενημέρωσης του υπεύθυνου διαχείρισης της αυλής του σταθμού για την ποιότητα του λιγνίτη που παραλαμβάνει κάθε στιγμή. Έτσι, ο υπεύθυνος διαχείρισης έχει τη δυνατότητα να εξαντλήσει όλα τα περιθώρια που του δίνει η υπάρχουσα διαμόρφωση σωρών στο χώρο της αυλής για να επιλέξει το βέλτιστο τρόπο διαχείρισης του λιγνίτη που παραλαμβάνει, είτε αποθέτοντάς τον στον κατάλληλο χώρο, είτε τροφοδοτώντας τον απ' ευθείας στον ΑΗΣ, εφόσον φυσικά τηρεί τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί. Η εφαρμογή συστημάτων on-line

παρακολούθησης της ποιότητας του λιγνίτη προϋποθέτει την ανάλυση μιας σειράς παραμέτρων που προσδιορίζουν την αποτελεσματική λειτουργία τους. Στη διεθνή αγορά υπάρχουν διαθέσιμα συστήματα που βασίζονται σε διαφορετικές τεχνικές εκτίμησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών του λιγνίτη (των γαιανθράκων γενικότερα), που συνήθως μετρούν την εκπομπή ή σκέδαση της ραδιενεργούς ακτινοβολίας ορισμένων στοιχείων που περιέχονται στην ορυκτή ύλη του γαιάνθρακα. Κάποια από τα συστήματα αυτά προσδιορίζουν τα κύρια ποιοτικά χαρακτηριστικά των γαιανθράκων (τέφρα και υγρασία), ενώ άλλα είναι σε θέση να διεξάγουν πλήρεις στοιχειακές αναλύσεις. Η δεύτερη κατηγορία συστημάτων μπορεί να πλεονεκτεί τεχνικά, συνδυάζεται όμως και με πολλαπλάσιο κόστος αγοράς (IEA, 1994).

Ποιοτικός έλεγχος του παραγόμενου λιγνίτη στις αυλές των ορυχείων και των σταθμών

Πέρα από τις επεμβάσεις που είναι δυνατό να γίνουν μέσα στο ορυχείο για τον έλεγχο της ποιότητας του παραγόμενου λιγνίτη, η διαχείριση του λιγνίτη στην αυλές των ορυχείων και των ΑΗΣ μπορεί να συμβάλει περαιτέρω στην ομογενοποίηση του καυσίμου που τελικά τροφοδοτείται στις ατμοηλεκτρικές μονάδες. Η ομογενοποίηση στις αυλές λαμβάνει χώρα κατά την απόθεση του λιγνίτη που παραλαμβάνεται από το ορυχείο σε σωρούς διατεταγμένους σε σειρά ή/και παράλληλα. Ο κάθε σωρός σχηματίζεται από μια σειρά επάλληλων λεπτών στρώσεων λιγνίτη γνωστής ή άγνωστης ποιότητας. Στη συνέχεια, κατά την απόληψη του λιγνίτη από τους σωρούς επιχειρείται η ταυτόχρονα ανάκτηση υλικού από το όσο το δυνατό μεγαλύτερο αριθμό στρώσεων, έτσι ώστε η ποιότητα του λιγνίτη που τελικά τροφοδοτείται προς τον ΑΗΣ να αντιστοιχεί στο μέσο όρο των ποιοτήτων των διαφορετικών στρώσεων που συναπολήφθηκαν.

Η απόδοση της ομογενοποίησης του λιγνίτη που προκύπτει από τη διαχείριση του στις αυλές των ορυχείων και των ΑΗΣ μπορεί να υπολογιστεί με τη βοήθεια της γεωστατιστικής. Η γνώση της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης (autocorrelation function) της εξεταζόμενης ποιοτικής παραμέτρου του λιγνίτη, η γνώση δηλαδή της μεταβολής της τιμής της ποιοτικής παραμέτρου σε δύο διαφορετικές θέσεις του κοιτάσματος σε συνάρτηση της απόστασης μεταξύ των δύο αυτών θέσεων επιτρέπει τον προσεγγιστικό υπολογισμό της απόδοσης της ομογενοποίησης. Μια απλουστευμένη προσέγγιση της λειτουργίας της ομογενοποίησης στις αυλές θα είχε ως εξής: η απόδοση της ομογενοποίησης αυξάνει, όσο αυξάνει ο βαθμός συναπόληψης από το σωρό στρώσεων λιγνίτη που παραλήφθηκαν στην αυλή σε χρονικά διαστήματα που απέχουν σημαντικά μεταξύ τους (κατά χρονική έννοια) και κατά συνέπεια εξορύχθηκαν από τμήματα του κοιτάσματος που απέχουν επίσης σημαντικά μεταξύ τους (κατά χωρική έννοια) (SCHOFIELD 1980).

Ο ακριβής προσδιορισμός των παραμέτρων λειτουργίας μιας αυλής προϋποθέτει την ακριβή προσέγγιση των στατιστικών μεγεθών των κύριων ποιοτικών παρα-

μέτρων του λιγνίτη και την κατά το δυνατό συχνότερη μέτρησή τους. Επιπρόσθετα, απαιτείται η γνώση μιας σειράς παραμέτρων, όπως η πυκνότητα του λιγνίτη (tn/m^3), η κοκκομετρική κατανομή των σωματιδίων του και η γωνία φυσικού προανούς, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη για τον τελικό προσδιορισμό των ακόλουθων σχεδιαστικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών μιας αυλής λιγνίτη:

- Μήκος σωρού.
- Πλάτος σωρού.
- Αριθμός επάλληλων στρώσεων λιγνίτη.
- Μήκος διεόδουσης του απολήπτη στο σωρό.
- Σχετική θέση του απολήπτη ως προς το σωρό.

Σε ότι αφορά τις μεθόδους διαχείρισης του λιγνίτη στις αυλές των ορυχείων και των ΑΗΣ, έχουν ήδη αναπτυχθεί και δοκιμαστεί επιτυχώς, τόσος στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και στις βιομηχανίες παραγωγής τσιμέντου και επεξεργασίας άλλων μεταλλευμάτων και βιομηχανικών ορυκτών, μια σειρά από διαφορετικές τεχνικές λύσεις που συνδυάζονται με διαφορετικούς τύπους μηχανημάτων απόθεσης και απόληψης υλικών από σωρούς. Η απαρίθμηση των διαφορετικών αυτών τεχνικών δεν κρίνεται σκόπιμη στα πλαίσια της παρούσας ανάλυσης. Περισσότερες πληροφορίες για τα θέματα αυτά αναφέρονται στα άρθρα των ZADOR (1994) και LUTTEKES & PRINS (1994). Αξίζει όμως να τονιστεί η ολοένα αυξανόμενη τάση που παρατηρείται διεθνώς για στροφή προς μεθόδους και τεχνικές που ευνοούν την αυτοματοποίηση της λειτουργίας των αυλών. Μια τέτοια προσπάθεια προϋποθέτει την ικανοποίηση των ακόλουθων συνθηκών:

- Απλοποίηση του συνολικής στρατηγικής λειτουργίας της αυλής.
- Δημιουργία σωρών απλών γεωμετρικών σχημάτων.
- Απλοποίηση των κινήσεων των μηχανημάτων απόθεσης και απόληψης υλικών από τους σωρούς.
- Διατήρηση του ομαλού και σταθερού σχήματος του μετώπου εργασίας του απολήπτη.
- Διατήρηση σταθερού ρυθμού απόληψης υλικού από το σωρό.

Η αυτοματοποίηση της λειτουργίας των αυλών υποβοηθά σημαντικά την υπολογιστική προσέγγιση και προσομοίωση της ομογενοποίησης, παρέχοντας έτσι καλύτερο έλεγχο της όλης διαδικασίας.

Ποιοτικός έλεγχος του λιγνίτη στα ορυχεία και τους ΑΗΣ της περιοχής Πτολεμαΐδας – Παρούσα κατάσταση

Ο εφαρμοζόμενος μέχρι σήμερα έλεγχος της ποιότητας του παραγόμενου λιγνίτη στα ορυχεία της περιοχής Πτολεμαΐδας βασίζεται στα αποτελέσματα της κοινοπραξιακής έρευνας που διενεργήθηκε από το ΙΓΜΕ και τη ΔΕΗ πριν την έναρξη εκμετάλλευσης των ορυχείων. Τα στοιχεία των ερευνητικών γεωτρήσεων, ωστόσο, δεν είναι επαρκή για τον προσδιορισμό της ποιότητας του παραγόμενου

λιγνίτη με τη συχνότητα που θα ήταν επιθυμητή. Για το λόγο αυτό εφαρμόζεται ένα πρόγραμμα τακτικών δειγματοληψιών από τα μέτωπα εκμετάλλευσης σε όλες τις λιγνιτικές βαθμίδες κάθε ορυχείου που στοχεύει στην ακριβέστερη γνώση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του λιγνίτη που εξορύσσεται σε βραχυχρόνιο ορίζοντα. Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων των δειγμάτων που συλλέγονται με τον παραπάνω τρόπο, δημιουργούνται χάρτες που απεικονίζουν τις ποιοτικές διακυμάνσεις του λιγνίτη στο κάθε μέτωπο εκμετάλλευσης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται από τους υπεύθυνους εκμετάλλευσης για τον προσδιορισμό της θέσης εργασίας του κάθε εκσκαφέα. Παρά τις παραπάνω προσπάθειες, η συχνότητα των δειγματοληψιών μετώπου σε αρκετές περιπτώσεις δεν επαρκεί για τον εντοπισμό των ποιοτικών διακυμάνσεων κατά την οριζόντια εξάπλωση του κοιτάσματος.

Σε ότι αφορά την επιχειρούμενη προσπάθεια ομογενοποίησης του λιγνίτη στις αυλές των ΑΗΣ της περιοχής Πτολεμαΐδας, αυτή έχει να αντιπαρέλθει ένα σημαντικό ανασταλτικό παράγοντα που έχει να κάνει με το ότι οι υφιστάμενες αυλές λιγνίτη σχεδιάστηκαν για να λειτουργήσουν αποκλειστικά ως χώροι αποθήκευσης οι οποίοι θα διασφαλίζουν τη συνεχή τροφοδοσία των ΑΗΣ με καύσιμο για διάστημα 15-20 ημερών, σε περιπτώσεις που για οποιοδήποτε λόγο διακοπεί η τροφοδοσία λιγνίτη από τα ορυχεία. Η ίδια σχεδιαστική προσέγγιση ίσχυσε και για τις αυλές των ορυχείων (bunkers), η δημιουργία των οποίων υπαγορεύτηκε κύρια από την ανάγκη αποθήκευσης του παραγόμενου λιγνίτη σε κάποιο άλλο χώρο, όταν αυτός είναι αδύνατο να αποθεθεί στις αυλές των σταθμών ή να τροφοδοτηθεί απ' ευθείας στις ατμοηλεκτρικές μονάδες. Όλα τα παραπάνω σημαίνουν ότι οι βασικές λειτουργικές παράμετροι των αυλών των ορυχείων και των ΑΗΣ δεν τηρούν τις προδιαγραφές που απαιτούνται για την εφαρμογή ενός συστήματος ομογενοποίησης υψηλής απόδοσης. Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι τρεις σπουδαιότεροι ανασταλτικοί παράγοντες:

Η ελλιπής παρακολούθηση της ποιότητας του λιγνίτη που παραλαμβάνεται από το ορυχείο

Σύμφωνα με το σημερινό καθεστώς λειτουργίας των αυλών των ΑΗΣ, διενεργείται τακτική δειγματοληψία από τον ταινιόδρομο τροφοδοσίας των ατμοηλεκτρικών μονάδων του κάθε ΑΗΣ, έτσι ώστε στη διάρκεια μιας ημέρας να δημιουργείται ένα και μοναδικό δείγμα που αντιστοιχεί στη μέση ποιότητα του λιγνίτη που τροφοδοτήθηκε στις μονάδες. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων κάθε τέτοιου δείγματος γίνονται γνωστά την επόμενη ημέρα. Είναι προφανές ότι η υφιστάμενη συχνότητα δειγματοληψίας (1 ημέρα) υπερβαίνει κατά πολύ την κρίσιμη συχνότητα δειγματοληψίας, τη συχνότητα δηλαδή που ισούται με το μέγιστο χρονικό διάστημα κατά το οποίο μια μονάδα μπορεί να τροφοδοτηθεί με καύσιμο υποβαθμισμένης ποιότητας χωρίς αυτό να έχει επιπτώσεις στην απόδοσή της. Η συχνότητα αυτή είναι της τάξης της μίας ώρας.

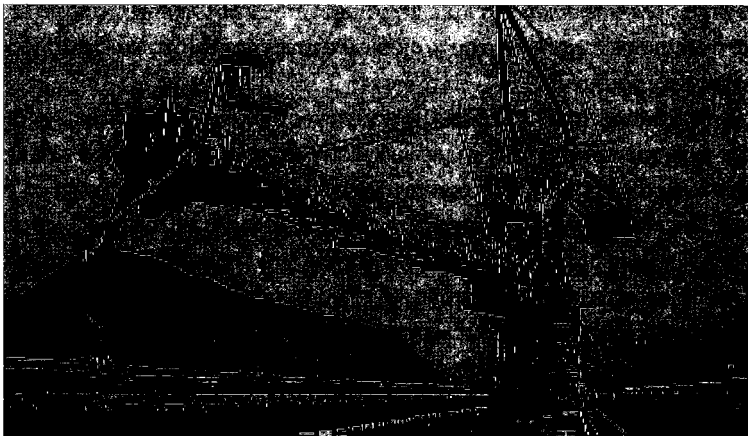
Η περιορισμένη χωρητικότητα των αυλών

Ο περιορισμένη έκταση στην οποία αναπτύσσονται οι αυλές έχει ως συνέπεια την κάλυψη όλου σχεδόν του διαθέσιμου χώρου, πολλές φορές και σε σημεία πέρα από την εμβέλεια των μηχανημάτων απόληψης του λιγνίτη από τους σωρούς, προκειμένου να διασφαλιστεί η ύπαρξη του ελάχιστου απαιτούμενου αποθέματος ασφαλείας. Η εφαρμογή μεθόδων ομογενοποίησης, σε αντίθεση, προϋποθέτει την ύπαρξη κενών χώρων διαθέσιμων για να δεχθούν σε κάθε χρονική στιγμή λιγνίτη που παραλαμβάνεται από το ορυχείο. Επιπλέον, η ανάπτυξη των σωρών στις πλήρεις διαστάσεις τους έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό των κινήσεων των μηχανημάτων απόθεσης/απόληψης του λιγνίτη από τους σωρούς.

Ο τύπος του εγκατεστημένου εξοπλισμού

Σε όλες τις αυλές των ΑΗΣ της περιοχής Πτολεμαΐδας λειτουργούν σήμερα μηχανήματα με καδοτροχό εδραζόμενο σε μπούμα, με δυνατότητα λειτουργίας τόσο ως αποθέτες, όσο και ως απολήπτες (boom-type bucket wheel stacker / reclaimers), αλλά και με δυνατότητα απ' ευθείας τροφοδοσίας (by-pass) του λιγνίτη που παραλαμβάνεται από το ορυχείο προς τον ΑΗΣ (Σχ. 3). Τα μηχανήματα αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται από την υψηλή διαθεσιμότητά τους και την προσαρμοστικότητα τους σε δυσμενείς και μεταβαλλόμενες συνθήκες. Παράλληλα, όμως, είναι και τα μηχανήματα εκείνα που παρουσιάζουν τη χαμηλότερη απόδοση ομογενοποίησης, κυρίως λόγω της περιορισμένης επιφάνειας και του ακανόνιστου σχήματος του μετώπου απόληψης υλικού από το σωρό.

Επιπρόσθετα, ο αριθμός των εγκατεστημένων μηχανημάτων δυσχεραίνει ακόμη περισσότερο την κατάσταση. Χαρακτηριστικά αναφέρεται το παράδειγμα του



Σχήμα 3. Αποθέτης - απολήπτης με καδοτροχό εδραζόμενο σε μπούμα.

Figure 3. Boom-type bucket wheel stacker / reclaimer.

ΑΗΣ Καρδιάς, στην αυλή του οποίου είναι εγκατεστημένα 3 μηχανήματα απόθεσης/απόληψης, δυναμικότητας 4.000 tn/h, το καθένα, λειτουργώντας ως αποθέτες και 3.000 tn/h, λειτουργώντας ως απολήπτες. Η δυναμικότητα του συστήματος μεταφοράς του λιγνίτη από την αυλή προς τους σπαστήρες και στη συνέχεια τα σιλό των μονάδων είναι επίσης 3.000 tn/h. Με τα παραπάνω δεδομένα πολλές φορές η αυλή δεν είναι σε θέση να διαχειριστεί κατάλληλα τον λιγνίτη που παραλαμβάνει, ειδικά όταν κάποιο από τα εγκατεστημένα μηχανήματα δεν είναι διαθέσιμο λόγω βλάβης ή συντήρησης. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η ακόλουθη περίπτωση στην οποία το σύστημα αδυνατεί να ανταποκριθεί: Έστω ότι το ένα από τα 3 μηχανήματα της αυλής δεν είναι διαθέσιμο, λόγω συντήρησης ή βλάβης. Για να τροφοδοτηθεί ο ΑΗΣ με λιγνίτη από τους σωρούς της αυλής θα έπρεπε το ένα από τα δύο διαθέσιμα μηχανήματα να λειτουργήσει ως απολήπτης. Τούτο όμως θα σήμαινε ότι το μοναδικό εναπομένον μηχανήμα που θα λειτουργούσε ως αποθέτης θα επαρκούσε για να διαχειριστεί 4.000 tn λιγνίτη ανά ώρα, παρά το ότι η μέγιστη δυναμικότητα του ταινιοδρόμου μεταφοράς λιγνίτη από το ορυχείο προς τον ΑΗΣ είναι 6.000 tn/h. Επειδή συνήθως δίνεται προτεραιότητα στην αύξηση της παραγωγής του ορυχείου, σε περιπτώσεις που το ορυχείο τροφοδοτεί την αυλή με ρυθμό μεγαλύτερο από 4.000 tn/h, επιλέγεται η απ' ευθείας τροφοδοσία των 3.000 tn/h προς τις μονάδες, με βάση τη δυναμικότητα του συστήματος μεταφοράς λιγνίτη από την αυλή προς τις μονάδες, και η απόθεση της υπόλοιπης ποσότητας στην αυλή με τη χρήση του ενός από τα δύο διαθέσιμα μηχανήματα. Η παράκαμψη της λειτουργίας απόθεσης/απόληψης του λιγνίτη σε σωρούς και η απ' ευθείας τροφοδοσία του προς τις ατμοηλεκτρικές μονάδες έχει ως αποτέλεσμα την χωρίς καμία ουσιαστική μεταβολή μεταφορά των διακυμάνσεων των ποιοτικών χαρακτηριστικών του λιγνίτη που τροφοδοτείται από το ορυχείο στους λέβητες του ΑΗΣ, αφού η δυνατότητα ομογενοποίησης του καυσίμου στους σπαστήρες και τα σιλό των λεβήτων είναι περιορισμένη.

Παρά τις όποιες αδυναμίες που προαναφέρθηκαν, το υφιστάμενο σύστημα ποιοτικού ελέγχου του λιγνίτη, σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία του ΑΚΠ-Α παρουσιάζει βαθμό απόδοσης της ομογενοποίησης 1.77³. Ο συγκεκριμένος βαθμός απόδοσης δεν μπορεί να χαρακτηριστεί αμελητέος και οφείλεται (α) στην ταυτόχρονη εξόρυξη διαφορετικών στρώσεων λιγνίτη και αγόνων υλικών που περιέχονται σε κάθε πακέτο εκμετάλλευσης, (β) την ανάμειξη λιγνίτη που εξορύχτηκε από διαφορετικά μέτωπα εκμετάλλευσης στο σύμπλεγμα του ορυχείου και (γ) την απόθεση και απόληψη του λιγνίτη στις αυλές του ορυχείου και του ΑΗΣ, παρά το

3. Ως βαθμός ομογενοποίησης θεωρείται ο λόγος της τυπικής απόκλισης της εξεταζόμενης παραμέτρου ποιότητας πριν την επεξεργασία (π.χ. απόθεση/απόληψη από σωρούς) προς τον λόγο της τυπικής απόκλισης της ίδιας παραμέτρου μετά την επεξεργασία.

ότι όλα τα παραπάνω διεξάγονται χωρίς απόλυτα ελεγχόμενο τρόπο (KAVOURIDES & PAVLOUDAKIS 1999).

Δυνατότητες βελτίωσης του υφιστάμενου συστήματος ποιοτικού ελέγχου του λιγνίτη

Με δεδομένους τους παραπάνω περιορισμούς, οι εναλλακτικές λύσεις που υπάρχουν για τη βελτίωση του συστήματος ελέγχου της ποιότητας του λιγνίτη είναι λίγες. Η επέκταση των αυλών, συνδυαζόμενη με την εγκατάσταση νέων μηχανημάτων ή ακόμα και την αντικατάσταση των ήδη υπαρχόντων μηχανημάτων απόθεσης/απόληψης είναι βέβαιο ότι θα επιφέρει σημαντικές τεχνικές βελτιώσεις στο συνολικό σύστημα διαχείρισης του λιγνίτη και αύξηση της απόδοσης ομογενοποίησης, είναι αβέβαιο όμως αν θα μπορέσει να αποσβεσθεί το μεγάλο επενδυτικό κόστος που συνεπάγεται.

Μια εναλλακτική λύση που πιθανά να είναι και η πλέον συμφέρουσα από οικονομικής πλευράς, αφορά την προώθηση διορθωτικών παρεμβάσεων και προσθηκών στα επιμέρους συστήματα διαχείρισης της ποιότητας του λιγνίτη. Με τον τρόπο αυτό, οι αυλές των ΑΗΣ δεν επιφορτίζονται εξ ολοκλήρου με το βάρος της εξάλειψης των ποιοτικών διακυμάνσεων του λιγνίτη, αλλά λειτουργούν συμπληρωματικά στα πλαίσια ενός ολοκληρωμένου συστήματος διασφάλισης της ποιότητας του καυσίμου. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει αφενός την αύξηση της απόδοσης του συνολικού συστήματος και αφετέρου τη μείωση των δαπανών για την αναβάθμιση της υφιστάμενης τεχνικής υποδομής των αυλών. Οι νέες τεχνολογίες και το ειδικό λογισμικό που είναι πλέον διαθέσιμο και ευρέως δοκιμασμένο σε ανάλογες εφαρμογές σε όλο τον κόσμο αποτελούν εργαλείο για την προώθηση ενός τέτοιου εγχειρήματος.

Στη συνέχεια αναφέρονται τα επιμέρους συστήματα διαχείρισης της ποιότητας του λιγνίτη που χρηζίζονται βελτίωσης:

Προγραμματισμός της παραγωγής του ορυχείου και μακροχρόνιος έλεγχος της ποιότητας του παραγόμενου λιγνίτη

Η αξιολόγηση των ποιοτικών παραμέτρων του εξορυσσόμενου λιγνίτη κατά την ανάπτυξη του μακροπρόθεσμου (ένας μήνας) και μεσοπρόθεσμου (μία ημέρα) προγραμματισμός της παραγωγής του ορυχείου θα διευκολύνονταν από την ύπαρξη ενός μοντέλου του κοιτάσματος. Το μοντέλο αυτό σε καμία περίπτωση δεν υποκαθιστά την λειτουργία του υπεύθυνου για την προχώρηση της εκμετάλλευσης προσωπικού του ορυχείου. Αντίθετα, πολλές πρόσφατες εφαρμογές συστημάτων Η/Υ στον προγραμματισμό της παραγωγής των ορυχείων βασίζονται στην ανάπτυξη έμπειρων συστημάτων και άλλων εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης, η αποτελεσματικότητα των οποίων εξαρτάται από τη γνώση των ειδικών επιστημόνων και τεχνικών που λειτούργησαν και λειτουργούν συμβατικά συστήματα ποιοτικού έ-

λέγχου. Το μοντέλο αυτό μπορεί όμως να συμβάλει σημαντικά, όπως άλλωστε προαναφέρθηκε, στη ταχύτερη επεξεργασία και αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων από τα οποία το υπεύθυνο προσωπικό καλείται να επιλέξει το βέλτιστο.

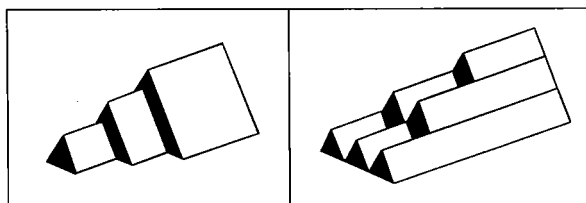
Παρακολούθηση της ποιότητας του παραγόμενου λιγνίτη

Η τοποθέτηση on-line αναλυτών της ποιότητας του λιγνίτη στον ταινιόδρομο μεταφοράς του από το ορυχείο στον ΑΗΣ αποτελεί κρίσιμο βήμα για τον προσδιορισμό των βραχυχρόνιων διακυμάνσεων της ποιότητας του λιγνίτη, ο οποίος είναι αδύνατο να στηριχθεί στα δεδομένα της κοιτασματολογικής έρευνας, με δεδομένη την πολυστρωματική φύση του κοιτάσματος. Με την τοποθέτηση on-line αναλυτών θα είναι δυνατή η γνώση των διακυμάνσεων ποιότητας σε συχνότητα της τάξης των μερικών λεπτών, συχνότητα ικανή για να στηρίξει την ανάπτυξη ενός αποτελεσματικού συστήματος ομογενοποίησης του λιγνίτη στις αυλές των ΑΗΣ.

Για την επιλογή του συστήματος εκείνου που ανταποκρίνεται καλύτερα στις ιδιαιτερότητες του λιγνίτη της περιοχής πρέπει να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας του λιγνίτη σε τέφρα (ορυκτή ύλη) γίνεται έμμεσα, με βάση την περιεκτικότητα συγκεκριμένων στοιχείων στην τέφρα. Η μη ελεγχόμενη αλλαγή της σύστασης της τέφρας του λιγνίτη που διέρχεται από τον αναλυτή, λόγω της συνύπαρξης μαργαϊκών και αργιλικών στρώσεων στο υπό εκμετάλλευση κοιτάσμα, μπορεί να οδηγήσει στη λήψη μετρήσεων με βάση συγκεκριμένη βαθμονόμηση του οργάνου (calibration) που δεν ανταποκρίνεται στη σύσταση του λιγνίτη κατά τη δεδομένη χρονική στιγμή και άρα δίδει εσφαλμένη ένδειξη για την περιεκτικότητα του παραγόμενου λιγνίτη σε τέφρα.

Ομογενοποίηση του λιγνίτη στις αυλές των ορυχείων

Η εφαρμοζόμενη μέθοδος σχηματισμού των σωρών στις αυλές των ορυχείων του ΛΚΠ-Α προσομοιάζει περισσότερο σε αυτή των κωνικών κελυφών (conical cells). Η μέθοδος αυτή είναι η απλούστερη και οικονομικότερη, λόγω των περιορισμένων μετακινήσεων του αποθέτη, αντενδείκνται όμως σε κάθε περίπτωση που επιδιώκεται αυξημένη απόδοση ομογενοποίησης. Η εφαρμογή μιας από τις μεθόδους Chevron ή Windrow θα μπορούσε να συμβάλει σημαντικά στην απόσβεση ενός μεγάλου μέρους των βραχυχρόνιων διακυμάνσεων ποιότητας του λιγνίτη, ε-



Σχήμα 4. Σχηματισμός σωρών κατά τις μεθόδους CHEVRON και WINDROW.

Figure 4. Stockpile formation according to the CHEVRON and WINDROW methods.

φαρμοζόμενη με τα ήδη εγκατεστημένα μηχανήματα των αυλών και χωρίς να προϋποθέτει απαραίτητα την ύπαρξη συστήματος on-line ανάλυσης της ποιότητας του λιγνίτη (Σχ. 4). Έχει αποδειχτεί στην πράξη ότι με βάση τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης των διακυμάνσεων ποιότητας του γαιάνθρακα είναι δυνατή η επιλογή κατάλληλων λειτουργικών παραμέτρων της αυλής (μήκος και πλάτος σωρού, αριθμός επάλληλων στρώσεων, κλπ.) που μεγιστοποιούν την απόδοση της ομογενοποίησης (GERSTEL & WERNER 1996). Η συγκεκριμένη παρατήρηση έχει σχέση με την απόσταση της αυλής από το σύμπλεγμα του ορυχείου και κατ'επέκταση με τη ύπαρξη επαρκούς χρονικού διαστήματος για τον έγκαιρο προσδιορισμό της ποιότητας του λιγνίτη που εισέρχεται στην αυλή.

Επιπλέον, η μεταφορά του λιγνίτη από την αυλή του ορυχείου προς την αυλή του ΑΗΣ με τη χρήση ελαστικοφόρων φορτωτών και φορτηγών συμβάλει στην περαιτέρω μείωση της απόδοσης της ομογενοποίησης αφού ο φορτωτής έχει περιορισμένη δυνατότητα συναπόληψης λιγνίτη από μεγάλο αριθμό στρώσεων, ενώ ταυτόχρονα δημιουργούνται αυξημένα προβλήματα σκονισμού λόγω της κίνησης προωθητών και φορτηγών πάνω στους σωρούς που διαμορφώνονται στις αυλές των ΑΗΣ.

Ομογενοποίηση του λιγνίτη στις αυλές των ΑΗΣ

Στην περίπτωση των αυλών των ΑΗΣ, ο βαθμός απόδοσης της ομογενοποίησης που μπορεί να επιτευχθεί είναι μεγαλύτερος αφού η χωρητικότητα τους είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή των αυλών των ορυχείων. Επιπρόσθετα, η εγκατάσταση on-line αναλυτών είναι σίγουρα δυνατή, αφού ο χρόνος μεταφοράς του λιγνίτη από το ορυχείο ως την αυλή του ΑΗΣ είναι αρκετός για να γνωστοποιηθεί η ποιότητα του λιγνίτη που καταγράφηκε από τον αναλυτή.

Σε ότι αφορά την μέθοδο σχηματισμού των σωρών στις αυλές των ΑΗΣ ισχύουν όσα αναφέρθηκαν προηγούμενα για τις αυλές των ορυχείων. Η εφαρμογή μιας από τις μεθόδους Chevron ή Windrow με χρήση των ήδη εγκατεστημένων μηχανημάτων μπορεί να δώσει βαθμούς ομογενοποίησης της τάξης του 1.6-2.3 (ZADOR 1994). Ταυτόχρονα, προκειμένου να διατηρηθούν τα αποθέματα ασφαλείας στα μέγιστα δυνατά επίπεδα απαιτείται να μειωθεί ο αριθμός των σωρών που διατάσσονται σε σειρά σε κάθε πλατεία της αυλής. Βασικός στόχος της λειτουργίας της αυλής θα πρέπει να είναι η απ' ευθείας τροφοδοσία για καύση του λιγνίτη που εμπίπτει στις προδιαγραφές ποιότητας, σύμφωνα με την ένδειξη του on-line αναλυτή, και η απόθεση σε συγκεκριμένες θέσεις των σωρών του λιγνίτη που αποκλίνει είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω των προκαθορισμένων ορίων ποιότητας, έτσι ώστε να σχηματίζονται σωροί με συγκεκριμένους πάχους διαδοχικές στρώσεις λιγνίτη καλής και κακής ποιότητας. Είναι αυτονόητο ότι αποτελεί επίσης στόχο η κατά το δυνατό μείωση των ποσοτήτων λιγνίτη που τροφοδοτείται απ' ευθείας από το ορυχείο στις ατμοηλεκτρικές μονάδες. Είναι τέλος προφανές ότι πέρα από τη χάραξη του γενικού πλαισίου λειτουργίας απαιτείται ο προσδιορισμός μιας σει-

ράς παραμέτρων που αφορούν τη διαχείριση του συστήματος σε οριακές καταστάσεις (π.χ. όταν για μεγάλα χρονικά διαστήματα παραλαμβάνεται συνεχώς στην αυλή λιγνίτης υποβαθμισμένης ποιότητας ή όταν οι εναλλαγές από λιγνίτη καλής σε λιγνίτη κακής ποιότητας είναι τόσο συχνές που να καθιστούν ασύμφορη τη συνεχή αλλαγή των διατάξεων λειτουργίας του εξοπλισμού απόθεσης).

Συμπεράσματα

Η μείωση των διακυμάνσεων των βασικών ποιοτικών χαρακτηριστικών του λιγνίτη που εξορύσσεται στα ορυχεία της περιοχής Πτολεμαΐδας και τροφοδοτείται στους παρακείμενους ΑΗΣ μπορεί να επιτευχθεί με ένα συνδυασμό παρεμβάσεων που ξεκινούν από τη διαχείριση των διαφορετικών ποιοτήτων λιγνίτη και καταλήγουν στην εφαρμογή μεθόδων ομογενοποίησης στις αυλές των ορυχείων και των ΑΗΣ. Με δεδομένο το υψηλό κόστος επέκτασης των αυλών των ορυχείων και των ΑΗΣ και εγκατάστασης νέων μηχανημάτων διαχείρισης των σωρών λιγνίτη που επιτυγχάνουν υψηλούς βαθμούς ομογενοποίησης, η ενδεικνυόμενη λύση για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος διαφαίνεται ότι είναι η εφαρμογή ενός αυτοματοποιημένου συστήματος διαχείρισης της κάθε αυλής. Το σύστημα αυτό, βασιζόμενο στη χρήση Η/Υ, θα έχει τη δυνατότητα ταχείας επεξεργασίας εναλλακτικών σεναρίων σε ότι αφορά τη ρύθμιση των λειτουργικών παραμέτρων της αυλής με σκοπό την έγκαιρη πρόβλεψη καταστάσεων που μπορούν να προκαλέσουν αποκλείσεις από τους ποσοτικούς και ποιοτικούς στόχους που έχουν καθοριστεί σε ότι αφορά το τροφοδοτούμενο καύσιμο. Η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος θα διευκολύνονταν από την ύπαρξη ενός μοντέλου του λιγνιτικού κοιτάσματος, που θα υποστήριζε τον μακροχρόνιο προγραμματισμό της ποιότητας του παραγόμενου λιγνίτη, και από την εγκατάσταση ενός συνεχούς (on-line) αναλυτή της ποιότητας του λιγνίτη που μεταφέρεται από το ορυχείο προς τον ΑΗΣ.

Βιβλιογραφία

- GERSTEL A.W. & WERNER J.W. (1996). Computer simulation program for blending piles. *Bulk Solids Handling*, Vol. 16, Nr. 1, Jan/Mar 1996, pp. 49-58.
- IEA (1994). On-line analysis of coal – symposium review. International Energy Agency, Coal Research, Perspectives, p. 29.
- KAVOURIDES K. & PAVLOUDAKIS F. (1999). Determination of Ptolemais (Greece) lignite quality variations – supportive fuels and homogenisation methods to improve lignite quality for power generation purposes. Workshop on “New technologies for coal quality control and homogenisation”. Athens, 30th Sep. & 1st Oct. 1999.
- KAPAMAΛΙΚΗΣ Ν.Α. (1992). Μοντελοποίηση λιγνιτικών κοιτασμάτων με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. *Ορυκτός Πλούτος*, 76, 39-50.
- LUTTEKES E. & PRINS G. (1994). New developments in storage yard systems. *Stacking, Blending & Reclaiming of Bulk Materials - The Best of Bulk Solids Handling*,

1986-91. Trans Tech Publications, pp. 169-174.

SCHOFIELD C.G. (1980). Homogenisation / blending systems design and control for mineral processing. Trans Tech Publications, p. 315.

ZADOR A.T. (1994). Technology and economy of blending and mixing. Stacking, Blending & Reclaiming of Bulk Materials - The Best of Bulk Solids Handling, 1986-91. Trans Tech Publications, pp. 1-12.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 380-397</p>
---	---	--

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΩΝ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ-ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ (ΛΚΠ-Α)- ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ - ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΚΑΙ Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Χ. Σαχανίδης¹, Κ. Λάσκος¹

Περίληψη

Η αναγκαιότητα της επίγνωσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επιφανειακών και υπογείων νερών στο χώρο των ορυχείων απασχόλησε και συνεχίζει να απασχολεί το ενδιαφέρον του ΛΚΠ-Α. Σχετίζεται με το ανθρωπινό δυναμικό του, τις μεταλλευτικές δραστηριότητες και γενικά με το περιβάλλον, μείζονος σημασίας, μέσα στο οποίο δρα. Βασιζόμενοι αποκλειστικά στις καταγεγραμμένες χημικές αναλύσεις της τελευταίας 12ετίας που πραγματοποιήθηκαν από το ΛΚΠ-Α έγινε η πινακοποίηση των στοιχείων και με βάση αυτήν εξάγονται, σε πρώτη φάση, ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν την ποιότητα των νερών σε σχέση με το περιβάλλον της περιοχής και προκύπτει ότι α. στις υδρογεωτρήσεις μεγάλου βάθους και ιδιαίτερα σ' αυτές που διατρέφουν τα λιγνιτικά κοιτάσματα το νερό αποκτά υψηλές τιμές NH_4^+ και σε ορισμένες NH_3 β. άλλα στοιχεία όπως ο σιδηρός και το μαγγάνιο τοπικά σε ορισμένες περιοχές αποκτούν τιμές άνω του επιτρεπτόν ορίων. γ. στα επιφανειακά νερά των τεχνητών λιμνών των εσωτερικών αποθέσεων των ορυχείων παρατηρείται κυρίως οριακή υπέρβαση στα νιτρικά, ενώ στα αντλιοστάσια και στο ρέμα Σουλού που συνδέονται άμεσα μεταξύ τους, η υπέρβαση αφορά την αγωγιμότητα, TDS, SS, BOD₅. Τέλος γι' αυτά τα προβλήματα προτείνονται διορθώσεις και σε συνδυασμό με τη βελτιστοποίηση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων που υπάρχουν στο ΛΚΠ-Α επιτυγχάνεται μείωση των ρύπων.

Abstract

The necessity of knowledge of the quality characteristics of the surface and underground waters at the region of the lignite mines was and still engage the interest of the P-ALC's targets. It is concerns the personnel, the mining activities and in general the environment which is of great importance. Based exclusively on the recorded chemical analyses of the last 12 years which were performed by P-ALC, a tabulation of the data was conducted and the following usefull conclusions about the quality of the waters related to the regional environment were draun. a. at high deep wells and especially at the ones that drill the lignite deposits the water acquires high NH_4^+ values and in some cases NH_3 . b. other elements as iron and manganese locally in some regions acquires values above the permitted limits. c. at the surface waters of the ponds of the interior dumpings of the mines it is observed mainly a marginal excess in nitrates, while the pumping stations of mines which are discharged at the Soulou river there is an excess in the conductivity, TDS, SS, BOD₅. Finally for these problems corrections in conjunction with the improvement of the existing installations are proposed and a reduction of the pollutants is obtained.

Εισαγωγή

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η παρουσίαση της ποιότητας των νερών του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (ΛΚΠ-Α), των διαφόρων προβλημάτων τους, των διορθώσεων που μπορεί να γίνουν και η σχέση που έχουν με το περιβάλλον, βασιζόμενοι αποκλειστικά στις χημικές αναλύσεις της τελευταίας 12ετίας που πραγματοποιήθηκαν από τον Τομέα Μεταλλευτικών Μελετών και Τομέα Προστασίας Περιβάλλοντος του ΛΚΠ-Α. Η ποιότητα των νερών αφορά τα υπόγεια νερά των υδρογεωτρήσεων, τα πόσιμα νερά των κτιριακών εγκαταστάσεων, τα νερά των αντλιοστασίων των ορυχείων και του ρέματος Σουλού, τα νερά των τεχνητών λιμνών που δημιουργήθηκαν στις εσωτερικές αποθέσεις των ορυχείων και τα νερά των αποβλήτων της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων του Βιομηχανικού Συγκροτήματος που αφορούν τη μέτρηση 10 ιχνοστοιχείων (Χάρτης λιγνιτοφόρων πεδίων περιοχής ΛΚΠ-Α και σημεία δειγματοληψίας νερού).

Το ΛΚΠ-Α βρίσκεται εντός της νεογενούς λεκάνης Πτολεμαΐδας- Αμυνταίου και υδρογεωλογικά στις λεκάνες Πτολεμαΐδας και Αμυνταίου, μέσου απολύτου υψομέτρου 620 μ. Το ύψος των βροχοπτώσεων κυμαίνεται 400 mm στα πεδινά έως 1200 mm στα ορεινά (ΑΝΚΟ ΑΕ 1992, ΕΘΙΑΓΕ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ 1997). Η υδροφορία αναπτύσσεται εντός των ιζηματογενών και καρστικών υδροφορέων της λεκάνης, οι τελευταίοι αποτελούν και το υπόβαθρο των ιζηματογενών υδροφορέων. Η σημαντικότερη υδροφορία εντοπίζεται στα χαλαρά τεταρτογενή ιζήματα και στα καρστικά της περιμετρικής περιορισμένης ζώνης (ΓΜΕ 1988, ΥΔΡΟΓΑΙΑ 1980, ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ 1982, ΜΕΛΛΙΩΤΗΣ 1998, ΣΤΑΜΟΥ 1991). Από τα επιφανειακά νερά το σημαντικότερο είναι το ρέμα Σουλού, μήκους 30 km περίπου, που εκβάλλει στη λίμνη Βεγορίτιδα και έχει μεγάλη περιβαλλοντική σημασία, εφ' όσον είναι ο τελικός αποδέκτης όλων των επιφανειακών νερών της υδρολογικής λεκάνης Πτολεμαΐδας και συνεπώς των ορυχείων Πτολεμαΐδας και εμμέσως της λεκάνης Αμυνταίου. Τα νερά του ορυχείου Αμυνταίου εκβάλλουν στη λίμνη Πετρών και εκείνα με τη σειρά τους μέσω καρστικής διόδου στη Βεγορίτιδα.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους πίνακες 1,2,3,4, και 5, πραγματοποιήθηκαν την τελευταία δωδεκαετία από το ΛΚΠ-Α σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες που αντιμετώπιζαν τα ορυχεία (ΣΑΧΑΝΙΔΗΣ 1992, 1993, 1999), ενώ την τελευταία τριετία οι αναλύσεις πραγματοποιούνται πιο εντατικές- συστηματικές και εξειδικευμένες συνέπεια των περιβαλλοντικών όρων που υποχρεούται να εφαρμόσει η ΔΕΗ γενικά στο λεκανοπέδιο Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί, ΑΗΣ και Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, ΛΚΠ-Α). ΚΥΑ/29269/19.09.1997 (ΥΠΕΧΩΔΕ /ΔΕΑΡΦ).

Μέθοδοι και υλικά

Οι περισσότερες χημικές αναλύσεις έγιναν στα χημικά εργαστήρια των ΑΗΣ του λεκανοπεδίου, στο Φυσικοχημικό εργαστήριο του ΛΚΠ-Α και ορισμένες στα Γε-

νικά Χημεία του Κράτους Κοζάνης και Φλώρινας. Μεγάλη έμφαση δόθηκε κυρίως στην ανάλυση της αμμωνίας που αποτελεί το κυριότερο πρόβλημα των υπογείων νερών του ΛΚΠ-Α και γενικά όλης της περιοχής και ιδιαίτερα των βαθέων γεωτρήσεων που βρίσκονται εντός της περιχάραξης των λιγνιτικών κοιτασμάτων και διατρύουν αυτά. Η προέλευση της αμμωνίας οφείλεται στην επαφή του υπογείου νερού με τα φυτικά λείψανα και το λιγνιτικό κοίτασμα που βρίσκονται σε βάθη από 10-500 μ.

Αναλυτικά τα στοιχεία- παραμέτροι αναλύθηκαν με τα εξής όργανα:

Αγωγιμόμετρο: W.T.W L.F 530, *ΡΗμετρο* W.T.W 537, *Φασματοφωτόμετρο*: Shimatzu U.V 120-02, *Φωτόμετρο*: Dr. Lange LP1, *Φλογοφωτόμετρο*: LABO MODerne M6A, *Συσκευή BOD₅*: HACH 2173 B, *Θάλαμος επώασης* στους 20°C: ISCO F.T.D 250.

Μέθοδοι ανάλυσης

PH: ΕΛΟΤ 658-83, *Αγωγιμότητα*: ΕΛΟΤ 609-83, Standard methods 2510A 19 th edition, *Χρώμα*: ΕΛΟΤ 657-83, *Θερμοκρασία*: ΕΛΟΤ 667-83, *Χλωροϊόντα*: ΕΛΟΤ 666-83, *Αλκαλικότητα*: ΕΛΟΤ 675-81 B, *Ολική σκληρότητα*: STANDARDS METHODS 2340 C 19th edition, *Σκληρότητα ασβεστίου*: STANDARD METHODS 19th edition 3500-CaD, *Σκληρότητα Μαγνησίου*: STANDARD METHODS 19th edition 3500-MgE, 1995. *Προσδιορισμός οξειδωσιμότητας* (Κατανάλωση σε KMnO_4): ΕΛΟΤ 827-86, *Θειικά*: ASTM D 516-90, 1996, *Αμμωνιακά*: DIN 80 teil 5, *Νιτρικά*: DIN 38405 teil 9, *Σίδηρος* DIN 38406 teil 1, *Πυριτικά*: Deutsche Einheitsverfahren Zur Wasser untersuchung J 10, *Φωσφόρος*: DIN 38405-D-11-1, *Αιωρούμενα*: ΕΛΟΤ 529-85, STANDARD METHODS 19th edition 2540 D, *Ολικά διαλυτά στερεά*: STANDARD METHODS 19th edition 2540 C, *Νάτριο*: STANDARD METHODS 19th edition 3500 Na-G, *Κάλιο*: STANDARD METHODS 19 th edition 3500 K-D, *χλώριο*: STANDARD METHODS 19 th edition 4500 -Cl G, *Νιτρώδη*: STANDARD METHODS 13th edition, 134. *Ιχνοστοιχεία*: ICP, Perkin Elmer 1000. Ατομική απορ. Varian AA1475. Μέθοδος: EPA 200.7

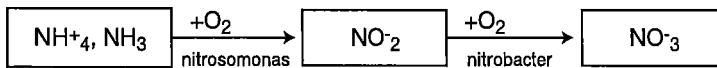
LAS: Rolf K. Freier, Wasseranalyse-Hans Beyer, Lehrbuch der organischen chemie-ΕΛΟΤ 692-82, *Ψευδάργυρος*: Bruno Lange/Zdenek J. Vejdelek Photometrische analyse, Verlagchemie, *Φανόλες*: Deutsche Einheitsverfahren Zur Wasseruntersuchung H16, Juni 1984 (DIN 38409-H16), *Χαλκός*: I.G.F Smith, D.H Wilking, Anal. Chem. 25, 510(1953) 2.L.G Borchardt, J.P. Butler, Anal. Chem. 29,(1987), COD. DIN 38409 part 2. *Κυανούχα*: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasseruntersuchung. DIN 38405-D 13-2-3. *BOD₅*: Standard Methods 19th Edition 5210 D 1995.

Προβλήματα - Διορθώσεις

Πόσιμα νερά κτιριακών εγκαταστάσεων και υπόγεια

Το σημαντικότερο πρόβλημα στα πόσιμα νερά των κτιριακών εγκαταστάσεων (Πίν. 1) εντοπίζεται στην παρουσία της αμμωνίας, η προέλευσή της οφείλεται στην επα-

φή του υπόγειου νερού με τα φυτικά λείψανα και το λιγνιτικό κοίτασμα που βρίσκονται σε βάθη από 10-500 μ. Η παρουσία στο νερό του ιόντος αμμωνίου (NH_4^+) και της ελεύθερης αμμωνίας NH_3 από τοξικολογικής καθαρά πλευράς δεν είναι επικίνδυνη, πλην όμως συμμετέχοντας στον κύκλο του αζώτου μετατρέπεται σε NO_2^- και NO_3^- που σε συγκεντρώσεις πέραν των επιτρεπτών ορίων είναι τοξικά για τον άνθρωπο και ακόμη λόγω του ότι είναι προϊόν μικροβιακής δράσεως η παρουσία της αποτελεί ένδειξη ρύπανσης του ύδατος από οργανικές ουσίες και παρουσία μικροοργανισμών (αποικοδόμηση ζωικών και φυτικών ουσιών πλουσίων σε πρωτεΐνες δηλαδή περιπτώματα, οικιακά λύματα και προϊόντα σήψης), γι' αυτό χρειάζεται επιστάμενος έλεγχος στο πόσιμο νερό, ώστε να διαπιστωθεί η προέλευσή της (ΒΑΣΙΛΙΚΙΩΤΗΣ 1981). Στην περίπτωση του ΛΚΠ-Α προέρχεται από την επαφή με φυτικά λείψανα και τα λιγνιτικά κοιτάσματα και όχι από περιπτώματα, οικιακά λύματα κτλ. Στις κορεσμένες ζώνες βρίσκεται σαν NH_3 , NH_4^+ , ενώ στις ακόρεστες μπορεί να μετατραπεί σε NO_2^- , NO_3^- . Η παρουσία NH_4^+ ή NH_3 είναι συνάρτηση του pH και της θερμοκρασίας κατά την αντίδραση $\text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+$ ή $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ (ΒΑΣΙΛΙΚΙΩΤΗΣ 1981).



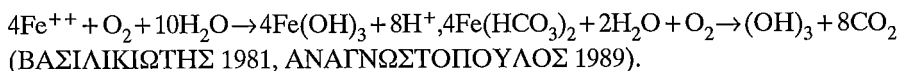
Αμμώνιο (NH_4^+), ελεύθερη αμμωνία (NH_3). Ανεπιθύμητα πέραν των ορίων γιατί: α) Με οξειδωση σχηματίζουν νιτρώδη και νιτρικά, β) με χλωρίωση σχηματίζουν μονο και διχλωραμίνες

Νιτρώδη (NO_2^-). Ανεπιθύμητα πέραν των ορίων γιατί α) σχηματίζουν νιτροσαμίνες, πολύ επικίνδυνες για τον άνθρωπο, β) μετατρέπουν την αιμογλοβίνη σε μεθαιμογλοβίνη και έτσι μπλοκάρουν την οξυγόνωση (μεθαιμογλοβιναιμία) (ΒΑΣΙΛΙΚΙΩΤΗΣ 1981, ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ 1989, STANDARD METHODS 1995, BRUNNING et al 1993, C.N.A 1990, McCASLAND et al 19..).

Νιτρικά (NO_3^-). Ανεπιθύμητα πέραν των ορίων γιατί: α) με βακτηρίδια ανάγονται σε νιτρώδη στο δίκτυο ύδρευσης, στο πεπτικό σύστημα των βρεφών κάτω των 6 μηνών, αλλά και πολλών ζώων που όταν υπερβαίνουν τα όρια προκαλούν μεθαιμογλοβιναιμία και ακόμη σχηματίζουν τις επικίνδυνες νιτροσαμίνες (ΒΑΣΙΛΙΚΙΩΤΗΣ 1981, ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ 1989, NITRATE IN DRINKING WATER 1999).

Σίδηρος (Fe). Ο σίδηρος είναι από τα κύρια στοιχεία του νερού. Δεν είναι ανεκτός στα νερά οικιακής χρήσης, πέραν των ορίων, διότι προσδίδει δυσάρεστη γεύση και χρωματισμό (καντίνες, λουτρά). Στα υπόγεια νερά των υδρογεωτρήσεων στις κορεσμένες ζώνες βρίσκεται σαν δισθενής και αυτά είναι διαυγή. Στις ακόρεστες ζώνες λόγω της παρουσίας του O_2 ο δισθενής σίδηρος οξειδώνεται σε τρι-

σθενή και το ίδιο συμβαίνει όταν το νερό των κορεσμένων ζωνών έλθει σε επαφή με το O_2 της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα το σχηματισμό ένυδρου υδροξειδίου του σιδήρου, που θολώνει το νερό σχηματίζοντας ένα ερυθρόφαιο ίζημα που οφείλεται στην μικρότερη διαλυτότητα του $Fe(OH)_3$ απ' ότι το $Fe(OH)_2$.



Διορθώσεις. Λόγω της πληθώρας των υδρογεωτρήσεων (Υ/Γ) σε κάθε ορυχείο (ΟΠΑ: Ορυχείο Πεδίου Αμυνταίου, ΟΒΠ: Ορυχείο Βορείου Πεδίου, ΟΠΚομ.: Ορυχείο Πεδίο Κομάνου, ΟΠΚαρ.: Ορυχείο Πεδίο Καρδιάς., ΟΝΠ: Ορυχείο Νοτίου Πεδίου. ΑΗΣ-ΕΛΠ: Ατμοηλεκτρικός Σταθμός ΛΚΠ-Α και Εργοστάσιου Λιγνιτοπλίνθου., Β.Σ: Περιοχή Βιομηχανικού Συγκροτήματος) γίνεται α) επιλογή των Υ/Γ που προορίζονται για πόσιμο νερό, β) ανάμειξη Υ/Γ ώστε τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά να είναι εντός των προβλεπόμενων ορίων, γ) στα ορυχεία που δεν είναι δυνατές οι παραπάνω διορθώσεις, εδώ και μερικά χρόνια γίνεται χρήση φίλτρων αντίστροφης όσμωσης, απλών φίλτρων άμμου κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης, κατασκευασμένα από το ΛΚΠ-Α και τελευταία διερευνάται η χρήση φυσικών ζεολιθών και η εφαρμογή των μονάδων ΤΕΧΝΕΦΕΡ, απομάκρυνση δηλαδή της αμμωνίας, σιδήρου και μαγγανίου με βιολογική μέθοδο (ΜΕΓΑΛΟΠΟΥΛΟΣ 1993).

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ: NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , Fe^{++} , Fe^{+++} , Αμμώνιο (NH_4^+), Σκληρότητα 1. Βιολογικές μέθοδοι: Νιτρικοποίηση/Απονιτρικοποίηση 2. Φυσικές μέθοδοι α) καταβύθιση, β) stripping (εκρόφηση), γ) απαερίωση. 3. α) Χημικές μέθοδοι: Ιοντοανταλλάκτες (π.χ. Φυσικοί ζεόλιθοι που είναι ένυδρα αργιλοπυριτικά ορυκτά) α) $RNa + NH_4^+ \rightarrow RNH_4 + Na^+ \rightarrow$ Εκρόφηση ← ανάκτηση NH_3 , αναγέννηση με $NaCl$ ($RNH_4 + Na^+ \rightarrow RNa + NH_4^+$), β) $RH^+ + NH_4^+ \rightarrow RNH_4 + H^+$ αναγέννηση με οξύ ($RNH_4 + H^+ \rightarrow RH + NH_4^+$) (N.C.C 1999, BETZ 1962, G.S.A Resources inc. 1999), γ) χλωρίωση, δ) αντίστροφη όσμωση. 4. Νέες μέθοδοι α) καθίζηση σε αναερόβιους χωνευτήρες (π.χ. χρήση $MgCl_2$). Βιολογικές διεργασίες (N.C.C 1999, BETZ 1962).

Νιτρικά. α) Ιοντοανταλλάκτες (π.χ. φυσικοί ζεόλιθοι) $RCI + NO_3^- \rightarrow RNO_3 + Cl^-$ αναγέννηση με $NaCl$, β) απόσταξη γ) αντίστροφη όσμωση, απομακρύνει το 96% (N.C.C 1999, BETZ 1962).

Νιτρώδη. α) Ιοντοανταλλάκτες, όπως τα νιτρικά, β) απόσταξη, γ) αντίστροφη όσμωση.

Σίδηρος δισθενής. 1. Χλωρίωση-Φίλτραση, 2. φίλτρα ελαφρόπετρας, 3. αερισμός, κατακάθιση, φίλτραση $4Fe(HCO_3)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 8CO_2$, 4. καταλυτικά φίλτρα 5. κolloειδή φίλτρα, 6. οξειδωτικά φίλτρα, 7. ιοντοανταλλάκτες (π.χ. ζεόλιθοι $Fe(HCO)_2 + Na_2Z \rightarrow FeZ + 2NaHCO_3$, Αναγέννηση FeZ

+2NaCl → Na₂Z+FeCl₂ (BETZ 1962). Προϋπόθεση όλος ο δισθενής σίδηρος να είναι διαλυτός, γιατί ο τρισθενής δημιουργεί προβλήματα στον ζεόλιθο όπως και η θολότητα, 8. Αποσκληρυντές

Σίδηρος τρισθενής. 1. Οξειδωτικά φίλτρα, 2. φίλτρα ελαφρόπετρας, 3. φίλτρα κατακάθισης, 4. φίλτρα κολλοειδή, 5. φίλτρα καταλυτικά, 6. συσσωμάτωση, 7. κατακάθιση, 8. διήθηση (BETZ 1962).

Μαγγάνιο (Mn). Η τοξικότητά του είναι σχετικά χαμηλή, αλλά προκαλεί χρώση στα λευκά υφάσματα και προσδίδει μεταλλική γεύση και ανεπιθύμητες ουσίες στο νερό. Στα υπόγεια νερά βρίσκεται υπο μορφή δισθενούς διαλυτού ιόντος λόγω απουσίας O₂, στα επιφανειακά νερά βρίσκεται σε υψηλότερο σθένος ένα μέρος ή όλο (ένα μέρος εν αιωρήσει σαν τετρασθενές και ένα μέρος τρισθενές σαν σχετικά διαλυτό σύμπλοκο). Το δισθενές Μαγγάνιο παρουσία οξειδωτικών συνθηκών μετατρέπεται σε αδιάλυτο τετρασθενές οξείδιο του Mn. Οξείδια του Mn (όπως MnO₂) μπορούν να συσσωρευθούν στα ιζήματα λιμνών και με αναγωγικές συνθήκες μετατρέπονται σε διαλυτά άλατα του Mn⁺⁺ Η προέλευσή του οφείλεται στη φύση και συγκεκριμένα σε πετρώματα, εδάφη και ιζήματα (THE WATER COMPANY 1999).

Τρόποι αντιμετώπισης. α) Αερισμός-διήθηση. $4Mn(HCO_3)_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4Mn(OH)_4 + 8CO_2$ β) ιοντοανταλλάκτες γ) χημική οξείδωση (Cl₂, KMnO₄, H₂O₂), 20 λεπτά συγκράτηση και διήθηση. Το όριο των 0.050 mg/l στο πόσιμο νερό έχει σαν αποτέλεσμα, γεωτρήσεις που έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις να μην χρησιμοποιούνται στο πόσιμο νερό. Τα νερά αυτά καταλήγουν στον τελικό αποδέκτη της λεκάνης, στο ρέμα Σουλού, όπου τα όρια είναι μεγαλύτερα και οι τιμές του Μαγγανίου μειώνονται λόγω της αραιώσης (BETZ 1962, ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥ-ΛΟΣ 1989).

Σκληρότητα. Για την σκληρότητα δεν έχουν ορισθεί όρια από το ΦΕΚ 20/2/1986, Τα προτεινόμενα: Ca⁺⁺ 100 mg/l σαν ενδεικτικό επίπεδο που σημαίνει ότι το ανώτατο επίπεδο μπορεί να είναι μεγαλύτερο του 100 και Mg⁺⁺ 50 mg/l ανώτατο όριο, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ολική σκληρότητα μπορεί να είναι λίγο μεγαλύτερη των 500 ppm CaCO₃ με δεδομένο ότι η ολική σκληρότητα είναι το άθροισμα των ανθρακικών και μη ανθρακικών αλάτων του Ca⁺⁺ και Mg⁺⁺. Το πρόβλημα στα πόσιμα νερά αντιμετωπίζεται με ανάμειξη νερού διαφόρων γεωτρήσεων, ώστε η ολική σκληρότητα να είναι κάτω των 500 ppm CaCO₃. Το ίδιο ακριβώς γίνεται για το Ca⁺⁺ και Mg⁺⁺ όταν υπερβαίνουν τα όρια.

Νερά αντλιοστασίων και ρέματος Σουλού (Πίν. 3)

Ολικά διαλυτά στερεά (TDS). Είναι η συνολική συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων στο νερό, στα νερά των αντλιοστασίων επικρατούν τα ανθρακικά άλατα Ca και Mg. Δεν έχουν επίδραση στο περιβάλλον παρά μόνον όταν χρησιμοποιείται το νερό για βιομηχανικούς σκοπούς δημιουργούν προβλήματα, όπως διαβρώσεις και

Πίνακας 3. ΝΕΡΑ ΑΝΤΙΛΙΩΣΤΑΣΙΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΠΕΜΑΤΟΣ ΣΟΥΛΟΥ. Εκροές νερών αντλιοστασίων πριν από το γέμιο Σουλού
 Table 3. MINES PUMPING STATION WATERS AND SOULOU RIVER (Pumping station water discharge to Soulou river)

Μετρήσεις ετών 1998-1999	Εκροή αντλ/ορίου ΟΝΠ	Εκροή ΤΑΣΣ	Εκροή Αντλ/ορίου Καρυδιάς	Εκροή Κοιμάνου	Εκροή αντλ/ορίου Β.Τομέα	Εκροή πλατείας Κ.Πεδίου	Εκροή αντλ/ορίου ΟΙΙΑ	Μετρήσεις ορίματος Σουλού ΑΗΣ ΚΑΡΑΙΑΣ	ΠΑΣΑΖΟ Β/Σ	Ε. ΤΟΜΕΑ	
											min - max
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Μον.μέτρ. Όριμ.έλλη νιτής νομ.										
PH	0-14	8,0-8,3	8,17	7,7-8,65	7,51-7,62	8,1	7,72	7,61-8,0	8,38	8,23	8,1
ΘΩΛΕΡΟΤΗΤΑ	NTU	20	10-14-19.	-	-	-	-	-	-	12	-
ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	μs.cm-1	750	600-622-923	622	750-794	689-746-787	834	705-795	888	840	840
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	ppm CaCO ₃		304-360-599	306	340-449	194-340-618	213-330-356	230-234	380	350	362
ΔΙΩΡΟΥΜΕΝ. ΣΤΕΡ	mg/l	30	10,6-27-40,1-61,3	45	2,6-1-19,3	13-25-42	7,69-21,4	6,9-31,6	22-26,5	16,2-26,82	35
ΔΙΑΛΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡ	mg/l	600	395-511-603-680	339	436-541-603	570-612-889	321-359-659	207-706	579-621	439-617	571
ΧΡΩΜΑ	μον. Pt-Co	30	8-9-12-23	5	8	17-21-45	22-27-28,5	22	8,1-16,4	5	8
ΕΠΙΦ.ΕΝΕΡ.ΟΥΣΙΕΣ(LAS)	mg/l	0,2-0,5	απουσία	απουσία	απουσία	απουσία	0,02	0,0192	0,044	0,012-0,038	0,0048
απουσία											
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	°C	25+20%	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15
ΥΔΡ/ΚΕΣ-ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΑ	mg/l	1,0	< 1-< 1	< 1-1,2	< 1-1,3	< 1-< 1	< 1-< 1	< 1-< 1	< 1-< 1	< 1-< 1	< 1-< 1
BOD5	mg/l	25	20	32	32	26	37	20	42	28	
COD	mg/l	100	35	58	58	29	52	33	58	42	
N ολικό	mg/l	10	3,3	11,9	11,9	3,61	1,89	3,7	0,01	4,15	
P ολικό	mg/l(P2O5)	0,4	0,006	0,016	0,016	0,016	0,004	0,002	0,01	0,018	
ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΟΕΙΔΗ	MPN 100 ml	500-10000	140	-	-	1600	1600	-	-	-	-
ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ	MPN 100 ml	100-500	14	-	-	1600	1600	-	-	-	-
ΕΝΤΕΡΟΚΟΚΚΟΙ	100 ml	100.	60	-	-	230	230	-	-	-	-
ΣΑΛΜΟΝΕΛΛΕΣ	1000 ml	απουσία	απουσία	-	-	απουσία	-	-	-	-	-

Νομοθεσία: Ν.Α 555/26.3.90 (ΦΕΚ 297Β/90)

Περίβαλλοντικός Όργαν ΑΗΣ ΑΚΠ-Α και ΕΛΠ (ΥΠΕΧΩΔΕ/ΔΕΑΡΦ/29269/10.07.97)

αποθέσεις (σωληνώσεις αρδεύσεων στις εσωτερικές αποθέσεις των ορυχείων).

Χρησιμοποιούμενες μέθοδοι. α) Ιοντοανταλλαγή με ζεόλιθους, β) αφαλάτωση, γ) απόσταξη, δ) αντίστροφη όσμωση, ε) ηλεκτροδιαπήδηση, στ) αποσκλήρυνση με υδράσβεστο. Δεν είναι σημαντική παράμετρος τα TDS, μια πρώτη εκτίμηση των TDS γίνεται με τη μέτρηση της αγωγιμότητας. Το όριο των 600 mg/l των περιβαλλοντικών όρων είναι πολύ μικρό αν ληφθεί υπόψη ότι το ΦΕΚ που αναφέρεται στην ποιότητα του πόσιμου νερού σε συμμόρφωση προς την 80/778 οδηγία του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων προτείνει σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση τα 1500 mg/l για το ξηρό υπόλειμμα στους 180°C (ξηρό υπόλειμμα: άθροισμα των SS και TDS).

Αγωγιμότητα. Εξαρτάται από την παρουσία ιόντων (ολική συγκέντρωση ιόντων, κινητικότητα, σθένος) και είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας δηλαδή στην ουσία δίνει την ποσότητα των διαλυμένων αλάτων. Δεν είναι σημαντική παράμετρος και το όριο των 750 $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ στους 20°C που προβλέπεται από τους περιβαλλοντικούς όρους είναι πολύ μικρό αν αναλογισθεί κανείς ότι το ΦΕΚ/46399/1352 που αναφέρεται στα πρότυπα ποιότητας γλυκών επιφανειακών νερών για υδροληψία πόσιμου νερού σαν επιθυμητό όριο ορίζεται στα 1000 $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ στους 20°C. Μέθοδοι διόρθωσης: α) αφαλάτωση, β) αποσκλήρυνση με υδράσβεστο, γ) αντίστροφη όσμωση.

Αιωρούμενα Στερεά (SS). Διακρίνονται σε: α) αιωρούμενα που καθιζάνουν (settleable), β) αιωρούμενα που δεν καθιζάνουν (non settleable) με μέση διάμετρο ~ 5 μm . Τα αιωρούμενα που καθιζάνουν προσδιορίζονται σε κώνο imhoff και είναι η μάζα των σωματιδίων που καθιζάνουν σε 60' λεπτά (ΕΛΟΤ 608). Έχουν επίδραση στη διείσδυση, διαπερατότητα του φωτός και άρα στην φωτοσύνθεση την οποία αναστέλλουν με αποτέλεσμα την έλλειψη O_2 . Αυξάνουν τη θολότητα καταστρέφουν την υδροχαρή βιοκοινωνία με την κάλυψη που επιφέρουν και προκαλούν μείωση του βάθους στον τελικό αποδέκτη. Προέρχονται από την αποσάθρωση του εδάφους και των διαφόρων πετρωμάτων και είναι συνάρτηση του εδάφους και των καιρικών συνθηκών, ιδιαίτερα σε περίπτωση βροχόπτωσης μεγάλης έντασης.

Τρόποι αντιμετώπισης. α) Δεξαμενές καθίζησης με τον απαραίτητο χρόνο παραμονής ώστε να καθιζάνουν τα στερεά εν αιωρήσει, καθιζάνει το 40-70% των αιωρουμένων (ΜΑΡΚΑΝΤΩΝΑΤΟΣ 1980). Ο χρόνος καθίζησης είναι συνάρτηση του ειδικού βάρους, σχήματος, μέγεθος σωματιδίων, ιξώδες του νερού. β) Αμμόφιλτρα (καθιζάνει το 85-95% των αιωρουμένων). Στην περίπτωση των αντλιοστασίων μια απλή καθίζηση είναι αρκετή για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Θολρότητα. Είναι συνάρτηση των αιωρουμένων στερεών τα οποία με τη σειρά τους είναι συνάρτηση των καιρικών συνθηκών και της κατάστασης του εδάφους. Τα αδιάλυτα υλικά όπως άμμος, ιλύς, άργιλοι, αιωρούμενος σίδηρος επιφέρουν θολότητα. Τη θολότητα επιφέρουν στερεά σωματίδια που δεν φαίνονται με γυμνό οφθαλμό και διαστάσεων από 1-150 μm . Παρεμποδίζουν την απολύμανση

με Cl_2 .

Μέθοδοι αντιμετώπισης. Καθίζηση απλή, αμμόφιλτρα, υδροκυκλώνες. Στην περίπτωση των αντλιοστασίων εφαρμόζεται η απλή καθίζηση και είναι αρκετή για την επίτευξη επιθυμητών αποτελεσμάτων.

Βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD_5). Ποσότητα του O_2 που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς για να αποικοδομήσουν οξειδατικώς τις οργανικές ενώσεις που υπάρχουν στο νερό σε διάστημα 5 ημερών.

Μέθοδοι απομάκρυνσης. α) Βιολογικοί καθαρισμοί, β) Καθίζηση απλή. Με απλή καθίζηση επιτυγχάνεται μείωση του BOD_5 από 25-40% (ΜΑΡΚΑΝΤΩΝΑΤΟΣ 1980). β. Χλωρίωση λυμάτων ανεπεξέργαστων ή κατά προτίμηση μετά από καθίζηση (μείωση BOD_5 15-30%). Για τα αντλιοστάσια μια απλή καθίζηση επιφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Διορθώσεις. Οι διορθώσεις που γίνονται στα νερά των αντλιοστασίων εν όψει και των επικείμενων περιβαλλοντικών όρων που θα τηρήσει το ΑΚΠ-Α, για κάθε ορυχείο είναι: α) Προσπάθεια αριστοποίησης της απλής καθίζησης που γίνεται ώστε παράμετροι όπως αιωρούμενα, θολότητα, BOD_5 , να μειωθούν (όπου υπάρχει υπέρβαση) σε τιμές κάτω από αυτές που προβλέπονται από τη νομοθεσία. β) Τα προβλήματα της αμμωνίας και των προϊόντων οξείδωσής της NO_2^- και NO_3^- αντιμετωπίζονται με τη φυσική αραίωση που προηγείται (πολλές υδρογεωτρήσεις από κάθε ορυχείο και κυρίως Υ/Γ αποστράγγισης) πριν καταλήξουν στο ρέμα Σουλού. Για μερικές Υ/Γ με υψηλή συγκέντρωση NH_3 (ορυχείο Αμυνταίου και Νοτίου Πεδίου) μελετάται τα νερά τους να οδηγηθούν στους βιολογικούς καθαρισμούς των ορυχείων για να γίνει νιτροποίηση-απονιτροποίηση που είναι στάδια του βιολογικού καθαρισμού. γ) Οι υπερβάσεις σε κολοβακτηρίδια και εντερόκοκκους αντιμετωπίζονται με χλωρίωση.

Εκτός Βιομηχανικού Συγκροτήματος-ιχνοστοιχεία (Πίν. 5). α) Οι υπερβάσεις που παρατηρούνται σε αγωγιμότητα και TDS (δεν εμφανίζονται στον πίνακα 5) δεν είναι σημαντικές και δεν έχουν καμία σημασία, εφόσον αγωγιμότητα και TDS είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και δίνουν μόνο το μέτρο της ποσότητας των διαλυμένων ιόντων στο νερό. β) Από τον πίνακα 5. Παρατηρείται ότι για το 13μηνο χρονικό διάστημα μετρήσεων οι συγκεντρώσεις τους είναι πολύ χαμηλές και πιο κάτω από τα επιτρεπτά όρια που ορίζουν οι περιβαλλοντικοί όροι, ΚΥΑ/29269/19.09.97.

Επιφανειακά νερά (νερά λιμνών, Ρέματος Σουλού, αντλιοστασίων) (Πίν. 3 και 4). **Αμμωνία.** Το NH_4^+ και NH_3 με τα νιτρώδη και νιτρικά είναι τα κύρια συστατικά του κύκλου του N_2 που είναι μια αλυσιδωτή αντίδραση στη φύση. Είναι ανεπιθύμητες ουσίες πέραν του επιτρεπτού ορίου διότι α) η ελεύθερη NH_3 είναι πολύ τοξική για τα ψάρια β) το NH_4^+ και η NH_3 καταναλώνουν υπερβολική ποσότητα O_2 κατά τη μετατροπή τους σε NO_2^- , NO_3^- τα οποία επιπλέον δημιουργούν πρόσθετα προβλήματα. Η μετατροπή αυτή λέγεται νιτροποίηση και η συνολική

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΛΙΜΝΩΝ ΛΚΠΙ-Α

Table 4. LAKES WATER QUALITY OF P-ALC

Ανώτατο επιτρεπτό όριο Σάλμονιτών-Κυπρινοειδών

Salmonicoles - Cyprinicoles max. admissible concentration

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Μονάδα μέτρησης	Όρια Ελληνικής Νομοθεσίας	Μεγάλη Λ. Μ.Ο (εύρος)	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΠΟΘΕΣΗ		ΚΑΡΑΙΑΣ		ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΠΟΘΕΣΗ ΚΥΡ. ΠΕΛΑΓΟΥ		ΛΙΜΝΗ 1 Μ.Ο (εύρος)	ΛΙΜΝΗ 2 Μ.Ο (εύρος)	ΛΙΜΝΗ 3 Μ.Ο (εύρος)	ΛΙΜΝΗ 4 Μ.Ο (εύρος)	ΛΙΜΝΗ 1 Μ.Ο (εύρος)	ΛΙΜΝΗ 2 Μ.Ο (εύρος)	ΛΙΜΝΗ 3 Μ.Ο (εύρος)	
				Μ.Ο (εύρος)	ΛΙΜΝΗ 1 Μ.Ο (εύρος)	Μ.Ο (εύρος)	ΛΙΜΝΗ 1 Μ.Ο (εύρος)	ΛΙΜΝΗ 2 Μ.Ο (εύρος)	ΛΙΜΝΗ 3 Μ.Ο (εύρος)								ΛΙΜΝΗ 4 Μ.Ο (εύρος)
Θερμοκρασία	0C	21.5 - 28.0	20 (19-21.5)	22.1 (22.1-22.2)	21.6 (21.5-21.8)	21.7 (21.5-21.9)	21.7 (21.5-21.7)	21.2	22.1	21.9							
Διαλ. Οξυγόνο	mg/l O ₂	50% > 9 100% > 6	100% > 4	6.9 (6.6-7.8)	6.1 (6-6.6)	7.2 (7.1-7.4)	7 (6.9-7.3)	7.1 (7-7.2)	6.85	7.1							
PH	μονάδες 1-14	6-9 - 6-9	8.2 (8.1-8.4)	8.1 (7.92-8.4)	8 (8-8)	7.94 (7.91-7.96)	8 (7.95-8.2)	7.8 (7.39-8.15)	7.58	7.7 (7.65-7.8)							
Απορρόφηση στερεά	mg/l ss	25 - 25	8.6 (0.4-25)	3.5 (0.4-8.3)	4.6 (0.4-12)	4.6 (0.8-6)	3 (1-3)	2.6	6.4	4							
BOD5	mg/l O ₂	3 -- 6	0.0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0	0	0							
Ολικός Φωσφόρος	mg/l PO ₄	0.2 - 0.4	0.03 (0-0.09)	0.03 (0.017-0.09)	0.15 (0-0.12)	0.01 (0.01-0.01)	0.02 (0-0.05)	0.04	0.006	0.004							
Νιτρικό	mg/l NO ₂	0.01 - 0.03	0.22 (0.08-0.8)	0.36 (0.16-0.09)	0.14 (0.04-0.2)	0.28 (0.01-0.04)	0.3 (0.3-0.3)	0.15 (0.05-0.26)	0.009	0.02							
Φαινολικές ενώσεις: CSH ₆ OH	mg/l	---	Απουσία	0.0001 (0-0.0002)	απουσία	απουσία	απουσία	απουσία	0.0001	0.0001							
Πετρίκοι ιαδοί/βίαιες	OE(1)	-----	Απουσία	Απουσία	απουσία	απουσία	απουσία	απουσία	απουσία	απουσία							
Ελεύθερη Αμμωνία	mg/l NH ₃	0.025 - 0.025	Ίχνη	Ίχνη	Ίχνη	Ίχνη	Ίχνη	Ίχνη	Ίχνη	Ίχνη							
Ολική Αμμωνία	mg/l NH ₄ +4	1 - 1	0.1 (0-0.37)	0.01 (0.001-0.1)	0.025 (0.02-0.06)	0.05 (0.04-0.06)	0.002 (0-0.002)	0.5	1.2	0.1 (0.035-0.2)							
Υπολ. ολ. Χλώριο	mg/l HCCI	0.005 - 0.005	0.0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0	0	0							
Ολικός Ψευδάργυρος	mg/l Zn	0.3 - 1.0	0.2 (0-0.47)	0.45 (0.4-0.52)	0.4 (0.4-0.4)	0.35 (0.3-0.4)	0.5 (0.5-0.52)	0.5	0.4	0.36							
Διαλυμένος Χαλκός	mg/l Cu	0.04 - 0.04	0.008 (0-0.022)	0.02 (0.01-0.02)	0.015 (0.01-0.04)	0.01 (0.01-0.01)	0.01 (0.001-0.01)	0.03 (0.020-0.05)	0.05	0.036 (0.02-0.05)							

(1)-Οργανοληπτική εξέταση. Ποσότητα που δεν σχηματίζει ορατή μεμβράνη στην επιφάνεια των νερών και δεν έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στα ψάρια

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ: ΚΥΑ 46399/4352/86/3-7-86

ΕΟΚ. Εφημερίδα Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 30.08. 1980

Αναπόσπαστη ποιότητα των επιφανειακών νερών που προσρίζονται για διαβίωση ψαριών σε γλυκά νερά.

Πίνακας 5. ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΤΟΥ ΑΗΣ ΛΚΠ-Α ΚΑΙ ΕΛΠΙ
 Table 5. TRACE ELEMENTS IN WASTE WATERS OF S.S.P AND B.F OF P-ALC
 ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 1998-1999
 MENSUEL MEASUREMENT PERIOD 1998-1999

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	(Περιοδικότητες σε ppb)										(Contents in ppb)			
	Όριο Αν*	Όριο ΑΗΣ***	ΦΕΒΡ.ΜΑΡΤ.	ΑΠΡ.	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.	ΟΚΤΩΒΡ	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒΡ.
Μολύβδος (Pb)	20	0.2 mg/l	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Νικέλιο (Ni)	5	0.5 mg/l	< 9	< 10	10,9	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 10
Χαλκός (Cu)	5	0.1 mg/l	< 5	< 10	11,2	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	107
Χρόμιο (Cr)	5	0.2 mg/l	< 5	< 20	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Ψευδάργυρος (Zn)	5	0.5 mg/l	< 15	< 10	9,8	< 5	< 5	63,9	< 5	< 5	< 5	11,3	6,7	56
Κάδμιο (Cd)	5	0.05 mg/l	< 10	< 10	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Υδράργυρος (Hg)	5	0.001 mg/l	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Αρσενικό (As)	20	0.1 mg/l	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Βανάδιο (V)	5	0.0003-0.200**	< 10	< 50	< 5	< 5	< 5	< 10	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 10
Μολυβδαίνιο (Mo)	10	2 mg/l	< 10	< 50	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10

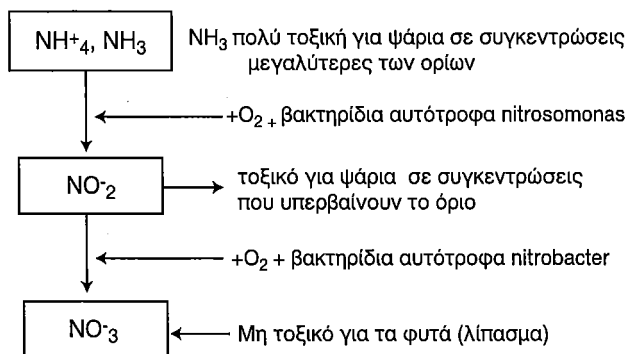
* : Όριο ανιχνευσιμότητας

** : Όριο γεωμετρικής νομοθεσίας για γλυκά νερά 0.0003-0.200mg/l. Από το Handbuch der Altlastensanierung

*** : Όριο νιτρογόν στροβιλέτων ΑΗΣ ΑΓ.ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ. ΚΥΑ 40786/2143/88(ΦΕΚ 341β/88), ΝΑ 555/90(ΦΕΚ/ 297β/90)

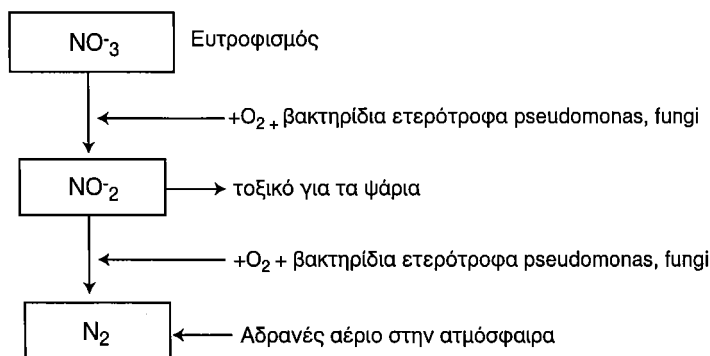
αντίδραση είναι: $\text{NH}_4^+ + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 2 \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$. Τα στάδια της μπορούν να παρουσιαστούν ως εξής:

ΝΙΤΡΙΚΟΠΟΙΗΣΗ (ΒΑΣΙΛΙΚΙΩΤΗΣ 1981, HALLBERG 1989, MANCL 1987, ECKERT 1990, BROWN 1994).



Σε στάσιμα νερά ή σε νερά που ρέουν με μικρή ταχύτητα και υψηλές συγκεντρώσεις τα νιτρικά προκαλούν ευτροφισμό. Για την αντιμετώπιση του ευτροφισμού χρειάζεται απονιτρίκοποίηση που γίνεται σε αναερόβιες συνθήκες (απουσία O_2). Η συνολική αντίδραση είναι: $\text{NO}_3^- + 6\text{H}_+ + 5\text{e}^- \rightarrow 1/2\text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ και τα στάδια της μπορούν να παρουσιαστούν με το σχήμα:

ΑΠΟΝΙΤΡΙΚΟΠΟΙΗΣΗ (ΒΑΣΙΛΙΚΙΩΤΗΣ 1981)



Διορθώσεις. Έλεγχος των εκροών που καταλήγουν στις λίμνες, ώστε NH_4^+ και NO_2^- που όπως φαίνεται στον πίνακα 4 υπερβαίνουν τα όρια σε ορισμένες αναλύσεις, να μειωθούν κάτω των ορίων. Εάν η διόρθωση δε φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα τότε γίνεται αερισμός των λιμνών αυτών με αποτέλεσμα τα NH_4^+ , NO_2^- , να μετατρέπονται σε NO_3^- με ταυτόχρονο έλεγχο των NO_3^- προς αποφυγήν του φαινόμενου ευτροφισμού.

Συμπεράσματα

Τα οποιαδήποτε προβλήματα που παρουσιάζονται από την υπέρβαση ορισμένων φυσικοχημικών παραμέτρων μπορούν να αντιμετωπισθούν με την αριστοποίηση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων και με διάφορες παρεμβάσεις που οφείλει να πραγματοποιήσει το ΛΚΠ-Α εν όψει και των επικείμενων ειδικών περιβαλλοντικών όρων που υποχρεούται να εφαρμόσει για τα ορυχεία. Τα κυριότερα προβλήματα σύμφωνα με τις αναλύσεις των πινάκων 1, 2, 3, 4 και 5 εντοπίζονται: α) στις υψηλές συγκεντρώσεις του αμμώνιου (NH_4^+) και αμμωνίας (NH_3) σε υδρογεωτρήσεις μεγάλου βάθους που στρωματογραφικά βρίσκονται μέσα στα υποκείμενα του λιγνιτικού κοιτάσματος νεογενή ιζήματα και κατ'επέκταση του πόσιμου που το καθιστούν ακατάλληλο, β) στο Σίδηρο και Μαγγάνιο που σε ορισμένες υδρογεωτρήσεις παρουσιάζουν αυξημένες τιμές, γ) στην αγωγιμότητα, SS, TDS, BOD_5 των αντλιοστασίων και ρέματος Σουλού, δ) στα νιτρώδη των τεχνητών λιμνών.

Βιβλιογραφία

- ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΥ Κ.Α. (1989). Η ρύπανση του περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη.
- ΑΝΚΟ Α.Ε. (1992). Υδρολογικές επιπτώσεις-Υπολογισμός επιπτώσεων μείωσης στάθμης-Αξιολόγηση οικονομικών επιπτώσεων από τη δραστηριότητα της ΔΕΗ στην ύδρευση του Δήμου Πτολεμαΐδας, Κοζάνη.
- ΒΑΣΙΛΙΚΙΩΤΗ Γ.Σ. (1981) Χημεία Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη.
- BETZ HANDBOOK OF INDUSTRIAL WATER CONDITIONING (1962), sixth edition. PHILADELPHIA 24, PA.
- BROWN L.C. and BLACK. L.P. (1994) Ground and Surface Water Terminology AEX 460. Department of Agronomy, Ohio State University Extension.
- BROWN L.P. Ohio's Hydrologic Cycle (1994) AEX 461. Department of Agricultural Engineering, Ohio State University Extension.
- BRUNO LANGE Dr. (1989). Gmbh, Berlin.
- BRUNING-FAM, C.S. & J.B. KANEENE (1993) The effect of nitrate, nitrite and Nitroso compounds on human health: a review. Vet Human Toxicol 35:521-538.
- Committee on Nitrate Accumulation, Ag. Board, Div. Of Biology & Agriculture, National Research Council (1972). Hazards of Nitrate, Nitrite, and Nitrosoamines to Man and Livestock. In: Accumulation of Nitrate, National Academy of Sciences, Wash., DC, p.46-75.
- ECKERT D.J. (1990). Nitrates in Surface Water. Agronomy Facts AGF 204. Department of Agronomy, Ohio State University Extension.
- ΕΘΙΑΓΕ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ (1997). Μηνιαία μετεωρολογικά δελτία.
- G.S.A Resources Inc. a Mail:Info @ gsare Sources. Com. 1999.
- HALLBERG G.R. (1989) Nitrate in ground water in the United States. In: Nitrogen Management and Ground Water Protection, R.F. Follet, ed., Elsevier, Amsterdam,

pp. 35-74.

KYA/29269/19.09.1997 (ΥΠΕΧΩΔΕ/ΔΕΑΡΘ).

KYA 46399/4352(ΦΕΚ 438 Β/3-7-86. Απαιτούμενη ποιότητα των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, κολύμβηση, διαβίωση ψαριών σε γλυκά νερά και καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών. Μέθοδοι μέτρησης, συχνότητα δειγματοληψίας και ανάλυσης των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, σε συμμόρφωση με τις οδηγίες του Συμβουλίου της Ευρώπης Κοινοτήτων 75/440. ΕΟΚ,76/160/ΕΟΚ,78/659/ΕΟΚ,79/923/ΕΟΚ και 79/869/ΕΟΚ.

LAMOND, RAY E., JOHN S., HICKMAN & MORGAN POWELL G. 1989. Nitrates and Groundwater. Cooperative Extension service, Manhattan, Kansas: MF-857 Revised.

LARRY C., BROWN JAY & W. JOHNSON, Nitrogen and the Hydrologic Cycle. AEX 463-91. Ohio state University. Extension Fact Sheet. Course.

MANCL K.M. (1987) Nitrate in Drinking Water. Bulletin No. 744. Department of Agriculture Engineering, Ohio State University Extension.

McGASLAND, MARGARET, NANCY M. TRAUTMANN, KEITH S. PORTER, & ROBERT J. & WAGENET. Nitrate: Health Effect in Drinking Water. Cornell Cooperative Extension Service, Fact Sheet Page 400.02.

NITROGEN CONTROL DEPARTMENT OF AGRICULTURAL AND BIOSYSTEMS ENGINEERING. 100 Davidson Hall, Ames, Iowa 50011-3080 USA. [http:// www.ae.iastate.edu/Ae573/](http://www.ae.iastate.edu/Ae573/)

ΟΔΗΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ ΤΩΝ ΕΥΡΩΠΑΙΚΩΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΩΝ 80/788/15/7/80. Περί ποσिमότητας νερού.

ΜΑΡΚΑΝΤΩΝΑΤΟΥ Γ. (1990). Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων, Αθήνα.

ΜΕΓΑΛΟΠΟΥΛΟΣ (1993). Πρακτικά 3ου Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας. Τόμος Α'. Μόλυβος Λέσβου.

ΜΕΛΑΔΙΩΤΗΣ Ι. (1996). Τηλεδιερεύνηση του τεκτονικού βυθίσματος Πτολεμαΐδας-Σαριγκιόλ. Τεχνική έκθεση για λογαριασμό της ΔΕΗ/ΔΑΟ.

NITRATE IN DRINKING WATER. Ohio Cooperative Extension Service, The Ohio state university, Columbus, OH: Bulletin 744, Agdex 750. Από internet <http://www.ces.uga.edu/pubcd/c819-5w.html>.

ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Α. (1982) Υδρογεωλογικές έρευνες σε υδροφορείς της Δυτικής Μακεδονίας. Έκθεση που συντάχθηκε για το ΙΓΜΕ.

ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Α. (1982) Υδρογεωλογικές έρευνες στο κάρστ της ορεινής μάζας του Βερμίου. Υδροτεχνικά Χρονικά, 1.

ΣΑΧΑΝΙΔΗΣ Χ. (1992) Συστήματα ύδρευσης κτιριακών εγκαταστάσεων ορυχείων ΛΚΠ-Α. Υδροχημικά σχόλια χημικών αναλύσεων και σταθεροτύπων ΕΟΚ και Ελλάδας. Εσωτερική έκθεση ΔΕΗ/ΛΚΠ-Α.

ΣΑΧΑΝΙΔΗΣ Χ. (1993). Υδρογεωλογική έκθεση ορυχείου Αμυνταίου. Εσωτερική έκ-

- θεση ΔΕΗ/ΛΚΠ-Α.
- ΣΑΧΑΝΙΔΗΣ Χ. (1999). Ποιότητα νερού συστημάτων ύδρευσης-αντλιοστασίων-τεχνητών λιμνών και υδρογεωτρήσεων του ΛΚΠ-Α. Μέτρα Βελτίωσης. Εσωτερική έκθεση ΔΕΗ/ΛΚΠ-Α.
- ΣΤΑΜΟΥ Α. & ΖΑΜΠΟΚΑ Ν. (1991). Μερικά υδρογεωλογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής του λιγνιτικού κοιτάσματος Κομνηνών που αφορούν την υδρολογική προστασία του ορυχείου. ΙΓΜΕ ΚΟΖΑΝΗΣ.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER & WASTE WATER, 19th edition (1995). Washington DC 20005.
- THE WATER COMPANY (1999). Από Internet.
- ΥΔΡΟΓΑΙΑ (1980). Υδρογεωλογική έρευνα λεκάνης Σαριγκιόλ -Μαυροδενδρίου, για λογαριασμό της ΔΕΗ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΛΕΤΩΝ - ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ Υ/Η.Ε, Θεσσαλονίκη.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 398-412</p>
---	---	--

ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΝΙΚΕΛΙΟΥΧΑ ΣΙΔΗΡΟΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΑ
ΚΑΙ ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΟΙ ΦΛΟΙΟΙ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ
ΣΤΗ ΝΔ ΒΑΛΚΑΝΙΚΗ: ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΕΣ,
ΙΣΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΓΕΝΕΣΗ*

Νίκ. Σκαρπέλης¹

Περίληψη

Λεπτομερής πετρογραφική και ορυκτολογική εξέταση των φλοιών λατεριτικής αποσάθρωσης υπερβασικών πετρωμάτων του Κρητιδικού και του Ηνωμένου στην ΝΔ Βαλκανική δείχνει τυπική ανάπτυξη των ακόλουθων ζωνών: 1. Μητρικό πέτρωμα, 2. Ζώνη σαπρόλιτη, 3. Αργιλλική ζώνη, 4. Γκαιοπιτική ζώνη, 5. Πισολιθικό Fe-ούχο κάλυμμα. Παρατηρείται επίσης ανάπτυξη silcrete και γαρνιερίτη. Τα συνοδά τους ιζηματογενή νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα αποτελούνται από σφαιροειδή σωματίδια, θραύσματα silcrete και σαπρόλιτη και από κλαστικούς κόκκους ορυκτών, που σχηματίστηκαν σε φλοιούς λατεριτικής αποσάθρωσης. Τα σφαιροειδή σωματίδια (γνωστά από προηγούμενες εργασίες ως πισόλιθοι) εμφανίζουν ιστολογική και ορυκτολογική ταύτιση με τα σφαιροειδή σωματίδια, που βρίσκονται στα ανώτερα τμήματα των φλοιών λατεριτικής αποσάθρωσης. Τα ορυκτολογικά και ιστολογικά δεδομένα σε συνδυασμό με τις παρατηρήσεις υπαίθρου, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα ιζηματογενή νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα είναι μηχανικά ιζήματα.

Abstract

A detailed petrographic and mineralogical investigation of Cretaceous and Eocene lateritic weathering crusts on ultramafic rocks in SW Balkans indicates typical growth of the following zones: 1. bedrock, 2. saprolite, 3. clay zone, 4. massive goethite, 5. ferruginous pisolitic. Silcrete and garnierite were formed in several crusts. The associated sedimentary nickeliferous - iron ores comprise ferruginous sphaeroidal particles, silcrete and saprolite fragments, and detrital grains of minerals occurring in the lateritic weathering crusts. The ferruginous spheroidal particles of the sedimentary ores exhibit common textural and mineralogical features with those on top of the lateritic weathering crusts. It is proposed that the sedimentary ores are clastic sediments.

* Sedimentary nickeliferous iron ores and lateritic weathering crusts in SW Balkans: mineralogical, textural correlations and a genetic model.

1. Department of Geology, University of Athens, Panepistimioupoli, 157 84 Zografou, Athens
e-mail: skarpelis@geol.uoa.gr

Εισαγωγή

Η μελέτη πλήθους εμφανίσεων λατεριτικών φλοιών αποσάθρωσης στη ΝΔ Βαλκανική (ιδιαίτερα στην Ελλάδα και την Αλβανία) δίνει τη δυνατότητα συσχέτισης της ορυκτολογικής σύστασης των διαφόρων οριζόντων τους και των χαρακτηριστικών ιστών του μεταλλεύματος, προς την ορυκτολογική σύσταση και τους ιστούς των συνοδών ιζηματογενών νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων. Με τον τρόπο αυτό αντλούνται δεδομένα που επιτρέπουν τη σύνθεση ενός νέου προτύπου γένεσης των ιζηματογενών μεταλλευμάτων, για τα οποία έως τώρα πιστευόταν ότι έχουν σχηματισθεί ως χημικά ιζήματα. Στόχος της εργασίας αυτής είναι να περιγράψει συνοπτικά τα ορυκτολογικά και ιστολογικά χαρακτηριστικά των φλοιών λατεριτικής αποσάθρωσης και των ισοδύναμών τους ιζηματογενών νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων και να προτείνει ένα πρότυπο για τη γένεση των τελευταίων.

Λατεριτικοί φλοιοί αποσάθρωσης

Λατεριτικοί φλοιοί αποσάθρωσης έχουν εντοπιστεί επί υπερβασικών πετρωμάτων των οφιολιθικών συμπλεγμάτων. Οι φλοιοί αυτοί σε αρκετές περιπτώσεις απέφυγαν την ολική διάβρωσή τους (Λούτσι, Καστράκι και Τσούκα Βοιωτίας, Τριάδα και Καλόγεροι Ευβοίας, Ιεροπηγή Καστοριάς, Bitincka-Bilisthe ΝΑ Αλβανίας, Kukës ΒΑ Αλβανίας).

Η περίοδος λατεριτώσεως και η ηλικία των συνοδών ιζημάτων

Αποδεικνύονται δύο χρονικές περίοδοι λατεριτώσεως: μία προ-Κενομάνιος και μία προ-Ανω Ηωκαινική (προγενέστερη του Λουτσίου-Πριαμπονίου).

Οι Κρητιδικοί φλοιοί αποσάθρωσης έχουν ηλικία Ανωτ. Κενομανίου-Κατ. Τουρωνίου ή προγενέστερη του Ανωτ. Κενομανίου-Κατ. Τουρωνίου, όπως αποδεικνύουν τα ακόλουθα στοιχεία:

α) Η κρητιδική θάλασσα κάλυψε επικλυσιογενώς μεταλλεύματα λατεριτών και τα συνοδά τους ιζηματογενή σε ορισμένες θέσεις κατά το Απτιο και σε άλλες αργότερα έως και κατά το Τουρωνίο. Αυτό απέδειξαν στρωματογραφικές έρευνες στη Βοιωτία και την Εύβοια (ΑΛΜΠΑΝΤΑΚΗΣ 1974, ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΑΚΗΣ 1968, STEUBER 1993, 1995) και την ΒΑ Αλβανία (ΝΟΚΑ 1986). Από αυτά τα στρωματογραφικά στοιχεία προκύπτει ότι η λατεριτώση υπερβασικών, βασικών και λοιπών πετρωμάτων θα μπορούσε –ανάλογα με τις τοπικές γεωμορφολογικές συνθήκες– να έχει συμβεί σε διαφορετικές χρονικές περιόδους στις διάφορες θέσεις της τότε χέρσου. Η διάρκεια της περιόδου αυτής σε κάθε περιοχή δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί με ακρίβεια. Πρέπει να τονιστεί ότι –αν και έχουν αναφερθεί περιπτώσεις όπου η επίκλυση έγινε κατά το Βαρρέμο– δεν παρατηρήθηκαν φαινόμενα λατεριτώσεως κατά την περίοδο αυτή (π.χ. Πάρος (ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΑΚΗΣ *op.cit.*) και περιοχή Μετοχίου της Σερβίας (RADOICIC 1984). Εξάλλου η ηλικία εκταφιασμού των οφιολίθων με βάση ραδιοχρονολογήσεις στους αμφιβο-

λίτες που υπάρχουν στη βάση των οφιολιθικών συμπλεγμάτων έχει υπολογιστεί ότι είναι ανω-ιουρασική (HATZIPANAGIOTOU et al. 1994 και αναφορές στην ίδια εργασία), ενώ η τελική τοποθέτησή τους επί της Πελαγονικής πλατφόρμας έλαβε χώρα στο Κατ. Κρητιδικό (περίπου στα 140Ma) (ROBERTSON 1991). Εάν ληφθεί υπ' όψιν ότι ένας λατεριτικός φλοιός πάχους 20 m χρειάζεται –σε ιδανικές συνθήκες– χρονικό διάστημα 1 Ma για να σχηματιστεί και ότι πλήρεις λατεριτικοί φλοιοί μπορούν να σχηματιστούν ακόμη και σε διάστημα έως 5 Ma (GOLIGHTLY 1979), τότε τίθεται το ερώτημα εάν συνέτρεχαν προϋποθέσεις λατεριτώσεως των πετρωμάτων καθ' όλο το χρονικό διάστημα των περίπου 35 Ma, που μεσολάβησαν από τη στιγμή του εκταφιασμού και της χέρσευσης των οφιολίθων μέχρι τότε που άρχισε η επίκλυση της Κρητιδικής θάλασσας. Έτσι το πρόβλημα της ακριβούς χρονικής στιγμής σχηματισμού των λατεριτών παραμένει ανοικτό.

β) Στρώματα πυριτιολίθων μέσα σε ιζηματογενή μεταλλεύματα της περιοχής Παγόνδα Ευβοίας, περιέχουν απολιθώματα ηλικίας Ανωτέρου Κενομανίου-Κατωτάτου Τουρωνίου. Τα ιζήματα αυτά είναι βιογενή με μικρό ποσοστό προσμίξεων κλαστικού υλικού λατεριτικής προέλευσης. Η απόθεσή τους πρέπει να έγινε σε περιβάλλον αβαθούς εσωτερικής πλατφόρμας, η οποία στη συνέχεια υπέστη την ανωκρητιδική επίκλυση (ΣΚΑΡΠΕΛΗΣ & ΖΑΜΠΕΤΑΚΗ 1998).

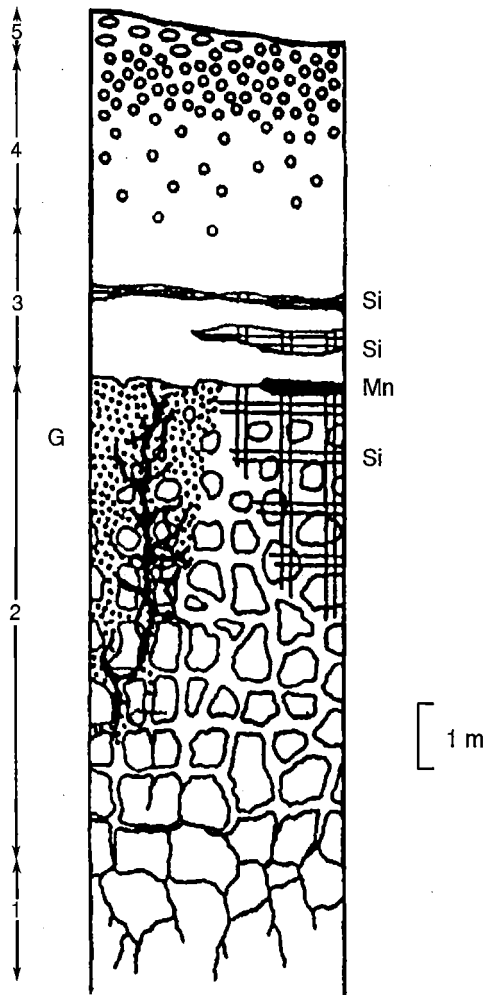
γ) Επειδή η απόθεση των ιζηματογενών μεταλλευμάτων έγινε κατά τη διάρκεια της επίκλυσης της κρητιδικής θάλασσας, συμπεραίνεται ότι οι λατεριτικοί φλοιοί δημιουργήθηκαν σε ορισμένες περιοχές πριν από το Απτιο και σε άλλες ενδεχομένως μέχρι και το Τουρωνίο (ΣΚΑΡΠΕΛΗΣ & ΖΑΜΠΕΤΑΚΗ *op.cit.*, και αναφορές στην ίδια εργασία).

Οι *Ηωκαινικοί φλοιοί αποσάθρωσης* στην Ελλάδα (Ιεροπηγή Καστοριάς) και την ΝΑ Αλβανία (Bilisthe-Bitincka) σχηματίστηκαν προ του Λουθησίου-Πριαμπονίου, όπως προκύπτει από τα στρωματογραφικά δεδομένα για τα υπερκείμενα ιζήματα (μαργαίκοι ασβεστόλιθοι στη βάση των μολασικών κροκαλοπαγών). Για τους φλοιούς λατεριτικής αποσάθρωσης του Κοσόβο δεν έχει αναφερθεί ακριβής ηλικία. Πιθανολογείται ότι έντονα φαινόμενα λατεριτώσεως παρουσιάστηκαν στην περιοχή αυτή στο Ηώκαινο και με μικρή ένταση συνεχίστηκαν έως και το Μειόκαινο (MAKSIMOVIC & RADOICIC 1996). Μετάλλευμα –πιθανής Ηωκαινικής ηλικίας– επί σερπεντινιτών στη θέση Παλαιοχώρι Γρεβενών έχει περιγραφεί από τους ΟΡΦΑΝΟΥΔΑΚΗ et al. (1997) επίσης ως νικελιούχος λατεριτίτης.

Πετρογραφία των φλοιών λατεριτικής αποσάθρωσης

Λεπτομερής πετρογραφική - ορυκτολογική εξέταση των φλοιών λατεριτικής αποσάθρωσης, δείχνει τυπική ζώνωση όπως φαίνεται στο σχήμα της Εικ. 1.

Περιγραφή ζωνών. Ουσιώδεις διαφορές μεταξύ εμφανίσεων φλοιών λατεριτικής αποσάθρωσης εντοπίζονται κυρίως στην έκταση και το πάχος της αργιλλικής ζώνης, την παρουσία πλέγματος φλεβιδίων νικελιούχων πυριτικών ορυκτών, τη



Εικόνα 1. Σχηματική στήλη Κοητιδικών και Ηωκαινικών φλοιών λατεριτικής αποσάθρωσης υπερβασικών πετρωμάτων ΝΔ Βαλκανικής: 1. Μητρικό πέτρωμα, 2. Ζώνη σαπρολίτη-αργίλλων, 3. Γκαϊτιτική ζώνη, 4-5. Πισολιθικό Fe-σύχο κάλυμμα G: γαρνιερίτης, Si: silcrete, Mn: οξειδία Mn.

θέση και την ένταση των φαινομένων πυριτίωσης (σχηματισμός silcrete) και την ανάπτυξη του πισολιθικού σιδηρούχου τμήματος. Κατωτέρω δίνεται σύνοψη των ορυκτολογικών και ιστολογικών χαρακτηριστικών των ζωνών των φλοιών λατεριτικής αποσάθρωσης με βάση στοιχεία των SKARPELIS et al. 1996, SKARPELIS 1997, SKARPELIS, MAKSIMOVIC & APOSTOLIKAS (αδημοσίευτα δεδομένα).

Σαπρολίτης. Περιλαμβάνει σερπεντίνη (κυρίως λιζαρντίτη), ομεκτίτη, τάλη,

χλωρίτη, μαγνητίτη, μαγκαμίτη, γκαιτίτη και υπολειμματικά ορυκτά (ολιβίνης, πυρόξενοι, χρωμίτης), ιδιαίτερα στα αποστρογγυλεμένα τεμάχια του αρχικού υπερβασικού πετρώματος. Συχνά παρατηρείται πλέγμα φλεβιδίων ασβεσίτη, που ακολουθούν διακλάσεις του πετρώματος. Ο ιστός του αρχικού πετρώματος διατηρείται, ιδιαίτερα στα κατώτερα και ολιγότερο εξαλλοιωμένα τμήματα του μητρικού πετρώματος. Από οικονομική άποψη στη ζώνη αυτή ενδιαφέρουν οι συγκεντρώσεις ενύδρων Ni-Mg-ούχων πυριτικών ορυκτών (κυρίως Ni-τάλλη, Ni-σερπεντίνη και Ni-χλωρίτη) σε φλεβίδια, πλέγματα φλεβιδίων και πόρους (voids). Η ένταση του δευτερογενούς εμπλουτισμού του σαπρωλίτη σε Ni επηρεάζει καθοριστικά την εκμεταλλευσιμότητα του συνόλου του λατεριτικού σχηματισμού, αφού σε πλείστες περιπτώσεις το ανώτερο σιδηρούχο τμήμα δεν είναι εκμεταλλεύσιμο.

Αργιλλική ζώνη. Η ζώνη αυτή δεν αναπτύσσεται συνεχώς και με το ίδιο πάχος στις τομές των λατεριτών, τόσο του Κρητιδικού όσο και του Ηωκαίνου (π.χ. έως 10 m στην Καστοριά, 6 και 5-20 m στις θέσεις Βότα και Μετόχι Βοιωτίας αντίστοιχα, 2 m στο Kukes BA Αλβανίας). Εδώ συναντάται σμεκτίτης (κυρίως νοντρονίτης) με NiO έως και 3.5%, γκαιτίτης, σερπεντίνης, χλωρίτης, τάλκης, αιματίτης, και τοπικά χαλαζιάς, λιθιοφορίτης και πυρολουσίτης. Σε ορισμένες εμφανίσεις (π.χ. Μετόχι Βοιωτίας) παρατηρούνται διάσπαρτα σιδηρούχα σφαιροειδή σωματίδια με μορφή πελοειδών (κονδύλων)², τα οποία αποτελούνται κυρίως από μαγνητίτη και σαμοσίτη. Ο μαγνητίτης έχει μετατραπεί εν μέρει σε μαρτίτη. Η παρουσία τους στη ζώνη αυτή του λατεριτικού φλοιού αποκαλύπτει την πηγή των κλαστικών κόκκων μαγνητίτη-μαρτίτη στα ιζηματογενή κοιτάσματα. Ο ιστός του αρχικού πετρώματος έχει καταστραφεί σχεδόν ολοκληρωτικά.

Γκαιτιτική ζώνη. Είναι το μόνο τμήμα του σιδηρούχου τομέα (*ferricrete*) των Κρητιδικών φλοιών που έχει διατηρηθεί στον Ελληνικό χώρο. Αντιθέτως η ζώνη αυτή έχει ανάπτυξη έως και 6m στους αντίστοιχους φλοιούς της Αλβανίας και στους Ηωκαινικούς Καστοριάς και ΝΑ Αλβανίας. Στη ζώνη αυτή επικρατεί ο γκαιτίτης με μορφή συμπαγούς μεταλλοφορίας, ο οποίος σταδιακά προς τα ανώτερα τμήματα αντικαθίσταται από αιματίτη με μορφές πελοειδών (κονδύλων). Σερπεντίνης και τάλκης καθώς και υπολειμματικοί κόκκοι χρωμίτη συναντώνται σε μικρά ποσοστά. Σε μερικές θέσεις στο κατώτερο τμήμα της ζώνης έχουν παρατηρηθεί σποραδικές συγκεντρώσεις ασβολάνη και λιθιοφορίτη.

Πισολιθική ζώνη. Έχει εντοπισθεί στις εμφανίσεις Κρητιδικών φλοιών στην περιοχή Kukes BA Αλβανίας και στον Ηωκαινικό φλοιό της Καστοριάς. Σε όλες τις άλλες εμφανίσεις λατεριτικών φλοιών αποσάθρωσης δεν παρατηρείται, είτε

2. Ο όρος "πελοειδές" χρησιμοποιείται εδώ ισοδύναμα με τον όρο "κόνδυλος" για σφαιροειδή σωματίδια, τα οποία δεν εμφανίζουν συγκεντρικές επιφλοιώσεις. Οι όροι "ωοειδές" και "πισοειδές" χρησιμοποιούνται για σφαιροειδή σωματίδια μεγέθους < 2 mm και > 2 mm αντίστοιχα, αλλά με συγκεντρικές επιφλοιώσεις.

διότι δεν δημιουργήθηκε είτε διότι έχει διαβρωθεί. Στη ζώνη αυτή επικρατεί ο αιματίτης. Σε μικρότερα ποσοστά εμφανίζεται γκαϊτίτης, σερπεντίνης, χλωρίτης και υπολειμματικός χρωμίτης. Η ζώνη χαρακτηρίζεται από σιδηρούχες σφαιροειδείς μορφές, που αρχίζουν να εμφανίζονται από το ανώτερο τμήμα της γκαϊτιτικής ζώνης και αυξάνονται ποσοτικά έτσι ώστε στο ανώτατο τμήμα του σιδηρούχου καλύματος του λατεριτικού φλοιού να αποτελούν μοναδικό ιστολογικό γνώρισμα του μεταλλεύματος. Η μικροσκοπική παρατήρηση δείχνει ότι στο κατώτερο τμήμα επικρατούν μορφές πελοειδών, ενώ μορφές πισειδών (και σπανίως μορφές ωειδών) είναι συχνές στο ανώτερο. Αποτελούνται από αιματίτη, σερπεντίνη, καολινίτη, χλωρίτη και μικρά ποσοστά γκαϊτίτη. Υπολειμματικός χρωμίτης μπορεί να βρεθεί σε οποιοδήποτε σημείο των σφαιροειδών αυτών σωματιδίων, καθώς επίσης και στο χώρο μεταξύ τους. Σπανίως, κόκκος χρωμίτη αποτελεί τον πυρήνα γύρω από τον οποίο έχουν αναπτυχθεί συγκεντρικές επιφλοιώσεις αιματίτη – πυριτικών ορυκτών. Ένα χαρακτηριστικό των σύνθετων σφαιροειδών σωματιδίων του ανώτατου τμήματος είναι η συνήθης παρουσία ενός εξωτερικού γκαϊτιτικού δακτυλίου. Η δημιουργία αυτού του είδους των δακτυλίων έχει παρατηρηθεί και σε άλλες ζώνες λατεριτώσεως και αποδίδεται σε φαινόμενα δευτερογενούς ενυδάτωσης του αιματίτη, που λαμβάνει χώρα στο χείλος μεγάλων πόρων ή σε ανοικτά κανάλια, που κατακλύζονται από μετωρικό νερό σε περιόδους βροχοπτώσεων (NAHON 1976, TARDY & NAHON 1995). Στο κοιτάσμα Kukes το ανώτατο τμήμα του σιδηρούχου τομέα (ferricrete) εμφανίζεται ως “σύνναγμα”. Το σύνναγμα αποτελείται από αποστρωγγυλεμένα τεμάχια που είναι απολελυμένα ή έχουν μικρή συνοχή μεταξύ τους. Τα τεμάχια αυτά συγκροτούνται από πληθώρα πισειδών και πελοειδών συγκολλημένων με αιματίτη (κυρίως) και πυριτικά ορυκτά.

Silcrete (birbirite). Ο πετρολογικός αυτός σχηματισμός αναπτύσσεται είτε σε βάρος του μητρικού πετρώματος (π.χ Τριάδα Ευβοίας, Ιεροπηγή Καστοριάς, Bitincka και Kukes Αλβανίας), είτε εμφανίζεται με μορφή πάγκων εντός της αργιλικής ζώνης (π.χ. Λούτσι Βοιωτίας). Υπολείμματα του αρχικού λατεριτωμένου υπερβασικού πετρώματος εμφανίζονται με μορφή νησίδων από εξαλλοιωμένο σερπεντίνη, συσσωματώματα χλωρίτη και τάλκη και διάσπαρτους κόκκους σπινελίων. Κατά την αντικατάσταση του αρχικού πετρώματος ο χαλαζίας δημιούργησε μικροκρυσταλικά συσσωματώματα ή πλέγμα φλεβιδίων. Κατά θέσεις ο χαλαζίας εμφανίζεται με μορφή μωσαϊκού, που υποδηλώνει έντονη ανακρυστάλλωση.

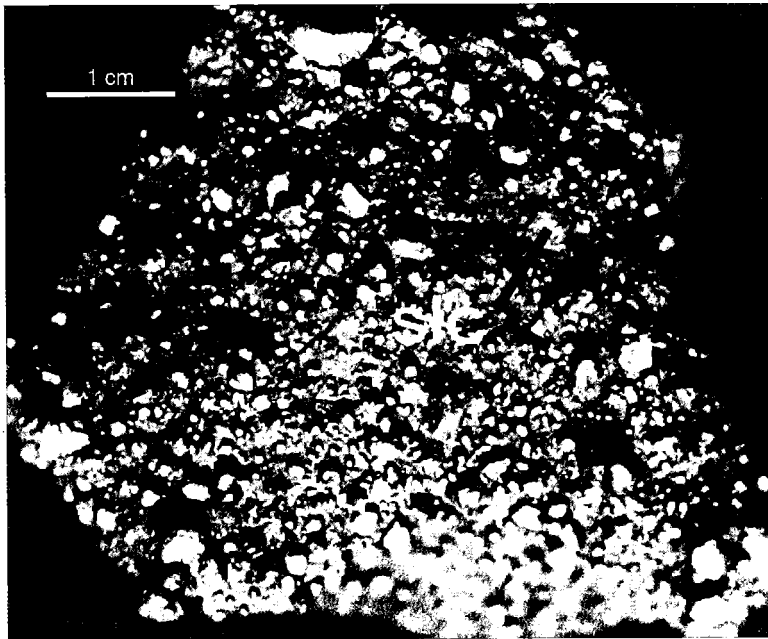
Φλεβίδια νικελιούχων πυριτικών. Χαλαζιακά φλεβίδια και πλέγμα φλεβιδίων με νικελιούχα πυριτικά ορυκτά παρατηρούνται στις ζώνες του σαπρολίτη, του silcrete, ακόμη και στον σερπεντίνιτη. Αναγνωρίζονται κυρίως νικελιούχος χλωρίτης, νικελιούχος τάλκης και νικελιούχος σερπεντίνης.

Τα ιζηματογενή νικελιούχα σιδηρο-μεταλλεύματα

Τα Κρητιδικά (προ-Κενομανίου-Τουρωνίου ηλικίας) ιζηματογενή σιδηρο-νικελιούχα μεταλλεύματα δημιουργούν κοιτάσματα καρστικού τύπου ή έχουν αποτε-

θεί επί υπερβασικών πετρωμάτων ή ακόμη και επί τμημάτων λατεριτωμένων υπερβασικών. Στη βάση ορισμένων κοιτασμάτων καρστικού τύπου (π.χ. βόρειος τομέας Αγίου Ιωάννη) παρατηρείται ένα κροκαλοπαγές, που αποτελείται κυρίως από κροκάλες σερπεντινίτη, πυριτωμένου σερπεντινίτη (silcrete), και σιδηρούχα σφαιροειδή σωματίδια. Η πετρολογική, ορυκτολογική και ιστολογική μελέτη των μεταλλευμάτων δείχνει ότι αποτελούνται από σιδηρούχα σφαιροειδή σωματίδια, θραύσματα silcrete και σαπρολίτη και κλαστικούς κόκκους χλωρίτη, νικελιούχου χλωρίτη, γκαϊτίτη, αιματίτη, χρωμίτη, ιλμενίτη, οξειδίων Ti, μαγνητίτη, μαγκαιμίτη, μαρτίτη, χαλαζία. Τα σιδηρούχα σφαιροειδή σωματίδια είναι κυρίως πελοειδή, σε μικρό βαθμό πισεϊδή, ενώ τα ωσειδή σπανίζουν (Εικ. 2 και 3).

Πολύ διαδεδομένα είναι τα σύνθετα σφαιροειδή, που αποτελούνται από πλήθος πέλοειδών και πισεϊδών. Αυτού του είδους τα σφαιροειδή σχηματίζονται στο ανώτερο τμήμα της σιδηρούχου ζώνης των φλοιών λατεριτικής αποσάθρωσης. Μακροσκοπικά η επιφάνεια των περισσότερων σιδηρούχων σφαιροειδών εμφανίζεται λειασμένη, ένα χαρακτηριστικό που αποτελεί ένδειξη διαδικασίας απότριψης (abrasion). Σε ορισμένα κοιτάσματα (π.χ. Pishkash Αλβανίας) παρατηρούνται γωνιώδη έως ελαφρά αποστρογγυλλεμένα τεμάχια, που δηλώνουν πολύ μικρή με-



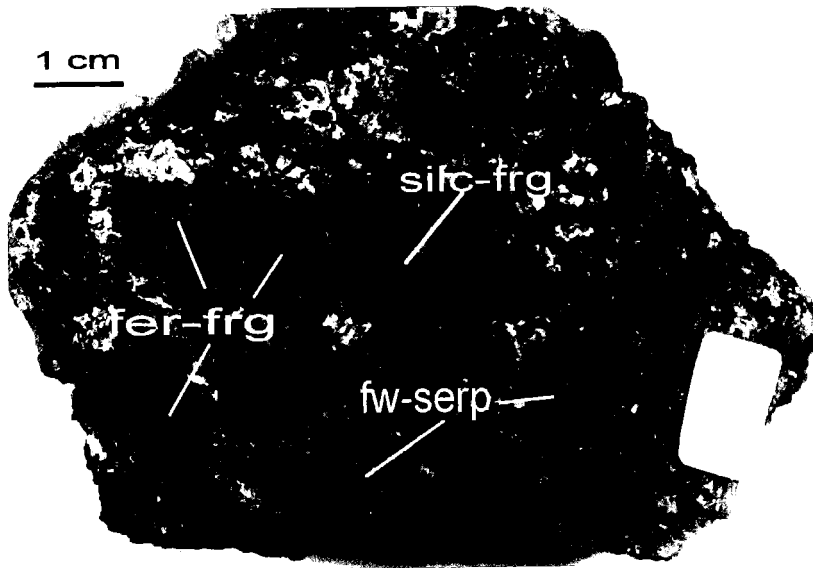
Εικόνα 2. Δείγμα ιζηματογενούς μεταλλεύματος, που αποτελείται από θραύσματα silcrete (slc) και από σφαιροειδή σιδηρούχα σωματίδια με έντονη απότριψη (μεταλλείο Τριάδας, Εύβοια).



Εικόνα 3. Πελοειδή (pel) και θραύσματα πελοειδών (fr-pel) σε θεμελιώδη μάζα αργιλικών ορυκτών και αιματίτη.

ταφορά ή ακόμη και απόθεση σε κλιτείες (κολουβιακή απόθεση) (Εικ. 4).

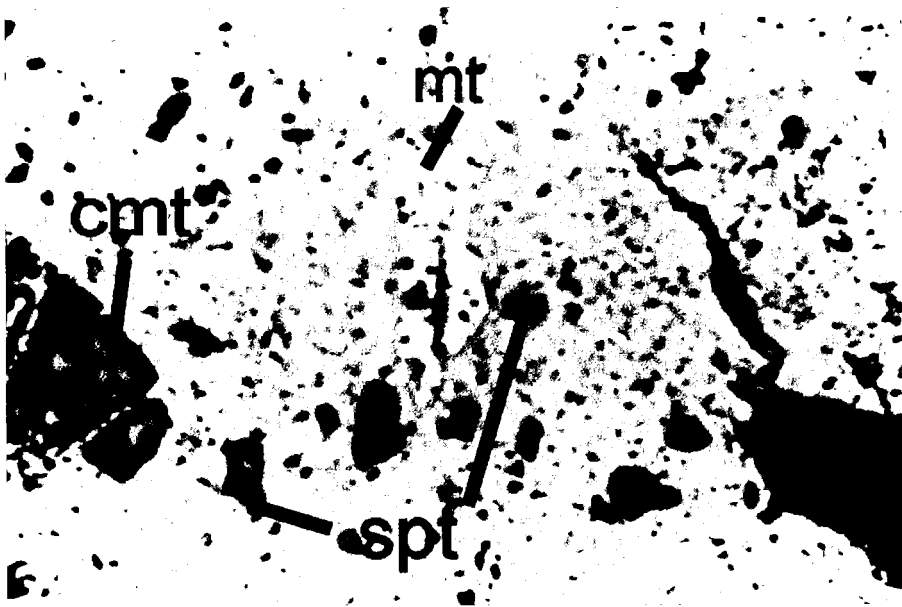
Στο συνδετικό υλικό των κλαστικών τεμαχιδίων έχουν εντοπισθεί και τα ορυκτά: καολινίτης, σερπεντίνης, ιλλίτης και σπανιότερα βαιμίτης (ΑΛΕΒΙΖΟΣ 1997, ΑΛΜΠΑΝΤΑΚΗΣ 1974, ROSENBERG 1984, VALETON et al. 1987, ΜΠΟΣΚΟΣ et al. 1996, SKARPELIS 1999). Σε κοιτάσματα καρστικού τύπου, κοντά στην επαφή του μεταλλεύματος με τον υποκείμενο ασβεστόλιθο, παρατηρούνται μάζες σιδηροπυρίτη-μαρκασίτη, ασβολάνη και συγκεντρώσεις αυθιγενών ορυκτών των REE (ROSENBERG 1984, MAKSIMOVIC et al. 1992, ΑΛΕΒΙΖΟΣ 1997). Η ιστολογική περιγραφή του μεταλλεύματος διευκολύνεται αν λάβουμε υπ' όψη μας ότι κάθε δείγμα είναι άθροισμα τριών κλασμάτων σε διάφορες αναλογίες σιδηρούχων σφαιροειδών σωματιδίων, λεπτομερών θραυσμάτων ορυκτών σιδήρου και αργιλικών ορυκτών. Έτσι προκύπτουν τρεις ακραίοι τύποι μεταλλεύματος (SKARPELIS 1999): α) *πισολιθικό μέταλλευμα* στο οποίο τη σύσταση κυριαρχούν πελοειδή, πισοειδή και σύνθετα σφαιροειδή, β) *συμπαγές σιδηρούχο μέταλλευμα*, το οποίο περιέχει λεπτομερή τεμάχια σιδηρούχων ορυκτών και γ) *πηλιτικό μέταλλευμα*, το οποίο αποτελείται κυρίως από αργιλλικά ορυκτά. Η διάκριση αυτή βοηθάει στην περιγραφή τομών των διαφόρων κοιτασμάτων. Παρά το γεγονός της έντονης -κατά θέσεις- παραμόρφωσης των μεταλλοφόρων σωμάτων λόγω πτυχωσιγενούς και ρηγματογόνου τεκτονισμού, από τη μελέτη της ανάπτυξης στο χώρο των δια-



Εικόνα 4. Θραύσματα από σύνθετα σιδηρούχα σφαιροειδή σωματίδια (*fer-frag*), silcrete (*silc-frag*) και εξαλλοιωμένο σερπεντίνη (*fw-serp*) από τη βάση του κοιτάσματος Pishkash Αλβανίας.

φόρων τύπων μεταλλεύματος σε κοιτάσματα στην Ελλάδα και την Αλβανία προκύπτει ότι:

- α) Δεν υπάρχει ομοιομορφία στην κατανομή των διαφόρων τύπων μεταλλεύματος από κοιτάσμα σε κοιτάσμα και από τομή σε τομή του ίδιου κοιτάσματος
- β) Υπάρχει μικρής κλίμακας (τάξης ολίγων μέτρων) πλευρική μετάβαση από έναν τύπο σε άλλο σε διάφορες τομές
- γ) Τα κλαστικά τεμάχια έχουν ασθενή ταξιθέτηση. Σταυρωτή στρώση εμφανίζεται σπάνια.
- δ) Από την ιστολογική και ορυκτολογική μελέτη δειγμάτων μεταλλεύματος από τις τομές αυτές συμπεραίνεται ότι υπήρξαν πολλές φάσεις απόθεσης υλικού και μάλιστα κάθε φορά διαφορετικής κοκκομετρίας, ιστολογικής σύνθεσης και ποσοστιαίας ορυκτολογικής σύστασης.
- ε) Σε ένα και το αυτό δείγμα μπορεί κανείς να διακρίνει ορυκτολογικά-ιστολογικά συστατικά που συναντώνται σε διαφορετικές ζώνες λατεριτώσης π.χ. θραύσματα μαγνητίτη-μαρτίτη από την αργιλλική ζώνη συνυπάρχουν με θραύσματα σμεκτιτωμένου σερπεντίνη από τη ζώνη σαπρολίτη και πελοειδή ή πισοειδή από τη γκαϊτιτική και πisolιθική ζώνη (Εικ. 5).
- στ) Στο ίδιο δείγμα παρατηρούνται αθροίσματα ορυκτών που έχουν προέλευση από λατεριτικές ζώνες, που εκτιμάται ότι έχουν αναπτυχθεί υπεράνω πετρω-



Εικόνα 5. Θραύσματα μαρτιτιωμένου μαγνητίτη (mt), εξαλλοιωμένου σερπεντινίτη (spt) και χρωμίτη (cmt) σε μία γκαϊτιτική-αιματιτική θεμελιώδη μάζα.

μάτων διαφορετικής σύστασης. Έτσι συναντώνται ορυκτά που έχουν σχηματισθεί σε ζώνες νικελιούχου λατερίτη (π.χ. χρωμίτης) μαζί με ορυκτά από ζώνες λατεριτικού βωξίτη (π.χ. ιλλίτης, βαμίτης, ιμμενίτης).

- ζ) Εμφανίζονται οριζοντες υλικού πλούσιου σε Al (προφανώς προερχόμενου από βωξιτικούς λατεριτικούς φλοιούς) σε εναλλαγή με οριζοντες πλούσιους σε υλικό από νικελιούχο λατερίτη (π.χ κοιτάσματα Μαρμίκο και Νησί (ΣΚΑΡ-ΠΕΛΗΣ et al. 1989, MAKSIMOVIC et al. 1992, ΑΛΕΒΙΖΟΣ 1997).
- η) Μεμονωμένες πυριτικές λατύπες ή πυριτικά λατυποπαγή και σπανιότερα λατυποκροκαλοπαγή, απαντούν σε πλήθος κοιτασμάτων και εμφανίσεων (π.χ. βάση του κοιτάσματος Αττάλης, βάση του κοιτάσματος Αγ. Ιωάννη στην προέκτασή του στο όρος Μάλι Ντάρδα, εμφανίσεις μεταλλεύματος Πάρνηθας, δυτική προέκταση κοιτάσματος Νέου Κόκκινου, κοιτάσματα Παγόνδα και Τριάδας). Αποτελούνται από γωνιώδη έως αποστρογγυλλεμένα τεφρά έως τεφροκάστανα τεμάχια πυριτικής σύστασης, τα οποία συγκολλώνται από σιδηρούχα πελοειδή και πισεϊδή και ψαμμιτικό υλικό με κόκκους πυριτικούς. Τα τεμάχια αυτά έχουν προέλθει από πυριτωμένα υπερβασικά πετρώματα (birbirites, silcrettes), τα οποία αποτελούσαν τμήματα των λατεριτικών φλοιών αποσάθρωσης. Επομένως οι λατύπες αντιστοιχούν πετρολογικά σε ανακρυσταλλωμένα τεμάχια πυριτωμένων υπερβασικών. Διαγνωστικό στοιχείο για την προέλευση

των λατυπών αυτών είναι τα υπολείμματα λατεριτωμένου υπερβασικού πετρώματος και η ύπαρξη υπολειμματικών κόκκων σπινελίων μέσα στην πυριτωμένη μάζα. Οι ιστολογικές εικόνες και η ορυκτολογική σύσταση των κλαστικών τεμαχών είναι πανομοιότυπες με αυτές των πυριτωμένων τμημάτων των λατεριτωμένων υπερβασικών πετρωμάτων περιοχών των Νομών Ευβοίας, Βοιωτίας και Καστοριάς, της Αλβανίας καθώς και πολλών άλλων περιοχών του κόσμου.

Τα ιζηματογενή μεταλλεύματα μέσα σε μολασικά ιζήματα των Νομών Γρεβενών και Κοζάνης (π.χ. θέση Δαφνερό) είναι μικρο-κροκαλοπαγούς μορφής. Οι κροκάλες αποτελούνται από πισοειδή και πελοειδή.

Συζήτηση

Η σύγκριση των ορυκτολογικών και ιστολογικών χαρακτηριστικών των λατεριτικών φλοιών αποσάθρωσης της ΝΔ Βαλκανικής –όπως αυτά περιγράφηκαν παραπάνω– με τα χαρακτηριστικά άλλων γνωστών εμφανίσεων και κοιτασμάτων ανά τον κόσμο (GOLIGHTLY 1979, MAKSIMOVIC 1981, TARDY & NAHON 1985, MONTI & FAZAKERLEY 1996) αποδεικνύει την ομοιοτήτά τους. Είναι γνωστό ότι στα ανώτερα τμήματα της σιδηρούχου ζώνης των φλοιών αυτών –ανεξάρτητα από το είδος του πετρώματος σε βάρος του οποίου γίνεται λατεριτώση– παρατηρούνται σφαιροειδή σωματίδια μορφής πελοειδών, πισοειδών και ωοειδών. Εκτεταμένες αναφορές στον τρόπο γένεσης των σφαιροειδών αυτών σωματιδίων έχουν γίνει κυρίως από τους NAHON (1976), NAHON et al. (1980), TARDY & NAHON (1985), AMBROSI & NAHON (1986). Η διάταξη στο χώρο αργιλλικών ορυκτών (π.χ. καολινίτη) και σιδηρούχων (κυρίως αιματίτη) έτσι ώστε να δημιουργούνται σφαιροειδείς μορφές, έχει μελετηθεί σε πολλές περιπτώσεις λατεριτικών κοιτασμάτων που έχουν δημιουργηθεί επί πετρωμάτων μαγματικής προέλευσης, αλλά και επί ψαμμιτών.

Τα σφαιροειδή σωματίδια των ιζηματογενών μεταλλευμάτων (γνωστά από προηγούμενες εργασίες ως πισόλιθοι) εμφανίζουν ιστολογική και ορυκτολογική ομοιότητα με τα σφαιροειδή σωματίδια, που βρίσκονται στα ανώτερα τμήματα των φλοιών λατεριτικής αποσάθρωσης που αναφέρθηκαν σε συντομία παραπάνω. Πρέπει εδώ να τονιστεί ότι τα σφαιροειδή των ιζηματογενών νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων δεν εμφανίζουν ιστολογικές ομοιότητες με αυτά ωολιθικών μεταλλευμάτων σιδήρου (θαλάσσιων και χερσαίων), όπως αυτές περιγράφονται π.χ. από τον SCHWARZ (1992) για μεταλλεύματα αυτού του είδους από το Sudan.

Ένα πρόσθετο στοιχείο, ενδεικτικό της προέλευσης του υλικού, είναι η ομοιότητα στο βαθμό υποκατάστασης Al στο πλέγμα του γκαϊτίτη του μεταλλεύματος. Οι τιμές αυτές συνηγορούν για προέλευση του γκαϊτίτη από το σιδηρούχο τμήμα φλοιών λατεριτικής αποσάθρωσης (SKARPELIS 1999).

Τα ορυκτολογικά και ιστολογικά δεδομένα σε συνδυασμό με τις παρατηρήσεις

υπαίθρου, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα ιζηματογενή σιδηρο-νικελιούχα μεταλλεύματα είναι εξ' ολοκλήρου μηχανικά ιζήματα και ότι δεν υπήρξε απόθεση ενός κλάσματος του μεταλλεύματος με μορφή χημικού ιζήματος, όπως υποστηριζόταν έως τώρα. Το ιδιαίτον χαρακτηριστικό τους είναι ότι αποτελούνται από υλικό, που έχει αποκλειστική προέλευση από λατεριτικούς φλοιούς αποσάθρωσης υπερβασικών και βασικών πετρωμάτων. Τα μεταλλεύματα αυτά δημιουργήθηκαν με τη διάβρωση των λατεριτικών φλοιών αποσάθρωσης. Το υλικό της διάβρωσης μπορεί να ήταν συσσωρευμένο με μορφή κολουβιακών αποθέσεων σε κλιπείς στο τότε ανάγλυφο πριν την επίκλυση της θάλασσας ή να μεταφέρθηκε με τη δράση των κυμάτων κατά τη διάρκεια της επίκλυσης. Τα ιζηματολογικά χαρακτηριστικά του μεταλλεύματος που αναφέρθηκαν παραπάνω και η **μη** συμμετοχή στη σύσταση του μεταλλεύματος θραυσμάτων πετρωμάτων και ορυκτών άλλου είδους εκτός από αυτά που δημιουργούνται αποκλειστικά στους λατεριτικούς φλοιούς, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι –στην περίπτωση ιδιαίτερα των Κρητιδικών μεταλλευμάτων– φαίνεται να ήταν η δράση των κυμάτων της θάλασσας, η οποία –σε συνδυασμό με το παλαιοανάγλυφο– ήλεγχε την απόθεση του κλαστικού ιζήματος με τη μορφή ροών κορυμάτων (debris flows). Η υπόθεση ότι το κλαστικό υλικό είχε μεταφερθεί σε κάποιες αποστάσεις από τους χώρους λατεριτίωσης με τη δράση υδάτινων ρευμάτων (VALETON et al. 1987), έχει ένα βασικό μειονέκτημα: δεν εξηγεί γιατί το υλικό αυτό δεν αναμείχθηκε με υλικό από τη διάβρωση άλλων πετρωμάτων, όπως π.χ. με λατύπες ή κροκάλες από τὰ υποκείμενα Τριαδικο-Ιουρασικά ανθρακικά και τα υπερβασικά, βασικά και πιθανόν μεταμορφωμένα πετρώματα, τα οποία ήταν εκτεθειμένα στην επιφάνεια στο τότε ανάγλυφο.

Τα φαινόμενα διαγένεσης των ιζηματογενών μεταλλευμάτων δεν έχουν ακόμη μελετηθεί με λεπτομέρεια. Δεδομένα τα οποία μαρτυρούν ότι το μετάλλευμα έχει υποστεί διαγένεση είναι: α) Η παρουσία συγκεντρώσεων σιδηροπυρίτη-μαρκασίτη, ασβολάνη και αυθιγενών ορυκτών των REE στη βάση των κοιτασμάτων, β) Ο δευτερογενής εμπλουτισμός των κατώτερων τμημάτων σε ευκίνητα στοιχεία όπως Ni, Co, Mn, REE, γ) Η παρουσία βαιμίτη αντί γκιμπσίτη, δ) Η ύπαρξη χλωρίτη μη κλαστικής προέλευσης αντί σμεκτίτη. Επίσης είναι πιθανόν ένα μέρος του αιματίτη στο συνδετικό υλικό των κλαστικών τεμαχών να προήλθε από τη μετατροπή γκαιτίτη, όταν η ενεργότητα του νερού μειώθηκε. Τα φαινόμενα της διαγένεσης πάντως δεν έχουν μεταβάλλει τα αδρά ιστολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του αρχικού μηχανικού ιζήματος.

Συμπεράσματα

Η συνδυασμένη μελέτη των γεωλογικών, ορυκτολογικών και ιστολογικών χαρακτηριστικών των λατεριτικών φλοιών αποσάθρωσης υπερβασικών πετρωμάτων και των συνοδών τους ιζηματογενών νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων αποδεικνύει ότι:

- α) Εμφανίζουν ομοιότητα στην ορυκτολογική τους σύσταση. Ορισμένα τμήματα των ιζηματογενών έχουν σύσταση που ανταποκρίνεται σε άλλου είδους λατεριτωμένα πετρώματα (βασικής σύστασης μαγματίτες ή μεταμορφωμένα ισοδύναμά τους) που δυστυχώς δεν έχουν διατηρηθεί.
- β) Πολλά κοινά ιστολογικά γνωρίσματα των ιζηματογενών μεταλλευμάτων και ιδιαίτερα οι μορφές των σφαιροειδών σωματιδίων, αποδεικνύουν αντιστοιχία με αυτά συγκεκριμένων ζωνών των φλοιών λατεριτικής αποσάθρωσης.
- γ) Τα ορυκτολογικά και ιστολογικά δεδομένα σε συνδυασμό με τις παρατηρήσεις υπαίθρου, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα ιζηματογενή νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα είναι μηχανικά ιζήματα, των οποίων τα κλαστικά τεμάχια προέρχονται από τους φλοιούς λατεριτικής αποσάθρωσης.

Ευχαριστίες

Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται προς τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας για τη μερική χρηματοδότηση της έρευνας μέσω προγραμμάτων Διακρατικών Συνεργασιών με την Ουγγαρία, Γιουγκοσλαβία και Αλβανία. Ευχαριστίες εκφράζονται και προς την ΓΜΜΑΕ ΛΑΡΚΟ και ιδιαίτερα τους γεωλόγους της Εταιρείας, που διευκόλυναν την έρευνα σε μεταλλευτικές περιοχές της Βοιωτίας και Ευβοίας.

Βιβλιογραφία

- ΑΛΕΒΙΖΟΣ Γ. (1997) Ορυκτολογία, γεωχημεία και γένεση ιζηματογενών νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων Λοκρίδας (Κεντρική Ελλάδα). Αδημ. Διδακτ. Διατριβή, Τμήμα Μηχ. Ο. Π., Πολυτεχνείο Κρήτης, p. 245.
- ΑΛΜΠΙΑΝΤΑΚΗΣ Ν. (1974) Τα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα Λοκρίδος και Ευβοίας. Μετ. Μετ. Χρον., 19, 17-41.
- AMBROSI J.P. & NAHON D. (1986) Petrological and geochemical differentiation of lateritic iron crust profiles. *Chemical Geology*, 57, 371-393.
- GOLIGHTLY J.P. (1979) Geology of Soroako nickeliferous laterite deposits. In: Proc. Internat. Laterite Symposium, (D.J.I. Evans, R.S. Shoemaker & H. Veltmans eds), New Orleans, Soc. Min. Eng. AIME, 38-56.
- HATZIPANAGIOTOU K., PE-PIPER G. & PYRGIOTIS L. (1994) Sub-ophiolitic amphibolite soles from the Dafnospilia-Kedros area, western Thessaly, Greece. *N. Jb. Miner. Mh.*, 9, 391-402.
- MAKSIMOVIC Z. (1981) Types of the fossil weathering of ultramafic rocks in SE Europe. *Bull. Acad. Serbe Sc. & Arts*, 21, 13-26.
- MAKSIMOVIC Z. & RADOICIC R. (1996) Age of the fossil weathering crusts in Kosovo and Metohija, South Serbia. *Bull. Acad. Serbe Sci. Arts*, 36, 51-61.
- MAKSIMOVIC Z., SKARPELIS N. & PANTO G. (1993) Mineralogy and geochemistry of the rare earth elements in the karstic nickel deposits of Lokris area, Greece.

- Acta Geol. Hungarica, 36, 3, 331-342.
- MONTI R. & FAZAKERLEY V.W. (1996) The Murrin Murrin Nickel Cobalt Project. In: Proc. Intern. Congress "Nickel 96 Mineral to Market" (Grimsey, E.J. & Neuss, I. Ed.), Kalgoorlie, Western Australia, 191-195.
- ΜΠΟΣΚΟΣ Ε., ΠΕΡΡΑΚΗ Θ. & ΚΟΛΟΚΟΤΡΩΝΗ Κ. (1996) Κατανομή του Ni και του Cr στις ορυκτολογικές φάσεις Fe-Ni λατεριτών της Κεντρικής Ευβοίας. Ορυκτός Πλούτος 101, 9-26.
- NAHON D. (1976) Cuirasses ferrugineuses et encrouements calcaires au Senegal occidental et en Mauritanie. Systemes evolutifs: geochemie, structure, relais et coexistence. Sci. Geol. Mem., 44, p. 232.
- NAHON D., CAROZZI A.V. & PARRON C. (1980) Lateritic weathering as a mechanism for the generation of ferruginous ooids. J. Sedim. Petrol., 50, 4, 1287-1298.
- NOKA H. (1986) The microfacial and age data of the carbonaceous rocks of the top of the weathered crust in the nickel-silicate ore deposits of Trull-Surroj and Mamez (Kukes-Albania). Bulletini i Shkencave Gjeologjile, 2, 19-32 (in Albanian with english Abstract).
- ΟΡΦΑΝΟΥΔΑΚΗ Α., ΜΠΟΣΚΟΣ Ε. & ΚΑΣΤΡΙΤΣΗΣ Ι. (1997) Ορυκτολογική και γεωχημική μελέτη του Fe-Ni-σύχου λατερίτη της περιοχής Παλαιοχωρίου (Νομός Γρεβενών). Δελτ. Ελλ.Γεωλ. Εταιρίας, 31, 7-22.
- ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΑΚΗΣ Ι. (1968) Περί μιάς εμφανίσεως Κρητιδικού της νήσου Πάρου. Πρακτ. Ακαδ. Αθην., 43, 163-174.
- RADOICIC R. (1984) The age of sediments overlying Ni-Fe deposits in the Inner Dinarides (Western Serbia, Kosovo, Macedonia). Radovi Inst. Zu geol. Rudar. Istruz., 17, 133-136 (in Serbo-Croatian with English summary).
- ROBERTSON A.H.F. (1991) Origin and emplacement of an inferred late Jurassic subduction-accretion complex, Euboea, eastern Greece. Geol. Mag. 128, 1, 27-41.
- ROSENBERG F. (1984) Geochemie und Mineralogie lateritischer Nickel- und Eisenerze in Lokris und auf Euboa, Griechenland. Thesis, Univ. of Hamburg, pp. 169.
- SCHWARZ T. (1992) Produkte und Prozesse exogener Fe-Akkumulation: Eisenoolithe und lateritische Eisenkrusten im Sudan. Berliner geowiss. Abh., (A), 142, Berlin, p. 186.
- SIEGL W. (1954) Mineralogische Untersuchung der Eisenerze von Lokris und Skyros. I.G.S.R., Athens, 116-134.
- ΣΚΑΡΠΕΛΗΣ Ν., ΠΕΡΑΙΚΟΣ Π., GALE N. & STOSS-GALE S. (1989) Σπάνιες γαίες και Χρυσός σε Ιζηματογενή νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα λατεριτικής προέλευσης: Το κοίτασμα Μαρμέϊκο (Βοιωτία, Στερεά Ελλάδα). Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρίας, 26, 121-128.
- SKARPELIS N. (1996) Lateritic weathering crusts as a source of ferruginous sphaeroidal particles of sedimentary nickel-iron ores (Greece and Albania). Beih. Z. Eur. J. Mineral., 8, 1, p. 268.

- SKARPELIS N., GRAZHDANI A. & BURRI St. (1996) Tertiary Nickel laterites of SE Albania. *Geociencias, Rev. Univ. Aveiro*, 10, 1, 1-13 (Proceedings Volume, 7th International EUROLAT Meeting, Portugal).
- SKARPELIS N. (1997) Eocene nickel laterite deposits in Greece and Albania. In: *Mineral Deposits: Research and Exploration* (Papunen ed.), 503-506, Balkema, Rotterdam.
- ΣΚΑΡΠΕΛΗΣ Ν. & ΖΑΜΠΙΕΤΑΚΗ-ΛΕΚΚΑ Α. (1998) Τα πυριτικά πετρώματα εντός των Κρητιδικών κοιτασμάτων ιζηματογενών νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων Ευβοίας και Βοιωτίας: Πετρογραφικά – στρωματογραφικά δεδομένα και μια νέα ερμηνεία προέλευσης. *Δελτίο Ελλ. Γεωλ. Εταιρείας*, 31, 3, 115-124.
- SKARPELIS N. (1999) Lateritic Weathering Crusts as a source of Ferruginous Spheroidal particles of Sedimentary nickeliferous iron ores, Greece. *Bull. Acad. Serbe Sci. & Arts*, 39, 213-224.
- STEUBER T. (1995) Die Rudisten aus der Kreide Beotiens. *Habilitationsschrift, Univ. Koln*, pp. 277.
- STEUBER T. (1993) Late Cretaceous palaeography and Hippuritid biostratigraphy of Beotia (Greece). *Bull. Geol. Soc. Greece*, 28, 3, 39-53.
- TARDY Y. & NAHON D. (1985) Geochemistry of laterites, stability of Al-goethite, Al-hematite and Fe^+_3 -kaolinite in bauxites and ferricretes: an approach to the mechanism of concretion formation. *Amer. J. Science*, 285, 865-903.
- VALETON I., BIERMANN M., RECHE R. & ROSENBERG F. (1987) Genesis of Nickel Laterites and Bauxites in Greece during the Jurassic and Cretaceous, and their relation to Ultrabasic parent rocks. *Ore Geology Reviews*, 2, 359-404.

ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΛΕΥΚΩΝ ΜΑΓΝΗΣΙΟΥΧΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ ΚΑΙ Η ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥΣ ΩΣ ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΗΣ

Μ. Σταματάκης¹, Π. Καρκάνας¹, S.D. Inglethorpe²

Περίληψη

Η εργασία αυτή περιγράφει τα ερευνητικά αποτελέσματα διετούς Ελληνο-Βρετανικού προγράμματος. Το αντικείμενο του προγράμματος ήταν η εξέταση των ποικίλων παραγενέσεων λευκών μαγνησιούχων ανθρακικών ορυκτών από τη Νεογενή λεκάνη της Κοζάνης και η δυνατότητα χρήσης τους σαν υλικά πυροπροστασίας. Το πρόγραμμα περιελάμβανε αξιολόγηση των γεωλογικών δεδομένων και των τεχνικών χαρακτηριστικών των ανωτέρω υλικών κατά την χρήση τους σαν υλικά πυροπροστασίας. Η γεωλογική και ορυκτολογική μελέτη απέδειξε ότι παραγενέσεις λευκών ανθρακικών ορυκτών που αποτελούνται κυρίως από χουντίτη, μαγνησίτη και/η υδρομαγνησίτη συναντώνται σε όλη την έκταση της λεκάνης. Σήμερα εξορύσσονται σε δύο θέσεις κοντά στο χωριό Νεράιδα και εκμεταλλεύονται βιομηχανικά κοιτάσματα που αποτελούνται από χουντίτη-υδρομαγνησίτη. Αν και τα ανωτέρω δύο ορυκτά παρουσιάζουν διαφορετικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, ο συνδυασμός των ιδιοτήτων τους καθιστά αυτά κατάλληλα για χρήσεις σαν υλικά πυροπροστασίας σε βιομηχανική κλίμακα.

Abstract

This paper present the results of a two year Joint Research Programme sponsored by the Greek Secretariat of Research & Technology and the British Council. The principal objective of this project was to examine the potential of the Mg-carbonate deposits of the Kozani basin for the mineral fire retardant market. The project consisted of a geological resource assessment and a technical assessment of fire retardant performance. The geological and mineralogical study reveals that white assemblages composed of magnesite, hydromagnesite and/or huntite occur throughout the Kozani basin. At present huntite - hydromagnesite assemblages are mined at two quarries east of Neraida village. These two minerals exhibit distinct differences in fire retardant properties, e.g. thermal stability, quantities of CO₂ and H₂O released, enthalpy of decomposition, particle size morphology etc. However, the combination of their properties makes them suitable for their industrial application as competitive fire retardants.

1. Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας, Τμήμα Γεωλογικό, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη, Άνω Ιλίσια 15784, Αθήνα.
2. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham NG12 5GG, United Kingdom.

Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ενός διετούς διεπιστημονικού ερευνητικού προγράμματος με τίτλο “Τα κοιτάσματα χουντίτη και υδρομαγνησίτη στη λεκάνη της Κοζάνης και η δυνατότητα χρήσης τους ως επιβραδυντικά καύσης”, υπό την αιγίδα της Ελληνικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας και του Βρετανικού Συμβουλίου.

Πολλά από τα υλικά επίπλωσης των ευρωπαϊκών σπιτιών περιέχουν ισχυρώς εύφλεκτα πολυμερή. Κατά την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται διάφορα επιβραδυντικά πρόσθετα με σκοπό την μείωση της πιθανότητας ανάφλεξης και της ποσότητα της παραγόμενης θερμοκρασίας, εφόσον το υλικό τελικά αναφλεγεί. Λόγω της υιοθέτησης από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα ολοένα και πιο αυστηρών περιβαλλοντικών όρων και κανονισμών ασφαλείας, προβλέπεται ότι θα αυξάνεται συνεχώς η ζήτηση από μέρους της βιομηχανίας για φυσικά ορυκτά υποκατάστατα με σκοπό την αντικατάσταση των τοξικών, διαβρωτικών, συνθετικών επιβραδυντικών καύσης (LOUGHBROUGH 1991, CLARKE 1993, O'DRISCOLL 1994).

Το πλεονέκτημα της χρήσης του φυσικού μίγματος χουντίτη/υδρομαγνησίτη σε σχέση με την χρήση βρουσίτη $Mg(OH)_2$, ή τριοξειδίου του αντιμονίου Sb_2O_3 , τα οποία χρησιμοποιούνται ευρύτατα σαν υλικά πυροπροστασίας σε πλαστικά, είναι ότι σε σχέση με το $Mg(OH)_2$ το μείγμα εμφανίζεται λιγότερο αλκαλικό, ενώ σε σχέση με το Sb_2O_3 δεν δημιουργεί επικίνδυνους καπνούς (KIRSCHBAUM, 1999).

Ο κύριος στόχος του ερευνητικού προγράμματος ήταν να εξετάσει τη δυνατότητα χρήσης των λευκών μαγνησιούχων ορυκτών κοιτασμάτων της λεκάνης της Κοζάνης, στην αγορά των επιβραδυντικών καύσης. Το πρόγραμμα περιελάμβανε γεωλογική επισκόπηση των κοιτασμάτων και τεχνική εκτίμηση της συμπεριφοράς των υλικών ως επιβραδυντικά καύσης.

Γεωλογία

Παραγένεση

Στην περιοχή που ορίζεται από τις πόλεις Κοζάνη, Αιανή και Σέρβια αναπτύσσεται μια Νεογενής λεκάνη που καταλαμβάνει έκταση περί τα 400 km². Στην λεκάνη αυτή που συνοπτικά περιγράφεται σαν Νεογενής λεκάνη Κοζάνης, διακρίνονται δύο σειρές Νεογενών στρωμάτων: η Ανώτερη Νεογενής Σειρά και η Κατώτερη Νεογενής Σειρά (ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ & ΜΠΡΟΥΣΟΥΛΗΣ 1973). Η Κατώτερη Νεογενής Σειρά περιλαμβάνει κυρίως ψαμμίτες αργίλους και μάργες οι οποίες εγκλείουν λιγνιτικά σώματα. Στην Ανώτερη Νεογενή Σειρά εμφανίζονται δολομιτικές μάργες, ψαμμίτες, διατομίτες και ασύνδετη ηφαιστειακή στάχτη πάχους 20 εκατοστών περίπου, σχηματισμοί οι οποίοι εγκλείουν στρωματοειδείς, φακοει-

δείξ και κονδυλώδεις αποθέσεις λευκών, μαγνησιούχων, κυρίως, ορυκτών ιζηματογενούς προέλευσης (STAMATAKIS et. al. 1989, STAMATAKIS 1995). Οι αποθέσεις αυτές περιέχουν κυμαινόμενα ποσά μαγνησίτη ($MgCO_3$), χουντίτη [$Mg_3Ca(CO_3)_4$], υδρομαγνησίτη [$Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$] και αραγονίτη και έχουν συνήθως πολύ καθαρό λευκό χρώμα. Τα παραπάνω ανθρακικά ορυκτά έχουν πιθανότατα αποτεθεί σε μικρά τενάγη παραλίμνιων περιοχών, τα οποία τροφοδοτούνταν από ανερχόμενα ρευστά (ZACHMANN 1989, CALVO et al. 1995). Αξιοσημείωτο είναι ότι έχουν εντοπισθεί αποθέσεις μαγνησιούχων ορυκτών σε περισσότερες από 12 θέσεις της λεκάνης (Εικ. 1), και η ορυκτολογική σύσταση της εκάστοτε παραγένεσης διαφέρει σε μικρό ή μεγάλο βαθμό (ZACHMANN 1978, STAMATAKIS 1995). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία αυτοτελών συγκεντρώσεων μαγνησιούχων ορυκτών, με συγκεκριμένη ορυκτολογία και περιορισμένη ανάπτυξη στο χώρο. Η καθίζηση των ποικίλων μαγνησιούχων ορυκτών στις επί μέρους μικρές λεκάνες ελεγχόταν από το λόγο Ca/Mg και τη μερική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα των ρευστών (STAMATAKIS 1995). Ο μαγνησίτης υπερτερεί συνήθως στις νοτιοδυτικές περιοχές της λεκάνης όπου τα περιβάλλοντα ιζήματα υπέρκεινται του υπερβασικού υποβάθρου (περιοχή Αιανής). Παραγενέσεις όπου υπερτερεί ο χουντίτης και συνοδεύεται από χουντίτη ή υδρομαγνησίτη συναντάται σε διάφορες περιοχές της λεκάνης, ανεξαρτήτως σύστασης του υποβάθρου, ενώ η παρουσία χουντίτη-υδρομαγνησίτη είναι πιο συχνή στις περιοχές που γειτνιάζουν με το ασβεστολιθικό και δολομιτικό υπόβαθρο στα ανατολικά και νοτιοανατολικά της λεκάνης (περιοχή Νεράιδας-Λεύκαρας). Παρατηρήθηκε επίσης σε μια σειρά θέσεων επανατοποθετημένος, "κλαστικός", χουντίτης μέσα σε ψαμμιτικά στρώματα (CALVO et al. 1995).

Εξόρυξη

Σήμερα, λευκά συσσωματώματα που αποτελούνται από χουντίτη και ο υδρομαγνησίτη εξορύσσονται από δύο περιοχές ανατολικά του χωριού Νεράιδα (Εικόνα 1, θέση 2, δείγματα KZ12&13). Τα ορυκτά εξορύσσονται επιλεκτικά, θραύονται, κονιοποιούνται και ταξινομούνται κοκκομετρικά με εισαγωγή αέρα (αεροταξινόμηση). Το προϊόν χρησιμοποιείται είτε ως πληρωτικό/διογκωτικό για τη βιομηχανία χρωμάτων (περιεχόμενος χουντίτης > 85%), είτε ως επιβραδυντικό καύσης προστιθέμενο σε πολυμερή (μείγμα χουντίτη-υδρομαγνησίτη ~ 1/1).

Μελέτη πεδίου

Κατά τη διάρκεια της προκαταρκτικής εργασίας υπαίθρου, μελετήθηκαν στρωματογραφικά και φωτογραφήθηκαν 12 από τις κύριες εμφανίσεις λευκών ορυκτών στη λεκάνη της Κοζάνης (ορυχεία, τομές δρόμων, δοκιμαστικές τομές, κ.ά. Για την σύνθεση των στρωματογραφικών στηλών βλ. STAMATAKIS 1995, CALVO et al. 1995). Συλλέχθηκαν επίσης συνολικά 30 δείγματα. Στη συνέχεια, οι εμφανίσεις χαρτογραφήθηκαν σε κλίμακα 1:20.000 (Εικ. 1). Περαιτέρω, συγκεκρι-

Τεχνική αξιολόγηση

Εργαστηριακές αναλύσεις

Ακτινοσκοπικές αναλύσεις (XRD) 30 δειγμάτων έδειξαν την ύπαρξη 5 ορυκτολογικών παραγενέσεων, όπως ακολούθως (Πίν. 1):

1. Χουντίτης (δείγματα KZ02B, KZ12A)
2. Υδρομαγνησίτης + μικρές ποσότητες αραγονίτη (δείγματα KZ07B, KZ13B)
3. Χουντίτης + υδρομαγνησίτης (δείγματα KZ07A, KZ13C).
4. Χουντίτης + μαγνησίτης (δείγμα KZ10A)
5. Μαγνησίτης + χουντίτης + υδρομαγνησίτης (δείγμα KZ11C).

Αν και έχουν εντοπισθεί σημαντικές μάζες μαγνησιούχων ορυκτών όπου υπερτερεί σημαντικά ο μαγνησίτης (θέσεις KZ01, KZ08 & KZ10), αυτές περιέχουν πάντοτε κυμαινόμενα ποσά άλλων ορυκτών και κυρίως χουντίτη (Πίν. 1). Για σύγκριση των θερμικών ιδιοτήτων χουντίτη-υδρομαγνησίτη-μαγνησίτη, μελετήθηκε καθαρός μαγνησίτης που προέρχεται από την ιζηματογενή λεκάνη Μπέλα Στένα Σερβίας (δείγμα BSY). Τα παραπάνω εννέα δείγματα επιλέχθηκαν για λεπτομερέστερη εργαστηριακή ανάλυση, η οποία περιελάμβανε την μελέτη τους σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM).

Τα αποτελέσματά της μελέτης με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο έχουν ως ακολούθως. Στο δείγμα KZ13B, τυχαία προσανατολισμένα επάλληλα συσσωματώματα πινακοειδών κρυστάλλων υδρομαγνησίτη, μεγέθους 5-20 μικρών, σχηματίζουν ένα συμπαγές δίκτυο. Σε σύγκριση, οι κρύσταλλοι χουντίτη είναι λεπτότεροι, αποστρογγυλευμένοι και με μεγέθη μικρότερα των 2 μικρών, όπως παρατηρήθηκε στο δείγμα KZ12A (Εικ. 2, 3). Οι κρύσταλλοι μαγνησίτη είναι αρκετά μεγαλύτεροι των 20 μικρών και η μορφή τους υπιδιόμορφη έως αλλοτριόμορφη.

Η χημική ανάλυση με φθορισμό ακτίνων-X έδειξε ότι τα δείγματα δομούνται σχεδόν αποκλειστικά από ανθρακικό μαγνήσιο και ασβέστιο (Πίν. 2). Συστατικά όπως σίδηρος, τιτάνιο, στρόντιο, ζirkόνιο, βάριο, φωσφόρος, αλκάλια, μαγγάνιο, πυρίτιο και αργίλιο περιέχονται σε ασήμαντες ποσότητες. Στην απουσία προσμείξεων, και κυρίως του σιδήρου, οφείλεται και το λευκό χρώμα των μαγνησιούχων παραγενέσεων. Το δείγμα KZ10A εμφανίζει αυξημένη παρουσία πυριτίου που οφείλεται στην ύπαρξη κελυφών διατόμων (οπάλιος-A) στην παραγένεση του δείγματος (Πίν. 1).

Θερμική συμπεριφορά

Η Ανάλυση Εκλυόμενου Αερίου (Evolved Gas Analysis – EGA) του χουντίτη έδειξε ότι κατά τη θέρμανση το CO₂ που περιέχει απελευθερώνεται σε δύο διαφορετικά επεισόδια: στους 500-700 °C και στους 700-900 °C και σε μία αναλογία μάζας 3:1, η οποία αντιστοιχεί στην απελευθέρωση του CO₂ από τα MgCO₃ και CaCO₃ συστατικά του, αντίστοιχα (Εικ. 4α). Η Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρω-

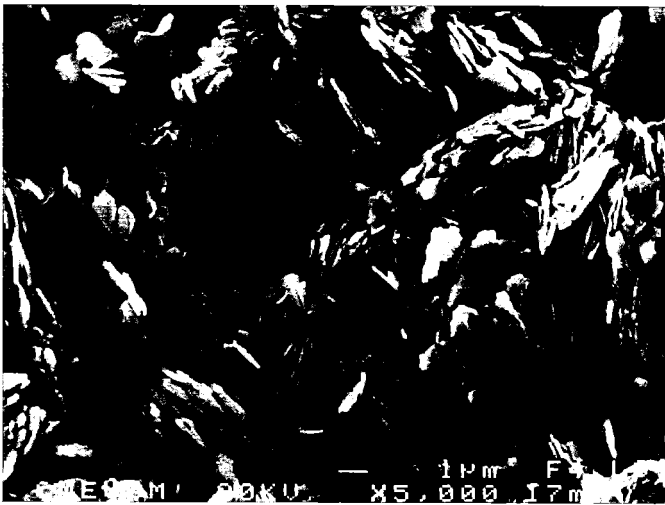
Πίνακας 1. Ορυκτολογική ανάλυση αντιπροσωπευτικών δειγμάτων που επιλέχθηκαν για περαιτέρω εργαστηριακές δοκιμές

Κωδ.	Δείγμα	Περιγραφή	Θέση	Ορυκτολογική ανάλυση		Δευτερεύουσες φάσεις
				Κύριες φάσεις		
388	KZ02A	Κονδυλώδης χουντίτης μέσα σε μάζα μαγνησίτη	1	μαγνησίτης, χουντίτης		
389	KZ02B	Κόνδυλος χουντίτη	1	χουντίτης		χουντίτης
390	KZ03	Συμπαγής μαγνησίτης	1	μαγνησίτης		
391	KZ04	Κόνδυλοι υδρομαγνησίτη σε μάζα χουντίτη	9	χουντίτης, υδρομαγνησίτης		
392	KZ05	Κόνδυλοι χουντίτη σε μάζα μαγνησίτη	9	μαγνησίτης		χουντίτης
393	KZ06	Συμπαγής μαγνησίτης	7	μαγνησίτης		χουντίτης
395	KZ07A	Πορώδη/σπογγώδη σκληρά συσσωματώματα	11	υδρομαγνησίτης		
396	KZ07B	Εξοργιμένο πορώδες υλικό	11	υδρομαγνησίτης		ασβεστίτης
397	KZ08A	Συμπαγής μαγνησίτης	10	μαγνησίτης		χουντίτης
398	KZ08B	Συμπαγής μαγνησίτη σε μάζα μαγνησίτη	10	μαγνησίτης, χουντίτης		
400	KZ09	Κλαστικοί κόκκοι χουντίτη σε μάζα μαγνησίτη	5	χουντίτης		ασβεστίτης
401	KZ10A	Μάζες πλαστικού χουντίτη	12	χουντίτης		μαγνησίτης, οπάλιος-A
402	KZ10B	Πορώδη/σπογγώδη σκληρά συσσωματώματα	12	μαγνησίτης		χουντίτης
403	KZ10C	Συμπαγής μαγνησίτης	12	μαγνησίτης		χουντίτης
405	KZ11B	Πορώδη/σπογγώδη σκληρά συσσωματώματα	3	χουντίτης, υδρομαγνησίτης		
406	KZ11C	Μάζες πλαστικού χουντίτη	3	μαγνησίτης		χουντίτης, υδρομαγνησίτης
407	KZ11D	Πλήρωση φωγμής από χουντίτη	3	χουντίτης		
408	KZ12A	Οριζοντας πλατύσιος σε χουντίτη	2	χουντίτης		υδρομαγνησίτης
409	KZ12B	Οριζοντας πλατύσιος σε χουντίτη	2	χουντίτης		
410	KZ12C	Λεπτοσφαιματώδης οριζοντας πλαστικού χουντίτη	2	χουντίτης		
411	KZ12D	Κονδυλώδης χουντίτης σε μάζα υδρομαγνησίτη	2	χουντίτης		υδρομαγνησίτης
412	KZ12E	Πλήρωση φωγμής από χουντίτη	2	χουντίτης		υδρομαγνησίτης
413	KZ13A	Τραβερτινοειδές υλικό	2	χουντίτης		υδρομαγνησίτης
414	KZ13B	Ακανόνιστη λευκή μάζα σε χουντίτη	2	χουντίτης		υδρομαγνησίτης
415	KZ13C	Χουντίτης/υδρομαγνησίτης από το ορυχείο	2	χουντίτης, υδρομαγνησίτης		ασβεστίτης, άργιλοι
416	KZ13D	Απολιθωματοφόρος οριζοντας	2	αργονίτης		ασβεστίτης
417	KZ13E	Λευκά ορυκτά από το μέτωπο εξόρυξης	2	αργονίτης		χουντίτης, άργιλοι
418	GGB	Υλικό εξόρυξης, ορυχείο Γεωργιάδη	2	χουντίτης, υδρομαγνησίτης		
419	BSY	Ιζηματογενής, Μαγνησίτης, Μπέλα Στένα Γιουργκοσλαβίας		μαγνησίτης		



Εικόνα 2. Φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου του δείγματος KZ12A (χουντίτης). Διακρίνονται πλακώδεις μικροκρύσταλλοι του ορυκτού

Figure 2. SEM microphotograph of huntite sample (KZ12A). The very fine-grained, tabular crystals of huntite are visible.



Εικόνα 3. Φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου του δείγματος KZ13C (χουντίτης-υδρομαγνησίτης). Η διάκριση των δύο πολύ λεπτόκοκκων ορυκτών είναι αβέβαιη.

Figure 3. SEM microphotographs of huntite/hydromagnesite assemblages (sample KZ13C). The distinction among the two fine grained flake-like minerals is almost impossible.

Πίνακας 2. Αναλύσεις 11 επιλεγμένων δειγμάτων με XRF

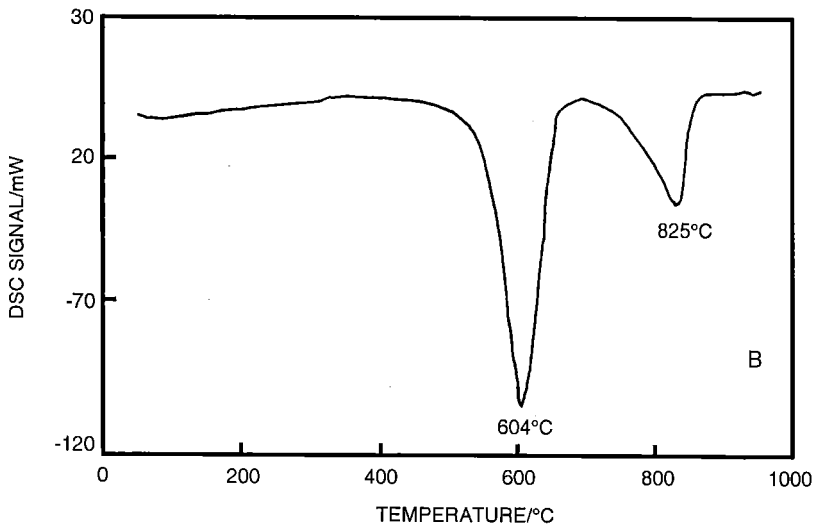
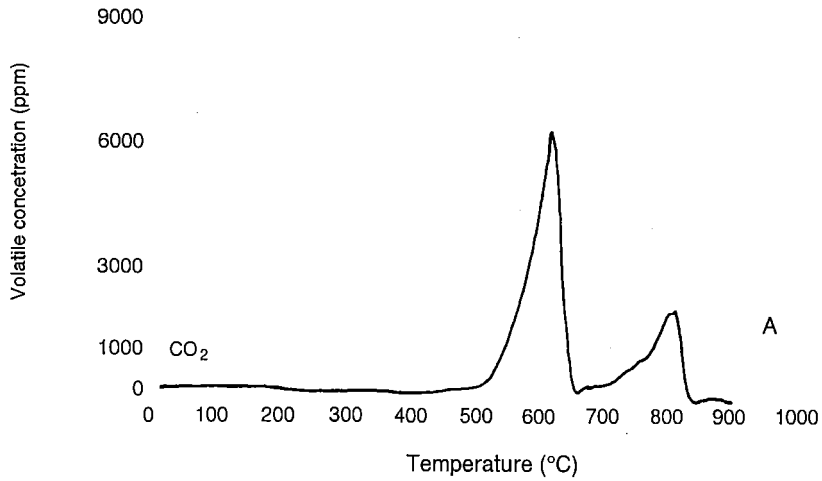
%	KZO2B	KZO4	KZO7A	KZO7B	KZO10A	KZ11C	KZ12A	KZ13B	KZ13C	GGB	BSY
SiO ₂	0.42	4.45	5.09	3.93	13.39	0.27	0.96	0.02	2.41	0.26	0.96
TiO ₂	0.01	0.03	0.04	0.01	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.10	0.69	0.73	0.17	1.19	0.05	0.20	0.01	0.02	0.06	0.01
Fe ₂ O ₃ *	0.07	0.60	0.49	0.13	0.82	0.04	0.11	0.00	0.02	0.04	0.01
Mn ₃ O ₄	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	33.88	35.57	35.80	28.00	33.37	43.19	33.76	40.79	39.17	37.02	46.80
CaO	15.70	9.33	7.69	18.75	10.38	3.98	15.38	3.13	6.31	10.51	0.75
Na ₂ O	0.22	0.06	0.03	0.03	0.22	0.03	0.25	0.02	0.21	0.15	0.00
K ₂ O	0.01	0.08	0.09	0.02	0.18	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00
P ₂ O ₅	0.05	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01
Cr ₂ O ₃	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SrO	0.03	0.02	0.02	0.06	0.06	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00
ZrO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
BaO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
LOI	49.52	50.21	50.21	48.71	40.50	52.41	49.18	56.00	51.82	52.23	50.79
Total	100.03	100.26	100.26	99.87	100.21	100.01	99.93	99.97	100.00	100.30	99.34

LOI (απώλεια πύρωσης): ι ώρα στους 1050οC

• ολικός σίδηρος

Τα δείγματα ξηράθηκαν στους 105οC πριν την απώλεια πύρωσης

σης (DSC) έδειξε ότι και τα δύο στάδια έκλυσης του CO₂ είναι ενδοθερμικά (Εικ. 4β).



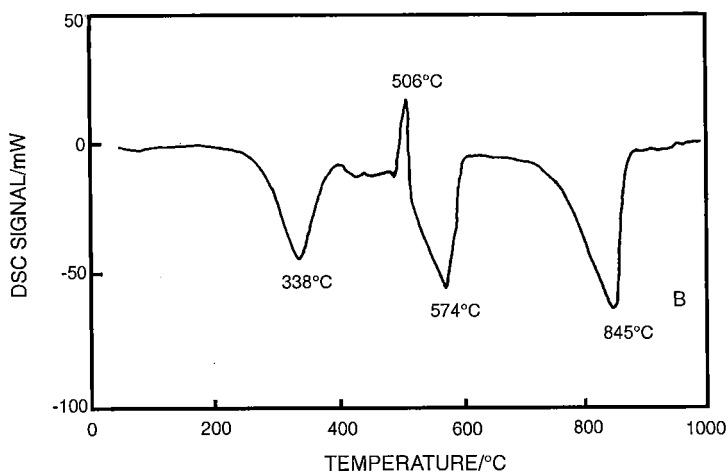
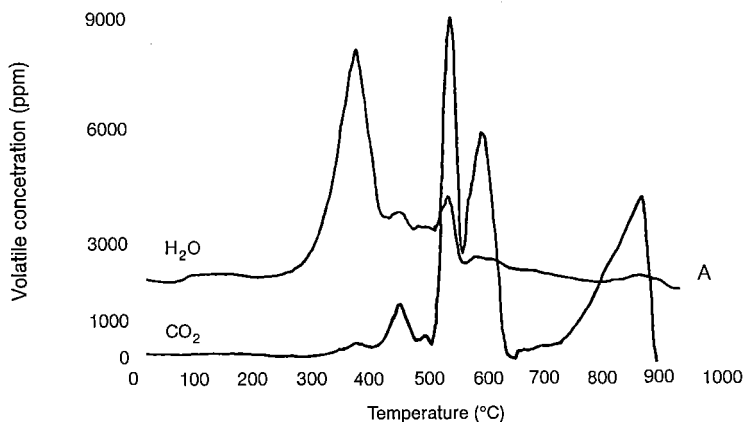
Εικόνα 4α. Ανάλυση εκλυόμενου αερίου δείγματος χουντίτη (KZ12A).

Εικόνα 4β. Διαφορική θερμοδομετρία σάρωσης δείγματος χουντίτη (KZ12A).

Figure 4a. Evolved gas analysis (EGA) of huntite (KZ12A).

Figure 4b. Differential scanning calorimetry (DSC) of huntite (KZ12A).

Η ανάλυση με EGA του υδρομαγνησίτη επιβεβαίωσε ότι κατά την πύρωσή του ελευθερώνονται, τόσο CO₂ όσο και H₂O (Εικ. 5α). Το κρυσταλλικό νερό απελευθερώνεται στους 225-400 °C, και ακολουθείται από το νερό των υδροξυλίων στους 420-650 °C. Το CO₂ εκλύεται σε τρία διακριτά στάδια. Αρχικά, εκλύεται μία μικρή



Εικόνα 5α. Ανάλυση εκλυόμενου αερίου δείγματος υδρομαγνησίτη με ίχνη αραγονίτη (KZ07B).

Figure 5a. Evolved gas analysis (EGA) of hydromagnesite plus minor aragonite (KZ07B).

Εικόνα 5β. Διαφορική θερμοδομετρία σάρωσης δείγματος υδρομαγνησίτη με ίχνη αραγονίτη (KZ07B).

Figure 5b. Differential scanning calorimetry (DSC) of hydromagnesite plus minor aragonite (KZ07B).

ποσότητα CO₂ στους 300-500°C ταυτόχρονα με την απελευθέρωση του κρυσταλλικού νερού. Μια περαιτέρω μικρή ποσότητα CO₂ εκλύεται απότομα στους 520-565°C. Αυτό αντιστοιχεί με μία οξεία ενδοθερμική κορυφή στο DSC η οποία σηματοδοτεί την κρυστάλλωση MgCO₃ (Εικ. 5β). Η μεγαλύτερη ποσότητα CO₂ εκλύεται τελικά σε θερμοκρασία 565-650°C και αφορά το CO₂ που ελευθερώνεται από το περιεχόμενο MgCO₃ (Πίν. 3, 4).

Ο μαγνησίτης παρουσιάζει την πιο απλή καμπύλη απώλειας αερίων, μια και το περιεχόμενο CO₂ ελευθερώνεται σε θερμοκρασίας περί τους 676°C (Πίν. 3, 4).

Πίνακας 3. Αποτελέσματα από την ανάλυση εκλυόμενων αερίων κατά την αποδόμηση μαγνησιούχων ανθρακικών ορυκτών (EGA)

Δείγμα	H ₂ O (%)	CO ₂ (%)	Σύνολο
KZO2B	2.1	47.9	50.0
KZO7B	13.3	36.5	49.8
KZ11C	9.6	45.0	54.6
KZ12A	2.9	46.3	49.2
KZ13B	16.9	38.4	55.2
KZ13C	11.2	39.4	50.6
BSY	1.4	52.5	53.9

Πίνακας 4. Κύριες θερμοκρασιακές κορυφές Διαφορικής Σαρωτικής Θερμιδομετρίας (DSC) Δείγμα Κύριες θερμοκρασιακές κορυφές (°C). Το * δηλώνει εξώθερμη αντίδραση

KZO2B			617		813
KZO4	332	496*	577	600	801
KZO7A	342	502*	577		801 832*
KZO7B	338	508*	574		833*
KZ10A			621		777 848
KZ11C	316	435	557	646	755 835*
KZ12A			604		828
KZ13B	343		578		762
KZ13C	341	440	544	616	774
GGB	336	484*	515	617	801
BSY					676

Επιβράδυνση καύσης

Η αγορά ορυκτών ως επιβραδυντικών καύσης αναμένεται να αυξηθεί ραγδαία τα επόμενα 2-6 χρόνια. Τα σημαντικότερα ορυκτά της κατηγορίας των επιβραδυντικών καύσης είναι μεταλλικά υδροξείδια, όπως το "ATH" $[Al(OH)_3]$ και ο βρουσίτης $[Mg(OH)_2]$, καθώς και ανθρακικά στα οποία περιλαμβάνονται ο υδρομαγνησίτης και ο χουντίτης (LOUGHBROUGH 1991, CLARKE 1993, O'DRISCOLL 1994). Η συμπεριφορά των λευκών ορυκτών της Κοζάνης ως επιβραδυντικά καύσης και προσθετικά σε πολυμερή αξιολογήθηκε κατόπιν εξετάσεως των παρακάτω ιδιοτήτων:

- Έναρξη θερμικής διάσπασης
- Θερμοκρασία έκλυσης CO_2 και H_2O
- Ποσότητα εκλυόμενων CO_2 και H_2O
- Ενθαλπία διάσπασης
- Ειδική επιφάνεια μετά την διάσπαση
- Μέγεθος κόκκων
- Χρώμα.

Συμπεράσματα

Τα πληρωτικά που χρησιμοποιούνται σαν επιβραδυντικά καύσης πρέπει να ενεργοποιούνται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, να είναι λεπτόκοκα, με μεγάλη ειδική επιφάνεια και να έχουν λευκό χρώμα. Από τα τρία μαγνησιούχα ορυκτά που εξετάστηκαν, καθώς και τις παραγενέσεις τους προκύπτει ότι μίγματα χουντίτη-υδρομαγνησίτη εμφανίζουν αξιοσημείωτη θερμική συμπεριφορά, ελευθερώνοντας σε ένα επιθυμητό εύρος θερμοκρασιών νερό και διοξείδιο του άνθρακα τα οποία επιβραδύνουν ή αποτρέπουν την ανάφλεξη των υλικών στα οποία εφαρμόζονται σαν πληρωτικά. Αντίθετα, ο μαγνησίτης και τα μίγματα όπου υπερισχύει ο μαγνησίτης δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν επιβραδυντές καύσης, κυρίως λόγω της υψηλής θερμοκρασίας διάσπασης, της σκληρότητας και της κοκκομετρίας του $MgCO_3$.

Ο υδρομαγνησίτης και ο χουντίτης που συνθέτουν το εκμεταλλεύσιμο κοιτάσμα της περιοχής Νεράιδας Κοζάνης, παρουσιάζουν διακριτές διαφορές στις ιδιότητές τους ως επιβραδυντικά καύσης, δηλ. στη θερμική σταθερότητα, ποσότητα εκλυόμενων CO_2 και H_2O , ενθαλπία διάσπασης, κοκκομετρία και μορφολογία. Ενώ ο χουντίτης είναι θερμικά σταθερός καθ' όλο το θερμοκρασιακό πλαίσιο σταθερότητας των πολυμερών ($150-350^\circ C$), η έναρξη διάσπασης του υδρομαγνησίτη γύρω στους $250^\circ C$ είναι πάνω από τη θερμοκρασία επεξεργασίας των PE, EVA και PVC πολυμερών, αλλά κάτω από τη θερμοκρασία επεξεργασίας των PP, PA6 και PBT τύπων πολυμερών.

Ένα σημείο που χρήζει περαιτέρω μελέτης είναι το ότι η διάσπαση του υδρομαγνησίτη είναι τουλάχιστον μερικώς εξώθερμη. Θα πρέπει να ελεγχθεί το

πόσο αυτό επιδρά στην τελική απόδοση του ορυκτού αυτού ως επιβραδυντικού καύσης.

Όσον αφορά τον χουντίτη, ευπρόσδεκτο στοιχείο είναι το μικρό μέγεθος των κόκκων του, μιά και η δυνατότητα μείωσης της παραγωγής καπνού από τα επιβραδυντικά καύσης στηρίζεται στη δημιουργία μεγάλης ειδικής επιφάνειας των οξειδίων κατά το στάδιο της διάσπασης.

Η γεωλογική έρευνα και τα τεχνικά δεδομένα που συγκεντρώθηκαν κατά τη διάρκεια της διετούς αυτής μελέτης απέδωσαν βασικές πληροφορίες χρήσιμες τόσο στους παραγωγούς των ορυκτών όσο και στους τελικούς χρήστες στη βιομηχανία των πολυμερών.

Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς εκφράζουν τις ευχαριστίες τους προς την Γενική Γραμματεία Έρευνας & Τεχνολογίας και το Βρετανικό Συμβούλιο για την συνδρομή τους στην επιτυχή περάτωση της ανωτέρω έρευνας. Ευχαριστίες εκφράζονται επίσης σε δύο ανώνυμους κριτές, τον καθηγητή κ. Μ. Βαβελίδη και τον γεωλόγο κ. Χ. Βασιλάτο για την βοήθειά τους την άρτια παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανωτέρω εργασίας.

Βιβλιογραφία

- ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ Ι. & ΜΠΡΟΥΣΟΥΛΗΣ Ι. (1973). Η λιγνιτική λεκάνη Κοζάνης-Σερβίων. Κοιτασματολογικές Έρευνες Νο 1. ΙΓΜΕ, Αθήναι. σελ. 77.
- CALVO J.P., STAMATAKIS M.G. & MAGGANAS A.K. (1995). Clastic huntite in Upper Neogene formations of the Kozani basin, Macedonia, northern Greece. *Journal of Sedimentary Research*, A65, 627-632.
- CIRSCHBAUM G.S. (1999). The benefits of using huntite/hydromagnesite in plastics. *Industrial Minerals*, No. 384, 83-84.
- CLARKE G. (1993). Magnesia. Hard times in soft markets. In: *Raw materials for the refractories industry*. O'Driscoll & J.B. Griffiths eds. *Metal Bulletin*, 79-97.
- INGLETHORPE S.D.J. & STAMATAKIS M.G. (1997). 1996/1997 report for the Joint Research Programme project "potential of huntite-hydromagnesite deposits, Kozani, Greece, for use as mineral retardants", funded by the British Council (BC) and the Greek Secretariat of Research and Technology (GSRT). Short report of the British Geological Survey MPSR/97/32C.
- LOUGHBROUGH R. (1991). Flame retardants. Legislation fires markets. *Industrial Minerals* No 284, 35-43.
- O'DRISCOLL M.J. (1994). Caustic magnesia markets. *Industrial Minerals*. 318, 23-45.
- SKILLEN A. (1993). Greek minerals outlook. *Industrial Minerals*, 313, 31-49.
- STAMATAKIS M.G., ECONOMOU M., KOLOKOTRONI M. & CHRISTOULA M. (1989). Petrology and geochemistry of the Neogene Mg-rich sediments of Kozani-

- Eani-Servia area, Northern Greece. Bull. Acad. Serbe, Sciences Naturalles, 31, 13-23.
- STAMATAKIS M.G. (1995). Occurrence and genesis of huntite-hydromagnesite assemblages, Kozani, Greece-important new white fillers and extenders. IMM Transactions-B, 179-186.
- ZACHMANN D.W. (1989). Mg-carbonate deposits in freshwater environment. Monograph Series on Mineral Deposits, 28, 61-94.

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΜΟΡΦΩΝ
ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΚΑΙ ΤΟΞΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΕ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗ
ΛΙΓΝΙΤΗ ΚΑΙ ΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ ΤΟΥ ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ
ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΣΕ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΛΑΦΗ
ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ-ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΟΣ**

Χ. Τζούλης¹, Φ. Γερούκη¹, Α.Η. Φώσκολος²

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία εφαρμόζεται η διαφοροποιημένη από το ΙΓΜΕ μεθοδολογία των διαδοχικών εκχυλίσεων σε δείγματα τροφοδότη λιγνίτη, υπτάμενης τέφρας, αποθέσεων τέφρας και εδαφών της περιοχής Κοζάνης-Πτολεμαΐδος. Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται σε 5 στάδια, σύμφωνα με τα οποία προσδιορίζεται το ανταλλάξιμο, ανθρακικό, αναγωγικό, οξειδώσιμο και υπολειμματικό κλάσμα των μετάλλων. Τα δύο πρώτα κλάσματα αντιπροσωπεύουν το ευκόλως διαθέσιμο μέρος του μετάλλου, τα επόμενα δύο το δυνητικά διαλυτοποιούμενο κάτω από κατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες, ενώ το υπολειμματικό αντιπροσωπεύει το αδιάλυτο κλάσμα. Η εφαρμογή της μεθόδου κατέδειξε ότι όλα τα μελετηθέντα ιχνοστοιχεία για τα διάφορα δείγματα, συγκεντρώνονται κατά το μεγαλύτερο μέρος τους στο υπολειμματικό κλάσμα, ενώ οι υδατοδιαλυτές / ανταλλάξιμες μορφές τους είναι εξαιρετικά χαμηλές. Εξίσου χαμηλές συγκεντρώσεις παρατηρούνται και με την εφαρμογή της πρότυπης δοκιμής τοξικότητας TCLP.

Abstract

In the present study, the modified by IGME methodology of sequential extractions is applied in various samples from the Kozani - Ptolemais area. The samples are feed stock lignite, fly ash mixed with soil from the dumping sites, and soils. This method, is usually applied for the determination of the potentially dissolved fraction of a sample, under varying environmental conditions. The applied methodology proceeds in five stages and in each stage the (a) exchangeable, (b) carbonate, (c) Fe / Mn oxide, (d) organic and (e) residual associated fraction of the heavy metal are determined. The first two phases represent the easily available part of the metals, the following two phases represent the part of the metals which could be released under specific environmental conditions while the last, represents the undissolved phase. The application of the sequential extraction procedure reveals, that in all treated samples, the greater part of the trace elements was concentrated in the residual phase while the exchangeable fraction was extremely low. Equally low concentrations derived from the application of the TCLP methodology.

1. ΙΓΜΕ Μεσογείων 70, 11527 Αθήνα.
2. Πολυτεχνείο Κρήτης.

Εισαγωγή

Ένα από τα προβλήματα που προκύπτουν από την εκμετάλλευση του λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είναι η επίδραση της συγκεκριμένης δραστηριότητας στο περιβάλλον. Η περιεκτικότητα της ιπτάμενης τέφρας (ι.τ.) σε διάφορα ιχνοστοιχεία καθώς και η επίδραση της διαφεύγουσας ι.τ. στα εδάφη και νερά των περιοχών που φιλοξενούν τους ΑΗΣ αποτέλεσε για χρόνια αντικείμενο επιστημονικής μελέτης (MATTIGOD et al. 1990, NRIAGU 1990, GEORGAKOPOULOS et al. 1994, ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ κ.α. 1996, SWAINE & GOODARZI 1995, GEORGAKOPOULOS 1996).

Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η ολική συγκέντρωση ενός στοιχείου στην τέφρα, όπως και σε οποιοδήποτε άλλο φυσικό υλικό, δεν αποτελεί αξιόπιστη απόδειξη για την δυνατότητα διάλυσής του στο νερό και την περαιτέρω εισαγωγή του στο οικοσύστημα. Ένας αριθμός παραγόντων, όπως ο τρόπος σύνδεσής του στις διάφορες ορυκτοχημικές φάσεις, η θερμοκρασία καύσης του λιγνίτη, το pH της τέφρας ή και του εδάφους το δυναμικό οξειδοαναγωγής, είναι μερικοί από τους παράγοντες που καθορίζουν την διαλυτοποίηση του κάθε στοιχείου, άρα και τα όρια της ενδεχόμενης επικινδυνότητάς του.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια διερεύνησης του τρόπου σύνδεσης των μελετηθέντων ιχνοστοιχείων σε δείγματα από την λεκάνη Κοζάνης-Πτολεμαΐδας δεδομένου ότι μελέτες της ι.τ. των ΑΗΣ της περιοχής έχει δείξει ότι υπάρχει εξαιρετικά μεγάλη διαφορά μεταξύ των ολικών συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων στην ι.τ. και των συγκεντρώσεων που παρατηρούνται στα υδατικά της εκχυλίσματα (Πίν. 1.1α) (GEROUKI et al. 1996).

Για τους στόχους αυτής της μελέτης αναλύθηκαν δείγματα από τον τροφοδότη λιγνίτη, την ιπτάμενη τέφρα, τις αποθέσεις της τέφρας, τις καλλιεργούμενες αποθέσεις της ι.τ., καθώς και δείγματα εδάφους από δύο περιοχές, με pH εδάφους ~5.8 (Αναρράχη) και 7.4 (Κοιλάδα).

Μεθοδολογία

Για τον χαρακτηρισμό των δειγμάτων από πλευράς τοξικότητας χρησιμοποιήθηκε η πρότυπη δοκιμή τοξικότητας TCLP, USEPA. Η δοκιμή συνίσταται στην εκχύλιση των στερεών δειγμάτων με ρυθμιστικό διάλυμα οξικού οξέος για δείγματα με pH > 5,7.

Για τον προσδιορισμό του τρόπου με τον οποίο είναι συνδεδεμένα τα βαρέα και τοξικά στοιχεία στις διάφορες ορυκτολογικές φάσεις εφαρμόστηκε η μέθοδος των διαδοχικών εκχυλίσεων (Δ.Ε.). Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί "τυποποιημένη" μέθοδο Δ.Ε. η οποία αναπτύχθηκε από το ΙΓΜΕ (ΤΖΟΥΛΗΣ & ΚΑΜΙΝΑΡΗ 1999) και αποτελεί τροποποίηση/βελτίωση της γνωστής μεθόδου των TESSIER et al. (1979). Η μεθοδολογία περιλαμβάνει πέντε στάδια σύμφωνα με τα οποία προσδιορίζονται οι α) ανταλλάξιμες, β) ανθρακικές, γ) αναγώγιμες (συνδεδεμένες με

Πίνακας 1. Συγκεντρώσεις κυρίων στοιχείων και ιχνοστοιχείων στις ιπτάμενες τέφρες των ΑΗΣ Αμυνταίου, Πτολεμαΐδας, Καρδιάς και Αγίου Δημητρίου (Από Gerouki et al.1996)
Table 1. Concentrations of major and trace elements in fly ashes from the power stations of Amynteon, Ptolemais, Kardias and Ag.Dimitrios (From Gerouki et al 1996)

Εκατοστιαία Σύσταση										
Ιπτάμενες τέφρες										
Ατμοηλεκτρικών σταθμών	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃ ⁼	P ₂ O ₅	LOI
Αμυνταίου	41.55	16.00	7.60	24.10	3.60	1.20	0.63	2.62	0.69	2.15
Πτολεμαΐδας	32.30	18.95	7.72	30.90	3.80	0.80	0.22	2.80	0.74	1.75
Καρδιάς	28.80	13.85	5.75	39.80	4.15	0.95	0.35	3.07	0.68	2.82
Αγίου Δημητρίου	33.10	14.80	5.88	34.40	4.90	0.95	0.32	3.05	0.70	2.45

Συγκεντρώσεις σε ppm										
Ιπτάμενες τέφρες										
Ατμοηλεκτρικών σταθμών	Pb	Ni	Cu	Cr	Zn	Cd	Co	Hg*	As*	
Αμυνταίου	22	116	92	160	62	0.2	24	52	<50	
Πτολεμαΐδας	28	178	98	230	51	1.7	23	27	<50	
Καρδιάς	23	258	37	270	51	1.0	20	33	<50	
Αγίου Δημητρίου	29	328	38	310	56	1.2	20	46	<50	

* Συγκεντρώσεις σε ppb

Πίνακας 1α. pH σε υδατικά διαλύματα ιπτάμενης τέφρας (1:10) και συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στο υδατικό Εκχύλισμα

Table 1a. pH and concentrations of trace elements in aqueous solutions of fly ash

Συγκεντρώσεις υδατοδιαλυτών στοιχείων σε ppm										
Ιπτάμενες τέφρες										
Ατμοηλεκτρικών σταθμών	pH	Pb	Ni	Cu	Cr	Zn	Cd	Co	Hg*	As*
Αμυνταίου	12.39	< 0.1	< 0.1	0.1	0.1	0.1	< 0.01	< 0.1	< 10	< 10
Πτολεμαΐδας	12.35	< 0.1	< 0.1	0.2	0.4	0.3	< 0.01	< 0.1	< 10	< 10
Καρδιάς	12.37	< 0.1	< 0.1	0.2	0.5	0.1	< 0.01	< 0.1	< 10	< 10
Αγίου Δημητρίου	12.38	< 0.1	< 0.1	0.1	0.5	0.2	< 0.01	< 0.1	< 10	< 10

* Συγκεντρώσεις σε ppb

οξειδία του Fe και Mn), δ) οργανικές και ε) υπολειμματικές μορφές.

Τα δύο πρώτα στάδια αντιπροσωπεύουν τα ευκόλως διαθέσιμα στοιχεία (άρα και ενδεχομένως τοξικά) τα υπόλοιπα δύο μπορούν κάτω από κατάλληλες οξειδο / αναγωγικές περιβαλλοντικές συνθήκες να διαλυτοποιηθούν ενώ το υπολειμματικό στάδιο (5) αντιπροσωπεύει το αδιάλυτο κλάσμα. Για την εκχύλιση των δειγμάτων

χρησιμοποιήθηκε δείγμα βάρους 5gr ενώ τα αντιδραστήρια κατά σειρά αύξουσας ισχύος είναι: α) $MgCl_2$, β) CH_3COONa , γ) $NH_2OH \cdot HCl$, δ) πυκνό H_2O_2 και ε) Aqua Regia. Οι προσδιορισμοί των διαφόρων ιχνοστοιχείων έγιναν με συσκευή ατομικής απορρόφησης.

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Τα αποτελέσματα της δοκιμής τοξικότητας TCLP καθιστούν φανερό, ότι κανένα από τα μελετηθέντα δείγματα, για τα στοιχεία που αναλύθηκαν, δεν δημιουργεί πρόβλημα στο περιβάλλον, δεδομένου, ότι οι συγκεντρώσεις των διαλυτοποιούμενων ιχνοστοιχείων είναι εξαιρετικά χαμηλές. Όπως εξ ίσου χαμηλές είναι και οι συγκεντρώσεις που παρατηρούνται στο πρώτο στάδιο των Δ.Ε. Στο στάδιο αυτό, διαλυτοποιούνται οι υδατοδιαλυτές μορφές των ιχνοστοιχείων, οι ασθενώς προσροφημένες καθώς και τα ανταλλάξιμα κατιόντα. Οι μορφές αυτές είναι ευδιάλυτες και χαρακτηρίζονται ως άμεσα βιοαπολήψιμες, αλλά στην παρούσα εργασία δεν φαίνεται να παρατηρείται τέτοια συμπεριφορά.

Από την σύγκριση των δεδομένων των υπολοίπων 4 σταδίων των Δ.Ε. προκύπτει, ότι για όλα τα δείγματα και όλα τα ιχνοστοιχεία με εξαίρεση το Cd, του οποίου οι συγκεντρώσεις είναι πολύ χαμηλές σε όλα τα στάδια των ΔΕ, το μεγαλύτερο μέρος των στοιχείων συγκρατείται στο υπολειμματικό κλάσμα (Πίν. 2). Το κλάσμα αυτό αποτελείται κυρίως από πυριτικά και άλλα ανθεκτικά ορυκτά (π.χ. οξειδία, σουλφίδια) καθώς και ανθεκτικές οργανικές ενώσεις. Το συγκεκριμένο κλάσμα, κάτω από οποιοσδήποτε περιβαλλοντικές συνθήκες είναι αδιάλυτο, αφού για την διάσπαση των διαφόρων ορυκτοχημικών φάσεων, απαιτείται χρήση πολύ ισχυρών αντιδραστηρίων όπως aqua regia. Επομένως οι όποιες συγκεντρώσεις παρατηρούνται, δεν μπορούν να έχουν οποιαδήποτε περιβαλλοντική επίδραση.

Το δεύτερο στάδιο των ΔΕ αφορά ιχνοστοιχεία τα οποία είναι συνδεδεμένα με ανθρακικές φάσεις. Με τις φάσεις αυτές συνδέονται αρκετά σημαντικές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (PICKERING 1986). Η σύνδεση πραγματοποιείται συνήθως με αντικατάσταση των κατιόντων Ca και Mg από κατιόντα ιχνοστοιχείων παραπλήσιου μεγέθους. Από τον πίνακα 2 παρατηρείται ότι μόνο στο δείγμα της ιπτάμενης τέφρας παρατηρούνται κάποιες συγκεντρώσεις –όχι σημαντικές– στα στοιχεία Zn, Cr, Ni. Προφανώς οι συγκεντρώσεις αυτές συνδέονται με το μεγάλο ποσοστό του CaO που παρουσιάζουν οι ιπτάμενες τέφρες των ΑΗΣ της περιοχής (Πίν. 1).

Το τρίτο στάδιο των Δ.Ε αφορά ιχνοστοιχεία συνδεδεμένα με οξειδία Fe και Mn. Τα συγκεκριμένα οξειδία/υδροξειδία είναι γνωστά για την ικανότητα συγκράτησης ιχνοστοιχείων (HAWKES & WEBB 1962, LEVINSON 1974). Η σύνδεση των διαφόρων ιχνοστοιχείων μπορεί να είναι είτε ασθενής (σε ανταλλάξιμη μορφή) είτε μετρίου βαθμού (π.χ. στα άμορφα οξειδία) ή ακόμη και σχετικά ισχυ-

Πίνακας 2. Συγκεντρώσεις μελετηθέντων ιχνοστοιχείων και κατώτερα όρια ανίχνευσης στα διάφορα στάδια των διαδοχικών εκχυλίσεων

Table 2. Concentrations of traces elements and detection limits in the various fractions of sequential extractions

ΛΙΓΝΙΤΗΣ ΚΑΡΑΙΑΣ								
Συγκεντρώσεις σε P.P.M.								
	Cu	Pb	Zn	CO	Ni	Cr	Cd	Li
ΣΤΑΔΙΟ 1 Εναλλακτικά	-	< 0,8	0,5	< 0,4	0,4	< 1,5	< 0,1	-
ΣΤΑΔΙΟ 2 Προσορ. σε CaCO ₃ / CaO / MgCO ₃	-	< 1,5	0,6	< 1	0,9	< 2	< 0,2	-
ΣΤΑΔΙΟ 3 Προσορ. σε FeO / MnO	-	< 0,8	0,8	< 0,4	0,9	< 1,5	< 0,1	-
ΣΤΑΔΙΟ 4 Οργανική μορφή	-	< 1,5	3,8	1,4	19,6	25,0	< 0,2	-
ΣΤΑΔΙΟ 5 Υπολειμματικά	-	2,4	3,8	1,0	13,4	21,0	< 0,2	-
TCLP	< 0,2	< 0,7	< 0,1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,1	< 0,5

ΠΠ. ΤΕΦ. ΛΙΓΝΙΤΗ ΚΑΡΑΙΑΣ								
Συγκεντρώσεις σε P.P.M.								
	Cu	Pb	Zn	CO	Ni	Cr	Cd	Li
ΣΤΑΔΙΟ 1 Εναλλακτικά	-	< 0,8	< 0,1	< 0,4	< 0,4	< 1,5	< 0,1	-
ΣΤΑΔΙΟ 2 Προσορ. σε CaCO ₃ / CaO / MgCO ₃	-	1,5	23,0	4,0	65,0	81,0	0,3	-
ΣΤΑΔΙΟ 3 Προσορ. σε FeO / MnO	-	1,9	7,8	1,3	12,0	13,0	< 0,1	-
ΣΤΑΔΙΟ 4 Οργανική μορφή	-	< 1,5	1,5	< 1	9,5	6,0	< 0,2	-
ΣΤΑΔΙΟ 5 Υπολειμματικά	-	11,7	24,9	8,0	108,0	106,0	< 0,2	-
TCLP	< 0,2	< 0,7	< 0,1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,1	< 0,5

ΔΕΙΓΜΑ 2B (Αποθέσεις)								
Συγκεντρώσεις σε P.P.M.								
	Cu	Pb	Zn	CO	Ni	Cr	Cd	Li
ΣΤΑΔΙΟ 1 Εναλλακτικά	< 0,2	< 0,8	0,1	< 0,4	0,53	< 1,5	< 0,1	< 0,8
ΣΤΑΔΙΟ 2 Προσορ. σε CaCO ₃ / CaO / MgCO ₃	< 0,4	1,56	4,29	1,74	3,40	4,5	0,39	< 0,8
ΣΤΑΔΙΟ 3 Προσορ. σε FeO / MnO	< 0,2	< 0,8	4,31	2,06	5,36	3,2	0,15	1,78
ΣΤΑΔΙΟ 4 Οργανική μορφή	2,90	< 1,5	4,50	2,50	29,68	31	< 0,2	2,30
ΣΤΑΔΙΟ 5 Υπολειμματικά	18,86	9,74	38,0	6,73	70,21	69	< 0,2	10,05
TCLP	< 0,2	< 0,7	< 0,1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,1	< 0,5

Πίνακας 2. συνέχεια

ΚΥΡΙΟ ΠΕΔΙΟ Β (Καλ/γρo εδαφος αποθέσεων)								
Συγκεντρώσεις σε P.P.M.								
	Cu	Pb	Zn	CO	Ni	Cr	Cd	Li
ΣΤΑΔΙΟ 1 Εναλλακτικά	< 0,2	< 0,8	< 0,1	< 0,4	< 0,4	< 1,5	< 0,1	< 0,8
ΣΤΑΔΙΟ 2 Προσορ. σε CaCO ₃ / CaO / MgCO ₃	< 0,4	< 1,5	4,89	1,18	2,99	4,5	0,34	< 0,8
ΣΤΑΔΙΟ 3 Προσορ. σε FeO / MnO	< 0,2	< 0,8	3,06	1,07	3,15	3,8	0,11	1,71
ΣΤΑΔΙΟ 4 Οργανική μορφή	7,00	< 1,5	4,90	2,24	27,82	30	< 0,2	2,96
ΣΤΑΔΙΟ 5 Υπολειμματικά	17,36	8,62	24,7	4,81	44,72	48	< 0,2	10,38
TCLP	< 0,2	< 0,7	< 0,1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,1	< 0,5

ΚΑΡΥΟΧΩΡΙ 1Β (Αποθέσεις)								
Συγκεντρώσεις σε P.P.M.								
	Cu	Pb	Zn	CO	Ni	Cr	Cd	Li
ΣΤΑΔΙΟ 1 Εναλλακτικά	< 0,2	< 0,8	0,1	< 0,4	< 0,4	< 1,5	< 0,1	< 0,8
ΣΤΑΔΙΟ 2 Προσορ. σε CaCO ₃ / CaO / MgCO ₃	< 0,4	< 1,5	1,99	< 1	1,80	9,7	< 0,2	0,78
ΣΤΑΔΙΟ 3 Προσορ. σε FeO / MnO	< 0,2	< 0,8	0,51	< 0,4	1,02	< 1,5	< 0,1	< 0,4
ΣΤΑΔΙΟ 4 Οργανική μορφή	< 0,4	< 1,5	< 0,2	< 1	< 1	< 1,5	< 0,2	< 1
ΣΤΑΔΙΟ 5 Υπολειμματικά	0,99	< 1,5	2,60	< 1	2,34	3	< 0,2	< 1
TCLP	< 0,2	< 0,7	< 0,1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,1	< 0,5

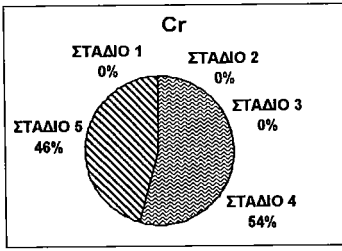
ΚΑΡΥΟΧΩΡΙ 2Α (Αποθέσεις)								
Συγκεντρώσεις σε P.P.M.								
	Cu	Pb	Zn	CO	Ni	Cr	Cd	Li
ΣΤΑΔΙΟ 1 Εναλλακτικά	< 0,2	< 0,8	< 0,1	< 0,4	< 0,4	< 1,5	< 0,1	< 0,8
ΣΤΑΔΙΟ 2 Προσορ. σε CaCO ₃ / CaO / MgCO ₃	0,45	2,63	1,83	1,68	8,18	16	< 0,2	< 0,8
ΣΤΑΔΙΟ 3 Προσορ. σε FeO / MnO	< 0,2	< 0,8	0,29	< 0,4	3,28	1,7	< 0,1	< 0,4
ΣΤΑΔΙΟ 4 Οργανική μορφή	< 0,4	< 1,5	< 0,2	< 1	< 1	1,5	< 0,2	< 1
ΣΤΑΔΙΟ 5 Υπολειμματικά	4,36	0,96	12,9	1,59	25,84	54	< 0,2	2,68
TCLP	< 0,2	< 0,7	< 0,1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,1	< 0,5

Πίνακας 2. συνέχεια

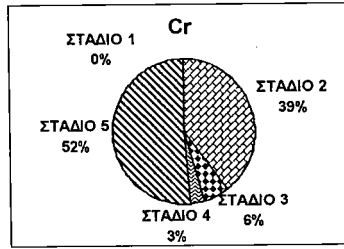
	ΑΝΑΡΑΧΗ (Καλ/νο έδαφος)							
	Συγκεντρώσεις σε P.P.M.							
	Cu	Pb	Zn	CO	Ni	Cr	Cd	Li
ΣΤΑΔΙΟ 1 Εναλλακτικά	-	< 0,8	0,6	< 0,4	1	< 1,5	< 0,1	-
ΣΤΑΔΙΟ 2 Προσορ. σε CaCO ₃ / CaO / MgCO ₃	-	< 1,5	3,2	< 1	1,8	< 2	< 0,2	-
ΣΤΑΔΙΟ 3 Προσορ. σε FeO / MnO	-	3,1	4,2	5,8	3,9	< 1,5	< 0,1	-
ΣΤΑΔΙΟ 4 Οργανική μορφή	-	< 1,5	1,2	< 1	1,1	< 1,5	< 0,2	-
ΣΤΑΔΙΟ 5 Υπολειμματικά	-	7,5	26,5	3	14,2	21	< 0,2	-

	ΚΟΙΛΑΔΑ (Καλ/νο έδαφος)							
	Συγκεντρώσεις σε P.P.M.							
	Cu	Pb	Zn	CO	Ni	Cr	Cd	Li
ΣΤΑΔΙΟ 1 Εναλλακτικά	-	< 0,8	0,1	< 0,4	< 0,4	< 1,5	< 0,1	-
ΣΤΑΔΙΟ 2 Προσορ. σε CaCO ₃ / CaO / MgCO ₃	-	< 1,5	1,8	< 1	3,4	< 2	< 0,2	-
ΣΤΑΔΙΟ 3 Προσορ. σε FeO / MnO	-	2,1	1,9	3,5	7,7	< 1,5	0,1	-
ΣΤΑΔΙΟ 4 Οργανική μορφή	-	< 1,5	0,2	< 1	6,4	5	< 0,2	-
ΣΤΑΔΙΟ 5 Υπολειμματικά	-	18,5	82,4	12,6	116	105	< 0,2	-

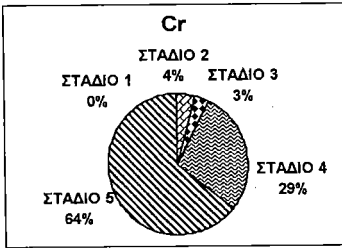
	Κατώτερα όρια ανίχνευσης (PPM) με AAS P.E. 2100							
	Detection limits (ppm) of AAS P.E. 2100							
	Cu	Pb	Zn	CO	Ni	Cr	Cd	Li
ΣΤΑΔΙΟ 1 Εναλλακτικά	0,2	0,8	0,1	0,4	0,4	1,5	0,1	0,8
ΣΤΑΔΙΟ 2 Προσορ. σε CaCO ₃ / CaO / MgCO ₃	0,4	1,5	0,2	1	0,8	2	0,2	0,8
ΣΤΑΔΙΟ 3 Προσορ. σε FeO / MnO	0,2	0,8	0,1	0,4	0,4	1,5	0,1	0,4
ΣΤΑΔΙΟ 4 Οργανική μορφή	0,4	1,5	0,2	1	1	1,5	0,2	1
ΣΤΑΔΙΟ 5 Υπολειμματικά	0,4	1,5	0,2	1	1	1,5	0,2	1
TCPLP	0,2	0,7	0,1	0,5	0,5	0,5	0,1	0,5



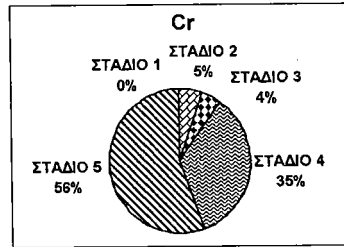
ΛΙΓΝΙΤΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ



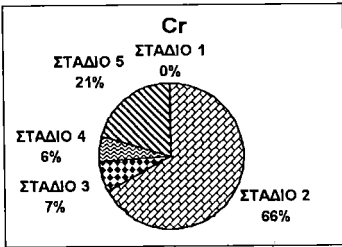
ΠΠ.ΤΕΦ. ΛΙΓΝΙΤΗ ΚΑΡΔΙΑΣ



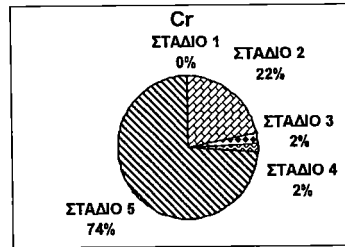
ΔΕΙΓΜΑ 2B (Αποθέσεις)



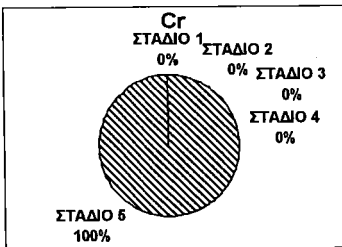
ΚΥΡΙΟ ΠΕΔΙΟ Β (Καλλο έδαφος αποθέσεων)



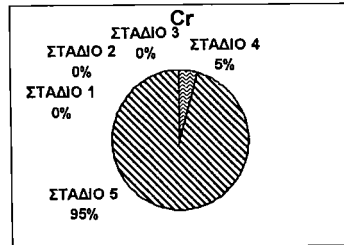
ΚΑΡΥΟΧΩΡΙ 1B (Αποθέσεις)



ΚΑΡΥΟΧΩΡΙ 2A (Αποθέσεις)



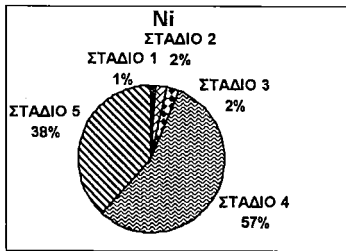
ΑΝΑΡΑΧΗ (Καλλο έδαφος)



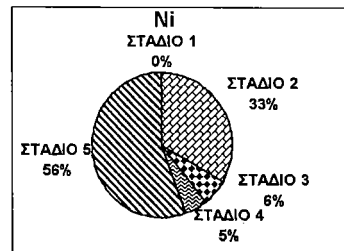
ΚΟΙΛΑΔΑ (Καλλο έδαφος)

Εικόνα 1. Κυκλικά διαγράμματα κατανομής Cr στα διάφορα στάδια των διαδοχικών εκχυλίσεων.

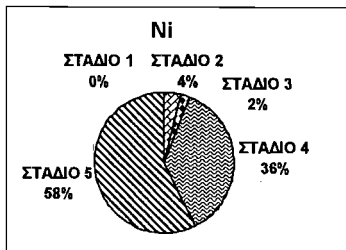
Figure 1. Circular diagrams of Cr distribution in the various fractions of sequential extractions.



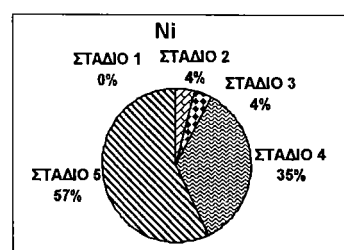
ΛΙΓΝΙΤΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ



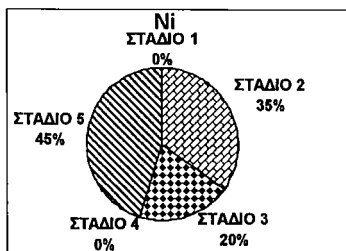
ΙΠΤ.ΤΕΦ. ΛΙΓΝΙΤΗ ΚΑΡΔΙΑΣ



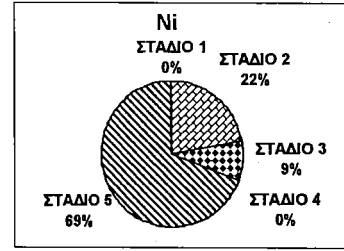
ΔΕΙΓΜΑ 2B (Αποθέσεις)



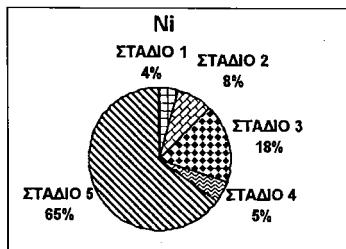
ΚΥΡΙΟ ΠΕΔΙΟ Β (Καλvo έδαφος αποθέσεων)



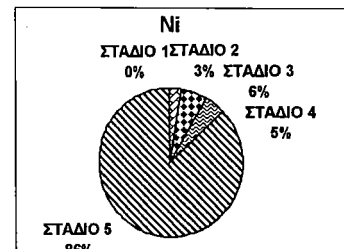
ΚΑΡΥΟΧΩΡΙ 1B (Αποθέσεις)



ΚΑΡΥΟΧΩΡΙ 2A (Αποθέσεις)



ΑΝΑΡΑΧΗ (Καλvo έδαφος)



ΚΟΙΛΑΔΑ (Καλvo έδαφος)

Εικόνα 2. Κυκλικά διαγράμματα κατανομής Ni στα διάφορα στάδια των διαδοχικών εκχυλίσεων.

Figure 2. Circular diagrams of Ni distribution in the various fractions of sequential extractions.

ρή (π.χ. εγκλωβισμός στο πλέγμα του γκαϊτίτη, λεπιδохρωσίτη και άλλων κρυσταλλικών μορφών). Στην παρούσα εργασία, οι συγκεντρώσεις των διαφόρων ιχνοστοιχείων στην συγκεκριμένη φάση είναι χαμηλές αν και είναι γνωστή η τάση του Cr να αντικαθιστά τον Fe ή του Co και Ni να συνδέονται με Fe / Mn οξειδία (KABATA-PENDIAS & PENDIAS 1984).

Στην φύση αρκετά ιχνοστοιχεία συνδέονται με την οργανική ύλη (KABATA – PENDIAS & PENDIAS 1984). Η σύνδεση αυτή μπορεί να είναι ασθενής εάν τα μέταλλα προσελκύονται ηλεκτροστατικά σε φορτισμένα κolloειδή σωματίδια (LEVINSON 1974) μέχρι πολύ ισχυρή εάν συνδεθούν απ' ευθείας με άτομα C ή N, O, P και S (PICKERING 1986). Στην παρούσα όμως εργασία οι συγκεντρώσεις όλων των ιχνοστοιχείων για όλα τα δείγματα είναι χαμηλές αν και σε αυτό το στάδιο διαλυτοποιούνται σε μεγάλο βαθμό και τα σουλφίδια (Τζούλης και Καμινάρη 1999). Ενδεικτικά παρουσιάζονται και κυκλικά διαγράμματα για το στοιχείο Cr στα 5 στάδια (Εικ. 1).

Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας προκύπτουν τα ακόλουθα.

1. Οι υδατοδιαλυτές/ανταλλάξιμες μορφές των ιχνοστοιχείων που προσδιορίστηκαν είναι εξαιρετικά χαμηλές και κατώτερες των ορίων που θεσπίστηκαν από τις οδηγίες της Ε.Ε. (1994) και της Ελληνικής Νομοθεσίας (1991) (Πίν. 3).
2. Το ίδιο ισχύει και για τις συγκεντρώσεις που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου TCLP της USEPA.
3. Η ολική συγκέντρωση των μελετηθέντων ιχνοστοιχείων (άθροισμα επί μέρους σταδίων) ευρίσκεται εντός των ορίων που δίδονται από τους KABATA – PENDIAS & PENDIAS (1984) & ALLOWAY (1990) (Πίν. 4).

Πίνακας 3. Όρια συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων και τοξικών στοιχείων σε υδατικά διαλύματα όπως ορίστηκαν από τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης(1991) και της Ελληνικής Νομοθεσίας (1994)

Table 3. Concentration limits of heavy metals and toxic elements as defined by EE Directives (1991) and the Greek law (1994)

Στοιχεία	Ρρb στοιχείων σε υδατικά διαλύματα
Pb	400-2000
Ni	400-2000
Cu	2000-10000
Cr	100-500
Zn	2000-10000
Cd	100-500
Hg	20-100
As	200-1000

Πίνακας 4. Συγκεντρώσεις (ppm) ιχνοστοιχείων σε εδάφη
Table 4. Concentrations (ppm) of trace elements in soils

	1	2
Ag	0.01-8	–
As	01-50	0.07-197
Au	0.001-0.02	–
Cd	0.01-2.4	0.01-2.53
Co	1-40	0.1-122
Cr	5-1500	1-1100
Cu	2-250	1-323
Hg	0.01-0.3	0.0014-5.8
Mn	20-10000	7-8423
Mo	0.2-5	0.2-17
Ni	2-1000	0.2-450
Pb	2-300	1.5-286
Sb	0.05-260	0.05-4
Se	0.01-2	0.005-4
Sn	1-200	–
Ti	0.03-10	–
U	0.7-9	–
V	3-500	0.7-500
W	05-83	–
Zn	10-300	3-770

1 Alloway (1990)

2 Kabata – Pendias & Pendias (1984)

Βιβλιογραφία

- ALLOWAY B. (1990) Heavy Metals in Soils. John Wiley Sons, New York p. 339.
- EUROPEAN COMMUNITY COUNCIL DIRECTIVE 91/69/EC (1994). Hazardous Wastes, EWC codes 1001&1901. CWC codes 1001 and 1901. Council Decision 22/12/94 (94/904/E.C).
- GEORGAKOPOULOS A., FILIPPIDIS A & KASSOLI-FOURNARAKI A. (1994) Morphology and trace element contents of the fly ash from Main and Northern lignite fields, Prolemais, Greece, Fuel 73, p. 1802-1804.
- GEORGAKOPOULOS A., FILIPPIDIS A., KASSOLI-FOURNARAKI A., FERNANDEZ-TURIEL J.J.P. & LIORENS, J.F. (1996). The content of some trace elements in surface soils and fly ash of Ptolemains lignite basin Macedonia, Greece, 3rd Int. Conf. on Environmental Pollution Thessaloniki September 1996 Proceedings p. 114-118.
- GEROUKI F., FOSKOLOS A.E. & DIMITROULA, M. (1996). Environmental im-

- fact of trace elements encountered in fly ashes from power stations located in the wider area of Ptolemais basin 3rd Int. Conf. on Environ. Pollution Thessaloniki September 1996 Proceedings p. 214-218.
- HAWKES H.E. & WEBB J.S. (1962) *Geochemistry in mineral exploration* Harper and Row Publishers New York p. 121-122.
- KABATAA-PENDIAS A. & PENDIAS H. (1984) *Trace elements in soils and plants* C.R.C. Press Inc. Florida p. 293.
- LEVINSON A.A. (1974) *Introduction to Exploration Geochemistry*. Applied Publishing Ltd. USA.
- MATTIGOD S.Y., RAI D., EARY L.E. & AINSWORTH C.C. (1990) Geochemical factors controlling the mobilization of inorganic constituents from fossil fuel combustion residues I. Review of the major elements, *J. Environ Qual.* 19, p. 188-201.
- NRIAGU J.O (1990) Global metal pollution poisoning the biosphere? *Environment* p. 32, 7-33.
- SWAINE D.J. & GOODARZI F. (1995) *Environmental aspects of trace elements in coal*. Kluwer Acad. Publishers, Dordrecht / Boston/London p. 313.
- TESSIER A., CAMPBELL P.G.C. & BISSON M. (1979) Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* 51, p. 844-851.
- ΤΖΟΥΛΗΣ Χ. & ΚΑΜΙΝΑΡΗ Μ. (1999). Προσδιορισμός των φυσικοχημικών μορφών των μετάλλων στα εδάφη με την μεθοδολογία των διαδοχικών εκχυλίσεων. *Εσωτ. Επθ. ΙΓΜΕ* σ. 23.
- USEPA (1990) *Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) Method 1311*, Federal Register, 55 March 29 1990 ed U.S. Government, Washington D.C. p. 11827-11875.
- ΦΕΚ (1991) Νόμος 641 Β, 7 Αυγ. 1991 σ. 5564-5568.
- ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α., ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α. & ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α. (1996). Ορυκτολογία, κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία ιπταμένων τερρών των ΑΗΣ του λιγνιτικού κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου. *Πρακτικά Διημερίδας ΚΤΕΣΚ Β* σ. 159-168.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 439-451</p>
---	---	--

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥΣ
ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ
ΣΚΟΠΙΩΝ – ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ – ΚΟΖΑΝΗΣ:
ΕΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

Α. Τριανταφύλλου¹, Γ. Χαραλαμπίδης², Ν. Καραμάρκος¹, Γ. Βατάλης²

Περίληψη

Η εκτίμηση της συμβολής των ρύπων από τις καμινάδες των λιγνιτιών σταθμών που λειτουργούν στην περιοχή του λεκανοπεδίου Πτολεμαΐδας-Κοζάνης, αποτελεί βασικό στοιχείο για τον έλεγχο της ποιότητας του περιβάλλοντος στην ευρύτερη περιοχή. Η εισαγόμενη διασυνοριακή ρύπανση από το γειτονικό ατμοηλεκτρικό σταθμό των Σκοπίων αποτελεί επίσης ένα στοιχείο για διερεύνηση, το οποίο ουδέποτε κατά το παρελθόν έχει εξεταστεί.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια τυπική περίπτωση διασποράς των ατμοσφαιρικών ρύπων από τις καμινάδες των λιγνιτικών σταθμών που λειτουργούν στην περιοχή καθώς και το λιγνιτικό σταθμό των Σκοπίων που λειτουργεί σε κοντινή απόσταση βόρεια της Φλώρινας, και εξετάζεται χωρικά και χρονικά η συμβολή των πηγών αυτών στην ατμοσφαιρική επιβάρυνση της ευρύτερης περιοχής. Χρησιμοποιείται ένα μέσης κλίμακας προγνωστικό ατμοσφαιρικό μοντέλο σε συνδυασμό με ένα Lagrangian μοντέλο διασποράς διάχυσης.

Abstract

The estimation of the pollutants contribution emitted from the stacks of the lignite power stations that operate in Ptolemais – Kozani greater area is a basic parameter in order to be controlled the quality of the environment in this area. The imported pollution from the neighbor Skopja lignite power station is also another point that has never previously been studied. In this study some preliminary results from a numerical investigation of the mesoscale circulation and pollutant transportation in the area of West Makedonia are presented. The spatial and temporal variation of the atmospheric pollutants that are emitted from the stacks of the lignite power stations in this area as well as from the Skopja power station is also discussed. For this purpose a mesoscale numeric model is used in combination with a Lagrangian particle dispersion model.

1. Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Φυσικής, e-mail: atria@kozani.teikoza.gr

2. Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωχημείας.

Τμήμα Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Δυτ. Μακεδονίας, 50 100 ΚΟΖΑΝΗ.

Εισαγωγή

Ένα από τα βασικά προβλήματα για τη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος στην ευρύτερη περιοχή Πτολεμαΐδας-Κοζάνης αποτελεί ο έλεγχος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι κεντρικές θερμάνσεις, βασική πηγή εκπομπής διοξειδίου θείου στις πόλεις Κοζάνη και Πτολεμαΐδα (ΜΑΛΟΥΤΑΣ 1989), έχουν αντικατασταθεί σταδιακά από το 1992 από την τηλεθέρμανση, με αποτέλεσμα ιδιαίτερα σημαντική μείωση των συγκεντρώσεων διοξειδίου του θείου στις δύο αυτές πόλεις (ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ 1998). Οι εκπομπές ρύπων από τις καμινάδες των λιγνιτικών σταθμών που λειτουργούν στην περιοχή αποτέλεσαν κατά καιρούς αιτία έντονων διαμαρτυριών των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής, διότι θεωρούνται μία από τις βασικές αιτίες υποβάθμισης του περιβάλλοντος λόγω των δραστηριοτήτων της ΔΕΗ στην περιοχή.

Ο έλεγχος της ποιότητας του περιβάλλοντος στην ευρύτερη περιοχή γίνεται με ένα δίκτυο σταθμών μέτρησης που έχει εγκατεστημένο η ΔΕΗ. Μετρήσεις πραγματοποιούν επίσης η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Κοζάνης και το ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας. Για την αξιόπιστη ωστόσο εκτίμηση των απαιτούμενων μεγεθών (π.χ. συγκεντρώσεων) έτσι ώστε αυτά να είναι αντιπροσωπευτικά στο χώρο και το χρόνο, η καταγραφή δύσκολα μπορεί να βασιστεί μόνο στις μετρήσεις, καθώς αυτές λαμβάνονται σε συγκεκριμένες θέσεις και ως εκ τούτου δεν είναι απαραίτητα αντιπροσωπευτικές για μεγαλύτερες περιοχές. Το πρόβλημα καθίσταται πλέον περίπλοκο σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο, όπου τοπικά συστήματα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας αναπτύσσονται όλο το 24ωρο (BANTA & COTTON 1981), και είναι αυτά που τις περισσότερες φορές καθορίζουν τη διασπορά και τη διάχυση των αερίων ρύπων. Μια τέτοια περίπτωση είναι αυτή του λεκανοπεδίου Πτολεμαΐδας Κοζάνης, λόγω του έντονου ανάγλυφου.

Η συσχέτιση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες στην περιοχή (ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ κ.α. 1999) αποτελεί βασική προϋπόθεση για τον έγκαιρο εντοπισμό “επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης”, υπερβάσεων δηλαδή θερμοθετημένων ορίων ποιότητας της ατμόσφαιρας. Η εφαρμογή ωστόσο συγκεκριμένων μέτρων για την αποφυγή των “επεισοδίων”, τουλάχιστον σε ότι αφορά τη συμβολή των εκπομπών ρύπων από τις καμινάδες των λιγνιτικών σταθμών στην περιοχή, μπορεί να είναι εφικτή σε επιχειρησιακή βάση όταν είναι δυνατή η εκτίμηση της συνεισφοράς στην αέρια ρύπανση στην περιοχή κάθε ενεργειακού σταθμού για τις διάφορες ώρες του 24ωρου.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται σε μια πρώτη προσέγγιση μια τυπική περίπτωση διασποράς των ατμοσφαιρικών ρύπων από τις καμινάδες των σταθμών που λειτουργούν στην ευρύτερη περιοχή και εξετάζεται χωρικά και χρονικά η συμβολή των πηγών αυτών στην ατμοσφαιρική επιβάρυνση. Στην ανάλυση παίρνεται υπόψη και ο λιγνιτικός σταθμός των Σκοπίων που λειτουργεί σε κοντινή απόσταση βόρεια της Φλώρινας, και ο οποίος ουδέποτε κατά το παρελθόν έχει ληφθεί υπόψη ως πηγή εισαγόμενης ρύπανσης στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας. Για το

σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένα μέσης κλίμακας προγνωστικό ατμοσφαιρικό μοντέλο σε συνδυασμό με ένα Lagrangian μοντέλο διασποράς διάχυσης.

Σύντομη περιγραφή της περιοχής - Κύριες σημειακές πηγές ρύπανσης

Είναι γνωστό και αναμφισβήτητο γεγονός ότι η περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας είναι η ενεργειακή καρδιά της Ελλάδας. Στην περιοχή είναι συγκεντρωμένο από τα μέχρι τώρα γνωστά το μεγαλύτερο λιγνιτικό κοιτάσμα της χώρας μας, η εκμετάλλευση του οποίου έχει ως αποτέλεσμα να παράγεται στην περιοχή το 70% περίπου της παραγωγής της χώρας μας σε ηλεκτρική ενέργεια.

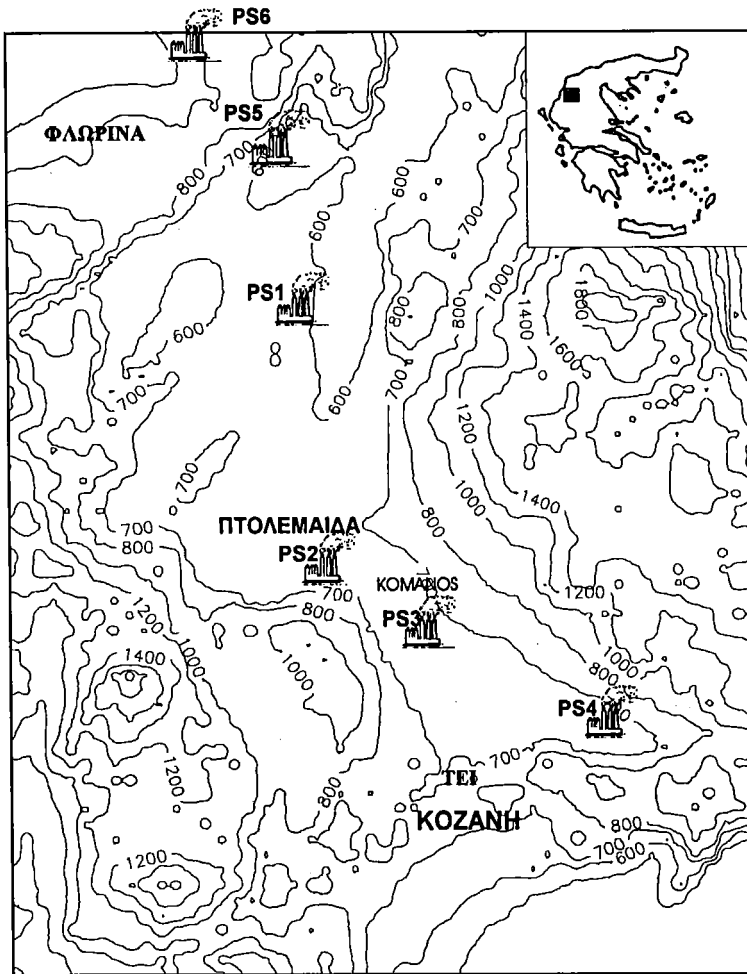
Η κύρια βιομηχανική δραστηριότητα αναπτύσσεται στο λεκανοπέδιο Πτολεμαΐδας-Κοζάνης, μια ορεινή λεκάνη, με υψόμετρο που κυμαίνεται από 550 μέχρι 700 m ASL. Η λεκάνη περιβάλλεται από σχετικά πολύπλοκη τοπογραφία με βουνά ύψους 700 m κατά μέσο όρο ψηλότερα από τον πυθμένα της λεκάνης. Στο ΒΑ άκρο του λεκανοπεδίου υπάρχει το άνοιγμα προς τη λίμνη Βεγορίτιδα και ΒΔ το άνοιγμα μεταξύ των χωριών Αετού και Βέβης, όπου το λεκανοπέδιο συνεχίζει προς τη Φλώρινα και τη Νίκη (Σχ. 1).

Στην περιοχή λειτουργούν μέχρι σήμερα ο ΑΗΣ Αμυνταίου (PS1) με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 600 MW (2×300), ο ΑΗΣ Πτολεμαΐδας (PS2) 620 MW (70, 2×125 , 300), ο ΑΗΣ Καρδιάς (PS3) 1200 MW (4×300), ο ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (PS4) 1666 MW (4×300 , 366), ήτοι συνολική εγκατεστημένη ισχύς 4029 MW. Το ποσό αυτό αναμένεται να αυξηθεί, αφού βρίσκεται σε εξέλιξη η κατασκευή νέου λιγνιτικού σταθμού στη Φλώρινα, ΑΗΣ Μελίτης-Αχλάδας (PS5), αποτελούμενου από δύο μονάδες συνολικής ισχύος 2×330 MW. Από πλευράς περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην ευρύτερη περιοχή πρέπει να συνυπολογιστεί και η λειτουργία ΑΗΣ στο κράτος των Σκοπίων (PS6), ο οποίος είναι εγκατεστημένος και λειτουργεί πού κοντά στα σύνορα με τη Φλώρινα (Σχ. 1).

Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι που εκπέμπονται από τις καμινάδες των ΑΗΣ στην περιοχή είναι αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου. Δεν υπάρχουν πλήρεις καταγραφές των εκπομπών από τις καμινάδες των ΑΗΣ στην περιοχή, παρά μόνο κάποια γενικά χαρακτηριστικά (ΖΕΡΕΦΟΣ κ.α, 1991, ΜΠΕΡΓΕΛΕΣ 1992, ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ 1994), ενώ οι εκπομπές από τον ΑΗΣ Σκοπίων είναι τελείως άγνωστες. Ωστόσο τα αιωρούμενα σωματίδια φαίνεται να αποτελούν το κυρίαρχο πρόβλημα στην περιοχή, λόγω αυξημένων συγκεντρώσεων, και υπερβάσεων που έχουν παρατηρηθεί σε σύγκριση με θεσμοθετημένα όρια ποιότητας (TRIANΤΑΦΥΛΛΟΥ et al. 1998).

Σύντομη περιγραφή των μοντέλων - Δεδομένα εισόδου

Χρησιμοποιήθηκε ένα μέσης κλίμακας ατμοσφαιρικό μοντέλο σε συνδυασμό με Lagrangian μοντέλο διασποράς-διάχυσης. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το Colorado State University Mesoscale Model (CSUMM). Είναι υδροστατικό, προγνω-



Σχήμα 1. Τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής Δυτικής Μακεδονίας. Δείχνονται οι κύριες σημειακές πηγές ρύπανσης (PS) καθώς και οι θέσεις των πόλεων Φλώρινα, Πτολεμαΐδα, Κοζάνη.

Figure 1. Topography of West Macedonia area. The locations of the main point sources (PS) as well as the main cities in the area are also shown.

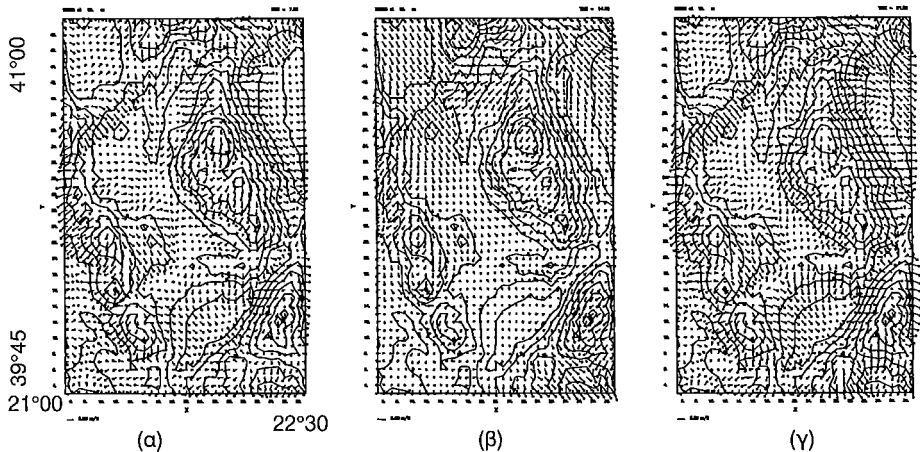
στικό, που στηρίζεται στις βασικές εξισώσεις κινήσεως, ενέργειας, συνέχειας και διατήρησης της μάζας των υδρατιμών. Τα σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται είναι αυτό που ακολουθεί την τοπογραφία. Τα αποτελέσματα του μοντέλου αυτού χρησιμοποιούνται ως είσοδοι σε ένα Lagrangian τύπου μοντέλο διασποράς διάχυσης. Στο μοντέλο αυτό οι κινήσεις διακεκριμένων στοιχειωδών μαζών (που αντιπροσωπεύουν τους αέριους ρύπους που απελευθερώνονται από μία

ή πολλές πηγές) παρακολουθούνται στην περιοχή που γίνεται η προσομοίωση. Η απελευθέρωση των αερίων ρύπων γίνεται στιγμιαία ή συνεχώς από μία ή πολλές πηγές, σε μορφή στοιχειωδών αερίων μαζών. Οι κινήσεις αυτών των στοιχειωδών μαζών θεωρείται ότι γίνονται σε τρεις κλίμακες, συνοπτική, μέση, και μικροκλίμακα. Η θέση που απελευθερώνονται οι διάφορες στοιχειώδεις αέριες μάζες περιγράφονται στα δεδομένα εισόδου του μοντέλου. Τα αποτελέσματα σχεδιάζονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Γνωρίζοντας τις θέσεις των στοιχειωδών αερίων μαζών κάθε χρονική στιγμή καθώς και τις απελευθερούμενες ποσότητες των αερίων ρύπων μπορούν να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις στις διάφορες περιοχές. Περισσότερες πληροφορίες για τα μοντέλα μπορούν να αναζητηθούν στις εργασίες PIELKE R.A. 1974, DEARDORFF J. 1974, MCNIDER 1981, PIELKE et al. 1987, SEGAL et al. 1988, MCNIDER et al. 1988, PHYSICK et al. 1989, KALLOS G. 1989, KALLOS G. 1991, TRIANTAFYLLOU A.G. 1994.

Η εμφάνιση υψηλών πιέσεων στην κεντρική Μεσόγειο και τη Βαλκανική και η ύπαρξη ασθενούς βαροβαθμίδας πάνω από τον ελλαδικό χώρο είναι ένας συνηθισμένος τύπος καιρού, που σχετίζεται με σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων στην περιοχή (TRIANΤΑFYΛLOU et al. 1999). Τις πρώτες πρωινές ώρες στο λεκανοπέδιο επικρατούν ευσταθείς ατμοσφαιρικές συνθήκες με θερμοκρασιακή αναστροφή εδάφους που τη χειμερινή περίοδο εκτείνεται από την επιφάνεια μέχρι τα 650 m περίπου (TRIANΤΑFYΛLOU et al. 1995) ενώ στην επιφάνεια επικρατεί ασθενές ανεμολογικό πεδίο. Μια τέτοια περίπτωση επιλέχτηκε για την πραγματοποίηση των προσομοιώσεων.

Ανάλυση αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα

Στο σχήμα 2 δείχνεται το ανεμολογικό πεδίο στα 10 m, σε διάφορες ώρες στην ευρύτερη περιοχή, όπως υπολογίζεται από το μοντέλο. Το πρωί η κυκλοφορία κοντά στην επιφάνεια καθορίζεται αποκλειστικά από τα καταβατικά ρεύματα από τους ορεινούς όγκους προς τις επίπεδες περιοχές (Σχ. 2α). Τις επόμενες ώρες μετά την ανατολή του ηλίου το ανεμολογικό πεδίο διαμορφώνεται από τη θέρμανση του εδάφους και την ανάπτυξη των αναβατικών ρευμάτων στις πλαγιές των βουνών. Έτσι στις 14:30 στα 10 m AGL (Σχ. 2β) στην περιοχή της Φλώρινας και ανατολικά επικρατεί ΒΔ κυκλοφορία. Η περιοχή Αμυνταίου βρίσκεται υπό την επίδραση ΒΑ ρεύματος, λόγω της εισόδου της ροής από το ΒΑ άνοιγμα, που στην περίπτωση αυτή παίζει σημαντικό ρόλο στην ανανέωση των αερίων μαζών στο λεκανοπέδιο. Στην περιοχή του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας οι άνεμοι την ώρα αυτή είναι ΒΒΔ 2-3 m/s, στην περιοχή του ΑΗΣ καρδιάς ΒΔ 3-4 m/s και στην περιοχή του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου ασθενείς. Στην περιοχή ΝΑ της Κοζάνης είναι χαρακτηριστική η ανάπτυξη τοπικής θερμικής κυκλοφορίας ΝΑ διεύθυνσης λόγω κλίσης του εδάφους (up-valley) και της λίμνης του Πολυφύτου (lake breeze), γεγονός που έχει διαπιστωθεί και από μετρήσεις (TRIANΤΑFYΛLOU et al. 1999). Αργότερα και μετά τη δύση



Σχήμα 2. Ανεμολογικά πεδία στα 10 m (α) στις 07:30, (β) στις 14:30, (γ) στις 21:30.

Figure 2. Horizontal wind field, 10m AGL (α) 07:30, (β) 14:30, (γ) 21:30.

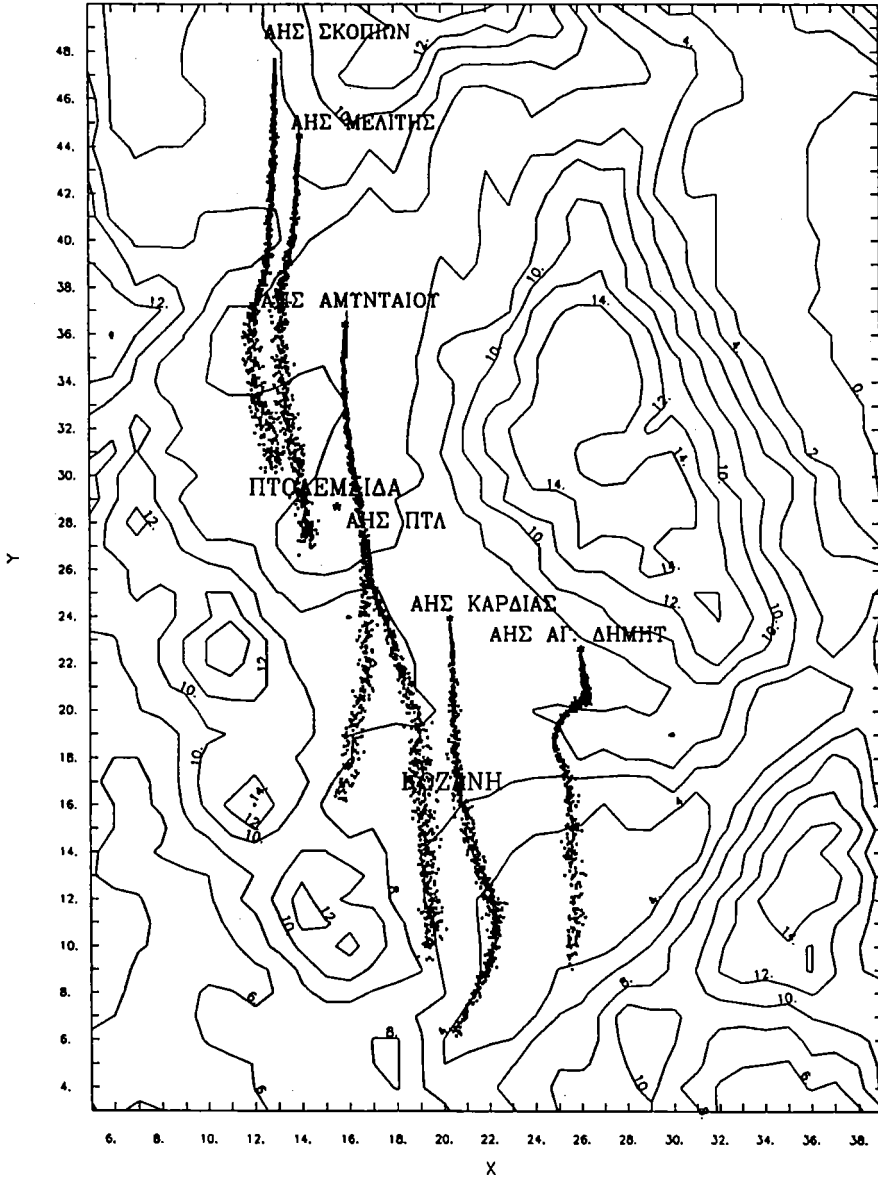
του ηλίου, εμφανίζονται καταβατικά ρεύματα από τα βουνά προς τον πυθμένα της λεκάνης (Σχ. 2γ).

Η κίνηση των ρύπων που εκπέμπονται από τις καμινάδες προσομοιώνεται με κίνηση στοιχειωδών αερίων μαζών που απελευθερώνονται από την ίδια θέση. Συγκεκριμένα κάθε 10 s απελευθερώνεται μια αέρια μάζα, που αντιστοιχεί σε ρύπους που εκπέμπονται στον ίδιο χρόνο και παρακολουθείται στην περιοχή του μοντέλου. Σε κάθε χρονική στιγμή απεικονίζεται η θέση της, ενώ όταν φτάνει στα όρια του μοντέλου αφαιρείται. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα είδος “νέφους”. Στα σχήματα 3, 4, 6, φαίνονται για διάφορες ώρες οι θέσεις των ρύπων που απελευθερώνονται από τις καμινάδες των ΑΗΣ σε οριζόντια προβολή, ενώ στα σχήματα 5, 7 παρουσιάζονται οι θέσεις κατά τις ώρες 15:30 και 21:30 αντίστοιχα των ρύπων που εκπέμπονται από τις καμινάδες των ΑΗΣ Αμυνταίου, Πτολεμαΐδας και Καρδιάς σε κατακόρυφη προβολή κατά τη διεύθυνση Β-Ν και σε εγκάρσιες διατομές που περνούν από τις πόλεις Κοζάνη και Πτολεμαΐδα. Ως έναρξη εκπομπής θεωρήθηκε η 5:30ΤΩ. Συγκεκριμένα:

Στις 7:30 ΤΩ οι ρύποι που απελευθερώνονται από τις καμινάδες των ΑΗΣ κινούνται νότια σε μια ευσταθή ατμόσφαιρα (σχ.3). Ειδικότερα οι ρύποι που εκπέμπονται από τις καμινάδες των ΑΗΣ Σκοπίων και Μελίτης - Αχλάδας φτάνουν ήδη μέχρι την περιοχή της Πτολεμαΐδας, ενώ των υπολοίπων ΑΗΣ έχουν φτάσει μέχρι την κοιλάδα του Αλιάκμονα.

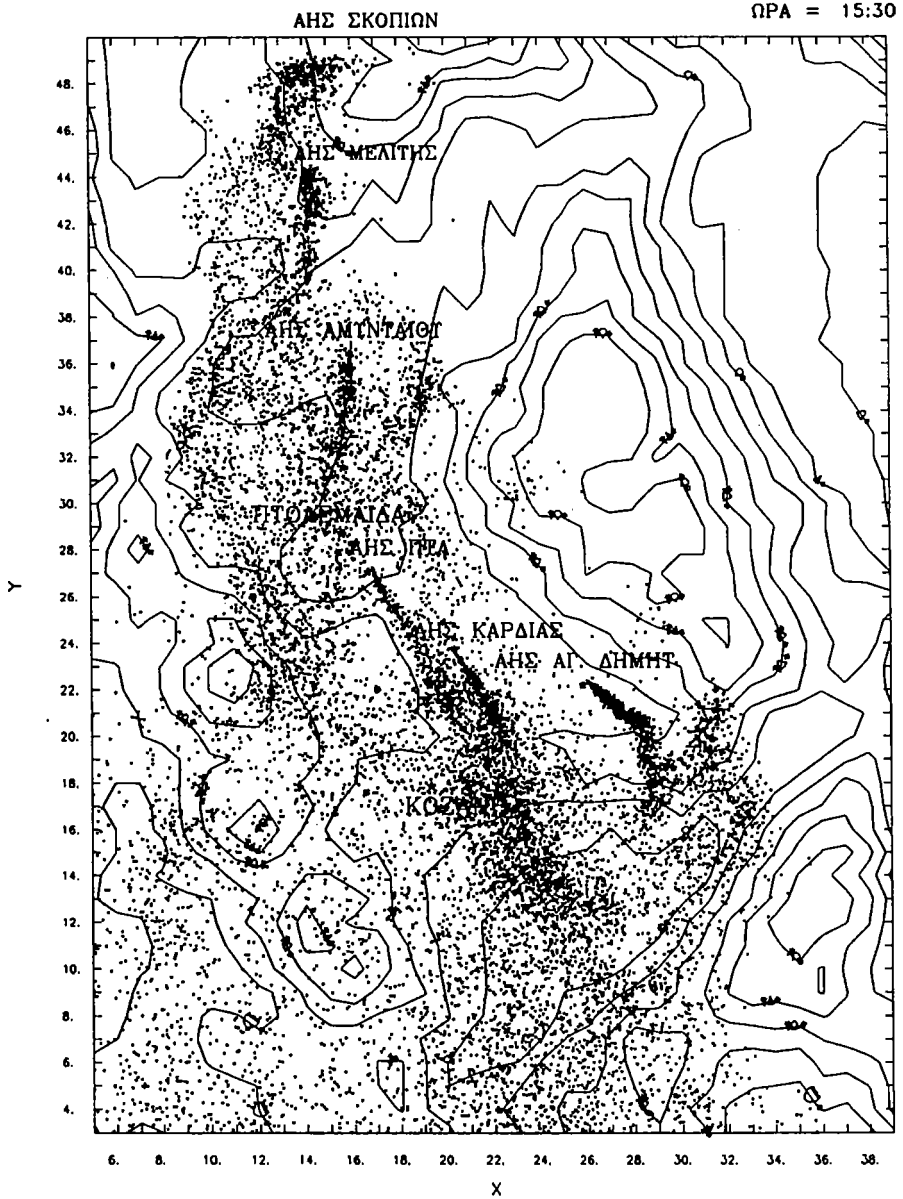
Τις επόμενες ώρες, μετά την ανατολή του ηλίου, οι συνθήκες διασποράς μεταβάλλονται, με αποτέλεσμα οι ρύποι να διασπείρονται σε ευρύτερη περιοχή (Σχ. 4). Χαρακτηριστική είναι η συσσώρευση ρύπων στο έδαφος αργά το μεσημέρι

ΩΡΑ = 07:30



Σχήμα 3. Οι θέσεις των σωματιδίων από τους ΑΗΣ στις 07:30 ΤΩ. Η εκπομπή άρχισε στις 05:30 ΤΩ.

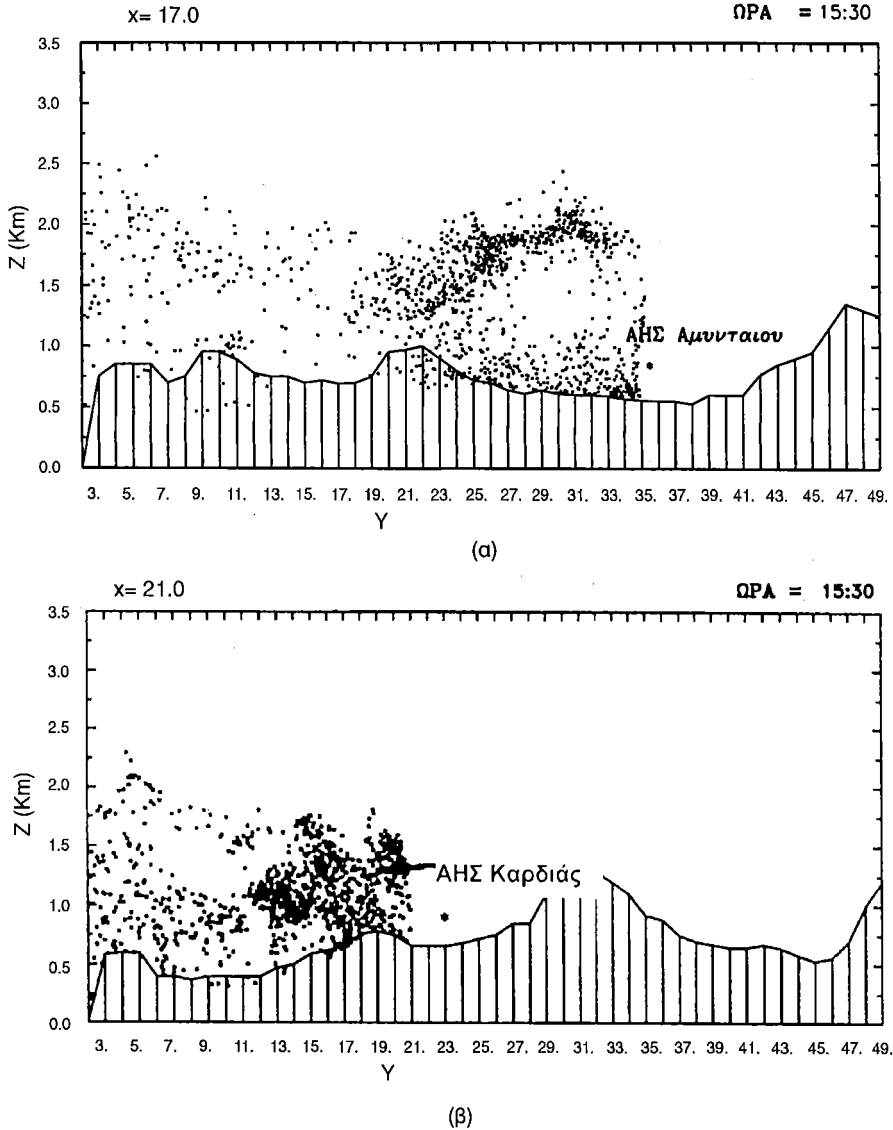
Figure 3. Plan view of particle plume at 07:30 LST.



Σχήμα 4. Οι θέσεις των σωματιδίων από τους ΑΗΣ στις 15:30 ΤΩ.

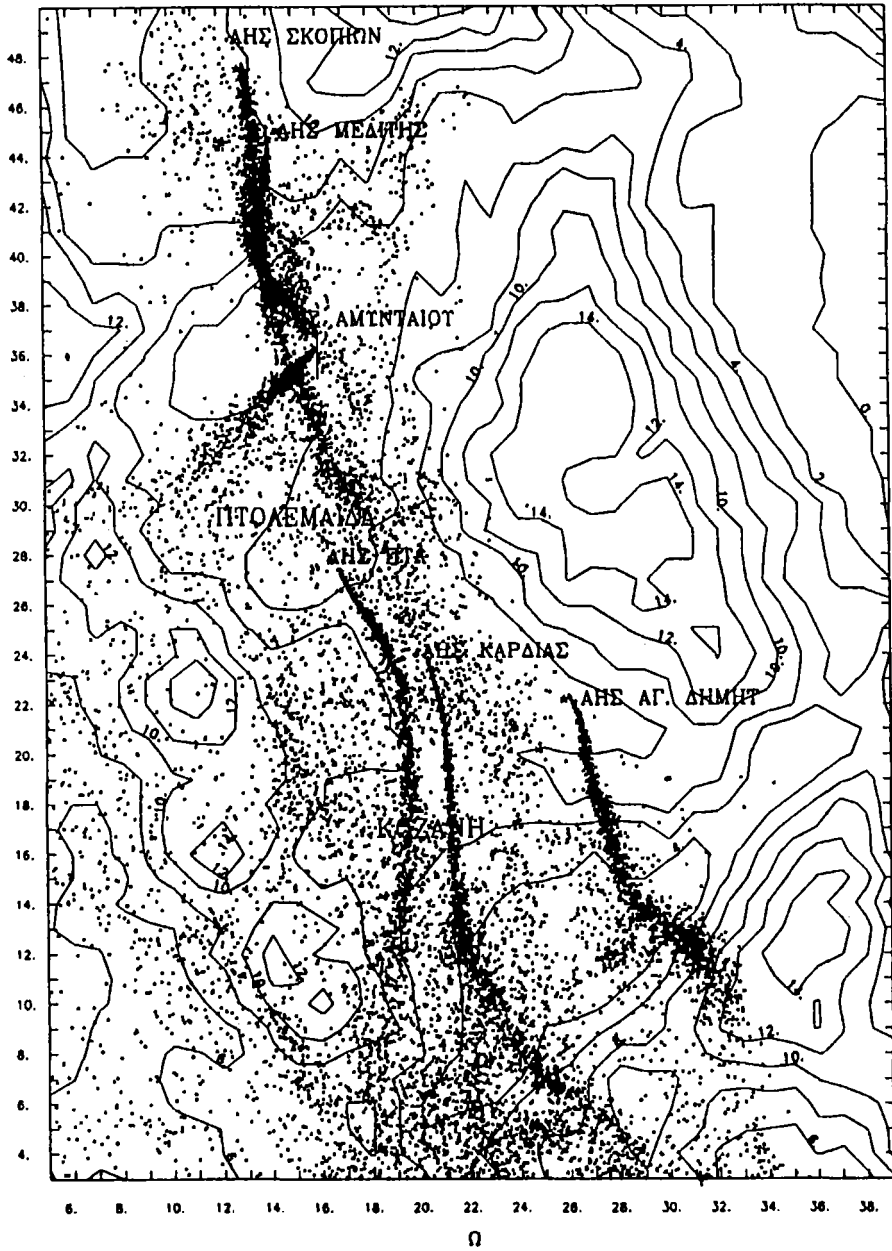
Figure 4. Plan view of particle plume at 07:30 LST.

(Σχ. 5) λόγω κατακρήμνισης που συνοδεύει τη διάλυση της νυχτερινής αναστροφής (ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ 1993), και η οποία τη χειμερινή περίοδο πραγματοποιείται συνήθως αργά το μεσημέρι (ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ et al. 1995).



Σχήμα 5. Η θέση των σωματιδίων στο επίπεδο yz στις 15:30 ΤΩ από α) ΑΗΣ Αμυνταίου β) ΑΗΣ Καρδιάς.

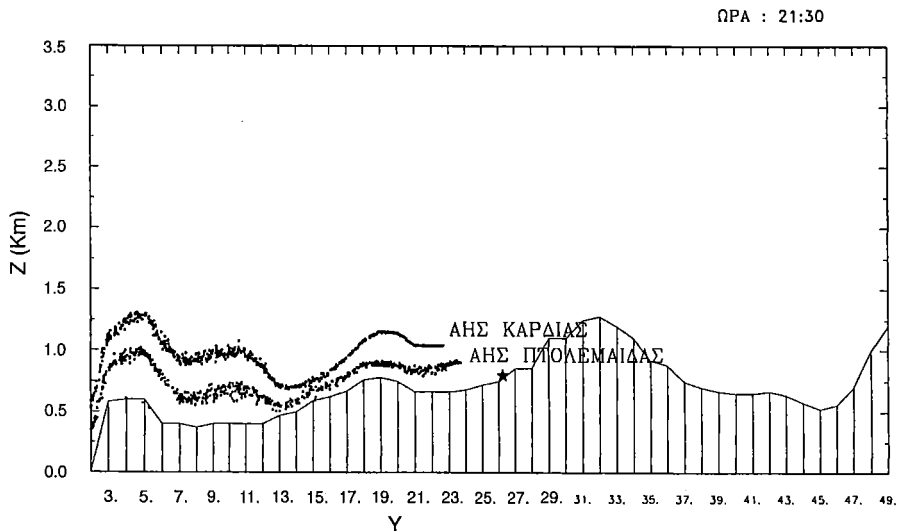
Figure 5. Particle location at 15:30 LST emitted from a) Aminteo PS b) Kardias PS.



Σχήμα 6. Οι θέσεις των σωματιδίων από τους ΑΗΣ στις 19:30 ΤΩ.

Figure 6. Plan view of particle plume at 19:30 LST.

Να σημειωθεί ότι μέγιστες συγκεντρώσεις PM10 (αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο κάτω από 10 μm) και SO₂ τις ώρες αυτές έχουν διαπιστωθεί και από μετρήσεις στην περιοχή (TRIANTAFYLLOU 1998). Μετά τη δύση του ηλίου και το γρήγορο σχηματισμό ευσταθούς οριακού στρώματος οι ρύποι κινούνται σε στενότερη πλέον περιοχή, καθώς εκπέμπονται σε συνθήκες ευστάθειας (Σχ. 6). Χαρακτηριστική είναι η κατεύθυνση του φτερού (plume) του ΑΗΣ Αμυνταίου λόγω της εισόδου της ροής από το ΒΑ άνοιγμα του λεκανοπεδίου. Τις επόμενες νυχτερινές ώρες το ευσταθές στρώμα αυξάνει σε ύψος και ένταση, ενώ παράλληλα ενισχύεται το βόρειο ρεύμα που επικρατεί σε μεγαλύτερα ύψη. Έτσι σχηματίζεται συμπαγές φτερό (plume) (Σχ. 7) το οποίο μεταφέρει τους ρύπους έξω από το λεκανοπέδιο προς την περιοχή της Θεσσαλίας. Το σημείο αυτό αποτελεί αντικείμενο έρευνας με τη χρήση δεικτών (tracers) (CHARALAMPIDES et al. 1998). Η ανάπτυξη πάντως της ΝΑ τοπικής κυκλοφορίας που προαναφέρθηκε στην περιοχή νότια της Κοζάνης δημιουργεί συνθήκες επανακυκλοφορίας των ρύπων που την προηγούμενη ημέρα ή στη διάρκεια της νύχτας μεταφέρθηκαν εκτός της λεκάνης της Πτολεμαΐδας. Ορυκτολογική, χημική και μορφολογική μελέτη αιωρουμένων σωματιδίων που συλλέγονται από τους σταθμούς μέτρησης στην ευρύτερη περιοχή, πέρα από το γεγονός ότι δίνει αυτή καθεαυτή πολύτιμες πληροφορίες για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ κ.α. 1991, FILIPPIDIS & GEORGAKOPOULOS, 1992), στην προκειμένη περίπτωση απαιτείται για την αποτίμηση, μαζί με άλλα πειραματικά δεδομένα, των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν.



Σχήμα 7. Η θέση σωματιδίων από τους ΑΗΣ Καρδιάς και Πτολεμαΐδας στο επίπεδο yz στις 21:30 ΤΩ.

Figure 7. Particle location from Kardias and Ptolemais PS at 21:30 LST.

Βιβλιογραφία

- BANTA R.M. & COTTON 1981. An analysis of the structure of local wind systems in a broad mountain basin. *J. Appl. Meteor.*, 20, 1255-1266.
- CHARALAMPIDES G., ABERG G., TRIANTAFYLLOU A., VATALIS K. 1998. The natural isotopes as tracers in environmental studies. Proceedings 1st Balkan Conference EDUCATION AND RESEARCH WITHIN THE FRAME OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT: The case of environment, Thessaloniki, November 1998, p.48-52.
- DEARDORFF J. 1974. Three dimensional numerical study of the height and mean structure of a heated planetary boundary layer. *Boundary - layer Meteorol.*, 7, 81-106.
- ΖΕΡΕΦΟΣ Χ., ΖΙΩΜΑΣ Ι., ΜΠΑΗΣ Α., ΜΕΛΕΤΗ Χ., ΜΠΙΑΛΗΣ Δ., ΤΟΥΡΠΙΑΛΗ Κ. 1991. Προκαταρκτική μελέτη της αέριας ρύπανσης από διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια στην κοιλάδα της Πτολεμαΐδας”, *Τεχνική έκθεση*.
- KALLOS G. 1989. The use of mesoscale models on air pollution studies in industrial insallations. *Environmental Software.*, Vol. 4,117-122.
- KALLOS G. 1991. Mesoscale flow - fields and dispersion in the coastle terrain of eastern korinthian gulf in Greece during summer. *Air pollution Modeling and its Application VIII*, 285-292, ed. H.van Dop and D.G. Steyn, Plenum Press, New York.
- ΜΑΛΟΥΤΑΣ 1989. Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο λεκανοπέδιο Πτολεμαΐδας-Κοζάνης το 1988, Νομαρχία Κοζάνης - Τμήμα Πολεοδομίας και Πολ. Εφαρμογών.
- ΜΠΕΡΓΕΛΕΣ 1992. Παρούσα και μελλοντική ποιότητα περιβάλλοντος από τη λειτουργία των θερμοηλεκτρικών μονάδων της ΔΕΗ στο λεκανοπέδιο Πτολεμαΐδας. Μελέτη - Τεχνική έκθεση για τη ΔΕΗ.
- MAHRER Y. & PIELKE R.A. 1977. Anumerical study of the airflow over irregular terrain. *Beit. Zur Phys der Atm.*, 50, 98-113.
- MCNIDER R.T. 1981. Investigation of the impact of topography circulations on the transport and dispersion of air pollutants Ph.D. Dissertation, University of Virginia, Charlottesville, Virginia, pp. 210.
- MCNIDER R.T., MORAN M. & PIELKE R.A. 1988. Influence of diurnal and inertial boundary layer oscillations on long I range dispertion. *Atmos. Environ.*, 22, No. 11, 2445-2462.
- PHYSICK W.L., ABBS D.J. & PIELKE R.A. 1989. Formation of the thermal internal boundary layer in a mesoscale model. *Boundary Layer Meteor.*, 49, 99-111.
- SEGAL R.A., PIELKER.W, MORAN M.D., YU C.H. 1988. Application of a mesoscale atmospheric modeling system to the estimation of SO₂ concentrations from major elevated sources in southern Florida, *Atmos.Envir.*, 22, 1319-1344.
- PIELKE R.A. (1974). A three-dimensional numerical model of the sea breezes over South Floride. *Mon. Wea. Rev.* 102, 115-139.
- PIELKE R.A., ARRITT R.W., SEGAL M., MORAN M.D. & MCNIDER R.T. 1987.

- Mesoscale numerical modelling of pollutant transport in complex terrain. *Boundary Layer Meteorol.*, 41 pp. 59-74.
- ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ Α.Γ., ΧΕΛΜΗΣ Κ.Γ., ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Δ.Ν., ΣΤΑΜΝΑΣ Ν. 1993. Περιπτώσεις επεισοδίων ρύπανσης στη βιομηχανική περιοχή Πτολεμαΐδας. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, "1η Διεθνής Εκθεση και Συνέδριο για την Τεχνολογία Περιβάλλοντος HELECO 1993, σελ. 138-146.
- ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ Α.Γ. 1994. Πειραματική και θεωρητική μελέτη των ασυνθηκών διασποράς διάχυσης ατμοσφαιρικών ρύπων στον άξονα Αμυνταίου - Πτολεμαΐδας - Κοζάνης - Σερβίων. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών. Σελ. 355.
- ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ Α.Γ., HELMIS C.G., ASIMAKOPOULOS D.N. & SOILEMES A.T. (1995). *Boundary Layer Evolution over Large and Broad Mountain Basin. Theor. Appl. Climatol.* 52, 19-25.
- ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ Α.Γ., GANATSIOS S.S., ΣΤΑΜΝΑΣ Ν. 1998. Concentration levels of atmospheric pollutants in the vicinity of Kozani, Greece, *Proceedings of the international conference Protection and Restoration of the Environment IV*, 396-403.
- ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ Α. 1998. Τηλεθέρμανση και συμπαράγωγή από τη σκοπιά του περιβάλλοντος. Ημερίδα ΚΤΕΣΚ. Οι εφαρμογές της τηλεθέρμανσης & συμπαράγωγής στην Ελλάδα και η βέλτιστη αξιοποίηση των εγχώριων ενεργειακών πόρων.
- ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ Α.Γ., KASSOMENOS P., KALLOS G. 1999. On the degradation of air quality due to SO₂ and PM₁₀ in the Eordea Basin. Greece, *Meteorol. Zeitschrift*, N.E. 8, 60-70.
- ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α., ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α., ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α. 1991. Ορυκτολογική μελέτη ιπτάμενης τέφρας βορείου και κυρίου πεδίου λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας. 1ο Επιστημονικό Συνέδριο ΓΕΩΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας.
- FILIPPIDIS A., GEORGAKOPOULOS A. 1992. Mineralogical and chemical investigation of fly ash from the main and northern lignite fields in Ptolemais, Greece. *Fuel*, Vol.71, 373-376.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 452-462</p>
---	---	--

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ, ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ
ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM10
ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ

A. Τριανταφύλλου¹, A. Φιλιππίδης², A. Πάτρα²,
A. Παυλίδης¹, N. Καντηράνης²

Περίληψη

Οι μέσες εποχιακές τιμές συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10, σε κεντρικό σημείο της πόλης της Κοζάνης (Πλατεία Αριστοτέλους), είναι μεγαλύτερες των 50 µg/m³ για όλες τις εποχές. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν την καλοκαιρινή περίοδο. Η μείωση της συγκέντρωσης που εμφανίζεται την Κυριακή, αποδίδεται στην ύφεση των δραστηριοτήτων της πόλης, εξαιτίας της αργίας. Η ορυκτολογική και μορφολογική ανάλυση δειγμάτων PM10 που αντιστοιχούν σε αυξημένες συγκεντρώσεις, όπως στις 10 Ιουλίου 1996, συνηγορούν ότι τα σωματίδια PM10 της πόλης της Κοζάνης, δεν έχουν ως πηγή μόνο την τέφρα καπναερίων των ατμοηλεκτρικών σταθμών (ΑΗΣ) του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (ΛΚΠ-Α), αλλά και άλλες πηγές εντός και εκτός της πόλεως.

Abstract

The mean seasonal concentrations of suspended particles PM10 in the air of a central area of Kozani city (Aristotelous square) are higher than 50 µg/m³ for all seasons. The higher concentrations are observed during the summer season. The decrease in concentration of PM10 observed during Sunday is due to the abatement of the activities in the city of Kozani. The mineralogical and morphological investigation of PM10 samples, selected during a day with high concentration (July 10, 1996), indicate that the stack gas ashes of the power plants in the Lignite Center of Ptolemais-Amynteo (LCP-A), are not the only source for the PM10 particles. Other sources inside and outside the city of Kozani are also responsible.

Εισαγωγή

Η Κοζάνη είναι η μεγαλύτερη πόλη της Δυτικής Μακεδονίας με πληθυσμό 60000 κατοίκους περίπου. Βρίσκεται νότια του λεκανοπεδίου της Εορδαίας, όπου υπάρ-

-
1. Τμήμα Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Τ.Ε.Ι., 501 00 Κοζάνη, Email: astria@kozani.teikoz.gr
 2. Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 540 06 Θεσσαλονίκη, Email: anestis@geo.auth.gr

χει έντονη βιομηχανική δραστηριότητα. Στην περιοχή παράγεται το 70% περίπου της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας από τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ) που λειτουργούν στο Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (ΛΚΠ-Α). Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο είναι λιγνίτης που εξορύσσεται σε λιγνιτωρυχεία της περιοχής. Κάτω από συγκεκριμένες ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι δυνατή η μεταφορά ρύπων από την περιοχή βιομηχανικής δραστηριότητας του λεκανοπεδίου προς την περιοχή της πόλης της Κοζάνης (ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ 1994, ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ et al. 1999).

Με βάση την ισχύουσα Ευρωπαϊκή νομοθεσία, μέτρο για την επιβάρυνση από αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν οι συγκεντρώσεις ολικών αιωρουμένων σωματιδίων, δηλαδή σωματιδίων σκόνης με διάμετρο μικρότερη από 100 μm. Ωστόσο πιστεύεται ότι μόνο αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 10 μm (PM10) είναι κυρίως υπεύθυνα για διάφορες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, επειδή μόνο αυτά εξαιτίας μεγέθους έχουν την ικανότητα να εισχωρούν στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα (SIMSON 1990, MONN et al. 1995). Έτσι, καθώς τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP) περιλαμβάνουν όλα τα σωματίδια σε αιώρηση, η μέτρησή τους δεν αποτελεί ικανοποιητικό δείκτη από πλευράς επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία. Για το λόγο αυτό, τον Ιούνιο 1987 η Αμερικάνικη Υπηρεσία Προστασίας του περιβάλλοντος (USEPA) υιοθέτησε νέο όριο συγκέντρωσης για αιωρούμενα σωματίδια, που αναφέρεται σε αυτά με διάμετρο κάτω από 10 μm (PM10). Το όριο αυτό είναι 50 μg/m³ και αναφέρεται σε μέση ετήσια συγκέντρωση. Η οριακή τιμή για τη μέση 24ωρη συγκέντρωση είναι 150 μg/m³ (FEDERAL REGISTER 1987). Υπογραμμίζεται ότι πρόσφατα η USEPA υιοθέτησε νέο όριο που αναφέρεται στα PM2.5. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι με την οδηγία 30/99 της Ευρωπαϊκής Ένωσης που βρίσκεται στο τελικό στάδιο, υιοθετείται νέο όριο για τα αιωρούμενα σωματίδια ανάλογο με αυτό της USEPA.

Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία των ανθρώπων και γενικότερα στο περιβάλλον σχετίζονται, εκτός από τη συγκέντρωση και με την ορυκτολογία, μορφολογία και χημεία των σωματιδίων αυτών (SWAINE 1990, CLARKE & SLOSS 1992, ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ κ.α. 1992, GEORGAKOPOULOS et al. 1992, 1994, 1996, GUTHRIE & MOSSMAN 1993, KASSOLI-FOURNARAKI et al. 1993, SENGUPTA 1993). Το ενδιαφέρον από πλευράς ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή έχει κύρια εστιαστεί στις βιομηχανικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ωστόσο η συμβολή των πηγών από αστική δραστηριότητα δεν φαίνεται να έχει συνεκτιμηθεί. Εργασίες τηλεθέρμανσης στην πόλη της Κοζάνης, έντονη οικοδομική δραστηριότητα, κυκλοφοριακό σε συνδυασμό με το οδικό δίκτυο στην πόλη, και άλλες αστικές δραστηριότητες, φαίνεται ότι αποτελούν πηγές των οποίων η συμβολή στις συγκεντρώσεις αιωρουμένων σωματιδίων θα πρέπει να εξεταστεί.

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της συγκέντρωσης, της ορυκτολογίας και

μορφολογίας των αιωρούμενων σωματιδίων σε κεντρική περιοχή της πόλης της Κοζάνης.

Υλικά και μέθοδοι έρευνας

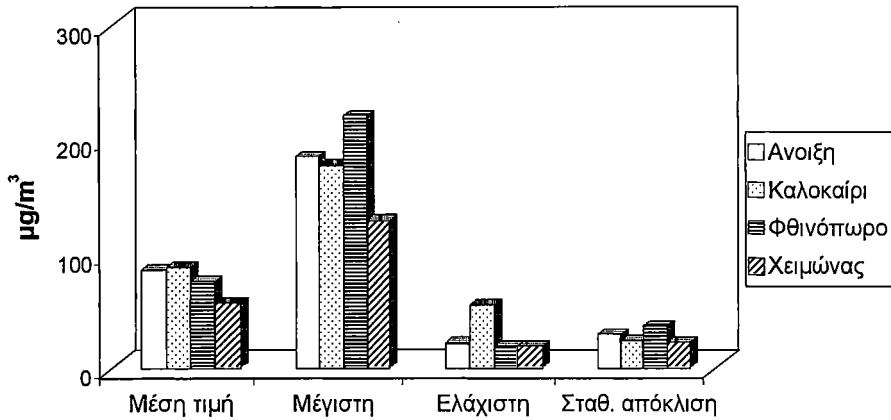
Οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων PM10 πραγματοποιήθηκαν σε κεντρική περιοχή της πόλης της Κοζάνης (Πλατεία Αριστοτέλους) και αναφέρονται σε χρονική περίοδο ενός έτους και συγκεκριμένα για το 1996. Χρησιμοποιήθηκε δειγματοληπτής β-απορρόφησης, του Γερμανικού οίκου FAG, με ειδική κεφαλή δειγματοληψίας για την επιλογή των PM10, του Τμήματος Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Κοζάνης. Η λειτουργία του στηρίζεται στην απορρόφηση β-ακτινοβολίας από σωματίδια που συλλέγονται από το δειγματοληπτή σε ειδική φιλτροταινία υαλονημάτων. Η αλλαγή φιλτροταινίας γίνεται αυτόματα από το όργανο και ρυθμίζεται από το χρήστη. Σε κάθε κύκλο μέτρησης γίνεται αυτόματος έλεγχος του μηδενός, ενώ η βαθμονόμηση γίνεται με ειδικά ελάσματα μετάλλου (foils) γνωστής απορρόφησης. Οι συγκεντρώσεις λαμβάνονται ως μέσες ωριαίες τιμές.

Η ορυκτολογική μελέτη των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) επί των δειγμάτων, όπως αυτά λήφθηκαν από το δειγματοληπτή τύπου FAG. Χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο Philips του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., με ακτινοβολία CuK_α , φίλτρο Ni, ταχύτητα σάρωσης $1,2^\circ/\text{min}$ και περιοχή σάρωσης $3-53^\circ$ (2θ). Η μορφολογία των κόκκων μελετήθηκε σε σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο του Α.Π.Θ., τύπου JEOL (JSM-840) με σύστημα ανάλυσης LINK-AN 10000 Energy Dispersive System (SEM-EDS).

Αποτελέσματα και συζήτηση

Η εποχιακή μεταβολή των συγκεντρώσεων PM10 τη χρονική περίοδο του έτους 1996 παρουσιάζεται στο Σχ. 1. Οι μέσες εποχιακές τιμές συγκεντρώσεων είναι μεγαλύτερες των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για όλες τις εποχές. Υψηλότερη μέση εποχιακή τιμή παρατηρήθηκε τη θερμή περίοδο του έτους, κατά την οποία παρατηρήθηκε και η μέγιστη ελάχιστη συγκέντρωση. Η παρατηρούμενη αύξηση των συγκεντρώσεων τη θερινή περίοδο, αποδίδεται στις συνθήκες διασποράς που επικρατούν τη θερμή περίοδο, που ευνοούν έντονη ανάμιξη και μεταφορά των ρύπων από τις καμινάδες μέχρι το έδαφος, καθώς και συνεισφορά από αστικές δραστηριότητες, σε συνδυασμό με την απουσία ή την περιορισμένη για την περίοδο αυτή λειτουργία μηχανισμών υγρής εναπόθεσης (PROSPETO et al. 1983). Το φθινόπωρο παρατηρήθηκε η υψηλότερη τιμή μέγιστης συγκέντρωσης, αλλά και η μεγαλύτερη σταθερή απόκλιση, γεγονός που αποδίδεται στην επικράτηση ειδικών μετεωρολογικών συνθηκών (TRIANΤΑFYΛLOU et al. 1999), που ευνοούν ιδιαίτερα την αύξηση των συγκεντρώσεων σε κάποιες ημέρες, ενώ τις υπόλοιπες οι τιμές συγκεντρώσεων κυμαίνονται σε χαμηλά σχετικά επίπεδα.

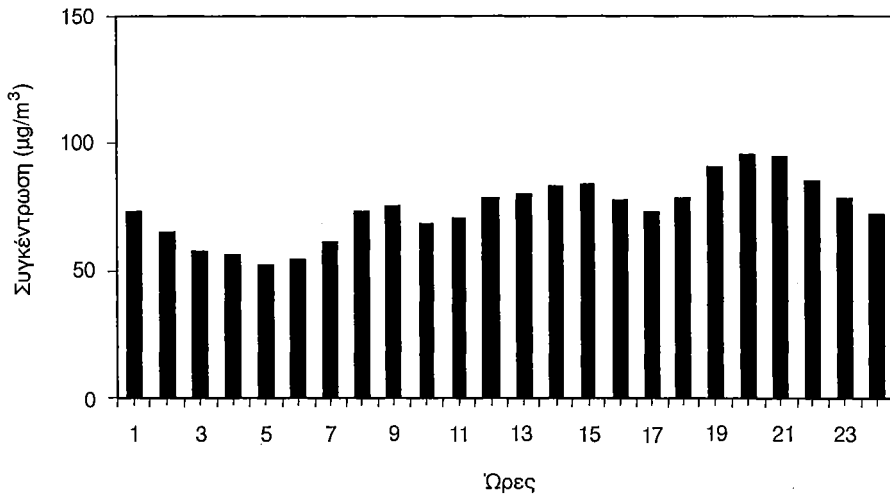
Η ημερησία μεταβολή των συγκεντρώσεων στη διάρκεια του 24ωρου παρου-



Σχήμα 1. Εποχιακή μεταβολή συγκεντρώσεων PM10 για το έτος 1996.

Figure 1. Seasonal variation of PM10 concentration for year 1996.

σιάζεται στο Σχ. 2. Οι τιμές που εμφανίζονται στο σχήμα προέκυψαν από το μέσο όρο των τιμών που αντιστοιχούν σε κάθε ώρα για όλη τη χρονική περίοδο του έτους. Από το σχήμα προκύπτει ότι οι συγκεντρώσεις είναι σχετικά υψηλές σε όλη τη διάρκεια του 24ωρου, ξεπερνώντας τα $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Αξιοσημείωτη μεταβολή στον εβδομαδιαίο κύκλο εμφανίζεται μόνο την Κυριακή και αποδίδεται στην ύφεση, εξαιτίας της αργίας της Κυριακής, των δραστηριοτήτων της πόλης.



Σχήμα 2. Μέση ημερήσια διακύμανση συγκεντρώσεων PM10 για το 1996.

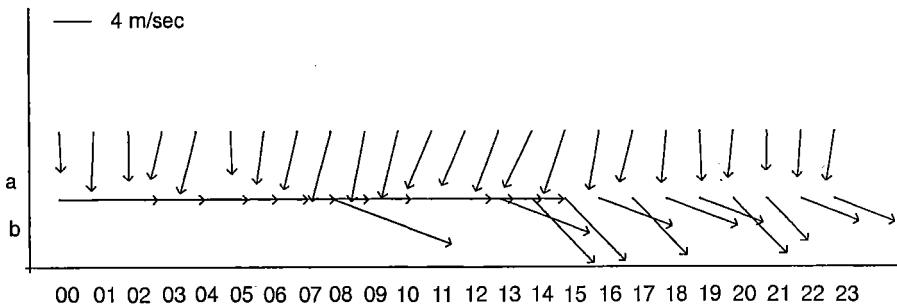
Figure 2. Mean diurnal variation of PM10 concentration for the year 1996.

Η μέση ετήσια συγκέντρωση για το 1996, όπως προκύπτει από το μέσο όρο των μέσων ημερησίων τιμών που μετρήθηκαν στη διάρκεια του έτους, ξεπέρασε την τιμή των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, το όριο δηλαδή που ορίζεται από την USEPA. Όπως έχει αποδειχθεί (ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ 1994), μία από τις περιπτώσεις επεισοδίων ρύπανσης από αιωρούμενα σωματίδια στην περιοχή κατά τη θερινή περίοδο του έτους, είναι αυτή κατά την οποία μεταπικκή επιφάνεια βρίσκεται πάνω από την Ελλάδα, προερχόμενη από κάποιο μέτωπο που κινήθηκε προς τον ελλαδικό χώρο από ΒΔ διευθύνσεις. Στην περίπτωση αυτή, στην περιοχή πνέουν ισχυροί άνεμοι από ΒΔ διευθύνσεις με στροφή που επιβάλλει η τοπογραφία. Στη διαμόρφωση μεγάλων συγκεντρώσεων σκόνης εκτιμήθηκε ότι συνεισφέρουν πλην των σημειακών και άλλες επιφανειακές πηγές, καθώς και επαναϊώρηση σκόνης, εξαιτίας του ισχυρού ανέμου. Μία τέτοια περίπτωση και συγκεκριμένα η 10 Ιουλίου 1996, επιλέχθηκε για την ορυκτολογική και μορφολογική μελέτη των δειγμάτων PM10. Η μέση ημερησία συγκέντρωση PM10 την ημέρα αυτή, ήταν $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ η συνοπτική κατάσταση, καθώς και οι άνεμοι επιφανείας στην περιοχή παρουσιάζονται στο Σχ. 3.

Η ημερησία μεταβολή των συγκεντρώσεων PM10 στη διάρκεια της ημέρας αυτής (Σχ. 4), εμφανίζει απόκλιση σε σύγκριση με τη μέση μεταβολή που παρουσιάζεται στο Σχ. 2.

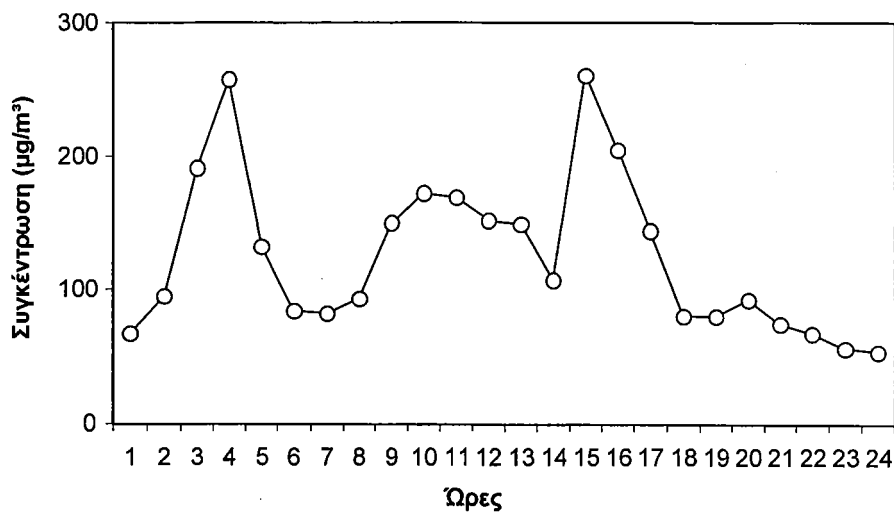
Τα περιθλασιογράμματα των δειγμάτων (Σχ. 5) έδειξαν την παρουσία ορυκτών (Πίν. 1) αλλά και άμορφης ύλης, που προφανώς σχετίζεται με το φίλτρο. Το 'σαμάρι' του υποβάθρου που παρατηρήθηκε στην περιοχή σάρωσης $19-37^\circ 2\theta$, παρατηρήθηκε και στο περιθλασιόγραμμα του καθαρού φίλτρου.

Το φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή των PM10, αποτελεί ένα πλέγμα ιών υάλου (Σχ. 6). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων SEM-EDS, επιβεβαίωσαν τα αποτελέσματα των αναλύσεων XRD, για την παρουσία των ορυκτών ασβε-



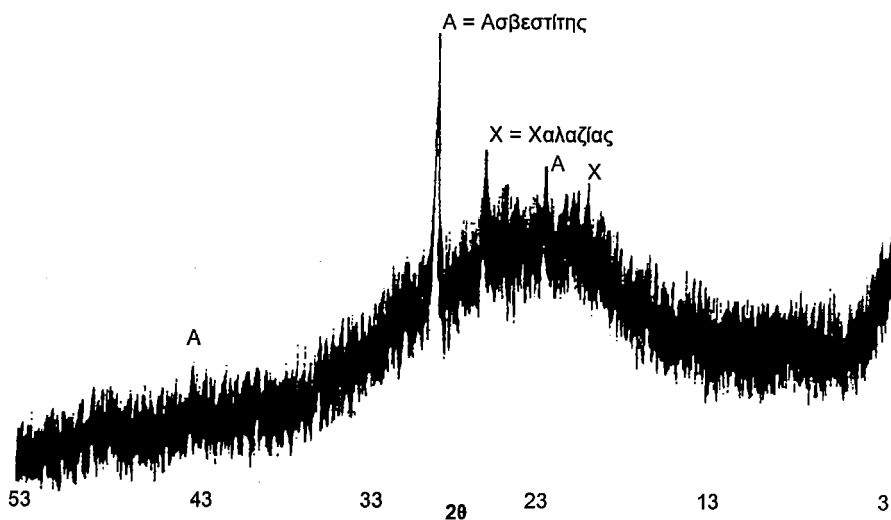
Σχήμα 3. Οι άνεμοι στην επιφάνεια για τις 10.07.1996 (a) στο σταθμό TEI, (b) στο σταθμό Αμυνταίου.

Figure 3. The surface wind for 10.07.1996 (a) at TEI station, (b) at Amynteo station.



Σχήμα 4. Μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις PM10 για τις 10 Ιουλίου 1996.

Figure 4. Hourly concentration of PM10 for July 10, 1996.



Σχήμα 5. Περιθλασιόγραμμα δείγματος PM10 που συλλέχτηκε στις 10 Ιουλίου 1996.

Figure 5. XRD pattern of sample PM10 selected July 10, 1996.



Σχήμα 6. Μικροφωτογραφίες SEM-EDS. Φωτ. 0001 (καθαρού φίλτρου) και Φωτ. 0010 (σωματίδια PM10). α) Ανυδρίτης (SEM-EDS: CaOM44%, SO3M56%), β) Αστρίος (SEM-EDS: SiO₂M65%, Al₂O₃M₂0%, K₂OM13%, Na₂OM2%), γ) Χαλαζίας (SEM-EDS: SiO₂M100%), δ) Ασβεστίτης (SEM-EDS: CaOM56%).

Figure 6. SED-EDS microphotographs. Photo 0001 (pure filter) and photo 0010 (PM10 particles). α) Anhydrite (SEM-EDS: CaOM44%, SO3M56%), β) Feldspar (SEM-EDS: SiO₂M65%, Al₂O₃M20%, K₂OM13%, Na₂OM2%), γ) Quartz (SEM-EDS: SiO₂M100%), δ) Calcite (SEM-EDS: CaOM56%).

Πίνακας 1. Ερμηνεία περιθλασιογράμματος (XRD) δείγματος PM10
Table 1. Interpretation of the XRD pattern of sample PM10

2θ	d (Å)	I (counts)	Ερμηνεία
20,82	4,262	394	Χαλαζίας
23,18	3,833	406	Ασβεσίτης
26,72	3,333	440	Χαλαζίας
29,51	3,025	646	Ασβεσίτης
36,10	2,487	245	Ασβεσίτης
39,52	2,278	228	Χαλαζίας, Ασβεσίτης
43,27	2,089	222	Ασβεσίτης
47,02	1,931	183	Ασβεσίτης
47,63	1,908	196	Ασβεσίτης
48,69	1,869	180	Ασβεσίτης
50,33	1,812	162	Χαλαζίας

σίτη και χαλαζία. Οι προσεγγιστικές τιμές χημικής σύστασης με SEM-EDS και η μορφολογία των κόκκων, υποδεικνύουν επίσης, την πιθανή παρουσία μαρμαρυγών και αργιλικών ορυκτών, αστρίων, ανυδρίτη και δολομίτη (Σχ. 6). Τα ορυκτά αυτά αποτελούν συστατικά της ιπτάμενης τέφρας του ΛΚΠ-Α, ορισμένα από αυτά αποτελούν αρχικά συστατικά του λιγνίτη και άλλα δημιουργούνται κατά την καύση του λιγνίτη (FILIPPIDIS & GEORGAKOPOULOS 1992, FILIPPIDIS et al. 1992, 1996, 1997, KASSOLI-FOURNARAKI et al. 1992, ΔΗΜΗΤΡΟΥΛΑ κ.α. 1997 & ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ κ.α. 1997).

Μορφολογικά, οι κόκκοι των PM10 είναι σφαιρικοί, αποστρωγγυλεμένοι, με ή χωρίς γωνιώδεις ακμές, ινώδεις, κυλινδρικοί, οβάλ και ακανόνιστοι. Κυρίως η μορφολογία των κόκκων με ινώδη και κυλινδρική μορφή δεν έχει παρατηρηθεί στην ιπτάμενη τέφρα των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α (ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ κ.α. 1992, GEORGAKOPOULOS et al. 1992, 1994). Είναι άξιο να επισημανθεί ότι οι κόκκοι με διάμετρο < 5 μm της ιπτάμενης τέφρας των ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α, έχουν αποστρωγγυλεμένη και σπογγώδη μορφή και αποτελούνται κυρίως από ασβεσίτη και γύψο (KASSOLI-FOURNARAKI et al. 1993).

Σε διάφορα σημεία των δειγμάτων PM10 εντοπίστηκαν σφαιρίδια μεγέθους < 5 μm. Η δημιουργία των σφαιριδίων στην ιπτάμενη τέφρα βασίζεται κυρίως στη θεωρία της πτητικότητας-συμπύκνωσης (DAVISON et al. 1974, NATUSCH et al. 1974). Κατά την καύση των ανθράκων, τα ανόργανα συστατικά υφίστανται μια σειρά φυσικών και χημικών μεταβολών. Στα σημεία του καυστήρα όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, παρατηρείται τήξη και συσσωμάτωση καθώς και εξαέρωση ορισμένων ανόργανων συστατικών του λιγνίτη. Με τη συμπύκνωσή τους στα ψυχρότερα σημεία του καυστήρα, δημιουργούνται τα σφαιρίδια.

Οι παραπάνω ορυκτολογικές και μορφολογικές διαφορές μεταξύ των δειγμά-

των PM10 και της ιπτάμενης τέφρας, συνηγορούν ότι τα σωματίδια PM10 της πόλης της Κοζάνης δεν έχουν ως πηγή μόνο την τέφρα καπναερίων των ΑΗΣ του ΑΚΠ-Α, αλλά και άλλες πηγές εντός και εκτός της πόλεως.

Συμπεράσματα

Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 σε κεντρικό σημείο της πόλης της Κοζάνης, για ένα έτος, έδειξε σχετικά μεγάλο υπόβαθρο συγκεντρώσεων σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Η μέση ετήσια συγκέντρωση ξεπερνά την οριακή τιμή των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ η μέση ημερήσια συγκέντρωση είναι χαμηλότερη της οριακής τιμής $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν την καλοκαιρινή περίοδο, ενώ σε ότι αφορά τον εβδομαδιαίο κύκλο, δεν παρατηρήθηκαν αξιοσημείωτες διαφορές εκτός από την Κυριακή, όπου παρατηρήθηκε μείωση των συγκεντρώσεων.

Η ορυκτολογική και μορφολογική ανάλυση των δειγμάτων που αντιστοιχούν σε αυξημένες συγκεντρώσεις PM10, υποδεικνύουν τη συνεισφορά σε αιωρούμενα σωματίδια στην πόλη της Κοζάνης και από άλλες πηγές, πλην της τέφρας των καπναερίων των ΑΗΣ του ΑΚΠ-Α. Οι άλλες αυτές πηγές μπορεί να είναι εντός και εκτός της πόλης της Κοζάνης (π.χ. οικοδομικές δραστηριότητες, εργασίες τηλεθέρμανσης, κυκλοφοριακό σε συνδυασμό με το οδικό δίκτυο και άλλες αστικές δραστηριότητες, επιφάνειες εξόρυξης ορυχείων και λατομείων, χώροι εναπόθεσης τέφρας, ταινιοδρόμοι μεταφοράς λιγνίτη, προϊόντα αιολικής μεταφοράς γεωργικών και εκχερσωμένων επιφανειών, κλπ.). Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι, εξαιτίας του μικρού αριθμού των δειγμάτων PM10 (συνολικά τρία) για την ορυκτολογική και μορφολογική ανάλυση, τα αποτελέσματα και συμπεράσματα θα πρέπει να θεωρηθούν ενδεικτικά. Για ασφαλέστερα αποτελέσματα απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός δειγμάτων, καθώς και εφαρμογή και άλλων μεθόδων (π.χ. γεωχημείας και ορυκτοχημείας).

Ευχαριστίες

Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται στον Αναπλ. Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κ. Σπ. Σκλαβούνο, καθώς και στην βοηθό κ. Ε. Παυλίδου για την πολύτιμη βοήθειά τους στο SEM-EDS.

Ο υποψήφιος διδάκτορας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κ. Ν. Καντηράνης ευχαριστεί θερμά το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών για την υποστήριξη των σπουδών του.

Βιβλιογραφία

- CLARKE B.L. & SLOSS L.L. (1992). Trace elements – Emissions from coal combustion and gasification. IEA Coal Research, IEACR/49, London, p. 111.
- DAVISON R.L., NATUSH D.F.S., WALLACE J.R. & EVANS C.A. (1974). Trace ele-

- ments in fly ash: Dependence of concentration on particle size. *Environ. Sci. Technol.*, 8, 1107-1113.
- ΔΗΜΗΤΡΟΥΛΑ Μ., ΓΕΡΟΥΚΗ Φ. & ΦΩΣΚΟΛΟΣ Α. (1997). Ορυκτολογική, ορυκτοχημική και γεωχημική μελέτη της ιπτάμενης τέφρας των ΑΗΣ Κοζάνης-Πτολεμαΐδας. *Διημερίδα: Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές, Κοζάνη (3-4/10/97)*, Πρακτ., Τομ. Β', 143-158.
- FEDERAL REGISTER (1987). Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter, Vol. 52, No. 52, CFR parts 50, 51, 52, 53 & 58.
- 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 Mineral*, 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. J. Coal Geol.*, 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). *European Sem. Coal Fly Ash, Marseilles (18/4/97)*, Proc., 149-158.
- ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α., ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α. & ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α. (1997). Ορυκτολογία, κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία ιπτάμενων τεφρών των ΑΗΣ του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου. *Διημερίδα: Χρήση της ιπτάμενης τέφρας στις κατασκευές, Κοζάνη (3-4/10/97)*, Πρακτ., Τόμος Β, 159-168.
- 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 Mineral*, 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 (1), 1802-1804.
- GEORGAKOPOULOS A., FILIPPIDIS 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 Intern. Conf. Environmental Pollution, Thessaloniki (16-20/9/96)*, Proc., 114-118.
- ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α., ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α. & ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ 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 (2-3/10/92)*. σ. 12.

- GUTHRIE G.D. & MOSSMAN B.T. (1993). Health effects of mineral dusts. *Reviews in Mineralogy*, vol. 28, Mineralogical Society of America, Michigan, p. 584.
- KASSOLI-FOURNARAKI A., GEORGAKOPOULOS A. & FILIPPIDIS A. (1992). Heating experiments of the Ptolemais lignite in the temperature range from 100°C to 500°C. *N. Jb. Miner. Mh.*, 11, 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: *Current Res. in Geology Applied to Ore Deposits* (Fenoll Hach-Ali, Torres-Ruiz & Gervilla, Els), La Guioconda, Granada, 727-730.
- MONN C., BRAENDL O., SCHAEPPI G., SCHINDLER C., ACKERMANN-LIEBRICH U., LEUENBERGER P., & SAPALDIA T. (1995). Particulate matter < 10 µm (PM10) and total particulates (TSP) in urban, rural and alpine air in Switzerland. *Atmospheric Environment*, 29 (19), 2565-2573.
- NATUSCH D.F.S., WALLACE J.R. & EVANS C.A. (1974). Toxic trace elements: Preferential concentration in respirable particles. *Science*, 183, 202-204.
- PROSPETO J.M., CARLSON R.J., MOHNEN V., JAENICKE R., DELANY A.C., MOYERS J., ZOLLER W. & RAHN K. (1983). The atmospheric aerosol system: an overview. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 21, 1607-1629.
- SENGUPTA M. (1993). *Environmental impacts of mining*. Lewis Publ., Boca Raton, p. 494.
- SIMSON R.W. (1990). A model to control emissions which avoid violations of PM10 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, p. 278.
- ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ Α.Γ. (1994). Πειραματική και θεωρητική μελέτη των συνθηκών Διασποράς-Διάχυσης Ατμοσφαιρικών ρύπων στον άξονα Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας-Κοζάνης-Σερβίων. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, σ. 335.
- ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ Α.Γ., Kassomenos P. & Kallos G. (1999). On the degradation of air quality due to SO₂ and PM10 in the Eordea Basin, Greece. *Meteorol. Zeitschrift*, 8, 60-70.

ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ Δ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ*

Ανανίας Τσιραμπίδης¹

Περίληψη

Ανθρακικά πετρώματα έξι διαφορετικών περιοχών της Δυτικής Μακεδονίας εξετάζονται σ' αυτή την εργασία. Μικροσκοπία πόλωσης και καθοδοφωταύγειας χρησιμοποιήθηκαν για προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης και των ιστολογικών χαρακτηριστικών τους. Περιθλασμετρία ακτίνων Χ χρησιμοποιήθηκε για την εξέταση τόσο του ακατέργαστου αρχικού υλικού όσο και του αδιάλυτου υπολείμματος. Από το συνδυασμό των δεδομένων αυτής της μελέτης και άλλων σχετικών συμπεραίνεται ότι: Τα υποπροϊόντα των μαρμάρων Τρανόβαλτου και Σπηλαίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή ποικίλων αδρανών, σε περιβαλλοντικές εφαρμογές, ως βελτιωτικά εδαφών, ως συμπληρώματα ζωοτροφών, στην υαλουργία και ως πληρωτικά ή λευκαντικά υλικά στις βιομηχανίες χρωμάτων, χάρτου, πλαστικών και ελαστικών. Τα υποπροϊόντα των δολομιτών Κοιλάδας και Γέρμα στην παραγωγή ποικίλων αδρανών, αλλά και λιπασμάτων. Ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος Αγίου Παντελεήμονα για την παραγωγή ποικίλων αδρανών, σε περιβαλλοντικές εφαρμογές, ως βελτιωτικό εδαφών και για ασβεστοποίηση. Ο ασβεστόλιθος του Πολυνερίου είναι χαμηλής ποιότητας και η δυνατότητα χρήσης του εκτός της οικοδομικής είναι πολύ περιορισμένη.

Abstract

Carbonate rocks from six different regions of Western Macedonia (Greece) are studied in this paper. Polarized and cathodoluminescence microscopes were used for the determination of their mineralogical composition and textural characteristics. XRD was used for the examination of both the untreated initial material and the insoluble residue. From the combination of the data extracted and those of others it is concluded that: The Tranovaltos and Spileo marble wastes could be used for the production of various aggregates, in environmental applications, as soil conditioners, as animal food supplements, in glass industry and as fillers or whitenings in many paint, paper, plastics and rubber industries. The Koilada and Germa dolomite wastes could be used for the production of various aggregates, as well as of fertilizers. The Agios Panteleimon recrystallized limestone could be used for the production of various aggregates, in environmental applications, as soil conditioner and for calcination. The Polyneri limestone is of low quality and the possibility to be used in other than construction uses is very limited.

* Study of Carbonate Rocks from Regions of Western Macedonia (Greece).

1. Αναπλ. Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 540 06 Θεσσαλονίκη.

Εισαγωγή

Τα ανθρακικά πετρώματα εκτός της βασικής χρήσης τους ως διακοσμητικών πετρωμάτων, χρησιμοποιούνται ως πηγές ποικίλων βιομηχανικών και γεωργοκτηνοτροφικών προϊόντων. Θρυμματίζονται για χρήση ως αδρανή υλικά (π.χ. σε αρδευτικά αυλάκια, αναβαθμίδες ποταμών, φράγματα, σκυροδέματα, υποστρώματα δρόμων και σιδηροδρομικών γραμμών, ταφικά μνημεία κ.ά.), ως πληρωτικά, λευκαντικά, επικαλυπτικά και απλωτικά υλικά, καθώς και για ασβεστοποίηση.

Σήμερα, οι εφαρμογές των μαρμάρων στις διάφορες κατασκευές είναι απεριόριστες. Οι ανθεκτικές και πολυτελείς μαρμαρίνες δαπεδοστρώσεις διακοσμούν εντυπωσιακά οποιοδήποτε χώρο, τόσο σε απλές κατοικίες όσο και σε κτίρια γραφείων, τράπεζες, ξενοδοχεία και εκκλησίες. Επίσης, από μάρμαρο κατασκευάζονται όλο και περισσότερες εσωτερικές και εξωτερικές σκάλες και ορθομαρμαρώσεις, καθώς και άλλα κομψοτεχνήματα σε συνδυασμό συνήθως με άλλα δομικά υλικά (ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ 1996).

Οι ΡΗΓΑΣ & ΟΡΙΑΝΟΣ (1990) κατατάσσουν τις 14 γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδος σε τρεις γενικές μεταμορφικές ζώνες (εσωτερική, ενδιάμεση, εξωτερική) που παρουσιάζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σχετικά με τη μαρμαροφορία τους. Έτσι, οι πιο ενδιαφέρουσες μαρμαροφόρες περιοχές είναι εκείνες που περιλαμβάνουν νηριτικά ανθρακικά πετρώματα που έχουν μερικώς ή ολικώς μεταμορφωθεί. Η εσωτερική μεταμορφική ζώνη (Ανατ. Μακεδονία και Θράκη) υπερτερεί στο βαθμό μεταμόρφωσης και στο συντελεστή αποληψιμότητας των μαρμάρων όλης της χώρας.

Το παράρτημα Κοζάνης του Ε.Ο.Μ.Μ.Ε.Χ. (1994) στο επιχειρησιακό σχέδιο ανάπτυξης των περιοχών Τρανόβαλτου και Σερβίων, διαπιστώνει την παρουσία σημαντικών προβλημάτων στις μονάδες εξόρυξης, επεξεργασίας και εμπορίας όπως:

- α) Δυσκολία διάθεσης του ημίλευκου μαρμάρου που αποτελεί το 80% της παραγωγής.
- β) Απουσία συμμετοχής σε διεθνείς εκθέσεις μαρμάρου.
- γ) Έλλειψη υποδομών ύδρευσης, αποχέτευσης και οδικού δικτύου.
- δ) Αδυναμίες στη λειτουργία των μονάδων (π.χ. σταθερή ποιότητα, σωστή προβολή, εκπαίδευση εργαζόμενων, απουσία επιστημονικού προσωπικού κ.ά.).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν έχει καταφέρει μέχρι σήμερα να καθιερώσει ενιαίες τεχνικές προδιαγραφές για τα φυσικά διακοσμητικά πετρώματα μολονότι από το 1994 έχει θέσει στην κρίση των χωρών-μελών της πλήρη σχέδια πρότυπων προδιαγραφών. Σήμερα όμως, αρκετές μεγάλες μαρμαροβιομηχανίες έχουν εφοδιαστεί με πιστοποιητικά ποιοτικού ελέγχου (σειρά ISO 9000).

Τα λατομεία μαρμάρου προκαλούν οπωσδήποτε αλλοιώσεις στο φυσικό περιβάλλον που συχνά φτάνουν σε ανεπανόρθωτες καταστροφές. Η έλλειψη ορθολογικής εκμετάλλευσης οδηγεί συχνά σε δημιουργία μετώπων και συγκεντρώσεις

υποπροϊόντων και στείρων που φαίνονται από μεγάλες αποστάσεις. Η αξιοποίηση των υποπροϊόντων και η χρησιμοποίησή τους σε διάφορους άλλους τομείς, καθώς και η αποκατάσταση και αξιοποίηση των λατομείων που ολοκληρώθηκε η εκμετάλλευσή τους, αποτελούν σημαντικά κεφάλαια της συνολικής έρευνας για το μάρμαρο που είναι σήμερα το πρώτο σε συνολική αξία βιομηχανικό πέτρωμα της Ελλάδος.

Στην εργασία αυτή εξετάζονται οι δυνατότητες αξιοποίησης των υποπροϊόντων των μαρμάρων έξι διαφορετικών περιοχών της Δ. Μακεδονίας με κύριο στόχο την προστασία του περιβάλλοντος.

Γεωλογικά στοιχεία

Τέσσερις περιοχές δειγματοληψίας (Τρανόβαλτος και Κοιλάδα Κοζάνης, Γέρμας Καστοριάς και Άγιος Παντελεήμονας Φλώρινας) γεωτεκτονικά ανήκουν στην Πελαγονική ζώνη. Αυτή αποτελείται από το κρυσταλλοσχιτώδες υπόβαθρο, τους γνευσιωμένους γρανίτες, τα ημι-μεταμορφωμένα Περμο-Τριαδικά πετρώματα, τα δύο ανθρακικά (δυτικό και ανατολικό) καλύμματα του Τριαδικού-Ιουρασικού, τους οφειόλιθους και τα Ανωκρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα.

Το δυτικό ανθρακικό κάλυμμα στο οποίο ανήκει η περιοχή Τρανόβαλτου (δυτικές υπώρειες Καμβουνίων ορέων) και η περιοχή Γέρμα (δυτικές υπώρειες όρους Μουρικίου), αποτέθηκε στο δυτικό περιθώριο της ζώνης και παρουσιάζει βαθμιαία μεταβολή προς τα δυτικά από καθαρά νηριτικές σε πελαγικές φάσεις. Αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους λευκούς ως μαύρους, πλακάδεις ή λατυποπαγείς (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ 1985). Στην περιοχή Τρανόβαλτου τα κατώτερα μέλη της ανθρακικής σειράς έχουν χρώμα λευκό ως ρόδινο, ενώ τα ανώτερα τεφρό. Συχνές είναι οι παρεμβολές λεπτών ενστρώσεων σχιστόλιθων και φυλλιτών. Τα μάρμαρα της περιοχής εμφανίζονται έντονα τεκτονισμένα με εκδήλωση πτυχών, ρηγμάτων και διακλάσεων. Τα επίπεδα των ρηγμάτων και των διακλάσεων έχουν γενικά μεγάλες κλίσεις (70-90°). Η πυκνότητα των διακλάσεων είναι πολύ μεγάλη φτάνοντας σε ορισμένες θέσεις τις 15 διακλάσεις το τετραγ. μέτρο (ΓΑΛΑΝΑΚΗΣ 1993).

Το ανατολικό ανθρακικό κάλυμμα στο οποίο ανήκουν οι άλλες δύο περιοχές μελέτης, αποτέθηκε στο ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής ζώνης, παρουσιάζει χαρακτηριστικά καθαρά νηριτικής φάσης και αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μάρμαρα, σιπολίτες και δολομίτες (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ 1985). Στην περιοχή Αγίου Παντελεήμονα (νοτιοδυτικές υπώρειες όρους Βόρα) τα ανθρακικά πετρώματα είναι έντονα καταπονεμένα και εμφανίζονται με χρώμα λευκό ως ρόδινο (μάρμαρα) ή τεφρό ως τεφροπράσινο (ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι). Στην περιοχή Κοιλάδας (βόρειες υπώρειες όρους Σκοπού) τα ανθρακικά πετρώματα είναι παχυστρωματώδεις δολομίτες με χρώμα κυρίως λευκό ως λευκότεφρο. Έχουν ηλικία Τριαδικού-Κατώτερου Ιουρασικού.

Οι ασβεστόλιθοι των περιοχών Σπηλαίου και Πολυνερίου Γρεβενών (ανατολικές υπώρειες όρους Όρλιακα) εμφανίζονται ως υπόβαθρο της Υποπελαγονικής ζώνης που αποτελεί τη δυτική καταφέρεια της Πελαγονικής. Θεωρούνται επικλυσιογενείς σχηματισμοί ηλικίας Μέσου-Άνω Κρητιδικού. Άλλοτε είναι νηριτικοί και άλλοτε πελαγικοί με λεπτές ψαμμιτομαργαϊκές ενστρώσεις (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ 1985).

Υλικά και μέθοδοι

Τα δείγματα συλλέχθηκαν από λατομεία (ενεργά ή αδρανοποιημένα) των αντίστοιχων περιοχών. Ετοιμάστηκαν λεπτές τομές για εξέταση στο πολωτικό μικροσκόπιο. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε μικροσκόπιο καθοδοφωταύγειας (Luminoscope ELM-2B, με 1,0 mA και 6,5 kV), για την εξέταση λειασμένων πλακωδών δοκιμίων δύο δειγμάτων με πάχος 1,8 mm και επιφάνεια περίπου 4 cm². Τμήμα των δειγμάτων θρυμματίστηκε με σφυρί και κονιοποιήθηκε σε μηχανικό γουδί βολφραμίου για ένα λεπτό. Δέκα γραμμάρια από κάθε κονιοποιημένο δείγμα κατεργάστηκαν για 15' με θερμό διάλυμα 0,5 N HCl για προσδιορισμό του αδιάλυτου υπολείμματός τους. Επίσης, πραγματοποιήθηκε ακτινογραφική εξέταση σε περιθλασίμετρο Philips με ακτινοβολία CuK_α και φίλτρο Ni. Τυχαία προσανατολισμένα παρασκευάσματα (κόνεως) σαρώθηκαν στο διάστημα 3-53° 2θ με ταχύτητα σάρωσης 1,2°/min. Η ημιποσοτική εκτίμηση των ορυκτών φάσεων έγινε από αυτά τα περιθλασιογράμματα χρησιμοποιώντας τις μεθόδους των SCHULTZ (1964), PERRY & HOWER (1970) και KLUG & ALEXANDER (1974). Τέλος, η ορυκτολογική σύσταση του αδιάλυτου υπολείμματος των δειγμάτων που αναλύονται προσδιορίστηκε πάλι ακτινογραφικά.

Αποτελέσματα

Τρανόβαλτος Κοζάνης

Μακροσκοπικά το δείγμα έχει χρώμα λευκό ως λευκότεφρο, παρουσιάζει ασαφή στρωμάτωση και δεν έχει μικρορωγμώσεις. Πετρογραφικά χαρακτηρίζεται ως ασβεσιτικό μάρμαρο. Εκτός του ασβεστίτη, συμμετέχει ο δολομίτης με 4% και ίχνη σερικήτη, χαλαζία και αστρίων (Πίν. 1, Σχ. 1). Απουσιάζουν τα αλλόχθονα συστατικά και τα φλεβίδια. Το μέσο μέγεθος των κόκκων του είναι 0,2 mm και σύμφωνα με την ταξινόμηση των ΡΗΓΑΣ κ.ά. (1990) χαρακτηρίζεται ως λεπτοκοκκώδες. Το αδιάλυτο υπόλειμμα του είναι 1% και το σύνολο των προσμίξεων του (οξειδία εκτός των CaO και MgO) είναι 0,52% (I.G.M.E. 1995). Εμφανίζει σχετικά χαμηλή τιμή υδαταπορρόφησης (0,12%) και αποδεκτές τιμές απορροφητικότητας ελαίου (17,0 ml/100 g), λευκότητας (93%) και αποξεστικότητας (15 mg) (LASKARIDIS 1987) (Πίν. 2).

Η εξέταση του πλακώδους δοκιμίου του Τρανόβαλτου στο μικροσκόπιο καθοδοφωταύγειας έδωσε τεφροπορτοκαλί χρώμα φωταύγειας σε όλους τους κρυστάλλους, ένδειξη παρουσίας πυριτικών προσμίξεων. Επίσης, παρατηρήθηκαν διαφο-

Πίνακας 1. Ορυκτολογική σύσταση (κ.β. %) των δειγμάτων που αναλύονται
Table 1. Mineralogical composition (wt. %) of the samples analyzed

Περιοχή	M.M.K.	A.Y.	L.O.I.	C	D	M	Q	F	Cl	Ox
Τρανόβαλτος	0,2	1,0	44,4	96	4	ιχ	ιχ	ιχ		
Κοιλάδα	0,2	0,3	45,9	6	94	ιχ	ιχ	ιχ	ιχ	
Σπήλαιο	0,05	0,3		100			ιχ	ιχ		
Πολυνέρι	< 0,005	0,6		95	3		ιχ	2	ιχ	
Γέρας	0,1	3,0	43,5	16	80	4	ιχ	ιχ	ιχ	
Αγ. Παντελεήμων	1,0	1,1	43,6	98	2	ιχ	ιχ	ιχ	ιχ	ιχ

M.M.K. = μέσο μέγεθος κόκκων (mm), A.Y. = αδιάλυτο υπόλειμμα (%),

L.O.I. = απώλεια πύρωσης (%).

C = ασβεστίτης, D = δολομίτης, M = μαρμαρυγίας (σερικήτης), Q = χαλαζίας, F = άστριοι, Cl = αργιλικά ορυκτά, Ox = μεταλλικά οξείδια, ιχ = ίχνη.

Πίνακας 2. Τιμές φυσικομηχανικών ιδιοτήτων δειγμάτων που αναλύονται (LASKARIDIS 1987, KANTHPANHS κ.ά. 1999)

Table 2. Values of physicommechanical properties of samples analyzed (LASKARIDIS 1987, KANTIRANIS et al. 1999)

Περιοχή	1	2	3	4	5	6	7
Τρανόβαλτος	0,12	17,0	93	15	1184	227	5,9
Κοιλάδα	0,07	14,9	94	27			
Αγ. Παντελεήμων					1030		

1 = υδαταπορρόφηση (%), 2 = απορροφητικότητα ελαίου (ml/100 g),

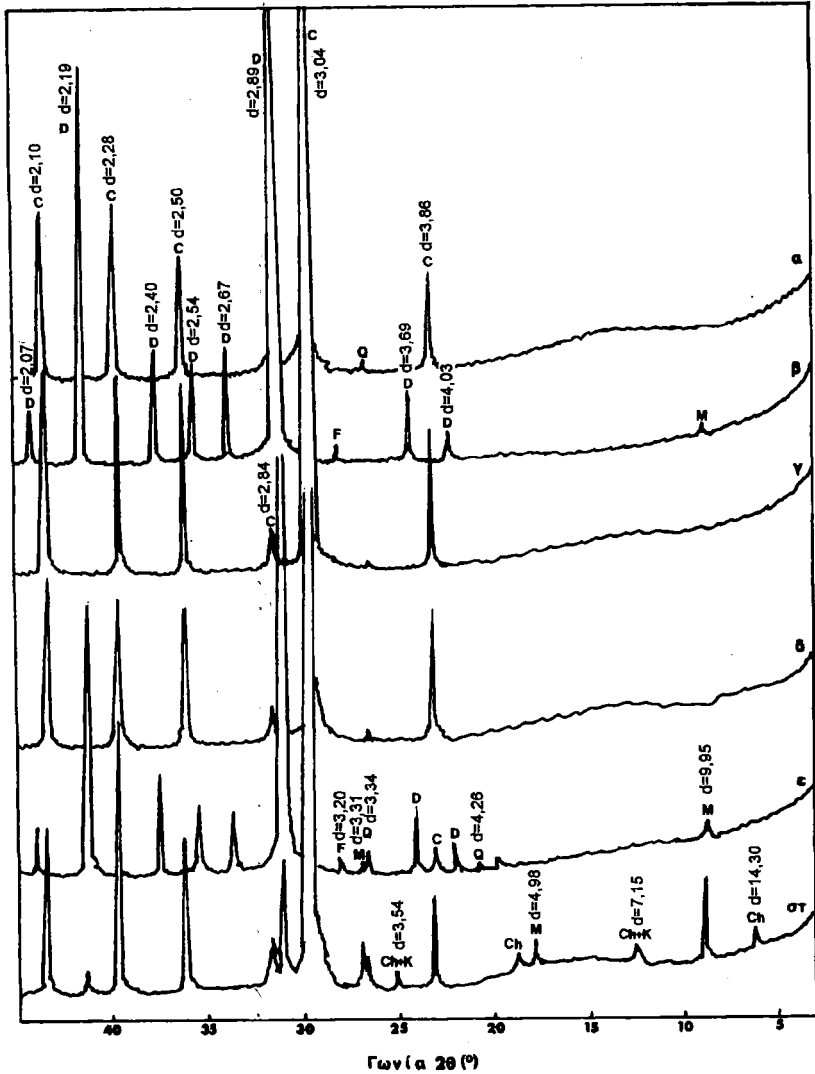
3 = λευκότητα (%), 4 = αποξεστικότητα (mg), 5 = αντοχή σε θλίψη (kg/cm²),

6 = αντοχή σε κάμψη (kg/cm²), 7 = αντοχή σε φθορά από τριβή (mm).

ροποιήσεις στην ένταση της φωταύγειας μέσα σε ατομικούς κρυστάλλους αυτού του μαρμάρου, γεγονός που οφείλεται στην τυχαία κατανομή των ιχνοστοιχείων μέσα στο πλέγμα τους. Η καθοδοφωταύγεια επιτρέπει παρατηρήσεις χαρακτηριστικών που συχνά είναι αδύνατο να προσδιοριστούν με το πολωτικό μικροσκόπιο. Οι ποικιλίες στα χρώματα καθοδοφωταύγειας των ανθρακικών πετρωμάτων συνήθως οφείλονται στις διαφορετικές αναλογίες του Mn²⁺ (σημαντικότερος ενεργοποιητής) και του Fe²⁺ (κύριος αναχαιτιστής). Ο σίδηρος εμποδίζει ουσιαστικά την εμφάνιση φωταύγειας στα ανθρακικά πετρώματα, όταν η συγκέντρωσή του είναι > 1 κ.β. % Fe²⁺ (ή > 1,4% Fe₂O₃) (PIERSON 1981).

Κοιλάδα Κοζάνης

Μακροσκοπικά το δείγμα εμφανίζεται με χρώμα λευκό ως λευκότεφο και χωρίς στρωμάτωση ή μικρορωγμές. Πετρογραφικά χαρακτηρίζεται ως δολομί-



Σχήμα 1. Αντιπροσωπευτικά περιθλασιογράμματα τυχαία προσανατολισμένων παρασκευασμάτων των δειγμάτων που αναλύονται. α = Τρανόβαλτος, β = Κοιλάδα, γ = Σπήλαιο, δ = Πολυνέρι, ε = Γέρμας, σ = Άγιος Παντελεήμων. C = ασβεστίτης, D = δολομίτης, M = μαρμαρυγίας (σερικίτης), Q = χαλαζίας, F = άστριοι, Ch = χλωρίτης (+βερεμικουλίτης), K = καολινίτης.

Figure 1. Representative XRD patterns of randomly oriented mounts of the samples analyzed. α = Tranovaltos, β = Koilada, γ = Spileo, δ = Polyneri, ε = Germas, σ = Agios Panteleimon. C = calcite, D = dolomite, M = mica (sericite), Q = quartz, F = feldspars, Ch = chlorite (+vermiculite), K = kaolinite.

της. Εκτός του ορυκτού δολομίτη, συμμετέχει ο ασβεστίτης με 6% και ίχνη σερικίτη, χαλαζία, αστρίων και αργιλικών ορυκτών (Πίν. 2, Σχ. 1). Απουσιάζουν τα αλλόχθονα συστατικά και τα φλεβίδια. Το μέσο μέγεθος των κόκκων του είναι 0,2 mm και κατά τους ΡΗΓΑΣ κ.ά. (1990) χαρακτηρίζεται ως λεπτοκοκκώδες. Δεν εμφανίζει όμως καλή ομοιογένεια στο μέγεθος των κόκκων του. Το αδιάλυτο υπόλειμμά του είναι 0,3%. Παρουσιάζει αποδεκτές τιμές υδαταπορρόφησης (0,07%), απορροφητικότητας ελαίου (14,9 ml/100 g) και λευκότητας (94%) και οριακή τιμή αποξεστικότητας (27 mg) (LASKARIDIS 1987) (Πίν. 2).

Σπήλαιο Γρεβενών

Μακροσκοπικά το δείγμα εμφανίζεται με χρώμα λευκορόδινο, με άφθονα απολιθώματα και με πολλές μικρορωγμές. Πετρογραφικά χαρακτηρίζεται ως βιοσπαριτικός ασβεστόλιθος, εξαιτίας του σπαριτικού υλικού πλήρωσης και της εκτεταμένης παρουσίας αλλόχθονων συστατικών (κυρίως βιοκλάστες με αναλογία 60%). Αποτελείται αποκλειστικά από το ορυκτό ασβεστίτη και ίχνη χαλαζία και αστρίων (Πίν. 1, Σχ. 1). Το μέσο μέγεθος των κόκκων του είναι 0,05 mm και σύμφωνα με τους ΡΗΓΑΣ κ.ά. (1990) χαρακτηρίζεται ως σφιγροκοκκώδες. Το αδιάλυτο υπόλειμμά του είναι 0,3%.

Η εξέταση του πλακώδους δοκμίου του Σπηλαίου στο μικροσκόπιο καθοδοφωταύγειας έδωσε τεφρό χρώμα φωταύγειας σε όλους τους κρυστάλλους που χαρακτηρίζονταν από ευδιάκριτες κυματοειδείς ζώνες (ανομοιογένεια φωταύγειας), ένδειξη παρουσίας πυριτικών προσμίξεων. Επίσης, παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις στην ένταση της φωταύγειας μέσα σε ατομικούς κρυστάλλους αυτού του ασβεστόλιθου, γεγονός που οφείλεται στην τυχαία κατανομή των ιχνοστοιχείων μέσα στο πλέγμα τους.

Πολυνέρι Γρεβενών

Μακροσκοπικά το δείγμα εμφανίζεται με χρώμα τεφροκαστανό και άφθονα απολιθώματα. Επίσης, πολλά φλεβίδια, συνήθως πληρωμένα με ανακρυσταλλωμένο ασβεστίτη, διατέμνουν όλη τη μάζα του. Πετρογραφικά χαρακτηρίζεται ως βιομικριτικός ασβεστόλιθος, εξαιτίας του μικριτικού υλικού πλήρωσης και της εκτεταμένης παρουσίας αλλόχθονων συστατικών (βιοκλάστες 60%, ωόλιθοι 10% και σφαιριδία 5%). Εκτός του ασβεστίτη, εποισιώδη ορυκτά συστατικά είναι ο δολομίτης (3%) και οι άστριοι (2%) (Πίν. 1, Σχ. 1). Συμμετέχουν επίσης σε ίχνη ο χαλαζίας και τα αργιλικά ορυκτά. Το μέσο μέγεθος των κόκκων του είναι < 0,005 mm και κατά τους ΡΗΓΑΣ κ.ά. (1990) χαρακτηρίζεται ως σφιγροκοκκώδες. Το αδιάλυτο υπόλειμμά του είναι 0,6%. Εμφανίζει πολύ μεγάλη ανομοιογένεια στο μέγεθος και στο σχήμα των συστατικών του και επομένως χαμηλή συνεκτικότητα και σχετικά υψηλή υδαταπορρόφηση.

Γέωμα Καστοριάς

Μακροσκοπικά το δείγμα εμφανίζεται με χρώμα ρόδινο και άφθονες μικρορωγμές. Πετρογραφικά χαρακτηρίζεται ως ασβεστιτικός δολομίτης. Εκτός του ορυκτού δολομίτη, περιέχει ασβεσίτη 16%, σερικίτη 4% και ίχνη χαλαζία, αστρίων και αργιλικών ορυκτών (Πίν. 1, Σχ. 1). Απουσιάζουν τα αλλόχθονα συστατικά, αλλά υπάρχουν φλεβίδια πληρωμένα με ανακρυσταλλωμένο ασβεσίτη. Το μέσο μέγεθος των κόκκων του είναι 0,1 mm και σύμφωνα με τους ΡΗΓΑΣ κ.ά. (1990) χαρακτηρίζεται ως λεπτοκοκκώδες. Παρουσιάζει υψηλό ποσοστό αδιάλυτου υπολείμματος (3%).

Άγιος Παντελεήμονας Φλώρινας

Μακροσκοπικά το δείγμα εμφανίζεται με χρώμα τεφροπράσινο και άφθονες μικρορωγμές. Πετρογραφικά χαρακτηρίζεται ως ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος. Απουσιάζουν τα αλλόχθονα συστατικά, υπάρχουν όμως φλεβίδια πληρωμένα από αργιλικά ορυκτά και μεταλλικά οξειδία. Εκτός του ασβεσίτη υπάρχει δολομίτης 2% και ίχνη σερικίτη, χαλαζία, αστρίων, αργιλικών ορυκτών και μεταλλικών οξειδίων (Πίν. 1, Σχ. 1). Το μέσο μέγεθος των κόκκων του είναι 1,0 mm και κατά τους ΡΗΓΑΣ κ.ά. (1990) χαρακτηρίζεται ως μεσοκοκκώδες. Το αδιάλυτο υπόλειμά του είναι 1,1% και το σύνολο των προσμίξεών του (οξειδία εκτός των CaO και MgO) αποτελεί το 1,95% του αρχικού υλικού (παγκόσμιος μέσος όρος προσμίξεων ασβεστολιθικών πετρωμάτων ≈8%, ελληνικός μέσος όρος προσμίξεων ασβεστόλιθων, δολομιτών και μαρμάρων ≈1,5%) (KANTHPANHS κ.ά. 1999).

Συμπεράσματα

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι κύριες προδιαγραφές χρήσεων (κ.β. %) των ανθρακικών πετρωμάτων με βάση τη χημική τους σύσταση και τις φυσικομηχανικές τους ιδιότητες. Σύμφωνα με αυτές τις προδιαγραφές:

Τα υποπροϊόντα των μαρμάρων Τρανόβαλου και Σπηλαίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή αδρανών υλικών ποικίλης κοκκομετρίας και πολλών εφαρμογών, για περιβαλλοντικές χρήσεις, ως βελτιωτικά εδαφών, ως συμπληρώματα ζωοτροφών, στην υαλοργία και ως πληρωτικά ή λευκαντικά υλικά σε βιομηχανίες χρωμάτων, χάρτου, πλαστικών και ελαστικών. Εξαιτίας των δυσμενών τεκτονικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν τα μάρμαρα του Τρανόβαλου, μειώνεται σημαντικά ο συντελεστής αποληψιμότητας υγιών όγκων, μολονότι παρουσιάζουν υψηλή λευκότητα και ικανοποιητικές φυσικομηχανικές ιδιότητες (ΓΑΛΑΝΑΚΗΣ 1993). Η εκμετάλλευση αυτών των μαρμάρων κρίνεται συμφέρουσα στους κατώτερους ορίζοντες της ανθρακικής σειράς, κοντά στην επαφή τους με το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, όπου και παρουσιάζονται λιγότερο καταπονεμένα.

Τα υποπροϊόντα των δολομιτών Κοιλιάδας και Γέωμα μπορούν να χρησιμοποιη-

Πίνακας 3. Κύριες ποιοτικές απαιτήσεις για χρήση των ανθρακικών πετρωμάτων με βάση τη χημική σύστασή τους (κ.β. %) και τις τιμές των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων τους (CARR & ROONEY 1975, BOYNTON 1980, POWER 1985, HARBEN 1992)

Table 3. Main quality requirements for use of the carbonate rocks on the basis of their chemical composition (wt. %) and values of their physicommechanical properties (CARR & ROONEY 1975, BOYNTON 1980, POWER 1985, HARBEN 1992)

Παραγωγή αδρανών	Μέγεθος τεμαχιδίων = 1-200 mm
Παραγωγή ασβέστου	Μέγεθος τεμαχιδίων < 40 mm, CaCO ₃ > 95, SiO ₂ < 1
Βελτιωτικά εδαφών	Μέγεθος τεμαχιδίων < 5 mm, MgO < 5
Περιβαλλοντικές χρήσεις	Μέγεθος τεμαχιδίων < 2 mm, CaCO ₃ = 85-95, MgO + A.Y. < 5
Τσιμεντοβιομηχανία	CaCO ₃ > 65, MgO < 5, A.Y. < 1,5, F < 0,1
Βιομηχανία λιπασμάτων	Μέγεθος τεμαχιδίων = 0,2-2 mm, CaCO ₃ > 60, MgO = 5-20
Μεταλλουργία	Μέγεθος τεμαχιδίων < 30 mm, CaCO ₃ > 97, (SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + FeO + MnO) < 3, P < 0,02, S < 0,1
Κατεργασία σακχαρότευτλων	CaCO ₃ > 98,5, SiO ₂ < 0,5
Αποθείωση καπνοδόχων	Μέγεθος τεμαχιδίων < 0,1 mm, CaCO ₃ > 95, SiO ₂ < 2, Al ₂ O ₃ < 1, Fe ₂ O ₃ < 1, MgO < 1, MnO < 0,02, Cl < 0,1
Συμπληρώματα ζωοτροφών	CaCO ₃ > 98, SiO ₂ M 0, Al ₂ O ₃ M 0, (As + F + Hg + Pb + H.M.) M 0
Παραγωγή υαλοπινάκων	Μέγεθος τεμαχιδίων = 1-5 mm, CaO > 55, Al ₂ O ₃ < 0,35, Fe ₂ O ₃ < 0,08, MgO < 0,8, SO ₃ < 0,05, A.Y. < 0,6, C < 0,1, υγρασία < 0,05
Παραγωγή φιαλών	Μέγεθος τεμαχιδίων = 1-5 mm, Fe ₂ O ₃ < 0,1, Cr ₂ O ₃ < 0,001, υγρασία < 0,1
Χαρτοβιομηχανία	Μέγεθος κόκκων < 10 μm, CaCO ₃ = 95-97, λευκότητα > 90%, αποξεστικότητα < 35 mg, απορροφητικότητα ελαίου < 30 ml/100 g
Βιομηχανία ελαστικών	Μέγεθος κόκκων < 10 μm, CaCO ₃ > 98, (Na ₂ O + K ₂ O) < 0,03, MnO < 0,02, CuO < 0,005, L.O.I. < 0,2
Παραγωγή ασβεστοκαρβιδίου	CaCO ₃ > 97, SiO ₂ < 1,2, (Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃) < 0,5, MgO < 0,5, P < 0,004, S = ίχνη
Φαρμακευτική	CaCO ₃ > 98,8, (Mg+αλκάλεια) < 1, Fe < 0,05, H.M. < 0,002, F < 0,0005, As < 3 (ppm), Pb < 3 (ppm), Hg < 0,5 (ppm), A.Y. < 0,2

A.Y. = αδιάλυτο υπόλειμμα, H.M. = βαρέα μέταλλα, L.O.I. = απώλεια πύρωσης.

ηθούν στην παραγωγή ποικίλων αδρανών υλικών, αλλά και λιπασμάτων.

Από το σχετικά χαμηλό ποσοστό του αδιάλυτου υπολείμματος και των προσμίξεων, καθώς και από το μικρό λόγο Si/Ca (0,001), συμπεραίνεται ότι οι ασβεστόλιθοι του Αγίου Παντελεήμονα είναι αρκετά καθαροί (ΚΑΝΘΡΑΝΗΣ 1998). Οι ΚΑΝΘΡΑΝΗΣ κ.ά. (1999) διαπίστωσαν ότι αυτοί οι ασβεστόλιθοι με βάση τις διεθνείς προδιαγραφές μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή αδρανών υλικών όλων των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων και για ποικίλες εφαρμογές, για την παραγωγή ασβέστου, για τη βελτίωση εδαφών και για ποικίλες περιβαλλοντικές εφαρμογές. Μελέτη για την πιθανότητα εκμετάλλευσης των λευκών μαρμάρων του Αγίου Παντελεήμονα δεν έχει γίνει. Έτσι, στην περιοχή γίνεται σήμερα εκμετάλλευση μόνο των τεφροπράσινων ασβεστόλιθων για την παραγωγή σκυρών οδοποιίας και τσιμέντου, καθώς και για την παραγωγή ασβέστου.

Ο ασβεστόλιθος του Πολυνερίου θεωρείται χαμηλής ποιότητας και η πιθανότητα χρήσης του εκτός της οικοδομικής είναι πολύ περιορισμένη.

Τέλος, όπως πρέπει να συμβαίνει σε όλες τις περιοχές εκμετάλλευσης μαρμάρων, χρειάζονται συμπληρωματικές μελέτες και αναλύσεις των υποπροϊόντων, για να διαπιστωθεί ότι ικανοποιούνται οι προβλεπόμενες για κάθε τομέα εφαρμογής διεθνείς προδιαγραφές.

Βιβλιογραφία

- BOYNTON R.S. (1980). Chemistry and Technology of Limestone, 2nd ed. J. Wiley & Sons, N. York, p. 577.
- CARR D. D. & ROONEY L. F. (1975). Limestone and Dolomite. In: Lefond S. J. (ed.), Industrial Minerals and Rocks, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, N. York, 757-789.
- ΓΑΛΑΝΑΚΗΣ Δ. (1993). Γεωλογική - τεκτονική μελέτη της μαρμαροφόρου περιοχής Τρανοβάλτου Νομού Κοζάνης. Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα, αδημ. έκθεση, σ. 12.
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΜΙΚΡΟΜΕΣΑΙΩΝ ΜΕΤΑΠΟΙΗΤΙΚΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ & ΧΕΙΡΟΤΕΧΝΙΑΣ (παράρτημα Κοζάνης) (1994). Επιχειρησιακό σχέδιο ανάπτυξης των μαρμαροφόρων περιοχών Τρανοβάλτου - Σερβίων. Κοζάνη, αδημ. έκθεση, σ. 18.
- HARBEN P.W. (1992). The Industrial Minerals Handybook. Ind. Miner. Div., Metal Bull. PLC, London, p. 148.
- ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ & ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ (1995). Διακοσμητικά πετρώματα. Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα, σ. 6.
- ΚΑΝΘΡΑΝΗΣ Ν. (1998). Πετρολογική, γεωχημική και τεχνολογική μελέτη των Ιουραϊκών ανθρακικών πετρωμάτων Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας. Διατριβή Ειδικευσης, Α.Π.Θ., σ. 69.
- ΚΑΝΘΡΑΝΗΣ Ν., ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ Α., ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α., ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ Β. & ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α. (1999). Μελέτη του κρυσταλλικού ασβεστόλιθου Αγίου

- Παντελεήμονα Φλώρινας. 1ο Συνέδριο Επιτρ. Οικον. Γεωλ. Ορυκτ. Γεωχ., Ε.Γ.Ε., "Ορυκτός πλούτος και περιβάλλον στη Δυτική Μακεδονία", 12-13 Φεβρ. 2000, Κοζάνη, σ. 7.
- KLUG H.P. & ALEXANDER L.E. (1974). X-ray diffraction procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials, 2nd ed. J. Wiley & Sons, New York, p. 966.
- LASKARIDIS K. (1987). Beurteilung griechischer weisser Kalke und Dolomite für den Industriellen Einsatz (z. B. in der Papierindustrie). Ph.D. Thesis, Univ. Erlangen, Nürnberg, p. 241.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. 1985. Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σ. 207.
- PERRY E. & HOWER J. (1970). Burial diagenesis in Gulf coast pelitic sediments. *Clays Clay Miner.*, 18, 165-177.
- PIERSON P.J. (1981). The control of cathodoluminescence in dolomite by iron and manganese. *Sedimentology*, 28, 601-610.
- POWER T. (1985). Limestone specifications. Limiting constraints on the market. *Ind. Minerals*, 65-91.
- ΡΗΓΑΣ Κ. & ΟΡΙΑΝΟΣ Γ. (1990). Γεωλογική δομή και ζώνες μαρμαροφορίας του Ελληνικού χώρου. Πρακτ. Συνεδρίου "Το Ελληνικό Μάρμαρο", ΓΕΩΤ.Ε.Ε., Θεσσαλονίκη, 59-74.
- ΡΗΓΑΣ Κ., ΣΟΥΝΔΟΥΛΟΥΝΑΚΗΣ Ν. & ΓΕΩΡΓΟΥΣΗΣ Γ. (1990). Ορυκτολογική - ορυκτοχημική σύσταση, δομή και φυσικομηχανικές ιδιότητες των Ελληνικών μαρμάρων. Πρακτ. Συνεδρίου "Το Ελληνικό Μάρμαρο", ΓΕΩΤ.Ε.Ε., Θεσσαλονίκη, 179-187.
- SCHULTZ L.G. (1964). Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre Shale. *US Geol. Surv. Sp. Paper*, 391-C.
- ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ Α. (1996). Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά πετρώματα. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σ. 310.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 474-484</p>
---	---	--

Ο ΥΠΟΚΛΑΔΟΣ ΤΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΡΥΧΕΙΩΝ. ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

I. Τσώλας¹

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η εξέλιξη βασικών μεγεθών του υποκλάδου των λιγνιτωρυχείων με έμφαση στον τεχνολογικό και οργανωτικό εκσυγχρονισμό αυτού, προκειμένου να τεκμηριωθούν ορισμένες απόψεις σε σχέση με τις προοπτικές του ενόψει της απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η εξέλιξη του υποκλάδου κατά την περίοδο 1970-96 χαρακτηρίζεται από μια περίοδο ανάπτυξης (1970-80) με υψηλό βαθμό επενδυτικής δραστηριότητας και μια περίοδο αναδιάρθρωσης (1981-90), όπου δόθηκε μεγαλύτερη βαρύτητα στη διαχείριση του ανθρώπινου παράγοντα και την καλύτερη αξιοποίηση του κεφαλαίου, ενώ κατά την περίοδο 1991-96 παρατηρείται αντιστροφή των δεικτών οργανωτικού και τεχνολογικού εκσυγχρονισμού. Προκειμένου ο ελληνικός λιγνίτης να παραμείνει η ενεργειακή βάση της χώρας και να παραμείνει ανταγωνιστικός έναντι άλλων ενεργειακών πόρων, όπως το φυσικό αέριο, είναι αναγκαία η βελτίωση της παραγωγικότητας κατά την εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων.

Abstract

The main purpose of this paper is to present the evolution of basic indices of the Greek lignite subsector related to its organisational and technological modernisation (i.e., average growth rate of output, labour, capital, capital/labour ratio, labour productivity and capital productivity). In the framework of the liberation of electrical energy production the improvement of competitiveness of the lignite production is essential for Public Power Corporation (PPC), the exclusive producer of electrical energy. PPC employs a vertically integrated production process which involves the extraction of endogenous lignite deposits and the production, transmission and distribution of electricity. Taking into account that the exploitation of new lignite deposits is expected to reach low labour productivity levels due to the unfavorable geological conditions and the increased cost of land reclamation and pollution abatement activities, the importance of natural gas introduction into the country's energy balance is evident. The evolution of the Greek lignite in 1970-96 period is characterised by a growth period (1970-80) with high investment levels and a restructuring period (1981-90) with high labour productivity levels, though in the 1991-96 period the indices of organisational and technological modernisation have been reversed. The productivity improvement of lignite mines, according to the findings of similar studies, should be based on human re-

1. Επίκουρος Καθηγητής ΤΕΙ Κοζάνης, Τμήμα Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος, 50 100 Κοζάνη.

sources management and the increase of utilisation factor of the excavation systems because of the adverse geological conditions and their effects on the exploitation and environmental cost. If only higher productivity levels are recorded, the Greek lignite mining will remain the base of the country's electricity production.

Εισαγωγή

Ο υποκλάδος των λιγνιτωρυχείων αποτελεί τη βάση του ενεργειακού τομέα της ελληνικής οικονομίας.

Στην Ελλάδα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται από τη Δημοσία Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) κυρίως από την καύση λιγνίτη. Η ποσοστιαία συμμετοχή του λιγνίτη στην καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις δύο τελευταίες δεκαετίες βαίνει συνεχώς αύξουσα μέχρι το 1994: 44% το 1980, 77% το 1988, 79% το 1994, ενώ από το 1995 μειώνεται στο 75,5% και 74,7% το 1996 (ΕΞΑΡΧΟΣ & ΙΩΑΚΕΙΜ 1997).

Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας καθιστά επιτακτική την ανταγωνιστικότητα του υποκλάδου και ειδικότερα της ΔΕΗ που αποτελεί την κυριότερη παραγωγό λιγνίτη στη χώρα μας. Σύμφωνα με πρόσφατη σχετική έκθεση του ΟΟΣΑ, η ΔΕΗ ως κρατικό μονοπώλιο ηλεκτροπαραγωγής δεν έχει καταφέρει να εξασφαλίσει επαρκή τροφοδοσία, ενώ τα τιμολόγια της θα μπορούσαν να ήταν πολύ χαμηλότερα, με δεδομένη την ελεύθερη πρόσβαση στα κοιτάσματα λιγνίτη και την κρατική επιχορήγηση των επενδυτικών προγραμμάτων της (ΤΟ ΒΗΜΑ 29/8/1999).

Στα επόμενα παρουσιάζονται στοιχεία που αφορούν τη διαθεσιμότητα των ελληνικών κοιτασμάτων λιγνίτη σε σχέση με τη διαθεσιμότητα των παγκόσμιων αποθεμάτων αυτού και των άλλων ενεργειακών πόρων και το μεθοδολογικό πλαίσιο για τη μελέτη της εξέλιξης του υποκλάδου των λιγνιτωρυχείων. Ακολουθούν τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μεθοδολογικού πλαισίου, η ανάλυση των προσδιοριστικών παραγόντων της παραγωγικότητας των ελληνικών λιγνιτωρυχείων και στοιχεία μοναδιαίου κόστους ηλεκτροπαραγωγής από λιγνίτη και από άλλους ανταγωνιστικούς προς αυτόν ενεργειακούς πόρους, ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων και τέλος διατυπώνονται κάποιες θέσεις σχετικά με τις προοπτικές του υποκλάδου των λιγνιτωρυχείων.

Κοιτάσματα λιγνίτη στην Ελλάδα - Τεχνολογία παραγωγής

Τα σημαντικότερα λιγνιτικά κοιτάσματα βρίσκονται στις γεωλογικές λεκάνες Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, Μεγαλόπολης και Δράμας.

Τα αποθέματα λιγνίτη ανέρχονται σε 10,5 δισ. τόνους περίπου, σύμφωνα με εκτιμήσεις του Ι.Γ.Μ.Ε. Με τις σημερινές συνθήκες είναι εκμεταλλεύσιμα 4,0 δισ. τόνοι περίπου, από τους οποίους 2,7 δισ. βρίσκονται στην περιοχή Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου και Φλώρινας, 370 εκ. στη Μεγαλόπολη και 960 εκ. στη Δράμα (ΙΟΡ-

ΔΑΝΗΣ 1994, ΕΞΑΡΧΟΣ & ΙΩΑΚΕΙΜ 1997).

Ο ελληνικός λιγνίτης είναι πολύ φτωχός. Η κατώτερη θερμογόνος ικανότητα, σε φυσική κατάσταση, αυτού της Πτολεμαΐδας είναι 1300 kcal/kg, αυτού της Μεγαλόπολης 1040 kcal/kg (ΕΞΑΡΧΟΣ & ΙΩΑΚΕΙΜ 1997), ενώ του καθαρού άνθρακα 7831 kcal/kg.

Σχετικά με τη διαθεσιμότητα των ελληνικών λιγνιτικών κοιτασμάτων, ήτοι του λόγου των αποθεμάτων (βεβαιωμένα αποθέματα ή τελικά υπαίθρια απολήψιμα αποθέματα) προς το ύψος της ετήσιας παραγωγής (ΤΣΩΛΑΣ 1996α), αξίζει να σημειωθεί ότι η διάρκεια ζωής των υπαίθριων απολήψιμων αποθεμάτων (4,0 δισ. τόνοι), εφόσον διατηρηθεί σταθερή η ετήσια παραγωγή του 1996 των 60 εκ. τόνων περίπου, εκτιμάται σε 67 περίπου έτη. Αν συνεχιστεί η αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας τότε η διάρκεια ζωής των βεβαιωμένων αποθεμάτων των γνωστών κοιτασμάτων λιγνίτη είναι μικρότερη.

Αναφορικά με τη διαθεσιμότητα των καυσίμων σε διεθνές επίπεδο, τα βεβαιωμένα αποθέματα άνθρακα (λιθάνθρακα, λιγνίτη κλπ.) επαρκούν για την κάλυψη των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών για πάνω από δύο αιώνες, του πετρελαίου για περίπου σαράντα και του φυσικού αερίου για εξήντα έτη (WHITEHEAD et al. 1995). Τα παγκόσμια οικονομικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη ανέρχονται σε 520 δισ. τόνους περίπου. Τα οικονομικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη που βρίσκονται στην Ευρώπη ανέρχονται σε 86,5 δισ. τόνους περίπου και αντιστοιχούν στο 20% των αποθεμάτων του πλανήτη (520 δισ. τόνων). Το μεγαλύτερο ποσοστό κατέχουν οι χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης με 26% και ακολουθούν η Β. Αμερική με 20% και η Κίνα με 23%. Το 30% των ευρωπαϊκών εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων εντοπίζονται στις χώρες της Βαλκανικής χερσονήσου συμπεριλαμβανομένου στο ποσοστό αυτό και των 4,0 δισ. τόνων που διαθέτει η Ελλάδα (ΜΠΟΥΣΙΟΣ 1997).

Η ΔΕΗ εκμεταλλεύεται αποκλειστικά τα κοιτάσματα λιγνίτη, εκτός από ορισμένα που τα εκμεταλλεύονται ιδιώτες. Για την εξόρυξη του λιγνίτη από τη ΔΕΗ λειτουργούν υπαίθρια ορυχεία που εφαρμόζουν τη συνεχή (γερμανική) μέθοδο εκμετάλλευσης χρησιμοποιώντας τεχνολογία υψηλής εντάσεως κεφαλαίου. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός περιλαμβάνει συστήματα καδοφόρων εκσκαφέων, ταινιοδρόμων και αποθετών και επιτρέπει εκλεκτική εξόρυξη, όπου όμως κατά την αποκάλυψη των κοιτασμάτων συναντώνται σκληρά υπερκείμενα εφαρμόζεται η ασυνεχής (αμερικάνικη) μέθοδος εκμετάλλευσης (χρήση εκρηκτικών υλών για τη χαλάρωση των υπερκειμένων και απομάκρυνση αυτών με τη βοήθεια μηχανικών πτύων και χωματοσυγκολλητών αυτοκινήτων).

Μεθοδολογικό πλαίσιο

Για τη μελέτη της εξέλιξης του υποκλάδου των λιγνιτωρυχείων υπολογίζονται οι μέσοι ετήσιοι ρυθμοί μεταβολής της παραγωγής λιγνίτη και των δύο κυριότερων

παραγωγικών συντελεστών, της εργασίας (πραγματοποιηθέντα ημερομίσθια) και του κεφαλαίου (κεφαλαιακό απόθεμα), του λόγου κεφαλαίου/εργασίας καθώς επίσης της παραγωγικότητας της εργασίας και της παραγωγικότητας του κεφαλαίου (βλέπε επίσης ΤΣΩΛΑΣ 1995β, GREEN & GREEN 1985).

Το κεφαλαιακό απόθεμα (fixed capital) θεωρείται ότι αποτελεί μια ικανοποιητική εκτίμηση των υπηρεσιών αυτού στην παραγωγική διαδικασία και υπολογίζεται με τη βοήθεια της μεθόδου perpetual inventory (ΤΣΩΛΑΣ 1995β).

Ο λόγος κεφαλαίου/εργασίας, ήτοι ο συνδυασμός των παραγωγικών συντελεστών της εργασίας και του κεφαλαίου, εκφράζει την ένταση του κεφαλαίου της παραγωγικής διαδικασίας.

Η παραγωγικότητα της εργασίας (labour productivity) ορίζεται ως ο λόγος της εκροής (παραγωγής) προς την αναλωθείσα εργασία (πραγματοποιηθέντα ημερομίσθια) και η παραγωγικότητα του κεφαλαίου (capital productivity) ως ο λόγος της εκροής (παραγωγής) προς το χρησιμοποιούμενο κεφάλαιο (κεφαλαιακό απόθεμα). Οι παραπάνω μετρήσεις αφορούν μέτρηση της παραγωγικότητας κατά παραγωγικό συντελεστή που αναφέρεται και ως μερική παραγωγικότητα (ΤΣΩΛΑΣ 1995α).

Στα επόμενα μελετώνται οι ρυθμοί μεταβολής της εκροής, των εισροών, της παραγωγικότητας της εργασίας, της παραγωγικότητας του κεφαλαίου και του λόγου κεφαλαίου/εργασίας, όπως επίσης και δείκτες μεταβολής της παραγωγικότητας της εργασίας, της παραγωγικότητας του κεφαλαίου και του λόγου κεφαλαίου/εργασίας.

Ο ρυθμός μεταβολής (ή σχετική μεταβολή) μιας μεταβλητής X υπολογίζεται από τη σχέση:

$$(EX/Et)/X = (X_t - X_{t-1})/X_{t-1}$$

και ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής για ένα ευρύ χρονικό διάστημα (average growth rate, AGR), δίνεται από τη σχέση:

$$AGR = [(X_t/X_0)^{1/(n-1)} - 1] \cdot 100$$

όπου X_t = η τιμή της μεταβλητής στο τέλος του χρονικού διαστήματος που μελετάται

X_0 = η τιμή της μεταβλητής στο έτος βάσης

n = η χρονική περίοδος που μελετάται σε έτη.

Η μέτρηση της μεταβολής μιας εισροής ή της εκροής (E) επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του δείκτη:

$$\Delta E = 100 \times (E_t/E_0)$$

όπου E_t η εισροή ή εκροή κατά το τρέχον έτος t και

E_0 η εισροή ή εκροή κατά το έτος βάσης 0

Ο δείκτης μεταβολής μιας μερικής παραγωγικότητας ορίζεται ως λόγος του δείκτη μεταβολής της εκροής προς το λόγο του δείκτη μεταβολής της εισροής. Ό-

μοια ο δείκτης μεταβολής του λόγου κεφαλαίου/εργασίας ορίζεται ως ο λόγος των δεικτών μεταβολής των δύο παραγωγικών συντελεστών.

Εξέλιξη του υποκλάδου των λιγνιτωρυχείων

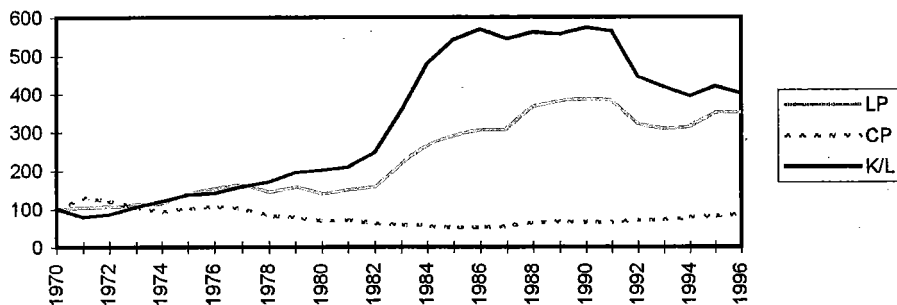
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέσοι ετήσιοι ρυθμοί μεταβολής της παραγωγής (Y), της εργασίας (L), του κεφαλαίου (K), της παραγωγικότητας της εργασίας (LP), της παραγωγικότητας του κεφαλαίου (CP) και του λόγου κεφαλαίου εργασίας (K/L, δηλ. της υποκατάστασης της εργασίας από κεφάλαιο).

	$(\partial Y/\partial t)/Y$	$(\partial L/\partial t)/L$	$(\partial K/\partial t)/K$	$(\partial LP/\partial t)/LP$	$(\partial CP/\partial t)/CP$	$[\partial(K/L)/\partial t]/(K/L)$
1970-80	11.58	7.78	15.63	3.53	-3.50	7.28
1981-90	7.31	-3.28	8.23	10.95	-0.85	11.90
1991-96	2.67	4.41	-2.49	-1.66	5.29	-6.61
1970-96	8.09	2.96	8.60	4.99	-0.47	5.48

Πηγή: Επεξεργασία στοιχείων ΕΣΥΕ, Υπουργείου Ανάπτυξης, Διεύθυνσης Πολιτικής Ορυκτών Πόρων. Για τον υπολογισμό του κεφαλαιακού αποθέματος χρησιμοποιήθηκαν αποπληθωριστές του ΥΠΕΘΟ.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η εξέλιξη των δεικτών της παραγωγικότητας της εργασίας, της παραγωγικότητας του κεφαλαίου και του λόγου κεφαλαίου/εργασίας με έτος βάσης το 1970.

Εξέλιξη δεικτών (1970=100) παραγωγικότητας εργασίας (LP), παραγωγικότητας κεφαλαίου (CP) και λόγου κεφαλαίου/εργασίας (K/L)



Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα η μέση ετήσια αύξηση της παραγωγής ήταν μεγαλύτερη κατά τέσσερις ποσοστιαίες μονάδες κατά τη δεκαετία του '70 σε σχέση με τη δεκαετία του '80 (11.6%, έναντι 7.3%), ενώ κατά το διάστημα 1991-96 η αύξηση ήταν αισθητά χαμηλότερη, περίπου 3%.

Τα πληρωθέντα ημερομίσθια μειώθηκαν αισθητά κατά τη δεκαετία του '80 σε σχέση με τη δεκαετία του '70, (-3.3% έναντι 7.8%), ενώ κατά το διάστημα 1991-96 παρουσιάζεται μέση ετήσια αύξηση της τάξης του 4.4%.

Όσον αφορά το κεφαλαιακό απόθεμα, η μέση ετήσια αύξησή του ήταν μεγαλύτερη κατά πέντε περίπου ποσοστιαίες μονάδες κατά τη δεκαετία του '70 σε σχέση με τη δεκαετία του '80 (15.6% έναντι 8.2%), ενώ κατά το διάστημα 1991-96 παρουσιάζεται μείωση με μέσο ετήσιο ρυθμό της τάξης του 2.5%.

Επίσης καθόλη τη διάρκεια της περιόδου 1970-96 η παραγωγικότητα της εργασίας αυξήθηκε με μέσο ετήσιο ρυθμό της τάξης του 5%, ακολουθώντας το ρυθμό αύξησης του λόγου κεφαλαίου/εργασίας (5.5%), ενώ η παραγωγικότητα του κεφαλαίου μειώθηκε κατά 0.5%.

Στη δεκαετία του '70 η μέση ετήσια αύξηση της παραγωγικότητας της εργασίας ήταν τέσσερις περίπου ποσοστιαίες μονάδες, στη δεκαετία του '80 έντεκα περίπου ποσοστιαίες μονάδες, ενώ κατά το διάστημα 1990-96 παρουσιάζει μείωση με μέσο ετήσιο ρυθμό της τάξης του 2% περίπου.

Η παραγωγικότητα του κεφαλαίου μειώθηκε στη δεκαετία του '70 και στη δεκαετία του '80 κατά μέσο όρο 3,5 και 1 περίπου ποσοστιαία μονάδα αντίστοιχα, ενώ κατά το διάστημα 1991-96 παρουσιάζει αύξηση με μέσο ετήσιο ρυθμό της τάξης του 5% περίπου.

Από το παραπάνω διάγραμμα είναι εμφανές ότι ο ρυθμός αύξησης της παραγωγικότητας της εργασίας αδυνατεί να ακολουθήσει το ρυθμό αύξησης της έντασης του κεφαλαίου (του λόγου κεφαλαίου/εργασίας) με εμφανείς επιπτώσεις στην εξέλιξη της παραγωγικότητας του κεφαλαίου.

Προσδιοριστικοί παράγοντες της παραγωγικότητας των ελληνικών λιγνιτωρυχείων

Η παραγωγικότητα των μεταλλευτικών εκμεταλλεύσεων είναι το σύνθετο αποτέλεσμα διαφόρων παραγόντων που αναφέρονται στα γεωλογικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος, στην εφαρμοζόμενη τεχνολογία και στο ανθρώπινο δυναμικό (ΤΣΩΛΑΣ 1995β).

Η παραγωγικότητα της εργασίας στη μεταλλευτική βιομηχανία καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των κοιτασμάτων και των περιβαλλόντων πετρωμάτων, που κατά περίπτωση καθιστούν ευκολότερη ή δυσκολότερη την εξόρυξη των μεταλλευμάτων. Ο γεωλογικός παράγοντας είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τη διαθεσιμότητα (availability) και την εξαντλησιμότητα (depletion) των αποθεμάτων, η οποία στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις σχετίζεται άμεσα

με τη σχέση αποκάλυψης (stripping ratio), ήτοι το λόγο του όγκου των αγόνων που διακινούνται ανά μονάδα εξορυσσόμενου μεταλλεύματος (προκειμένου για πολυστρωματικά κοιτάσματα, π.χ. λιγνίτη χρησιμοποιείται ο όρος σχέση εκμετάλλευσης). Η αύξηση της σχέσης εκμετάλλευσης, άμεσο επακόλουθο της ποιοτικής εξαντλησιμότητας των αποθεμάτων (ΤΣΩΛΑΣ 1996α), επιδρά δυσμενώς στην παραγωγικότητα των υπαίθριων λιγνιτωρυχείων και η επίδραση αυτή είναι περισσότερο έντονη εάν το ορυχείο βρίσκεται στο στάδιο της ανάπτυξης (ΤΣΩΛΑΣ & ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ 1995).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα σχετικών μελετών (ΤΣΩΛΑΣ & ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ 1995), εκτός από τη σχέση αποκάλυψης άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγικότητα της εργασίας στα υπαίθρια λιγνιτωρυχεία είναι το ύψος της ετήσιας παραγωγής, ο βαθμός χρησιμοποίησης των συστημάτων εκσκαφής, όπως επίσης και ο όγκος των διακινούμενων αγόνων με τον ντιζελοκίνητο εξοπλισμό (εφαρμογή ασυνεχούς μεθόδου εκμετάλλευσης). Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο στο επίπεδο του ορυχείου όσο και στο επίπεδο του υποκλάδου σημαντικός είναι και ο ρόλος των ενδιάμεσων εισροών (καυσίμων - λιπαντικών και ηλεκτρικής ενέργειας), η αύξηση της κατανάλωσης των οποίων επιδρά δυσμενώς στην τεχνική αποδοτικότητα, ήτοι στο λόγο της πραγματικής προς τη μέγιστη δυνατή εκροή (TSOLAS 1995, ΤΣΩΛΑΣ & ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ 1996).

Σε ότι αφορά την αποδοτικότητα της λειτουργίας του καθετοποιημένου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ, η μη αποτελεσματική αξιοποίηση των υλικών από τα μέσα της δεκαετίας του '80 έως τις αρχές της δεκαετίας του '90 δημιουργεί προβλήματα αποδοτικότητας της επιχείρησης (ΜΠΕΛΕΓΡΗ-ΡΟΜΠΟΛΗ & ΤΣΩΛΑΣ 1997), ενώ η λειτουργία της επιχείρησης στις αρχές της δεκαετίας του '90 (1991-92) είναι περισσότερο αποδοτική σε σχέση με τα προηγούμενα έτη λαμβανομένων υπόψη των υλικών (ΜΠΕΛΕΓΡΗ-ΡΟΜΠΟΛΗ & ΤΣΩΛΑΣ 1997) και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την λειτουργία των ατμοηλεκτρικών σταθμών που χρησιμοποιούν λιγνίτη και πετρέλαιο (TSOLAS 1996).

Ανταγωνιστικοί προς το λιγνίτη ενεργειακοί πόροι

Προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα ως προς την ανταγωνιστικότητα του λιγνίτη σε σχέση με άλλους ενεργειακούς πόρους, όσον αφορά την ηλεκτροπαραγωγή, η σύγκριση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ως προς το μοναδιαίο κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συντίθεται από το κόστος του καυσίμου και το κόστος λειτουργίας του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής.

Το κόστος του λιγνίτη ανά παραγόμενη κιλοβατώρα ανήλθε κατά το 1995 σε 10,4 δρχ/kWh, το οποίο αναλύεται σε λειτουργικό κόστος: 7,18 δρχ/kWh, κόστος αποσβέσεων: 1,48 δρχ/kWh, χρηματοοικονομικό κόστος: 1 δρχ/kWh και γενικά έξοδα: 0,76 δρχ/kWh (ΣΚΕΝΔΕΡΙΔΗΣ & ΚΑΡΥΔΟΓΙΑΝΝΗΣ 1997) και ανά τόνο

παραγόμενου προϊόντος σε 2499 δρχ./τόνο παρουσιάζοντας μείωση κατά 16% σε σχέση με το κόστος κατά το 1992, συγκρινόμενο σε σταθερές τιμές 1992 (ΚΑΒΟΥΡΙΑΔΗΣ 1997). Με βάση προσωρινά στοιχεία το 1996 μειώθηκε σε 2370 δρχ./τόνο, ενώ το προϋπολογιστικό λογιστικό κόστος του λιγνίτη για το 1997 ήταν 2400 δρχ./τόνο (ΚΟΝΤΑΞΗΣ κ.ά. 1997).

Με βάση στοιχεία του 1997, περισσότερο ανταγωνιστικοί προς το λιγνίτη ενεργειακοί πόροι είναι ο λιθάνθρακας με κόστος ηλεκτροπαραγωγής 12,5 δρχ/kWh και το φυσικό αέριο με αντίστοιχο κόστος 13,5 δρχ/kWh, δεδομένου επίσης ότι το κόστος εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων της Δράμας και της Ελασσόνας είναι 12,3 δρχ/kWh και 11,7 δρχ/kWh αντίστοιχα (ΣΚΕΝΔΕΡΙΑΔΗΣ & ΚΑΡΥΔΟΓΙΑΝΝΗΣ 1997). Το πετρέλαιο (μαζούτ) έχει υψηλότερο μοναδιαίο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Αναμφίβολα η συμπίεση του συνολικού κόστους παραγωγής λιγνίτη στις αρχές της δεκαετίας του '90 με δεδομένη την αύξηση των πραγματοποιηθέντων ημερομισθίων λόγω της ένταξης απολυόμενων από προβληματικές επιχειρήσεις στη ΔΕΗ (ΚΑΒΟΥΡΙΑΔΗΣ 1997) και τις δυσμενείς επιπτώσεις στην εξέλιξη της παραγωγικότητας της εργασίας καταδεικνύει τα περιθώρια αύξησης της αποδοτικότητας της ΔΕΗ. Η συμπίεση του κόστους εμφανώς επιτεύχθηκε από την καλύτερη αξιοποίηση του κεφαλαίου, παρά τη μείωση του τεχνολογικού εκσυγχρονισμού (μείωση του κεφαλαιακού αποθέματος που συνέβαλε και στη μείωση του λόγου κεφαλαίου/εργασίας).

Παρόλα αυτά, η εξέλιξη του υποκλάδου κατά τις δύο προηγούμενες δεκαετίες χαρακτηρίζεται από μια περίοδο ανάπτυξης κατά τη δεκαετία του '70, όπου παρουσιάζεται υψηλός βαθμός επενδυτικής δραστηριότητας και μια περίοδο αναδιάρθρωσης κατά τη δεκαετία του '80, όπου δόθηκε μεγαλύτερη βαρύτητα στη διαχείριση του ανθρώπινου παράγοντα και την καλύτερη αξιοποίηση του κεφαλαίου (ΤΣΩΛΑΣ 1995β). Κατά το πρώτο μισό της δεκαετίας του '90 η αύξηση της αναλωθείσας εργασίας και η μείωση των επενδύσεων συνέβαλε στην αντιστροφή των δεικτών οργανωτικού και τεχνολογικού εκσυγχρονισμού του υποκλάδου και κατ' επέκταση στην επίδοση αυτού.

Συμπεράσματα - Προοπτικές του υποκλάδου των λιγνιτωρυχείων

Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας θέτει νέα δεδομένα, όσον αφορά τον ενεργειακό τομέα της χώρας, δεδομένου ότι γίνεται επιτακτική η αύξηση της ανταγωνιστικότητας του υποκλάδου των λιγνιτωρυχείων και της ηλεκτροπαραγωγής από την καύση λιγνίτη.

Με βάση τα όσα προαναφέρθηκαν, η εκμετάλλευση νέων λιγνιτικών κοιτασμάτων αναμένεται να επιβαρύνει το κόστος εξόρυξης του λιγνίτη, δεδομένης της

αύξησης της σχέσης εκμετάλλευσης και επομένως και του κόστους για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος.

Στη μείωση της συμμετοχής του λιγνίτη στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, με την είσοδο του φυσικού αερίου ή και άλλων στερεών καυσίμων (π.χ. λιθάνθρακα) για τον εμπλουτισμό του ενεργειακού ισοζυγίου και τη διασφάλιση του εφοδιασμού (ΣΚΕΝΔΕΡΙΔΗΣ & ΚΑΡΥΔΟΓΙΑΝΝΗΣ 1997) συνηγορούν ο γεωλογικός παράγοντας (υψηλή σχέση εκμετάλλευσης, χαμηλή θερμογόνος ικανότητα του λιγνίτη) και η υπεροχή του φυσικού αερίου ως προς το λιγνίτη σε σχέση με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθώς και η αυξημένη ζήτηση για φυσικό αέριο από ενεργοβόρες επιχειρήσεις λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας (15-30% ανάλογα με την επιχείρηση) που μπορούν να επιτύχουν από τη χρησιμοποίηση αυτού για τη συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας). Βεβαίως απαιτείται να επιλυθούν κάποια προβλήματα που τίθενται από την πλευρά των επιχειρήσεων, σχετικά με τη σταθερή ροή του φυσικού αερίου προς την Ελλάδα και τη διαμόρφωση της τιμής του σε σταθερά επίπεδα (ΤΑ ΝΕΑ 21-22/8/1999). Επιπρόσθετα, μπορούν να ληφθούν υπόψη και τα μακροοικονομικά οφέλη από την εισαγωγή του φυσικού αερίου (CALOGHIROU et al. 1996) συγκριτικά με τις επιπτώσεις στην απασχόληση του υποκλάδου των λιγνιτωρυχείων και στη μείωση του κύκλου εργασιών επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται σε συναφείς με την εξόρυξη του λιγνίτη εργασίες.

Σε ότι αφορά τις προοπτικές του υποκλάδου των λιγνιτωρυχείων, η συμπύεση του συνολικού κόστους παραγωγής λιγνίτη στις αρχές της δεκαετίας του '90 δείχνει ότι η ΔΕΗ δύναται να καλύψει την επιβάρυνση αυτή εκμεταλλευόμενη τις οικονομίες κλίμακας και την ολοκλήρωση μεγάλου μέρους των αποσβέσεων του καθετοποιημένου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής από την καύση λιγνίτη. Η πληρέστερη αξιοποίηση των παραγωγικών συντελεστών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του λιγνίτη θα συμβάλει στην βελτίωση της επίδοσης της επιχείρησης και στη βάση αυτή ο λιγνίτης μπορεί να συνεχίσει να αποτελεί τη βάση της ηλεκτροπαραγωγής της χώρας.

Βιβλιογραφία

- ΕΘΝΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ (ΕΣΥΕ). Διάφορα έτη (1970-96). Ετήσια στατιστική έρευνα ορυχείων (μεταλλείων-λατομείων-αλυκών).
- ΕΞΑΡΧΟΣ & ΙΩΑΚΕΙΜ (1997). Η αξιοποίηση του ελληνικού λιγνίτη, Τεχνικά Χρονικά, Λιγνίτης και λοιπά στερεά καύσιμα στη χώρα μας: Παρούσα κατάσταση και προοπτικές, 5/97, 50-54.
- GREEN A.G. & GREEN M.A. (1985). Productivity and labor costs in the Ontario Metal Mining Industry, Mineral Policy Background, Paper no 19, 3271, Canada, p. 138.
- ΙΟΡΔΑΝΗΣ Π. Χ. (1994): "Η αλλαγή του δεκαετούς της ΔΕΗ και ο ρόλος των λιγνιτών σε αυτή", Διήμερο: "Το αναπτυξιακό πρόγραμμα της ΔΕΗ και οι άμεσες προ-

- οπτικές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας", Τ.Ε.Ε., 24-25/1/1994.
- ΚΑΒΟΥΡΙΔΗΣ Κ. (1997). Η αξιοποίηση του κοιτάσματος Πτολεμαΐδας - συμβολή στο ενεργειακό ισοζύγιο - σημερινή κατάσταση και προοπτικές με την απελευθέρωση της ηλεκτρικής ενέργειας, *Τεχνικά Χρονικά, Λιγνίτης και λοιπά στερεά καύσιμα στη χώρα μας: Παρούσα κατάσταση και προοπτικές*, 5/97, 79-96
- CALOGHIROU Y.D., MOURELATOS A.G. & ROBOLI A. (1996). Macroeconomic impacts of natural gas introduction in Greece, *Energy*, 21, 10, 899-909.
- ΚΟΝΤΑΞΗΣ Γ., ΚΑΠΡΟΣ Π., ΝΤΕΛΚΗΣ Κ. (1997). Στρατηγική ανάλυση για τον ελληνικό λιγνίτη στα πλαίσια των νέων συνθηκών άσκησης ενεργειακής πολιτικής, *Τεχνικά Χρονικά, Λιγνίτης και λοιπά στερεά καύσιμα στη χώρα μας: Παρούσα κατάσταση και προοπτικές*, 5/97, 38-49.
- ΜΠΕΛΕΓΡΗ-ΡΟΜΠΟΛΗ Α. & ΤΣΩΛΑΣ Ι. (1997): 'Η εφαρμογή της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων για τη μέτρηση της τεχνικής αποδοτικότητας της ΔΕΗ (1970-92)', Πρακτικά 11ου Εθνικού Συνεδρίου 'Διαχείριση πόρων και συστημάτων για βιώσιμη ανάπτυξη', Ελληνική Εταιρεία Επιχειρησιακών Ερευνών, Μάιος 1997, Εκδοση Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα 1999, Τόμος ΙΙ, 370-384.
- ΜΠΟΥΣΙΟΣ Α. (1997). Η ευρωπαϊκή διάσταση του λιγνίτη - προοπτικές, *Τεχνικά Χρονικά, Λιγνίτης και λοιπά στερεά καύσιμα στη χώρα μας: Παρούσα κατάσταση και προοπτικές*, 5/97, 26-37.
- ΣΚΕΝΔΕΡΙΔΗΣ Γ. & ΚΑΡΥΔΟΓΙΑΝΝΗΣ Η. (1997). Ανάπτυξη της εκμετάλλευσης λιγνίτη για ηλεκτροπαραγωγή-προοπτικές, *Τεχνικά Χρονικά, Λιγνίτης και λοιπά στερεά καύσιμα στη χώρα μας: Παρούσα κατάσταση και προοπτικές*, 5/97, 18-22.
- ΤΑ ΝΕΑ (21-22/8/1999). Οι βιομηχανίες ετοιμάζονται για το φυσικό αέριο, *Οικονομία*, 27.
- ΤΟ ΒΗΜΑ (29/8/1999). Έτσι θα εκσυγχρονίσετε τις ΔΕΚΟ, *Ανάπτυξη*, Δ11.
- ΤΣΩΛΑΣ Ι. (1995α). Ανάλυση της παραγωγικότητας της εργασίας στην ελληνική μεταλλευτική βιομηχανία, *Διδακτορική Διατριβή*, Ε.Μ.Π, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, σ. 210.
- ΤΣΩΛΑΣ Ι. (1995β). Μελέτη της παραγωγικότητας στον υποκλάδο των λιγνιτωρυχείων (1970-88), *Θέσεις*, 53, 115-125.
- ΤΣΩΛΑΣ Ι. (1996α). Εξαντλησιμότητα των ελληνικών κοιτασμάτων λιγνίτη - Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και ενεργειακή πολιτική, *Θέσεις*, 55, 105-119.
- TSOLAS I. (1995). Productive efficiency in Greek lignite mining: an application of the DEA model, 3rd Balkan Conference on Operational Research, Proceedings, Vol. II, (eds.) B. Papathanassiou and K. Paparrizos, Hellenic Operational Research Society, 1239-1252.
- TSOLAS I. (1996). Environmental effects on the efficiency of thermal electrical power production sector, *Protection and Restoration of the Environment III*, 28-30/8/1996, Proceedings of an International Conference, (eds.) E. Diamantopoulos and G. Korfiatis, Chania, Technical University of Crete, 444-451.

- ΤΣΩΛΑΣ Ι. & ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ Κ. (1995). Μελέτη της παραγωγικότητας της εργασίας στο επίπεδο της παραγωγικής μονάδας. Οι περιπτώσεις των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων Πεδίου Καρδιάς και Νοτίου Πεδίου του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου της ΔΕΗ στη Δυτική Μακεδονία, Ορυκτός Πλούτος, 95, 39-54.
- ΤΣΩΛΑΣ Ι. & ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ Κ. (1996). Μέτρηση της τεχνικής αποδοτικότητας ορυχείων-Οι περιπτώσεις των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων Πεδίου Καρδιάς και Νοτίου Πεδίου του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου της ΔΕΗ στη Δυτική Μακεδονία, Ορυκτός Πλούτος, 100, 23-36.
- WHITEHEAD J.C., TOPPER J.M., MINCHENER A.J., GROSS P.J.I. (1995). Energy for our common world. What coal can offer, World Energy Council, 16th Congress, Tokyo, October 8 to 10, 1995, Division 1: Energy and Economic Development, PS/SRD 1.2: Energy Supply Potential, 9-26.
- ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ, ΓΕΝ. Δ/ΝΣΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ, Δ/ΝΣΗ ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (1998). Η ελληνική οικονομία 1960-1997. Μακροχρόνιες μακροοικονομικές στατιστικές σειρές.
- ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ, Δ/ΝΣΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ. Διάφορα έτη (1970-96). Χρονοσειρά πραγματοποιηθέντων ημερομισθίων απασχολούμενων στον υποκλάδο των λιγνιτωρυχείων.

CHROMITES IN THE SOUTHERN SECTOR OF XEROLIVADO CHROME MINE OF VOURINOS, MACEDONIA, GREECE

A. Filippidis¹, A. Kassoli-Fournaraki¹, N. Kantiranis²

Abstract

Chromites of the southern sector of Xerolivado chrome mine, are intensely fractured and show no optical or chemical zonation. Chromite within the chromite-bands of the schlieren (concentrated chromite), is richer in Mg and poorer in Fe²⁺, compared to the disseminated chromite within the serpentinite (disseminated chromite). The chromite, disseminated within the serpentinite-bands of the schlieren (serpentinite-bands chromite), showed an intermediate composition. The disseminated chromite showed a slight difference from the other two types of chromite, concerning the Al and Cr contents. These chemical variations of chromite are mainly due to subsolidus processes, involving chromite, silicates and fluids, but also reflect initial differences in conditions of crystallization at the magmatic stage.

Περίληψη

Οι χρωμίτες του Νότιου Τομέα του μεταλλείου του Ξερολίβαδου, παρουσιάζουν έντονη κατάκλαση, καθώς και απουσία οπτικής ή χημικής ζώνωσης. Ο χρωμίτης εντός των χρωμιτικών ταινιών σλίρεν (συμπαγής χρωμίτης), είναι πλουσιότερος σε Mg και φτωχότερος σε Fe²⁺, σε σχέση με τον διάσπαρτο χρωμίτη εντός του σερπεντινίτη (διάσπαρτος χρωμίτης). Ο χρωμίτης που είναι διάσπαρτος εντός των ταινιών σερπεντινίτη του σλίρεν (χρωμίτης των ταινιών σερπεντινίτη), παρουσιάζει ενδιάμεση σύσταση. Ο διάσπαρτος χρωμίτης παρουσιάζει ελαφρές διαφορές σε σχέση με τους άλλους δύο τύπους χρωμιτών, όσον αφορά τη σύστασή τους σε Al και Cr. Αυτές οι χημικές διαφοροποιήσεις των χρωμιτών μπορούν κυρίως να αποδοθούν σε διαδικασίες subsolidus μεταξύ χρωμίτη, πυριτικών και ρευστών, αλλά επίσης αντανακλούν αρχικές διαφοροποιήσεις στις συνθήκες κρυστάλλωσης του μαγματικού σταδίου.

ΟΙ ΧΡΩΜΙΤΕΣ ΤΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΤΟΜΕΑ ΤΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΞΕΡΟΛΙΒΑΔΟΥ,
ΒΟΥΡΙΝΟΣ, ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ, ΕΛΛΑΔΑ.

1. School of Geology, Aristotle Univ., 2 PhD candidate, School of Geology, Aristotle Univ.,
54006 Thessaloniki, Greece.

Introduction

Chromite may change its chemistry during the magmatic interval, above the solidus and/or at the subsolidus stage by exchange reactions within the associated silicate phases. Subsolidus equilibration reactions between chromite and ferromagnesian silicates operate in grain-scale systems and are linked to the distribution of the associated silicate minerals and to the grain-size of the chromite grains (e.g., SCOWEN et al. 1991, YANG & SECCOMBE 1993, PELTONEN 1995, FILIPPIDIS 1997a,b).

The change of chromite composition due to subsolidus reactions with the silicate minerals is also related to the modal abundance of chromite (e.g., YANG & SECCOMBE 1993, FILIPPIDIS 1997b). In the Xerolivado chrome mine of Vourinos (Western Macedonia, Greece), the concentrated chromite grains within the chromite-bands of the schlieren, are a few mm and cm away from the disseminated chromite grains within the serpentinite-bands of the schlieren and a few m away from the disseminated chromite grains within the serpentinite. The aim of the present study is to investigate the compositional differences of concentrated and disseminated chromite grains of the Southern sector in the Xerolivado chrome mine of Vourinos.

The Vourinos complex

The Vourinos complex (Fig. 1), constitutes a complete but tectonically disrupted ophiolite sequence and belongs to the suprasubduction-zone type of ophiolites. Petrologic evidence confirms the existence of multiple magma chambers and the harzburgites represent mantle residue (restites), remaining after a high-degree of partial melting (e.g., MOORES 1969, JACKSON et al. 1975, HARKINS et al. 1980, BECCALUVA et al. 1984, PARASKEVOPOULOS & ECONOMOU 1986, ECONOMOU-ELIOPOULOS 1993, 1996). The entire spectrum of structures in the ophiolite shows an obduction (Early to Middle Jurassic) emplacement direction to the north east. The stages of structural evolution of chromitiferous dunite bodies are: a) formation within the upper mantle, b) high-temperature plastic deformation resulting from mantle flow, c) low-temperature plastic to semi-brittle deformation resulting in folding of dunite and chromite and d) brittle deformation (thrusts and faults), which displaces the dunites and chromite bodies (ROSS et al. 1980, ROBERTS et al. 1988, KONSTANTOPOULOU 1993).

The South Vourinos (Fig. 1) chromites most probably formed directly above the spreading center, the North Vourinos at a distance from the spreading center and the Kissavos ones crystallized from magmas derived by partial melting of an already depleted mantle source. The chromite deposits of Vourinos preserve high temperature and later ductile to brittle structures developed during emplacement (ROBERTS et al. 1988, RASSIOS & KOSTOPOULOS 1990, KONSTANTOPOULOU & ECONOMOU-ELIOPOULOS 1991, GRIVAS et al. 1993).

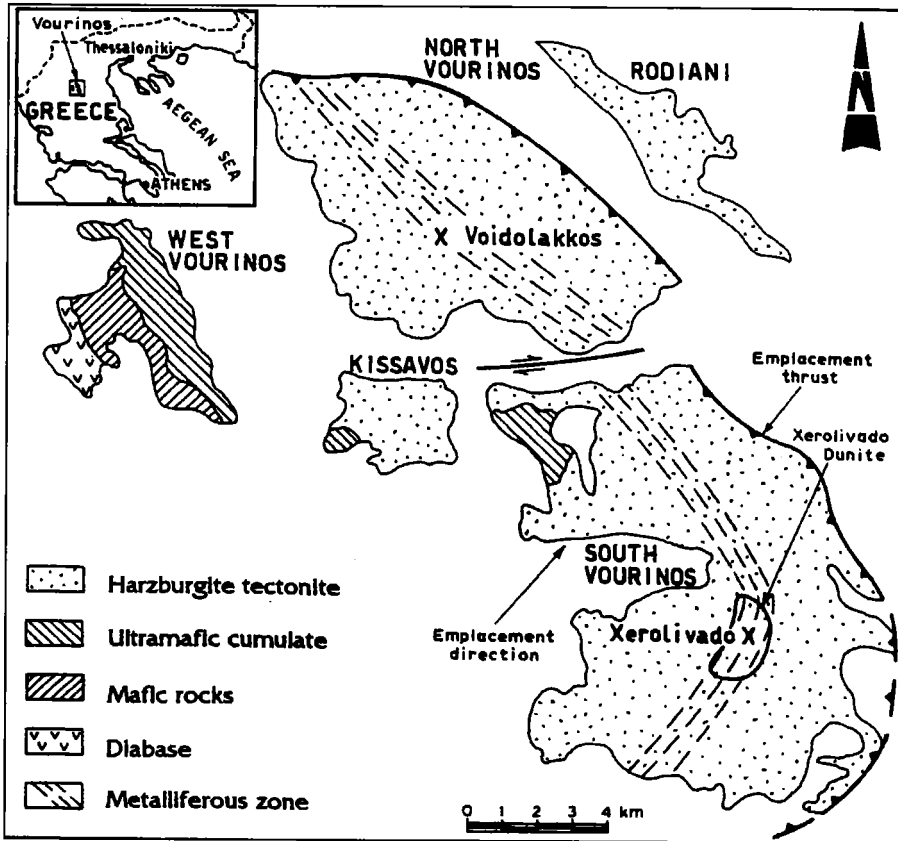


Figure 1. Location of the Xerolivado mine and the major units of the Vourinos ophiolite complex (GRIVAS *et al.* 1993).

Σχήμα 1. Τοποθέτηση του μεταλλείου Ξερολίβαδου και οι κύριες ενότητες του οφιολιθικού συμπλέγματος του Βούρινου (GRIVAS *et al.* 1993).

The Xerolivado chromite mine

Harzburgite tectonite hosts the Xerolivado dunite body but also outcrops within the dunite, occurring as elongate masses, up to 300 m in long dimension, striking NE-SW (APOSTOLIDIS *et al.* 1980, ROBERTS *et al.* 1988). FILIPPIDIS (1996) using modal analysis of rock samples from the central sector of Xerolivado mine, showed that, on average, 91.3% of the rock is made up of serpentine. The remainder is made up of 7.2% olivine, 0.2% calcite, 0.2% brucite, 1.1% chromite and traces of chlorite, magnetite, heazlewoodite and awaruite. Adopting the classification of ultramafic rocks proposed by JACKSON (1970), based on the modal proportions of

the ferromagnesian minerals, the ultramafic body that hosts the Xerolivado chromite ore, can be classified as a serpentinite. The reducing environment resulting from the serpentinization, the very low sulfur and oxygen fugacities during the hydration of olivine, produced the opaque mineral assemblage awaruite + heazlewoodite + magnetite (FILIPPIDIS 1982, 1985, 1991).

Three main normal fault zones divide the Xerolivado mine into four sectors and down throw the ultramafic body and the chromite bodies with horizontal and vertical dislocations to the SW. The schlieren chromite bodies have a thickness varying from 1 to 12 m strike NE-SW and steeply dip towards the NW. The schlieren chromite bodies contain chromite-bands, each being 1 to 15 cm thick, alternating with serpentinite-bands. All stages of deformation have imprinted the chromite ore. Deformation of the chromite-bands is characterized by small-scale flexures and folding of the bands (for details see FILIPPIDIS 1996, 1997b).

A variety of deformed and folded ore textures are preserved within the ore. The deformation of the deposit occurred at high temperatures in an oceanic domain. Following the high temperature deformation the ore bodies were affected by brittle deformation which is represented by the main normal fault zones. Mylonite fabrics superimposed on earlier higher temperature fabrics are documented and are related to the intra-oceanic displacement and thrusting of the complex (ROBERTS et al. 1988, KONSTANTOPOULOU & ECONOMOU-ELIOPOULOS 1991).

Materials and methods

The investigated samples of the schlieren chromite bodies (C1 to C6) and of the serpentinite (S1-2 to S5-6) between the chromite bodies, were taken along a profile that crosses the chromite bodies of the southern sector of Xerolivado chrome mine of Vourinos (Fig. 2). Polished thin sections were prepared from the chromite-bands of the schlieren (concentrated chromite), the serpentinite-bands of the schlieren (disseminated chromite within the serpentinite-bands of the schlieren) and from the serpentinite (disseminated chromite). These polished thin sections were investigated by optical microscopy and scanning electron microscope (JEOL JSM-840) equipped with a LINK AN 10,000 EDS microanalyser (SEM-EDS).

The chromite grains were analyzed by SEM-EDS. At least three grains were analyzed from each polished thin section. Three to five spot analyses were made on each grain. Additional spots were analyzed for each grain to check the compositional zoning. Since the spot analyses in each type of chromite grains did not show any significant variations, each analysis in the accompanying tables represents the average of all spot analyses. The sample preparation and the analyzing conditions were the same for all microprobe analyses. The operating conditions were: accelerating voltage 15kV, beam current 3nA, beam diameter 1 μ m and counting time 100 se-

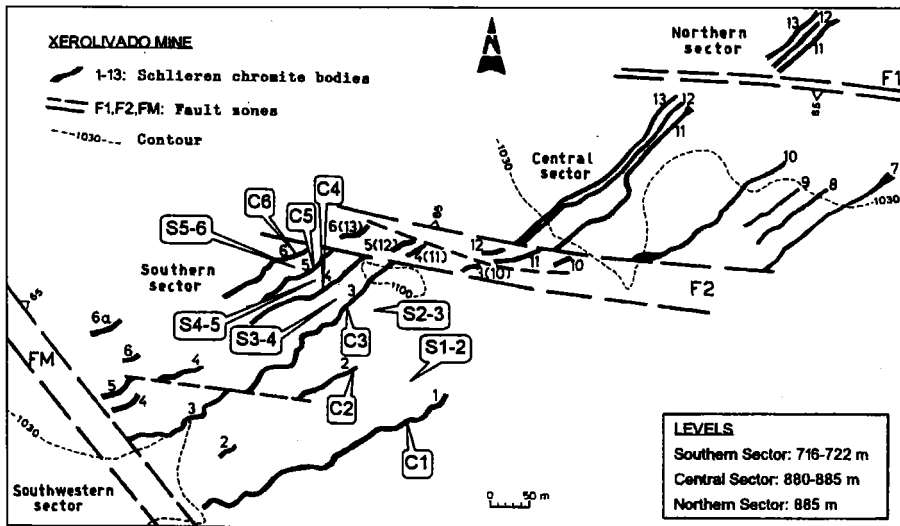


Figure 2. Distribution and appearance of the schlieren chromite ore bodies of Xerolivado mine of Vourinos (FILIPPIDIS 1996) and sample location (C1 to C6, S1-2 to S5-6).

Σχήμα 2. Κατανομή και μορφή των χρωμιτικών σωμάτων σλίερν του μεταλλείου του Ξερολίβαδου στον Βούρινο (FILIPPIDIS 1996) και θέσεις δειγματοληψίας (C1 έως C6, S1-2 έως S5-6).

conds. Corrections were made using the ZAF-4FLS software provided by LINK. Natural minerals or synthetic equivalents and pure metals were used as microprobe standards. The analytical precision for the analyses was variable for different elements (relative percentage error in brackets): Si(0.03), Ti(0.05), Al(0.05), Cr(0.21), Fe(0.16), Mn(0.13), Ni(0.12), Zn (0.10), Mg (0.05) and Ca(0.04).

Results

The subhedral grains of chromite are elongated as well as intensely fractured. The chromite grains show no optical zonation and the grain contacts between chromite and silicate minerals are straight, lacking evidence of any replacement.

The chemical compositions of the different types of chromite are listed in Tables 1, 2 and 3. Compositional zoning within the individual chromite grains was not identified. In the ternary plot of the trivalent cations Cr, Al, Fe^{3+} contents, all chromites plot in the field of aluminian chromite (Fig. 3). In general, there are some compositional differences between the different types of chromite. The disseminated chromites within the serpentinite-bands of the schlieren, have more or less intermediate composition, compared to the other two types of chromites. The significance of these differences will be discussed below, correlating the ratios of trivalent and divalent cations.

Table 1. Composition of concentrated chromite within the chromite-bands of the schlieren
Πίνακας 1. Σύσταση του συμπυκνούς χρωμίτη εντός των χρωμιτικών ταινιών του σλίρεν

Sample	C1	C2	C3	C4	C5	C6
SiO ₂ wt%	0.07	0.06	0.02	0.04	0.04	0.07
TiO ₂	0.10	0.06	0.05	0.04	0.08	0.09
Al ₂ O ₃	10.63	10.60	11.13	10.43	10.72	10.35
Cr ₂ O ₃	59.56	58.43	57.44	58.74	58.60	60.23
Fe ₂ O ₃ *	3.23	5.53	4.91	4.99	4.84	2.74
FeO*	11.82	10.38	12.27	10.23	10.30	12.01
MnO	0.03	0.10	0.09	0.06	0.01	0.13
NiO	0.07	0.07	0.01	0.02	0.05	0.03
ZnO	0.08	0.06	0.02	0.02	0.03	0.03
MgO	14.05	15.11	13.93	15.15	15.16	13.87
CaO	0.02	0.04	0.01	0.01	0.03	0.03
Total	99.66	100.44	99.88	99.73	99.86	99.58

Structural formulae based on 4 (O)						
Si	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002
Ti	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002
Al	0.403	0.397	0.421	0.393	0.403	0.393
Cr	1.515	1.468	1.458	1.485	1.478	1.536
Fe ³⁺	0.078	0.132	0.119	0.120	0.116	0.067
Fe ²⁺	0.318	0.276	0.329	0.274	0.275	0.324
Mn	0.001	0.003	0.002	0.002	-	0.004
Ni	0.002	0.002	-	0.001	0.001	0.001
Zn	0.002	0.001	-	-	0.001	0.001
Mg	0.674	0.715	0.667	0.722	0.721	0.667
Ca	0.001	0.001	-	-	0.001	0.001

* Measured as FeO and calculated assuming stoichiometry.

Discussion and conclusions

Compositional variations among the divalent cations, between the different types of chromite, are observed mainly for Mg and Fe²⁺. The values of $X(\text{Mg}) = \text{Mg}/(\text{sum of divalent cations})$, for concentrated chromites are higher than those of disseminated chromites within the serpentinite. The disseminated chromites within the serpentinite-bands of the schlieren, show an intermediate composition (Fig. 4). The modal analysis of samples from the central sector of the Xerolivabo chrome mine showed that on average 70% of the chromite-bands of the schlieren is made up of chromite,

Table 2. Composition of disseminated chromite within the serpentinite-bands of the schlieren
Πίνακας 2. Σύσταση του διάσπαρτου χρωμίτη εντός των ταινιών σερπεντινίτη του σλίερν

Sample	C1	C2	C3	C4	C5	C6
SiO ₂ wt%	0.10	0.12	0.12	0.10	0.07	0.11
TiO ₂	0.11	0.06	0.07	0.07	0.03	0.07
Al ₂ O ₃	10.80	10.15	11.23	10.60	10.74	10.79
Cr ₂ O ₃	59.95	57.30	57.67	58.93	57.95	58.61
Fe ₂ O ₃ *	2.36	5.26	4.29	2.92	4.63	2.94
FeO*	14.01	13.74	13.93	15.05	12.75	15.31
MnO	0.08	0.12	0.13	0.11	0.04	0.09
NiO	0.03	0.03	0.02	0.05	0.05	0.03
ZnO	0.03	0.01	0.06	0.03	0.06	0.04
MgO	12.81	12.73	12.91	12.00	13.50	11.88
CaO	0.01	0.01	0.02	0.04	0.02	0.03
Total	100.29	99.53	100.45	99.90	99.84	99.90

Structural formulae based on 4 (O)						
Si	0.003	0.004	0.004	0.003	0.002	0.004
Ti	0.003	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002
Al	0.410	0.390	0.425	0.407	0.408	0.414
Cr	1.527	1.476	1.465	1.516	1.477	1.508
Fe ³⁺	0.057	0.129	0.104	0.072	0.112	0.072
Fe ²⁺	0.377	0.374	0.374	0.410	0.344	0.417
Mn	0.002	0.003	0.004	0.003	0.001	0.002
Ni	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Zn	0.001	-	0.001	0.001	0.001	0.001
Mg	0.615	0.618	0.618	0.582	0.649	0.576
Ca	-	-	0.001	0.001	0.001	0.001

* Measured as FeO and calculated assuming stoichiometry.

while the corresponding values for the serpentinite-bands of the schlieren and the serpentinite are 5% and 1%, respectively (FILIPPIDIS 1997b). The X(Mg) of chromites generally increases with increasing modal percentages of chromite. FILIPPIDIS (1996), in a study of samples from the central sector of the Xerolivado chrome mine found that the Fo-content of olivines (Fo = 92.8-95.1) decreases with increasing distance from the schlieren chromite bodies, while serpentinite has a uniform composition.

The above compositional variations in chromite among the divalent cations could be attributed to subsolidus reactions between chromite and associated silicate mi-

Table 3. Composition of disseminated chromite within the serpentinite**Πίνακας 3.** Σύσταση του διάσπαρτου χρωμίτη εντός του σερπεντινίτη.

Sample	S1-2	S2-3	S3-4	S4-5	S5-6
SiO ₂ wt%	0.12	0.10	0.09	0.10	0.10
TiO ₂	0.11	0.05	0.05	0.07	0.07
Al ₂ O ₃	11.52	11.80	11.96	12.05	11.26
Cr ₂ O ₃	57.81	57.74	56.32	56.11	56.88
Fe ₂ O ₃ *	3.13	3.03	3.56	3.97	3.85
FeO*	15.88	15.85	15.77	16.25	15.90
MnO	0.09	0.04	0.08	0.11	0.13
NiO	0.02	0.06	0.06	0.04	0.01
ZnO	0.05	0.00	0.03	0.05	0.13
MgO	11.65	11.76	11.62	11.41	11.47
CaO	0.02	0.04	0.02	0.02	0.00
Total	100.40	100.47	99.56	100.18	99.80
Structural formulae based on 4 (O)					
Si	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003
Ti	0.003	0.001	0.001	0.002	0.002
Al	0.439	0.449	0.459	0.460	0.433
Cr	1.478	1.473	1.450	1.438	1.467
Fe ³⁺	0.076	0.074	0.087	0.097	0.095
Fe ²⁺	0.430	0.428	0.429	0.440	0.434
Mn	0.002	0.001	0.002	0.003	0.004
Ni	0.001	0.002	0.002	0.001	-
Zn	0.001	-	0.001	0.001	0.003
Mg	0.562	0.566	0.564	0.551	0.558
Ca	0.001	0.001	0.001	0.001	-

* Measured as FeO and calculated assuming stoichiometry.

nerals and fluids. Subsolidus reactions, displayed mainly by divalent cations, are proposed to explain the compositional variation in chromite, and this change in chromite composition, is a function of the amounts and the grain-size of chromite present. The degree of equilibration is controlled by the modal abundance of chromite and with decreasing proportion of chromite the subsolidus processes proceed to lower temperature (e.g., YANG & SECCOMBE 1993, PELTONEN 1995, FILIPIDIS 1997a,b). The subsolidus processes operated in grain-scale systems for the chromite of Great Serpentinite Belt of Australia (YANG & SECCOMBE 1993). The intermediate composition observed for X(Mg) in chromite grains within the ser-

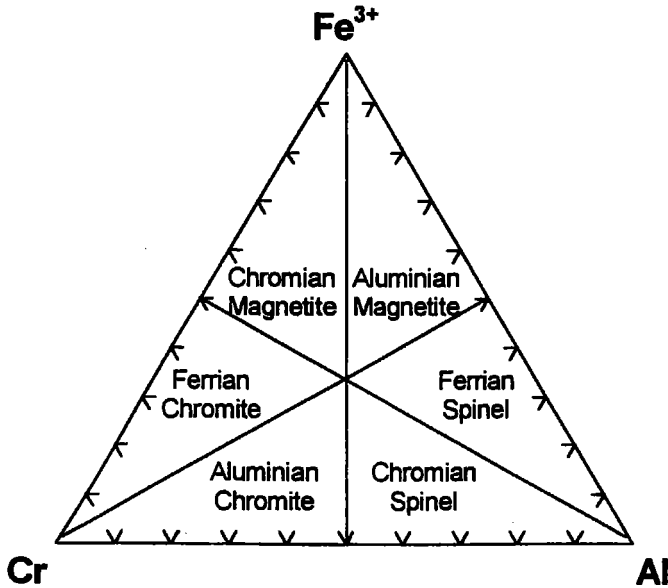


Figure 3. Ternary plot of the trivalent cations Cr, Al, Fe^{3+} content of chromites from the Southern sector of Xerolivado chrome mine. Z = Concentrated chromite within the chromite-bands of the schlieren, + = Disseminated chromite within the serpentinite-bands of the schlieren, Γ = Disseminated chromite within the serpentinite.

Σχήμα 3. Τριαιδικό διάγραμμα της περιεκτικότητας των τρισθενών κατιόντων Cr, Al, Fe^{3+} στους χρωμίτες του Νότιου Τομέα του μεταλλείου χρωμίου στο Ξερολίβαδο. Z = Συμπαγής χρωμίτης εντός των χρωμιτικών ταινιών σλίρεν, + = Διάσπαρτος χρωμίτης εντός των ταινιών σερπεντινίτη του σλίρεν, Γ = Διάσπαρτος χρωμίτης εντός του σερπεντινίτη.

pentinite-bands of the schlieren, compared to the concentrated and disseminated chromite grains (Fig. 4) support the suggestion that subsolidus processes occurred, but the volume of the system was larger than grain-scale. The larger volume systems indicated by the chromite chemistry, are in agreement to the findings of FILIPPIDIS (1996) for the olivine chemistry, where the Fo-content of olivine decreases with increasing distance from the schlieren chromite bodies.

The formation of concentrated chromite in layers, requires shifting in the liquidus composition of the magma. New pulses of magma are likely responsible for the shifting and the cyclic pulses of magma would then explain the repetition of the chromite layers. Depending on the temperature of the new magma, the chromite layer could crystallize at the olivine-chromite cotectic or at a temperature higher than the cotectic (IRVINE 1977). The chromite layers could also be formed by an increase in the stage of oxidation of the melt, since the solubility of Cr decreases

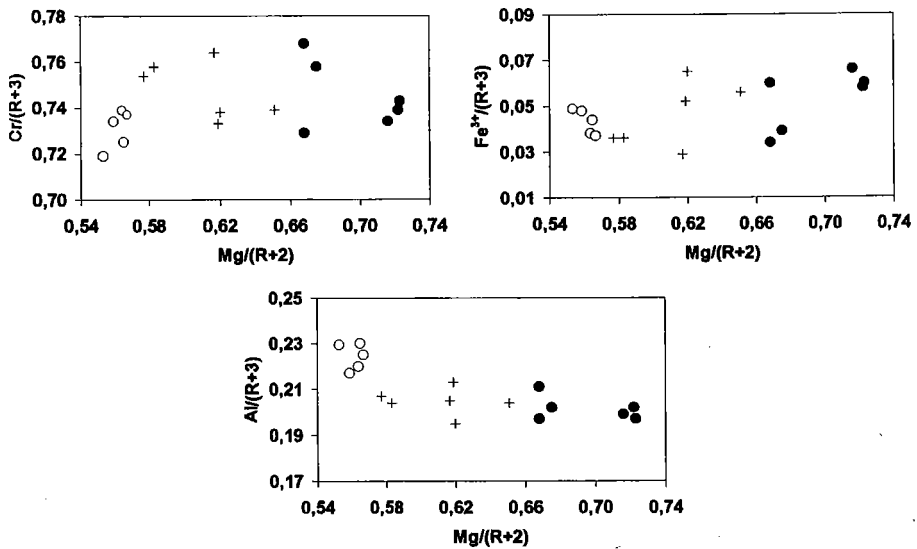


Figure 4. Composition of chromites from the Southern Sector of Xerolivado chrome mine. $R+2$ = Sum of divalent cations. $R+3$ = Sum of trivalent cations. • = Concentrated chromite within the chromite-bands of the schlieren. + = Disseminated chromite within the serpentinite-bands of the schlieren. ○ = Disseminated chromite within the serpentinite.

Σχήμα 4. Σύσταση χρωμιτών του Νότιο Τομέα του μεταλλείου χρωμίου στο Ξερολίβαδο. • = Συμπαγής χρωμίτης εντός των χρωμιτικών ταινιών σλίφεν. + = Διάσπαρτος χρωμίτης εντός των ταινιών σερπεντινίτη του σλίφεν. ○ = Διάσπαρτος χρωμίτης εντός του σερπεντινίτη.

with increasing oxygen fugacity (MURCK & CAMPBELL 1986). The present data of the southern sector (Fig. 4) and that of the central sector (FILIPPIDIS 1997b), demonstrate that $X(\text{Fe}^{3+})$ in concentrated chromite is the same as the two types of disseminated chromite. This leads to the conclusion that the increase in the oxidation stage of the melt, probably is not the cause of the crystallization of the chromite-bands of the schlieren in Xerolivado mine.

The data of Fig. 4, demonstrate that $X(\text{Cr})$ and $X(\text{Al})$ in concentrated chromite are the same as that of the disseminated chromite within the serpentinite-bands of the schlieren and very close to, or slightly different than, that of disseminated chromite within the serpentinite. On average, $X(\text{Cr})$ is slightly lower and $X(\text{Al})$ slightly higher in the disseminated chromite within the serpentinite, compared to the other two types of chromite (Fig. 4). The composition of magma, the temperature, the oxygen fugacity and the degree of olivine fractionation, are the main parameters controlling the chromite chemistry at the magmatic stage (e.g., MURCK & CAMP-

BELL 1986, ROEDER & REYNOLDS 1991). Although the influence of these parameters to the crystallization of concentrated chromite cannot be assessed, the slight variation of Cr and Al observed (Fig. 4), adds further support to the proposal that subsolidus processes occurred, but also initial differences in conditions of crystallization are reflected, at least for the disseminated chromite within the serpentinite of Xerolivado chrome mine of Vourinos.

Acknowledgements

We express our gratitude to Mr. C. Stamoulis for his help during the sampling and his valuable informations about the Xerolivado chrome mine of Vourinos. Also, Mr. Kantiranis, a PhD candidate, is greatly indebted to State Fellowship Establishment of Greece for its support.

References

- APOSTOLIDIS G., MASTORIS K. & VGENOPOULOS A.G. (1980). Exploration of the Xerolivado-chromite deposits and their chemical, mineralogical and physical properties. Intern. Symp. on Metallogeny of Mafic and Ultramafic Complexes. Athens, Proc., 1, 1-20.
- BECCALUVA L., OHNENSTETTER D., OHNENSTETTER M. & PAUPY A. (1984). Two magmatic series with island arc affinities within the Vourinos ophiolite. *Contrib. Miner. Petrol.*, 85, 253-271.
- ECONOMOU-ELIOPOULOS M. (1993). Platinum-group element (PGE) distribution in chromite ores from ophiolite complexes of Greece: implications for chromite exploration. *Ofioliti*, 18, 83-97.
- ECONOMOU-ELIOPOULOS M. (1996). Platinum-group element distribution in chromite ores from ophiolite complexes: implications for their exploration. *Ore Geol. Rev.*, 11, 363-381.
- FILIPPIDIS A. (1982). Experimental study of the serpentinization of Mg-Fe-Ni olivine in the presence of sulfur. *Can. Miner.*, 20, 567-574.
- FILIPPIDIS A. (1985). Formation of awaruite in the system Ni-Fe-Mg-Si-O-H-S and olivine hydration with NaOH solution: an experimental study. *Econ. Geol.*, 80, 1974-1980.
- FILIPPIDIS A. (1991). Further comments on the opaque mineral assemblages in ultramafic rocks: an experimental study. *Ofioliti*, 16, 1-6.
- FILIPPIDIS A. (1996). Chemical variation of olivine in the serpentinite of the central section in the Xerolivado chrome mine of Vourinos, Greece. *N. Jb. Miner. Abh.*, 170, 189-205.
- FILIPPIDIS A. (1997a). Chemical variation of chromite in the Gorgona olivine - orthopyroxenite, Thrace, Greece. *N. Jb. Miner. Mh.*, 3, 113-130.
- FILIPPIDIS A. (1997b). Chemical variation of chromite in the central sector of Xeroli-

- vado chrome mine of Vourinos, Western Macedonia, Greece. *N. Jb. Miner. Mh.*, 8, 354-370.
- GRIVAS E., RASSIOS A., KONSTANTOPOULOU G., VACONDIOS I. & VRAHATIS G. (1993). Drilling for "blind" podiform chrome orebodies at Voidolakkos in the Vourinos ophiolite complex, Greece. *Econ. Geol.*, 88, 461-468.
- HARKINS M., GREEN H. & MOORES E. (1980). Multiple intrusive events documented from the Vourinos ophiolite complex, northern Greece. *Amer. J. Sci.*, 280A, 284-296.
- IRVINE T. N. (1977). Origin of chromite layers in the Muskox intrusion and other stratiform intrusions: a new interpretation. *Geology*, 5, 273-277.
- JACKSON E. D., GREEN H. W. & MOORES E. M. (1975). The Vourinos ophiolite, Greece. Cyclic units of lineated cumulates overlying harzburgite tectonite. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 86, 390-398.
- JACKSON K. C. (1970). Text book of lithology. McGraw-Hill, New York.
- KONSTANTOPOULOU G. (1993). Structural criteria in locating chromite ores: evidence from the Rizo district, Vourinos ophiolite, Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 28, 381-392.
- KONSTANTOPOULOU G. & ECONOMOU-ELIOPOULOS M. (1991). Distribution of platinum group elements and gold within the Vourinos chromite ores, Greece. *Econ. Geol.*, 86, 1672-1682.
- MOORES E. M. (1969). Petrology and structure of the Vourinos ophiolite complex of northern Greece. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper* 118.
- MURCK B.W. & CAMPBELL I.H. (1986). The effects of temperature, oxygen fugacity and melt composition on the behavior of chromium in basic and ultrabasic melts. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 50, 1871-1887.
- PARASKEVOPOULOS G. & ECONOMOU M. (1986). On the origin of chromite ores of the Vourinos ophiolite complex, Greece. *N. Jb. Miner. Abh.*, 154, 179-192.
- PELTONEN P. (1995). Crystallization and re-equilibration of zoned chromite in ultramafic cumulates, Vammala Ni-belt, southwestern Finland. *Can. Miner.*, 33, 521-535.
- RASSIOS A. & KOSTOPOULOS D. (1990). The geochemistry of dunite and its relation to the position of chromitites in the Vourinos ophiolite complex, Greece. In: Malpas J., Moores E., Panayiotou A. & Xenophontas C. (Eds), *Ophiolites, oceanic crustal analogues. Symp. "Troodos 1987"*, Nicosia, Cyprus, Proc., 593-604.
- ROBERTS S., RASSIOS A., WRIGHT L., VACONDIOS I., VRAHATIS G., GRIVAS E., NESBITT R., NEARY C., MOAT T. & KONSTANTOPOULOU G. (1988). Structural controls on the locations and form of the Vourinos chromite deposits. In: Boissonnas J. & Omenetto P (Eds), *Mineral deposits within the European Community*. Springer-Verlag, Berlin, 249-266.
- ROEDER P. L. & REYNOLDS I. (1991). Crystallization of chromite and chromium solubility in basalt melts. *J. Petrol.*, 32, 909-934.

- ROSS J., MERCIER J. C., LALLEMENT H. A., CARTER N. & ZIMMERMAN J. (1980). The Vourinos ophiolite complex, Greece: The tectonic suite. *Tectonophysics*, 70, 63-81.
- SCOWEN P.A., ROEDER P.L. & HELTZ R.T. (1991). Reequilibration of chromite within Kilauea Iki lava lake, Hawaii. *Contrib. Miner. Petrol.*, 107, 8-20.
- YANG K. & SECCOMBE P. K. (1993). Chemical variation of chromite in the ultramafic cumulates of the Great Serpentine Belt, Upper Bingara to Doonba, New South Wales, Australia. *Can. Miner.*, 31, 75-87.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 498-505</p>
---	---	--

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ
ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF ΚΑΙ ΤΗΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗΣ -
ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ
ΤΟΥ ΛΕΥΚΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΤΗΣ ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ ΒΕΡΜΙΟΥ

Σ. Φιλιππίδης¹, Ν. Καντηράνης², Α. Φιλιππίδης³,
Α. Κασώλη-Φουρναράκη³

Περίληψη

Τα λευκά μάρμαρα της Καστανιάς Βερμίου είναι έντονα τεκτονισμένα και η ορυκτολογική τους σύσταση είναι: ασβεστίτης (~98%) και ίχνη δολομίτη και μοσχοβίτη. Οι ανωμαλίες VLF καθορίζουν τη VLF-Ζώνη 1 που οριοθετεί την επαφή μαρμάρων και σχιστόλιθων και τη VLF-Ζώνη 2 που αντιπροσωπεύει μια ζώνη ρηγμάτων εντός των λευκών μαρμάρων. Ο έντονος τεκτονισμός της περιοχής μελέτης που εκδηλώνεται με τις ζώνες ρηγμάτων, καθώς και το πυκνό δίκτυο διακλάσεων που παρατηρήθηκε δυσκολεύουν την εκμετάλλευση των λευκών μαρμάρων για την εξόρυξη ογκομαρμάρων στην περιοχή μελέτης. Παρόλα αυτά, η ορυκτολογική αλλά και η χημική τους σύσταση δίνουν ελπίδες για την ανεύρεση συγκεκριμένων βιομηχανικών χρήσεων υψηλής αγοραστικής αξίας. Η χρήση της μεθόδου VLF μπορεί με μεγάλη αξιοπιστία και ευστοχία να εντοπίσει ρήγματα και ζώνες ρηγμάτων. Συμβάλει έτσι, άμεσα στην επιλογή της καταλληλότερης θέσης για εξόρυξη ογκομαρμάρων, στη βελτίωση του συντελεστή αποληψιμότητας και παράλληλα στη μείωση των στείρων υλικών κατά την εκμετάλλευση των μαρμάρων. Κατά συνέπεια συμβάλει στον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Abstract

The white marbles of the Kastania-Vermio area are strongly tectonized and their mineralogical composition is: calcite (~98%) and traces of dolomite and muscovite. The VLF anomalies determine the VLF-Zone 1, which represents the marbles-schists contact, and the VLF-Zone 2, which represents a rupture zone within the white marbles. The intensive tectonism of the study area which is represented by the rupture zones, as well as the joint system observed, make dif-

ENVIRONMENTAL AND ECONOMICAL ASPECTS OF THE VLF METHOD AND
THE MINERALOGICAL-CHEMICAL COMPOSITION IN THE EXPLOITATION
OF KASTANIA WHITE MARBLE, VERMIO, MACEDONIA, GREECE.

1. Γεωφυσικός-Γεωτεχνικός Μηχανικός, Πατρόγλου 20, 561 23 Θεσσαλονίκη.
2. Υποψ. Διδάκτορ., Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
3. Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 540 06 Θεσσαλονίκη.

difficult the exploitation of the white marble as dimension stones. However, the mineralogical and chemical composition indicates some possible industrial uses. The VLF method can be used successfully and accurately to locate faults and rupture zones, leading thus, in locating the best site for marble extraction, the improvement of the recovery coefficient and the minimisation of the gangue materials. Both last aspects have a great impact in environmental protection.

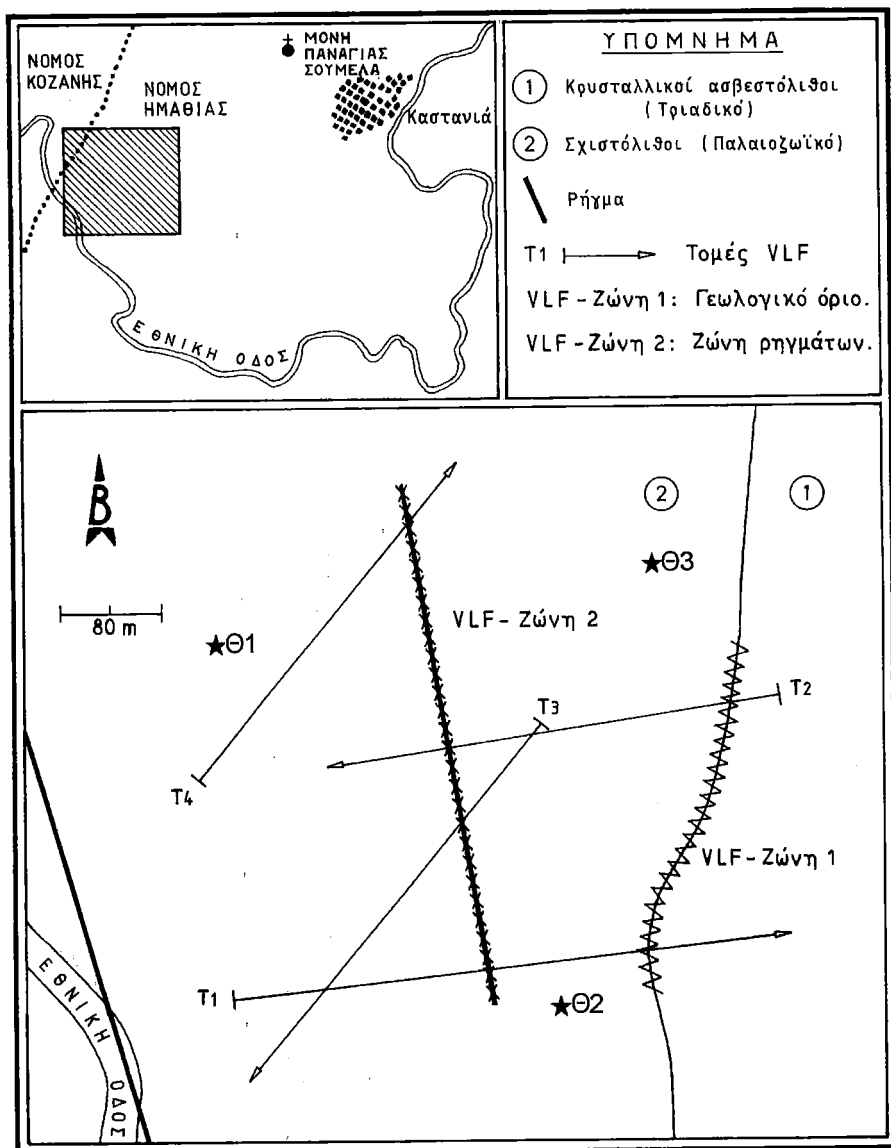
Εισαγωγή

Η γεωφυσική μέθοδος VLF βασίζεται στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα πολύ χαμηλής συχνότητας (Very Low Frequency) που εκπέμπονται από μακρινούς σταθμούς στην περιοχή 10-30 kHz. Τα κύματα αυτά διαδίδονται στο υπέδαφος και δημιουργούν ένα δευτερεύον ηλεκτρομαγνητικό πεδίο γύρω από φυσικούς ηλεκτρικούς αγωγούς (CONEY 1977, PARASNIS 1979, OLSSON 1980). Με το δέκτη VLF μετράμε την πραγματική (Real component) και τη φανταστική συνιστώσα (Imaginary component) του δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου ως ποσοστό του πρωτογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Οι ποσότητες αυτές συνδέονται με σχέσεις απλής αναλογίας με την γωνία κλίσης και την ελλειπτικότητα της έλλειψης πόλωσης. Η γεωφυσική μέθοδος VLF χρησιμοποιείται με πολύ μεγάλη επιτυχία για τον εντοπισμό και τη εξόρυξη ορυκτών και πετρωμάτων, εντοπισμό υδροφόρων ορηγμάτων, αλλά και στη γεωλογική χαρτογράφηση (PAAL 1965, 1968, FRASER 1969, PATERSON & RONKA 1971, TELFORD et al. 1977, FILIPPIDIS 1989).

Σημαντική παράμετρος για τα αποθέματα μιας μαρμαροφόρου περιοχής είναι ο συντελεστής αποληψιμότητας ενός κοιτάσματος μαρμάρου. Ο συντελεστής αποληψιμότητας μεταξύ άλλων εξαρτάται από το είδος και τη φύση του πετρώματος, την ύπαρξη και πυκνότητα των τεκτονικών στοιχείων και τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο εξόρυξης. Οι συντελεστές αποληψιμότητας των Ελληνικών λατομείων μαρμάρου κυμαίνονται από τιμές μικρότερες του 10 έως 20% (ΡΗΓΑΣ 1981, ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ κ.α. 1998). Γενικά, οι γεωφυσικές διασκοπήσεις μπορούν να βοηθήσουν στην επίλυση ορισμένων προβλημάτων όπως το βάθος ενός κοιτάσματος μαρμάρου, ο εντοπισμός περιοχών έντονων διαρρήξεων, η μεταβολή του πορώδους (όταν πρόκειται για τραβερτίνες), ο εντοπισμός καρστικών εγκοίλων κ.α. (ΒΙΔΑΚΗΣ κ.α. 1990). Η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος VLF μπορεί αποφασιστικά να εντοπίσει μεταξύ άλλων ρήγματα και ζώνες ορηγμάτων (ARNBOM et al. 1984, FILIPPIDIS 1989).

Στον τομέα του μαρμάρου, αλλά και όλων των ανθρακικών πετρωμάτων είναι αδιαμφισβήτητη η αναγκαιότητα της γεωλογικής έρευνας για την επιλογή θέσεων εξόρυξης, αλλά και πιθανών χρήσεών τους. Η ποιότητα και κατά συνέπεια η καταλληλότητα ενός μαρμάρου για διάφορες χρήσεις καθορίζεται σχεδόν αποκλειστικά από τα χημικά, ορυκτολογικά, ιστολογικά και φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά του (ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ 1996).

Σκοπός της εργασίας είναι η επισήμανση της περιβαλλοντικής και οικονομικής



Σχήμα 1. Γεωλογική τοποθέτηση, θέσεις δειγματοληψίας (Θ1-Θ3) και οδεύσεις VLF της περιοχής μελέτης.

Figure 1. Geological location, sample sites (Θ1-Θ3) and VLF survey lines of the studied area.

σημασίας της γεωφυσικής μεθόδου VLF, σε συνδυασμό με την ορυκτολογική και χημική σύσταση στην εκμετάλλευση του λευκού μαρμάρου της Καστανιάς Βεργίου.

Γεωλογική τοποθέτηση

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στα όρια των νομών Ημαθίας και Κοζάνης, Δ-ΝΔ της κοινότητας Καστανιάς (Σχ. 1) και ανήκει γεωτεκτονικά στην ενότητα των Πιερίων. Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης εκτός από τα λευκά μάρμαρα, εμφανίζονται ορθογνεύσιοι, μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, παρεμβολές πρασινοσχιστόλιθων, ο γρανίτης της Καστανιάς, καθώς και μεταγάββροι και μεταδιαβάσες.

Οι ορθογνεύσιοι και οι μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι αποτελούν το μεταμορφωμένο προαλπικό υπόβαθρο της ενότητας Πιερίων (Παλαιοζωικό). Το υπόβαθρο αυτό καλύπτεται από τα Μέσο έως Ανω Τριαδικά μάρμαρα της Πελαγονικής. Ο πλουτωνίτης της Καστανιάς διεισδύει στο μεταμορφωμένο προαλπικό υπόβαθρο και εγκλείει τμήματά του. Στο προαλπικό υπόβαθρο διεισδύουν και τα μεταβασιικά πετρώματα (μεταγάββροι και μεταδιαβάσες) που ανήκουν πιθανότατα στην οφειολιθική σειρά του Βεργίου (ΚΙΛΙΑΣ & ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ 1988).

Υλικά και μεθοδοί έρευνας

Αντιπροσωπευτικά δείγματα (Σχ. 1, Θ1-Θ3) των λευκών μαρμάρων από την περιοχή Καστανιά του Βεργίου όρους συλλέχθηκαν για τον ποιοτικό και ημιποσοτικό προσδιορισμό της ορυκτολογικής τους σύστασης με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) σε τυχαία προσανατολισμένα δείγματα. Χρησιμοποιήθηκε περιθλασιόμετρο Philips με ακτινοβολία CuK_α , φίλτρο Ni, ταχύτητα σάρωσης $1,2^\circ/\text{min}$, ταχύτητα καταγραφικού $1 \text{ cm}/\text{min}$ και περιοχή σάρωσης $3-53^\circ$ (2θ). Ο ημιποσοτικός προσδιορισμός των ορυκτολογικών φάσεων έγινε με βάση τις απαιθμίσεις (counts) συγκεκριμένων ανακλάσεων και λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα και το συντελεστή απορρόφησης μάζας (Mass Absorption Coefficient CuK_α) των ορυκτολογικών φάσεων.

Για τη γεωφυσική μελέτη με τη μέθοδο VLF χρησιμοποιήθηκαν οι σταθμοί GBR (16,0 kHz, Rugby, Μεγ. Βρετανία) και JXZ (16,4 kHz Helgeland, Νορβηγία). Οι οδεύσεις VLF T1 και T2 εκτελέστηκαν με τον σταθμό της Νορβηγίας και έχουν διεύθυνση B84A, ενώ οι οδεύσεις T3 και T4 εκτελέστηκαν με το σταθμό της Μεγ. Βρετανίας και έχουν διεύθυνση B40A. Η απόσταση μεταξύ των σημείων μέτρησης σε όλες τις οδεύσεις είναι 20 m.

Αποτελέσματα και συζήτηση

Από την υπαίθρια εργασία που έγινε για τη συγκεκριμένη μελέτη προέκυψε ότι η περιοχή είναι έντονα τεκτονισμένη και έχει αναπτυχθεί ένα πολύ πυκνό δίκτυο διακλάσεων που έχει κατακεραμάσει όλα τα πετρώματα της περιοχής και ιδιαίτε-

ρα τα λευκά μάρμαρα. Αναγνωρίστηκαν δύο συστήματα διακλάσεων με διευθύνσεις BBA-NNA και ABA-ΔΝΔ. Επίσης, εντοπίστηκε ένα ρήγμα στο ΝΔ τμήμα της περιοχής μελέτης (Σχ. 1) με γενική διεύθυνση B10Δ το οποίο διασχίζει όλη την περιοχή.

Όσον αφορά την ορυκτολογική του σύσταση τα λευκά μάρμαρα της Καστανιάς περιέχουν κυρίως ασβεστίτη (~98%) με ίχνη δολομίτη και μοσχοβίτη (Πίν. 1).

Πίνακας 1. Ημιποσοτική ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων που αναλύθηκαν με τη μέθοδο XRD

Table 1. Semi-quantitative mineralogical composition of the samples analyzed by the XRD method

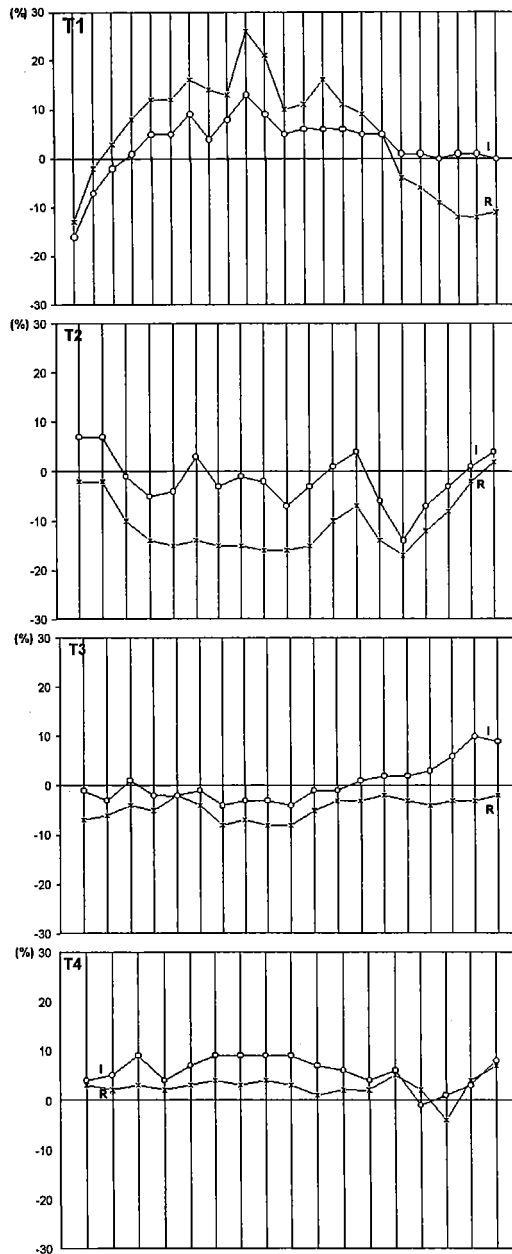
Δείγμα	Θ1	Θ2	Θ3
Ασβεστίτης	98	98	99
Δολομίτης	Ίχνη	Ίχνη	Ίχνη
Μοσχοβίτης	Ίχνη	Ίχνη	Ίχνη

Σύμφωνα με τους ΒΙΔΑΚΗ & ΠΑΤΗΝΙΩΤΗ (1989) η χημική σύσταση (με XRF) του λευκού μαρμάρου της Καστανιάς-Κουμαριάς Ημαθίας είναι: CaO = 54,9%, MgO = 0,25%, SiO₂ = 0,06%, Fe₂O₃ = 0,14%, Al₂O₃ = 0,4%, K₂O = 0,04%, Na₂O = 0,07%, MnO = 0,02% και CO₂ = 43,2%. Η χημική αυτή σύσταση είναι σε καλή συμφωνία με την ημιποσοτική ορυκτολογική σύσταση του Πίνακα 1.

Οι ανωμαλίες VLF (Σχ. 2) καθορίζουν δύο ζώνες VLF, VLF-ζώνη 1 και VLF-ζώνη 2 (Σχ. 1). Η VLF-ζώνη 1 έχει διεύθυνση περίπου B15A και οριοθετεί την επαφή σχιστόλιθων και μαρμάρων, ενώ η VLF-ζώνη 2 με διεύθυνση B10Δ αντιπροσωπεύει μια ζώνη ρηγμάτων μέσα στα λευκά μάρμαρα. Αυτή έχει σχετικά μικρό πλάτος (~3 m) και είναι παράλληλη με το ρήγμα που διασχίζει το ΝΔ τμήμα της περιοχής μελέτης (Σχ. 1).

Ο έντονος τεκτονισμός της περιοχής μελέτης που εκδηλώνεται με το ρήγμα ΝΔ της περιοχής μελέτης, η ζώνη ρηγμάτων που εντοπίστηκε με VLF, καθώς και το πυκνό δίκτυο διακλάσεων που παρατηρήθηκε, δυσκολεύουν κατά πάσα πιθανότητα την εκμετάλλευση των λευκών μαρμάρων για την εξόρυξη ογκομαρμάρων στην περιοχή μελέτης. Παρόλα αυτά, η ορυκτολογική αλλά και η χημική σύσταση των λευκών μαρμάρων της Καστανιάς Βερμίου δίνουν ελπίδες για περαιτέρω έρευνα με σκοπό την ανεύρεση συγκεκριμένων βιομηχανικών χρήσεων υψηλής αγοραστικής αξίας, όπως περιβαλλοντικές χρήσεις, παραγωγή ασβέστου, ζωοτροφές, πληρωτικά, επικαλυπτικά, δέσμευση αέριων ρύπων, φαρμακευτική κ.α. (BOYNTON 1980, HARBEN 1992, OATES 1998).

Σύμφωνα με τον ΛΑΣΚΑΡΙΔΗ (1989) τα λευκά μάρμαρα της Κουμαριάς-Κα-



Σχήμα 2. Ανωμαλίες VLF στα λευκά μάρμαρα της Καστανιάς Βερμίου. R = Πραγματική συνιστώσα, I = Φανταστική συνιστώσα, Βήμα = 20 m.

Figure 2. VLF anomalies in the white marbles of Kastania, Vermio. R = Real component, I = Imaginary component, Step = 20 m.

στανιάς Βερμίου έχουν χαμηλή τιμή απόξεσης και κατά συνέπεια είναι κατάλληλα για χρήση τους στη χαρτοβιομηχανία ως πληρωτικά ή επικαλυπτικά.

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να τονίσουμε ότι η χρήση της ηλεκτρομαγνητικής μεθόδου VLF μπορεί με μεγάλη αξιοπιστία και ευστοχία να εντοπίσει ρήγματα και ζώνες ρηγμάτων συμβάλλοντας άμεσα στην επιλογή της καταλληλότερης θέσης για την εξόρυξη ογκομαρμάρων, στη βελτίωση του συντελεστή αποληψιμότητας και παράλληλα στη μείωση των στείρων υλικών κατά την εκμετάλλευση των μαρμάρων. Η μείωση της ποσότητας των στείρων υλικών θα έχει ως συνέπεια τον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την εξόρυξη (απόθεση στείρων και εκχέρωση) καθιστώντας έτσι επιτυχέστερη την αποκατάσταση του περιβάλλοντος μετά την ολοκλήρωση της εκμετάλλευσης. Παράλληλα, η αύξηση του συντελεστή αποληψιμότητας παρέχει σε μια επιχείρηση πρόσθετα οικονομικά οφέλη για αποτελεσματικότερη προώθηση του μαρμάρου και αποκατάσταση του χώρου λατόμευσης.

Ευχαριστίες

Ο υποψήφιος διδάκτορας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κ. Νικόλαος Καντηράνης ευχαριστεί θερμά το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών για την υποστήριξη των σπουδών του.

Βιβλιογραφία

- ARNBOM J.O., FILIPPIDIS A., FILIPPIDIS S. & SOKOUTIS D. (1984). The VLF method for water prospecting in Greece. STU rep. 83-4290, Uppsala, Sweden, 54 p (in Swedish with English summary).
- ΒΙΔΑΚΗΣ Ε. & ΠΑΤΗΝΙΩΤΗΣ Ν. (1989). Φυσικομηχανικές ιδιότητες διακοσμητικών πετρωμάτων. Ελληνικό μάρμαρο, Οδηγός Αγοράς, Αθήνα, 57-61.
- ΒΙΔΑΚΗΣ Ε., ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΟΥ Ν., ΛΑΖΟΣ Σ. & ΠΑΤΗΝΙΩΤΗΣ Ν. (1990). Η γεωλογική έρευνα και η σημασία της στην αξιοποίηση των μαρμάρων. Πρακτ. Παλλ. Συν. "Το Ελληνικό Μάρμαρο", ΓΕΩΤ.Ε.Ε., Θεσσαλονίκη, 37-48.
- BOYNTON R.S. (1980). Chemistry and Technology of Limestone. Wiley & Sons, New York, p. 577.
- CONEY D.P. (1977). Model studies of the VLF-EM method of geophysical prospecting. *Geoexploration*, 15, 19-35.
- FILIPPIDIS S. (1989). Locating groundwater bearing fracture zone in phyllite of Asvestochori area with the VLF electromagnetic method. Proc. 1st Hellenic Geophysical Congress, Athens, 666-673.
- ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α., ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Σ. & ΚΑΝΤΗΡΑΝΗΣ Ν. (1998). Γεωφυσικές, ορυκτολογικές και γεωχημικές μελέτες πριν την εξόρυξη των ανθρακικών πετρωμάτων της Θάσου. Πρακτ. 1ου Συνεδρίου Αναπτυξιακής Προοπτικής Θάσου, Πρίνος Θάσου, 189-196.

- FRASER D.C. (1969). Contouring of VLF-EM data. *Geophysics*, 34, 958-967.
- HARBEN P.W. (1992). *The Industrial Minerals Handybook*. Industrial Minerals Division, Metal Bulletin PLC, London, p. 148.
- ΚΙΛΙΑΣ Α. & ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. (1988). Το τεκτονικό κάλυμμα της Πελαγονικής. Τεκτονική, μεταμόρφωση και μαγματισμός. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.* 23(1), 29-46.
- ΛΑΣΚΑΡΙΔΗΣ Κ. (1989). Εξέταση λευκών Ελληνικών Ασβεστόλιθων και δολομιτών για τη χρήση τους στη βιομηχανία (π.χ. στη χαρτοβιομηχανία). *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, 23(2), 295-304.
- OATES J.A.H. (1998). *Lime and Limestone. Chemistry and technology, production and uses*. Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 455 p.
- OLSSON O. (1980). VLF anomalies from a perfectly conducting half plane below an overburden. *Geoph. Prospecting*, 28, 415-434.
- PALL G. (1965). Ore prospecting based on VLF-radio signals. *Geoexploration*, 3, 139-147.
- PALL G. (1968). Very low frequency measurements in Northern Sweden. *Geoexploration*, 6, 141-149.
- PARASNIS D.S. (1979). *Principles of applied geophysics*. Chapman & Hall, London, p. 275.
- PATERSON R.N. & RONKA V. (1971). Five years of surveying with the VLF-EM method. *Geoexploration*, 9, 7-26.
- Ρήγας Κ. (1981). Έρευνα και αξιοποίηση των Ελληνικών μαρμάρων. *Τεχνικά Χρονικά*, Αθήνα, 105-122.
- TELFORD W.M., KING W.F. & BECKER A. (1977). VLF mapping of geological structure. *Geol. Survey Canada*, paper 76-25.
- ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ Α. (1996). *Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά πετρώματα*. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σ. 310.

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΖΕΟΛΙΘΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΛΑΣΗ ΛΙΓΝΙΤΩΡΥΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ - ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ

Α. Φίλιππίδης, Α. Κασώλη-Φουρναράκη¹

Περίληψη

Τα ζεολιθοφόρα πετρώματα της Ελλάδας περιέχουν μέχρι και 90% κλινοπτιλόλιθο και μορντενίτη. Οι φυσικοχημικές ιδιότητές τους, καθιστούν τους Ελληνικούς φυσικούς ζεολίθους, κατάλληλο υλικό για την ανάπλαση των λιγνιτωρυχείων του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (ΛΚΠ-Α). Η προσθήκη Ελληνικών φυσικών ζεολίθων σε τεχνητούς υδροβιότοπους θα βελτιώσει την ποιότητα των υδάτων σε ανόργανα και οργανικά συστατικά, θα συμβάλλει στη ρύθμιση του pH των υδάτων προς το ουδέτερο, καθώς επίσης θα εμπλουτίσει σε οξυγόνο τα ύδατα των τεχνητών λιμνών του ΛΚΠ-Α. Η αποκατάσταση των τελικών επιφανειών στα λιγνιτωρυχεία και η απόδοσή τους σε γεωργική και κτηνοτροφική χρήση, καθώς επίσης σε χώρους αναψυχής, είναι εφικτή με οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Abstract

The zeolite-bearing rocks of Greece contain up to 90% clinoptilolite and mordenite. Their physico-chemical properties make them a good material for the restoration of the mined land in the Lignite Center of Ptolemais-Aminteo (LCP-A). The addition of Greek natural zeolites in constructed wetlands, will improve the quality of waters, concerning the content of inorganic and organic constituents, as well as, the neutralization of the pH. Also, it will contribute to the oxygen-enrichment of the waters of constructed lakes in the LCP-A. The restoration of the mine land and its return to the agricultural and cattle-raising uses, as well as to the recreation areas, is possible with economical and environmental advantages.

Εισαγωγή

Σήμερα στην χώρα μας, ο λιγνίτης συμμετέχει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό περίπου 77%. Ετησίως εξορύσσονται περίπου 60 εκατομ. τόνοι λιγνίτη και τροφοδοτούν θερμοηλεκτρικές μονάδες συνολικής ισχύος 4.900 MW περίπου. Το μεγαλύτερο ενεργειακό κέντρο της χώρας είναι το Λιγνιτικό Κέντρο

The possibility of using Greek natural zeolites for the restoration of the mine D land in the Lignite Center of Ptolemais-Aminteo, MACEDONIA, GREECE.

1. Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 540 06 Θεσσαλονίκη.

Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (ΛΚΠ-Α) με ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ) συνολικής ισχύος 4.043 MW. Το 65% περίπου των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων λιγνίτη βρίσκονται στις λεκάνες Φλώρινας-Πτολεμαΐδας-Κοζάνης (ΔΕΗ 1999).

Τα λιγνιτωρυχεία του ΛΚΠ-Α δεσμεύουν σταδιακά μεγάλες επιφάνειες γεωργικών και δασικών εκτάσεων, δημιουργώντας εκτεταμένες εκσκαφές και αποθέσεις. Έτσι, προκαλούνται αλλοιώσεις και διαταραχές στο τοπίο, στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα, καθώς και στη χλωρίδα και πανίδα της λεκάνης. Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων η ΔΕΗ εκτελεί έργα αποκατάστασης εδαφών, ανάπλαση τοπίου και ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων κατά την εκμετάλλευση. Στο ΛΚΠ-Α έχουν μέχρι σήμερα αποκατασταθεί 17.000 περίπου στρέμματα με διάφορες φυτεύσεις και καλλιέργειες (ΔΕΗ 1999).

Τα ζεολιθοφόρα πετρώματα παρουσιάζουν μοναδικές φυσικοχημικές ιδιότητες και βρίσκουν πολυάριθμες βιομηχανικές, γεωργοκτηνοτροφικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές (POND & MUMPTON 1984, ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ 1991, ΤΣΙΤΣΙΣΗΒΙΛΙ et al. 1992).

Σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιάσει σε συντομία τα αποτελέσματα και συμπεράσματα των μέχρι τώρα επιστημονικών εργασιών σχετικά με τα Ελληνικά ζεολιθοφόρα πετρώματα και στην συνέχεια να προτείνει πιθανές χρήσεις αυτών στην ανάπλαση των λιγνιτωρυχείων του ΛΚΠ-Α. Για θέματα και λεπτομέρειες που δεν αναφέρονται στην παρούσα εργασία, οι συγγραφείς παραπέμπουν τον αναγνώστη στις επί μέρους δημοσιεύσεις.

Ελληνικοί φυσικοί ζεόλιθοι

Στη χώρα μας υπάρχουν οικονομικής σημασίας ζεολιθοφόροι σχηματισμοί που παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά (μέχρι και 90%) σε κλινοπιλόλιθο και μορντενίτη (Πίν. 1) και αξιοσημείωτες φυσικοχημικές ιδιότητες (Πίν. 2). Μέχρι σήμερα έχουν εντοπιστεί, εκτός του κλινοπιλόλιθου και μορντενίτη, και άλλοι ζεόλιθοι όπως χιουλανδίτης, ανάλκιμο, εριονίτης, χαμπαζίτης και φιλλιψίτης. Από κοιτασματολογικής άποψης με τις μέχρι τώρα μελέτες, το ενδιαφέρον στρέφεται στα κοιτάσματα του Νομού Έβρου. Οι ενδείξεις για τις υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδας και κυρίως για τα κοιτάσματα των Νήσων Πολυαίγου, Σάμου, Μήλου και Κιμώλου, είναι ενθαρρυντικές, απαιτείται όμως περαιτέρω έρευνα.

Η ιοντοανταλλακτική ικανότητα των Ελληνικών φυσικών ζεολίθων (Πίν. 2), εξηγεί την δεσμευτική τους ικανότητα σε μέταλλα, ραδιονουκλίδια και οργανικές ουσίες από τα υδατικά τους διαλύματα. Η χρήση των Ελληνικών φυσικών ζεολίθων στο σιτηρέσιο ορνίθων και χοίρων καθώς επίσης σε καλλιέργειες σιτηρών, εκτός της παραγωγής υγιεινών τροφών, αυξάνουν σε σημαντικό βαθμό την παραγωγή των διαφόρων προϊόντων. Επίσης, η προσθήκη Ελληνικών φυσικών ζεολίθων, προσδίδει αξιοσημείωτη αύξηση της αντοχής σε θλίψη κατασκευαστικών υλικών (Πίν. 2).

Πίνακας 1. Εμφανίσεις ζεολιθοφόρων σχηματισμών της Ελλάδας**Table 1.** Zeolite-bearing occurrences of Greece

Περιοχή	Είδος ζεολίθου	Μέγιστη περιεκτικότητα (%)	Βιβλιογραφία
ΝΟΜΟΣ ΕΒΡΟΥ			
Πετρωτά	Κλινοπιλόλιθος	81	6, 17
	Μορντενίτης	45	
Πεντάλοφος	Κλινοπιλόλιθος	90	19
Μεταξάδες	Κλινοπιλόλιθος	75	1, 4, 7, 9, 11, 13, 14, 15, 17
	Χιουλανδίτης	50	
	Μορντενίτης	α	
Δαδιά- Λευκίμη- Φέρρες	Κλινοπιλόλιθος	α	12, 14, 17
	Χιουλανδίτης	α	
	Μορντενίτης	α	
ΝΗΣΟΣ ΠΟΛΥΑΙΓΟΣ	Κλινοπιλόλιθος	α	16, 17, 20
	Μορντενίτης	90	
ΝΗΣΟΣ ΣΑΜΟΣ	Κλινοπιλόλιθος	α	2, 3, 8, 10, 17
	Μορντενίτης	α	
	Ανάκιμο	α	
	Ερσιονίτης	α	
	Χαμπαζίτης	α	
	Φιλλιψίτης	α	
ΝΗΣΟΣ ΜΗΛΟΣ	Μορντενίτης	α	18
ΝΗΣΟΣ ΚΙΜΩΛΟΣ	Κλινοπιλόλιθος	α	17
	Μορντενίτης	α	
ΝΗΣΟΣ ΘΗΡΑ	Κλινοπιλόλιθος	60	5, 14, 16, 17
	Μορντενίτης	α	
ΝΗΣΟΣ ΛΕΥΚΑΔΑ	Κλινοπιλόλιθος	α	17
ΝΗΣΟΣ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑ	Κλινοπιλόλιθος	α	17
ΝΗΣΟΣ ΖΑΚΥΝΘΟΣ	Κλινοπιλόλιθος	α	17

α) δεν αναφέρεται. 1) ΜΑΡΑΝΤΟΣ κ.α. (1989), 2) STAMATAKIS (1989a), 3) STAMATAKIS (1989b), 4) TSIRAMBIDES et al. (1989), 5) TSOLIS-KATAGAS & KATAGAS (1989), 6) KIROV et al. (1990), 7) TSOLIS-KATAGAS & KATAGAS (1990), 8) PE-PIPER & TSOLIS-KATAGAS (1991), 9) ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ (1991), 10) HALL & STAMATAKIS (1992), 11) FILIPPIDIS (1993), 12) SKARPELIS et al. (1993), 13) TSIRAMBIDES et al. (1993), 14) HALL et al. (1994), 15) KOUTLES et al. (1995), 16) KITSOPOULOS & DUNHAM (1996), 17) STAMATAKIS et al. (1996a), 18) STAMATAKIS et al. (1996b), 19) KASSOLI-FOURNARAKI et al. (1997), 20) KITSOPOULOS (1997b).

Πίνακας 2. Φυσικοχημικές ιδιότητες των Ελληνικών φυσικών ζεολιθών
Table 2. Physico-chemical properties of Greek natural zeolites

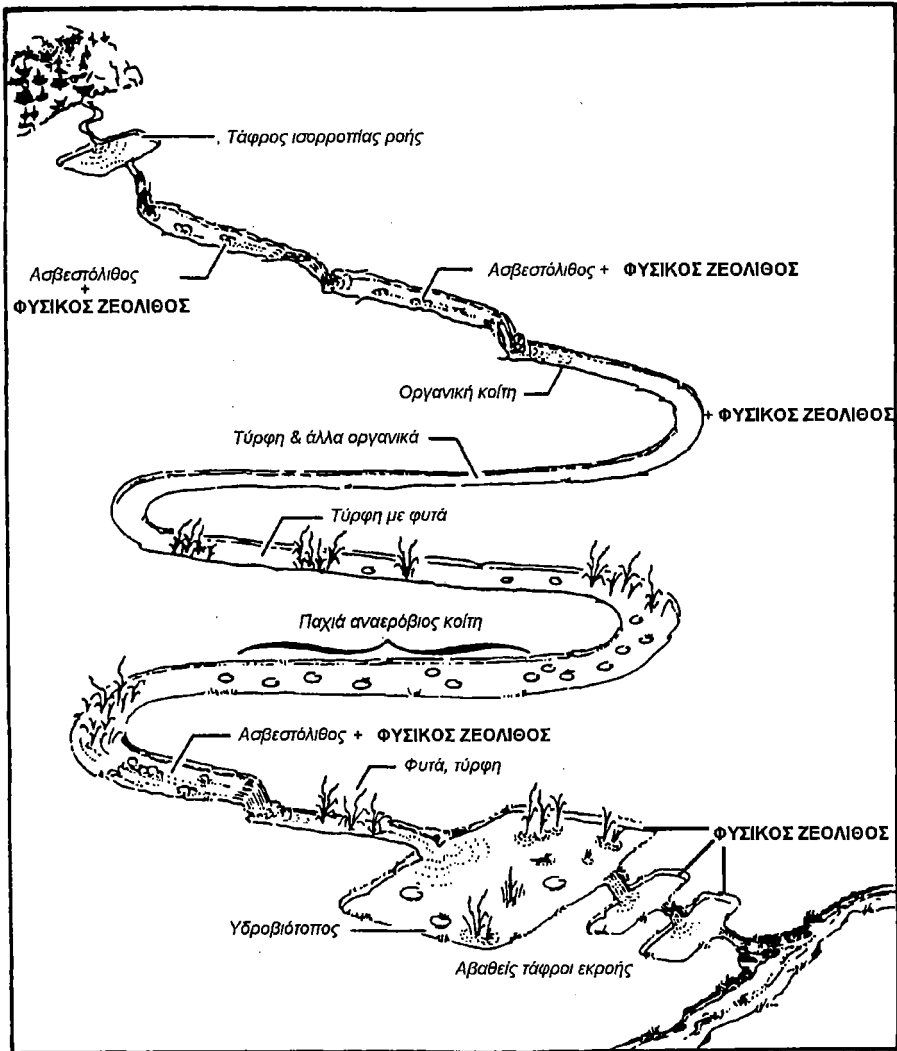
Περιοχή	Πεντάλοφος	Μεταξάδες	Λαδιά-Λευκίμμη-Φέρες	Νήσος Πολύαιγος	Νήσος Θήρα	Βιβλ.
Μέγ. CEC(meq 100g-1)	-	200	136	188	222	1,2,12
<i>Μέγιστη σχετική δέσμευση ιόντων και οργανικών ουσιών από υδατικά διαλύματα (%)</i>						
Ag, Cd, Cs, Hg, Nd, U	-	20-99	-	-	-	3, 4, 5, 6, 9, 11, 15, 17
Φαινιλενοδιαμίνες	53	30	-	-	-	
<i>Προσθήκη στο σιτηρέσιο αυγοπαραγωγών ορνίθων – Μέγιστη αύξηση (%)</i>						
Αυγοπαραγωγής	-	4	-	-	-	7, 10, 14
Βάρους του αυγού	-	5	-	-	-	
<i>Προσθήκη στο σιτηρέσιο χοίρων – Μέγιστη αύξηση (%)</i>						
Βάρους	5	-	-	-	-	16
<i>Προσθήκη στο υπόστρωμα καλλιέργειας σιτηρών – Μέγιστη αύξηση (%)</i>						
Παραγωγής σανού	33	-	-	-	-	13
Παραγωγής καρπού	75	-	-	-	-	
<i>Προσθήκη σε τσιμέντο Portland – Μέγιστη αύξηση (%)</i>						
Αντοχής σε θλίψη	-	-	-	38	33	8

CEC: Ιοντοαλλακτική ικανότητα. 1) ΜΑΡΑΝΤΟΣ κ.α. (1989), 2) SKARPELIS et al. (1993), 3) MISAELIDES et al. (1994), 4) ΜΙΣΑΙΛΙΔΗΣ κ.α. (1994), 5) MISAELIDES et al. (1995a), 6) MISAELIDES et al. (1995b), 7) YANNAKOPOULOS et al. (1995), 8) KITSOPOULOS & DUNHAM (1996), 9) SYMEOPOULOS et al. (1996), 10) ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ κ.α. (1996), 11) ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ κ.α. (1997β), 12) KITSOPOULOS (1997a), 13) TSA-DILAS et al. (1997), 14) TSERVENI-GOUSI et al. (1997), 15) VLESSIDIS & EVMIRIDIS (1997), 16) YANNAKOPOULOS et al. (1997), 17) SIKALIDIS (1998).

Συζήτηση και συμπεράσματα

Σημαντικό ρόλο για το περιβάλλον, εκτός της μεθόδου εξόρυξης και αξιοποίησης, παίζει η περιεκτικότητα του λιγνίτη και της τέφρας σε ορυκτά, ιγνοστοιχεία και θείο (FOSCOLOS et al. 1989, FILIPPIDIS & GEORGAKOPOULOS 1992, ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ κ.α. 1992, KASSOLI-FOURNARAKI et al. 1993, GEOR-

ΓΑΚΟΡΟΥΛΟΣ et al. 1994, 1995, 1996, ΔΗΜΗΤΡΟΥΛΑ κ.α. 1997, FILIPPIDIS et al. 1997, ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ κ.α. 1997α, ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ et al. 1997). Η εξόρυξη και καύση των λιγνιτών μπορεί να οδηγήσει στη διασπορά των ιχνοστοιχείων στην ατμόσφαιρα, εδάφη και ύδατα (SWAINE 1990, CLARKE & SLOSS 1992). Παρακάτω περιγράφεται η δυνητική χρήση των φυσικών ζεόλιθων α) σε υδάτινο και β) σε χερσαίο περιβάλλον.



Σχήμα 1. Τεχνητός υδροβιότοπος με φυσικό ζεόλιθο.

Figure 1. Constructed wetland with natural zeolite.

α) Υδάτινο περιβάλλον: Μέτρο περιβαλλοντικής προστασίας στη διαχείριση των υδάτων, αποτελεί συνήθως η χρήση τεχνητού υδροβιότοπου (SENGUPTA 1993). Η προσθήκη Ελληνικών φυσικών ζεόλιθων σε διάφορα σημεία, σύνθετου ή απλού τεχνητού υδροβιότοπου (Σχ. 1), θα βελτιώσει τη ποιότητα των υδάτων του ΛΚΠ-Α σε ιχνοστοιχεία και οργανικές ουσίες. Οι ζεόλιθοι, εκτός της δέσμευσης ανόργανων και οργανικών ουσιών, ρυθμίζουν το pH των υδάτων προς το ουδέτερο, αυξάνοντας ή μειώνοντας το pH, ανάλογα με την οξύτητα ή βασικότητα των υδάτων (FILIPPIDIS et al. 1996, CHARISTOS et al. 1997). Η ρύψη Ελληνικών φυσικών ζεολίθων στις τεχνητές λίμνες του ΛΚΠ-Α επιφέρει εμπλουτισμό σε οξυγόνο του νερού της λίμνης (οξυγονούχα ρεύματα), βελτιώνοντας έτσι τη διαβίωση των ψαριών και άλλων οργανισμών.

β) Χερσαίο περιβάλλον: Η αποκατάσταση των τελικών επιφανειών στα λιγνιτωρυχεία και η απόδοσή τους σε γεωργική και κτηνοτροφική χρήση, καθώς και χώρους αναψυχής θα είναι αποτελεσματικότερη με τη χρήση των Ελληνικών φυσικών ζεολίθων. Η αποκατάσταση εδαφών με τη χρήση των Ελληνικών φυσικών ζεολίθων μπορεί να επιφέρει μεγαλύτερη γονιμότητα από αυτήν που επικρατούσε στα εδάφη πριν την εκμετάλλευση του λιγνίτη. Η συγκράτηση του καλίου, αμμωνίας και άλλων θρεπτικών συστατικών από τους ζεόλιθους στο έδαφος αυξάνει τον βαθμό διάθεσης των συστατικών αυτών για τα διάφορα φυτά. Οι ζεόλιθοι επίσης, περιορίζουν τις ασθένειες στο ριζικό σύστημα, έτσι αυτό γίνεται πλουσιότερο και αποτελεσματικότερο στην ανάκτηση θρεπτικών συστατικών. Το περιβαλλοντικό όφελος είναι επίσης, η μείωση της τοξικότητας των εδαφών και των υδάτων (που μπορεί να δημιουργηθεί διαμέσου της έκπλυσης των ιχνοστοιχείων), καθώς και η παραγωγή υγιεινών καρπών / τροφών για τον άνθρωπο και τα ζώα. Η υψηλή απορροφητική ικανότητα και η συγκράτηση της αμμωνίας αποτελούν τις βασικές αιτίες χρήσης των φυσικών ζεολίθων στο σιτηρέσιο διατροφής των ζώων (π.χ. χοίρους, αγελάδες, πουλερικά). Εκτός από την αύξηση του βάρους και της μείωσης της θνησιμότητας των νεογνών, παρατηρήθηκε και βελτίωση της ποιότητας του κρέατος και των λοιπών προϊόντων που αποτελούν βασική τροφή του ανθρώπου.

Βιβλιογραφία

- CHARISTOS D., GODELITSAS A., TSIPI S., SOFONIOU M., DWYER J., MANOS G., FILIPPIDIS A. & TRIANTAFYLLIDIS C. (1997). Interaction of natrolite and thomsonite intergrowths with aqueous solutions of different initial pH values at 25°C in the presence of KCl: Reaction mechanisms. *Appl. Geochemistry*, 12, 693-703.
- CLARKE B.L. & SLOSS L.L. (1992). Trace elements-Emissions from coal combustion and gasification. IEA Coal Research, IEACR/49, London, p. 111.
- ΔΕΗ (1999). Ο λιγνίτης στην Ελλάδα. Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Αθήνα, 28σ.
- ΔΗΜΗΤΡΟΥΛΑ Μ., ΓΕΡΟΥΚΗ Φ. & ΦΩΣΚΟΛΟΣ Α. (1997). Ορυκτολογική, ορυ-

ποχημική και γεωχημική μελέτη της ιπτάμενης τέφρας των ΑΗΣ Κοζάνης-Πτολεμαΐδας. *Διημερίδα: Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές, Κοζάνη, Πρακτ., τομ. Β, 143-158.*

- FILIPPIDIS A. (1993). New find of moissanite in the Metaxades zeolite bearing volcaniclastic rocks, Thrace county, Greece. *N. Jb. Miner. Mh.*, 11, 521-527.
- 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., GODELITSAS A., CHARISTOS D., MISAELIDES P. & KASSOLI-FOURNARAKI A. (1996). The chemical behavior of natural zeolites in aqueous environments: Interactions between low-silica zeolites and 1M NaCl solutions of different initial pH-values. *Appl. Clay Sci.*, 11, 199-209.
- 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). *European Sem. Coal Fly Ash, Marseilles, Proc.*, 149-158.
- ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α., ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α. & ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α. (1997α). Ορυκτολογία, κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία ιπτάμενων τεφρών των ΑΗΣ του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου. *Διημερίδα: Χρήση της ιπτάμενης τέφρας στις κατασκευές, Κοζάνη, Πρακτ., τομ. Β, 159-168.*
- ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α., ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α., ΧΑΡΙΣΤΟΣ Δ. & ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ Α. (1997β). Οι Ελληνικοί ξεόλιθοι ως μέσο απομάκρυνσης από το νερό ιχνοστοιχείων και ρύθμισης του pH. 4ο Υδρογεωλ. Συν., Θεσσαλονίκη, Πρακτ., 539-546.
- FOSCOLOS A.E., GOUDARZI F., KOUKOUZAS C.N. & HATZIYANNIS G. (1989). Reconnaissance study of mineral matter and trace elements in Greek lignites. *Chem. Geol.*, 76, 107-130.
- 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 (1), 1802-1804.
- Georgakopoulos A., Fernandez-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: *Coal Science & Technology* (Pajares & Tascon, Eds), Elsevier, 24, 163-166.
- GEORGAKOPOULOS A., FILIPPIDIS 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.
- ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α., ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α. & ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ 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, σ. 12.*

- HALL A. & STAMATAKIS M.G. (1992). Ammonium in zeolitized tuffs of the Karlovassi basin, Samos, Greece. *Can. Mineral.*, 30, 423-430.
- HALL A., STAMATAKIS M.G. & WALSH J.N. (1994). Ammonium enrichment associated with diagenetic alteration in Tertiary pyroclastic rocks from Greece. *Chem. Geol.*, 118, 173-183.
- 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: *Current Res. in Geology Applied to Ore Deposits* (Fenoll Hach-Ali, Torres-Ruiz & Gervilla, Eds), La Guioconda, Granada, 727-730.
- KASSOLI-FOURNARAKI A., STAMATAKIS M., HALL A., FILIPPIDIS A., MICHAILIDIS K., TSIRAMBIDES A. & KOUTLES TH. (1997). The Carich clinoptilolite deposit of Pentalofos, Thrace, Greece. 5th Int. Conf. Zeolite'97, Ischia, Italy, Ext. Abs, 178-180.
- KIROV G., FILIPPIDIS A., TSIRAMBIDES A., TZVETANOV R.G. & KASSOLI-FOURNARAKI A. (1990). Zeolite-bearing rocks in Petrota area (Eastern Rhodope Massif, Greece). *Geol. Rhodopica*, 2, 500-511.
- KITSOPOULOS K.P. (1997a). Comparison of the methylene blue absorption and the ammonium acetate saturation methods for determination of CEC values of zeolite-rich tuffs. *Clay Minerals*, 32, 319-322.
- KITSOPOULOS K.P. (1997b). The genesis of a mordenite deposit by hydrothermal alteration of pyroclastics in Polyegos Island, Greece. *Clays Clay Minerals*, 45(5), 632-648.
- KITSOPOULOS K.P. & DUNHAM A.C. (1996). Heulandite and mordenite-rich tyffs from Greece: a potential source for pozzolanic materials. *Mineral. Deposita*, 31, 576-583.
- KOUTLES TH., KASSOLI-FOURNARAKI A., FILIPPIDIS A. & TSIRAMBIDES A. (1995). Geology and geochemistry of the Eocene zeolitic-bearing volcanoclastic sediments of Metaxades, Thrace, Greece. *Estudios Geol.*, 51, 19-27.
- ΜΑΡΑΝΤΟΣ Ι., ΚΟΣΙΑΦΗΣ Γ., ΚΑΡΑΝΤΑΣΗ Σ. & ΓΡΗΓΟΡΙΑΔΗΣ Γ. (1989). Μελέτη των Τριτογενών ζεολιθικών πυροκλαστικών σχηματισμών της περιοχής Μεταξάδων του Νομού Έβρου. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, 23(2), 443-450.
- MICHAILIDIS K., SAKORAFI V. & FOSCOLOS A. (1997). Laboratory assessment of technological properties of lignites from the Ptolemais and Megalopolis fields, Greece. *Mineral Wealth*, 105, 43-48.
- MISAEILIDES P., GODELITSAS A., CHARISTOS B., IOANNOU D. & CHARISTOS D. (1994). Heavy metal uptake by the zeoliferous rocks from Metaxades Thrace, Greece: An exploratory study. *J. Radioanal. Nucl. Chem. Art.*, 183, 159-166.
- MISAEILIDES P., GODELITSAS A. & FILIPPIDIS A. (1995a): The use of zeoliferous rocks from Metaxades, Thrace, Greece, for the removal of caesium from aqueous solutions. *Fresenius Envir. Bull.*, 4, 227-231.

- MISAEILIDES P., GODELITSAS A., FILIPPIDIS A., CHARISTOS D. & ANOUSIS I. (1995b). Thorium and uranium uptake by natural zeolitic materials. *Sci. Total Environ.*, 173/174, 237-246.
- ΜΙΣΑΪΛΙΔΗΣ Π., ΓΚΟΝΤΕΛΙΤΣΑΣ Α. & ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α. (1994). Δέσμευση και σίου από ζεολιθοφόρο πέτρωμα της περιοχής Μεταξάδων (Ν. Έβρου, Θράκη). 15ο Πανελλ. Συν. Χημείας, Θεσσαλονίκη, Πρακτ., том. Α, 218-221.
- PE-PIPER G. & TSOLIS-KATAGAS P. (1991). K-rich mordenite from Late Miocene rhyolitic tuffs, Island of Samos, Greece. *Clays Clay Minerals*, 39(3), 239-247.
- POND W. G. & MUMPTON F. A. (1984). *Zeo-Agriculture*. I.C.Z.N., Brockport, New York, p. 305.
- SENGUPTA M. (1993). Environmental impacts of mining. *Lewis Publ.*, Boca Raton, p. 494.
- SIKALIDIS C.A. (1998). Heavy metals and toxic elements removal from contaminated waters by clay minerals and zeolite bearing rocks. 4th Int. Conf. Environ. Pollution-Toxic Metals, Thessaloniki, Proc., 102-110.
- SKARPELIS N., MARANTOS I. & CHRISTIDIS G. (1993). Zeolites in Oligocene volcanic rocks, Dadia-Lefkimi area, Thrace, Northern Greece: Mineralogy and cation exchange properties. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 28(2), 305-315.
- STAMATAKIS M.G. (1989a). A boron-bearing potassium feldspar in volcanic ash and tuffaceous rocks from Miocene lake deposits, Samos Island, Greece. *Amer. Mineral.*, 74, 230-235.
- STAMATAKIS M.G. (1989b). Authigenic silicates and silica polymorphs in the Miocene saline-alkaline deposits of the Karlovassi basin, Samos, Greece. *Econ. Geol.*, 84, 788-798.
- STAMATAKIS M.G., HALL A. & HEIN J.R. (1996a). The zeolite deposits of Greece. *Mineral. Deposita*, 31, 473-481.
- STAMATAKIS M.G., LUTAT U., REGUEIRO M. & CALVO J.P. (1996b). Milos-The mineral island. *Industrial Minerals*, 2, 57-61.
- SWAINE J. D. (1990). Trace elements in coal. *Butterworths*, London, p. 278.
- SYMEOPOULOS B., SOUZIONI M., MISAEILIDES P., GODELITSAS A. & BARBAYANNIS N. (1996). Neodymium sorption by clay minerals and zeoliferous rocks. *J. Radioanal. Nucl. Chem., Let.*, 212, 421-429.
- TSADILAS C.D., VOULGARAKIS N. & THEOPHILOU N. (1997). Zeolite influence on nitrogen uptake by wheat. 5th Int. Conf. Zeolite'97, Ischia, Italy, Ext. Abs, 301-303.
- TSERVENI-GOUSHI A.S., YANNAKOPOULOS A.L., KATSAOUNIS N.K., FILIPPIDIS A. & KASSOLI-FOURNARAKI A. (1997). Some interior egg characteristics as influenced by addition of Greek clinoptilolitic rock material in the hen diet. *Arch. Geflugelk.*, 61(6), 291-296.
- TSIRAMBIDES A., KASSOLI-FOURNARAKI A., FILIPPIDIS A. & SOLDATOS K.

- (1989). Preliminary results on clinoptilolite-containing volcanoclastic sediments from Metaxades, NE Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 23(2), 451-460.
- TSIRAMBIDES A., FILIPPIDIS A. & KASSOLI-FOURNARAKI A. (1993). Zeolitic alteration of Eocene volcanoclastic sediments at Metaxades, Thrace, Greece. *Appl. Clay Sci.*, 7, 509-526.
- ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ Α.Ε. (1991). Μελέτη των ζεολιθοφόρων ηφαιστειοκλαστικών ιζημάτων των Μεταξάδων Εβρου. *Ορυκτός Πλούτος*, 72, 41-48.
- TSITSISHVILI G.V., ANDRONIKASHVILI T.G., KIROV G.N. & FILIZOVA L.D. (1992). Natural zeolites. Ellis Horwood, New York, p. 295.
- TSOLIS-KATAGAS P. & KATAGAS C. (1989). Zeolites in pre-caldera pyroclastic rocks of the Santorini volcano, Aegean sea, Greece. *Clays Clay Minerals*, 37(6), 497-510.
- TSOLIS-KATAGAS P. & KATAGAS C. (1990). Zeolitic diagenesis of Oligocene pyroclastic rocks of the Metaxades area, Thrace, Greece. *Mineral. Mag.*, 54, 95-103.
- VLESSIDIS A. & EVMIRIDIS N. (1997). Removal and recovery of p-phenylenediamines from wastewater using natural clinoptilolite from Greece. 5th Int. Conf. Zeolite '97, Ischia, Italy, Ext. Abs, 321-323.
- YANNAKOPOULOS A.L., TSERVENI-GOUSHI A.S., KATSAOUNIS N.K., KASSOLI-FOURNARAKI A., FILIPPIDIS A. & TSOLAKIDOU A. (1995). The influence of Greek clinoptilolite-bearing rocks on the performance of laying hens, in the early stage of laying. *Int. Symp. SZM'95*, Ext. Abs, p. 120.
- YANNAKOPOULOS A., TSERVENI-GOUSHI A., KASSOLI-FOURNARAKI A., LUTAT U., MICHAILIDIS K., FILIPPIDIS A. & TSIRAMBIDES A. (1997). Some results in Swines performance after adding natural Greek zeolite in their diets. 5th Int. Conf. Zeolite'97, Ischia, Italy, Ext. Abs, 329-332.
- ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α.Λ., ΤΣΕΡΒΕΝΗ-ΓΟΥΣΗ Α.Σ., ΚΑΤΣΑΟΥΝΗΣ Ν.Κ., ΚΑΣΩΛΗ-ΦΟΥΡΝΑΡΑΚΗ Α. & ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ Α. (1996). Η επίδραση του Ελληνικού φυσικού ζεολίθου στις αποδόσεις των ορνίθων σε όλη τη διάρκεια της περιόδου ωοτοκίας τους. *Επιθ. Ζωοτεχν. Ειδ. Εκδ.* No. 17, 43-44.

<p style="text-align: center;">1ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ</p>	<p style="text-align: center;">ΚΟΖΑΝΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 516-526</p>
---	---	---

**Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΙΣΟΤΟΠΩΝ ΜΟΛΥΒΔΟΥ
ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΟΛΥΝΣΗΣ:
ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ, Δ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ**

Γ. Χαραλαμπίδης*, Å. Göran**

Περίληψη

Αναλύσεις της ισοτοπικής σύστασης του μολύβδου φίλτρων αέρα από την ευρύτερη περιοχή των λιγνιτορυχείων της λεκάνης της Κοζάνης, Δυτική Μακεδονία, δείχνουν μία διαφοροποίηση από τις αναλύσεις των ίδιων των λιγνιτών της περιοχής και μία εμφανή επίδραση του μολύβδου από τη βενζίνη παρά από την καύση του λιγνίτη στους Α.Η.Σ. Αναλύσεις μολύβδου από δείγματα σύγχρονων δοντιών της περιοχής των μεταλλείων Λαυρίου, νότιο-ανατολική Ελλάδα, παρουσιάζουν μία αποτύπωση προηγούμενης μεταλλευτικής δραστηριότητας, αλλά και εκπομπής από τη κυκλοφορία των αυτοκινήτων. Τα δόντια από το Λαύριο μπορούν να διαφοροποιηθούν των δοντιών από την Αθήνα, αφού τα τελευταία δείχνουν ότι έχουν υποστεί μία ισχυρότερη επιρροή από τον μόλυβδο της βενζίνης. Επίσης, από τις αναλύσεις των ισοτόπων μολύβδου εξάγεται το συμπέρασμα ότι το έδαφος στην Ελλάδα είναι μολυσμένο από τους αέριους ρύπους κατά την μεταλλευτική δραστηριότητα των θειούχων κοιτασμάτων και την μεταλλουργία από τους ελληνορωμαϊκούς χρόνους.

Abstract

Lead analyses of air filters collected in the Kozani lignite mining area, West Macedonia, point to an differentiation from the Pb analyses of lignite samples from the same area and to an impact from gasoline lead rather than Pb from the combustion of lignite for power generation. Contemporary teeth from the Lavrion sulphide mining area, south-east Greece, show the imprint of previous mining activities as well as traffic emissions. The Lavrion teeth can be distinguished from teeth from Athens which show a stronger impact of gasoline lead. Lead analyses also imply that the Greek soil is contaminated by air pollution from earlier sulphide mining and smelting since Hellenic and Roman time.

* Καθηγητής, Τμήμα Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Τ.Ε.Ι. Κοζάνης, 50 100 Κοΐλα Κοζάνης, Κοζάνη, Δ. Μακεδονία.

** Αναπλ. Καθηγητής, Department of Environmental Technology, Institute for Energy Technology, P.O. Box 40, N-2007 Kjeller, Norway.

Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων χιλιετιών η χρησιμοποίηση του μολύβδου και η μόλυνση η προερχόμενη από αυτόν αυξήθηκε δραματικά. Πριν 2.500 περίπου έτη είχαμε παραγωγή μολύβδου σαν υποπροϊόν της μεταλλουργίας αργύρου κατά τους ελληνορωμαϊκούς χρόνους (HONG et al. 1994). Αυτή η παραγωγή ακολουθήθηκε από εκτεταμένη εξόρυξη μολύβδου από τους Ρωμαίους περίπου 80.000 έως 100.000 τόνων ετησίως, πριν από περίπου 2.000 χρόνια (NRIAGU 1996). Η εξόρυξη και μεταλλουργία του μολύβδου συνέβαλε σημαντικά στη συνολική παραγωγή του προϊόντος αυτού μετά τη βιομηχανική επανάσταση, όταν η παραγωγή του μολύβδου αυξήθηκε από περίπου 100.000 τόνους ετησίως πριν 300 χρόνια σε 1.000.000 τόνους πριν μόλις 50 χρόνια, μετά τη μεγάλη ανάπτυξη που γνώρισε η κυκλοφορία των αυτοκινήτων. Το 1994 περίπου 4.000.000 τόνοι ήταν η παγκόσμια ετήσια παραγωγή (NRIAGU 1996).

Η μόλυνση από την εξόρυξη και χρήση του μολύβδου από τον άνθρωπο έλαβε μέρος δια μέσου της βιομηχανοποίησης, αστικοποίησης και ανάπτυξης των μηχανών εσωτερικής καύσης, αλλά επίσης και μέσω της άμεσης επαφής, κακής χρήσης διαφόρων αντικειμένων όπως αγωγοί νερού, επισμαλτώσεις μολύβδου, χρώματα, ιατρικά εργαλεία, φάρμακα κ.α. Ωστόσο, γνωρίζοντας στον εικοστό αιώνα την τοξικότητα του Pb, ακυρώθηκε η χρήση του σε πολλές εφαρμογές, εκτός από ένα πεδίο εφαρμογής όπου ο μολύβδος γνώρισε μεγάλη ζήτηση: σαν πρόσθετο στους κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η μολυβδομένη βενζίνη πρωτοεισιήχθηκε προς κατανάλωση τη δεκαετία του 1920, και η κατανάλωση αυτή έφθασε στο αποκορύφωμά της περί το 1970 όταν άρχισε η παραγωγή αμόλυβδης βενζίνης.

Η συγκέντρωση του μολύβδου στον ανθρώπινο σκελετό αυξάνεται κατά συνέπεια με τη παραγωγή και χρήση του μολύβδου αντίστοιχα, από τα χαμηλά προϊστορικά επίπεδα σε τιμές 10 έως 100 φορές μεγαλύτερες στη περίοδο μεταξύ των Μεσαιωνικών χρόνων και του 19^{ου} αιώνα (JAWOROWSKI 1990). Κατά τη διάρκεια ωστόσο, του 20^{ου} αιώνα οι συγκεντρώσεις του μολύβδου στον σκελετό μειώθηκαν κοντά στο επίπεδο των προϊστορικών χρόνων (JAWOROWSKI 1990), μία μείωση που βρίσκεται σε αντίθεση με την αύξηση της παραγωγής και διασποράς του μετάλλου αυτού, ιδιαίτερα στην ατμόσφαιρα. Η αιτία αυτού του αντιφατικού αποτελέσματος δεν είναι εξακριβωμένη, αλλά όπως προτάθηκε από τους JAWOROWSKI (1990) & GULSON et al. (1996) η εισαγωγή μολύβδου δια της εισπνοής είναι μικρότερης σημασίας σε σχέση με την εισαγωγή του μετάλλου αυτού δια της τροφικής αλυσίδας.

Λόγω της μεγάλης εκπομπής του μολύβδου, μεγάλες ποσότητες αυτού του στοιχείου συσσωρεύονται στα εδάφη και τα ιζήματα, και η δυσμενής επίδρασή του στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία αποτελεί μία υπαρκτή απειλή για τον άνθρωπο. Μία πολύ σημαντική προσέγγιση, όταν συζητάει κανείς τη μείωση της εκπομπής του μολύβδου σε μία περιοχή, είναι η προέλευση του μολύβδου που

εντοπίζεται σε συγκεκριμένους αποδέκτες και στις επί μέρους πηγές στις περιοχές εκπομπής. Για τον λόγο αυτό, είναι πολύ σημαντικό να αναπτυχθούν τέτοιες τεχνικές που να επιτρέπουν τον καταμερισμό των πηγών εκπομπής του μολύβδου και την βοήθεια στην ερμηνεία της προέλευσης του εντοπισμένου μολύβδου στην περιοχή ενδιαφέροντος. Η χρησιμοποίηση των ισοτόπων Pb είναι μία από τις πιο σημαντικές μεθόδους προσδιορισμού.

Οι μέχρι τώρα έρευνες ισοτόπων μολύβδου σε δόντια έχουν δείξει ότι αποτελούν σημαντικό εργαλείο για τον προσδιορισμό του τρόπου ζωής, τη διατροφή και τη κινητικότητα του αρχαίου αλλά και σύγχρονου ανθρώπου (CHOW & EARL 1972, NIELSEN et al. 1982, STURGES & BARRIE 1989, JAWOROWSKI 1990, GULSON & WILSON 1994, GULSON a, b, 1996, GULSON et al. 1996, GULSON et al. 1997, ABERG et al. 1998). Ο μόλυβδος δεν αποτελεί ένα φυσικό συστατικό του ανθρώπινου σώματος, συσσωρεύεται όμως με ευκολία στα κόκαλα και τα δόντια, υπό μορφή κρυστάλλων υδρόξυ-απατίτη, γεγονός που οφείλεται στη χαμηλή διαλυτότητα του φωσφορικού μολύβδου και στο ότι ο μόλυβδος ανήκει στην ομάδα του ασβεστίου, στροντίου και βαρίου. Η κύρια μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη είναι η ανάλυση ισοτόπων μολύβδου στα δόντια προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σαν ιχνηλάτης στη μόλυνση από τη μεταλλευτική δραστηριότητα στο Λαύριο. Ως συγκριτικά στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν τα ισότοπα δοντιού από την Αθήνα. Εκτός από τον Pb των δοντιών μελετήθηκε ο Pb από μολυβδομένα καύσιμα από την κυκλοφορία των αυτοκινήτων, που έχουν περιφερειακή εξάπλωση στην Ελλάδα, σκωρία από τα μεταλλεία του Λαυρίου, αλλά και λιγνίτη και φίλτρα αέρος από τα ορυχεία λιγνίτη στη λεκάνη της Πτολεμαΐδας-Κοζάνης.

Ισοτοπική σύσταση του μολύβδου

Στη φύση απαντώνται τέσσερα Pb-ισότοπα: ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb και ^{208}Pb . Ο λόγος μεταξύ των διαφόρων ισοτόπων του μολύβδου μεταβάλεται ανάλογα με τα διάφορα γεωλογικά συστήματα, γεγονός που οφείλεται στο σχηματισμό ^{206}Pb και ^{207}Pb από τη μεταστοιχείωση του ^{238}U και ^{235}U αντίστοιχα, ενώ το ^{208}Pb είναι ένα προϊόν της ραδιοενεργούς μεταστοιχείωσης του ^{232}Th . Το ^{204}Pb είναι το μόνο ισότοπο του μολύβδου του οποίου η περιεκτικότητα δεν αυξάνεται εξ αιτίας της ραδιοενεργούς μεταστοιχείωσης και έτσι η εξάπλωσή του στο φλοιό της γης δεν αλλάζει με τον χρόνο. Για να απλοποιηθεί η εργασία με τα ισότοπα δεν χρησιμοποιείται η περιεκτικότητα των ισοτόπων αυτών καθ'αυτών, αλλά ο λόγος μεταξύ αυτών. Ισοτοπικά δεδομένα Pb από την Ελλάδα, και ειδικότερα από την Δ. Μακεδονία, είναι πολύ σπάνια, αλλά και αυτά που υπάρχουν προέρχονται κύρια από αναλύσεις ICP-MS και παρουσιάζονται με τον λόγο $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$, όπως άλλωστε παρουσιάζονται και στην παρούσα εργασία.

Μέθοδοι ανάλυσης

Τα φίλτρα αέρος των δειγμάτων που μελετήθηκαν πλύθηκαν με 10% ml HNO_3 , αφού αναταράχθηκαν για 12 ώρες με τη χρησιμοποίηση ενός μηχανικού δονητή. Μετά ογκομετρήθηκαν 5 ml του διαλύματος. Το οργανικό υλικό των δειγμάτων του λιγνίτη απομακρύνθηκε σε μία χαμηλής θερμοκρασίας μηχανής αποτέφρωσης πλάσματος. Το εναπομένον υλικό στη συνέχεια έτυχε της επεξεργασίας με πυκνό HNO_3 . Μία ποσότητα από περίπου 50 mg από κάθε δείγμα δοντιού τοποθετήθηκε σε ένα κύπελλο με TPX (πολυμεθυλοπεντένιο) αφού πριν πλύθηκε σε ένα οξύ και στη συνέχεια διαλύθηκε σε 1 ml πυκνό HNO_3 (Fosse et al., 1996). Όλα τα διαλύματα των παραπάνω αποσυνθεμένων υλικών έτυχαν εξάτμιση έως την ξήρανση και τα υπολείμματα διαλύθηκαν σε 0.3 ml από 3M HNO_3 πριν την χρωματογραφική απομόνωση του Pb. Χρησιμοποιήθηκε μία μετατροπή της ιοντο-αποστακτικής χρωματογραφικής μεθόδου, που περιγράφεται από τους Horwitz et al. (1992). Το κλάσμα του Pb παγιδεύτηκε στη συνέχεια σε μία στήλη διευθετημένη με μία κορώνα ρητίνης αιθέρα. Τα περισσότερα από τα άλλα στοιχεία πλύθηκαν με ένα διάλυμα 3 M HNO_3 .

Ο μόλυβδος στη συνέχεια διαχωρίστηκε με αραιό διάλυμα ανθρακικού αμμωνίου. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με ένα φασματογράφο μάζας Finnigan MAT 261 χρησιμοποιώντας μονονήματα ρηνίου. Οι ισοτοπικοί λόγοι του μολύβδου διορθώθηκαν για την κλασμάτωση μάζας με επαναλαμβανόμενες αναλύσεις του NBS 981 standard το οποίο έδειξε μία απόκλιση του λόγου $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb} < \pm 0.1\%$.

Οι παραπάνω αναλύσεις έγιναν στο Τμήμα της Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας του Ινστιτούτου Ενεργειακής Τεχνολογίας, Όσλο, Νορβηγία.

Αποτελέσματα - Συζήτηση

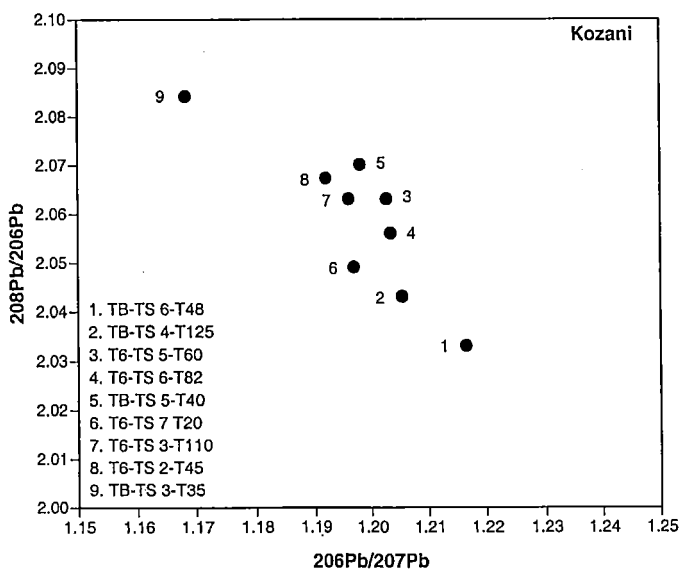
Εννέα δείγματα λιγνιτών, τέσσερα από το Βόρειο πεδίο και πέντε από τον Τομέα 6, των ορυχείων της λεκάνης Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, αναλύθηκαν ως προς την ισοτοπική σύσταση του μολύβδου. Η δειγματοληψία έγινε από διάφορους λιγνιτικούς οριζόντες του ίδιου σημείου και επομένως από διάφορα βάθη. Κάθε σειρά TS διαφέρει σε βάθος κατά 20 μέτρα σε σχέση με την αμέσως προηγούμενη ή επόμενη της Έτσι π.χ. η σειρά TS4 είναι βαθύτερη της σειράς TS3 του ίδιου σημείου δειγματοληψίας κατά 20 περίπου μέτρα κ.ο.κ. (Πίν. 1).

Προκαταρκτικά αποτελέσματα των λόγων $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ έναντι $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ των λιγνιτών από τη λεκάνη της Κοζάνης (Πίν. 1) πιθανολογούν μία διαφοροποίηση των δειγμάτων σε σχέση με το βάθος (Σχ. 1). Τα δείγματα από βαθύτερους οριζόντες [TB-TS6 (1), TB-TS4 (2), T6-TS6 (4), T6-TS7 (6)] παρουσιάζουν σχετικά υψηλότερες τιμές για τους λόγους $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ και χαμηλότερες για τους λόγους $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ από αυτά των αβαθών οριζόντων, [T6-TS3 (7), T6-TS2 (8), TB-TS3 (9)]. Τα δείγματα T6-TS5 (3) και TB-TS5 (5) αν και σχετικά βαθιά, εμπίπτουν στο χώρο μεταξύ των δύο παραπάνω ομάδων (Σχ. 1). Η παραπάνω διαφοροποίη-

Πίνακας 1. Οι τιμές των ισοτοπικών λόγων Pb εννέα λιγνιτικών δειγμάτων από τον Τομέα 6 και το Βόρειο πεδίο των ορυχείων της λεκάνης της Κοζάνης. Στον πίνακα καταγράφονται επίσης οι τιμές δύο φίλτρων αέρος από την περιοχή της Κοζάνης

Table 1. The values of the isotopic Pb rates of nine lignite samples from Sector 6 and Northern field of the mine area of Kozani basin. In this Table are also present the values of two air filters from the Kozani area

Δείγμα	Τύπος	206Pb/207Pb	208Pb/206Pb	206Pb/204Pb	207Pb/204Pb	208Pb/204Pb
TB-TS6-T48	Λιγνίτης	1,21650	2,033	19,077	15,681	38,776
TB-TS-T125	Λιγνίτης	1,20532	2,043	18,882	15,665	38,584
T6-TS5-T60	Λιγνίτης	1,20267	2,063	18,856	15,677	38,897
T6-TS6-T82	Λιγνίτης	1,20341	2,056	18,844	15,657	38,744
TB-TS5-40	Λιγνίτης	1,19809	2,070	18,732	15,634	38,771
T6-Ts7-T20	Λιγνίτης	1,19692	2,049	18,723	15,642	38,371
T6-TS3-T110	Λιγνίτης	1,19606	2,063	18,701	15,635	38,574
T6-TS2-T45	Λιγνίτης	1,19195	2,067	18,634	15,632	38,521
TB-TS3-T35	Λιγνίτης	1,16835	2,084	18,231	15,603	37,996
Φίλτρο αέρα 3		1,118		17,387	15,547	37,046
Φίλτρο αέρα 4		1,116		17,344	15,54	37,027



Σχήμα 1. Διάγραμμα $208\text{Pb}/206\text{Pb}$ ως προς $206\text{Pb}/207\text{Pb}$ με τα αποτελέσματα των αναλύσεων των λιγνιτών της λεκάνης της Κοζάνης.

Figure 1. $208\text{Pb}/206\text{Pb}$ vs $207\text{Pb}/207\text{Pb}$ diagram showing the results for the lignite samples of the Kozani basin.

Πίνακας 2. Μέσες τιμές των λόγων $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ λιγνιτών της λεκάνης της Κοζάνης, των φίλτρων αέρα από την περιοχή της Κοζάνης, των δοντιών από Αθήνα και Λαύριο και της σκωρίας του Λαυρίου συγκρινόμενες με τις μέσες τιμές διαφόρων τύπων βενζινών, προβιομηχανικών ιζημάτων, του κοιτάσματος του Λαυρίου και του Pb όπως αναφέρονται στη βιβλιογραφία (κοίτα κείμενο)

Table 2. Mean values of the rates $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ of lignite samples from Kozani basin, air filters from Kozani area, teeth from Athens and Lavrio and also Lavrio slag from the present study as compared with the mean values of several types of gasoline, pre-industrial sediments of Lavrio and background Pb from earlier studies (see text)

Δείγμα	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
Βενζίνη Pb, GR (1)	1,059
Βενζίνη, HU (2)	1,072
Βενζίνη Pb, EU (1)	1, 100
Βενζίνη, A (2)	1,111
Φίλτρο αέρα Κοζάνη (3)	1,117
Δόντι από Αθήνα (3)	1,144
Δόντια από Λαύριο (3)	1,171
Προβιομ. ιζήματα	1,197
Pb από τοπ. βιομ. (1)	1, 200
Λιγνίτης από Κοζάνη (3)	1, 198
Κοιτ. Λαυρίου (1)	1, 201
Σκωρία Λαυρίου (3)	1, 202
Pb υπόβαθρου (1)	1, 220

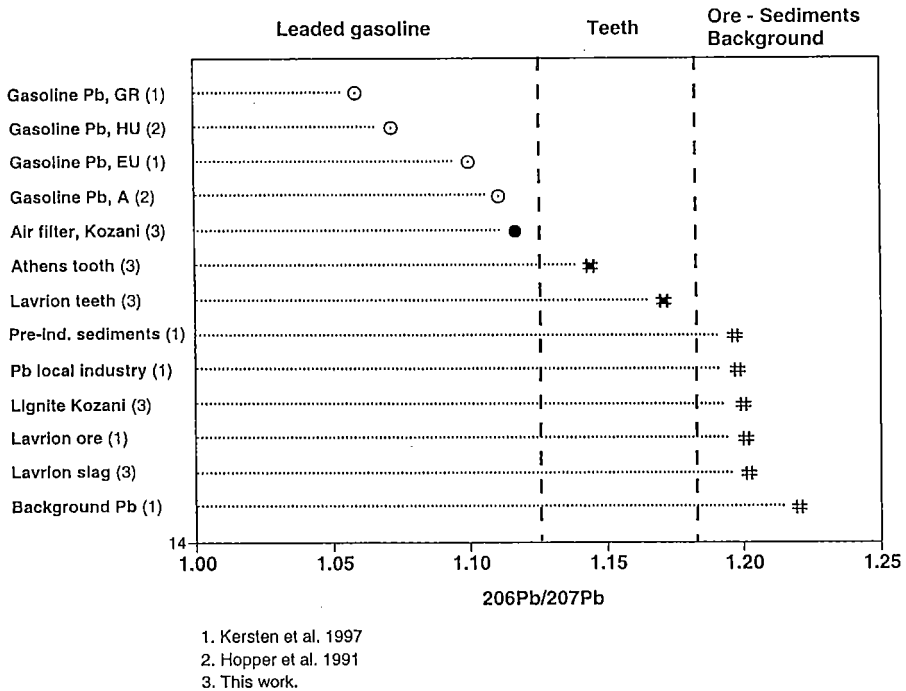
1) KENRSTEN et al. 1997

2) HOPPER et al. 1991

3) This work

ση των ισοτοπικών λόγων του Pb στα λιγνιτικά στρώματα πιθανότατα να οφείλεται στην επίδραση του Προτριάδικού κρυσταλλικού υποβάθρου, αποτελούμενου από ασβεστόλιθους και μάρμαρα, στους βαθύτερους λιγνιτικούς ορίζοντες, αφήνοντας ανεπηρέαστους τους αβαθής ορίζοντες. Η μεγάλη απόκλιση του αβαθούς δείγματος TB-TS3 (9) από τα υπόλοιπα αβαθή δείγματα πιθανότατα να οφείλεται σε τοπικούς γεωλογικούς παράγοντες οι οποίοι το αφήνουν σχεδόν ανεπηρέαστο από το κρυσταλλικό υπόβαθρο (Σχ. 1). Η μέση τιμή των λόγων $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ των παραπάνω λιγνιτικών δειγμάτων καθώς και οι τιμές δειγμάτων δοντιών από το Λαύριο, αλλά και από βιβλιογραφικές αναφορές δειγμάτων βενζίνης στην Ελλάδα και κοιτασμάτων-ιζημάτων στο Λαύριο παραθέτονται στον Πίν. 2.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας και των HOPPER et al. (1991) και KERSTEN et al. (1997) φαίνονται τρεις διαφορετικές ομάδες-τάσεις (Σχ. 2):
1) Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει την μολυβδομένη βενζίνη στην Ελλάδα και τις



Σχήμα 2. Διάγραμμα των λόγων $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ των αποτελεσμάτων των αναλύσεων για όλα τα δείγματα και η μέση τιμή των λιγνιτών. 1. KERSTEN et al. 1977, 2. HOPPER et al. 1991, 3. Η παρούσα εργασία.

Figure 2. A $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ratio diagram of analytical results for all the samples and the mean value for lignites. 1. KERSTEN et al. 1977, 2. HOPPER et al. 1991, 3. This work.

γύρω περιοχές και τα φίλτρα αέρος από την περιοχή της Κοζάνης, Δυτική Μακεδονία, 2) στη δεύτερη ομάδα – τάση αντιστοιχούν τα δόντια από το Λαύριο και την Αθήνα, Νοτιοανατολική Ελλάδα και 3) η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει το κοίτασμα και τη σκωρία από το Λαύριο, προ-βιομηχανικά ιζήματα, Pb από το υπόβαθρο του εδάφους (background Pb) και Pb από μία τοπική βιομηχανία, όλα από την περιοχή της Ελευσίνας, δυτικά των Αθηνών. Τα δείγματα του λιγνίτη από την περιοχή της Κοζάνης βρίσκονται επίσης στην τρίτη ομάδα.

Ο λόγος $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ στην ελληνική βενζίνη είναι σύμφωνα με τους Kersten et al. (1997) χαμηλός (1.06), και επομένως πρόκειται για Προκαμβρικής προέλευσης βενζίνη, προφανώς Αυστραλιανή (GULSON 1986). Ο λόγος αυτός είναι επίσης χαμηλός σε σχέση με την κοινή ευρωπαϊκή τιμή του $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ που είναι περίπου 1.10 (KERSTEN et al. 1997). Μία τέτοια χαμηλή τιμή του $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ όπως αυτή στην ελληνική βενζίνη είναι εύκολο να ανιχνευθεί στο περιβάλλον και ιδιαί-

τερα όταν οι τιμές του υποβάθρου είναι πολύ υψηλότερες. Αυτό είναι αληθές ιδιαίτερα για την βόρειοδυτική και νοτιοανατολική Ελλάδα όπου η κοινή τιμή του λόγου $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ είναι περίπου 1.20 σε σχέση με 1.06 της ελληνικής βενζίνης.

Για τον λόγο ότι ο Pb είναι δυνατό να μεταφερθεί με τις ατμοσφαιρικές κινήσεις σε μεγάλες αποστάσεις και επάνω από εκτεταμένες περιοχές (STURGES & BARRIE 1989) επιβαρύνεται επιπλέον ο χώρος από μόλυβδο ευρωπαϊκής βενζίνης με μία τιμή $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ περίπου 1.10 (KERSTEN et al. 1997). Αυτή η τελευταία αποτύπωση του Pb έχει την ίδια και λίγο μικρότερη δράση από ότι η ελληνική βενζίνη με αποτέλεσμα να οδεύει η συνολική αποτύπωση της βενζίνης προς τις χαμηλότερες τιμές. Αυτό που δεν γνωρίζουμε σήμερα είναι η συνεισφορά του Pb της βενζίνης από τις άλλες γειτονικές χώρες όπως Τουρκία, Γιουγκοσλαβία και Βουλγαρία. Οι Hopper et al. (1991) έδωσαν τις τιμές του λόγου $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ για την ουγγρική βενζίνη 1.07 και για την αυστριακή 1.11 (Πίν. 2) και όπως φαίνεται στο Σχ. 2 και οι δύο αυτοί τύποι εντοπίζονται στην ομάδα των μολυβδομένων βενζινών.

Οι λιγνίτες των ορυχείων Κοζάνης έχουν μία μέση αποτύπωση του λόγου $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ 1.20, ενώ η μέση τιμή δύο γειτονικών φίλτρων αέρος της περιοχής της Κοζάνης είναι 1.11 (Πίν. 2, Σχ. 2). Η σημερινή εκπομπή ρυπαντών στην περιοχή της Κοζάνης χαρακτηρίζεται έτσι περισσότερο από τον Pb της βενζίνης παρά από την συμμετοχή της καύσης του λιγνίτη στους Α.Η.Σ.

Συγκρίνοντας τις τη σύσταση των δύο δοντιών, από το Λαύριο και την Αθήνα, γίνεται φανερό ότι και οι δύο τύποι εμπίπτουν στην περιοχή μεταξύ της μολυβδομένης βενζίνης από τη μία, και της κοιτασματοφόρου λεκάνης του Λαυρίου, των ιζημάτων και των λιγνιτών της λεκάνης Πτολεμαΐδας-Κοζάνης από την άλλη (Σχ. 2). Μία διαφορά ωστόσο παρατηρείται μεταξύ των τιμών των ισοτοπικών αναλύσεων των δοντιών, όπου τα δόντια από το Λαύριο παρουσιάζουν μία υψηλότερη αποτύπωση του $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ με τιμή 1.17 δηλώνοντας έτσι μία ισχυρότερη συγγένεια με το κοίτασμα και το έδαφος του Λαυρίου (1.20), ενώ οι αναλύσεις του δοντιού από την Αθήνα (1.14) φανερώνουν μία μεγαλύτερη επίδραση από τον μόλυβδο της ελληνικής βενζίνης με χαμηλή αποτύπωση του $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ (1.06). Τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνονται ότι είναι λογικά εάν σκεφθεί κανείς ότι η κύρια πηγή τροφοδοσίας μολύβδου στην περιοχή των Αθηνών είναι η κυκλοφορία των αυτοκινήτων, πράγμα το οποίο φυσικά είναι μικρότερης σημασίας για την περιοχή του Λαυρίου.

Υπάρχει μία πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ των τιμών $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ από το κοίτασμα και τη σκωρία του Λαυρίου και από τα ιζήματα και τις βιομηχανικές εκπομπές από τη περιοχή της Ελευσίνας ακριβώς στα δυτικά των Αθηνών. Έκπληξη ίσως αποτελεί η μέση τιμή (1.20) των 8 δειγμάτων λιγνίτη από τα λιγνιτοορυχεία της περιοχής της Κοζάνης, περίπου 300 km βόρεια του Λαυρίου, που είναι παρόμοια με τους λόγους των δειγμάτων από το Λαύριο. Αυτό αποτελεί ίσως ένα δεδομένο που υποδηλώνει ένα παρόμοιο γεωλογικό περιβάλλον-πηγή προέλευσης μεταξύ

του εδάφους και κοιτάσματος του Λαυρίου και των λιγνιτικών αποθέσεων στην περιοχή της Κοζάνης, Δυτική Μακεδονία. Ένα άλλο ενδεχόμενο μπορεί να είναι μία περιφερειακή επιβάρυνση Pb από μία τοπική ή από μεγάλες αποστασεις μεταφερόμενη ατμοσφαιρική ρύπανση που ξεκίνησε κατά τη διάρκεια των ελληνορωμαϊκών χρόνων. Έρευνες από τους HONG et al. (1994) έφεραν στην επιφάνεια στοιχεία για τη δραστηριότητα της ελληνορωμαϊκής νομισματοκοπής αργυρών νομισμάτων σε δείγματα γεωτρήσεων πάγου στη Γροιλανδία.

Μία τροποποίηση των τιμών του Pb κατά την εξόρυξη στους αρχαίους χρόνους των κοιτασμάτων χαλκού στη περιοχή του Αιγαίου, έδειξε ότι η διασπορά των τιμών του $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ περιορίστηκε μεταξύ 1.19 και 1.21. (POLLARD & HERON 1996). Προφανώς η μεταλλευτική δραστηριότητα των θειούχων κοιτασμάτων για πολλούς αιώνες, συνοδευόμενη από την μετέπειτα καύση των λιγνιτών με όμοια αποτύπωση Pb, έχει πιθανότατα επικαλύψει την πρωταρχική αποτύπωση του Pb στο έδαφος των περισσότερων περιοχών της Ελλάδας.

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας φανερώνουν ότι το υλικό που εξετάστηκε είναι δυνατό να διακριθεί σε τρεις διαφορετικές ομάδες σε σχέση με τους λόγους $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$: 1) Μολυβδομένη βενζίνη και φίλτρα αέρος από τη περιοχή της Κοζάνης, 2) δόντια από το Λαύριο και την Αθήνα, 3) κοίτασμα Λαυρίου, μόλυβδος υποβάθρου εδάφους (background Pb) και λιγνίτης από τα δείγματα ορυχείου της περιοχής της Κοζάνης. Οι λιγνίτες της Κοζάνης παρουσιάζουν μία μέση $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$ αποτύπωση μεγέθους 1.20, ενώ δύο φίλτρα αέρος από την ίδια περιοχή έχουν την τιμή 1.11. Η σημερινή εκπομπή ρύπων στη Κοζάνη επηρεάζεται για τον λόγο αυτό χαρακτηριστικά από το μόλυβδο της βενζίνης των οχημάτων περισσότερο, παρά από τη συνεισφορά της καύσης του λιγνίτη στους Α.Η.Σ.

Οι τιμές Pb στα δόντια καταλαμβάνουν μία περιοχή μεταξύ 1.06 για την ελληνική βενζίνη και 1.20 για το κοίτασμα του Λαυρίου, το έδαφος και το λιγνίτη της Κοζάνης. Τα δόντια του Λαυρίου τα οποία αντιπροσωπεύουν μία περιοχή με χαμηλό ρυθμό κυκλοφορίας των οχημάτων, επιδεικνύουν μία τάση προς την τοπική αποτύπωση των ισοτοπικών λόγων Pb του κοιτάσματος Λαυρίου και του εκεί εδάφους, που σχετίζεται με την είσοδο του μολύβδου δια μέσου της τροφής, όπως τα περισσότερα λαχανικά και φρούτα που παράγονται και καταναλώνονται εκεί. Αντιθέτως θα έλεγε κανείς ότι το δόντι από την Αθήνα δείχνει μία μεγαλύτερη τάση προς τον Pb της βενζίνης, αναδεικνύοντάς τον σαν τον κυριότερο παράγοντα επιρροής στον μόλυβδο της Αθήνας, προφανώς από την κυκλοφορία των οχημάτων, γεγονός που ασφαλώς είναι μικρότερης σημασίας στο Λαύριο.

Ένας πολύ καλός συσχετισμός μεταξύ της αποτύπωσης Pb (1,20) για το κοίτασμα του Λαυρίου και τη σκωρία, τα ιζήματα και τις βιομηχανικές εκπομπές από τη περιοχή της Ελευσίνας, ακριβώς δυτικά των Αθηνών από τη μία και τα λιγνιτικά

στρώματα της λεκάνης της Κοζάνης από την άλλη, φανερώνει την ομοιότητα του γεωλογικού υποβάθρου ή ακόμη περισσότερο μία περιφερειακή μόλυνση Pb από τοπική αλλά και μεγάλων αποστάσεων μεταφορά αέριων ρύπων που ξεκίνησε ήδη κατά τους ελληνορωμαϊκούς χρόνους.

Η μελέτη των ισοτόπων μολύβδου είναι πολύ χρήσιμο εργαλείο στον χαρακτηρισμό διάφορων πηγών εκπομπής και στη δημιουργία υποδομής για τη μόλυνση με μολύβδο στο περιβάλλον. Η τεχνική των ισοτόπων του Pb μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον προσδιορισμό των διαδρομών της μεταφοράς της μόλυνσης από τη πηγή στον υποδοχέα, αλλά χρίζει στήριξης για την ανάπτυξη μεθόδου σε ότι αφορά τον διαχωρισμό μεταξύ διαφορετικών περιοχών εκπομπής.

Βιβλιογραφία

- ABERG G., FOSSE G. & STRAY H (1998). Man, nutrition and mobility; A comparison of teeth and bone from the Medieval era and the present from Pb and Sr isotopes. *The Science of the Total Environment* 224, 109-119.
- CHOW T.J. & EARL J.L. (1972). Lead isotopes in North American coals. *Science* 176, 510-511.
- FOSSE G., TVINNEREIM H. & KJOSNES M. (1996). About elements in whole primary teeth from different countries and a new method for calculation of comparable element values in single teeth with different enamel dentin weight ratios. In: Lag, J. (ed.) *Chemical data as a basis of geomedical investigations*. Norwegian Academy of Science Letters, Oslo (1996) 57-65.
- GULSON B.L. (1986). Lead isotopes in mineral exploration. In: *Developments in Economic Geology* 23. Amsterdam. Elsevier.
- GULSON B.L. (1996 a). Stable isotopes in human health. *Journal of the Royal Society of Western Australia* 79, 91-96.
- GULSON B.L. (1996 b). Tooth analyses of sources and intensity of lead exposure in children. *Environmental Health Perspectives* 104, 306-312.
- GULSON B.L. & WILSON D. (1994). History of lead exposure in children revealed from isotopic analyses of teeth. *Archives of Environmental Health* 49, 279-283.
- GULSON B.L., MIZON K.J., KORSCH M.J. & HOWARTH D. (1996). Importance of monitoring family members in establishing sources and pathways of lead in blood. *The Science of the Total Environment* 188, 173-182.
- GULSON B.L., JAMESON C.W. & GILLINGS B.R. (1997). Stable lead isotopes in teeth as indicators of past domicile - A potential new tool in forensic science? *Journal of Forensic Sciences* 42, 787-791.
- HONG S., CANDELONE J.-C., PATTERSON C.C. & BOUTRON C.F. (1994). Greenland ice evidence of hemispheric lead pollution two millenia ago by Greek and Roman civilizations. *Science* 265, 1841-1843.
- HOPPER J.F., ROSS H.B., STURGES W.T. & BARRIE L.A., (1991). Regional sour-

ce discrimination of atmospheric aerosols in Europe using the isotopic composition of lead. *Tellus* 43B, 45-60.

- HORWITZ E.P., CHIARIZIA R. & DIETZ M.L. (1992). A novel strontium-selective extraction chromatographic resin. *Solvent, Extraction & Ion Exchange*, 10, 313-336.
- JAWOROWSKI Z. (1990). A history of Heavy Metal contamination of human bones. In: N.D. Priest and F.L. Van De Vyver (eds): *Trace Metals and Fluoride in Bones and Teeth*. CRC Press, Boca Raton.
- KERSTEN M., GARBE-SCHÖNBERG C-D., THOMSEN S., ANAGNOSTOU C. & SIOULAS, A. (1997). Source apportionment of Pb pollution in the coastal waters of Elefsis Bay, Greece. *Environmental Science and Technology* 31, 1295-1301.
- NIELSEN O.V., GRANDJEAN P. & BENNIKE P. (1982). Chemical analyses of archeological bone-samples: Evidence for high lead exposure on the Faroe Islands. *Journal of Danish Archeology* 1, 145-148.
- NRIAGU J.O., (1996). A history of global metal pollution. *Science* 272, 223-224.
- POLLARD A.M. & HERON C. (1996). Lead isotopes and the Bronze Age Mediterranean. In: *Archaeological Chemistry*. The Royal Society of Chemistry, pp. 375.
- STURGES W.T. & BARRIE L.A. (1989). Stable lead isotope ratios in Arctic aerosols: Evidence for the origin of arctic air pollution. *Atmospheric Environment* 23, 2513-2519.

**ΚΑΤΑΛΗΚΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ
ΠΟΥ ΕΓΙΝΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΣΥΖΗΤΗΣΗΣ
ΣΤΡΟΓΓΥΛΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ ΜΕ ΘΕΜΑ:**

**«Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΟΡΥΚΤΟΥ ΠΛΟΥΤΟΥ
ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ:
ΠΑΡΟΝ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝ»**

Αγαπητοί Σύεδροι,

Κλείνοντας τις εργασίες του 1^{ου} Συνεδρίου της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, που είχε ως θέμα τον ορυκτό πλούτο και το περιβάλλον της Δυτικής Μακεδονίας και πριν από τη συζήτηση στρογγυλής τράπεζας που θα ακολουθήσει θα ήθελα να επισημάνω εκ μέρους της Οργανωτικής επιτροπής τα εξής:

Πιστεύουμε ότι το Συνέδριο είχε ιδιαίτερη επιτυχία τόσο από επιστημονικής όσο και από οργανωτικής πλευράς αν λάβουμε υπόψη ότι το παρακολούθησαν περισσότεροι από 170 σύεδροι και ανακοινώθηκαν 42 εργασίες με αντικείμενα όπως: κοιτασματολογία μεταλλευμάτων, γεωλογία – γεωχημεία λιγνιτών, εκμετάλλευση λιγνιτών και περιβάλλον, πετρολογία, γεωχημεία, βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα, εκμετάλλευση ιπτάμενης τέφρας. Οι δυο πρώτοι από τους στόχους του Συνεδρίου όπως τέθηκαν κατά την ενεργήτρια ομιλία επιτεύχθηκαν, ενώ η συζήτηση που θα ακολουθήσει πιστεύουμε ότι θα επισημάνει τη σημασία των ορυκτών πόρων στην ανάπτυξη της Δυτικής Μακεδονίας και γενικότερα της οικονομίας της χώρας μας και θα γνωστοποιήσει αποτελέσματα σχετικά με την ορθολογική εκμετάλλευση και τις προσπάθειες στην εξεύρεση τρόπων για την προστασία και αποκατάσταση του περιβάλλοντος.

Η Οργανωτική Επιτροπή θα ήθελε να ευχαριστήσει για μια ακόμη φορά όλους όσους βοήθησαν στη διοργάνωση και πραγματοποίηση του Συνεδρίου.

Στη συζήτηση στρογγυλής τράπεζας που θα ακολουθήσει θα θέλαμε οι σύεδροι να καταθέσουν τις απόψεις τους και να εισηγηθούν προτάσεις σχετιζόμενες με τα αντικείμενα του συνεδρίου στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας και ειδικότερα για:

την αξιοποίηση των λιγνιτικών αποθεμάτων, τα πλεονεκτήματα της βελτίωσης της ποιότητας του λιγνίτη, τις δυνατότητες χρήσης της ιπτάμενης τέφρας για την αξιοποίησή της σε νέες εφαρμογές σε βιομηχανική κλίμακα

την ορθολογική εκμετάλλευση των βιομηχανικών ορυκτών και πετρωμάτων όπως ο χουντίτης, ο ολιβίνης, οι γρανίτες, τα μάρμαρα και τα σείρα των τελευταίων

την εκμετάλλευση μεταλλευμάτων όπως οι χρωμίτες, τα σιδηρονικελιούχα και ο προσχλωματικός χρυσός και πλατινοειδή.

Εισήγηση – πρόταση του Επικ. Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. Α. Γεωργακόπουλου με θέμα:

**«Η ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ:
ΝΕΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ, ΔΙΕΥΡΥΝΣΗ ΤΟΥ ΡΟΛΟΥ ΤΗΣ Δ.Ε.Η.»**

Η απελευθέρωση και λειτουργία της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία κυρώθηκε με νόμο του κράτους προσαρμοσμένου στην οδηγία 96/92 της Ευρωπαϊκής Ένωσης, θέτει από το Φεβρουάριο του 2001 τη χώρα μας μπροστά σε μια νέα ενεργειακή πραγματικότητα.

Με την κατάργηση του μονοπωλίου της Δ.Ε.Η. και την εισαγωγή του ανταγωνισμού, ιδρύθηκε η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, ένας κρατικός μηχανισμός ο οποίος θα διασφαλίζει παραγωγούς και καταναλωτές έναντι των διακυμάνσεων των τιμών, θα αξιολογεί τις αιτήσεις και θα χορηγεί άδειες για νέες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, θα καθορίζει τους όρους για τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος από το δίκτυο υψηλής τάσης και γενικά θα επιβλέπει την εφαρμογή των σχετικών νόμων και την εξασφάλιση υγιούς ανταγωνισμού.

Η Δ.Ε.Η. λειτούργησε μέχρι τώρα ως μονοπώλιο, κάλυψε όμως για δεκαετίες τις ανάγκες της χώρας σε ηλεκτρικό ρεύμα, διατηρώντας την τιμή του βιομηχανικού ρεύματος στο χαμηλότερο επίπεδο από όλες σχεδόν τις Ευρωπαϊκές χώρες-μέλη της Διεθνούς Επιτροπής Ενέργειας (International Energy Agency-IEA), ενώ και η τιμή του οικιακού ρεύματος ήταν κοντά στο μέσο όρο των χωρών-μελών της ΙΕΑ. Σε μια μακρά περίοδο κατά την οποία η χώρα μας, λόγω της γεωγραφικής της θέσης, δεν είχε καμιά σύνδεση με τα δίκτυα ηλεκτροπαραγωγής των χωρών της Κεντρικής και Δυτικής Ευρώπης, η Δ.Ε.Η., έχοντας αξιόλογο έμψυχο και άημυχο δυναμικό, εκμεταλλεύτηκε τον άφθονο εγχώριο λιγνίτη, προσφέροντας εργασία σε χιλιάδες ανθρώπους σε απομακρυσμένες περιοχές και αποκτώντας εμπειρία τόσο σε μελέτες και εκμετάλλευση ενεργειακών πόρων όσο και σε μελέτες και εκτέλεση έργων αποκατάστασης του περιβάλλοντος. Με τη μετατροπή της σε πολυμετοχική Ανώνυμη Εταιρία θα πρέπει η Δ.Ε.Η. να αξιοποιήσει την απελευθέρωση με το να γίνει πιο ευέλικτη, αναπτύσσοντας θυγατρικές εταιρίες, προχωρώντας σε συνεργασίες, βελτιώνοντας τις παρεχόμενες προς τον καταναλωτή υπηρεσίες και κυρίως λειτουργώντας με ξεχωριστό λογιστικό σύστημα, τουλάχιστο για τα ορυχεία και την παραγωγή. Επιπρόσθετα θα πρέπει να διερευνηθεί και η δυνατότητα γεωγραφικής διαφοροποίησης των τιμολογίων, ανάλογα με το κόστος προμήθειας ηλεκτρικού ρεύματος σε κάθε περιοχή.

Από το Φεβρουάριο του 2001 η απελευθέρωση της ενέργειας θα αφορά περίπου το 28-32% της αγοράς, δηλαδή θα αφορά μόνο ένα μεγάλο αριθμό μεσαίων και μεγάλων βιομηχανικών καταναλωτών, ενώ η πλήρης απελευθέρωση για το υπόλοιπο των καταναλωτών υπολογίζεται να γίνει μετά το 2006. Στον αρκετό χρόνο που απομένει μέχρι την πλήρη απελευθέρωση της ενέργειας θα πρέπει να ενισχυθεί η ανταγωνιστικότητα της Ελληνικής παραγωγής με την εντατικοποίηση των γεωλογικών ερευνών για ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων λιγνίτη, την ολοκλήρωση των τεχνικο-οικονομικών μελετών των ήδη ανακαλυφθέντων κοιτασμάτων και την έναρξη της αξιοποίησης τους, με κύριο πάντοτε μέλημα την προστασία του περιβάλλοντος.

Θα πρέπει παράλληλα να ενισχυθεί η συνεργασία της Δ.Ε.Η. τόσο με εκείνα τα Ανώτατα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα που διαθέτουν εμπειρία και τεχνογνωσία σε θέματα ενέργειας και περιβάλλοντος, όσο και με την τοπική Αυτοδιοίκηση ώστε να αίρονται εύκολα προβλήματα κοινωνικά, περιβαλλοντικά ή οικονομικά που μπορεί να υπάρξουν από την έρευνα και εκμετάλλευση του λιγνίτη σε μια περιοχή.

Εισήγηση – πρόταση του Επικ. Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών Κ. Χριστάνη με θέμα:

«Η ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΛΙΓΝΙΤΙΚΩΝ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΛΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ»

Επιθυμώ να επισημάνω μόνο δυο σημεία:

Παρακολούθησα με προσοχή τις πολύ καλές εργασίες που παρουσιάστηκαν αυτό το διήμερο πάνω στους λιγνίτες και διαπίστωσα, ότι σε θέματα ορολογίας συχνά υπάρχει σύγχυση μεταξύ των διαφόρων ερευνητών. Χρησιμοποιούνται διαφορετικοί όροι για να περιγραφεί το ίδιο φαινόμενο ή αντικείμενο, όροι που πολλές φορές δεν εναρμονίζονται με τη διεθνώς ισχύουσα, αποδεκτή ορολογία. Ίσως λοιπόν στον συγκεκριμένο τομέα να πρέπει να αναληφθεί κάποια πρωτοβουλία από την Επιτροπή Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας για την καθιέρωση ενιαίας ορολογίας πάνω σε θέματα γαιανθράκων.

Όλες οι εργασίες που παρουσιάστηκαν (και φυσικά αντανακλούν τις ερευνητικές προσπάθειες των διαφόρων φορέων στη χώρα μας) αφορούσαν στις ενεργειακές χρήσεις του λιγνίτη. Δεν ακούστηκε τίποτε σχετικό με τις εξωηλεκτρικές εφαρμογές του, από τις οποίες προκύπτουν προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας, όπως ενεργός άνθρακας, οργανοχημικά λιπάσματα, εδαφοβελτιωτικά κ.ά. Πιστεύω ότι τα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα, το Ι.Γ.Μ.Ε. και άλλοι σχετικοί φορείς σε συνεργασία με το Κ.Τ.Ε.Σ.Κ. θα μπορούσαν να δραστηριοποιηθούν πάνω στο συ-

γκεκριμένο θέμα. Τα ληνιτικά αποθέματα της Δυτικής Μακεδονίας επαρκούν απόλυτα για μια σύνθετη αξιοποίηση.

Εισήγηση – πρόταση της Καθηγήτριας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. Α. Κασώλη-Φουρνάρáκη με θέμα:

«ΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ»

Η παραγωγή ιπτάμενης τέφρας από την καύση των ανθράκων για παραγωγή ενέργειας ανέρχεται παγκοσμίως σε δεκάδες εκατ. τόνους ετησίως. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ιπτάμενης τέφρας αποτίθεται σαν στερεό απόβλητο σε σωρούς ή χωματερές και δημιουργεί σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Έτσι, η ανάγκη αξιοποίησης αυτού του υλικού σε διάφορες χρήσεις και εφαρμογές, απετέλεσε και αποτελεί το αντικείμενο έρευνας πολλών επιστημόνων διεθνώς αλλά και στη χώρα μας.

Είναι γνωστό ότι ένα ποσοστό 40-60% της ιπτάμενης τέφρας, χρησιμοποιείται στην τσιμεντοβιομηχανία, ένα ποσοστό 25-40% στο σκυρόδεμα, και το υπόλοιπο 20-25% σε άλλες χρήσεις, γενικά όμως στις κατασκευές. Είναι γεγονός όμως, ότι στον τομέα των κατασκευών οι έρευνες έχουν προχωρήσει παρα πολύ και υπάρχουν σαφείς προδιαγραφές και τυποποίηση των προϊόντων, ανάλογα με το είδος της τέφρας που χρησιμοποιείται.

Η εξυγίανση βιολογικών και βιομηχανικών αποβλήτων καθώς και η δυνατότητα ανάκτησης μετάλλων με τη χρήση της ιπτάμενης τέφρας, είναι ένας άλλος τομέας εφαρμογών που ερευνάται.

Η βελτίωση καλλιεργούμενων εδαφών με τη χρήση ιπτάμενης τέφρας απετέλεσε επίσης αντικείμενο ερευνητικών προσπαθειών πολλών επιστημόνων. Λόγω του ότι η ιπτάμενη τέφρα περιέχει οξειδία αλκαλίων και κάποια στοιχεία ευνοϊκά για την ανάπτυξη των φυτών, χρησιμοποιείται σαν προσθετικό στο έδαφος για να ελαττώνει την οξύτητα και πυκνότητα του εδάφους, να ενισχύει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και να βελτιώνει την ικανότητα συγκράτησης του νερού. Εντούτοις, η προσπάθεια ανακύκλωσης της τέφρας χρησιμοποιώντας την σαν βελτιωτικό εδαφών δεν έχει πάντα ικανοποιητικά αποτελέσματα λόγω της χαμηλής ιοντοανταλλακτικής της ικανότητας και της συχνά εμφανιζόμενης περιεκτικότητας σε τοξικά ιχνοστοιχεία όπως As, B, Ba, Cd, Cr, Pb, Hg, Mo και Se σε υψηλές συγκεντρώσεις. Έτσι λοιπόν, παρόλο που έχουν γίνει διεθνώς μελέτες αξιοποίησης της ιπτάμενης τέφρας στα εδάφη και καλλιέργειες, είναι γεγονός ότι η σωστή διαχείριση και διάθεση αυτής σε αυτήν την εφαρμογή παραμένει ένα σοβαρό πρόβλημα.

Βέβαια, οι ιπτάμενες τέφρες παρουσιάζουν ορυκτολογικές και χημικές διαφο-

ροποιήσεις ανάλογα με το είδος και τη σύσταση του αρχικού άνθρακα. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η μελέτη και πλήρης γνώση της ορυκτολογίας, μορφολογίας, κοκκομετρίας και χημείας της κάθε ιπτάμενης τέφρας, προκειμένου να αξιολογηθούν οι δυνατότητες χρήσης της. Οι Ελληνικές ιπτάμενες τέφρες μπορούν γενικά να χαρακτηρισθούν θειοσβεστιτικές και πυριτιο-αργιλικές.

Μια από τις δυνατές εφαρμογές της ιπτάμενης τέφρας της Πτολεμαΐδας είναι η σύνθεση ζεολίθου, ενός βιομηχανικού προϊόντος με εκτεταμένες περιβαλλοντικές εφαρμογές. Η συστασιακή ομοιότητα της ιπτάμενης τέφρας με ορισμένα ηφαιστειακά υλικά, που είναι κατα κανόνα το μητρικό υλικό των φυσικών ζεολίθων, ήταν ο κύριος λόγος που πολλοί επιστήμονες διεθνώς, πειραματίζονται σε εργαστηριακή και βιομηχανική κλίμακα να συνθέσουν ζεόλιθο από την ιπτάμενη τέφρα. Όλες οι μεθοδολογίες που εφαρμόζονται με παραλλαγές βασίζονται στην κλασική υδροθερμική αλκαλική μετατροπή της ιπτάμενης τέφρας σε διαφόρων τύπων ζεολίθους, κάτω από διαφορετικές συγκεντρώσεις αλκαλικών διαλυμάτων, διαφορετικές θερμοκρασίες, πιέσεις και χρόνους αντίδρασης. Είναι λοιπόν δυνατόν, μεταβάλλοντας τις παραπάνω παραμέτρους καθώς και το είδος των διαλυμάτων να προκαλέσουμε το σχηματισμό πολλών διαφορετικών ειδών ζεολίθων και σε ποσοστό μέχρι 50%, με σημαντικές εφαρμογές στην δέσμευση κυρίως βαρέων μετάλλων και αμμωνίας, και στην τεχνολογία καθαρισμού υγρών αποβλήτων.

Οι ενδιαφέρουσες ιδιότητες των ζεολίθων οδήγησαν σε αυξημένες χρήσεις αυτών σε περιβαλλοντικές εφαρμογές. Οι φυσικοί ζεόλιθοι παρουσιάζουν υψηλή ιοντοανταλλακτική ικανότητα και χρησιμοποιούνται σε πολλές χώρες στην γεωργοκτηνοτροφία, διαχείριση υγρών αποβλήτων, χαρτοβιομηχανία, στη δέσμευση αερίων και στην βιομηχανία απορρυπαντικών. Από την άλλη πλευρά μεγάλες ποσότητες συνθετικών ζεολίθων παράγονται για χρήση σαν μοριακά κόσκινα, καταλύτες και απορρυπαντικά.

Οι πλέον σημαντικές παράμετροι της σύνθεσης ζεολίθων από την ιπτάμενη τέφρα, θα πρέπει να είναι το χαμηλό κόστος μετατροπής, η δυνατότητα μετατροπής σε ζεόλιθο σε ποσοστό ίσο ή μεγαλύτερο του 50% και ο έλεγχος δημιουργίας συγκεκριμένων ζεολιθικών φάσεων.

Η χημεία, ορυκτολογία και μορφολογία της ιπτάμενης τέφρας την καθιστούν ένα πολύ κατάλληλο υλικό όχι μόνο για σύνθεση ζεολίθων, αλλά επίσης μία πρώτη ύλη για κεραμικές εφαρμογές. Μια άλλη λοιπόν δυνατότητα χρήσης της παραγόμενης ιπτάμενης τέφρας της Πτολεμαΐδας, που θα μπορούσε να διερευνηθεί, είναι η βιομηχανία των κεραμικών.

Τόσο για τη χρήση της ιπτάμενης τέφρας στην σύνθεση ζεολίθων όσο και στη βιομηχανία κεραμικών, χρειάζεται πρώτα να γίνει ένας λεπτομερής φυσικοχημικός και ορυκτολογικός προσδιορισμός αυτής. Το είδος, η ποσότητα και ο βαθμός ευδιαλυτότητας των περιεχομένων στοιχείων (κυρίων και ιχνοστοιχείων) στην ιπτάμενη τέφρα, παίζουν καθοριστικό ρόλο για την καταλληλότητα ή μη στην σύν-

θεση ζεολίθων ή στην χρήση για κεραμικά. Ιδιαίτερα, για τη δυνατότητα χρήσης της στην βιομηχανία κεραμικών η θερμοκή συμπεριφορά της σε υψηλές θερμοκρασίες καθώς και ο έλεγχος των ορυκτών φάσεων που δημιουργούνται με την θερμοκή κατεργασία, έχουν ιδιαίτερη σημασία. Έχει επίσης παρατηρηθεί, ότι κεραμικά προϊόντα που περιέχουν ιπτάμενη τέφρα, παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά κεραμικά. Πρέπει όμως να τονισθεί, ότι δεν υπάρχουν “διεθνείς κανόνες” που να μας επιτρέπουν να προβλέπουμε χωρίς δοκιμές, αν μια ιπτάμενη τέφρα είναι κατάλληλη για πρώτη ύλη στα κεραμικά. Ανάλογα με τη σύσταση της τέφρας και την θερμοκή συμπεριφορά που παρουσιάζει, χρειάζεται να προστεθούν ειδικά συστατικά προκειμένου να επιτύχουμε μια standard ποιότητα του κεραμικού προϊόντος.

Είναι γεγονός ότι διεθνώς χρηματοδοτούνται έρευνες και γίνονται προσπάθειες αξιοποίησης του υλικού αυτού σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές. Φυσικά για το ποιές εφαρμογές είναι δυνατές, εξαρτάται απο το είδος της κάθε τέφρας, τη χημική και ορυκτολογική της σύσταση, όπως και την σύσταση του αρχικού άνθρακα από την καύση του οποίου προέρχεται.

Σημαντικές έρευνες αξιοποίησης των Ελληνικών ιπτάμενων τεφρών έχουν γίνει μέχρι στιγμής και απο το Ελληνικό επιστημονικό δυναμικό, όμως χρειάζεται παραπέρα προσπάθεια και μελέτη προκειμένου να δοκιμασθούν σε εργαστηριακή και βιομηχανική κλίμακα καινούργιες εφαρμογές. Αφού χωρίς ενέργεια δεν μπορούμε να ζήσουμε, και αφού το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας στην Ελλάδα καλύπτεται από την καύση των λιγνιτών ιδιαίτερα στην Πτολεμαίδα, θα πρέπει παράλληλα με τις προσπάθειες που γίνονται για την βελτιστοποίηση των συνθηκών καύσης του λιγνίτη, να ενταθούν και οι προσπάθειες αξιοποίησης του βασικότερου παραπροϊόντος καύσης αυτού με οικονομικά ωφέλη για τη χώρα μας.

**Εισήγηση – πρόταση του Καθηγητού του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.
Α. Τσιραμπίδη με θέμα:**

«ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ»

Κυρίες και κύριοι, αγαπητοί σύνεδροι,

Πέρα από τις πολύ ορθές προτάσεις και τοποθετήσεις που προηγήθηκαν καταθέτω και τις δικές μου που συμπληρωματικά θα βοηθήσουν τον κλάδο να αναπτυχθεί περισσότερο:

- Διαρκής προβολή του ελληνικού μαρμάρου, κυρίως στο εξωτερικό.
- Οριστικοποίηση ελληνικού νομοθετικού πλαισίου.
- Έλεγχος αποκατάστασης λατομικών χώρων.

- Ενίσχυση έρευνας σε ΑΕΙ, ΤΕΙ και ερευνητικά ινστιτούτα, για αξιοποίηση υποπροϊόντων.
- Υποχρεωτική σύνταξη γεωλογικής μελέτης.
- Απαγόρευση λειτουργίας λατομείων με πολύ χαμηλό συντελεστή αποληψιμότητας.
- Διεύρυνση και καθιέρωση ανά διετία αυτού του Συνεδρίου ως διεθνούς.

**Εισήγηση – πρόταση του Καθηγητού του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.
Κ. Μιχαηλίδη με θέμα:**

**«ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΣΙΔΗΡΟΝΙΚΕΛΙΟΥΧΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ
ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ»**

Η παρέμβασή μου αφορά το θέμα των σιδηρονικελιούχων σχηματισμών της Δ. Μακεδονίας. Η εικόνα που σχημάτισα από την παρουσίαση των πρώτων αποτελεσμάτων συναδέλφων από το ΙΓΜΕ είναι ότι σε ορισμένες θέσεις η έκταση των λατεριτικών στρωμάτων είναι σημαντική. Με δεδομένο ότι η εταιρεία ΓΜΜΑΕ ΛΑΡΚΟ έχει ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια την αξιοποίηση των λατεριτικών κοιτασμάτων στην Ιεροπηγή Καστοριάς, η αύξηση του αποθεματικού δυναμικού στη Δ. Μακεδονία θα δημιουργήσει ιδιαίτερα θετικές προοπτικές για μια αναπτυξιακή πορεία στο μεταλλευτικό αυτό τομέα.

Εκείνο που επιβάλλεται συνεπώς είναι να γίνουν γνωστά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των σιδηρονικελιούχων κοιτασμάτων και να υπολογιστούν τα συνολικά τους αποθέματα. Τα παραπάνω απαιτούν οπωσδήποτε την εκτέλεση ενός προγράμματος γεωτρητικής έρευνας και δειγματοληψίας, καθώς και μια λεπτομερή ορυκτολογική και γεωχημική έρευνα.

Η εκτέλεση των γεωτρήσεων θα μπορούσε να γίνει από το ΙΓΜΕ ή από ενδιαφερόμενη μεταλλευτική εταιρεία όπως η ΓΜΜΑΕ ΛΑΡΚΟ. Το δεύτερο μέρος που αφορά την ορυκτολογική και γεωχημική έρευνα μπορεί να γίνει επίσης με τους παραπάνω σε συνεργασία με τα Πανεπιστήμια, όπου υπάρχουν ορισμένοι αρκετά έμπειροι επιστήμονες σε θέματα λατεριτών, όπως για παράδειγμα ο συνάδελφος Ν. Σκαρπέλης που παρουσίασε και ένα γενετικό μοντέλλο για τους λατερίτες, αλλά και ο υποφαινόμενος που η διδακτορική μου διατριβή αναφέρεται στα λατεριτικά Fe-Ni- κοιτάσματα της περιοχής Έδεσσας.

Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω ερευνών θα είναι δυνατή η εκτίμηση των αποθεμάτων και η σύνταξη οικονομοτεχνικής μελέτης για την αξιοποίησή τους. Αυτό αν γίνει κατορθωτό πιστεύω ότι τα οικονομικά οφέλη που θα προκύψουν στη Δ. Μακεδονία θα είναι σημαντικά.

Εισήγηση – πρόταση του Καθηγητή και Προέδρου του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. Α. Φιλιππίδη με θέμα:

**«ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ»**

Ο Ορυκτός πλούτος της Δυτικής Μακεδονίας μπορεί να προσφέρει πολύ περισσότερα στην εθνική μας οικονομία.

Με οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια, η εκμετάλλευση των μεταλλευμάτων χρωμίτη είναι εφικτή, εφόσον γίνουν σοβαρές ερευνητικές προσπάθειες για αύξηση των βεβαιωμένων αποθεμάτων και βελτίωση απόδοσης των μονάδων εμπλουτισμού.

Στον τομέα των Βιομηχανικών Ορυκτών και Πετρωμάτων, οι δυνατότητες είναι πολύ μεγαλύτερες. Η Δυτική Μακεδονία διαθέτει πετρώματα διαφόρων τύπων (από γρανίτες έως ασβεστόλιθους) τα οποία δεν έχουν αξιοποιηθεί στον χώρο των διακοσμητικών πετρωμάτων. Η έρευνα για εντοπισμό των βέβαιων αποθεμάτων είναι βασική προϋπόθεση. Η έρευνα αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει μεταξύ άλλων, τη χρήση γεωφυσικών μεθόδων, πλήρη χαρακτηρισμό της ορυκτολογικής και χημικής σύστασης. Οι παράμετροι αυτοί θα οδηγήσουν σε αύξηση του συντελεστή αποληψιμότητας στον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, στην πιθανή εκμετάλλευση με πολυάριθμες βιομηχανικές και περιβαλλοντικές χρήσεις των στείρων υλικών και στην απόδοση μεγάλου οικονομικού οφέλους, παρέχοντας τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις για αποτελεσματικότερη προώθηση των προϊόντων και παραπροϊόντων της εξόρυξης και επεξεργασίας, αλλά και αποκατάσταση του χώρου λατόμευσης.

Η ανάπλαση λιγνιτωρυχείων με βάση την ορθολογική διαχείριση των υπερκείμενων και ενδιάμεσων σχηματισμών, των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, των στερεών και υγρών αποβλήτων, σε συνδυασμό με τις μεθόδους εξόρυξης και καύσης του λιγνίτη, καθώς και την χρήση Ελληνικών βιομηχανικών ορυκτών και πετρωμάτων, είναι εφικτή και μπορεί επιπλέον να αποδώσει εδάφη καλύτερα από τα προϋπάρχοντα, με καλύτερη γονιμότητα και παραγωγή περισσότερο υγιεινών προϊόντων διατροφής.

Εισήγηση – πρόταση του Καθηγητή Μ. Βαβελίδη, Δ/ντή του Τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. και προέδρου της οργανωτικής επιτροπής με θέμα:

**«ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ»**

Η Δυτική Μακεδονία και ιδιαίτερα η περιοχή του Ν. Κοζάνης είναι πλούσια σε ορυκτές πρώτες ύλες και σε μεταλλευτική δραστηριότητα.

Η δημιουργία ενός Ορυκτολογικού Μεταλλευτικού Μουσείου καθώς επίσης η ανάδειξη παλαιών χώρων εξόρυξης θα αποτελέσουν πόλο έλξης όχι μόνο για τους τουρίστες που θα επισκέπτονται την περιοχή, αλλά και για τα σχολεία και πανεπιστήμια της Ελλάδος και του εξωτερικού.

Εισήγηση – πρόταση του Αναπλ. Καθηγητού του Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών Μ. Σταματάκη με θέμα:

«ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΧΟΥΝΤΙΤΗ - ΥΔΡΟΜΑΓΝΗΣΙΤΗ»

Στην περιοχή που ορίζεται από τις πόλεις Κοζάνη Αιανή και Σέρβια συναντάται μια παραγένεση λευκών μαγνησιούχων ορυκτών όπως χουντίτης και υδρομαγνησίτης που κατά τόπους συνοδεύονται από μαγνησίτη ή και αραγονίτη. Πριν μερικές δεκαετίες, πραγματοποιήθηκε μικρής κλίμακας εξόρυξη στο νοτιοδυτικό άκρο της λεκάνης, στην περιοχή Στενά Πόρτας κοντά στο χωριό Προσήλιο για την απόληψη σφαιροειδών μαζών μαγνησίτη για την παρασκευή δίπτυρης μαγνησίας. Ο μαγνησίτης σχημάτιζε μπάλες διαμέτρου έως και 1 μέτρου που φιλοξενούνταν σε ένα εύθρυπτο λευκό υλικό πλούσιο σε ασβέστιο και μαγνήσιο. Το εύθρυπτο αυτό υλικό αργότερα προσδιορίστηκε ότι αποτελείται από κυμαινόμενα ποσοστά χουντίτη-υδρομαγνησίτη, αλλά και κοκκώδους μαγνησίτη. Στα τέλη της δεκαετίας του 70 εντοπίστηκαν αξιόλογες αποθέσεις χουντίτη-υδρομαγνησίτη-αραγονίτη-μαγνησίτη, σε κυμαινόμενες αναλογίες, σε όλη την έκταση της λεκάνης της Κοζάνης.

Εργαστηριακές μετρήσεις έδειξαν ότι από όλες τις παραγενέσεις η πλέον χρήσιμη για χρήσεις σαν υλικά πυροπροστασίας, υπέρλεπτα και λευκά πληρωτικά είναι αυτή του χουντίτη-υδρομαγνησίτη σε ποσοστό συμμετοχής ορυκτών περίπου 1/1. Η παραγένεση αυτή σχηματίζει εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα στην περιοχή του χωριού Νεράιδα, νοτιοανατολικά της Κοζάνης.

Το φυσικό αυτό μίγμα των μαγνησιούχων ορυκτών, λόγω των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του βρίσκει πολλαπλές και εξειδικευμένες εφαρμογές. Αξιοποι-

είναι κυρίως το υπέρλεπτο μέγεθος των κόκκων του που είναι μικρότερο από 1 μικό, η λευκότητα του που ξεπερνά το 95%, η επικαλυπτικότητα του λόγω της φυλλώδους δομής του χουντίτη, και τέλος η απώλεια διοξειδίου του άνθρακα και νερού κατά την θέρμανση/πύρωση σε θερμοκρασίες πάνω από 250 βαθμούς Κελσίου. Η κυριότερη χρήση του μίγματος σήμερα είναι σαν υλικό πυροπροστασίας. Το υλικό αυτό είναι ανταγωνιστικό αντίστοιχων προϊόντων που χρησιμοποιούνται διεθνώς για τις ίδιες εφαρμογές, λόγω της χημικής τους αδράνειας και του εύρους θερμοκρασιών ενεργοποίησής τους.

Τα κοιτάσματα χουντίτη-υδρομαγνησίτη της Κοζάνης είναι μοναδικά διεθνώς και ο σχηματισμός τους οφείλεται στην προσφορά μαγνησίτου σε μια λιμναία, κλειστή, αβαθή λεκάνη από τα περιβάλλοντα οφιολιθικά πετρώματα και του δολομίτες.

Μαγνησίτης ή/και υδρομαγνησίτης έχουν σχηματισθεί σε παρόμοιο περιβάλλον σε περιοχές της Τουρκίας, Σερβίας και Ισπανίας. Ο χουντίτης δεν σχηματίζει αξιόλογες συγκεντρώσεις διεθνώς, παρά μόνο στην Κοζάνη.

Η ανάπτυξη των παραπάνω μαγνησιούχων παραγενέσεων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υπάρχει η δυνατότητα εντοπισμού και άλλων αξιόλογων οικονομικά συγκεντρώσεων μαγνησιούχων ορυκτών, τόσο την λεκάνη της Κοζάνης, όσο και σε άλλες ιζηματογενείς λεκάνες της Ελλάδος που αναπτύσσονται σε οφιολιθική ή/και δολομιτική υπόβαθρο (π.χ. Βόρεια Ευβοία, Χαλκιδική, Κεντρική Ελλάδα).

Κλείνοντας, θα ήθελα να τονίσω τον σημαντικό ρόλο των δύο μεταλλευτικών εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην περιοχή Νεράιδας και δημιούργησαν αρκετές θέσεις εργασίας για την έρευνα, εξόρυξη και κατργασία των παραπάνω υλικών (επιστημονικό και τεχνικό προσωπικό) και οι οποίες εμμέσως κατέστησαν γνωστή διεθνώς την περιοχή Νεράιδας-Σερβίων Κοζάνης.

Εισήγηση – πρόταση του Δρ. Σ. Νταμπίτζια γεωλόγου του Ι.Γ.Μ.Ε. (Περιφερειακή Μονάδα Κεντρικής Μακεδονίας) με θέμα:

«ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΑΝΤΙΟΛΙΣΘΗΡΩΝ - ΟΛΙΒΙΝΗ»

ΑΝΤΙΟΛΙΣΘΗΡΑ: Στο χώρο της περιφέρειας Δ. Μακεδονίας έχουν εντοπισθεί από την περιφερειακή Μονάδα Δ. Μακεδονίας του ΙΓΜΕ (Ν. Βεράνης, Α. Ράσιου, Γ. Παλαιοκώστας) εξαιρετικής ποιότητας σκληρά αδρανή για χρήσεις αντιολισθηρών και σκύρων σιδ. γραμμών. Τα σκληρά αυτά αδρανή αφορούν, κυρίως, τα βασικά μέλη των οφιολιθικών συμπλεγμάτων του Βούρινου και της Πίνδου και ως εκ τούτου το αποθεματικό δυναμικό, είναι τεράστιο. Το ΙΓΜΕ ήδη έχει παραδώσει μια μελέτη λατομείου σκληρών αδρανών στον Ν. Γρεβενών που δημοπρατήθηκε το 1998 και εντός του Α' εξαμήνου του 2000 θα παραδώσει αντίστοιχη μελέτη για τον Ν. Κοζάνης. Τα γρανιτικά πετρώματα δεν φαίνεται να έχουν συ-

γκρίσιμα, με τα προαναφερθέντα, ποιοτικά χαρακτηριστικά.

ΟΛΙΒΙΝΗΣ: Τα πλεονεκτήματα των “ολιβινιτών” της Πίνδου και του Βούρι-νου έναντι του Νορβηγικού “ολιβινίτη” είναι το χαμηλό κόστος παραγωγής λόγω υπαίθριας εξόρυξης και κατά δεύτερο λόγο των ημερομισθίων. Απόσταση από τα κοντινότερα λιμάνια, υφιστάμενο οδικό δίκτυο και, κυρίως, η είσοδος στην εξωτερική αγορά (μία αγορά που σχεδόν μονοπωλείται από τους Νορβηγούς) είναι τα μειονεκτήματα.

Λόγω του μικρού σχετικά μεγέθους της Ελληνικής αγοράς για άμμους χυτηρίων και πυρίμαχες μάζες, η βιωσιμότητα μιάς επένδυσης στην περιοχή θα εξαρτηθεί από την δυνατότητα/ικανότητα του επενδυτή να διεισδύσει αφενός μεν στην εξωτερική αγορά (τουλάχιστον στη Ν. Ευρώπη και Βαλκάνια) και αφετέρου σ’ άλλα, γνωστά από την βιβλιογραφία, πεδία εφαρμογών με στόχο την αύξηση του μεγέθους της ελληνικής αγοράς (π.χ. αμμοβολές).

Εισήγηση – πρόταση του Δρ. Κ. Λασκαρίδη γεωλόγου του Ι.Γ.Μ.Ε. (Δνση Κοιτασματολογίας) με θέμα:

«ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΕΙΡΩΝ ΤΡΑΝΟΒΑΛΤΟΥ»

Πιθανή αξιοποίηση των στείρων θα οδηγούσε σε:

- A) Ορθολογιστική εκμετάλλευση του μαρμαροφόρου κοιτάσματος Τρανοβάλτου (παραγωγή ογκομαρμάρων – μαρμαρόσκονης – λεπτόκοκκων υλικών ειδών κοκκομετριών –ελαχιστοποίηση των στείρων υλικών).
- B) Προστασία της μεταβολής του τοπίου, λόγω της μη απόθεσης στείρων υλικών μεγάλων διαστάσεων και
- Γ) Αύξηση των εσόδων όλων των φορέων.

Το μεγάλο μειονέκτημα, το οποίο προς το παρόν καθιστά αδύνατη τη χρήση του για παραγωγή λεπτόκοκκων πληρωτικών, είναι η απόσταση, καθώς και η έλλειψη καλής οδικής ή σιδηροδρομικής σύνδεσης της ευρύτερης περιοχής Κοζάνης με τα κοντινότερα λιμάνια για θαλάσσια μεταφορά του υλικού. Αυτό το γεγονός, καθιστά ασύμφορη προς το παρόν τη μεταφορά του υλικού, από τις υπάρχουσες στην Ελλάδα βιομηχανίες παραγωγής λεπτόκοκκων ανθρακικών πληρωτικών. Μια δεύτερη λύση για τη χρήση των στείρων θα ήταν η εγκατάσταση μονάδας θραύσης-λειοτριβής στην περιοχή Τρανοβάλτου, λύση η οποία συναντάει επίσης εμπόδια, εξαιτίας του υψηλού κόστους της επένδυσης και της κακής οδικής και σιδηροδρομικής σύνδεσης της περιοχής.

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ

- Αγγελικάκης Η. 17
Αγιουτάντης Ζ. 365
Αποστολίας Α. 25
Aslanidis P. 35
- Βαβελίδης Μ. 46
Βασιλάτος Χ. 261
Βασιλειάδης Τ. 64
Βατάλης Γ. 439
Βρυγιώτης Δ. 17
- Γαλανάκης Δ. 73
Γαλετάκης Μ. 158
Γερούκη Φ. 64, 243, 427
Γεωργακόπουλος Α. 83, 124, 212
Γκοντελίτσας Α. 96
Γλαράκης Ι. 261
Γρηγόρης Π. 111
- Ελευθεριάδης Γ. 223
- Filippidis A. 485
- Göran A. 516
- Ηλιόπουλος Δ. 111
- Inglethorpe S.D. 413
Ιορδανίδης Α. 124
- Καβουρίδης Κ. 137, 158, 212
- Καντηράνης Ν. 96, 177, 184, 212, 452, 498
Kantiranis N. 485
Καραμάρκος Ν. 439
Καρκάνας Π. 413
Κασώλη-Φουρναράκη Α. 124, 177, 184, 212, 308, 498, 506
Kassoli-Fournaraki A. 485
Κελεσιδης Η. 73
Κολοβός Ν. 212
Κολοβός Χ. 196
Κορωναίος Α. 223, 243
Κουϊμπτζής Θ. 341
Κούκουζας Ν. 261
Kreuser T. 35
Κυρίτσης Ε. 111
Κώτης Θ. 273
- Λασκαρίδης Κ. 288
Λάσκος Κ. 212, 380
Λεοντίδης Μ. 319
Λιάκουρα Κ. 319
- Μαγκλάρας Κ. 25
Μαστρογιάννης Π. 73
Μισαηλίδης Π. 96
Μιχαηλίδης Κ. 299
Μιχαηλίδης Σ. 341
Μουχτάρης Θ. 308
Ναλμπάνη Δ. 319
Νταμπίτζιας Σ. 330

Οικονομίδης Σ. 341

Παπακωνσταντίνου Κ. 83

Παπανικολάου Κ. 273, 351

Πάτρα Α. 452

Παυλίδης Α. 452

Παυλίδου Ε. 96

Παλουδάκης Φ. 365

Πλούμης Π. 73

Ράσιου Α. 330

Σαχανίδης Χ. 380

Σκαρπέλης Ν. 398

Σκλαβούνος Σ. 341

Σολδάτος Τ. 243

Σταματάκης Μ. 413

Σταμούλης Κ. 212

Σωτηρόπουλος Δ. 212

Schlierkamp M. 35

Seidel E. 46, 223

Τζούλης Χ. 427

Τριανταφύλλου Α. 439, 452

Τρώντσιος Γ. 299

Τσιραμπίδης Α. 177, 184, 463

Τσούτσικα Π. 223

Τσώλας Η. 474

Φιλιππίδης Α. 96, 124, 177, 184, 212,
308, 452, 498, 506

Φιλιππίδης Σ. 498

Φρογουδάκης Ε. 25

Φώσκολος Α.Η. 427

Φωτιάδης Α. 111

Χαραλαμπίδης Γ. 439, 516

Χαριστός Β. 46

Χαριστός Δ. 308

Χρηστάρας Β. 177, 184

Χριστοφίδης Γ. 243