

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΓΕΝΕΣΗΣ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΤΟΥ ΓΚΡΑΙΚΑ, ΒΟΡΕΙΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ*

Σ. ΚΑΛΑΪΤΖΙΔΗΣ¹, Σ. ΠΑΠΑΖΗΣΙΜΟΥ¹ & Κ. ΧΡΗΣΤΑΝΗΣ¹

ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται η Ανωπλειοκαινική/Κατωπλειοκαινική λιγνιτική εμφάνιση του Γκραϊκά στην ορεινή Αιγιάλεια (Β. Πελοπόννησος). Ο λιγνίτης παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα και ολικό θείο. Τα αποτελέσματα της προσεγγιστικής και της στοιχειακής ανάλυσης και της μέτρησης της αναλαστικότητας του Ευ-ουλμινίτη Β κατατάσσουν τον συγκεκριμένο γαιάνθρακα στο στάδιο του μαλακού λιγνίτη. Από τα maceral επικρατούν ο Ατρινίτης και ο Ντενζινίτης, ενώ τα maceral των ομάδων Λειπινίτη και Ινερτινίτη συμμετέχουν σε χαμηλά έως μέτρια ποσοστά. Από διαγράμματα φάσεων προκύπτει, ότι ο λιγνίτης προήλθε από τύφη που σχηματίστηκε κύρια από πόες με μικρή συμμετοχή δένδρων, σε λιμναίο έως λιμνοτελματικό περιβάλλον υπό την επίδραση υφάλμυρων συνθηκών.

ABSTRACT

In Northern Peloponnese (southern Greece) several lignite seams occur, many of which were exploited in the past decades. In the small Graikas basin, in the upland Aigialia, a 2.5-m-thick lignite seam outcrops within the Pliocene/ Pleistocene sediments. The pre-Neogene margins and the basement of the basin consist of radiolarites, pelagic limestones, and flysch of the Pindos isopic zone. The sediments filling the basin include marly, sandy and clay layers, which deposited under marine, brackish and lacustrine conditions, during the rifting of the Corinth graben (Late Pliocene-Early Pleistocene).

The seam consists of lignite and clay-rich lignite layers, of matrix lithotype, with total thickness of 1.4 m, intercalating with thin marly, silty, clay and humic clay layers. Fourteen lignite samples were obtained for proximate and ultimate analyses and coal-petrography studies. The ash contents of the Graikas lignite range up to 46.2% on dry base revealing intense inorganic input. The total sulphur contents are also high up to 4%. The fixed carbon and volatile matter contents (33.2-46% and 53.9-66.8% on daf, respectively), as well as the H/C and O/C atomic ratios and the reflectance of Eu-ulminite B (Rm 0.26-0.30%), indicate a low rank (soft brown coal, Weichbraunkohle).

Micropetrographic studies revealed a Huminite content >73%, Liptinite <23%, and Inertinite <12%. Attrinite and Densinite are the most prevailing macerals, while Texto-ulminite A and Eu-ulminite A show moderate values. Inertodetrinite and Semi-fusinite dominate within the Inertinite maceral group. Cutinite and Liptodetrinite are the most abundant macerals of the Liptinite group. Mainly clay and carbonate minerals constitute the inorganic matter (7-30%). However, pyrite content is also significantly high, up to 10%, revealing anoxic marine influence. Factor analysis suggests that peat accumulation started under anoxic conditions and intense bacterial activity. The peat-forming vegetation was mostly herbaceous with minor contribution of arboreal vegetation. Moreover, negative correlation is revealed between the gelification degree and the inorganic input. Coal-facies diagrams suggest low preservation of the organic tissues and highly scattered gelification-indices. The peat in the Graikas basin started accumulating in a lagoonal environment under brackish conditions behind a barrier. Progressively, sea regraded and the conditions became limnic to limnotelmatic.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: λιγνίτης, ανθρακοπετρογραφία, ανθρακογένεση, παλαιοπεριβάλλον, Πελοπόννησος.

KEY WORDS: lignite, coal-petrography, coal-formation, palaeoenvironment, Peloponnese.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια από τις επικρατέστερες μεθόδους ανάλυσης των φάσεων παλαιοπεριβαλλόντων γένεσης των

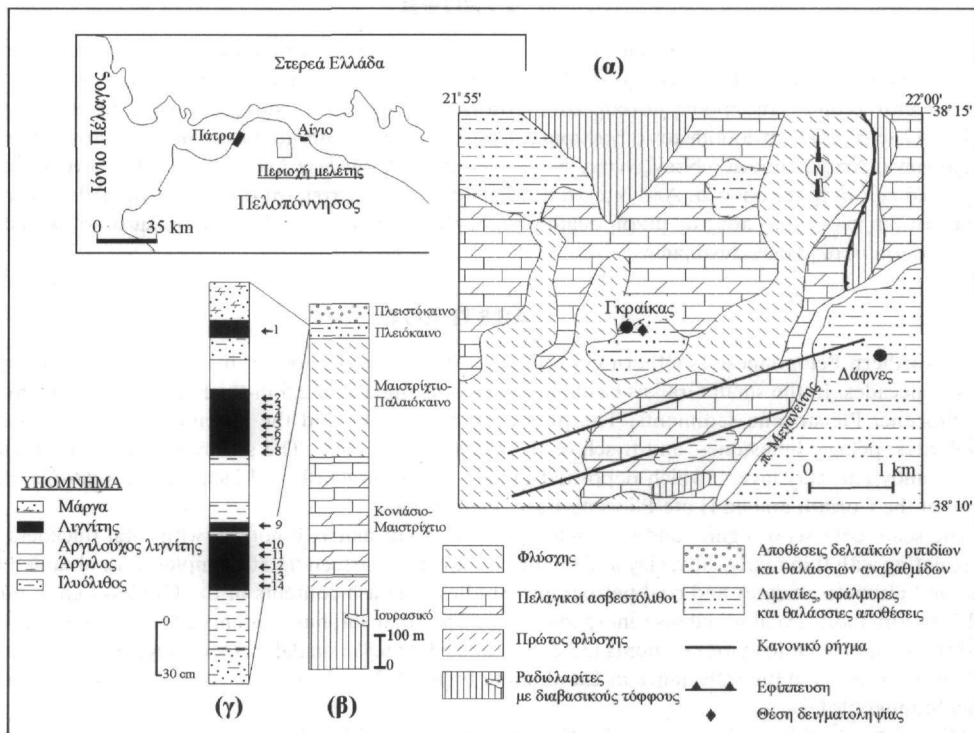
* FORMING CONDITIONS OF THE GRAIKAS LIGNITE, N. PELOPONNESE

1. Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 265.00 Ρίο-Πάτρα

για ανθράκων αποτελεί η ανθρακοπετρογραφική εξέταση. Τα τελευταία χρόνια αρκετά κοιτάσματα στον Ελληνικό χώρο έχουν μελετηθεί με αυτήν τη μέθοδο (π.χ. Cameron et al., 1984; Kaouras et al., 1991; Antoniadis et al., 1992; Καλαϊτζίδης κ.ά., 1998; 2000; Georgakopoulos and Valceva, 2000; Kalaitzidis and Christanis, 2000; Papanicolaou et al., 2000).

Στα Νεογενή και τα Τεταρτογενή ιζήματα της βόρειας Πελοποννήσου εμφανίζονται λιγνιτικά στρώματα, αρκετά από τα οποία στο παρελθόν υπέστησαν εκμετάλλευση. Μια από αυτές τις εμφανίσεις αναπτύσσεται ανατολικά της κοινότητας του Γκραικά στην ορεινή Αιγιάλεια (Μαρινός, 1951).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να προσδιοριστεί το παλαιοπεριβάλλον σχηματισμού και ο βαθμός ενανθράκωσης της συγκεκριμένης λιγνιτικής εμφάνισης.



Σχήμα 1. (α): Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης, (β): στρωματογραφική στήλη της ευρύτερης περιοχής (από Τσόφλια, 1984) και (γ): λιθολογική στήλη της λιγνιτικής εμφάνισης του Γκραικά.

Figure 1. (a): Geological map of the study area, (b): stratigraphical column of the broader area (after Tsoflias, 1984) and (γ): lithological column of Graikas lignite seam.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Το προ-Νεογενές υπόβαθρο της περιοχής μελέτης δομείται από σχηματισμούς της γεωτεκτονικής ζώνης Ωλονού-Πίνδου (Σχ. 1α και β) (Τσόφλιας, 1984). Φλύσχη και πελαγικοί ασβεστόλιθοι δομούν τα περιθώρια της λεκάνης του Γκραικά. Οι σχηματισμοί του υποβάθρου υπέστησαν κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο-Κατώτερο Πλειστόκαινο ρηξιγενή τεκτονική, η οποία οδήγησε στον σχηματισμό της Κορινθιακής τάφρου (Doutsos et al., 1988). Τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα που αποτέθηκαν στην ευρύτερη περιοχή διαχωρίζονται σε τρεις ενότητες (Poulimenes et al., 1993): Η κατώτερη αποτελείται από αργίλους, μάργες και άμμους, λιμναίως έως λιμνοθαλάσσιως προέλευσης, που αποτέθηκαν κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο-Κατώτερο Πλειστόκαινο (Frydas, 1989). Σε αυτήν την ενότητα εμφανίζονται σε αρκετές θέσεις λιγνιτικοί οριζόντες μικρού πάχους και περιορισμένης εξάπλωσης. Στην ενδιάμεση ενότητα, κύρια στο ΒΑ τμήμα του Νομού Αχαΐας, αποτέθηκαν δελταϊκά και χερσαία κροκαλοπαγή. Την ανώτερη ενότητα αποτελούν αποθέσεις λιθάνων και θαλάσσιων αναβαθμίδων. Στα Πλειοκαινικά και Τεταρτογενή ιζήματα αναγνωρίστηκαν δύο κύρια συστήματα κανονικών ρηγμάτων, ΔΒΔ/νης και ΑΒΑ/κής διεύθυνσης (Doutsos et al., 1988; Poulimenes et al., 1993).

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο κατ' αύλακα (channel sampling) σε θέση, στην οποία τα λιγνιτικά στρώματα αποκαλύπτονταν επιφανειακά. Περιγράφηκαν μακροσκοπικά τα ιζήματα και ταξινομήθηκαν τα λιγνιτικά στρώματα σε λιθότυπους σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά ICCP (1993). Ακολούθησε δειγματοληψία του λιγνίτη ανά 5 cm (Σχ. 1γ).

Τα δείγματα ξηράθηκαν στους 105 °C και κοιλοποιήθηκαν σε $\varnothing < 1$ mm. Στη συνέχεια παρασκευάστηκαν σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D2797 (1990) σιλιπνές τομές, που εξετάστηκαν σε ανθρακοπετρογραφικό μικροσκόπιο Orthoplan Leitz 307 σύμφωνα με τη διεθνή πρακτική (Stach et al., 1982).

Επίσης πραγματοποιήθηκαν προσεγγιστική (proximate) και στοιχειακή (ultimate) ανάλυση, δηλ. προσδιορισμός τέφρας, πτητικών συστατικών (VM), μόνιμου άνθρακα (C_{fix}), στοιχειακού άνθρακα (C), υδρογόνου (H), αζώτου (N) και θείου (S). Τέλος μετρήθηκαν η θερμογόνος δύναμη (CV) και η ανακλαστικότητα του Ευ-ουλμινίτη B (R_v). Οι παραπάνω αναλύσεις και μετρήσεις έγιναν από τον Καθηγητή κ. Α. Φώσκολο, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, και τη Δρ. Κ. Παπανικολάου, ΔΕΠΥ/ΓΓΜΕ.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. Μακροσκοπική περιγραφή

Η τομή που εξετάστηκε, συνολικού πάχους 2,5 m, αποτελείται από εναλλαγές στρωμάτων λιγνίτη, που ανήκει στον λιθότυπο matrix (ICCP, 1993), με λεπτομερή ανόργανα ιζήματα (Σχ. 1γ). Στη βάση εμφανίζεται ιλυόλιθος με διακριτούς μακροσκοπικά κρυστάλλους χαλαζία και μοσχοβίτη, καθώς και φυτικά υπολείμματα. Ο ιλυόλιθος προς τα πάνω εξελίσσεται σε χουμώδη άργιλο, η οποία αποτελεί και το γεωλογικό δάπεδο του λιγνίτη. Τα λιγνιτικά στρώματα έχουν μικρό σχετικά πάχος και διακόπτονται από αργιλικές ενστρώσεις. Ο λιγνίτης εμφανίζεται κατά θέσεις αργιλούχος, γεγονός που υποδηλώνει έντονη προσφορά ανόργανων κλαστικών υλικών ταυτόχρονα με την τυρφογένεση. Στο ανώτερο τμήμα της τομής παρεμβάλλεται ιλυόλιθος, ενώ την οροφή της λιγνιτικής στιβάδας αποτελεί μάργα, που περιέχει φυτικά υπολείμματα. Τα στρώματα διευθύνονται ΒΒΑ και κλίνουν προς ΝΝΔ με 20-35°. Το συνολικό πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων ανέρχεται σε 1,38 m.

Παρά την απουσία λεπτομερούς βιοστρωματογραφικής ανάλυσης της λεκάνης του Γκραικά, από μελέτες στα ιζήματα γειτονικών περιοχών (Τσόφλιας, 1984; Frydas, 1989; Tsoflias & Ioakim, 1992; Poulimenes et al., 1993) και σύγκριση με τα ιζήματα της τομής, συμπεραίνεται ότι ο λιγνίτης αποτέθηκε κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο-Κατώτερο Πλειστόκαινο. Από παλυνολογικές μελέτες στην ευρύτερη περιοχή προκύπτει, ότι το κλίμα κατά την περίοδο της τυρφογένεσης ήταν θερμό και υγρό (Muntzos, 1992).

4.2. Προσεγγιστική και στοιχειακή ανάλυση

Οι περιεκτικότητες σε πτητικά συστατικά και μόνιμο άνθρακα, καθώς επίσης η θερμομαντική ικανότητα και η ανακλαστικότητα του Χουμινίτη/Βιτρινίτη αποτελούν κύριες παραμέτρους προσδιορισμού του βαθμού ενανθράκωσης των γαιανθράκων (Diessel, 1992). Η περιεκτικότητα σε τέφρα αντανακλά την επίδραση του υδροφόρου και την ανόργανη ιζηματογένεση στον παλαιοτυφώνα, και συνεπώς επηρεάζεται από τοπικούς παράγοντες.

Η τέφρα επί ξηρού κυμαίνεται μεταξύ 12,7-46,2%, ο μόνιμος άνθρακας επί ξηρού και ελευθέρου τέφρας δείγματος μεταξύ 33,2-46% και τα πτητικά συστατικά μεταξύ 53,9-66,8% (Πίν. 1). Η Ανώτερη Θερμαντική Ικανότητα κυμαίνεται μεταξύ 3361-5362 kcal/kg (db) και 5414-6140 kcal/kg (daf). Με βάση τα προηγούμενα αποτελέσματα ο λιγνίτης του Γκραικά κατατάσσεται στους μαλακούς λιγνίτες ως προς τον βαθμό ενανθράκωσης. Οι παραπάνω τιμές παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις στη λιγνιτική στιβάδα, γεγονός που υποδηλώνει αστάθεια των συνθηκών συσσώρευσης τύρφης και χουμοποίησης κατά τη διάρκεια απόθεσης.

Τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης (επί ξηρού και ελευθέρου τέφρας δείγματος) παρουσιάζουν και αυτά διαφοροποιήσεις ανάμεσα στα δείγματα (Πίν. 1).

Πίνακας 1. Αποτελέσματα προσεγγιστικής και στοιχειακής ανάλυσης, καθώς και ατομικοί λόγοι O/C και H/C των λιγνιτικών δειγμάτων του Γκραικά (ΠΣ: πτητικά συστατικά, ΑΘΙ: ανώτ. θερμαντική ικανότητα, db: ελεύθερο υγρασίας, daf: ελεύθερο υγρασίας και τέφρας).

Table 1. Results of proximate and ultimate analyses, and the O/C and H/C atomic ratios, of the Graika lignite samples (VM: volatile matter, CV: gross calorific value, db: dry base, daf: dry and ash-free base).

Δείγμα #	Τέφρα Ash %, db	ΠΣ, VM	C _{fix}	O				C				H				N				S %, db	ΑΘΙ - CV kcal/kg daf	O/C	H/C
				%, daf																			
1	40,8	66,8	33,2	29,3	58,9	7,3	1,6	1,8	5682	0,37	1,48												
2	20,2	57,9	42,1	30,7	58,4	5,9	1,7	2,7	5714	0,39	1,21												
3	19,8	56,2	43,8	30,1	58,0	6,2	1,4	3,4	5925	0,39	1,29												
4	36,7	58,2	41,8	32,1	56,9	5,9	1,9	2,1	5414	0,42	1,25												
5	23,2	57,4	42,6	30,8	58,3	5,9	1,6	2,6	5700	0,40	1,20												
6	12,7	54,4	45,6	28,4	61,0	6,1	1,3	2,8	6140	0,35	1,19												
7	25,1	55,6	44,2	27,9	60,2	6,2	1,7	3,0	6130	0,35	1,24												
8	26,8	53,9	46,0	29,7	58,6	6,0	1,5	3,1	5850	0,38	1,24												
9	39,8	56,0	44,0	28,4	59,1	6,7	1,5	2,6	5841	0,36	1,35												
10	31,9	55,6	44,4	28,5	58,2	6,0	1,5	4,0	5774	0,37	1,24												
11	40,1	56,6	43,4	15,6	70,5	6,0	1,5	3,8	5616	0,17	1,03												
12	46,2	58,6	41,4	29,6	55,7	6,2	1,5	3,8	5320	0,40	1,34												
13	32,3	54,6	45,4	28,2	59,7	6,2	1,6	3,0	5896	0,35	1,24												
14	36,4	55,8	44,2	27,0	59,3	6,3	1,7	3,7	5884	0,34	1,27												
Μέση τιμή	30,9	57,0	43,0	28,3	59,5	6,2	1,6	3,0	5778														

Ο στοιχειακός άνθρακας κυμαίνεται μεταξύ 55,7-70,5%, το υδρογόνο μεταξύ 6-7%, το άζωτο 1-2% και το οξυγόνο μεταξύ 16-32%. Η προβολή των ατομικών λόγων O/C και H/C στο διάγραμμα van Krevelen αποτελεί έμμεσο τρόπο προσδιορισμού του βαθμού ενανθράκωσης (Stach et al., 1982; Diessel, 1992). Από το Σχήμα 2 προκύπτει, ότι ο λιγνίτης του Γκραικά προβάλλεται στο πεδίο του ανώριμου (μαλακού) λιγνίτη. Οι τιμές του θείου κυμαίνονται μεταξύ 1,8-4% (επί ξηρού) με μέση τιμή 3%. Οι τιμές αυτές είναι σχετικά αυξημένες σε σύγκριση με τις αντίστοιχες στα περισσότερα Ελληνικά κοιτάσματα, ενώ είναι παρόμοιες με αυτές στα κοιτάσματα Ορεστιάδας, Μεγαλόπολης και Καλαβρύτων (Cameron et al., 1984; Foskolos et al., 1989; Σκουνάκης κ.ά., 1991-92).

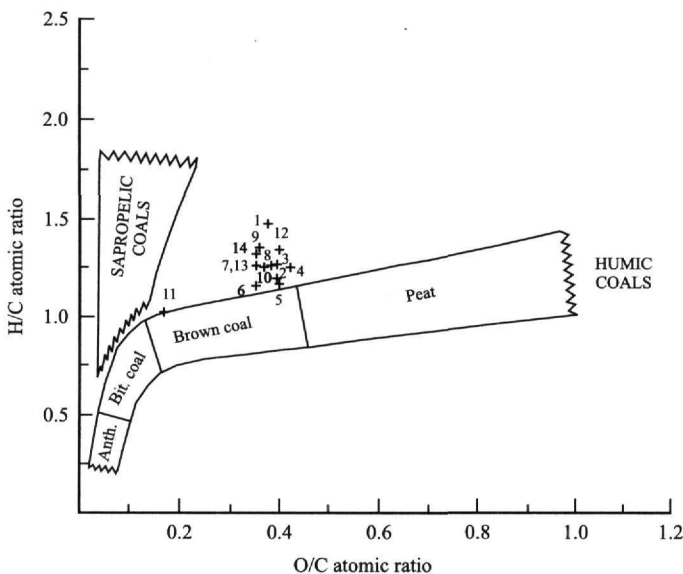
4.3 Ανακλαστικότητα του Ουλμινίτη

Μετρήσεις μέσης ανακλαστικότητας (Rm) σε Ευ-ουλμινίτη Β στα δείγματα #5 και 11 έδωσαν τιμές 0,30 και 0,26% αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν στο στάδιο του μαλακού λιγνίτη (Stach et al., 1982; Diessel, 1992) και είναι παρόμοιες με αυτές από τους λιγνίτες Φλώρινας, Καλαβρύτων (Papanicolaou et al., 2000), Μεγαλόπολης (Cameron et al., 1984), Πτολεμαΐδας και Σερβίων (Georgakopoulos and Valceva, 2000).

4.4 Μικροσκοπική εξέταση

Στον πίνακα 2 δίνονται τα αποτελέσματα της ανθρακοπετρογραφικής εξέτασης των δειγμάτων. Διαπιστώνεται ότι είναι ιδιαίτερα πλούσια σε Χουμινίτη (>73%) και περιέχουν αρκετό Λειπινίτη (μέχρι 23%), ενώ ο Ινερνιτίτης είναι γενικά περιορισμένος (<12%).

Η ομάδα του Χουμοτετρινίτη είναι η πιο συχνά απαντώμενη στα δείγματα του λιγνίτη του Γκραικά, με τιμές που κυμαίνονται από 36-84%. Ο Ατρινιτίτης κυριαρχεί στα δείγματα #1, 4, 6-10, ενώ στα υπόλοιπα δείγματα κυριαρχεί ο Ντενζινίτης. Στο δείγμα #10 ο Ατρινιτίτης και ο Ντενζινίτης παρουσιάζουν ίδια ποσοστά. Η ομάδα του Χουμοτελινίτη εμφανίζεται σε ποσοστά από 8-39%, με κυρίαρχους τύπους maceral τον Τεξτο-ουλμινίτη Α και Ευ-ουλμινίτη Α. Ο Τεξτο-ουλμινίτης και Ευ-ουλμινίτης εμφανίζονται σε ποσοστά από 5-19% και <20% αντίστοιχα. Η συμμετοχή του Τεξτινίτη είναι περιορισμένη και φθάνει μέχρι 3%. Τα υψηλά ποσοστά των θραυματογενών maceral υποδηλώνουν έντονη μηχανική αποδόμηση των φυτικών υπολειμμάτων, είτε λόγω αυξημένης δράσης των μικροοργανισμών είτε λόγω της συσσώρευσης εύθρυπτης φυτικής ύλης (πόες). Από τα maceral της ομάδας του Χουμοκολλινίτη, εμφανίζεται μόνο Γελινίτης σε ποσοστό μέχρι 10%, κύρια με τη μορφή Λεβιγελινίτη.



Σχήμα 2. Προβολή των δειγμάτων του λιγνίτη του Γκράϊκα στο διάγραμμα van Krevelen.
Figure 2. Van Krevelen diagramme of the Graikas lignite samples.

Η ομάδα του Ινερτινίτη συμμετέχει σε ποσοστό έως και 12%. Κύρια συμμετέχει ο Ινερτοντετρινίτης (μέχρι και 6%), ενώ υψηλές σχετικά τιμές εμφανίζει και ο Ημι-φουσινίτης (έως 6%). Η χαμηλή περιεκτικότητα σε Ινερτινίτες υποδηλώνει τη διατήρηση υψηλής στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα στον παλαιοτουρφώνα.

Η ομάδα του Λειπτινίτη εμφανίζεται σε ποσοστά που κυμαίνονται από 8-23%. Ο Κουτινίτης και ο Λειπτοντετρινίτης εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές, <7% και <9%, αντίστοιχα. Σχετικά υψηλά ποσοστά παρουσιάζουν ο Σπορινίτης (7%), ο Ρητινίτης (7%) και ο Αλγινίτης (4%). Σουμπερινίτης συμμετέχει μόνο στα δείγματα #8 και 11.

Η περιεκτικότητα των δειγμάτων που εξετάστηκαν σε ανόργανα συστατικά κυμαίνεται μεταξύ 7-30% κ.ό. Το μεγαλύτερο ποσοστό κατέχουν τα αργιλικά ορυκτά, τα οποία αποτελούν δείκτες κλαστικής ιζηματογένεσης. Τα ποσοστά των ανθρακικών ορυκτών ως δείκτες αυθιγενούς ιζηματογένεσης είναι και αυτά υψηλά. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η συμμετοχή του σιδηροπυρίτη (μέχρι 10%), κύρια με τη μορφή βοτρυοειδών συσσωματωμάτων (framboïd). Οι υψηλές περιεκτικότητες σε θείο και σιδηροπυρίτη υποδηλώνουν την επικράτηση υφάλμυρων ανοξικών συνθηκών στον παλαιοτουρφώνα (Cohen et al., 1983).

5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1. Παραγοντική ανάλυση

Από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων με χρήση της παραγοντικής ανάλυσης (factor analysis) τύπων R και Q (Πίν. 3, Σχ. 3α) προκύπτει, ότι η βάση της λιγνιτικής σιβάδας (δείγματα #10, 11, 13 και 14) διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα δείγματα, λόγω σχηματισμού της κάτω από έντονα αναγωγικές συνθήκες σε ένα περιβάλλον πλούσιο σε θείο, καθώς και λόγω της μικροβιακής οξειδωσίας που υπέστησαν οι Χουμινίτες (εμπλουτισμός σε άνθρακα). Παράλληλα υποδηλώνεται η συμμετοχή ιστών δενδρώδους προέλευσης στα δείγματα #6, 7 και 13. Εκφράζεται θετική συσχέτιση μεταξύ της θερμοαντικής ικανότητας και της συμμετοχής ξυλιτικών ιστών. Ο βαθμός ζελατινοποίησης παρουσιάζει αρνητική σχέση με την εισροή ανόργανων συστατικών. Η συνθήκη αυτή εκφράζεται στα δείγματα #1, 9, 13 και 14. Τα δείγματα #9 και 13 φαίνεται ότι έχουν υποστεί περιορισμένης έκτασης μεταφορά προς τα βαθύτερα τμήματα του έλους, λόγω της συσχέτισης του Ατρινίτη και της τέφρας. Υποδηλώνεται συνεπώς ότι οι διεργασίες μεταφοράς και απόθεσης των φυτικών υπολειμμάτων σε περιβάλλον έντονης ανόργανης ιζηματογένεσης προκαλεί μείωση του βαθμού ζελατινοποίησης. Η ίδια συνθήκη ισχύει και στις περιπτώσεις, κατά τις οποίες επιτόπου σωρευμένα φυτικά υπολείμματα βυθίζονται γρήγορα (δείγματα 1 και 4). Αντίθετα τα δείγματα #2, 3, 4, 5, 6 και 8 χαρακτηρίζονται από καλύτερη ζελατινοποίηση.

Πίνακας 2. Ανθρακοπετρογραφική σύσταση των λιγνιτικών δειγμάτων του Γκράικα (τα maceral δίνονται σε ποσοστά επί τοις % κ.ό. του οργανικού υλικού, οι φθορίζοντες Χουμινίτες σε ποσοστό επί τοις % κ.ό. του Χουμινίτη και τα ορυκτά σε % κ.ό. ολικού δείγματος).

Table 2. Composition of maceral (vol. % on dry, mineral-matter free basis), mineral matter (vol. % on dry basis), fluorescent huminites (vol. % on dry and mineral-matter free basis) of the Graikas lignite samples.

Maceral / Δείγμα	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14
Textinite A	1			1	1		1		3			1	
Texto-ulminite A	9	12	16	8	6	17	17	11	5	7	9	3	9
Texto-ulminite B			2		3	1	2				1	7	
Eu-ulminite A	11	12	13	4	12	19	12	7		4	7	4	9
Eu-ulminite B	1		4	2	3	2	3				1	1	
HUMOTELINITE	22	24	35	14	25	39	35	18	8	11	18	16	18
Attrinite	42	17	22	45	13	21	19	24	62	30	34	35	33
Densinite	10	24	22	14	50	15	22	26	22	30	17	18	13
HUMODETRINITE	52	41	44	59	63	36	41	50	84	60	51	53	46
Levigelite	7	7	7	6	2	9	4	8		8	8	4	9
Porigelite		1	1	1	1	1		2		1	2		
Corpohuminite													
HUMOCOLLINITE	7	9	8	7	3	10	4	10		9	10	4	9
HUMINITE (total)	81	73	87	81	91	85	80	78	92	80	79	73	73
Fusinite		1					1	2		2	1		1
Semi-fusinite		1		1		1	1	2		4	6	2	3
Inertodetrinite	1	2		3		1	2		1	6	5	3	4
INERTINITE (total)	1	4		4	0	2	4	4	1	12	12	5	8
Sporinite	1	7	4	4	1	4	2	1		1		1	2
Cutinite	5	3	2	1	2	4	4	6	1	2	4	7	8
Resinite	2	3	2	1	3	4	2	3	1	1	3	7	3
Suberinite								1					
Alginite	2	4			2		3	1	3	1		2	1
Liptodetrinite	8	6	5	9	1	1	5	6	2	3	2	5	5
LIPTINITE	18	23	13	15	9	13	16	18	7	8	9	22	19
Fluor. Huminite	17	31	21	18	30	53	53	31	55	31	25	42	38
Mineral matter	24	13	7	13	13	10	16	11	30	14	15	12	17
Clay minerals	5	6	1	7	8	1	12	3	23	2	4	1	3
Carbonate minerals	16	2	2	4	3	4	1	3	3	4	3	1	6
Pyrite	3	5	4	2	2	5	3	5	4	8	8	10	8
INDECES													
TPI	0,4	0,5	0,7	0,2	0,4	0,8	0,7	0,4	0,1	0,2	0,4	0,3	0,4
GI	0,9	2,7	3,1	0,7	5,2	2,7	2,7	1,9	0,4	1,2	1,0	0,9	1,0
VI	0,5	0,7	0,9	0,3	0,5	1,3	0,8	0,6	0,1	0,3	0,5	0,5	0,6
GWI	0,7	1,1	0,7	0,6	1,5	0,6	0,8	1,1	0,7	1,3	0,8	0,8	0,8

5.2. Διαγράμματα φάσεων - Παλαιοπεριβάλλον σχηματισμού

Με τη χρήση διαγραμμάτων φάσεων είναι δυνατόν να καθοριστεί το παλαιοπεριβάλλον και οι συνθήκες ανθρακογένεσης. Από την προβολή των αποτελεσμάτων στο τριγωνικό διάγραμμα του Mukhopadhyay (1989) (Σχ. 3β) παρατηρείται, ότι τα περισσότερα δείγματα περιορίζονται στο πεδίο που υποδηλώνει συνθήκες υγρού και αναγωγικού περιβάλλοντος με έντονη βακτηριδιακή δράση και επικράτηση πτώδους βλάστησης. Στα δείγματα #3, 6 και 7, τα οποία κείνται πλησιέστερα προς την κορυφή Α, είναι πιθανή η αυξημένη - συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα - παρουσία ιστών δενδρώδους προέλευσης.

Επίσης χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα TPI/GI του Diessel (1992). Ο δείκτης χ (tissue preservation index, TPI) αποτελεί μέτρο του βαθμού χουμοποίησης του αρχικού υλικού και καθορίζεται ως ο λόγος των maceral, τα οποία εμφανίζουν ιστό προς τα μη δομημένα maceral. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται ο τύπος που προτείνεται από τους Καλαϊτζίδης κ.ά. (2000):

$$TPI = \frac{ΧΟΥΜΟΤΕΛΙΝΙΤΗΣ + ΚΟΡΙΠΟΧΟΥΜΝΙΤΗΣ + ΦΟΥΣΙΝΙΤΗΣ}{ΑΤΤΡΙΝΙΤΗΣ + ΝΤΕΝΖΙΝΙΤΗΣ + ΓΕΛΙΝΙΤΗΣ + ΙΝΕΡΤΟΝΤΕΤΡΙΝΙΤΗΣ}$$

Ο δείκτης ζελατινοποίησης (gelification index, GI) αποτελεί μέτρο των συνθηκών υγρασίας στον παλαιοτυρφώνα και προσδιορίζεται από τον λόγο των έντονα ζελατινοποιημένων maceral προς τα μη ζελατινοποιημένα.

$$GI = \frac{OYAMINITE + XOMOKOΛΛINITE + NTENZINITE}{TEPTINITE + ATTRINITE + INERTINITE}$$

Ακόμα για τον καθορισμό των συνθηκών τυρφογένεσης χρησιμοποιήθηκε και το διάγραμμα VI/GWI (Calder et al., 1991), με βάση το οποίο ταξινομούνται τα περιβάλλοντα τυρφογένεσης ανάλογα με το υδρολογικό καθεστώς στον παλαιοτυρφώνα και ειδικότερα με την τροφοδοσία σε θρεπτικά συστατικά.

Ο δείκτης υδροφορίας (groundwater influence index, GWI), όπως προτάθηκε για λιθάνθρακες του Λιθανθρακοφόρου (Calder et al., 1991), αποτελεί μέτρο των συνθηκών υγρασίας. Στη συγκεκριμένη εργασία ο δείκτης υδροφορίας δίνεται από τη σχέση (Καλαϊτζίδης κ.ά., 2000):

$$GWI = \frac{XOMOKOΛΛINITE + NTENZINITE + OPYKTA}{XOMOTEAINITE + ATTRINITE}$$

Ο δείκτης βλάστησης (vegetation index, VI) εξαρτάται από το είδος των τυρφογενετικών φυτών στον παλαιοτυρφώνα. Δίνεται από τον λόγο των συγκεντρώσεων των maceral που υποδηλώνουν δενδρώδη προέλευση προς αυτά που υποδηλώνουν ποώδη.

$$VI = \frac{XOMOTEAINITE + ΦΟΥΣΙΝΙΤΗΣ + ΗΜΙΦΟΥΣΙΝΙΤΗΣ + ΚΟΥΤΙΝΙΤΗΣ + ΣΠΟΡΙΝΙΤΗΣ + ΣΟΥΜΠΕΡΙΝΙΤΗΣ + ΡΕΖΙΝΙΤΗΣ}{XOMONTETP INITE + INEPTONTETP INITE + ΛΟΙΠΟΙ ΛΕΙΠΤΙΝΙΤΗΣ}$$

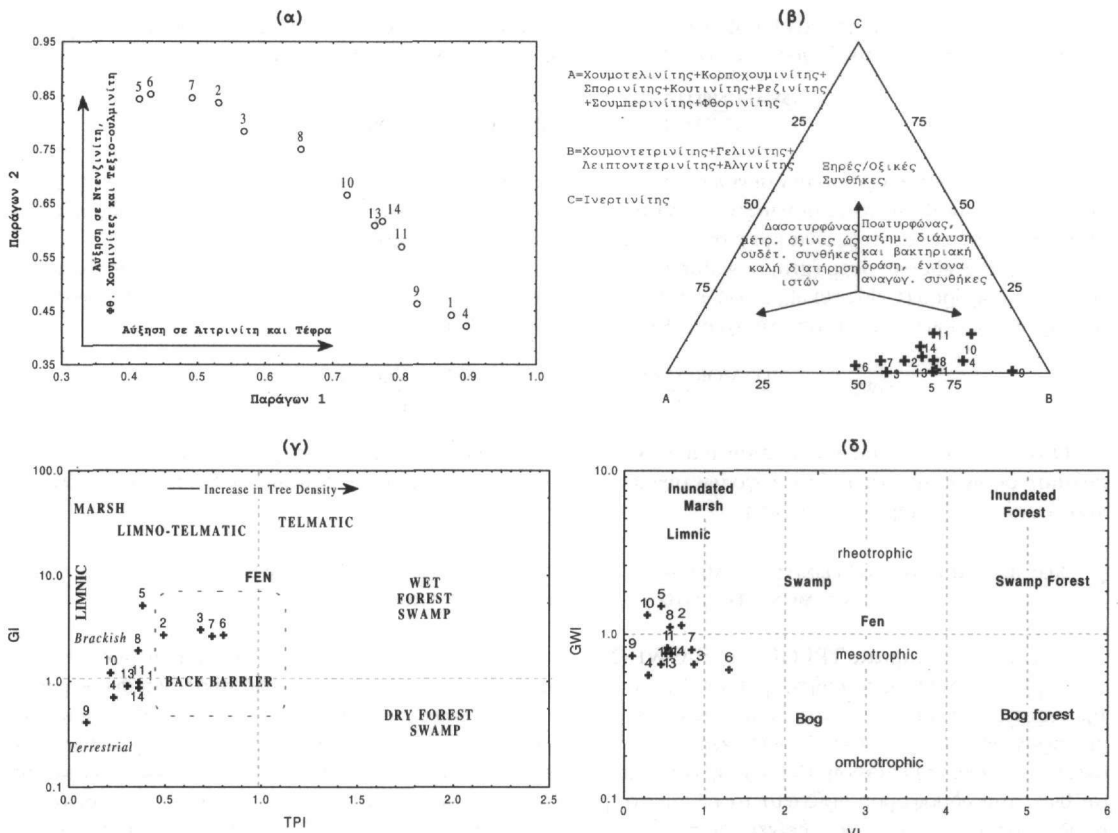
Από τα διαγράμματα TPI/GI και VI/GWI (Σχ. 3γ και 3δ) υποδηλώνεται κακή διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων, διαφοροποίηση του βαθμού ζελατινοποίησης, ανάπτυξη κύρια ποώδους βλάστησης και συσσώρευση της τύρφης σε περιβάλλον, το οποίο εναλλασσόταν μεταξύ λιμναίου, λιμνοτελματικού και λιμνοθαλάσσιου με μεσοτροφικές έως ρεοτροφικές συνθήκες. Η επικράτηση λιμνοτελματικών συνθηκών στην περιοχή ευνόησε την ανάπτυξη ποώδους βλάστησης (VI < 1), η οποία αποτέλεσε και το μητρικό οργανικό υλικό. Σε περιόδους μειωμένης στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα τα εύθρυπτα φυτικά υπολείμματα από πόες υπέστησαν έντονη μηχανική αποδόμηση, με επακόλουθο ο δείκτης διατήρησης φυτικών ιστών (TPI) να εμφανίζεται μειωμένος. Η πτώση της στάθμης του υδροφόρου δεν ξεπέρασε το κρίσιμο σημείο, μετά από το οποίο προκαλείται φουσινιτώση/οξειδωση και προκύπτουν maceral της ομάδας του Ινερτινίτη. Παρόλα αυτά από τη μικροσκοπική εξέταση και τη στατιστική επεξεργασία υποδεικνύεται η παρουσία ιστών δενδρώδους προέλευσης.

Πίνακας 3. Συνοπτικά αποτελέσματα παραγοντικής ανάλυσης τύπου R.

Table 3. Results of R-type factor analysis.

Παράγων	Ευσχέτιση	Συνθήκες που εκφράζονται	Δείγμα
F1	Semi-fusinite + S + Inertinite + C	έντονη βακτηριδιακή δράση και αναγωγικές συνθήκες, τα χουμινιτικά συστατικά υφίστανται μικροβιακή φουσινιτώση	#8, 10, 11, 13, 14
F2	(+) Textinite A + Attrinite + Ash	μικρού βαθμού ζελατινοποίηση, έντονη αναδόμηση και μηχανική αποδόμηση	#9, 13
	(-) Humotelinite A + Gelinite + Sporinite	καλή διατήρηση, αυξημένη ζελατινοποίηση	#2, 3, 6, 8
F3	(+) Fluor. Huminite + Cutinite + Resinite + calorific value	παρουσία δενδρώδους τυρφογενετικής βλάστησης	#6, 7, 13
	(-) N + VM + Liptodetrinite + Attrinite	χαμηλή χουμοποίηση, κύρια ποώδης βλάστηση	#1, 4
F4	(+) H + Liptodetrinite + VM	χαμηλή χουμοποίηση και ζελατινοποίηση της οργανικής ύλης	#1, 14
	(-) Densinite	ζελατινοποίηση θρυμματισμένης οργανικής ύλης	#5

Το παλαιοπεριβάλλον σχηματισμού του λιγνίτη του Γκράικα παρουσιάζει συνεπώς σημαντικές διαφορές σε σύγκριση με τα λιμνοτελματικά έως αμιγώς τελματικά κοιτάσματα της Πτολεμαΐδας (Καλαϊτζίδης κ.ά., 1998; 2000), της Δράμας (Kaouras et al., 1991) και του τυρφώνα των Φιλίππων (Kalaitzidis and Christanis, 2000). Αντίθετα παρουσιάζει ομοιότητες με τη σύγχρονη τυρφογένεση στο Κερί της Ζακύνθου, όπου τύρφη σωρεύεται υπό την επίδραση υφάλμυρων συνθηκών πίσω από έναν αμμώδη φραγμό, ενώ τα ενδιάμεσα αργιλικά στρώματα είναι χερσαίας προέλευσης (Paparizimou et al., 2000).



Σχήμα 3. (α): Προβολή των παραγοντικών φορτίσεων της ανάλυσης τύπου Q, σε διάγραμμα παράγων 1/ παράγων 2, (β): συνθήκες τυρφογένεσης στη λεκάνη του Γκραϊκά σύμφωνα με το διάγραμμα Mukhopadhyay (1989), (γ): διάγραμμα φάσεων κατά Diessel (1992) τροποποιημένο, (δ): διάγραμμα φάσεων κατά Calder et al. (1991), τροποποιημένο.

Figure 3. (α): Factor loadings plot of the Q-type factor analysis, (β): Ternary diagram illustrating peat-forming conditions in Graikas basin, after Mukhopadhyay (1986), (γ): Coal-facies diagram after Diessel (1992), modified, (δ): Coal-facies diagram after Calder et al. (1991), modified.

Συμπερασματικά το μοντέλο που προτείνεται για την Πλειο-Πλειστοκαινική τυρφογένεση στην περιοχή του Γκραϊκά συνοψίζεται ως εξής: Η ευρύτερη περιοχή συμπεριλαμβάνεται από το Ανώτερο Πλειόκαινο σε καθεστώς διαστολής, το οποίο οδήγησε στη διάνοιξη της Κορινθιακής τάφρου (Roulimenos et al., 1993). Κατά την πρώιμη περίοδο της διαστολής ποταμοχειμάρρεις, λιμναίες και λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις κάλυπταν την περιοχή. Στην εξεταζόμενη θέση επικρατούσαν λιμνοτελματικές συνθήκες και λόγω των ευνοϊκών (υγρών-θερμών) κλιματικών συνθηκών (Muntzos, 1992), αναπτυσσόταν στα αβαθή σημεία υδροβία και τελματική βλάστηση. Λόγω της υψηλής στάθμης του υδροφόρου αρχικά αποτίθονταν ανόργανα ιζήματα. Η προσφορά υδάτων από τη χέρσο πιθανόν να μειώθηκε σταδιακά, με αποτέλεσμα την είσοδο της θάλασσας και την επικράτηση περιωδικά υφάλμυρων συνθηκών, κάτω από τις οποίες αναπτύχθηκε κύρια ποώδης βλάστηση και διάσπαρτα δένδρα. Η τυρφογένεση άρχισε κάτω από αλκαλικές και έντονα αναγωγικές συνθήκες, γεγονός που οδήγησε σε αύξηση της περιεκτικότητας σε πυρίτη (δείγματα #14-9). Η εισροή ανόργανων υλικών από τη χέρσο εξακολούθησε να είναι έντονη. Η τυρφογένεση συνεχίστηκε κάτω από συνεχή πλημμυρικά επεισόδια, κατά τα οποία αποτέθηκαν αργιλικές ενστρώσεις. Το περιβάλλον ήταν σχετικά βαθύ, λιμνοθαλάσσιο (δείγματα #14-10) έως λιμναίο (δείγμα #9) και σε ορισμένες περιπτώσεις λάμβανε χώρα περιορισμένης έκτασης μεταφορά και απόθεση των φυτικών υπολειμμάτων (υπο-αυτόχθονη απόθεση). Καθόλη αυτήν την περίοδο η λειτουργία του ποταμοχειμάρρειου συστήματος κι η προσκομιδή κλαστικού υλικού προς τη θάλασσα είχε ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό αμμώδους φραγμού. Πίσω από τον φραγμό και προς τη χέρσο η τύρφη (δείγματα #8-2) συσσωρευόταν κάτω από λιγότερο υφάλμυρες συνθήκες, που προοδευτικά εξελίσσονταν σε συνθήκες «γλυκού»

νερού (δείγμα #1). Διαρκείς εναλλαγές στη στάθμη του υδροφόρου είχαν ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό της τύρφης σε αργιλικά και ανθρακικά ορυκτά ή και τη διακοπή της τυρφογένεσης από μικρής κλίμακας πλημμυρικά επεισόδια που απέθεταν πιο χονδρόκοκκο υλικό (ιλυόλιθο). Τελικά η τυρφογένεση διακόπηκε πιθανόν λόγω βύθισης της περιοχής και επικράτησης καθαρά λιμναίων συνθηκών (μάργες). Παρατηρείται συνεπώς μια εναλλαγή στα περιβάλλοντα απόθεσης από χερσαίο προς λιμνοθαλάσσιο και τελικά λιμναίο, στα οποία επικράτησαν για μικρή χρονική διάρκεια ευνοϊκές συνθήκες τυρφογένεσης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς ευχαριστούν θερμά τον Καθηγητή κ. Αντώνη Φώσκολο και την κ. Δέσποινα Πεντάρη του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την προσεγγιστική και στοιχειακή ανάλυση των λιγνιτικών δειγμάτων, καθώς επίσης και τη Δρ. Κασσιανή Παπανικολάου της ΔΕΠΥ/ΙΓΜΕ, για τις μετρήσεις ανακλαστικότητας του Ευ-ουλμινίτη Β.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) 1990. Method D 2797-Standard Method of Preparing Coal Samples for Microscopical Analysis by Reflected Light. In *Annual Book of ASTM Standards. Part 26. Gaseous Fuels, Coals and Coke*, 270-273 (Philadelphia).
- ANTONIADIS, P., KAOURAS, G., KHANAQA, P.A. & RIEGEL, W. 1992. Petrographische Untersuchungen an der Neogenen Braunkohle im Becken von Chomatero-Koroni, SW-Peloponnes, Griechenland. *Acta Palaeobot.* 32/1, 27-37.
- CALDER, J.H., GIBLING, M.R. & MUKHOPADHYAY, P.K. 1991. Peat formation in a Westphalian B piedmont setting, Cumberland basin, Nova Scotia: implications for the maceral-based interpretation of rheotrophic and raised paleomires. *Bull. Soc. Géol. France* 162/2, 283-298.
- CAMERON A.R., KALKREUTH, W.D. & KOUKOUZAS, C. 1984. The petrology of Greek brown coals. *Int. J. Coal Geol.* 4, 73-207.
- COHEN, A.D., SPACKMAN, W. & DOLSEN, P. 1983. Occurrence and distribution of sulfur in peat-forming environments of southern Florida. In: R.Jr. RAYMOND & M.J. ANDREJKO (eds), *Mineral Matter In Peat* (Los Alamos, Oktober 1983): 87-112.
- DIESSEL, C. 1992. *Coal-bearing depositional systems*, 721pp. (Springer Berlin).
- DOUSOS, T., KONTOPOULOS, N. & POULIMENOS, G. 1988. The Corinth-Patras rift as the initial stage of continental fragmentation behind the active island arc (Greece). *Basin Res.* 1, 177-190.
- FOSCOLOS, A.E., GOODARZI, F., KOUKOUZAS, C.N. & HATZIYANNIS, G. 1989. Reconnaissance study of mineral matter and trace elements in Greek lignites. *Chem. Geol.* 76, 107-130.
- FRYDAS, D. 1989. Biostratigraphische Untersuchungen aus dem Neogenen der NW- und W-Peloponnes, Griechenland. *N. Jb. Geol. Paläont.* 6, 321-344.
- GEORGAKOPOULOS, A. & VALCEVA, S. 2000. Petrographic characteristics of Neogene lignites from the Ptolemais and Servia basins, Northern Greece. *Energy Sources* 22, 587-602.
- INTERNATIONAL COMMITTEE FOR COAL PETROLOGY (ICCP) 1993. *International Handbook of Coal Petrography, Supplement*, Commission I, 19 pp.
- ΚΑΛΑΪΤΖΙΔΗΣ, Σ., ΜΠΟΥΖΙΝΟΣ, Α. & ΧΡΗΣΤΑΝΗΣ, Κ. 1998. Το παλαιοπεριβάλλον σχηματισμού του Άνω Ξυλιτικού Ορίζοντα στο λιγνιτικό κοιτάσμα Πτολεμαΐδας. Πρακτικά 8^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου ΕΓΕ, Δελ. Ελλ. Γεωλ. Ετ. XXXII/2, 289-297.
- ΚΑΛΑΪΤΖΙΔΗΣ, Σ., ΜΠΟΥΖΙΝΟΣ, Α. & ΧΡΗΣΤΑΝΗΣ, Κ. 2000. Το παλαιοπεριβάλλον λιγνιτογένεσης πριν και μετά την απόθεση της "Χαρακτηριστικής Αμμου" στο Λιγνιτικό Κοίτασμα Πτολεμαΐδας. *Ορυκτός Πλούτος* 115, 29-42.
- KALAITZIDIS, S. & CHRISTANIS, K. 2000. Petrography, mineralogy and geochemistry of the Holocene peat of the Philippi peatland, Hellas: Preliminary results. In: L. ROCHEFORT & J.Y. DAIGLE (eds), *Sustaining our Peatlands*, Proc. 11th International Peat Congress (Québec, 6-12 August 2000), vol. 2, 593-603.
- KAOURAS, G., ANTONIADIS, P., BLICKWEDE, H. & RIEGEL, W. 1991. Petrographische und palynologische Untersuchungen an Braunkohlen im Becken von Drama, Ostmakedonien (Griechenland). *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.* 3, 145-162.
- ΜΑΡΙΝΟΣ, Γ. 1951. Λιγνιτοφόροι λεκάναι βορείου Κορινθίας και Αιγιαλείας. Γεωλ. Αναγνωρίσεις, Υπ. Ερευνών Εδάφους, Έκθεσις, Αρ. 7, 1-20.
- MUKHOPADHYAY, P. 1989. *Organic petrography and organic geochemistry of Tertiary coals from Texas in*

- relation to depositional environment and hydrocarbon generation*. Report of Investigations, 118pp. (Bureau of Econ. Geol. Texas).
- MUNTZOS, Th. 1992. Palyno- und Palaoklima-Stratigraphie der pliozänen und altpleistozänen Sedimente der nördlichen und nordwestlichen Peloponnes (Hellas). *Newsl. Statigr.* 27(1/2), 71-91.
- PAPANICOLAOU, C., DEHMER, J. & FOWLER, M. 2000. Petrological and organic geochemical characteristics of coal samples from Florina, Lava, Moschopotamos and Kalavryta coal fields, Greece. *Int. J. Coal Geol.* 44, 267-292.
- PAPAZISIMOU, S., BOUZINOS, A., CHRISTANIS, K. & TZEDAKIS, P.C. 2000. The coastal asphalt fen of Keri, Zakynthos (Hellas). In: L. ROCHEFORT & J.Y. DAIGLE (eds), *Sustaining our Peatlands*, Proc. 11th International Peat Congress (Québec, 6-12 August 2000), vol. 1, 58-69.
- POULIMENOS, G., ZELILIDIS, A., KONTOPOULOS, N. & DOUTSOS, T. 1993. Geometry of trapezoidal fan deltas and their relationship to extensional faulting along the southwestern active margins of the Corinth rift, Greece. *Basin Res.* 5, 179-192.
- ΣΚΟΥΝΑΚΗΣ, Σ., Κούκουζας, Ν. & Βάγιας, Δ. 1991-92. Τα ορυκτά του θείου στο κοίτασμα λιγνιτών της περιοχής Παλαιοχωρίου Καλαβρύτων. *Ann. Geol. Pays Hell.* 35, 175-184.
- STACH, E., MACKOWSKY, M., TEICHMÜLLER, M., TAYLOR, G., CHANDRA, D. & TEICHMÜLLER, R. 1982. *Stach's Textbook of coal petrology*, 535pp. (Gebrüder Bornträger Berlin).
- ΤΣΟΦΛΙΑΣ, Π. 1984. *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, 1:50.000, φύλλο Χαλανδρίτσα*. (ΙΓΜΕ Αθήνα).
- TSOFLIAS, P. & IOAKIM, Ch. 1992. Le Plio-Pliocène de la bordure nord de Peloponèse (Grèce Meridionale): Stratigraphie, Microflore et Tectonique. *Τμητική έκδοση για τον ομότ. καθηγ. ΕΜΠ και ακαδημαϊκό Λ. Μούσουλο*, 273-283 (Ε.Μ.Π. Αθήνα).