

ΠΡΟΔΡΟΜΗ ΑΝΘΡΑΚΟΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ ΑΧΛΑΔΑΣ Ν. ΦΛΩΡΙΝΗΣ*

ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ Π.Α.¹, ΒΛΑΧΟΥ Α.², ΑΜΠΑΤΖΗ Σ.Μ.¹, ΚΗΑΝΑΓΑ Ρ.³, RIEGEL W.³

ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε σε μία πρώτη φάση το λιγνιτικό κοιτάσμα Αχλάδας Ν. Φλωρίνης από ανθρακοπετρογραφικής σκοπιάς, με στόχο την ταξινόμηση του λιγνίτη σε λιθότυπους και την εξαγωγή πρώτων συμπερασμάτων για το παλαιοπεριβάλλον σχηματισμού. Κατά την υπόψη μελέτη, που είχε στόχο μία πρόδρομη ανθρακοπετρογραφική διερεύνηση του κοιτάσματος, ελήφθησαν 12 δείγματα λιγνίτη από δύο αντιπροσωπευτικές γεωτρήσεις. Με βάση τα αποτελέσματα της ανθρακοπετρογραφικής μελέτης και την ποσοτική αξιολόγηση αυτών διαμορφώθηκαν οι δείκτες συνθηκών υγρασίας (GI), βλάστησης (VI), στάθμης υδροφόρου ορίζοντα (GWI) και διατήρησης ιστών (TPI). Με το συσχετισμό δε των δεικτών αυτών και τη χρήση διαγραμμάτων, εξάγονται συμπεράσματα για το παλαιοπεριβάλλον και τις συνθήκες σχηματισμού.

ABSTRACT

The present paper is a first stage study of the Achlada lignite deposit (Florina Domain) from the coal petrography aspect, aiming at the lignite classification in lithotypes and the extraction of initial conclusions concerning the paleoenvironment of the lignite formation.

The Achlada deposit spreads at the NE end of the east borderlands of the Florina basin of a SW-NE axis, occupies an area of approximately 7,2 Km² and is a part of the broader tectonic trench of Monastirion-Florina-Ptolemais-Kozani-Servia, which is NW-SE directed and of Miocene age. Due to erosion processes, the lignite deposit with its host rocks is separated into two areas, the Northeastern, where greater thicknesses occur, and the Southwestern (KOTIS TH. et al., 1995).

The lignite deposit consists of alternations of mostly thin lignite layers (of approximate thickness up to 23 m) with sediments. The sediments of the lignitiferous suite are mainly sands; mostly fine grained and every now and then clayey, rarely medium grained and including psephit. Besides the lignite layers, layers of humic clays often occur with fragments of xylite and flora residues every now and then.

During the present study, which aimed at a forerunning coal petrographic examination of the deposit, 12 lignite samples have been taken from two representative boreholes.

This initial stage of the research shows that the primal macerals of the Achlada deposit basically belong to the huminite group and secondarily to the liptinite group, while the third corresponding category of the inertinite group almost vanishes.

From the first category greater percentages are occupied by the maceral densinite (≈31%) followed by atrinitite (≈25%), textouminite (≈22%) and eu-ulminite (≈3%), while the second corresponding category gives cutinite (≈8%), liptodetrinite (≈3%), sporinite (≈2,5%) and relatively low percentages of resinite and alginite.

The participation of inorganic components is mainly characterized by the relatively low presence of pyrite and clay.

According to the results of the coal petrographic study and their quantitative evaluation the following indexes have been calculated; gelification index (GI), vegetation index (VI), groundwater influence index (GWI) and tissue preservation index (TPI). With the correlation between these indexes and the use of diagrams, conclusions are derived concerning the paleoenvironment and the conditions of the lignite formation.

From the VI/GWI relationship conclusions are derived concerning the hydrologic status and the nutrient components supply and from the TPI/GI relationship the paleoenvironment in relation to the groundwater level. The evaluation of the data shows that the host environment of the maternal flora was telmatic with mainly mesotrophic and partly rheotrophic conditions (swamp), while for a time period -at least- just before the end of

* PRELIMINARY COAL PETROGRAPHIC STUDY OF THE ACHLADA LIGNITE DEPOSIT IN THE FLORINA DOMAIN

1. Ε.Μ.Π., Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Ζωγράφου - Αθήνα

2. Δ.Α.Ε., Δ.Ε.Η., Κηφισού και Δυρραχίου (Ροσινιά), 104 43, Αθήνα

3. Institute and Museum for Geology and Paleontology, Goldschmidtstr. 3, 37075 Goettingen, Germany

the mire, the environment has changed into a wet area with more intensely telmatic conditions.

The conditions of the peat formation were, of course, repeating -frequent alternations with sediments periodically- but always within the scope of a similar environment.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Νεογενές, Γαιάνθρακας, Λιγνίτης, Ανθρακοπετρογραφία, Παλαιοπεριβάλλον, Λιθότυποι, Μακροανάλυση, Μικροανάλυση

KEY WORDS: Neogene, Coal, Brown Coal, Lignite, Coal Petrography, Paleoenvironment, Lithotypes, Macroanalysis, Microanalysis

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΒΑΘΗ (m)
77 / 7	38,50 - 38,80
77 / 11	64,70 - 66,10
77 / 15	89,70 - 90,30
77 / 21	101,00 - 101,30
77 / 24	116,30 - 117,60
77 / 27	137,70 - 138,20
86 / 1	18,90 - 19,50
86 / 12	38,60 - 38,90
86 / 17	65,00 - 65,30
86 / 23	82,00 - 82,70
86 / 28	94,00 - 94,60
86 / 31	115,90 - 117,30

Πίνακας 1: Γεωτρήσεις από τις οποίες ελήφθησαν τα δείγματα για ανθρακοπετρογραφική ανάλυση και αντίστοιχα βάθη.

Table 1: Boreholes from which the samples for coal petrographic analysis have been taken and corresponding depths.

1. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η υποπεριοχή Αχλάδας-Μελίτης καλύπτει το Βορειοανατολικό τμήμα των Ανατολικών περιθωρίων της λεκάνης Φλώρινης. Γεωλογικά δεν αποτελεί ανεξάρτητη ενότητα, αλλά τμήμα της ευρύτερης γεωλογικής δομής της λεκάνης Φλώρινας και ειδικότερα των Ανατολικών περιθωρίων αυτής, όπως έχει στη σχετική εργασία των ΚΩΤΗ Θ., ΜΕΤΑΞΑ Α., ΠΛΟΥΜΙΔΗ Μ. και ΒΑΡΒΑΡΟΥΣΗ Γ. (1995) αναφερθεί. Οι συγγραφείς αυτοί μελέτησαν ιδιαίτερα το συγκεκριμένο γεωλογικό χώρο και διέκριναν τους σχηματισμούς που αναφέρονται κατωτέρω εξαιρετικά συνοπτικά (βλ. και σχήματα 1 & 2).

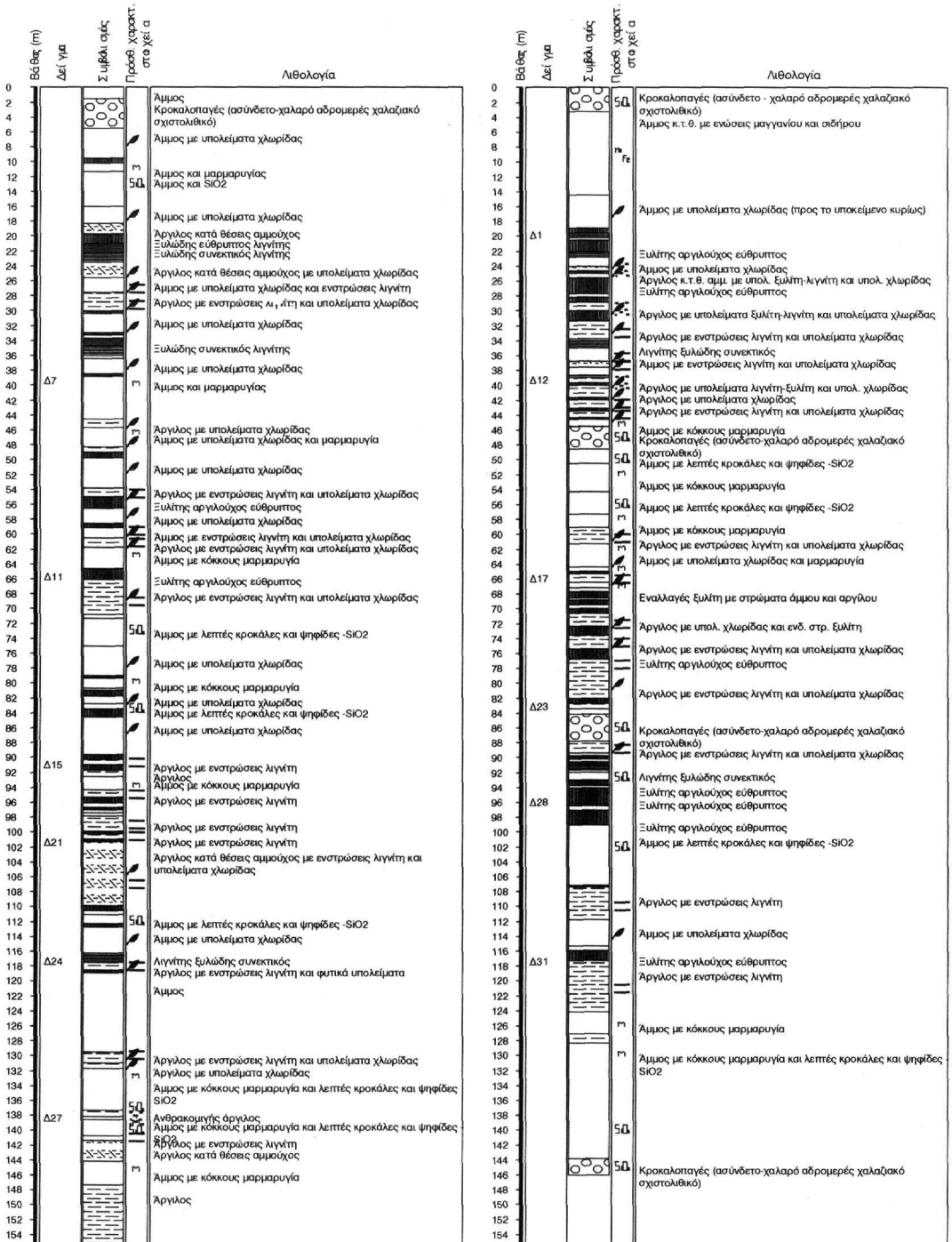
Το υπόβαθρο και τα περιθώρια της λεκάνης συνίστανται από τους Προτριτογενείς σχηματισμούς. Οι τεταρτογενείς αποθέσεις καλύπτουν ολόκληρη την έκταση της υποπεριοχής Αχλάδας-Μελίτης και συνίστανται από τις σύγχρονες προσχώσεις και αποθέσεις και τον ελουβιακό μανδύα. Τα νεογενή ιζήματα των Ανατολικών περιθωρίων της λεκάνης Φλώρινης διαχωρίστηκαν σε δύο διακριτούς ορίζοντες:

- ⇒ την ανώτερη Νεογενή σειρά και
- ⇒ την κατώτερη Νεογενή σειρά.

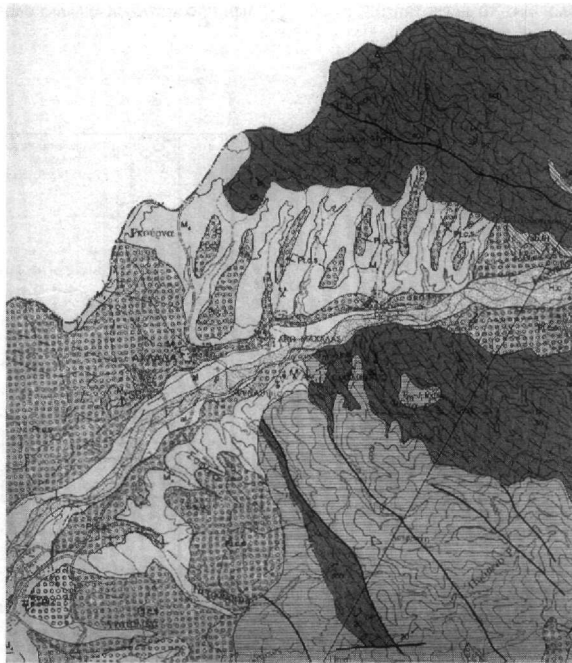
Στο χώρο της υποπεριοχής Αχλάδας-Μελίτης το Νεογενές αρχίζει από τα ιζήματα της κατώτερης σειράς, στα οποία φιλοξενείται η λιγνιτοφορία, κύρια ξυλιτικού τύπου. Η σειρά αυτή διαχωρίστηκε σε τρεις ενότητες στρωμάτων:

- i. Υπερκείμενα στρώματα,
- ii. Λιγνιτοφόρος στιβάδα και
- iii. Υποκείμενα στρώματα.

Η λιγνιτοφόρος στιβάδα απαρτίζεται από το σύνολο των λιγνιτικών στρωμάτων και τις ενδιάμεσες ενστρώσεις. Τα στείρα ιζήματα της στιβάδος συνίστανται κυρίως από λεπτόκοκκες, αργιλούχες άμμους, κατά θέσεις μεσόκοκκες και ψηφιδομογείς, με φυτικά λείψανα και ξυλιτικά τεμάχια. Οι λιγνιτικές ενστρώσεις, ποιήλου πάχους και αριθμού, απαρτίζονται από λιγνίτες κύρια ξυλιτικού τύπου. Κατά θέσεις συναντώνται ενστρώσεις σκληρών ψαμμιτών και στο κάτω μέρος της στιβάδας, ενστρώσεις χαλαζιακών και γνευσιακών κροκαλοπαγών και ψηφιδοπαγών.



Σχήμα 1: Τομές των κοιτασματολογικών γεωτρήσεων ΚΑΧ-77 και ΚΑΧ-86 του λιγνιτικού κοιτάσματος Αχλάδας Φλωρίνης (τα στοιχεία ελήφθησαν από το αρχείο της Δ.Ε.Η.).
 Figure 1: Lithologic columns of boreholes KAX-77 and KAX-86 of the Achlada Florina lignite deposit (data have been taken from the P.P.C. files).



Σχήμα 2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής κλίμακας 1:100.000 (ΜΑΤΑΡΑΓΚΑΣ Δ., Ι.Γ.Μ.Ε. 1981, Φύλλο Βεύη) [al: αλλουβιακές αποθέσεις, P, c, s: κορκαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμοι και κοκκινοχώματα, M4: ασβεστόλιθοι-μάργες, T_m-J, k, d: ημικρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες, sch: σχιστόλιθοι].

Figure 2: Geologic map of the area (MATARANGAS D., I.G.M.E. 1981, Vevi Sheet) [al: alluvial deposits, P, c, s: conglomerates, sandstones, sand and red clays, M4: limestones-marls, T_m-J, k, d: semicrystalline limestones, dolomitic limestones, dolomites, sch: schists] Scale: 1:100.000

2. ΜΑΚΡΟΑΝΘΡΑΚΟΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Η μακροσκοπική παρατήρηση ενός λιγνιτικού στρώματος κάνει άμεσα αντιληπτή την ύπαρξη ταινιών που εκφράζουν διαφορετικούς λιθότυπους με διαφορετική δομή, υφή, χρώμα, φυσικές και τεχνολογικές ιδιότητες. Οι διαφορές που παρατηρούνται στα χαρακτηριστικά των λιθοτύπων αντιστοιχούν είτε σε διαφορετικό τύπο γαιάνθρακα, είτε σε διαφορετικό βαθμό ενανθράκωσης.

Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε μακροανθρακοπετρογραφική περιγραφή δειγμάτων από τις γεωπρήσεις #77 και #86 του λιγνιτικού κοιτάσματος της Αχλάδας. Οι περιγραφές των δειγμάτων παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 2 που ακολουθεί.

3. ΜΙΚΡΟΑΝΘΡΑΚΟΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Στον πίνακα 3 δίνεται η κατ' όγκον ποσοστιαία κατανομή των οργανικών δομικών συστατικών στο οργανικό υλικό. Διαπιστώθηκε ότι γενικά είναι ιδιαίτερα πλούσιο σε Χουμινίτη (>69%), περιέχει Λευπινίτη σε ποσοστά έως 30%, ενώ ο Ινερινίτης είναι εξαιρετικά περιορισμένος (<1%).

Χουμινίτες

Η υποομάδα των Χουμοτελινιτών απαντάται πολύ συχνά με ποσοστά που κυμαίνονται από 7 έως 40%. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η συμμετοχή του Τεξινίτη είναι σχετικά περιορισμένη, αφού εμφανίζεται με ποσοστά που δεν υπερβαίνουν το 4%.

Η υποομάδα των Χουμοντετρινιτών εμφανίζεται συχνότερα απ' όλες με σημαντικά ποσοστά που κυμαίνονται από 35 έως 75% με τον Ντενζινίτη να είναι, στο πλείστον των δειγμάτων επικρατέστερος του Ατρινίτη.

Η επικράτηση του Ουλμινίτη ως προς τον Τεξινίτη και δευτερευόντως του Ντενζινίτη ως προς τον Ατρινίτη αποτελεί μία πρώτη ένδειξη αυξημένης ζελατινοποίησης. Επίσης η παρουσία ιδιαίτερα αυξημένων ποσοστών θραυματογενών οργανικών δομικών συστατικών στα δείγματα που αναλύθηκαν υποδηλώνει την ποώδη προέλευση των φυτικών υπολειμμάτων, καθώς και εντονότερες διαδικασίες αποδόμησης τους (ΚΑΛΑΪΤΖΙΔΗΣ, κ.ά., 2000).

Πίνακας 2: Μακροανθρακοπετρογραφική περιγραφή δειγμάτων από τις γεωτρήσεις #77 και #86. (Σημ. *: βλ. Παρατηρήσεις).

Table 2: Macropetrographic description of samples taken from boreholes #77 and #86.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ		77	77	77	77	77	86	86	86	86	86			
ΔΕΙΓΜΑΤΑ		7	11	15	21	24	27	1	12	17	23	28	31	
ΑΝΟΡΤΑΝΑ ΕΠΙΣΤΑΤΙΚΑ (ΟΡΥΚΤΑ)	ΑΡΤΙΣΙΑΣ	Διάσπαρτα	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		Εντράσεις												
		Πλέγμα												
		Παράσεις												
		Διάσπαρτα	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	ΧΑΛΑΤΑΚΗ ΔΙΑΣΠ.	Σε στήριξη						X						
		Σε απέναν. θρόμβος												
		Διάσπαρτα					P5*							
		Εντός φερ. ιστού					P5							
		Παράσεις					P5							
	ΣΤΑΘΟΠΕΡΙΣΤΗ	Διασπ. συγγρ.					P5							
		Διάσπαρτα	X		P5			X						
		Διάσπαρτα												
	ΓΥΩΣ													
	ΜΑΡΜΑΡΙΣΤΑΣ							X	X			X	X	
ΔΙΑΣΠ.								P7						
ΟΡΥΚΤΙΚΑ ΠΑΡΑΚΡΙΣΤΙΝΙΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΓΥΩΣ	Πλέγμα					X	P4	X					
		Παράσεις							P4	X	X		X	
	ΑΝΟΚΤΟΡΕΣΜΟΣ	Υπολείμματα φύλλων			X								P3	
		Κλάδοι											P3	X
		Σίτες					X						P3	
	ΙΣΤΟΣ	Διάσπαρτα	X			X	X						P3	X
		Εντός φερ. ιστού												
		Διάσπαρτα						X	X					
	ΦΟΥΣΙΤΗΣ	Μεμονωμένα	X	X										
		Εντράσεις	X	X	X			X	X					
		Ορίζοντες												
	ΣΥΛΙΤΗΣ	Φουσίτες				X				X				
		Μεμον. Βοχνά					X		X		X			
		Κορροί - Κλάδοι					X							
	Κορροί - Κλάδοι	Μεμον. Βοχνά	X	X										
Μεμον. Βοχνά		X	X											
Κορροί - Κλάδοι		X	X											
ΙΣΙΟΤΗΤΗ	ΣΥΜΜΕΤΡΙΟΤΗΤΑ	Δυσμεγής	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		Πόθρομο							X					
		Λεπτομεγής								X				
	ΟΡΥΣΜΑΤΙΣΜΟΣ	Δυσμεγής	X	X	X			X	X		X	X	X	
		Τυφάδες			X	X	X			X	X			
		Δεξιά	P6		P6	P6								
	ΣΥΓΧΡΩΜΑ ΟΡΥΣΜ.	Κοχλάδες												
		Τραχεία			X	X			X		X	X	X	
		Σχιτοβάδες	X	X	X	X	X	X	X					
		Ανολετοί												
		Ενδιάμεσο												
	ΕΠΙΣΤ.	Εποθρο	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		Γυάνθο. φερ. Μίτος	P1		P1	P1		P1	P2			P1	P1	
		"Ιστόφραγμα"	P1	X	P1	P1	X	P1	P2	X		P1	X	
	Ανθρακοειγής	Αργιλός						X						
Μάρμα														

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

- P1: Αργιλώδης γαϊάνθρακας.
- P2: Ανθρακομιγής αργίλος.
- P3: Δεπτά φυτικά όργανα.
- P4: Διάσπαρτα, όχι σε διακριτές περιοχές και λόγω του σκούρου χρώματος του δείγματος η διαπίστωση καθίσταται δυσχερής.
- P5: Συχνή διαπίστωση κρυστάλλων.
- P6: Σε πολύ λεπτή κλίμακα και σε συνδυασμό με τις ενστρώσεις φουσίτη.
- P7: Απολιθωματοφόροι οριζοντες.

Σημ: Ο όρος «ισιάνθρακας» πρωτοχρησιμοποιήθηκε στις Σημειώσεις του μαθήματος «Ενεργειακές Ορυκτές Πρώτες Ύλες» στο Ε.Μ.Π. ως αντίστοιχος του γερμανικού όρου "Gewebekohle" και προτείνεται διά της παρούσης εργασίας.

Από τα οργανικά δομικά συστατικά της υποομάδας των Χουμοκολλινιτών, επικρατέστερα είναι ο Φλομπαφινίτης, Κορποχουμινίτης και Ψευδοφλομπαφινίτης σε ποσοστά της τάξεως του 1,5%, ενώ ο Γελήνιτης σχεδόν εκλείπει.

Ινερτινίτες

Όπως προελέχθη, η ομάδα των Ινερτινιτών συμμετέχει σε ποσοστά μικρότερα του 1%.

Τα εξαιρετικά χαμηλά έως μηδενικά ποσοστά συμμετοχής των Ινερτινιτών υποδηλώνουν ότι το κρίσιμο σημείο της πτώσης της στάθμης του υδροφόρου οριζοντα κατά το οποίο έχουμε οξειδωτικές συνθήκες δεν ξεπεράσθηκε.

Λειπτινίτες

Από την ομάδα των λειπτινιτών ο Κουινίτης, ο Σπορινίτης και ο Λειπτοντετρινίτης είναι τα πιο συχνά εμφανιζόμενα οργανικά δομικά συστατικά, με τον Κουινίτη να συμμετέχει σε ποσοστό έως και 21%, τον Σπορινίτη έως και 11% περίπου και τον Λειπτοντετρινίτη με μέγιστο ποσοστό συμμετοχής ≈8% ενώ τα υπόλοιπα οργανικά δομικά συστατικά (Ο.Δ.Σ.) της ομάδας εμφανίζονται με μικρότερη συχνότητα.

Η συμμετοχή σε ανόργανα συστατικά χαρακτηρίζεται κύρια από την σχετικά χαμηλή παρουσία σιδηρο-

πυρίτη και αργίλου. Οι μετρήσεις των ορυκτών δεν ελήφθησαν ποσοστιαία υπόψη καθόσον αυτές δεν αντιστοιχούν στην πραγματική συμμετοχή των ανοργάνων υλικών στα δείγματα.

4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η προβολή των αποτελεσμάτων των παραπάνω μικροανθρακοπετρογραφικών αναλύσεων στο τριγωνικό διάγραμμα του MUKHOPADHYAY (1986, 1989) (σχήμα 3) οδηγεί σε μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα του παλαιοπεριβάλλοντος σχηματισμού του ληνίτη της Αχλάδας και επιβεβαιώνει τις παραπάνω παρατηρήσεις. Στο σχήμα 3 φαίνεται ότι όλα τα δείγματα περιορίζονται στο κάτω τμήμα του τριγωνικού διαγράμματος, γεγονός που υποδηλώνει συνθήκες υγρού περιβάλλοντος, στο οποίο δεν επικρατούσαν οξειδωτικές συνθήκες ικανές να οξειδώσουν την συσσωρευόμενη οργανική ύλη. Επιπλέον, τα δείγματα 86/1, 86/12, 86/23, 86/28, 77/11, 77/21 και 77/24 τα οποία κείνται πλησιέστερα προς την κορυφή F, υποδηλώνουν καλύτερες συνθήκες διατήρησης των ιστών. Αντίθετα, τα δείγματα 86/17 και 86/31 συγκλίνουν προς την κορυφή L, γεγονός που υποδηλώνει εντονότερη βακτηριδιακή αποδόμηση της οργανικής ύλης και επικράτηση έντονα ανοξικών συνθηκών. Τέλος, τα υπόλοιπα δείγματα (77/7, 77/15 και 77/27) παρουσιάζουν ενδιάμεση συμπεριφορά.

Ο δείκτης διατήρησης φυτικών ιστών (tissue preservation index, TPI) αποτελεί μέτρο του βαθμού χουμοποίησης του τυρφογενετικού υλικού και καθορίζεται ως ο λόγος των οργανικών δομικών συστατικών, τα οποία εμφανίζουν ιστό προς τα μη δομημένα οργανικά δομικά συστατικά. Υψηλές τιμές TPI δηλώνουν την παρουσία καλά διατηρημένου φυτικού υλικού και την επικράτηση δενδρώδους βλάστησης (DIESEL, 1992). Οι ΚΑΛΑΪΤΖΙΔΗΣ κ.ά. (2000) προτείνουν μία ελαφρά τροποποίηση του τύπου MARKIC and SACHSENHOFER (1997) που δίνει τον TPI, η οποία λαμβάνει επιπλέον υπόψη στον παρονομαστή την συγκέντρωση του Ινερτοντετρινίτη, ενός οργανικού δομικού συστατικού που δεν διαθέτει δομή. Ο δείκτης διατήρησης φυτικών ιστών δίνεται από την σχέση:

$$TPI = \frac{ΧΟΥΜΟΤΕΛΙΝΙΤΗΣ + ΚΟΡΠΟΧΟΥΜΙΝΙΤΗΣ + ΦΟΥΣΙΝΙΤΗΣ}{ΑΤΤΡΙΝΙΤΗΣ + ΝΤΕΝΖΙΝΙΤΗΣ + ΓΕΛΗΝΙΤΗΣ + ΙΝΕΡΤΟΝΤΕΤΡΙΝΙΤΗΣ}$$

Ο δείκτης ζελατινοποίησης (gelification index, GI) αποτελεί μέτρο των συνθηκών υγρασίας στον παλαιοτυρφώνα και προσδιορίζεται από τον λόγο των έντονα ζελατινοποιημένων οργανικών δομικών συστατικών προς τα μη ζελατινοποιημένα. Αυξημένη τιμή GI υποδηλώνει αυξημένη υγρασία, που αποτελεί ένδειξη αυξημένου ρυθμού βύθισης της λεκάνης ιζηματογένεσης. Αντίθετα, μείωση της τιμής του GI υποδηλώνει ξηρές συνθήκες στην επιφάνεια του τυρφώνα ή ακόμα και οξείδωση. Ο δείκτης ζελατινοποίησης δίνεται από την σχέση:

$$GI = \frac{ΟΥΑΜΙΝΙΤΗΣ + ΧΟΥΜΟΚΟΛΛΙΝΙΤΗΣ + ΝΤΕΝΖΙΝΙΤΗΣ}{ΤΕΣΤΙΝΙΤΗΣ + ΑΤΤΡΙΝΙΤΗΣ + ΙΝΕΡΤΙΝΙΤΗΣ}$$

F = Χουμοτελινίτης + Κορποχουμινίτης + Σπορινίτης + Κουτινίτης + Ρεζινίτης + Σουμπερινίτης

L = Χουμοντετρινίτης + Γεληνίτης + Λειποδετρινίτης + Αλγινίτης

Q = Ινερτινίτης

Από τους δύο αυτούς δείκτες μπορεί επίσης να εκτιμηθεί και ο ρυθμός τυρφογένεσης. Όταν το οργανικό φυτικό υλικό αποτίθεται με ταχείς ρυθμούς, η οξείδωση περιορίζεται, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα υψηλή τιμή του δείκτη GI και, στις περισσότερες περιπτώσεις, υψηλή τιμή του TPI (LAMBERSON et al., 1991).

Για καλύτερη κατανόηση και επαλήθευση των συμπερασμάτων που προκύπτουν από το τριγωνικό διάγραμμα του Mukhopadhyay (σχήμα 3), χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα TPI/GI του DIESEL (1992), το οποίο τροποποιήθηκε από τους KALKREUTH et al. (1991) και MARKIC and SACHSENHOFER (1997) για τους ληνίτες. Το διάγραμμα TPI/GI καθορίζει τα παλαιοπεριβάλλοντα τυρφογένεσης ανάλογα με την επίδραση του υδροφόρου οριζόντιου. Από το διάγραμμα αυτό (σχήμα 4) συνάγεται το συμπέρασμα ότι κατά την διάρκεια της τυρφογένεσης επικρατούσε τελαμιακό περιβάλλον.

Ο δείκτης υδροφορίας, όπως προτάθηκε για τους λιθάνθρακες Λιθανθρακοφόρου ηλικίας της λεκάνης Cumberland του Καναδά (CALDER et al., 1991), αποτελεί μέτρο των συνθηκών υγρασίας και δίνεται από τη σχέση:

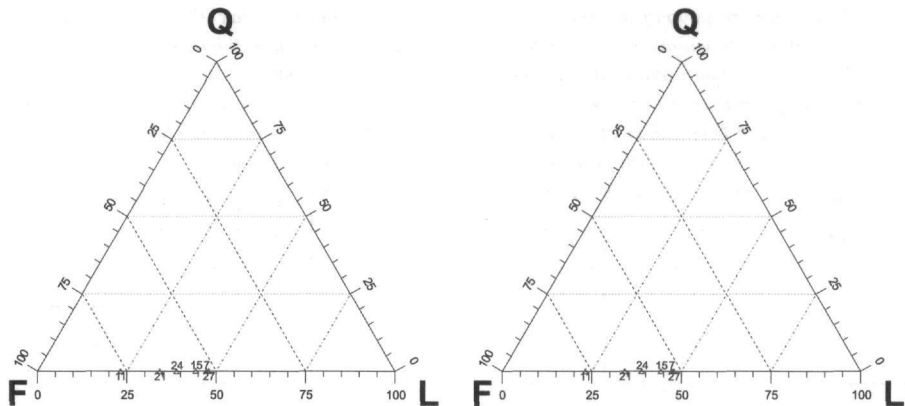
$$GWI = \frac{ΓΕΛΟΚΟΛΛΙΝΙΤΗΣ + ΚΟΡΠΟΚΟΛΛΙΝΙΤΗΣ + ΟΡΥΚΤΑ}{ΤΕΛΙΝΙΤΗΣ + ΤΕΛΟΚΟΛΛΙΝΙΤΗΣ + ΝΤΕΣΜΟΚΟΛΛΙΝΙΤΗΣ}$$

Πίνακας 3: Η ανθρακοπετρογραφική σύσταση του οργανικού υλικού (% κατ' όγκον) και οι τιμές VI, TPI, GI και GWI. Οι μετρήσεις των ορυκτών δεν ελήφθησαν ποσοστιαία υπόψη καθόσον αυτές δεν αντιστοιχούν στην πραγματική συμμετοχή των ανοργάνων υλικών στα δείγματα.

Table 3: Coal petrographic composition of the organic material (in vol.%) and the VI, TPI, GI and GWI values. Mineral counts have not been taken into account due to the fact that they don't correspond to the actual participation of inorganic substances in the samples.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	77	77	77	77	77	77	86	86	86	86	86	86
ΔΕΙΓΜΑ	7	11	15	21	24	27	1	12	17	23	28	31
Τεξιτινίτης	0,79	1,6	2,46	0	0	0,87	2,11	0,83	1,6	1,59	0	3,79
Τεξτοουμινίτης	28,34	16	24,59	30,77	18,52	35,65	20,42	11,67	32	12,7	5,98	30,3
Ευ-Ουμινίτης	9,45	0	5,74	0	11,11	4,35	0,7	0,83	1,6	0,79	0,85	2,27
Αιτρινίτης	22,83	40	22,13	26,49	22,22	20,87	24,65	33,33	8	29,37	27,35	29,55
Ντενζινίτης	29,92	34,4	28,69	35,9	37,04	24,35	29,58	40,83	27,2	42,06	34,19	10,61
Ποριγεληνίτης	0	0	0	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0
Δεβιγεληνίτης	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Κορποχουμινίτης	0,79	0,8	0,82	0	1,85	0	1,41	1,67	2,4	1,59	0,85	1,52
Χουμινίτης	92,12	92,8	84,43	94,01	90,74	86,09	78,87	89,16	72,8	88,1	69,22	78,04
Σπορινίτης	0,79	2,4	0,82	0	0,93	0	2,82	0	7,2	1,59	2,56	11,36
Κουτινίτης	7,09	1,6	9,02	3,42	6,48	5,22	8,45	5,83	15,2	5,55	21,37	9,09
Ρεζινίτης	0	0,8	0	0	0	1,74	1,41	3,33	1,6	0	0	0
Σουμπερινίτης	0	0	0,82	0	0	0	0,7	0	0	0	0	0,76
Αλγινίτης	0	2,4	1,64	1,71	0	0	0	0	0,8	0	0	0
Βιτουμινίτης	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Λειπτοντετρινίτης	0	0	3,28	0,85	1,85	6,96	7,75	1,67	2,4	4,76	5,98	0
Λειπινίτης	7,88	7,2	15,58	5,98	9,26	13,92	21,13	10,83	27,2	11,9	29,91	21,21
Φουσινίτης	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ημιφουσινίτης	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Μακρινίτης	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σκληροτινίτης	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,85	0
Ένεργοδετρινίτης	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,76
Ινερτινίτης	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,85	0,76
VI	0,64	0,23	0,51	0,45	0,43	0,74	0,35	0,2	0,61	0,18	0,07	0,6
TPI	0,75	0,25	0,66	0,49	0,53	0,9	0,45	0,2	1,07	0,23	0,12	0,93
GI	2,9	1,23	2,43	2,55	3,08	2,96	1,94	1,61	6,58	1,85	1,53	1,31
GWI	0,66	0,76	0,57	0,67	0,85	0,66	0,89	0,99	0,73	1,1	1,17	0,44

Ο Ντεσμοκολλινίτης σχηματίζεται από τη ζελατινοποίηση των οργανικών δομικών συστατικών της ομάδας του Χουμοντετρινίτη και εμφανίζεται σε γαιάνθρακες υψηλού βαθμού ενανθράκωσης. Για το στάδιο, όμως, του μαλακού λιγνίτη η ομαδοποίηση των Αιτρινίτη και Ντενζινίτη ως δεικτών συνθηκών μειωμένης υγρασίας κρίνεται προβληματική. Και αυτό γιατί ο Αιτρινίτης σχηματίζεται σε συνθήκες περισσότερο ξηρές από τον Ντενζινίτη (VON DER BRELIE and WOLF, 1981). Ο τροποποιημένος δείκτης υδροφορίας (groundwater influence index, GWI) για την περίπτωση των λιγνιτών κατά ΚΑΛΑΪΤΖΙΔΗ κ.ά., 2000 δίδεται από την οχέση:



Σχήμα 3: Οι συνθήκες τυρφογένεσης του λιγνιτικού κοιτάσματος Αχλάδας Φλωρίνης σύμφωνα με το διάγραμμα Mukhopadhyay (1986). Γεώτρηση KAX-77 αριστερά και γεώτρηση KAX-86 δεξιά.

Figure 3: Ternary diagrams illustrating peat-forming conditions of the Achlada Florina lignite deposit, after Mukhopadhyay (1986). Borehole KAX-77 (left) and borehole KAX-86 (right).

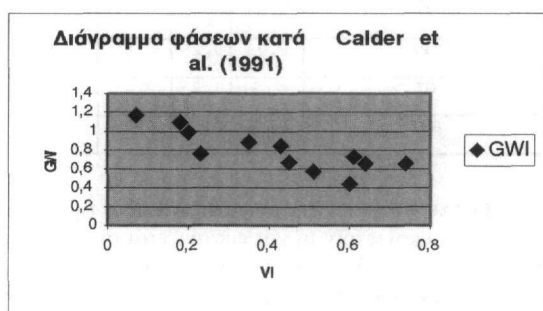
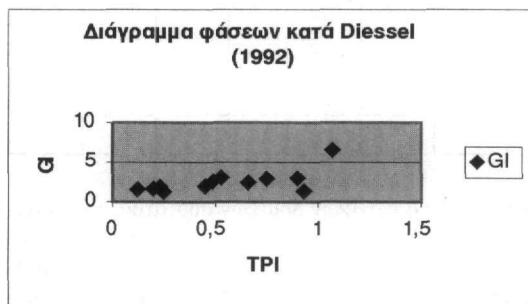
$$\text{GWI} = \frac{\text{ΚΟΥΜΟΚΟΛΛΙΝΙΤΗΣ} + \text{ΝΤΕΝΖΙΝΙΤΗΣ} + \text{ΟΡΥΚΤΑ}}{\text{ΚΟΥΜΟΤΕΛΙΝΙΤΗΣ} + \text{ΑΤΤΡΙΝΙΤΗΣ}}$$

Ο προβληματισμός αυτός σχετικά με την τροποποίηση του δείκτη υδροφορίας, προκειμένου αυτός να καταστεί εφαρμόσιμος στους λιγνίτες, απασχόλησε και τους συγγραφείς της παρούσης και οι οποίοι κατέληξαν στα ίδια συμπεράσματα.

Για τον καθορισμό των συνθηκών τυρφογένεσης χρησιμοποιήθηκε και το διάγραμμα VI/GWI (CALDER et al., 1991), βλ. σχήμα 4, με βάση το οποίο ταξινομούνται τα παλαιοπεριβάλλοντα τυρφογένεσης ανάλογα με το υδρολογικό καθεστώς που επικρατούσε στον παλαιοτυρφώνα και ειδικότερα με την τροφοδοσία σε θρεπτικά συστατικά (ΚΑΛΑΪΤΖΙΔΗΣ, κ.ά., 2000). Με την βοήθεια του διαγράμματος αυτού, οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι οι συνθήκες τυρφογένεσης του λιγνιτικού κοιτάσματος της Αχλάδας ήταν κυρίως μεσοτροφικές και εν μέρει ρεοτροφικές.

Ο δείκτης βλάστησης (vegetation index, VI) εξαρτάται από το είδος των τυρφογενετικών φυτών στον παλαιοτυρφώνα. Ανάλογα με το είδος της βλάστησης (πόες, δένδρα), προκύπτουν κατά την πορεία της ενανθράκωσης οργανικά δομικά συστατικά που υποδηλώνουν πωύδη ή δενδρώδη προέλευση. Ο λόγος των συγκεκριμένων των οργανικών δομικών συστατικών που υποδηλώνουν δενδρώδη προέλευση (χουμοτελινίτης, φουσινίτης, ημιφουσινίτης, σουμπερινίτης και ρεζινίτης) προς εκείνα που υποδηλώνουν πωύδη προέλευση (χουμοτετρινίτης, ινερτοντετρινίτης και λοιποί λευτινίτης) δίνει τον δείκτη βλάστησης.

Στον πίνακα 3 φαίνεται πως τα αντιπροσωπευτικά δείγματα που αναλύθηκαν παρουσιάζουν εξαιρετικά



Σχήμα 4: Διαγράμματα φάσεων κατά Diessel (1992) και Calder et al. (1991).

Figure 4: Coal-facies diagrams after Diessel (1992) and Calder et al. (1991).

χαμηλές τιμές του δείκτη βλάστησης ($VI < 3$). Αυτό θα μπορούσε να ερμηνευτεί ως ένδειξη ύπαρξης, οριακά και κατά θέσεις, θαμνώδους - ποώδους βλάστησης στο παλαιοπεριβάλλον σχηματισμού του λιγνίτη του κοιτάσματος της Αχλάδας. Τέτοιου είδους βλάστηση δίνει οργανικά δομικά συστατικά τα οποία είναι ευάλωτα σε συνθήκες αποδόμησής τους (αλλοίωσης), πράγμα που σημαίνει ότι σε περιόδους μειωμένης στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα η μηχανική εξαλλοίωση, η οποία πραγματοποιείται καταστρέφει τους φυτικούς ιστούς σχετικά εύκολα. Η τελευταία αυτή παρατήρηση, αιτιολογεί και τις παρατηρούμενες μειωμένες τιμές του δείκτη διατήρησης φυτικών ιστών (TPI) (βλ. πίνακα 3).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι ανθρακοπετρογραφικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο στάδιο αυτό της μελέτης του λιγνιτικού κοιτάσματος Αχλάδας Φλωρίνης έδειξαν ότι κατά την διάρκεια της τυρφογένεσης επικρατούσε, κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα τουλάχιστον, τελματικό περιβάλλον υπό μεσοτροφικές (κυρίως) έως ρεοτροφικές συνθήκες.

Κατά το μεγαλύτερο διάστημα της τυρφογένεσης κυριαρχούν οι αμιγώς μεσοτροφικές συνθήκες, με τιμές GWI μικρότερες της μονάδας, ενώ μία τάση προς ρεοτροφικές συνθήκες παρατηρήθηκε σε τοπική κλίμακα (περιοχή γεώτρησης KAX-86), όπου βάσει ιζηματολογικών στοιχείων φαίνεται πως η τυρφογένεση εξελίχθηκε σε δύο φάσεις, μεταξύ των οποίων μεσολάβησε ένα μεταβατικό στάδιο ρεοτροφικών συνθηκών. Υπέρ αυτής της άποψης συνηγορούν και οι σχετικά υψηλοί δείκτες GWI (> 1) των δειγμάτων 23 και 28 της γεώτρησης KAX-86, τα οποία αντιστοιχούν σε ορίζοντες της μεταβατικής αυτής περιόδου (βλ. πίνακα 3 και προφίλ σχήματος 1).

Η έρευνα συνεχίζεται με αναλύσεις δειγμάτων από 4 πρόσθετες γεωτρήσεις λόγω του ενδιαφέροντος που παρουσιάζει ο λιγνίτης της υπόψη περιοχής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- American Society for Testing and Materials (ASTM) (1990): Method D 2797 - Standard Method of Preparing Coal Samples for Microscopical Analysis by Reflected Light. Annual Book of ASTM Standards. Part 26. Gaseous Fuels, Coals and Coke, 270 - 273, Philadelphia.
- ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ, Π. (1996): Κοιτασματολογία Ορυκτών Καυσίμων, Τομ. Ι, Στερεές Καύσιμες Ύλες, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- ANTONIADIS, P.A., RIEBER, E. (1995): Zu Fossilinhalt, Sedimentologie und Stratigraphie der Kohle der Lagerstätte Apophyse - Ag. Anargyri in NW - Griechenland, 3 Abb., 2 Tab., 2 Taf., S.23. *Mitt. Bayer. Staatsslg.*, Palaeont. Hist. Geol., 35, Muenchen.
- BOTIS, A., BOUZINOS, A. and CHRISTANIS, K. (1993): The geology and paleontology of the Kalodiki peatland, western Greece. *Int. Peat Journal*, 5: 25 - 34.
- ΒΛΑΧΟΥ, Α. (1999): Γεωλογική-Κοιτασματολογική μελέτη με έμφαση στην ανθρακοπετρογραφία λιγνιτικού κοιτάσματος Αχλάδας λεκάνης Φλώρινας, Διπλ. Εργ., Τμήμα Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλ. Επιστ., Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- CALDER, J.H., GIBLING, M.R. and MUKHOPADHYAY, P.K. (1991): Peat formation in a Westphalian B piedmont setting, Cumberland basin, Nova Scotia: implications for the maceral - based interpretation of reotrophic and raised paleomires. *Bull. Soc. Geol. France*, 162/2: 283 - 298.
- CAMERON, A.R., KALKREUTH, W.D. and KOUKOUZAS, C. (1984): The petrology of Greek brown coals. *Int. J. Coal Geol.*, 4:173-207, Amsterdam.
- DIESSEL, C.F.K. (1992): Coal bearing depositional systems. Springer - Verlag, 721 pp, Berlin.
- International Committee for Coal Petrology (ICCP), (1971): International Handbook of Coal Petrography. 1st supplement to 2nd edition (Centre National de la Recherche Scientifique), Paris.
- International Committee for Coal Petrology (ICCP), (1993): International Handbook of Coal Petrography, Supplement, Commission I, 19 pp.
- ΚΑΛΑΪΤΖΙΔΗΣ, ΣΤ., ΜΠΟΥΖΙΝΟΣ, Α., ΧΡΗΣΤΑΝΗΣ, Κ. (2000): Το Παλαιοπεριβάλλον Λιγνιτογένεσης πριν και μετά την Αλόθωση της «Χαρακτηριστικής Άμμου» στο Λιγνιτικό Κοίτασμα Πτολεμαΐδας, *Ορυκτός Πλούτος*, Τεύχος 115, Αθήνα.
- KALKREUTH, W., KOTIS, T., PAPANICOLAOU, C. and 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.
- KELLER, J. (1981): Quaternary tephrochronology in the Mediterranean region. In S.Self and R.S.J. Sparks (eds.), *Tephra Studies*. D.Reidel Publishing Company, 95 - 102.
- ΚΩΤΗΣ, Θ., ΜΕΤΑΞΑΣ, Α., ΠΛΟΥΜΙΔΗΣ, Μ., ΒΑΡΒΑΡΟΥΣΗΣ, Γ. (1995): Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτικών κοιτασμάτων Ανατολικών περιθωρίων λεκάνης Φλώρινας (υποπεριοχής Αχλάδας - Μελίτης), Ι.Γ.Μ.Ε., 3 Τόμοι, 63 σελ.

- + Παραρτ. (17 σχ. εκ. κ. + 33 τομές γεωτρ. + πιν.), Αθήνα.
- ΚΩΤΗΣ, Θ., ΜΕΤΑΞΑΣ, Α., ΠΛΟΥΜΙΔΗΣ, Μ., ΒΑΡΒΑΡΟΥΣΗΣ, Γ. (1996): Κοιτασματολογική έρευνα Ανατολικών περιθωρίων λεκάνης Φλώρινας (υποπεριοχής Μελίτης - Λόφων), Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- ΚΩΤΗΣ, Θ., ΜΕΤΑΞΑΣ, Α., ΠΛΟΥΜΙΔΗΣ, Μ., ΒΑΡΒΑΡΟΥΣΗΣ, Γ. (1992): Κοιτασματολογική έρευνα Ανατολικών περιθωρίων λεκάνης Φλώρινας (υποπεριοχής Βεύης), Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- LAMBERSON, M.N., BUSTIN, R.M. and KALKREUTH, W. (1991): Lithotype (maceral) composition and variation as correlated with paleo-wetland environments, Gates Formation, northeastern British Columbia, Canada. *Int. J. Coal Geol.*, 18: 87 - 124.
- MARKIC, M. and SACHSENHOFER, R. (1997): Petrographic composition and depositional environments of Pliocene Velenje lignite seam (Slovenia). *Int. J. Coal Geol.*, 33: 229 - 254.
- ΜΑΤΑΡΑΓΚΑΣ, Δ., ΒΑΡΤΗ-ΜΑΤΑΡΑΓΚΑ, Μ. (1981): Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Βεύη, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- MUKHOPADHYAY, P. (1986): Petrography of selected Wilcox and Jackson group lignites from the Tertiary of Texas. In R. Finkelman and D. Casagrande (eds), *Geology of Gulf Coast Lignites*. Ann. Meet. Geol. Soc. Am., Coal Geology Div., Field Trip, 126 - 145.
- MUKHOPADHYAY, P. (1989): Organic petrography and organic geochemistry of Tertiary coals from Texas in relation to depositional environment and hydrocarbon generation. Report of Investigations, Bureau of Economic Geol., 118 pp, Texas.
- PAPANICOLAOU, C. and FOSCOLOS, A. (1999): A study of lignites from Vevi mine Florina Basin, Greece. Assessment of their potential for various uses, *Mineral Wealth*, 112:7-16, Athens.
- ΠΑΥΛΙΔΗΣ, Σ. (1985): Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας - Βεγορίτιδας - Πτολεμαΐδας (Δ. Μακεδονία). Διδ. Διατρ. Τμ. Γεωλ. Α.Π.Θ., Επιστ. Επετηρ. Σχολής Θ.Ε., Τομ. 23: 256 σελ., Θεσ/νίκη.
- STACH, E., MACKOWSKY, M., TEICHMUELLER, M., TAYLOR, G., CHANDRA, D. and TEICHMUELLER, R. (1982): *Stach's Textbook of coal petrology*. Gebrüder Boemtroger, 535 pp, Berlin.
- Von der BRELIE, G. and WOLF, M. (1981): Zur Petrographie und Palynologie heller und dunkler Schichten im rheinischen Hauptbraunkohlenfloz. *Fortschr. Geol. Rheinl. Westfalen*, 29: 95 - 163, Krefeld.