ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ, ΑΝΘΡΑΚΟΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΙ ΠΑΛΑΙΟΒΟΤΑΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ ΑΧΛΑΔΑΣ Ν. ΦΛΩΡΙΝΗΣ

Διδακτορική Διατριβή

Ιωάννης Κ. Οικονομόπουλος

Αθήνα, Φεβρουάριος 2010

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Ορυκτολογική, Ανθρακοπετρογραφική και Παλαιοβοτανική Έρευνα του Λιγνιτικού Κοιτάσματος Αχλάδας Ν. Φλωρίνης

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ιωάννης Κ. Οικονομόπουλος

Αθήνα, Φεβρουάριος 2010

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Ορυκτολογική, Ανθρακοπετρογραφική και Παλαιοβοτανική Έρευνα του Λιγνιτικού Κοιτάσματος Αχλάδας Ν. Φλωρίνης

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ιωάννης Κ. Οικονομόπουλος

Συμβουλευτική Επιτροπή: Πρόδρομος Αντωνιάδης (Επιβλέπων)
Κίμωνας Χρηστάνης
Θεοδώρα Περράκη

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή στις 23/02/2010

Πρόδρομος Αντωνιάδης,	Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Κίμωνας Χρηστάνης,	Καθηγητής Παν/μίου Πατρών.
Θεοδώρα Περράκη,	Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.
Ανέστης Φιλιππίδης,	Καθηγητής Α.Π.Θ.
Αντρέας Γεωργακόπουλος,	Καθηγητής Α.Π.Θ.
Γεώργιος Ανδρουτσόπουλος,	Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Ευτέρπη Κοσκερίδου,	Επίκ. Καθηγήτρια Ε.Κ.Π.Α.

Ο επιβλέπων

Πρόδρομος Αντωνιάδης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2010

Copyright © Ιωάννης Κ. Οικονομόπουλος, 2010
Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

Στην οικογένεια μου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα διατριβή πραγματεύονται οι συνθήκες γένεσης και εξέλιξης του λιγνιτικού κοιτάσματος Αχλάδας, στο Νομό Φλώρινας, το οποίο συνιστά ένα από τα λίγα λιγνιτικά κοιτάσματα της Ελλάδος, που έχουν χαρακτηριστεί ως "ξυλιτικά". Η έρευνα εστιάστηκε στα παλαιοβοτανικά, ανθρακοπετρογραφικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου κοιτάσματος, τα οποία εξετάστηκαν με τη χρήση σύγχρονων αναλυτικών μεθόδων. Στόχο αποτέλεσε η πληρέστερη κατανόηση του χερσαίου οικοσυστήματος, της ευρύτερης περιοχής, μέσα στο οποίο σχηματίστηκε η λιγνιτοφορία, καθώς και οι διαφορετικοί τύποι παλαιοπεριβάλλοντος, που αναπτύχθηκαν κατά την εξέλιξη αυτής.

Η ερευνητική αυτή εργασία πραγματοποιήθηκε στα εργαστήρια της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στα εργαστήρια του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Πατρών, καθώς και στο Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ορυκτολογίας του Πανεπιστημίου της Κολωνίας.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Πρόδρομο Αντωνιάδη για την ανάθεση του εξαιρετικά ενδιαφέροντος θέματος της παρούσας έρευνας και για την πολύτιμη μετάδοση της εμπειρίας και των γνώσεων του. Πολύ περισσότερο όμως, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την ευγενική και ανθρώπινη συμπαράσταση του στην πολύχρονη αυτή ερευνητική διαδρομή.

Ξεχωριστά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Πατρών κ. Κίμωνα Χρηστάνη, μέλος της Συμβουλευτικής Επιτροπής, ο οποίος υπήρξε δίπλα μου οποιαδήποτε στιγμή και αν ζήτησα τη βοήθεια του, από τις πρώτες κιόλας ημέρες μου ως υποψήφιος διδάκτορας. Θέλω επίσης να τον ευχαριστήσω τόσο για τις πολύ όμορφες και εποικοδομητικές συζητήσεις που είχαμε στην πορεία της διατριβής αυτής, όσο και γιατί είχα την τιμή να καθοδηγούμε από έναν εξαίρετο επιστήμονα και δάσκαλο συνάμα.

Ένα μεγάλο και ειλικρινές "ευχαριστώ" μέσα από την καρδιά μου θα ήθελα να απευθύνω στην κα. Θεοδώρα Περράκη, Καθηγήτρια της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, μέλος της Συμβουλευτικής Επιτροπής της παρούσας διατριβής, η οποία στάθηκε δίπλα μου σαν πραγματική "μητέρα" σε ολόκληρη την πολυετή αυτή πορεία. Θέλω επίσης να την ευχαριστήσω τόσο για την πολύτιμη μετάδοση επιστημονικής γνώσης και εμπειρίας που διαθέτει, όσο και για την ψυχική υποστήριξη που μου πρόσφερε απλόχερα δίνοντας μου με τον τρόπο της ώθηση για να ανέβω το επόμενο σκαλοπάτι της κλίμακας που οδήγησε στην ολοκλήρωση της διατριβής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα άλλα τέσσερα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής, τους Καθηγητές κύριο Φιλιππίδη Ανέστη και κύριο Γεωργακόπουλο Αντρέα του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, τον Καθηγητή κύριο Ανδρουτσόπουλο Γεώργιο της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π, αλλά και την Επίκουρο Καθηγήτρια Κοσκερίδου Ευτέρπη του Τμήματος Γεωλογίας του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, για τις άκρως εποικοδομητικές συμβουλές και υποδείξεις που μου έκαναν, προκειμένου για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής.

Ιδιαίτερες και ξεχωριστές ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στον Δρ. Καούρα Γεώργιο για την πολύτιμη συνεισφορά του σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διατριβής. Με το Γιώργο πορευτήκαμε και αντιμετωπίσαμε μαζί τις δυσκολίες που προέκυψαν σε διάφορα θέματα τόσο σε πρακτικό (εργαστηριακή υποδομή), όσο και σε ερευνητικό επίπεδο. Το πιο σημαντικό όμως είναι ότι μέσα από τη συνεργασία μας απέκτησα έναν πραγματικό φίλο και γνώρισα από κοντά έναν υπέροχο άνθρωπο.

Στην επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας συνέβαλαν επίσης οι ακόλουθοι, που τους ευχαριστώ θερμά:

- *τον καθηγητή Κωνσταντίνο Τσακαλάκη της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την βοήθεια του προσφέροντας τον απαραίτητο εργαστηριακό εξοπλισμό για τον εμπλουτισμό συγκεκριμένων δειγμάτων καθώς και τον μαγνητικό διαχωρισμό αυτών.*
- *τους Prof. Werner Ricken και Δρ. Νικόλαο Τουγκιαννίδη του Institute of Geology and Mineralogy of Cologne University για την πολύτιμη βοήθεια τους στην έρευνα πεδίου.*
- *τον Prof. Haino Uwe Kasper για τις χημικές αναλύσεις που πραγματοποίησε στα εργαστήρια του Institute of Geology and Mineralogy of Cologne University.*
- *τους μηχανικούς μεταλλείων του λιγνιτωρυχείου της Αχλάδας, Θανάση Μπαλή και Ορέστη Γραμμενόπουλο για την βοήθεια τους κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας.*

Ευχαριστίες επίσης εκφράζονται προς το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (Ι.Κ.Υ.), για τη χορήγηση υποτροφίας, καθώς επίσης το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο για τη χορήγηση υποτροφίας ενός (1) έτους από τον Ειδικό Λογαριασμό Έρευνας (Ε.Λ.Ε.).

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο καθηγητή του Ε.Μ.Π. Ιωάννη Κυρούση και τη Λέκτορα του Ε.Μ.Π. Μαρία Περράκη για την ανθρώπινη και ευγενική τους στήριξη όλα τα χρόνια της πορείας μου αυτής. Θα ήθελα επίσης να απευθύνω ευχαριστίες σε όλα τα οργανικά μέλη (Δ.Ε.Π., Ε.Ε.Δ.Ι.Π., Ε.Τ.Ε.Π. Ι.Δ.Α.Χ., Υ.Δ. κ.τ.λ.) της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την βοήθεια που μου έδωσαν, ο καθένας ξεχωριστά, σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διατριβής.

Τα πιο ζεστά ευχαριστώ θα ήθελα να δώσω σε όλους τους αδερφικούς μου φίλους: Γιώργο Κατσάνη, Χριστόφορο Μαγουλά, Νίκο Γκερμπινή, Αντώνη Λιάσκο, Ελένη Ελιμιώτη, Δημήτρη Μαγουλά, Μαρία Αλαγιάννη, Κώστα Κατσάνη, Τζένη Ιαλιούτη, Γεωργία Ιαλιούτη, Θωμά Καραχάλιο, Θανάση Καπλάνη, Γιάννη Αγιούς, Ηλία Αλεξόπουλο και φυσικά το Βασίλη μου (Κωστούλα), το Φρατέ μου, τη Ρούλα μου και τον εκπληκτικό Στέφανο Παπαδάκη, οι οποίοι συνέβαλαν ο καθένας με τον δικό του τρόπο στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής και τους οποίους "κούρασα", όπως λένε χαριτολογώντας, με όλη αυτή την πολύχρονη πορεία.

Επίσης ευχαριστώ όλους όσους με τον τρόπο τους βοήθησαν στη συγγραφή της παρούσας εργασίας κατά την πεντάμηνη παραμονή μου στον 80 ΛΜΧΕΘ. Ιδιαίτερα όμως θα ήθελα να ευχαριστήσω δύο άτομα τα οποία στάθηκαν πραγματικά στο πλάι μου καλύτερα και από τον ίδιο μου τον εαυτό. Τον Ιορδάνη Κανάκη για το πολύ ζεστό και φιλικό περιβάλλον που μου πρόσφερε την περίοδο που εργαστήκαμε στο ίδιο γραφείο, καθώς και τον Γιώργο Σκιαδά για την πραγματική, ειλικρινή και ανιδιοτελή φιλία που μου προσέφερε απλόχερα.

Στην πορεία αυτή της διατριβής μου έκανα επίσης μια πολύ δυνατή και πραγματική φιλία. Θέλω λοιπόν να ευχαριστήσω ξεχωριστά τον Δημήτρη Τσιάκαλο για την πραγματικά ασύλληπτη ψυχική και υλική βοήθεια που μου χάρισε σε όλο αυτό το δύσκολο ταξίδι. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τη γυναίκα του και στενή μου φίλη Κική Αρέστη για τις όμορφες συζητήσεις που κάναμε όλο αυτό το διάστημα έχοντας πάντα την αμέριστη στήριξη της.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα επίσης να πω στη θεία μου Αναστασία, το θείο μου Παναγιώτη και την ξαδέρφη μου Στέλλα Μπιθυμίτρη για τη συνεχή στήριξη, το ενδιαφέρον και την αγάπη που μου έδωσαν όλα αυτά τα χρόνια. Ξεχωριστά θέλω να αναφερθώ και να ευχαριστήσω τον (ξ)άδερφό μου Γιώργο Μπιθυμίτρη, υποψήφιο διδάκτορα στο Πάντειο Πανεπιστήμιο, η πορεία του οποίου αποτέλεσε για εμένα φωτεινό παράδειγμα ήθους και εργατικότητας ώστε να συνεχίσω να πορεύομαι απρόσκοπτα για την επίτευξη του στόχου μου. Τον ευχαριστώ διότι ήταν πάντοτε δίπλα μου με ουσιαστικές συζητήσεις και κατάθεση ψυχής προκειμένου να καταφέρω να αντιμετωπίσω οποιαδήποτε δυσκολία μου παρουσιάστηκε στον πολυετή αυτό αγώνα.

Ένα "ευχαριστώ" ανθισμένο με αγάπη και σεβασμό θα ήθελα να φωνάξω στην μεγάλη μου οικογένεια Κωνσταντίνο και Μαρία (Καλύβια), Μαίρη και Γιώργο (Κέρκυρα) και φυσικά Χαρούλα την αδερφή μου, για όλα αυτά που μου πρόσφεραν κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής και τα οποία δεν υπάρχουν λέξεις να τα κατονομάσω. Με στήριξαν υλικά και ψυχικά σε όλες τις στιγμές της πορείας μου. Σας ευχαριστώ πιο πολύ από ότι εννοεί η ίδια η λέξη, είσαστε υπέροχοι όλοι σας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την πριγκίπισσα των ξωτικών, η οποία ήρθε και στάθηκε δίπλα μου δίνοντας ξανά πνοή στο όνειρο της δημιουργίας. Ένα ευχαριστώ αναδυόμενο από το πιο βαθύ "είναι μου".

Αθήνα, Φεβρουάριος 2010

Ιωάννης Κ. Οικονομόπουλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ελληνική χερσόνησος αποτελεί μια περιοχή με έντονη νεοτεκτονική δραστηριότητα, στην οποία απαντάται ένας μεγάλος αριθμός λιγνιτικών αποθέσεων. Κατά τη διάρκεια του Νεογενούς και Τεταρτογενούς σχηματίστηκαν οι σημαντικότερες, από οικονομική άποψη, λιγνιτικές αποθέσεις όπως είναι της Φλώρινας, Πτολεμαΐδας, Μεγαλόπολης και Δράμας.Η μελέτη των συνθηκών σχηματισμού λιγνιτικών κοιτασμάτων σε συγκεκριμένα γεωλογικά περιβάλλοντα παρέχει πληροφορίες, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο κατά το στάδιο αναζήτησης νέων κοιτασμάτων λιγνίτη, όσο και μετέπειτα κατά την αξιοποίησή τους.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός του τύπου παλαιοπεριβάλλοντος και των διαφορετικών ζωνών βλάστησης αυτού, κατά τον σχηματισμό και την εξέλιξη του λιγνιτικού κοιτάσματος της Αχλάδας (Φλώρινα), η υποδιαίρεση της ομάδας του ξυλιτικού λιθότυπου σε επιμέρους λιθότυπους, όπως επίσης και ο ρόλος των ενδιάμεσων ανόργανων ιζημάτων, που εμφανίζονται στη συγκεκριμένη λιγνιτοφόρο ακολουθία.

Επί πλέον, εκτιμήθηκε η δυνατότητα αξιοποίησης των ενδιάμεσων στείρων της εν λόγω λιγνιτοφορίας, για την παρασκευή δομικών κεραμικών.

Για την επίτευξη των παραπάνω συνδυάστηκαν και ερμηνεύτηκαν τα παλαιοβοτανικά, αναθρακοπετρογραφικά και ορυκτολογικά αποτελέσματα καθώς και οι μακροσκοπικές παρατηρήσεις στην ύπαιθρο.

Από την έρευνα πεδίου προέκυψε, ότι ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του λιγνιτικού κοιτάσματος της Αχλάδας είναι το πολύ υψηλό ποσοστό ξυλίτη, είτε ως άμορφη ξυλιτική μάζα, είτε με πολύ καλά διατηρημένες οριζόντιες στρώσεις, το πάχος των οποίων κυμαίνεται από 2 έως 12 cm. Η ξυλιτική αυτή υφή συμπληρώνεται με την εμφάνιση μικρών ξυλιτικών θραυσμάτων μέσα στη λιγνιτική μάζα, όπως επίσης και με την απόθεση ριζών, κλαδιών και κορμών δέντρων. Εντοπίστηκαν, επίσης, θέσεις στις οποίες παραμένουν “in situ” μέχρι σήμερα μεγάλου μεγέθους όρθιοι κορμοί δέντρων.

Η λιγνιτοφόρος ακολουθία που μελετήθηκε σχηματίστηκε σε δασοτυρφώνα, που αναπτύχθηκε στην περιοχή του πεδίου πλημμύρας του μαιανδρικού ποτάμιου συστήματος, το οποίο διέρρεε την ευρύτερη περιοχή της Αχλάδας, ενώ από τη μακροσκοπική περιγραφή των λιγνιτικών οριζόντων προέκυψε ότι αυτοί συνίστανται, κυρίως, από τους λιθότυπους ξυλίτη, μαζώδους λιγνίτη και μεικτού ξυλιτικού/μαζώδους λιγνίτη.

Από τους ανθρακοπετρογραφικούς προσδιορισμούς προέκυψε ότι επικρατεί η ομάδα του χουμινίτη (60,7-98,2%), ακολουθεί η ομάδα του λειπτινίτη (1,8-38,3%) και σε πολύ

μικρά ποσοστά απαντά η ομάδα του ινερτινίτη (≤2,9%). Με βάση τα παραπάνω, η τυρφογένεση πραγματοποιήθηκε κάτω από υγρές και ανοξικές συνθήκες, ευνοϊκές τόσο για την καλή διατήρηση των κυτταρικών ιστών, όσο και για τη ζελατινοποίηση της οργανικής ύλης, ενώ επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό από διάφορους παράγοντες όπως π.χ. η απόσταση της θέσης απόθεσης από το κύριο κανάλι του μαιανδρικού ποτάμιου συστήματος.

Από τα παλαιοβοτανικά στοιχεία προέκυψε ότι το τυρφογενετικό φυτικό υλικό προήλθε τόσο από περιβάλλον δάσους μεικτής δενδρώδους βλάστησης, όσο και από βλάστηση χαρακτηριστική της περιοχής του καλαμοτυρφώνα. Τα δύο αυτά περιβάλλοντα εναλλάσσονταν, συνεχώς, μεταξύ τους με περιόδους μετάβασης από περιβάλλον "καλαμοτυρφώνα" σε περιβάλλον "ανοικτών νερών". Τα λιγνιτικά στρώματα προήλθαν από χερσαία ανώτερα φυτά, κυρίως δενδρώδη και ποώδη Αγγειόσπερμα. Εξίσου σημαντική θεωρείται και η συμμετοχή των Γυμνόσπερμων δέντρων. Συγκεκριμένα, η Αγγειόσπερμη δενδρώδης βλάστηση εκπροσωπείται από τους γυρεόκοκκους των *Quercus*, *Acer*, Cyrillaceae, *Carea*, Ulmaceae, *Ulmus*, *Juglans*, *Tilia*, *Alnus*, *Myrica*, *Castanea*, *Corylus*, *Carpinus*, *Ostrya*, *Salix*, *Betula*, Betulaceae, Palmae, *Pterocarya* sp. και *Fraxinus*, όπως επίσης και από τα σπέρματα και τους καρπούς των *Meliosma pliocenica*, M. *wetteraviensis*, και M. sp.,. Αντίστοιχα, η Γυμνόσπερμη δενδρώδης βλάστηση συνίσταται κυρίως από Taxodiaceae, *Taxodium*, *Picea*, Pinaceae, *Pinus*, *Abies*, *Cedrus*, *Tsuga*, Cupressaceae και *Juniperus*, όπως επίσης και από σπέρματα και καρπούς των *Glyptostrobus europaeus* και G. sp.,. Η ποώδης βλάστηση αντιπροσωπεύεται από τους γυρεόκοκκους Chenopodiaceae, Gramineae, Ericaceae, Compositae, *Ephedra* και Umbelliferae και από τα σπέρματα και τους καρπούς *Batrachium* sp., *Sparganium* sp., *Decodon gibbosus*, D. sp., *Epipremnites ornatus*, *Actinidia* sp., *Rubus* sp., *Sambucus pulchella*, *S.* sp.1, *S.* sp.2, aff. *Symplocos lusaticum* και *Vitis* sp. Οι σπόροι των Πτεριδόφυτων εκπροσωπούνται από τα Polypodiaceae και Osmundaceae, ενώ απαντήθηκαν τα υδρόφιλα φυτά Nymphaceae, *Nymphaea neogenicus neogenicus*, *Myriophyllum*, *Nuphar*, Cyperaceae και Comaceae, όπως επίσης και *Potamogeton* sp., *Potamogeton* cf. *piestanensis*, *Taddalia* sp. και *Nyssa* sp. Γενικά, η βλάστηση ομοιάζει με αυτήν από την οποία προήλθε το λιγνιτικό κοίτασμα της Βεύης (Φλώρινα) και του Αλιβερίου (Εύβοια).

Οι φυτοκοινωνίες, που αναπτύχθηκαν, στην περιοχή που μελετήθηκε, υποδηλώνουν, κατά κύριο λόγο, υγρές και θερμές κλιματικές συνθήκες με περιστασιακή εμφάνιση πιο ξηρών περιόδων, ενώ η ύπαρξη του γένους *Nymphaea neogenicus neogenicus* υποδηλώνει ότι το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας σχηματίστηκε κατά τη διάρκεια του Κατώτερου Πλειόκαινου.

Η ορυκτολογική σύσταση των λιγνιτικών και των ενδιάμεσων ανόργανων οριζόντων της συγκεκριμένης λιγνιτοφόρου ακολουθίας προσδιορίστηκε με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD), φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR) και διαφορική θερμική (DTA) και θερμοβαρυτομετρική (TG/DTG) ανάλυση. Το ανόργανο μέρος του λιγνίτη αποτελείται κύρια από αργιλοπυριτικά ορυκτά, τα οποία εισέρχονταν στον παλαιοτυρφώνα με τα επιφανειακά νερά. Τα ανθρακικά ορυκτά συμμετέχουν με πολύ μικρό ποσοστό, ενώ αξιοσημείωτη είναι η παρουσία του σιδηρίτη. Από τα αυθιγενή ορυκτά, η γύψος εμφανίζεται στους περισσότερους ορίζοντες, ενώ ο σιδηροπυρίτης απαντά με μικρότερη συχνότητα. Στα ενδιάμεσα ανόργανα ιζήματα, από τα αργιλικά ορυκτά επικρατεί ο ιλλίτης-μοσχοβίτης, ενώ σε μικρότερα ποσοστά απαντούν ο καολινίτης και ο χλωρίτης. Σε κανένα από τα δείγματα δεν ταυτοποιήθηκε σμεκτίτης. Από τα μη αργιλικά ορυκτά επικρατούν ο χαλαζίας και οι άστριοι, ενώ σημαντική είναι και η παρουσία του σιδηρίτη.

Από την εκτίμηση της δυνατότητας αξιοποίησης των στείρων υλικών της παραπάνω λιγνιτοφόρίας, για την παρασκευή δομικών κεραμικών προϊόντων, προέκυψε ότι οι συγκεκριμένες πρώτες ύλες κρίνονται, κατ' αρχήν, κατάλληλες για την παρασκευή έγχρωμων κεραμικών προϊόντων τύπου "γκρε". Συγκεκριμένα, κατά την έψηση των εν λόγω δοκιμίων από τους ~900 ^{o}C, αρχίζει η υαλοποίηση του υλικού και η δημιουργία κρυσταλλικών φάσεων, όπως Al,Si-σπινελίων και αιματίτη (a-Fe_2O_3). Στους ~1100 ^{o}C αρχίζει να επικρατεί η υαλώδης μάζα, η οποία περιβάλλει τις νεοσχηματισθείσες φάσεις και υπολείμματα κρυστάλλων χαλαζία και αστρίων, ενώ στους ~1200 ^{o}C, αρχίζει να δημιουργείται μουλίτης ($3Al_2O_3$*$2SiO_2$).

Συνοψίζοντας, με βάση όλα τα παραπάνω προέκυψε ότι:

- Το χερσαίο οικοσύστημα, στο οποίο σχηματίστηκε το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας, συνιστά ένα παλαιοπεριβάλλον, το οποίο χωρίζεται σε τρία επιμέρους ανεξάρτητα τμήματα: το κύριο κανάλι ενός μαιανδρικού ποτάμιου συστήματος (main channel), το πεδίο πλημμύρας αυτού (floodplain) και μία ημισελινοειδή λίμνη (oxbow-lake). Κατά τον σχηματισμό και την εξέλιξη του παλαιοτυρφώνα στο πεδίο πλημμύρας και την ημισελινοειδή λίμνη, επικρατούσαν τελματικές/λιμνοτελματικές συνθήκες και παράλληλα λάμβαναν χώρα περιοδικά πλημμυρικά επεισόδια με απόθεση λεπτόκοκκων ιζημάτων.
- Επιπρόσθετα, τα ενδιάμεσα ανόργανα υλικά της συγκεκριμένης λιγνιτοφορίας κρίνονται, κατ' αρχήν, κατάλληλα για την παρασκευή έγχρωμων κεραμικών προϊόντων τύπου "γκρε", τόσο με βάση την προβολή τους σε κατάλληλα τριγωνικά διαγράμματα, όσο και από τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής εξέτασης των ψημένων δοκιμίων.

ABSTRACT

The Greek peninsula is an area where vivid neotectonic activity takes place and many lignite deposits are located. During the period from the Neogene to the Quaternary were formed the most economically important lignite deposits in Greece, such as Florina, Ptolemais, Megalopolis and Drama. The study of the coal-forming conditions provides information useful in exploration and utilization of this economically important raw material.

The aim of the present study is the specification of the palaeoenvironment type and its different vegetation zones that evolved during the formation and evolution of the Achlada lignite deposits (Florina), the subdivision of xylitic lithotype of lignite to independent sub-lithotypes, as well as the role of the intercalated inorganic seams that appear in the same lignite-bearing sequence. In addition, it was evaluated the industrial use of intercalated inorganic horizons in ceramic industry.

For this purpose many palaeobotanical, coalpetrographical and mineralogical results were combined and interpreted, while the field observations gave crucial data.

A main characteristic of the Achlada lignite deposits is the high contribution of xylite lithotype in many deferent forms such as xylite mass and xylite horizons which present thickness from 2 cm to12 cm. The xylitic texture is accomplished by the presence of small xylite parts inside the lignite mass as well as roots, brenches and stems. There are also positions where in-situ huge endwise stems are present.

The studied lignite-bearing sequence was formed in a forest swamp environment on the floodplain area of a meandering river system that was flowing the Achlada area. The macroscopic description of lignite horizons resulted in the classification of the organic mater into three main lithotypes: the xylite, the matrix and the mixed tissue/matrix lithotype.

According to the macerals analysis the prevailing maceral group is huminite (60,7-98,2%%). Liptinite contents range up to 38,3%, while inertinite content is very low (≤2,9%). These macerals contents imply that peat formation in the studied area took place under wet and anoxic conditions favorable to fine cell tissue preservation and gellification of the organic matter. The overall maceral composition of the studied lignite affected by many different factors such as the distance of the deposition site from the main channel of the meandering river system.

The palaeobotanical data imply that peat-forming vegetation derives so from mixed forest palaeoenvironment as the reedmoor one. Moreover, during the evolution of the palaeomire these two palaeoenvironments were alternating one another, while the reedmoor

was periodically toggled to open water one. The lignite seams derive from terrestrial higher plants mainly arboreal and herbaceous Gymnosperms and Angiosperms. In details, the Angiosperm arboreal vegetation is represented by the pollen grains of *Quercus*, *Acer*, Cyrillaceae, *Carea*, Ulmaceae, *Ulmus*, *Juglans*, *Tilia*, *Alnus*, *Myrica*, *Castanea*, *Corylus*, *Carpinus*, *Ostrya*, *Salix*, *Betula*, Betulaceae, Palmae, *Pterocarya* sp. and *Fraxinus*, as well as seeds and fruits of *Meliosma pliocenica*, M. *wetteraviensis*, and M. sp.,. Moreover, the Gymnosperm arboreal vegetation mainly consists of Taxodiaceae, *Taxodium*, *Picea*, Pinaceae, *Pinus*, *Abies*, *Cedrus*, *Tsuga*, Cupressaceae and *Juniperus*, as well as seeds and fruits of *Glyptostrobus europaeus* and G. sp.,. The herbaceous vegetation is represented by the pollen grains of Chenopodiaceae, Gramineae, Ericaceae, Compositae, *Ephedra* and Umbelliferae and the seeds and fruits of *Batrachium* sp., *Sparganium* sp., *Decodon gibbosus*, D. sp., *Epipremnites ornatus*, *Actinidia* sp., *Rubus* sp., *Sambucus Pulchella*, *S.* sp.1, *S.* sp.2, aff. *Symplocos lusaticum* and *Vitis* sp. The fern spores comprises Polypodiaceae and Osmundaceae, while the aquatic plants Nymphaceae, *Nymphaea neogenicus neogenicus*, *Myriophyllum*, *Nuphar*, Cyperaceae and Comaceae as well as *Potamogeton* sp., *Potamogeton* cf. *piestanensis*, *Taddalia* sp. and *Nyssa* sp., are present. In comparison to other lignite deposits the vegetation type from which the Achlada lignite horizons were formed is analogous to the prime vegetation that gave rise to the formation of Vevi (Florina) and Aliveri (Evia) lignite deposits.

The plant communities that grew up in the studied area imply wet and warm climatic conditions with occasional dry periods; while the presence of the genera *Nymphaea neogenicus neogenicus,* indicates that the Achlada lignite deposits were formed during lower Pliocene.

The mineralogical composition of both lignite and inorganic intercalated horizons of the lignite-bearing sequence was investigated by means of X-ray diffraction (XRD), fourier transform infra-Red (FT-IR) spectroscopy and thermo-gravimetric (TG/DTG) and differential thermal analysis (DTA). The mineral mater of lignite consists mainly of alumino-silicate minerals that were introduced occasionally into the palaeomire by surface waters during flooding events. The carbonate minerals are almost absent except from siderite, while for authigenic minerals; on the one hand the pyrite displays low content, on the other hand gypsum is present in the majority of the lignite horizons. In addition, the clay minerals prevail in all inorganic intercalated seams with illite being the dominant phase, kaolinite and chlorite to be the next. No smectite was found. The other mineral phases identified are mainly quartz and feldspars, while the presence of siderite is also remarkable.

The evaluation of intercalated inorganic horizons of Achlada lignite-bearing sequence for industrial use in ceramic industry showed that these specific raw materials are appropriate for the production of red-stoneware products. In details, during the heating of these raw materials their vitrification begins from ~900 ^{o}C, while new mineral phases such as Al,Si-spinel and hematite (a-Fe_2O_3) are observed. At the temperature of ~1100 ^{o}C the glaze mass prevail, enclosing both the new-formed mineral phases and rests of quartz and feldspars crystals. At the temperature of ~1200 ^{o}C the formation of mullite is observed ($3Al_2O_3$*$2SiO_2$).

As a whole:

- The Achlada lignite deposits can be divided into three different palaeoenvironments: the main river channel, the floodplain of the river system, and the oxbow lake. The floodplain model, in combination with the formation of the oxbow lake within the abandoned channel, represents a landscape with predominantly telmatic/limnotelmatic conditions and periodical flood episodes together with the deposition of fine sediments.
- Additionally, so the classification of inorganic raw materials on adaptable ternary diagrams as the results of their mineralogical analysis of the heated samples indicate that these particular materials are appropriate for the production of red-stoneware products in ceramic industry.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελ

Πρόλογος……..i
Περίληψη……v
Abstract……viii

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ……..……1

2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ……...…….4

3. ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ…....6
3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ……..……6
3.1.1 Γεωτεκτονικό καθεστώς περιοχής έρευνας……...……..6
3.1.2 Στρωματογραφία της ευρύτερης περιοχής έρευνας…….……..……9
3.1.2.1 Σχηματισμοί υποβάθρου……..…9
3.1.2.2 Ιζηματογενείς σχηματισμοί…….……9
3.1.2.3 Στρωματογραφική εξάπλωση των ιζημάτων της περιοχής έρευνας……..13
3.2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ……..……..19

4. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ……..21

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ……..……22
5.1 ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ – ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ……....22
5.1.1 Ταξινόμηση οργανικών ιζημάτων……...24
5.1.1.1 Ταξινόμηση του ξυλιτικού λιθότυπου του λιγνίτη της Αχλάδας σε υπο-Λιθότυπους……27
5.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ……..32
5.2.1 Προσεγγιστική και άμεση ανάλυση……32
5.2.1.1 Προσδιορισμός υγρασίας.....32
5.2.1.2 Προσδιορισμός τέφρας……..33
5.2.1.3 Άμεση ανάλυση……33
5.2.2 Ανθρακοπετρογραφική ανάλυση……34
5.2.2.1 Προετοιμασία στιλπνών τομών……..34
5.2.2.2. Προσδιορισμός οργανικών δομικών συστατικών (macerals)……...35
5.2.3 Παλαιοβοτανική (παλυνολογική και παλαιοκαρπολογική) ανάλυση……...36
5.2.3.1 Προετοιμασία δειγμάτων για παλαιοβοτανικές αναλύσεις……36
5.2.4 Ορυκτολογική ανάλυση……37
5.2.4.1 Περιθλασιμετρία ακτίνων Χ [X-ray Diffraction (XRD)]……...37
5.2.4.2 Φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας [Fourier Transform Infrared spectroscopy (FT-IR)]……..39
5.2.4.3 Διαφορική θερμική (DTA) και θερμοβαρυτομετρική (TG/DTG) Ανάλυση……40

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ……..41
6.1 ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ – ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ……41
6.2 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΜΕΣΗ ΑΝΑΛΥΣΗ……93
6.2.1 Συσχετισμός ατομικών λόγων H/C και O/C……..96
6.3 ΑΝΘΡΑΚΟΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ……...……100
6.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά των maceral……...…100

6.3.2 Ταξινόμηση των maceral……..101
6.3.2.1 Η ομάδα του χουμινίτη……101
6.3.2.2 Η ομάδα του ινερτινίτη……..…105
6.3.2.3 Η ομάδα του λιπτινίτη……..…105
6.3.3 Αποτελέσματα των ανθρακοπετρογραφικών προσδιορισμών……106
6.3.4 Παλαιοπεριβάλλοντα σχηματισμού του λιγνίτη υης Αχλάδας……109
6.4 ΠΑΛΑΙΟΒΟΤΑΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ……..……124
6.4.1 Γενικά……124
6.4.2 Αποτελέσματα παλυνολογικών προσδιορισμών……...126
6.4.3 Αποτελέσματα παλαιοκαρπολογικών προσδιορισμών…….…...135
6.4.4. Σύνοψη παλαιοβοτανικών αποτελεσμάτων…….……138
6.5 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ…….…..141
6.5.1. Εξέταση με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ……141
6.5.1.1. Οργανικά ιζήματα (λιγνιτοφόροι ορίζοντες)……..……141
6.5.1.2. Ενδιάμεσα ανόργανα ιζήματα ……..…...144
6.5.2 Εξέταση με φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR)…….……151
6.5.2.1. Οργανικά ιζήματα (λιγνιτοφόροι ορίζοντες) …….……152
6.5.2.2. Ενδιάμεσα ανόργανα ιζήματα ……..160
6.5.3 Εξέταση των ενδιάμεσων ανόργανων ιζημάτων με θερμική ανάλυση (TG/DTG και DTA)……...…….……162
6.5.4 Μετατροπές ορυκτολογικών φάσεων κατά την έψηση αργιλικών πρώτων υλών…….…....163
6.5.5 Τριγωνικά διαγράμματα για την παρασκευή παραδοσιακών κεραμικών προϊόντων…….……...168
7. ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ…….……...172
8. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΑ ΝΕΟΓΕΝΗ ΛΙΓΝΙΤΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ…..180
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ……..…..…186
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ…….……..190
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: Πίνακες
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: Διαγράμματα XRD
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: Διαγράμματα FTIR
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: Διαγράμματα TG/DTG/DTA
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V: Φωτογραφίες

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι γαιάνθρακες έχουν μελετηθεί ιδιαίτερα, ως καύσιμη ύλη, λόγω της συμβολής τους στην εξέλιξη και ανάπτυξη της ανθρωπότητας. Για κάθε προσπάθεια αναπαράστασης του παλαιο-περιβάλλοντος σχηματισμού ενός κοιτάσματος γαιάνθρακα, που πραγματοποιείται με βάση τα φυτικά υπολείμματα, απαραίτητη θεωρείται η γνώση των φυτών που το δημιούργησαν, ή εάν αυτά σήμερα εκλείπουν, των αντίστοιχων σημερινών συγγενών προς αυτά φυτών, από τα οποία δημιουργήθηκε το κοίτασμα.

Με τη μελέτη και καταγραφή των πλέον χαρακτηριστικών φυτών, αλλά και της εξέλιξης του φυτικού καλύμματος (χλωρίδας) μέσα στο χρόνο, μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα αναφορικά με την ιστορία ενός υγροβιότοπου, δεδομένου ότι υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ φυτού και περιβάλλοντος. Βάσει αυτής της σχέσης, η μελέτη της χλωρίδας, πέρα από τη φυτολογική επιστημονική γνώση, βοηθά συγχρόνως στην εξακρίβωση περιβαλλοντικών συνθηκών του γεωλογικού παρελθόντος, με την παραδοχή ότι η βιολογική αυτή σχέση ίσχυε πάντα. Μία γενική αρχή, η οποία διέπει τις γεωεπιστήμες, είναι ότι "το παρόν αποτελεί το κλειδί για τη μελέτη και ανίχνευση του παρελθόντος". Επίσης μελετώντας τα στοιχεία της παλαιο-χλωρίδας κάθε περιοχής κατά την οριζόντιο και την κατακόρυφο, αντλούνται χρήσιμα στοιχεία από πλευράς εξάπλωσης και σύνθεσης των φυτοκοινωνιών του παρελθόντος τοπικά και χρονικά. Δεδομένου ότι η σύσταση του εδάφους διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη της βλάστησης μιας περιοχής, ο συσχετισμός των δύο σε μια περιοχή, όπου έχουν σχηματισθεί γαιάνθρακες αποκτά σημαντικό ενδιαφέρον. Τέλος οι χαρακτηριστικές φυτοκοινωνίες, εκτός από την πληροφορία σχετικά με τις συνθήκες του παλαιοπεριβάλλοντος, παρέχουν και στρωματογραφικά στοιχεία, όταν αυτά δεν μπορούν να αντληθούν από τα μεμονωμένα απολιθώματα. Αναφέρονται άλλωστε στη διεθνή βιβλιογραφία χαρακτηριστικές φυτοκοινωνίες γεωλογικών περιόδων, όπως αυτές Μειοκαινικής και Πλειοκαινικής ηλικίας (Katz et al., 1965, Knobloch, 1981), εποχές μάλιστα που ενδιαφέρουν ιδιαίτερα την Ελλάδα.

Στον ελλαδικό χώρο έχουν παρατηρηθεί εκτεταμένες εμφανίσεις γαιανθράκων, με τη μελέτη των οποίων έχει ασχοληθεί πλήθος ερευνητών από όλο τον κόσμο.

Κατά τη διάρκεια του Νεογενούς, αλλά και του Τεταρτογενούς γενικότερα, ο ελλαδικός χώρος χαρακτηριζόταν από έντονη νεοτεκτονική δραστηριότητα, η οποία είχε ως αποτέλεσμα να αναπτυχθεί ένα μεγάλος αριθμός κύριων και δευτερευόντων ρηγμάτων, οδηγώντας στο σχηματισμό απομονωμένων ενδοηπειρωτικών ή παράκτιων λεκανών. Απ' αυτές οι

ηπειρωτικές αποτελούν το 70% περίπου των νεογενών λιγνιτοφόρων λεκανών, ενώ οι παράκτιες αποτελούν αντίστοιχα το υπόλοιπο 30%.

Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα παράκτιων σχηματισμών στη χώρα μας παρατηρούνται τόσο κατά το Λιθανθρακοπέρμιο, όσο και κατά το Τριτογενές-Τεταρτογενές. Οι σχηματισμοί Λιθανθρακοπερμικής ηλικίας συνιστούν μικρές εμφανίσεις χωρίς κανένα οικονομικό ενδιαφέρον και περιορίζονται σε τρία σημεία, τα Καρδάμυλα της Χίου, την Κεντρική Εύβοια και τη Μονεμβασιά, ενώ μια τέταρτη, που εντοπίστηκε στην Ασαία Αρκαδίας, αναφέρεται στη βιβλιογραφία με το τοπωνύμιο "Καντρέβα". Πρόκειται για μικρών διαστάσεων φακοειδή σώματα πάχους μερικών εκατοστών μέχρι 1,20 m και μήκους λίγων μέτρων.

Τα παράκτια κοιτάσματα Τριτογενούς-Τεταρτογενούς ηλικίας έχουν μελετηθεί από πλήθος ερευνητών. Οι Antoniadis et al. (1982) μελέτησαν την ανθρακοπετρογραφική σύσταση του λιγνίτη στο Χωματερό Κορώνης στη ΝΔ Πελοπόννησο. Οι Gentzis et al. (1996) πραγματοποίησαν ανθρακοπετρογραφικούς, ορυκτολογικούς και γεωχημικούς προσδιορισμούς σε παράκτιες λιγνιτικές αποθέσεις από την Κρήτη. Οι Kalaitzidis et al. (2001) μελέτησαν τον παράκτιο λιγνίτη του Γκραίκα στη Β. Πελοπόννησο. Οι Papazisimou et al. (2000) μελέτησαν το ολοκαινικό έλος του Κεριού στη Ζάκυνθο ως σύγχρονο περιβάλλον παράκτιας τυρφογένεσης. Ο Παπαζησίμου (2003) μελέτησε τη γένεση και εξέλιξη του παράκτιου λιγνιτικού κοιτάσματος Μαγούλας στη ΒΔ Πελοπόννησο και τρεις εμφανίσεις παράκτιων λιγνιτικών αποθέσεων στις Τρύπες, τον Κουμουθέκρα και την Κυπαρισσία Μεσσηνίας.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα σημαντικότερα ελληνικά κοιτάσματα σχηματίστηκαν σε ηπειρωτικές που δεν είχαν καμιά επικοινωνία με τη θάλασσα. Στις λεκάνες αυτές, που βρίσκονται στο εσωτερικό της χέρσου, σχηματίσθηκαν τα μεγαλύτερα κοιτάσματα της χώρας, όπως είναι αυτά της Πτολεμαΐδας, Φλώρινας, Μεγαλόπολης κ.ά., χωρίς να έχουν ακόμη εξαντληθεί οι έρευνες τόσο σ' αυτές όσο και σε άλλες ηπειρωτικές λεκάνες, όπως π.χ. της Δράμας, όπου ανακαλύφθηκαν πρόσφατα τεράστια αποθέματα λιγνίτη.

Γεωχρονολογικά οι κύριες φάσεις σχηματισμού ορυκτών ανθράκων (ενδοειπηρωτικών λεκανών) συμπίπτουν με το Νεογενές (Μειόκαινο-Πλειόκαινο), στο οποίο ανήκουν το 77% των γνωστών λιγνιτικών κοιτασμάτων (με σημαντικότερα αυτά της Πτολεμαΐδας, Κοζάνης, Αλιβερίου κ.ά.) και κατά δεύτερο λόγο (14%) με το Τεταρτογενές (τα σημαντικότερα αυτών είναι τα τυρφοειδούς τύπου λιγνίτη κοιτάσματα της Μεγαλόπολης και της Δράμας, η τύρφη των Φιλίππων και της Έδεσσας). Αυτές οι λιγνιτικές αποθέσεις είναι πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας, καθώς παρέχουν τον κύριο όγκο πρώτης ύλης για ηλεκτροπαραγωγή

(Georgakopoulos et al., 2000, Koukouzas and Koukouzas, 1995, Papanicolaou et al., 2000, κ.ά.). Τα αποθέματα ανέρχονται σε 6,7 δισεκατομμύρια τόνους και από την καύση τους παράγεται το ~75% της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας.

Ο μεγαλύτερος όγκος των εργασιών μέχρι σήμερα, που αναφέρεται στα ελληνικά λιγνιτικά κοιτάσματα, σχετίζεται με τη μελέτη της ανθρακοπετρογραφικής σύστασης λιγνίτη και ξυλίτη, όπως επίσης και της παλαιοβοτανικής σύστασης αυτών, με στόχο την ερμηνεία του παλαιο-περιβάλλοντος σχηματισμού τους. Ενδεικτικά αναφέρονται ορισμένες εργασίες που αφορούν τόσο στην ανθρακοπετρογραφική (π.χ Kalaitzidis et al., 2003, Παπαζησήμου, 2003, Diamantopoulos et al., 2004, Μπουζίνος, 2004, Μπουζίνος και Ιωακείμ 2004, Siavalas et al., 2004, 2005a,b, 2006a,b,c, Samara, 2005, Tsikritzis, 2005, Koukouzas, 2007, Μαυρίδου, 2007, Metaxas et al., 2007, Oikonomopoulos et al., 2008), όσο και στην παλαιοβοτανική σύσταση των ελληνικών λιγνιτικών κοιτασμάτων (π.χ Shneider and Velitzelos 1973, 1976, 1977, Velitzelos and Schneider 1979, Velitzelos et al., 1981, Gregor, 1982, 1983, 1990, Ioakim and Velitzelos, 1983, Gregor and Velitzelos 1984, Ioakim, 1985, Riegel et al., 1988, Kaouras, 1989, Velitzelos and Gregor, 1990, Antoniadis et al., 2004, Αντωνιάδης και Μαυρίδου, 2004, Oikonomopoulos et al., 2007, κ.α). Επίσης ο Christanis (2003) δημοσίευσε μια εμπεριστατωμένη μελέτη σχετικά με τις έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στα ελληνικά λιγνιτικά κοιτάσματα.

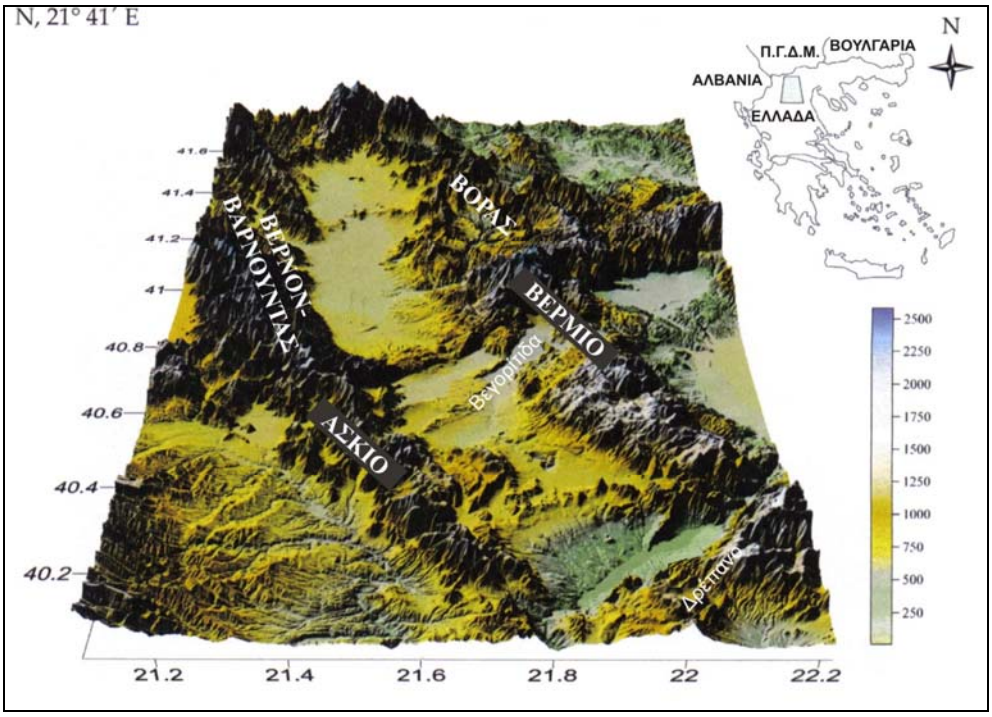
Ελάχιστες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί αναφορικά με τη μελέτη των λιγνιτικών κοιτασμάτων του ελλαδικού χώρου με σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές, όπως είναι η φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR) και η φασματομετρία υπέρυθρης ακτινοβολίας τύπου Fourier (FTIR). Η χρήση τέτοιων μεθόδων έχει πραγματοποιηθεί από πολύ λίγους ερευνητές μέχρι σήμερα (Ιορδανίδης, 2002, Georgakopoulos, 2003, Georgakopoulos et al., 2003, Μπουζίνος 2004, Καλαϊτζίδης, 2007, Μαυρίδου, 2007, Oikonomopoulos et al., 2007, 2008, Ilia et al., 2009).

Τέλος ένας μικρός αριθμός ερευνών, οι οποίες βασίζονται σε μαγνητοστρωματογραφικά, gama log και χρωματικά δεδομένα και οι οποίες αφορούν στο συσχετισμό του μηχανισμού γένεσης των ιζηματολογικών κύκλων, των λιγνιτιφόρων στρωμάτων της νεογενούς λεκάνης της Πτολεμαΐδας, με τη μεταβολή των πλανητικών τροχιακών παραμέτρων (orbital forcing), έχουν πραγματοποιηθεί κυρίως από Γερμανούς και Ολλανδούς ερευνητές (van Vugt et al., 1998, 2001, Steenbrink et al., 1999, 2000, 2003, Tzedakis et al., 2003, Tougiannidis et al., 2007).

2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η περιοχή έρευνας της παρούσας διδακτορικής διατριβής εντοπίζεται στο Νομό Φλώρινας της ΒΔ Μακεδονίας και συγκεκριμένα, 20 Km ΒΔ της πόλης της Φλώρινας, στο χωριό "Αχλάδα". Η εν λόγω περιοχή αποτελεί τμήμα της επιμήκους τεκτονικής τάφρου, η οποία εκτείνεται πέρα από τα Ελληνικά σύνορα προς βορρά, ξεκινώντας από το Μοναστήρι (Βίτολα) της Πρώην Γιουγκοσλαβικής Δημοκρατίας της Μακεδονίας (Π.Γ.Δ.Μ.) και περιλαμβάνοντας τις πόλεις Φλώρινα, Αμύνταιο και Πτολεμαΐδα φτάνει μέχρι την Κοζάνη στο νότο. Στο σύνολό της η τεκτονική τάφρος έχει μήκος μεγαλύτερο των 150 km, από το βορειότερο τμήμα της στην Π.Γ.Δ.Μ. μέχρι τις λοφοσειρές της Κοζάνης, και μέσο πλάτος περίπου 15 km. Το μέσο απόλυτο υψόμετρο της είναι +600 m και η διεύθυνσή της ΒΒΑ–ΝΝΔ, παράλληλη προς τον ορεογραφικό άξονα των Ελληνίδων οροσειρών (Σχ. 2.1).

Προς τα δυτικά η λεκάνη ορίζεται από τα ορεινά συγκροτήματα του Βέρνον-Βαρνούντα (με υψηλότερη κορυφή το Βίτσι, +2128 m) και του Ασκίου (Σινιάτσικο, +2111 m). Στα ανατολικά υψώνονται το ορεινό συγκρότημα του Βόρα (Καϊμάκτσαλαν, +2524 m) και το Βέρμιο (+2027 m). Μεταξύ του Βόρα και του Βερμίου αναπτύσσεται σε υψόμετρο +600 m, η λίμνη της Βεγορίτιδας ως ένα σχεδόν ανεξάρτητο τεκτονικό βύθισμα, περίπου κάθετο προς τη διεύθυνση της μεγάλης επιμήκους τάφρου. Προς νότο η λεκάνη κλείνει από τις λοφοσειρές Δρέπανου – Κοζάνης, που αναπτύσσονται μεταξύ Βερμίου και Ασκίου.



Σχήμα 2.1: Σχηματική τρισδιάστατη απεικόνιση της Λεκάνης Φλώρινας – Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου – Κοζάνης – Σερβίων.

Η τεκτονική τάφρος στο σύνολο της δεν εμφανίζεται ενιαία. Εξάρματα και λοφοσειρές τη χωρίζουν σε επιμέρους γεωλογικές λεκάνες. Το πιο χαρακτηριστικό έξαρμα είναι του "Κλειδιού - Ξυνού Νερού - Αετού", το οποίο χωρίζει το βόρειο τμήμα, τη "λεκάνη Φλώρινας" και είναι ανοικτή προς τα βόρεια, με το νότιο τμήμα που ονομάζεται "λεκάνη Αμυνταίου – Πτολεμαΐδας". Το ύψωμα Κλειδιού - Ξυνού Νερού - Αετού έχει μέγιστο υψόμετρο +900 m.

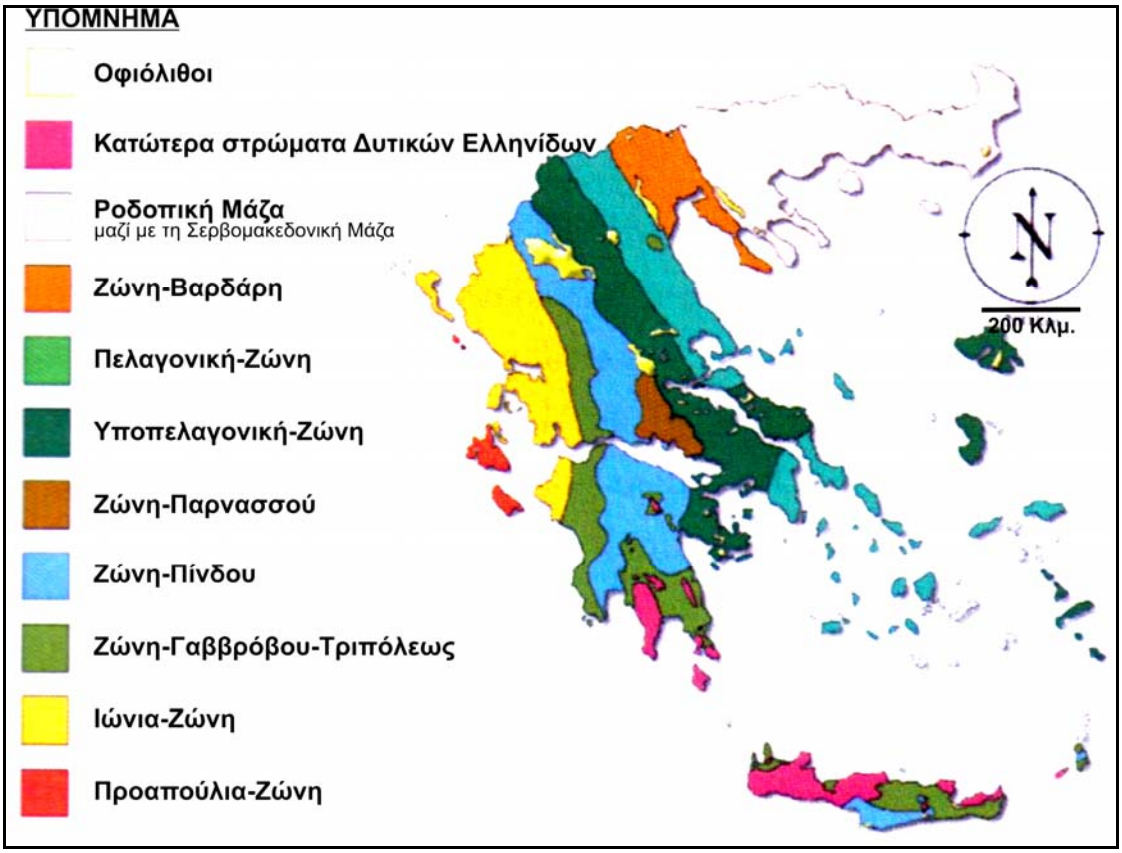
Οι τέσσερις λίμνες, Βεγορίτιδα, Πετρών, Χειμαδίτιδα και Ζάζαρη, οι οποίες εμφανίζονται στην τάφρο, αναπτύσσονται σε συμμετρική διάταξη ως αποτέλεσμα του νεότερου τεκτονισμού (Παυλίδης, 1985). Στη λεκάνη της Φλώρινας ιδιαίτερη νεοτεκτονική σημασία έχουν το υπερυψωμένο τμήμα των νεογενών ιζημάτων της Βεύης, όπου εμφανίζονται λιγνιτικά στρώματα Μειοκαινικής ηλικίας και η ενδοορεινή κοιλάδα Αχλάδας – Σκοπού στα ανατολικά περιθώρια της λεκάνης, δίπλα στα ελληνοσκοπιανά σύνορα. Στην εν λόγω λεκάνη (Αχλάδας-Σκοπού) εντοπίζονται οι λιγνιτικές αποθέσεις, οι οποίες ερευνώνται στη συγκεκριμένη εργασία.

3. ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

3.1.1 Γεωτεκτονικό καθεστώς περιοχής έρευνας

Ο ελληνικός χώρος αποτελεί τμήμα του αλπικού συστήματος πτυχώσεων και είναι γεωδυναμικά ιδιαίτερα ενεργός σήμερα. Η δημιουργία και βαθμιαία εξέλιξη των Ελληνίδων οροσειρών άρχισε το Μεσοζωικό Αιώνα και συνεχίστηκε μέχρι το Μειόκαινο με διαδοχικές φάσεις πτυχώσεων, ενώ από την περίοδο του Μειόκαινου κι έπειτα διαμορφώθηκε μια νέα γεωτεκτονική κατάσταση, η οποία συνεχίζεται μέχρι σήμερα.



Σχήμα 3.1.1: Γεωτεκτονικό μοντέλο των Ελληνίδων ζωνών (Jacob, 2008).

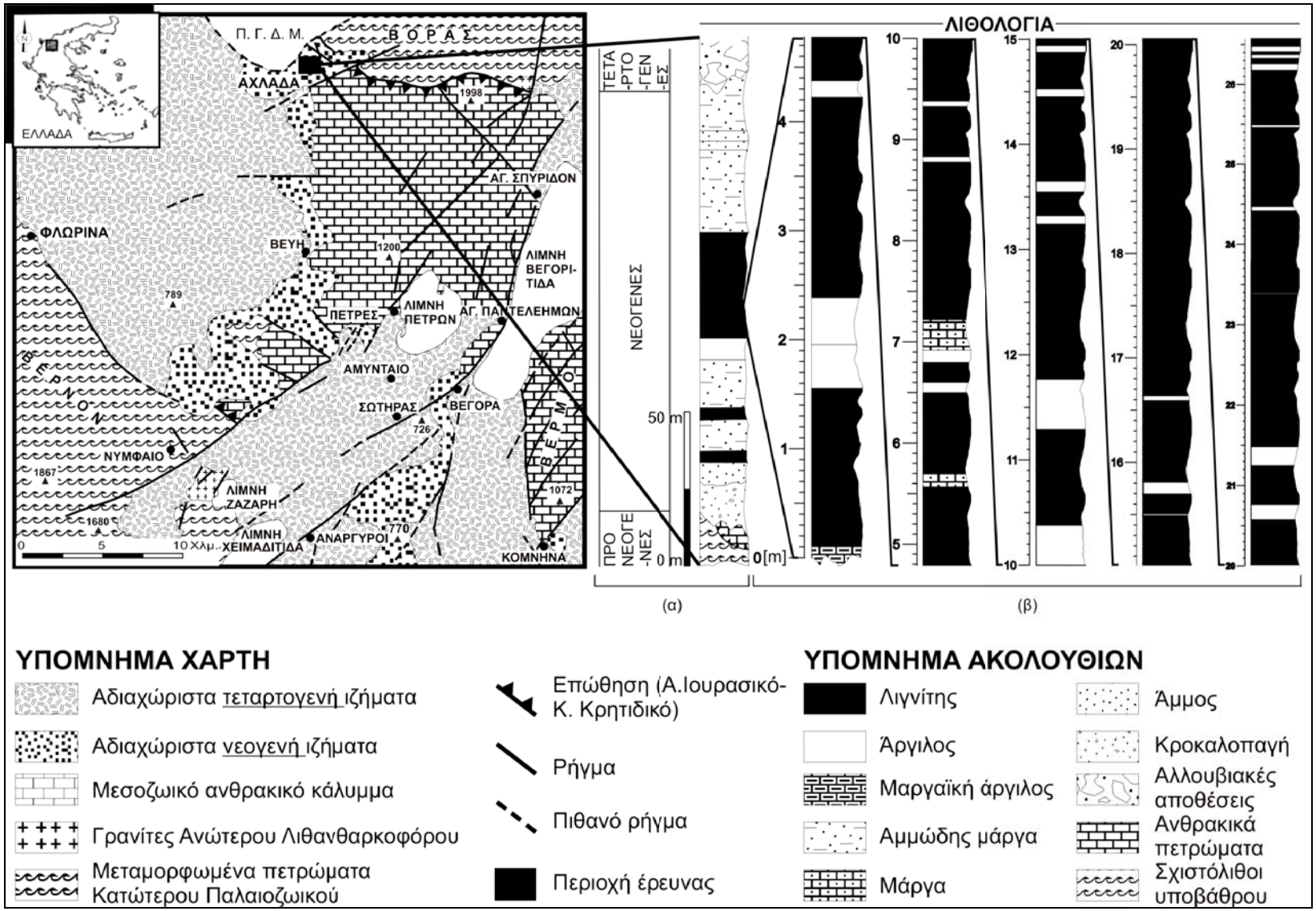
Οι αντιλήψεις για την εξέλιξη και διαμόρφωση των ορεινών όγκων του ελληνικού χώρου άρχισαν να διατυπώνονται από τις αρχές του περασμένου αιώνα και συγκεκριμενοποιήθηκαν κατά τις τελευταίες δεκαετίες με τα γεωτεκτονικά σχήματα των Ελληνίδων οροσειρών που προτάθηκαν από διάφορους ερευνητές (Brunn, 1956, Aubuin et al., 1963, Smith and Moors, 1974, Jacobshagen et al., 1978, Mountrakis et al., 1983). Αποτέλεσμα των παραπάνω ερευνών ήταν ο διαχωρισμός του ελλαδικού χώρου σε 13 γεωτεκτονικές ζώνες (Σχ. 3.1.1).

Η υπό μελέτη περιοχή εντοπίζεται στον ευρύτερο χώρο της Πελαγονικής Ζώνης, η οποία ορίστηκε αρχικά από τον Kossmat (1924) με τον όρο "Πελαγονική Μάζα και το κάλυμμά της", ενώ στη συνέχεια ονομάστηκε "Πελαγονική Ζώνη" από τους Brunn (1956) και Aubuin (1957).

Η Πελαγονική Ζώνη εκτείνεται ως μια επιμήκης ζώνη ΒΒΔ–ΝΝΑ διεύθυνσης, που αρχίζει από την Πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας (Π.Γ.Δ.Μ.) και περιλαμβάνοντας τα διαμερίσματα της Μακεδονίας και της Θεσσαλίας φτάνει μέχρι τη βόρεια Εύβοια και τα νησιά Σκιάθο και Σκόπελο, τμήματα των οποίων ανήκουν στη ζώνη αυτή (Παυλίδης, 1985).

Η Πελαγονική Ζώνη συνίσταται από το παλαιοζωικό κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, το μεσοζωικό ανθρακικό κάλυμμα και οφιολίθους (Brunn, 1956). Ο Μουντράκης (1982, 1984) κατέληξε στο συμπέρασμα, ότι τα μεταμορφωμένα πετρώματα της ενότητας του Βόρα και το μεσοζωικό τους κάλυμμα σχηματίζουν μια μεγαδομή, ο άξονας της οποίας κλίνει ελαφρώς προς ΝΑ, ενώ τα μεταμορφωμένα πετρώματα της ενότητας του Βέρνου σχηματίζουν "thrust sheets", οι οποίες παρουσιάζουν δυτική διεύθυνση. Στην Πελαγονική Ζώνη διακρίνονται πέντε φάσεις πτυχώσεων από τις οποίες οι δύο νεότερες έλαβαν χώρα κατά την περίοδο του Τριτογενούς (Ανώτερο Ηώκαινο - Κατώτερο Μειόκαινο) και είναι υπεύθυνες για την προαναφερθείσα μεγαδομή της περιοχής. Επιπλέον ορισμένα από τα μεγάλου μήκους ρήγματα της περιοχής, τα οποία καταδεικνύουν σαφή νεοτεκτονική δραστηριότητα στα περιθώρια της νεογενούς λεκάνης, δημιουργηθήκαν αρχικώς κατά τη διάρκεια των φάσεων της τριτογενούς πτύχωσης και επαναδραστηριοποιήθηκαν σε νεοτεκτονικούς χρόνους (Pavlides and Mountrakis, 1987). Μετά το πέρας του αλπικού ορογενετικού κύκλου και κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Μειόκαινου, στην περιοχή της ΒΔ Μακεδονίας -όπως και σε ολόκληρο τον ελλαδικό χώρο- αρχίζει ένας έντονος ρηγματογόνος τεκτονισμός, κατά τη διάρκεια του οποίου η συνδυασμένη δράση εφελκυστικών τάσεων με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ και μεγάλου βάθους επιμήκων ρηγμάτων κύριας διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία της τεκτονικής τάφρου Φλώρινας – Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου – Κοζάνης – Σερβίων και νοτιότερα της λεκάνης Σαραντάπορου. Η τάφρος συνεχίζει να εκτείνεται προς βορά πέρα από τα ελληνικά σύνορα και μέσα στην Πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας (Π.Γ.Δ.Μ.) (Σχ. 2.1) (Metaxas et al., 2007).

Κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο και το Τεταρτογενές η δράση ΒΑ-ΝΔ και ΑΒΑ-ΔΝΔ έως Α-Δ διευθυνόμενων κανονικών ρηγμάτων είχε ως αποτέλεσμα το "σπάσιμο" του αρχικού βυθίσματος σε διαδοχικές, μικρότερου μεγέθους υπολεκάνες. Σχηματίστηκαν έτσι οι λεκάνες



Σχήμα 3.1.2: Σχηματικός γεωλογικός χάρτης της λεκάνης της Φλώρινας με τη γενικευμένη στρωματογραφική διάρθρωση (α) της ευρύτερης περιοχής έρευνας και εναλλαγές οργανικών και ανόργανων οριζόντων (β) των <u>νεογενών</u> λιγνιτικών αποθέσεων της Αχλάδας.

Φλώρινας, Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας, Κοζάνης-Σερβίων και Σαραντάπορου (Anastopoulos and Koukouzas, 1972, Pavlides and Moutrakis, 1987, Doutsos and Koukouvelas, 1998, Koukouzas et al., 2000, Doutsos and Kokkalas, 2001), οι οποίες κατά περιόδους είτε λειτουργούν ως αυτόνομες λεκάνες είτε επικοινωνούν μεταξύ τους, έχοντας έτσι μια κοινή γεωλογική εξέλιξη. Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις κατά την περίοδο του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς εμφανίζονται οι ίδιοι ή ομόλογοι σχηματισμοί κατά μήκος της τάφρου (Metaxas et al., 2007). Η περιοχή στην οποία βρίσκεται το λιγνιτικό κοίτασμα που μελετάται στη συγκεκριμένη διατριβή, εντοπίζεται στην υπολεκάνη της Φλώρινας και συγκεκριμένα 20 km. ΒΑ της ομώνυμης πόλης (Σχ. 3.1.2).

3.1.2 Στρωματογραφία της ευρύτερης περιοχής έρευνας

3.1.2.1 Σχηματισμοί υποβάθρου

Το παλαιοζωικό υπόβαθρο δεν εμφανίζεται ομοιογενές, αλλά αποτελείται από δύο κρυσταλλικές ενότητες: την ανατολική ενότητα του Βόρα και τη δυτική ενότητα του Βέρνου (Mountrakis, 1982).

Η ενότητα του Βόρα (στην οποία ανήκει το υπό μελέτη λιγνιτικό κοίτασμα) αποτελείται από γνεύσιους και αμφιβολίτες στη βάση, μεταβαίνοντας προς τα επάνω σε μαρμαρυγιακούς, αμφιβολιτικούς και σερικιτικούς σχιστολίθους (Pavlides and Mountrakis, 1987). Η ενότητα του Βέρνου περιλαμβάνει μια σειρά από μεταμορφωμένα πετρώματα, τα οποία είναι όμοια και με ανάλογη ακολουθία όπως του Βόρα, δηλαδή ορθογνεύσιοι, αμφιβολίτες, δύο τύποι μαρμαρυγιακών σχιστολίθων, αμφιβολιτικοί σχιστολίθοι και χαλαζίτες. Επιπλέον, σημειώνεται ότι ογκώδεις γρανιτικές μάζες Λιθανθρακοφόρου ηλικίας (Mountrakis, 1984) έχουν διεισδύσει μέσα στα μεταμορφωμένα πετρώματα των ενοτήτων του Βόρα και του Βέρνου, εμφανίσεις των οποίων εντοπίζονται στα δυτικά περιθώρια της λεκάνης της Φλώρινας. Το μεσοζωικό (τριαδικο-ιουρασικό) κάλυμμα εμφανίζεται ως μια νηριτική ανθρακική ακολουθία με πάχος ~700 m, η οποία αποτελείται από κρυσταλλικούς ασβεστολίθους, μάρμαρα και δολομιτικά μάρμαρα. Οι οφιόλιθοι ήταν αρχικώς τοποθετημένοι στα ανατολικά τμήματα της Πελαγονικής Ζώνης (ζώνη Βαρδάρη) και στη συνέχεια επωθήθηκαν πάνω στο ανθρακικό κάλυμμα κατά τη διάρκεια της τεκτονικής δραστηριότητας την περίοδο του Ανώτερου Ιουρασικού - Κατώτερου Κρητιδικού.

3.1.2.2 Ιζηματογενείς σχηματισμοί

Οι τριτογενείς σχηματισμοί στην ευρύτερη περιοχή ανήκουν κατ' αποκλειστικότητα στο Νεογενές, δεδομένου ότι κατά το Παλαιογενές η Πελαγονική Ζώνη υπέστη ανάδυση και

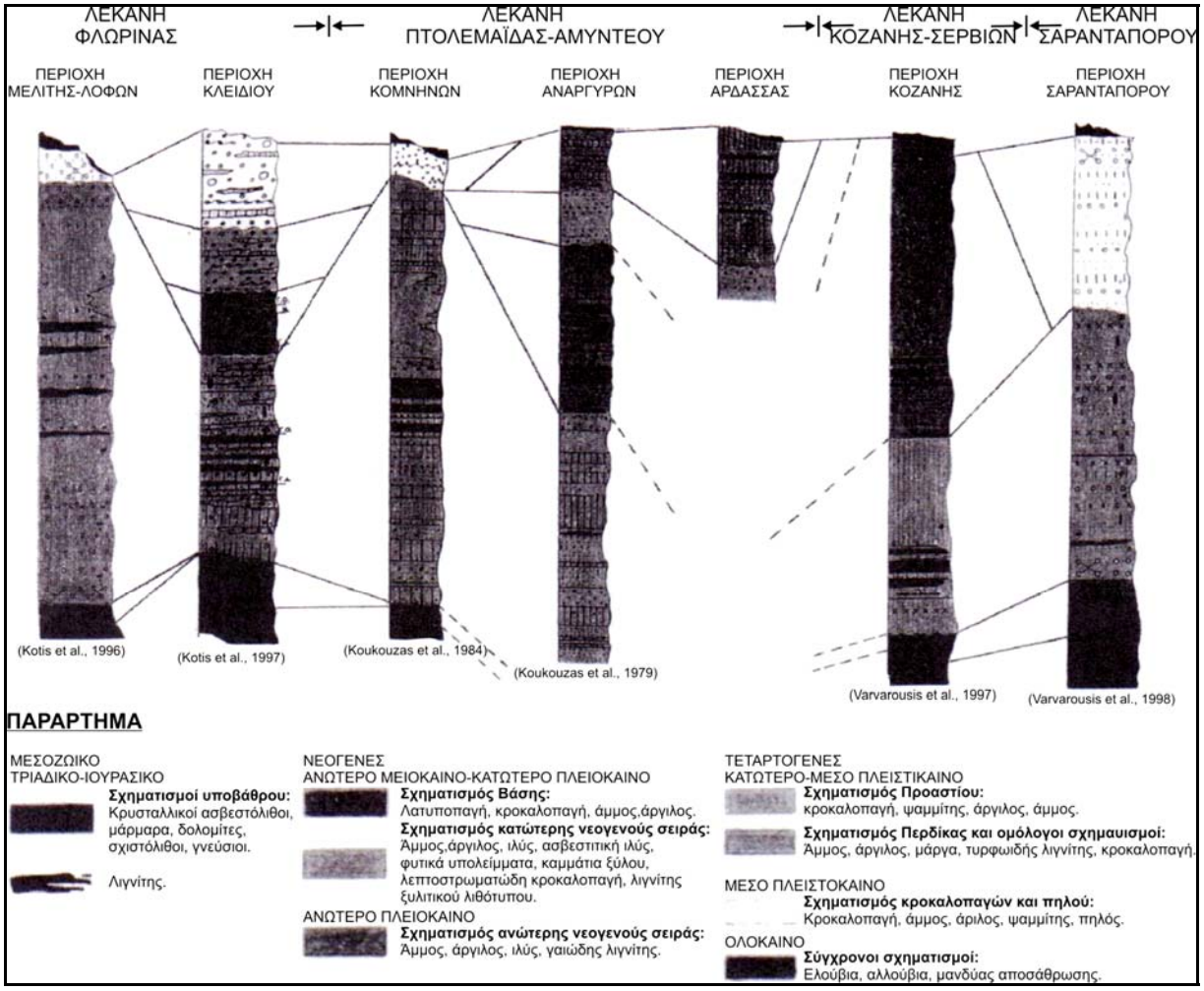
έντονη διάβρωση με αποτέλεσμα να εκλείπουν ιζήματα από την περίοδο αυτή (Αναστόπουλος και Μπροσούλης, 1973, Αντωνιάδης, 1986). Τα νεογενή ιζήματα επικάθονται ασύμφωνα πάνω στα μεσοζωικά πετρώματα του υποβάθρου και χωρίζονται σε δυο διακριτούς ορίζοντες που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την ηλικία, τη σύσταση και τον τύπο λιγνιτοφορίας που φιλοξενούν (Pavlides and Mountrakis, 1987). Αναφορικά με τα παραπάνω, τα ιζήματα του Νεογενούς διακρίνονται στα ιζήματα του Κατώτερου Νεογενούς, στα οποία εντοπίζεται η λιγνιτοφορία τύπου ξυλίτη, και στα ιζήματα του Ανώτερου Νεογενούς, στα οποία απαντάται η λιγνιτοφορία τύπου γαιώδους λιγνίτη. Οι δύο σειρές είναι σύμφωνες μεταξύ τους και παρατηρείται κανονική μετάβαση (Κούκουζας κ.ά., 1979).

Κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Μειοκαίνου-Κατώτερου Πλειοκαίνου η λεκάνη άρχισε να πληρώνεται με χερσαίες, ποτάμιες, χειμάρρειες, λιμναίες και ελώδεις αποθέσεις, με αποτέλεσμα την απόθεση της "κατώτερης νεογενούς σειράς" (Σχ. 3.1.3 και 3.1.4), στην οποία φιλοξενούνται οι μεγάλες λιγνιτικές αποθέσεις ξυλιτικού τύπου (Κούκουζας κ.ά., 1979, Metaxas et al., 2007). Η κατώτερη νεογενής σειρά εμφανίζεται σε όλη την έκταση του βυθίσματος και ο κύριος όγκος αυτής αναπτύσσεται στα ανατολικά περιθώρια της λεκάνης Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, όπου ξεπερνά τα +600 m πάχος, στη λεκάνη της Φλώρινας, στο νότιο τμήμα της λεκάνης Κοζάνης-Σερβίων, όπως επίσης και στη λεκάνη του Σαραντάπορου.

Στη λιγνιτοφόρα αυτή σειρά ανήκουν τα κοιτάσματα Αχλάδας, Βεύης και Κλειδιού στη λεκάνη της Φλώρινας, τα κοιτάσματα Βεγόρας και Κομνηνών στη λεκάνη της Πτολεμαΐδας, όπως επίσης και τα κοιτάσματα Λάβας και Προσηλίου στη λεκάνη Σερβίων. Το πάχος της λιγνιτοφόρας αυτής σειράς μειώνεται προοδευτικά προς τα δυτικά μέχρι πλήρους αποσφήνωσης, ενώ επανεμφανίζεται στο νότιο τμήμα της ευρύτερης λεκάνης (Steenbrink et al., 2000, Metaxas et al., 2007).

Κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Πλειοκαίνου η προαναφερθείσα σειρά αναπτύσσεται μέσα σε λιμναία-ελώδη συστήματα οδηγώντας στην απόθεση του σχηματισμού της "ανώτερης νεογενούς σειράς" (Σχ. 3.1.3 και 3.1.4). Εξαιτίας των τεκτονικών δραστηριοτήτων και των παλαιογεωγραφικών συνθηκών που κυριάρχησαν κατά την περίοδο αυτή, το σύστημα της ανώτερης νεογενούς σειράς επικράτησε σε ολόκληρη τη λεκάνη Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (με εξαίρεση το ΑΒΑ τμήμα), στην λεκάνη Κοζάνης-Σερβίων, καθώς και στα ΝΑ τμήματα της λεκάνης της Φλώρινας. Στη λιγνιτοφόρο αυτή σειρά ανήκουν τα κοιτάσματα Πτολεμαΐδας (Προάστιο, Ν. Πεδίο, Κόμμανος κ.ά), Αναργύρων-Αμυνταίου και Περδίκα. Το μέγιστο πάχος της συγκεκριμένης σειράς παρατηρείται στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (απόθεση Προαστίου) με πάχος ~500 m. Η μετάβαση από

τον υποκείμενο σχηματισμό της κατώτερης νεογενούς σειράς στον υπερκείμενο της ανώτερης νεογενούς σειράς είναι, όπως προαναφέρθηκε, κανονικού χαρακτήρα.



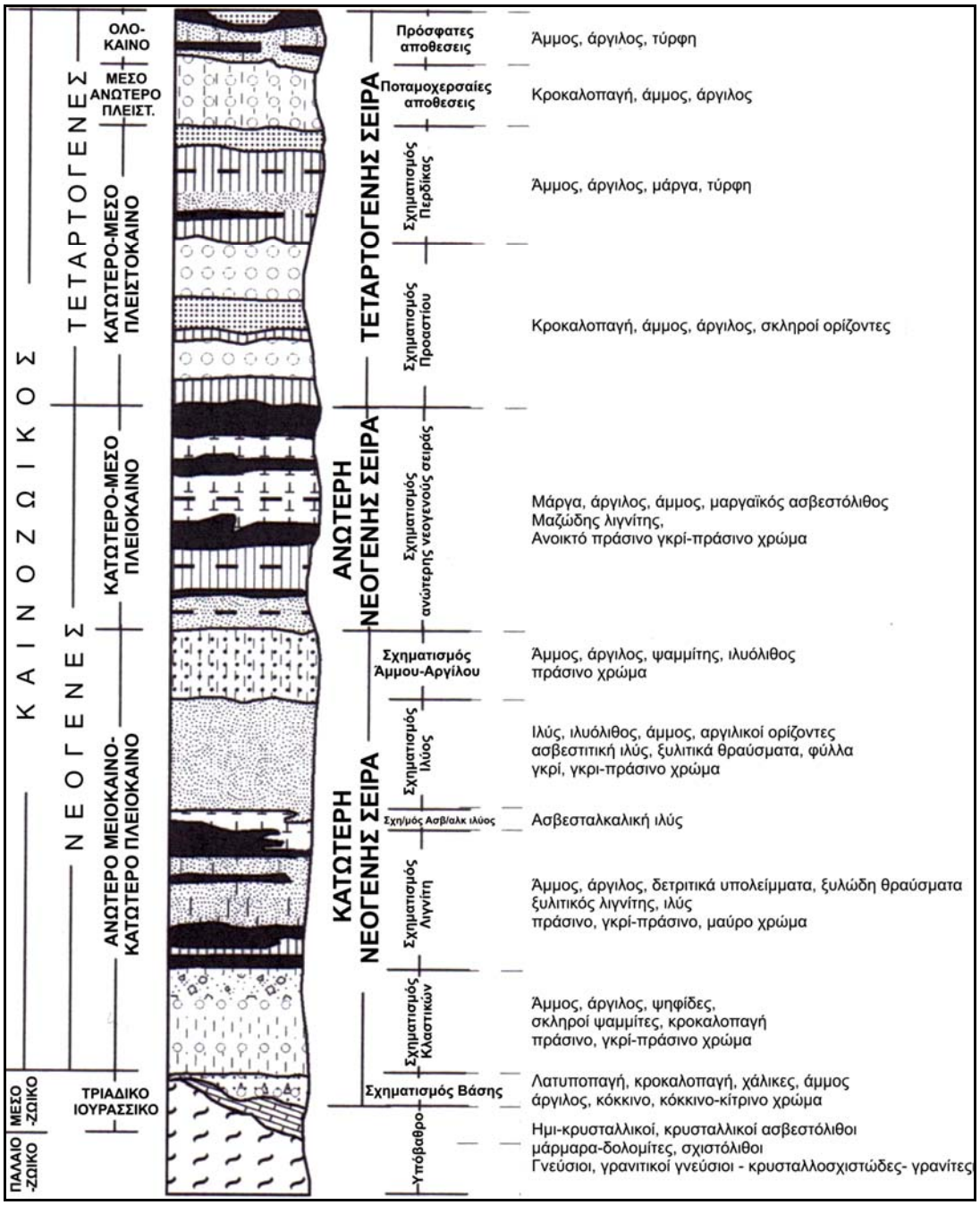
Σχήμα 3.1.3: Στρωματογραφικός συσχετισμός των λιγνιτοφόρων λεκανών Φλώρινας, Πτολεμαΐδας -Αμυνταίου, Κοζάνης και Σαραντάπορου (κατά Metaxas et al., 2007).

Η απουσία του εν λόγω σχηματισμού από τις ιζηματογενείς λεκάνες Φλώρινας και Σαραντάπορου, όπως και από το ΑΒΑ τμήμα της λεκάνης Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου οφείλεται στην τεκτονική δραστηριότητα της περιοχής την περίοδο εκείνη, αποτέλεσμα της οποίας ήταν η ανάδυση των ενοτήτων αυτών (Metaxas et al., 2007).

Μετά την απόθεση των νεογενών σχηματισμών και κατά την περίοδο Κατώτερου-Μέσου Πλειστοκαίνου (Βιλαφράγκιο) ξεκινάει η απόθεση του "Σχηματισμού Προαστίου" (Σχ. 3.1.3 και 3.1.4), η οποία συνίσταται από ποτάμιες και ποταμοχειμάρρειες αποθέσεις. Ο "Σχηματισμός Προαστίου" περιορίζεται κυρίως στη λεκάνη Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου και στα ΝΑ τμήματα της λεκάνης της Φλώρινας (περιοχή Κλειδί). Ο συγκεκριμένος σχηματισμός, όπως όλες οι τεταρτογενείς αποθέσεις, κάθεται ασύμφωνα πάνω στα πλειοκαινικά στρώματα λόγω τεκτονισμού του Ανώτερου Πλειοκαίνου-Κατώτερου Πλειστοκαίνου (Παυλίδης, 1985).

Ο κύριος όγκος του, καθώς και η πλήρης στρωματογραφική του εξάπλωση, παρατηρούνται στην ομώνυμη περιοχή του Προαστίου.

Μετά το τέλος της απόθεσης του "Σχηματισμού Προαστίου" παρατηρείται ένας έντονος ρηγματογόνος τεκτονισμός με κύριες διευθύνσεις ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ, αποτέλεσμα του οποίου είναι να δημιουργηθούν νέες, μικρότερου μεγέθους ιζηματογενείς λεκάνες, μέσα στις προϋπάρχουσες, όπως για παράδειγμα οι λεκάνες Αδράσσας-Βεγορίτιδας και Αναργύρων-Πετρών.



Σχήμα 3.1.4: Γενικευμένη λιθοστρωματογραφική στήλη των λιγνιτοφόρων λεκανών Φλώρινας, Πτολεμαΐδας -Αμυνταίου, Κοζάνης και Σαραντάπορου (Metaxas et al., 2007).

Στη συνέχεια παρατηρείται η απόθεση του "Σχηματισμού Περδίκα" (Σχ. 3.1.3 και 3.1.4) κυρίως στις νέες λεκάνες που σχηματίστηκαν μέσα στη λεκάνη Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου εξαιτίας του προαναφερθέντος ρηγματογόνου τεκτονισμού. Ο "Σχηματισμός Περδίκα" συνίσταται από ποτάμιες, ποταμοχειμάρρειες και λιμναίες-ελώδεις αποθέσεις. Στον ίδιο σχηματισμό περιλαμβάνεται και μια νέα φάση λιγνιτογένεσης με μικρού πάχους λιγνιτοφόρα στρώματα και μεγάλου πάχους ενδιάμεσες ανόργανες ενστρώσεις.

Κατά τη διάρκεια του Μέσου Πλειστοκαίνου παρατηρείται η απόθεση ενός "χερσαίου, ποταμοχειμάρρειου σχηματισμού" (Σχ. 3.1.4). Ο συγκεκριμένος σχηματισμός εμφανίζεται στα ΝΑ τμήματα της λεκάνης της Φλώρινας, στο μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης Σαραντάπορου, στα ΝΑ περιθώρια της λεκάνης της Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου και γύρω από τη λεκάνη Κοζάνης-Σερβίων, ενώ το μέγιστο πάχος αυτού παρατηρείται στη λεκάνη του Σαραντάπορου. Την ακολουθία κλείνουν μικρού πάχους χερσαίες αποθέσεις όπως ελουβιακός μανδύας, αλλουβιακές αποθέσεις, αλλουβιακά ριπίδια και κώνοι κορημάτων (Metaxas et al., 2007).

Τέλος κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου παρατηρείται απόθεση τύρφης στις λίμνες Χειμαδίτιδα, Ζάζαρι και Βεγορίτιδα, γεγονός το οποίο δείχνει ότι οι θέσεις τυρφογένεσης ήταν διαφορετικές από τις προηγούμενες γεωλογικές περιόδους.

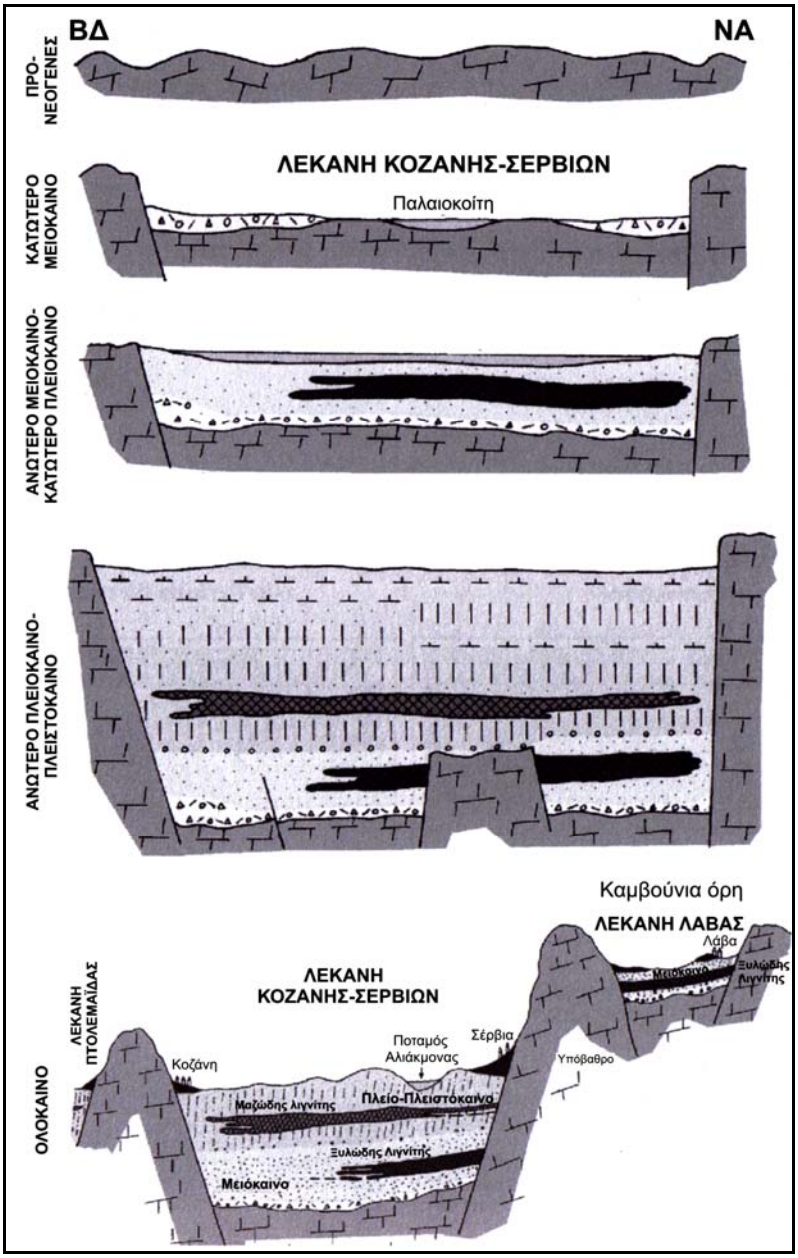
Στο σχήμα 3.1.5 δίνεται η παλαιογεωγραφική εξέλιξη της λεκάνης Κοζάνης-Σερβίων κατά τη διάρκεια διαφορετικών γεωλογικών περιόδων. Η παλαιογεωγραφική εξέλιξη για όλη την έκταση της τεκτονικής τάφρου είναι παρόμοια (Metaxas et al., 2007).

3.1.2.3 Στρωματογραφική εξάπλωση των ιζημάτων της περιοχής έρευνας

Τριτογενές

Κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Μειοκαίνου – Κατώτερου Πλειοκαίνου οι γεωλογικές λεκάνες, που περιλαμβάνονται στην τεκτονική τάφρο της ΒΔ Μακεδονίας άρχισαν να πληρώνονται, όπως προαναφέρθηκε, με χερσαίες, ποταμοχειμάρρειες, ποτάμιες, ποταμολιμναίες, λιμναίες και ελώδεις αποθέσεις. Έτσι αποτυπώνεται η απόθεση της "κατώτερης νεογενούς σειράς" (Σχ. 3.1.3 και 3.1.4), η ηλικία της οποίας έχει προσδιοριστεί ως Ανώτερο Μειόκαινο-Κατώτερο Πλειόκαινο με βάση διάφορους τύπους έρευνας, όπως είναι η παλαιοβοτανική (Shneider and Velitzelos, 1973, 1976, 1977) και οι παλυνολογικές αναλύσεις (Ioakim and Velitzelos, 1983, Ioakim, 1985). Η ιζηματογενής ακολουθία της σειράς αυτής ξεκινάει με χερσαία και ποταμοχειμάρρεια ιζήματα ("Σχηματισμός Βάσης"), τα οποία συνίστανται από λατυποπαγή, με λατύπες ανάλογες των υποκείμενων και γειτονικών

πετρωμάτων του υποβάθρου, όπως επίσης και κροκαλοπαγή με κροκάλες δισκοειδούς σχήματος και ποικίλου μεγέθους.



Σχήμα 3.1.5: Σχηματική αναπαράσταση της εξέλιξης της λεκάνης Κοζάνης-Σερβίων από το κατώτερο Μειόκαινο έως σήμερα (κατά Metaxas et al., 2007).

Τα ιζήματα αυτά εναλλάσσονται με άμμους, αργίλους και ιλύες, ενώ το κυρίαρχο χρώμα είναι το καστανό-καστανοκόκκινο (Metaxas et al., 2007). Δεδομένου, ότι ο συγκεκριμένος σχηματισμός επικάθεται ασύμφωνα πάνω στην ακανόνιστη επιφάνεια του ανώτερου στρώματος του υποβάθρου και την εξομαλύνει, το πάχος αυτού μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή και ορισμένες φορές μπορεί να ποικίλει από λίγα μέτρα μέχρι και πολλές εκατοντάδες μέτρα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στην περιοχή των Κομνηνών το πάχος αυτού ανέρχεται σε 80 m. Ο "Σχηματισμός Βάσης" εκτείνεται σε ολόκληρη την τεκτονική τάφρο.

Στρωματογραφικά πάνω από το "Σχηματισμό Βάσης" υπέρκεινται ποτάμιες αποθέσεις, οι οποίες συνίστανται από λεπτόκοκκες έως αδρόκοκκες άμμους, κατά θέσεις αργιλούχες, καθώς και αργίλους κατά θέσεις αμμούχες. Τις εναλλαγές άμμων και αργίλων διακόπτουν στρώσεις από χάλικες, συμπαγείς ψαμμιτικοί ορίζοντες και στρώσεις κροκαλοπαγών ("Σχηματισμός Κλαστικών") (Σχ. 3.1.4). Το κυρίαρχο χρώμα των παραπάνω σχηματισμών είναι πράσινο έως γκριζοπράσινο (Metaxas et al., 2007). Η ακολουθία συνεχίζει με ποταμολιμναίες και ελώδεις αποθέσεις ("Λιγνιτοφόρος Σχηματισμός"). Οι αποθέσεις αυτές συνίστανται από άμμους, αργίλους με φυτικά υπολείμματα, ξυλώδη τεμάχια και λιγνιτικά στρώματα "ξυλιτικού τύπου", τα οποία εναλλάσσονται, κατά κύριο λόγο, με αργίλους, ιλύες και σπανίως με μάργες. Το κυρίαρχο χρώμα είναι το πράσινο έως γκριζοπράσινο. Στη λιγνιτοφόρο αυτή σειρά ανήκουν τα κοιτάσματα Αχλάδας, Βεύης και Κλειδιού στη λεκάνη της Φλώρινας, τα κοιτάσματα Βεγόρας και Κομνηνών στη λεκάνη Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου καθώς και τα κοιτάσματα Λάβας και Προσηλίου στη λεκάνη Σερβιών (Koukouzas et al., 1984, Αντωνιάδης, 1992, Kotis et al., 1992, 1995, 1996, 1997, Steenbrink et al., 2000, Antoniadis et al., 2004).

Στη συνέχεια το σύστημα εξελίσσεται σε καθαρά λιμναίο περιβάλλον, το οποίο καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της τάφρου. Αποτέλεσμα της μεταβολής είναι η απόθεση ιλύων (Σχ. 3.1.3 και 3.1.4) με εμφανίσεις στρωμάτων αργίλων και άμμων κατά θέσεις, καθώς επίσης και παρεμβολές από ασβεστιτική ιλύ. Στα εν λόγω ιζήματα απαντώνται ακόμη ξυλώδη τεμάχια, φυτικά υπολείμματα, φύλλα, καθώς και το ορυκτό βιβιανίτης (Metaxas et al., 2007). Τα χρώματα, τα οποία κυριαρχούν είναι γκρι έως γκριζοπράσινο. Τα ανώτερα μέλη της λιγνιτοφόρου στοιβάδας συγκροτούνται από εναλλαγές αργίλων και άμμων με φακοειδείς ενστρώσεις σκληρών ψαμμιτών και ιλυολίθων, ενώ μεταπίπτουν προς τα επάνω σε στρώματα ιλύος (κατά θέσεις ασβεστούχου) με οστρακώδη διάτομα και operculum ("Σχηματισμός Ασβεσταλκαλικής ιλύος"), καθώς και φακοειδείς παρεμβολές αργίλων, άμμων και μαργών (Σχ. 3.1.4) (Metaxas et al., 2007). Κατά τους Κούκουζα κ.ά. (1979) η ηλικία του συγκεκριμένου σχηματισμού είναι Μειοκαινική-Πλειοκαινική, ενώ άλλοι ερευνητές (Αντωνιάδης, 1986, Steenbrink et al., 2000) προσδιόρισαν βάσει απολιθωμάτων, ότι αυτός αποτέθηκε κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Μειοκαίνου.

Το λιμναίο αυτό σύστημα εντοπίζεται κύρια στη λεκάνη του Σαραντάπορου, στο N-NA τμήμα της λεκάνης Κοζάνης-Σερβίων και στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου. Στο δυτικό τμήμα της τελευταίας (Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου), καθώς και στη λεκάνη της Φλώρινας παρατηρείται η κυριαρχία ενός ποτάμιου-ποταμολιμναίου περιβάλλοντος με τα αντίστοιχα ιζήματα, στο οποίο αντί για ιλύες εμφανίζονται λεπτόκοκκες

έως αδρόκκοκες άμμοι με ενδιάμεσες παρεμβολές από αργίλους και σπάνια ιλύες.

Η ακολουθία συνεχίζεται με την απόθεση ποτάμιων ιζημάτων, τα οποία συνίστανται από εναλλαγές άμμων και αργίλων με ψαμμιτικά και ιλυολιθικά στρώματα ("Σχηματισμός Άμμου-Αργίλου") (Σχ. 3.1.4). Το χρώμα το οποίο κυριαρχεί είναι το πράσινο (Metaxas et al., 2007).

Στη συνέχεια και κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Πλειοκαίνου το προαναφερόμενο λιμναίο σύστημα εξελίσσεται σε λιμναίο-ελώδες οδηγώντας στην απόθεση της "ανώτερης νεογενούς σειράς" (Σχ. 3.1.3 και 3.1.4).

Λόγω της τεκτονικής δραστηριότητας και των παλαιογεωγραφικών και παλαιογεωμορφολογικών συνθηκών, οι οποίες κυριάρχησαν τη συγκεκριμένη γεωλογική εποχή, το εν λόγω σύστημα καταλαμβάνει ολόκληρη τη λεκάνη Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου με εξαίρεση το ΑΒΑ τμήμα αυτής, τη λεκάνη Κοζάνης-Σερβίων, καθώς και ένα μικρό μέρος του ΝΑ τμήματος της λεκάνης Φλώρινας (Metaxas et al., 2007).

Τα ιζήματα, τα οποία εμφανίζονται στην Ανώτερη Νεογενή σειρά (Σχ. 3.1.3 και 3.1.4), συνίστανται από εναλλαγές μαργών, αργίλων, άμμων, μαργαϊκών ασβεστολίθων και γεώδους λιγνίτη. Τα χρώματα, τα οποία κυριαρχούν, είναι το ανοικτό γκρι και το γκριζοπράσινο.

Από παλαιοντολογική άποψη επιστημονικές έρευνες, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στα ιζήματα της "ανώτερης νεογενούς σειράς", αποκαλύπτουν την ύπαρξη γαστεροπόδων (Vetoulis, 1956, Gramman, 1960), όπως *Theodoxus macedonicus* (Neritina), *Valrata piscinallis* κ.ά, lamel gills (Gramman, 1960) όπως *Unio* sp. κ.ά, και οστρακοειδή, όπως *Candona negecta*, *Iliocypris gibba* και *rodens* (Van de Weerd, 1979). Ακόμη έχουν ταυτοποιηθεί ίχνη από παλαιοβλάστηση, ενώ έχουν πραγματοποιηθεί και παλυνολογικές αναλύσεις (Ioakim, 1985, Kaouras, 1989).

Η λιγνιτοφόρος ακολουθία, που εντοπίζεται στην Ανώτερη Νεογενή σειρά, μπορεί να διαιρεθεί περαιτέρω στα ακόλουθα μέρη (Αναστόπουλος και Κούκουζας, 1972) :

- (α) στην ανώτερη στιβάδα μέγιστου πάχους 80 m, που αποτελείται από εναλλαγές στρωμάτων λιγνίτη, μάργας και αργίλου ποικίλου πάχους. Στη στιβάδα αυτή παρατηρούνται δύο χαρακτηριστικοί λιθολογικοί ορίζοντες μικρού πάχους και μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης. Πρόκειται για τον ορίζοντα "χαρακτηριστικής άμμου" ένα στρώμα ηφαιστειακής τέφρας (Kalaitzidis et al., 2000), που εντοπίζεται στο κάτω μέρος της στιβάδας, ενώ στο πάνω μέρος αυτής εμφανίζεται στρώση μάργας με το χαρακτηριστικό, όπως προαναφέρθηκε, γαστερόποδο *Theodoxus macedonicus*, γνωστό παλαιότερα και ως Neritina.

- (β) στην ενδιάμεση στιβάδα ανόργανων (στείρων) ιζημάτων μέγιστου πάχους 14 m, που συνίστανται κυρίως από μάργες, αμμώδεις μάργες και αργίλους, ενώ πολύ σπάνια παρατηρούνται και λεπτές ενστρώσεις λιγνίτη πάχους 2-3 cm.
- (γ) στην ανώτερη στιβάδα πάχους 30 m, που αποτελείται από εναλλασσόμενα στρώματα λιγνίτη με αργίλους, μάργες και άμμους.

Οι Αναστόπουλος και Κούκουζας (1972) και Ioakim (1985) αποδίδουν την ηλικία του λιγνιτοφόρου αυτού σχηματισμού στο όριο μεταξύ Κατώτερου και Ανώτερου Πλειοκαίνου, ενώ νεότεροι μελετητές (Kaouras, 1989, Van Vugt et al., 1998, Steenbrink., 1999) συμπεραίνουν ότι αποτέθηκε κατά το Κάτω Πλειόκαινο μεταξύ 5,23 και 3,94 Ma πριν από σήμερα.

Στην ανώτερη νεογενή σειρά ανήκουν τα γνωστά μεγάλα λιγνιτικά κοιτάσματα των λεκανών Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου και Κοζάνης-Σερβίων όπως είναι του Νοτίου Πεδίου (Anastopoulos and Koukouzas, 1972, Kalaitzidis et al., 1998, Antoniadis et al., 2005) και του Αμυνταίου (Koukouzas et al., 1979, Mavridou et al., 2003).

Τεταρτογενές

Μετά την απόθεση των νεογενών σχηματισμών και κατά τη διάρκεια του Κατώτερου-Μέσου Πλειστοκαίνου (Βιλαφράγγιο) ξεκινάει, όπως προαναφέρθηκε, η απόθεση του "Σχηματισμού Προαστίου". Ο σχηματισμός αυτός περιλαμβάνει ποτάμιες και ποταμοχειμάρρειες αποθέσεις, οι οποίες συνίστανται από κροκαλοπαγή, αναμεμειγμένα με καλά αποστρογγυλεμένα θραύσματα ποικίλου μεγέθους, με κατά θέσεις εναλλαγές αργίλων και άμμων. Χαρακτηριστικό των αποθέσεων αυτών αποτελεί η εμφάνιση οριζόντων με διασταυρούμενη στρώση, καθώς και η ύπαρξη πολύ σκληρών οριζόντων. Το μέγιστο πάχος τους φθάνει τα 150 m και επικάθονται ασύμφωνα πάνω στους υποκείμενους νεογενείς σχηματισμούς. Στο "Σχηματισμό Προαστίου" εντοπίζονται μικρού πάχους στρώματα λιγνίτη ή ελωδών σχηματισμών, η εξάπλωση των οποίων είναι περιορισμένη και δεν παρουσιάζουν κανένα οικονομικό ενδιαφέρον (Metaxas et al., 2007).

Γεωγραφικά ο "Σχηματισμός Προαστίου" περιορίζεται κατά κύριο λόγο στη λεκάνη Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, καθώς και στο ΝΑ τμήμα της λεκάνης της Φλώρινας (περιοχή Κλειδί), ενώ η μεγαλύτερη εμφάνισή του τόσο σε όγκο, όσο και επιφανειακά παρατηρείται στην περιοχή Προάστιο, απ' όπου και πήρε το όνομά του.

Τη στρωματογραφική ακολουθία συνεχίζει ο "Σχηματισμός Περδίκα" (Σχ. 3.1.4), ο οποίος εμφανίζεται κύρια στη λεκάνη Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου και μέσα στις νεοσχηματισθείσες υπολεκάνες τεκτονικής προέλευσης. Τα εν λόγω ιζήματα περιλαμβάνουν

ποτάμιες, ποταμοχειμάρρειες, λιμναίες και ελώδεις αποθέσεις και συνίστανται από άμμους, αργίλους μάργες και λιγνιτικά στρώματα.

Λόγω της ενεργού τεκτονικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια απόθεσης του "Σχηματισμού Περδίκα" δεν παρατηρούνται μεγάλου πάχους λιγνιτικά στρώματα, αλλά πλήθος λιγνιτικών στρωμάτων μικρού πάχους σε εναλλαγές με ενδιάμεσα ανόργανα υλικά. Στην περιοχή της Αρδάσσας απαντάται σύστημα μαργαϊκών, αργιλικών και λιγνιτικών στρωμάτων μικρού σχετικά πάχους, το οποίο διαμορφώνει το ομώνυμο Πλειστοκαινικό λιγνιτικό κοίτασμα. Στην ίδια περιοχή ο συγκεκριμένος σχηματισμός προσεγγίζει το μέγιστο πάχος του, το οποίο είναι ~ 350 m.

Κατά τη διάρκεια του Μέσου Πλειστοκαίνου αποτίθεται ένας χερσαίος, ποταμοχειμάρρειος σχηματισμός (Σχ. 3.1.4), ο οποίος συνίσταται από κροκαλοπαγή με ποικίλου μεγέθους αποστρογγυλεμένα θραύσματα και κροκάλες, στρώσεις κόκκινων ιζημάτων, αργίλους και άμμους, ενώ κατά θέσεις παρατηρούνται εμφανίσεις σκληρών οριζόντων. Ο συγκεκριμένος σχηματισμός εντοπίζεται στη λεκάνη της Φλώρινας, στα ΝΑ περιθώρια της λεκάνης Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, στα περιθώρια της λεκάνης Κοζάνης-Σερβίων και στη λεκάνη Σαραντάπορου, όπου παρατηρείται το μέγιστο πάχος του. Την ακολουθία κλείνουν σύγχρονες αποθέσεις, όπως είναι ο ελουβιακός μανδύας, οι αλλουβιακές αποθέσεις και τα αλλουβιακά ριπίδια (Metaxas et al., 2007).

Τέλος ολοκαινικές αποθέσεις τύρφης υπήρχαν μέχρι πρόσφατα σε αρκετές περιοχές της λεκάνης Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου. Για παράδειγμα, στην αρχή του Ολοκαίνου δημιουργήθηκε μια ελώδης περιοχή, ΒΑ της λίμνης Χειμαδίτιδας, στην οποία επικρατούσαν λιμνοτελματικές συνθήκες ευνοώντας τη συσσώρευση τύρφης. Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας ήταν η δημιουργία τυρφώνα σε έκταση ~ 28 km^2. Ο χαμηλός όμως ρυθμός συσσώρευσης τύρφης, ο οποίος συνδέεται με την περιοδική διακύμανση της στάθμης της λίμνης, οδήγησε στην αποσύνθεση, οξείδωση και απώλεια του οργανικού υλικού που είχε αποτεθεί. Επιπλέον, η αποξήρανση και η εντατική καλλιέργεια του τυρφώνα κατά τη δεκαετία το 1950, σε συνδυασμό με της κλιματικές συνθήκες που επικρατούσαν την περίοδο αυτή, είχαν ως αποτέλεσμα την πτώση της επιφάνειας του τυρφώνα κατά 2,0 m, σε μια περίοδο μόλις 18 ετών (Bouzinos et al., 1997).

Συνοψίζοντας, σχετικά με τις εμφανίσεις των γαιανθράκων στον ελλαδικό χώρο, οι πιο σημαντικές λιγνιτικές αποθέσεις εντοπίζονται στην τεκτονική τάφρο Μοναστηρίου (Βίτολα)-Σερβίων, είναι ηλικίας Μειοκαίνου, Κατώτερου και Ανώτερου Πλειστοκαίνου και σχηματίστηκαν σε ελώδη, λιμναία και ποταμολιμναία περιβάλλοντα ιζηματογένεσης. Στη

συγκεκριμένη τεκτονική τάφρο και κυρίως στη νεογενή λεκάνη Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου αναγνωρίστηκαν (4) φάσεις λιγνιτογένεσης, οι οποίες προσδιορίστηκαν ως εξής:

1. Ανώτερο Μειόκαινο – Κατώτερο Πλειόκαινο (λιγνίτης "τύπου ξυλίτη")
2. Κατώτερο – Ανώτερο Πλειόκαινο (λιγνίτης γαιώδους τύπου)
3. Πλειστόκαινο (λιγνίτης – τυρφοειδής λιγνίτης)
4. Ολόκαινο (τύρφη)

3.2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

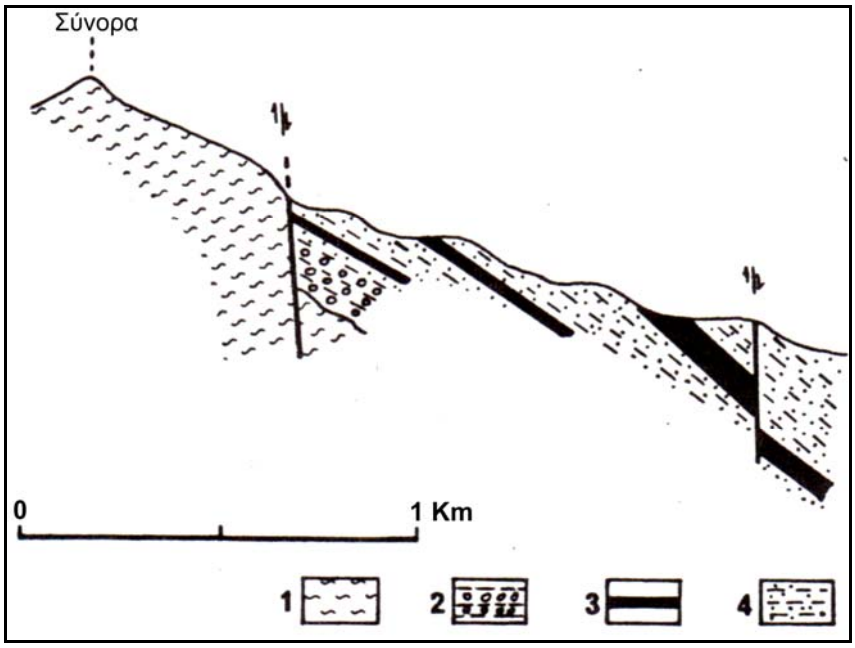
Από τεκτονική άποψη τόσο οι προ-νεογενείς σχηματισμοί, όσο και τα νεογενή-τεταρτογενή ιζήματα διατέμνονται από πλήθος επιμήκων κανονικών ρηγμάτων.

Στις λεκάνες Φλώρινας και Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, καθώς και στα περιθώρια αυτών εμφανίζονται δύο κύρια συστήματα ρηγμάτων ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, τα περισσότερα από τα οποία παρουσιάζουν καθαρή "dip-slip" κίνηση. Τα μεγάλου μήκους κανονικά ρήγματα ΒΑ-ΝΔ διευθύνσεως κυριαρχούν στην περιοχή και ελέγχουν τη δομή και τη γεωμορφολογία των λεκανών, ενώ αυτά με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση καλύπτονται από ιζήματα (Pavlides and Mountrakis, 1987). Ορισμένα από τα μεγαλύτερα ρήγματα της περιοχής είναι:

- Πετρών-Νυμφαίου, το οποίο έχει διεύθυνση Β30^{o}Α, κλίνει ΝΑ και παρουσιάζει μήκος μεγαλύτερο των 30 km.
- Το κύριο ρήγμα της Βεγορίτιδας, το οποίο έχει διεύθυνση Β40^{o}Α, κλίνει ΝΑ, διασχίζει τα χωριά Αγ. Σπυρίδων, Αγ. Παντελεήμων και Βεγόρα και παρουσιάζει μήκος περίπου 20 km.
- Το ρήγμα Χειμαδίτιδας-Αναργύρων, το οποίο έχει διεύθυνση Β30^{o}Α, κλίνει ΝΑ και παρουσιάζει μήκος μεγαλύτερο των 10 km.
- Η ομάδα των παράλληλων κανονικών ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης της κοιλάδας Βερμίου-Κομνηνών και Πτολεμαΐδας-Προσηλίου, η οποία εκτείνεται σε μήκος μεγαλύτερο των 50 km.

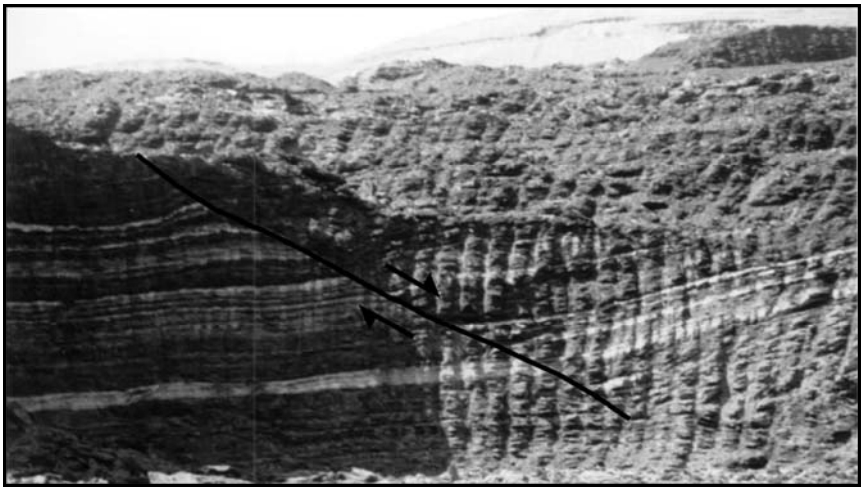
Τα ρήγματα, τα οποία επηρεάζουν τα νεογενή-τεταρτογενή ιζήματα των λεκανών, είτε συμπίπτουν είτε έχουν παρόμοιες διευθύνσεις με αυτά, τα οποία επηρέασαν τα προ-νεογενή πετρώματα του υποβάθρου και κυρίως τους μεσοζωικούς ασβεστολίθους των περιθωρίων των εν λόγω λεκανών, καθώς ορισμένα από τα κανονικά ρήγματα του υποβάθρου συνεχίζουν στα υπερκείμενα ιζήματα. Τα ρήγματα αυτά αρχικώς δημιουργήθηκαν σε προ-νεογενή περίοδο (Mountrakis, 1982, 1984) και πιθανά επαναδραστηριοποιήθηκαν λόγω νεοτεκτονικής παραμόρφωσης με αποτέλεσμα τα νεοτεκτονικά ρήγματα, που εμφανίζονται στα ιζήματα των λεκανών, να ακολουθούν τις προϋπάρχουσες δομές (Pavlides and Mountrakis, 1987).

Στο σχήμα 3.2.1 δίνεται γεωλογική τομή από τις λιγνιτικές αποθέσεις της περιοχής "Αχλάδα" περιλαμβάνοντας δύο κανονικά ρήγματα (τροποποιημένο από Μαράτο, 1960). Τα ρήγματα διευθύνονται κυρίως ΒΔ-ΝΑ έως Α-Δ και επηρεάζουν μόνο τα ιζήματα της "κατώτερης νεογενούς σειράς" (Pavlides and Mountrakis, 1987).



Σχήμα 3.2.1: Σχηματική αναπαράσταση γεωλογικής τομής από τις λιγνιτικές αποθέσεις της περιοχής "Αχλάδα" η οποία περιλαμβάνει δύο κανονικά ρήγματα (τροποποιημένο από Μαράτο, 1960).

Τέλος στην εικόνα 3.2.2 φαίνεται η ύπαρξη Νεογενούς ηλικίας ρηγμάτων κανονικού χαρακτήρα.



Εικόνα 3.2.2: Κανονικό ρήγμα Νεογενούς ηλικίας στα ιζήματα της λιγνιτιφόρου ακολουθίας της Αχλάδας.

4. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι ο καθορισμός τόσο του παλαιο-περιβάλλοντος σχηματισμού και εξέλιξης του λιγνιτικού κοιτάσματος Αχλάδας, όσο και του ρόλου των ενδιάμεσων ανόργανων ιζημάτων, που εμφανίζονται στη συγκεκριμένη λιγνιτοφόρο ακολουθία. Πιο συγκεκριμένα, κύριος στόχος της παρούσας εργασίας είναι: i) ο χαρακτηρισμός του τύπου βλάστησης, ο οποίος παρείχε το αρχικό φυτικό υλικό για τη δημιουργία του συγκεκριμένου λιγνιτικού κοιτάσματος, ii) ο προσδιορισμός του τύπου του παλαιοπεριβάλλοντος μέσα στο οποίο σχηματίστηκε και εξελίχτηκε ο συγκεκριμένος παλαιοτυρφώνας καθώς και ο προσδιορισμός των διαφορετικών ζωνών βλάστησης που αναπτύχθηκαν μέσα στο χερσαίο αυτό οικοσύστημα.

Επιπλέον στόχο της παρούσας έρευνας αποτέλεσε η υποδιαίρεση της ομάδας του ξυλιτικού λιθότυπου σε επιμέρους λιθότυπους.

Πέρα από το θεωρητικό πλαίσιο έρευνας για τη γένεση και την εξέλιξη του λιγνιτικού κοιτάσματος Αχλάδας, θεωρήθηκε σκόπιμο να διερευνηθεί η ενδεχόμενη δυνατότητα αξιοποίησης των ενδιάμεσων ανόργανων οριζόντων (στείρα) της λιγνιτοφόρου στιβάδας για βιομηχανική χρήση και συγκεκριμένα για την παρασκευή παραδοσιακών κεραμικών προϊόντων.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων εφαρμόστηκαν διάφορες αναλυτικές μέθοδοι Οργανικής Πετρολογίας, Οργανικής Γεωχημείας, Ορυκτολογίας και Παλαιοβοτανικής, προκειμένου να συλλεχθούν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες και να συσχετισθούν τα αποτελέσματα.

Η εργασία προσθέτει νέα δεδομένα σε θέματα που αφορούν στα παλαιο-περιβάλλοντα σχηματισμού λιγνιτικών κοιτασμάτων της ΒΔ Μακεδονίας και συγκεκριμένα στα ανατολικά περιθώρια της λεκάνης της Φλώρινας, όπου σχηματίζονται λιγνιτικές ακολουθίες με έντονη συμμετοχή ξυλιτών. Ακόμη συμβάλλει στη θετική αντιμετώπιση, για μελλοντική αξιοποίηση, των ενδιάμεσων ανόργανων υλικών (στείρα), τα οποία εμφανίζονται στις λιγνιτοφορίες και τα οποία ουσιαστικά αποτελούν αρνητικό οικονομικό παράγοντα στην εξόρυξη των λιγνιτικών κοιτασμάτων, δεδομένου ότι απαιτούν επιπλέον επεξεργασία διαχωρισμού καύσιμης ύλης και ανόργανου υλικού και επομένως αυξάνουν το κόστος εκμετάλλευσης των γαιανθρακικών κοιτασμάτων.

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

1. Εργασία υπαίθρου με στόχο την καταγραφή των μακροσκοπικών χαρακτηριστικών του λιγνιτικού κοιτάσματος Αχλάδας, συλλογή δειγμάτων λιγνίτη και ενδιάμεσων ανόργανων, επιτόπια μακροσκοπική περιγραφή δειγμάτων καθώς και συμπληρωματική περιγραφή και προετοιμασία δειγμάτων στο εργαστήριο
2. Εργαστηριακοί προσδιορισμοί και αναλύσεις στα συλλεγέντα δείγματα (οργανικής και ανόργανης προέλευσης). Οι προσδιορισμοί αυτοί περιλαμβάνουν ορυκτολογικές, ανθρακοπετρογραφικές και παλαιοβοτανικές αναλύσεις.
3. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων – Σύγκριση με άλλα λιγνιτικά κοιτάσματα – Συμπεράσματα

5.1 ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ - ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Με τον όρο "δείγμα" νοείται το αντιπροσωπευτικό εκείνο κλάσμα μιας μάζας υλικού, το οποίο απαιτείται για δοκιμές ή ανάλυση, προκειμένου να προσδιοριστεί η φύση και η σύνθεση της μητρικής ύλης (μάζα, από την οποία αποσπάστηκε το δείγμα), το οποίο έχει συλλεχθεί με μεθόδους, οι οποίες ακολουθούν διεθνή πρότυπα και προστατεύεται από αλλοίωση και χημικές μεταβολές κατά τη μεταφορά και παραμονή του στο εργαστήριο (Pryor, 1963). Τα υλικά, τα οποία λαμβάνονται από την ύπαιθρο κατά την εκπόνηση μιας μελέτης θα πρέπει να θεωρούνται ως "αντιπροσωπευτικά δείγματα" αντί για "δείγματα", διότι παρά το γεγονός ότι έχει καθιερωθεί πλέον να τα ονομάζουμε "δείγματα" στην πραγματικότητα δεν είναι. Για λόγους ευκολίας και συμβατότητας με άλλες σύγχρονες μελέτες, στο κείμενο που ακολουθεί χρησιμοποιήθηκε η λέξη "δείγμα". Η καταλληλότητα διαφορετικού τύπου δειγμάτων εξαρτάται από την πηγή, τις συνθήκες κάτω από τις οποίες λαμβάνεται το υλικό και τον σκοπό, για τον οποίο προορίζεται η ανάλυση (Taylor et al., 1998).

Για τη μελέτη του λιγνιτικού κοιτάσματος Αχλάδας πραγματοποιήθηκαν συχνές επισκέψεις στο χώρο του ορυχείου και καταγράφηκαν σημαντικά μακροσκοπικά χαρακτηριστικά (ιζηματολογικοί παράμετροι, ομοιογένεια απόθεσης οργανικών και ανόργανων ιζημάτων κ.ά), τα οποία σε συνδυασμό με τις παρατηρήσεις σε μικροσκοπικό επίπεδο κρίνονται απαραίτητα για την αναπαράσταση του παλαιο-περιβάλλοντος σχηματισμού του υπό εξέταση λιγνιτικού κοιτάσματος. Παράλληλα έγινε δειγματοληψία

τόσο από τους οργανικούς, όσο και από τους ενδιάμεσους ανόργανους ορίζοντες της λιγνιτοφόρου ακολουθίας. Για την παλαιοπεριβαλλοντική μελέτη των ενδιάμεσων ανόργανων ιζημάτων δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στην απόπλυση των δειγμάτων με H_2O_2 και νερό (αναλογία 1:10), προκειμένου να συλλεχθεί το παλαιοβοτανικό υλικό.

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε προϋπάρχον μέτωπο εκσκαφής, από τη βάση προς την κορυφή της λιγνιτοφόρου ακολουθίας και υπό γωνία ως προς το οριζόντιο επίπεδο, προκειμένου να επιτευχθεί η όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτική λήψη δειγμάτων, όσον αναφορά στο εύρος των εμφανιζόμενων στρωμάτων.

Η συστηματική καταγραφή στοιχείων είτε σε μέτωπο εκσκαφής είτε σε γεώτρηση, αποκαλύπτει εάν χαρακτηριστικά στρώματα, που περιλαμβάνονται στα μελετώμενα προφίλ, αναγνωρίζονται σε μεγάλη έκταση μιας περιοχής και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως χαρακτηριστικοί ορίζοντες συσχετισμού (Cameron, 1978).

Η παρουσία ενός χαρακτηριστικού ορίζοντα, όπως για παράδειγμα ενός στρώματος αργίλου, μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον συσχετισμό των στρωμάτων είτε τοπικά είτε σε ολόκληρη την έκταση μιας γεωλογικής λεκάνης. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι τα χαρακτηριστικά των μεγασκοπικών τομών έχουν χρησιμοποιηθεί κατά το παρελθόν για να εξαχθούν συμπεράσματα, τα οποία αφορούν στη βλάστηση, το περιβάλλον, καθώς και τις κλιματικές και τεκτονικές συνθήκες, οι οποίες επικράτησαν κατά τη χρονική περίοδο απόθεσης των ιζημάτων (Marchioni, 1980).

Στην παρούσα μελέτη η δειγματοληψία στους λιγνιτικούς ορίζοντες πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την κατά αύλακα μέθοδο (Bustin et al., 1989, Thomas, 1992). Συγκεκριμένα, αφού αφαιρέθηκε η οξειδωμένη επιφάνεια του λιγνίτη, διανοίχτηκε αυλάκι βάθους 30-50 cm και πλάτους 30 cm σε όλο το πάχος της λιγνιτικής στρώσης και κάθετα στη στρώση. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίστηκε η ορθή μακροσκοπική περιγραφή και η δειγματοληψία υγιούς τμήματος του σχηματισμού. Το πάχος της λιγνιτοφόρου ακολουθίας, το οποίο μελετήθηκε είναι 26,2 m. Συνολικά, συλλέχθηκαν 197 δείγματα (164 οργανικά και 33 ανόργανα), διαδοχικά από τη βάση της ακολουθίας προς την κορυφή, σε κάθε περίπτωση αλλαγής στη λιθολογία (π.χ σημαντική διαφοροποίηση της υφής του λιγνίτη), κατά μέσο όρο ανά 13 cm, με ελάχιστο τα 2 cm και μέγιστο (ελάχιστες εξαιρέσεις) τα 60 cm, έτσι ώστε να αποτυπωθούν πλήρως οι εναλλαγές των φάσεων που στο σύνολο τους συνιστούν την όλη εξέλιξη του παλαιοπεριβάλλοντος της υπό μελέτη περιοχής. Στη συνέχεια τα δείγματα εξετάστηκαν επιτόπου μακροσκοπικά και περιγράφηκαν και καταγράφηκαν τα λιθολογικά τους χαρακτηριστικά περιλαμβανομένων των λιγνιτικών λιθότυπων [σύμφωνα με την ονοματολογία της Διεθνούς Ένωσης Πετρολογίας Ορυκτών Ανθράκων (ICCP 1993) και

Taylor et al., 1998], το χρώμα και τα διάφορα εγκλείσματα, όπως απολιθώματα, φυτικά λείψανα, διάφορα ορυκτά κ.ά (Keys and Henderson, 1983).

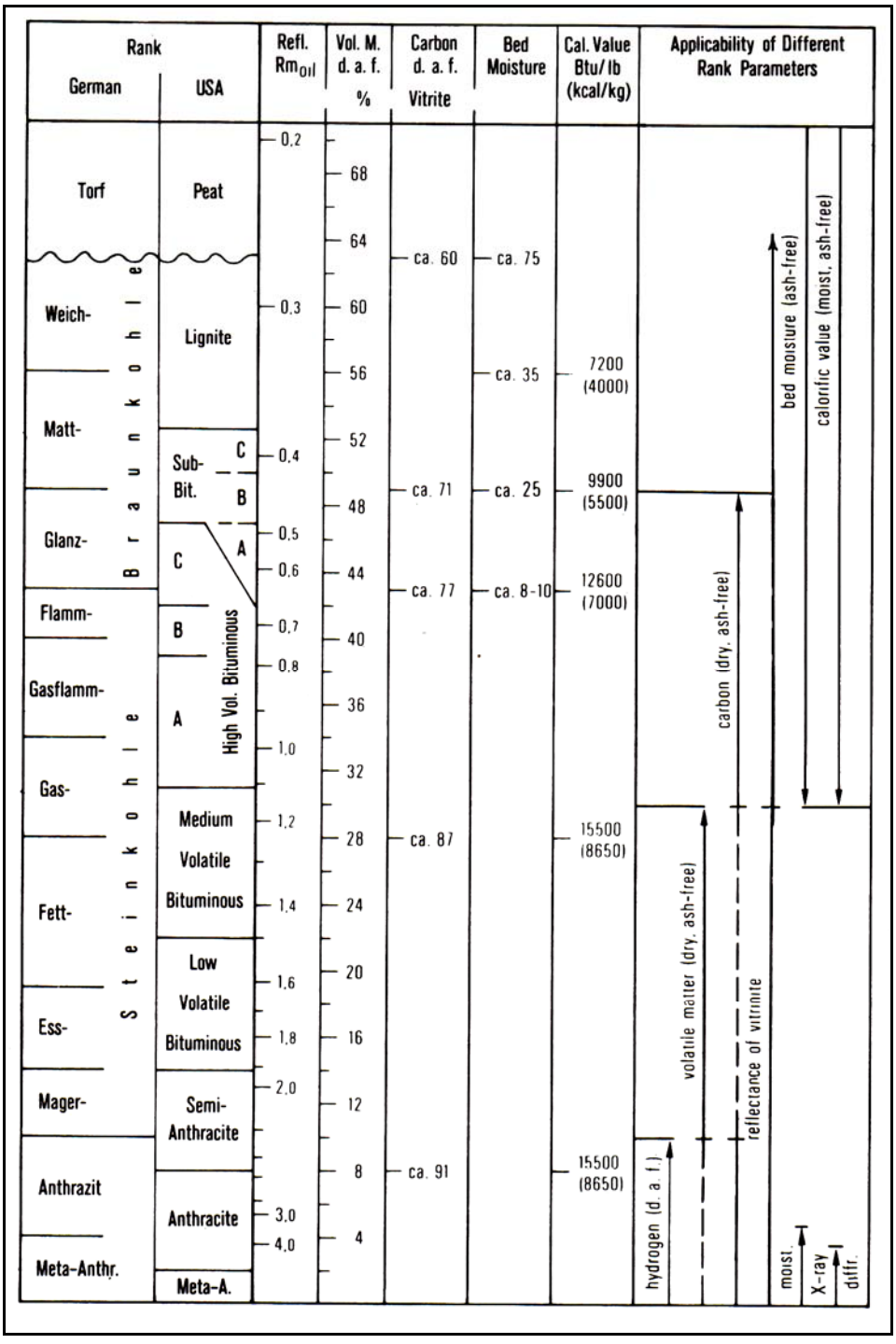
5.1.1 Ταξινόμηση οργανικών ιζημάτων

Η ταξινόμηση των ορυκτών ανθράκων πάντοτε αποτελούσε ένα σύνθετο εγχείρημα. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας που παρουσιάζουν στη χημική σύσταση και τις φυσικές ιδιότητες και λόγω της ποικιλίας εφαρμογών τους, με το πέρασμα των χρόνων έχει προταθεί ένας μεγάλος αριθμός σχημάτων ταξινόμησης των ορυκτών ανθράκων, από πλήθος ερευνητών (Fayol, 1887, Stopes, 1919, ICCP, 1963, 1993, Diessel, 1992 κ.ά), οι οποίοι χρησιμοποίησαν ποικιλία παραμέτρων ως σημεία αναφοράς. Τέτοιες παράμετροι είναι για παράδειγμα, η γεωλογική ηλικία, η πετρογραφική σύσταση, το περιεχόμενο σε ανόργανα υλικά, η θερμογόνος δύναμη, η οξειδωτική ικανότητα, η αντοχή σε θραύση καθώς και ο βαθμός ενανθράκωσης, ο οποίος θεωρείται μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους.

Το πρότυπο σύστημα, το οποίο στηρίζεται στο βαθμό ενανθράκωσης και χρησιμοποιείται στην Βόρειο Αμερική είναι το ASTM (American Society for Testing and Materials 1981), το οποίο βασίζεται στα περιεχόμενα πτητικά συστατικά και τη θερμογόνο δύναμη του ορυκτού άνθρακα, χωρίς να περιλαμβάνει πετρολογικές παραμέτρους. Πρέπει να σημειωθεί, ότι η χρήση των όρων λιγνίτης, βιτουμενιούχος γαιάνθρακας και ανθρακίτης, που προκύπτουν με βάση τις παραπάνω παραμέτρους, διαφοροποιούνται, δεδομένου ότι οι διάφορες χώρες χρησιμοποιούν διαφορετικά συστήματα ταξινόμησης (Bustin et al., 1983).

Με έμφαση στα πτητικά συστατικά, την τέφρα και την περιεχόμενη υγρασία, το ASTM σύστημα στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην προσεγγιστική (proximate) ανάλυση, ενώ άλλα συστήματα βασίζονται στην άμεση (ultimate) ανάλυση (στοιχειακή σύνθεση του γαιάνθρακα) και ειδικά στο περιεχόμενό του σε άνθρακα. Μια από τις πλέον γνωστές ταξινομήσεις, η οποία βασίζεται στην άμεση ανάλυση είναι αυτή του Seyler, η οποία πρώτο-χρησιμοποιήθηκε σε γαιάνθρακες της Μεγάλης Βρετανίας και η οποία αργότερα επεκτάθηκε και σε άλλους ορυκτούς άνθρακες (Sayler, 1924, in Eliot and Yohe, 1981). Το σχήμα ταξινόμησης του Sayler βασίστηκε στην αναλογία άνθρακα και υδρογόνου. Ένας άλλος τύπος ταξινόμησης του λιγνίτη βασισμένος στη συνολικά περιεχόμενη υγρασία και την χαμηλής θερμοκρασίας “tar yield”, προτάθηκε επίσης από τον Montgomery (1978). Στον Πίνακα 5.1.1 δίνονται το Γερμανικό (DIN) και το Βόρειο Αμερικάνικο (ASTM) σύστημα ταξινόμησης, με βάση το βαθμό ενανθράκωσης, στο οποίο συνοψίζεται η σειρά καταλληλότητας των διαφόρων παραμέτρων, που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του βαθμού αυτού.

Πίνακας 5.1.1: Συγκριτική παράθεση του Γερμανικού (DIN) και του Βόρειου Αμερικάνικου (ASTM) συστήματος ταξινόμησης γαιανθράκων με βάση το βαθμό ενανθράκωσης.



Ένα διαφορετικό σύστημα ταξινόμησης των ορυκτών ανθράκων με βάση μακρολιθότυπους εισήγαγε η ομάδα έρευνας λιγνιτικών κοιτασμάτων του πανεπιστημίου του Göttingen, όταν μελέτησε το λιγνίτη του Hessen (Klein-Reesink, 1980). Με βάση την ταξινόμηση αυτή και λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ελληνικών λιγνιτοφοριών (εμφάνιση ιστών και ξυλιτικών στρώσεων μέσα στη λιγνιτική μάζα,

περιεχόμενη τέφρα, ενδιάμεσες στρώσεις μάργας, κ.ά.) ο Kaouras (1989) τροποποίησε την παραπάνω ταξινόμηση και την προσάρμοσε στα ελληνικά δεδομένα (Πίν. 5.1.2).

Πίνακας 5.1.2: Ταξινόμηση ελληνικου λιγνίτη σε λιθότυπους (Kaouras, 1989).

Grundmassenkohle Gewebegrundmassenkohle Gewebekohle Lagenkohle Schluffige Kohle Kohliger Schluff	Toniger Kohle Kohliger Ton Mergeliger Ton Schluffige Mergel Kohliger Mergel

Για την περιγραφή και ταξινόμηση των δειγμάτων της συγκεκριμένης διατριβής ακολουθήθηκε το πλέον πρόσφατο σύστημα ταξινόμησης, όπως προτάθηκε από την International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP) το 1993 και τους Taylor et al. (1998) (Πιν. 5.1.3).

Πίνακας 5.1.3: Σύστημα ταξινόμησης των γαιανθράκων σύμφωνα με την ICCP (1993) και Taylor et al. (1998).

Ομάδα λιθότυπων λιγνίτη (Δομικά στοιχεία)	Λιθότυποι (Δομή)	Ποικιλία Λιθότυπων (Χρώμα, Ζελατινοποίηση)
Μαζώδης (matrix)	Με στρώση	Καστανό (ελαφρά ζελατινοποιημένο) Μαύρο (ζελατινοποιημένο)
	Χωρίς στρώση	Ανοικτό Καστανό (μη ζελατινοποιημένο) Καστανό (ελαφρά ζελατινοποιημένο) Μαύρο (ζελατινοποιημένο)
Μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης (mixed xylite- rich/matrix)		
Φουσινιτικός (charcoal-rich)		
Ορυκτομιγής (mineral-rich)		

Στην εν λόγω ταξινόμηση τα δείγματα, τα οποία περιέχουν <10% κ.ό ξυλώδεις ιστούς αναφέρονται ως μαζώδης λιγνίτης, αυτά με >10% κ.ό ως μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης, ενώ τα αμιγώς ξυλώδη υλικά αναφέρονται ως ξυλίτικός λιθότυπος του λιγνίτη. Ας σημειωθεί, ότι για λόγους συντομίας στη συνέχεια του κειμένου ο "ξυλίτικός λιθότυπος του λιγνίτη" αναφέρεται ως "ξυλίτης".

Η περιγραφή και ταξινόμηση των δειγμάτων, που αποκτήθηκαν από τους ενδιάμεσους ανόργανους ορίζοντες της ακολουθίας, έγινε με βάση τη σύστασή τους, όπως αυτή προσδιορίζεται μακροσκοπικά με την επίδραση υδροχλωρικού οξέος (HCl) όπως επίσης και με την κοκκομετρία, ενώ τα αποτελέσματα της περιγραφής ταυτοποιήθηκαν μέσω της εξέτασης με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ.

Το σύνολο των δειγμάτων που περιγράφηκαν και ταξινομήθηκαν και στη συνέχεια αναλύθηκαν και μελετήθηκαν βρίσκεται στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας (τμήμα Στερεών Καύσιμων Υλών) του Τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.).

5.1.1.1 Ταξινόμηση του ξυλιτικού λιθότυπου του λιγνίτη της Αχλάδας σε υπο-λιθότυπους

Ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά του λιγνιτικού κοιτάσματος της Αχλάδας είναι η έντονη εμφάνιση αμιγώς ξυλώδους υλικού, το οποίο παρουσιάζεται είτε με τη μορφή ξυλιτικών οριζόντων, είτε ως ξυλιτική μάζα, χωρίς συγκεκριμένη δομή μέσα στη λιγνιτική ακολουθία, είτε ακόμη με τη μορφή καλά διατηρημένων κορμών, το ρίζωμα των οποίων άλλοτε απαντά σε οργανικά και άλλοτε σε ανόργανα ιζήματα. Η ύπαρξη και επικράτηση του αμιγώς ξυλώδους υλικού, σε πολλά τμήματα της λιγνιτοφόρου ακολουθίας, που συνιστά μια εξαιρετική περίπτωση τουλάχιστον στον ελληνικό χώρο, οδήγησε στην πιο ενδελεχή μελέτη αυτού του ξυλώδους υλικού, τόσο σε μακροσκοπικό, όσο και σε μικροσκοπικό επίπεδο (Κεφ. 6.1).

Σε μακροσκοπικό επίπεδο δημιουργήθηκε μια ξεχωριστή ταξινόμηση για τα αμιγώς ξυλώδη υλικά λαμβάνοντας υπόψη διάφορα χαρακτηριστικά, όπως είναι η υφή, η περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά κ.ά. Η συγκεκριμένη ταξινόμηση προτείνεται ως επιπλέον ξεχωριστό τμήμα της γενικότερης ταξινόμησης των ορυκτών ανθράκων, όπως αυτή ορίστηκε από τα προαναφερθέντα διεθνή πρότυπα (βλ. Κεφ. 5.1.1). Η αναγκαιότητα γι αυτήν την περισσότερο λεπτομερή ταξινόμηση προέκυψε, από το γεγονός ότι κατά την περιγραφή του υλικού παρατηρήθηκε δυσκολία στην ακριβή αποτύπωση των χαρακτηριστικών του ξυλίτη, με αποτέλεσμα να μην είναι αντιπροσωπευτική η ένταξή του σε κάποια από τις κατηγορίες των ήδη υπαρχόντων λιθότυπων. Σύμφωνα με την ταξινόμηση του πίνακα 5.1.3 (ICCP, 1993, Taylor et al., 1998) το ξυλώδες υλικό χαρακτηρίζεται απλά ως "πλούσιος σε ξυλιτικά υπολείμματα λιγνίτης", όρος, όμως, ο οποίος δεν παρέχει τη δυνατότητα για τον περαιτέρω διαχωρισμό των διαφορετικών μορφών ξυλίτη, καθώς δεν περιλαμβάνει λιθότυπους ή ποικιλία λιθότυπων. Ακόμη, Σύμφωνα με τον Thomas, (2002) ο πλούσιος σε ξυλίτη λιγνίτης (ξυλώδης ιστός) περιλαμβάνει την ομάδα του λιγνίτη, στην οποία ο ξυλίτης (ξυλώδης ιστός) συμμετέχει με ποσοστό >10%, ενώ η θεμελιώδης μάζα είναι δετριτική και παρουσιάζεται στρωματωμένη ή μη στρωματωμένη. Έτσι, η νέα αυτή κατηγοριοποίηση αποτυπώνεται ως υποκατηγορία της γενικότερης ταξινόμησης.

Απώτερος σκοπός της ξεχωριστής αυτής ταξινόμησης είναι η δημιουργία μιας βάσης

δεδομένων των ξυλωδών υλικών, που εμφανίζονται σε λιγνιτοφόρες ακολουθίες διαφορετικών γεωλογικών λεκανών του ελλαδικού χώρου, με χρήσιμα συγκριτικά στοιχεία για τις συνθήκες, οι οποίες επικρατούσαν κατά τη δημιουργία και εξέλιξη των διαφόρων παλαιο-περιβαλλόντων.

Κατά τους Taylor et al. (1998) "η ανάγκη για τη δημιουργία ενός ξεχωριστού λιθότυπου μπορεί να έχει πολλά αίτια, όπως είναι η παρουσία ινώδους ιστού σε κάποια δείγματα λιγνίτη και η ύπαρξη μιας μάζας από φυτικό υλικό σε άλλα, η μικρή ή μεγάλη περιεκτικότητα σε ορυκτά κ.λ.π.". Έτσι, το γεγονός, ότι στο λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας παρουσιάζονται διάφοροι τύποι αμιγώς ξυλωδών υλικών (ξυλίτη) με πολύ διαφορετικά εξωτερικά χαρακτηριστικά, οδήγησε στη δημιουργία νέας ταξινόμησης. Επίσης, δίνεται η αφορμή για περαιτέρω διερεύνηση των μικροσκοπικών χαρακτηριστικών του ξεχωριστού αυτού υλικού. Παράδειγμα αποτελεί η συγκριτική μελέτη του μαζώδους και του ξυλίτικού λιθότυπου λιγνίτη, από το λιγνιτικό κοίτασμα Αχλάδας, με τη μέθοδο της υπέρυθρης Φασματοσκοπίας [Fourier Transform Infrared spectroscopy (FT-IR)].

Η ιδέα για την ξεχωριστή ταξινόμηση των αμιγώς ξυλωδών υλικών, που περιλαμβάνονται σε μια λιγνιτοφόρο στοιβάδα, δόθηκε πρώτα από έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε λιγνιτικά κοιτάσματα της Ανατολικής Γερμανίας τη δεκαετία του '70. Μία εποχή κατά την οποία, λόγω της πετρελαϊκής κρίσης δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση στην προώθηση της ανθρακοπετρογραφίας. Έτσι, σε αντιστοιχία με τους Seifert and Rascher (1979) και σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που εμφανίζονται στα ξυλιτικά δείγματα από το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας προέκυψε η ταξινόμηση τους (Πίν. 5.1.4).

Στον πίνακα 5.1.4 αναφέρεται ο όρος "μη στρωματωμένος ξυλιτικός λιγνίτης", ο οποίος χρησιμοποιείται προκειμένου να περιγραφεί λιγνιτική μάζα, με αδρά θραύσματα ξυλώδους υλικού, σε ποσοστό >25%, χωρίς συγκεκριμένη διάταξη, τα οποία εμφανίζονται άναρχα τοποθετημένα μέσα στον συγκεκριμένο λιγνιτικό ορίζοντα.

Στην ξεχωριστή ταξινόμηση των αμιγώς ξυλωδών υλικών (Πίν. 5.1.4) αναφέρονται, επίσης, οι όροι "στρωματωμένος ξυλίτης" και "στρωσιγενής ξυλίτης". Η διαφοροποίηση των δύο αυτών κατηγοριών έγκειται στο γεγονός, ότι στην πρώτη περίπτωση πρόκειται για ορίζοντα, ο οποίος στο σύνολο του φέρει επάλληλες ξυλιτικές στρώσεις, μικρού συνήθως πάχους, ενδεχόμενα με μαζώδη υφή, οι οποίες μπορούν, δυνητικά, να θεωρηθούν ως αυτόνομοι ξυλιτικοί ορίζοντες. Κατά θέσεις, στο μεσοδιάστημα μεταξύ των προαναφερόμενων διαφορετικών οριζόντων, παρατηρείται απόθεση ανόργανου υλικού (συνηθέστερα άργιλος ή μάργα).

Στη δεύτερη περίπτωση, όπου το υλικό χαρακτηρίζεται ως "στρωσιγενής ξυλίτης",

πρόκειται για αμιγώς ξυλώδες υλικό, το οποίο φέρει διακριτές στρώσεις εντός της μάζας του και το οποίο στο σύνολό του συνιστά έναν αυτόνομο ξυλιτικό ορίζοντα. Οπτικά οι στρώσεις αυτές θα μπορούσαν να παραλληλιστούν με τις φολιδώσεις, οι οποίες συναντώνται στους σχιστολίθους.

Ας σημειωθεί, ότι ο υπο-λιθότυπος του στρωσιγενή ξυλίτη παρουσιάζει εμφανώς χαμηλότερο ποσοστό συμμετοχής χουμινίτη (~80%), σε σχέση με το αντίστοιχο ποσοστό στον υπο-λιθότυπο του στρωματωμένου ξυλίτη (~90%). Το αντίστροφο ισχύει για την ομάδα του λειπτινίτη, του οποίου το ποσοστό συμμετοχής παρουσιάζεται εμφανώς αυξημένο στο στρωσιγενή ξυλίτη (~18,5%), σε σχέση με το στρωματωμένο ξυλίτη (~9%).

Μία ακόμη χαρακτηριστική διαφοροποίηση των δύο παραπάνω υπο-λιθότυπων είναι, ότι ο μεν στρωματωμένος ξυλίτης παρουσιάζεται στο σύνολο της ακολουθίας, ο δε στρωσιγενής συνυπάρχει με τον στρωματωμένο από τα 12,5 m, έως και την κορυφή. Η εμφάνιση του στρωσιγενούς ξυλίτη φαίνεται να σχετίζεται με τη μείωση του ποσοστού του *ουλμινίτη Α*. Συγκεκριμένα, μέχρι τα 9,5 m επικρατεί ο *ουλμινίτης Α,* με μέσο ποσοστό ~55% έναντι του *ουλμινίτη Β (~20%)*, ενώ από τα 9,5 m έως και την κορυφή όπου εμφανίζεται, κατά θέσεις, ο στρωσιγενής ξυλίτης το ποσοστό συμμετοχής του *ουλμινίτη Α* μειώνεται αισθητά με μέση ποσοστιαία συμμετοχή ~17%. Επί πλέον, ο στρωματωμένος ξυλίτης μπορεί, σε ορισμένες περιπτώσεις, να χαρακτηριστεί και ως ξυλίτης πλούσιος σε ανόργανα δεδομένου, ότι λόγω της υφής του (μικρά διάκενα μεταξύ των αυτόνομων ξυλιτικών οριζόντων) επιτρέπει την κυκλοφορία νερού μέσα στη μάζα του και, επομένως, την απόθεση λεπτόκοκκου ανόργανου υλικού εντός αυτής.

Οι όροι "μάζα ξυλίτη, όπου κυριαρχούν οι ιστοί", "μάζα ξυλίτη με συμπαγή δομή" και "μάζα ξυλίτη, που είναι λαμπερή" αναφέρονται σε άμορφη μάζα αμιγώς ξυλώδους υλικού, η οποία στην πρώτη περίπτωση φέρει υπολείμματα φυτικού ιστού, στη δεύτερη εμφανίζει ως κύριο χαρακτηριστικό την έντονα συμπαγή δομή και στην τρίτη λάμπει αισθητά περισσότερο, συγκριτικά με τους υπόλοιπους ξυλιτικούς ορίζοντες. Οι παραπάνω όροι χρησιμοποιήθηκαν για να υποδηλώσουν την ξεκάθαρη διαφοροποίηση της υφής του συγκεκριμένου ξυλώδους υλικού σε σχέση με τους άλλους υπο-λιθότυπους. Με τον όρο "μάζα" υποδηλώνεται η απουσία διακλάσεων ή άλλων κενών χώρων, όπως επίσης και η ανομοιογένεια στο εσωτερικό του ξυλώδους υλικού. Η συμπαγής αυτή δομή αποτρέπει τη διείσδυση υδατικών διαλυμάτων εντός της ξυλιτικής μάζας και οδηγεί στη μείωση της συμμετοχής ανόργανων υλικών. Εξαίρεση αποτελεί σε ορισμένες περιπτώσεις η εμφάνιση του σιδηροπυρίτη, η παρουσία του οποίου είναι δυνατόν να σχετίζεται με ενδογενείς διεργασίες σχηματισμού του μέσα στον παλαιοτυρφώνα (βλ. Κεφ. 6.2).

Από τα FT-IR φάσματα (Παρ. ΙΙΙ) προέκυψε ότι τα δείγματα που χαρακτηρίστηκαν ως μάζα ξυλίτη με συμπαγή δομή παρουσιάζουν εντονότερη κορυφή στην περιοχή των ~1600 cm^{-1} σε σχέση με το υλικό που χαρακτηρίστηκε ως στρωματωμένος ξυλίτης. Στη συγκεκριμένη περιοχή εμφανίζονται δονήσεις οξυγονούχων δραστικών ομάδων όπως είναι οι κετόνες και τα καρβονύλια (βλ. Κεφ. 6.5.2), γεγονός που υποδηλώνει τη μεγαλύτερη συμμετοχή οξυγόνου σε αυτού του είδους το υλικό. Με βάση τα παραπάνω και δεδομένου, ότι ο λιγνίτης χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης περιέχει υψηλό ποσοστό οξυγόνου και κατ' επέκταση οξυγονούχων ομάδων (π.χ. C=O), φαίνεται ότι το ξυλώδες υλικό που χαρακτηρίστηκε ως μάζα ξυλίτη παρουσιάζει χαμηλότερο βαθμό ενανθράκωσης σε σχέση με τον υπο-λιθότυπο του στρωματωμένου ξυλίτη. Παράλληλα, στα δείγματα που χαρακτηρίστηκαν ως μάζα ξυλίτη το ποσοστό συμμετοχής του *ουλμινίτη* περιορίζεται σε σχέση με τη συμμετοχή αυτού στα δείγματα στρωματωμένου ξυλίτη, γεγονός το οποίο υποδηλώνει λιγότερο έντονες συνθήκες ζελατινοποίησης και κατ' επέκταση χουμοποίησης της ξυλιτικής μάζας. Η συμπαγής (χωρίς κενά) δομή του συγκεκριμένου ξυλώδους υλικού πιθανά να περιορίζει τη χουμοποίησή του, καθώς δεν επιτρέπει τη μετακίνηση διαλυμάτων εντός της μάζας, είτε αυτά προέρχονται από το εσωτερικό της είτε εισέρχονται από τον περιβάλλοντα χώρο.

Ο όρος "ινώδης ξυλίτης" χρησιμοποιήθηκε για να περιγραφεί αμιγώς ξυλώδες υλικό, το οποίο παρουσιάζει έντονα ινώδη υφή, ενώ ο όρος "κατακερματισμένος ξυλίτης" περιγράφει ενιαία ξυλιτικά τεμάχη, τα οποία φέρουν εμφανείς διαρρήξεις (σπασίματα), γενεσιουργό αιτία των οποίων φαίνεται να αποτελεί η εφαρμογή τάσεων (πίεση) εξ αιτίας του βάρους των υπερκείμενων στρωμάτων και όχι η μηχανική μεταφορά τους στο τυρφογενετικό πεδίο. Επίσης, ο όρος "ζελατινοειδής ξυλίτης" αποδίδεται σε αμιγώς ξυλώδες υλικό, το οποίο φέρει πολύ υψηλό ποσοστό έντονα ζελατινοποιημένης οργανικής ύλης (γέλη) με τη μορφή πληρώσεων ή ακόμη και ως μεμονωμένες και διάσπαρτες (συνηθέστερα φακοειδούς μορφής) συγκεντρώσεις. Η συμμετοχή του ζελατινοειδούς ξυλίτη αυξάνει από τη βάση της περιγραφόμενης ακολουθίας προς την κορυφή αυτής, ενώ παράλληλα αυξάνεται και το ποσοστό συμμετοχής του *ουλμινίτη Β*, ο οποίος υποδηλώνει συνθήκες ευνοϊκές για ζελατινοποίηση. Γενικά, η αύξηση του βαθμού ζελατινοποίησης από τη βάση των λιγνιτοφόρων στοιβάδων προς την κορυφή τους έχει παρατηρηθεί σε διάφορα λιγνιτικά κοιτάσματα παγκοσμίως υποδηλώνοντας, ότι η ζελατινοποίηση των φυτικών ιστών πιθανά να ελέγχεται από τη δραστηριότητα των αναερόβιων και όχι των αερόβιων βακτηριδίων (Bechtel et al., 2003, Bechtel et al., 2005).

Τέλος, σε αντιστοιχία με τον όρο "πλούσιος σε ανόργανα λιγνίτης" χρησιμοποιήθηκε ο

όρος "ξυλίτης πλούσιος σε ανόργανα" για να περιγράψει ξυλώδες υλικό, το οποίο φέρει ποσοστό ανόργανων υλικών >10%.

Πίνακας 5.1.4: Σύστημα ταξινόμησης ξυλιτών, οι οποίοι αφορούν στο λιγνιτικό κοίτασμα Αχλάδας του Νομού Φλώρινας.

ΥΠΟ-ΛΙΘΟΤΥΠΟΣ ΞΥΛΙΤΗ		**ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**	
Διάσπαρτος ξυλίτης μέσα σε λιγνίτη		Λιγνίτης, ο οποίος παρουσιάζει διάσπαρτα ξυλιτικά θραύσματα σε ποσοστό <10 %	
Μη στρωματωμένος ξυλιτικός λιγνίτης		Λιγνιτική μάζα, με αδρά θραύσματα ξυλώδους υλικού, σε ποσοστό >10%, χωρίς συγκεκριμένη διάταξη μέσα στη λιγνιτική μάζα	
Στρωματωμένος ξυλιτικός λιγνίτης		Λιγνιτική μάζα, με αδρά θραύσματα ξυλώδους υλικού, σε ποσοστό >10%, τα οποία παρουσιάζονται τοποθετημένα σε συγκεκριμένη διάταξη έτσι ώστε να σχηματίζουν ζώνες με καθαρά ξυλιτική υφή μέσα στη λιγνιτική μάζα	
Στρωματωμένος ξυλίτης		Σύνολο επάλληλων ξυλιτικών στρώσεων, μικρού συνήθως πάχους, οι οποίες μπορούν δυνητικά να θεωρηθούν ως αυτόνομοι ξυλιτικοί ορίζοντες. Στο μεσοδιάστημα των ξυλιτικών στρώσεων, παρατηρείται απόθεση ανόργανου υλικού (συνηθέστερα άργιλος ή μάργα)	
Στρωσιγενής ξυλίτης		Αμιγώς ξυλώδες υλικό, το οποίο φέρει διακριτές στρώσεις εντός της μάζας του. Οι στρώσεις αυτές θα μπορούσαν να παραλληλιστούν με τις φολιδώσεις, οι οποίες συναντώνται στους σχιστολίθους	
Μάζα ξυλίτη	Διακριτοί ιστοί	Αμιγώς ξυλώδες υλικό από αδρά ξυλιτικά τεμάχη, το οποίο δεν παρουσιάζει συγκεκριμένη διάταξη και στο οποίο διακρίνονται φυτικοί ιστοί	
	Συμπαγής δομή	Άμορφη μάζα αμιγώς ξυλώδους υλικού, στην οποία δεν διακρίνονται φυτολογικά και ιστολογικά χαρακτηριστικά, ενώ οι διακλάσεις και οι ασυνέχειες είναι πολύ περιορισμένες. Το ξυλώδες υλικό προέρχεται από μεγάλου μεγέθους κλαριά, αδρά τεμάχη από κορμούς δέντρων ή ακόμη και ολόκληρα τμήματα αυτών (συνηθέστερα το κατώτερο τμήμα τους)	
	Λαμπερή	Αμιγώς ξυλώδες υλικό, με εντονότερη λάμψη, σε σύγκριση με άλλα ξυλώδη υλικά	
Ινώδης ξυλίτης		Αμιγώς ξυλώδες υλικό, το οποίο εμφανίζει ινώδη υφή και χαρακτηρίζεται από ινώδη θρυμματισμό	Μακροσκοπικά διακρίνονται κλαδιά, ρίζες και άλλα ξυλώδη θραύσματα μικρού μεγέθους
Κατακερματισμένος ξυλίτης		Αμιγώς ξυλώδες υλικό, το οποίο φέρει έντονα σημάδια διάρρηξης (σπασίματα, cracks), γενεσιουργός αιτία των οποίων αποτελεί η εφαρμογή τάσεων (πίεση) εξ' αιτίας του βάρους των υπερκείμενων στρωμάτων και όχι η μηχανική μεταφορά τους στο τυρφογενετικό πεδίο	
Ζελατινοειδής ξυλίτης		Αμιγώς ξυλώδες υλικό, το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό ζελατινοποιημένου οργανικού υλικού (γέλη)	
Ξυλίτης πλούσιος σε ανόργανα		Αμιγώς ξυλώδες υλικό, το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό συμμετοχής ανόργανου υλικού τόσο επιφανειακά όσο και εντός των διακλάσεων ή διαρρήξεων, που τυχόν φέρει	
Κίτρινος, καστανός ή μαυρωπός ξυλίτης		Αμιγώς ξυλώδες υλικό το οποίο εμφανίζει κιτρινωπό, καστανό ή μαυρωπό χρώμα	

5.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Οι μέθοδοι ανάλυσης, οι οποίες χρησιμοποιηθήκαν και περιγράφονται στη συνέχεια, είναι:

- Προσεγγιστική και άμεση ανάλυση
- Ανθρακοπετρογραφική ανάλυση
- Παλαιοβοτανική (παλυνολογική και παλαιοκαρπολογική) ανάλυση
- Ορυκτολογική ανάλυση

Τα δείγματα των οργανικών και των ανόργανων ιζημάτων, που προορίζονταν για τις εργαστηριακές αναλύσεις, αφού ξηράνθηκαν στον αέρα σε περιβάλλον δωματίου (~25 ^{o}C), κονιοποιήθηκαν σε γουδί από αχάτη, σε μέγεθος κόκκου Ø<1mm ή 250μm, ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε μεθόδου ανάλυσης, και στη συνέχεια ομογενοποιήθηκαν.

5.2.1 Προσεγγιστική και άμεση ανάλυση (proximate and elemental analysis)

Η προσεγγιστική ανάλυση περιλαμβάνει τους προσδιορισμούς υγρασίας και τέφρας. Πρόκειται για τους συνήθεις προσδιορισμούς, οι οποίοι πραγματοποιούνται στους γαιάνθρακες και τα αποτελέσματα δίνουν χρήσιμες πληροφορίες τόσο για τη γένεση και την εξέλιξή τους, όσο και για τις τεχνολογικές τους εφαρμογές (Bustin et al., 1989, Thomas, 1992). Οι συγκεκριμένοι προσδιορισμοί πραγματοποιήθηκαν στα Εργαστήρια Γεωλογίας και Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου ακολουθώντας τα πρότυπα της American Society for Testing and Materials (ASTM).

5.2.1.1 Προσδιορισμός υγρασίας

Η υγρασία αποτελεί μια σημαντική παράμετρο έμμεσου προσδιορισμού του βαθμού ενανθράκωσης των γαιανθράκων χαμηλού βαθμού ωριμότητας και επηρεάζει καθοριστικά τις μεθόδους αξιοποίησης αυτών (ASTM D388-95, ECE-UN 1998). Με την αύξηση του βαθμού ενανθράκωσης μειώνεται η περιεχόμενη υγρασία και αυξάνεται η θερμαντική ικανότητα (Diessel 1992). Η ικανότητα των ορυκτών ανθράκων να συγκρατούν τη φυσική υγρασία σχετίζεται άμεσα από το βαθμό συμπίεσής τους, που οφείλεται στη λιθοστατική πίεση. Η η φυσική υγρασία σχετίζεται με όλες τις διεργασίες σχηματισμού ενός κοιτάσματος (τυρφογένεση, χουμοποίηση και ενανθράκωση), όπως επίσης και με άλλες παραμέτρους (διαγένεση, πορώδες), δεδομένου ότι με αύξηση της πίεσης το πορώδες των ορυκτών ανθράκων μειώνεται (Αντωνιάδης 2007).

Η φυσική υγρασία ενός δείγματος λιγνίτη είναι η περιεχόμενη υγρασία του δείγματος στη φύση. Κατά τη μεταφορά όμως του δείγματος στο εργαστήριο, ένα ποσοστό αυτής χάνεται. Η υγρασία που παραμένει στο δείγμα, όταν αυτό φθάσει στο εργαστήριο, καλείται "ως έχει" υγρασία, και διακρίνεται σε αρχική ή υπολειμματική και σε υγροσκοπική. Αρχική υγρασία καλείται το ποσοστό του νερού που εξατμίζεται σε θερμοκρασία δωματίου (~25 ^{o}C). Η υγροσκοπική υγρασία αποτελεί την απώλεια βάρους κατά την ξήρανση ενός ήδη αεροξηραθέντος δοκιμίου (Ø< 250μm) στους 105±2^{o}C για 24h (Schelkoph et al., 1983, ASTM D 3173-03). Στην παρούσα διατριβή η υγροσκοπική υγρασία 152 συνολικά δειγμάτων προσδιορίστηκε ως το ποσοστό της απώλειας βάρους κατά τη θέρμανση 1g αεροξηραθέντος και κονιοποιημένου δείγματος (Ø< 250μm) σε φούρνο τύπου U-10 F-Nr 850 477, MEMMERT, στους 105±2^{o}C για 24h.

5.2.1.2 Προσδιορισμός τέφρας

Η τέφρα αποτελεί το ανόργανο υπόλειμμα της καύσης του λιγνίτη. Η περιεκτικότητα της υπολογίστηκε με την καύση ελεύθερου υγρασίας κονιοποιημένου λιγνίτη (1 g) σε φούρνο Barnstead/Thermolyne 30400 - 60 στους 550 ^{o}C για 1h και στη συνέχεια άλλες 4h στους 750 ^{o}C (ASTM D 3174-04).

5.2.1.3 Άμεση ανάλυση

Η άμεση ανάλυση περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της εκατοστιαίας περιεκτικότητας των λιγνιτικών δειγμάτων σε άνθρακα (C), υδρογόνο (H), άζωτο (N), θείο (S) και οξυγόνο (O). Οι περιεκτικότητες των παραπάνω στοιχείων προσδιορίστηκαν στο Κέντρο Ενόργανης Ανάλυσης της Σχολής Θετικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Πατρών με χρήση του αυτόματου αναλυτή Carlo Elba EAGER 200. Η αρχή λειτουργίας του παραπάνω οργάνου βασίζεται στην πλήρη και στιγμιαία οξείδωση του δείγματος στους 1200 ^{o}C παρουσία καθαρού οξυγόνου. Σε αυτές τις συνθήκες το οργανικό και το ανόργανο μέρος του δείγματος μετατρέπεται σε αέριες φάσεις (CO_2, SO_2, NO_2, H_2O). Τα καυσαέρια με τη βοήθεια ευγενούς αερίου (He) μεταφέρονται σε χρωματογραφική στήλη, όπου διαχωρίζονται και ποσοτικοποιούνται με τη βοήθεια ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας (thermal conductivity detector). Η περιεκτικότητα σε οξυγόνο (%) προκύπτει έμμεσα αφαιρώντας από το εκατό το άθροισμα των περιεκτικοτήτων C, H, N και S, υγρασίας και τέφρας επί ξηρού, όπως φαίνεται από την παρακάτω εξίσωση (Van Krevelen 1993, Speight 1994):

$$(O) = 100 - (S + H + N + C + \text{τέφρα} + \text{υγρασία})$$

Η άμεση ανάλυση έχει σκοπό τον προσδιορισμό των στοιχείων C, H, N, S και O, που συνιστούν το σύνολο των οργανικών ενώσεων και αυτό επιτυγχάνεται με μικρό σχετικά σφάλμα, όταν η περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά είναι χαμηλή. Στις περιπτώσεις υψηλής τέφρας, ιδιαίτερα όταν συμμετέχουν ανθρακικά, αργιλικά ή θειικά ορυκτά, το σφάλμα μπορεί να είναι υψηλό.

5.2.2 Ανθρακοπετρογραφική ανάλυση

Η μικροσκοπική μελέτη του λιγνίτη αποτελεί ένα ερευνητικό αντικείμενο, το οποίο σχετίζεται με την αναγνώριση και τον προσδιορισμό των μικροσκοπικών δομικών συστατικών του λιγνίτη τόσο των οργανικών, όσο και των ανόργανων (ορυκτά). Το είδος και η ποσοστιαία συμμετοχή του κάθε δομικού συστατικού επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα τις φυσικές, χημικές και τεχνολογικές ιδιότητες των γαιανθράκων. Πολύ σημαντική είναι επίσης και η συμβολή τους στη μελέτη του παλαιοπεριβάλλοντος σχηματισμού των ορυκτών ανθράκων, δεδομένου ότι παρέχουν αξιόλογες πληροφορίες για την τυρφογενετική βλάστηση, τις κλιματικές συνθήκες, τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, την ένταση της βακτηριδιακής δράσης, το pH, την τροφοδοσία με θρεπτικά συστατικά κ.ά (Stach et al., 1982, Harvey and Dillon, 1985, Teichmüller, 1989, Calder et al., 1991, Kalkreuth et al., 1991a, Diessel, 1992, Marcik and Sachsenhofer, 1997).

5.2.2.1 Προετοιμασία στιλπνών τομών

Η προετοιμασία των στιλπνών τομών πραγματοποιήθηκε στο παρασκευαστήριο πετρωμάτων-μεταλλευμάτων του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας του Τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Κατά το πρώτο στάδιο παρασκευής των στιλπνών τομών απομακρύνθηκε η υγρασία σε ατμοσφαιρικές συνθήκες. Τα δείγματα κονιοποιήθηκαν σε μέγεθος κόκκου Ø<1 mm και τοποθετήθηκαν σε ειδικές πλαστικές, κυλινδρικού σχήματος μήτρες. Στη συνέχεια εμποτίστηκαν με μείγμα, το οποίο συνίσταται από τεχνητές ρητίνες τύπου Renlam CY 219 (της VANTICO LTD) και καταλύτη τύπου Hardener HY 5161 (της VANTICO) σε αναλογία 2:1 και σε συνθήκες κενού αέρα, έτσι ώστε να απομακρυνθεί ο αέρας, ο οποίος στην περίπτωση που εγκλωβιστεί δημιουργεί φυσαλίδες, προκαλώντας προβλήματα στη λείανση και στη μετέπειτα παρατήρηση της τομής στο μικροσκόπιο. Στο δεύτερο στάδιο, οι τομές λειάνθηκαν σε περιστρεφόμενη πλάκα λείανσης με τη χρήση υαλόχαρτων (350 μm και 500 μm) και στιλβώθηκαν σε συσκευή λείανσης τύπου Mecatech 334 (της PRESI) με χρήση

αδαμαντοσπρέι (Ø 6, 3 και 1 μm) και αλουμίνας (Ø<0,06 μm), έτσι ώστε να αποκτήσουν έντονη στιλπνότητα.

5.2.2.2. Προσδιορισμός οργανικών δομικών συστατικών (macerals)

Η μικροσκοπική εξέταση των οργανικών ιζημάτων (λιγνίτης) που ελήφθησαν από το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας πραγματοποιήθηκε σε 72 δείγματα, κατανεμημένα σε όλο το μήκος της εξεταζόμενης λιγνιτοφόρου ακολουθίας, με τη χρήση ανθρακοπετρογραφικού μικροσκοπίου LEITZ Orthoplan 307 (Παρ. V). Τα οργανικά δομικά συστατικά των οργανικών ιζημάτων, γνωστά ως macerals, προσδιορίστηκαν με βάση το σύστημα ταξινόμησης Stopes-Heerlen, όπως αυτό συμπληρώθηκε και τροποποιήθηκε από την International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP 1971, 1993, 2001), και τους Sýkorová et al. (2005). Επίσης προσδιορίστηκαν τα ανόργανα συστατικά (ορυκτά), όσο όμως αυτό είναι δυνατό με τη χρήση προσπίπτοντος φωτός. Ο προσδιορισμός των ορυκτών, τα οποία απαντώνται στους λιγνιτικούς ορίζοντες, ενέχει κίνδυνο σφάλματος, καθώς στο ανακλώμενο φως του ανθρακοπετρογραφικού μικροσκοπίου οι οπτικές ιδιότητες τους διαφέρουν σε σχέση με αυτές στο πολωτικό μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός. Στη συγκεκριμένη διατριβή αναγνωρίστηκαν τα αργιλικά και τα ανθρακικά ορυκτά στο σύνολό τους χωρίς να είναι δυνατός ο καθορισμός συγκεκριμένων ορυκτών φάσεων. Από τα θειικά ορυκτά αναγνωρίστηκε ο σιδηροπυρίτης (FeS_2). Ο ακριβής προσδιορισμός των περιεχόμενων ορυκτών φάσεων στα δείγματα των οργανικών ιζημάτων επιτεύχθηκε με τη χρήση άλλων μεθόδων προσδιορισμού, όπως είναι οι ακτίνες-Χ περίθλασης.

Για την αναγνώριση των macerals των ομάδων χουμινίτη και ινερτινίτη χρησιμοποιήθηκε ελαιοκαταδυτικός φακός Leitz FL Oil, 50x, σε λευκό προσπίπτον φως, ενώ η αναγνώριση των macerals της ομάδας του λειπτινίτη πραγματοποιήθηκε με διέγερσή τους από κυανή μονοχρωματική ακτινοβολία (λ=546 nm), δεδομένου ότι με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ο φθορισμός τους. Η συνολική μεγέθυνση παρατήρησης ήταν 500x.

Η ποσοτικοποίηση της συμμετοχής των οργανικών δομικών συστατικών για κάθε δείγμα επιτεύχθηκε με τη χρήση του σημειακού καταμετρητή (point counter) της Swift Prior. Σε κάθε στιλπνή τομή πραγματοποιήθηκαν 500 σημειακοί προσδιορισμοί οργανικών δομικών συστατικών σε κανονικό κάνναβο, ενώ τα ανόργανα συστατικά υπολογίστηκαν ξεχωριστά και στη συνέχεια προστέθηκαν στις μετρήσεις του οργανικού μέρους, ώστε να προκύψει η ανάλυση "ολόκληρου δείγματος".

5.2.3 Παλαιοβοτανική (παλυνολογική και παλαιοκαρπολογική) ανάλυση

Οι παλαιοβοτανικές αναλύσεις της παρούσας εργασίας αφορούν στον ιδιαίτερο κλάδο της παλαιοβοτανικής, ο οποίος ασχολείται με τη μελέτη των απολιθωμένων γυρεόκοκκων (παλυνολογία), καθώς και των απολιθωμένων σπερμάτων και καρπών (παλαιοκαρπολογία). Από τα στοιχεία που προέκυψαν από τις εν λόγω αναλύσεις αντλήθηκαν χρήσιμα συμπεράσματα, που αφορούν στο είδος και την έκταση του φυτικού καλύμματος, τις φυτοκοινωνίες και τις συμβιώσεις και γενικά την παλαιοοικολογία από πλευράς χλωρίδας στην ευρύτερη περιοχή του λιγνιτικού κοιτάσματος της Αχλάδας. Επίσης τα στοιχεία, που προέκυψαν σε συνδυασμό με τα ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του επικρατούντος κλίματος κατά τη συγκεκριμένη εποχή της λιγνιτογένεσης.

Η ταυτοποίηση τόσο των απολιθωμένων κόκκων γύρης, όσο και των σπερμάτων και καρπών πραγματοποιήθηκε με βάση δημοσιευμένο φωτογραφικό υλικό (Altehenger, 1959, Thiele-Pfeiffer, 1979, Kaouras, 1989, Planderova, 1991, Nagy, 1999 κ.ά).

Η μικροσκοπική εξέταση των απολιθωμένων μορφών γύρης αφορά σε δείγματα από 42 οργανικούς και ανόργανους ορίζοντες της λιγνιτοφόρου ακολουθίας, κατανεμημένα σε όλο το μήκος της εξεταζόμενης λιγνιτοφόρου ακολουθίας, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στα πρώτα μέτρα της λιγνιτοφόρου ακολουθίας, τα οποία αφορούν στη γένεση του εξεταζόμενου κοιτάσματος. Η παρατήρηση πραγματοποιήθηκε σε μεταλλογραφικό μικροσκόπιο LEITZ Orthoplan 307 χρησιμοποιώντας αντικειμενικούς φακούς με δυνατότητα μεγέθυνσης 10x, 40x, 60x και 100x σε λευκό διερχόμενο φως, ενώ η ποσοτικοποίηση της συμμετοχής των διαφόρων παλυνομορφών πραγματοποιήθηκε με την αναγνώριση τουλάχιστον 180 γυρεόκοκκων σε κάθε παρασκεύασμα.

Για την παλαιοκαρπολογική μελέτη εξετάστηκαν 44 συνολικά δείγματα, τα οποία προέρχονται από τους ενδιάμεσους ανόργανους ορίζοντες, τα λιγνιτικά στρώματα και τα χουμώδη ενδιάμεσα στρώματα. Η παρατήρηση έγινε με τη χρήση στερεοσκοπίου LEICA τύπου Wild M8 σε λευκό προσπίπτον φώς. Το στερεοσκόπιο φέρει λάμπα πυρακτώσεως Philips 47 Watt και παρουσιάζει δυνατότητα μεγέθυνσης x6, x9, x18 x25x40 και x50.

5.2.3.1 Προετοιμασία δειγμάτων για παλαιοβοτανικές αναλύσεις

Η προετοιμασία τόσο του υλικού για παρατήρηση στο στερεοσκόπιο, όσο και των παρασκευασμάτων για παρατήρηση στο μικροσκόπιο πραγματοποιήθηκε στο παρασκευαστήριο πετρωμάτων-μεταλλευμάτων του εργαστηρίου Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας του Τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών

Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που προτάθηκε από τους Kaiser and Ashraf (1974). Πρέπει να σημειωθεί, ότι για την υποδοχή των δειγμάτων αφενός μεν βελτιώθηκε ο ήδη υπάρχων εργαστηριακός εξοπλισμός, αφετέρου δε δημιουργήθηκε υποδομή επεξεργασίας δειγμάτων για παλυνολογικές έρευνες.

5.2.4 Ορυκτολογική ανάλυση

Για τη μελέτη και αναπαράσταση παλαιοπεριβαλλόντων, που αναπτύχθηκαν σε τυρφογενετικά πεδία, ξεχωριστή σημασία έχει ο προσδιορισμός των περιεχόμενων ορυκτών μέσα στα οργανικά και ανόργανα ιζήματα, δεδομένου ότι αυτά μπορούν να παρέχουν πολύ σημαντικές πληροφορίες τόσο για τις συνθήκες σχηματισμού των λιγνιτοφοριών, όσο και για το παλαιοκλίμα. Έτσι στην παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκαν ορυκτολογικοί προσδιορισμοί σε 44 δείγματα οργανικών ιζημάτων, στα οποία περιλαμβάνονται όλοι οι διαφορετικοί λιγνιτικοί λιθότυποι, σε 27 δείγματα από τα ενδιάμεσα ανόργανα ιζήματα της εξεταζόμενης λιγνιτοφόρου ακολουθίας, όπως επίσης και σε 38 δείγματα τέφρας. Οι μέθοδοι, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση των ορυκτολογικών αναλύσεων, είναι:

- Περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD)
- Φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR)
- Διαφορική θερμική (DTA) και θερμοβαρυτομετρική (TG/DTG) ανάλυση.

Η μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης των ανόργανων και οργανικών ιζημάτων πραγματοποιήθηκε σε δείγματα "ως έχουν", όπως επίσης και σε δείγματα, τα οποία θερμάνθηκαν σε φούρνο ELF 11/6 CARBOLITE σε διάφορες θερμοκρασίες (550 ^{o}C, 700 ^{o}C, 800 ^{o}C, 900 ^{o}C, 1000 ^{o}C, 1100 ^{o}C, 1200 ^{o}C και 1300 ^{o}C) ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε ανάλυσης. Επίσης μελετήθηκε η ορυκτολογική σύσταση επεξεργασμένων δειγμάτων με αιθυλενογλυκόλη [$C_2H_2(OH)_2$], όπου αυτό κρίθηκε απαραίτητο. Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η προετοιμασία και η επεξεργασία των υπό μελέτη δειγμάτων. Όλοι οι παραπάνω προσδιορισμοί υλοποιήθηκαν στο εργαστήριο Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας του Τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

5.2.4.1 Περιθλασιμετρία ακτίνων Χ [X-ray Diffraction (XRD)]

Για την εξέταση με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ [X-ray Diffraction (XRD)], χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο τύπου Bruker D-8 Focus (Εικ. 5.2.1) με ακτινοβολία CuKa (λ=1,5405 Å) και φίλτρο Ni σε ένταση 30 mA και τάση 40 kV. Οι παράμετροι "βήμα

σάρωσης" (scanning step) και "χρονικό διάστημα βήματος" (step time) καθορίστηκαν ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε ανάλυσης και συγκεκριμένα, για τα "ως έχουν" δείγματα, όπως επίσης και για αυτά, τα οποία θερμάνθηκαν σε διάφορες θερμοκρασίες επιλέχθηκε βήμα σάρωσης 2θ =0,02^{o} και χρονικό διάστημα βήματος 1 s, σε εύρος 2-72^{o} (χρονική διάρκεια μέτρησης ~58 λεπτά), όπως προτάθηκε από τους (Wilson, 1987, Moore and Reynolds, 1997). Για τα δείγματα, τα οποία επεξεργάστηκαν με αιθυλενογλυκόλη, επιλέχθηκε εύρος 2-15^{o} (χρονική διάρκεια μέτρησης ~12 λεπτά), ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι παρέμειναν αμετάβλητες.

Εικόνα 5.2.1: Περιθλασίμετρο τύπου Bruker D-8 Focus.

Η μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης τόσο των ανόργανων, όσο και των οργανικών ιζημάτων πραγματοποιήθηκε σε δείγματα "ως έχουν", καθώς και σε δείγματα, τα οποία θερμάνθηκαν σε διάφορες θερμοκρασίες. Για τα μεν ανόργανα ιζήματα πραγματοποιήθηκε θέρμανση στους 550 ^{o}C, επί 2 h, προκειμένου να διακριθούν τα ορυκτά, των οποίων οι χαρακτηριστικές ανακλάσεις συμπίπτουν (βλ. Κεφ. 6, Παρ. 6.5.1.1), για τα δε οργανικά η θερμοκρασία έψησης έφτασε τους 750 ^{o}C (παραγωγή τέφρας). Σε όσα από τα εξεταζόμενα δείγματα κρίθηκε απαραίτητο έγινε επιπλέον επεξεργασία με αιθυλενογλυκόλη, προκειμένου να πραγματοποιηθεί έλεγχος για πιθανή ύπαρξη διογκούμενων ορυκτών (σμεκτίτες).

Στην παρούσα εργασία η ταυτοποίηση των διαφόρων ορυκτών φάσεων πραγματοποιήθηκε με βάση τις χαρακτηριστικές ανακλάσεις των ακτινοδιαγραμμάτων που προέκυψαν, ενώ για τη μεταφορά των δεδομένων από τη συσκευή των ακτίνων-Χ στον Η/Υ χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα EVA (Version 12, Copyright @ SOCABIM 1996 - 2006).

Μετατροπές φάσεων κατά την έψηση αργιλικών πρώτων υλών

Εκτός από την ταυτοποίηση της ορυκτολογικής σύστασης του συνόλου των ληφθέντων ιζημάτων, η περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ εφαρμόστηκε και για τη μελέτη των μετατροπών, που υφίστανται οι ορυκτολογικές φάσεις κατά την έψηση αργιλικών πρώτων υλών από τους ενδιάμεσους ανόργανους ορίζοντες της υπό μελέτη λιγνιτοφόρου ακολουθίας, και η επίδραση των κρυσταλλικών φάσεων που προκύπτουν στις ιδιότητες των παραγόμενων δομικών κεραμικών.

Η πειραματική διαδικασία περιελάμβανε τη μορφοποίηση κατάλληλων δοκιμίων και την έψησή τους σε φούρνο ELF 11/6 CARBOLITE, στους 700 ^{o}C, 850 ^{o}C, 900 ^{o}C, 1000 ^{o}C, 1100 ^{o}C, 1200 ^{o}C και 1300 ^{o}C. Το υλικό που προέκυψε εξετάστηκε εκ νέου με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ και καταγράφηκαν οι μετατροπές του κατά την έψηση.

5.2.4.2 Φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας [Fourier Transform Infrared spectroscopy (FT-IR)]

Από το 1930 η φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR) θεωρείται ως μια βασική μέθοδος ταυτοποίησης των οργανικών και ανόργανων ενώσεων, ενώ ακόμη το γεγονός ότι το φάσμα απορρόφησης αυτής αποτελεί μια θεμελιώδη ιδιότητα κάθε μορίου, την καθιστά ιδιαιτέρως χρήσιμη στην ποιοτική ανάλυση για τη διαλεύκανση της δομής μιας ένωσης, δηλαδή για τη φύση των ατόμων που βρίσκονται στο μόριο και τη διάταξή τους στο χώρο, δίνει δηλαδή το "δακτυλικό αποτύπωμα μιας ένωσης".

Η υπέρυθρη ακτινοβολία με μετασχηματισμό Fourier (FT-IR), που επιτρέπει την ανάλυση μικρής ποσότητας δείγματος με αυξημένη διακριτική ικανότητα, χρησιμοποιήθηκε για την εξέταση δειγμάτων λιγνίτη (μαζώδης λιγνίτης, ξυλιτικός λιθότυπος λιγνίτη) και δειγμάτων από τα ενδιάμεσα ανόργανα στρώματα. Η προετοιμασία των δειγμάτων έγινε σύμφωνα με την τεχνική του δισκίου (pellet technique), ενώ για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε φασματόμετρο τύπου Perkin Elmer GX-1 FT-IR (Εικ. 5.2.2). Αρχικά τα δείγματα αναμίχθηκαν με ξηρό, στερεό άλας KBr (αναλογία δείγματος: KBr περίπου 1:200), κονιοποιήθηκαν σε γουδί από αχάτη και ομογενοποιήθηκαν για ~2 min. Στη συνέχεια το υλικό μπήκε σε μήτρα, η οποία τοποθετήθηκε σε πρέσα κενού και ασκήθηκε πίεση 8 t/cm^2. Με τον τρόπο αυτό τα δείγματα μετατράπηκαν σε διάφανα δισκία (transparent pellets) πάχους 1-1,5 μm. Για την πραγματοποίηση των αναλύσεων, ως φάσμα αναφοράς χρησιμοποιήθηκε το φάσμα καθαρού KBr, ενώ η περιοχή καταγραφής των φασμάτων ήταν μεταξύ 400 cm^{-1} και 4000 cm^{-1}.

Εικόνα 5.2.2: Συσκευή φασματόμετρου τύπου Perkin Elmer GX-1 FT-IR

5.2.4.3 Διαφορική θερμική (DTA) και θερμοβαρυτομετρική (TG/DTG) ανάλυση

Η θερμική ανάλυση περιλαμβάνει μια ομάδα τεχνικών, με τις οποίες υπολογίζονται και καταγράφονται οι φυσικές και χημικές μεταβολές ενός υλικού συναρτήσει της θερμοκρασίας κατά το χρονικό διάστημα, που αυτό υποβάλλεται σε θερμοκρασιακές μεταβολές.

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της διαφορικής θερμικής (DTA) και θερμοβαρυτομετρικής (TG/DTG) ανάλυσης, κατά την εφαρμογή της οποίας πραγματοποιήθηκαν ταυτοποιήσεις στην ορυκτολογική σύσταση των υπό μελέτη υλικών. Επίσης η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για τη συγκριτική μελέτη της απώλειας βάρους των οργανικών ιζημάτων, με το ποσοστό της παραγόμενης τέφρας, το οποίο προσδιορίστηκε με την πρότυπη μέθοδο του ASTM D 3174-04.

Η διαφορική θερμική (DTA) και θερμοβαρυτομετρική (TG/DTG) ανάλυση πραγματοποιήθηκε ταυτόχρονα με χρήση οργάνου Mettler Toledo 851 (Εικ. 5.2.3). Τα δείγματα θερμάνθηκαν από τους 20 °C μέχρι τους 1200 °C με σταθερό ρυθμό 10 °C/min.

Εικόνα 5.2.3: Συσκευή διαφορικής θερμικής (DTA) και θερμοβαρυτομετρικής (TG/DTG) ανάλυσης. Τύπος οργάνου: Mettler Toledo 851.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1 ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ – ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ

Μια γενική άποψη του λιγνιτωρυχείου της Αχλάδας, δίνεται στην εικόνα 6.1.1. Το συνολικό πάχος των λιγνιτοφόρων στρωμάτων ανέρχεται στα ~35 m, ενώ αυτό των υπερκείμενων ανόργανων ιζημάτων, τα οποία αποτελούνται από αργίλους, μάργες, άμμους και διάφορα άλλα ιζήματα, φτάνει τα ~20 m.

Εικόνα 6.1.1: Γενική άποψη του λιγνιτωρυχείου της Αχλάδας.

Στην εικόνα 6.1.2 φαίνονται δύο βασικά χαρακτηριστικά του λιγνιτικού κοιτάσματος Αχλάδας, τα οποία δεν περιορίζονται μόνο σ' αυτό το μικρό τμήμα του ορυχείου, αλλά εμφανίζονται σε όλη του την έκταση και αφορούν στον τρόπο, με τον οποίο έχουν αποτεθεί τόσο τα οργανικά, όσο και τα ανόργανα ιζήματα. Τυπικές εναλλαγές οργανικών και ανόργανων ιζημάτων φαίνονται στο κάτω αριστερό τμήμα της εικόνας 6.1.2α (περιορισμένη εμφάνιση), ενώ στη μεγαλύτερη έκταση του ορυχείου παρατηρούνται εναλλαγές οργανικών ιζημάτων μεγάλου πάχους, με λεπτά ανόργανα στρώματα. Με τη γραμμή Α-Β (Εικ. 6.1.2α) σημειώνεται η τομή, κατά μήκος της οποίας πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη δειγματοληψία. Ας σημειωθεί ότι σε μια περιορισμένη έκταση του κοιτάσματος παρατηρείται η ύπαρξη μεγάλου πάχους λιγνιτικών οριζόντων, με παράλληλη διακοπή της ακολουθίας από περιορισμένο αριθμό ανόργανων στρώσεων μικρού πάχους (Εικ. 6.1.2β).

Επίσης στο συγκεκριμένο κοίτασμα παρατηρήθηκαν τυπικά κανάλια (channels), που υποδηλώνουν ισχυρή ποτάμια επίδραση (Εικ. 6.1.3) και τα οποία λειτούργησαν σε πέντε

διαφορετικά επίπεδα ροής (1, 2, 3, 4 και 5 της εικόνας 6.1.3). Η εμφάνιση των ποτάμιων καναλιών αποτελεί μια πολύ σημαντική διαφοροποίηση του λιγνιτικού κοιτάσματος Αχλάδας από τα κοιτάσματα της Πτολεμαΐδας, στα οποία παρατηρούνται τυπικές εναλλαγές

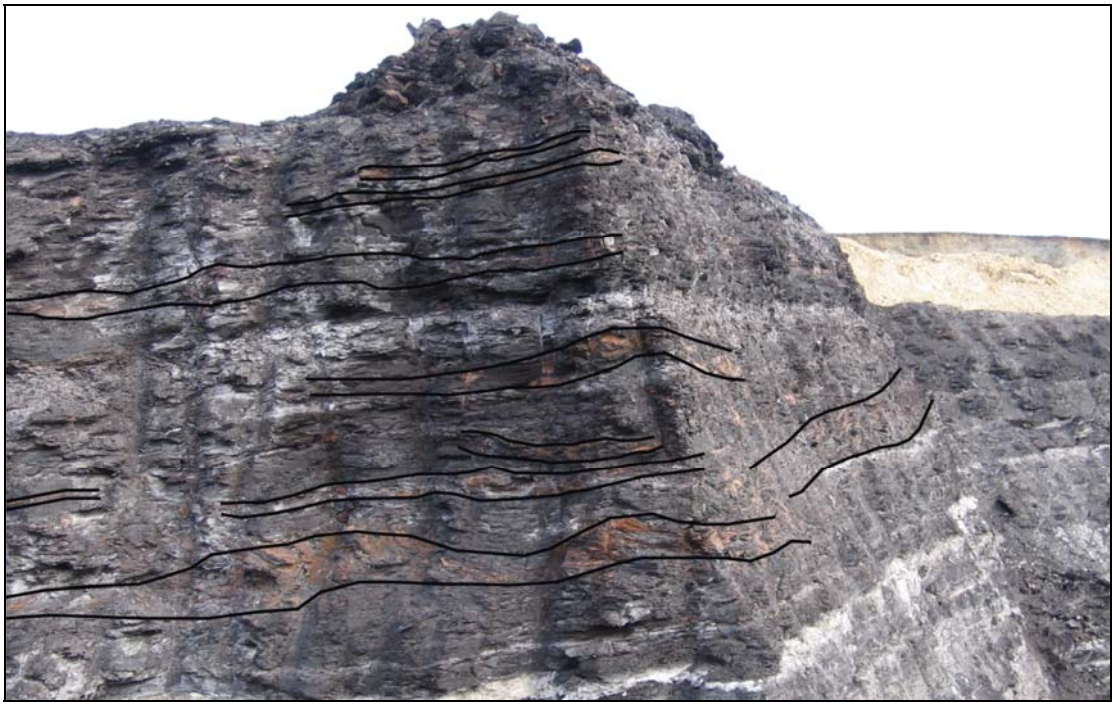
(α)

(β)

Εικόνα 6.1.2: α) Τυπικές εναλλαγές οργανικών (σκουρόχρωμων) και ανόργανων (λευκών) οριζόντων, καθώς και τμήμα ποτάμιου καναλιού (channel) (κάτω αριστερό τμήμα της φωτογραφίας). Η τομή Α – Β σημειώνει το τμήμα του λιγνιτωρυχείου, στο οποίο πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία. β) Διακοπή της λιγνιτοφόρου ακολουθίας από περιορισμένο αριθμό ανόργανων στρώσεων μικρού πάχους.

Εικόνα 6.1.3: Τυπικές εναλλαγές οργανικών και ανόργανων οριζόντων, καθώς και ποτάμια κανάλια, τα οποία λειτούργησαν σε διαφορετικά επίπεδα ροής (1, 2, 3, 4, 5).

οργανικών και ανόργανων οριζόντων σε πολύ μεγάλη έκταση, γεγονός το οποίο υποδηλώνει λιμναίες έως ανοικτών νερών συνθήκες ιζηματογένεσης (Kaouras, 1989, Kalaitzidis et al., 2004, Antoniadis et al., 2006).

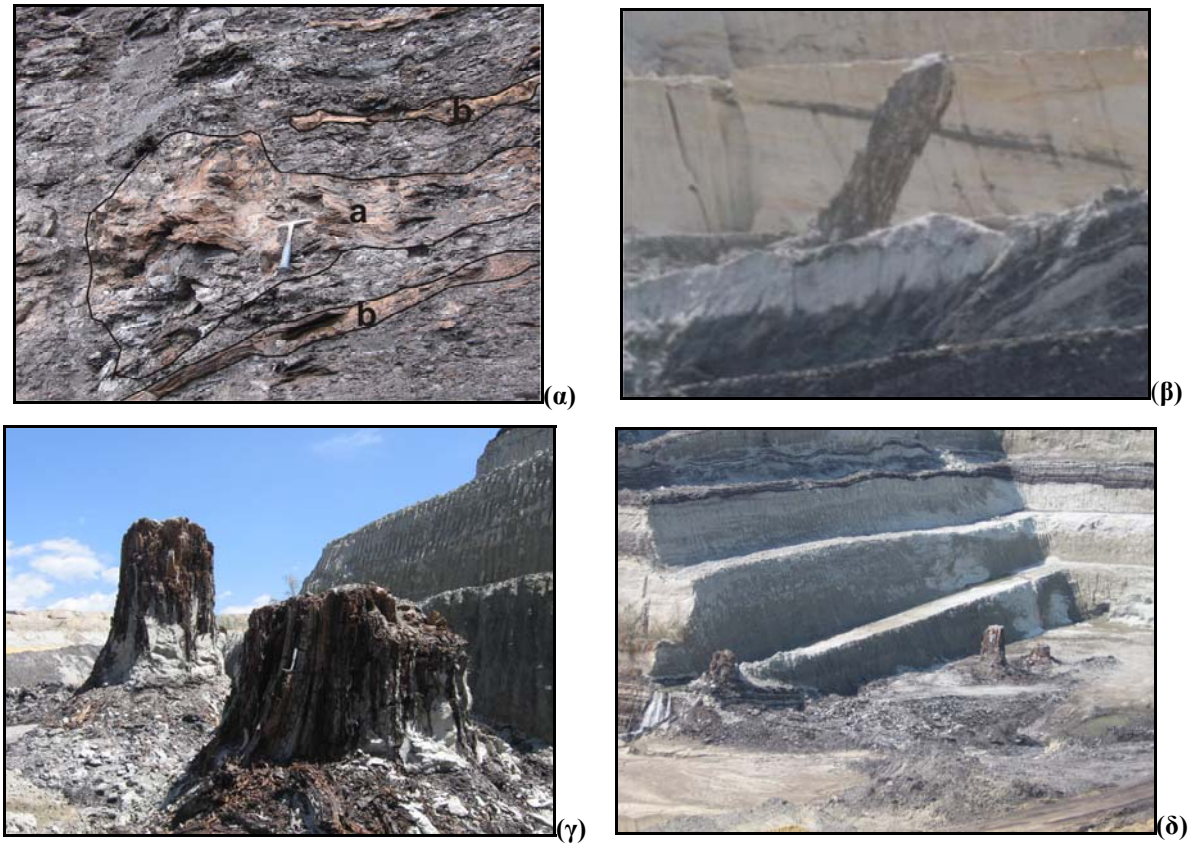


Εικόνα 6.1.4: Τμήμα της λιγνιτοφόρου ακολουθίας της Αχλάδας, στην οποία διακρίνονται ξυλιτικοί ορίζοντες, οι οποίοι οριοθετούνται με έντονες μαύρες γραμμές.

Ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του συγκεκριμένου κοιτάσματος είναι το πολύ υψηλό ποσοστό ξυλίτη, γεγονός στο οποίο δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση. Κατά τη διάρκεια της μακροσκοπικής εξέτασης των οριζόντων της λιγνιτικής ακολουθίας διαπιστώθηκε, ότι το συγκεκριμένο κοίτασμα ξεχωρίζει σε σχέση με άλλες λιγνιτικές

αποθέσεις, λόγω των πολλών και καλά διατηρημένων οριζόντιων ξυλιτικών στρώσεων (Εικ. 6.1.4), το πάχος των οποίων κυμαίνεται από 2 έως 12 cm, ενώ εκτείνονται σε μήκος ~15 m. Η ξυλιτική αυτή υφή συμπληρώνεται με την εμφάνιση μικρών ξυλιτικών θραυσμάτων μέσα στη λιγνιτική μάζα, όπως επίσης και με την ύπαρξη ριζών, κλαδιών και κορμών.

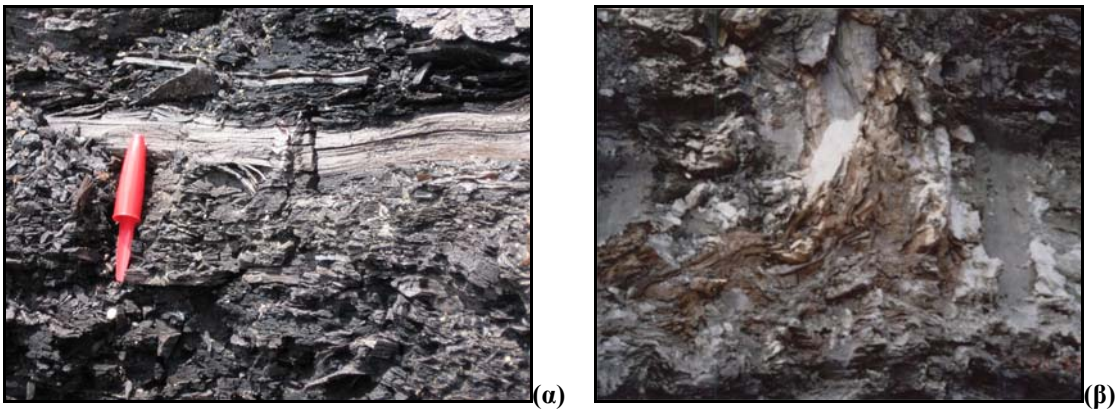
Από την εικόνα 6.1.4 φαίνεται, ότι εντός της λιγνιτικής μάζας δεν παρατηρούνται μόνο απομονωμένα ξυλιτικά θραύσματα, αλλά ολόκληρα ξυλιτικά στρώματα, των οποίων το πάχος ποικίλλει. Επίσης εκτός από ξυλιτικούς ορίζοντες, το ξυλώδες υλικό μπορεί να εμφανίζεται ως άμορφη ξυλιτική μάζα μέσα σε λιγνιτοφόρο στρώμα ή ακόμη και με μορφή κορμών δέντρων αρκετά μεγάλου ύψους, οι οποίοι είναι κατά κανόνα οριζόντια τοποθετημένοι (Εικ. 6.1.α), ενώ κατά θέσεις εμφανίζονται και με κατακόρυφη διάταξη (Εικ. 6.1.5β, 6.1.7γ και 6.1.7δ).



Εικόνα 6.1.5: α) Οριζόντια απόθεση κατώτερου τμήματος κορμού δέντρου. Στο επάνω (b) και κάτω (c) τμήμα του κορμού σημειώνονται δύο ακόμη μικρότερου μεγέθους σχεδόν οριζόντια αποτεθειμένα ξυλιτικά θραύσματα, β) In situ κορμός δέντρου, ο οποίος εντοπίστηκε στο κεντρικό τμήμα του λιγνιτωρυχείου, γ) και δ) Μεγάλου μεγέθους κορμοί δέντρων οι οποίοι αποκαλύφθηκαν κατά την εκσκαφή των λιγνιτοφόρων ιζημάτων και οι οποίοι αποκαλύπτουν το υψηλό ποσοστό δενδρώδους υλικού, το οποίο συνέβαλε στη δημιουργία του κοιτάσματος της Αχλάδας.

Στην εικόνα 6.1.5α παρατηρείται η οριζόντια απόθεση του κατώτερου τμήματος κορμού δέντρου καθαρά ξυλιτικής υφής. Στο αριστερό τμήμα διακρίνονται οι ρίζες, ενώ προς τα δεξιά η απόθεση συνεχίζεται μέσα στους λιγνιτικούς ορίζοντες. Επάνω και κάτω από τον

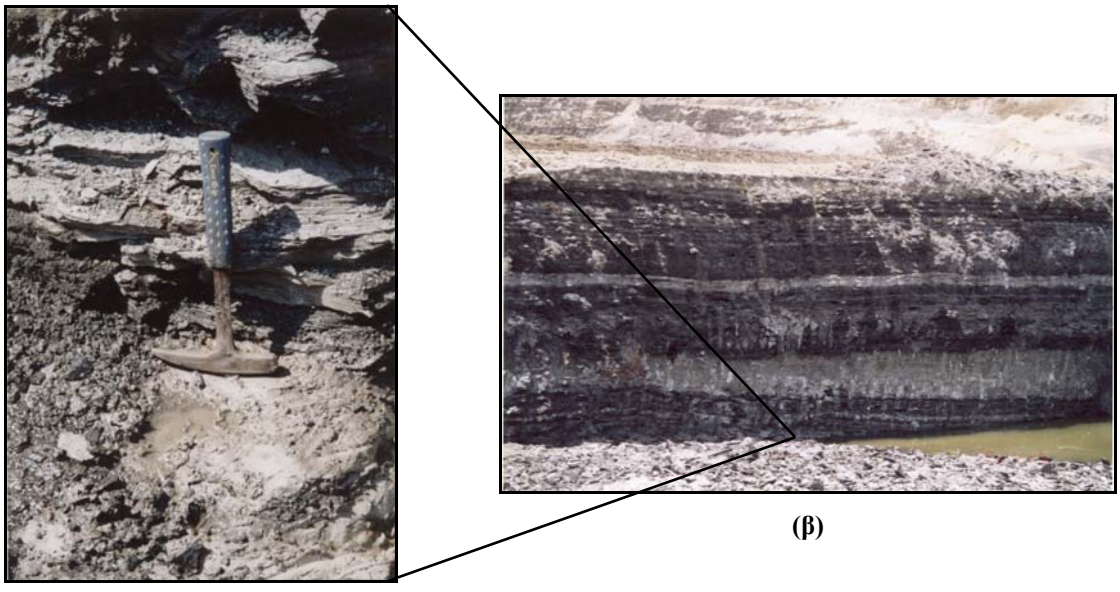
εν λόγω κορμό σημειώνονται δύο μικρότερα ξυλιτικά τεμάχη (b, c). Κατά όμοιο τρόπο στις εικόνες 6.1.6α και 6.1.6β παρατηρείται η απόθεση μικρού πάχους (2cm) κορμού μέσα σε λιγνιτικό ορίζοντα καθώς και αυτή του κορμού μέσα σε μεγάλου πάχους (83cm) ανόργανο ορίζοντα αντίστοιχα.



(α) **(β)**

Εικόνα 6.1.6: α) Μικρού πάχους ξυλιτικός ορίζοντας εντός της λιγνιτικής μάζας, β) Κατακόρυφη απόθεση ευμεγέθους κορμού (κατώτερο τμήμα) εντός ανόργανου ορίζοντα.

Όσον αναφορά στο σημείο όπου ξεκίνησε η δειγματοληψία, αυτό βρίσκεται στον ιζηματολογικό ορίζοντα, πάνω από τον οποίο ξεκινάει η λιγνιτοφόρος ακολουθία της Αχλάδας (Εικ. 6.1.7α), ενώ στην εικόνα 6.1.7β φαίνονται οι δύο πρώτες διακοπές της λιγνιτογένεσης, με την απόθεση ανόργανων ιζημάτων διαφορετικού πάχους.



(β)

(α)

Εικόνα 6.1.7: α) Θέση στην οποία διακρίνεται ο πρώτος λιγνιτικός ορίζοντας της ακολουθίας και στην οποία πραγματοποιήθηκε η λήψη του δείγματος με κωδικό αριθμό Α0, β) Διακοπή της λιγνιτοφορίας και απόθεση ανόργανων ιζημάτων διαφορετικού πάχους.

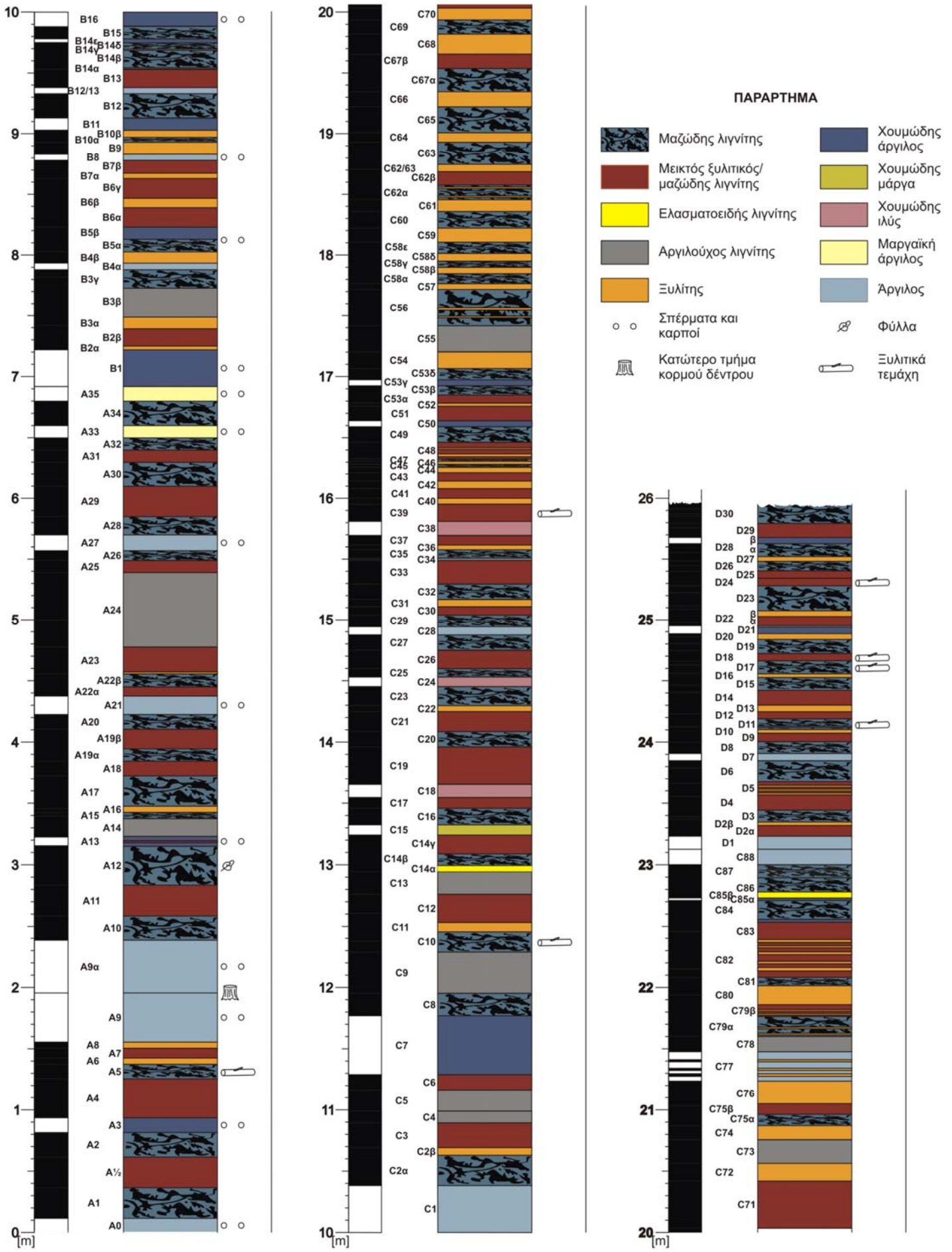
Ο συνδυασμός της μακροσκοπικής περιγραφής των δειγμάτων και των παρατηρήσεων στο λιγνιτωρυχείο οδήγησαν στη δημιουργία της στρωματογραφικής στήλης, που δίνεται στο

Σχήμα 6.1.1. Στην πρώτη στήλη απεικονίζεται η λιθολογική ακολουθία με εναλλαγές οργανικών και ανόργανων οριζόντων, ενώ στη δεύτερη στήλη δίνεται ο κωδικός αριθμός για όλα τα δείγματα που συλλέχθηκαν στην ύπαιθρο. Στην τρίτη στήλη φαίνεται η μακροσκοπική περιγραφή με το αντίστοιχο υπόμνημα και τέλος η τέταρτη στήλη αφορά σε σύμβολα, τα οποία αντιστοιχούν σε παλαιοβοτανικά ευρήματα. Από τη λιγνιτοφόρο ακολουθία του Σχήματος 6.1.1 γίνεται φανερό, ότι το κύριο χαρακτηριστικό των λιγνιτικών αποθέσεων της Αχλάδας είναι οι εναλλαγές των στρωμάτων μαζώδους και μεικτού ξυλιτικού/μαζώδους λιγνίτη, καθώς επίσης και η εμφάνιση 49 χαρακτηριστικών ξυλιτικών οριζόντων.

Λαμβάνοντας υπόψη τις εναλλαγές που συμβαίνουν κατά την κατακόρυφο και αφορούν στη διαδοχική επικράτηση του μαζώδους και του μεικτού ξυλιτικού/μαζώδους λιγνίτη, η ακολουθία του Σχήματος 6.1.1 μπορεί να χωριστεί σε πέντε φάσεις (κύκλοι) ιζηματογένεσης (από κάτω προς τα πάνω). Την πρώτη φάση 0 – 3,20 m, στην οποία κύριο χαρακτηριστικό είναι η ύπαρξη του μεικτού ξυλιτικού/μαζώδους λιγνίτη, τη δεύτερη φάση 3,20 – 10,6 m, στην οποία επικρατεί ο μαζώδης τύπος λιγνίτη, την τρίτη φάση 10,6 – 15,7 m, στην οποία παρατηρείται ισοκατανομή του μαζώδους και του μεικτού ξυλιτικού/μαζώδους λιγνίτη, ενώ στον ίδιο κύκλο εμφανίζεται μεγαλύτερος αριθμός από ορίζοντες, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως αργιλούχος λιγνίτης (C5, C9, C13) και χουμώδης άργιλος (B16, C7). Προς τα επάνω ακολουθεί η τέταρτη φάση 15,7 – 23,2 m, στην οποία κύριο χαρακτηριστικό είναι η ύπαρξη του μεικτού ξυλιτικού/μαζώδους λιγνίτη και τέλος η πέμπτη φάση 23,2 – 26,1 m με κύριο χαρακτηριστικό την ύπαρξη του μαζώδους λιγνίτη.

Από τη στρωματογραφική στήλη (Σχ. 6.1.1) προκύπτει επίσης, ότι η ακολουθία αποτελείται από εναλλασσόμενα στρώματα οργανικών ιζημάτων και αργίλων, με ορισμένες περιπτώσεις (περιορισμένος αριθμός), στις οποίες, όπως προκύπτει και από την ανάλυση με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (βλ. Κεφ. Παρ 6.5.1), παρατηρείται εμφάνιση μαργών και άμμων αντί αργίλων. Επιπλέον διακρίνονται ανόργανοι ορίζοντες, οι οποίοι περιέχουν διάφορα ποσοστά οργανικής ύλης και αναλόγως του ποσοστού αυτού χαρακτηρίζονται είτε ως χουμώδης άργιλος (A3, A13, B5β, B11, B16, και C7) είτε ως αργιλούχος λιγνίτης (A14, A24, B3α, B3β, C15, C9, C13, C55, C69, C73 και C78).

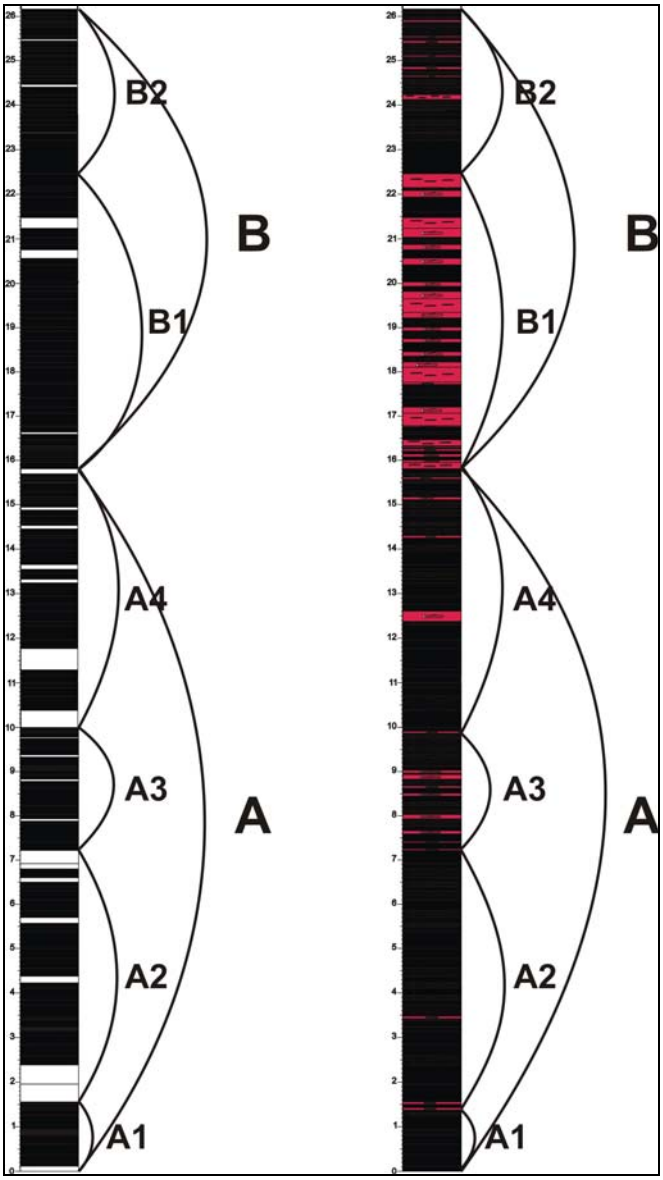
Ας σημειωθεί, ότι ο κύριος όγκος των πλούσιων σε ανόργανο υλικό οργανικών οριζόντων (αργιλούχος λιγνίτης, χουμώδης άργιλος), όπως επίσης και των αμιγώς ανόργανων οριζόντων (άργιλος κατά κύριο λόγο και μάργα σε περιορισμένες περιπτώσεις) εμφανίζεται στο κατώτερο τμήμα της ακολουθίας (Σχ. 6.1.1) και συγκεκριμένα μέχρι και την τρίτη φάση (0 – 15,70m). Με βάση την παρατήρηση αυτή η ακολουθία μπορεί να χωριστεί σε δύο μεγάλους κύκλους, από 0 m έως 15,70 m, στον οποίο παρατηρείται ρυθμική απόθεση των



Σχήμα 6.1.1: Στρωματογραφική στήλη της λιγνιτοφόρου ακολουθίας της Αχλάδας.

ανόργανων οριζόντων, και από 15,70 m έως 26,21 m, στον οποίο διακρίνεται εμφανής μείωση της συμμετοχής αυτών (Σχ. 6.1.1 και Σχ. 6.1.1α).

Όσον αναφορά στη χαρακτηριστική παρουσία του ξυλίτη, στα πρώτα μέτρα της ακολουθίας διακρίνεται η εμφάνιση περιορισμένου αριθμού ξυλιτικών οριζόντων μικρού πάχους, ενώ στο τμήμα από τα 7,25 m και μέχρι τα 9,11 m παρατηρείται η πρώτη έξαρση απόθεσης αυτών. Από το συγκεκριμένο βάθος και προς τα πάνω (της ακολουθίας) διαμορφώνεται μια τάση αύξησης της συμμετοχής του ξυλιτικού υλικού (Σχ. 6.1.1). Έτσι με έμφαση στην απόθεση των ξυλιτικών οριζόντων διακρίνεται μια ρυθμική απόθεση του αμιγώς ξυλώδους υλικού, η οποία περιλαμβάνει δύο μεγάλους κύκλους και έξι μικρότερους (Σχ. 6.1.1 και Σχ.6.1.1α). Ο πρώτος ξεκινά από τη βάση (ανόργανος ορίζοντας πάνω από τον οποίο εξελίσσεται η λιγνιτοφόρος ακολουθία, A0) και φτάνει σε ύψος 15,70 m (C38),



Σχήμα 6.1.1α: Αριστερά: εναλλαγές οργανικών και ανόργανων οριζόντων (μαύρο και άσπρο χρώμα αντίστοιχα). Δεξιά: εναλλαγές ξυλιτικών και μη ξυλιτικών οριζόντων (κόκκινο και μαύρο χρώμα αντίστοιχα).

ενώ ο δεύτερος ξεκινά από τα 15,70 m και τελειώνει σε ύψος 26,10 m (τελευταίος ορίζοντας της ακολουθίας που εξετάζεται).

Με βάση τα παραπάνω από τη σύγκριση του τρόπου εμφάνισης τόσο των ξυλιτικών, όσο και ανόργανων οριζόντων προκύπτει, ότι ενώ στο κατώτερο τμήμα της ακολουθίας παρατηρείται έξαρση των ανόργανων οριζόντων, ο κύριος ξυλιτικός όγκος εμφανίζεται στο ανώτερο τμήμα αυτής (Σχ. 6.1.1 και Σχ. 6.1.1α). Κατ' αντιστοιχία, μεγάλη συμμετοχή ανόργανου υλικού (πρώτος κύκλος) συνοδεύεται από μικρή συμμετοχή ξυλίτη, ενώ αντίθετα εκεί όπου κυριαρχεί ο ξυλίτης (δεύτερος κύκλος) παρατηρείται περιορισμένη εμφάνιση ενδιάμεσων ανόργανων οριζόντων. Από στρωματογραφική άποψη υπάρχει πλήρης ταύτιση των δύο μεγάλων κύκλων (Σχ. 6.1.1α) και επιπλέον, με μοναδική εξαίρεση τον ορίζοντα C77, στα ανώτερα στρώματα της ακολουθίας (21,2 m), δεν παρατηρείται σύμπτωση ξυλιτικών οριζόντων και ανόργανων στρώσεων. Η παραπάνω παρατήρηση πιθανά υποδηλώνει μικρή μεταφορά ανόργανου υλικού και επομένως περιορισμένα πλημμυρικά γεγονότα κατά τη διάρκεια ανάπτυξης του δασοτυρφώνα. Η έλλειψη όμως δεδομένων από θέσεις προς τα περιθώρια του κοιτάσματος, καθιστά επισφαλή τον ισχυρισμό της καθολικής ισχύος της παραπάνω παρατήρησης. Τέλος ας σημειωθεί, ότι τα μεγαλύτερα πάχη των ξυλιτικών οριζόντων εντοπίζονται στο τμήμα της ακολουθίας που φέρει τον κύριο ξυλιτικό όγκο (δεύτερος κύκλος).

Η διαφοροποίηση κατά την κατακόρυφο τόσο των οργανικών, όσο και των ανόργανων οριζόντων (Σχ. 6.1.1), αντανακλά τη μεταβολή των συνθηκών κατά τη διάρκεια σχηματισμού του λιγνιτικού κοιτάσματος Αχλάδας. Οι μεταβολές αυτές παρατηρούνται τόσο σε μακροσκοπικό επίπεδο, όπως περιγράφηκε προηγούμενα, όσο και σε μικροσκοπικό επίπεδο, όπως αυτό φανερώνεται μέσω των παλαιοβοτανικών και ανθρακοπετρογραφικών αναλύσεων (Παρ. 6.3 και 6.4).

Κατά τη μακροσκοπική περιγραφή της ακολουθίας καταγράφηκαν διάφορα ανόργανα και οργανικά εγκλείσματα, όπως επίσης και τα φυσικά χαρακτηριστικά του υλικού που συνιστά τον κάθε ορίζοντα (συνεκτικότητα, θρυμματισμός, επιφάνεια θραύσης, λάμψη και χρώμα). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο Παράρτημα Ι (Πίνακας 1), που αποτελεί τροποποίηση του πίνακα μακροσκοπικής περιγραφής, που προτάθηκε από τους Αμπατζή και Αντωνιάδη (2004). Όσον αναφορά στο χρώμα του λιγνίτη κατά καιρούς έχουν διατυπωθεί αντικρουόμενες απόψεις, όπως ότι αυτό μπορεί να εξαρτάται από το είδος του τυρφογενετικού υλικού (Teichmüller and Thomson, 1958, Karshaw and Sluiter, 1982) ή ότι το χρώμα εξαρτάται από τις βιοχημικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά το βιοχημικό στάδιο της τυρφοποίησης από ουσιαστικά παρόμοια αρχικά φυτικά υλικά (Hageman and

Hollerbach, 1979, von der Brelie and Wolf, 1981, Dehmer, 1989, Diessel, 1992). Σύμφωνα με τους Lamberson et al. (1991) η διαφοροποίηση του χρώματος είναι ένας συνδυασμός των δύο προαναφερθέντων παραγόντων.

Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι ορίζοντες, που διακρίνονται στη στρωματογραφική στήλη του Σχήματος 6.1.1, όπου δεδομένης της ανομοιογένειας του υλικού που εξετάστηκε, οι ορίζοντες χαρακτηρίστηκαν με βάση το στοιχείο που κυριαρχούσε σε κάθε έναν από αυτούς. Επιπλέον στους πίνακες, που παρατίθενται στο παράρτημα Ι, περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά του υλικού που μελετήθηκε. Πέραν όμως αυτού, κρίθηκε απαραίτητο να γίνει μια πιο λεπτομερής περιγραφή του υλικού, δεδομένου ότι οι διάφορες μικροδομές που παρατηρήθηκαν, παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για το περιβάλλον σχηματισμού του συγκεκριμένου λιγνίτη.

<u>Α0</u>: <u>Αρχή λιγνιτοφόρου ακολουθίας.</u>

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, πάνω από τον οποίο αναπτύσσεται η λιγνιτοφόρος στιβάδα που μελετάται και χαρακτηρίστηκε ως γκρι <u>άργιλος</u>. Παράλληλα αποτελεί τη βάση για τον πρώτο από τους πέντε ιζηματολογικούς κύκλους, της ακολουθίας, που διακρίθηκαν με βάση τον τύπο λιγνίτη, που κυριαρχεί. Ορυκτολογικά, κύριο χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου ορίζοντα αποτελεί η έντονη παρουσία κρυστάλλων ορυκτών της ομάδας των μαρμαρυγιών.

A1: 0,12 – 0,25m (13cm).

Ο συγκεκριμένος ορίζοντας αποτελεί τον πρώτο οργανικής σύστασης ορίζοντα της λιγνιτοφόρου στιβάδας, που μελετήθηκε και χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός <u>μαζώδης λιγνίτης</u>. Παρουσιάζει τυπικές στρώσεις ζελατινοποιημένης οργανικής ύλης (γέλη) και μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα, τα οποία προέρχονται από τα ανθεκτικά στην αποσύνθεση-χουμοποίηση φυτικά μέρη. Αξιοσημείωτη είναι η εμφάνιση μικρών διάσπαρτων φακών από ξυλώδες υλικό. Ορυκτολογικά παρατηρήθηκαν, κατά θέσεις, αργιλικό υλικό και ορυκτά της ομάδας των μαρμαρυγιών, η ύπαρξη των οποίων αποδίδεται στον υποκείμενο ανόργανο ορίζοντα

A1/2: 0,25 – 0,50m (25cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός <u>μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης</u>. Παρουσιάζει υψηλό ποσοστό φυτικού ιστού, ενώ ακόμη παρατηρήθηκε αργιλικό υλικό και ορυκτά της ομάδας των μαρμαρυγιών.

A2: 0,50 – 0,70m (20cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Φέρει, πλέγματα από γέλη, μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα, άμορφο αργιλικό υλικό, ορυκτά της ομάδας των μαρμαρυγιών και πρισματικούς κρυστάλλους γύψου.

A3: 0,70 – 0,82m (12cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε οργανική ύλη και χαρακτηρίσθηκε ως σκούρα γκρι χουμώδης άργιλος. Εμφανίζει μικρού πάχους ενστρώσεις αργιλούχου λιγνίτη, μέσα στην αργιλική μάζα.

A4: 0,82 – 1,14m (32cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Τη βάση του συγκεκριμένου ορίζοντα (επαφή με υποκείμενη χουμώδη άργιλο) συνιστά αργιλούχος λιγνίτης, ο οποίος μεταβαίνει σταδιακά σε καθαρό μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτη. Διακρίνονται διάσπαρτα ξυλώδη θραύσματα, γέλη, άμορφο αργιλικό υλικό, μαρμαρυγίας και πρισματικοί κρύσταλλοι γύψου. Σημαντικό χαρακτηριστικό αποτελεί η παρουσία στρωματιδίων λιγνίτη, που σχηματίζουν μια μικρή στρώση πάχους από 8 έως 12 mm.

A5: 1,14 – 1,26m (12cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός μη στρωματωμένος ξυλιτικός λιγνίτης. Ο σύνθετος χαρακτηρισμός του συγκεκριμένου ορίζοντα οφείλεται στο γεγονός ότι στη βάση εμφανίζεται ως μαζώδης λιγνίτης (Α5α) με διάσπαρτα ξυλιτικά θραύσματα και μεταβαίνοντας προς την κορυφή το ποσοστό και το μέγεθος των ξυλιτικών θραυσμάτων αυξάνεται αρκετά δημιουργώντας μετάβαση προς μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτη (Α5β) με αδρά ξυλιτικά θραύσματα και μια καθαρά ξυλιτική υφή.

A6: 1,26 – 1,31m (5cm).

Συνιστά τον πρώτο ορίζοντα οργανικής σύστασης, ο οποίος συνίσταται αμιγώς από ξυλώδες υλικό και χαρακτηρίστηκε ως καστανός ζελατινοειδής ξυλίτης. Εμφανίζει αυξημένο ποσοστό ενστρώσεων ζελατινοποιημένου οργανικού υλικού και επάλληλη διάταξη ξυλιτικών φυτικών τμημάτων (κλαδιά ή τμήματα κορμών), τα οποία στο σύνολο τους δημιουργούν έναν καθαρά ξυλιτικό ορίζοντα. Φέρει άμορφο αργιλικό υλικό και εγκλείσματα αυτοφυούς θείου, ενώ χαρακτηριστική είναι και η ύπαρξη μικρών πρισματικών κρυστάλλων γύψου.

A7: 1,31 – 1,39m (8cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει υψηλό ποσοστό μεμονωμένων ξυλιτικών θραυσμάτων, άμορφο αργιλικό υλικό, μαρμαρυγία και ανθρακικά ορυκτά.

A8: 1,39 – 1,44m (5cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός πλούσιος σε ανόργανα ξυλίτης. Κύριο γνώρισμα του εν λόγω υλικού αποτελεί η παρουσία αδρών ξυλιτικών κομματιών, που προέρχονται από τμήματα κορμών ή κλαδιών και τα οποία είναι εμπλουτισμένα σε ανόργανα υλικά, τόσο επιφανειακά, όσο και εσωτερικά. Επιπλέον, εύκολα διακρίνονται μικρής διαμέτρου κυτταρικά συμπυκνώματα, γνωστά ως "ρόζοι", ενώ παρατηρήθηκε άμορφο αργιλικό υλικό, μικροί πρισματικοί κρύσταλλοι γύψου, μαρμαρυγίας και συγκεντρώσεις θειικών συγκριμάτων.

A9: 1,44 – 1,87m (43cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίσθηκε ως γκρι άργιλος. Το κύριο ενδιαφέρον εστιάζεται στο γεγονός, ότι εντός του συγκεκριμένου ορίζοντα βρέθηκε το κατώτερο τμήμα κορμού δέντρου σε κατακόρυφη τοποθέτηση, στο οποίο όπως φαίνεται και από την εικόνα 6.1.6β, είναι δυνατή η παρατήρηση ακόμη και μέρους από το ριζικό σύστημα του φυτού.

A9α: 1,87 – 2,27m (40cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίσθηκε ως γκρι άργιλος.

A10 :2,27 – 2,47m (20cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Στο ανώτερο τμήμα του ορίζοντα εμφανίζονται διάσπαρτα ξυλώδη θραύσματα, ενώ σε ολόκληρη τη μάζα του παρατηρείται γύψος, τόσο με τη μορφή απομονωμένων μικρών πρισματικών κρυστάλλων, όσο και ως συγκεντρικά συσσωματώματα με καστανού χρώματος πυρήνα.

A11: 2,47 – 2,72m (25cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει τυπικά γέλη και διάσπαρτα μεμονωμένα

ξυλώδη θραύσματα, το ποσοστό των οποίων είναι υψηλότερο από ό,τι στην κορυφή του άμεσα υποκείμενου ορίζοντα (A10). Επίσης παρατηρήθηκαν και διάσπαρτοι κόκκοι χαλαζία.

A12 :2,72 – 3,04m (32cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Κυρίαρχο γνώρισμα αποτελεί η έντονη παρουσία πολύ καλά διατηρημένων φύλλων και υπολειμμάτων τους, καθώς και πολύ λεπτές ξυλιτικές στρώσεις (mm), γεγονός το οποίο υποδηλώνει ήρεμες συνθήκες ιζηματογένεσης.

A13: 3,04 – 3,11m (7cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε οργανική ύλη και χαρακτηρίσθηκε ως γκρι χουμώδης άργιλος, ενώ στο ενδιάμεσο παρατηρήθηκε λεπτή στρώση (πάχους 1,2cm) μεικτού ξυλιτικού/μαζώδους λιγνίτη. Με την επίδραση υδροχλωρίου παρατηρήθηκε δημιουργία φυσαλλίδων και έκλυση CO_2, γεγονός το οποίο αποδόθηκε στην ύπαρξη ανθρακικών ορυκτών, που όπως φαίνεται από την ανάλυση με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (βλ. Κεφ. 6, Παρ. 6.5.1) πρόκειται για σιδηρίτη ($FeCO_3$) και όχι ασβεστίτη ($CaCO_3$), όπως συμβαίνει συνήθως σε περιβάλλοντα τυρφογένεσης (Teichmüller and Teichmüller, 1982).

A14: 3,11 – 3,28m (17cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε ανόργανο υλικό και χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός αργιλούχος λιγνίτης. Φέρει μικρό ποσοστό μεμονωμένων ξυλιτικών θραυσμάτων και διάσπαρτους σπασμένους κρυστάλλους χαλαζία. Επίσης ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, που εκτελέστηκε για το δείγμα A13, παρατηρήθηκε σιδηρίτης.

A15: 3,28 – 3,31m (3cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει γέλη, διάσπαρτα μεμονωμένα ξυλώδη θραύσματα, άμορφο αργιλικό υλικό και ορυκτά της ομάδας των μαρμαρυγιών.

A16: 3,31 – 3,34m (3cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός μάζα ξυλίτη στην οποία κυριαρχούν οι ιστοί. Ο συγκεκριμένος ορίζοντας σχηματίστηκε από την απόθεση

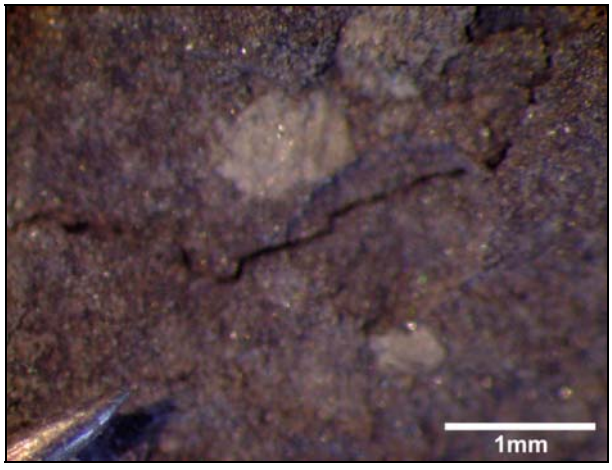
αδρών κομματιών από κορμούς και κλαδιά, ενώ κύριο χαρακτηριστικό αυτού συνιστά η εμφάνιση ανοιχτόχρωμου φυτικού ιστού, στον οποίο παρατηρήθηκαν μέχρι και ριζίδια. Αξιοσημείωτη είναι η απουσία ανόργανου υλικού εσωτερικά της μάζας του εν λόγω ξυλίτη, γεγονός το οποίο υποδηλώνει ότι ο τύπος του κυτταρικού ιστού του δέντρου (από το οποίο προέρχονται τα ξυλώδη τμήματα) δεν επέτρεψε να εισχωρήσουν διαλύματα κατά τη χουμοποίησή του. Επιφανειακά παρατηρήθηκε αργιλικό υλικό, πρισματικοί κρύσταλλοι γύψου, θειάφι και ανθρακικά συσσωματώματα.

A17: 3,34 – 3,61m (27cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αποτελεί η λεπτοστρωματώδης εμφάνιση του συγκεκριμένου ορίζοντα, γεγονός το οποίο αποτελεί ένδειξη για ήρεμο περιβάλλον σχηματισμού.

A18: 3,61 – 3,73m (12cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως γκρι μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Βασικό χαρακτηριστικό του εν λόγω ορίζοντα αποτελεί η εμφάνιση ενσωματωμένων "σβόλων αργίλου" μέσα στη λιγνιτική μάζα (Εικ. 6.1.8), η εμφάνιση των οποίων υποδηλώνει την απουσία ήρεμου περιβάλλοντος απόθεσης και την ύπαρξη ενεργού πεδίου με κίνηση του μετώπου του νερού.



Εικόνα 6.1.8: Χαρακτηριστική δομή σβόλων αργίλου εντός λιγνιτικής μάζας, οι οποίοι υποδηλώνουν συνθήκες ενεργού περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια απόθεσης του οργανικού υλικού στον παλαιοτυρφώνα.

A19α: 3,73 – 3,83m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, διάσπαρτα μεμονωμένα ξυλώδη θραύσματα, άμορφο αργιλικό υλικό, ορυκτά της ομάδας των μαρμαρυγιών και γύψο.

A19β: 3,83 – 3,99m (16cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως γκρι μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει γέλη, υψηλό ποσοστό διάσπαρτων μεμονωμένων ξυλωδών θραυσμάτων, άμορφο αργιλικό υλικό, μαρμαρυγία και γύψο.

A20: 3.99 – 4,11m (12cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Χαρακτηρίζεται από διασταυρούμενη στρώση στα πρώτα δύο (από τα συνολικά δώδεκα) εκατοστά της συγκεκριμένης στρώσης υποδηλώνοντας την κινητικότητα στην επιφάνεια του νερού κατά τη διάρκεια της απόθεσης του οργανικού υλικού.

A21: 4,11 – 4,26m (15cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίσθηκε ως γκρι άργιλος. Παρατηρήθηκαν κρύσταλλοι ορυκτών της ομάδας των μαρμαρυγιών.

A22α: 4,26 – 4,34m (8cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει πλέγματα ζελατινοποιημένης οργανικής ύλης, με ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο μεγάλο αριθμό ζωνών, που δημιουργούνται από τη διαφοροποίηση του οργανικού υλικού και οι οποίες (ζώνες) φέρουν στρώσεις από γέλη.

A22β: 4,34 – 4,44m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει πολύ χαμηλό ποσοστό από διάσπαρτα μεμονωμένα ξυλώδη θραύσματα, μαρμαρυγία και ανθρακικά ορυκτά. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αποτελούν οι δομές συμπίεσης, που αποτυπώνονται μέσω πτυχών.

Α23: 4,44 – 4,64m (20cm).

Εικόνα 6.1.9: Τυπικές δομές συμπίεσης λόγω βάρους των υπερκείμενων οριζόντων, οι οποίες αποτυπώνονται μέσω καλοσχηματισμένων πτυχών.

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Βασικό γνώρισμα του συγκεκριμένου υλικού αποτελεί το υψηλό ποσοστό συμμετοχής ξυλωδών θραυσμάτων, τα οποία παρατηρούνται διασκορπισμένα σε όλο το εύρος της μάζας του. Ξεχωριστό ενδιαφέρον αποτελεί η ύπαρξη δομής "καναλιού" (channel) στη βάση του συγκεκριμένου ορίζοντα, γεγονός που υποδηλώνει ότι κατά τη διάρκεια απόθεσης του οργανικού υλικού έπεσε η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και προσκομίστηκαν αδρά ξυλιτικά θραύσματα [κορμοί ή τμήματα κορμών *Glyptostrobus* (βλ. Κεφ. 6, Παρ. 6.4)] και συνεπαγόμενη βύθιση του υποκείμενου μαζώδους λιγνίτη οδηγώντας στη δημιουργία δομής καναλιού. Η πρόσθετη αυτή τάση (πίεση) που δημιουργήθηκε με τον παραπάνω τρόπο συμφωνεί και με τις δομές συμπίεσης (Εικ. 6.1.9) που προαναφέρθηκαν και αφορούν στη στρώση Α22β.

Α24: 4,64 – 5,24m (60cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε ανόργανο υλικό και χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι αργιλούχος λιγνίτης. Κατά τόπους εμφανίζονται πλέγματα ζελατινοποιημένης οργανικής ύλης και διάσπαρτα μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα.

A25: 5,24 – 5,34m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει διάσπαρτα ξυλώδη θραύσματα και υπολείμματα φύλλων, γεγονός το οποίο υποδηλώνει ήρεμο περιβάλλον.

A26: 5,34 – 5,42m (8cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει πλέγματα ζελατινοποιημένης οργανικής ύλης και διάσπαρτα μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα από κλαδιά και κορμούς. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αποτελεί η ύπαρξη συμπιεσμένων (μέσα στη μάζα του λιγνίτη) αργιλικών φακών.

A27: 5,42 – 5,55m (13cm)

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίσθηκε ως γκρι άργιλος και η οποία φέρει φύλλα και υπολείμματα τους.

A28: 5,55 – 5,70m (15cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Ξεχωριστό γνώρισμα του συγκεκριμένου ορίζοντα αποτελεί αφενός μεν η εμφάνιση "ζώνωσης", αφετέρου δε η ύπαρξη ενσωματωμένων σβόλων αργίλου μέσα στη λιγνιτική μάζα. Το τελευταίο, όπως προαναφέρθηκε, υποδηλώνει την απουσία ήρεμου περιβάλλοντος ιζηματογένεσης και την ύπαρξη ενεργού πεδίου με κίνηση του μετώπου του νερού. Η ταυτόχρονη παρουσία των δύο παραπάνω χαρακτηριστικών υποδηλώνει τη μεταβολή των συνθηκών, που επικρατούσαν στον τυρφώνα κατά τη διάρκεια σχηματισμού του συγκεκριμένου ορίζοντα.

A29: 5,70 – 5,95m (25cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Φέρει ζελατινοποιημένη οργανική ύλη, υψηλό ποσοστό διάσπαρτων ξυλωδών θραυσμάτων, καθώς και υπολείμματα από καλάμια. Επίσης ιδιαίτερα χαρακτηριστική είναι η παρουσία έντονων δομών καναλιού (παρόμοια με τον ορίζοντα Α23).

A30: 5,95 – 6,11m (16cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει πλέγματα ζελατινοποιημένης οργανικής ύλης,

καθώς και αρκετά υψηλό ποσοστό ξυλιτικών θραυσμάτων (σε σύγκριση με άλλους ορίζοντες του ίδιου λιθότυπου). Ο συγκεκριμένος ορίζοντας χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη πλήθους τυπικών ενστρώσεων ξυλίτη μικρού πάχους, καθώς επίσης και από μεγάλο αριθμό χαρακτηριστικών δομών τύπου καναλιού.

A31: 6,11 – 6,25m (14cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει γέλη, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, διάσπαρτα μεμονωμένα ξυλώδη θραύσματα, άμορφου αργιλικό υλικό, πρισματικούς κρυστάλλους γύψου και ορυκτά της ομάδας των μαρμαρυγιών.

A32: 6,25 – 6,35m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Φέρει γέλη, αρκετά υψηλό ποσοστό από θραύσματα ξυλίτη, άμορφο αργιλικό υλικό και μαρμαρυγία.

A33: 6,35 – 6,45m (10cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίσθηκε ως γκρι μαργαϊκή άργιλος. Φέρει μικρούς σε μέγεθος κρυστάλλους ορυκτών της ομάδας των μαρμαρυγιών.

A34: 6,45 – 6,65m (20cn).

Εικόνα 6.1.10: Τυπική μορφή σπέρματος και άνθεων θείου σε δείγμα μαζώδους λιγνίτη.

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει τυπικά γέλη, μεμονωμένα θραύσματα ξυλίτη, υπολείμματα φύλλων και σπερμάτων, θείο (Εικ 6.1.10) και γύψο.

A35: 6,65 – 6,78m (13cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίσθηκε ως ανοιχτή καστανή μαργαϊκή άργιλος και διακρίνονται μικροκρύσταλλοι ορυκτών της ομάδας των μαρμαρυγιών.

B1: 6,78 – 7,18m (30cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε οργανική ύλη και χαρακτηρίσθηκε ως σκούρα γκρι χουμώδης άργιλος. Παρατηρήθηκαν μαρμαρυγίες και κατά τόπους συγκρίματα σιδηροπυρίτη.

B2α: 7,18 – 7,28m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Εμφανίζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, τον οποίο συνιστούν κλαδιά, ριζίδια και διάφορα άλλα φυτικά ξυλώδη τμήματα, ενώ παρουσιάζει και πλέγματα ζελατινοποιημένης οργανικής ύλης. Ορυκτολογικά παρατηρήθηκε διάσπαρτο αργιλικό υλικό, το οποίο κατά τόπους σχηματίζει ενστρώσεις. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά υποδηλώνουν ήρεμες συνθήκες ιζηματογένεσης.

B2β: 7,28 – 7,38m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό και διάσπαρτα ξυλιτικά θραύσματα, υποδηλώνοντας ήρεμες συνθήκες απόθεσης του φυτικού υλικού. Γενικά ορίζοντες, που χαρακτηρίζονται ως "μαυρωπός λιγνίτης" και παρουσιάζουν φυτικά υπολείμματα και διάσπαρτα ξυλιτικά θραύσματα, συνιστούν ήρεμες συνθήκες ιζηματογένεσης.

B3α: 7,38 – 7,45m (7cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Εμφανίζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, τον οποίο συνιστούν κλαδιά, ριζίδια και διάφορα άλλα φυτικά ξυλώδη τμήματα, ενώ φέρει και πλέγματα από γέλη. Όμοια

με τους ορίζοντες Β2(α,β), τα παραπάνω χαρακτηριστικά, συνιστούν ήρεμες συνθήκες ιζηματογένεσης.

Β3β: 7,45 – 7,65m (20cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε ανόργανο υλικό και χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός αργιλούχος λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, διάσπαρτα μεμονωμένα ξυλώδη θραύσματα και ανθρακικά ορυκτά.

Β3γ: 7,65 – 7,80m (15cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Πολύ χαρακτηριστικό γνώρισμα συνιστά η ύπαρξη φουσιτικού ορίζοντα, καθώς και ο μεγάλος αριθμός μικρών φακών αργίλου.

Β4α: 7,80 – 7,83m (3cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίσθηκε ως γκρι άργιλος και η οποία φέρει φύλλα και υπολείμματα αυτών.

Β4β: 7,83 – 7,89m (6cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανού χρώματος μάζα ξυλίτη συμπαγούς δομής. Εμφανίζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, στον οποίο παρατηρήθηκαν κλαδιά, ριζίδια και διάφορα άλλα τμήματα του ξυλώδους φυτικού σκελετού. Ο συγκεκριμένος ξυλίτης παρουσιάζει στοιχεία συμπίεσης, ενώ παράλληλα φέρει και κυτταρικά συμπυκνώματα (ρόζους). Τα φυτικά αυτά χαρακτηριστικά συνιστούν δασικό περιβάλλον απόθεσης του οργανικού υλικού. Ορυκτολογικά παρατηρήθηκε διάσπαρτο αργιλικό υλικό, το οποίο κατά τόπους σχηματίζει πληρώσεις.

Β5α:7,89 – 7,99m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Το χαμηλό ποσοστό διάσπαρτου φυτικού ιστού και μεμονωμένων ξυλιτικών τεμαχών χαρακτηρίζει τον εν λόγω ορίζοντα.

Β5β: 7,99 – 8,09m (10cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε οργανική ύλη και χαρακτηρίσθηκε ως σκούρα γκρι χουμώδης άργιλος. Μέσα στην αργιλική μάζα απαντώνται

κατά τόπους διάσπαρτα μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα.

Β6α: 8,09 – 8,25m (16cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Φέρει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό με ίχνη από διάφορα φυτικά υπολείμματα, καθώς και διάσπαρτα ξυλιτικά θραύσματα.

Β6β: 8,25 – 8,33m (8cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός κατακερματισμένος ξυλίτης. Εμφανίζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, ο οποίος συνίσταται από κλαδιά, ριζίδια και διάφορα άλλα τμήματα του ξυλώδους φυτικού σκελετού, ενώ παράλληλα το πλείστον των κομματιών του ξυλιτικού υλικού εμφανίζουν ζελατινοποίηση και υπό αυτή την έννοια θα μπορούσε να ταξινομηθεί στους ζελατινοειδείς ξυλίτες. Ξεχωριστό όμως γνώρισμα συνιστούν οι δομές συμπίεσης, οι οποίες αποτυπώνονται στο σύνολο του ξυλιτικού υλικού με τυπικές πτυχώσεις και έντονα σπασίματα.

Β6γ: 8,33 – 8,49m (16cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Φέρει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό με ίχνη από διάφορα φυτικά υπολείμματα, καθώς και διάσπαρτα ξυλιτικά θραύσματα.

Β7α: 8,49 – 8,52m (3cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανού χρώματος μάζα ξυλίτη με συμπαγή δομή. Μάζα αμιγώς ξυλώδους υλικού με εμφανή παρουσία ανοιχτόχρωμου φυτικού ιστού και διάσπαρτου αργιλικού υλικού.

Β7β: 8,52 – 8,64m (12cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε σκούρος γκρι έως μαυρωπός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, μεμονωμένα ξυλώδη θραύσματα, αργιλικό υλικό, ανθρακικά ορυκτά και διάσπαρτους κόκκους χαλαζία.

Β8: 8,64 – 8,68m (4cm).

Χαρακτηριστικός ορίζοντας ανόργανης προέλευσης, ο οποίος συνίσταται από άργιλο

και παρουσιάζει μικρούς κρυστάλλους ορυκτών (μη αναγνωρίσιμους μακροσκοπικά).

B9: 8,68 – 8,78m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Φέρει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό από διάφορα τμήματα του ξυλώδους φυτικού σκελετού, ενώ παράλληλα σε πολλά ξυλιτικά θραύσματα εμφανίζει πλέγματα από ζελατινοποιημένο οργανικό υλικό. Επίσης σε περιορισμένο αριθμό θέσεων, το ξυλιτικό υλικό εμφανίζεται ως μάζα ξυλίτη με συμπαγή δομή.

B10α: 8,78 – 8,81m (3cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει χαμηλό ποσοστό διάσπαρτου φυτικού ιστού, μικρό αριθμό μεμονωμένων ξυλιτικών θραυσμάτων, γέλη και αργιλικό υλικό, το οποίο πληρώνει διάκενα και διακλάσεις.

B10β: 8,81 – 8,88m (7cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός ξυλίτης πλούσιος σε ανόργανα. Ιδιαίτερο γνώρισμα συνιστά η ύπαρξη πλεγμάτων και πληρώσεων ζελατινοποιημένου οργανικού υλικού, ενώ παράλληλα εμφανίζει και ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό με διακριτά μέρη του ξυλώδους φυτικού σκελετού.

B11: 8,88 – 8,98m (10cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε οργανική ύλη και χαρακτηρίσθηκε ως σκούρα γκρι χουμώδης άργιλος. Περιλαμβάνει μικρό ποσοστό κόκκων χαλαζία.

B12: 8,98 – 9,18m (20cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη και ενστρώσεις αργίλου.

B12/B13: 9,18 – 9,23m (5cm).

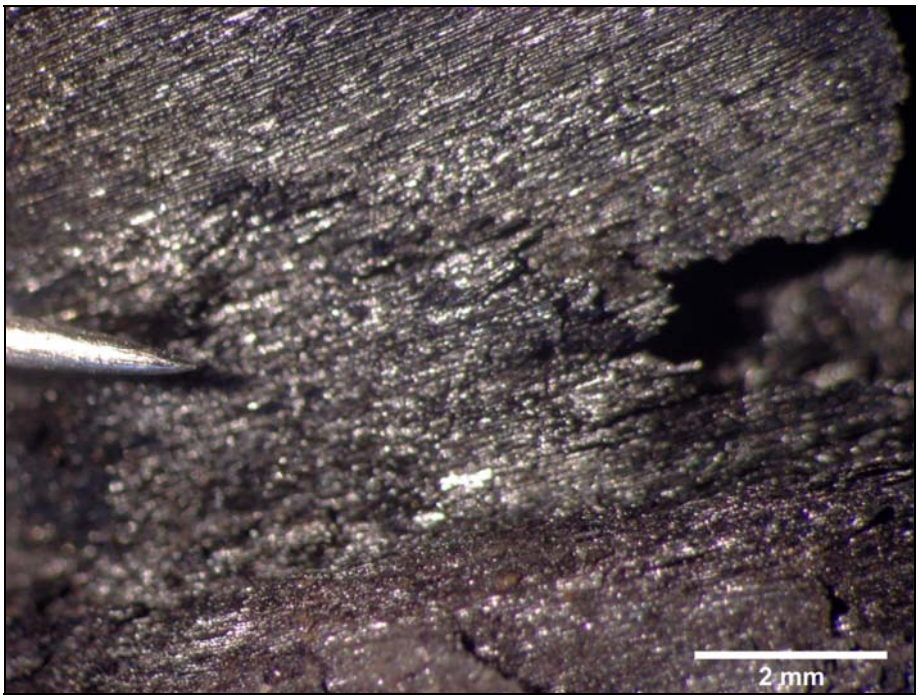
Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίσθηκε ως γκρι άργιλος.

B13: 9,23 – 9,38m (15cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Φέρει κεραμοειδή διάταξη των περιεχόμενων ξυλιτικών θραυσμάτων, αποτέλεσμα της οποίας είναι η δημιουργία ξυλώδους ένστρωσης. Επιπλέον πολύ χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση τυπικής στρώσης φουσίτη, γεγονός το οποίο υποδηλώνει την οξείδωση του οργανικού υλικού είτε λόγω έκθεσης αυτού σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (επαφή με οξυγόνο) είτε λόγω εκδήλωσης πυρκαγιάς.

B14α: 9,38 – 9,40m (2cm).

Τυπικός ορίζοντας Φουσίτη (Εικ. 6.1.11), ο οποίος υποδηλώνει είτε την επαφή του οργανικού υλικού με οξυγόνο είτε την εκδήλωση πυρκαγιάς.



Εικόνα 6.1.11: Τυπικός ορίζοντας Φουσίτη.

B14β: 9,40 – 9,56m (16cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως μαυρωπός έως μαύρος μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει μικρή συμμετοχή από υπολείμματα φυτικού ιστού, ενώ χαρακτηρίζεται από την παρουσία μικρών ενστρώσεων φουσίτη μέσα στη μάζα του.

B14γ: 9,56 – 9,58m (2cm).

Χαρακτηριστικός ορίζοντας Φουσίτη, ο οποίος υποδηλώνει την οξείδωση του φυτικού υλικού, όπως περιγράφηκε για τον ορίζοντα B14α.

B14δ: 9,58 – 9,64m (6cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως μαυρωπός έως μαύρος μαζώδης λιγνίτης. Οι ιδιότητες του συγκεκριμένου ορίζοντα είναι όμοιες με αυτές του ορίζοντα Β14β.

B14ε: 9,64 – 9,67m (3cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε οργανική ύλη και χαρακτηρίσθηκε σκούρα γκρι χουμώδης άργιλος. Κυρίαρχο γνώρισμα του συγκεκριμένου ορίζοντα συνιστά η ύπαρξη μικροδομής τύπου καναλιού, γεγονός το οποίο, όπως προαναφέρθηκε υποδηλώνει αφενός μεν έντονη ροή υδάτων με συγκεκριμένη διεύθυνση, αφετέρου δε πίεση από τον υπερκείμενο λιγνιτικό ορίζοντα.

B15: 9,67 – 9,77m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως μαυρωπός έως μαύρος μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει έναν πολύ χαρακτηριστικό ορίζοντα φουσίτη, ενώ εσωτερικά της μάζα του διακρίνονται και άλλες μικρές ενστρώσεις από το ίδιο υλικό. Ορυκτολογικά διακρίθηκαν μόνο ενστρώσεις αργιλικού υλικού.

B16: 9,77 – 9,89m (12cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε οργανική ύλη και χαρακτηρίσθηκε ως σκούρα γκρι χουμώδης άργιλος. Διακρίνονται διάφορα φυτικά υπολείμματα, όπως τμήματα από καλάμια, κλαδιά, φύλλα, όπως επίσης και διάσπαρτοι κόκκοι χαλαζία.

C1: 9,89 – 10,29m (40cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίσθηκε ως γκρι άργιλος. Διακρίνονται υπολείμματα φύλλων.

C2α: 10,29 – 10,54m (25cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει ξυλιτικά θραύσματα, στα οποία παρατηρήθηκε δρυφακτοειδές παρέγχυμα (ηθμώδεις και ξυλώδεις σωλήνες), σπέρματα και καρποί (Εικ. 6.1.12), καθώς και κυτταρικά συμπυκνώματα (ρόζοι). Ορυκτολογικά χαρακτηρίζεται από την έντονη παρουσία μικρών κρυστάλλων γύψου και θείου.

Εικόνα 6.1.12: Χαρακτηριστική εμφάνιση σπέρματος σε δείγμα μαζώδους λιγνίτη.

C2β: 10,54 – 10,61m (7cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός ινώδης ξυλίτης. Εμφανίζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό (μάζα ξυλίτη, όπου κυριαρχούν οι ιστοί), ενώ κατά θέσεις το ξυλιτικό υλικό παρουσιάζεται κατακερματισμένο. Κατά τη μετάβαση από τον ξυλίτη του συγκεκριμένου ορίζοντα στον υπερκείμενο λιγνίτη παρατηρήθηκε αποσάθρωση του πρώτου (σε αναερόβιες συνθήκες) και προοδευτική δημιουργία του δεύτερου.

C3: 10,61 – 10,82m (19cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός έως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό και μεμονωμένα ξυλώδη θραύσματα, ενώ χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση μικρών πρισματικών κρυστάλλων γύψου.

C4: 10,82 – 10,92m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε ανόργανο υλικό και χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός αργιλούχος λιγνίτης. Φέρει διάσπαρτο φυτικό ιστό, χαμηλό ποσοστό μεμονωμένων ξυλιτικών θραυσμάτων, γέλη, πλέγματα ζελατινοποιημένης οργανικής ύλης. Ορυκτολογικά παρατηρήθηκε πολύ γύψος, και ανθρακικά ορυκτά.

C5: 10,92 – 11,10m (18cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε ανόργανο υλικό

και χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως σκούρος γκρι αργιλούχος λιγνίτης. Παρουσιάζει πληρώσεις ζελατινοποιημένης οργανικής ύλης, καθώς και διάσπαρτα ξυλώδη θραύσματα, το ποσοστό των οποίων είναι μεγαλύτερο από του υποκείμενου αργιλούχου λιγνίτη (C4). Σε αυτήν τη διαφοροποίηση έγκειται και ο διαχωρισμός τους ως δύο ξεχωριστών οριζόντων.

C6: 11,10 – 11,24m (14cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός έως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει γέλη, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα και μικρούς κρυστάλλους γύψου.

C7: 11,24 – 11,74m (50cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε οργανική ύλη και χαρακτηρίσθηκε ως σκούρα γκρι χουμώδης ιλύς. Διακρίθηκαν υπολείμματα φύλλων, καθώς και μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα από κορμούς και κλαδιά.

C8: 11,74 – 11,93m (19cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, μικρό ποσοστό υπολειμμάτων φυτικού ιστού και μεμονωμένων ξυλωδών θραυσμάτων, γύψο και θείο (κατά τόπους).

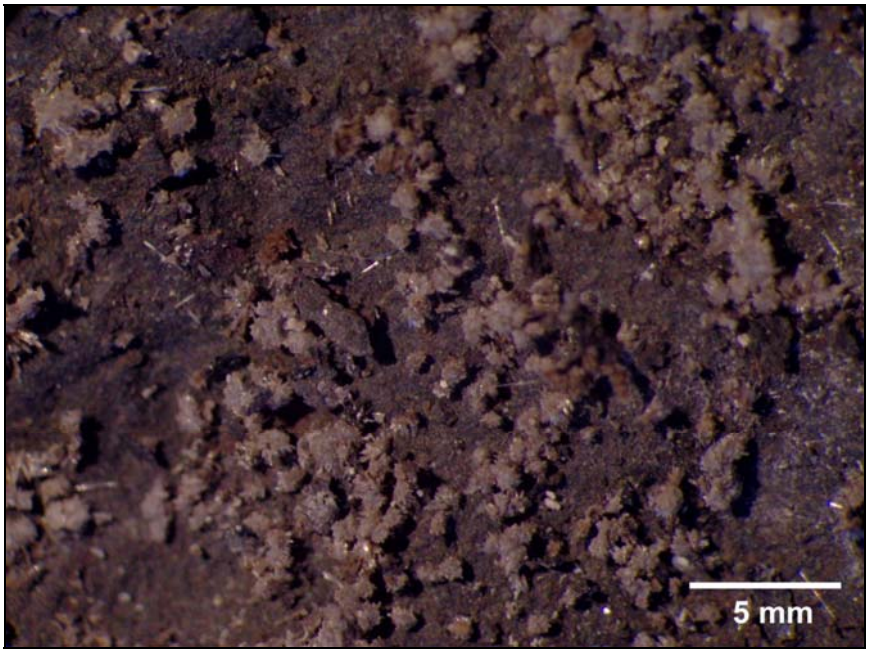
C9: 11,93 – 12,28m (35cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε ανόργανο υλικό και χαρακτηρίστηκε ως γκρι αργιλούχος λιγνίτης. Το συγκεκριμένο ορίζοντα συνιστά ένα συνοθύλευμα από λιγνιτικό υλικό, ξυλιτικά θραύσματα και υψηλό ποσοστό αργιλικού υλικού. Παρουσιάζει γέλη με χαλαρή δομή (μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις συνεκτικά, όπως συμβαίνει συνήθως), διάσπαρτα ξυλώδη θραύσματα, χαμηλό ποσοστό υπολειμμάτων ανοιχτόχρωμου φυτικού ιστού καθώς και σπόρους και καρπούς. Ιδιαίτερο γνώρισμα του εν λόγω ορίζοντα συνιστά η εμφάνιση γραμμών ολίσθησης, ενώ χαρακτηρίζεται και από υψηλό ποσοστό συμμετοχής γύψου, η οποία εμφανίζει βελονοειδείς κρυστάλλους με σφαιροειδή διάταξη και πυρήνα καστανού χρώματος.

C10: 12,28 – 12,47m (9cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι έως

μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Χαρακτηρίζεται από την παρουσία συγκεντρικής μορφής γύψου, με λευκούς κρυστάλλους ακτινικής μορφής (κοινή εμφάνιση) και καστανό πυρήνα (σπάνια εμφάνιση), το ποσοστό της οποίας είναι υψηλότερο από αυτό του άμεσα υποκείμενου ορίζοντα C9 (Εικ. 6.1.13). Αναγνωρίστηκαν επίσης συγκρίματα από ανθρακικά ορυκτά, θείο και διάσπαρτο αργιλικό υλικό.



Εικόνα 6.1.13: Συνύπαρξη χαρακτηριστικής μορφής γύψου, με καστανό πυρήνα και λευκούς πρισματοειδής κρυστάλλους.

C11: 12,47 – 12,53m (6cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοιχτός καστανός στρωσιγενής ξυλίτης. Παρουσιάζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, αδρομερή ξυλιτικά θραύσματα και χαμηλό ποσοστό ζελατινοποιημένου οργανικού υλικού, το οποίο εμφανίζεται με τη μορφή πλεγμάτων. Ορυκτολογικά παρατηρήθηκε διάσπαρτο αργιλικό υλικό, το οποίο σχηματίζει ενστρώσεις (επιφανειακά του ξύλου).

C12: 12,53 – 12,76m (16cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός έως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Φέρει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, υψηλό ποσοστό μεμονωμένων ξυλιτικών θραυσμάτων (μικρότερου μεγέθους από του υποκείμενου ορίζοντα (C11γ), υψηλό ποσοστό αργίλου και γύψο.

C13: 12,76 – 12,95m (19cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε ανόργανο υλικό

και χαρακτηρίστηκε ως γκρι αργιλούχος λιγνίτης. Παρουσιάζει χαμηλό ποσοστό υπολειμμάτων ανοιχτόχρωμου φυτικού ιστού, ενώ είναι εμπλουτισμένος σε μικροκρυστάλλους μαρμαρυγία.

C14α: 12,95 – 13,00m (5cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι μεταβατικός προς τον υπερκείμενο (C14β) και χαρακτηρίστηκε ως ορίζοντας ελασμάτωσης (lamination), καθώς παρουσιάζει "ζώνωση" από οργανικά υλικά, υποδηλώνοντας με τον τρόπο αυτό τη μετάβαση δύο φάσεων ιζηματογένεσης μέσω ήρεμου περιβάλλοντος απόθεσης.

C14β: 13,00 – 13,17m (17cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει πληρώσεις ζελατινοποιημένου οργανικού υλικού, θραύσματα στα οποία παρατηρήθηκαν υπολείμματα *Phragmites Australis* και γύψος.

C14γ: 13,17 – 13,26m (9cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε καστανός έως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, υψηλό ποσοστό μεμονωμένων ξυλωδών θραυσμάτων, αργιλικό υλικό και γύψο.

C15: 13,26 – 13,34m (8cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε οργανική ύλη και χαρακτηρίσθηκε καστανή έως σκούρα γκρι χουμώδης μάργα. Παρατηρήθηκε η συμμετοχή κρυστάλλων ορυκτών της ομάδας των μαρμαρυγιών, καθώς και διάσπαρτα συγκρίματα θείου.

C16: 13,34 – 13,48m (14cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει αυξημένο ποσοστό ανοιχτόχρωμου φυτικού ιστού και μεμονωμένων ξυλωδών θραυσμάτων. Το ποσοστό συμμετοχής αυτών, αν και δεν είναι ικανό να κατατάξει το συγκεκριμένο υλικό στην κατηγορία του μεικτού ξυλιτικού/μαζώδους λιγνίτη, συνιστά τη βασική διαφορά με τον άμεσα υπερκείμενο ορίζοντα C17. Ορυκτολογικά αναγνωρίστηκε άμορφο αργιλικό υλικό (ενστρώσεις και πληρώσεις), γύψος, ορυκτά της ομάδας των μαρμαρυγιών και ανθρακικά ορυκτά.

C17: 13,48 – 13,57m (9cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, υψηλό ποσοστό μεμονωμένων ξυλιτικών θραυσμάτων, αργιλικό υλικό και γύψο.

C18: 13,57 – 13,68m (11cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε οργανική ύλη και χαρακτηρίσθηκε ως σκούρα γκρι χουμώδης ιλύς.

C19: 13,68 – 13,96m (28cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ανοικτός καστανός έως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, ενστρώσεις φλοιών και κλαδιών.

C20: 13,96 – 14,09m (13cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει αργιλικό υλικό και συγκεντρικής μορφής γύψο με καστανό πυρήνα.

C21: 14,09 – 14,26m (17cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός έως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, υψηλό ποσοστό μεμονωμένων ξυλωδών θραυσμάτων, αργιλικό υλικό και γύψο.

C22:14,26 – 14,31m (5cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοιχτή καστανή μάζα ξυλίτη όπου κυριαρχούν οι ιστοί. Εμφανίζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, ο οποίος συνίσταται από διάφορα τμήματα του φυτικού σκελετού, καθώς και αδρομερή θραύσματα από ξυλώδη τμήματα του φυτού. Ορυκτολογικά παρατηρήθηκαν πλέγματα από αργιλικό υλικό και γύψος.

C23: 14,31 – 14,47m (16cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει χαμηλό ποσοστό ζελατινοποιημένου υλικού και μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα, το ποσοστό συμμετοχής των οποίων δεν είναι ικανό ώστε να κατατάξει

το συγκεκριμένο ορίζοντα στην κατηγορία του μεικτού ξυλιτικού/μαζώδη λιγνίτη. Ιδιαίτερο γνώρισμα του εν λόγω ορίζοντα αποτελεί η απουσία συγκεκριμένης δόμησης και η άκρως άναρχη απόθεση τόσο του οργανικού, όσο και του ανόργανου υλικού.

C24: 14,47 – 14,55m (8cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε οργανική ύλη και χαρακτηρίσθηκε ως γκρι χουμώδης ιλύς. Διακρίθηκαν φυτικά υπολείμματα, γύψος, μαρμαρυγίας και ανθρακικά ορυκτά.

C25: 14,55 – 14,62m (7cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως γκρι έως σκούρος γκρι μαζώδης λιγνίτης. Παρατηρήθηκαν γέλη, μικρό ποσοστό φυτικών υπολειμμάτων, αργιλικό υλικό, γύψος, μαρμαρυγίας, ανθρακικά ορυκτά και συγκρίματα θείου.

C26: 14,62 – 14,78m (16cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, υψηλό ποσοστό μεμονωμένων ξυλιτικών θραυσμάτων, αργιλικό υλικό και γύψο.

C27: 14,78 – 14,91m (13cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός μαζώδης λιγνίτης. Φέρει μικρού πάχους (mm) τυπικές ξυλιτικές ενστρώσεις. αργιλικό υλικό, γύψο και ανθρακικά ορυκτά. Εμφανίζει σχιστώδη θραύση, η οποία πραγματοποιείται σε φύλλα, διαφοροποιώντας αυτόν από τον άμεσα υποκείμενο C26.

C28: 14,91 – 14,98m (7cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίσθηκε ως ανοικτή γκρι άργιλος. Βασικό γνώρισμα συνιστά η ευδιάκριτη παρατήρηση υπολειμμάτων από καλάμια, ενώ ακόμη παρουσιάζει διάσπαρτα φυτικά υπολείμματα και ξυλιτικά θραύσματα.

C29: 14,98 – 15,08m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, αυξημένο ποσοστό διάσπαρτων ξυλιτικών υπολειμμάτων, αργιλικό υλικό, γύψο, μαρμαρυγία και ανθρακικά ορυκτά.

C30: 15,08 – 15,15m (7cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Φέρει ζελατινοποιημένη οργανική ύλη, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, υψηλό ποσοστό μεμονωμένων ξυλιτικών θραυσμάτων, άργιλο, γύψο και μαρμαρυγία.

C31: 15,15 – 15,21m (6cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοιχτός καστανός έντονα στρωσιγενής ξυλίτης. Εμφανίζει ζελατινοποιημένη οργανική ύλη, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, αδρομερή θραύσματα από ξυλώδη τμήματα και γύψο. Σημαντική είναι η παρουσία φακών αργίλου, ελλειπτικού σχήματος (μεγάλος άξονας 0.5 mm), ενώ έντονη είναι και η ύπαρξη συγκριμάτων θείου.

C32: 15,21 – 15,34m (13cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Κύριο χαρακτηριστικό του εν λόγω ορίζοντα συνιστά ο κατά τόπους εμπλουτισμός αυτού από άργιλο με αποτέλεσμα τοπικά να μεταπίπτει σε αργιλούχο λιγνίτη. Το αργιλικό αυτό υλικό εμφανίζεται σε πολλά σημεία με σφαιροειδή μορφή γεγονός, το οποίο υποδηλώνει ενεργή περιοχή με κίνηση του μετώπου του νερού. Ακόμη, παρουσιάζει ευμεγέθης και καλοδιατηρημένους σπόρους και καρπούς, γύψο και θειικά συγκρίματα.

C33: 15,34 – 15,54m (20cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός έως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, υψηλό ποσοστό μεμονωμένων ξυλωδών θραυσμάτων, άργιλο και γύψο.

C34: 15,54 – 15,56m (2cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε ανόργανο υλικό και χαρακτηρίστηκε ως γκρι αργιλούχος λιγνίτης. Διακρίνονται υπολείμματα ανοιχτόχρωμου φυτικού ιστού, πολύ καλά διατηρημένα θραύσματα από καλάμια, άργιλος, γύψος, μαρμαρυγίας και ανθρακικά ορυκτά.

C35: 15,56 – 15,63m (7cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, πολύ χαμηλό ποσοστό διάσπαρτων ξυλιτικών θραυσμάτων,

αργιλικό υλικό, γύψο και μικρού μεγέθους θειικά συγκρίματα.

C36: 15,64 – 15,67m (3cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοιχτός καστανός έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Εμφανίζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό και αδρομερή ξυλιτικά θραύσματα, ενώ συνιστά πολύ τυπικό παράδειγμα ξύλου με ινώδη υφή. Στο συγκεκριμένο ξυλίτη αποτυπώνονται πολύ έντονα τα σημάδια της πίεσης που ασκήθηκε λόγω της διαγενετικής διαδικασίας. Ορυκτολογικά παρατηρήθηκε αργιλικό υλικό, γύψος και μικρό ποσοστό διάσπαρτων ανθρακικών συγκριμάτων.

C37: 15,67 – 15,75m (8cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Φέρει ζελατινοποιημένη οργανική ύλη, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό και σχετικά υψηλό ποσοστό μεμονωμένων ξυλιτικών θραυσμάτων. Κατά θέσεις μεταπίπτει σε μαζώδη λιγνίτη, ενώ πολύ χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση γύψου.

C38: 15,75 – 15,87m (13cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε οργανική ύλη και χαρακτηρίσθηκε ως γκρι χουμώδης ιλύς. Ιδιαίτερο γνώρισμα αποτελεί το υψηλό ποσοστό συμμετοχής ευδιάκριτων υπολειμμάτων καλαμιών.

C39: 15,87 – 16,01m (14cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός έως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα και κομμάτια από κορμούς και κλαδιά, τα οποία φέρουν "ρόζους" (συμπυκνώματα κυττάρων).

C40: 16,01 – 16,06m (5cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοιχτού καστανού χρώματος μάζα ξυλίτη με συμπαγή δομή. Εμφανίζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, καθώς και αδρομερή θραύσματα από ξυλιτικά τμήματα του φυτού. Κατά θέσεις η δομή μεταπίπτει σε συνεκτική, με αποτέλεσμα στο συγκεκριμένο σημείο να εμφανίζεται ποσότητα αργιλικού υλικού (πλούσιος σε ανόργανα ξυλίτης). Επίσης, παρατηρήθηκε γύψος και συγκρίματα θείου.

C41: 16,06 – 16,16m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός έως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό (υψηλότερο ποσοστό σε σύγκριση με άλλους ορίζοντες οι οποίοι χαρακτηρίστηκαν ως μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης), μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα και κομμάτια από κορμούς, κλαδιά κ.ά. Η εμφάνιση μικροπτυχών στα ξυλιτικά θραύσματα αποτυπώνει την πίεση που ασκήθηκε από τα υπερκείμενα ιζήματα, ενώ χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση της γύψου.

C42: 16,16 – 16,22m (6cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός έως μαυρωπός έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Παρουσιάζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό και πλήθος ξυλιτικών θραυσμάτων, τα οποία φέρουν τυπικά γέλη. Κατά θέσεις μεταπίπτει σε μάζα ξυλίτη με συμπαγή δομή καθώς εμφανίζονται αδρά κομμάτια ξύλου, τα οποία συνιστούν ξυλιτική μάζα. Επιπλέον, εμφανείς πτυχώσεις αποτυπώνουν την πίεση που ασκήθηκε στον εν λόγω ορίζοντα από τα υπερκείμενα ιζήματα όταν ο ξυλίτης θάφτηκε κάτω από αυτά.

C43: 16,22 – 16,29m (7cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Φέρει πολύ μικρό ποσοστό ζελατινοποιημένης οργανικής ύλης, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό και μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα. Κατά τόπους μπορεί να χαρακτηριστεί σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης, με μικρή συμμετοχή φυτικού ιστού. Πολύ χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση γύψου.

C44: 16,29 – 16,33m (4cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως μαυρωπή έως καστανή μάζα ξυλίτη με συμπαγή δομή. Εμφανίζει ζελατινοποιημένη οργανική ύλη, αργιλικό υλικό και πολύ μικρού μεγέθους κρυστάλλους γύψου, το ποσοστό συμμετοχής των οποίων είναι εξαιρετικά μικρό. Κατά θέσεις εμφανίζεται ινώδης.

C45: 16,33 – 16,36m (3cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Χαρακτηριστικό γνώρισμα του συγκεκριμένου ορίζοντα

αποτελεί η εμφάνιση ενστρώσεων φουσίτη, καθώς και η παρουσία σπερμάτων και καρπών όπως το *Sambuccus* sp. Ορυκτολογικά παρατηρήθηκε αργιλικό υλικό το οποίο δημιουργεί μικρούς φακούς ή σφαιρόμορφες διατάξεις υποδηλώνοντας ενεργό δράση νερού και συνθήκες ανατάραξης.

C46: 16,36 – 16,39m (3cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοικτός καστανός ξυλίτης. Εμφανίζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, αδρομερή θραύσματα από ξυλιτικά τμήματα των φυτών, γέλη, αργιλικό υλικό και συγκέντρωση θείου. Πολύ χαρακτηριστικό είναι το υψηλό ποσοστό συμμετοχής γύψου.

C47: 16,39 – 16,41m (2cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Φέρει υψηλότερο ποσοστό ανοιχτόχρωμου φυτικού ιστού σε σχέση με άλλους ορίζοντες μαζώδους λιγνίτη, το οποίο όμως δεν επαρκεί ώστε να τον κατατάξουν στο λιθότυπο του μεικτού ξυλιτικού/μαζώδους λιγνίτη.

C48: 16,41 – 16,55m (14cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, φυτικό ιστό και χαρακτηριστικά μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα. Επιπλέον, παρατηρήθηκαν πολύ λεπτές ενδιάμεσες ενστρώσεις ξυλίτη καστανού έως μαυρωπού χρώματος. Η γύψος συμμετέχει με υψηλό ποσοστό, ενώ διακρίθηκαν και διάσπαρτες συγκεντρώσεις θείου.

C49: 16,55 – 16,68m (13cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Φέρει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό σε ποσοστό μεγαλύτερο από ό,τι άλλοι ορίζοντες που χαρακτηρίστηκαν ως μαζώδης λιγνίτης, με αποτέλεσμα να μπορεί να χαρακτηριστεί και ως μετάβαση από μαζώδη σε μεικτό ξυλιτικό/μαζώδη λιγνίτη.

C50: 16,68 – 16,73m (5cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε οργανική ύλη και χαρακτηρίσθηκε ως τεφρή έως ανοικτή γκρι χουμώδης άργιλος. Κυρίαρχο γνώρισμα του συγκεκριμένου ορίζοντα συνιστά η δημιουργία φακών αργίλου, οι οποίοι βρίσκονται σε

χαρακτηριστική διάταξη με το μεγάλο άξονα να είναι οριζόντιος ως προς τη στρώση. Στην επαφή με τον υπερκείμενο ορίζοντα C51 αναγνωρίστηκε μια τυπική ένστρωση φουσίτη.

C51: 16,73 – 16,85m (12cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα, και ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό με πολύ καλά διατηρημένες φυτικές επιδερμίδες. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αποτελεί η εμφάνιση ενστρώσεων φουσίτη. Το αργιλικό υλικό παρατηρήθηκε με τη χαρακτηριστική δομή σβόλων αργίλου (κατά θέσεις).

C52: 16,85 – 16,88m (3cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοικτός καστανός έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Εμφανίζει ζελατινοποιημένη οργανική ύλη, αδρομερή ξυλιτικά θραύσματα και τμήματα κορμών και κλαδιών. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός, ότι σε αντίθεση με τα υπερκείμενα και υποκείμενα στρώματα το ποσοστό συμμετοχής της γύψου είναι περιορισμένο. Ανθρακικά ορυκτά απαντώνται τόσο επιφανειακά όσο και ενδιάμεσα των στρώσεων που δημιουργεί η ξυλιτική μάζα.

C53α: 16,88 – 16,95m (7cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, μεμονωμένα ξυλιτικά θραυσμάτα, αργιλικό υλικό και γύψο.

C53β: 16,95 – 17,03m (8cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Φέρει ζελατινοποιημένη οργανική ύλη, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα, αργιλικό υλικό, γύψο και διάσπαρτα θειικά συγκρίματα.

C53γ: 17,03 – 17,08m (5cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε οργανική ύλη και χαρακτηρίσθηκε ως γκρι χουμώδης άργιλος. Διακρίθηκαν υπολείμματα φύλλων.

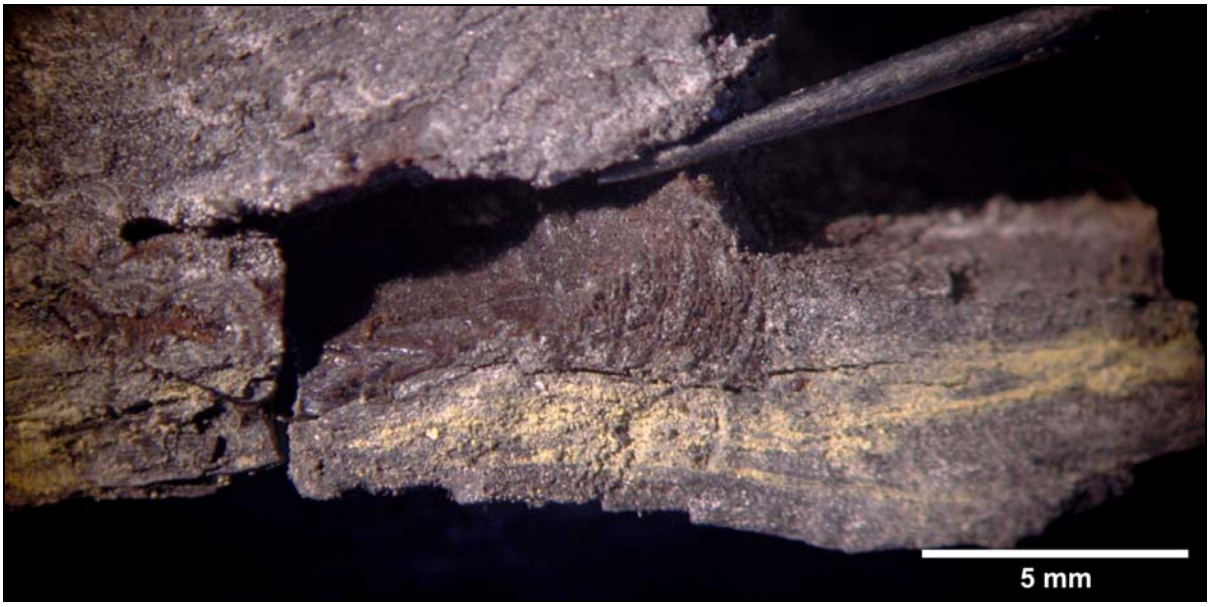
C53δ: 17,08 – 17,17m (9cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός

μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει ζελατινοποιημένη οργανική ύλη, μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα, αργιλικό υλικό και γύψο.

C54: 17,17 – 17,31m (14cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός έως μαυρωπός έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Εμφανίζει ζελατινοποιημένη οργανική ύλη, αδρομερή ξυλιτικά θραύσματα και τμήματα κορμών και κλαδιών. Πολύ χαρακτηριστικό ορυκτολογικό γνώρισμα του συγκεκριμένου ορίζοντα συνιστά η εμφάνιση γύψου εντός των διακλάσεων και ασυνεχειών του ξυλίτη, καθώς και η αποτύπωση θείου πάνω στα κομμάτια ξύλου (Εικ. 6.1.14), γεγονός που υποδηλώνει τη διακείμανση της στάθμης της επιφάνειας του νερού. Σύγχρονο παράδειγμα αποτύπωσης θείου πάνω σε κορμούς δέντρων (*Glyptostrobus*) συνιστούν οι περιοχές του Everglades και του Okefenokee των Ηνωμένων Πολιτειών.



Εικόνα 6.1.14: Τμήμα του ξυλιτικού ορίζοντα C54, πάνω στο οποίο έχει αποτυπωθεί η απόθεση θείου, γεγονός το οποίο υποδηλώνει τη διακύμανση της στάθμης του νερού του παλαιοτυρφώνα.

C55: 17,31 – 17,53m (22cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε ανόργανο υλικό και χαρακτηρίστηκε ως γκρι αργιλούχος λιγνίτης. Παρουσιάζει υπολείμματα φυτικού ιστού και διάσπαρτα ξυλιτικά θραύσματα.

C56: 17,53 – 17,84m (31cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Το συγκεκριμένο υλικό αποτελεί μετάβαση από τον τύπο του μαζώδους λιγνίτη στον τύπο του μεικτού ξυλιτικού/μαζώδους λιγνίτη, ενώ όπως φαίνεται στο σχήμα

6.1.1 εντός της μάζας του λιγνίτη παρατηρήθηκαν δύο μικρού πάχους ξυλιτικές ενστρώσεις.

C57: 17,84 – 17,91m (7cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός έως μαυρωπός έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Παρουσιάζει ζελατινοποιημένη οργανική ύλη και αδρομερή τμήματα κορμών και κλαδιών. Κατά θέσεις εμφανίζεται ως μάζα ξυλίτη με συμπαγή δομή. Ορυκτολογικά παρατηρήθηκε αργιλικό υλικό, υψηλό ποσοστό συμμετοχής γύψου και θειικά συγκρίματα (κατά θέσεις).

C58α: 17,91 – 17,99m (8cm)

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, αργιλικό υλικό, γύψο, μαρμαρυγία και θειικά και ανθρακικά συγκρίματα. Τα τελευταία παρουσιάζουν σε ορισμένες περιπτώσεις συγκεντρική διάταξη.

C58β: 17,99 – 18,04m (5cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοικτός καστανός έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Εμφανίζει ζελατινοποιημένη οργανική ύλη, αδρομερή θραύσματα κορμών και κλαδιών, αργιλικό υλικό, γύψο και συγκρίματα θείου.

C58γ: 18,04 – 18,10m (6cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Ως προς τα χαρακτηριστικά, αυτά είναι όμοια με τον ορίζοντα C58α.

C58δ: 18,10 – 18,17m (7cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοικτός καστανός έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Ως προς τα χαρακτηριστικά αυτά είναι όμοια με τον ορίζοντα C58β.

C58ε: 18,17 – 18,26m (9cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Ως προς τα χαρακτηριστικά αυτά είναι όμοια με τον ορίζοντα C58α.

C59: 18,26 – 18,38m (12cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοικτός καστανός ινώδης ξυλίτης. Στο συγκεκριμένο ορίζοντα ο ξυλίτης εμφανίζεται στρωσιγενής με έντονες στρώσεις μέσα στη λιγνιτική μάζα, ενώ το ξυλιτικό υλικό παρουσιάζεται ως έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Φέρει φυτικό ιστό και αδρομερή ξυλιτικά θραύσματα. Κατά θέσεις ο ξυλίτης αποκτά μαυρωπό χρώμα. Ορυκτολογικά χαρακτηρίζεται από περιορισμένη συμμετοχή (σε σύγκριση με άλλους ξυλιτικούς ορίζοντες) κρυστάλλων γύψου μικρού μεγέθους.

Επιπρόσθετο χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου ορίζοντα συνιστούν οι πτυχώσεις γεγονός, το οποίο αποδίδεται τόσο στις τάσεις που επικράτησαν κατά τη διάρκεια της διαγένεσης, όσο και μετά από αυτή λόγω του βάρους των υπερκείμενων ιζημάτων.

C60: 18,38 – 18,50m (12cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει ζελατινοποιημένη οργανική ύλη, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό κατά θέσεις, μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα, αργιλικό υλικό και γύψο.

C61: 18,50 – 18,60m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοικτός καστανός ινώδης ξυλίτης. Στο συγκεκριμένο ορίζοντα ο ξυλίτης εμφανίζεται στρωσιγενής με έντονες στρώσεις μέσα στη λιγνιτική μάζα, ενώ το ξυλιτικό υλικό παρουσιάζεται ως έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Κατά θέσεις εμφανίζεται ως μάζα ξυλίτη με συμπαγή δομή, ενώ χαρακτηριστική είναι η απουσία ζελατινοποιημένου οργανικού υλικού. Ορυκτολογικά χαρακτηρίζεται τόσο από την εμφάνιση γύψου, όσο και από την απουσία αργιλικού υλικού και θείου.

C62α: 18,60 – 18,74m (14cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Στο συγκεκριμένο ορίζοντα παρατηρήθηκαν δύο ξυλιτικές ενστρώσεις, το πάχος των οποίων δεν ξεπερνά το 1mm (Σχ. 6.1.1).

C62β: 18,74 – 18,86m (12cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει πολύ μικρό ποσοστό ζελατινοποιημένης οργανικής

ύλης, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, ξυλιτικά θραύσματα, άργιλο και γύψο.

C62/63: 18,86 – 18,93m (7cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοικτή καστανή μάζα ξυλίτη όπου κυριαρχούν οι ιστοί. Εμφανίζει υπολείμματα φυτικού ιστού, αδρομερή ξυλιτικά θραύσματα και γύψο.

C63: 18,93 – 19,16m (23cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό το ορίζοντα αυτού συνιστά η παρουσία τυπικού ορίζοντα φουσίτη, ενώ παρατηρήθηκε και υψηλό ποσοστό συμμετοχής μαρμαρυγία και αργίλου. Η γύψος συμμετέχει με χαμηλό ποσοστό.

C64: 19,16 – 19,24m (8cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοικτός καστανός έως μαυρωπός πλούσιος σε ανόργανα ξυλίτης. Το αργιλικό υλικό παρουσιάζει πολύ μεγάλη συμμετοχή, ενώ χαρακτηριστική είναι η παρουσία συγκριμάτων θείου και η περιορισμένη εμφάνιση γύψου. Κατά θέσεις εμφανίζεται ως έντονα στρωματωμένος λιγνίτης (έντονη εμφάνιση στρώσεων).

C65: 19,24 – 19,46m (22cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, σχετικά υψηλό ποσοστό φυτικού ιστού (δεν επαρκεί ώστε να τον κατατάξει στο μεικτό ξυλιτικό/μαζώδη λιθότυπο λιγνίτη), καθώς και μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα.

C66: 19,46 – 19,59m (13cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοικτός καστανός έως μαυρωπός έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Εμφανίζει υπολείμματα φυτικού ιστού, αδρομερή θραύσματα ξυλωδών φυτικών τμημάτων και μικρού μεγέθους κρυστάλλους γύψου, οι οποίοι δημιουργούν συσσωματώματα μέσα σε ασυνέχειες και διακλάσεις.

C67α: 19,59 – 19,78m (19cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός

μαζώδης λιγνίτης. Στο ανώτερο τμήμα του ο συγκεκριμένος ορίζοντας παρουσιάζει μικρό ποσοστό συμμετοχής φυτικού ιστού ενώ στη βάση του εμφανίζεται ως καθαρός μαζώδης λιγνίτης.

C67β: 19,78 – 19,92m (14cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει γέλη, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, ξυλιτικά θραύσματα, αργιλικό υλικό και υψηλό ποσοστό συμμετοχής γύψου.

C68: 19,92 – 20,09m (17cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός πλούσιος σε ανόργανα υλικά ξυλίτης. Φέρει αδρομερή θραύσματα από κορμούς και κλαδιά, ενώ σε ορισμένα σημεία παρουσιάζει ζελατινοποίηση. Ορυκτολογικά χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση αργίλου και υψηλού ποσοστού γύψου (συγκεκριμένα σελινίτης), η οποία βρίσκεται ανάμεσα στις σχιστοφυείς επιφάνειες θραύσης.

C69: 20,09 – 20,21m (12cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Βασικό γνώρισμα του εν λόγο ορίζοντα συνιστά η εμφάνιση ενστρώσεων φουσίτη, όπως και ότι κατά θέσεις μεταπίπτει από μαζώδη σε αργιλούχο λιγνίτη.

C70: 20,21 – 20,31m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός πλούσιος σε ανόργανα ξυλίτης. Κατά τόπους μεταπίπτει σε στρωσιγενή ξυλίτη καθώς και σε μάζα ξυλίτη όπου κυριαρχούν οι ιστοί, ενώ παράλληλα εμφανίζει πτυχώσεις ως αποτέλεσμα της δράσης τάσεων που προήρθαν κατά κύριο λόγω από το βάρος των υπερκείμενων ιζημάτων. Ορυκτολογικά ο ορίζοντας χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση ενστρώσεων αργίλου, υψηλό ποσοστό μαρμαρυγία και κατά τόπους συγκρίματα ανθρακικών ορυκτών.

C71: 20,31 – 20,71m (40cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Ο συγκεκριμένος ορίζοντας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και ως ξυλιτικός λιγνίτης (~10% ξυλιτικά θραύσματα), ενώ σημαντική διαφοροποίηση ως προς τη φύση του υλικού παρατηρήθηκε προς τη βάση του ορίζοντα όπου

μεταπίπτει σε αργιλούχο λιγνίτη με πάχος 5 cm (Σχ. 6.1.1). Ορυκτολογικά παρατηρήθηκε αργιλικό υλικό, γύψος και θείο.

C72: 20,71 – 20,86m (15cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοιχτή καστανή έως κίτρινη μάζα ξυλίτη με συμπαγή δομή. Φέρει φυτικό ιστό, αδρομερή θραύσματα από κορμούς και κλαδιά, καθώς και δομές πίεσης (πτυχές). Ορυκτολογικά χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση αργίλου, μικρού ποσοστού ανθρακικών ορυκτών, μαρμαρυγία και γύψο, η οποία παρατηρήθηκε να σχηματίζει ενστρώσεις με πολλούς συγκεντρωμένους κρυστάλλους (σπασμένους).

C73: 20,86 – 21,06m (20cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε ανόργανο υλικό και χαρακτηρίστηκε ως ανοικτός γκρι έως γκρι αργιλούχος λιγνίτης. Παρουσιάζει πολύ χαμηλό ποσοστό υπολειμμάτων φυτικού ιστού καθώς και λίγα διάσπαρτα ξυλιτικά θραύσματα.

C74: 21,06 – 21,18m (12cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοιχτός καστανός έως κίτρινος έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Κύριο χαρακτηριστικό συνιστά το γεγονός ότι κατά τόπους μεταπίπτει σε μάζα ξυλίτη με συμπαγή δομή ενώ φέρει και δομές πίεσης (πτυχές). Ορυκτολογικά χαρακτηρίζεται από τη συμμετοχή αργίλου, μαρμαρυγία, γύψο και μικρό ποσοστό θείου.

C75α: 21,18 – 21,26m (8cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Ξεχωριστό χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου ορίζοντα αποτελεί η εμφάνιση ενστρώσεων φουσίτη.

C75β: 21,26 – 21,35m (9cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα, αργιλικό υλικό και έντονη συμμετοχή γύψου και μαρμαρυγία.

C76: 21,35 – 21,56m (21cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοιχτός καστανός στρωματομένος ξυλίτης. Παρουσιάζει ζελατινοποιημένη οργανική ύλη, η οποία αφορά σε φλοίδες και αδρομερή ξυλιτικά θραύσματα, ενώ παρατηρήθηκαν και στρώσεις από μεικτό ξυλιτικό/μαζώδη λιγνίτη. Ορυκτολογικά χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση άμορφου αργιλικού υλικού και μαρμαρυγία. Χαρακτηριστική είναι η απουσία της γύψου.

C77: 21,56 – 21,81m (5cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίσθηκε ως γκρι άργιλος. Πολύ βασικό γνώρισμα του συγκεκριμένου ορίζοντα αποτελεί η συνεχείς εναλλαγή του αργιλικού υλικού με μικρού πάχους ξυλιτικούς ορίζοντες. Η εναλλαγή συμβαίνει ανά 2-4 cm δημιουργώντας μια συνεχή ακολουθία από διαδοχικές αλλαγές αργίλου και ξυλιτικών οριζόντων. Επιπλέον παρατηρήθηκε μικρό ποσοστό υπολειμμάτων φυτικού ιστού. Χαρακτηριστική είναι η απόθεση θείου επί της επιφάνειας των ξυλιτικών θραυσμάτων.

C78: 21,81 – 21,94m (13cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως σκούρος γκρι μαζώδης λιγνίτης. Ο συγκεκριμένος ορίζοντας εμφανίζει υψηλή συμμετοχή αργιλικού υλικού, το ποσοστό του οποίου όμως δεν είναι ικανό ώστε να τον κατατάξει στο λιθότυπο του αργιλούχου λιγνίτη (στο σχήμα 6.1.1 παρουσιάζεται ως αργιλούχος λιγνίτης προκειμένου να διαφοροποιηθεί από τον υπερκείμενο μαζώδη λιγνίτη, ο οποίος δεν παρουσιάζεται εμπλουτισμένος σε άργιλο). Το εν λόγω υλικό φέρει κατά u;eseiw τυπικά πλέγματα ζελατινοποιημένου οργανικού υλικού, διάσπαρτα ξυλιτικά θραύσματα και πολύ χαμηλό ποσοστό υπολειμμάτων φυτικού ιστού.

C79α: 21,94 – 22,10m (16cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Φέρει μικρού πάχους ξυλιτικούς οριζόντες μέσα στη μάζα του, ενώ παρατηρήθηκε και πλήθος από μικρού μεγέθους τυπικά γέλη.

C79β: 22,10 – 22,19m (9cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως σκούρος γκρι μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Σε αναλογία με τον υποκείμενο μαζώδη

λιγνίτη, ο συγκεκριμένος ορίζοντας χαρακτηρίζεται από την παρουσία μικρού πάχους ξυλιτικών οριζόντων μέσα στη μάζα του. Επίσης φέρει άργιλο, ίχνη θείου και γύψο.

C80: 22,19 – 22,34m (15cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοιχτός καστανός πλούσιος σε ανόργανα ξυλίτης (φακοειδής μορφή ξυλιτικής μάζας, Εικ. 6.1.15). Ο συγκεκριμένος ορίζοντας συνίσταται από αδρομερή θραύσματα κορμών και κλαδιών δημιουργώντας την εικόνα μάζας ξυλίτη στην οποία κυριαρχούν οι ιστοί. Ορυκτολογικά συμμετέχει άργιλος, γύψος και ανθρακικά ορυκτά.

Εικόνα 6.1.15: Τμήμα της μελετώμενης λιγνιτιφόρου ακολουθίας, στο οποίο διακρίνεται απόθεση ξυλιτικής μάζας φακοειδούς μορφής. Η συγκεκριμένη μορφή εμφάνισης του ξυλιτικού υλικού συνεισφέρει ακόμη περισσότερο στην αποτύπωση της έντονης και ποικιλόμορφης συμμετοχής του ξυλώδους υλικού στο λιγνιτοφόρο κοίτασμα της Αχλάδας.

C81: 22,34 – 22,41m (7cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει κατά θέσεις ζελατινοποιημένο οργανικό υλικό, πολύ χαμηλό ποσοστό διάσπαρτου φυτικού ιστού, άργιλο, υψηλό ποσοστό γύψου και διάσπαρτο θείο.

C82: 22,41 – 22,73m (28cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοικτός καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Ο συγκεκριμένος ορίζοντας χαρακτηρίζεται από την συνεχή εναλλαγή λιγνιτικού υλικού με λεπτές στρώσεις ξυλίτη και θραύσματα από κλαδιά και κορμούς δέντρων. Οι εναλλαγές συμβαίνουν ανά 3-5 εκατοστά, ενώ το υλικό των

εμφανιζόμενων ξυλιτικών οριζόντων συνιστά καστανή μάζα ξυλίτη με συμπαγή δομή στην οποία παρουσιάζεται περιορισμένος αριθμός από γέλη. Ορυκτολογικά παρατηρήθηκε αργιλικό υλικό και γύψος.

C83: 22,73 – 22,91m (18cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Φέρει ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό και διάσπαρτα ξυλιτικά θραύσματα. Ο συγκεκριμένος ορίζοντας διαφοροποιείται σε σχέση με τον υποκείμενο C82 καθώς δεν παρουσιάζει διακοπή από ξυλιτικούς ορίζοντες παρά μόνο μια στρώση πάχους 2cm στη βάση του (Σχ. 6.1.1). Προς το ανώτερο τμήμα μεταπίπτει σε χουμώδη άργιλο (2 cm) ενώ στα τελευταία 5 cm σε μαζώδη λιγνίτη με ευδιάκριτο φυτικό ιστό. Ορυκτολογικά χαρακτηρίζεται την από την εμφάνιση υψηλού ποσοστού γύψου και συγκριμάτων θείου.

C84: 22,91 – 23,07m (16cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει κατά τόπους ζελατινοποιημένο οργανικό υλικό, πολύ χαμηλό ποσοστό διάσπαρτου φυτικού ιστού (υπολείμματα από καλάμια), γύψο και ανθρακικά ορυκτά. Κατά τόπους μεταπίπτει σε αργιλούχο λιγνίτη.

C85α: 23,07 – 23,09m (2cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίσθηκε ως ανοικτή γκρι έως γκρι χουμώδης άργιλος. Φέρει ευδιάκριτα φυτικά υπολείμματα, ενώ κατά θέσεις μεταπίπτει σε αργιλούχο λιγνίτη με αποτέλεσμα να υπάρχει ισορροπία μεταξύ χουμώδους αργίλου και αργιλούχου λιγνίτη. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό συνιστά η εμφάνιση σβόλων αργίλου, εκεί που κυριαρχεί ο αργιλούχος λιγνίτης υποδηλώνοντας ενεργό περιβάλλον με κίνηση του μετώπου του νερού.

C85β: 23,09 – 23,14m (5cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ελασματοειδής λιγνίτης. Ο συγκεκριμένος ορίζοντας αποτελεί τη συνέχεια του υποκείμενου C85α και χαρακτηρίζεται από την κεραμοειδή διάταξη του υλικού που τον συνιστά, καθώς και από την παρουσία ελασμάτωσης (lamination). Εμφανίζει μικρού μεγέθους γέλη και είναι εμπλουτισμένος σε άργιλο. Η ελασμάτωση οφείλεται στο γεγονός, ότι ενώ η απόθεση του υποκείμενου ορίζοντα συνέβη σε περιβάλλον πλημμύρας, όταν αυτή εξασθένησε το υλικό

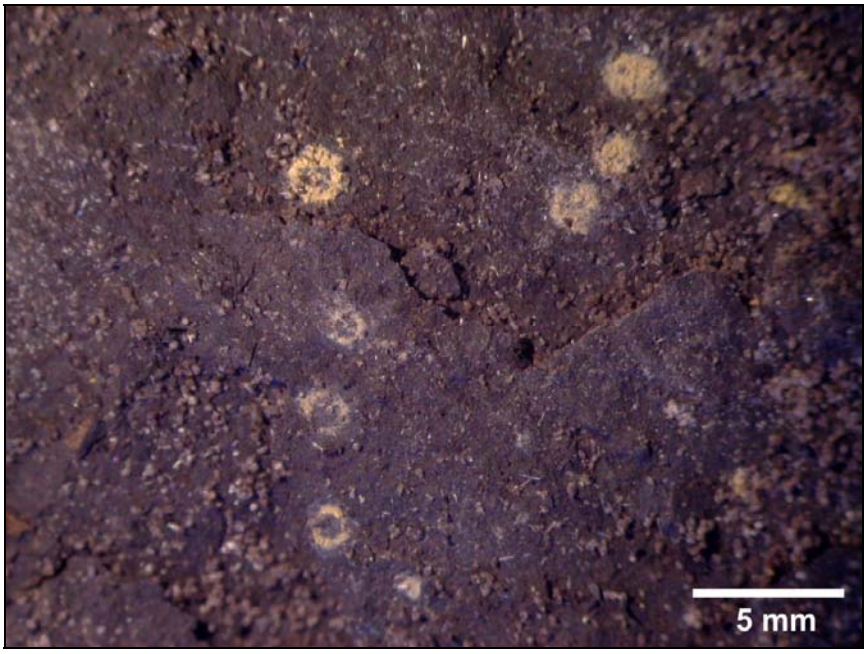
άρχισε να καθιζάνει δημιουργώντας ελασμάτωση και ενσωματώνοντας υψηλό ποσοστό αργίλου.

C86: 23,14 – 23,26m (12cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει γέλη, φύλλα και υπολείμματα αυτών, μπεζ χρώματος αργιλικό υλικό, γύψο και θείο.

C87: 23,26 – 23,37m (11cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει ζελατινοποιημένο οργανικό υλικό, αργιλικό υλικό, γύψο, μαρμαρυγία και θείο. Ας σημειωθεί, ότι η συγκέντρωση θείου (Εικ. 6.1.16) που αναγνωρίστηκε στο συγκεκριμένο ορίζοντα αποτελεί τη μεγαλύτερη συγκέντρωση θείου σε όλη τη λιγνιτοφόρο ακολουθία.



Εικόνα 6.1.16: Χαρακτηριστική συγκέντρωση θείου σε δείγμα μαζώδους λιγνίτη.

C88: 23,37 – 23,50m (13cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίσθηκε ως ανοικτή γκρι έως γκρι άργιλος. Διακρίθηκαν φυτικά υπολείμματα (κυρίως καλάμια και φύκη) και μαρμαρυγίας.

D1: 23,50 – 23,54m (4cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίσθηκε ως γκρι άργιλος.

Εμφανίζει όμοια χαρακτηριστικά με τον άμεσα υποκείμενο ορίζοντα C88 διαφοροποιούμενος μόνο ως προς το χρώμα.

D2α: 23,54 – 23,63m (9cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Κύριο γνώρισμα του συγκεκριμένου ορίζοντα αποτελεί η διάχυτη παρουσία φουσίτη και ενστρώσεων αυτού (πάχος από 5mm έως 1cm). Πολύ χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση γύψου, η οποία κατά θέσεις δημιουργεί έντονες συγκεντρώσεις.

D2β: 23,63 – 23,66m (3cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοιχτός καστανός έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Παρουσιάζει τυπικά γέλη (πολύ χαμηλό ποσοστό), αδρομερή θραύσματα από κορμούς και κλαδιά, γύψο (μικρή συμμετοχή) και άργιλο.

D3: 23,66 – 23,76m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Βασικό γνώρισμα του συγκεκριμένου ορίζοντα συνιστά η ύπαρξη τριών ξυλιτικών οριζόντων, το πάχος των οποίων είναι Ø <1cm (δεν λήφθηκε δείγμα λόγω πολύ μικρού πάχους και δυσκολίας στην απόσπαση δείγματος). Παρατηρήθηκαν γέλη, μικρός αριθμός από ξυλιτικά θραύσματα, άργιλος, γύψος και διάσπαρτοι κρύσταλλοι μαρμαρυγία.

D4: 23,76 – 23,85m (9cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Λόγω της παρουσίας πολύ καλά χουμοποιημένου υλικού ο συγκεκριμένος ορίζοντας δυνητικά προσεγγίζει την μορφή του μαζώδους λιγνίτη με αποτέλεσμα να θεωρείται ως μεταβατικό στάδιο μεταξύ μαζώδη και μεικτού ξυλιτικού/μαζώδη λιγνίτη. Παρουσιάζει ζελατινοποιημένο οργανικό υλικό, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό και άργιλο, ενώ πολύ χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση γύψου. Ανθρακικά ορυκτά αναγνωρίστηκαν σε μια μόνο θέση.

D5: 23,85 – 23,96m (11cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Σε σύγκριση με τον υποκείμενο ορίζοντα

(D4) δεν παρουσιάζει καλά χουμοποιημένο υλικό αλλά χαρακτηρίζεται από την παρουσία ενστρώσεων φουσίτη. Επίσης από τη βάση προς την κορυφή του συγκεκριμένου ορίζοντα εμφανίζονται τρείς ξυλιτικοί ορίζοντες με πάχος 0,3, 1,8 και 1,7 cm. Οι συγκεκριμένοι ξυλιτικοί ορίζοντες χαρακτηρίστηκαν ως καστανοί ξυλίτες με διακριτό ξυλώδη ιστό, έντονα στρωματωμένοι κατά θέσεις, ενώ ακόμη κατά θέσεις παρουσιάζουν ζελατινοποίηση και αποκτούν σκούρο γκρι έως μαυρωπό χρώμα. Παρατηρείται δηλαδή εναλλαγή χρώματος ανά μικρο-στρώση (ανοικτό καστανό, σκούρο καστανό, γκρι και μαυρωπό).

D6: 23,96 – 24,14m (18cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει ενσρώσεις φουσίτη και ενστρώσεις χουμοποιημένου υλικού με διακριτό φυτικό ιστό. Στο ανώτερο τμήμα του συγκεκριμένου ορίζοντα παρατηρήθηκε μεταβατική ζώνη όπου ο μαζώδης λιγνίτης μεταπίπτει σταδιακά σε αργιλούχο, φέροντας παράλληλα φακούς αργίλου σε κεραμοειδή διάταξη.

D7: 24,14 – 24,20m (6cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίσθηκε ως γκρι έως σκούρα γκρι άργιλος. Διακρίθηκαν υπολείμματα φυτικού ιστού (καλάμια και φύκη) και μαρμαρυγίας.

D8: 24,20 – 24,30m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Φέρει γέλη και ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό (υψηλότερα ποσοστά σε σχέση με άλλους αντίστοιχους ορίζοντες μαζώδους λιγνίτη), ενώ αναγνωρίστηκε και σπόρος από *Sambucus* sp.

D9: 24,30 – 24,37m (7cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει γέλη, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, θραύσματα από ξυλιτικό υλικό άργιλο και γύψο. Η μετάβαση από τον υποκείμενο μαζώδη λιγνίτη πραγματοποιείται με σταδιακή αύξηση στο ποσοστό συμμετοχής του φυτικού ιστού.

D10: 24,37 – 24,40m (3cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοιχτός καστανός στρωσιγενής ξυλίτης. Εμφανίζει αδρομερή θραύσματα από κορμούς και κλαδιά, μαρμαρυγία,

άργιλο και μικρό ποσοστό ανθρακικών ορυκτών (επιφανειακά).

D11: 24,40 – 24,51m (11cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, διάσπαρτα ξυλιτικά θραύσματα, άργιλο και ανθρακικά ορυκτά (σε πολύ περιορισμένο αριθμό θέσεων). Χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου ορίζοντα συνιστά η εμφάνιση ένστρωσης χουμώδους αργίλου (πάχους 2cm), εντός της μάζας του μαζώδους λιγνίτη, στην οποία εύκολα διακρίνονται καλάμια, φύκη και άλλα φυτικά υπολείμματα.

D12: 24,51 – 24,57m (6cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι έως μαυρωπός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει ζελατινοποιημένο οργανικό υλικό, φυτικό ιστό, ξυλιτικά θραύσματα (υψηλό ποσοστό) και αργιλικό υλικό. Χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση του μαρμαρυγία.

D13: 24,57 – 24,63m (6cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοιχτός καστανός ζελατινοειδής ξυλίτης. Εμφανίζεται έντονα στρωματωμένος, φέρει ζελατινοποιημένο οργανικό υλικό και διάσπαρτο φουσίτη. Επιπλέον, παρουσιάζει σημάδια από πίεση, η οποία είτε ασκήθηκε κατά τη διάρκεια της διαγένεσης είτε εφαρμόστηκε λόγω του βάρους των υπερκείμενων στρωμάτων. Κύριο ορυκτολογικό χαρακτηριστικό του εν λόγω ορίζοντα συνιστά η εμφάνιση διάσπαρτης χαλαζιακής άμμου και κόκκων χαλαζία σε ολόκληρη την επιφάνεια του δείγματος.

D14: 24,63 – 24,75m (12cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, φυτικό ιστό, μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα σπέρματα και καρπούς, αργιλικό υλικό και διάσπαρτη χαλαζιακή άμμο.

D15: 24,75 – 24,86m (11cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι μαζώδης λιγνίτης. Φέρει ζελατινοποιημένο οργανικό υλικό, χαμηλό ποσοστό φυτικού ιστού (κατά θέσεις γίνεται αρκετά υψηλό) και διάσπαρτα ξυλιτικά θραύσματα. Ξεχωριστό

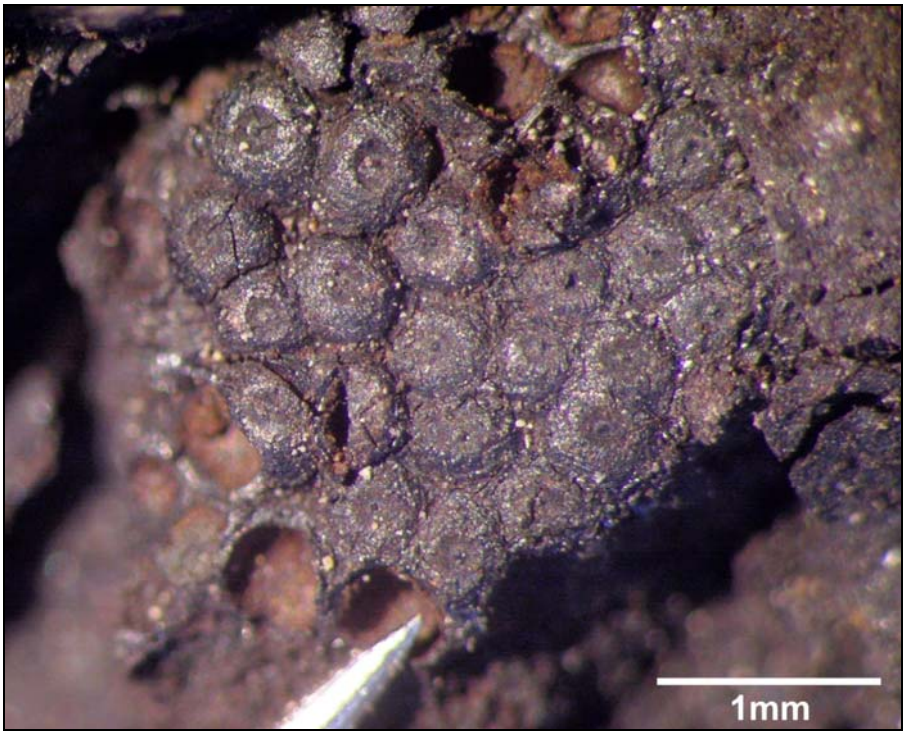
χαρακτηριστικό του εν λόγω ορίζοντα αποτελεί η παρουσία ένστρωσης φουσίτη, ο οποίος εμφανίζεται και διάσπαρτος τόσο στην επιφάνεια, όσο και εσωτερικά του δείγματος.

D16: 24,86 – 24,89m (3cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοιχτός καστανός έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Εμφανίζει αδρομερή ξυλιτικά θραύσματα από κορμούς και κλαδιά, ενώ παρουσιάζει μικρά ποσοστά διάσπαρτου φουσίτη. Ορυκτολογικά χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση αργίλου, μαρμαρυγία και γύψου, η οποία σε μια συγκεκριμένη θέση παρατηρήθηκε να δημιουργεί πολύ χαρακτηριστική συγκέντρωση (ακτίνες γύψου).

D17: 24,89 – 25,00m (11cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, φυτικό ιστό (πολύ χαμηλό ποσοστό), διάσπαρτα ξυλιτικά θραύσματα, σπέρματα και καρπούς (Εικ.6.1.17) και διάσπαρτη χαλαζιακή άμμο.



Εικόνα 6.1.17: Καλοσχηματισμένο σπέρμα σε δείγμα μαζώδους λιγνίτη, ο οποίος φέρει διάσπαρτα ξυλιτικά θραύσματα και μικρό ποσοστό φυτικού ιστού.

D18: 25,00 – 25,06m (6cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Διακρίθηκαν διάσπαρτες ξυλιτικές ενστρώσεις πάχους ~2mm και μικρός αριθμός διάσπαρτων κόκκων χαλαζία.

D19: 25,06 – 25,18m (12cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, φυτικό ιστό (κατά θέσεις), μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα, αργιλικό υλικό, μαρμαρυγία και ανθρακικά ορυκτά.

D20: 25,18 – 25,23m (5cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοιχτός καστανός έως κίτρινος έντονα στρωματωμένος ξυλίτης. Φέρει ευδιάκριτες στρώσεις εντός της μάζας του (αιτία κατάταξης), καθώς και ενστρώσεις φουσίτη. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εμφάνιση χαλαζιακής άμμου μέσα στις επιφάνειες θραύσης και τις διακλάσεις του ξυλιτικού υλικού.

D21: 25,23 – 25,29m (6cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοικτή γκρι χουμώδης άργιλος. Διακρίθηκαν διάσπαρτα φυτικά υπολείμματα (καλάμια και φύκη) αναμεμειγμένα με φουσίτη. Επίσης, παρατηρήθηκαν φακοί αργίλου διατεταγμένοι σε σειρά και ενδιάμεσα αργιλούχος λιγνίτης, ενώ στα ανώτερα 2cm του συγκεκριμένου ορίζοντα η χουμώδης άργιλος μεταπίπτει σε αργιλούχος λιγνίτης, στο εσωτερικό του οποίου παρατηρήθηκαν ενστρώσεις φουσίτη. Ορυκτολογικά χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση διάσπαρτης χαλαζιακής άμμου, μαρμαρυγία και ανθρακικών ορυκτών.

D22α: 25,29 – 25,32m (3cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, φυτικό ιστό, μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα, αργιλικό υλικό, γύψο, μαρμαρυγία και ανθρακικά ορυκτά.

D22β: 25,32 – 25,34m (2cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοιχτή καστανή μάζα ξυλίτη όπου κυριαρχούν οι ιστοί. Ο συγκεκριμένος ορίζοντας συνίσταται από αδρομερή θραύσματα κορμών και κλαδιών δημιουργώντας μάζα ξυλίτη με ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό. Συμμετέχουν άργιλος και γύψος.

D23: 25,34 – 25,55m (21cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε σκούρος καστανός

μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει ζελατινοποιημένο οργανικό υλικό καθώς και μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα από κορμούς και κλαδιά, τα οποία φέρουν συγκεντρικές αποθέσεις θείου πάνω στην επιφάνεια τους. Επίσης, εμφανίζει χαμηλό ποσοστό γύψου, η οποία κατά θέσεις σχηματίζει υψηλές συγκεντρώσεις.

D24: 25,55 – 25,59m (4cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Ιδιαίτερο γνώρισμα αποτελεί η ύπαρξη ξυλιτικού ορίζοντα, το πάχος του οποίου δεν ξεπερνά τα 9 mm, στο ανώτερο τμήμα της στρώσης. Ο συγκεκριμένος ξυλίτης χαρακτηρίζεται καστανός έως μαυρωπός ζελατινοειδής ξυλίτης αφού φέρει υψηλό ποσοστό από γέλη.

D25: 25,59 – 25,65m (6cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Η διαφοροποίηση σε σχέση με το υποκείμενο στρώμα λιγνίτη οφείλεται στο ότι ο συγκεκριμένος ορίζοντας παρουσιάζει ενστρώσεις φουσίτη, καθώς και διάσπαρτη χαλαζιακή άμμο.

D26: 25,65 – 25,67m (2cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος καστανός μαζώδης λιγνίτης. Φέρει ζελατινοποιημένο οργανικό υλικό και πολύ χαμηλό ποσοστό διάσπαρτου φυτικού ιστού. Χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση πάρα πολύ μικρών θταυσμάτων διάσπαρτου φουσίτη, ο οποίος σε καμία θέση δεν παρατηρήθηκε να δημιουργεί ενστρώσεις.

D27: 25,67 – 25,71m (4cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός στρωσιγενής ξυλίτης. Το συγκεκριμένο υλικό φέρει πολύ μικρά θραύσματα φουσίτη, ενώ ορυκτολογικά χαρακτηρίζεται από ενστρώσεις αργίλου, σπασμένους κρυστάλλους μαρμαρυγία και μικρού μεγέθους κρυστάλλους χαλαζία.

D28α: 25,71 – 25,76m (5cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Εμφανίζει γέλη και μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα, ενώ πολύ

χαρακτηριστική είναι η παρουσία διάσπαρτου (ή και σε συγκεντρώσεις) φουσίτη.

D28β: 25,76 – 25,78m (2cm).

Ανόργανης προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ανοικτή γκρι χουμώδης άργιλος. Διακρίθηκαν διάσπαρτα φυτικά υπολείμματα από καλάμια και φύκη, ενώ στο κατώτερο τμήμα του ορίζοντα αυτού εμφανίζεται μια μεταβατική ζώνη από αργιλούχο λιγνίτη πάχους ~5-6 mm, η οποία βρίσκεται ανάμεσα στο μαζώδης λιγνίτη (D28α) και τη χουμώδη άργιλο (D28β).

D29: 25,78 – 25,87m (9cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως καστανός έως σκούρος καστανός μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης. Παρουσιάζει γέλη, ανοιχτόχρωμο φυτικό ιστό, μεμονωμένα ξυλιτικά θραύσματα, άργιλο, μαρμαρυγία και ανθρακικά ορυκτά.

D30: 25,87 – 25,97m (10cm).

Οργανικής προέλευσης ορίζοντας, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως σκούρος γκρι έως μαυρωπός μαζώδης λιγνίτης. Φέρει ζελατινοποιημένο οργανικό υλικό, ενώ είναι εμφανής η ύπαρξη φουσίτη τόσο με τη μορφή ενστρώσεων, όσο και διάσπαρτου. Ορυκτολογικά παρατηρήθηκε αργιλικό υλικό, μαρμαρυγίας και μεμονωμένοι κόκκοι χαλαζία.

Τόσο οι φυσικές ιδιότητες των οργανικών και ανόργανων οριζόντων, που διακρίνονται στη στρωματογραφική στήλη του Σχήματος 6.1.1, όσο και όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά αυτών, περιγράφονται συνοπτικά στον Πίνακα 1 του Παραρτήματος Ι.

6.2 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΜΕΣΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Τα αποτελέσματα της προσεγγιστικής ανάλυσης παρατίθενται επί ξηρού στο Παράρτημα Ι, πίνακας 3. Η υγροσκοπική υγρασία κυμαίνεται από 0,92% έως 21,93% με μέση τιμή 11,42%, ενώ η τέφρα επί ξηρού από 0,77% (ξυλιτικός λιθότυπος λιγνίτη) έως 72,73% (χουμώδης άργιλος) με μέση τιμή 29,49%. Οι σχετικά χαμηλές τιμές φυσικής υγρασίας επί ξηρού, που παρατηρούνται στα εξεταζόμενα δείγματα μπορούν πιθανά να εξηγηθούν τόσο από την υψηλή συμμετοχή του ξυλιτικού λιθότυπου, όσο και από τη συμμετοχή ξυλιτικών θραυσμάτων μέσα στη μάζα των υπολοίπων μικρολιθοτύπων.

Τα αποτελέσματα της άμεσης ανάλυσης 27 συνολικά δειγμάτων από τον λιγνίτη που μελετήθηκε, όπως επίσης και οι ατομικοί λόγοι O/C και H/C παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίν. 6.2.1).

Πίνακας 6.2.1: Περιεκτικότητα σε κύρια στοιχεία ($C_{ολ}$, $H_{ολ}$, $N_{ολ}$, $S_{ολ}$, $O_{ολ}$) που περιέχονται στα αεροξηραθνέντα λιγνιτικά δείγματα της Αχλάδας.
*: Χουμώδες υλικό και όχι λιγνίτης.
– : Έλλειψη δεδομένων.

A/A	C%	H%	N%	S%	O%	Τέφρα$_{αερ.}$	Υγρασία$_{105}$	O/C	H/C
A1	39,85	4,30	0,97	2,97	13,24	26,29	12,38	0,25	1,30
A4	17,35	2,66	0,43	2,41	22,65	45,50	9,00	0,98	1,84
A10	38,67	4,08	0,70	5,66	22,70	15,96	12,24	0,44	1,27
A14	15,67	3,12	0,38	2,90	23,84	45,91	8,18	1,14	2,39
A18	10,56	2,23	0,21	2,20	15,64	67,16*	2,00	1,11	2,54
A24	12,26	2,27	0,34	–	12,22	64,51*	8,41	0,75	2,22
A29	40,86	4,27	1,06	3,32	17,39	20,11	13,00	0,32	1,25
B3/B4	39,41	4,70	0,78	4,04	8,40	32,76	9,90	0,16	1,43
B9	59,84	7,44	0,36	4,25	18,24	6,93	2,94	0,23	1,49
B15	40,62	4,46	0,67	6,19	8,23	29,64	10,19	0,15	1,32
C2	27,74	3,74	0,73	5,74	30,56	25,68	5,83	0,83	1,62
C9	8,47	1,71	0,22	0,18	14,61	67,19*	7,62	1,29	2,43
C11	39,57	5,11	0,82	4,06	10,92	25,92	13,59	0,21	1,55
C19	39,94	4,69	0,95	4,13	22,82	8,06	19,42	0,43	1,41
C24	54,30	7,42	0,63	4,04	16,02	1,40	16,19	0,22	1,64
C32	20,44	3,07	0,61	4,30	21,50	41,60	8,49	0,79	1,80
C42	46,91	4,77	0,42	3,55	25,78	9,05	9,52	0,41	1,22
C56	40,69	5,02	0,83	8,58	19,14	14,85	10,89	0,35	1,48
C59	57,49	6,06	0,24	3,68	26,05	3,90	2,59	0,34	1,26
C66	58,68	7,18	0,33	4,22	19,07	2,48	8,04	0,24	1,47
C76	58,64	7,78	0,25	3,67	18,76	2,03	8,87	0,24	1,59
C80	52,97	5,73	0,37	3,22	27,55	4,36	5,80	0,39	1,30
C83	31,74	4,48	0,72	5,50	25,47	26,69	5,41	0,60	1,69
C87	38,11	4,41	0,59	2,59	17,67	28,22	8,41	0,35	1,39
D6	17,68	3,10	0,34	3,67	9,88	52,00*	13,33	0,42	2,10
D19	39,97	4,02	0,76	3,68	24,58	15,98	11,00	0,46	1,21
D23	23,07	3,89	0,63	5,64	18,08	36,69	12,00	0,59	2,02

Η άμεση ανάλυση, γνωστή από τη διεθνή βιβλιογραφία ως "Ultimate analysis" περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των κύριων συστατικών των χημικών

ενώσεων του οργανικού μέρους των γαιανθράκων. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα, προσδιορίζεται το ποσοστό συμμετοχής των λιγνιτικών δειγμάτων σε άνθρακα ($C_{ολ,}$), υδρογόνο ($H_{ολ,}$), άζωτο ($N_{ολ,}$), θείο ($S_{ολ,}$) και οξυγόνο ($O_{ολ}$).

Ο άνθρακας, το οξυγόνο και το υδρογόνο συνιστούν τα κύρια στοιχεία των οργανικών ενώσεων που συμμετέχουν στο σχηματισμό των ορυκτών ανθράκων. Με την άμεση ανάλυση προσδιορίζεται το στοιχείο του άνθρακα, τόσο της οργανικής ύλης, όσο και του άνθρακα των ανθρακικών ορυκτών. Το ίδιο ισχύει και για το υδρογόνο, το οποίο προέρχεται τόσο από τις μεγαλομοριακές οργανικές ενώσεις του λιγνίτη, όσο και από τα αργιλικά ορυκτά και την υγροσκοπική υγρασία που περιέχει το δείγμα. Οι περιεκτικότητες των δύο παραπάνω στοιχείων, μαζί με αυτή του οξυγόνου, χρησιμοποιούνται ως δείκτες ενανθράκωσης και ως παράμετροι για την ταξινόμηση των γαιανθράκων. Στα δείγματα που εξετάστηκαν η περιεκτικότητα του στοιχειακού άνθρακα κυμαίνεται από 8,5% έως 59,8% με μέση τιμή 36,0%, ενώ αντίστοιχα του υδρογόνου από 1,7% έως 7,8% με μέση τιμή 4,5% (Πίν 6.2.1).

Το οξυγόνο παρατηρείται κύρια στην ομάδα των καρβοξυλίων (COOH), στις κετόνες (C=O), στα υδροξύλια (OH) (φαινολικά και αλκοολικά), καθώς και στις μεθοξυλομάδες. Η περιεκτοκότητα των δραστικών αυτών ομάδων ποικίλλει ανάλογα με το βαθμό ωριμότητας των ορυκτών ανθράκων (Killops and Killops, 1993). Επιπλέον μέρος του οξυγόνου οφείλεται στα αργιλικά και θειικά ορυκτά, που εμφανίζονται εντός της μάζας του λιγνίτη. Σε ιδιαίτερες περιπτώσεις (οξειδωμένοι γαιάνθρακες) το οξυγόνο συμμετέχει και με τη μορφή οξειδωμένων οργανικών ενώσεων και οξειδίων του σιδήρου. Η περιεκτικότητα του στοιχειακού οξυγόνου κυμαίνεται από 1,88% έως 29,0% με μέση τιμή 16,3% (Πίν 6.2.1).

Το άζωτο των ορυκτών ανθράκων σχετίζεται κατά κύριο λόγο με τη δραστική ομάδα – NH_2 (αμινομάδα), η οποία μπορεί να αντιδράσει με την καρβοξυλική ομάδα (-COOH), παράγοντας έτσι το μηχανισμό με τον οποίο τα φυτά ενώνουν μακριές αλυσίδες από αμινοξέα, προκειμένου να δημιουργήσουν πρωτεΐνες (διαδικασία σχηματισμού του πεπτιδικού δεσμού). Κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης το άζωτο των αμινοξέων εμφανίζεται ως N_2 ή ως NH_3 (Killops and Killops, 1993). Η περιεκτικότητα του στοιχειακού αζώτου κυμαίνεται από 0,2% έως 1,1% με μέση τιμή 0,6% (Πίν. 6.2.1).

Τέλος, η ποσοστιαία συμμετοχή θείου στους γαιάνθρακες αποτελεί μία παρά πολύ σημαντική παράμετρο για τον προσδιορισμό των συνθηκών σχηματισμού τους. Σύμφωνα με τον Ward (1984) το θείο απαντάται στους ορυκτούς άνθρακες κυρίως με τις δύο παρακάτω μορφές:

α) Οργανικό θείο, ενσωματωμένο στις οργανικές ενώσεις (θειόλες και αρωματικούς δακτυλίους).

β) Ανόργανο θείο, μέσα σε θειούχα και θειικά ορυκτά, όπως είναι ο σιδηροπυρίτης και τα ένυδρα θειικά άλατα αντίστοιχα.

Ο Casagrande (1987) σημείωσε ότι, η περιεκτικότητα του θείου στους γαιάνθρακες εξαρτάται από την οξύτητα του τυρφώνα και από την περιεκτικότητα σε θειικά ιόντα των νερών που εισρέουν σε αυτόν. Επίσης οι υψηλές τιμές θείου αποτελούν ένδειξη για την επικράτηση αλκαλικού pH ή θαλάσσιας επίδρασης κατά τη διάρκεια σχηματισμού των γαιανθράκων (Stach et al., 1982, Taylor et al., 1998, Liu et al., 2001). Το γεγονός όμως ότι το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας βρίσκεται μέσα σε ενδοηπειρωτική λεκάνη ιζηματογένεσης (λεκάνη Φλώρινας), αποκλείει την πιθανότητα θαλάσσιας επίδρασης. Επίσης στα δείγματα λιγνίτη που εξετάστηκαν, παρά το γεγονός ότι αυτά παρουσιάζουν υψηλές τιμές θείου, τα γενικά ιζηματολογικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος αποκλείουν την περίπτωση της θαλάσσιας επίδρασης, μιας και αυτά οδηγούν περισσότερο στην ύπαρξη μαιανδρικού ποτάμιου συστήματος με δημιουργία πεδίων πλημμύρας (Oikonomopoulos et al., 2008). Επιπλέον η συχνή εμφάνιση βοτρυοειδή σιδηροπυρίτη (Κεφ. 6.3), ο οποίος δεν σχηματίζεται σε συνθήκες χαμηλού pH συνιστά μία επιπλέον ένδειξη για την επικράτηση σχετικά αλκαλικών συνθηκών κατά τη διάρκεια της λιγνιτογένεσης. Η περιεκτικότητα του στοιχειακού θείου στα εξεταζόμενα δείγματα κυμαίνεται από 0,2% έως 8,6% με μέση τιμή 3,9% (Πίν. 6.2.1) και σύμφωνα με τους Chou (1990) και Liu et al. (2001) χαρακτηρίζονται ότι ανήκουν στον "μέσης έως υψηλής περιεκτικότητας σε θείο λιγνίτη".

Οι αυξημένες τιμές θείου πιθανά να σχετίζονται και με περιόδους ξηρών κλιματικών συνθηκών με συνέπεια την οξείδωση της ήδη συσσωρευμένης τύρφης σε διάφορα σημεία του τυρφώνα, τα οποία ήταν εκτεθειμένα στις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η οξείδωση του περιεχόμενου σιδηροπυρίτη παρείχε το απαραίτητο θείο (με τη μορφή $SO_4^{=}$), το οποίο σε περιόδους πλημμύρας μεταφερόταν σε διάφορα σημεία του τυρφώνα. Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική στους τυρφώνες και εξηγεί σε πολλές περιπτώσεις εμπλουτισμούς θείου σε κοιτάσματα γαιανθράκων (Καλαϊτζίδης, 2007). Κατά τα μεσοδιαστήματα των παραπάνω πλημμυρικών επεισοδίων ο τυρφώνας ξηραινόταν και επικρατούσαν ξανά αερόβιες οξειδωτικές συνθήκες, που ευνοούσαν την απόθεση γύψου.

Εκτός όμως από την παραπάνω ενδογενή διεργασία που πιθανά συνέβαινε στον παλαιοτυρφώνα, οι αυξημένες τιμές θείου θα πρέπει να οφείλονται και στην εξωγενή εισροή ιόντων θείου λόγω απόπλυσης των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της γύρω περιοχής κατά τη διάρκεια πλημμυρικών επεισοδίων.

6.2.1 Συσχετισμός ατομικών λόγων H/C και O/C

Η έκταση των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της τυρφοποίησης και της ενανθράκωσης μπορεί να εξετασθεί χρησιμοποιώντας το διάγραμμα van Krevelen (van Krevelen, 1993), το οποίο παριστάνει τη σχέση μεταξύ των ατομικών λόγων H/C και O/C (Σχ. 6.2.1α). Οι ίδιες προβολές είναι δυνατόν να διαφέρουν μεταξύ των ομάδων macerals, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.2.1β. Από τα αποτελέσματα της άμεσης ανάλυσης σε 27 συνολικά δείγματα από όλους τους διαφορετικούς μικρολιθότυπους (Πίν. 6.2.1) υπολογίστηκαν οι παραπάνω ατομικοί λόγοι και προβλήθηκαν στα διαγράμματα του Σχήματος 6.2.1.

Η απώλεια των περιεχόμενων δραστικών ομάδων με οξυγόνο κατά τη διάρκεια της διαγένεσης αντικατοπτρίζεται στη μείωση του λόγου O/C των κύριων macerals της ομάδας του χουμινίτη, του ινερτινίτη και των πρόδρομων αγγειακών φυτών τους (Σχ. 6.2.1β). Αυτή η απώλεια οξυγόνου παραλληλίζεται με την απώλεια υδρογόνου στους πλούσιους σε λιπίδια ιστούς και στα macerals (λειπτινίτη) το οποία περιέχουν χαμηλές αρχικές ποσότητες οξυγόνου, αλλά σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις υδρογόνου σχήμα (Σχ. 6.2.1β). Για την κύρια ακολουθία σχηματισμού των χουμικών ορ. ανθράκων το τέλος της διαγένεσης αντιστοιχεί σε ατομική αναλογία O/C ίση προς 0,1 (Σχ. 6.2.1α,β.). Σε αυτό ακριβώς το σημείο οι ατομικές αναλογίες διαφορετικών ομάδων macerals αρχίζουν να γίνονται ίδιες.

Από το Σχήμα 6.2.1α διαπιστώνεται ότι τα περισσότερα δείγματα προβάλλονται κοντά στα πεδία που αντιπροσωπεύουν την ωριμότητα του λιγνίτη και της τύρφης. Ωστόσο αρκετά δείγματα παρουσιάζουν αυξημένες τιμές υδρογόνου, γεγονός το οποίο πιθανά να οφείλεται στην εμφάνιση οργανικών ενώσεων πλούσιων στο στοιχείο αυτό (H). Όπως διαπιστώθηκε από την ανθρακοπετρογραφική ανάλυση (Κεφ 6.3) ο συγκεκριμένος λιγνίτης εμφανίζει αυξημένα ποσοστά λειπτινιτη, οι οποίοι είναι εμπλουτισμένοι σε υδρογόνο, δεδομένου ότι αυτοί προέρχονται από υλικά, που αποτελούνται από αλειφατικές αλυσίδες και είναι πλούσια σε λιπίδια (Killops and Killops, 1993). Τα τελευταία συνιστούν ενώσεις πλούσιες σε υδρογόνο.

Όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο 6.3, ένα χαρακτηριστικό του χουμινίτη της λιγνιτοφορίας που εξετάζεται, είναι ότι η μεγαλύτερη συμμετοχή του ουλμινίτη Α παρατηρείται στα κατώτερα 10 m της λιγνιτοφορίας, ενώ από το σημείο αυτό και προς την κορυφή επικρατεί ο ουλμινίτης Β (με σποραδικές εξαιρέσεις). Παρά το γεγονός ότι ο ουλμινίτης Β παρουσιάζει ασθενέστερη ένταση φθορισμού σε σχέση με τον ουλμινίτη Α (Sykorova et al., 2005), εντούτοις και οι δύο παραπάνω τύποι macerals έχουν την ιδιότητα

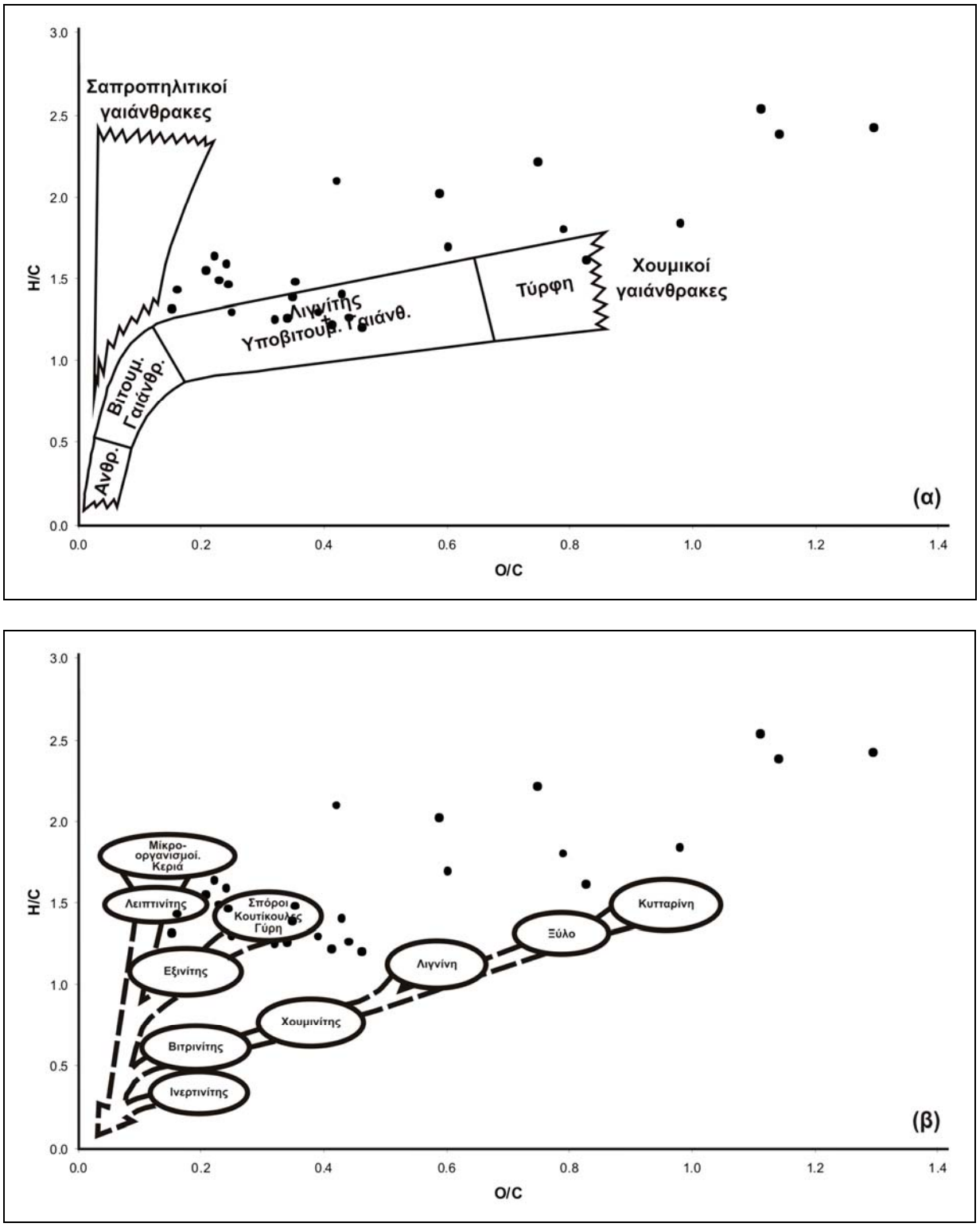
να φθορίζουν, γεγονός το οποίο αποδίδεται στον εμποτισμό του με ουσίες πλούσιες σε λιπίδια (Querol et al., 1996). Φαινόμενα φθορισμού του χουμινίτη έχουν περιγραφεί και από τους Hagemann et al. (1989), Prange (1989) και Pickel and Gotz (1991).

Από τον Πίνακα 4 του Παραρτήματος Ι διαπιστώνεται, ότι ο κουτινίτης (maceral της ομάδας του λειπτινίτη) εμφανίζει σχετικά υψηλά ποσοστά συμμετοχής σε όλα σχεδόν τα δείγματα. Η κύρια χημική οργανική ένωση, από την οποία συνίσταται το συγκεκριμένο maceral είναι η κουτίνη, ένα πολυμερές των ύδροξυ (συνήθως δι-ύδροξυ) λιπαρών οξέων, που σχηματίζει ένα κάλυμμα στην εξωτερική επιφάνεια του εκτεθειμένου φυτικού ιστού, συνήθως φύλλων. Οι μονάδες, από τις οποίες συντίθενται η κουτίνη, περιέχουν ένα μεγάλο αριθμό ατόμων άνθρακα στη σειρά από C_{16} έως C_{26}, με C_{16} και C_{18} να κυριαρχούν, (Holloway, 1982). Επιπλέον η πολυεστερική κουτίνη, που εμφανίζεται στις νεκρές φυτικές επιδερμίδες, περιέχει αλειφατικά πολυμερή, τα οποία στερούνται αλυσίδων εστέρων και σχηματίζονται κυρίως από αλυσίδες μονάδων αιθανίου (CH_2). Αυτό το πολυμεθυλενικό υλικό παρουσιάζεται συνδεδεμένο με ένα πολυσακχαρίδιο και έχει οριστεί ως κουτάνη (Killops and Killops, 1993).

Ένας ακόμη παράγοντας, ο οποίος συμβάλλει πιθανά στην αυξημένη συγκέντρωση υδρογόνου, είναι το περιεχόμενο ποσοστό αυτού στα ανόργανα συστατικά (κυρίως αργιλικά ορυκτά), που συνυπάρχουν στη λιγνιτική μάζα. Από τα αποτελέσματα της ποσοστιαίας συμμετοχής της τέφρας "επί ξηρού" (Πάρ. Ι, Πίν. 3) φαίνεται, ότι τα ανόργανα συστατικά συμμετέχουν με υψηλά ποσοστά στη μάζα της οργανικής ύλης, ενώ από την εξέταση του στερεού υπολείμματος με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD) και φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR) (Κεφ. 6.5), διαπιστώθηκε η σημαντική συμμετοχή των αργιλικών ορυκτών.

Τέλος οι ιδιαίτερα αυξημένες τιμές των ατομικών λόγων H/C και O/C (Σχ. 6.2.1), που παρατηρούνται σε επτά δείγματα, αποδίδονται στην αρκετά χαμηλή ποσοστιαία συμμετοχή των δειγμάτων αυτών σε άνθρακα (Πίν. 6.2.1). Η παραπάνω μειωμένη περιεκτικότητα που εμφανίζει το στοιχείο αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί με βάση το αρκετά υψηλό ποσοστό τέφρας (>50 %) που παρατηρήθηκε για τα συγκεκριμένα δείγματα (Παρ. Ι, Πίν. 3). Επιπλέον από τη μακροσκοπική περιγραφή (Κεφ. 6.1) φαίνεται ότι οι συγκεκριμένοι ορίζοντες, είτε έχουν χαρακτηριστεί ως αργιλούχος λιγνίτης είτε περιέχουν εντός της μάζας τους σημαντικό ποσοστό αργιλικού υλικού με ποικιλία μορφών.

Ας σημειωθεί, ότι από τον Πίνακα 6.2.1 δεν παρατηρείται συγκεκριμένη φορά μείωσης ή αύξησης του ποσοστού συμμετοχής του οξυγόνου με το βάθος, γεγονός το οποίο αντανακλά τη μεταβολή των συνθηκών κατά τη διάρκεια σχηματισμού του συγκεκριμένου



Σχήμα 6.2.1: (α) Διάγραμμα van Krevelen που παρουσιάζει κύριες εξελικτικές τάσεις των σαπροπηλικών και χουμικών ανθράκων. Τέσσερα στάδια δείχνονται για τους χουμικούς άνθρακες, σύμφωνα με την αύξηση της ωριμότητας: τύρφη, λιγνίτης και υποβιτουμενιούχοςάνθρακας, βιτουμενιούχος άνθρακας και ανθρακίτης, (β) Διάγραμμα van Krevelen που παρουσιάζει τη θέση των κύριων macerals των ορυκτών ανθράκων και τις διαγενετικά, εξελισσόμενες σχέσεις αυτών με τα συστατικά των διαφόρων ενώσεων των ζώντων οργανισμών.

κοιτάσματος.

Όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο 6.3, η μεταβολή του ρυθμού βύθισης του τυρφογενετικού στρώματος και ο χρόνος παραμονής του αρχικού φυτικού υλικού μέσα στο στρώμα αυτό, σχετίζονται άμεσα με το βαθμό χουμοποίησης του τυρφογενετικού υλικού.

Με βάση τα προαναφερθέντα στοιχεία ίσως μπορεί να εξηγηθούν οι σχετικά υψηλές τιμές υδρογόνου του λιγνίτη που μελετήθηκε, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την κατάταξη τους ακόμη και στην κατηγορία της τύρφης.

6.3 ΑΝΘΡΑΚΟΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

6.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά των macerals

Η ανθρακοπετρογραφική ανάλυση έχει ως αντικείμενο την αναγνώριση και τον προσδιορισμό των μικροσκοπικών δομικών συστατικών του γαιάνθρακα. Τα μεμονωμένα συστατικά των ορυκτών ανθράκων, τα πετρολογικά τους χαρακτηριστικά δηλαδή, είναι γνωστά με τον όρο "οργανικά δομικά συστατικά" (Ο.Δ.Σ) και αποτελούνται κυρίως από φυτικά υπολείμματα, τα οποία προέρχονται από διάφορα μέρη των φυτών, που υπέστησαν πλήθος φυσικών και χημικών διεργασιών κατά την $1^{η}$ φάση της ενανθράκωσης. Μπορούν να παρατηρηθούν στο μικροσκόπιο με προσπίπτον (ανακλώμενο) φως και αναγνωρίζονται με βάση τις διαφορετικές τους οπτικές ιδιότητες (Teichmüller, 1989, Diessel, 1992, Taylor et al., 1998, Sýkorová et al., 2005).

Το μικρότερο δομικό συστατικό, οργανικής προέλευσης, των ορυκτών ανθράκων στη διεθνή βιβλιογραφία ορίζεται ως "maceral" [Ετυμολογία: (lat.) (διαλύω, μαλακώνω, τρίβω)], όρος που προτάθηκε το 1935 από την M. STOPES. Η μελέτη των "macerals" αποτελεί τη βάση μιας συστηματικής έρευνας, κατά την οποία τα συστατικά των οργανικών ιζηματογενών πετρωμάτων αναλύονται και ταξινομούνται με παρόμοιο τρόπο, όπως και τα ορυκτά των ανόργανων πετρωμάτων. Έτσι μπορούν τα οργανικά δομικά συστατικά να θεωρηθούν ανάλογα των ορυκτών των πετρωμάτων και μεταλλευμάτων.

Το είδος και τα ποσοστά συμμετοχής του κάθε δομικού συστατικού επηρεάζουν άμεσα τις φυσικές, χημικές και τεχνολογικές ιδιότητες των γαιανθράκων δεδομένης φάσης ωρίμανσης, ενώ παράλληλα πολύ σημαντική είναι η συμβολή τους στην παροχή πληροφοριών αναφορικά με το παλαιοπεριβάλλον σχηματισμού των γαιανθράκων, και συγκεκριμένα την τυρφογενετική βλάστηση, τις κλιματικές συνθήκες, τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, την ένταση της βακτηριδιακής δράσης, το pH, την τροφοδοσία με θρεπτικά συστατικά κ.ά (Stach et al., 1982, Harvey and Dillon, 1985, Bustin et al., 1989, Teichmüller, 1989, Calder et al., 1991, Kalkreuth et al., 1991a, Diessel, 1992, Marcik and Sachsenhofer, 1997, Taylor et al., 1998)

Μέρος της ανθρακοπετρογραφικής ανάλυσης αποτελεί και ο προσδιορισμός των ορυκτών, που είναι ορατά στο ανθρακοπετρογραφικό μικροσκόπιο και τα οποία βρίσκονται είτε απομονωμένα από την οργανική ύλη είτε ενσωματωμένα μέσα σε αυτή. Επιπλέον τα maceral μπορεί να περιέχουν και μικροσκοπικά μη ορατά ανόργανα συστατικά, που προϋπήρχαν στην αρχική φυτική ύλη ή που σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια της τυρφογένεσης (Taylor et al., 1998).

6.3.2 Ταξινόμηση των maceral

Η διάκριση των maceral έγινε με βάση το σύστημα Stopes/Heerlen (ICCP,1963, ICCP, 1971, ICCP 1975), και την πρόσφατη τροποποίησή του (ICCP, 2001, Sýkorová et al., 2005) και περιλαμβάνει τις ομάδες των χουμινίτη, ινερτινίτη και λειπτινίτη (Πίν 6.3.1).

Πίνακας 6.3.1 Ταξινόμηση maceral σύμφωνα με το σύστημα Stopes/Heerlen (ICCP, 1963, 1971, 1975, 2001, Sýkorová et al., 2005).

Ομάδα Maceral	Υποομάδα Maceral	Maceral	Τύπος Maceral
Χουμινίτης	Τελοχουμινίτης	Τεξτινίτης	Τεξτινίτης Α
			Τεξτινίτης Β
		Ουλμινίτης	Ουλμινίτης Α
			Ουλμινίτης Β
	Δετροχουμινίτης	Αττρινίτης	
		Ντενζινίτης	
	Γελοχουμινίτης	Γελινίτης	Πορυγελινίτης
			Λεβυγελινίτης
		Κορποχουμινίτης	
Λειπτινίτης	`	Σπορινίτης	
		Κουτινίτης	
		Ρεζινίτης	
		Σουμπερινίτης	
		Αλγινίτης	
		Λειπτοδετρινίτης	
Ινερτινίτης		Φουσινίτης	
		Ημι-φουσινίτης	
		Μακρινίτης	
		Φουγκινίτης	
		Ινερτοδετρινίτης	

6.3.2.1 Η ομάδα του χουμινίτη

Με τον όρο *"χουμινίτης"* χαρακτηρίζεται η ομάδα των οργανικών δομικών συστατικών (macerals), που προήλθαν από τα βασικά υπολείμματα φυτών, τα οποία είναι σχετικά ομοιογενή και με την ενανθράκωση σχηματίζουν χουμώδεις ορυκτούς άνθρακες με θεμελιώδη μάζα. Τέτοιες φυτικές ύλες είναι το ξύλο (από κλαδιά και κορμούς δέντρων) και οι ρίζες. Τα υπολείμματα αυτά συνίστανται κυρίως από κυτταρίνη και λιγνίνη και σε μικρότερο ποσοστό από ταννίνη (Taylor et al., 1998). Άλλες οργανικές ενώσεις, οι οποίες συμμετέχουν στο σχηματισμό των maceral της ομάδας του χουμινίτη είναι τα λιπίδια και οι πρωτεΐνες (Teichmüller, 1989).

Κατά το στάδιο της τυρφογένεσης και στη συνέχεια της ενανθράκωσης, η υφή των φυτικών υπολειμμάτων παραμένει αναλλοίωτη, ενώ παράλληλα λαμβάνει χώρα μια έντονη χημική μεταβολή, κατά την οποία παράγονται χουμικά οξέα και άλατα. Οι ενώσεις αυτές στη πορεία της ενανθράκωσης συμπυκνώνονται και πολυμερίζονται, με αποτέλεσμα το σχηματισμό πολύπλοκων μεγαλομορίων της χουμίνης (Killops and Killops, 1993). Σύμφωνα με τους Stach et al. (1982) και Taylor et al. (1998) τα maceral του χουμινίτη προκύπτουν από το όξινο μέρος των χουμικών ουσιών, που παράγονται κατά τη χουμοποίηση κυρίως της κυτταρίνης και της λιγνίνης των κυτταρικών τοιχωμάτων.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.3.1, η ομάδα του χουμινίτη διαιρείται σε τρεις υποομάδες maceral: α) τον τελοχουμινίτη, β) τον δετροχουμινίτη και γ) τον γελοχουμινίτη.

α) Η υποομάδα του τελοχουμινίτη

Η υποομάδα του τελοχουμινίτη περιλαμβάνει macerals με πολύ καλά διατηρημένες φυτικές δομές, τα οποία προέρχονται από ποώδη και δενδροειδή βλάστηση και συνίστανται από τα παρεγχυματικά κύτταρα και τους ξυλώδεις ιστούς των ριζών, των κορμών και των φύλλων. Μεγάλο ποσοστό συμμετοχής τελοχουμινίτη σε λιγνίτη αποτελεί δείκτη υψηλού βαθμού διατήρησης κυτταρικών ιστών σε συνθήκες υγρού περιβάλλοντος, πιθανά χαμηλού pH, προέλευση από δασώδεις τυρφώνες (Diessel, 1992). Ας σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του τελοχουμινίτη, που εμφανίζεται σε λιγνίτη Τριτογενούς ηλικίας, προέρχεται από κωνοφόρα δέντρα (Diessel, 1992).

Λαμβάνοντας υπόψη το βαθμό ζελατινοποίησης, τα macerals της εν λόγω υποομάδας διακρίνονται σε *τεξτινίτη* και *ουλμινίτη*.

Ο *τεξτινίτης* αποτελείται από μη ζελατινοποιημένα κυτταρικά τοιχώματα μεμονωμένων και κενών κυττάρων ή φυτικών ιστών, ενώ χημικά συνίσταται από χουμικές ενώσεις και υπολείμματα κυτταρίνης και λιγνίνης (Sýkorová et al., 2005). Περαιτέρω ο *τεξτινίτης* υποδιαιρείται σε *τεξτινίτη Α* και *τεξτινίτη Β,* ανάλογα με τη χημική του σύσταση. Ο *τεξτινίτης Α* μπορεί να περιέχει σημαντικές ποσότητες κυτταρίνης, ρητίνης, κηρών και ταννίνης, ενώ ο *τεξτινίτης Β* γενικά συνίσταται μόνο από χουμίνες και υπολείμματα λιγνίνης. Μία ακόμη διαφοροποίηση των δύο αυτών τύπων macerals είναι ότι ο μεν *τεξτινίτης Α* στις περισσότερες περιπτώσεις προέρχεται από Γυμνόσπερμα φυτά (Taxodiaceae, Cupressaceae) ή από ειδικές ρίζες (δηλ. *Marcoduria inopinata*), ο δε *τεξτινίτης Β* από Αγγειόσπερμα και ποώδη φυτά. Το μεγαλύτερο μέρος του τεξτινίτη στα δείγματα λιγνίτη προέρχεται από κωνοφόρα βλάστηση, δεδομένου ότι οι κυτταρικοί ιστοί από ξύλα Αγγειοσπέρμων και ποώδη βλάστηση χωρίς λιγνίνη αποσυντίθενται εύκολα Teichmüller, 1989. Δεδομένου ότι ο *τεξτινίτης Α* είναι πιο

ανθεκτικός από ό,τι ο *τεξτινίτης Β*, σε Τριτογενούς ηλικίας λιγνίτη απαντάται πιο συχνά ο πρώτος (Sýkorová et al., 2005).

Ο *ουλμινίτης* συνίσταται από κυτταρικά τοιχώματα ζελατινοποιημένων ιστών, με διακριτές κυτταρικές δομές (Sýkorová et al., 2005). Υποδιαιρείται σε *ουλμινίτη Α* (σκοτεινό) και *ουλμινίτη Β* (φωτεινό) και χημικά συνίσταται από χουμικά οξέα και ίχνη λιγνίνης και κυτταρίνης (Süss, 1959). Σύμφωνα με τους Taylor et al. (1998) τα ζελατινοποιημένα κυτταρικά τοιχώματα δεν περιέχουν καθόλου κυτταρίνη, με αποτέλεσμα η σχετικά χαμηλή τιμή ανακλαστικότητας του *ουλμινίτη Α* να σχετίζεται με ρητίνες ή κηρούς, που βρίσκονται ενσωματωμένα μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα. Οι ίδιοι ερευνητές αναφέρουν, ότι η διαδικασία της βιοχημικής ζελατινοποίησης επιταχύνεται σε υδάτινα περιβάλλοντα, με την τροφοδοσία συγκεκριμένων ιόντων (Na, Ca). Ξυλώδη υπολείμματα, στα οποία τα κυτταρικά τοιχώματα έχουν πληρωθεί με ρητίνη, κηρούς, ταννίνη κ.τ.λ., είναι πολύ ανθεκτικά στην χημική και δομική αποσύνθεση και για το λόγο αυτό ο *ουλμινίτης Α*, ο οποίος προέρχεται από Γυμνόσπερμα φυτά, αφθονεί περισσότερο σε Τριτογενούς ηλικίας λιγνίτη. Αντίθετα, ο *ουλμινίτης Β*, ο οποίος προέρχεται από διάφορα Αγγειόσπερμα φυτά, εμφανίζεται σπανιότερα (Sýkorová et al., 2005).

Ο σχηματισμός του *ουλμινίτη* γίνεται είτε πρωτογενώς σε λιμναία ιζήματα, σε τύρφες και σε εδάφη κάτω από συνθήκες υγρασίας, είτε ως επακόλουθο της ωρίμανσης, με αποτέλεσμα η παρουσία του να υποδηλώνει αφενός μεν συνθήκες παλαιοπεριβάλλοντος, αφετέρου δε προχωρημένη ενανθράκωση. Λιγνίτης, ο οποίος προέρχονται από δασώδεις τυρφώνες παρουσιάζουν υψηλότερα ποσοστά συμμετοχής *ουλμινίτη,* σε σχέση με αυτούς που σχηματίστηκαν σε ξηρές συνθήκες με υψηλό ποσοστό αποδόμησης. Το ποσοστό του *ουλμινίτη* αυξάνεται επίσης με την ωρίμανση σε βάρος του *τεξτινίτη* (βιοχημική ή/και γεωχημική ωρίμανση του *τεξτινίτη*) (Sýkorová et al., 2005).

β) Η υποομάδα του δετροχουμινίτη

Ο δετροχουμινίτης συνίσταται από λεπτοκλαστικό υλικό χουμινίτη (Ø<10 μm), όπως είναι τα κυτταρικά υπολείμματα ή και διάφορα άλλα χουμοποιημένα φυτικά θραύσματα. Με βάση το ποσοστό ζελατινοποίησης, ο δετροχουμινίτης υποδιαιρείται στα macerals *αττρινίτης* (μη ζελατινοποιημένο υλικό) και *ντενζινίτης* (ζελατινοποιημένο υλικό). Ας σημειωθεί, ότι στην περίπτωση κατά την οποία ορισμένα ιζήματα εμφανίζουν θραύσματα χουμινίτη με μέγεθος >10 μm, τα οποία δεν μπορούν να ταξινομηθούν με βεβαιότητα σε άλλες ομάδες macerals, αυτά ενσωματώνονται στην ομάδα του δετροχουμινίτη.

Ο δετροχουμινίτης στα πρώτα στάδια της ενανθράκωσης δημιουργείται από την ένωση απομεθυλιωμένων και αφυδροξυλιωμένων μονομερών της λιγνίνης με λιπίδια, όπως είναι μακριές αλυσίδες πολυμεθυλενικών οξέων, εστέρες και τριτερπενοεϊδή των υψηλότερων φυτών (Taylor et al., 1982). Τα φάσματα FT-IR χαρακτηρίζονται από την εμφάνιση κορυφών, που ανήκουν σε αλειφατικές και αρωματικές δομές, όπως επίσης και σε ομάδες υδροξυλίων και καρβοξυλίων (Taylor et al., 1982). Ο *ντενζινίτης* παρουσιάζει μεγάλο ποσοστό οργανικών ενώσεων, οι οποίες ομοιάζουν αρκετά με αυτές των αρχικών φυτικών υλικών (Gaines et al., 1981). Αξίζει να σημειωθεί ότι η αλλοιωμένη δομή της λιγνίνης ομοιάζει περισσότερο με αυτή των σημερινών Γυμνοσπέρμων φυτών από ό,τι των Αγγειοσπέρμων, δεδομένης της παρουσίας των δομικών μονάδων *guaiacyl* (Taylor et al., 1982).

Οι Stach et al. (1982), Teichmüller (1989), Taylor et al. (1998) υποστηρίζουν ότι ο *αττρινίτης* και ο *ντενζινίτης* παράγονται από αποσυντεθειμένα τμήματα ποωδών φυτών ή ξύλων Αγγειοσπέρμων, όπως είναι αυτά με μικρή περιεκτικότητα σε λιγνίνη και υψηλή σε κυτταρίνη, ενώ παράλληλα οι von der Brelie and Wolf (1981) θεωρούν ότι στη δημιουργία του δετροχουμινίτη συμβάλλουν και τα κωνοφόρα δέντρα.

Ο *αττρινίτης* αποτελείται από λεπτόκοκκο, άμορφο, μη ζελατινοποιημένο κλαστικό υλικό του *χουμινίτη* (Ø<10 μm). Η δομή του είναι χαλαρή και η υφή του σπογγώδης έως πορώδης. Υψηλά ποσοστά συμμετοχής *αττρινίτη* υποδηλώνουν σχετικά ξηρές συνθήκες στην επιφάνεια του τυρφώνα, οι οποίες ακολουθούνται από αποσύνθεση των χουμικών φυτικών τμημάτων (von der Brelie and Wolf, 1981). Ο *ντενζινίτης* αντίθετα εμφανίζεται πάντα με τη μορφή συγκολλημένων θραυσμάτων, ως αποτέλεσμα της ζελατινοποίησης. Γενικά το ποσοστό του *ντενζινίτη* αυξάνεται σε βάρος του *αττρινίτη* κατά την πορεία της βιοχημικής ενανθράκωσης (Teichmüller, 1989).

γ) Η υποομάδα του γελοχουμινίτη

Τρεις διαφορετικοί τρόποι έχουν παρατηρηθεί για τη δημιουργία του γελοχουμινίτη (Sýkorová et al., 2005):

- ◊ Από έντονα ζελατινοποιημένους φυτικούς ιστούς και χουμινιτικά θραύσματα, η δομή των οποίων δεν είναι πλέον ευδιάκριτη στο λευκό ανακλώμενο φως.
- ◊ Από καθίζηση χουμικών κολλοειδών.
- ◊ Από πρωτογενές κυτταρικό γέμισμα ζώντων φυτών με φλομπαφίνη (κυρίως σε ξύλο Γυμνοσπέρμων).

Η υποομάδα του γελοχουμινίτη περιλαμβάνει τα macerals *γελινίτης* και *κορποχουμινίτης*. Ο *γελινίτης* σχηματίζεται από ζελατινοποιημένα χουμικά κολλοειδή και ανάλογα με το αν εμφανίζει πόρους ή συμπαγή δομή, αναγνωρίζεται ως *πορινγελινίτης* ή *λεβιγελινίτης* (Stach et al., 1982, Diessel, 1992, Taylor et al., 1998). Ο *κορποχουμινίτης* αποτελείται από ομογενή, συμπαγή σώματα πρωτογενών χουμικών κυτταρικών γεμισμάτων, τα οποία εμφανίζονται επί τόπου (in situ) μαζί με *τεξτινίτη* ή *ουλμινίτη* ή απομονωμένα μέσα σε *αττρινίτη*, *ντενζινίτη* ή άργιλο. Το σχήμα των σωμάτων του *κορποχουμινίτη* είναι συνήθως σφαιροειδές, ελλειψοειδές ή ραβδοειδές, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις εμφανίζεται και με σπηλαιοειδή μορφή (Sýkorová et al., 2005). Τόσο το μέγεθος, όσο και το σχήμα του συγκεκριμένου maceral εξαρτώνται από τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά του αρχικού κυττάρου (Szádecky-Kardoss, 1952, Mader, 1958, Soós, 1963). Στο λιγνίτη Τριτογενούς ηλικίας το μέγεθος του σφαιροειδούς και ραβδοειδούς *κορποχουμινίτη* κυμαίνεται από 10 έως 40 μm και από 20 έως 170 μm, αντίστοιχα (Sýkorová et al., 2005).

6.3.2.2 Η ομάδα του ινερτινίτη

Τα macerals της ομάδας του ινερτινίτη σχηματίζονται από τα ίδια φυτικά υπολείμματα, από τα οποία προέρχονται και τα macerals της ομάδας του χουμινίτη, με τη διαφορά ότι έχουν υποστεί ελαφρά οξείδωση, ενώ χημικά συνίστανται από την κυτταρίνη και τη λιγνίνη των κυτταρικών τοιχωμάτων (Taylor et al., 1998). Βασική αιτία αυτής της οξείδωσης είναι κύρια οι πυρκαγιές δασών και γενικά της βλάστησης, αλλά και η έκθεση της τύρφης σε ατμοσφαιρικές συνθήκες επί μακρό χρονικό διάστημα. Σε ορισμένες περιπτώσεις η οξείδωση μπορεί να οφείλεται επίσης και σε μυκητίαση. Με την ελαφρά αυτή οξείδωση (φουσινιτίωση) τα φυτικά υλικά εμπλουτίζονται σε άνθρακα, ενώ παράλληλα μειώνεται η περιεκτικότητά τους σε υδρογόνο και οξυγόνο, με αποτέλεσμα να συμπυκνώνονται, να χάνουν σχεδόν εξ ολοκλήρου τον αλειφατικό τους χαρακτήρα και να εμπλουτίζονται σε αρωματικές ενώσεις. Έτσι σχηματίζεται πυκνή ομοιογενής ύλη με τη μεγαλύτερη ανακλαστικότητα από όλες τις άλλες ομάδες των macerals (χουμινίτης, ινερτινίτης, λειπτινίτης).

Τα macerals, τα οποία ανήκουν στην ομάδα του ινερτινίτη φαίνονται στον Πίνακα 6.3.1.

6.3.2.3 Η ομάδα του λειπτινίτη

Λειπτινίτης καλείται ενανθρακωμένο φυτικό υλικό, που προέρχεται από σπόρους, γύρη, ρητίνες, φύκη, επιδερμίδες φύλλων, αιθέρια έλαια, φλοιούς και τα δευτερογενώς, κατά την ενανθράκωση, σχηματισθέντα βιτουμένια. Συνίσταται από αλυσίδες αλειφατικών ενώσεων

και σχηματίζεται από υλικά πλούσια σε υδρογόνο. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι τα macerals της ομάδας του λειπτινίτη να παρουσιάζουν χαλαρή δομή, γεγονός το οποίο δικαιολογεί τις χαμηλές τιμές ανακλαστικότητας και τον έντονο φθορισμό με κιτρινοπράσινα χρώματα (Teichmüller, 1989). Στον Πίνακα 6.3.2 παρατίθενται συνοπτικά ορισμένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των macerals της ομάδας του λειπτινίτη.

Πίνακας 6.3.2: Τα macerals της ομάδας του λειπτινίτη και ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά αυτών.

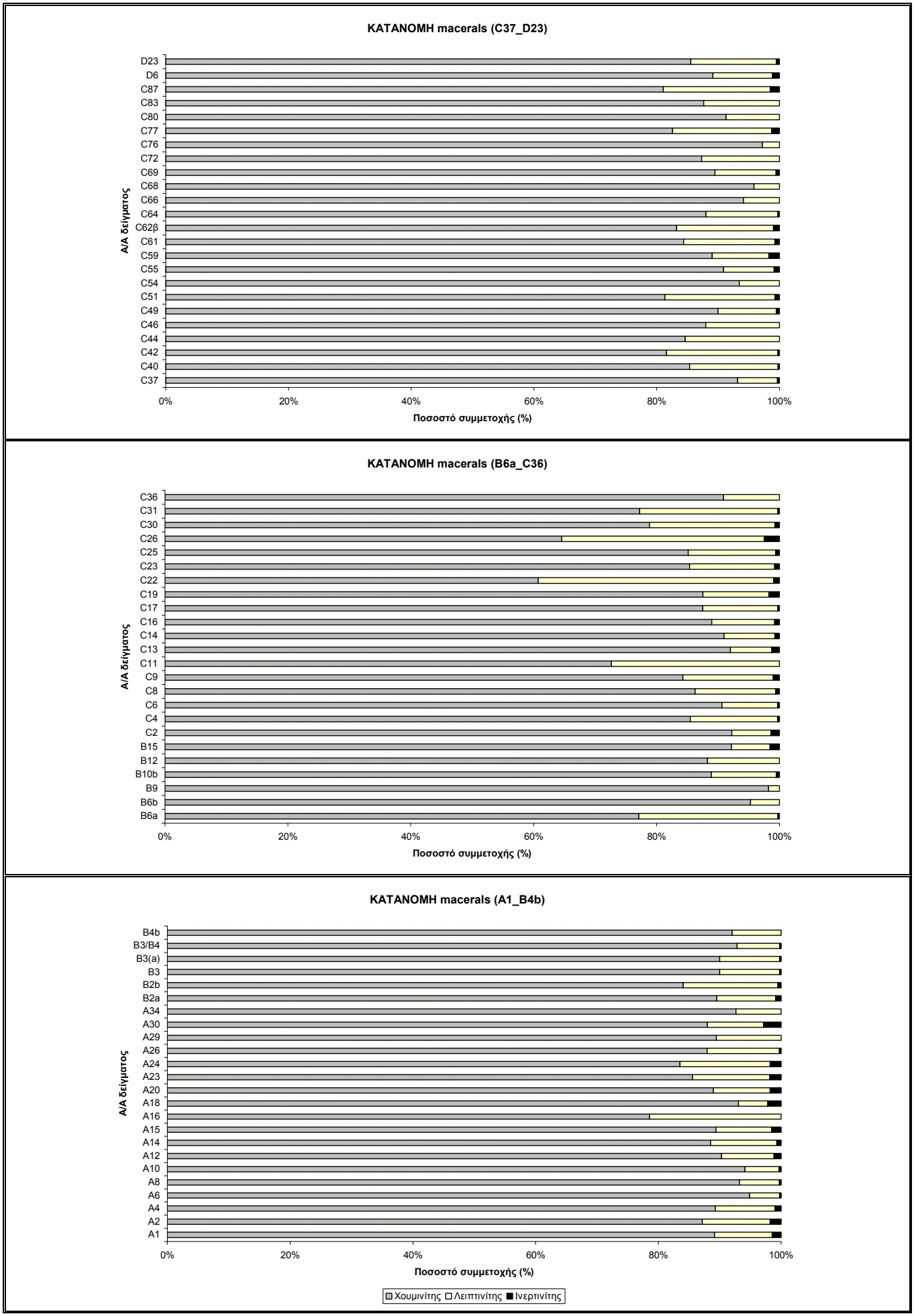
Macerals	Χαρακτηριστικά
Σπορινίτης	Υπολείμματα ενανθρακωμένων σπόρων-σπερμάτων και γύρεως, τα οποία σε κυανό ή υπεριώδες προσπίπτον φως εμφανίζουν έντονο κίτρινο χρώμα. Συνίσταται από εστέρες καροτινών, οι οποίες προέρχονται από έντονα πολυμερισμένες ενώσεις, όπως η σποροπολενίνη
Κουτινίτης	Προέρχεται από την ενανθράκωση των εξωτερικών στρωμάτων των επιδερμίδων των φύλλων και των μίσχων. Χημικά, συνίσταται από την ένωση των λιπαρών οξέων και των κηρών (κουτίνη). Έχει τη μορφή επιμήκων λωρίδων με χαρακτηριστικά "δόντια"
Ρεζινίτης	Συσσωματώματα, τα οποία προέρχονται από φυσικές ρητίνες, λιπαρά οξέα και κηρούς. Το σχήμα του μπορεί να είναι σφαιροειδές, ελλειψοειδές ή τετράπλευρο, ενώ το μέγεθος του ποικίλλει
Φθορινίτης	Άμορφες συγκεντρώσεις προερχόμενες από φυτικά έλαια, με εξαιρετικά έντονο φθορισμό
Αλγινίτης	Υπολείμματα φυκών με ή χωρίς εσωτερική δομή. Το χρώμα φθορισμού του είναι κυρίως πρασινοκίτρινο
Σουμπερινίτης	Προέρχεται από τα κυτταρικά τοιχώματα των κορμών, της επιφάνειας μίσχων, των ριζών και των καρπών. Συνίσταται από πολυμερή, τα οποία περιέχουν λιπαρά οξέα και εστέρες γλυκερίνης (σουμπερίνη)
Βιτουμινίτης	Συγκέντρωση μεγάλου αριθμού υπολειμμάτων macerals μέσα σε θεμελιώδη μάζα, ιδιόμορφου καστανού χρώματος, άμορφο με ασθενή φθορισμό
Λειπτοδετρινίτης	Συγκέντρωση ιδιαίτερα μικρού μεγέθους θραυσμάτων, τα οποία προέρχονται από όλα τα προηγούμενα δομικά συστατικά της ομάδας αυτής, με απροσδιόριστη μορφή

6.3.3 Αποτελέσματα των ανθρακοπετρογραφικών προσδιορισμών

Κατανομή των macerals στους λιγνιτικούς ορίζοντες της Αχλάδας

Τα αποτελέσματα της ανθρακοπετρογραφικής ανάλυσης συνοψίζονται στο Παράρτημα Ι, Πίνακας 4, όπως επίσης και στο διάγραμμα του Σχήματος 6.3.1. Η ποσοστιαία κατανομή των κύριων ομάδων macerals δείχνει την επικράτηση της ομάδας του χουμινίτη σε όλα τα δείγματα (60,7-98,2%), με μέση ποσοστιαία συμμετοχή (ΜΠΣ) 87,5%, ενώ ακολουθεί η ομάδα του λειπτινίτη, με μέση ποσοστιαία συμμετοχή (ΜΠΣ) 11,8% (1,8-38,3%). Τέλος, πολύ μικρή είναι η συμμετοχή της ομάδας του ινερτινίτη, με ποσοστό ≤2,9% (ΜΠΣ 0,7%).

Η υποομάδα του τελοχουμινίτη παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συμμετοχή (ΜΠΣ 57,1%) έχοντας ως κύριο εκπρόσωπο τον *ουλμινίτη Β* (ΜΠΣ 30,8%), ο οποίος εμφανίζεται σε όλα τα δείγματα. Επίσης, η μεγαλύτερη συμμετοχή του *ουλμινίτη Α* (ΜΠΣ 24,6%) παρατηρείται στα κατώτερα 10 m της λιγνιτοφορίας, ενώ από το σημείο αυτό και προς την κορυφή εμφανίζει



Σχήμα 6.3.1: Κατανομή των ομάδων του χουμινίτη, του λειπτινίτη και του ινερτινίτη σε δείγματα λιγνίτη από την Αχλάδα.

χαμηλότερες τιμές από τον *ουλμινίτη Β* (με σποραδικές εξαιρέσεις). Οι δύο τύποι *τεξτινίτη* (*Α* και *Β*) παρατηρούνται ελάχιστα στο σύνολο των δειγμάτων, με τον *τεξτινίτη Β* να εμφανίζει ελαφρώς αυξημένες τιμές (ΜΠΣ 1,6%) σε σύγκριση με τον *τεξτινίτη Α* (ΜΠΣ 0,1%). Ακολουθεί η ομάδα του δετροχουμινίτη (ΜΠΣ 26,9%) με εναλλαγή στη συμμετοχή *αττρινίτη* (ΜΠΣ 16,3%) και *ντενζινίτη* (ΜΠΣ 10,7%). Τα ποσοστά συμμετοχής των macerals της ομάδας του γελοχουμινίτη (ΜΠΣ 3,5%) προέρχονται κυρίως από την εμφάνιση του *κορποχουμινίτη* (≤14,2%). Ο *πορινελινίτης* συμμετέχει σε πολύ λίγα δείγματα και με πολύ χαμηλά ποσοστά (≤4,1), ενώ ο *λεβιγελινίτης* παρατηρήθηκε σε ένα μόνο δείγμα.

Κύριος εκπρόσωπος της ομάδας του λειπτινίτη, είναι ο *κουτινίτης* (ΜΠΣ 3,3%) και ακολουθούν οι *σπορινίτης* (ΜΠΣ 2,1%) και *ρεζινίτης* (ΜΠΣ 1,9%). Με χαμηλότερα ποσοστά συμμετέχουν τα macerals *αλγινίτης, σουμπερινίτης* και *λειπτοδετρινίτης*, που εμφανίζονται με μέση ποσοστιαία συμμετοχή 3,1%, 0,8% και 0,8% αντίστοιχα. Η εμφάνιση ευμεγεθών συγκεντρώσεων *ρεζινίτη*, οι οποίες παρατηρήθηκαν σε ορισμένα δείγματα, υποδηλώνει την έντονη παρουσία κωνοφόρων δέντρων μέσα στον τυρφώνα, ενώ η εμφάνιση *σουμπερινίτη* χαρακτηρίζει λιγνίτη Τριτογενούς ηλικίας (Singh and Singh, 2000).

Η ομάδα του "ινερτινίτη" συμμετέχει με πολύ χαμηλά ποσοστά και αντιπροσωπεύεται, κύρια, από τα macerals *φουσινίτη* και *φουγκινίτη*, τα ποσοστά των οποίων ανέρχονται μέχρι 1,3% και 2,0%, αντίστοιχα. Ο *φουγκινίτης* ανήκει στους μονούς, διπλούς ή πολυ-κυτταρικούς *teleutospores* και χαρακτηρίζει τη βλάστηση του Τριτογενούς (Singh and Singh, 2000). Ο *ινερτοδετρινίτης* εμφανίστηκε σε επτά μόνο, δείγματα με μέγιστο ποσοστό συμμετοχής 1,5%.

Τα ανόργανα συστατικά κυμαίνονται από 1,2% έως 26,6%, με μέση περιεκτικότητα ~10,8%. Τα ορυκτά που ταυτοποιήθηκαν είναι κυρίως αργιλικά, με μέση ποσοστιαία συμμετοχή (~6,7%), σιδηροπυρίτης ή μαρκασίτης (ΜΠΣ 3,2%) και ανθρακικά (ΜΠΣ 0,4%). Ο σιδηροπυρίτης που συμμετέχει στους ορυκτούς άνθρακες μπορεί να εμφανίζεται γενικά ως: α) βοτρυοειδής σιδηροπυρίτης βακτηριδιακής ή ανόργανης προέλευσης, β) ευεδρικός, γ) μαζώδης γενικά ή συγκεκριμένα πλήρωσης κυτταρικών χώρων και δ) από αντικατάσταση κυτταρικών ιστών (Kortenski and Kostova, 1996). Στα λιγνιτικά δείγματα της Αχλάδας ο σιδηροπυρίτης, αναγνωρίστηκε κύρια ως βοτρυοειδής οργανικής και ανόργανης προέλευσης, δεδομένου ότι απαντά με τη μορφή συναθροίσεων βοτρύων, που βρίσκονται ή όχι σε επαφή μεταξύ τους, όπως επίσης και ως μαζώδης σιδηροπυρίτης. Σπανιότερα συμμετέχει και στην πλήρωση κυτταρικών χώρων (μαζώδης σιδηροπυρίτης).

6.3.4 Παλαιοπεριβάλλοντα σχηματισμού του λιγνίτη της Αχλάδας

Για τον προσδιορισμό του παλαιοπεριβάλλοντος σχηματισμού ενός τυρφώνα είναι σημαντική η συνδυαστική μελέτη των ανθρακοπετρογραφικών, ιζηματολογικών, γεωχημικών, παλυνολογικών και βιολογικών δεδομένων (Collison and Scott, 1987, Scott, 2002, Moore and Shearer, 2003). Η κατανομή των macerals στους ορυκτούς άνθρακες και ο ποσοτικός συσχετισμός αυτών παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τους παράγοντες και τις συνθήκες τυρφογένεσης στους παλαιοτυρφώνες (Teichmüller, 1989, Diessel, 1992).

Με βάση την κατανομή των macerals που προσδιορίστηκαν στο ανθρακοπετρογραφικό μικροσκόπιο, δίνονται στη συνέχεια ορισμένα διαγράμματα φάσεων και διάφοροι δείκτες, που αφορούν στο παλαιοπεριβάλλον σχηματισμού του λιγνιτικού κοιτάσματος Αχλάδας. Αντίθετα, κατά τη μελέτη των ενδιάμεσων ανόργανων ιζημάτων δίνεται βαρύτητα στο είδος των φυτικών απολιθωμάτων, που περιέχονται μέσα σε αυτά.

Κύριο χαρακτηριστικό αυτού του λιγνιτικού κοιτάσματος αποτελεί η διαφοροποίηση της ανθρακοπετρογραφικής του σύστασης κατά την κατακόρυφο, υποδηλώνοντας έτσι ότι οι συνθήκες κατά τη διάρκεια σχηματισμού του δεν παρέμεναν σταθερές.

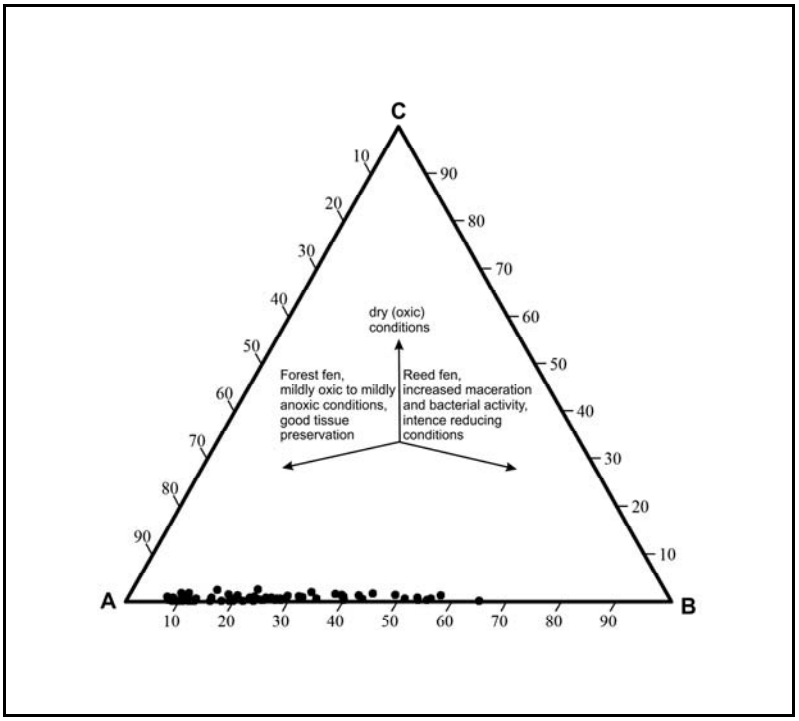
Ένα από τα πιο συνήθη τριγωνικά διαγράμματα που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των συνθηκών λιγνιτογένεσης είναι αυτό του Mukhopadhyay (1986, 1989), βάσει του οποίου είναι δυνατόν να εκτιμηθούν οι συνθήκες υγρασίας, η παρουσία ελεύθερου οξυγόνου και η βακτηριδιακή δράση κατά την τυρφογένεση. Στο διάγραμμα αυτό οι κορυφές Α, Β και Γ, αντιστοιχούν στα παρακάτω αθροίσματα:

- Α = *τελοχουμινίτης* + *κορποχουμινίτης* + *σπορινίτης* + *κουτινίτης* + *ρεζινίτης* + *σουμπερινίτης*
- Β = *δετροχουμινίτης* + *γελινίτης* + *λειπτοδετρινίτης* +*αλγινίτης*
- Γ = *ινερτινίτης*

Όπως παρατηρείται από τα παραπάνω αθροίσματα, στην κορυφή Α έχουν συμπεριληφθεί τα macerals, των οποίων η παρουσία υποδηλώνει καλή διατήρηση ιστών στον τυρφώνα, συνθήκες ελαφρά οξικές έως ελαφρά ανοξικές και ύπαρξη δενδρώδους βλάστησης. Η κορυφή Β περιλαμβάνει macerals, τα οποία παρέχουν πληροφορίες για την αποδόμηση της οργανικής ύλης και την αυξημένη χουμοποίηση κάτω από ανοξικές συνθήκες, ενώ υποδηλώνει ύπαρξη ποώδους βλάστησης. Τέλος, μέσω της κορυφής Γ εκφράζονται οι ξηρές/οξικές συνθήκες κατά την τυρφογένεση, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την έντονη οξείδωση και καταστροφή του οργανικού υλικού. Ποσοστό ινερτινίτη >30% φανερώνει οξικές συνθήκες σχηματισμού, ενώ ποσοστό <5% ανοξικές. Επίσης η υψηλή ή χαμηλή στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα καθορίζεται από τα ποσοστό ινερτινίτη <15% ή >15%

αντίστοιχα. Ας σημειωθεί ότι στην περίπτωση που οι προβαλλόμενες τιμές στο διάγραμμα βρίσκονται μεταξύ των κορυφών Α και Β, το υπό μελέτη υλικό προέρχεται από μεικτή βλάστηση (δέντρα και πόες).

Στο διάγραμμα του Σχήματος 6.3.2 παρατηρείται ότι όλα τα δείγματα εμφανίζουν ποσοστό ινερτινίτη μικρότερο από 5%, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι στον παλαιοτυρφώνα επικρατούσαν υγρές συνθήκες εξαιτίας της υψηλής στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και η απόθεση του αρχικού φυτικού υλικού έγινε μέσα σε έντονα ανοξικές συνθήκες, όπου ευνοήθηκε η τυρφοποίηση του οργανικού υλικού και αποτράπηκε η οξείδωση του (σχηματισμός ινερτινίτη) (Stach et al., 1982).



Σχήμα 6.3.2: Τριγωνικό διάγραμμα προβολής των τιμών Α, Β και Γ, στο οποίο φαίνονται οι παλαιοπεριβαλλοντικές συνθήκες σχηματισμού του λιγνιτικού κοιτάσματος Αχλάδας, σύμφωνα με τον Mukhopadhyay (1986, 1989).

Από το ίδιο διάγραμμα (Σχ. 6.3.2) φαίνεται ότι υπάρχει ένα σύνολο δειγμάτων, τα οποία βρίσκονται πάρα πολύ κοντά στην κορυφή Α, υποδηλώνοντας καλύτερη διατήρηση ιστών, σε σχέση με τα άλλα δείγματα και παρουσία δενδρώδους βλάστησης. Σύμφωνα με τον Mukhopadhyay (1989), το περιβάλλον απόθεσης, το οποίο αντιστοιχεί σε αυτήν την κορυφή είναι δασώδης τυρφώνας σε αλλουβιακό πεδίο ή στην περιοχή μεταξύ του αλλουβιακού πεδίου και του άνω δέλτα. Παράλληλα η πλειονότητα των δειγμάτων διασπείρεται μεταξύ των κορυφών Α και Β (πλησιέστερα προς την Α), γεγονός το οποίο σύμφωνα με τον ίδιο ερευνητή υποδηλώνει την ύπαρξη μεικτής βλάστησης από πόες και δέντρα (με ελαφρώς αυξημένη τάση συμμετοχής των δέντρων), όπως επίσης και την απόθεση οργανικού υλικού

σε τυρφώνες του άνω και κάτω δελταϊκού πεδίου. Ακόμη η παλυνολογική και η παλαιοκαρπολογική ανάλυση (Κεφ. 6.4) φανερώνει την επικράτηση δενδρώδους βλάστησης. Συνεπώς η λιγνιτογένεση στην Αχλάδα πρέπει να έλαβε χώρα κυρίως προς το ανώτερο τμήμα του άνω δελταϊκού πεδίου, με επικράτηση δενδρώδους βλάστησης.

Σύμφωνα με τους Kalaitzidis et al. (2004) στους τοπογενείς τυρφώνες η τεκτονική και οι συνθήκες ιζηματογένεσης της ευρύτερης περιοχής επηρεάζουν σε αρκετά μεγάλο βαθμό τη λιγνιτογένεση. Σε περιοχές με ενεργή τεκτονική δραστηριότητα, όπως είναι η χώρα μας, ο χρόνος παραμονής της φυτικής ύλης στο τυρφογενές στρώμα εξαρτάται από τον συνδυαστικό παράγοντα "ρυθμός βύθισης του υποστρώματος/ρυθμός ανόδου της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα". Ο τελευταίος σχετίζεται άμεσα με το "ρυθμό απόθεσης φυτικών υπολειμμάτων", ο οποίος είναι ακόμη ένας πολύ σημαντικός παράγοντας, που επηρεάζει την τυρφογένεση (Παπαζησίμου, 2003).

Λαμβάνοντας υπόψη τις δύο παραπάνω παρατηρήσεις και σύμφωνα με την προβολή των αποτελεσμάτων της ανθρακοπετρογραφικής ανάλυσης στο τριγωνικό διάγραμμα του Σχήματος 6.3.2, η διασπορά των τιμών μεταξύ των κορυφών Α και Β μπορεί να εξαρτάται κύρια είτε (α) από το συνδυαστικό παράγοντα "ρυθμός βύθισης του υποστρώματος/ρυθμός ανόδου της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα" είτε (β) από την απόσταση της συγκεκριμένης θέσης τυρφογένεσης από τις όχθες της λίμνης ή του ποταμού, ενώ ο ρυθμός απόθεσης του φυτικού υλικού παρέμενε σταθερός και στις δύο περιπτώσεις.

Τα λιγνιτικά στρώματα, που αντιπροσωπεύονται από τα δείγματα, τα οποία προβάλλονται πλησιέστερα στην κορυφή Α του τριγωνικού διαγράμματος (Σχ. 6.3.2), σχηματίστηκαν πιθανόν από φυτικά υπολείμματα, τα οποία παρέμειναν για μικρότερο χρονικό διάστημα στο τυρφογενετικό στρώμα, στη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου κατά την οποία ο ρυθμός απόθεσης των φυτικών υπολειμμάτων ήταν παρόμοιος με το ρυθμό ανόδου του υδροφόρου ορίζοντα, ο ρυθμός βύθισης του υποστρώματος του τυρφώνα ήταν υψηλότερος (σε σχέση με τα στρώματα που προβάλλονται πλησιέστερα στην κορυφή Β) και η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα παρέμενε σταθερή, έτσι ώστε μια ενδεχόμενη μεταβολή αυτής, λόγω αλλαγής του ρυθμού βύθισης, να εξισορροπείται με τη μεταβολή στην ποσότητα νερών που απορρέουν ή εισρέουν από ή προς τον τυρφώνα. Σύμφωνα με τα παραπάνω, πλησιάζοντας προς την κορυφή Α θα παρατηρείται καλύτερη διατήρηση των φυτικών ιστών. Αντίθετα πλησιάζοντας προς την κορυφή Β θα παρατηρείται περισσότερο αποδομημένο οργανικό υλικό με μικρή διατήρηση φυτικών ιστών, δεδομένου του μικρότερου ρυθμού βύθισης του υποστρώματος του τυρφώνα και της παραμονής για περισσότερο χρόνο των φυτικών υπολειμμάτων στο τυρφογενές στρώμα με αμετάβλητη τη στάθμη του υδροφόρου

ορίζοντα (όπως και στην προαναφερθείσα περίπτωση).

Σύμφωνα με τους Kaulkreuth et al. (1991a), στην περίπτωση κατά την οποία:

- ο ρυθμός απόθεσης των φυτικών υπολειμμάτων είναι ίδιος με το ρυθμό ανόδου της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και
- ο ρυθμός βύθισης του υποβάθρου ίδιος για όλα τα δείγματα,

τότε οι κορυφές Α και Β αποτυπώνουν την απόσταση της θέσης σχηματισμού του λιγνίτη από τα περιθώρια της λίμνης. Έτσι προς την κορυφή Α αυξάνεται η απόσταση της θέσης σχηματισμού από τα περιθώρια της λίμνης, με αποτέλεσμα να επικρατούν λιγότερο υγρές συνθήκες και η καταστροφή των ιστών να είναι μικρότερη. Αντίθετα πλησιάζοντας προς την κορυφή Β η ίδια απόσταση μειώνεται.

Δύο τριγωνικά διαγράμματα, με βάση τις διάφορες περιεκτικότητες σε macerals (Kaulkreuth et al., 1991a) χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό (α) της θέσης σχηματισμού διαφόρων οργανογενών ιζημάτων ως προς την απόσταση τους από μια λίμνη και (β) της σχετικής στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα ως προς την επιφάνεια του τυρφώνα. Τα τριγωνικά αυτά διαγράμματα τροποποιήθηκαν από τον Παπαζησίμου (2003) προκειμένου να εφαρμοστούν σε δείγματα λιγνίτη από τον ελλαδικό χώρο, και συγκεκριμένα στα λιγνιτικά κοιτάσματα Μαγούλας, Ζαχάρως (Τρύπες, Κουμοθέκρα) και Κυπαρισσίας.

Στην πρώτη (α) περίπτωση ο προσδιορισμός της θέσης απόθεσης των διαφόρων οργανογενών ιζημάτων γίνεται με τη βοήθεια του τροποποιημένου τριγωνικού διαγράμματος, οι κορυφές του οποίου ορίζονται από τα αθροίσματα:

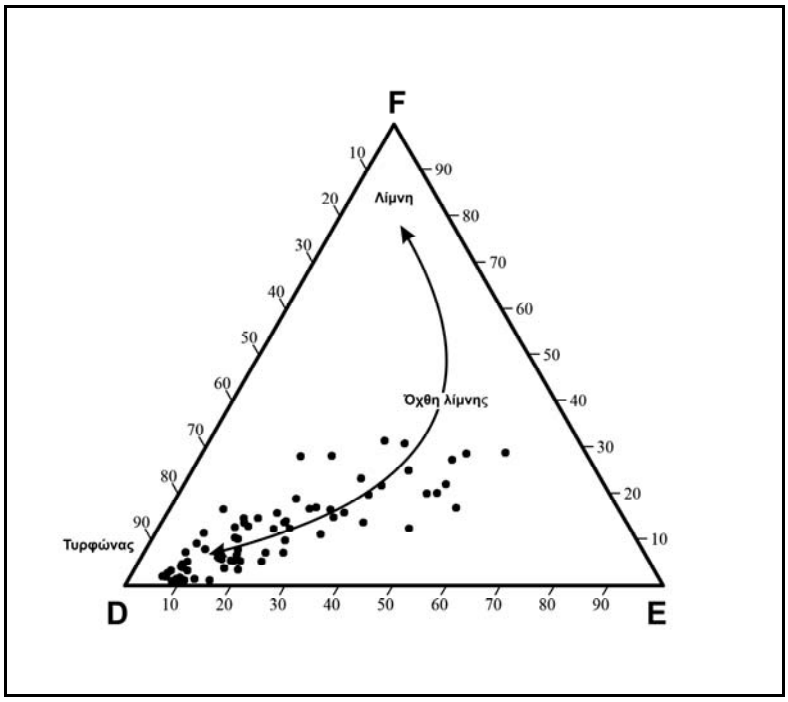
- D = *τελοχουμινίτης* + *φουσινίτης* + *ημιφουσινίτης*
- E = *δετροχουμινίτης*
- F =Αργιλικά + *λειπτοδετρινίτης* + *αλγινίτης* + *ινερτοδετρινίτης*

Η προαναφερθείσα τροποποίηση αφορά μόνο στο ποσοστό των ανθρακικών ορυκτών της κορυφής Ε, που αντικαταστάθηκε από τη συγκέντρωση δετροχουμινίτη, ο σχηματισμός του οποίου ευνοείται σε πιο υγρές συνθήκες πλησιέστερα στην όχθη της λίμνης.

Από την προβολή των αποτελεσμάτων της ανθρακοπετρογραφικής ανάλυσης στο παραπάνω διάγραμμα (Σχ. 6.3.3) φαίνεται, ότι τα δείγματα, που προβάλλονται κοντά στην κορυφή F, αντιπροσωπεύουν λιγνιτικούς ορίζοντες, οι οποίοι σχηματίστηκαν μακριά από τις όχθες της λίμνης/ποταμού και αντιστοιχούν σε λιγνίτη πλησίον της κορυφής Α στο διάγραμμα του Mukhopadhyay (Σχ. 6.3.2). Αντίστοιχα τα δείγματα, που προβάλλονται κοντά στην κορυφή Ε, αντιπροσωπεύουν λιγνιτικούς ορίζοντες που σχηματίστηκαν πιο κοντά στις

όχθες της λίμνης/ποταμού και αντιστοιχούν σε λιγνίτη πλησίον της κορυφής Β στο διάγραμμα του Mukhopadhyay (Σχ. 6.3.2).

Για τον προσδιορισμό του καθεστώτος των λιγότερο ή περισσότερο υγρών συνθηκών που επικρατούσαν κατά το σχηματισμό του εξεταζόμενου λιγνιτικού κοιτάσματος χρησιμοποιήθηκε το τριγωνικό διάγραμμα φάσεων των Kaulkreuth et al. (1991a) όπως τροποποιήθηκε από τον Παπαζησίμου (2003) (Σχ. 6.3.4).



Σχήμα 6.3.3: Προβολή των τιμών D, E και F των λιγνιτικών δειγμάτων της Αχλάδας στο διάγραμμα των Kaulkreuth et al. (1991a), τροποποιημένο από τον Παπαζησίμου (2003).

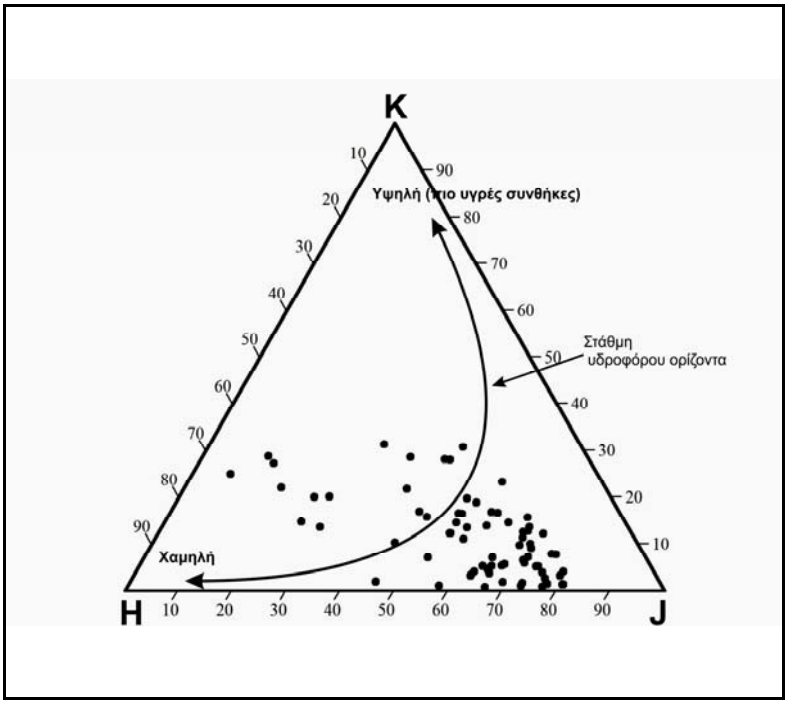
Οι κορυφές ορίζονται από τα αθροίσματα:

- H = *τεξτινίτης* +*αττρινίτης* + *φουσινίτης* + *ημιφουσινίτης*
- J = *ουλμινίτης* + *ντενζινίτης*
- K =Αργιλικά + *λειπτοδετρινίτης* + *αλγινίτης* + *ινερτοδετρινίτης*

Ο σχεδιασμός του συγκεκριμένου τριγωνικού διαγράμματος από τους Kaulkreuth et al. (1991a) στηρίχτηκε στην παρατήρηση, ότι σε κοίτασμα γαιανθράκων της ενδοηπειρωτικής λεκάνης Stellarton του Καναδά οι στιλπνοί λιθότυποι, οι οποίοι σχηματίζονται σε λιγότερο υγρές συνθήκες από ότι οι αλαμπείς, είναι πλούσιοι σε βιτρινίτη Α και Β (τελοχουμινίτη Α και Β του λιγνίτη). Γι' αυτό στην κορυφή Η πρόβαλαν το άθροισμα των συγκεντρώσεων του βιτρινίτη-Α, *φουσινίτη* και *ημιφουσινίτη*, ενώ στην κορυφή J πρόβαλαν το άθροισμα των συγκεντρώσεων βιτρινίτη και μακρινίτη. Η τροποποίηση από τον Παπαζησίμου (2003) αφορά στην κορυφή Η και έγινε κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να αντιπροσωπεύει το άθροισμα των συγκεντρώσεων του *τεξτινίτη*, του *αττρινίτη*, του *φουσινίτη* και του *ημιφουσινίτη*, οι

οποίοι σχηματίζονται σε λιγότερο υγρές συνθήκες απ' ό,τι ο *ουλμινίτης* και ο *ντενζινίτης* (κορυφή J). Η κορυφή K παρέμεινε αμετάβλητη.

Από το συνδυασμό των δύο παραπάνω τριγωνικών διαγραμμάτων (Σχ. 6.3.3 και 6.3.4) προκύπτει, ότι οι λιγνιτικοί ορίζοντες, οι οποίοι σχηματίστηκαν σε μακρινή απόσταση από τις όχθες της λίμνης/ποταμού, με βάση το διάγραμμα DEF εμφανίζουν υψηλά ποσοστά τεξτινίτη ή ουλμινίτη και σχηματίστηκαν σε λιγότερο υγρές συνθήκες (χαμηλότερη στάθμη υδροφόρου ορίζοντα) από ό,τι ο λιγνίτης, στον οποίο κυρίαρχα macerals είναι ο *ντενζινίτης* ή ο *αττρινίτης* και έχουν σχηματισθεί πιο κοντά στις όχθες της λίμνης/ποταμού.



Σχήμα 6.3.4: Προβολή των τιμών H, J και K των λιγνιτικών δειγμάτων της Αχλάδας στο διάγραμμα των Kaulkreuth et al. (1991a), τροποποιημένο από τον Παπαζησίμου (2003).

Γενικά ο σχηματισμός του *ουλμινίτη* ευνοείται από περισσότερο υγρές συνθήκες, σε σχέση με τον *τεξτινίτη*, με αποτέλεσμα λιγνίτη που εμφανίζεται εμπλουτισμένος σε *ουλμινίτη* να προβάλλεται πιο κοντά στην κορυφή J του διαγράμματος HJK (Σχ. 6.3.4). Επίσης ο σχηματισμός του *ντενζινίτη* ευνοείται από περισσότερο υγρές συνθήκες σε σχέση με τον *αττρινίτη*, με αποτέλεσμα ο λιγνίτης, στον οποίο επικρατεί ο *ντενζινίτης* να προβάλλεται πλησίον της κορυφής J, ενώ σε αυτόν που επικρατεί ο *αττρινίτης*, προβάλλεται κοντά στην κορυφή H.

Για τη μελέτη των παλαιοπεριβαλλοντικών συνθηκών, που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια της λιγνιτογένεσης του κοιτάσματος, όπως επίσης και για τον προσδιορισμό των παραγόντων, που λειτούργησαν κατά το σχηματισμό των συγκεκριμένων ορυκτών ανθράκων, εκτός από τα προαναφερθέντα τριγωνικά διαγράμματα, υπολογίστηκαν και διάφοροι δείκτες,

που χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη μελέτη των λιγνιτικών κοιτασμάτων και στηρίζονται στις περιεκτικότητες των λιγνιτικών δειγμάτων σε macerals. Οι συγκεκριμένοι δείκτες έχουν προταθεί κατά καιρούς από πλήθος ερευνητών (Calder et al., 1991, Kaulkreuth et al., 1991b, Diessel, 1992, Calder, 1993, Markic and Sachsenhofer, 1997) και είναι οι εξής:

- I) Δείκτης Διατήρησης Ιστών [Tissue Preservation Index (TPI)]
- II) Δείκτης Ζελατινοποίησης [Gelification Index (GI)]
- III) Δείκτης Υδροφορίας [Groundwater Influence Index (GWI)]
- IV) Δείκτης Βλάστησης [Vegetation Index (VI)]

Πίνακας 6.3.3: Δείκτες TPI και GI, όπως ορίστηκαν από διάφορους ερευνητές.

$\mathbf{TPI} = \frac{\text{Τεξτινίτης + Ουλμινίτης+ Φουσινίτης}}{\text{Ντενζινίτης + Μακρινίτης +Ινερτοδετρινίτης}}$	κατά Diessel (1986)
$\mathbf{TPI} = \frac{\text{Τελοχουμινίτης + Κορποχουμινίτης (in situ) + Φουσινίτης + Ημιφουσινίτης}}{\text{Αττρινίτης + Ντενζινίτης + Γελινίτης + Μακρινίτης}}$	κατά Kaulkreuth (1991b)
$\mathbf{TPI} = \frac{\text{Τελοχουμινίτης + Κορποχουμινίτης + Φουσινίτης}}{\text{Αττρινίτης + Ντενζινίτης + Μακρινίτης}}$	κατά Markic and Sachsenhofer (1997)
$\mathbf{TPI} = \frac{\text{Τελοχουμινίτης + Κορποχουμινίτης + Φουσινίτης}}{\text{Αττρινίτης + Ντενζινίτης + Γελινίτης + Ινερτοδετρινίτης}}$	κατά Καλαϊτζίδης κ.ά (2000)
$\mathbf{GI} = \frac{\text{Χουμινίτης + Μακρινίτης}}{\text{Φουσινίτης + Ινερτοδετρινίτης}}$	κατά Diessel (1986)
$\mathbf{GI} = \frac{\text{Χουμινίτης (εκτός από τεξτο-ουλμινίτη και χουμοδετρινίτη) + Μακρινίτης}}{\text{Ημιφουσινίτης + Φουσινίτης + Ινερτοδετρινίτης + Τεξτο-ουλμινίτης + Αττρινίτης + Ντενζινίτης}}$	κατά Kaulkreuth (1991b)
$\mathbf{GI} = \frac{\text{Ουλμινίτης +Κόρποχουμινίτης + Ντενζινίτης + Μακρινίτης}}{\text{Φουσινίτης + Ινερτοδετρινίτης + Τεξτινίτης + Αττρινίτης}}$	κατά Markic and Sachsenhofer (1997)
$\mathbf{GI} = \frac{\text{Ουλμινίτης +Κόρποχουμινίτης + Ντενζινίτης+ Γελινίτης}}{\text{Ινερτινίτης + Τεξτινίτης + Αττρινίτης}}$	κατά Καλαϊτζίδης κ.ά (2000)

Οι δείκτες TPI και GI προτάθηκαν αρχικά από τον Diessel (1986) (Πίν. 6.3.3) για ωριμότερους γαιάνθρακες και στη συνέχεια τροποποιήθηκαν για λιγνιτικά δείγματα από τους Kaulkreuth et al. (1991b), Markic and Sachsenhofer (1997) και Καλαϊτζίδης κ.ά. (2000) (Πίν. 6.3.3), ενώ οι δύο άλλοι δείκτες, GWI και VI, προτάθηκαν από τους Calder et al. (1991). Στη

συγκεκριμένη εργασία οι παραπάνω δείκτες (TPI, GI, GWI και VI) χρησιμοποιήθηκαν για τους λιγνίτη της Αχλάδας με βάση την τροποποιημένη μορφή τους, όπως αυτή ορίστηκε από τους Καλαϊτζίδης κ.ά. (2000).

Δείκτης Διατήρησης Ιστών (TPI)

Ο δείκτης TPI συνιστά το μέτρο του βαθμού διατήρησης φυτικών ιστών και παράλληλα αποτελεί ένδειξη για το ποσοστό συμμετοχής φυτικής ύλης, που προέρχεται από δενδρώδη βλάστηση, στο σχηματισμού τύρφης (Diessel, 1992). Ο συγκεκριμένος δείκτης υπολογίζεται με βάση την εξίσωση:

$$\mathbf{TPI} = \frac{\mathbf{Τελοχουμινίτης + Κορποχουμινίτης + Φουσινίτης}}{\mathbf{Αττρινίτης + Ντενζινίτης + Γελινίτης + Ινερτοδετρινίτης}}$$

Υψηλές τιμές του δείκτη διατήρησης ιστών (TPI), οι οποίες οφείλονται σε υψηλά ποσοστά τελοχουμινίτη και όχι φουσινίτη (αποδόμηση λόγω έντονης οξείδωσης), υποδηλώνουν επικράτηση δενδρώδους βλάστησης ή συνθήκες, που ευνοούν την καλή διατήρηση των κυτταρικών ιστών (Lamberson et al., 1991, Markic and Sachsenhofer, 1997). Το συμπέρασμα για επικράτηση δενδρώδους βλάστησης στηρίζεται στην παρατήρηση ότι, όταν η αρχική φυτική ύλη είναι ξυλώδης, αυτή είναι εμπλουτισμένη σε λιγνίνη, μία πολυφαινολική ουσία, η οποία σχηματίζει ένα δίκτυο γύρω από τις κυτταρικές ίνες σε ώριμα ξυλιτικά μέρη και η οποία είναι αρκετά ανθεκτική στην αποδόμηση (Killops and Killops, 1993). Ας σημειωθεί ότι η διατήρηση των φυτικών ιστών, ακόμη και όταν πρόκειται για ξυλώδη αρχική φυτική ύλη, είναι συνάρτηση τόσο του χρόνου παραμονής της ύλης μέσα στο τυρφογενές στρώμα, όσο και του ρυθμού βύθισης του υποστρώματος του τυρφώνα. Χαμηλός ρυθμός βύθισης συνεπάγεται μακρόχρονη παραμονή της αρχικής ύλης στο τυρφογενετικό στρώμα και άρα μεγαλύτερη αποδόμηση των κυτταρικών ιστών (Diessel, 1992).

Αντίθετα, χαμηλές τιμές του TPI φανερώνουν ποώδη βλάστηση, δεδομένου ότι κύρια συστατικά των ποωδών φυτών συνιστούν η κυτταρίνη και η ημικυτταρίνη (η οποία σχηματίζει θεμελιώδη μάζα γύρω από την κυτταρίνη στα φυτικά κυτταρικά τοιχώματα). Οι δύο αυτές ενώσεις δεν είναι πολύ σταθερές και δε μπορούν να διατηρηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά τον θάνατο των φυτών (Killops and Killops, 1993). Εξαίρεση αποτελούν περιβάλλοντα με πολύ χαμηλές τιμές pH και Eh, καθώς οι συνθήκες αυτές εμποδίζουν τη γρήγορη αποδόμηση των δύο παραπάνω ενώσεων (Russel and Barron, 1984). Επίσης ο υψηλός βαθμός αποδόμησης συνδέεται άμεσα, όπως και στην περίπτωση των υψηλών τιμών του TPI, με το χαμηλό ρυθμό βύθισης του υποστρώματος του τυρφώνα

(Diessel, 1992). Παρακάτω περιγράφονται οι τιμές που εμφανίζει ο συγκεκριμένος δείκτης και ο συσχετισμός τους με τις τιμές που εμφανίζει ο δείκτης ζελατινοποίησης (GI).

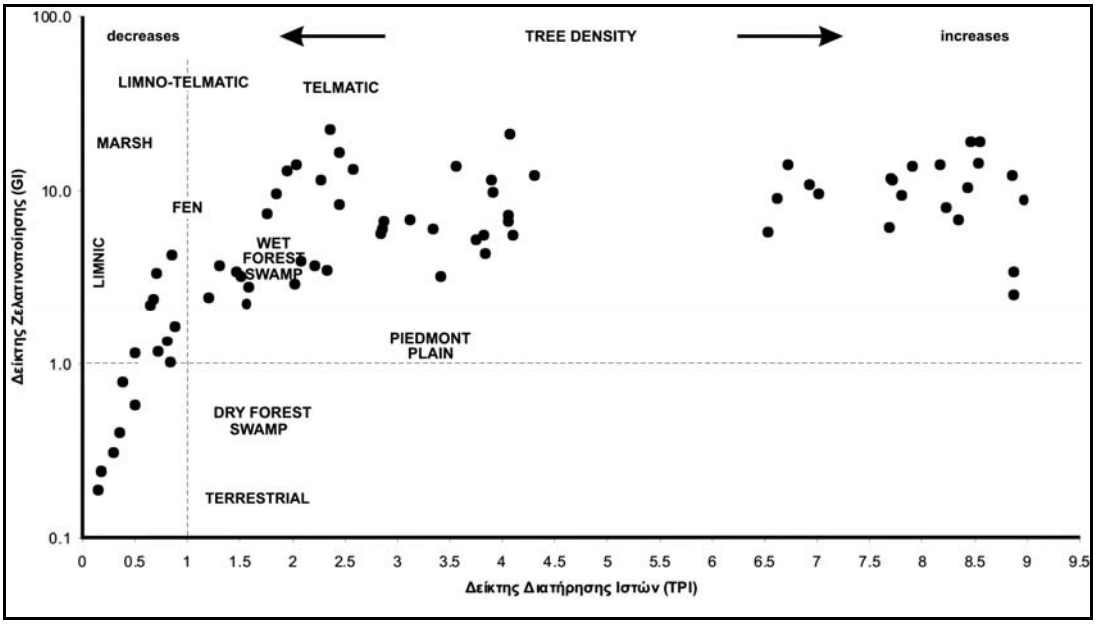
Δείκτης Ζελατινοποίησης (GI)

Ο δείκτης GI συνιστά το μέτρο της υγρασίας του παλαιοτυρφώνα και υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\mathbf{GI} = \frac{\mathbf{Ουλμινίτης + Κορποχουμινίτης + Ντενζινίτης + Γελινίτης}}{\mathbf{Ινερτινίτης + Τεξτινίτης + Αττρινίτης}}$$

Χαμηλές ή υψηλές τιμές του δείκτη GI υποδηλώνουν λιγότερο ή περισσότερο υγρές συνθήκες κατά την τυρφογένεση. Επίσης οι χαμηλές τιμές μπορεί να αποτελούν ένδειξη οξειδωτικών συνθηκών (Lamberson et al., 1991).

Προβάλλοντας τις τιμές των δεικτών TPI και GI στο διάγραμμα του Diessel (Σχ. 6.3.5), για το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας, παρατηρείται μεγάλη διακύμανση στις τιμές του TPI, φανερώνοντας ότι κατά τη διάρκεια σχηματισμού του συγκεκριμένου λιγνιτικού κοιτάσματος ο τύπος βλάστησης που επικρατούσε στον παλαιοτυρφώνα, εναλλασσόταν από ποώδη σε δενδρώδη και αντίστροφα. Επίσης μέσω των διαφορών στις τιμές του TPI υποδηλώνεται η μεταβολή των συνθηκών, που ευνοούν ή όχι τη διατήρηση των κυτταρικών ιστών. Από το ίδιο διάγραμμα (Σχ. 6.3.5) φαίνεται, ότι οι περισσότεροι λιγνιτικοί ορίζοντες εμφανίζουν υψηλές τιμές (>1) και για τους δύο αυτούς δείκτες, γεγονός το οποίο φανερώνει περιορισμένη προσφορά οξυγόνου και μικρό βαθμό αποδόμησης, ενώ η ζελατινοποίηση των ιστών είναι έντονη (Lamberson et al., 1991, Diessel, 1992).



Σχήμα 6.3.5: Προβολή των τιμών TPI και GI των λιγνιτικών δειγμάτων του κοιτάσματος Αχλάδας στο διάγραμμα Diessel (1992), τροποποιημένο από Καλαϊτζίδης κ.ά. (2000).

Παρατηρώντας τα πεδία του Σχήματος 6.3.5 φαίνεται ότι η ομάδα των λιγνιτικών δειγμάτων, που εμφανίζει καλύτερη διατήρηση ιστών και καλύτερη ζελατινοποίηση, είναι η ίδια με αυτή της οποίας οι λιγνίτη σχηματίστηκαν μακριά από τις όχθες της λίμνης. Λαμβάνοντας υπόψη και τον παράγοντα "ρυθμός βύθισης του υποστρώματος του τυρφώνα" θα πρέπει οι συγκεκριμένοι λιγνιτικοί ορίζοντες να σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια περιόδων, κατά τις οποίες ο ρυθμός βύθισης ήταν υψηλός (μικρή παραμονή του υλικού στο τυρφογενές στρώμα) και το φυτικό υλικό που τροφοδοτούσε τον τυρφώνα, να παρουσίαζε υψηλό ποσοστό λιγνίνης στους κυτταρικούς ιστούς (ξυλώδες υλικό). Το τελευταίο επιβεβαιώνεται επίσης από τη μακροσκοπική εικόνα των δειγμάτων (αμιγώς ξυλώδες υλικό) και το χαρακτηρισμό τους ως ξυλίτη. Ακόμη η καλή ζελατινοποίηση που παρουσιάζουν αυτοί οι λιγνίτη υποδηλώνει, ότι η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρισκόταν σε τέτοιο επίπεδο, ώστε να διατηρούνται αρκετά υγρές συνθήκες, οι οποίες ευνοούν την παραπάνω διαδικασία. Αυτό μπορούσε να επιτευχθεί ή με την αύξηση του ρυθμού απόθεσης τύρφης και σταθερούς υδρολογικούς παράγοντες ή αντίστροφα. Στο ίδιο διάγραμμα (Σχ. 6.3.5) διακρίνονται δύο διαφορετικές ομάδες λιγνιτικών δειγμάτων, που παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλές τιμές TPI. Η πρώτη ομάδα εμφανίζει τιμές μεταξύ 2,8 και 4,3 και η δεύτερη μεταξύ 6,5 και 8,9. Δεδομένου ότι τα δείγματα, που ανήκουν στα δύο αυτά πεδία, ταξινομούνται με βάση τα μακροσκοπικά τους χαρακτηριστικά στους ξυλίτες και σύμφωνα με τα παραπάνω, η μειωμένη τιμή του TPI της μιας ομάδας σε σχέση με την άλλη, θα οφείλεται στο μεγαλύτερο χρόνο παραμονής του υλικού μέσα στο τυρφογενετικό στρώμα.

Αντίθετα η ομάδα των λιγνιτικών δειγμάτων, που παρουσιάζει κακή διατήρηση ιστών (πολύ μικρή τιμή TPI) και καλή ή ατελή ζελατινοποίηση (μεγάλες και μικρές τιμές GI αντίστοιχα) (Σχ. 6.3.5), είναι η ίδια με αυτήν της οποίας οι λιγνίτη σχηματίστηκαν πιο κοντά στις όχθες της λίμνης. Οι τιμές των δύο παραπάνω δεικτών υποδηλώνουν έντονη ζελατινοποίηση και έντονη αποδόμηση κάτω από αναερόβιες ή περιορισμένα αερόβιες συνθήκες (Lamberson et al., 1991, Diessel, 1992). Επίσης σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση (υψηλές τιμές και των δύο δεικτών), ο ρυθμός βύθισης του υποστρώματος του παλαιοτυρφώνα θα πρέπει να είναι αργός, έτσι ώστε το φυτικό υλικό να παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα μέσα στο τυρφογενές στρώμα, ενώ παράλληλα αυτό θα πρέπει να προέρχεται από ποώδη βλάστηση με υψηλό ποσοστό κυτταρίνης (ταχεία αποδόμηση). Η διαφοροποίηση των τιμών του GI υποδηλώνει την επικράτηση λιγότερο ή περισσότερο υγρών συνθηκών, ως αποτέλεσμα της μεταβολής της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα ως προς την επιφάνεια του τυρφώνα.

Σχετικά με το δείκτη ζελατινοποίησης (GI) η Dehmer (1989) σημείωσε, ότι ο GI είναι

ενδεικτικός του pH, αφού η μικροβιακή δράση (που ευνοεί τη ζελατινοποίηση) απαιτεί χαμηλή οξύτητα, ενώ παράλληλα αναμένεται και θετική συσχέτιση μεταξύ θείου και βαθμού ζελατινοποίησης. Δεδομένου ότι οι συνθήκες pH ελέγχουν τόσο την αναγωγή των θειικών από τα θειο-βακτηρίδια, όσο και τη βακτηριδιακή αποδόμηση των φυτικών υπολειμμάτων (Markic and Sachsenhofer, 1987), η περιεκτικότητα του S στους ορυκτούς άνθρακες επηρεάζεται από την οξύτητα, καθώς και από την περιεκτικότητα του νερού του τυρφώνα σε θειικά ιόντα (Casagrande, 1987).

Σύμφωνα με τους Berner et al. (1979), η παρουσία βοτρυοειδούς σιδηροπυρίτη, είναι ενδεικτική υψηλών τιμών pH. Επίσης σε περιβάλλοντα πλούσια σε ασβεστοϊόντα (επιφανειακή απορροή πλούσιων σε ασβεστοϊόντα νερών στον παλαιοτυρφώνα ή διάσπαση των ανθρακικών ορυκτών), οι υψηλές τιμές θείου υποδηλώνουν ελαφρώς αλκαλικό pH. Σύμφωνα με τους Love et al. (1983) και Casagrande et al. (1987), οι τιμές του ολικού θείου των γαιανθράκων ελέγχονται από την αναγωγή των θειϊκών ιόντων από θειο-βακτηρίδια οδηγώντας στο σχηματισμό H_2S, το οποίο αντιδρά με ιόντα κυρίως σιδήρου και δίνει σιδηροπυρίτη. Για τη διαδικασία αυτή απαιτείται συγκεκριμένο pH, αναερόβιες συνθήκες και διαθεσιμότητα ιόντων σιδήρου στον παλαιοτυρφώνα (Jimenez et al., 1999). Όμως παρά το γεγονός ότι τα λιγνιτικά δείγματα της Αχλάδας εμφανίζουν υψηλά ποσοστά σιδήρου, η περιεκτικότητά τους σε σιδηροπυρίτη, που διαπιστώθηκε κατά την ανθρακοπετρογραφική ανάλυση είναι χαμηλή (μέση περιεκτικότητα 3,2%), γεγονός που αποδίδεται στην παρουσία του σιδηρίτη (Κεφ. 6.4), ο οποίος μειώνει τη διαθεσιμότητα του σιδήρου και περιορίζει την αντίδραση αυτού με το παραγόμενο υδρόθειο εμποδίζοντας το σχηματισμό σιδηροπυρίτη.

Με βάση τη θετική συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης του S και του GI στους λιγνίτη της Αχλάδας συμπεραίνεται, ότι η ζελατινοποίηση ελέγχεται τόσο από την επικράτηση υγρών συνθηκών, όσο και από το pH.

Τέλος σύμφωνα με τους Liu et al. (2001), οι ορυκτοί άνθρακες ταξινομούνται με βάση την περιεκτικότητά τους σε S ως:

- Χαμηλής περιεκτικότητας (<1%)
- Μέσης περιεκτικότητας (1-3%)
- Υψηλής περιεκτικότητας (>3%)

Οι υψηλές τιμές συγκέντρωσης S (μέση ποσοστιαία συμμετοχή 3,9%), που έχουν τα δείγματα λιγνίτη του συγκεκριμένου κοιτάσματος (βλ. Κεφ. 6.2), κατατάσσουν το συγκεκριμένο λιγνίτη ως μέσης ή υψηλής περιεκτικότητας σε θείο γαιάνθρακα και υποδηλώνουν αλκαλικό pH κατά τη γένεση του.

Γενικά από την προβολή των τιμών των λόγων TPI και GI (Σχ. 6.3.5) φαίνεται, ότι ο λιγνίτης που εξετάζεται σχηματίστηκαν σε τρία διαφορετικά περιβάλλοντα [υγρός δασοτυρφώνας (wet forest swamp), λιμναίο (limnic) και πεδίο κατάκλυσης (piedmont plain)], τα οποία εναλλάσσονταν μεταξύ τους. Η ταυτόχρονη μείωση των τιμών των δύο παραπάνω δεικτών αντικατοπτρίζει την περιοδική μεταβολή από υγρό δασοτυρφώνα σε λιμναίο περιβάλλον, ενώ οι υψηλές τιμές TPI (>3,5) υποδηλώνουν την ύπαρξη περιβάλλοντος πεδίου κατάκλυσης. Η εμφάνιση μεγάλων ξυλιτικών σωμάτων μέσα στη λιγνιτική μάζα σε διάφορες θέσεις, σε συνδυασμό με περιβάλλον πεδίου κατάκλυσης, υποστηρίζει την υπόθεση για την ύπαρξη πολλών ανεξάρτητων συστάδων δέντρων σε μια περιοχή, η οποία κατά περιόδους κατακλυζόταν από νερά δημιουργώντας έτσι ένα ενιαίο τέλμα.

Γενικά η δημιουργία τελμάτων σε πεδία πλημμύρας ποταμών και χειμάρρων με περιορισμένη αποστράγγιση οφείλεται είτε στη μεταφορά υδάτινης μάζας από γειτονικά ποτάμια είτε στην αύξηση της στάθμης του νερού του ποταμού, η οποία βοηθά στην συγκέντρωση νερών (Giller and Wheeler, 1986).

Το συγκεκριμένο περιβάλλον πεδίου κατάκλυσης σε σύγκριση με το περιβάλλον υγρού δασοτυρφώνα πιθανά να σημαίνει ότι σε μικρά ανεξάρτητα τμήματα του πρώτου, στα οποία μεγάλωναν κοινωνίες δέντρων, περιοδικά συνέβαιναν πλημμυρικά γεγονότα (κυρίως από πλημμύρες του κύριου ποτάμιου συστήματος της ευρύτερης περιοχής, αλλά και λόγω της συμβολής των παραποτάμων από τα γύρω βουνά) μετατρέποντας το σε υγρό δασοτυρφώνα. Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας ήταν να δημιουργηθεί ένα τελματικό πεδίο, στο οποίο, όπως φανερώνεται από τα παλαιοβοτανικά στοιχεία που αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο, αναπτύχθηκε ένας συνδυασμός δασώδους και ποώδους βλάστησης. Για το ίδιο κοίτασμα οι Antoniadis et al. (2001) υποστήριξαν την ύπαρξη τελματικού περιβάλλοντος, κύρια κάτω από μεσοτροφικές έως ρεοτροφικές υδρολογικές συνθήκες. Τέλος η εμφάνιση δύο διαφορετικών ομάδων λιγνίτη στο ίδιο περιβάλλον (πεδίο κατάκλυσης), όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οφείλεται στην όσο το δυνατόν καλύτερη διατήρηση των φυτικών ιστών, ως αποτέλεσμα του ρυθμού βύθισης του υποστρώματος του τυρφώνα.

Δείκτης Υδροφορίας (GWI)

Οι Calder et al. (1991) και Calder (1993), πρότειναν έναν ακόμη δείκτη για τον προσδιορισμό των παλαιοπεριβαλλοντικών συνθηκών σχηματισμού των ορυκτών ανθράκων, ο οποίος ονομάστηκε Δείκτης Υδροφορίας (GWI) και συνιστά μέτρο των συνθηκών υγρασίας και τροφοδοσίας σε θρεπτικά συστατικά. Ο δείκτης GWI παρουσιάζει ευρεία εφαρμογή στη μελέτη του σχηματισμού λιγνιτικών κοιτασμάτων με μια ελαφρώς τροποποιημένη μορφή (η

πρώτη εφαρμογή αναφερόταν σε λιθάνθρακες Λιθανθρακοφόρου ηλικίας), έτσι ώστε να αποτελεί μέτρο υγρών συνθηκών σε άμεση σχέση με την εισροή νερών στον τυρφώνα.

Ο συγκεκριμένος δείκτης υπολογίζεται με βάση την εξίσωση:

$$GWI = \frac{\text{Ντενζινίτης} + \text{Γελοχουμινίτης} + \text{Ορυκτά}}{\text{Τελοχουμινίτης} + \text{Αττρινίτης}}$$

Δείκτης Βλάστησης (VI)

Σε αντιστοιχία με το δείκτη διατήρησης ιστών (TPI) ορίστηκε και ο δείκτης βλάστησης, ο οποίος αποτελεί μέτρο του βαθμού χουμοποίησης του αρχικού υλικού που συσσωρεύεται στον παλαιοτυρφώνα, ενώ παράλληλα μπορεί να εξαρτάται και από το είδος των τυρφογενετικών φυτών. Επίσης ο VI αποτελεί και δείκτη της θέσης σχηματισμού του λιγνίτη σε σχέση με την όχθη της λίμνης, δεδομένου ότι τα macerals που εμφανίζονται στον αριθμητή σχετίζονται με περιβάλλον λιγότερο υγρό και περισσότερο απομακρυσμένο από την όχθη της λίμνης (Calder et al., 1991, Kalkreuth et al., 1991b, Calder, 1993).

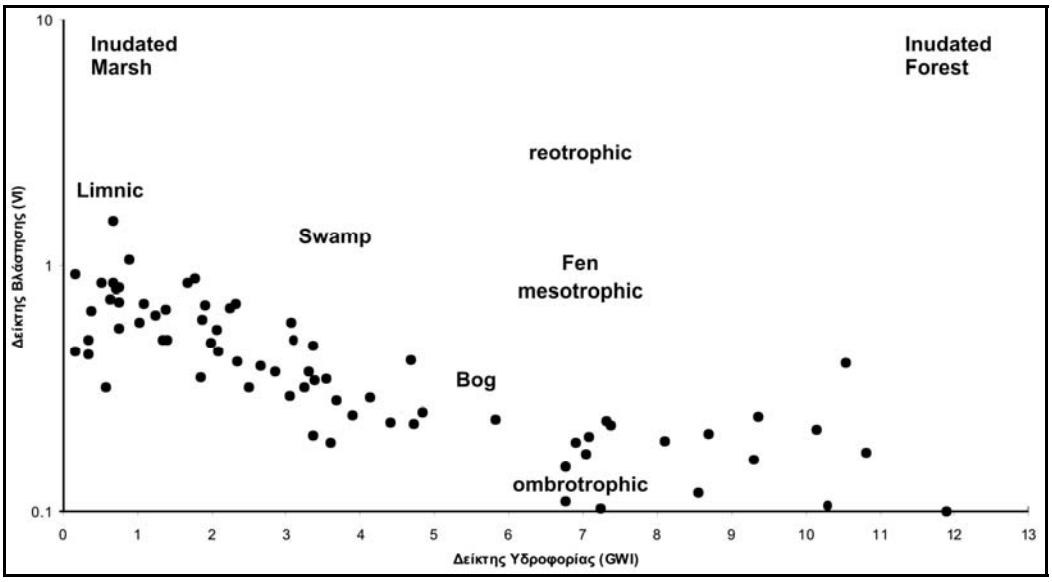
Ο Δείκτης Βλάστησης (VI) υπολογίζεται με βάση την εξίσωση:

$$VI = \frac{\text{Τελοχουμινίτης} + \text{Φουσινίτης} + \text{Ημιφουσινίτης} + \text{λοιποί Λειπτινίτες}}{\text{Δετροχουμινίτης} + \text{Ινερτοδετρινίτης} + \text{Αλγινίτης} + \text{Λειπτοδετρινίτης}}$$

Προβάλλοντας τις τιμές των δεικτών GWI και VI στο διάγραμμα των Calder et al. (1991) (Σχ. 6.3.6) για το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας, παρατηρούνται σχετικά χαμηλές τιμές του δείκτη υδροφορίας και μεγάλη διακύμανση των τιμών του δείκτη βλάστησης. Από το διάγραμμα προβολής των τιμών των δύο παραπάνω δεικτών (Σχ. 6.3.6), εξάγονται πληροφορίες ανάλογες με αυτές από το τριγωνικό διάγραμμα (DEF) του Σχήματος 6.3.3, δεδομένου ότι για τιμές VI>1 ο σχηματισμός λιγνίτη συντελέστηκε μακριά από την όχθη της λίμνης, ενώ αντίθετα για τιμές VI<1 η λιγνιτογένεση έλαβε χώρα σε μικρότερη απόσταση. Επίσης οι πολύ υψηλές τιμές του δείκτη βλάστησης πιθανά να υποδηλώνουν (σε αναλογία με τον TPI) υψηλή περιεκτικότητα του αρχικού τυρφογενετικού υλικού σε λιγνίνη ή και μεγαλύτερο ρυθμό βύθισης του υποστρώματος του τυρφώνα.

Στην περίπτωση που οι πολύ μικρές τιμές του δείκτη GWI οφείλονται στο υψηλό ποσοστό συμμετοχής του *ουλμινίτη*, οι συνθήκες χαρακτηρίζονται αρκετά υγρές με αποτέλεσμα να ευνοείται η ζελατινοποίηση των κυτταρικών ιστών (Παπαζησίμου, 2003). Σε τέτοιες συνθήκες έχουν σχηματιστεί λιγνίτη, των οποίων η απόσταση από την όχθη της λίμνης είναι αυξημένη. Η παραπάνω άποψη ενισχύεται ακόμη περισσότερο για τους συγκεκριμένους λιγνίτη, αν συνυπολογιστούν δύο ακόμη παράγοντες. Πρώτον ότι οι πολύ

χαμηλές τιμές του GWI συνοδεύονται από αρκετά υψηλές τιμές του VI και δεύτερον, ότι από τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά αποκαλύπτεται δενδρώδης (ξυλίτης) και μικτή δενδρώδης ποώδης προέλευση του τυρφογενετικού υλικού.



Σχήμα 6.3.6: Προβολή των τιμών GWI και VI του λιγνίτη του κοιτάσματος Αχλάδας στο διάγραμμα Calder et al. (1991), τροποποιημένο.

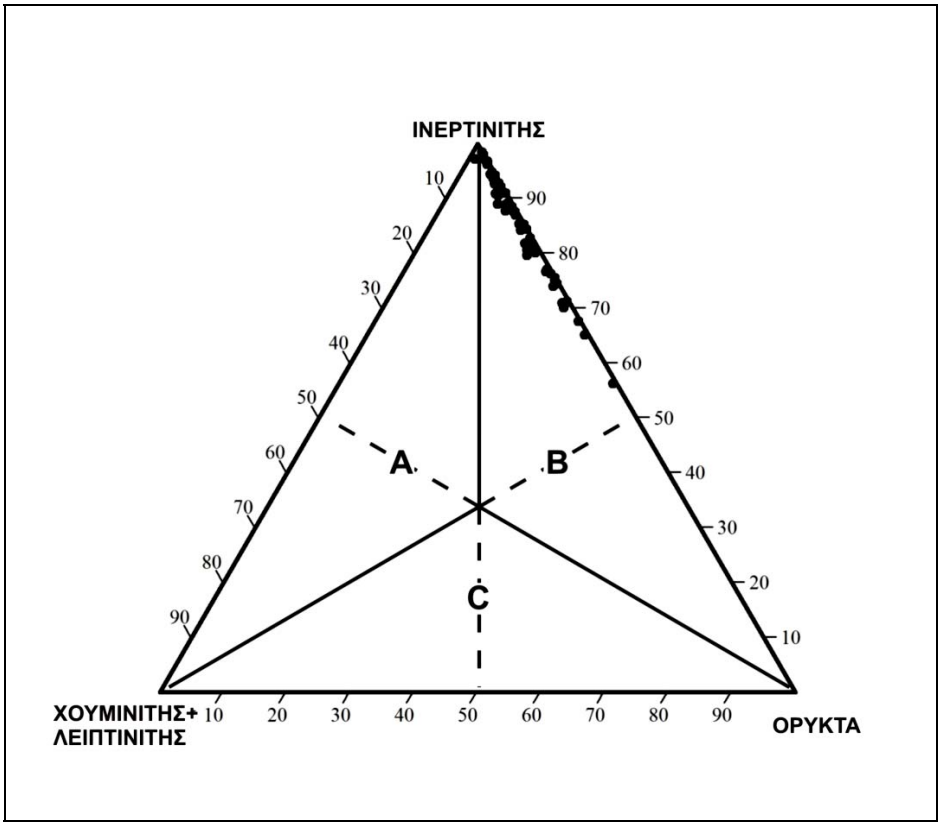
Τα περισσότερα ορυκτά που βρίσκονται στα λιγνιτικά στρώματα είναι κλαστικής προέλευσης και εισέρχονται στον τυρφώνα σε περιόδους, κατά τις οποίες η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι υψηλή, ενώ ένα μικρό μόνο μέρος αυτών προέρχεται από διαγενετικό και βιογενή σχηματισμό. Έτσι η συγκέντρωση των ορυκτών συνυπολογίζεται στον αριθμητή του λόγου, που ορίζει το δείκτη υδροφορίας του Calder et al. (1991) και Calder (1993).

Το σχετικά υψηλό ποσοστό βοτρυοειδούς σιδηροπυρίτη πιθανά προβληματίζει για τη χρήση του διαγράμματος (Σχ. 6.3.6) με το οποίο προσδιορίστηκαν οι υδρολογικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά τον σχηματισμό του κοιτάσματος. Όμως στους συγκεκριμένους λιγνίτη προσδιορίστηκαν αρκετά υψηλές τιμές τέφρας (μέση τιμή 30,6%). Ας σημειωθεί, ότι υψηλές τιμές τέφρας υποδηλώνουν ρεοτροφικό περιβάλλον απόθεσης (Moore, 1987).

Επίσης η διακύμανση των τιμών τέφρας σε έναν τυρφώνα συνδέεται άμεσα με το ποσοστό των θρεπτικών συστατικών, τα οποία εισέρχονται σε αυτόν λόγω επιφανειακών απορροών από τα γύρω υψηλά τοπογραφικά. Τέλος πρέπει να αναφερθεί, ότι οι χαμηλές τιμές GWI που παρατηρούνται στο διάγραμμα (Σχ. 6.3.6) σχετίζονται και με το γεγονός ότι στον παρονομαστή του λόγου που ορίζει το δείκτη υδροφορίας συμπεριλαμβάνεται και ο *ουλμινίτης Β*, ο οποίος στα συγκεκριμένα δείγματα που μελετήθηκαν εμφανίζεται αρκετά

ζελατινοποιημένος και πιθανά θα έπρεπε να συμπεριληφθεί στον αριθμητή του ίδιου λόγου (λόγω του ορισμού του δείκτη υδροφορίας από τους Calder et al., 1991, Calder, 1993).

Ένα ακόμη τριγωνικό διάγραμμα φάσεων προτάθηκε από τους Singh and Singh (2000) για τον προσδιορισμό των συνθηκών απόθεσης σε τυρφογενετικά πεδία. Τις τρεις κορυφές του συγκεκριμένου διαγράμματος συνιστούν τα ποσοστά συμμετοχής των κύριων ομάδων macerals και των ορυκτών, που προσδιορίστηκαν στο μικροσκόπιο (Σχ 6.3.7). Από την προβολή των αποτελεσμάτων στο τριγωνικό διάγραμμα (Σχ. 6.3.7) προκύπτει ότι το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας σχηματίστηκε σε τυρφώνα, όπου επικρατούσαν υγρές συνθήκες και κάτω από την επίδραση ασυνεχών πλημμυρικών επεισοδίων μέτριας έως υψηλής ενέργειας.



Σχήμα. 6.3.7: Τριγωνικό διάγραμμα συνθηκών απόθεσης του λιγνίτη του κοιτάσματος Αχλάδας (Singh and Singh, 2000).

6.4 ΠΑΛΑΙΟΒΟΤΑΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

6.4.1 Γενικά

Στους ορυκτούς άνθρακες τα φυτικά απολιθώματα προέρχονται κύρια από τεμάχη κορμών και κλαδιών, φύλλα, σπέρματα, γύρη και πυρήνες καρπών από τα πιο αναπτυγμένα φυτά καθώς και φύκη. Τα φυτικά αυτά απολιθώματα ταξινομούνται κατά κύριο λόγο με βάση τη σημερινή ισχύουσα "Συστηματική βοτανική", ή στην περίπτωση που τα συγκεκριμένα φυτά δεν υπάρχουν σήμερα, θεωρείται ότι αυτά έχουν εξαφανισθεί. Καλά διατηρημένα φυτικά απολιθώματα αποτελούν οι ενανθρακωμένοι ιστοί και τα ενανθρακωμένα κύτταρα, ή ακόμη καλύτερα, τα ξυλώδη κύτταρα, οι κουτίκουλες και τα τεμάχη φλοιού σπερμάτων και γύρεως. Για μια εμπεριστατωμένη παλαιοβοτανική μελέτη σημαντική είναι η συμμετοχή της παλυνολογίας που μελετά, προσδιορίζει και αναλύει τους κόκκους της γύρης, οι οποίοι συνιστούν ανθεκτικά και επομένως καλά διατηρημένα στοιχεία.

Γενικότερα, κατά την προσπάθεια αναπαράστασης του παλαιοπεριβάλλοντος και των συνθηκών που κυριαρχούσαν κατά το σχηματισμό των κοιτασμάτων ορυκτών ανθράκων πολύ μεγάλη σημασία δίνεται στη μελέτη της γύρης, δεδομένου ότι αυτή απαντάται σε μεγάλα ποσοστά μέσα στα μελετώμενα ιζήματα. Γενικά, οι γυρεόκοκκοι μεταφέρονται και εξαπλώνονται πολύ εύκολα με την επίδραση του ανέμου και του νερού, παρόλ' αυτά όμως, ο πολύ μεγάλος αριθμός τους μέσα στα ιζήματα σε συνδυασμό με τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έχει ως αποτέλεσμα να εξάγονται πολύ σημαντικά παλαιοβοτανικά στοιχεία. Επίσης για τον ίδιο σκοπό ιδιαίτερη αξία έχει η μελέτη των σπερμάτων και καρπών, που φιλοξενούνται μέσα στα ιζήματα. Σε αντίθεση με τη γύρη, τα σπέρματα και οι καρποί παραμένουν επί τόπου, αλλά απαντώνται σε πολύ μικρότερα ποσοστά. Από τη μελέτη τόσο των γυρεόκοκκων όσο και των σπερμάτων και καρπών εξάγονται συμπεράσματα για το είδος και την έκταση του φυτικού καλύμματος, τα είδη των φυτών που κυριαρχούσαν, τις φυτοκοινωνίες και γενικά την παλαιοοικολογία από πλευράς χλωρίδας, όπως επίσης εξάγονται και συμπεράσματα που αφορούν στο κλίμα που επικρατούσε κατά την περίοδο σχηματισμού των υπό μελέτη ορυκτών ανθράκων. Τέλος η παλυνολογία και η παλαιοκαρπολογία βοηθούν στον παραλληλισμό των κοιτασμάτων, ίδιας ή διαφορετικής ηλικίας, από διπλανές ή και πολύ απομακρυσμένες περιοχές.

Οι Antoniadis et al. (2004) μελέτησαν από παλαιοκαρπολογική άποψη κυρίως τα ενδιάμεσα ανόργανα ιζήματα, αλλά και οργανικά στρώματα του λιγνιτικού κοιτάσματος του Κλειδιού (λίγα μόλις χιλιόμετρα ΑΝΑ της Αχλάδας) και προσδιόρισαν τη βλάστηση που επικρατούσε στην ευρύτερη περιοχή κατά τα στάδια σχηματισμού και εξέλιξης του παλαιοτυρφώνα. Σχετικά με το κλίμα, το οποίο επικρατούσε κατά τη διάρκεια σχηματισμού

του κοιτάσματος, λόγω του μικρού αριθμού των ευρημάτων δεν κατέστη δυνατή η λεπτομερής απεικόνισή του και αναφέρουν ότι πρόκειται για τυπικές κλιματικές συνθήκες εύκρατου κυρίως κλίματος, που απαντώνται κατά το Νεογενές, τουλάχιστον σε αυτήν την περιοχή.

Σύμφωνα με την αρχή της ομοιομορφίας, οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στον παρόντα χρόνο, είτε πάνω στη Γη είτε μέσα σε αυτή, είναι όμοιες μ' αυτές που γίνονταν στο παρελθόν και όμοιες με αυτές που θα γίνουν στο μέλλον. Έτσι με τη βοήθεια της σημερινής γνώσης σχετικά με τις συνθήκες εξάπλωσης των διαφόρων τύπων βλάστησης, τα φυτικά υπολείμματα που βρέθηκαν στα ανόργανα και οργανικά στρώματα του κοιτάσματος του Κλειδιού, ταξινομήθηκαν σύμφωνα με το παλαιοπεριβάλλον, στο οποίο ευδοκίμησαν. Τα κύρια χαρακτηριστικά της εν λόγω βλάστησης συνοψίζονται παρακάτω:

- Ανοικτά νερά: *Potamogeton, Eoeuryale, Batrachium,* ψάρια, γαστερόποδα
- Καλαμώνας: Umbelliferae, *Typha,* Cyperaceae
- Έλος: *Glyptostrobus europaeus, Myrica, Decodon,*
- Δάσος μεικτής δενδρώδους βλάστησης: *Cornus, Phellodendron, Carpinus*
- Μύκητες: *Cenococcum*

Αναφορικά με το κοίτασμα της Αχλάδας, τα παλαιοβοτανικά ευρήματα χαρακτηρίζονται τόσο από την αρκετά περιορισμένη συμμετοχή τους (ιδιαίτερα χαμηλά ποσοστά σπόρων, καρπών και γυρεόκοκκων, σε σχέση με άλλα αντίστοιχα κοιτάσματα), όσο και από την αλλοιωμένη εμφάνιση των χαρακτηριστικών τους. Τμήμα του συνόλου των καρπών και σπερμάτων που εντοπίστηκαν στα εξετασθέντα δείγματα, παρουσιάζει έντονα αλλοιωμένα μορφολογικά χαρακτηριστικά, καθιστώντας την ταυτοποίησή τους δύσκολη έως αδύνατη, ενώ παράλληλα παρατηρήθηκε και πλήθος από θραύσματα αυτών. Γενικά η εμφάνιση των άρτια διατηρημένων παλαιοκαρπολογικών ευρημάτων είναι περιορισμένη, αλλά βοηθά σημαντικά λόγω της παρουσίας χαρακτηριστικών καρπών και σπερμάτων (π.χ *Glyptostrobus*) για συγκεκριμένα παλαιοπεριβάλλοντα. Παρόμοια εικόνα εμφανίζουν οι γυρεόκοκκοι που προσδιορίστηκαν (Παρ. V), οι οποίοι συχνά παρουσιάζονται συμπιεσμένοι και με στρογγυλεμένες γωνίες, υποδηλώνοντας μορφολογικές μεταβολές. Όπως οι καρποί και τα σπέρματα έτσι και η γύρη συμμετέχει με μειωμένα ποσοστά, τα οποία όμως είναι ικανά ώστε να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τις παλαιοπεριβαλλοντικές και παλαιοκλιματολογικές συνθήκες σχηματισμού του υπό μελέτη κοιτάσματος.

Η Γυμνόσπερμη δενδρώδης βλάστηση συνίσταται κυρίως από γυρεόκοκκους των Taxodiaceae, *Taxodium*, *Picea*, Pinaceae, *Pinus*, *Abies*, *Cedrus*, *Tsuga*, Cupressaceae και

Juniperus, όπως επίσης και από τα σπέρματα και τους καρπούς των *Glyptostrobus europaeus* και *Glyptostrobus* sp. Αντίστοιχα η Αγγειόσπερμη δενδρώδης βλάστηση αντιπροσωπεύεται από τους γυρεόκοκκους των *Quercus*, *Acer*, Cyrillaceae, *Carea*, Ulmaceae, *Ulmus*, *Juglans*, *Tilia*, *Alnus*, *Myrica*, *Castanea*, *Corylus*, *Carpinus*, *Ostrya*, *Salix*, *Betula*, Betulaceae, Palmae, *Pterocarya* sp. και *Fraxinus*, καθώς και από σπέρματα και καρπούς των *Meliosma pliocenica*, *M. wetteraviensis* και *M.* sp.

Η ποώδης βλάστηση συνίσταται από τους γυρεόκοκκους των Chenopodiaceae, Gramineae, Ericaceae, Compositae, *Ephedra* και Umbelliferae, όπως επίσης και από τα σπέρματα και τους καρπούς των *Batrachium* sp., *Sparganium* sp., *Decodon gibbosus*, sp., *Epipremnites ornatus*, *Actinidia* sp., *Rubus* sp., *Sambucus pulchella*, S. sp.1, S. sp.2, aff. *Symplocos lusaticum* και *Vitis* sp. Οι σπόροι των Πτεριδόφυτων εκπροσωπούνται από τα Polypodiaceae και Osmundaceae, ενώ τα υδρόφιλα φυτά που απαντήθηκαν, συνίστανται από γυρεόκοκκους των Nymphaceae, *Nymphaea neogenicus neogenicus*, *Myriophylum*, *Nuphar*, Cyperaceae και Comaceae, όπως επίσης και από σπέρματα και καρπούς των *Potamogeton* sp., *P.* cf. *piestanensis*, *Taddalia* sp., *Nyssa* sp., και Algae.

Ακόμη από τα παλαιοκαρπολογικά ευρήματα προέκυψε, ότι μέρος της φυτοκοινωνίας που αναπτύχθηκε και οδήγησε στη δημιουργία του συγκεκριμένου κοιτάσματος, συνιστούν οι μύκητες και τα παράσιτα όπως lianas και epiphytes (*Ampelopsis* sp., *Lorantaceae*) (*Cenococcum geophilum, Perithecia, Rosellinites areolatus*).

Στο Σχήμα 6.4.1 παρατίθεται το διάγραμμα των παλυνολογικών φάσεων, που αναγνωρίστηκαν και τα ποσοστά συμμετοχής των γυρεόκοκκων σε κάθε δείγμα που μελετήθηκε.

6.4.2 Αποτελέσματα παλυνολογικών προσδιορισμών

Με βάση τις οικογένειες, τα γένη και τα είδη των φυτών που αναγνωρίστηκαν από τις παλυνολογικές αναλύσεις (Σχ. 6.4.1) και σε συνδυασμό με τους χαρακτηριστικούς γυρεόκοκκους, για κάθε διαφορετικό πεδίο σχηματισμού τύρφης, πραγματοποιήθηκε η προσέγγιση του παλαιοπεριβάλλοντος σχηματισμού του υπό μελέτη λιγνιτικού κοιτάσματος.

Ο *Ovoidites*, ο οποίος συνιστά "κύστες" των πράσινων φυκών της οικογένειας Zygnemataceae (Rich et al., 1982), είναι ένα αντιπροσωπευτικό στοιχείο καλαμοτυρφώνων (reedmoor) και εμφανίζεται σε όλα σχεδόν τα ελληνικά λιγνιτικά κοιτάσματα (Riegel, 1965, Nickel, 1987, Kaouras, 1989). Στο κοίτασμα της Αχλάδας προσδιορίστηκε, σε ορισμένα δείγματα με ποσοστό ~1%. Η συνολική μάζα των φυκόφυτων, η οποία αναγνωρίστηκε σε όλα τα δείγματα, με ποσοστά από 15% έως 45%, αναφέρεται γενικά ως Plankton και

συνυπάρχει με φυτοκοινωνίες, οι οποίες χαρακτηρίζουν το περιβάλλον σχηματισμού καλαμοτύρφης.

Αντιπρόσωποι των πτεριδόφυτων είναι τα *Typ. laevigatosporites haardi* της οικογένειας των Polypodiaceae, τα οποία εμφανίζονται σε μικρά ποσοστά στα κατώτερα στρώματα της λιγνιτοφορίας. Συγκεντρώσεις των Polypodiaceae είναι χαρακτηριστικές για μεταβατικό περιβάλλον. Τυπικό παράδειγμα μετάβασης από γλυκά νερά σε μικτό δάσος ή σε ημίγλυκο καλαμοτυρφώνα, συνιστούν οι σύγχρονες αποθέσεις τύρφης των αμερικανικών ανατολικών παράκτιων περιοχών (Riegel 1965).

Η ύπαρξη του περιβάλλοντος καλαμοτυρφώνα υποδηλώνεται επίσης από την παρουσία των Gramineae, μεγάλο ποσοστό των οποίων μπορεί να ανήκει στους *Phragmites communis*, που εμφανίζονται σε όλα τα περιβάλλοντα καλαμοτυρφώνων. Ακόμη η παράλληλη παρουσία των Sparganiaceae στην ίδια περιοχή αφενός είναι χαρακτηριστική για το περιβάλλον καλαμοτυρφώνα, αφετέρου υποδηλώνει ότι πρόκειται για μια ζώνη καλαμιών ή μια γειτονική ως προς αυτή τη ζώνη περιοχή.

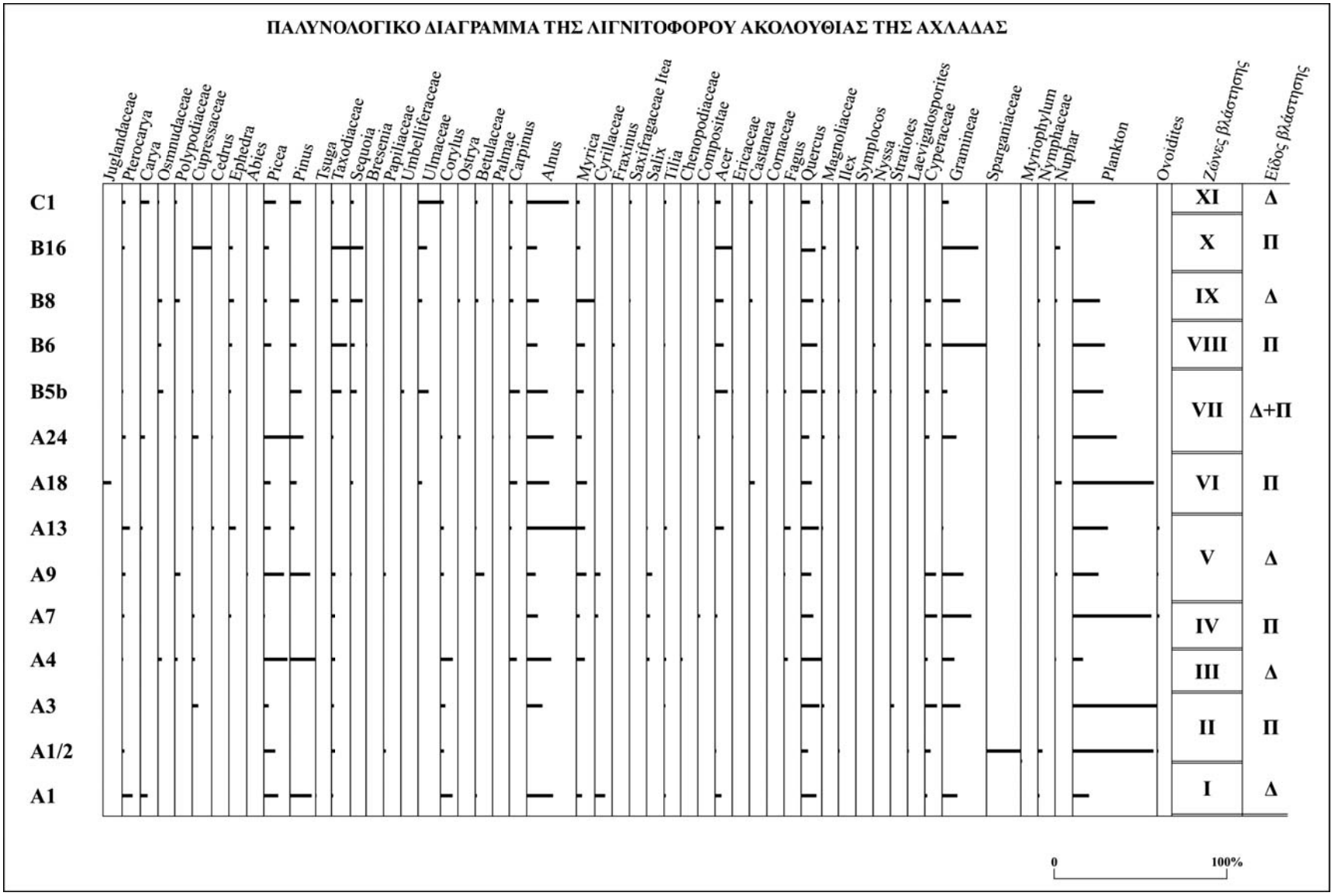
Ένα επιπλέον στοιχείο με ισχυρή ένδειξη για την επιρροή του περιβάλλοντος ανάπτυξης καλαμοτυρφώνα συνιστά η εμφάνιση γυρεόκοκκων των οικογενειών Cyperaceae και Compositae.

Τα Pinaceae παρατηρήθηκαν με χαμηλά ποσοστά, ενώ δεν εμφανίζονται σε όλα τα δείγματα. Χαμηλά ποσοστά *Pinus* έχουν παρατηρηθεί και σε άλλα ελληνικά λιγνιτικά κοιτάσματα, που αφορούν λιμνοτελματικά πεδία στην Πτολεμαΐδα (Kaouras, 1989) και περιοχές με δάση Taxodiaceae στην περιοχή του Αλιβερίου του Ν. Ευβοίας (Riegel et al., 1989) και της Λάβας-Σερβιών του Ν. Κοζάνης (Αντωνιάδης, 1992), γεγονός το οποίο συνδέεται και με την αύξηση των μεσογειακών τύπων βλάστησης στη Μεγαλόπολη, εξ αιτίας των θερμότερων κλιματικών συνθηκών κατά το Τεταρτογενές (Nickel, 1987).

Χαρακτηριστικοί γυρεόκοκκοι των Aceraceae, *Tilia*, *Myrica* και *Betula*, που υποδηλώνουν περιβάλλον δάσους με μεικτή δενδρώδη βλάστηση, εμφανίζονται με μεγαλύτερα ποσοστά στο ανώτερο τμήμα της μελετώμενης ακολουθίας (Σχ. 6.4.1).

Τέλος αξιοσημείωτη είναι η εμφάνιση της *Sequoia* σε αρκετά από τα δείγματα, στα οποία λόγω των ποσοστών συμμετοχής της και σε συνδυασμό με τους πολύ μεγάλους κορμούς δένδρων που εντοπίστηκαν στο υπό μελέτη ορυχείο σε όρθια θέση, (Εικ. 6.1.5) μαρτυρούν την αυτόχθονη προέλευση του είδους αυτού.

Από τα αποτελέσματα της παλυνολογικής ανάλυσης διακρίθηκαν δέκα βιοζώνες, οι οποίες απεικονίζονται στο Σχήμα 6.4.1.



Σχήμα 6.4.1: Παλυνολογικό διάγραμμα της λιγνιτοφόρου ακολουθίας της Αχλάδας.

Δ: Δάσος μεικτής δενδρώδους βλάστησης, **Π:** Ποώδης βλάστηση που αναπτύσσεται σε περιβάλλον καλαμοτυρφώνα.

❖ Η βιοζώνη Ι χαρακτηρίζεται από την έντονη παρουσία δενδρώδους βλάστησης με κύριο εκπρόσωπο τα *Alnus*, σε ποσοστό ~15%. Άλλοι εκπρόσωποι της δενδρώδους βλάστησης είναι *Picea, Pinus, Quercus, Acer, Myrica, Carya, Corylus, Pterocarya* και Cyrillaceae, ενώ σε μικρότερα ποσοστά ακολουθούν τα Betulaceae, Taxodiaceae και *Tilia* (Σχ. 6.4.1).

Οι γυρεόκοκκοι τόσο των ποωδών φυτών, οι οποίοι προέρχονται από τα Gramineae, όσο και των υγρόφιλων ειδών, όπως αυτοί των Nymphaceae και Cyperaceae συμμετέχουν με σχετικά χαμηλά ποσοστά (< 5%), ενώ χαμηλή συμμετοχή έχουν επίσης τα φύκη και τα Plankton.

Η ζώνη αυτή (Ι) χαρακτηρίζεται από μια φάση δάσους με μεικτή δενδρώδη βλάστηση, ενώ παράλληλα εμφανίζει και στοιχεία ορεινής δενδρώδους βλάστησης, που αντιπροσωπεύεται κυρίως από είδη της οικογένειας των Pinaceae. Οι παραπάνω φυτοκοινωνίες υποδηλώνουν μικρές κλιματικές διακυμάνσεις, όπου επικρατούν θερμές και υγρές συνθήκες, οι οποίες κατά περιόδους μεταβαίνουν σε περισσότερο ψυχρές.

Ιδιαίτερα σημαντική παρατήρηση αποτελεί το γεγονός, ότι στη βιοζώνη Ι και συγκεκριμένα στο λιγνιτικό ορίζοντα Α1 (πρώτος λιγνιτικός ορίζοντας της ακολουθίας της Αχλάδας), μεταξύ των γυρεόκκοκων συμμετέχει το είδος *Nymphaea neogenicus neogenicus*, το οποίο υποδηλώνει ότι η ηλικία του λιγνιτικού κοιτάσματος της Αχλάδας είναι Κάτω Πλειόκαινο.

❖ Στη βιοζώνη ΙΙ, σε αντίθεση με την Ι, τα ποσοστά των ποωδών και υγρόφιλων φυτών αυξάνονται, με τους γυρεόκοκκους των Sparganiaceae και Gramineae να κυριαρχούν με ποσοστά ~20% και ~11% αντίστοιχα. Ακολουθούν τα Cyperaceae, *Stratiotes*, Nymphacea *Myriophylum* και *Ovoidites* με μικρότερα ποσοστά, ενώ έντονη είναι η παρουσία του Plankton (~45%) (Σχ. 6.4.1).

Η συμμετοχή των δενδρωδών γυρεόκοκκων μειώνεται και αντιπροσωπεύεται κύρια από Γυμνόσπερμη δενδρώδη βλάστηση, όπως *Picea* και Pinaceae, ενώ ακολουθούν τα Taxodiaceae και Cupressaceae. Μικρότερη συχνότητα εμφάνισης έχουν οι γυρεόκοκκοι των Αγγειοσπέρμων δένδρων (*Corylus*, Papuoliaceae, *Acer, Tilia*) και θάμνων, ενώ εξαίρεση αποτελεί η συμμετοχή των *Quercus* και *Alnus*, με ποσοστά ~10% και ~9% αντίστοιχα.

Στη βιοζώνη ΙΙ η κυριαρχία των ποωδών και υγρόφιλων φυτών υποδηλώνει την παρουσία ενός περιβάλλοντος καλαμοτυρφώνα μεταβατικού προς περιβάλλον ανοικτών νερών, ενώ παράλληλα η αυξημένη συμμετοχή των Sparganiaceae υποδηλώνει, ότι πρόκειται για μια ζώνη καλαμιών (Rohricht) ή μια γειτονική ως προς αυτή τη ζώνη περιοχή.

Οι φυτοκοινωνίες που αναπτύχθηκαν στη συγκεκριμένη ζώνη υποδηλώνουν μεν την

επικράτηση ενός περιβάλλοντος καλαμοτυρφώνα, αλλά παράλληλα συνιστούν και την ύπαρξη ενός δάσους που συνίσταται από μεικτή δενδρώδη βλάστηση (διαφορετικές οικογένειες και διαφορετικά είδη δένδρων όπως *Alnus*, *Quercus*, *Acer*, *Betula* κ.ά). Για λόγους συντομίας στη συνέχεια του κειμένου, η βλάστηση που χαρακτηρίζει ένα περιβάλλον ανάπτυξης δάσους με μεικτή δενδρώδη βλάστηση θα αναφέρεται ως περιβάλλον μεικτού δάσους. Η συνύπαρξη των δύο αυτών παλαιοπεριβαλλόντων σχηματισμού τύρφης, υποστηρίζεται και από την εμφάνιση πλημμυρικών επεισοδίων (Κεφ. 6.1 και 6.3), τα οποία είχαν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ποώδους και υγρόφιλης βλάστησης σε ένα περιβάλλον καλαμοτυρφώνα μεταξύ των συστάδων δενδρώδους βλάστησης, που κάλυπταν την περιοχή.

Επίσης η καθολική συμμετοχή των ποωδών και υγρόφιλων φυτών, σε συνδυασμό με την παρουσία της δασώδους φυλλοβόλας βλάστησης και δεδομένου ότι, αν και με μικρότερη συμμετοχή, η φάση της ορεινής δασώδους βλάστησης συνεχίζει, υποδηλώνουν ήπιες κλιματικές συνθήκες. Ας σημειωθεί ότι η Γυμνόσπερμη βλάστηση πιθανά να υποδηλώνει σχετικά χαμηλότερες θερμοκρασίες από ότι αντίστοιχα περιβάλλοντα σχηματισμού τύρφης, όπου κυριαρχεί η ποώδης και υγρόφιλη βλάστηση.

❖ Στη <u>βιοζώνη ΙΙΙ</u> παρατηρείται φανερή μείωση της ποώδους βλάστησης και αντίστοιχα αύξηση της δενδρώδους, η οποία αντιπροσωπεύεται κύρια από *Pinus* και *Picea* και λιγότερο από *Alnus*. Γενικότερα η Γυμνόσπερμη βλάστηση εμφανίζει φανερά αυξημένη συμμετοχή σε σύγκριση με τη <u>βιοζώνη ΙΙ,</u> σε γυρεόκοκκους των *Pinus*, *Picea*, Cupressaceae, *Juniperus* και Taxodiaceae, ενώ από την Αγγειόσπερμη συμμετέχουν οι γυρεόκοκκοι των *Quercus*, *Carpinus*, *Corylus*, *Fagus*, *Myrica*, *Tilia, Pterocarya* και *Salix*.

Η ποώδης βλάστηση συμμετέχει με γυρεόκοκκους των Chenopodiaceae και Gramineae, ενώ από τα υγρόφιλα φυτά αναγνωρίστηκαν *Nuphar* και Cyperaceae. Η εμφάνιση του γένους *Nuphar* υποδηλώνει την ύπαρξη περιβάλλοντος ανοικτών νερών, τουλάχιστον τοπικά. Επίσης αναγνωρίστηκαν μικρά ποσοστά σπόρων Πτεριδόφυτων, τα οποία εκπροσωπούνται από τα Polypodiaceae και Osmundaceae. Το Plankton εμφανίζει ποσοστό <6%.

Συγκριτικά με την προηγούμενη βιοζώνη (ΙΙ), η βιοζώνη ΙΙΙ παρουσιάζει εμφανή ανάπτυξη της δενδρώδους βλάστησης σε βάρος της ποώδους, γεγονός το οποίο υποδηλώνει αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες. Τα αυξημένα ποσοστά συμμετοχής των *Pinus* συνιστούν ένδειξη για μικρή αλλαγή κλιματικών συνθηκών προς ψυχρότερο κλίμα, ενώ παράλληλα η αλλαγή αυτή είναι περιορισμένη, δεδομένου ότι αφενός τα ποσοστά των *Alnus* διατηρούνται σε υψηλά επίπεδα και αφετέρου αναγνωρίστηκαν γυρεόκοκκοι της οικογένειας των Taxodiaceae. Ακόμη ο συνδυασμός των φυτοκοινωνιών που αναγνωρίστηκαν οδηγεί στο

συμπέρασμα ανάπτυξης μιας φάσης ορεινής δασώδους βλάστησης, σε συνδυασμό με δενδρώδη βλάστηση μεικτού δάσους.

❖ Η βιοζώνη IV χαρακτηρίζεται από την αναστροφή στην κυριαρχία του είδους της βλάστησης. Στη συγκεκριμένη βιοζώνη και σε αντίθεση με την άμεσα υποκείμενη της, επικρατούν τα ποώδη και υγρόφιλα φυτά, ενώ παράλληλα περιορίζεται η εμφάνιση της δενδρώδους βλάστησης. Συγκεκριμένα, με τη μεγαλύτερη συχνότητα απαντούν οι γυρεόκοκκοι της οικογένειας των Gramineae και τα Plankton (14 – 45%). Κυριαρχούν ποώδη και υγρόφιλα είδη, όπως Gramineae, Compositae, *Ephedra*, *Nuphar* και Cyperaceae, αλλά συμμετέχουν επίσης σπόροι Πτεριδόφυτων (Polypodiaceae) και *Ovoidites* (~2%).

Η δενδρώδης βλάστηση προέρχεται από Taxodiaceae, *Sequoia*, Cupressaceae, Juglandaceae, *Picea*, *Pinus*, *Abies*, Aceraceae, *Fagus*, *Quercus*, Cyrillaceae, *Corylus*, *Salix*, *Pterocarya, Betula*, *Alnus* και *Myrica* και παρουσιάζει σχετικά χαμηλά ποσοστά.

Η ζώνη αυτή χαρακτηρίζεται από μια φάση περιβάλλοντος καλαμοτυρφώνα, η οποία κατά περιόδους πιθανά μεταπίπτει σε περιβάλλον ανοικτών νερών. Επιπρόσθετα η φάση της μεικτής δενδρώδους βλάστησης παραμένει, αλλά με εμφανώς μειωμένη συμμετοχή. Από τη συνύπαρξη των φυτοκοινωνιών που αναγνωρίστηκαν παρατηρείται, ότι σε σχέση με την άμεσα υποκείμενη βιοζώνη (III) οι κλιματικές συνθήκες είναι περισσότερο ήπιες με πιο θερμές και υγρές συνθήκες, αλλά πιθανά με εντονότερα φαινόμενα βροχοπτώσεων, έτσι ώστε να υποστηρίζεται η μεταβολή του περιβάλλοντος από καλαμοτυρφώνα σε ανοικτών νερών και αντίστροφα. Την άποψη αυτή υποστηρίζει και η αυξημένη συμμετοχή αργιλικού υλικού (Κεφ. 6.1).

❖ Στη βιοζώνη V τα ποσοστά των γυρεόκοκκων της δασώδους βλάστησης είναι πιο υψηλά σε σύγκριση με την προηγούμενη, ενώ τα ποσοστά των ποωδών φυτών μειώνονται, με εξαίρεση την *Ephedra*. Στη συγκεκριμένη βιοζώνη το μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισης προέρχεται από τους γυρεόκοκκους του Αγγειόσπερμου φυλλοβόλου *Alnus* (12 – 28%) και αμέσως μετά ακολουθούν τα *Quercus* (~10%) και τα Γυμνόσπερμα *Picea* και *Pinus* με ποσοστό ~12%.

Γενικά, η δασώδης Γυμνόσπερμη βλάστηση συνίσταται από γυρεόκοκκους των *Taxodium*, *Sequoia* (1,5 – 3,6%), *Abies*, *Picea, Pinus, Cedrus* και Cupressaceae. Αντίστοιχα, η Αγγειόσπερμη αντιπροσωπεύεται από *Carea*, *Myrica*, *Ulmus*, *Juglans*, *Tilia*, Magnoliaceae, *Magnolia*, *Castanea*, *Corylus*, *Carpinus*, *Ostrya*, *Salix*, *Palmae, Betula, Fraxinus* και *Umbelliferae*, ενώ ακόμη αναγνωρίστηκαν γυρεόκοκκοι των Fagaceae, *Fagus* και *Acer*.

Η ποώδης βλάστηση, όπως προαναφέρθηκε εμφανίζεται με μικρότερα ποσοστά σε σχέση με την υποκείμενή της και αντικατοπτρίζεται από γυρεόκοκκους των Gramineae,

Ericaceae και *Ephedra*, ενώ σε σχετικά χαμηλά ποσοστά εμφανίζονται και Πτεριδόφυτα (Polypodiaceae, Osmundaceae) και υγρόφιλα φυτά, όπως *Nymphaea*, *Nuphar* και Cyperaceae. Το Plankton συμμετέχει με ποσοστά από 16% έως 46% και οι *Ovoidites* με ~1%.

Η βιοζώνη αυτή χαρακτηρίζεται από την κύρια ανάπτυξη δασώδους βλάστησης και υποδηλώνει την ύπαρξη περιβάλλοντος μεικτού δάσους και ήπιες κλιματικές συνθήκες. Ο ρόλος της *Sequoia* στο σχηματισμό του Τριτογενούς ηλικίας λιγνίτη έχει συζητηθεί εκτενώς κατά το παρελθόν (Teichmüller, 1958, Teichmüller and Thompson, 1958, Von der Brelie and Wolf, 1981). Παρά το γεγονός ότι η *Sequoia* σήμερα αναπτύσσεται στα καλά αποστραγγισμένα εδάφη της Καλιφόρνιας, η συμβολή της κατά ένα ποσοστό στο σχηματισμό του λιγνίτη, που μελετάται στην παρούσα εργασία, είναι εμφανής. Το αν η παρουσία της υποδηλώνει υγρές ή ξηρές συνθήκες κατά τον σχηματισμό της τύρφης δεν μπορεί να ειπωθεί με βεβαιότητα, δεδομένου ότι στο συγκεκριμένο λιγνίτη παρατηρήθηκαν στοιχεία και για τις δύο συνθήκες. Έτσι, αφενός το οργανικό υλικό εμφανίζεται αρκετά ζελατινοποιημένο (προϋπόθεση οι υγρές συνθήκες), αφετέρου η εμφάνιση φουσίτη μέσα στα λιγνιτικά στρώματα υποδηλώνει περισσότερο ξηρές συνθήκες. Η ύπαρξη όμως των *Taxodium* και *Glyptostrobus* υποδηλώνουν την ανάπτυξη και των δύο παραπάνω συνθηκών μέσα στον τυρφώνα. Πιθανά η *Sequoia* να αντιπροσωπεύει περισσότερο τα ξηρά μέρη αυτού και τα *Taxodium* ή/και τα *Glyptostrobus* τα πιο υγρά τμήματά του. Σε κάθε περίπτωση, η ύπαρξη ενός δάσους από *Sequoia*, *Taxodium* και *Glyptostrobus* είναι αναμφίβολη. Εξάλλου τα αντιφατικά στοιχεία των υγρών και ξηρών συνθηκών σ' αυτό το περιβάλλον, πιθανά αντικατοπτρίζουν περιοδικές διακυμάνσεις της επιφάνειας του νερού.

❖ Στη <u>βιοζώνη VI</u> το ποσοστό εμφάνισης των ποωδών και υγρόφιλων φυτών αυξάνεται σημαντικά, ενώ παράλληλα περιορίζεται η δενδρώδης βλάστηση. Σ' αυτή τη βιοζώνη παρατηρείται πολύ μεγάλη συμμετοχή Plankton (~47%).

Η δενδρώδης βλάστηση συνίσταται τόσο από γυμνόσπερμα (*Picea*, *Pinus* και *Sequoia habitus*), όσο και από Αγγειόσπερμα δέντρα (*Quercus*, *Alnus*, *Myrica*, *Carpinus*, *Castanea*, και *Ulmus*), με τα δεύτερα να εμφανίζουν υψηλότερα ποσοστά συμμετοχής, ενώ τα υγρόφιλα είδη συνίστανται από τους γυρεόκοκκους των *Nymphaea* και *Nuphar* (Σχ. 6.4.1).

Η ζώνη αυτή (VI), όπως και η ομόλογή της βιοζώνη IV, χαρακτηρίζεται από μια φάση περιβάλλοντος καλαμοτυρφώνα, η οποία κατά περιόδους πιθανά μεταπίπτει σε περιβάλλον ανοικτών νερών. Ο τύπος βλάστησης του μεικτού δάσους συνεχίζεται, αλλά πιθανά περιορίζεται στη δημιουργία συστάδων δένδρων με μικρή απόσταση μεταξύ τους μέσα σε μια μεγάλη έκταση, η οποία χαρακτηρίζεται από την προαναφερόμενη φάση του καλαμοτυρφώνα.

❖ Στη συνέχεια, η ακολουθία διαφοροποιείται και διακρίνεται η βιοζώνη VII στην οποία, ενώ συνεχίζουν να απαντώνται τα ποώδη και υγρόφιλα φυτά, επιπλέον αυξάνουν σημαντικά το ποσοστό συμμετοχής τους οι αντιπρόσωποι της δενδρώδους βλάστησης, εμφανίζοντας ως κύριους εκπρόσωπους *Alnus* (~15%) και *Picea* (~15%).

Άλλες οικογένειες και είδη δενδρώδους βλάστησης, που απαντώνται στη συγκεκριμένη βιοζώνη, είναι *Sequoia* (~7%), Taxodiaceae, *Picea*, *Pinus*, Cupressaceae, *Cedrus*, *Acer*, *Palmae*, *Quercus,* Fagaceae, *Ulmus*, *Carpinus*, Betulaceae, *Betula*, *Magnolia*, *Carea*, *Ostrya* και Saxifragaceae *Itea*, ενώ τα Πτεριδόφυτα εμφανίζονται με γυρεόκοκκους των Polypodiaceae και Osmundaceae. Η ποώδης και υγρόφιλη βλάστηση αντιπροσωπεύεται από τα Gramineae, *Ephedra*, *Stratiotes*, *Symplocos*, Cyperaceae, *Nymphaea*, *Nyssa* και *Nuphar*. Το Plankton συμμετέχει με ποσοστό 17-25%.

❖ Στη βιοζώνη VIII παρατηρείται αναστροφή στην κυριαρχία του είδους της βλάστησης, συγκριτικά με την άμεσα υποκείμενή της βιοζώνη VII, με αποτέλεσμα το ποσοστό εμφάνισης των ποωδών και υγρόφιλων φυτών να αυξάνεται σημαντικά, ενώ παράλληλα περιορίζεται η δενδρώδης βλάστηση. Σ' αυτή τη βιοζώνη παρατηρείται πολύ μεγάλη συμμετοχή των Gramineae (~25%) και του Plankton (~18%).

Η δενδρώδης βλάστηση συνίσταται τόσο από γυμνόσπερμα (*Taxodium*, *Picea*, *Pinus* και *Sequoia habitus*), όσο και από Αγγειόσπερμα δέντρα (*Quercus*, *Alnus*, *Myrica* και *Tilia*), με τα δεύτερα να εμφανίζουν και υψηλότερα ποσοστά συμμετοχής (Σχ. 6.4.1), ενώ συμμετέχουν και γυρεόκοκκοι της οικογένειας Aceraceae.

Η ποώδης βλάστηση αντιπροσωπεύεται κύρια από τα Gramineae και ακολουθούν οι γυρεόκοκκοι *Ephedra*, ενώ τα υγρόφιλα είδη συνίστανται από Cyperaceae, *Nymphaea* και *Nuphar*. Ακόμη τα Πτεριδόφυτα αντιπροσωπεύονται από την οικογένεια Osmundaceae.

Η ζώνη αυτή, όπως και η ομόλογη της βιοζώνη VI, χαρακτηρίζεται από μια φάση περιβάλλοντος καλαμοτυρφώνα, η οποία κατά περιόδους πιθανά μεταπίπτει σε περιβάλλον ανοικτών νερών. Ο τύπος βλάστησης του μεικτού δάσους συνεχίζει, αλλά πιθανά περιορίζεται στη δημιουργία συστάδων δένδρων, με μικρή απόσταση μεταξύ τους, μέσα σε μια μεγάλη έκταση, η οποία χαρακτηρίζεται από την προαναφερόμενη φάση του καλαμοτυρφώνα.

❖ Στη συνέχεια, η ακολουθία διαφοροποιείται και διακρίνεται η βιοζώνη IX στην οποία, ενώ συνεχίζουν να απαντώνται με μεγάλη συχνότητα τα ποώδη και υγρόφιλα φυτά, επιπλέον αυξάνουν σημαντικά το ποσοστό συμμετοχής τους και οι αντιπρόσωποι της δενδρώδους βλάστησης εμφανίζοντας ως κύριο εκπρόσωπο την οικογένεια Myricaceae, η οποία παρουσιάζει ίδιο ποσοστό συμμετοχής (~11%) με τους γυρεόκοκκους Gramineae *neogenicus*.

Άλλες οικογένειες και είδη δενδρώδους βλάστησης που απαντώνται στη συγκεκριμένη βιοζώνη είναι *Sequoia* (~7%), Taxodiaceae, *Picea*, *Pinus*, *Acer*, *Palmae*, *Quercus*, *Alnus*, *Ulmus*, *Carpinus*, Betulaceae, *Betula*, *Castanea*, *Magnolia*, *Ostrya* και Saxifragaceae *Itea*, ενώ τα Πτεριδόφυτα εμφανίζονται με γυρεόκοκκους των Polypodiaceae και Osmundaceae. Η ποώδης και υγρόφιλη βλάστηση αντιπροσωπεύεται από τα Gramineae, *Ephedra*, *Stratiotes*, Cyperaceae, *Nymphaea* και *Nuphar*. Το Plankton συμμετέχει με ποσοστό ~15%.

❖ Η βιοζώνη Χ, χαρακτηρίζεται από τη σημαντική αύξηση του ποσοστού συμμετοχής των Gramineae, το οποίο αγγίζει το 21%. Επιπρόσθετα, αυξάνεται η συμμετοχή της δασώδους Γυμνόσπερμης βλάστησης, ενώ η δασώδης Αγγειόσπερμη εμφανίζει, συγκριτικά με την προηγούμενη βιοζώνη, χαμηλότερα ποσοστά συμμετοχής.

Συγκεκριμένα, από τη Γυμνόσπερμη δασώδη βλάστηση οι γυρεόκοκκοι των *Picea* αυξάνονται σημαντικά, ενώ εμφανίζονται και νέες οικογένειες (σε σύγκριση με την προηγούμενη ζώνη), όπως η οικογένεια Taxodiaceae και αυτή Cupressaceae, η οποία εκπροσωπείται κατά κύριο λόγο από το γένος *Juniperus*. Ακόμη η *Sequoia* αγγίζει το 7,5%. Η συμμετοχή της Αγγειόσπερμης δασώδους βλάστησης, όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, μειώνεται με εξαίρεση τα *Quercus* και *Ulmus*, των οποίων τα ποσοστά φθάνουν το ~8% και 5%, αντίστοιχα. Ας σημειωθεί, ότι ενώ το ποσοστό συμμετοχής των *Acer* διπλασιάζεται (~10%), σε σχέση με την άμεσα υποκείμενη βιοζώνη, η συμμετοχή της οικογένειας των Myricaceae υποπενταπλασιάζεται (~2%).

Η ποώδης και υγρόφιλη βλάστηση χαρακτηρίζεται από την καθολική εμφάνιση των Gramineae, η οποία όπως προαναφέρθηκε φθάνει ~20%, το διπλασιασμό του ποσοστού των *Nuphar* (~3%), όπως επίσης και από την εμφάνιση των *Symplocos*.

Από τα παραπάνω προκύπτει, ότι η συγκεκριμένη βιοζώνη (Χ) διαφοροποιείται σε σχέση με την προηγούμενη, τόσο ως προς το ποσοστό συμμετοχής των διαφόρων οικογενειών, όσο και ως προς το είδος της βλάστησης, καθώς εμφανίζονται οικογένειες και γένη που δεν υπάρχουν στην προηγούμενη βιοζώνη (*Taxodium*, Cupressaceae, *Juniperus*, *Fraxinus* και *Pterocarya*). Η σύνθεση της παραπάνω φυτοκοινωνίας υποδηλώνει το σχηματισμό ενός περιβάλλοντος καλαμοτυρφώνα με στοιχεία δάσους μεικτής βλάστησης και ορεινής δασώδους βλάστησης, ενώ τοπικά παρατηρείται η ανάπτυξη περιβάλλοντος "ανοικτών νερών".

❖ Η βιοζώνη XI χαρακτηρίζεται από τη σημαντική μείωση του ποσοστού των ποωδών και υγρόφιλων φυτών και αντίστοιχα τη σημαντική αύξηση της δενδρώδους βλάστησης, η οποία εκπροσωπείται κύρια από την παρουσία *Alnus* με ποσοστό ~24%.

Η Γυμνόσπερμη δασώδης βλάστηση της συγκεκριμένης βιοζώνης χαρακτηρίζεται από την έντονη ανάπτυξη των *Picea* και *Pinus*, με ποσοστό συμμετοχής ~7% και ~6%, αντίστοιχα, σε βάρος των Taxodiaceae, Cupressaceae και *Sequoia*, των οποίων τα ποσοστά μειώνονται σημαντικά. Από την Αγγειόσπερμη δενδρώδη βλάστηση τα ποσοστά συμμετοχής των *Carpinus* και Ulmaceae αυξάνονται, τα ποσοστά των *Quercus*, *Myrica* και *Magnolia* μειώνονται, ενώ εμφανίζονται, σε σχέση με τη βιοζώνη X, γυρεόκοκκοι όπως *Carea*, *Corylus*, *Castanea*, *Betula*, *Pterocarya,* Saxifragaceae, *Itea* και *Tilia*.

Χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης βιοζώνης αποτελεί το γεγονός, ότι η ποώδης βλάστηση αντιπροσωπεύεται μόνο από τις οικογένειες Gramineae και Compositae, με εμφανώς χαμηλά ποσοστά, ενώ η αντίστοιχη υγρόφιλη δεν εμφανίζει αντιπροσώπους. Τα Πτεριδόφυτα εμφανίζουν μικρή συμμετοχή με γυρεόκοκκους των Polypodiaceae και Osmundaceae. Το Plankton συμμετέχει με ποσοστό ~12%.

Δεδομένων των φυτοκοινωνιών που αναπτύσσονται στη βιοζώνη XI προκύπτει, ότι το περιβάλλον σχηματισμού της τύρφης μεταβάλλεται σε σχέση με την υποκείμενη βιοζώνη και χαρακτηρίζεται ως περιβάλλον μεικτού δάσους. Επιπλέον η μεταβολή του είδους της Γυμνόσπερμης δενδρώδους βλάστησης, όπως η μείωση των ποσοστών των Taxodiaceae και *Sequoia* και η αντίστοιχη αύξηση των *Picea* και *Pinus*, σε συνδυασμό με την έξαρση των *Alnus* και τον περιορισμό της ποώδους και υγρόφιλης βλάστησης, υποδηλώνουν κλιματική μεταβολή, με ύπαρξη ήπιου μεν, αλλά πιο ξηρού κλίματος σε σχέση με την υποκείμενη βιοζώνη (X).

6.4.3 Αποτελέσματα παλαιοκαρπολογικών προσδιορισμών

Τα αποτελέσματα των παλαιοκαρπολογικών αναλύσεων σε δείγματα τόσο από τα ενδιάμεσα κλαστικά ανόργανα ιζήματα, όσο και από τα οργανικά στρώματα της λιγνιτοφόρου ακολουθίας που εξετάστηκε, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.4.1.

Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, τα υπολείμματα των απολιθωμένων σπερμάτων και καρπών είναι ως επί το πλείστον φτωχά διατηρημένα, με σημαντική μορφολογική αλλοίωση, θρυμματισμένα και δύσκολα να προσδιοριστούν.

Ωστόσο τα ευρήματα, αν και λίγα, υποδηλώνουν ξεκάθαρα τους παρακάτω τύπους παλαιοπεριβαλλόντων ανάπτυξης των φυτοκοινωνιών που συνέβαλαν στη δημιουργία του συγκεκριμένου κοιτάσματος.

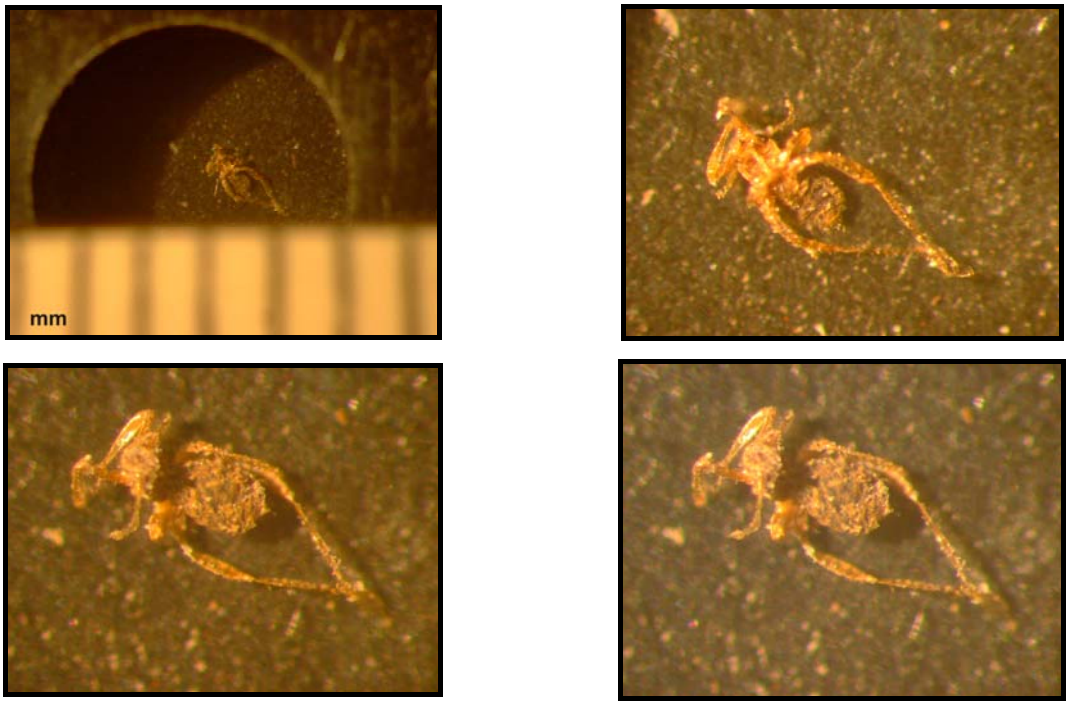
Πίνακας 6.4.1: Παλαιοκαρπολογική ανάλυση της λιγνιτοφόρου ακολουθίας της Αχλάδας.

	B11	**B1**	**A35**	**A33**	**A21**	**A16**	**A13**	**A9**	**A2**	**A0**
Epiphytes				+	+					+
Lorantaceae					+					
Algin			+	+						+
Nymphaeaceae			+							
Potampgeton	+							+		
Potampgeton piestanensis	+									
Batrachium								+		
Sparganium			+		+					+
Decodon			+					+		
Decodon gibbosus									+	
Nyssa				+						
Vitis				+						
Ampelopsis				+						
Epipremnites								+		
Epipremnites ornatus								+		
Taddalia								+		
Glyptostrobus	+	+								
Glyptostrobus europaeus		+								
Actinidia										+
Meliosma				+			+	+		
Meliosma wetteraviensis										
Meliosma pliocenica							+			
Pterocarya					+		+			
Rubus		+	+		+					+
Sambucus		+								
Symplocos				+						
Symplocos lusaticum				+						
Conifere needles								+		
Sehuppum								+		
Υπολείμματα ξύλου						+				

Οι τύποι αυτοί είναι:

- Ανοικτών νερών: Nymphaeaceae, *Potamogeton* cf. *piestanensis*, P. sp., *Taddalia* sp., Nyssa sp.
- Καλαμώνα: *Batrachium* sp., *Sparganium* sp.
- Έλους: *Decodon gibbosus*, *Decodon* sp., *Epipremnites ornatus*, *Glyptostrobus europaeus*, *Glyptostrobus* sp.
- Δάσος μεικτής δενδρώδους βλάστησης: *Actinidia* sp., *Meliosma pliocenica*, *Meliosma* sp., *Meliosma wetteraviensis*, *Pterocarya* sp., *Rubus* sp., *Sambucus pulchella*, *Sambucus* sp.1, *Sambucus* sp.2, aff. *Symplocos lusaticum*, *Vitis* sp. και βελόνες κωνοφόρων.

Επίσης διάφορα γένη και είδη μυκήτων (*Cenococcum geophilum, Perithecia, Rosellinites areolatus*) και παρασίτων (*Ampelopsis* sp., *Lorantaceae*) αποτελούν τμήμα της φυτοκοινωνίας, που αναπτύχθηκε στην εν λόγω περιοχή.



Εικόνα 6.4.1: Έντομο, το οποίο αναγνωρίστηκε στο κατώτερο τμήμα (ορίζοντας Α3) της μελετώμενης ακολουθίας και ανήκει στα Ορθόπτερα.

Τέλος αναγνωρίστηκαν φουσίτης, ιχνοαπολιθώματα (χειμερινά αυγά και κοπρόλιθοι) και ένα έντομο (Εικ. 6.4.1), το οποίο θυμίζει πρώιμα ορθοπτεροειδή έντομα (Ορθόπτερα), δεδομένου ότι εμφανίζει δύο μεγάλα πόδια στο πίσω μέρος, τα οποία χρησιμεύουν για αναπήδηση. Λόγω του εξαιρετικά μικρού μεγέθους, το συγκεκριμένο εύρημα πιθανά να υποδηλώνει την έξαρση τέτοιου είδους εντόμων κατά τη διάρκεια του Πλειόκαινου και στον ελλαδικό χώρο, δεδομένου ότι το ίδιο φαινόμενο έχει παρατηρηθεί σε όλη την Ευρώπη και έχει καταγραφεί μέσα στα οργανικά στρώματα των λιγνιτοφοριών (Elias, 1991). Ας σημειωθεί, ότι σε κανένα από τα εξετασθέντα δείγματα (οργανικά και ανόργανα) δεν βρέθηκε ζωικό απολίθωμα (με εξαίρεση δύο ευρήματα), γεγονός το οποίο πιθανά σχετίζεται με το αρκετά υψηλό ποσοστό θείου (S) που προσδιορίστηκε στα δείγματα λιγνίτη από την Αχλάδα (βλ. Κεφ. 6.1 και 6.2). Η έντονη παρουσία αυτού (θείου) στα νερά του παλαιοτυρφώνα δεν επέτρεψε την ανάπτυξη οργανισμών όπως είναι για παράδειγμα γαστερόποδα κ.ά, τα οποία απαντώνται πολύ συχνά σε περιβάλλοντα τυρφογένεσης.

Τα παλαιοκαρπολογικά αποτελέσματα, όπως φαίνεται και από τα παραπάνω, επιβεβαιώνουν την ύπαρξη ενός οικοσυστήματος, στο οποίο κυρίαρχοι τύποι περιβάλλοντος ανάπτυξης των φυτοκοινωνιών είναι το δάσος μεικτής δενδρώδους βλάστησης και ο καλαμοτυρφώνας, τα οποία κατά περιόδους εναλλάσσονται και μεταπίπτουν το ένα στο άλλο. Επίσης κατά περίπτωση και ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούσαν, κυρίως κλιματικές και κατ' επέκταση υδρολογικές, μεταπίπτουν σε περιβάλλοντα ανοικτών νερών ή ρεόντων υδάτων με πολύ μικρή ταχύτητα ροής. Παρατηρείται επομένως όπως και μέσω των παλυνολογικών αποτελεσμάτων, μια εναλλαγή στον τύπο του περιβάλλοντος που κυριαρχεί (δάσος με μεικτή δενδρώδη βλάστηση, έλος, καλαμώνας, κ.ά.) χωρίς όμως να υποδηλώνεται η εξαφάνιση του ενός και η εμφάνιση του άλλου. Υπάρχει δηλαδή σε όλες τις περιόδους ανάπτυξης του παλαιοτυρφώνα μια συνύπαρξη περιβαλλόντων, όπου όμως σε κάθε περίοδο επικρατεί κάποιο από όλα.

Οι εκάστοτε κλιματικές συνθήκες συμβάλλουν σημαντικά στον τύπο του περιβάλλοντος που κυριαρχεί, δεδομένου ότι η ταυτοποίηση αφ' ενός μεν του γένους *Meliosma* και των ειδών αυτού, που ευδοκιμούν σε περισσότερο υγρές και θερμές συνθήκες προσεγγίζουν το τροπικό έως υποτροπικό κλίμα, αφ' ετέρου δε η σημαντική συμβολή διαφόρων γενών όπως *Rubus*, *Sambucus* κ.ά. υποδηλώνουν πιο ξηρές κλιματικές συνθήκες, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται και από την εμφάνιση μυκήτων και παρασίτων, τα οποία ευδοκιμούν σε περισσότερο ξηρό φυσικό περιβάλλον.

6.4.4. Σύνοψη παλαιοβοτανικών αποτελεσμάτων

Από τη συνδυασμένη παλαιοβοτανική ανάλυση –παλυνολογικά και παλαιοκαρπολογικά στοιχεία– προκύπτει ότι, τόσο η δενδρώδης όσο και η ποώδης και υγρόφιλη βλάστηση συνέβαλαν ουσιαστικά στην προσφορά της απαιτούμενης πρώτης ύλης για το σχηματισμό του λιγνιτικού κοιτάσματος της Αχλάδας.

Από τον προσδιορισμό του είδους των υγροτόπων που δημιουργήθηκαν κατά τον σχηματισμό και την εξέλιξη του συγκεκριμένου παλαιοτυρφώνα καθίσταται σαφές, ότι υπήρχε μια συνεχής εναλλαγή του τύπου του παλαιοπεριβάλλοντος, που επικρατούσε στις εκάστοτε συνθήκες. Η εναλλαγή αυτή συνοδεύεται με εμφάνιση μεταβατικών περιοχών μεταξύ των διαφόρων υγροτόπων, χωρίς αυτό να σημαίνει απαραίτητα ότι η επικράτηση του ενός τύπου, οδηγούσε στην πλήρη εξάλειψη του άλλου.

Η εναλλαγή παλαιοπεριβάλλοντος ενισχύεται και από τη συχνή παρουσία των *Glyptostrobus europaeus* και *Glyptostrobus* sp., η οποία συνοδεύεται τόσο από έντονη ανάπτυξη δενδρώδους βλάστησης, όσο και από στοιχεία περιβάλλοντος ανοικτών νερών

(Ţicleanu and Diaconiţă, 1997, Kovar-Eder et al., 2001). Αντίστοιχα παλαιοπεριβάλλοντα τυρφογένεσης, συναντώνται σήμερα στις Ηνωμένες Πολιτείες, στην περιοχή Everglades της Φλόριντα.

Επιπλέον ο διαχωρισμός της λιγνιτοφόρου ακολουθίας σε δύο επαναλαμβανόμενες ενότητες, που χαρακτηρίστηκαν ως "μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης" και "μαζώδης λιγνίτης" (βλ. κεφ. 6.1), επιβεβαιώνεται και από τα παλαιοβοτανικά στοιχεία, βάσει των οποίων προσδιορίστηκε η εναλλαγή των διαφόρων υγροτόπων. Έτσι η χλωρίδα, η οποία συνέβαλε κυρίαρχα στην τυρφογένεση και δυνητικά στη λιγνιτογένεση, αποτελείται κυρίως από βλάστηση που αναπτύσσεται σε περιβάλλον δάσους με μεικτή δενδρώδη βλάστηση – ενότητες που χαρακτηρίστηκαν ως "μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης"– και από βλάστηση που συναντάται σε περιβάλλον καλαμοτυρφώνα και ανοικτών νερών –ενότητες που χαρακτηρίστηκαν ως "μαζώδης λιγνίτης".

Η μετάβαση από το ένα περιβάλλον στο άλλο συνδέεται άμεσα και με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά την εξέλιξη του παλαιοτυρφώνα, δεδομένου ότι οι μεταβολές τους επηρέαζαν το είδος βλάστησης που επικρατούσε την κάθε χρονική περίοδο. Για παράδειγμα, τα Αγγειόσπερμα φυλλοβόλα όπως είναι τα *Alnus*, *Betula*, Betulaceae, *Myrica*, *Carpinus* και *Tilia* υποδηλώνουν γενικά ήπιες κλιματικές συνθήκες, ενώ η ανάπτυξη του γένους *Meliosma* και των ειδών αυτού, ευδοκιμεί σε περισσότερο υγρές και θερμές συνθήκες, προσεγγίζοντας τον τροπικό/υποτροπικό τύπο κλίματος. Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, γένη, όπως *Pinus*, *Rubus*, *Sambucus* κ.ά., ευδοκιμούν σε περισσότερο ξηρές κλιματικές συνθήκες, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται και από την εμφάνιση των fungi και lianas, τα οποία ευδοκιμούν σε πιο ξηρό φυσικό περιβάλλον.

Το είδος της βλάστησης που παρατηρείται στο κοίτασμα της Αχλάδας συνεπάγεται υγρό και θερμό κλίμα (με περιόδους πιο ξηρές), ενώ παράλληλα η σημαντική συμβολή τόσο των μελών της οικογένειας των Taxodiaceae, τα οποία χρειάζονται υγρές κλιματικές συνθήκες για να αναπτυχθούν (Stach et al., 1982, Taylor et al., 1998), όσο και αυτών των *Glyptostrobus* και επομένως και του *Glyptostrobus europeus* (το οποίο απαντάται σε πολύ μεγάλη συχνότητα στο κοίτασμα της Αχλάδας) απαιτούν μέση θερμοκρασία τον πιο κρύο μήνα του χειμώνα ~ +6 °C για τα *Taxodium* και +5 έως +10 °C για τα *Glyptostrobus*, ενώ για τους πιο θερμούς μήνες η θερμοκρασία μπορεί να πλησιάσει τους +30 °C (Kloosterboer-van Hoeve, 2000). Παρόμοια εικόνα, έντονης ανάπτυξης του *Glyptostrobus europeus* παρατηρήθηκε και στη νεογενή λιγνιτοφόρο ακολουθία της Πτολεμαΐδας, σε ένα συγκεκριμένο λιγνιτικό ορίζοντα, ο οποίος ονομάστηκε "Ανώτερος Ξυλιτικός Ορίζοντας" (Kalaitzidis et al., 2004).

Στρωματογραφικά, τα είδη του γένους *Meliosma* απαντώνται πολύ συχνά σε φυτοκοινωνίες, οι οποίες απαντώνται πολύ συχνά στο Νεογενές, ενώ παράλληλα τα γένη *Symplocos, Sambucus* και *Potamogeton piestanensis* θεωρούνται περισσότερο τυπικά για την πλειοκαινική βλάστηση. Με δεδομένη την εμφάνιση των γυρεόκοκκων του είδους *Nymphaea neogenicus neogenicus*, όπως περιγράφηκε στην παράγραφο της παλυνολογικής ανάλυσης και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των παλαιοκαρπολογικών αναλύσεων προέκυψε, ότι ο πρώτος λιγνιτικός ορίζοντας της ακολουθίας που μελετήθηκε άρχισε να σχηματίζεται κατά τη διάρκεια του Κατώτερου Πλειοκαίνου.

6.5 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η ορυκτολογική σύσταση των ενδιάμεσων ανόργανων και οργανικών ιζημάτων της λιγνιτοφόρου ακολουθίας της Αχλάδας προσδιορίστηκε με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD), σε συνδυασμό με διαφορική θερμική (DTA) και θερμοβαρυτομετρκή ανάλυση (TG/DTG), όπως επίσης και με φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR).

6.5.1. Εξέταση με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ

6.5.1.1 Οργανικά ιζήματα (λιγνιτοφόροι ορίζοντες)

Προσδιορισμός ορυκτών στην ακολουθία

Η μελέτη των οργανικών ιζημάτων (λιγνίτη, ορυκτομιγή λιγνίτη και ξυλίτη) με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ έγινε τόσο σε δείγματα "ως έχουν", όσο και σε δείγματα, που ψήθηκαν σε θερμοκρασίες 500 ^{o}C και 750 ^{o}C (τέφρα). Επίσης, όπου αυτό κρίθηκε απαραίτητο, τα "ως έχει" δείγματα επεξεργάστηκαν με αιθυλενογλυκόλη.

Σε όλα τα δείγματα διαπιστώθηκε η ύπαρξη γύψου ($CaSO_4*2H_2O$), ανυδρίτη ($CaSO_4$), αργιλικών ορυκτών (ιλλίτη-μοσχοβίτη, καολινίτη και χλωρίτη), χαλαζία και αστρίων, ενώ σε μερικά ταυτοποιήθηκαν επίσης τα ορυκτά σιδηροπυρίτης (FeS_2), αιματίτης (a-Fe_3O_4), ασβεστίτης, δολομίτης και σιδηρίτης.

Για τον προσδιορισμό των αργιλικών ορυκτών, του χαλαζία, των αστρίων, του ασβεστίτη, του δολομίτη και του σιδηρίτη χρησιμοποιήθηκαν οι χαρακτηριστικές ανακλάσεις όπως αυτές αναφέρονται στο κεφάλαιο 6.5.1.2.

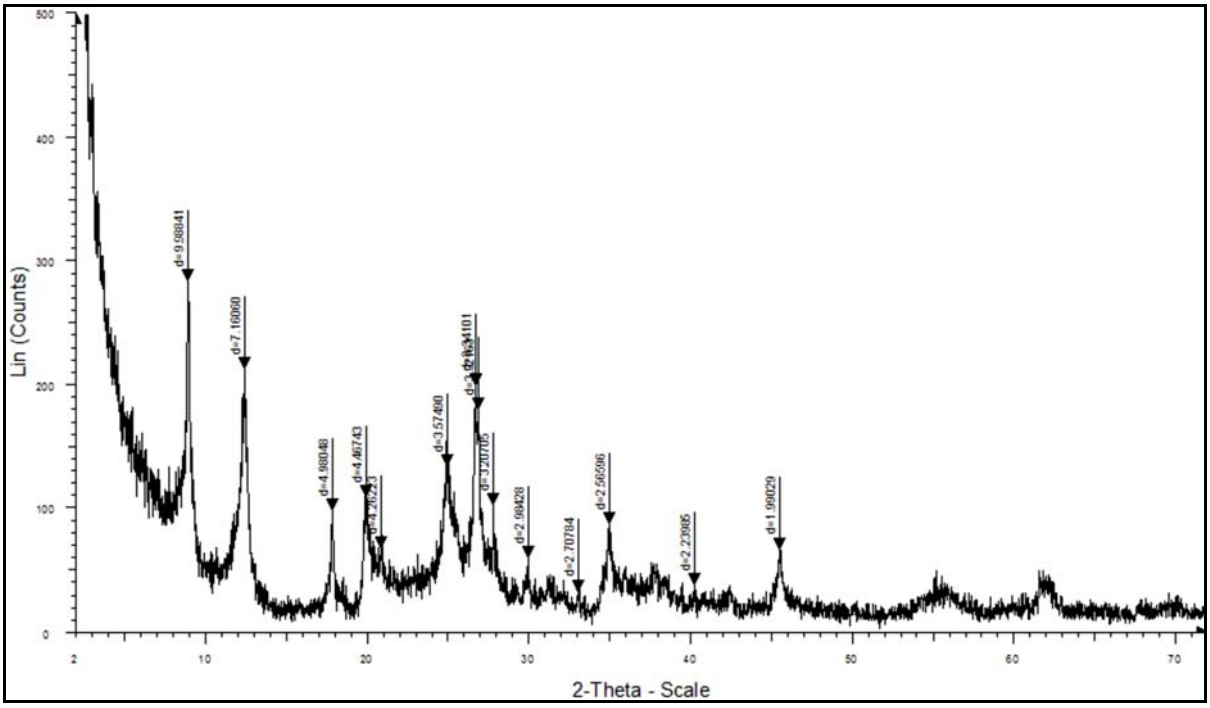
Για τον προσδιορισμό της γύψου, χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις (020) στα d=~7,56 Å, (121) στα d= ~4,27, (031, 040) στα d=~3,79 και (141) στα d=~3,06 Å κ.λπ.

Ο ανυδρίτης προσδιορίστηκε με βάση τις κύριες ανακλάσεις (002, 020) στα d=~3,49 Å και (210) στα d=~2,85 Å.

Για τον προσδιορισμό του σιδηροπυρίτη χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις (311) στα d=~1,63 Å, (200) στα d=~2,71 Å και (210) στα d=~2,42 Å.

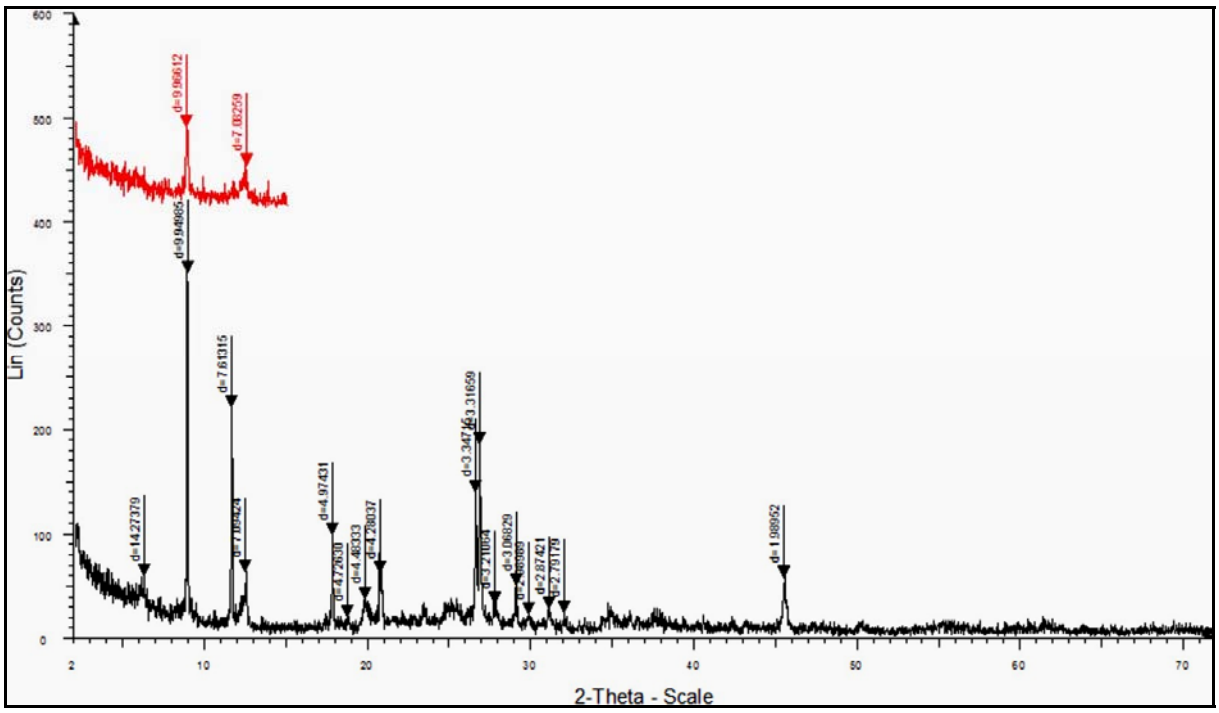
Ο αιματίτης προσδιορίστηκε με βάση τις κύριες ανακλάσεις του (104) στα d=~2,69 Å, (116) στα d=~2,03 Å και (110) στα d=~2,51 Å.

Στα περισσότερα από τα "ως έχει" δείγματα, από τα αργιλικά ορυκτά επικρατεί ο ιλλίτης-μοσχοβίτης, ενώ σε μικρότερο αριθμό δειγμάτων επικρατούν ο καολινίτης και ο χλωρίτης (Σχ. 6.5.1). Σε κανένα από τα εξετασθέντα δείγματα δεν προσδιορίστηκαν διογκούμενα ορυκτά (σμεκτίτες), όπως αυτό προέκυψε από την επεξεργασία των αρχικών δειγμάτων με αιθυλενογλυκόλη (Σχ. 6.5.2).



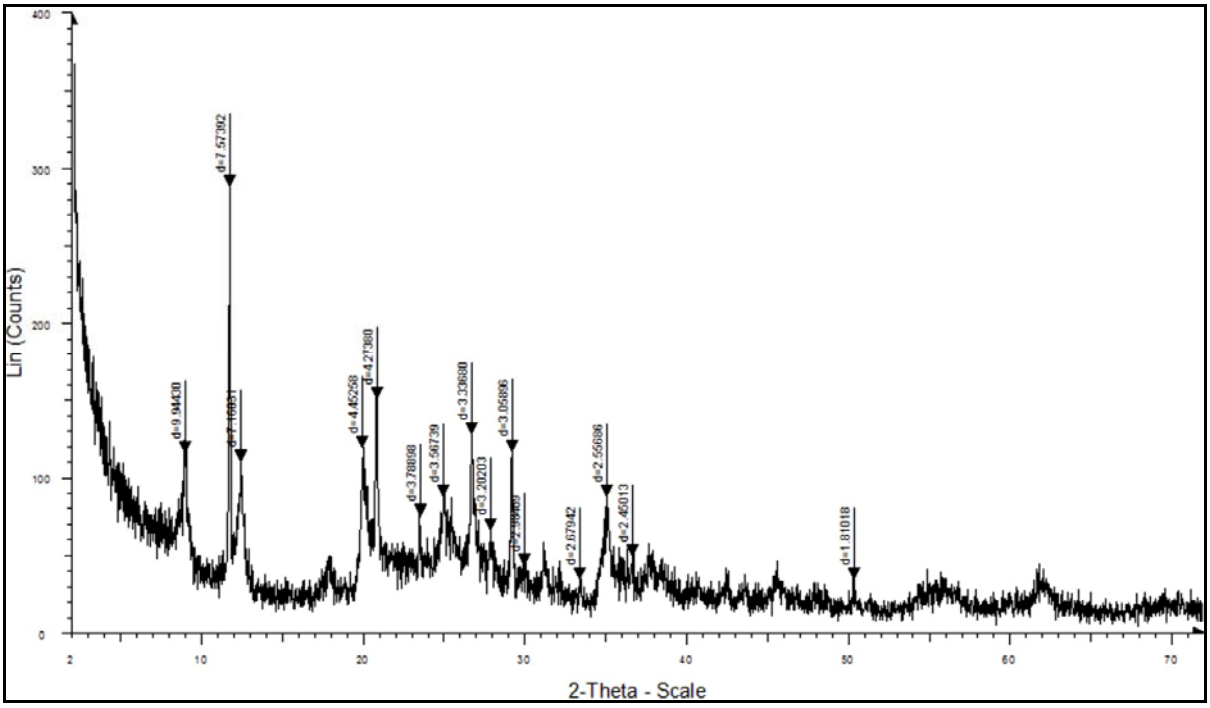
Σχήμα 6.5.1: Διάγραμμα XRD αντιπροσωπευτικού δείγματος, στο οποίο διακρίνεται η επικράτηση του ιλλίτη-μοσχοβίτη, όπως επίσης και η παρουσία των καολινίτη και χλωρίτη.

Τα ίδια δείγματα περιέχουν χαλαζία και αστρίους, που διατηρούνται και μετά τη θερμική τους επεξεργασία.



Σχήμα 6.5.2: Συγκριτικό διάγραμμα XRD αντιπροσωπευτικού δείγματος πριν και μετά από επεξεργασία με αιθυλενογλυκόλη.

Χαρακτηριστική είναι η παρουσία της γύψου (d=~7,57 Å), η οποία, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 6.1, αναγνωρίστηκε και μακροσκοπικά με ευμεγέθεις, επιμήκεις, πρισματοειδείς κρυστάλλους (Σχ. 6.5.3).



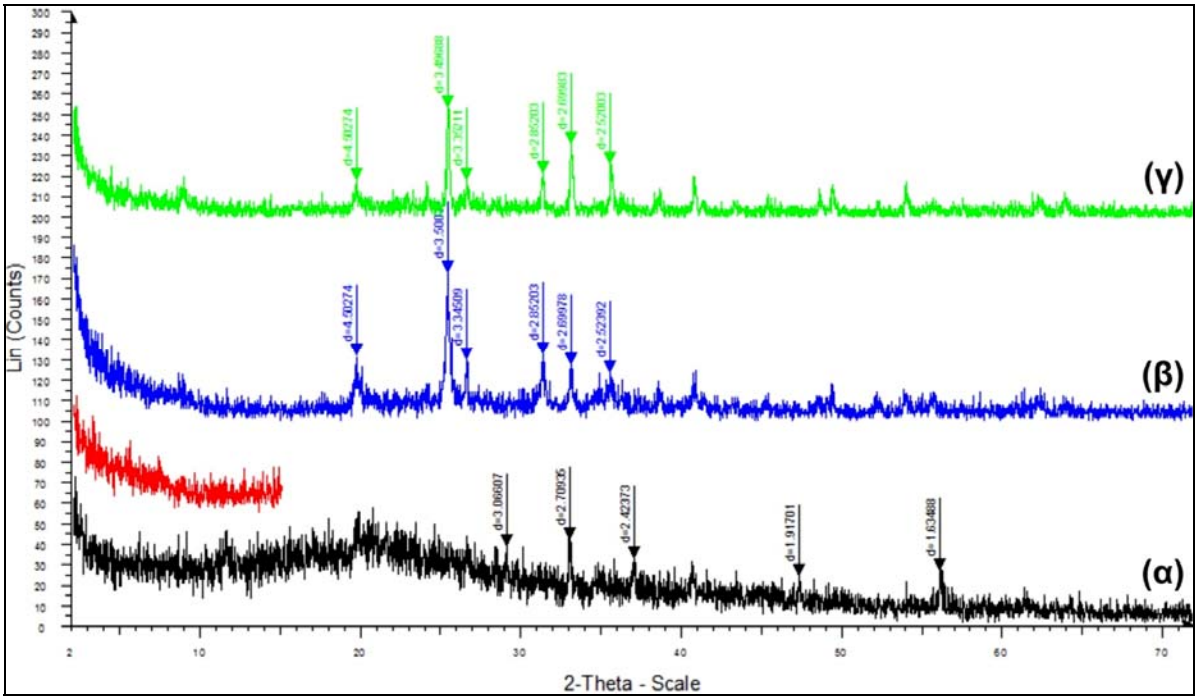
Σχήμα 6.5.3: Διάγραμμα XRD αντιπροσωπευτικού δείγματος, στο οποίο διακρίνεται η έντονη παρουσία γύψου.

Ας σημειωθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις ο "θόρυβος", που εμφανίζεται στο ακτινοδιάγραμμα λόγω της ύπαρξης του οργανικού υλικού, καθιστά προβληματική την ταυτοποίηση της γύψου (Σχ. 6.5.4α). Στην περίπτωση αυτή ο σχηματισμός ανυδρίτη μετά την έψηση του υλικού είναι ένδειξη για την παρουσία της (Σχ. 6.5.4β και γ).

Ο σιδηροπυρίτης προσδιορίστηκε σε περιορισμένο αριθμό δειγμάτων, πιθανόν λόγω της μικρής περιεκτικότητάς του στα αρχικά δείγματα, με αποτέλεσμα οι χαρακτηριστικές του ανακλάσεις να καλύπτονται από τον "θόρυβο", που οφείλεται στο οργανικό υλικό.

Η καύση των αρχικών δειγμάτων λιγνίτη σε υψηλότερες θερμοκρασίες, όπως αυτές των 500 ^{o}C και 750 ^{o}C, επιτείνει τις διεργασίες που ευνοούν τις διασπάσεις των περιεχόμενων σ' αυτά ορυκτών, ενώ παράλληλα ευνοείται και ο σχηματισμός νέων κρυσταλλικών φάσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο σχηματισμός ανυδρίτη, ο οποίος αρχίζει να δημιουργείται από τους 500 ^{o}C (Σχ. 6.5.4β) και ξεκάθαρα φαίνεται η ύπαρξή του στους 750 ^{o}C, όπου αναγνωρίζεται ολόκληρη η ακολουθία των χαρακτηριστικών του ανακλάσεων (Σχ. 6.5.4γ). Επιπλέον από τη σύγκριση των "ως έχει" δειγμάτων και των θερμικά επεξεργασμένων παρατηρείται, ότι η χαρακτηριστική ανάκλαση του ιλλίτη-μοσχοβίτη στα d=~10 Å διατηρείται στους 750 ^{o}C στα περισσότερα δείγματα, ενώ σε μερικά από αυτά

μειώνεται ή και εξαφανίζεται. Η κατάρρευση του κρυσταλλικού πλέγματος του ιλλίτη-μοσχοβίτη σε χαμηλότερες θερμοκρασίες οφείλεται στη μη καλή κρυσταλλικότητά του (Deer et al., 1976).



Σχήμα 6.5.4: Συγκριτικό διάγραμμα XRD αντιπροσωπευτικού δείγματος "ως έχει" και θερμικά επεξεργασμένου στους 500 ^{o}C και 750 ^{o}C, στα οποίο διακρίνεται ο σχηματισμός ανυδρίτη με την αύξησης της θερμοκρασίας.

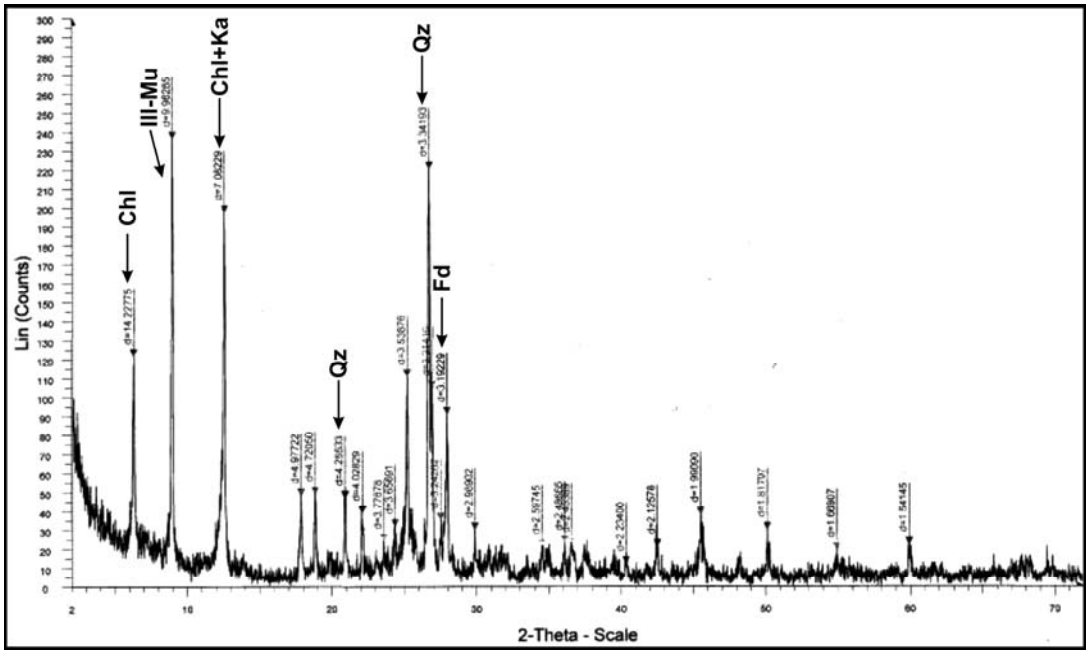
Από τα αναγνωρισθέντα οξείδια και υδροξείδια, η φάση του αιματίτη είναι η πιο χαρακτηριστική (Σχ. 6.5.4), η οποία πρωτοεμφανίζεται στους 500 ^{o}C, ενώ φαίνεται ξεκάθαρα ο σχηματισμός του στους 750 ^{o}C (Σχ. 6.5.4).

6.5.1.2 Ενδιάμεσα ανόργανα ιζήματα

Η μελέτη με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ έγινε αρχικά σε δείγματα "ως έχει" και σε διάφορα κοκκομετρικά τους κλάσματα. Τα ίδια δείγματα εξετάστηκαν έπειτα από έψησή τους σε θερμοκρασία 550 ^{o}C, προκειμένου να επιτευχθεί η διάκριση των ορυκτών καολινίτη και χλωρίτη, των οποίων οι χαρακτηριστικές ανακλάσεις 001 και 002, αντίστοιχα, συμπίπτουν, όπως επίσης και κατόπιν επεξεργασίας με αιθυλενογλυκόλη [$C_2H_2(OH)_2$], με σκοπό να διαπιστωθεί η συμμετοχή ή όχι διογκούμενων ορυκτών.

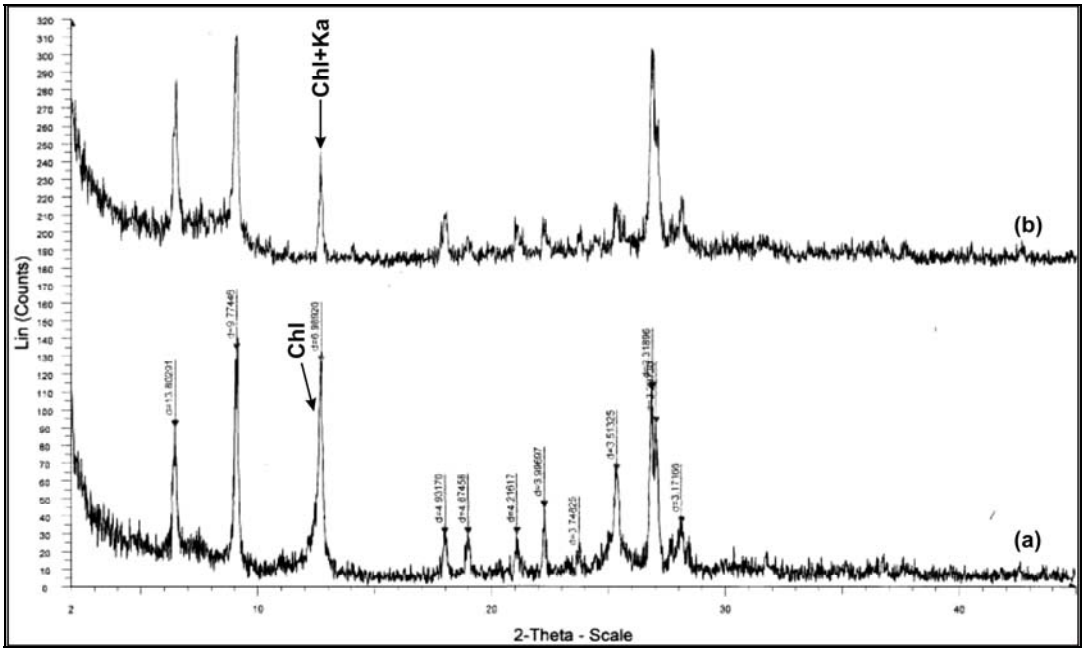
Σε όλα τα δείγματα από τους ενδιάμεσους ανόργανους ορίζοντες της εξεταζόμενης λιγνιτιφόρου ακολουθίας ταυτοποιήθηκαν τα αργιλικά ορυκτά ιλλίτης-μοσχοβίτης, καολινίτης και χλωρίτης (Σχ. 6.5.5). Από τα μη αργιλικά ορυκτά επικρατούν ο χαλαζίας και οι άστριοι, ενώ σε μερικά δείγματα προσδιορίστηκαν τα ανθρακικά ορυκτά ασβεστίτης,

δολομίτης και σιδηρίτης. Σε κανένα από τα εξετασθέντα δείγματα δεν βρέθηκαν διογκούμενα ορυκτά.



Σχήμα 6.5.5: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ αντιπροσωπευτικού δείγματος.
Qz=Χαλαζίας, Fe=Αστριοι, Ill-Mu=Ιλλίτης-Μοσχοβίτης, Ka=Καολινίτης, Chl=Χλωρίτης.

- Ο ιλλίτης-μοσχοβίτης [$\mathbf{K}(Fe,Mg,\mathbf{Al})_2(Al,\mathbf{Si})_4O_{10}(OH)_2$] προσδιορίστηκε με βάση τις κύριες ανακλάσεις του (001) στα d=~10 Å και (003) στα d=~3,34 Å.
- Ο καολινίτης [$Al_2Si_2O_5(OH)_4$] εμφανίζει τις χαρακτηριστικές ανακλάσεις (001) στα d=~7,1 Å και (002) στα d=~3,5 Å, ενώ ο χλωρίτης [$(Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$] τις (001) στα d=~14 Å και (002) στα d=~7 Å.

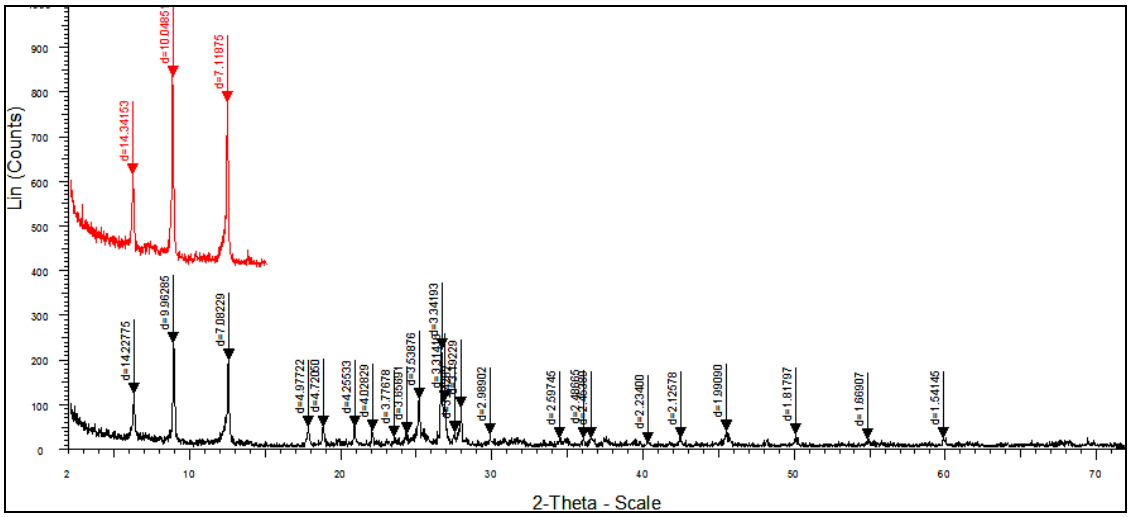


Σχήμα 6.5.6: Συγκριτικό διάγραμμα XRD σε δείγμα πριν και μετά από θέρμανση στους 550 ^{0}C.
a: "ως έχει", b: 550 ^{o}C, Ka=Καολινίτης, Chl=Χλωρίτης.

Δεδομένου ότι στο Σχήμα 6.5.5 παρατηρείται μια κορυφή στα d=~7,07, η οποία προκύπτει από τη συμβολή των ορυκτών καολινίτη και χλωρίτη, εξετάστηκε η θερμική συμπεριφορά των δειγμάτων, προκειμένου να επιτευχθεί η ταυτοποίηση των δύο αυτών ορυκτών.

Συγκεκριμένα η ταυτοποίηση καολινίτη και χλωρίτη έγινε έπειτα από έψηση των δειγμάτων στους 550 ^{o}C για 2h. Το αποτέλεσμα της συγκεκριμένης θερμικής επεξεργασίας είναι η μείωση της έντασης των χαρακτηριστικών ανακλάσεων στα d=~7,07 και d=~3,52 Å, εξαιτίας της διάσπασης του πλέγματος του καολινίτη, γεγονός το οποίο δείχνει ξεκάθαρα τη συνύπαρξη χλωρίτη και καολινίτη (Σχ. 6.5.6).

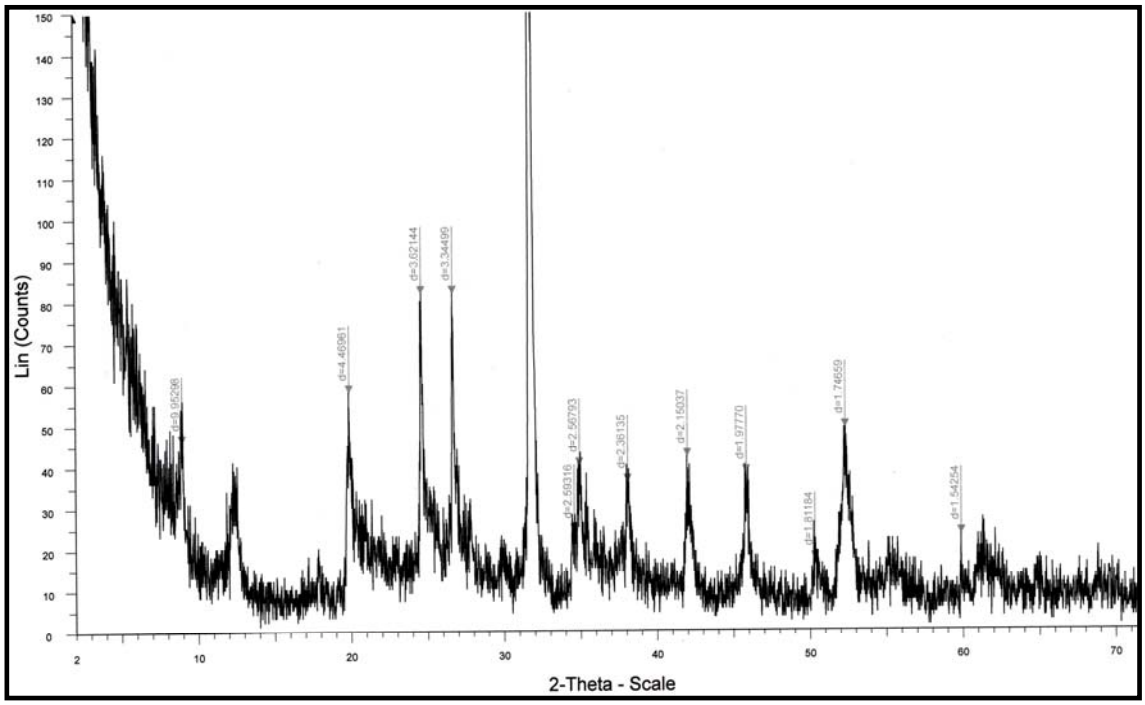
Η ύπαρξη διογκούμενων ορυκτών διαπιστώνεται με βάση τη χαρακτηριστική ιδιότητα του μοντμοριλλονίτη [(Na,Ca)(Mg,**Al**)$_2$**Si**$_4$O$_{10}$(OH)$_2$·n(H$_2$O)] να διογκώνεται μετά από επεξεργασία με αιθυλενογλυκόλη. Δεδομένου ότι μετά τον κορεσμό των υπό εξέταση δειγμάτων σε αιθυλενογλυκόλη δεν παρατηρήθηκε μετατόπιση της κύριας ανάκλασης του μοντμοριλλονίτη (100) από τα d=~14 Å προς τις μικρότερες γωνίες 2θ (d=~17 Å) (Σχ. 6.5.7), συμπεραίνεται ότι τα δείγματα που εξετάστηκαν δεν περιέχουν διογκούμενα ορυκτά.



Σχήμα 6.5.7: Συγκριτικό διάγραμμα XRD σε δείγμα πριν (μαύρο)και μετά (κόκκινο) την επεξεργασία με αιθυλενογλυκόλη.

- Για τον προσδιορισμό του χαλαζία (SiO_2), ο οποίος απαντά σε όλα τα δείγματα, χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις (101) στα d=3,34 Å και (100) στα d=~4,26 Å. Επειδή η ισχυρότερη ανάκλαση του χαλαζία στα d=3,34 Å συμπίπτει σχεδόν με την ισχυρή ανάκλαση (003) του μοσχοβίτη, για τον ημιποσοτικό προσδιορισμό ως σχετικό μέτρο της περιεκτικότητας σε χαλαζία χρησιμοποιήθηκε η ανάκλαση στα d=~4,26 Å.
- Για τον προσδιορισμό των αστρίων [(K,Na)$AlSi_3O_8$] χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις (002) στα d=~3,19 Å και (220) στα d=~3,24 Å.

- Για τον προσδιορισμό του ασβεστίτη ($CaCO_3$) χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις (104) στα d=~3,03 Å, (113) στα d=~2,29 Å και (202) στα d=~2,09 Å, ενώ για το δολομίτη [$CaMg(CO_3)_2$] χρησιμοποιήθηκε η ανάκλαση (104) στα d=~2,89 Å.
- Ο σιδηρίτης ($FeCO_3$) ταυτοποιήθηκε σε εμπλουτισμένα δείγματα από τις ανακλάσεις hkl (104) στα d=2,79 Å, (116) στα d=1,73 Å και (012) στα d=3,59 Å (Σχ. 6.5.8).



Σχήμα 6.5.8: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ αντιπροσωπευτικού δείγματος. Sid=Σιδηρίτης.

Στο Παράρτημα ΙΙ παρατίθενται τα διαγράμματα της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ για τα δείγματα, τα οποία εξετάστηκαν.

Ορυκτολογική σύσταση λιγνιτικών στρωμάτων

Ο προσδιορισμός των ορυκτολογικών φάσεων των λιγνιτικών στρωμάτων του κοιτάσματος Αχλάδας απέδειξε ότι κυρίαρχη ομάδα ορυκτών είναι αυτή των πυριτικών. Πολύ σημαντική είναι και η παρουσία της γύψου, ενώ η εμφάνιση άλλων ορυκτών όπως είναι ο σιδηροπυρίτης, ο ασβεστίτης, οξείδια και υδροξείδια του σιδήρου είναι περιορισμένη και μπορούν να χαρακτηρισθούν ως επουσιώδη.

Στη συνέχεια συνοψίζονται οι διάφορες ομάδες ορυκτών που προσδιορίστηκαν τόσο με χρήση περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ, όσο και με το ανθρακοπετρογραφικό μικροσκόπιο. Επίσης τα αποτελέσματα επιβεβαιώνονται και με τη χρήση δύο ακόμη αναλυτικών μεθόδων, της FTIR και της TG/DTG/DTA (Κεφ. 6.5.2.2 και 6.5.3.2).

Θειικά ορυκτά

Την ομάδα αυτή των ορυκτών αντιπροσωπεύει η γύψος, η οποία χαρακτηρίζει με την παρουσία της ένα μεγάλο ποσοστό των οργανικών στρωμάτων της λιγνιτοφόρου ακολουθίας που εξετάζεται. Από τη μακροσκοπική εξέταση (Κεφ 6.1) παρατηρήθηκαν πολύ καλά ανεπτυγμένοι κρύσταλλοι γύψου σε ποικιλία μεγεθών, γεγονός το οποίο φανερώνει αυθιγενή προέλευση και συνθήκες απόθεσης, που ευνοούν την ευρεία παρουσία της. Σύμφωνα με τους Vetrlag and Werner Dausien – Hanaulm (1979) μικροσκοπικοί κρύσταλλοι γύψου μπορούν να μεταφερθούν κλαστικά και να αποτεθούν μέσα σε ρωγμές και διακλάσεις πετρωμάτων και οργανικών ιζημάτων (π.χ. λιγνίτη). Κάτω από ευνοϊκές συνθήκες (pH, Eh), αρχίζει η ανάπτυξη ευμεγέθων κρυστάλλων. Μέρος της γύψου είναι δυνατόν να σχηματισθεί λόγω της οξείδωσης του FeS_2 κατά την αποθήκευση των δειγμάτων, καθώς το παραγόμενο θειϊκό οξύ μπορεί να αντιδράσει με ασβεστίτη ή ασβεστιτικά θραύσματα με αποτέλεσμα το σχηματισμό γύψου (Rao and Gluskoter, 1973, Ward, 1986, Al-Agha et al., 1995).

Επιπλέον η παρουσία της γύψου στην υπό εξέταση ακολουθία εμφανίζει μια κυκλικότητα, όπως αναφέρεται στη μακροσκοπική περιγραφή (Κεφ. 6.1), ενώ παράλληλα ταυτοποιείται και από την περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ. Ένας πιθανός μηχανισμός γένεσης της γύψου είναι από την αντίδραση των θειικών ιόντων, τα οποία βρίσκονται στα νερά του παλαιοτυρφώνα με ιόντα Ca^{++}, τα οποία εισέρρεαν σε αυτόν λόγω διάβρωσης των γύρω υψηλών τοπογραφικών. Η ύπαρξη θειικών ιόντων στα νερά του παλαιοτυρφώνα υποστηρίζεται και από τη μακροσκοπική παρατήρηση, δεδομένου ότι, όπως προαναφέρθηκε (κεφ. 6.1), τόσο μέσα στο λιγνιτικό υλικό, όσο και πάνω σε κορμούς δέντρων και σε άλλα ξυλιτικά θραύσματα, αναγνωρίσθηκαν "άνθη θείου" (θειικά συγκρίματα). Η προσφορά Ca^{++} μπορεί να προέρχεται επίσης από τη διάλυση ασβεστιτικών κελυφών μέσα στον παλαιοτυρφώνα.

Η έψηση των οργανικών δειγμάτων τους 500 ^oC και στους 750 ^oC (τέφρα) έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή της γύψου σε ανυδρίτη. Έτσι από την παρουσία ανυδρίτη στο ψημένο υλικό πιστοποιείται η παρουσία γύψου στο αρχικό δείγμα, ακόμα και στην περίπτωση που ο "θόρυβος" από το οργανικό υλικό καθιστά δύσκολη την ταυτοποίησή της.

Σύμφωνα με τους Gorman and Walter (1973) η αφυδάτωση της γύψου ξεκινάει από 100 - 150 ^oC, ενώ οι Nankerris and Furlong (1980) υποστηρίζουν ότι αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε ακόμη χαμηλότερη θερμοκρασία (~70 ^oC), οπότε σχηματίζεται βασσανίτης. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 190 - 200 ^oC αρχίζει ο σχηματισμός ανυδρίτη.

Ένας διαφορετικός μηχανισμός σχηματισμού ανυδρίτη είναι η αντίδραση των οξειδίων Ca^{++} και των $SO_4^{=}$, που απελευθερώνονται κατά την καύση του οργανικού υλικού (Mitchell

and Gluskoter, 1979, Nankervis and Furlong, 1980, Ward, 1986, Vassilev and Vassileva, 1996, Ward et al., 2001). Στην περίπτωση αυτή ο παραγόμενος ανυδρίτης είτε συμβάλλει στην αύξηση του ποσοστού του συνολικού ανυδρίτη, (πρόσθεση στον ανυδρίτη από την αφυδάτωση της γύψου) είτε συνιστά το ολικό ποσοστό ανυδρίτη στην περίπτωση που το αρχικό υλικό στερείται γύψου.

Πυριτικά – Αργιλικά ορυκτά

Ένας από τους κύριους εκπροσώπους της ομάδας αυτής είναι ο ιλλίτης-μοσχοβίτης, ο οποίος εμφανίζεται στο σύνολο των δειγμάτων που εξετάστηκαν. Από την παρατήρηση των οργανικών ιζημάτων στο στερεοσκόπιο προκύπτει, ότι σε αντίθεση με τη γύψο ο ιλλίτης-μοσχοβίτης έχει κλαστική προέλευση, καθώς εμφανίζει πλήθος σπασμένων κρυστάλλων. Η σημαντική συμμετοχή του σε όλα τα δείγματα υποδηλώνει ότι έφθανε στον παλαιοτυρφώνα με τα επιφανειακά νερά, που εισέρρεαν σε αυτόν, τόσο σε περιόδους χαμηλής ή μέτριας τροφοδοσίας, όσο και υψηλής (περίοδοι με έντονα πλημμυρικά επεισόδια). Επίσης ο ιλλίτης-μοσχοβίτης είναι δυνατόν να σχηματιστεί και ως προϊόν εξαλλοίωσης των αστρίων Vassilev et al. (1994) και Vassilev and Vassilev (1996).

Ο καολινίτης αποτελεί επίσης μια ορυκτολογική φάση της εν λόγω ομάδας, ο οποίος όμως εμφανίζεται με μικρότερη συμμετοχή. Στις περισσότερες περιπτώσεις συμμετέχει σε συνδυασμό με χλωρίτη (Κεφ. 6.5.1.2) Παρά το γεγονός ότι μέρος του συγκεκριμένου ορυκτού μπορεί να έχει κλαστική προέλευση, είναι δυνατόν αυτός να σχηματίζεται αυθιγενετικά μέσω διαγενετικών διεργασιών που περιλαμβάνουν απόπλυση συγκεκριμένων στοιχείων και εμπλουτισμό σε Al και Si (Vassilev et al., 1994, Vassilev and Vassileva, 1996). Ακόμη ο καολινίτης μπορεί να σχηματιστεί από ιόντα Al και Si, που υπάρχουν στα νερά του παλαιοτυρφώνα και προέρχονται από το ανόργανο μέρος των φυτών, όταν αυτά αποσυντίθενται κατά τη διάρκεια της τυρφογένεσης (Renton and Cecil, 1979).

Κατά τη θερμική επεξεργασία των δειγμάτων, σε θερμοκρασιακό εύρος 450-550 ^{o}C (καμπύλη DTA) παρατηρήθηκε η διάσπαση του καολινίτη και ο σχηματισμός μετα-καολινίτη (άμορφη φάση) (O'Gorman and Walker, 1973, Mitchell and Gluskoter, 1976, Vassilev et al., 1995), ενώ στους ~750 ^{o}C δεν αναγνωρίζεται καθόλου.

Ένα ακόμη πυριτικό ορυκτό, το οποίο συμμετέχει σε σχεδόν όλα τα υπό μελέτη δείγματα είναι ο χλωρίτης. Ο προσδιορισμός του συγκεκριμένου ορυκτού, όπως προαναφέρθηκε, πραγματοποιήθηκε τόσο με θερμική επεξεργασία για το διαχωρισμό του από τον καολινίτη, αλλά και με επεξεργασία με γλυκόλη για το διαχωρισμό του από τους σμεκτίτες.

Τέλος, ο χαλαζίας και οι άστριοι αναγνωρίστηκαν στο σύνολο των αρχικών δειγμάτων και παραμένουν αμετάβλητοι μέχρι τη θερμοκρασία των 750 ^{o}C, ενώ η διάσπασή τους συμβαίνει σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Θειούχα ορυκτά

Την ομάδα αυτή των ορυκτών εκπροσωπεί κατά κύριο λόγο ο σιδηροπυρίτης, ο οποίος εμφανίζεται συνήθως ως βοτρυοειδή συσσωματώματα και λιγότερο με άλλες μορφές. Σύμφωνα με τους Vassilev and Vassileva (1996) και Jimenez et al. (1999) οι επικρατούσες συνθήκες (pH, Eh) και κύρια η συνεισφορά ιόντων σιδήρου κατά τη διάρκεια απόθεσης της τύρφης επηρεάζουν σημαντικά το σχηματισμό σιδηροπυρίτη. Σε περιβάλλοντα λιγνιτογένεσης έχουν παρατηρηθεί δυο διαφορετικοί μηχανισμοί γένεσης του σιδηροπυρίτη, που βασίζονται στην αναγωγή θειικών ιόντων από θειο-βακτηρίδια, με αποτέλεσμα την παραγωγή HS^{-} ή H_2S, τα οποία αντιδρούν με ιόντα σιδήρου και προκύπτει σιδηροπυρίτης (Altschuler et al., 1983, Love et al., 1983, Casagrande, 1987). Ο πρώτος τρόπος περιλαμβάνει το σχηματισμό μακιναβίτη ($FeS_{0.9}$), ο οποίος δευτερογενώς μεταπίπτει σε σιδηροπυρίτη λόγω αλληλεπίδρασης με στοιχειακό θείο σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:

$$HS^{-} + Fe^{2+} \longrightarrow FeS + H^{+}$$
$$FeS + S^{0} \longrightarrow FeS_2$$

Ο τρόπος αυτός σχηματισμού οδηγεί στη δημιουργία βοτρυοειδούς τύπου σιδηροπυρίτη (Altschuler et al., 1983).

Ο δεύτερος μηχανισμός περιλαμβάνει την απευθείας καθίζηση σιδηροπυρίτη, η οποία έχει παρατηρηθεί σε παράκτιους τυρφώνες (Altschuler et al., 1983) και απαιτεί την αρχική οξείδωση του H_2S είτε σε στοιχειακό θείο είτε σε πολυσουλφίδιο σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:

$$Fe^{2+} + S^{0} + H_2S \longrightarrow FeS_2 + 2H^{+}$$
$$Fe^{2+} + S_{\chi}^{2-} + HS^{-} \longrightarrow FeS_2 + S_{\chi-1} + H^{+}$$

Κατά την οξείδωσή του ο σιδηροπυρίτης μεταπίπτει σε οξείδια σιδήρου (Mitchell and Gluskoter, 1976, Ward et al., 2001), ενώ η διάσπαση του κρυσταλλικού του πλέγματος ξεκινάει από τους ~325 ^{o}C (O'Gorman and Walker, 1973).

Ας σημειωθεί ότι παρά το γεγονός της χαμηλής γενικά συμμετοχής του συγκεκριμένου ορυκτού, εν τούτοις δείχνει (Παρ. Ι Πίν. 3) να διαφοροποιείται με το βάθος, με υψηλότερες τιμές στο κατώτερο τμήμα της λιγνιτοφόρου ακολουθίας (0,1 – 12,3 m) και χαμηλότερες στο ανώτερο (12,3 – 26,2 m). Μία πιθανή εξήγηση για την παραπάνω διαφοροποίηση είναι η

μείωση των διαθέσιμων ιόντων σιδήρου προς την κορυφή της ακολουθίας. Προς την ίδια φορά φαίνεται να αυξάνεται ο αριθμός των εμφανιζόμενων ξυλιτικών οριζόντων, ενώ παράλληλα μειώνεται η συχνότητα εμφάνισης των ενδιάμεσων ανόργανων στρώσεων της λιγνιτοφορίας (Σχ. 6.1.1), που υποδηλώνει μικρότερη εμφάνιση περιοδικών πλημμυρικών γεγονότων και επομένως περιορισμό των εισερχόμενων επιφανειακών νερών μέσα στον παλαιοτυρφώνα. Ο περιορισμένος όγκος των ρεόντων επιφανειακών υδάτων που εισέρχονται στον παλαιοτυρφώνα, οδηγεί στη μείωση των διαθέσιμων ιόντων σιδήρου, τα οποία θα οδηγούσαν στο σχηματισμό σιδηροπυρίτη.

Η παραπάνω υπόθεση ενισχύεται και από το γεγονός, ότι προς την κορυφή της λιγνιτοφορίας το ποσοστό των συμμετεχόντων οξειδίων του σιδήρου μειώνεται (Πίν. 6.5.2).

Στην περιορισμένη συμμετοχή του σιδηροπυρίτη είναι πιθανόν να συνέβαλε και η μειωμένη συμμετοχή στοιχειακού θείου, δεδομένου ότι μέρος του αποτέθηκε ως αυτοφυές πάνω στο ξυλιτικό υλικό.

Οξείδια και υδροξείδια

Τα οξείδια και υδροξείδια στα οργανικά ιζήματα της ακολουθίας της Αχλάδας είναι γενικά δύσκολα αναγνωρίσιμα. Ο μαγνητίτης θεωρείται πρωτογενές κλαστικής προέλευσης ορυκτό (Vassilev et al., 1994, Vassilev and Vassileva, 1996) και αναγνωρίστηκε σε ορισμένα μόνο δείγματα. Το γεγονός ότι δεν βρέθηκε στα ψημένα δοκίμια αυτών των δειγμάτων υποδηλώνει την οξείδωσή του σε άλλα οξείδια και πιθανότατα σε αιματίτη.

Σύμφωνα με τους Mitchell and Gluskoter (1976), Vassilev et al. (1994) και Vassilev and Vassileva (1996) και ο γκαιτίτης μπορεί να είναι πρωτογενές ορυκτό, αλλά και να σχηματίζεται μαζί με τον αιματίτη και το άμορφο οξείδιο του σιδήρου κατά την οξείδωση των δειγμάτων σε διάφορες θερμοκρασίες από θειούχα ορυκτά ή άλλα οξείδια του σιδήρου. Ας σημειωθεί ότι στο λιγνίτη της Αχλάδας δεν προσδιορίστηκε γκαιτίτης με καμία από τις αναλυτικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν.

6.5.2 Εξέταση με φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR)

Οι φασματοσκοπικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην ταυτοποίηση των οργανικών και ανόργανων ενώσεων και στηρίζονται στην αλληλεπίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας-ύλης και την εγγραφή των εντάσεων απορρόφησης της ακτινοβολίας. Στα φάσματα απορρόφησης παρατηρείται διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους, που από τη βασική κατάσταση μεταβαίνει σε μια διεγερμένη κατάσταση. Η διαφορά ενέργειας (ΔΕ) συνδέεται με τη συχνότητα ν ή το μήκος κύματος λ της απορροφούμενης

ακτινοβολίας με τη σχέση του Bohr: $\Delta E=hv=hc/\lambda$, όπου c= η ταχύτητα του φωτός και h= η σταθερά του Planck. Αντί της συχνότητας ν (σε sec^{-1} ή Hz) χρησιμοποιείται και ο κυματαριθμός (wavenumber) ν΄ ή αντίστροφα μήκη κύματος, που εκφράζεται σε cm^{-1} ($\nu'=1/\lambda$).

Οι απορροφήσεις στην υπέρυθρη περιοχή (Infrared, IR) οφείλονται σε διεγέρσεις δόνησης ή παραμόρφωσης-κάμψης των δεσμών και περιστροφής του μορίου (μοριακές διεγέρσεις), οι οποίες γίνονται στη βασική στάθμη ηλεκτρονιακής ενέργειας του συστήματος.

Αν σε ένα μόριο προσπέσει υπέρυθρη ακτινοβολία ίσης συχνότητας με την ιδιοσυχνότητα δόνησης του δεσμού του μορίου, τότε προκαλείται διέγερση του δεσμού με απορρόφηση ακτινοβολίας που καλείται δόνηση τάσης (stretching vibration). Οι δονήσεις παραμόρφωσης ή κάμψης (deformation ή bending vibrations) οφείλονται σε μεταβολή των γωνιών δεσμού ή σε κάμψη του μορίου. Συμμετρικές ομάδες ή μόρια δεν απορροφούν στο υπέρυθρο. Σύμφωνα με τους Skoog et al. (2002) οι τρόποι δόνησης διακρίνονται σε:

- Δονήσεις τάσης (stretching vibration)
- Δονήσεις κάμψης (bending vibration)
- Δονήσεις αιώρησης (rocking vibration)
- Δονήσεις σείσης ή παλλόμενες δονήσεις (wagging vibration)
- Δονήσεις συστροφής (twisting vibration)
- Δονήσεις ψαλιδιού (deformation vibration)

Το υπέρυθρο φάσμα δίνει σημαντικές πληροφορίες για τα βασικά χαρακτηριστικά ενός μορίου, κυρίως για τη φύση των ατόμων και τη διάταξή τους στο χώρο. Για το λόγο αυτό το φάσμα αποτελεί το "δακτυλικό αποτύπωμα του μορίου".

6.5.2.1 Οργανικά ιζήματα (λιγνιτοφόροι ορίζοντες)

Τα δείγματα οργανικών ιζημάτων από τη λιγνιτοφόρο ακολουθία της Αχλάδας, τα οποία αναλύθηκαν με υπέρυθρη φασματοσκοπία FT-IR, αντιπροσωπεύουν διαφορετικούς λιγνιτικούς λιθότυπους (μαζώδη, ξυλίτη). Η αναγνώριση των κορυφών (Πίν. 6.5.1) στηρίχτηκε σε βιβλιογραφικές αναφορές (Hergert, 1971, Blackwell, 1977, Painter et al., 1981, Wang and Griffith, 1985, Lide, 1991, Sobkowiak and Painter, 1992, van Krevelen, 1993, Cerny and Pavlikova, 1995, Mastalerz and Bustin, 1995, Ibarra et al., 1996, Mastalerz and Bustin, 1996, Ruau et al., 1996, Cloke et al., 1997, Guo and Bustin, 1998, Koch et al., 1998, Solomon and Carangelo, 1998, Lu et al.,1999, Zondrow et al., 2000, Alcañiz-Monge et al., 2001, Das, 2001). Ας σημειωθεί ότι, τα χημικά συστατικά των φυτικών κυττάρων συνίστανται κυρίως από διάφορα μακρομόρια υδατανθράκων (πολυσακχαρίδια), όπως η

κυτταρίνη και οι πηκτίνες, από λιγνίνη (μεγαλομοριακή αρωματική ένωση) και από διάφορα πεπτίδια (πρωτεΐνες) (Ψαράς κ.ά, 2002). Η αντιστοίχηση των οργανικών δομικών ομάδων συναρτήσει των μακρομοριακών χημικών συστατικών βασίστηκε σε ανάλογες εργασίες (Jarvis and McCann, 2000, McCann et al., 2001).

Πίνακας 6.5.1: Χαρακτηριστικές συχνότητες απορρόφησης των δομικών ομάδων γαιανθράκων στο υπέρυθρο φάσμα.

Εύρος συχνοτήτων – Κυματαριθμός (cm^{-1})	**Τύπος δόνησης και συμμετέχουσα δομική μονάδα**
3699-3618	Δονήσεις τάσης των υδροξυλιομάδων (OH) των αργιλικών ορυκτών
~3428 και ~1629	Δονήσεις τάσης και κάμψης των υδροξυλιομάδων (OH) του προσροφημένου νερού
2926-2918	Ασύμμετρες δονήσεις τάσης του μεθυλενίου (CH_2)
2870-2840	Συμμετρικές δονήσεις τάσης του μεθυλενίου (CH_2)
2300-2400	CO_2
1625-1590	Δόνηση τάσης αρωματικών δακτυλίων (C=C, C=O) και καρβονυλικών ομάδων
1510-1515	Δονήσεις τάσης των αρωματικών δακτυλίων (C=C)
1460-1450	Ασύμμετρες δονήσεις παραμόρφωσης των αλειφατικών ομάδων, του μεθυλενίου (CH_2) και του μεθοξυλίου (OCH_3)
1426-1420	Ασύμμετρες δονήσεις παραμόρφωσης των αλειφατικών ομάδων, του μεθυλενίου (CH_2) και του μεθοξυλίου (OCH_3), όπως επίσης και σε αρωματικές εντός επιπέδου δονήσεις παραμόρφωσης
1383-1370	Δονήσεις κάμψης/παραμόρφωσης των δεσμών C-H των μεθυλομάδων (CH_3)
1280-1260	Δονήσεις τάσης του δεσμού C-O του αρωματικού δακτυλίου της "gualacyl" λιγνίνης
1112-1105	Δονήσεις τάσης των καρβονυλίων (C-O) των πολυσακχαριδίων της κυτταρίνης ή της πηκτίνης
1070-1054	Δονήσεις παραμόρφωσης των C-C-H στη δομή της κυτταρίνης
1029-1033	Δονήσεις τάσης των αλειφατικών αιθέρων (R–O–Ŕ) και αλκοολών (R–OH) στη δομή της κυτταρίνης, όπως επίσης και στους δεσμούς Si-O-Si των πυριτικών ορυκτών
~916	Δονήσεις τάσης των καρβονυλίων (C=O) των πολυσακχαριδίων
900-700	Εκτός επιπέδου δονήσεις κάμψης του αρωματικού δακτυλίου (C-H)
798-795	Λικνιζόμενες δονήσεις κάμψης του μεθυλενίου (CH_2)
~690	Δονήσεις τάσης C-S και θειικά ορυκτά
~534	Δονήσεις τάσης Si-O-Al^{VI} (το Al σε οκταεδρική διάταξη) των αργιλικών ορυκτών
~468	Δονήσεις τάσης Si-O-Si του πλέγματος των αργιλικών ορυκτών

Οι χαρακτηριστικές δονήσεις τάσης και κάμψης των κυριοτέρων οργανικών ομάδων βρίσκονται μεταξύ 4000 και 1600 cm^{-1}. Κάτω από 650 cm^{-1} βρίσκονται διάφορες απορροφήσεις σκελετού, όπως επίσης και οι απορροφήσεις κάποιων ανόργανων ομάδων. Στην περιοχή μεταξύ 4000 και 1600 cm^{-1} εμφανίζονται απορροφήσεις χαρακτηριστικές των δεσμών των δραστικών ομάδων (functional group region), ενώ στην περιοχή μεταξύ 1600 και 650 cm^{-1} έχουμε ειδικές για κάθε ένωση δονήσεις κάμψης, δακτυλίων κ.τ.λ., γι' αυτό η περιοχή αυτή καλείται "περιοχή δακτυλικού αποτυπώματος" (fingerprint region).

Στα φάσματα IR, τα οποία προέκυψαν από τη συνδυασμένη μελέτη μαζώδους (Σχ. 6.5.9) και του ξυλιτικού λιγνίτη (Σχ. 6.5.10), αναγνωρίστηκαν οι περιοχές δόνησης των

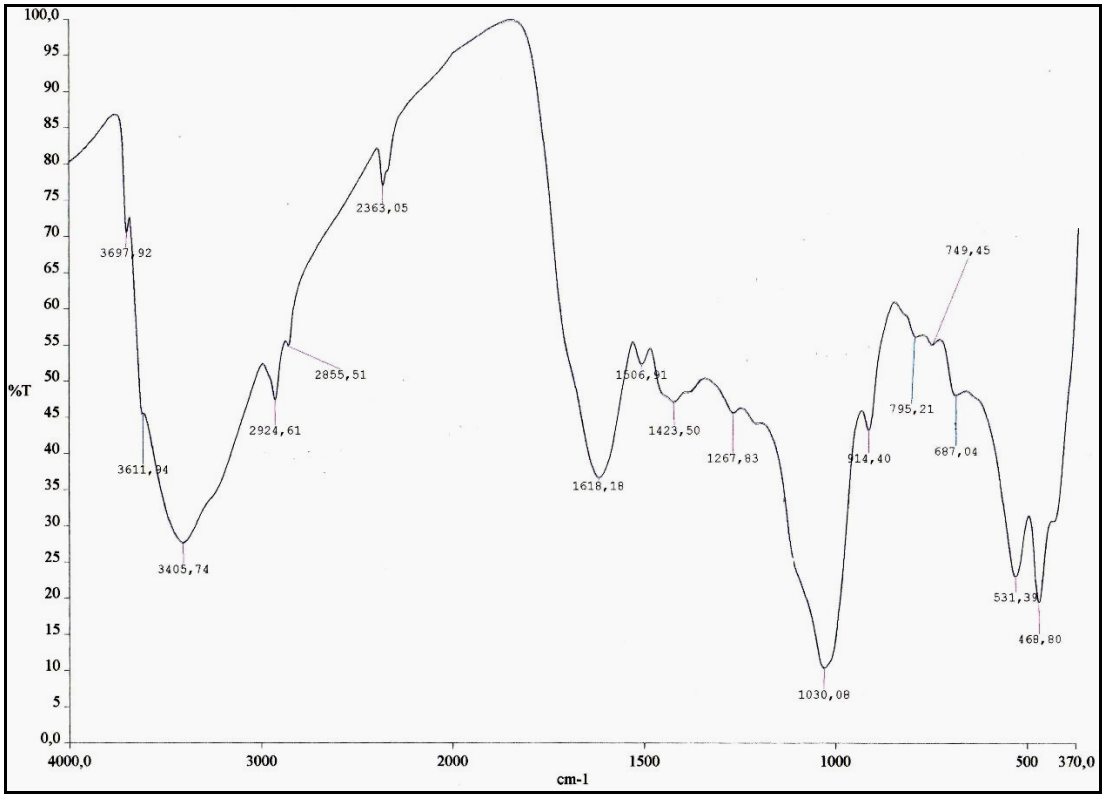
διαφόρων δραστικών ομάδων, όπως είναι η περιοχή δόνησης των υδροξυλιομάδων (3100 - 3600 cm^{-1}), η περιοχή δόνησης των αρωματικών ενώσεων (3000-3100 cm^{-1}), των καρβοξυλίων/καρβονυλίων (~1710 cm^{-1}), η περιοχή δονήσεων κάμψης των αλειφατικών ενώσεων (1500-1350 cm^{-1}), η περιοχή δόνησης της κυτταρίνης και της λιγνίνης (1300-1000 cm^{-1}), όπως επίσης και η περιοχή δόνησης των αρωματικών, εκτός επιπέδου (out-of-plane) ενώσεων (900-700 cm^{-1}).

Κατ' αντιστοιχία με τα δείγματα από τα ενδιάμεσα ανόργανα ιζήματα της εξεταζόμενης λιγνιτοφορίας, σε όλα τα λιγνιτικά δείγματα μαζώδους λιθότυπου αναγνωρίστηκαν έντονες δονήσεις στις περιοχές 466-470 cm^{-1}, 528-535 cm^{-1}, 3618-3628 cm^{-1} και 3696-3699 cm^{-1}, οι οποίες αποδίδονται στην παρουσία αργιλικών και πυριτικών ορυκτών. Τα ξυλιτικά δείγματα παρουσιάζουν και αυτά ανάλογες κορυφές, αλλά αισθητά μικρότερης έντασης. Η έντονη δόνηση στα 3696-3699 cm^{-1} προέρχεται από τις εσωτερικές συμμετρικές δονήσεις τάσης (stretching vibration) των ομάδων -OH, οι οποίες ανήκουν είτε στα εσωτερικά είτε στα εξωτερικά -OH του οκταεδρικού φύλλου, το οποίο σχηματίζει ασθενείς δεσμούς υδρογόνου με τα οξυγόνα του επόμενου τετραεδρικού φύλλου. (Balan et al., 2001). Οι ισχυρές δονήσεις στα 3618-3628 cm^{-1} οφείλονται στις δονήσεις τάσης των εσωτερικών υδροξυλιομάδων, οι οποίες κείτονται μεταξύ των τετραεδρικών και οκταεδρικών φύλλων (Madejova, 2002). Η ευρεία δόνηση στα 3395 - 3431 cm^{-1} αποδίδεται στις δονήσεις τάσης των -OH του προσροφημένου νερού, το οποίο ανήκει είτε στα αργιλικά ορυκτά είτε στη δομή του λιγνίτη και του ξυλίτη. Οι δονήσεις στα ~2363 cm^{-1} οφείλεται στην ύπαρξη σιδηρίτη. Οι δονήσεις στα 528 – 535 cm^{-1} προέρχονται από τις δονήσεις Si–O–Al^{VI} (Al σε οκταεδρική διάταξη), ενώ οι δονήσεις στα 466 – 470 cm^{-1} αποδίδονται στις δονήσεις κάμψης (bending vibrations) των Si – O – Si (Van Jaarsveld et al., 2002, Madejova, 2003).

Δεδομένου ότι, η εμφάνιση των χαρακτηριστικών δραστικών ομάδων, οι οποίες αναγνωρίστηκαν στα φάσματα υπερύθρου των εξεταζόμενων δειγμάτων, διαφοροποιούνται μεταξύ του μαζώδους και του ξυλιτικού λιγνίτη, κρίθηκε σκόπιμο να περιγραφούν ξεχωριστά οι δύο αυτοί λιγνιτικοί λιθότυποι. Έτσι τα IR φάσματα για τα λιγνιτικά δείγματα μαζώδους λιθότυπου (Σχ. 6.5.9) παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Η δόνηση στα ~2924 cm^{-1} αποδίδεται στην ασύμμετρη δόνηση τάσης του CH_2 των αλειφατικών ενώσεων (van Krevelen, 1993, Guo et al., 1996, Georgakopoulos et al., 2003).
- Η δόνηση στα ~2855 cm^{-1} οφείλεται στη συμμετρική δόνηση τάσης του CH_2 των αλειφατικών ενώσεων (van Krevelen, 1993, Guo et al., 1996, Georgakopoulos et al., 2003). Για τους γαιάνθρακες η παρουσία, με χαμηλό ποσοστό συμμετοχής,

ομάδων CH_3 στην περιοχή 3000-2800 cm^{-1} του φάσματος αποτελεί ένδειξη για σχηματισμό τύρφης (και δυνητικά λιγνίτη) σε περιβάλλον γλυκού νερού (Kuehn and Davis, 1991). Δεδομένου ότι παρατηρήθηκε απουσία ομάδων μεθυλίου (CH_3), η παραπάνω παρατήρηση υποστηρίζει τη δημιουργία του εξεταζόμενου λιγνίτη σε περιβάλλον γλυκών νερών.



Σχήμα 6.5.9: Διαγράμματα (FT-IR) δειγμάτων λιγνίτη μαζώδη λιθότυπου.

- Η ισχυρή δόνηση στα ~1618 cm^{-1} αποδίδεται στις δονήσεις τάσης των δεσμών C=O ή C=C των αρωματικών δακτυλίων (Guo and Bustin, 1998a). Η ένταση της συγκεκριμένης δόνησης ενισχύεται από την παρουσία υδροξυλίων (-OH) (Solomon and Carangelo, 1998). Οι δονήσεις των C=C, οι οποίες θα έπρεπε να βρίσκονται μεταξύ των δονήσεων των C–O και C=O, δεν αναγνωρίστηκαν πλήρως, για το λόγω ότι ο λιγνίτης χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης περιέχει υψηλό ποσοστό οξυγόνου (O_2), με αποτέλεσμα οι δονήσεις των δεσμών C–O και C=O να επικαλύπτουν τις κορυφές των ομάδων C=C (Yaman et al., 2000).
- Η δόνηση στα ~1506 cm^{-1} αποδίδεται στις δονήσεις τάσης των καρβονυλίων (C=O).
- Η δόνηση στα ~1423 cm^{-1} αποδίδεται στις ασύμμετρες δονήσεις παραμόρφωσης των δεσμών C–H των αλειφατικών ομάδων του μεθυλενίου (CH_2) και του μεθοξυλίου (OCH_3), στη δομή της λιγνίνης (Russell and Barron, 1984, Guiliano et

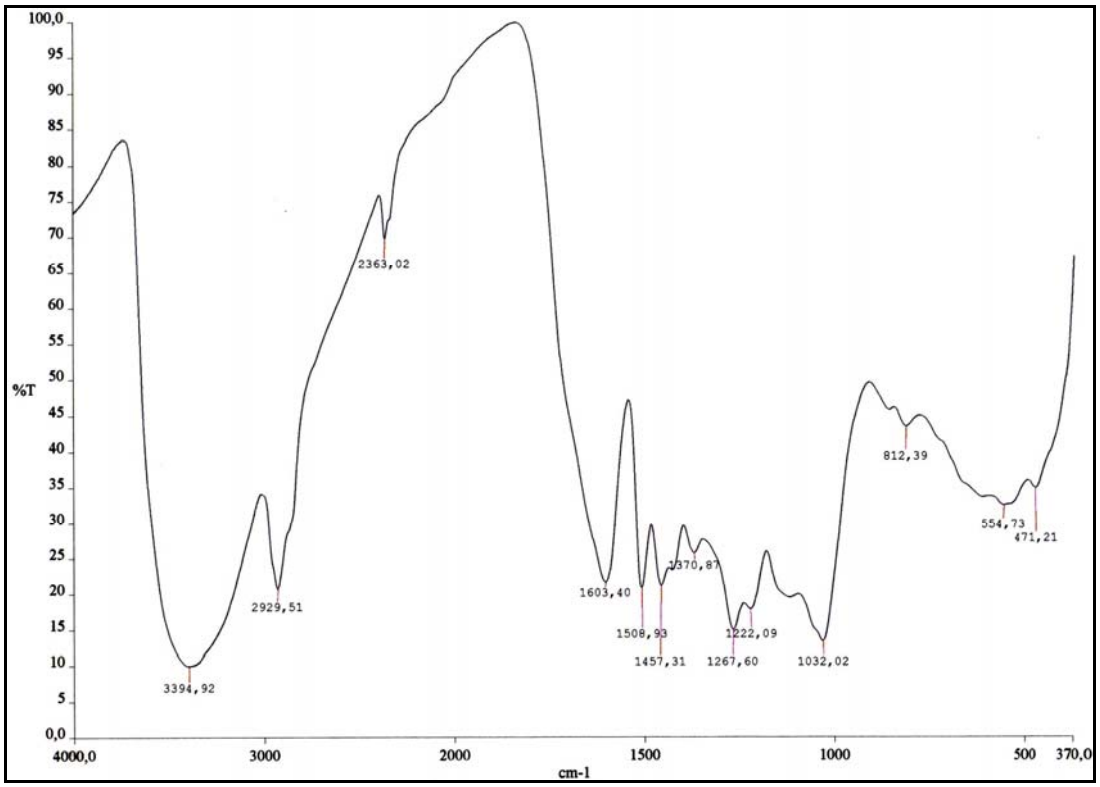
al., 1990, Guo and Bustin, 1998α), όπως επίσης και στις αρωματικές εντός επιπέδου δονήσεις παραμόρφωσης.

- Η δόνηση στα ~1374 cm^{-1} οφείλεται στις δονήσεις παραμόρφωσης των δεσμών C–H των αλειφατικών μεθυλομάδων (CH_3) (Guo and Bustin, 1998b, Lis et al., 2005).
- Η δόνηση στα ~1267 cm^{-1}, η οποία είναι αρκετά ασθενής στα δείγματα μαζώδη λιθότυπου, οφείλεται στην ύπαρξη μεθοξυλομάδων (OCH_3) (Ibarra and Moliner, 1991).
- Η δόνηση στα ~1112 cm^{-1} αποδίδεται στις δονήσεις τάσης του δεσμού C–O των καρβονυλίων που βρίσκονται στα πολυσακχαρίδια της κυτταρίνης ή της πηκτίνης, όπως επίσης και στις δομές C–O–R (Georgakopoulos et al., 2003).
- Η έντονη δόνηση στα ~1030 cm^{-1} αποδίδεται στις δονήσεις τάσης των αλειφατικών αιθέρων (R–O–Ŕ) και αλκοολών (R–OH) (Guo et al., 1996, Georgakopoulos et al., 2003), οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις οξυγονούχες δραστικές ομάδες της κυτταρίνης (Guo and Bustin, 1998α). Στην ίδια περιοχή του φάσματος, όπως προαναφέρθηκε, αποδίδονται και οι δονήσεις τάσης Si-O-Si των πυριτικών ορυκτών, οι οποίες είναι συνήθως εντονότερες στην περίπτωση του μαζώδη λιγνίτη και επικαλύπτουν τις απορροφήσεις των οργανικών δραστικών ομάδων (Painter et al., 1978b, Iglesias et al., 1998, Georgakopoulos et al., 2003). Στα δείγματα μαζώδη λιθότυπου, η έντονη κορυφή στα ~1030 cm^{-1} συνοδεύεται από τις κορυφές στα ~530 cm^{-1} και ~470 cm^{-1}, οι οποίες προέρχονται από τις δονήσεις $Si–O–Al^{VI}$ (Al σε οκταεδρική συνδιάταξη), και από τις δονήσεις κάμψης (bending vibrations) των Si–O–Si αντίστοιχα (Van Jaarsveld et al., 2002, Madejova, 2003), γεγονός που υποδηλώνει ότι στα δείγματα μαζώδη λιθότυπου η έντονη δόνηση στα ~1030 cm^{-1} οφείλεται στη συμβολή τόσο των οργανικών δραστικών ομάδων, όσο και των πυριτικών ορυκτών.
- Η δόνηση στα ~916 cm^{-1} οφείλεται στις δονήσεις του καρβονυλίου (C=O) των πολυσακχαριδίων, τα οποία βρίσκονται στη δομή της κυτταρίνης (Jarvis and McCann, 2000, McCann et al., 2001). Επίσης η ένταση της συγκεκριμένης κορυφής ενισχύεται από τις δονήσεις των εξωτερικών και εσωτερικών -OH του πλέγματος (Al-OH-Al) (Madejova, 2002, Deng et al., 2002).
- Η δόνηση στα ~794 cm^{-1} οφείλεται στις δονήσεις κάμψης των ομάδων του μεθυλενίου (CH_2) (van Krevelen, 1993, Guo and Bustin, 1998a)
- Η δόνηση στα ~749 cm^{-1} οφείλεται στις αρωματικές εκτός επιπέδου (out-of-plane) δονήσεις κάμψης (Ibarra et al., 1994; Guo and Bustin, 1998b, Iglesias et al., 1998

Lis et al., 2005) των μονοκυκλικών και πολυκυκλικών δακτυλίων, η ένταση των οποίων αυξάνεται με την αύξηση της ανακλαστικότητας Rr (Mastalerz and Bustin, 1994). Οι απορροφήσεις της ανόργανης ύλης των ορυκτών ανθράκων στο φάσμα 900-700 cm^{-1} είναι δυνατό να επικαλύπτουν αυτές των οργανικών δραστικών ομάδων δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό δυσκολία στη μονοσήμαντη απόδοση κορυφών σε συγκεκριμένες ενώσεις (Solomon and Carangelo, 1998, Lis et al., 2005).

- Η δόνηση στα ~690 cm^{-1} αποδίδεται στις δονήσεις τάσης C-S ή/και στην παρουσία θειικών ορυκτών (Baruah et al., 2003).

Τα FT-IR φάσματα για τα ξυλιτικά δείγματα (Σχ. 6.5.10) παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά:



Σχήμα 6.5.10: Διαγράμματα (FT-IR) δειγμάτων ξυλιτικού λιθότυπου.

- Η δόνηση στα ~2929 cm^{-1}, όπως και στην περίπτωση των δειγμάτων μαζώδους λιγνίτη, οφείλεται στην ασύμμετρη δόνηση τάσης του CH_2 των αλειφατικών ενώσεων.
- Η ισχυρή δόνηση στα ~1609 cm^{-1}, όπως και στην περίπτωση των δειγμάτων μαζώδους λιγνίτη, αποδίδεται στις δονήσεις τάσης των δεσμών C=O ή C=C των

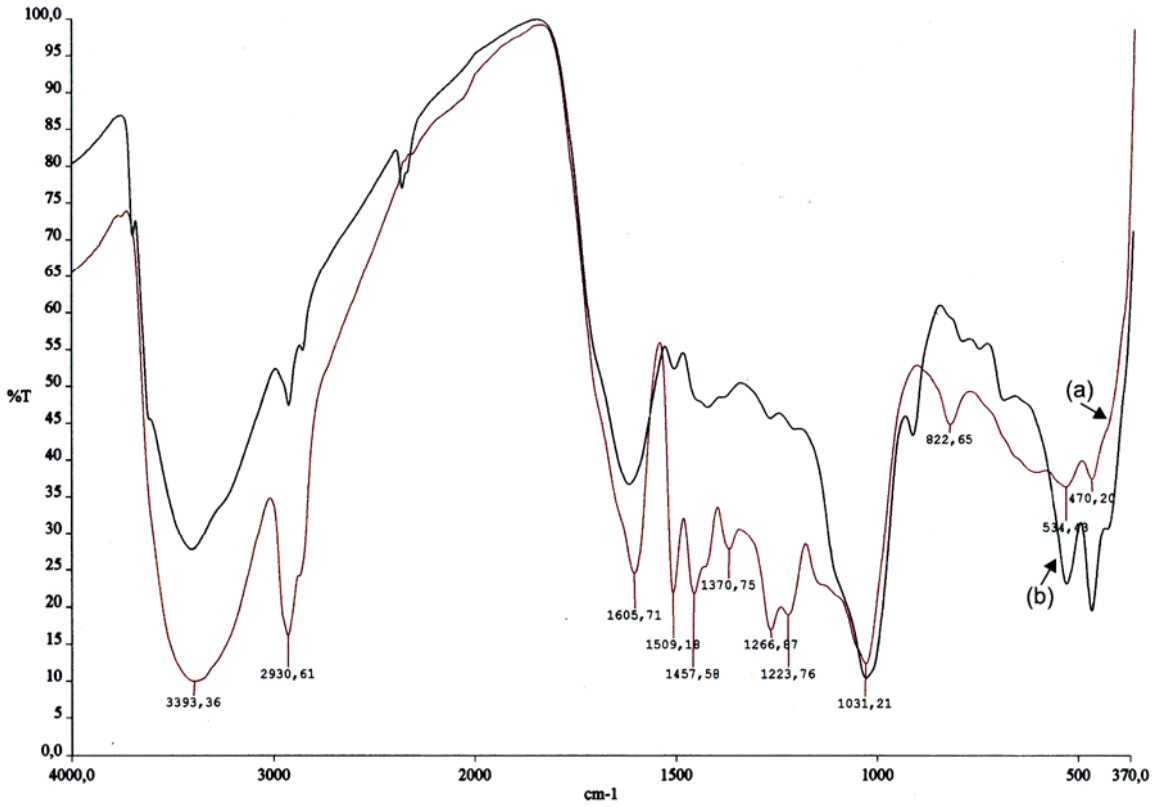
αρωματικών δακτυλίων στη δομή της λιγνίνης. Η ένταση της συγκεκριμένης δόνησης ενισχύεται από την παρουσία υδροξυλίων (-OH).

- Η δόνηση στα ~1509 cm^{-1} αποδίδεται στις δονήσεις τάσης των αρωματικών C=C ομάδων. Σύμφωνα με τους Russell and Burron (1984) και Guo and Bustin (1998a) οι δονήσεις αυτές χαρακτηρίζουν τη δομή της λιγνίνης, η οποία υποδηλώνει έμμεσα την ύπαρξη δενδρώδους βλάστησης. Οι συγκεκριμένες δονήσεις είναι πολύ εντονότερες στα δείγματα ξυλιτικού λιθότυπου (όπως είναι αναμενόμενο), ενώ η μείωση της έντασης απορρόφησης στα δείγματα μαζώδους λιθότυπου αποδίδεται στην υποκατάσταση των αρωματικών δεσμών της λιγνίνης από ετεροατομικές συνδέσεις (Wagner, 1982).
- Η δόνηση στα ~1455 cm^{-1} οφείλεται στις ασύμμετρες δονήσεις παραμόρφωσης των δεσμών C–H των αλειφατικών ομάδων, του μεθυλενίου (CH_2) και του μεθοξυλίου (OCH_3), στη δομή της λιγνίνης (Russell and Barron, 1984, Guo and Bustin, 1998α).
- Η δόνηση στα ~1370 cm^{-1} οφείλεται, όπως και στην περίπτωση των δειγμάτων μαζώδους λιγνίτη, στις δονήσεις παραμόρφωσης των δεσμών C–H των αλειφατικών μεθυλομάδων (CH_3).
- Η δόνηση στα ~1265 cm^{-1} αποδίδεται στην ύπαρξη μεθοξυλομάδων (OCH_3) (Ibarra and Moliner, 1991), ενώ αποδίδεται και στις δονήσεις τάσης του δεσμού C – O του αρωματικού δακτυλίου της "gualacyl" λιγνίνης (Russell and Burron, 1984), γεγονός που δικαιολογεί την ύπαρξη εντονότερων κορυφών στους ξυλίτες από ό,τι στο μαζώδη λιγνίτη.
- Η δόνηση στα ~1223 cm^{-1} οφείλεται, σύμφωνα με τους Yongkang et al. (2001), στις ασύμμετρες δονήσεις τάσης των δεσμών αιθέρα (C-O-C), ενώ οι Russel and Barron (1984) αποδίδουν τη συγκεκριμένη δόνηση, σε δονήσεις τάσης του δεσμού C–O του αρωματικού δακτυλίου της " gualacyl " λιγνίνης, γεγονός το οποίο, όπως και στην περίπτωση της δόνησης στα ~1265 cm^{-1}, δικαιολογεί την ύπαρξη εντονότερων κορυφών στα δείγματα ξυλιτικού λιθότυπου.
- Η δόνηση στα ~1034 cm^{-1}, η ένταση της οποίας είναι εμφανώς μικρότερη σε σχέση με αυτήν των δειγμάτων μαζώδους λιγνίτη, αποδίδεται, όπως προαναφέρθηκε, στις δονήσεις τάσης των αλειφατικών αιθέρων (R–O–Ŕ) και αλκοολών (R–OH) (Guo et al., 1996; Georgakopoulos et al., 2003), οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις οξυγονούχες δραστικές ομάδες της κυτταρίνης (Guo and Bustin, 1998α). Αντίθετα με ό,τι συμβαίνει στα δείγματα μαζώδους λιθότυπου, στα ξυλιτικά δείγματα οι

κορυφές στα ~530 cm^{-1} και ~470 cm^{-1} είναι πολύ ασθενείς, γεγονός που υποδηλώνει την πολύ μικρή συμμετοχή των αργιλοπυριτικών ορυκτών σε αυτήν την περιοχή του φάσματος και κατ' επέκταση σε ολόκληρο το εξεταζόμενο υλικό. Έτσι η μειωμένη ένταση της κορυφής στα ~1034 cm^{-1} οφείλεται τόσο στη μειωμένη συμμετοχή των αργιλοπυριτικών ορυκτών, όσο και στη μειωμένη συμμετοχή των δραστικών ομάδων της κυτταρίνης.

- Η δόνηση στα ~824 cm^{-1} οφείλεται στις δονήσεις των εκτός επιπέδου αρωματικών δακτυλίων με απομονωμένες ομάδες C–H (Guo and Bustin, 1998a,b).

Με βάση όλες τις παραπάνω παρατηρήσεις προκύπτει, ότι στα δείγματα μαζώδους λιθότυπου κυριαρχούν δραστικές ομάδες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν περισσότερο τη δομή της κυτταρίνης και λιγότερο της λιγνίνης. Τούτο αναμένεται λόγω της ποώδους φύσης των φυτικών ιστών, όπου η κυτταρίνη αποτελεί το κύριο χημικό συστατικό (εντονότερη απορρόφηση δομικών μονάδων πολυσακχαριδίων στις συχνότητες 1162-900 cm^{-1}). Αντίθετα στα δείγματα του ξυλιτικού λιθότυπου κυριαρχούν οι δραστικές ομάδες (αλειφατικοί και φαινολικοί αιθέρες, αλκοόλες, υδροξύλια), οι οποίες είναι πολύ χαρακτηριστικές για τη δομή της λιγνίνης (1509-1223 cm^{-1}), υποδηλώνοντας έμμεσα την επικράτηση της δενδρώδους βλάστησης.



Σχήμα. 6.5.11: Συγκριτικό διάγραμμα δειγμάτων λιγνίτη ξυλιτικού (a) και μαζώδους (b) λιθότυπου.

Η παραπάνω διαφοροποίηση μεταξύ των δειγμάτων μαζώδους και ξυλιτικού λιθότυπου, αποτυπώνεται πολύ έντονα στη μορφή της καμπύλης των παραγόμενων IR φασμάτων υπερύθρου (Σχ. 6.5.11), η οποία στην περιοχή μεταξύ ~1600 cm^{-1} και ~1000 cm^{-1} παρουσιάζει τις πιο έντονες διαφορές.

Επίσης από τα φάσματα του Σχήματος 6.5.11 φαίνεται, ότι η συμμετοχή των αργιλοπυριτικών ορυκτών είναι υψηλότερη στη δομή των δειγμάτων μαζώδους λιγνίτη, σε σχέση με τον ξυλίτικό λιθότυπο, κάτι το οποίο αιτιολογείται από το γεγονός ότι η δομή των λιγνιτικών δειγμάτων ξυλιτικού λιθότυπου είναι πιο συνεκτική και δεν επιτρέπει την εισροή υδάτων εντός της μάζας τους, οπότε η απόθεση ανόργανης ύλης είναι περιορισμένη.

Σε σύγκριση με αντίστοιχες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί κατά το παρελθόν σε ελληνικά λιγνιτικά κοιτάσματα, τα φάσματα τα οποία ανταποκρίνονται σε λιγνιτικά δείγματα μαζώδους λιθότυπου από την Απόφυση Αμυνταίου (Ιορδανίδης, 2002, Georgakopoulos et al., 2003), τον Αλμυρό Βόλου (Μπουζίνος, 2004) και την Πτολεμαΐδα (Μαυρίδου, 2007), εμφανίζουν πολύ μεγάλες ομοιότητες με τα φάσματα FT-IR, από το λιγνιτωρυχείο της Αχλάδας, όσον αναφορά στο είδος των εμφανιζόμενων δονήσεων και στη μορφή της καμπύλης των φασμάτων. Ανάλογη ομοιότητα εμφανίζουν μεταξύ τους και οι καμπύλες φασμάτων FT-IR, των δειγμάτων ξυλιτικού λιθότυπου από την Αχλάδα, σε σύγκριση με αντίστοιχα δείγματα από τη λεκάνη Αλμυρού (Μπουζίνος, 2004), το Κλειδί στη λεκάνη της Φλώρινας και το Προσήλιο στη λεκάνη Σερβίων (Μαυρίδου, 2007). Η μόνη διαφοροποίηση έγκειται στο γεγονός, ότι στην περίπτωση των φασμάτων από το κοίτασμα της Αχλάδας οι εμφανιζόμενες κορυφές είναι περισσότερο έντονες.

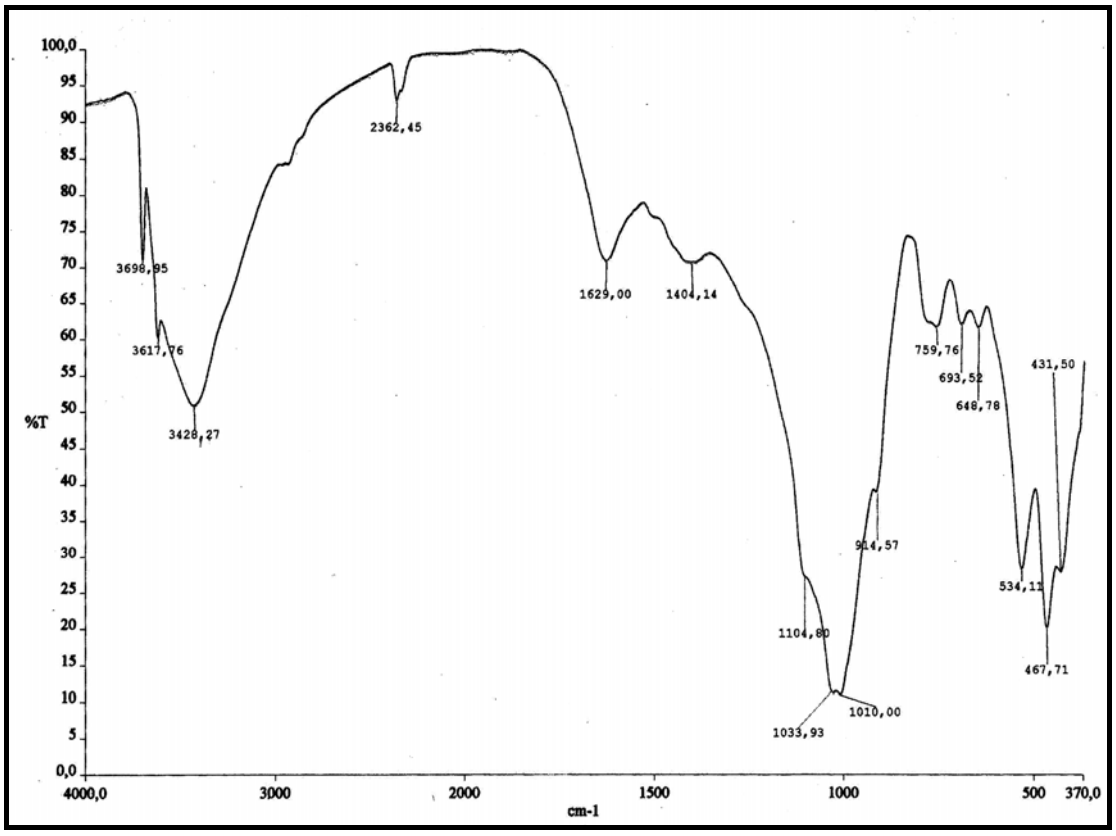
6.5.2.2 Ενδιάμεσα ανόργανα ιζήματα

Η μελέτη των δειγμάτων από τα ενδιάμεσα ανόργανα ιζήματα της λιγνιτοφόρου ακολουθίας της Αχλάδας με φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας επαληθεύει τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης με χρήση της περιθλασιμετρίας με ακτίνες-Χ. Αυτό προκύπτει από την παρουσία των ορυκτών ιλλίτη, καολινίτη και χλωρίτη. Έτσι η ταυτοποίηση των διαφόρων ορυκτών πραγματοποιήθηκε με βάση τις χαρακτηριστικές τους δονήσεις (Σχ. 6.5.12).

Συγκεκριμένα:

- Τα ίχνη των peaks στα ~649, 534 cm^{-1} οφείλονται στις δονήσεις Si-O-Al^{VI} (το Al σε οκταεδρική διάταξη), ενώ το ίχνος στα ~ 468 cm^{-1} οφείλεται στις δονήσεις τάσης Si-O-Si του πλέγματος των αργιλικών ορυκτών (Van Jaarsveld et al., 2002, Madejova, 2002).

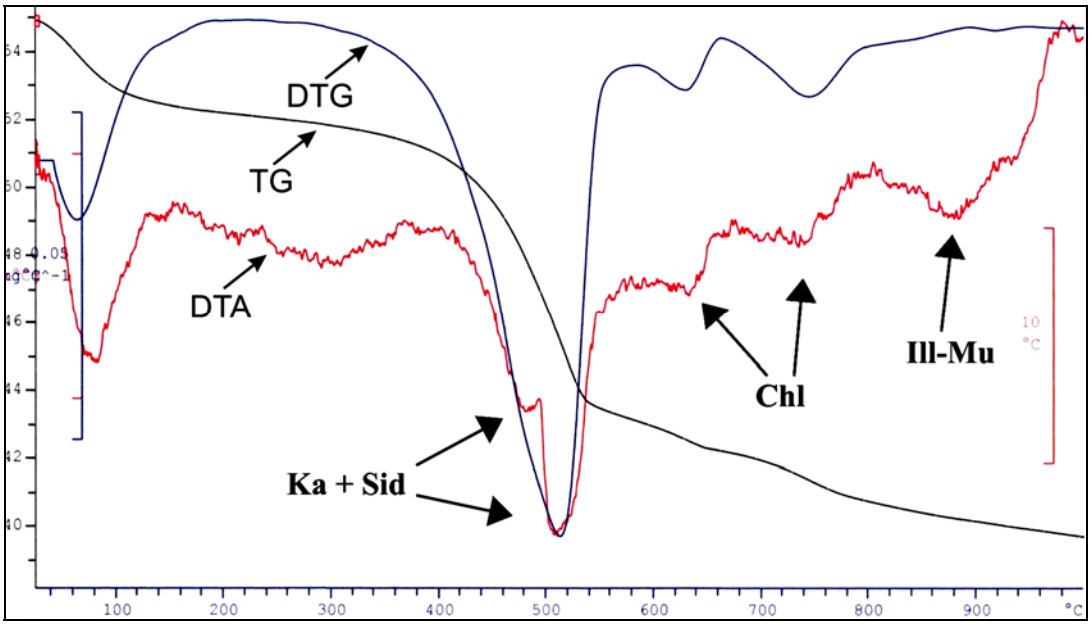
- Οι δονήσεις στα ~1032 cm^{-1} και 1013 cm^{-1} οφείλονται στους δεσμούς Si-O-Si και Si-O-Al^{VI}, αντίστοιχα.
- Το peak στα ~1104 cm^{-1} οφείλεται στη δόνηση τάσης Si-$O_{apical.}$
- Οι δονήσεις στα ~937 cm^{-1} και ~915 cm^{-1} οφείλονται στις εξωτερικές και εσωτερικές OH-ομάδες του πλέγματος (Al-OH-Al), αντίστοιχα (Madejova, 2002, Deng et al., 2002).
- Το ισχυρό peak στα ~3699 cm^{-1} αποδίδεται στις εντός επιπέδου συμμετρικές δονήσεις τάσης των υδροξυλιομάδων (-OH) των οκταεδρικών φύλλων, τα οποία σχηματίζουν ασθενείς δεσμούς υδρογόνου με τα οξυγόνα της βάσης του επόμενου στρώματος (Balan et al., 2001), ενώ αυτό στα ~3618 cm^{-1} αποδίδεται στις δονήσεις τάσης των ομάδων –OH, που βρίσκονται μεταξύ των τετραεδρικών και οκταεδρικών φύλλων (Madejova, 2002).
- Οι δονήσεις τάσης και κάμψης των -OH του προσροφημένου νερού απαντούν στα ~3428 και ~1629 cm^{-1}, αντίστοιχα.
- Τέλος οι δονήσεις στα ~1405 και ~780 cm^{-1} αποδίδονται στην παρουσία του σιδηρίτη και του χαλαζία αντίστοιχα.



Σχήμα 6.5.12: Διάγραμμα (FT-IR) αντιπροσωπευτικού δείγματος.

6.5.3 Εξέταση των ενδιάμεσων ανόργανων ιζημάτων με θερμική ανάλυση (TG/DTG και DTA)

Τα αποτελέσματα της θερμικής ανάλυσης των δειγμάτων που μελετήθηκαν επιβεβαιώνουν την παρουσία των ιλλίτη-μοσχοβίτη, καολινίτη και χλωρίτη, όπως επίσης και του σιδηρίτη. Από τις καμπύλες TG και DTA αντιπροσωπευτικού δείγματος (Σχ. 6.5.13) συμπεραίνεται ότι:



Σχήμα 6.5.13: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης (TG/DTG και DTA) δείγματος "ως έχει". Ka=Καολινίτης, Sid=Σιδηρίτης,, Chl=Χλωρίτης Ill-Mu=Ιλλίτης-Μοσχοβίτης.

- Στο θερμοκρασιακό εύρος από 25 ^{o}C έως 100 ^{o}C, η απώλεια βάρους (3,61%) αποδίδεται στο υγροσκοπικό νερό.
- Στο θερμοκρασιακό εύρος από 400 ^{0}C έως 650 ^{o}C, η απότομη μεταβολή βάρους (13.30%) αποτυπώνεται από τη μεγάλη κλίση της καμπύλης TG και αποδίδεται με το χαρακτηριστικό ενδόθερμο peak στους ~550 ^{o}C (καμπύλη DTA). Το συγκεκριμένο peak οφείλεται στην αφυδροξυλίωση του καολινίτη και τη σταδιακή μετατροπή του Al^{VI} οκταεδρικής διάταξης, στον καολινίτη, σε Al^{IV} τετραεδρικής διάταξης, στον μετακαολινίτη (Van Jaarsveld et al., 2002) σύμφωνα με την αντίδραση:

$$\underset{\text{Καολινίτης}}{Al_2Si_2O_5(OH)_4} \xrightarrow{450\text{-}550\ ^{o}C} \underset{\text{Μετακαολινίτης}}{Al_2O_3.2SiO_2} + 2H_2O$$

Ας σημειωθεί ότι ο μετασχηματισμός του καολινίτη σε μετακαολινίτη πραγματοποιείται πολύ αργά και ο παραγόμενος μετακαολινίτης εμφανίζει πλεγματικά κενά (~20% κ.ό.), τα

οποία δημιουργούνται από την έκλυση του κρυσταλλικού νερού με τη μεταβολή της θερμοκρασίας (Viswabaskaran et al., 2002).

Στο ίδιο θερμοκρασιακό εύρος ένα μέρος της απώλειας βάρους οφείλεται στη διάσπαση του πλέγματος του σιδηρίτη σύμφωνα με την αντίδραση:

$$FeCO_3 \longrightarrow FeO+CO_2$$

- Τα ενδόθερμα peaks στο θερμοκρασιακό εύρος από ~650 ^oC έως ~800 ^oC οφείλονται στη διάσπαση του χλωρίτη και του μοσχοβίτη.
- Το εξώθερμο peak στους ~980 ^oC υποδηλώνει το μετασχηματισμό των κρυσταλλικών φάσεων. Το συγκεκριμένο εξώθερμο peak οφείλεται στο σχηματισμό σπινέλιου (Περράκη και Οικονομόπουλος, 2008). Εξ άλλου το εξώθερμο peak στους ~1250 ^oC οφείλεται στο σχηματισμό μουλίτη 3:2, ενώ το εξώθερμο σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 1300 ^oC οφείλεται στο σχηματισμό άμορφου πυριτίου (Johnson et al., 1982). Ο σχηματισμός μουλίτη διαπιστώθηκε σε δείγματα που ψήθηκαν σε θερμοκρασίες >1200 ^oC (Κεφ. 6.5.4).

6.5.4 Μετατροπές ορυκτολογικών φάσεων κατά την έψηση αργιλικών πρώτων υλών

Στην παράγραφο αυτή μελετώνται οι μετατροπές που υφίστανται οι ορυκτολογικές φάσεις κατά την έψηση αργιλικών πρώτων υλών, από τα στείρα του υπό μελέτη λιγνιτικού κοιτάσματος και η επίδραση των κρυσταλλικών φάσεων, που προκύπτουν στις ιδιότητες των παραγόμενων δομικών κεραμικών.

Κατά την έψηση αργιλικών πρώτων υλών από τους ενδιάμεσους ανόργανους ορίζοντες, του λιγνιτικού κοιτάσματος, έως τους 1300 ^oC, τα περισσότερα από τα συνήθη ορυκτά των αργιλοχωμάτων (ιλλίτης-μοσχοβίτης, καολινίτης, χλωρίτης, χαλαζίας, άστριοι), υφίστανται διάφορες μετατροπές, όπως: 1) μετασχηματισμός ή διάσπαση του κρυσταλλικού τους πλέγματος και 2) αντιδράσεις των οξειδίων που προκύπτουν μεταξύ τους με αποτέλεσμα τη δημιουργία αφ' ενός μεν υαλώδους φάσης, απαραίτητης για το κλείσιμο των πόρων του κεραμικού, αφ' ετέρου δε νέων ορυκτολογικών φάσεων, όπως οι Al,Si-σπινέλιοι, ο αιματίτης ($a\text{-}Fe_2O_3$), ο μουλλίτης ($3Al_2O_3*2SiO_2$) κ.λπ., τα οποία δρουν ως συνεκτικός σκελετός για τη διατήρηση του σχήματος των μορφοποιημένων πηλών (Manning, 1995, Jordan et al., 1999, Veira et al., 1999, Carretero et al., 2002, Περράκη και Ορφανουδάκη, 2001).

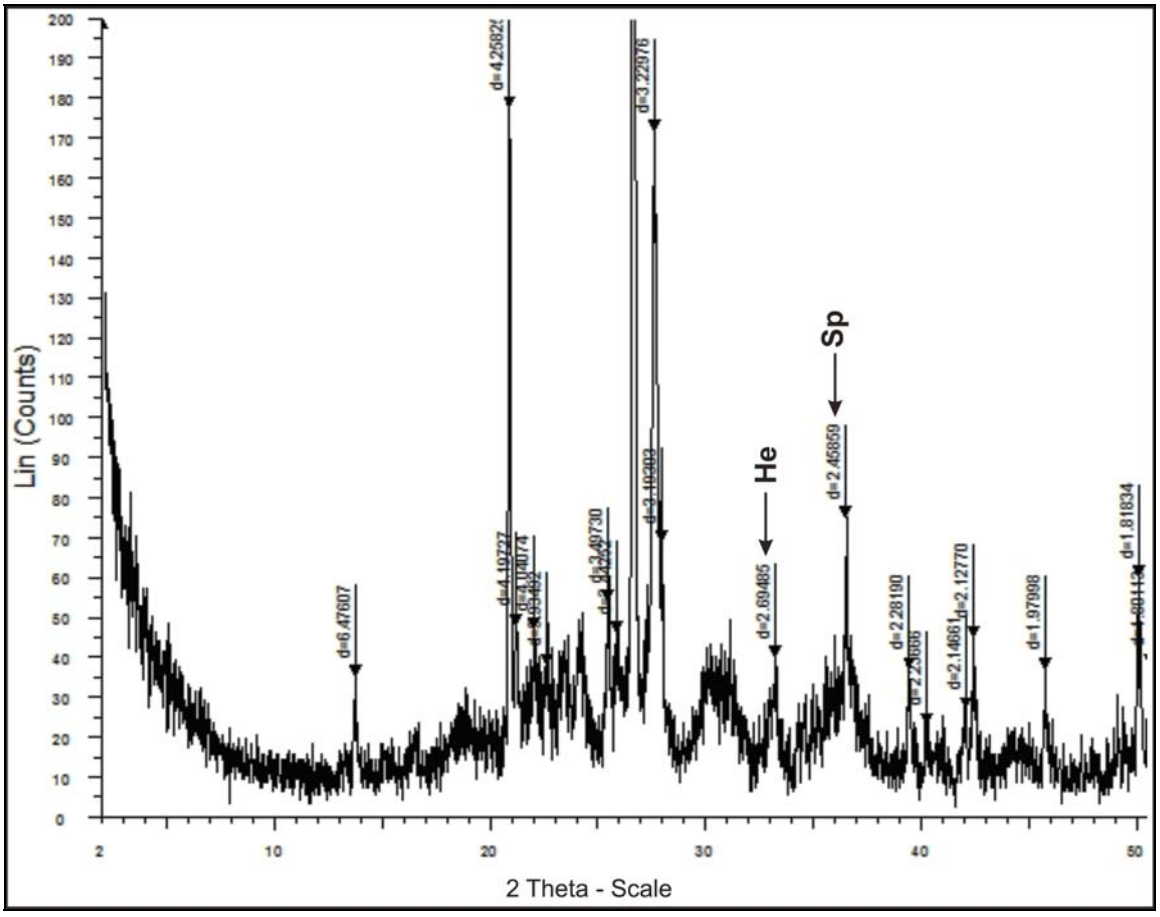
Η πειραματική διαδικασία περιελάμβανε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, έγινε πλήρης ορυκτολογική εξέταση του αρχικού υλικού με χρήση XRD, FT-IR και TG/DTG/DTA. Στο δεύτερο στάδιο καταγράφηκαν οι μετατροπές του υλικού μετά από έψησή του στους 550 ^oC, 700 ^oC, 800 ^oC, 900 ^oC, 1000 ^oC, 1100 ^oC, 1200 ^oC και 1300 ^oC.

Η ορυκτολογική σύσταση των αργίλων προσδιορίστηκε με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ σε δείγματα "ως έχει", όπως και σε δείγματα τα οποία θερμάνθηκαν στους 550 ^{O}C επί 2 h, προκειμένου να διακριθούν τα ορυκτά καολινίτης και χλωρίτης των οποίων οι ανακλάσεις 001 και 002, αντίστοιχα, συμπίπτουν. Επίσης τα δείγματα επεξεργάστηκαν με γλυκόλη, προκειμένου να γίνει έλεγχος για πιθανή ύπαρξη διογκούμενων ορυκτών (σμεκτίτες), ενώ η ταυτοποίηση των διαφόρων ορυκτών έγινε με βάση τις χαρακτηριστικές τους ανακλάσεις.

Σε όλα τα δείγματα που εξετάστηκαν επικρατεί ο ιλλίτης/μοχοβίτης. Από τα αργιλικά ορυκτά ταυτοποιήθηκαν επίσης καολινίτης και χλωρίτης, η συνύπαρξη των οποίων επιβεβαιώθηκε έπειτα από θερμική επεξεργασία των δειγμάτων, ενώ σε κανένα δείγμα δεν προσδιορίστηκε σμεκτίτης.

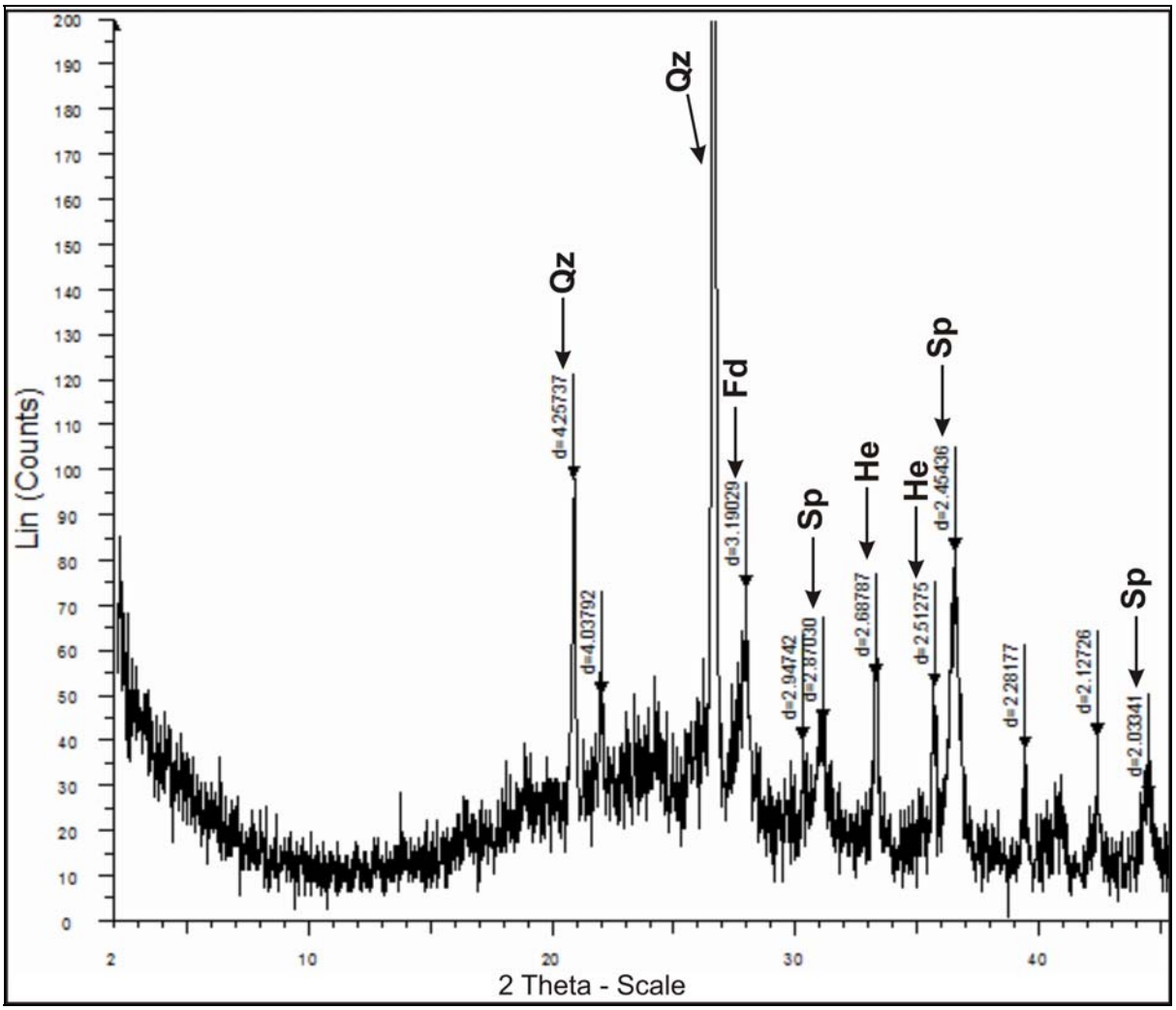
Στη συνέχεια μορφοποιημένα δοκίμια ψήθηκαν στους 700 ^{O}C, 850 ^{O}C, 900 ^{O}C, 1000 ^{O}C, 1100 ^{O}C, 1200 ^{O}C και 1300 ^{O}C και μελετήθηκαν με XRD (Σχ. 6.5.13-16) και με FT-IR.

Από τη συνδυασμένη μελέτη των ανωτέρω προέκυψαν τα ακόλουθα:



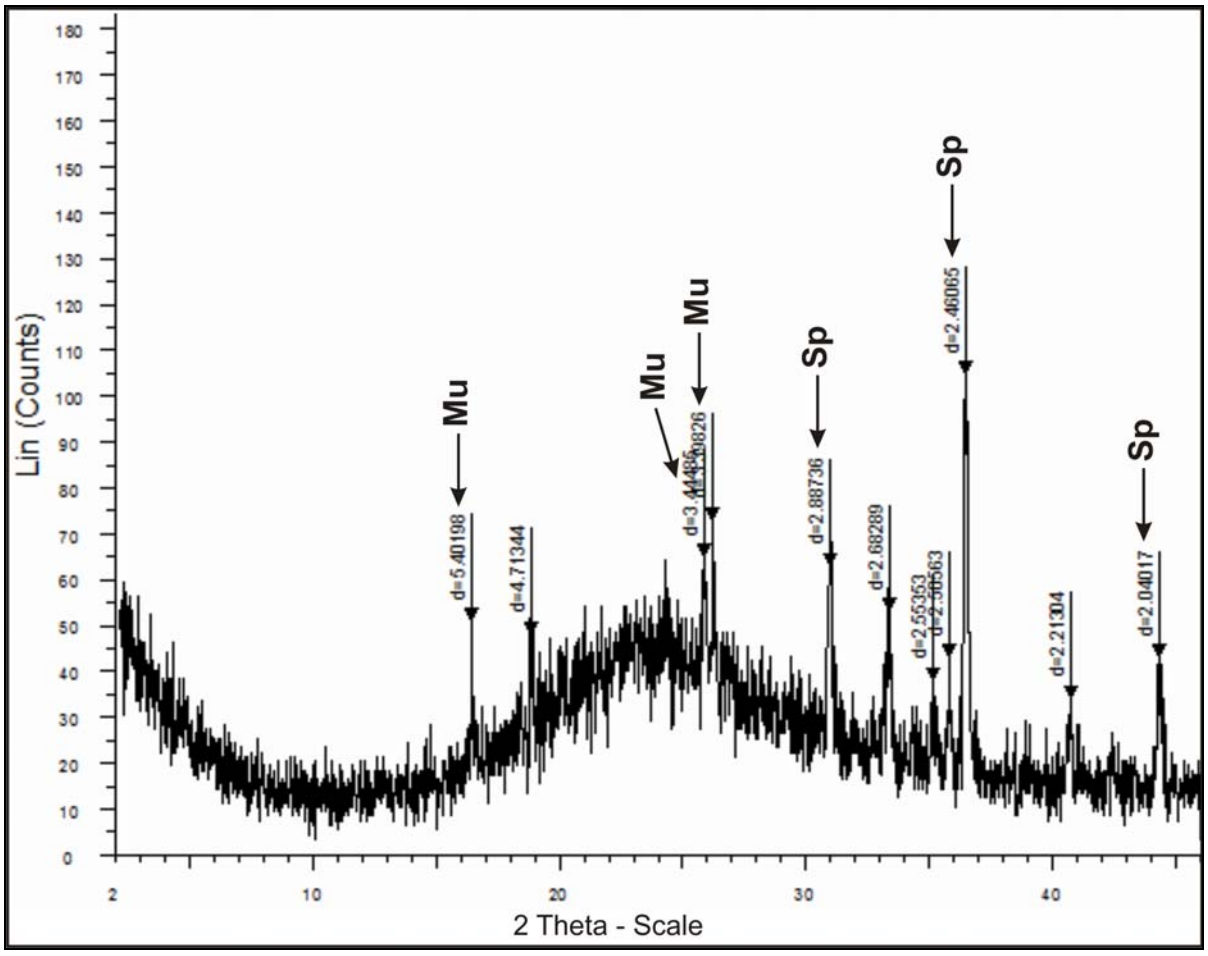
Σχήμα 6.5.13: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ, μετά από έψηση στους 1000 ^{O}C. Sp=Σπινέλιος, He=Αιματίτης.

- Σε θερμοκρασία 700 ^{O}C παρατηρείται σμίκρυνση της χαρακτηριστικής ανάκλασης του χλωρίτη (~14 Å), η οποία εξαφανίζεται στους ~850 ^{O}C, εξ αιτίας της πλήρους διάσπασης του πλέγματός του. Περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί στη σμίκρυνση της χαρακτηριστικής ανάκλασης του μοσχοβίτη (~10 Å), η οποία εξαφανίζεται στους ~1000 ^{0}C (Σχ. 6.5.13). Οι εντάσεις των χαρακτηριστικών ανακλάσεων του χαλαζία και των αστρίων παραμένουν αμετάβλητες μέχρι και τους ~1000 ^{0}C.
- Από τους 900 ^{O}C περίπου αρχίζει η υαλοποίηση του υλικού και η δημιουργία κρυσταλλικών φάσεων, όπως Al,Si-σπινελίων και αιματίτη (a-Fe_2O_3), των οποίων η παρουσία γίνεται εντονότερη αυξανομένης της θερμοκρασίας έψησης. Ο Fe^{+2} για το σχηματισμό του αιματίτη (d_{104}=2,69 Å, d_{116}=2,03 Å, και d_{110}=2,51 Å), προήλθε τόσο από τη διάσπαση των αργιλικών ορυκτών ιλλίτη/μοσχοβίτη και χλωρίτη, στους οποίους απαντά λόγω υποκατάστασης του οκταεδρικού Al^{+3}, όσο και από τη διάσπαση του σιδηρίτη.



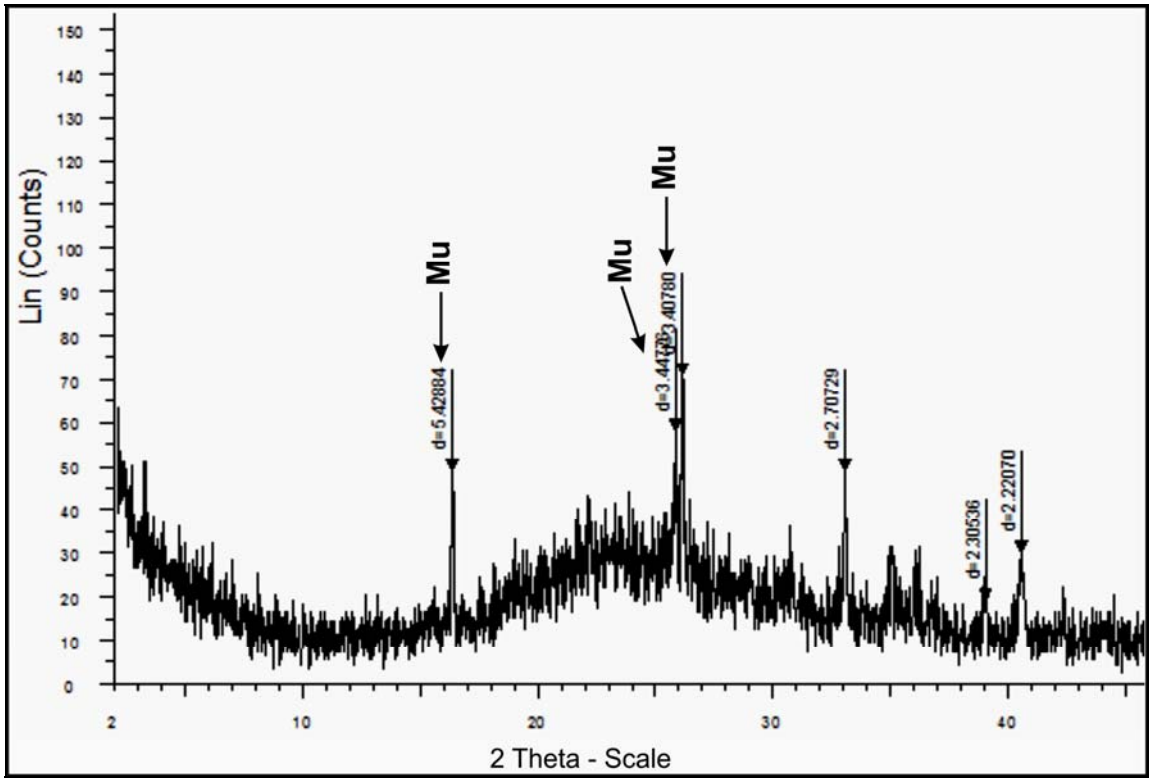
Σχήμα 6.5.14: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ, μετά από έψηση στους 1100 ^{O}C. Qz=Χαλαζίας, Fd=Άστριοι, Sp=Σπινέλιος, He=Αιματίτης.

- Από τους 1100 ^{0}C παρατηρείται μείωση των εντάσεων των αστρίων, η διάσπαση των οποίων συμβάλλει στην αύξηση της υαλοποίησης, όπως φαίνεται από τη χαρακτηριστική καμπύλη του "background" σε 2θ: 15-30^{O} (Σχ. 6.5.14). Στο ίδιο διάγραμμα προσδιορίστηκαν Al,Si-σπινέλιοι από τις νέες ανακλάσεις στα: d_{311}=2,46 Å, d_{400}=2,03 Å και d_{220}=2,88 Å, οι οποίες πρωτοεμφανίζονται στους ~900 ^{O}C, αλλά γίνονται εντονότερες αυξανομένης της θερμοκρασίας, όπως επίσης και ο αιματίτης.
- Στους 1200 ^{O}C περίπου αρχίζει να δημιουργείται μουλλίτης ($3Al_2O_3$*$2SiO_2$), όπως διαπιστώνεται από τις χαρακτηριστικές του ανακλάσεις στα: d_{210}=3,39 Å, d_{120}=3,44 Å και d_{110}=5,42 Å (Σχ. 6.5.15).



Σχήμα 6.5.15:Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ, μετά από έψηση στους 1200 ^{O}C. Mu=Μουλλίτης, Sp=Σπινέλιος.

- Στους 1300 ^{O}C παρατηρείται έντονη αύξηση των ανακλάσεων του μουλλίτη, εξαφάνιση των ανακλάσεων των αστρίων και έντονη μείωση αυτών του χαλαζία (Σχ. 6.5.16), γεγονός που φανερώνει ότι τμήμα τους χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του μουλλίτη. Ο μουλλίτης, που δημιουργείται από έψηση αργιλικών πρώτων υλών, συμβάλλει στην αντοχή του κεραμικού προϊόντος (Viswabaskaran et al., 2003).



Σχήμα 6.5.16: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ, μετά από έψηση στους 1300 ^{O}C. Mu=Μουλλίτης.

Ο σχηματισμός Al,Si-σπινελίων και μουλλίτη χαρακτηρίζει κεραμικά προϊόντα από αργιλικές πρώτες ύλες πλούσιες σε καολινίτη, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:

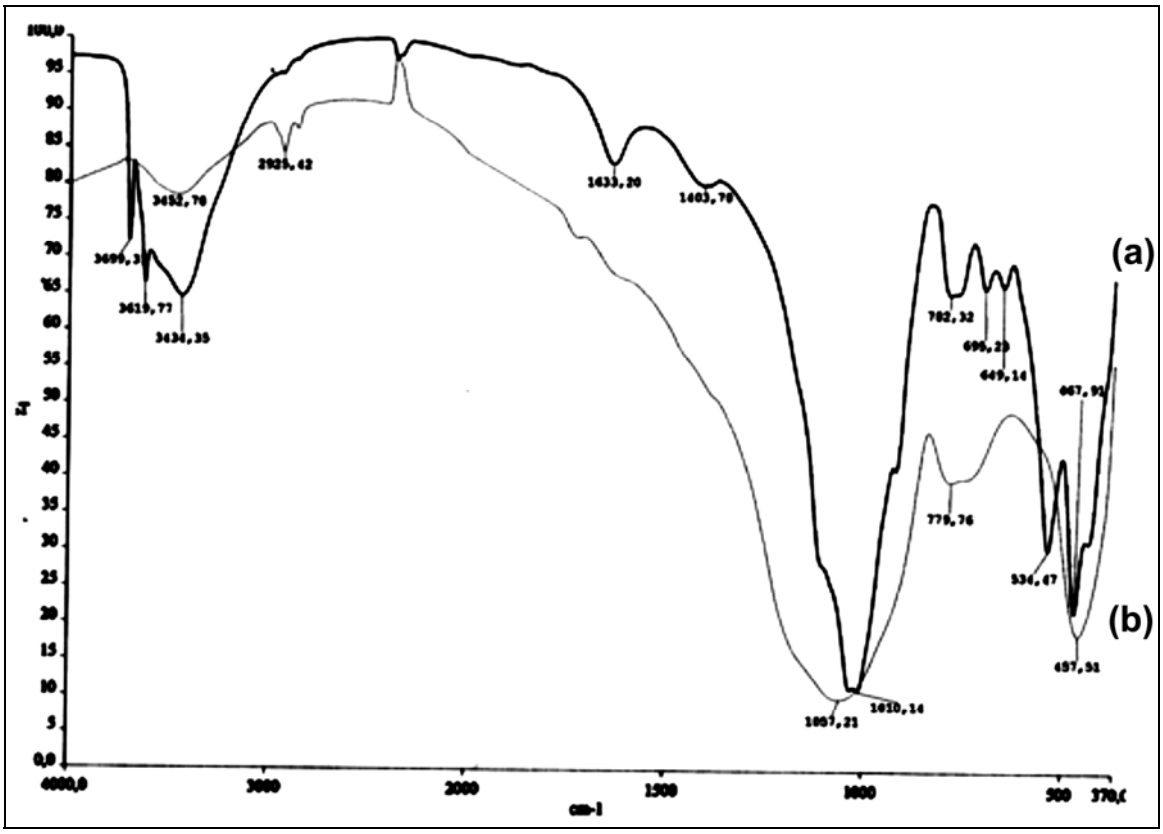
$6Al_2Si_2O_5(OH)_4$	→	$6Al_2Si_2O_7$	→	$3Al_4Si_3O_{12}$	→	$2Al_6Si_2O_{13}$
Καολινίτης		Μετακαολινίτης		Si-Σπινέλιος		Μουλίτης

Από τη μελέτη με FT-IR υλικού "ως έχει" και έπειτα από έψησή του στους 1300 ^{O}C (Σχ. 6.5.17) διαπιστώνεται ότι:

- Η έψηση στις υψηλές θερμοκρασίες οδηγεί στη σημαντική μείωση/εξαφάνιση των δονήσεων, που χαρακτηρίζουν τα ορυκτά της πρώτης ύλης, γεγονός που υποδηλώνει την καταστροφή του πλέγματός τους.
- Το ευρύ ίχνος της δόνησης στα ~1057 cm^{-1} υποδηλώνει την ύπαρξη της υαλώδους φάσης, η οποία σχηματίζεται κατά την έψηση του υλικού, ενώ η μετατόπισή της σε μεγαλύτερους κυματαριθμούς υποδηλώνει το σχηματισμό μουλλίτη (Padmaja et al., 2001).

Δεδομένου ότι ο μουλλίτης παρουσιάζει χαμηλή πυκνότητα (3,17 g/cm^3), χαμηλή θερμική αγωγιμότητα (k=2,0 Wm^{-1} K^{-1}), χαμηλό θερμικό συντελεστή διαστολής (20/200 ^{o}C=4×10^{-}6 K^{-}1), χαμηλή διηλεκτρική σταθερά (ε=6,5 σε 1 MHz) και άριστες μηχανικές

ιδιότητες σε υψηλές θερμοκρασίες, αυτός αποτελεί ένα εξαιρετικά χρήσιμο υλικό, τόσο για συμβατικά, όσο και για τα προηγμένα κεραμικά (Schneider, 1990, Bartsch et al., 1999).



Σχήμα 6.5.17: Συγκριτικό διάγραμμα (FT-IR) πριν και μετά από έψησή στους 1300 ^{0}C.
a: "ως έχει", b: 1300 ^{0}C.

Για το λόγο αυτόν έχουν γίνει ιδιαίτερες προσπάθειες για σχηματισμό συνθετικού μουλλίτη (Okada et al., 1991, Amutharani and Gnanam, 1999), αλλά οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν απαιτούσαν πρώτες ύλες πολύ υψηλού κόστους, όπως επίσης και τεχνικές επεξεργασίας που θεωρούνται ασύμφορες για βιομηχανική παραγωγή (Lee and Rainforth, 1994).

Έτσι η έρευνα επικεντρώνεται στην αναζήτηση εναλλακτικών τρόπων σύνθεσης μουλλίτη, με χαμηλότερο κόστος παραγωγής και χρησιμοποιώντας ως πρώτες ύλες, καολινίτη, σιλλιμανίτη, αλούμινα, γκιπσίτη και βαιμίτη (Rezaie et al., 1997, Sainz et al., 2000, Temuujin et al., 2000).

6.5.5 Τριγωνικά διαγράμματα για την παρασκευή παραδοσιακών κεραμικών προϊόντων

Στην παράγραφο αυτή εξετάζονται οι αργιλικές πρώτες ύλες από τα ενδιάμεσα ανόργανα ιζήματα της λιγνιτοφόρου ακολουθίας που ερευνάται, προκειμένου να εκτιμηθεί η δυνατότητα αξιοποίησης των εν λόγω ανόργανων υλικών για βιομηχανική χρήση και συγκεκριμένα για την παρασκευή παραδοσιακών κεραμικών προϊόντων.

Τα αργιλικά ορυκτά προσφέρουν πλαστικότητα, υδαταπορροφητικότητα, αντοχή μετά από ξήρανση και χρώμα στο μίγμα αργιλούχου εδάφους/νερού (Κατερινόπουλος και Σταματάκης, 1995). Τα διογκούμενα αργιλικά ορυκτά και οι μικτές φάσεις σχηματίζουν συσσωματώματα με την επίδραση του νερού, το οποίο συχνά εμφανίζεται ως υγρασία, επηρεάζοντας αρνητικά τις ιδιότητες των κεραμικών (Austin, 1994). Όπως προέκυψε από την ορυκτολογική ανάλυση, στους ενδιάμεσους ανόργανους ορίζοντες, που μελετώνται, δεν εμφανίζονται διογκούμενα αργιλικά ορυκτά, κάτι το οποίο αποτελεί πρόσθετο πλεονέκτημα για την περαιτέρω έρευνα των συγκεκριμένων αργίλων ως πρώτων υλών στην παρασκευή παραδοσιακών κεραμικών προϊόντων.

Καθοριστικό ρόλο για το είδος του κεραμικού προϊόντος που θα προκύψει, αποτελεί η χημική σύσταση της πρώτης ύλης, δεδομένου ότι κατά το ψήσιμο, μεγάλη σημασία έχει η περιεκτικότητα αυτής σε αλκαλικές γαίες (CaO, MgO), αλκάλια (K_2O, Na_2O) και οξείδια του σιδήρου (FeO, Fe_2O_3). Από τα παραπάνω οξείδια εξαρτάται η θερμοκρασία έψησης, ο βαθμός υαλοποίησης και η μεταβολή των διαστάσεων του κεραμικού προϊόντος (Konta, 1973).

Πίνακας 6.5.2: Χημική σύσταση δειγμάτων από τα ενδιάμεσα ανόργανα ιζήματα της λιγνιτοφόρου ακολουθίας της Αχλάδας (% w/w).

	A0	**A9**	**A9a**	**A13**	**A21**	**A27**	**A33**	**A35**	**B1**	**B8**	**B11**	**B16**
SiO_2	48,0	47,0	50,1	43,7	50,5	51,7	52,5	23,7	51,6	51,5	50,6	49,3
Al_2O_3	21,4	28,0	23,1	16,3	23,2	24,8	22,1	16,1	27,6	24,1	25,2	28,0
Fe_2O_3	12,9	10,0	7,5	18,2	7,3	5,5	5,7	33,0	4,8	4,2	5,2	4,6
MgO	2,2	4,8	3,7	1,8	4,1	3,0	2,2	2,8	2,6	2,1	2,7	2,6
CaO	2,2	3,2	2,5	2,8	1,8	1,4	1,6	4,0	1,2	1,7	1,1	2,3
K_2O	4,9	5,0	4,0	2,0	3,6	4,6	4,0	3,3	3,4	3,8	4,6	5,0
L.O.I	9,36	3,0	10,1	16,2	10,34	9,9	9,8	18,2	9,8	10,6	9,7	9,2

Με βάση τη χημική (Πίν. 6.5.2) και ορυκτολογική σύσταση των αργιλικών πρώτων υλών, που εξετάζονται, κατασκευάστηκαν τριγωνικά διαγράμματα για τη χρήση των εν λόγω υλικών στην παρασκευή παραδοσιακών κεραμικών προϊόντων: “red-stoneware”, “cottoforte” and “majolica” (Fabbri and Fiori, 1985). Τα τριγωνικά αυτά διαγράμματα θεωρούνται τα πιο κατάλληλα για τον κατ’ αρχήν προσδιορισμό της καταλληλότητας των πρώτων υλών για συγκεκριμένη χρήση και οι κορυφές τους έχουν την ακόλουθη σύσταση:

(1) $SiO_2/A1_2O_3+TiO_2/Fe_2O_3+MgO+CaO+K_2O+Na_2O$

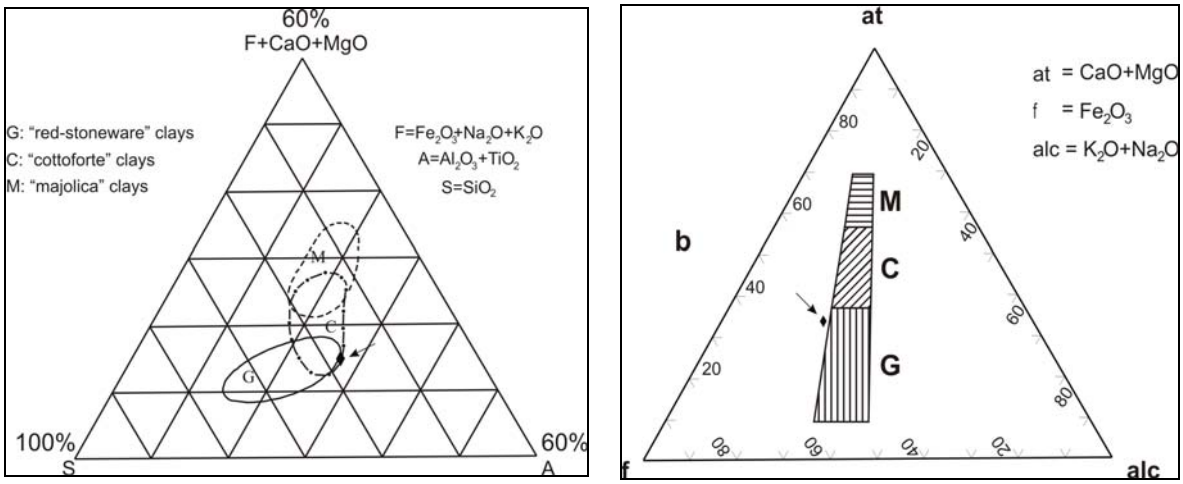
(2) $Fe_2O/MgO+CaO/K_2O+Na_2O$

Η ημιποσοτική ανάλυση των ορυκτών φάσεων σε κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκε με το αντίστοιχο ακτινοδιάγραμμα, λαμβάνοντας υπόψη του συντελεστές απορρόφησης της

ακτινοβολίας για κάθε ορυκτό, σύμφωνα με τους Cook et al. (1980). Όπου κρίθηκε απαραίτητο, λήφθηκε υπόψη η χημική σύσταση των δειγμάτων.

Τα ποσοστά συμμετοχής του ιλλίτη-μοσχοβίτη και του αλβίτη προσδιορίστηκαν με βάση την περιεκτικότητα των δειγμάτων σε K_2O και Na_2O αντίστοιχα, δεδομένου ότι από την ανάλυση με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ δεν διαπιστώθηκε η παρουσία άλλης Κ-ούχου ή Na-ούχου φάσης. Για τον ιλλίτη-μοσχοβίτη ως μέση περιεκτικότητα σε K_2O ελήφθη η τιμή 9% και για τον αλβίτη ως μέση περιεκτικότητα σε Na_2O η τιμή 11% (Grim, 1968).

Από τους παραπάνω υπολογισμούς προέκυψε ότι τα δείγματα που εξετάστηκαν, περιέχουν ιλλίτη σε ποσοστό ~30%, χλωρίτη και καολινίτη ~19% και ~20% αντίστοιχα, χαλαζία ~10% και αστρίους ~20%.



(a) (b)

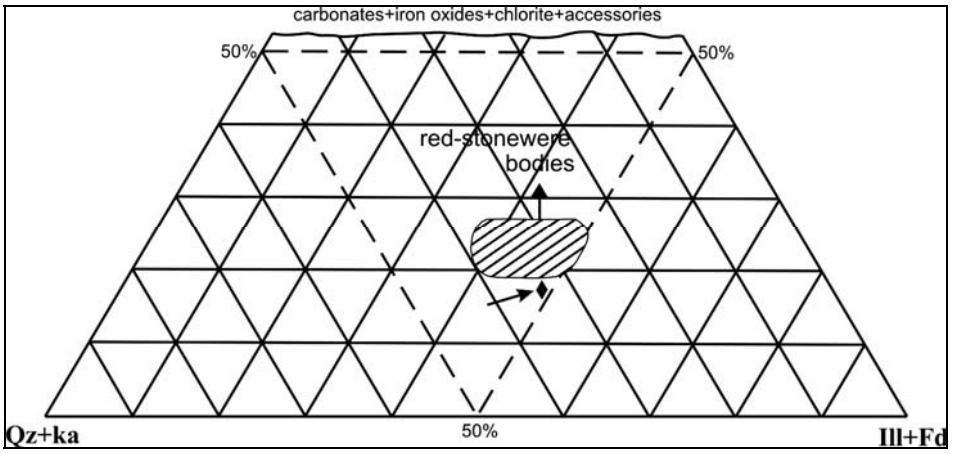
Σχήμα 6.5.18: (α) Τριγωνικό διάγραμμα $SiO_2/A1_2O_3+TiO_2/Fe_2O_3+MgO+CaO+K_2O+Na_2O$, (β) Τριγωνικό διάγραμμα $Fe_2O/MgO+CaO/K_2O+Na_2O$

Το διάγραμμα του Σχήματος 6.5.18α θεωρείται το πιο αντιπροσωπευτικό, προκειμένου να καθοριστούν τα πεδία, στα οποία εμπίπτουν τα υπό εξέταση υλικά, αφού περιλαμβάνει το σύνολο της χημικής σύστασης των πρώτων υλών. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα, όπως επίσης και στο διάγραμμα του Σχήματος 6.5.18β, τα δείγματα, τα οποία εξετάστηκαν, προβάλλονται κοντά στα γενικά πεδία "red-stoneware" και "cottoforte".

Επιπλέον η μέση ορυκτολογική σύσταση των υπό εξέταση δειγμάτων αποτυπώνεται στο τριγωνικό διάγραμμα του Σχήματος 6.5.19, τις κορυφές του οποίου συνιστούν τα ορυκτά: "χαλαζίας + καολινίτης/χλωρίτης + ανθρακικά + οξείδια του σιδήρου/ιλλίτης-μοσχοβίτης + άστριοι" (Fiori and Guarini, 1990).

Ας σημειωθεί ότι η συμμετοχή των αστρίων (μέση τιμή ~20%) είναι σημαντική, δεδομένου ότι βοηθούν στη δημιουργία υαλώδους φάσης, η οποία δρα ως συγκολλητικό υλικό για τις υπόλοιπες ορυκτολογικές φάσεις (Buhman and Fey, 1988). Επίσης η ύπαρξη

$CaCO_3$ σε πλούσια σε σίδηρο υλικά συμβάλλει στο βαθύ ερυθρό χρώμα των τελικών κεραμικών προϊόντων (Περράκη και Ορφανουδάκη, 1996). Η παρουσία σιδηρίτη ($FeCO_3$) συμβάλλει στο πιο έντονο ερυθρό χρώμα του τελικού προϊόντος, αφού κατά τη διάσπασή του παράγονται οξείδια του σιδήρου.



Σχήμα 6.5.19: Τριγωνικό διάγραμμα για κεραμικά σώματα: "χαλαζίας + καολινίτης/χλωρίτης + ανθρακικά + οξείδια του σιδήρου/ιλλίτης-μοσχοβίτης + άστριοι"

Γενικά από την προβολή σε κατάλληλα τριγωνικά διαγράμματα των αργιλικών πρώτων υλών που προέρχονται από τα ενδιάμεσα ανόργανα στρώματα της λιγνιτοφορίας της Αχλάδας, προκύπτει ότι με βάση τη σύστασή τους κρίνονται κατ' αρχήν κατάλληλα για την παρασκευή έγχρωμων κεραμικών προϊόντων τύπου "red-stoneware".

7. ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Από παλαιοπεριβαλλοντικές μελέτες (Velitzelos and Schneider, 1979, Gregor and Velitzelos, 1984, Kaouras, 1989, Riegel et al., 1989, Antoniadis et al., 2004 κ.ά.) διαπιστώνεται ότι τα παλαιότερα σημαντικά λιγνιτοφόρα κοιτάσματα της Ελλάδος προέρχονται από ποταμοτέλματα και λιμναία περιβάλλοντα (π.χ. κοίτασμα Πτολεμαΐδας, Δράμας, Μεγαλόπολης κ.ά.). Κατά την περίοδο του Ανώτερου Τριτογενούς (κυρίως Άνω Μειόκαινο-Κάτω Πλειόκαινο) φαίνεται να υπήρξαν ιδιαίτερα ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες με εύκρατο προς τροπικό/υποτροπικό κλίμα, καθώς η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από πληθωρική βλάστηση με κυρίαρχα φυτά τα θαμνοδενδρώδη, όπως συμβαίνει σήμερα στις νότιες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών. Μεγάλες περιοχές με δενδρώδη βλάστηση κάλυπταν εκτάσεις, με ειδικά εδαφολογικά χαρακτηριστικά (pH, λιγότερο ασβέστιο κ.λπ.), ανάλογα του τύπου δάσους «Bruchwald», δηλαδή δάση τα οποία παρουσιάζουν ιδιαίτερα εδαφολογικά χαρακτηριστικά, όπως επίσης και ειδικής σύνθεσης φυτοκοινωνία. Εδαφολογικά συνιστώνται από οργανικά εδάφη, ενώ η σύνθεση της φυτοκοινωνίας απαρτίζεται από δένδρα των ειδών κλήθρα, οξυές, κυπαρισσοειδή, κωνοφόρα κ.ά. Παράλληλα αναπτύσσονταν και περιοχές με βλάστηση, όπου κυριαρχούσαν τα θαμνώδη φυτά, τα οποία κάλυπταν περιοχές γύρω από τις όχθες ποταμών, αλλά και δελταϊκά πεδία (π.χ. κοίτασμα Αλιβερίου, Λάβας, Αχλάδας, Βεύης, Βεγόρας κ.ά.). Αυτό συμπεραίνεται έμμεσα από τα συνοδά κλαστικά ιζήματα και την περιορισμένη παρουσία ασβεστίου. Την ίδια χρονική περίοδο υπερισχύει γενικά ο ξυλιτικός λιθότυπος του λιγνίτη (λιγνίτης, ο οποίος έχει διατηρήσει την ξυλώδη υφή). Κατά το Τριτογενές και συγκεκριμένα από το Κατώτερο Πλειόκαινο, παρουσιάζεται σε γενικές γραμμές στον ελλαδικό χώρο μια αλλαγή εικόνας, όσον αναφορά στη βλάστηση. Παρατηρείται να υπερισχύουν τα ποώδη φυτά, ως συνέπεια των κλιματικών αλλαγών. Η υποχώρηση της θερμοκρασίας, αλλά κυρίως της υγρασίας (βροχοπτώσεων), σε συνδυασμό με την προσφορά εκτεταμένων κατάλληλων γεωμορφολογικών περιβαλλόντων –δημιουργία ενδοηπειρωτικών λεκανών λόγω ορογενετικών κινήσεων– είχε ως αποτέλεσμα την υποχώρηση των δασοτυρφώνων και την έναρξη σχηματισμού λιμνοτελμάτων και περιοχών καλαμοτυρφώνων, όπως είναι για παράδειγμα η περιοχή της Πτολεμαΐδας (Kaouras, 1989). Αυτό μαρτυρούν ιδιαίτερα τα συνοδά λιμναία ιζήματα (άργιλος, μάργες κ.λπ.), όπως επίσης και η σχετικά υψηλή περιεκτικότητα ασβεστίου.

Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις στην ύπαιθρο και σε συνδυασμό με τα παλαιοβοτανικά,

ανθρακοπετρογραφικά και ορυκτολογικά αποτελέσματα, πραγματοποιήθηκε η αναπαράσταση του παλαιοπεριβάλλοντος σχηματισμού των λιγνιτικών αποθέσεων της περιοχής της Αχλάδας (Σχ. 7.1).

Οι παρατηρήσεις πεδίου παρείχαν πληροφορίες για την ύπαρξη ενός ποτάμιου καναλιού (Κεφ. 6.1). Κατά τη διάρκεια μιας μακράς περιόδου, συνεχείς βροχοπτώσεις είχαν ως αποτέλεσμα πλημμυρικά γεγονότα, τα οποία οδήγησαν στη μεταφορά αργιλικού κυρίως υλικού στο πεδίο πλημμύρας του ποτάμιου συστήματος, ενώ πολύ περιορισμένη ήταν η συμμετοχή του μαργαϊκού υλικού. Αμέσως μετά την εξασθένιση των πλημμυρικών επεισοδίων, το ανόργανο υλικό καθίζανε οδηγώντας στο σχηματισμό ενός αργιλικής σύστασης εδάφους, το οποίο ήταν εμπλουτισμένο σε ορυκτά της ομάδας των μαρμαρυγιών (βλ. Κεφ 6.5). Στο ανώτερο τμήμα του αργιλικού αυτού ορίζοντα δεν βρέθηκαν ίχνη από ρίζες, που να υποδηλώνουν ανάπτυξη βλάστησης, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα σχεδόν άγονο τοπίο. Με την πάροδο του χρόνου και μεταξύ των περιόδων που χαρακτηρίζονταν από πλημμυρικά γεγονότα, άρχιζαν να αναπτύσσονται κατά τόπους υγρόφυλλα φυτά, ενώ σε πιο απομακρυσμένα μέρη από την όχθη του ποτάμιου καναλιού, αναπτυσσόταν και χαμηλή θαμνώδης βλάστηση.

Στη συνέχεια, ήπια πλημμυρικά γεγονότα, κατά τα οποία μεταφέρονταν οργανικά και ανόργανα υλικά (σπόροι, καρποί, φύλλα, μέταλλα, ιχνοστοιχεία κ.ά.), είχαν ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό του εδάφους και τη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για την ανάπτυξη κυρίως Αγγειόσπερμης δενδρώδους βλάστησης αλλά και τον κατά τόπους σχηματισμό περιβάλλοντος τύπου καλαμοτυρφώνα (βλ. Κεφ 6.4.2). Αντίστοιχο σημερινό περιβάλλον απαντάται στην ευρύτερη περιοχή ανάπτυξης του ποταμού Νέστου στην Ανατολική Μακεδονία. Επιπλέον η ορεινή δασώδης βλάστηση, με κύριο εκπρόσωπο την οικογένεια των Pinaceae, αυξάνεται και εξαπλώνεται από τους πρόποδες των γύρω βουνών προς την ευρύτερη περιοχή του πεδίου πλημμύρας (βλ. Κεφ. 6.4.2). Ακόμη κατά την έρευνα πεδίου παρατηρήθηκαν επί τόπου (in situ) κορμοί δέντρων, καθώς και μεγάλη συμμετοχή ξυλώδους υλικού, το οποίο δεν εμφανίζεται μόνο με τη μορφή ξυλιτικών οριζόντων, αλλά και με τη μορφή πολλών και ανεξάρτητων ξυλιτικών μαζών μέσα στα λιγνιτικά στρώματα (βλ. Κεφ. 6.1). Η συμμετοχή των ανεξάρτητων ξυλιτικών μαζών σε συνδυασμό με την ύπαρξη ενός "piedmont" πεδίου (βλ. Κεφ 6.3) οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι η δενδρώδης βλάστηση αναπτυσσόταν στο σύνολο της έκτασης του πεδίου πλημμύρας με τη μορφή ανεξάρτητων συστάδων. Στο μεσοδιάστημα μεταξύ των ανεξάρτητων συστάδων αναπτυσσόταν βλάστηση, που χαρακτηρίζει περιβάλλοντα καλαμοτυρφώνων και τα οποία τοπικά εξελίσσονταν σε περιβάλλον ανοικτών νερών (βλ. Κεφ. 6.4.2). Παράλληλα κατά το μεγαλύτερο μέρος του

έτους, το πεδίο αυτό πλημμυριζόταν περιοδικώς, με συνέπεια τη μετατροπή της συγκεκριμένης μορφής του πεδίου κατάκλυσης –κατά τόπους ανεξάρτητες συστάδες δένδρων– σε υγρό δασοτυρφώνα (βλ. Κεφ 6.3). Τα πλημμυρικά γεγονότα, που λάμβαναν χώρα περιοδικά κατά τη διάρκεια του έτους, είχαν ως αποτέλεσμα αφενός μεν τη μεταφορά αργιλικών ορυκτών μέσα στο τυρφογενετικό πεδίο (βλ. Κεφ 6.5), αφετέρου δε τη διακύμανση της επιφανειακής στάθμης του νερού. Στα τμήματα του πεδίου πλημμύρας, όπου επικρατούσε δενδρώδης βλάστηση, η μεταβολή αυτή (διακύμανση της στάθμης του νερού) αποτυπώθηκε με την καθίζηση του θείου ως αυτοφυούς στοιχείου, σχηματίζοντας "άνθη θείου" πάνω στους κορμούς των δέντρων και το ξυλώδες υλικό γενικότερα (κλαδιά, ογκώδη ξυλιτικά θραύσματα κ.ά.) (βλ. Κεφ 6.1). Αντίστοιχο παράδειγμα απόθεσης θείου πάνω στους κορμούς δέντρων παρέχει το σημερινό περιβάλλον σχηματισμού τύρφης στην περιοχή Everglades των Ηνωμένων Πολιτειών. Στο σύγχρονο αυτό χερσαίο οικοσύστημα το θείο επικάθεται πάνω σε κορμούς από μεγάλου μεγέθους *Glyptostrobous*, ενώ η ύπαρξή του αποκαλύπτεται κατά τη διάρκεια μεταβολής της στάθμης της επιφάνειας του νερού. Κατά τη διάρκεια περιόδων, κατά τις οποίες οι κλιματικές συνθήκες γίνονταν πιο ξηρές, συνέβαινε μερική αποστράγγιση του πεδίου πλημμύρας και ανάπτυξη επιφύτων (βλ. Κεφ. 6.4.3).

Στη συνέχεια, η μεταβολή των κλιματικών συνθηκών οδήγησε στον περιορισμό της δενδρώδους βλάστησης και την εμφάνιση έντονων πλημμυρικών επεισοδίων, γεγονός το οποίο είχε ως συνέπεια τη διεύρυνση του περιβάλλοντος καλαμοτυρφώνα σε ολόκληρη σχεδόν την έκταση του πεδίου πλημμύρας και την ανάπτυξη τόσο της θαμνώδους και ποώδους βλάστησης, όσο και των υγρόφυλλων φυτών (βλ. Κεφ. 6.4.2). Παράλληλα η δενδρώδης Γυμνόσπερμη βλάστηση, η οποία κυριαρχεί σε μερικές μόνο χρονικές περιόδους σχηματισμού του συγκεκριμένου λιγνιτικού κοιτάσματος (βλ. Κεφ. 6.4.2), συνεχίζει να υπάρχει αλλά με μικρότερη εξάπλωση. Έτσι σε περιόδους ύφεσης, οι οποίες ακολουθούσαν τα έντονα πλημμυρικά γεγονότα, η τυρφογένεση εξελισσόταν κύρια σε ένα περιβάλλον καλαμοτυρφώνα, όπου συμμετείχαν φυτά της ζώνης "Rohricht", όπως αυτά της οικογένειας των Sparganiaceae, ενώ τοπικά μετέβαινε σε ένα περιβάλλον ανοικτών νερών με συμμετοχή υδρόφυλλων φυτών (*Nymphaea* κ.ά.) (βλ. Κεφ. 6.4.2 και 6.4.1). Παράλληλα, η διαδικασία της τυρφογένεσης διακοπτόταν από συμβάντα έντονων πλημμυρικών γεγονότων, τα οποία είχαν ως αποτέλεσμα την υπερχείλιση της κοίτης του κύριου ποτάμιου καναλιού, την άνοδο της στάθμης του υδροφόρου και τη μεταφορά υδάτινης μάζας από παράπλευρα ρεύματα και χειμάρρους. Συνέπεια των παραπάνω ήταν η απόθεση ανόργανων ιζημάτων, αργιλικής κυρίως σύστασης. Τα επιφανειακά νερά μετέφεραν μέσα στο τυρφογενετικό πεδίο κυρίως αργιλικά και πυριτικά ορυκτά, ενώ περιορισμένη ήταν η μεταφορά ασβεστιτικών ορυκτών

(βλ. Κεφ 6.5). Ο συνδυασμός των διαθέσιμων ιόντων και των συνθηκών αλκαλικότητας και οξειδοαναγωγής (pH, Eh) είχε ως αποτέλεσμα από τα αυθιγενή ορυκτά να σχηματιστεί κατά κύριο λόγο γύψος και λιγότερο σιδηρίτης και σιδηροπυρίτης, ενώ οι συνθήκες δεν ήταν ευνοϊκές για το σχηματισμό άλλων ανθρακικών και θειϊκών ορυκτών (βλ. Κεφ 6.5). Οι συνθήκες pH, οι οποίες επικρατούσαν, ήταν γύρω στην ουδέτερη τιμή, με αποτέλεσμα την παρουσία θειο-βακτηριδίων και την αναγωγή των θειικών ιόντων σε υδρόθειο. Το μεγαλύτερο μέρος του παραγόμενου υδρόθειου αντιδρούσε με την οργανική ύλη έχοντας ως συνέπεια το εκλυόμενο θείο να δεσμεύεται από αυτή, ενώ ένα μικρότερο ποσοστό αντιδρούσε με ιόντα σιδήρου για το σχηματισμό μικροποσοτήτων σιδηροπυρίτη (βλ. Κεφ 6.3 και 6.5). Η παρουσία κλαστικών κόκκων χαλαζία μέσα στα οργανικά και ανόργανα ιζήματα της ακολουθίας, επιβεβαιώνει την έντονη επιφανειακή απορροή και τη μεταφορά ανόργανου υλικού μέσα στο τυρφογενετικό πεδίο. Επίσης τα ορυκτά ιλλίτης-μοσχοβίτης, χλωρίτης, χαλαζίας, Κ-άστριοι και δευτερευόντως πλαγιόκλαστα, τα οποία αναγνωρίστηκαν τόσο σε δείγματα λιγνίτη, όσο και σε δείγματα από τους ενδιάμεσους ανόργανους ορίζοντες της λιγνιτιφορίας, αντικατοπτρίζουν τις παραγενέσεις των μεταμορφωμένων σχηματισμών του υποβάθρου (γνεύσιοι, αμφιβολίτες, μαρμαρυγιακοί, αμφιβολιτικοί και σερικιτικοί σχιστόλιθοι). Ακόμη η ύπαρξη των ανθρακικών πετρωμάτων της γύρω περιοχής σε συνδυασμό με την έντονη επιφανειακή απορροή αιτιολογεί την παρουσία του σιδηρίτη στα ιζήματα της συγκεκριμένης ακολουθίας, του οποίου η χαμηλή ταχύτητα καθίζησης δικαιολογεί εν μέρει την πολύ συχνή παρουσία του σε αναερόβια υδάτινα περιβάλλοντα (Jensen et al., 2002).

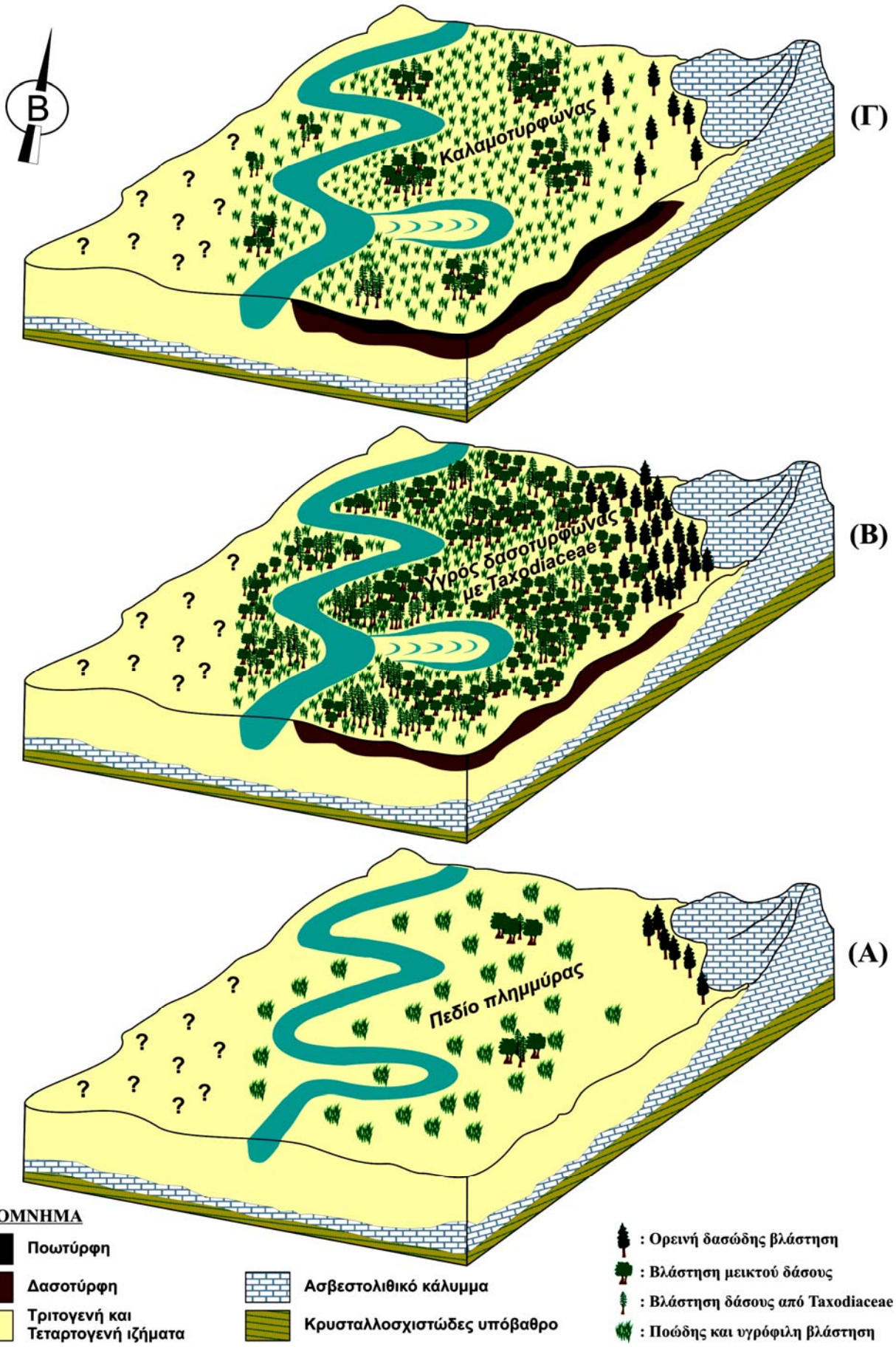
Τα νερά που εισέρρεαν μέσα στο τυρφογενετικό πεδίο, παράλληλα με το ανόργανο υλικό μετέφεραν και οργανικό, το οποίο συνιστούσαν τμήματα κορμών δέντρων, κλαδιά και άλλα ξυλώδη τεμάχια. Στη συνέχεια τα ξυλώδη αυτά υλικά ενσωματώνονταν μέσα στο στρώμα τύρφης που σχηματιζόταν τη δεδομένη χρονική περίοδο, με αποτέλεσμα ο λιγνίτης που δημιουργήθηκε τελικά, να χαρακτηρίζεται ως μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιθότυπος (βλ. Κεφ. 6.1). Δεδομένου ότι το μεταφερόμενο ξυλώδες υλικό εμφανίζει ποικιλία μεγεθών, παρατηρείται η διασπορά του στο μεγαλύτερο τμήμα του τυρφογενετικού πεδίου, με αποτέλεσμα ακόμη και στην περίπτωση σχηματισμού του μαζώδους λιθότυπου λιγνίτη να περιέχεται σχεδόν πάντα ένα μικρό ποσοστό ξυλωδών θραυσμάτων. Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας είναι η διαφοροποίηση του μαζώδη λιθότυπου της Αχλάδας από το μαζώδη λιθότυπο άλλων περιοχών, όπως για παράδειγμα της Πτολεμαΐδας (Kaouras, 1989) και του Αλιβερίου (Riegel et al., 1989). Γενικά η βακτηριδιακή δράση θα έπρεπε να είχε οδηγήσει στην αποδόμηση του οργανικού υλικού και στο χαμηλό βαθμό διατήρησης των

κυτταρικών ιστών των φυτικών υπολειμμάτων. Το γεγονός όμως της συμμετοχής φυτικού υλικού που προέρχεται από πλούσια σε λιγνίνη φυτική ύλη (Κεφ. 6.5.2.2) και ο πιθανά μικρός χρόνος παραμονής αυτού μέσα στο τυρφογενετικό στρώμα είχε ως αποτέλεσμα την καλή διατήρηση των κυτταρικών ιστών. Ο συνδυασμός της αρκετά καλής διατήρησης των φυτικών κυτταρικών ιστών και της έντονης παρουσίας Αγγειόσπερμης ποώδους βλάστησης υποδηλώνει σχετικά χαμηλή βακτηριδιακή δράση, με αποτέλεσμα η χουμοποίηση των πλούσιων σε κυτταρίνη φυτικών υπολειμμάτων να είναι λιγότερο έντονη και οι κυτταρικοί ιστοί να διατηρούνται καλύτερα.

Συνοψίζοντας, όπως προκύπτει από τα παλυνολογικά, παλαιοκαρπολογικά, ανθρακοπετρογραφικά και ορυκτολογικά αποτελέσματα, το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας σχηματίστηκε και εξελίχτηκε κατά τη χρονική διάρκεια περιοδικώς εναλλασσόμενου παλαιοπεριβάλλοντος "δάσους μεικτής δενδρώδους βλάστησης" σε "καλαμοτυρφώνα" και αντίστροφα, ενώ κατά τόπους η τυρφογένεση εξελισσόταν σε ένα μεταβατικό περιβάλλον "καλαμοτυρφώνα" και "ανοικτών νερών".

Τη συνολική εικόνα του παλαιοπεριβάλλοντος σχηματισμού των λιγνιτικών αποθέσεων της Αχλάδας συμπληρώνει μια περιορισμένη σε έκταση περιοχή του κοιτάσματος, στην οποία μεγάλου πάχους λιγνιτοφόρα στρώματα εναλλάσσονται με περιορισμένο αριθμό ανόργανων ιζημάτων πάχους λίγων εκατοστών το καθένα (βλ. Κεφ. 6.1). Το συγκεκριμένο τμήμα του κοιτάσματος αποτελεί έναν αποκομμένο βραχίονα του κύριου ποτάμιου συστήματος που διέρρεε την ευρύτερη περιοχή. Μετά την αποκοπή του βραχίονα από το κύριο κανάλι ροής του μαιανδρικού ποτάμιου συστήματος, δημιουργήθηκαν ευνοϊκές συνθήκες για τη συσσώρευση φυτικού υλικού και την ανάπτυξη ενός τυρφώνα σε περιβάλλον ημισελινοειδούς λίμνης (oxbow lake) μέσα στον αποκομμένο βραχίονα (Oikonomopoulos et al., 2008). Ας σημειωθεί ότι η εξέλιξη του τυρφώνα στο περιβάλλον της ημισελινοειδούς λίμνης (oxbow lake) δεν επηρεαζόταν από τις μεταβολές που συνέβαιναν στο υπόλοιπο ποτάμιο σύστημα. Ο συνδυασμός του πεδίου πλημμύρας και του σχηματισμού της ημισελινοειδούς λίμνης (oxbow lake) εντός του συγκεκριμένου βραχίονα αναπαριστά ένα τοπίο, όπου επικρατούσαν τελματικές/λιμνοτελματικές συνθήκες και παράλληλα λάμβαναν χώρα περιοδικά πλημμυρικά επεισόδια με απόθεση κυρίως λεπτόκοκκων αργιλικών ιζημάτων πάχους λίγων εκατοστών.

Με βάση τα παραπάνω το χερσαίο οικοσύστημα, το οποίο αναπτύχθηκε στην περιοχή της Αχλάδας ήταν μια ενεργή περιοχή γένεσης λιγνίτη, όπου περιοδικά πλημμυρικά γεγονότα δημιουργούσαν πεδία πλημμύρας (floodplains) κατά μήκος ενός γενικότερου ποτάμιου συστήματος.

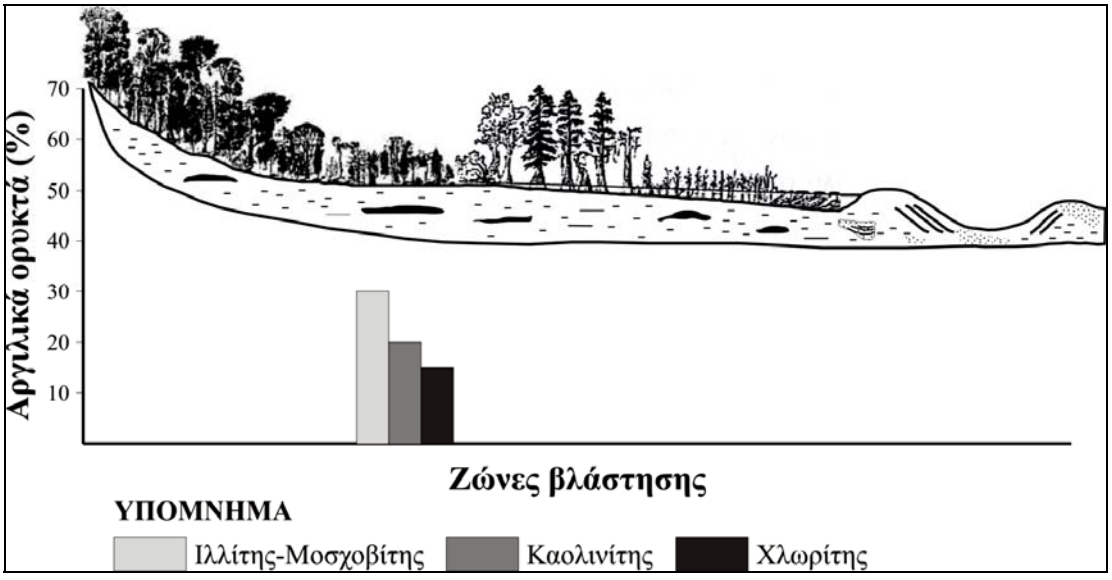


Σχήμα 7.1: Προσεγγιστικό μοντέλο δημιουργίας και εξέλιξης του λιγνιτικού κοιτάσματος Αχλάδας σε τρία στάδια.
Α: Απόθεση ανόργανου υλικού στο πεδίο πλημμύρας του μαιανδρικού ποτάμιου συστήματος και δημιουργία εδάφους αργιλικής σύστασης.
Β: Δημιουργία περιβάλλοντος υγρού δασοτυρφώνα (wet forest swamp) με μεγάλη συμμετοχή Taxodiaceae.
Γ: Σχηματισμός περιβάλλοντος καλαμοτυρφώνα (reedmoor) με περιορισμένη συμμετοχή δενδρώδους βλάστησης.

Το μοντέλο του Σχήματος 7.1 αναπαριστά ένα κύριο μαιανδρικό ποτάμιο σύστημα, το οποίο διέρρεε την ευρύτερη περιοχή και συνιστά το παλαιοπεριβάλλον, μέσα στο οποίο σχηματίστηκε η λιγνιτοφόρος ακολουθία της Αχλάδας. Συγκεκριμένα, το παλαιοπεριβάλλον αυτό μπορεί να χωριστεί σε τρία επιμέρους ανεξάρτητα τμήματα (Σχ. 7.1): το κύριο κανάλι (main channel) ενός μαιανδρικού ποτάμιου συστήματος, το πεδίο πλημμύρας αυτού (floodplain) και την ημισελινοειδή λίμνη (oxbow lake).

Δεδομένου ότι τα ορυκτολογικά συστατικά των γαιανθράκων εξαρτώνται από τις συνθήκες που κυριαρχούν κατά την απόθεση της τύρφης (McCabe, 1984), συσχετίστηκαν τα ποσοστά των ορυκτολογικών φάσεων με κάθε ξεχωριστό τύπο παλαιοπεριβάλλοντος, στον όποιο αναπτύχθηκαν οι λιγνιτικές αποθέσεις (Σχ. 7.2) (Oikonomopoulos et al., 2007).

Από το μοντέλο του Σχήματος 7.2 προκύπτει, ότι σε περιβάλλοντα σχηματισμού τύρφης, όπου αναπτυσσόταν δάσος μεικτής δενδρώδους βλάστησης με φυτοκοινωνίες που περιλαμβάνουν γυμνόσπερμα και αγγειόσπερμα δέντρα (Taxodiaceae, Betulaceae, *Ulmus* κ.ά.), ο τύπος του αργιλικού ορυκτού που απαντάται σε μεγαλύτερο ποσοστό είναι ο ιλλίτης-μοσχοβίτης. Η επικράτηση του ιλλίτη-μοσχοβίτη σε συνδυασμό με τη σχετικά μικρή συμμετοχή του χλωρίτη, πιθανά να οφείλεται στις θερμές και υγρές κλιματικές συνθήκες που επικρατούσαν στην ευρύτερη περιοχή, δεδομένου ότι ο χλωρίτης διαβρώνεται εύκολα και το σχετικό ποσοστό συμμετοχής του ιλλίτη-μοσχοβίτη αυξάνεται (Asikainen et al., 2007). Ας σημειωθεί, ο συγκεκριμένος τύπος βλάστησης είναι και αυτός ενδεικτικός για την παρουσία θερμών και υγρών κλιματικών συνθηκών.



Σχήμα 7.2: Κατανομή των αργιλικών ορυκτών στις ζώνες βλάστησης που διακρίθηκαν με βάση τα παλαιοβοτανικά αποτελέσματα στην περιοχή έρευνας.

Συνδυάζοντας τις παραπάνω παρατηρήσεις, τόσο τα ορυκτολογικά, όσο και τα παλυνολογικά δεδομένα υποστηρίζουν την ύπαρξη υγρών και θερμών κλιματικών συνθηκών κατά την απόθεση του φυτικού υλικού και το σχηματισμό της τύρφης στην περιοχή της Αχλάδας.

Η περαιτέρω έρευνα και άλλων λιγνιτικών κοιτασμάτων της ίδιας ή διαφορετικών γεωλογικών λεκανών, σχετικά με τα ποσοστά των αργιλικών ορυκτών που βρίσκονται σε κάθε ξεχωριστό τύπο παλαιοπεριβάλλοντος που συμμετέχει στη διαδικασία της τυρφογένεσης, θα οδηγήσει στο μέλλον σε ένα γενικότερο συμπέρασμα για το συσχετισμό των ορυκτολογικών και παλαιοπεριβαλλοντικών χαρακτηριστικών, τα οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τις κλιματικές αλλαγές που συντελούνται με το πέρασμα του γεωλογικού χρόνου.

8. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΑ ΝΕΟΓΕΝΗ ΛΙΓΝΙΤΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ

Μέρος του συνολικού αριθμού των ιζηματογενών λεκανών του ελλαδικού χώρου, που σχηματίστηκαν τη χρονική διάρκεια από το Ηώκαινο μέχρι το Μέσο Πλειστόκαινο, φιλοξενούν λιγνιτικές αποθέσεις, οι οποίες παρουσιάζουν ομοιότητες και διαφορές τόσο ως προς τα ανθρακοπετρογραφικά, χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά, όσο και ως προς τον τύπο του περιβάλλοντος, μέσα στον οποίο σχηματίστηκε και εξελίχθηκε η λιγνιτοφορία.

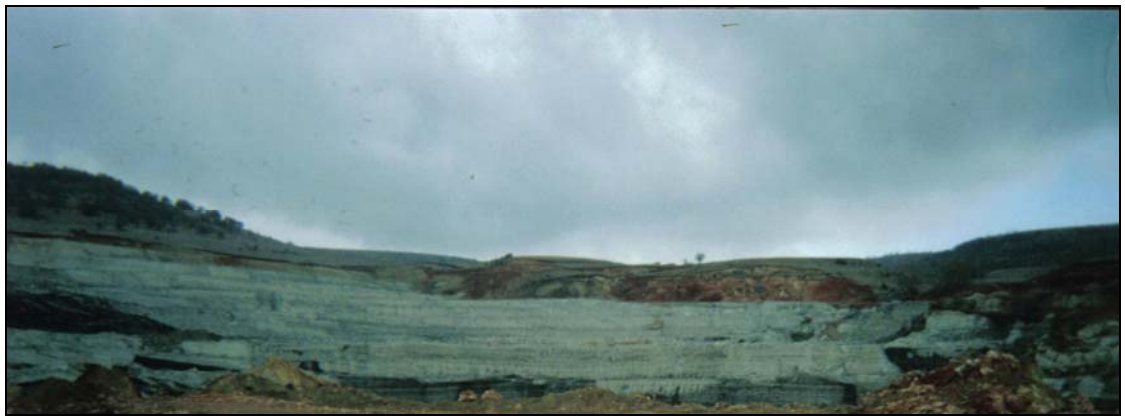
Εικόνα 8.1: Λιγνιτοφόρος ακολουθία από τη νεογενή λεκάνη της Πτολεμαΐδας.

Οι νεογενείς λιγνιτικές αποθέσεις της Αχλάδας, παρά το γεγονός της περιορισμένης εξάπλωσης τους (μικρή έκταση και πάχος απόθεσης), αποτελούν ξεχωριστής σημασίας αποθέσεις, δεδομένου ότι αναπτύχθηκαν σε τρία διαφορετικά παλαιοπεριβάλλοντα –πεδίο πλημμύρας μαιανδρικού ποτάμιου συστήματος, κύριο ποτάμιο κανάλι ροής, ημισελινοειδής λίμνη (oxbow lake)–, ενώ παράλληλα χαρακτηρίζονται από την πολύ μεγάλη συμμετοχή ξυλώδους υλικού (λιγνίτης ξυλιτικού λιθότυπου) και την παρουσία κορμών δέντρων, αρκετά μεγάλων διαστάσεων, οι οποίοι βρέθηκαν “in situ” (Κεφ. 6.1, Εικ. 6.1.5). Τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν τη βασικότερη διαφοροποίηση των λιγνιτικών αποθέσεων της Αχλάδας από τα υπόλοιπα νεογενή λιγνιτικά κοιτάσματα της Ελλάδας, τα οποία σχηματίστηκαν σε ενδοηπειρωτικές ιζηματογενείς λεκάνες. Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο

κεφάλαιο, η προς το νότο γειτονική της Φλώρινας, νεογενής λεκάνη της Πτολεμαΐδας φιλοξενεί τα μεγαλύτερα σε έκταση και πάχος λιγνιτικά κοιτάσματα της Ελλάδας, η μορφή των οποίων διατηρείται ομοιογενής για πολλές εκατοντάδες μέτρα μήκος, με συνεχή εναλλαγή οργανικών και ανόργανων οριζόντων μικρού πάχους (Εικ. 8.1).

Η ίδια εικόνα παρατηρείται σε πλήθος άλλων λιγνιτικών αποθέσεων μικρότερης εξάπλωσης και υποδηλώνει απόθεση και τυρφοποίηση του αρχικού φυτικού υλικού κάτω από ήρεμες συνθήκες, οι οποίες απαντώνται σε λιμναία περιβάλλοντα σχηματισμού τύρφης (Riegel et al., 1989, Kalaitzidis et al., 2004, Antoniadis et al., 2005, Antoniadis et al., 2006).

Δύο ακόμη λιγνιτικές αποθέσεις, που εντοπίζονται εντός της νεογενούς λεκάνης της Φλώρινας, εμφανίζουν λιγνιτοφορία με συμμετοχή ξυλώδους υλικού. Η πρώτη, η οποία απαντάται στην περιοχή του Κλειδιού (ΝΑ της Αχλάδας), παρουσιάζει μεγάλη συμμετοχή ξυλιτικών οριζόντων στο κατώτερο τμήμα της ακολουθίας, ενώ προς τα επάνω εξελίσσεται με συμμετοχή μαζώδους (matrix) λιγνίτη και πολύ μεγάλου πάχους ανόργανους ορίζοντες. Από τη γεωμετρία του συγκεκριμένου κοιτάσματος φαίνεται κατ' αρχήν, ύπαρξη ενός μεγάλου ποτάμιου καναλιού (Εικ. 8.2), το οποίο πιθανά να μετέφερε μεγάλο όγκο ανόργανων υλικών εντός του τυρφώνα. Η τελευταία παρατήρηση οδηγεί στην υπόθεση του πιθανού συσχετισμού των λιγνιτικών αποθέσεων Αχλάδας και Κλειδιού, δεδομένου ότι, και στα δύο αυτά κοιτάσματα το παλαιοπεριβάλλον ανάπτυξης των παλαιοτυρφώνων συνδέεται με την ύπαρξη ποτάμιου συστήματος. Περαιτέρω αναλυτική έρευνα της λιγνιτοφόρου ακολουθίας του Κλειδιού θα αποσαφήνιζε, αν ο συσχετισμός αυτός ισχύει και σε ποιο βαθμό.



Εικόνα 8.2: Λιγνιτικές αποθέσεις περιοχής Κλειδιού Φλώρινας, όπου διακρίνεται κατ' αρχήν η χαρακτηριστική εμφάνιση ποτάμιου καναλιού ροής.

Τη δεύτερη λιγνιτική απόθεση συνιστά το κοίτασμα της Βεύης, που βρίσκεται λίγα χιλιόμετρα νότια του κοιτάσματος της Αχλάδας και εμφανίζει συμμετοχή ξυλώδους υλικού, το οποίο, όπως προέκυψε από τη μελέτη διαφόρων βιοδεικτών, προέρχεται κυρίως από τη δενδρώδη Γυμνόσπερμη βλάστηση (Papanikolaou et al., 2000). Οι ίδιοι ερευνητές

υποστηρίζουν ότι και στη λιγνιτοφόρο ακολουθία των Καλαβρύτων, η συμμετοχή της δενδρώδους Γυμνόσπερμης βλάστησης ήταν ουσιαστική, με αποτέλεσμα το ξυλώδες υλικό να παρουσιάζει μεγάλη συμμετοχή.

Ένα ακόμη λιγνιτικό κοίτασμα, στο οποίο συμμετέχει ξυλώδες υλικό, εντοπίζεται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης της Λάβας και είναι γνωστό στη βιβλιογραφία ως λιγνιτικό κοίτασμα Λάβας-Σερβίων. Ο εν λόγω ξυλίτης εμφανίζεται στον κατώτερο λιγνιτικό ορίζοντα του κοιτάσματος και συνίσταται από κορμούς και κλαδιά δέντρων, τα οποία είναι οριζόντια τοποθετημένα με συγκεκριμένη διεύθυνση (Αντωνιάδης, 1992). Επίσης, από τα παλαιοβοτανικά και παλαιοντολογικά ευρήματα της έρευνας που διεξήχθη, προέκυψε ότι ο σχηματισμός και η εξέλιξη του λιγνιτικού αυτού κοιτάσματος έλαβε χώρα σε ένα ευρύτερο λιμναίο παλαιοπεριβάλλον (Αντωνιάδης, 1992).

Από άποψη συμμετοχής ξυλώδους φυτικού υλικού το κοίτασμα της Αχλάδας μπορεί επίσης να παραλληλιστεί και με την ακολουθία των λιγνιτικών αποθέσεων του Αλιβερίου (βόρειο τμήμα της νεογενούς λεκάνης Αλλιβερίου-Κύμης), όπου στο κατώτερο τμήμα αυτής εμφανίζονται "in situ" κορμοί δένδρων, ενώ προς την κορυφή της ίδιας ακολουθίας το ξυλιτικό υλικό είναι οριζόντια τοποθετημένο (Riegel et al., 1989). Αντίθετα όμως με την περιοχή της Αχλάδας, οι ίδιοι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα, ότι η λιγνιτική ακολουθία στο Αλιβέρι εξελίχθηκε σε ένα ευρύτερο λιμναίο περιβάλλον, όπου η δενδρώδης βλάστηση αναπτύχθηκε στην περιοχή που οριοθετεί την όχθη της τότε υφιστάμενης λίμνης.

Όπως προέκυψε από τα παλυνολογικά και παλαιοκαρπολογικά αποτελέσματα, το λιγνιτικό υλικό, που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία, φαίνεται ότι προήλθε από τη συμβολή τόσο της δενδρώδους, όσο και της ποώδους Αγγειόσπερμης βλάστησης, ενώ πολύ σημαντική συμμετοχή, σε συγκεκριμένους ορίζοντες, είχε και η δενδρώδης Γυμνόσπερμη βλάστηση (μικρά έως μέτρια ποσοστά συμμετοχής στο σύνολο των εξετασθέντων οριζόντων). Παρόμοια προέλευση με αυτή της Αχλάδας εμφανίζει το φυτικό υλικό, από το οποίο σχηματίστηκε το λιγνιτικό κοίτασμα της Βεύης, με τη διαφορά ότι η Γυμνόσπερμη βλάστηση είναι αυτή που κυριαρχεί (Papanikolaou et al., 2000). Από πλευράς αρχικής βλάστησης, το κοίτασμα του Αλιβερίου μπορεί να έρθει σε αντιπαραβολή με αυτό της Αχλάδας δεδομένου ότι αφενός εμφανίζει μεγάλα ποσοστά συμμετοχής Αγγειόσπερμων ποωδών φυτών, Πτεριδόφυτων και υγρόφιλων φυτών –ανάπτυξη κοντά στις όχθες της λίμνης, αλλά και στο περιβάλλον δάσους με μεικτή δενδρώδη βλάστηση– και αφετέρου το ξυλιτικό υλικό, το οποίο συνιστά το κατώτερο τμήμα των λιγνιτικών στρωμάτων, προέρχεται από Γυμνόσπερμη βλάστηση και συγκεκριμένα από *Taxodium*, *Glyptostrobus* και *Sequoia* (Riegel et al., 1989). Επίσης η λιγνιτοφόρος ακολουθία του κοιτάσματος του Δομένικου (Θεσσαλία),

περιλαμβάνει πλήθος ξυλιτικών οριζόντων, οι οποίοι προέρχονται, κατά κύριο λόγο, από τμήματα δένδρων της οικογένειας των Taxodiaceae, όπως επίσης και από κορμούς και κλαδιά δένδρων που αναπτύσσονται σε περιβάλλοντα μεικτού δάσους, όπως δέντρα του γένους *Alnus* (Antoniadis et al., 2003). Ωστόσο το μεγαλύτερο ποσοστό του αρχικού υλικού, που συνέβαλε ουσιαστικά στο σχηματισμό της συγκεκριμένης ακολουθίας, προέρχεται κυρίως από υγρόφιλα φυτά (Antoniadis et al., 2003).

Η ανθρακοπετρογραφική σύσταση των λιγνιτικών δειγμάτων, που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία, χαρακτηρίζεται από την επικράτηση της ομάδας του χουμινίτη. Παρόμοια ανθρακοπετρογραφική σύσταση (με αυτή της Αχλάδας) εμφανίζει ο λιγνίτης του Κλειδιού (Μαυρίδου, 2007) και της Βεύης (Papanikolaou et al., 2000), με την υποομάδα του τελοχουμινίτη να κυριαρχεί και το ποσοστό του ρεζινίτη να εμφανίζεται αυξημένο. Αντίθετα λιγνιτικά κοιτάσματα, τα οποία δεν έχουν χαρακτηριστεί ως ξυλιτικά, όπως είναι αυτό της Λάβας, εμφανίζουν ως κυρίαρχη υποομάδα αυτή του δετροχουμινίτη, με αρκετά υψηλό ποσοστό συμμετοχής του αττρινίτη. Γενικά, εξ αιτίας της κυριαρχίας του χουμινίτη στο σύνολο των ελληνικών λιγνιτών, που έχουν μελετηθεί μέχρι σήμερα, οι διαφορές που παρουσιάζονται στην ανθρακοπετρογραφική σύσταση μεταξύ των κοιτασμάτων, συνίστανται περισσότερο στα macerals που επικρατούν, τα οποία και αντανακλούν τις συνθήκες σχηματισμού και τον τύπο της αρχικής βλάστησης, που συνέβαλε στο σχηματισμό του εκάστοτε λιγνιτικού κοιτάσματος. Έτσι η επικράτηση του ουλμινίτη υποδηλώνει συνθήκες έντονης ζελατινοποίησης και επικράτηση δενδρώδους βλάστησης, όπως συμβαίνει στα κοιτάσματα Αχλάδας, Κλειδιού και Βεύης, ενώ η εμφάνιση υψηλών ποσοστών αττρινίτη υποδηλώνει μεγαλύτερη συμμετοχή ποώδους βλάστησης, όπως συμβαίνει στο λιγνιτικό κοίτασμα της Λάβας (Papanikolaou et al., 2000).

Από την ανθρακοπετρογραφική σύσταση του λιγνιτικού κοιτάσματος της Αχλάδας προέκυψε επίσης η εναλλαγή του περιβάλλοντος απόθεσης του υπό μελέτη κοιτάσματος από τελματικό σε λιμνοτελματικό και αντίστροφα. Το γεγονός όμως ότι σε ποσοστό >80% επικρατεί ο χουμοτελινίτης, καθιστά την παραπάνω εναλλαγή περιορισμένη, δεδομένου ότι η επικράτηση του ενός τύπου περιβάλλοντος ή του άλλου, εξαρτάται από την κυριαρχία του χουμοτελινίτη ή του χουμοδετρινίτη και οφείλεται σε ποικιλία παραγόντων, όπως είναι ο τύπος βλάστησης, ο χρόνος παραμονής των φυτικών υπολειμμάτων μέσα στο τυρφογενετικό στρώμα, η υγρασία κ.ά. Παρόμοιες μεταβολές έχουν παρατηρηθεί σε όλα τα ελληνικά λιγνιτικά κοιτάσματα με άλλοτε συχνή και άλλοτε περιορισμένη εναλλαγή.

Συνήθεις ορυκτολογικές φάσεις, όπως είναι ο χαλαζίας, τα αργιλικά ορυκτά, οι ανθρακικές ενώσεις και τα σουλφίδια, που απαντώνται σε τυρφογενετικά πεδία και έχουν

προσδιορισθεί σε όλα τα ελληνικά λιγνιτικά κοιτάσματα (Foscolos et al., 1989), αναγνωρίστηκαν τόσο στα οργανικά ιζήματα (λιγνίτης) της μελετώμενης ακολουθίας όσο και στα ενδιάμεσα στείρα αυτής. Κύριο ορυκτολογικό συστατικό συνιστά η ομάδα τον αργιλικών ορυκτών, από την οποία όμως απουσιάζουν οι σμεκτίτες (Κεφ. 6.5). Απουσία διογκούμενων ορυκτών από τα ιζήματα λιγνιτοφόρου ακολουθίας παρατηρήθηκε και στο λιγνιτικό κοίτασμα του Κλειδιού (Ilia et al., 2009), γεγονός το οποίο πιθανά να αντικατοπτρίζει μια γενικότερη τάση απουσίας σμεκτιτών από την υπολεκάνη της Φλώρινας. Αντίθετα, στις λιγνιτοφόρες ακολουθίες της Βεγόρας, του Αμυνταίου και της Λάβας-Σερβίων, που φιλοξενούνται στις υπολεκάνες Πτολεμαΐδας και Λάβας, αναγνωρίστηκαν διογκούμενα ορυκτά με κυριότερο εκπρόσωπο το μοντμοριλλονίτη (Tougiannidis, 2009). Η σημαντική αυτή διαφοροποίηση, μπορεί να οφείλεται τόσο στις διαφορετικές συνθήκες σχηματισμού – τύπος περιβάλλοντος pH, Eh κ.ά – των λιγνιτικών κοιτασμάτων, όσο και στην πιθανή διαφοροποίηση του μικροκλίματος, δεδομένου ότι ο τύπος των αργιλικών ορυκτών που συμμετέχουν στα ιζήματα διαφόρων ακολουθιών εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες και επηρεάζεται σημαντικά από τις κλιματικές μεταβολές (Foucault and Melieres, 2000).

Ακόμη το κοίτασμα που μελετήθηκε, εμφανίζει πολύ μικρή συμμετοχή ανθρακικών ορυκτών, όπως είναι ο ασβεστίτης, ο αραγονίτης και ο δολομίτης, γεγονός το οποίο αντιπαρατίθεται στη μεγάλη συμμετοχή των ορυκτών αυτών σε λιγνιτικά κοιτάσματα, όπως είναι το Καρυοχώρι (Kaouras, 1989), η Μαυροπηγή (Andoniadis et al., 2006), το Αμύνταιο, το Νότιο Πεδίο, η Λάβα (Tougiannidis, 2009) και πολλά άλλα. Η διαφοροποίηση αυτή έγκειται στο γεγονός, ότι κοιτάσματα όπως είναι η Αχλάδα και το Κλειδί –το οποίο παρουσιάζει παρόμοια ορυκτολογική σύσταση με την Αχλάδα– σχηματίστηκαν σε συνθήκες ποτάμιου περιβάλλοντος, ενώ τα κοιτάσματα των υπολεκανών Πτολεμαΐδας και Λάβας αναπτύχθηκαν σε λιμναίες συνθήκες, που ευνοούσαν την απόθεση μαργαϊκού υλικού πλούσιου σε $CaCO_3$. Από τα άλλα ανθρακικά ορυκτά, ο σιδηρίτης εμφανίζει μεγάλη συμμετοχή υποδηλώνοντας αλκαλικές συνθήκες (Κεφ 6.5). Ας σημειωθεί ότι ο σιδηρίτης απαντά σε πολλά λιγνιτικά κοιτάσματα του ελλαδικού χώρου, αλλά σε μικρότερα ποσοστά. Τέλος στα οργανικά ιζήματα της μελετώμενης ακολουθίας προσδιορίστηκε γύψος, η οποία όμως απαντάται πολύ συχνά σε τυρφογενετικά πεδία και υπό αυτήν την έννοια δεν αποτελεί ξεχωριστό γνώρισμα για το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας.

Από το συσχετισμό των στοιχείων που προέκυψαν από την παρούσα εργασία, εξάγεται το συμπέρασμα, ότι από πλευράς παλαιοπεριβάλλοντος το συγκεκριμένο κοίτασμα σχηματίστηκε και εξελίχθηκε στην ευρύτερη περιοχή ανάπτυξης ενός μαιανδρικού ποτάμιου συστήματος (Κεφ. 7). Ευνοϊκές συνθήκες για τυρφογένεση αναπτύχθηκαν κοντά στο κύριο

κανάλι του ποταμού (όχθες), στο πεδίο πλημμύρας αυτού, καθώς και σε έναν αποκομμένο βραχίονα, όπου σχηματίστηκε μια ημισελινοειδής λίμνη (oxbow lake). Το παλαιοπεριβάλλον σχηματισμού του συγκεκριμένου κοιτάσματος συνιστά την πιο ουσιαστική διαφοροποίηση σε σχέση με τα υπόλοιπα λιγνιτικά κοιτάσματα της Ελλάδας και ιδιαίτερα με αυτά που ανήκουν στο τεκτονικό βύθισμα Μοναστηρίου – Κοζάνης, δεδομένου, ότι σε αυτό φιλοξενούνται λιγνιτικά κοιτάσματα, τα οποία αφενός αναπτύχθηκαν σε συνθήκες λιμναίου περιβάλλοντος και αφετέρου συνιστούν τα μεγαλύτερα σε έκταση και πάχος κοιτάσματα ορυκτών ανθράκων της Ελλάδας.

Σημερινά περιβάλλοντα τυρφογένεσης, τα οποία περιλαμβάνουν ζώνες βλάστησης, όπως ανοικτών νερών, καλαμοτυρφώνας, κ.ά, που δυνητικά θα οδηγήσουν στο σχηματισμό λιγνιτοφόρου ακολουθίας, παρατηρούνται σε διάφορες ενδοηπειρωτικές ιζηματογενείς λεκάνες παγκοσμίως. Ένα παράδειγμα από τον Ελλαδικό χώρο αποτελεί η περιοχή του Άγρα (Ν. Πέλλας), όπου παρατηρείται σύγχρονη τυρφογένεση, η οποία δυνητικά θα οδηγήσει σε σχηματισμό λιγνίτη ανάλογο με αυτόν που συναντάμε σήμερα στις περιοχές της Πτολεμαΐδας και της Μεγαλόπολης (Christanis, 1994). Επιπρόσθετα, οι περιοχές του Everglades στη Φλόριντα και του Okefenokee στη Τζόρτζια των Ηνωμένων Πολιτειών συνιστούν πεδία σχηματισμού τύρφης, με συμμετοχή δέντρων αρκετά μεγάλων διαστάσεων. Τέτοια χερσαία οικοσυστήματα αποτελούν σύγχρονα Ολοκαινικά περιβάλλοντα τυρφογένεσης.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη συνδυασμένη μελέτη των ανθρακοπετρογραφικών, παλαιοβοτανικών, (παλυνολογία, παλαιοκαρπολογία) και ορυκτολογικών αποτελεσμάτων προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Το χερσαίο οικοσύστημα, μέσα στο οποίο σχηματίστηκε το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας, συνιστά ένα παλαιοπεριβάλλον, στο οποίο διακρίνονται σε τρία επιμέρους ανεξάρτητα τμήματα: το κύριο κανάλι ενός μαιανδρικού ποτάμιου συστήματος (main channel), το πεδίο πλημμύρας αυτού (floodplain) και μία ημισελινοειδή λίμνη (oxbow lake). Ο συνδυασμός του πεδίου πλημμύρας και του σχηματισμού της ημισελινοειδούς λίμνης (oxbow lake) αναπαριστά ένα τοπίο, όπου επικρατούσαν τελματικές/λιμνοτελματικές συνθήκες και παράλληλα λάμβαναν χώρα περιοδικά πλημμυρικά επεισόδια με απόθεση λεπτόκοκκων ιζημάτων.
- Ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του λιγνιτικού κοιτάσματος της Αχλάδας συνιστά το πολύ υψηλό ποσοστό ξυλίτη, είτε ως άμορφη ξυλιτική μάζα είτε με πολύ καλά διατηρημένες οριζόντιες ξυλιτικές στρώσεις, το πάχος των οποίων κυμαίνεται από 2 έως 12 cm. Η ξυλιτική αυτή υφή συμπληρώνεται με την εμφάνιση μικρών ξυλιτικών θραυσμάτων μέσα στη λιγνιτική μάζα, όπως επίσης και με την απόθεση ριζών, κλαδιών και κορμών. Από την έρευνα πεδίου εντοπίστηκαν επίσης θέσεις στις οποίες παραμένουν “in situ” μέχρι σήμερα μεγάλου μεγέθους όρθιοι κορμοί δέντρων.
- Από το συσχετισμό των μακροσκοπικών και μικροσκοπικών παρατηρήσεων του αμιγώς ξυλώδους υλικού, που συμμετέχει στη λιγνιτοφορία της Αχλάδας (Ν. Φλώρινας) προέκυψε η υποδιαίρεση του ξυλιτικού λιθότυπου λιγνίτη σε υπο-λιθότυπους. Η υποδιαίρεση αυτή προτείνεται ως νέα ταξινόμηση του ξυλιτικού λιθότυπου, που συμμετέχει στις ακολουθίες των λιγνιτικών κοιτασμάτων της Ελλάδας.
- Μακροσκοπικά αναγνωρίστηκαν ιζηματολογικά χαρακτηριστικά όπως είναι: ποτάμια κανάλια (channels) με ίδιο ή διαφορετικό επίπεδο ροής, μεταφερόμενο υλικό μεγέθους από χαλίκι έως άργιλο κ.ά.
- Από τη μακροσκοπική περιγραφή της λιγνιτοφόρου ακολουθίας προέκυψε, ότι ενώ στο κατώτερο τμήμα της ακολουθίας παρατηρείται μεγάλος αριθμός ανόργανων οριζόντων, ο κύριος ξυλιτικός όγκος εμφανίζεται στο ανώτερο τμήμα αυτής. Κατ’ αντιστοιχία, μεγάλη συμμετοχή ανόργανου υλικού συνοδεύεται από περιορισμένη συμμετοχή ξυλίτη, ενώ αντίθετα εκεί όπου κυριαρχεί ο ξυλίτης παρατηρείται περιορισμένη εμφάνιση ενδιάμεσων ανόργανων οριζόντων.

- Ο λιγνίτης που μελετήθηκε συνίσταται κυρίως από ξυλίτη και εναλλαγές από "μαζώδη" και "μεικτό ξυλιτικό/μαζώδη" μικρολιθότυπους.
- Η λιγνιτοφόρος ακολουθία που μελετήθηκε σχηματίστηκε σε δασοτυρφώνα, που αναπτύχθηκε στην περιοχή του πεδίου πλημμύρας του μαιανδρικού ποτάμιου συστήματος, το οποίο διέρρεε την ευρύτερη περιοχή της Αχλάδας.
- Το τυρφογενετικό φυτικό υλικό προήλθε τόσο από περιβάλλον δάσους μεικτής δενδρώδους βλάστησης, όσο και από βλάστηση χαρακτηριστική της περιοχής του καλαμοτυρφώνα. Τα δύο αυτά περιβάλλοντα εναλλάσσονταν συνεχώς μεταξύ τους με περιόδους μετάβασης του "καλαμοτυρφώνα" σε "ανοικτών νερών".
- Από τα παλαιοβοτανικά στοιχεία προέκυψε ο διαχωρισμός της λιγνιτοφόρου ακολουθίας σε δύο επαναλαμβανόμενες ενότητες, οι οποίες κυριαρχούν διαδοχικά και υποδηλώνουν ότι η χλωρίδα, η οποία συνέβαλλε κατά κύριο λόγο στην τυρφογένεση και δυνητικά στη λιγνιτογένεση, αποτελείται κυρίως από τη βλάστηση που αναπτύσσεται σε περιβάλλον μεικτού δάσους –ενότητες που χαρακτηρίστηκαν ως "μεικτός ξυλιτικός/μαζώδης λιγνίτης"– και από βλάστηση που συναντάται σε περιβάλλοντα "καλαμοτυρφώνα" και ανοικτών νερών– ενότητες που χαρακτηρίστηκαν ως "μαζώδης λιγνίτης"–.
- Τα λιγνιτικά στρώματα προήλθαν από χερσαία ανώτερα φυτά, κυρίως δενδρώδη και ποώδη Αγγειόσπερμα, ενώ η συμμετοχή των Γυμνόσπερμων δέντρων ήταν εξίσου σημαντική. Συγκεκριμένα, η Αγγειόσπερμη δενδρώδης βλάστηση αντιπροσωπεύεται από τους γυρεόκοκκους των *Quercus*, *Acer*, Cyrillaceae, *Carea*, Ulmaceae, *Ulmus*, *Juglans*, *Tilia*, *Alnus*, *Myrica*, *Castanea*, *Corylus*, *Carpinus*, *Ostrya*, *Salix*, *Betula*, Betulaceae, Palmae και *Fraxinus*, όπως επίσης και από τα σπέρματα και τους καρπούς των *Meliosma pliocenica*, M. *wetteraviensis*, M. sp. Αντίστοιχα, η Γυμνόσπερμη δενδρώδης βλάστηση συνίσταται κυρίως από Taxodiaceae, *Taxodium*, *Picea*, Pinaceae, *Pinus*, *Abies*, *Cedrus*, *Tsuga*, Cupressaceae και *Juniperus*, καθώς και από σπέρματα και καρπούς των *Glyptostrobus europaeus* και *G*. sp. Η ποώδης βλάστηση αντιπροσωπεύεται από γυρεόκοκκους των Chenopodiaceae, Gramineae, Ericaceae, Compositae, *Ephedra*, *Pterocarya* και Umbelliferae, όπως επίσης και από τα σπέρματα και τους καρπούς *Batrachium* sp., *Sparganium* sp., *Decodon gibbosus*, D. sp., *Epipremnites ornatus*, *Actinidia* sp., *Rubus* sp., *Sambucus pulchella*, *S.* sp.1, *S.* sp.2, aff. *Symplocos lusaticum* και *Vitis* sp. Οι σπόροι των Πτεριδόφυτων εκπροσωπούνται από τα Polypodiaceae και Osmundaceae sp., ενώ απαντήθηκαν τα υδρόφιλα φυτά Nymphaceae, *Nymphaea neogenicus neogenicus*, *Myriophyllum*, *Nuphar*, Cyperaceae και Comaceae, όπως επίσης και *Potamogeton* sp., *P.* cf. *piestanensis*, *Taddalia* sp. και *Nyssa* sp. Γενικά η βλάστηση

ομοιάζει με αυτήν, από την οποία προήλθε το λιγνιτικό κοίτασμα της Βεύης στο νομό Φλώρινας και του Αλιβερίου στο νομό Εύβοιας.

- Οι φυτοκοινωνίες, που αναπτύχθηκαν στην υπό μελέτη περιοχή υποδηλώνουν κατά κύριο λόγο υγρές και θερμές κλιματικές συνθήκες με περιστασιακή εμφάνιση πιο ξηρών περιόδων.
- Το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας σχηματίστηκε κατά τη διάρκεια του Κατώτερου Πλειοκαίνου, όπως αυτό προκύπτει από την ύπαρξη του γένους *Nymphaea neogenicus neogenicus*.
- Σύγχρονο περιβάλλον τυρφογένεσης ανάλογο με εκείνο που σχηματίστηκε το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας, θεωρείται το χερσαίο οικοσύστημα σχηματισμού τύρφης στην περιοχή του Everglades (Η.Π.Α).
- Ο λιγνίτης της Αχλάδας αποτέθηκε κάτω από ελαφρώς όξινες έως ελαφρώς αλκαλικές συνθήκες, με πολύ μικρή συμμετοχή ανθρακικού υλικού.
- Η λιγνιτοφόρος ακολουθία που ερευνήθηκε, σχηματίστηκε κάτω από υγρές και ανοξικές συνθήκες, ευνοϊκές τόσο για την καλή διατήρηση κυτταρικών ιστών, όσο και γενικότερα για τη ζελατινοποίηση της οργανικής ύλης.
- Η τυρφογένεση επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό από παράγοντες, όπως είναι η απόσταση της θέσης απόθεσης από το κύριο κανάλι του μαιανδρικού ποτάμιου συστήματος.
- Ο λιγνίτης της Αχλάδας εμφανίζει περιεκτικότητες σε macerals των κύριων ομάδων (Χουμινίτης, Ινερτινίτης, Λειπτινίτης) παρόμοιες με αυτές του λιγνίτη του Κλειδιού και της Βεύης του Νομού Φλώρινας.
- Η περιεκτικότητά τους σε ολικό θείο χαρακτηρίζεται μέτρια ως υψηλή (μέση τιμή 3,9%).
- Το ανόργανο μέρος του λιγνίτη αποτελείται κύρια από αργιλικά και πυριτικά ορυκτά, τα οποία εισέρχονταν στον παλαιοτυρφώνα με τα επιφανειακά νερά. Τα ανθρακικά ορυκτά συμμετέχουν με πολύ μικρό ποσοστό, με εξαίρεση το σιδηρίτη. Από τα αυθιγενή ορυκτά, η γύψος εμφανίζεται με μεγάλη συχνότητα, ενώ ο σιδηροπυρίτης απαντά με βοτρυοειδή μορφή και σε χαμηλές περιεκτικότητες. Γενικά η ορυκτολογική σύσταση του λιγνίτη της Αχλάδας είναι παρόμοια με αυτήν του Κλειδιού Φλώρινας.
- Στο περιβάλλον σχηματισμού τύρφης, όπου κυριαρχούσε η δενδρώδης βλάστηση μεικτού δάσους με φυτοκοινωνίες, που περιλαμβάνουν Γυμνόσπερμα και Αγγειόσπερμα δέντρα (Taxodiaceae, Betulaceae, *Ulmus* κ.ά), ο τύπος του αργιλικού ορυκτού που απαντάται σε μεγαλύτερο ποσοστό είναι ο ιλλίτης-μοσχοβίτης, ενώ ο χλωρίτης και ο καολινίτης συμμετέχουν με μικρότερα ποσοστά.

- Χαρακτηριστική διαφοροποίηση εμφανίζουν τα FTIR φάσματα του ξυλιτικού και του μαζώδους λιθότυπου λιγνίτη, η οποία αποδίδεται τόσο στην παρουσία της λιγνίνης, όσο και στη συμμετοχή των αργιλικών ορυκτών.
- Στα ενδιάμεσα ανόργανα ιζήματα της λιγνιτοφόρου ακολουθίας, από τα αργιλικά ορυκτά κυριαρχεί ο ιλλίτης-μοσχοβίτης, ενώ οι καολινίτης και χλωρίτης ακολουθούν σε μικρότερα ποσοστά. Επιπλέον δεν παρατηρήθηκε η ύπαρξη σμεκτιτών. Από τα μη αργιλικά κυριαρχούν ο χαλαζίας και οι άστριοι, ενώ πολύ σημαντική είναι η συμβολή του σιδηρίτη.
- Η έψηση των αργιλικών πρώτων υλών από τα στείρα της λιγνιτοφορίας, σε υψηλές θερμοκρασίες (έως 1300 ^{o}C) έδειξε, ότι από τους 900 ^{o}C περίπου αρχίζει η υαλοποίηση του υλικού και η δημιουργία νέων κρυσταλλικών φάσεων, όπως Al,Si-σπινελίων και αιματίτη, των οποίων η παρουσία γίνεται εντονότερη αυξανομένης της θερμοκρασίας έψησης. Επίσης από 1200 ^{o}C περίπου αρχίζει να δημιουργείται μουλλίτης, η παρουσία του οποίου γίνεται εντονότερη στους 1300 ^{o}C.
- Από την προβολή σε κατάλληλα τριγωνικά διαγράμματα των αργιλικών πρώτων υλών, που προέρχονται από τα στείρα της λιγνιτοφορίας προκύπτει, ότι με βάση τη χημική και ορυκτολογική τους σύσταση κρίνονται, κατ' αρχήν, κατάλληλα για την παρασκευή έγχρωμων κεραμικών προϊόντων τύπου "red-stoneware".

Βιβλιογραφία

ΔΙΕΘΝΗΣ

Al-Agha, M.R., Burley, S.D., Curtis, C.D. and Esson, J., 1995. Complex cementation textures and authigenic mineral assemblages in recent concretions from the Lincolnshire Wash (east coast, UK) driven by Fe(0) to Fe(II) oxidation. *J. Geol. Soc. London*, 152: 157-171.

Alcañiz-Monge, J., Cazorla-Amorós, D., Linares-Solano, A., 2001. Characterisation of coal tar pitches by thermal analysis, infrared spectroscopy and solvent fractionation. *Fuel*, Vol. 80, Issue 1: 41-48.

Altehenger, A., 1959. Floristich belegte klimaschwankungen im mitteleuropaischen Pliozan der Reuver-stufe. *Palaeontographica Abt. B*, Vol. 106: 11-70.

Alpern, B., 1981. Les schistes bitumineux: constitution, reserves, valorization. *Bull. Centr. Rech. Explor. Prod. ELF Aquitaine*, 5.2: 319-382.

Amutharani, D., Gnanam, F.D., 1999. Low temperature pressureless sintering of sol-gel derived mullite. *Materials Science and Engineering A*, Vol. 264, Issues 1-2: 254-261.

Antoniadis, P., Gregor, H-J, Mavridou, E., 2004. Paleoenvironmental Interpretation of the Klidi Lignite Deposit (Northern Greece) based on Seeds and Fruits. *Flora Tertiaria Mediterranea*, Vol. 9: 1-8.

Antoniadis, P., Mavridou, E., Gentzis, T., 2004. Petrography and Paleoenvironmental Conditions During Formation of the Lignite Deposit at Prosilio, Northern Greece. *Energy Sources*, 26: 1201–1217.

Antoniadis, P., Abatzi, S.M., Mavridou, E. and Gentzis, T., 2005. Reconstruction of the Paleoenvironment of the Lignite Deposit at Pgntokomi (Sector 6), Ptolemaida Basin, Greece, Based on Its Maceral Composition. *Energy Sources*, 27: 687-708.

Antoniadis, P., Mavridou E. and Gentzis, T., 2005. The Notio Pedio (Southern Field) Lignite Deposit in the Ptolemaida Basin, Greece: Depositional Conditions as Revealed through Petrography. *Energy Sources*, 27:1117–1131.

Antoniadis, P., Kaouras, G., Khanaqa, P., Riegel, W. and Gentzis, T., 2006a. Petrographical, Palynological, and Sedimentological Aspects Regarding the Genesis of PalaeogeneLignites Near Alexandroupolis, Thrace, Greece. *Energy Sources*, *Part A*, 28, 2: 117-133.

Antoniadis, P., Mavridou, E., Papazisimou, S., Christanis, K. and Gentzis, T., 2006b. Petrographic Characteristics of the Kardia Lignites (Core KT6A-3), Ptolemais Basin(Greece). *Energy Sources, Part A*, 28, 4: 373-388.

Antoniadis, P., Mavridou, E., Papazisimou, S., Christanis, K. and Gentzis, T., 2006c. Palaeoenvironmental Conditions of the Mavropigi Lignites, Ptolemais Basin, Greece: A Petrological Study. *Energy Sources, Part A*, 28, 4: 311-327.

ASTM, American Society for Testing and Materials, 1981. Annual Book of ASTM Standards, Part 26.

ASTM, American Society for Testing and Materials, 1995. D388. Standard classification of coals by rank. In: 1996 Annual book of ASTM Standards, Standards Relating to Gaseous fuels; Coal and Coke, vol. 05.05: 164-167.

ASTM, American Society for Testing and Materials, 1996. D 3174-93, Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. In: Annual Book of ASTM Standards. Part 26. Gaseous Fuels, Coals and Coke.

ASTM, American Society for Testing and Materials, 2004. D 3174-04, Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. In: Annual Book of ASTM Standards. Section 5. Volume 05.06. Gaseous Fuels, Coal and Coke.

Asikainen, C.A., Francus, P.and Brigham-Grette, J., 2007. Sedimentology, clay mineralogy and grain-size as indicators of 65 ka of climate change from El'gygytgyn Crater Lake, Northeastern Siberia. *J. of Paleolimnology*, 37: 105–122.

Aubouin, J., 1957. Sur la Geologie de la bondure Meridionale de la plaine de Trikala. *Ann. Geol. des P. Hellen.*, *Athenes*, 8: 1-12.

Aubouin, J., Brunn, J.H., Celet, P., Dercourt, J., Godfriaux, I. and Mercier, I., 1963. Esquisse de la Geologie de la Crece. Livre Mémoire Prof. Pallot Memoires, *Soc. Geol. France*, 383-610.

Austin, G., 1994. Adobe and Similar Materials. *In*: Industrial Minerals and Rocks. 6th ed., D. D., Carr, (ed.), Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Littleton, Colorado, 279-286.

Balan, E., Marco Saita A., Mauri F., Calas G., 2001. First-principles modeling of the infrared spectrum of kaolinite. *Americal Mineralogist*, Vol. 86: 1321-1330.

Bartsch, M., Saruhan, B., Schmucker, M., Schneider, H., 1999. Novel low-temperature processing route of dense mullite ceramics by reaction sintering of amorphous SiO2-coated g-alumina particle nanocomposites. *J. Am. Ceram. Soc.*, 74: 2448–2452.

Baruah, M.K., Kotoky, P. and Borah, G.C., 2003. Distribution and nature of organic/mineral bound elements in Assam coals, India. *Fuel*, 82: 1783-1791.

Bechtel, A., Sachsenhofer, R.F., Markic, M., Gratzer, R., Lucke, A. and Puttmann, W., 2003. Paleoenvironmental implications from biomarker and stable isotope investigations on the Pliocene Velenje lignite seam (Slovenia). *Org. Geochem.*, 34: 1277-1298.

Bechtel, A., Sachsenhofer, R.F., Zdravkov, A., Kostova, I., Gratzer, R., 2005. Influence of floral assemblage, facies and diagenesis on petrography and organic geochemistry of the Eocene Bourgas coal and the Miocene Maritza-East lignite (Bulgaria). *Org. Geochem.*, 36: 1498-1522.

Berner, R.A., Baldwin, T. and Holdren, G.R., 1979. Authigenic iron sulfides as paleosalinity indicators. *J. Sediment. Petrol.*, 49, 4: 1345-1350.

Blackwell, J., 1977. Infrared and Raman spectroscopy of cellulose. *In*: Arthur J.C., (Ed.), *C*ellulose Chemistry and Technology, ACS Symposium Series, American Chemical Society Series, Washington, D.C., Vol. 48: 206– 221.

Brunn, J.H., 1956. Contribution a Γ etude geologique du Pinde septentrional et d'une partie de la Macedoine occidentale. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, 7: 358 pp.

Buhman, M. and Fey, V., 1988. The mineralogy of four heaving clays. *Applied Clay Science,* Vol. 3, No. 3: 219-236.

Bouzinos, A., Christanis, K. and Kotis, Th., 1997. The Chimaditida fen (W. Macedonia, Greece): a peat deposit lost. *Int. Peat Journal*, 7: 3-10.

Bustin, R.M., Cameron, A.R., Grieve, D.A., Kalkreuth, W.D., 1983. Coal petrology. Its principles, methods and applications. *Geol. Assoc. Can. Short Course Notes,* 3: 230.

Bustin, R.M., Cameron, A.R., Grieve, D.A. and Kalkreuth, W.D., 1989. Coal Petrology Its Principales, Methods and Applications. Geological Association of Canada. Victoria, British Columbia, Canada, 230 pp.

Calder, J., Gibling, M. and Mukhopadhyay, P., 1991. Peat formation in a Westphalian B piedmont setting, Cumberland Basin, Nova Scotia. *Bull. Soc. Geol. France*, 162/2: 283-298.

Calder, J., 1993. The evolution of a ground-water-influenced (Westphalian B) peat-forming ecosystem in a piedmont setting: The No. 3 seam, Springhill coalfield, Cumberland Basin, Nova Scotia. *Geol. Soc. of America, Sp. paper*, 286: 153-180.

Cameron A. R., 1978. Megascopic description of coal with particular reference to seams in southern Illinois. *In*: Dutcher R.R., (Ed.): Field Description of Coal, 661, Amer. Soc. testing Materials ASTM Spec. Techn. Publ: 9-332.

Carretero, M.I., Dondi, M., Fabbri, B. and Raimond, M., 2002. The influence of shaping and firing technology on ceramic properties of calcareous and non-calcareous illitic-chloritic clays. *Applied Clay Science*, Vol. 21: 155-163.

Casagrande, D.J., 1987. Sulphur in peat and coal. In: Scout, A.C. (ed.), Coal and coal bearing strata: Recent advances. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 32: 87-105.

Cerny, J., 1996. Structural dependence of CH bond absorptivities and consequences for FT-i.r. analysis of coals. *Fuel,* 75, 11:1301–1306.

Chou, C.L., 1990. Geochemistry of sulphur in coal. In: Orr, W.L. and White, CM. (eds), Geochemistry of Sulfur in fossil fuels. *Am. Chem. Soc. Symp. Ser.*, 429: 30-52.

Christanis, K., 2003. Coal fades studies in Greece. *Int. J. Coal Geol.*, 58, 99-106.

Christanis, K., 1994. The genesis of the Nissi peatland (northwestern Greece) as an example of peat and lignite deposit formation in Greece. *Int. J. Coal Geol.*, 26, 63-77.

Cloke, M., A. Gilfillan, and E. Lester., 1997. The characterization of coals and density separated coal fractions using FTIR and manual and automated petrographic analysis. *Fuel,* 76, 13: 1289–1296.

Collinson, M.E. and Scott, AC., 1987. Implications of vegetational change through the geological record on models for coal-forming environments. in: Scott, A.C. (Ed.), Coal and coal-Bearing Strata: Recent Advances. *Spec. Publ. Geol. Soc.*, Vol. 32: 67-85.

Das, T.K., 2001. Thermogravimetric characterization of maceral concentrates of Russian coking coals. *Fuel*, 80: 97-106.

Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., 1976. Rock forming minerals. Sheet silicates, new impression, Longman group limited London, Vol.3: 267pp.

Dehmer, J., 1989. Petrological and organic geochemical investigation of the Oberpfalz brown coal deposit, West Germany. *Int. J. Coal Geol.*, 11: 273-290.

Deng, Y., White N., Dixon J., 2002. Effect of Structual Stress on the Intercalation Rate of Kaolinite. *Journal of Colloid and Intrface Science,* 250: 379-393.

Diamantopoulos, A.1., Dimitrakopoulos D.1. and Fountoulis, I., 2004. Quaternary deformation of the Mavropigi Lignite Field (Western Margin of Ptolemais - Kozani Graben, NW Macedonia, Greece). *Bull. Geol. Soc. of Greece* Vol. XXXVI: 310-319.

Diessel C.F.K., 1965. Correlation of macro- and micro-petrography of some New South Wales coals. C.R. 8th Commonwealth Min. Metall., 6, Melbourne, Austral. αvδ NZ Publ, 669-677.

Diessel, C.F.K., 1986. The correlation between coal facies and depositional environments. *In*: Advances in the study of the Sydney Basin. Proceedings of the 20th Symposium, The University of Newcastle, 19-22.

Diessel, C.F.K. 1992. Coal-bearing depositional systems. Springer Verlag, Berlin, 721 pp.

DIN, Deutsche Normen 22020-1, 1996. Mikroskopische Untersuchungen an Steinkohle, Koks und Briketts, Teil 2: Begriffe, άbersicht und Anwendung der Verfahren. Beuth-Vertrieb Gmbh, Berlin.

DIN, Deutsche Normen 22020-2, 1996. Mikroskopische Untersuchungen an Steinkohle, Koks und Briketts, Teil 2:Herstellung von Kφrnerschliffen und Stόckschliffen. Beuth-Vertrieb Gmbh, Berlin.

DIN, Deutsche Normen 22020-3, 1996. Mikroskopische Untersuchungen an Steinkohle, Koks und Briketts, Teil 3: Maceralanalysen an Kornerschliffen. Beuth-Vertrieb Gmbh, Berlin.

Doutsos, T. and Kokkalas, S., 2001. Stress and deformation patterns in the Aegean region. *J. Struct. Geol.*, 23:455-472.

Doutsos, T. and Koukouvelas, I., 1998. Fractal analysis of normal faults in northwesternAegean area, Greece. *J. Geodyn.*, 26/2-4: 197-216.

ECE-UN, 1998. International Classification of in Seam Coals. Unites Nations, New York and Geneva, 41 pp.

Elias, S. A., 1991. Insects and Climate Change. *BioScience*, Vol. 41, No. 8: 552-559.

Eliot, M.A. and Yohe, G.R., 1981. The coal industry and coal research and development in perspective - Chapter 1 in Eliot, M.A., editor, Chemistryof Coal Utilization, Second Supplementary volume, Wiley Interscience, New York, 1-54 pp.

Fabbri, B. and Fiori, C., 1985. Clays and complementary raw materials for stoneware tiles. *Miner. Petrog. Acta*, 29A: 535 pp.

Fayol, H., 1887. Terrain houiller de commentary, Saint Etienne, livre premier: Lithologie et Stratigraphie.

Fiori, C., and Guarini, G., 1990. Italian red clays for Stoneware Tile Production: Statistical study of the mineralogical composition. *Industrial ceramics*, Vol. 10, No 4: 151-157.

Foscolos, A.E., Goodarzi, F., Koukouzas, C.N. and Hatziyannis, G., 1989. Reconnaissance study of mineral matter and trace elements in Greek lignites. *Chem. Geol.*, 76: 107-130.

Foucault A., Mélières F., 2000. Palaeoclimatic cyclicity in central Mediterranean Pliocene sediments: the mineralogical signal. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 158, Issues 3-4, 15: 311-323.

Gaines, A.F., Ozyildoz, G., and Wolf, M., 1981. Infrared spectra of humodetrinite from the Fortuna Garsdorf mine. *Fuel*, 60: 615– 618.

Gentzis, T., Goodarzi, F., Koukouzas, C. and Foscolos, A., 1996. Petrology, mineralogy and geochemistry of lignitew from Crete, Greece. *Int. J. Coal Geol.*, 30: 131-150.

Georgakopoulos, A., 2000. The Drama Lignite Deposit, Northern Greece: Insights from Traditional Coal Analyses, Rock-Eval Data, and Natural Radionuclides Concentrations. *Energy Sources*, 22: 497-513.

Georgakopoulos, A., 2003. Aspects of solid state ^{13}C CPMAS NMR spectroscopy in coals from the Balkan peninsula. *J. Serb. Chem. Soc.,* 68/8-9: 599-606.

Georgakopoulos, A., Iordanidis, A. and Karma, V., 2003. Study of Low Rank Coals Using FTIR Spectroscopy. *Energy Sources*, 25: 995-1005.

Georgakopoulos, A. and Valceva, S., 2000. Petrographic characteristics of Neogene lignites from the Ptolemais and Servia basins, Northern Greece. *Energy Sources*, 22: 587-602.

Giller, K.E. and Wheeler, B.D., 1986. Peat and water chemistry of a flood-plain fen in Broadland, Norfolk, UK. *Freshwater Biology,* 16: 99–114.

Gramman, F., 1960. Die Fossilien des Braunkohlenbeckens in Ptolemais-Komanos. Unpublished report. Archive 22625, "Bundesanstalt fur Gewissen achafften und Rohstoffe", 1-11, Hannover, Institute of Geology and Mineral Exploration., 1983. Geological map of Greece, Map of Geotectonic Zones of Greece, Echelle 1:500.000.

Gregor, H.-J, 1982. Die jungtertiaren Floren Suddeutschlands. Enke-Verlag, Stuttgart.

Gregor, H.-J., 1983: A miocene Fruit-and seed flora from the Browncoal of Aliveri (Island of Evia, Greece). *Doc. nat.*, 6: 1-26.

Gregor, H.-J, 1990. Contributions to the Late Neogene and Early Quaternary Floral History of the Mediterranean. *Review of Palaeobotany and Palynology*, Vol. 62: 309-338.

Gregor, H.-J. and Velitzelos, E., 1984. Preliminary comparisons of Neogene Floras in the Mediterranean (Spain, France, Italy, Turkey and especially Greece) with those of Paratethys areas. *Rapp. Comm. Int. Medit.*, Monaco 29: 1-2.

Grim, R.E., 1967. Atlas of electron microscopy of clay minerals and their admixtures. Beutelspacher, H. and van der Marel, H.W., 1967, Elsevier, Amsterdam, Vol. 4, Issue 2: 333 pp.

Guiliano, M., Miller, G., Doumenq, P., Kister, J. and Muller, J., 1990. Study of various rank French demineralized coals and maceral concentrates: band assignment of FTIR spectra after resolution enhancement using Fourier deconvolution. *In*: Charcosset, H., Donat, B.N.P., (ed.), Advanced Methodologies in Coal Characterization. *Coal Science and Technology*, 15: 399-417.

Guo, Y. and Bustin, R.M., 1998a. FTIR spectroscopy and reflectance of modern charcoals and fungal decayed woods: implications for studies of inertinite in coals. *Int. J. Coal Geol.*, 37: 29-53.

Guo, Y. and Bustin, R.M., 1998b. Micro-FTTR spectroscopy of liptinite macerals in coal. *Int.J. Coal Geol.*, 36: 259-275.

Guo, Y., Renton, J.J. and Penn, J.H., 1996. FTIR microspectroscopy of particular liptinite-(lopinite-) rich, Late Permian coals from Southern China. *Int. J. Coal Geol.*, 29: 187-197.

Hagemann, H.W. and Hollerbach, A., 1979. Relationship between the macropetrographic and organic geochemical composition of lignites. *Adv. Organ. Geochem.*, 12: 631-638.

Hagemann, H.W., Ottenjann, K., Puttmann, W., Wolf, M. and Wolf-Fischer, E., 1989. Optische und chemische Eigenschaften von Steinkohle. *Erdol Kohle*, 42: 99-110

Harvey, R. and Dillon, J., 1985. Maceral distribution in Illinois coals and their paleonvironmental implications. *Int. J. Coal Geol.*, 5: 141-165.

Hergert, H.L., 1971. Infrared spectra. *In*: Sarkanen, K.V., Ludwig, C.H., (Ed.), Lignins: Occurrence, Formation, Structure and Reaction. Wiley, Interscience, New York, 267-296 pp.

Holloway P.J., 1982. The chemical constitution of plant cutins. *In* The Plant Cuticle 151 (eds) Cutler, D.F., Alvin, K.L. and Price, C.E. Linnean Soc. Lond. Academic Press, London, 45-85.

Ibarra, J.V. and Moliner, R., 1991. Coal characterization using pyrolysis-FTIR. *J. Anal, and Appl.Pyrol.*, 20: 171-184.

Ibarra, J.V., Moliner, R. and Bonet, A.J., 1994. FT-i.r. investigation on char formation during the early stages of coal pyrolysis. *Fuel*, 73: 918-924.

Ibarra, J.V., Munoz, E. and Moliner, R., 1996. FTIR study of the evolution of coal structure during the coalification process. *Org. Geochem.*, 24: 725-735.

Iglesias, M.J., de la Puente, G., Fuente, E. and Pis, J.J., 1998. Compositional and structural changes during aerial oxidation of coal and their relations with technological properties. *Vibrational Spectroscopy*, 17: 41-52.

Ilia, I., Stamatakis, M. and Perraki, Th., 2009. Mineralogy and technical properties of clayey diatomites from north and central Greece. Cent. *Eur. J. Geosc.*, Vol.1, No3: 393-403.

International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP) 1975. International Handbook of Coal Petrography. 2nd edition 2nd suppl. (Centre National de la Recherche Scientifique), Paris.

International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP) 1963. International Handbook of Coal Petrography. 2nd edition 1st suppl (Centre National de la Recherche Scientifique), Paris.

International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP) 1971. International Handbook of Coal Petrography, 1st supplement to 2 edition. (Centre National de la Recherche Scientifique), Paris, France.

International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP) 1993. International Handbook of Coal Petrography, Supplement, Commision 1-19 pp.

International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP) 2001. The new inertinite classification (ICCP System 1994). *Fuel*, 80: 459-471.

Ioakim, C., 1985. Analyse palynologique des depots lacustres du Pliocene de Ptolemais (Grece septentrionale). *Paleontol. Continent.,* 14/2: 315-322.

Jacobshagen, V., Durr, S., Kockel, F., Kopp, K.O. and Kovalczyk, G., 1978. Structure and geodynamic evolution of the Aegean region. *In*: Closs, Roeder and Schmidt Editors: Alps, Apennines, Hellenides, 537-564.

Jarvis, M.C. and McCann, M.C., 2000. Macromolecular biophysics of the plant cell wall: concept and methodology. *Plant Physiol. Biochem.*, 38: 1-13.

Jensen, D., Boddum, J., Tjell, J. and Christensen, T., 2002. The solubility of rhodochrosite (MnCO3) and siderite (FeCO3) in anaerobic aquatic environments. *Applied Geochemistry,* 17: 503–511.

Jimenez, A., Martinez-Tarazona, R. and Suarez-Ruiz, I., 1999. Paleoenvironmental conditions of Puertollano coals (Spain): petrological and geochemical study. *Int. J. Coal Geol.*, 41: 189-211.

Johnson, S.M., Pask, J.A. and Moya, J.S., 1982. Influence of impurities on high temperature reactions of kaolinite. *J. Am. Ceram. Soc.*, 65: 31-35.

Jordán, M.M., Boix, A., Sanfeliu, T. and de la Fuente C., 1999. Firing transformations of cretaceous clays, used in the manufacturing of ceramic tiles. *Applied Clay Science,* Vol. 14: 225-234.

Kaiser, H. and Ashraf, R., 1974. Gewinnung und Präparation fossiler Sporen und Pollen sowie anderer Palynomorphae unter besonderer Betonung der Siebmethode. *Geol. Jb., A*, 25: 85–114.

Kalaitzidis, S., Papazisimou, S., Giannouli, A., Bouzinos, A., Christanis, K., 2003. Preliminary comparative analyses of two Greek leonardites. *Fuel,* 82: 859–861.

Kalaitzidis, S., Bouzinos, A., Papazisimou, S. and Christanis, K., 2004. A short-term establishment of forest fen habitat during Pliocene lignite formation in the Ptolemais Basin, NW Macedonia, Greece. *Int J. Coal GeoL*, 57: 243-263.

Katz, N.J., Katz, S.V. and Kipiani, M.G., 1965. Atlas and Kays of Fruits and seels occurring in the Quarternary deposit of the USSR. Publ. Nauka, Moscow.

Kalkreuth, W., Marchioni, D., Calder, J. and Lamberson, M., 1991a. The relationship between coal petrography and depositional environments from selected coal basins in Canada. *Int. J. Coal Geol.*, 19: 21-76.

Kalkreuth, W., Kotis, T., Papanicolaou, C. and Kokkinakis, P., 1991b. 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 pliozanen Braunkohle von Kariochori bei Ptolemais / NW Griechenland. PhD thesis, Univ.Gottingen, 220 pp.

Kershaw, A.P. and Sluiter, I.R., 1982. The application of pollen analysis to the elucidation of Latrobe Valley brown coal depositional environments and stratigraphy. *In*: Mallett, C.W., (ed), Coal resources - origin, exploration and utilization in Australia. Aust. Coal Geol, 4: 169-186.

Keys, D. and Henderson, R.E., 1983. Field and data compilation methods udes in the inventory of the peatlands of New Brunswick, Canada. *In*: Jarrett, P.M., (ed.), Testing of peats and organic soils. ASTM STP, 820: 55-71.

Killops, S.D. and Killops, VJ., 1993. An introduction to organic geochemistry. Longman, New York 265 pp.

Kloosterboer-van Hoeve, M.L., 2000. Cyclic changes in the late Neogene vegetation of northern Greece, a palynological study. PhD. thesis, University Utrecht, Netherlands. LPP Contribution Series 12. 131 pp.

Knobloch, E., 1981. Neue Palaeobotonische Untersuchangen im Pannon und Pont des Ma¨hrischen Teils des Wiener Beckens. *Acta Musei Nationalis Pragae*, Vol. XXXVI, B., No. 3-4.

Koch, A., Krzton, A., Finqueneisel, G., Heintz, O., Weber, J. and Zimny. T., 1998. A study of carbonaceous char oxidation in air by semi-quantitative FTIR spectroscopy. *Fuel,* 77, 6: 563-569.

Kolcon, I. and Sachsenhofer, R.F., 1999. Petrography, palynology and depositional environments of the early Miocene Oberdorf lignite seam (Styrian basin, Austria), hit. *J. Coal Geol.*, 41: 275-308.

Konta, J., 1973. Rheological properties of Czechoslovak clays. A.I.P.E.A.

Kossmat, 1924. Geologie der Zentralen Balkanhalbinsel. Die Kriegsschauplatze 1914-18, geologisch dergestellt., Berlin, H. 12., 198 pp.

Kotis, Th., 1997. The lignite formations of the Neogene basin of Moschopotamos/Katerini in relation to the Pieria geotectonic unit. PhD thesis, Dept. Geol. University of Patras. 398 pp. (in Greek).

Kotis, Th., Metaxas, A., Ploumidis, M., Varvaroussis, G., 1995. Exploration of Lignite Deposits in the Eastern Region of the Florina Basin. IGME Publication, Athens, 63 pp.

Kotis, Th., Ploumidis M., Metaxas A. and Varvarousis G., 1992. Exploration of lignite deposits in the Florina basin, subarea Vevi, (W Macedonia), I.G.M.E, 1-97 pp., Annex I 1-45 pp., Annex II 1-10 pp, Athens (in Greek).

Kotis, Th., Metaxas A., Ploumidis M. and Varvarousis G., 1995. Exploration of lignite deposits in the eastern region of the Florina basin, subarea Achlada-Meliti, I.G.M.E, 1p., Annex I 1-10 pp., Athens (in Greek).

Kotis, Th., Ploumidis M., Metaxas A. and Varvarousis G., 1996. Exploration of lignite deposits in the eastern region of the Florina basin, subarea Meliti-Lofi, I.G.M.E, 1-91 pp., Annex I 1-45 pp., Annex II 1-10 pp, Athens (in Greek).

Kotis, Th., Ploumidis M., Metaxas A. and Varvarousis G., 1997. Exploration of lignite deposits of the area of Kleidi Florina, I.G.M.E, 1-87 pp., Athens (in Greek).

Kortenski, J. and Kostova, I., 1996. Occurrence and morfology of pyrite in Bulgarian coals. *Int. J. Coal Geol.*, 29: 273-290.

Koukouzas, N., 2007. Mineralogy and geochemistry of diatomite associated with lignite seams in the Komnina Lignite Basin, Ptolemais, Northern Greece. *Int. J. Coal Geol.*,Vol.71, Issues 2-3: 276-286.

Koukouzas, C.N., Kotis, T., Ploumidis, M., Metaxas, A., 1979. Coal exploration of Anargiri area, Amynteon (W. Macedonia). Mineral Deposit Research, No. 9, vol. 5– 14. National Institute of Geological and Mining Research, Athens, 22-34.

Koukouzas, K., Kotis, Th., Ploumidis, M., Metaxas, A., Dimitriou, D., 1984. Lignite Deposit of Komnina Area, Ptolemais (W. Macedonia). Institute of Geology and Mineral Exploration, Athens,. 103 pp.

Koukouzas, C. and Koukouzas, N., 1995. Coals of Greece: distribution, quality and reserves. In: Whateley, M.K.G and Spears, D.A. (eds), European coal geology. *Geol. Soc. Sp. PubL*, 82: 126-145.

Koukouzas, C., Kotis, Th., Metaxas, A., Ploumidis, M., Varvarousis, ., Dimitriou, D. and Ioakim, Ch., 2000. Potential of lignite deposits and palaeoclimatic evolution of Ptolemais basin during the Neogene –Quaternary period. Proc. Interim Colloquium RCMNS (Patras, Greece, May 1998). *Geol. Soc. Greece Spec. Publ*, Vol. 9: 151-162.

Kovar-Eder, J., Kvacek, Z. and Meller, B., 2001. Comparing Early to Middle Miocene floras and probable vegetation types of Oberdorf N Voitsberg (Austria), Bohemia (Czech Republic) and Wackersdorf (Germany). *Review of Palaeobotany and Palynology* 114: 83–125.

Kuehn, D.W. and Davis, A., 1991. The effects of coalification and paleoenvironment on aliphatic and aromatic CH contents in the Lower Kittanning coal seam. *Org. Geochem.*, 17, 2: 255-262.

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.

Lee, W.E., Rainforth, W.M., 1994. Ceramic Microstructures, Property Control by Processing. Chapman and Hall, London, UK, 299–311.

Lide, D. R., 1991. CRC Handbook of Chemistry and Physics. Boston: CRC Press.

Lis, G.P., Mastalerz, M., Schimmelmann, A., Lewan, M.D. and Stankiewicz, B.A., 2005. FTIR absorption indices for thermal maturity in comparison with vitrinite reflectance R_0 in type-II ketogens from Devonian black shales. *Org. Geochem.*, 36: 1533-1552.

Liu, D., Yang, Q., Tang, D., Kang, X. and Huang, W., 2001. Geochemistry of sulfur and elements in coals from the Antaibao surface mine, Pingshuo, Shanxi Province, China. *Int. J. Coal Geol.*, 46: 51-64.

Love, L.J., Coleman, M.L. and Cutris, CD., 1983. Diagenetic pyrite formation and sulphur isotope fractionation associated with a Westphalian marine incrusion, Northern England. Trans. *R. Soc. Edinburgh Earth Sci.*, 74: 165-182.

Lu, R., Purushothama, S., Yang, X., Hyatt, J., Pan, W.P., Riley, J.T. and Lloyd, W.G., 1999. TG/FTIR/MS study of organic compounds evolved during the co-firing of coal and refusederived fuels. *Fuel Proc. Technol.*, 59, 1:35-50.

Madejova, J., 2002. FTIR techniques in clay mineral studies. *Vibrational Spectroscopy* 944: 1-10.

Madejová, J., 2003. FTIR techniques in clay mineral studies *Vibrational Spectroscopy*, Vol. 31, Issue 1: 1-10.

Mader, H., 1958. Kork. Handbuch der Pflanzenphysiologie, Berlin, 10 pp.

Manning, D.A.C., 1995. Introduction to Industrial minerals. Chapman & Hall, London.

Marchioni, D.L., 1980. Petrography and depositional environment of the liddell seam, upper Hunter Valley, New South Wales. *Int. J. Coal Geol.*, 1, 35-61.

Markic, M. and Sachsenhofer, R., 1997. Petrographic composition and depositional environments of Pliocene Velenje lignite seam (Slovenia). *Int. J. Coal Geol.*, 33: 229-254.

Mastalerz, M. and Bustin, M.R., 1994. Variation in reflectance and chemistry of vitrinite and vitrinite precursors in a series of Tertiary Coals, Arctic Canada. *Org. Geochem.*, 22/6: 921-933.

Mastalerz M., Bustin R. M., 1995. Application of reflectance micro-Fourier transform infrared spectrometry in studying coal macerals: comparison with other Fourier transform infrared techniques. *Fuel*, Vol. 74, Issue 4, 536-542.

Mastalerz, M. and Bustin, R.M., 1996. Application of reflectance micro-Fourier Transform infrared analysis to the study of coal macerals: an example from the Late Jurassic to Early Cretaceous coals of the Mist Mountain Formation, British Columbia, Canada. *Int. J. Coal Geol.*, 32: 55-67.

Mavridou, E., Antoniadis, P., Khanaqa, P., Riegel, W. & Gentzis, T., 2003. Paleoenvironmental interpretation of the Amynteon-Ptolemaida lignite deposit in northern Greece based on its petrographic composition. *Int. J. Coal Geol.*, 56: 253-268.

McCabe, P., 1984. Depositional environments of coal and coalbearing strata, 13–42. *In*: Rahmani, R.A. and Flores, R.M., (eds), Sedimentology of coal and coal-bearing sequences. Special Publication of International Association of Sedimentologists 7. Blackwell, Oxford.

McCann, M.C., Bush, M., Milioni, D., Sado, P., Stacey, N.J., Catchpole, C., Defernez, M., Carpita, N.C., Hofte, H., Ulvskov, P., Wilson, R.H. and Roberts, K., 2001. Approaches to understanding the functional architecture of the plant cell wall. *Phytochemistry*, 54: 811-821.

Metaxas, A., Karageorgiou, D.E., Varvarousis, G., Kotis, Th., Ploumidis, M. and Papanikolaou, G., 2007. Geological evolution – stratigraphy of Florina, Ptolemaida, Kozani and Saradaporo graben. *Bull. Geol. Soc. Greece*, Vol. XXXX: 161-172.

Mitchell, R.S. and Gluskoter, H.J., 1976. Mineralogy of ash of some American coals: variations with temperature and source. *Fuel*, 55: 90-96.

Montgomery, W. J., 1978. Standar laboratory test methods for coal and coke; in Karr, C. Jr., Analytical Methods for coal and coal products, Academic Press, New York, 191-246 pp.

Moore, P., 1987. Ecological and hydrological aspects of peat formation. In: Scott, AC. (ed), Coal and coal-bearing strata: Recent advances. *Geol Soc London Spec. Publ.*, 32: 7-15.

Moore, D.M. and Reynolds, R.C., 1997. X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. 2nd Ed., Oxford University Press, New York, 378 pp.

Moore, T.A. and Shearer, J.C., 2003. Peat/coal type and depositional environment-are they related. I*nt. J. Coal Geol.*, 56: 233-252.

Mountrakis, D., 1982. Etude geologique de terrains metamorphiques de Macedoine occidentale (Grace). *Bull. Soc. geol, Fr.*, 7, Ser. 24: 697-704.

Mountrakis, D., 1983. Structural geology of the North Pelagonian zone s.1. and geotectonic evolution of the internal Hellenides. Unpublished Habilitation, University of Thessaloniki, Greece, 283 pp, (in Greek).

Mountrakis. D., 1984. Structural evolution of the Pelagonian Zone in Northwestern Macedonia, Greece. In: The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean (edited by Dixon, J. E. & Robertson, A H. F.). *Spec. Publs. geol. Soc. Lond.*, 17:581-591.

Mukhopadhyay, P., 1986. Petrography of selected Wilcox'and Jackson group lignites from the Tertiary of Texas. *In*: Finkelman, R. and Casagrande, D. (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., Texas, 118 pp.

Nagy, E., 1999. Palynological correlation of the Miocene of the central Paratethys. Geological Institute of Hungary, Budapest, 5-126 pp.

Nankervis, J.C. and Furlong, R.B., 1980. Phase changes in mineral matter of North Dakota lignites caused by heating to 1200^{o}C. *Fuel*, 59: 425-430.

Nickel, B., 1987. Palynologische Untersuchungen an der Braunkohle von Megalopolis im Tagebau Thoknia (Peloponnes). Unpublished thesis, Vol. 2, Göttingen. 73 pp.

O'Gorman, J.V. and Walker, P.L., 1973. Thermal behaviour of mineral fractions separated from selected American coals. *Fuel*, 52: 71-79.

Okada, K., Otsuka, N., Somiya, S., 1991. Review of mullite synthesis routes in Japan. *Am. Ceram. Soc. Bull.,* 70: 1633-1640.

Oikonomopoulos, I., Perraki T., Kaouras, G. and Antoniadis, P., 2007. Mineralogical study of inorganic intercalated seams at Achlada lignite deposits (NW Greece). *Bull. Geol.l Soc. of Greece*, 40, 2: 906–917.

Oikonomopoulos, I., Kaouras, G., Antoniadis, P., Perraki Th. and Gregor H.J., 2008. Neogene Achlada Lignite Deposits in NW Greece. *Bul. Geosc.*, Vol. 83, 3: 335-349.

Padmaja, P., Anilkumar, G., Mukundan, P., Aruldhas, G. and Warrier, K., 2001. Characterisation of stoichiometric sol–gel mullite by fourier transform infrared spectroscopy. *Int. J. Inorg. Mater.*, Vol. 3: 693-698.

Painter, P.C., Coleman, M.M., Jenkins, R.G., Whang, P.W. and Walker J.P.L., 1978b. Fourier Transform Infrared study of mineral matter in coal. A novel method for quantitative mineralogical analysis. *Fuel*, 57: 337-344.

Painter, P.C., Snyder, R.M., Starsinic, M., Coleman, M.M., Kuehn, D.W. and Davis, A. 1981. Concerning the application of FTIR to the study of coal: a critical assessment of band assignments and the allocation of spectral analysis programs. *Applied Spectroscopy*, 35: 475-485.

Papanicolaou, C., Dehmer, J. and Fowler, M., 2000. Petrological and organic geochemical characteristics of coal samples from Fiorina, Lava, Mschopotamos and Kalavryta coal fieds, Greece. *Int. J. Coal Geol.*, 44: 267-292.

Papazisimou, S., Bouzinos, A., Christanis, K. and Tzedakis, PC., 2000. Geological study of the asphalt fen of Keri, Zakynthos island, Hellas. *In*: Rochefort, L. and Daigle, J.Y., (eds), Sustaining our Peatlands. Proceedings 11th International Peat.

Papazisimou, S., Bouzinos, A., Christanis, K. and Tzedakis, PC., 2000. Geological study of the asphalt fen of Keri, Zakynthos island, Hellas. *In*: Rochefort, L. and Daigle, J Y (eds), Sustaining our Peatlands. Proceedings 11th International Peat Congress, Quebec, 6-12.8.2000, Vol. I: 58-69.

Pavlides, S.B. and Mountrakis, D.M., 1987. Extensional tectonics of northwestern Macedonia,Greece, since the late Miocene. *J. Struct. Geol.*, 9, 4: 385-395.

Picket, W and Gotz, G., 1991. Investigations on the petroleum generation potential of bituminous coals from the Saar region. *Org. Geochem.*, 17: 695-704.

Planderova E., 1991. Miocene microflora of Slovak central Paratethys and its biostratigrafical significance. Dionyz Stur Institute of Geology, 5-144 pp.

Prange, Ch., 1989. Unterschungen an Saarhoklen zur Charakterisierung des technologischen Verhaltens anhand kohlenpetrologischer, physikalischer und geochemischer Methoden unter besonderey Beriiscksichtigung der Fluoreszenzmikroskopie. PhD Thesis, Aachen Univ. of Technology.

Pryor, E.J., 1963. Dictionary of Mineral technology. Mining Publ., London, 437 pp

Rao, C.P. and Gluskoter, H.J., 1973. Occurrence and distribution of minerals in Illinois coals. Illinois State Geological Survey Circular 476, 56 pp.

Renton, J.J. and Cecil, C.B., 1979. The origin of mineral matter in coal. *In*: Donaldson, A.C., Presley, M.W. and Renton, J.J., (eds), Carboniferous short course and guidebook, vol. 1 Bull. West Va Geol. Econ. Surv. B, 37, 1: 206-223

Rezaie, H.R., Rainforth, W.H., Lee, W.E., 1997. Mullite evolution in ceramics derived from kaolinite, kaolinite with added a-alumina and sol–gel precursors, Trans. Br. *Ceram. Soc.*, 96: 181-187.

Rich, F.J., Kurn, D. and Davis, T.D., 1982. The palaeoecological significance of Ovoidites. *Palynology*, 6: 19-28.

Riegel, W., Wehmeyer, D., Meinke, K., Schwarz, G., Apostolikas, A., Velitzelos, E., 1989. Succession of depositional environ-ments in the Neogene Basin at Aliveri, Evia (Greece). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 70, 261-273.

Riegel, W., 1965. Palynology of environments of peat formation in south-western Florida. PhD. thesis, Pennsylvania State University, USA, 189 pp.

Ruau, O., Pradiew, B., Landais, P. and Gaerdette, J. L., 1996. Influence of the conditions of deposition on the chemistry and the reflectance variations of the Brent coals. *Org. Geochem.,* Vol. 25, No. 5-7: 325-339.

Russel, N.J. and Barron, P.F., 1984. Gelification of Victorian Tertiary soft brown coal wood. II. Changes in chemical structure associated with variation in the degree of gelification. *Int. J. Coal Geol.*, 4: 119-142.

Sainz, M. A., Serrano F.J., Amigo, J.M., Bastida, J., Caballero, A., 2000. XRD microstructural analysis of mullite obtained from kaolinite–alumina mixtures. *J. Europ. Cer. Soc.*, Vol. 20, Issue 4: 403-412.

Samara, C., 2005. Chemical mass balance source apportionment of TSP in a lignite-burning area of Western Macedonia, Greece. *Atmospheric Environment*, 39: 6430–6443.

Scott, A.C., 2002. Coal petrology and the origin of coal macerals: a way ahead. *Int. J. Coal Geol.*, 50: 119-134.

Siavalas, G., Tsompanidou, E., Kalaitzidis, S., Bouzinos, A. and Christanis K., 2004. Early stages of lignite formation in Ptolemais basin: a coal-petrographic approach. *Proc. 10th Int. Geol. Soc.*, XXXVI: 334-341.

Schelkoph, G.M., Hassett, D.J. and Weber, B.J., 1983. A comparative study of preparation and analytical methods for peat. *In*: Jarrett, P.M., (ed.), Testing of peats and organic soils. ASTM STP, 820: 99-110.

Schneider, W., 1990. Floral successions in Miocene Bogs of Central Europe. Proc. Symp. Paleofloristic and Paleoclimatic Changes in the Cretaceous and Tertiary, 205-212.

Schneider, H. and Velitzelos, E., 1973. Jungtertia¨rer Pflanzenfund aus dem Becken von Vegora in West Macedonien, Griechenland. Erste Mitt. Ann. Mus. Goulandris, 1: 245-249.

Schneider, H. and Velitzelos, E. 1976. Eine Neogenflora in Becken von Vegora (NW-Mazedonien). *Bull. de la Soc. Geol. de France,* periode: 1971-1980.

Schneider, H. and Velitzelos, E., 1977. Jungtertiaire Pflanzenfunde aus dem Becken von Vegora in West-Mazedonien (Griechenland). Ann. Mus. Goulandris, 3: 173–180.

Schopf, J.M., 1978. Further suggestions about coal description in the field. *In*: Dutcher R. R., (Ed), Field description of coal ASTM Spec. Techn. Publ. 661, Amer. Soc. Testing Materials, Philadelphia, 3-8.

Seifert, A. and Rascher, J., 1979. Beitrag zur makropetrographischen. Teil 1: Grundlagen zur Aufstellung einer internationalen makropetrographischen Klassifikation von Weichbraunkohlen, Berlin, 10: 458-465.

Singh, M.P. and Singh, A.K., 2000. Petrographic characteristics and depositional conditions of Eocene coals of platform basins, Meghalaya, India. *Int. J. Coal Geol.*, 45: 315-356.

Skoog, D.A., Holler, F.J. and Nieman, T.A., 2002. Principles of Instrumental Analysis, 5th edition (Μετάφραση: Καραγιάννης, Ι.Μ., Ευσταθίου, Κ.Η. και Χανιωτάκης, Ν.). Εκδ. Κωσταράκης, 984 σελ.

Smith, A.G. and Moores. E.M., 1974. The Hellenides. In: Mesozoic-Cenozoic orogenetic belts, data for orogenic study. Spencer A.M ed, *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 4, 159-185.

Sobkowiak, M., and Painter, P., 1992, Determination of the aliphatic and aromatic CH contents of coals by FT-IR studies of coal extracts. *Fuel*, Vol. 71, Issue 10: 1105-1125.

Solomon, P.R. and Carangelo, R. M., 1988. FT-IR analysis of coal 2. Aliphatic and aromatic hydrogen concentration. *Fuel*, 67: 949-959.

Soós, L., 1963. Uber das sogenannte dunkle Harz der tertiaren Kohlen, insbes. *Ann. Univ. Sci. Budapestinensis, Sect. Geol.*, 6: 129-151.

Speight, J.G., 1994. The chemistry and technology of coal. 2nd Edition. Dekker, New York, 642 pp.

Stach, E., Mackowsky, M., Teichmiiller, M., Taylor, G., Chandra, D. and Teichmiiller, R., 1982. Stach's Textbook of coal petrology. Gebriider Borntraeger, Berlin, 535 pp.

Steenbrink, J., Van Vugt, N., Hilgen, F.J., Wijbrans, J.R. and Meulenkamp, J.E., 1999. Sedimentary cycles and volcanic ash beds in the lower Pliocene lacustrine succession of

Ptolemais (NW Greece): Discrepancy between $^{40}Ar/^{39}Ar$ and astronomical ages. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 152: 283-303.

Steenbrink, J., Van Vugt, N., Kloosterboer-van Hoeve, M.L., and Hilgen, F.J., 2000. Refinement of the Messinian APTS from sedimentary cycle patterns in the lacustrine Lava section (Servia Basin, NW Greece). *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 181: 161-173.

Steenbrink, J., Kloosterboer-van Hoeve M.L. and Hilgen F.J., 2003. Millennial-scale climate variations recorded in Early Pliocene colour reflectance time series from the lacustrine Ptolemais Basin (NW Greece). *Global and Planetary Change*, Vol. 36, Issues 1-2: 47-75.

Stopes, M.C., 1919. On the four visible ingrediends in danded bituminous coals. *Proc. R, Soc.*, 90B: 470-487.

Süss, M., 1959. Zur Petrographie des Xylites. Freiberger Forschungsh, A 148: 14-33.

Sykorova, I., Pickel, W., Christanis, K., Wolf, M., Taylor, G.H. and Flores, D., 2005. Classification of huminite- ICCP System 1994. *Int. J. Coal Geol.,* 62: 85-106.

Szádeczky -Kardoss, E., 1952. Szenkfzettan (Coal Petrology). Akad. Kiado, Budapest.

Taylor, G.H., Teichmuller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R., and Robert, P., 1998. Organic Petrology: Gebruder Borntraeger, Berlin and Stuttgart, 704 pp.

Teichmuller, M., 1958. Rekonstruktion verschiedener Moortypen des Hauptflozes def niederrheinischen Braunkohle. *Fortschr. Geol Rheinl. Westf*, 2: 599-612.

Teichmuller, M., 1989. The genesis of coal from the viewpoint of coal petrology. In: Lyons, P. and Alpern, B. (eds), Peat and coal: origin, facies and depositional model. *Int. J. Coal Geol.*, 12: 1-87.

Teichmuller, M. and Teichmuller, R., 1982. The geological basis of coal formation. *In*: Stach, E., Mackowsky, M., Teichmuller, M., Taylor, G., Chandra, D. and Teichmuller, R., (eds), Stach's textbook of coal petrology. 3rd ed., Borntraeger, Berlin, 5-86.

Teichmuller, M. and Thomson, P.W., 1958. Vergleichende mikroskopische und chemische Untersuchungen der wichtigsten faziestzpen im Hauptfloz der niederrheinischen Braunkohle. *Fortschr. Geol. Rheinl. Westfalen*, 2: 573-598.

Temuujin, J., Mackenzie, K.J.D., Schemuker, M., Schnider, H., McManus, J. and Wimperies, S., 2000. Phase evolution in mechanically treated mixtures of kaolinite and alumina hydrates (gibbsite and boehmite). *J. Eur. Ceram. Soc.,* 20: 13-421.

Thiele-Pfeirffer H., 1979. Die miozane mikroflora aus dem braunkohlentagebau ober bei Wackersdorf/Oberpfalz. Munchen, 1-251 pp.

Thomas, L., 1992. Handbook of Practical Coal Ceology. J. Wiley, and Sons, Chichester, England, 325 pp.

Thomas, L., 2002. Coal geology. J. Wiley, and Sons, Chichester, England, 81-82 pp.

Ţicleanu, N. and Diaconita, D., 1997. The main coal facies and lithotypes of the Pliocene coal basin Oltenia, Romania, 131-139. In: Gayer, R.A., and Pesek, J., (eds), European Coal Geology and Technology. Special Publication of the Geological Society of London, 125 pp.

Tougiannidis, N., Antoniadis, P. and Ricken, W., 2007. Orbital forcing timescales and cyclostratigraphy in lignite seams from the Ptolemais Sub Basin (late Neogene intramontane basin, NW Greece). Sedimentary and palaeoclimatological research university of Cologne, poster 1 pp.

Tougiannidis, N., 2009. Karbonat- und lignitzyklen im Ptolemais-Becken: Orbital Steyerung und suborbitale Variabilitat (Spatneogen,NW-Griechenland). PhD Thesis, Cologne, 122 pp.

Tsikritzis, L.I., 2005. Chemometrics of the distribution and origin of 226Ra, 228Ra, 40K and 137Cs in plants near the West Macedonia Lignite Center (Greece). *J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 264, No. 3: 651-656.

Tzedakis P.C., McManus J.F., Hooghiemstra H., Oppo D.W. and Wijmstra, T.A., 2003. Comparison of changes in vegetation in northeast Greece with records of climate variability on orbital and suborbital frequencies over the last 450 000 years. *Earth and Planetary Science Letters,* 212: 197-212.

van de Weerd, A., 1979. Early Ruscinian rodents and lagomorphs (Mammalia) from the lignites near Ptolemais (Macedonia, Greece). Proceedings. Koninklijke nederlandse akademie van Wetenschappen, Series B 82, 127–170.

van Jaarsveld, J., van Deventer J., Lukey G., 2002. The effect of composition and termperature on the properties of fly ash- and kaolinite-based geopolymers. *Chemical Engineering Journal*, 89: 63-73.

van Krevelen, D.W., 1993. Coal. Typology - Physics - Chemistry - Constitution. 3rd ed., Elsevier, Amsterdam, 979 pp.

van Vugt, N., Steenbrink, J., Langereis C.G., Hilgen, F.J. and Meulenkamp, J.E., 1998. Magnetostratigraphy-based astronomical tuning of the early Pliocene lacustrine sediments of Ptolemais (NW Greece) and bed-to-bed correlation with the marine record. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 164: 535-551.

van Vugt N., Langereis C.G. and Hilgen F.J., 2001, Orbital forcing in Pliocene–Pleistocene Mediterranean lacustrine deposits: dominant expression of eccentricity versus precession. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 172, Issues 3-4: 193-205.

Vassilev, S.V. and Vassileva, C.G., 1996. Occurrence, abundance and origin of minerals in coals and coal ashes. *Fuel Proc. Technol.*, 48: 85-106.

Vassilev, S.V., Yossifova, M.G. and Vassileva, C.G., 1994. Mineralogy and geochemistry of Bobov Dol coals, Bulgaria. *Int. J. Coal Geol.*, 26:185-213.

Vassilev, S.V., Kitano, K., Takeda, S. and Tsurue, T., 1995. Influence of mineral matter and chemical composition of coal ashes on their fusibility. *Fuel Proc. Technol.*, 45: 27-51.

Veira, M., Catarino, L., Oliveira, M., Sousa, J., Torralba, J., Campronero, L., Gonzalez-Mesones, F. and Victoria, A., 1999. Optimization of the sintering process of raw material wastes. *J. Mat. Proc. Tech*., Vol. 92-93: 97-101.

Velitzelos, E. and Schneider, H.E., 1979. Jungtertare Jumgtertiare Pflanzenfunde aus dem Becken von Vegora in West-Mazedonien. 3. Mitteilung: Eine Fa¨cherpalme (Chamaerops Jumilis L.). *Ann. Geol. Pays Hellen.*, Athen. 29: 796-799.

Velitzelos, E., Petrescu, I. and Symeonidis, N., 1981. Tertia¨re Pflanzenreste aus des Aega¨is. Die Makroflora der Insel Lesvos (Griechenland). *Ann. Geol. Pays Hellen.*, Athen. 30: 500-514.

Velitzelos, E. and H.-J. Gregor., 1990. Some Aspects of the Neogene Floral History in Greece. *Review of Palaeobotany and Palynology*, Vol. 62: 291-307.

Vetoulis, D., 1956. Beitrag zu Geologie des Beckens von Ptolemaïs-Macedonia. *Geol. Chron.*, 87: 48-79.

Vetrlag and Werner Dausien – Hanaulm 1979. Die entwicklungs-geschichte der erde. Band I: 146-610.

Viswabaskaran, V., Gnanam F.D. and Balasubramanian M., 2002. Mullitisation behaviour of south Indian clays. *Ceramics International*, Vol. 28, Issue 5: 557-564.

Viswabaskaran, V., Gnanam, F. and Balasubramanian, M., 2003. Mullitisation behaviour of calcined clay–alumina mixtures. *Ceramics International*, Vol. 29, 561–571.

von der Brelie, G. and Wolf, M., 1981. Zur Petrographie and Palynologie heller und dunkler; Schichten im rheinischen Hauptbraunkohlenfloz. *Fortschr. Geol. Rheinl. Westf.*, 29: 95-163.

Wagner, M., 1982. Doppleritization of xylitic coal in the light of petrographic and chemical investigations. *Int. J. Coal Geol.*, 2: 181-194.

Wang, S.H. and Griffiths, P.R., 1985. Resolution enhancement of diffuse reflectance i.r.spectra of coals by Fourier self -deconvolution 1. C-H stretching and bending modes. *Fuel*, 64: 229-236.

Ward, C.R., 1984. Chemical Analysis and Classification of Coal. *In*: Ward, C.R., (ed), Coal Geology and Coal Technology. Blackwell Scient. Publ., Melbourne, 354 pp.

Ward, C.R., 1986. Review of mineral matter in coal. *Austr. Coal Geol.*, 6: 87-110.

Ward, C.R., Taylor, J.C., Matulis, C.E. and Dale, L.S., 2001. Quantification of mineral matter J in the Argonne Premium Coals using interacting Rietveld-based X-ray diffraction. *Int Coal. Geol.*, 46: 67-82.

Wilson, M.A., 1987. N.M.R. techniques and applications in geochemistry and soil chemistry, 1st Edition. Pergamon Press, Oxford.

Yaman, S. and Kucukbayrak, S., 2000. Influence of oxidation in aqueous medium on the structure and properties of lignites. *Fuel*, 79: 777-783.

Yongkang, L, Liping, C. and Kechang, X., 2001. Effects of Coal Structure on It's Pyrolysis Characteristics Under N_2 and Ar Atmosphere. *Energy Sources*, 23: 717-725.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Αντωνιάδης, Π., 1986. Περί της λιγνιτοφορίας τμήματος της λεκάνης Προσηλίου - Τριγωνικού (Κοζάνης). Δελτίο Ε.Γ.Ε., XVIII: 111-130. Αντωνιάδης, Π. 1993. Τα Οργανικά Δομικά Συστατικά των ορυκτών ανθράκων. Διάκριση και πρακτική σημασία αυτών. Τιμητική έκδοση για τον Αθανάσιο Πανάγο, Ε.Μ.Π., 84-112.

Αντωνιάδης, Π., 1992. Περί τον λιγνιτικού κοιτάσματος Λάβας-Σερβίων. Δομή, Μορφή και παλαιογραφία της λεκάνης βάσει ιζηματολογικών στοιχείων. *Μεταλλειολογικά Μεταλουργικά Χρονικά, Απρίλιος-Ιούνιος*, 2, 2: 87-107.

Αντωνιάδης, Π., 2008. Στερεές Ορυκτές Καύσιμες Ύλες. Εκδόσεις ΣΜΙΛΗ, 711 σελ.

Αντωνιάδης, Π. και Μαυρίδου Ε., 2004. Σπέρματα και Καρποί από Λιγνιτικά Κοιτάσματα του Ελληνικού Χώρου. *Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, Τομ. XXXVI: 734-744.

Αμπατζή, Σ. και Αντωνιάδης, Π., 2004. Οι λιθότυποι των γαιανθράκων. Τιμητική έκδοση στη μνήμη του Αντώνη Κοντόπουλου, Ε.Μ.Π., 393-417.

Αναστόπουλος, Ι.Χ. και Κούκουζας, Κ.Ν., 1972. Γεωλογική και κοιτασματολογική μελέτη Νοτίου τμήματος λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαϊδος. Ι.Γ.Ε.Υ., XVI, 1: 189 σελ.

Αναστόπουλος, Ι.Χ. και Μπρουσούλης, Ι.Δ., 1973. Λιγνιτοφόρος λεκάνη Κοζάνης – Σερβίων (Γεωλογία-Κοιτασματολογία-Γεωτρητική Έρευνα). Ι.Γ.Μ.Ε., 1: 77 σελ.

Ιορδανίδης, Α., 2002. Οργανική γεωχημεία και πετρολογία του λιγνιτικού κοιτάσματος Αμυνταίου. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα. Γεωλογίας, ΑΠΘ, 224 σελ.

Καλαϊτζίδης, Σ., 2007. Τυρφογένεση και Εξελικτική Πορεία Τυρφώνων στην Ελλάδα. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστήμιο Πάτρας, 350 σελ.

Καλαϊτζίδης, Σ., Μπουζίνος, Α. και Χρηστάνης, Κ., 1998. Το παλαιοπεριβάλλον σχηματισμού του Ανω Ξυλιτικού Ορίζοντα στο λιγνιτικό κοίτασμα Πτολεμαΐδας. *Πρακτικά 8ου Διεθνούς Συνεδρίου Ε.Γ.Ε.*, XXXII, 2: 289-297.

Καλαϊτζίδης, Σ., Μπουζίνος, Α. και Χρηστάνης, Κ., 2000. Το παλαιοπεριβάλλον λιγνιτογένεσης πριν και μετά την απόθεση της "Χαρακτηριστικής Αμμου" στο Λιγνιτικό Κοίτασμα Πτολεμαΐδας. *Ορυκτός Πλούτος*, 115: 29-42.

Καλαϊτζίδης, Σ., Παπαζησίμου, Σ. και Χρηστάνης, Κ., 2001. Συνθήκες γένεσης του λιγνίτη του Γκραίκα, Βόρεια Πελοπόννησος. *Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου Ε.Γ.Ε.*, XXXIV, 3:1195-1204.

Κατερινόπουλος, Α. και Σταματάκης, Μ., 1995. Εφαρμοσμένη Ορυκτολογία–Πετρολογία. Τα βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα και οι χρήσεις τους. Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 311 σελ.

Κούκουζας, Κ., Κώτής, Β., Πλουμίδης, Μ. και Μεταξάς, Α., 1979. Γεωλογική-κοιτασματολογική μελέτη λιγνατικού κοιτάσματος Αναργύρων-Αμυνταίου. Ι.Γ.Μ.Ε., 9: 67 σελ.

Μαράτος, Γ.Ν., 1960. Λιγνιτοφόρος λεκάνη Αμυνταίου-Βεύης-Φλωρίνης. Ι.Γ.Ε.Υ., 29: 47 σελ.

Μαυρίδου, Ε., 2007. Ταξινόμηση αντιπροσωπευτικών λιγνιτών του ελλαδικού χώρου σε λιθότυπους και έλεγχος της συμπεριφοράς τους σε συνθήκες πυρόλυσης. Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π., 234 σελ.

Μπουζίνος, Α., 2004. Το λιγνιτικό κοίτασμα Αλμυρού (Ν. Μαγνησίας): Γένεση, εξέλιξη και δυνατότητα αξιοποίησης του. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστήμιο Πάτρας, 228 σελ.

Μπουζίνος, Α. και Ιωακείμ Χρ., 2004. Παλαιοπεριβάλλον σχηματισμού του λιγνίτη της γεώτρησης #53 της νεογενούς λεκάνης Αλμυρού, κεντρική Ελλάδα. *Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, Τομ. XXXVI: 670-678.

Μπορνόβας, Ι. και Ροντογιάννη-Τσιαμπάου, Θ., 1983. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, κλ.1:500.000.1.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.

Παπαζησίμου, Σ., 2003. Γένεση και εξέλιξη παράκτιων λιγνιτικών κοιτασμάτων Δ. Πελοποννήσου. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστήμιο Πάτρας, 355 σελ.

Παυλίδης, Σ., 1985. Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας - Βεγορίτιδος - Πτολεμαίδας (Δ. Μακεδονία). Διδακτορική διατριβή, Τμήμα. Γεωλογίας, ΑΠΘ, 265 σελ.

Περράκη, Θ. και Ορφανουδάκη, Α., 1996. Αξιολόγηση πηλών, ως προς την καταλληλότητά τους για την κατασκευή κεραμικών προϊόντων, με βάση τη χημική τους σύσταση. *Ορυκτός Πλούτος*, 100: 15-24.

Περράκη, Θ. και Ορφανουδάκη, Α., 2001. Μελέτη αργίλων Μοιρών Ηρακλείου Κρήτης, ως προς την καταλληλότητά τους για την παρασκευή κεραμικών προϊόντων. Αναμνηστικός Τόμος Ι, Παπαγεωργάκη.

Περράκη, Θ. και Οικονομόπουλος, Ι., 2008. Μετατροπές ορυκτολογικών φάσεων κατά την παρασκευή κεραμικών από αργίλους της περιοχής "Αχλάδα" του Ν. Φλωρίνης. Πρακτικά 1^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Δομικών Υλικών και Στοιχείων.

Ψαράς, Γ., Τηνιακού, Α. και Καμάρη. Γ., 2002. Μορφολογία φυτών. Μέρος Ι, Βασικές γνώσεις. Εκδ. Πανεπιστημίου Πατρών, 215 σελ.

Ψαράς, Γ., Τηνιακού, Α. και Καμάρη. Γ., 2002. Μορφολογία φυτών. Μέρος ΙΙ, Τα φυτά στο μικροσκόπιο. Εκδ. Πανεπιστημίου Πατρών, 123 σελ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1. Μακροσκοπική περιγραφή των δειγμάτων από τη λιγνιτοφόρο ακολουθία του κοιτάσματος Αχλάδας στο Ν. Φλώρινας.

ΜΕΤΩΠΟ				ΑΧΛ Α0 - Α16																
ΔΕΙΓΜΑΤΑ				Α0	Α1	Α2	Α3	Α4	Α5	Α6	Α7	Α8	Α9α	Α9	Α10	Α11	Α12	Α13	Α14	Α15	Α16
ΟΡΥΚΤΑ	ΑΡΓΙΛΟΣ	Διάσπαρτα																		
		Ενστρώσεις		+	+	+	+	●	+	●	+	●	+	●	●	●	●	●	+	●	+	+
		Πλέγματα			●	●		+	●	●	●	+			+	+	+	+	+		
		Πληρώσεις							+	●	+									+	
		Διάφορα																			
	ΙΛΥΣ	Ενστρώσεις											+	+							
	ΧΑΛΑΖΙΑΚΗ ΑΜΜΟΣ	Διάσπαρτα																	+		
		Ενστρώσεις																			
		Σε επιφάνεια θραύσης																			
	ΓΥΨΟΣ					+		+		+		+			+	+					
	ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΣ			+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ										+						+				
	ΔΙΑΦΟΡΑ			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΑ					+															
ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΓΕΛΗ	Πλέγματα			+	+		+							+	+	+		+	+	
		Πληρώσεις																			
	ΑΝΟΙΚΤΟΧΡΩΜΟΣ ΦΥΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	Κλαδιά								+		+									+
		Ρίζες								+		+									+
		Διάφορα						+													
	ΦΟΥΣΙΤΗΣ	Ενστρώσεις																			
		Ορίζοντας																			
	ΞΥΛΙΤΗΣ	Θραύσματα	Μεμο		+	+		+			+				+	+	+		+	+	
			Συχνά																		
		Κορμοί-Κλαδιά	Μεμο										+	+							
			Συχνά						+	+		+									
	ΣΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΚΑΡΠΟΙ																				
	ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΑ ΦΥΛΛΩΝ																				
ΣΤΡΩΣΗ			cm	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
			mm																		
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	Συμπαγές							+						+						
		Συνεκτικό		●	+	●	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+
		Εύθρυπτο		+		+							●	●							
	ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	Λεπτομερής		+																	
		Αδρομερής		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Ινώδης								●		+									
	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	Λεία																			
		Κογχώδης		●	+	+	+	●	●	+	+	+	+	+	+	●		+		●	+
		Τραχειά		+				+	+								+		+		
		Σχιστώδης			+					+		●				+	●		●	+	
	ΧΡΩΜΑ	Ανοικτό καστ.						+										+			
		Καστανό							+			●									●
		Σκούρο καστ.			+	+		●	+	+	+	+				●			●	+	
		Γκρί		+					+				+	+				+			+
		Σκούρο Γκρί					+				●				+		+		●	+	
		Μαυρωπό				+	+	●			+	+			+	+	+		+	+	
		Μαύρο																			
	ΛΑΜΨΗ	Λαμπερή																			
		Αλαμπής		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ΛΙΘΟΤΥΠΟΣ	Μαζώδης λιγνίτης				+			+	+						+	+	+			+	
	Μεικτός ξυλιτικό/μαζώδης λιγ/της					+					+							+			
	Ξυλίτης								+	+		+									+
	Αργιλούχος λιγνίτης																		+		
	Μαργαϊκός λιγνίτης																				
	Χουμώδης άργιλος						+														
	Χουμώδης μάργα																	+			
	Άργιλος			+									+	+							
	Μάργα																				
	Μαργαϊκή άργιλος																				

Πίνακας 1. (συνέχεια)

ΜΕΤΩΠΟ				ΑΧΛ Α17 - Α34																	
ΔΕΙΓΜΑΤΑ				A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34
ΟΡΥΚΤΑ	ΑΡΓΙΛΟΣ	Διάσπαρτα																			
		Ενστρώσεις		+	●	+	+	+	+	+	+	●	●	+	+	+	+	+		+	●
		Πλέγματα		+	+	●	+		●	●	+	+	+			●	●	●	+		
		Πληρώσεις				+	+		+						+						+
		Διάφορα																			
	ΙΛΥΣ	Ενστρώσεις																			
	ΓΥΨΟΣ					+		+									+	+			+
	ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΣ			+		+		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ				+				+							+	+				
	ΔΙΑΦΟΡΑ			+	+			+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+
	ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΑ														+						
ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΓΕΛΗ	Πλέγματα		+	+	+	+		+		+		+		+	+	+	+	+		+
		Πληρώσεις																			
	ΑΝΟΙΚΤΟΧΡΩΜΟΣ ΦΥΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	Κλαδιά																+			
		Ρίζες																			
		Διάφορα																			
	ΦΟΥΣΙΤΗΣ	Ενστρώσεις																			
		Ορίζοντας																			
	ΞΥΛΙΤΗΣ	Θραύσματα	Μεμο	+	+	+	+		+		●		+		+						+
			Συχνά							+	+	+				+		+	+		
		Κορμοί-Κλαδιά	Μεμο										+			+					
			Συχνά														+				
	ΣΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΚΑΡΠΟΙ																				
	ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΑ ΦΥΛΛΩΝ											+		+							
ΣΤΡΩΣΗ	cm			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	mm				+																
	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	Συμπαγές								+	●		●	+	+				●		
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ		Συνεκτικό		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	●	+
		Εύθρυπτο																		+	
	ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	Λεπτομερής																			
		Αδρομερής		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Ινώδης																			
	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	Λεία																			
		Κοχχώδης		+	●	●	●	●	+	●	+	●	+	+	●	+		+	+	+	
		Τραχειά												+							
		Σχιστώδης			+	+	+	+		+		+			+	●	+		+		+
	ΧΡΩΜΑ	Ανοικτό καστ.																			
		Καστανό															+				
		Σκούρο καστ.			+	+			+			+	+		●	+	●				●
		Γκρί			+			+						+						+	
		Σκούρο Γκρί		+			+			+	+		+						●		
		Μαυρωπό		+			+		●			+			+			+	+		+
		Μαύρο																			
	ΛΑΜΨΗ	Λαμπερή																			
		Αλαμπής		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ΛΙΘΟΤΥΠΟΣ	Μαζώδης λιγνίτης			+		+	+		+				+		+		+		+		+
	Μεικτός ξυλιτικό/μαζώδης λιγ/της				+	+			+	+		+				+		+			
	Ξυλίτης																				
	Αργιλούχος λιγνίτης										+										
	Μαργαϊκός λιγνίτης																				
	Χουμώδης άργιλος																				
	Χουμώδης μάργα																				
	Άργιλος							+						+							
	Μάργα																				
	Μαργαϊκή άργιλος																			+	

Πίνακας 1. (συνέχεια)

ΜΕΤΩΠΟ				ΑΧΛ A35 - B16																		
ΔΕΙΓΜΑΤΑ				A35	B1	B2	B3	B3/4	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16
ΟΡΥΚΤΑ	ΑΡΓΙΛΟΣ	Διάσπαρτα				+															
		Ενστρώσεις		+	+	+	+			+	+	+	+			+	+	+	+	+	+
		Πλέγματα												+							
		Πληρώσεις							+		+	+		+	+						
		Διάφορα																			
	ΙΛΥΣ	Ενστρώσεις			+					+			+								
	ΓΥΨΟΣ																				
	ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΣ			+	+														+		
	ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ				+		+					+									
	ΔΙΑΦΟΡΑ			+		+	+	+		+	+	+	+	+		+					+
	ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΑ																				
ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΓΕΛΗ	Πλέγματα				+	+							+	●		+	+	+	+	
		Πληρώσεις						+							+						
	ΑΝΟΙΚΤΟΧΡΩΜΟΣ ΦΥΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	Κλαδιά				+	+		+		+			+	+						
		Ρίζες				+	+		+	+											
		Διάφορα				+	+				+	+		+					+	+	
	ΦΟΥΣΙΤΗΣ	Ενστρώσεις																	+	+	
		Ορίζοντας						+										+	●	●	
	ΞΥΛΙΤΗΣ	Θραύσματα	Μεμο							+		+									
			Συχνά			+	+											+			
		Κορμοί-Κλαδιά	Μεμο																		
			Συχνά			+	+		+		+			+	+						
	ΣΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΚΑΡΠΟΙ																				
	ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΑ ΦΥΛΛΩΝ																				
ΣΤΡΩΣΗ	cm			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	mm																				
	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	Συμπαγές				+	+	+	+	+	+	+		+	+		+	+	+	+	
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ		Συνεκτικό		+	+											+					+
		Εύθρυπτο											+								
	ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	Λεπτομερής											+								
		Αδρομερής		+	+	+	+	+	●	+	+	+	+	+	●	+	+	+	+	+	+	+
		Ινώδης							+		+			+	+						
	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	Λεία																			
		Κοκχώδης		+		+	+	+	+			+	+	+	+		+	+	+	+	
		Τραχειά			+	+	+	+	+	+	+	+				+			+	+	+
		Σχιστώδης			●					+	+				+			+			+
	ΧΡΩΜΑ	Ανοικτό καστ.		+					+		+										
		Καστανό				+	+		●		+			●	+						
		Σκούρο καστ.																			
		Γκρί		+						+			+	+		+					
		Σκούρο Γκρί			+							+	+								+
		Μαυρωπό				+	●	+		+		+			+		+	+	●	●	
		Μαύρο																	+	+	
	ΛΑΜΨΗ	Λαμπερή																			
		Αλαμπής		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ΛΙΘΟΤΥΠΟΣ	Μαζώδης λιγνίτης						●	+			+				+		+		+	+	
	Μεικτός ξυλιτικό/μαζώδης λιγ/της					+	+		+		●	+		+	+			+			
	Ξυλίτης																				
	Αργιλούχος λιγνίτης									+											
	Μαργαϊκός λιγνίτης																				
	Χουμώδης άργιλος						+									+					+
	Χουμώδης μάργα																	+			
	Άργιλος		+	+									+								
	Μάργα																				
	Μαργαϊκή άργιλος																				

Πίνακας 1. (συνέχεια)

ΜΕΤΩΠΟ				ΑΧΛ C1 - C18																
ΔΕΙΓΜΑΤΑ				C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
ΟΡΥΚΤΑ	*ΑΡΓΙΛΟΣ*	*Διάσπαρτα*			+								+								
		Ενστρώσεις		+		●				+		+		+	+	+			+	+	
		Πλέγματα							●			+				+	+				+
		Πληρώσεις				+			+		+				+	+			+	+	+
		Διάφορα					+	+				●				+		+			●
	ΙΛΥΣ	*Ενστρώσεις*																			
	ΓΥΨΟΣ			+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+		+		+	+	
	ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΣ									+						+		+	+		
	ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ					+	+		+	+	+	+	+			+			+	+	
	ΔΙΑΦΟΡΑ			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΑ																				
ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	*ΓΕΛΗ*	*Πλέγματα*			+		+				+	+								+	
		Πληρώσεις				+		+	+									+			
	ΑΝΟΙΚΤΟΧΡΩΜΟΣ ΦΥΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	*Κλαδιά*				+			+				+	+	+			+		+	+	
		Ρίζες																				
		Διάφορα			+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+				+	
	ΦΟΥΣΙΤΗΣ	*Ενστρώσεις*																				
		Ορίζοντας																				
	ΞΥΛΙΤΗΣ	*Θραύσματα*	*Μεμο*				+			+	+									+		
			Συχνά		+			+	+				+	+	+		+				+	
		Κορμοί-Κλαδιά	*Μεμο*							+		+										
			Συχνά			+								+								
	ΣΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΚΑΡΠΟΙ				+		+			+		+				+	+		+		
	ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΑ ΦΥΛΛΩΝ			+																		
ΣΤΡΩΣΗ	*cm*			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	mm																					
	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	*Συμπαγές*					+	+	+													
		Συνεκτικό			+	+	●	+	+	+	+	●	+	+			+		+	+		
		Εύθρυπτο		+								+		+	+	+	●	+				+
	ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	*Λεπτομερής*		+		+				+		+	+		●	+	+	+				+
		Αδρομερής			+	●	+	+	+	●	+	●	●	+	+		●		+	+		
		Ινώδης																				
	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	*Λεία*																				
		Κοκχώδης			+	●	●	+	+	+	+	●		+					+		+	+
		Τραχειά		+			+			+		+	+	+	+	+		+	+			●
		Σχιστώδης				+					●		●				+		●	●		
	ΧΡΩΜΑ	*Ανοικτό καστ.*												+								
		Καστανό				●									+			+				
		Σκούρο καστ.			+	+	●	+	+						●	+	+		+	+		
		Γκρί		+						+		+										+
		Σκούρο Γκρί						●					+			+		+				
		Μαυρωπό			+		+				+		+							+	+	
		Μαύρο																				
	ΛΑΜΨΗ	*Λαμπερή*																				
		Αλαμπής		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+
ΛΙΘΟΤΥΠΟΣ	*Μαζώδης λιγνίτης*				+						+		+									
	Μεικτός ξυλιτικό/μαζώδης λιγ/της					+			+					+	+		+		+	+		
	Ξυλίτης													+								
	Αργιλούχος λιγνίτης						+					+				+						
	Μαργαϊκός λιγνίτης																					
	Χουμώδης άργιλος									+												
	Χουμώδης μάργα																	+				+
	Άργιλος			+																		
	Μάργα																					
	Μαργαϊκή άργιλος																					

Πίνακας 1. (συνέχεια)

ΜΕΤΩΠΟ				ΑΧΛ C19 - C36																	
ΔΕΙΓΜΑΤΑ				C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36
ΟΡΥΚΤΑ	*ΑΡΓΙΛΟΣ*	*Διάσπαρτα*																			
		Ενστρώσεις							+				+						+		
		Πλέγματα			+		+		+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+
		Πληρώσεις		+	●	+		+	+		+		+	+		+			+		+
		Διάφορα																			
	ΙΛΥΣ	*Ενστρώσεις*																			
	ΓΥΨΟΣ			+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
	ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΣ								+	+			+	+	+				+		
	ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ								+	+		+		+			+		+	+	+
	ΔΙΑΦΟΡΑ			+	+	+	+	+	+	+			+								
	ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΑ																				
ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	*ΓΕΛΗ*	*Πλέγματα*								+				+	+	+	●	+		●	
		Πληρώσεις									+	+					+			+	
	ΑΝΟΙΚΤΟΧΡΩΜΟΣ ΦΥΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	*Κλαδιά*		+		+	+	+			+	+		+	+	+		+			+
		Ρίζες		+																	
		Διάφορα		+		+		+	+	+	+	+		+	+	+		+	+		+
	ΦΟΥΣΙΤΗΣ	*Ενστρώσεις*																			
		Ορίζοντας																			
	ΞΥΛΙΤΗΣ	*Θραύσματα*	*Μεμο*	+				+			+		+	+						+	
			Συχνά			+	+					+			+			+			
		Κορμοί-Κλαδιά	*Μεμο*	+																	
			Συχνά			+	+								+	+		+			+
	ΣΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΚΑΡΠΟΙ																+				
	ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΑ ΦΥΛΛΩΝ																				
ΣΤΡΩΣΗ	*cm*			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	mm																				
	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	*Συμπαγές*					+														
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ		*Συνεκτικό*		+	+	+		+	●	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	●	+
		Εύθρυπτο			●				+										+	+	
	ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	*Λεπτομερής*			●								+								
		Αδρομερής		+	+	+	+	+	+	+	+	+	●	+	+	+	+	+	+	+	+
		Ινώδης																			
	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	*Λεία*																			
		Κοχχώδης		+		+	+	●	+	+	●		+	+	+		+				+
		Τραχειά			+			+	●		+		+		+		+	+	+		
		Σχιστώδης			●	+						+		+		+		+	+	+	+
	ΧΡΩΜΑ	*Ανοικτό καστ.*		●			+									+					+
		Καστανό				●		+				+			+			●			
		Σκούρο καστ.		+		+					+			●				+		+	
		Γκρί			+			+	+	+			+						+		
		Σκούρο Γκρί								+											
		Μαυρωπό			●									+			+			+	
		Μαύρο																			
	ΛΑΜΨΗ	*Λαμπερή*																			
		Αλαμπής		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ΛΙΘΟΤΥΠΟΣ	*Μαζώδης λιγνίτης*				+					+	+	+		+			+			+	
	Μεικτός ξυλιτικό/μαζώδης λιγ/της			+		+		+				●			+			+			
	Ξυλίτης						+									+					+
	Αργιλούχος λιγνίτης								+										+		
	Μαργαϊκός λιγνίτης																				
	Χουμώδης άργιλος																				
	Χουμώδης μάργα																				
	Άργιλος												+								
	Μάργα																				
	Μαργαϊκή άργιλος																				

Πίνακας 1. (συνέχεια)

ΜΕΤΩΠΟ				ΑΧΛ C37 - C53b																	
ΔΕΙΓΜΑΤΑ				C37	C38	C39	C40	C41	C42	C43	C44	C45	C46	C47	C48	C49	C50	C51	C52	C53a	C53b
ΟΡΥΚΤΑ	*ΑΡΓΙΛΟΣ*	*Διάσπαρτα*																			
		Ενστρώσεις			+										+		+		+	+	●
		Πλέγματα		+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+		●	+
		Πληρώσεις		+	+		+					+		+			+		+		
		Διάφορα																			
	ΙΛΥΣ	*Ενστρώσεις*																			
	ΓΥΨΟΣ			+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΣ									+											
	ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ				+	+		+		+				+	+	+			+	+	+
	ΔΙΑΦΟΡΑ			+					+							+		+			
	ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΑ																				
ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	*ΓΕΛΗ*	*Πλέγματα*				+		+	+	+	+		+	+		●		+	+	●	●
		Πληρώσεις		+							+	+		+	+	+		+		+	+
	ΑΝΟΙΚΤΟΧΡΩΜΟΣ ΦΥΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	*Κλαδιά*			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+		+	
		Ρίζες															+				
		Διάφορα		+		+		+		+		+	+	+	+	+	+	+		+	+
	ΦΟΥΣΙΤΗΣ	*Ενστρώσεις*										+						+			
		Ορίζοντας																			
	ΞΥΛΙΤΗΣ	*Θραύσματα*	*Μεμο*	+				+		+				+	+			+		+	+
			Συχνά			+	+		+		+		+						+		
		Κορμοί-Κλαδιά	*Μεμο*			+															
			Συχνά				+		+		+		+						+		
	ΣΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΚΑΡΠΟΙ											+									
	ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΑ ΦΥΛΛΩΝ																				
ΣΤΡΩΣΗ	*cm*			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	mm																				
	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	*Συμπαγές*					+		+												
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ		*Συνεκτικό*		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Εύθρυπτο			+										+	+	+				+
	ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	*Λεπτομερής*			+											+	+				+
		Αδρομερής		+	●	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	●	+	+	+	+	+
		Ινώδης							+												
	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	*Λεία*																			
		Κογχώδης				+	●		+	+	●	+	+	+	+			+		+	
		Τραχειά		+	+			+						+	+	+	+		+		+
		Σχιστώδης		+			+	+	+	+	+					+		+	+		+
	ΧΡΩΜΑ	*Ανοικτό καστ.*					+						+								
		Καστανό				+			+		+									+	
		Σκούρο καστ.		+		+		+		+		+		+	+	+	+	+		+	+
		Γκρί			+												+				
		Σκούρο Γκρί																			
		Μαυρωπό		+								+	+	+		+					
		Μαύρο																			
	ΛΑΜΨΗ	*Λαμπερή*																			
		Αλαμπής		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ΛΙΘΟΤΥΠΟΣ	*Μαζώδης λιγνίτης*			+								+		+		+					+
	Μεικτός ξυλιτικό/μαζώδης λιγ/της			●		+		+		+					+			+		+	
	Ξυλίτης						+		+		+		+						+		
	Αργιλούχος λιγνίτης				+												+				
	Μαργαϊκός λιγνίτης																				
	Χουμώδης άργιλος																				
	Χουμώδης μάργα																				
	Άργιλος																				
	Μάργα																				
	Μαργαϊκή άργιλος																				

Πίνακας 1. (συνέχεια)

ΜΕΤΩΠΟ			ΑΧΛ C53c - C67b																	
ΔΕΙΓΜΑΤΑ			C53c	C53d	C54	C55	C56	C57	C58	C59	C60	C61	C62	C62	C63	C64	C65	C66	C67a	C67b
ΟΡΥΚΤΑ	ΑΡΓΙΛΟΣ	Διάσπαρτα																		
		Ενστρώσεις	+	●	+	+	+				+						+	+		+
		Πλέγματα	+	+	●			+	+	+	●		+	+	+	+	+	+	+	●
		Πληρώσεις	+			+														
		Διάφορα																		
	ΙΛΥΣ	Ενστρώσεις																		
	ΓΥΨΟΣ			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΣ								+						+					
	ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ			+	+	+	+		+		+		+	+	+	+	+		+	+
	ΔΙΑΦΟΡΑ				+	+	+	+	+				+						+	+
	ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΑ																			
ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΓΕΛΗ	Πλέγματα		●	+		+	+			+		●	+	+	+	●		●	
		Πληρώσεις		+					+	+			+				+		+	+
	ΑΝΟΙΚΤΟΧΡΩΜΟΣ ΦΥΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	Κλαδιά				+	+		+	+		+	+	+		+	+	+	+	+
		Ρίζες											+							
		Διάφορα		+		+			+		+			+	+	+	+	+	+	+
	ΦΟΥΣΙΤΗΣ	Ενστρώσεις													+					
		Ορίζοντας																		
	ΞΥΛΙΤΗΣ	Θραύσματα Μεμο		+		+	+		+		+		+	+	+		+			+
		Θραύσματα Συχνά			+			+		+						+		+		
		Κορμοί-Κλαδιά Μεμο							+					+						
		Κορμοί-Κλαδιά Συχνά			+			+		+		+				+		+		
	ΣΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΚΑΡΠΟΙ																			
	ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΑ ΦΥΛΛΩΝ		+																	
ΣΤΡΩΣΗ	cm		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	mm																			
	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	Συμπαγές						+									+	+		
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ		Συνεκτικό	+	+	+		+	●	●	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Εύθρυπτο	+	+		+			+										+	
	ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	Λεπτομερής		+		●			+										+	
		Αδρομερής		+	+	+	+	+	●	●	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Ινώδης								+		+				+				
	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	Λεία																		
		Κογχώδης			+			●			+		+				+	+		+
		Τραχειά	+	+	+	+	+		+	+		+		+	+				+	
		Σχιστώδης		+			+	+	+	+		+		●	+	+		+	+	
	ΧΡΩΜΑ	Ανοικτό καστ.			●			+		+		+				+		+		
		Καστανό												+						
		Σκούρο καστ.		+			+		+		+		+		+		+		+	+
		Γκρί	+			+														
		Σκούρο Γκρί																		
		Μαυρωπό			+						+			+	+	+			+	
		Μαύρο																		
	ΛΑΜΨΗ	Λαμπερή																		
		Αλαμπής	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ΛΙΘΟΤΥΠΟΣ	Μαζώδης λιγνίτης			+			+						+		+		+		+	
	Μεικτός ξυλιτικό/μαζώδης λιγ/της								+		+			+						+
	Ξυλίτης				+			+		+		+				+		+		
	Αργιλούχος λιγνίτης					+														
	Μαργαϊκός λιγνίτης																			
	Χουμώδης άργιλος		+																	
	Χουμώδης μάργα																			
	Άργιλος																			
	Μάργα																			
	Μαργαϊκή άργιλος																			

Πίνακας 1. (συνέχεια)

ΜΕΤΩΠΟ				ΑΧΛ C68 - C83																	
ΔΕΙΓΜΑΤΑ				C68	C69	C70	C71	C72	C73	C74	C75a	C75b	C76	C77	C78	C79a	C79b	C80	C81	C82	C83
ΟΡΥΚΤΑ	ΑΡΓΙΛΟΣ	Διάσπαρτα																			
		Ενστρώσεις			+	+	+	+	+		+	+		+				+			+
		Πλέγματα		+	+		+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Πληρώσεις							+	+			+	+	+						
		Διάφορα																			
	ΙΛΥΣ	Ενστρώσεις																			
	ΓΥΨΟΣ				+		+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+
	ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΣ			+	+	+		+	+	+	+	+	+	+							
	ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ					+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+		+
	ΔΙΑΦΟΡΑ			+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+
	ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΑ																				
ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΓΕΛΗ	Πλέγματα				+	+						+		+	+	+		+	+	
		Πληρώσεις			+																
	ΑΝΟΙΚΤΟΧΡΩΜΟΣ ΦΥΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	Κλαδιά			+		+	+		+		+			+		+	+		+	+
		Ρίζες																			
		Διάφορα			+	+	+			+		+		+	+		+	+	+	+	+
	ΦΟΥΣΙΤΗΣ	Ενστρώσεις			+						+										
		Ορίζοντας																			
	ΞΥΛΙΤΗΣ	Θραύσματα	Μεμο				+		+			+			+		+				+
			Συχνά	+		+		+		+			+	+				+		+	
		Κορμοί-Κλαδιά	Μεμο				+														
			Συχνά	+		+		+		+			+	+				+		+	
	ΣΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΚΑΡΠΟΙ											+									
	ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΑ ΦΥΛΛΩΝ			+																	
ΣΤΡΩΣΗ	cm			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	mm																				
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	Συμπαγές				+	+								+					+	
		Συνεκτικό		+	+	+	●	+		+	+	+	+	+	●	+	+	+	+	+	●
		Εύθρυπτο							+					+							+
	ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	Λεπτομερής			+		+		+					+		+					+
		Αδρομερής		+	●	+	●	+	+	+	+	+	+	+	+	●	+	+	+	+	●
		Ινώδης																			
	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	Λεία																			
		Κογχώδης				+	+			+								+			
		Τραχειά					+	●	+			+	+	+		+	+			+	+
		Σχιστώδης		+	+	●		+		●	+	+	+		+	●			+	+	+
	ΧΡΩΜΑ	Ανοικτό καστ.						+		+			+					+		+	
		Καστανό		+		+															+
		Σκούρο καστ.					+				+	+			+	+	+		+		
		Γκρί							+					+							
		Σκούρο Γκρί			+									+	+		+				
		Μαυρωπό			+						+	+				+					
		Μαύρο																			
	ΛΑΜΨΗ	Λαμπερή																			
		Αλαμπής		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ΛΙΘΟΤΥΠΟΣ	Μαζώδης λιγνίτης				+						+				+	+			+		
	Μεικτός ξυλιτικό/μαζώδης λιγ/της						+					+					+			+	+
	Ξυλίτης			+		+		+					+					+		●	
	Αργιλούχος λιγνίτης								+												
	Μαργαϊκός λιγνίτης																				
	Χουμώδης άργιλος																				
	Χουμώδης μάργα																				
	Άργιλος													+							
	Μάργα																				
	Μαργαϊκή άργιλος																				

Πίνακας 1. (συνέχεια)

ΜΕΤΩΠΟ				ΑΧΛ C84 - D13																	
ΔΕΙΓΜΑΤΑ				C84	C85	C86	C87	C88	D2a	D2b	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13
ΟΡΥΚΤΑ	ΑΡΓΙΛΟΣ	Διάσπαρτα																			
		Ενστρώσεις		+	+		+	+		+		+		+	+	+	+		+	●	
		Πλέγματα		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	●	+	+
		Πληρώσεις			+	+		+	+					+	+						
		Διάφορα																			
	ΙΛΥΣ	Ενστρώσεις																			
	ΓΥΨΟΣ			+		+	+		+	+	+	+		+			+				
	ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΣ				+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
	ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ			+			+					+		+			+	+	+		+
	ΔΙΑΦΟΡΑ			+	+	+	+	+	+		+			+							
	ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΑ																				
ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΓΕΛΗ	Πλέγματα		+		●	●		+	+	●	●	+	+		●	+		+	+	+
		Πληρώσεις				+	+				+	+				+					
	ΑΝΟΙΚΤΟΧΡΩΜΟΣ ΦΥΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	Κλαδιά		+			+		+	+		+	+			+	+	+		+	
		Ρίζες																			
		Διάφορα		+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+		+	+	+
	ΦΟΥΣΙΤΗΣ	Ενστρώσεις											+	+							
		Ορίζοντας							+												
	ΞΥΛΙΤΗΣ	Θραύσματα	Μεμο										+			+			+		
			Συχνά								+			+			+	+		+	+
		Κορμοί-Κλαδιά	Μεμο											+							
			Συχνά							+											
	ΣΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΚΑΡΠΟΙ															+		+		+	+
	ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΑ ΦΥΛΛΩΝ					+															
ΣΤΡΩΣΗ			cm	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
			mm																		
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	Συμπαγές									+					+				●	
		Συνεκτικό		+			+		+	+	+	+	+	●	+	+	+	+	+	+	+
		Εύθρυπτο			+	+		+						+	+		+				
	ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	Λεπτομερής			+	+		+							●		+				+
		Αδρομερής		+	+		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Ινώδης																			
	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	Λεία																			
		Κογχώδης					+				+	●				+				●	
		Τραχειά	●	+	+	●	+	+					+	●	+				+	+	
		Σχιστώδης	+	+	●			●	+		+	+	+		+	+	+	+	●		+
	ΧΡΩΜΑ	Ανοικτό καστ.							+									+			+
		Καστανό												+							
		Σκούρο καστ.	+			+		+					+			+			+		
		Γκρί		+			+								+						
		Σκούρο Γκρί			+							+			+		+			+	
		Μαυρωπό				+		+		+	+	+							+	+	
		Μαύρο																			
	ΛΑΜΨΗ	Λαμπερή																			
		Αλαμπής		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ΛΙΘΟΤΥΠΟΣ	Μαζώδης λιγνίτης			+		+	+				+			+		+			+		
	Μεικτός ξυλιτικό/μαζώδης λιγ/της								+			+	+				+			+	
	Ξυλίτης									+								+			+
	Αργιλούχος λιγνίτης				+																
	Μαργαϊκός λιγνίτης																				
	Χουμώδης άργιλος																				
	Χουμώδης μάργα																				
	Άργιλος							+							+						
	Μάργα																				
	Μαργαϊκή άργιλος																				

Πίνακας 1. (συνέχεια)

ΜΕΤΩΠΟ			ΑΧΛ D14 - D29																
ΔΕΙΓΜΑΤΑ			D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28a	D28b	D29
ΟΡΥΚΤΑ	ΑΡΓΙΛΟΣ	Διάσπαρτα																	
		Ενστρώσεις	+	+	+	+		+	+	+	●	+	+	+		+		+	+
		Πλέγματα	+	+	+	●	+		+	+	+		+		+		+	+	+
		Πληρώσεις								+							+	+	
		Διάφορα																	
	ΙΛΥΣ	Ενστρώσεις																	
	ΧΑΛΑΖΙΑΚΗ ΑΜΜΟΣ	Διάσπαρτα	+			+				+				+					
		Ενστρώσεις																	
		Σε επιφάνεια θραύσης							+										
	ΓΥΨΟΣ				+						+	+							
	ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΣ		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ							+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	ΔΙΑΦΟΡΑ					+						+							
	ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΑ																		
ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΓΕΛΗ	Πλέγματα		+		●		+	+		+		+	+	+				
		Πληρώσεις	+	+		+						+					+		+
	ΑΝΟΙΚΤΟΧΡΩΜΟΣ ΦΥΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	Κλαδιά	+				+	+	+		+		+	+	+				+
		Ρίζες																	
		Διάφορα	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+				+	+
	ΦΟΥΣΙΤΗΣ	Ενστρώσεις		+					+	+				+	+	+	+		+
		Ορίζοντας																	
	ΞΥΛΙΤΗΣ	Θραύσματα Μεμο	+	+		+		+			+	+		+			+		+
		Θραύσματα Συχνά			+		+		+				+			+			
		Κορμοί-Κλαδιά Μεμο		+								+		+					
		Κορμοί-Κλαδιά Συχνά			+	+	+		+				+			+			
	ΣΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΚΑΡΠΟΙ		+																
	ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΑ ΦΥΛΛΩΝ																		
ΣΤΡΩΣΗ	cm		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	mm																		
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	Συμπαγές				●	+				+				+				
		Συνεκτικό	+	+	+	+	+	+	+	+	●	+	+	+	+	+	+	+	+
		Εύθρυπτο								+								+	
	ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	Λεπτομερής								+								+	
		Αδρομερής	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Ινώδης			+														
	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	Λεία																	
		Κογχώδης									+				●		●	+	
		Τραχειά					+	+		+	+	+		●	+		+		+
		Σχιστώδης	+	+	+	+	+	+	+			●	+	+		+			+
	ΧΡΩΜΑ	Ανοικτό καστ.			+				+				+			+			
		Καστανό	+													+			+
		Σκούρο καστ.									+	+	+						+
		Γκρί								+	+				+			+	
		Σκούρο Γκρί		+		+	+	+						+			+		
		Μαυρωπό															+		
		Μαύρο																	
	ΛΑΜΨΗ	Λαμπερή																	
		Αλαμπής	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ΛΙΘΟΤΥΠΟΣ	Μαζώδης λιγνίτης			+		+		+				+			+		+		
	Μεικτός ξυλιτικό/μαζώδης λιγ/της		+				+				+			+					+
	Ξυλίτης				+				+				+			+			
	Αργιλούχος λιγνίτης																		
	Μαργαϊκός λιγνίτης																		
	Χουμώδης άργιλος									+								+	
	Χουμώδης μάργα																		
	Άργιλος																		
	Μάργα																		
	Μαργαϊκή άργιλος																		

Πίνακας 2. Μακροπετρογραφική περιγραφή και ταξινόμηση των ξυλιτών του λιγνιτικού κοιτάσματος Αχλάδας.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ		Δείγματα (ΑΧΛ Α5 – C57)																		
		A5	**A6**	**A8**	**B2**	**B4**	**B6χ**	**B7χ**	**B9**	**B10**	**C2b**	**C11**	**C31**	**C36**	**C40**	**C42**	**C44**	**C46**	**C52**	**C54**	**C57**
Διάσπαρτος ξυλίτης μέσα σε λιγνίτη																					
Μη στρωματωμένος ξυλιτικός λιγνίτης		+																			
Στρωματωμένος ξυλιτικός λιγνίτης																					
Στρωσιγενής ξυλίτης												+	+								
Στρωματωμένος ξυλίτης					+				+					+		+	+		+	+	+
Μάζα ξυλίτη όπου κυριαρχούν οι ιστοί											+										
Μάζα ξυλίτη με συμπαγή δομή						+		+	+						+	+		+			+
Μάζα ξυλίτη που είναι λαμπερή												+	+	+							
Ινώδης ξυλίτης	**Μακροσκοπικά διακρίνονται κλαδιά, ρίζες και άλλα ξυλώδη θραύσματα μικρού μεγέθους**										+	+									
Κατακερματι-σμένος ξυλίτης							+		+		+										
Ζελατινοειδής ξυλίτης			+				+						+			+	+	+	+	+	+
Ξυλίτης πλούσιος σε ανόργανα				+	+					+										+	
Κίτρινος ξυλίτης																					
Καστανός ξυλίτης		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	•	+	+	•	•
Μαυρωπός ξυλίτης																	+	•		+	+

Πίνακας 2. (συνέχεια)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ		Δείγματα (ΑΧΛ C59 – D27)																		
		C59	C61	C64	C66	C68	C70	C71	C72	C74	C76	C80	C82	D2b	D10	D13	D16	D20	D24	D27
Διάσπαρτος ξυλίτης μέσα σε λιγνίτη								+			+			+			+		+	
Μη στρωματωμένος ξυλιτικός λιγνίτης								+												
Στρωματωμένος ξυλιτικός λιγνίτης													+						+	
Στρωσιγενής ξυλίτης		+	+				+								+			+		+
Στρωματωμένος ξυλίτης		+	+	+	+	+				+	+			+		+	+	+		
Μάζα ξυλίτη όπου κυριαρχούν οι ιστοί					+		+					+								
Μάζα ξυλίτη με συμπαγή δομή			+	+					+	+			+							
Μάζα ξυλίτη που είναι λαμπερή																				
Ινώδης ξυλίτης	**Μακροσκοπικά διακρίνονται κλαδιά, ρίζες και άλλα ξυλώδη θραύσματα μικρού μεγέθους**	+	+	+																
Κατακερματισμένος ξυλίτης																				
Ζελατινοειδής ξυλίτης							+				+					+			+	
Ξυλίτης πλούσιος σε ανόργανα						+														
Κίτρινος ξυλίτης									+	+								+		
Καστανός ξυλίτης		+	+	•	•	+	+		•	•	+	+	+	+	+	+	+	•	•	+
Μαυρωπός ξυλίτης				+	+														+	

Πίνακας 3. Ποσοστά (%) τέφρας επί ξηρού και υγροσκοπικής υγρασίας σε δείγματα λιγνίτη από το κοίτασμα της Αχλάδας του Ν. Φλώρινας.
*: Ανθρακούχα ιζήματα.
–: Έλλειψη στοιχείων.

Αριθμός δείγματος	Τέφρα επί ξηρού (%)	Υγροσκοπική υγρασία (%)	Αριθμός δείγματος	Τέφρα επί ξηρού (%)	Υγροσκοπική υγρασία (%)
A1	30,00	12,38	**B3/B4**	36,36	9,90
A2	27,27	5,56	**B4b**	9,09	12,38
A3	70,00*	9,26	**B5a**	54,55*	8,74
A4	50,00	9,00	**B5b**	73,33*	5,13
A5a	50,00	13,89	**B6**	33,33	10,00
A5b	18,18	–	**B6b(x)**	6,25	7,55
A6	10,00	11,21	**B7**	50,00	9,00
A7	54,55*	7,48	**B9**	7,14	2,94
A8	10,00	9,00	**B10**	10,00	5,77
A10	18,18	12,24	**B11**	81,82*	4,85
A11	50,00	19,27	**B12**	18,18	10,00
A12	40,00	21,93	**B13**	38,46	7,84
A13	66,67*	6,80	**B14**	40,00	10,91
A14	50,00	8,18	**B15**	37,00	14,81
A15	50,00	5,80	**B16**	54,55*	10,68
A16	8,33	10,89	**C2**	27,27	5,83
A17	36,36	6,09	**C3**	9,09	10,48
A18	68,53*	2,00	**C4**	54,55*	13,18
A19	18,55	9,71	**C5**	63,64*	8,93
A20	15,90	14,16	**C6**	72,73	11,54
A22	43,37	8,33	**C7**	70,00*	6,19
A23	47,49	12,62	**C8**	52,00*	–
A24	70,43*	8,41	**C9**	72,73*	7,62
A25	46,11	10,09	**C10**	41,67	11,00
A26	61,55*	11,00	**C11**	30,00	13,59
A28	15,68	11,65	**C12**	63,64*	6,00
A29	23,11	13,00	**C13**	70,00*	2,97
A30	39,42	10,62	**C14**	30,00	16,35
A31	33,50	11,11	**C16**	26,35	–
A32	41,67	9,48	**C17**	45,45	13,89
A34	20,00	10,81	**C19**	10,00	19,42
B2a	7,69	7,21	**C20**	50,00	7,92
B2b	7,69	14,42	**C21**	40,00	13,85
B3	25,00	10,28	**C22**	10,00	11,54
B3(x)	12,50	10,13	**C23**	36,36	11,49

Πίνακας 3. (συνέχεια)

Αριθμός δείγματος	Τέφρα επί ξηρού (%)	Υγροσκοπική υγρασία (%)	Αριθμός δείγματος	Τέφρα επί ξηρού (%)	Υγροσκοπική υγρασία (%)
C24	1,67	16,19	**C62a**	16,21	10,78
C25	66,67*	6,54	**C63**	27,55	11,65
C26	18,18	15,09	**C64**	3,12	17,82
C27	25,00	10,43	**C65**	31,79	12,77
C29	54,55*	6,25	**C66**	2,70	8,04
C30	40,00	11,40	**C67**	30,65	15,65
C31	11,11	–	**C68**	1,65	7,69
C32	45,45	8,49	**C69**	23,25	15,74
C33	40,00	12,39	**C70**	5,77	12,62
C35	40,00	10,53	**C71**	55,27	8,91
C36	10,00	11,81	**C72**	20,00	8,11
C37	50,00	8,53	**C73**	69,98*	9,43
C39	20,00	12,38	**C74**	2,73	9,90
C40	9,09	8,65	**C75**	31,34	13,33
C41	50,00	12,20	**C76**	2,23	8,87
C42	10,00	9,52	**C77**	37,06	0,92
C43	50,00	11,36	**C78**	21,83	9,57
C44	9,09	6,52	**C79**	40,71	10,96
C45	40,00	12,50	**C80**	4,63	5,80
C46	4,67	9,00	**C81**	30,04	7,77
C47	30,00	10,81	**C82**	2,45	6,54
C48	20,00	12,38	**C83**	28,21	13,25
C49	25,00	12,80	**C84**	33,91	6,86
C51	30,00	16,38	**C85**	56,55*	5,41
C52	0,77	5,71	**C86**	37,17	11,19
C53	30,00	–	**C87**	30,81	8,41
C54	8,33	10,68	**D2**	17,46	14,91
C55	36,36	10,45	**D3**	28,61	7,69
C56	16,67	10,89	**D4**	37,03	10,09
C57	9,09	13,64	**D5**	20,28	9,62
C58	27,27	6,67	**D6**	60,00*	13,33
C59	4,00	2,59	**D8**	11,68	11,76
C60	20,14	12,50	**D9**	30,68	10,31
C61	2,00	–	**D10**	3,44	9,38
C62	28,98	6,47	**D11**	59,50*	8,04

Πίνακας 3. (συνέχεια)

Αριθμός δείγματος	Τέφρα επί ξηρού (%)	Υγροσκοπική υγρασία (%)	Αριθμός δείγματος	Τέφρα επί ξηρού (%)	Υγροσκοπική υγρασία (%)
D12	12,29	11,11	**D22b**	10,54	7,14
D13	2,08	3,57	**D23**	41,70	12,00
D15	17,90	12,77	**D24**	27,60	8,51
D16	6,73	7,84	**D25**	27,43	6,36
D17	21,14	12,50	**D26**	17,04	7,84
D18	21,35	10,53	**D27**	2,84	7,92
D19	17,96	11,00	**D28**	48,81	10,62
D20	7,51	5,13	**D29**	24,18	9,91
D22a	41,95	9,91	**D30**	18,18	12,15

Πίνακας 4. Ανθρακοπετρογραφική σύσταση (σε % κατ' όγκο) του λιγνίτη του κοιτάσματος Αχλάδας.

	A1	**A2**	**A4**	**A6**	**A8**	**A10**	**A12**
ΧΟΥΜΙΝΙΤΗΣ							
Τελοχουμινίτης	**34,1**	**48,0**	**51,4**	**78,5**	**82,0**	**56,3**	**48,4**
Τεξτινίτης-Α	0,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Τεξτινίτης-Β	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ουλμινίτης-Α	20,6	40,4	49,3	58,3	50,6	52,8	43,7
Ουλμινίτης-Β	12,6	7,2	2,1	20,2	31,4	3,5	4,7
Ουλμινίτης	*33,2*	*47,6*	*51,4*	*78,5*	*82,0*	*56,3*	*48,4*
Δετροχουμινίτης	**53,3**	**35,2**	**35,1**	**10,1**	**9,5**	**34,3**	**29,2**
Αττρινίτης	24,7	17,9	27,1	8,0	6,8	10,8	5,3
Ντενζινίτης	28,5	17,3	8,0	2,1	2,7	23,4	23,9
Γελοχουμινίτης	**1,8**	**4,0**	**2,8**	**6,2**	**1,8**	**3,5**	**12,7**
Πορινγελινίτης	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5
Λεβινγελινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Κορποχουμινίτης	1,8	3,6	2,8	6,2	1,8	3,5	11,2
ΣΥΝΟΛΟ	**89,1**	**87,1**	**89,3**	**94,9**	**93,2**	**94,1**	**90,3**
ΛΕΙΠΤΙΝΙΤΗΣ							
Σπορινίτης	3,2	2,4	1,0	0,5	0,9	1,8	1,8
Κουτινίτης	2,4	2,9	1,4	1,6	5,6	1,0	0,0
Ρεζινίτης	0,0	0,3	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
Σουμπερινίτης	1,5	1,2	1,0	0,0	0,0	1,0	4,7
Αλγινίτης	0,0	1,5	3,8	1,6	0,0	0,3	1,2
Λειπτοδετρινίτης	2,4	2,7	2,4	0,2	0,0	1,4	0,9
ΣΥΝΟΛΟ	**9,4**	**11,1**	**9,7**	**4,9**	**6,5**	**5,6**	**8,6**
ΙΝΕΡΤΙΝΙΗΣ							
Φουσινίτης	0,0	0,0	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
Φουνγκινίτης	1,5	1,8	0,7	0,0	0,3	0,3	1,2
Ινερτοδετρινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**1,5**	**1,8**	**1,0**	**0,2**	**0,3**	**0,3**	**1,2**
ΟΡΥΚΤΑ							
Αργιλικά ορυκτά	8,9	6,4	9,3	3,1	5,9	11,6	4,5
Σιδηροπυρίτης	0,2	2,1	7,0	3,9	5,2	6,3	4,3
Ανθρακικά	0,0	0,9	1,5	0,2	1,5	0,0	0,2
Διάφορα	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**9,1**	**9,4**	**17,7**	**7,2**	**12,5**	**18,0**	**9,1**
TPI	0,8	1,6	2,0	9,2	10,5	2,3	2,2
GI	2,7	3,9	2,8	11,4	14,4	9,7	14,6
VI	0,8	1,6	1,7	7,5	11,1	2,2	2,0
GWI	0,8	0,6	0,7	0,2	0,3	1,1	1,0

Πίνακας 4. (συνέχεια)

	A15	A16	A18	A20	A23	A24	A26	A29
ΧΟΥΜΙΝΙΤΗΣ								
Τελοχουμινίτης	**28,8**	**49,3**	**49,7**	**43,5**	**36,9**	**34,1**	**21,6**	**69,1**
Τεξτινίτης-Α	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Τεξτινίτης-Β	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ουλμινίτης-Α	25,1	22,0	47,8	36,8	35,7	33,3	16,3	50,8
Ουλμινίτης-Β	3,8	27,1	1,9	6,7	1,2	0,7	5,2	18,3
Ουλμινίτης	*28,8*	*49,1*	*49,7*	*43,5*	*36,9*	*34,1*	*21,6*	*69,1*
Δετροχουμινίτης	**52,4**	**25,6**	**36,7**	**40,5**	**44,9**	**45,8**	**65,1**	**17,7**
Αττρινίτης	40,2	15,6	20,3	24,9	31,4	34,4	62,5	11,6
Ντενζινίτης	12,2	10,0	16,5	15,5	13,5	11,4	2,6	6,1
Γελοχουμινίτης	**8,1**	**3,6**	**6,6**	**5,0**	**3,7**	**3,7**	**1,3**	**2,6**
Πορινγελινίτης	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0
Λεβιγελινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Κορποχουμινίτης	8,1	3,6	6,6	4,9	3,4	3,7	1,3	2,6
ΣΥΝΟΛΟ	**89,4**	**78,5**	**93,0**	**89,0**	**85,5**	**83,5**	**87,9**	**89,4**
ΛΕΙΠΤΙΝΙΤΗΣ								
Σπορινίτης	0,6	11,7	0,3	0,1	2,8	3,3	1,3	1,6
Κουτινίτης	0,3	5,3	0,0	0,3	0,9	0,7	0,3	1,8
Ρεζινίτης	4,7	3,1	0,0	1,5	0,0	1,1	1,3	1,8
Σουμπερινίτης	1,3	0,5	0,6	1,5	0,0	0,7	0,3	0,0
Αλγινίτης	1,9	0,0	0,9	3,0	4,9	5,5	5,2	4,2
Λειπτοδετρινίτης	0,3	0,8	2,8	2,7	4,0	3,3	3,3	1,1
ΣΥΝΟΛΟ	**9,1**	**21,5**	**4,7**	**9,2**	**12,6**	**14,6**	**11,7**	**10,6**
ΙΝΕΡΤΙΝΙΗΣ								
Φουσινίτης	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Φουνγκινίτης	0,9	0,0	1,6	1,8	1,2	0,4	0,3	0,0
Ινερτοδετρινίτης	0,0	0,0	0,6	0,0	0,6	1,5	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**1,6**	**0,0**	**2,2**	**1,8**	**1,9**	**1,8**	**0,3**	**0,0**
ΟΡΥΚΤΑ								
Αργιλικά ορυκτά	8,6	5,5	10,5	8,9	11,3	17,1	11,6	8,4
Σιδηροπυρίτης	5,8	4,0	4,1	4,5	2,5	2,6	5,5	3,8
Ανθρακικά	0,2	0,2	0,0	0,0	0,6	0,9	0,2	0,4
Διάφορα	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**20,1**	**9,8**	**14,6**	**13,4**	**14,4**	**20,7**	**18,6**	**12,6**
TPI	1,0	2,3	1,8	1,5	1,1	1,1	0,5	4,8
GI	1,6	4,4	3,9	2,9	2,0	1,9	0,5	7,9
VI	0,9	3,0	1,5	1,2	0,9	1,0	0,4	3,8
GWI	1,2	0,4	0,8	0,7	0,7	1,1	0,6	0,4

Πίνακας 4. (συνέχεια)

	A30	A34	B2a	B2b	B3	B3(a)	B3/B4	B4b
ΧΟΥΜΙΝΙΤΗΣ								
Τελοχουμινίτης	**54,7**	**71,4**	**59,6**	**59,5**	**58,6**	**77,2**	**71,3**	**78,3**
Τεξτινίτης-Α	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Τεξτινίτης-Β	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	2,5
Ουλμινίτης-Α	48,4	46,8	49,9	8,8	46,0	23,5	47,8	0,6
Ουλμινίτης-Β	6,0	24,6	9,7	50,7	12,6	53,7	23,3	75,1
Ουλμινίτης	*54,4*	*71,4*	*59,6*	*59,5*	*58,6*	*77,2*	*71,1*	*75,8*
Δετροχουμινίτης	**19,0**	**19,0**	**28,1**	**21,8**	**29,9**	**10,3**	**19,3**	**10,6**
Αττρινίτης	18,4	7,4	18,4	11,6	23,0	7,0	13,6	4,8
Ντενζινίτης	0,6	11,6	9,7	10,2	6,9	3,3	5,7	5,8
Γελοχουμινίτης	**14,2**	**2,3**	**1,8**	**2,7**	**1,4**	**2,5**	**2,2**	**3,2**
Πορινγελινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Λεβιγελινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Κορποχουμινίτης	14,2	2,3	1,8	2,7	1,4	2,5	2,2	3,2
ΣΥΝΟΛΟ	**88,0**	**92,6**	**89,5**	**84,0**	**90,0**	**90,0**	**92,8**	**92,0**
ΛΕΙΠΤΙΝΙΤΗΣ								
Σπορινίτης	1,3	0,6	1,5	1,4	2,9	3,1	1,5	0,5
Κουτινίτης	2,2	1,7	0,6	5,2	0,3	0,8	1,0	4,0
Ρεζινίτης	2,2	3,1	3,3	4,4	1,1	3,9	1,5	1,3
Σουμπερινίτης	3,2	0,0	0,6	4,1	0,9	0,6	1,0	0,2
Αλγινίτης	0,0	2,0	2,7	0,3	4,0	1,1	2,0	1,9
Λειπτοδετρινίτης	0,3	0,0	0,9	0,0	0,6	0,3	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**9,2**	**7,4**	**9,6**	**15,4**	**9,7**	**9,7**	**6,9**	**8,0**
ΙΝΕΡΤΙΝΙΗΣ								
Φουσινίτης	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
Φουνγκινίτης	1,6	0,0	0,3	0,5	0,3	0,3	0,0	0,0
Ινερτοδετρινίτης	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**2,9**	**0,0**	**0,9**	**0,5**	**0,3**	**0,3**	**0,2**	**0,0**
ΟΡΥΚΤΑ								
Αργιλικά ορυκτά	7,2	5,3	12,8	2,7	6,9	6,8	4,2	1,2
Σιδηροπυρίτης	6,1	2,2	2,8	6,7	7,1	4,1	2,9	2,4
Ανθρακικά	1,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
Διάφορα	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**14,8**	**7,4**	**15,5**	**9,3**	**14,2**	**10,9**	**7,1**	**3,6**
TPI	4,2	4,2	2,7	3,2	2,4	8,8	4,1	7,9
GI	3,9	12,6	4,6	6,7	3,5	13,0	6,1	12,1
VI	3,8	4,0	2,6	3,7	2,2	8,3	3,9	7,0
GWI	0,6	0,3	0,6	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2

Πίνακας 4. (συνέχεια)

	B6a	B6b	B9	B10b	B12	B15	C2	C4
ΧΟΥΜΙΝΙΤΗΣ								
Τελοχουμινίτης	**53,1**	**83,5**	**87,0**	**74,8**	**65,2**	**72,0**	**73,0**	**55,6**
Τεξτινίτης-Α	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Τεξτινίτης-Β	0,0	2,7	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ουλμινίτης-Α	40,4	4,7	0,7	54,2	41,8	26,6	19,5	24,2
Ουλμινίτης-Β	12,7	76,0	64,3	20,6	23,4	45,4	53,6	31,4
Ουλμινίτης	*53,1*	*80,7*	*65,1*	*74,8*	*65,2*	*72,0*	*73,0*	*55,6*
Δετροχουμινίτης	**20,2**	**10,3**	**10,0**	**10,6**	**20,1**	**16,1**	**18,2**	**25,4**
Αττρινίτης	11,3	7,9	6,1	7,9	12,6	9,8	12,8	18,7
Ντενζινίτης	8,9	2,4	3,9	2,7	7,5	6,3	5,3	6,6
Γελοχουμινίτης	**3,8**	**1,5**	**1,3**	**3,5**	**3,0**	**4,1**	**1,1**	**4,6**
Πορινγελινίτης	0,0	0,0	0,0	0,5	0,3	2,4	0,0	0,3
Λεβιγελινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Κορποχουμινίτης	3,8	1,5	1,3	3,0	2,7	1,6	1,1	4,2
ΣΥΝΟΛΟ	**77,1**	**95,3**	**98,2**	**88,9**	**88,3**	**92,2**	**92,3**	**85,5**
ΛΕΙΠΤΙΝΙΤΗΣ								
Σπορινίτης	5,4	0,5	0,0	4,6	2,7	2,1	1,3	0,6
Κουτινίτης	2,2	2,7	0,2	1,4	2,7	0,7	0,3	1,2
Ρεζινίτης	5,1	1,5	1,3	0,5	0,6	1,4	0,2	2,7
Σουμπερινίτης	1,3	0,0	0,0	0,5	0,6	0,5	0,3	1,8
Αλγινίτης	7,6	0,0	0,2	3,3	4,8	1,6	4,3	7,5
Λειπτοδετρινίτης	1,1	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	0,3
ΣΥΝΟΛΟ	**22,6**	**4,7**	**1,8**	**10,5**	**11,7**	**6,3**	**6,4**	**14,2**
ΙΝΕΡΤΙΝΙΗΣ								
Φουσινίτης	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,3	0,0
Φουνγκινίτης	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,2	1,1	0,3
Ινερτοδετρινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**0,3**	**0,0**	**0,0**	**0,5**	**0,0**	**1,5**	**1,3**	**0,3**
ΟΡΥΚΤΑ								
Αργιλικά ορυκτά	6,0	1,3	0,5	7,1	7,3	3,9	5,4	16,5
Σιδηροπυρίτης	4,8	4,9	3,0	3,4	4,0	3,5	3,6	2,3
Ανθρακικά	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
Διάφορα	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**10,8**	**6,2**	**3,4**	**10,5**	**11,4**	**7,3**	**9,2**	**19,0**
TPI	3,2	8,8	9,2	8,0	4,3	4,4	4,6	3,1
GI	6,5	8,5	2,6	11,0	7,7	7,9	6,2	4,7
VI	2,7	9,1	9,0	6,6	3,6	4,8	3,7	2,5
GWI	0,5	0,1	0,1	0,3	0,5	0,3	0,2	0,8

Πίνακας 4. (συνέχεια)

	C6	C8	C9	C11	C13	C14	C16
ΧΟΥΜΙΝΙΤΗΣ							
Τελοχουμινίτης	**28,7**	**28,5**	**18,5**	**48,8**	**34,8**	**72,8**	**67,2**
Τεξτινίτης-Α	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Τεξτινίτης-Β	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ουλμινίτης-Α	9,1	21,2	7,0	5,2	14,2	35,4	45,2
Ουλμινίτης-Β	19,6	7,3	11,4	43,6	20,6	37,4	22,1
Ουλμινίτης	*28,7*	*28,5*	*18,5*	*48,8*	*34,8*	*72,8*	*67,2*
Δετροχουμινίτης	**60,7**	**57,5**	**65,2**	**16,0**	**56,2**	**11,9**	**18,4**
Αττρινίτης	41,7	54,5	64,2	4,9	28,1	5,3	10,8
Ντενζινίτης	19,0	3,0	1,0	11,1	28,1	6,5	7,6
Γελοχουμινίτης	**1,2**	**0,3**	**0,7**	**7,9**	**1,0**	**6,3**	**3,4**
Ποριγελινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Λεβιγελινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4
Κορποχουμινίτης	1,2	0,3	0,7	7,9	1,0	6,3	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**90,6**	**86,3**	**84,3**	**72,6**	**92,0**	**91,0**	**89,0**
ΛΕΙΠΤΙΝΙΤΗΣ							
Σπορινίτης	1,2	5,5	4,3	5,6	2,0	1,5	1,3
Κουτινίτης	0,0	1,5	0,7	10,1	0,3	1,0	3,1
Ρεζινίτης	2,7	0,0	0,7	11,4	0,0	1,3	1,8
Σουμπερινίτης	0,0	0,3	1,0	0,0	0,3	0,0	1,0
Αλγινίτης	3,6	5,6	5,7	0,0	3,5	4,0	2,1
Λειπτοδετρινίτης	1,5	0,3	2,3	0,2	0,7	0,5	0,8
ΣΥΝΟΛΟ	**9,1**	**13,1**	**14,7**	**27,4**	**6,7**	**8,3**	**10,2**
ΙΝΕΡΤΙΝΙΗΣ							
Φουσινίτης	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	0,5
Φουνγκινίτης	0,0	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	0,3
Ινερτοδετρινίτης	0,0	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**0,3**	**0,6**	**1,0**	**0,0**	**1,2**	**0,7**	**0,8**
ΟΡΥΚΤΑ							
Αργιλικά ορυκτά	19,8	12,0	15,0	0,7	12,1	3,2	9,2
Σιδηροπυρίτης	6,6	2,4	4,1	2,5	2,9	1,6	2,4
Ανθρακικά	0,2	0,4	0,5	0,0	0,2	0,0	1,9
Διάφορα	0,0	0,6	1,8	0,0	0,4	0,0	0,2
ΣΥΝΟΛΟ	**26,6**	**15,3**	**21,3**	**3,2**	**15,7**	**4,8**	**13,7**
TPI	0,6	0,6	0,4	3,7	0,7	7,1	3,4
GI	1,4	0,7	0,4	14,4	2,3	14,9	7,4
VI	0,6	0,7	0,5	4,8	0,7	5,0	3,9
GWI	1,1	0,4	0,7	0,4	0,8	0,2	0,4

Πίνακας 4. (συνέχεια)

	C17	C19	C22	C23	C25	C26	C30
ΧΟΥΜΙΝΙΤΗΣ							
Τελοχουμινίτης	**66,5**	**69,4**	**42,3**	**53,4**	**21,4**	**46,0**	**49,9**
Τεξτινίτης-Α	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Τεξτινίτης-Β	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
Ουλμινίτης-Α	31,1	18,6	26,2	22,8	13,0	24,5	16,5
Ουλμινίτης-Β	35,4	50,9	16,1	29,5	8,4	21,5	33,3
Ουλμινίτης	*66,5*	*69,4*	*42,3*	*52,3*	*21,4*	*46,0*	*49,9*
Δετροχουμινίτης	**16,2**	**9,9**	**6,4**	**28,2**	**62,2**	**10,7**	**27,1**
Αττρινίτης	6,4	4,3	2,1	3,8	47,4	0,5	6,7
Ντενζινίτης	9,8	5,6	4,3	24,4	14,9	10,2	20,4
Γελοχουμινίτης	**4,8**	**8,2**	**12,1**	**3,8**	**1,5**	**7,9**	**1,8**
Πορινγελινίτης	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,8
Λεβινγελινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Κορποχουμινίτης	4,5	8,2	12,1	3,8	1,5	5,7	1,0
ΣΥΝΟΛΟ	**87,5**	**87,6**	**60,7**	**85,4**	**85,1**	**64,6**	**78,8**
ΛΕΙΠΤΙΝΙΤΗΣ							
Σπορινίτης	2,9	0,5	7,1	2,1	1,2	2,8	2,1
Κουτινίτης	1,1	4,7	6,6	3,8	2,2	14,2	3,1
Ρεζινίτης	1,0	2,4	15,8	1,8	0,3	1,5	11,6
Σουμπερινίτης	1,3	1,7	7,6	1,5	0,6	3,0	0,5
Αλγινίτης	4,3	0,7	0,9	3,1	8,0	5,2	2,3
Λειπτοδετρινίτης	1,6	0,6	0,2	1,5	1,9	6,2	0,8
ΣΥΝΟΛΟ	**12,2**	**10,7**	**38,3**	**13,8**	**14,2**	**32,9**	**20,4**
ΙΝΕΡΤΙΝΙΗΣ							
Φουσινίτης	0,0	0,7	0,2	0,0	0,3	0,5	0,3
Φουνγκινίτης	0,3	1,0	0,7	0,8	0,3	2,0	0,5
Ινερτοδετρινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**0,3**	**1,7**	**0,9**	**0,8**	**0,6**	**2,5**	**0,8**
ΟΡΥΚΤΑ							
Αργιλικά ορυκτά	6,5	0,2	0,7	4,9	9,5	5,2	9,5
Σιδηροπυρίτης	2,3	0,9	1,1	4,3	5,0	3,6	2,7
Ανθρακικά	1,1	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0
Διάφορα	0,2	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**10,0**	**1,2**	**1,8**	**9,6**	**17,4**	**8,9**	**12,2**
TPI	4,9	8,1	8,7	2,3	0,5	4,2	2,1
GI	13,8	14,1	19,5	16,0	1,0	22,4	11,2
VI	3,7	7,3	10,7	2,1	0,5	3,2	2,6
GWI	0,4	0,2	0,4	0,8	0,9	0,6	0,8

Πίνακας 4. (συνέχεια)

	C31	C36	C37	C40	C42	C44	C46
ΧΟΥΜΙΝΙΤΗΣ							
Τελοχουμινίτης	**62,4**	**77,1**	**36,7**	**64,4**	**63,7**	**74,3**	**78,5**
Τεξτινίτης-Α	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Τεξτινίτης-Β	0,0	2,9	1,7	6,8	0,0	0,0	2,5
Ουλμινίτης-Α	21,3	5,4	21,1	8,1	3,6	1,2	22,2
Ουλμινίτης-Β	41,1	68,9	13,3	49,5	60,1	73,1	53,8
Ουλμινίτης	*62,4*	*74,3*	*34,4*	*57,6*	*63,7*	*74,3*	*76,0*
Δετροχουμινίτης	**9,0**	**6,9**	**54,4**	**17,5**	**16,7**	**8,7**	**9,2**
Αττρινίτης	6,3	3,1	18,7	6,8	7,4	4,2	3,2
Ντενζινίτης	2,7	3,8	35,7	10,7	9,3	4,5	6,0
Γελοχουμινίτης	**5,9**	**6,8**	**2,0**	**3,4**	**1,3**	**1,7**	**0,2**
Πορινγελινίτης	0,7	3,0	0,3	0,5	0,0	0,2	0,0
Λεβινγελινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Κορποχουμινίτης	5,1	3,8	1,7	2,9	1,3	1,4	0,2
ΣΥΝΟΛΟ	**77,3**	**90,9**	**93,2**	**85,4**	**81,6**	**84,7**	**88,0**
ΛΕΙΠΤΙΝΙΤΗΣ							
Σπορινίτης	2,2	0,0	1,0	0,7	0,0	0,5	0,9
Κουτινίτης	12,7	5,5	0,0	10,7	17,9	14,6	8,2
Ρεζινίτης	4,7	2,6	0,3	0,7	0,0	0,2	0,0
Σουμπερινίτης	0,2	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Αλγινίτης	1,7	1,0	4,4	2,0	0,3	0,0	2,7
Λειπτοδετρινίτης	1,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2
ΣΥΝΟΛΟ	**22,5**	**9,1**	**6,5**	**14,4**	**18,2**	**15,3**	**12,0**
ΙΝΕΡΤΙΝΙΗΣ							
Φουσινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Φουνγκινίτης	0,2	0,0	0,3	0,2	0,3	0,0	0,0
Ινερτοδετρινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**0,2**	**0,0**	**0,3**	**0,2**	**0,3**	**0,0**	**0,0**
ΟΡΥΚΤΑ							
Αργιλικά ορυκτά	1,3	1,6	18,7	1,4	4,8	0,8	1,1
Σιδηροπυρίτης	2,0	0,9	2,8	2,0	1,5	1,3	1,0
Ανθρακικά	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Διάφορα	0,0	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**3,2**	**3,4**	**21,8**	**3,5**	**6,6**	**2,1**	**2,1**
TPI	7,2	8,3	1,0	3,9	4,2	8,6	8,8
GI	11,2	14,5	5,0	5,4	10,5	19,5	14,8
VI	7,3	11,0	1,0	4,0	5,2	10,5	7,5
GWI	0,2	0,2	2,3	0,3	0,3	0,1	0,1

Πίνακας 4. (συνέχεια)

	C49	C51	C54	C55	C59	C61	C62β	C64
ΧΟΥΜΙΝΙΤΗΣ								
Τελοχουμινίτης	**63,5**	**55,6**	**83,3**	**10,9**	**78,9**	**72,1**	**56,1**	**75,5**
Τεξτινίτης-Α	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Τεξτινίτης-Β	0,0	0,0	18,4	0,0	5,5	6,3	0,0	8,0
Ουλμινίτης-Α	41,4	32,0	2,9	8,7	4,2	0,5	16,5	1,2
Ουλμινίτης-Β	22,1	23,6	61,9	2,2	69,2	65,2	39,6	66,2
Ουλμινίτης	*63,5*	*55,6*	*64,8*	*10,9*	*73,5*	*65,7*	*56,1*	*67,5*
Δετροχουμινίτης	**24,7**	**23,1**	**9,5**	**79,6**	**9,9**	**8,0**	**19,2**	**11,6**
Αττρινίτης	9,2	2,8	2,9	76,1	1,5	3,9	4,9	0,5
Ντενζινίτης	15,4	20,3	6,5	3,5	8,4	4,1	14,3	11,1
Γελοχουμινίτης	**1,8**	**2,6**	**0,7**	**0,4**	**0,2**	**4,3**	**8,0**	**1,0**
Πορινγελινίτης	1,5	1,2	0,0	0,0	0,2	1,0	4,1	0,0
Λεβινγελινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Κορποχουμινίτης	0,3	1,4	0,7	0,4	0,0	3,3	3,9	1,0
ΣΥΝΟΛΟ	**90,0**	**81,3**	**93,5**	**90,9**	**89,0**	**84,4**	**83,3**	**88,0**
ΛΕΙΠΤΙΝΙΤΗΣ								
Σπορινίτης	2,3	5,6	1,7	2,6	0,6	0,8	4,8	0,0
Κουτινίτης	3,9	2,6	0,7	0,0	8,0	9,6	4,0	10,7
Ρεζινίτης	0,0	0,2	2,7	0,0	0,2	4,0	3,5	0,7
Σουμπερινίτης	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	1,8	0,0
Αλγινίτης	3,1	8,4	1,5	4,8	0,2	0,5	1,5	0,2
Λειπτοδετρινίτης	0,3	0,9	0,0	0,9	0,0	0,0	0,2	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**9,5**	**18,0**	**6,5**	**8,3**	**9,2**	**14,9**	**15,8**	**11,7**
ΙΝΕΡΤΙΝΙΗΣ								
Φουσινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Φουνγκινίτης	0,5	0,7	0,0	0,4	1,7	0,8	1,0	0,2
Ινερτοδετρινίτης	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**0,5**	**0,7**	**0,0**	**0,9**	**1,7**	**0,8**	**1,0**	**0,2**
ΟΡΥΚΤΑ								
Αργιλικά ορυκτά	1,8	3,1	2,8	11,1	3,2	2,3	3,3	0,7
Σιδηροπυρίτης	2,2	1,5	4,0	5,2	3,8	4,2	1,9	3,6
Ανθρακικά	1,4	0,0	1,2	3,1	0,0	0,0	0,6	0,3
Διάφορα	0,0	0,8	0,0	0,4	0,0	0,0	0,2	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**5,4**	**5,4**	**8,1**	**19,8**	**7,0**	**6,5**	**6,0**	**4,6**
TPI	2,6	2,5	9,7	0,3	8,4	9,3	2,8	7,1
GI	8,9	23,8	3,7	0,4	10,2	7,5	14,4	9,8
VI	2,7	2,1	8,9	0,3	9,4	11,3	3,6	7,9
GWI	0,3	0,5	0,2	1,8	0,2	0,2	0,5	0,2

Πίνακας 4. (συνέχεια)

	C66	C68	C69	C72	C76	C77	C80	C83
ΧΟΥΜΙΝΙΤΗΣ								
Τελοχουμινίτης	**72,5**	**85,2**	**61,5**	**76,5**	**83,8**	**48,4**	**63,5**	**12,0**
Τεξτινίτης-Α	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Τεξτινίτης-Β	9,6	7,2	0,0	5,9	9,0	0,0	0,3	0,0
Ουλμινίτης-Α	0,3	0,0	46,5	8,5	1,5	34,8	16,0	7,6
Ουλμινίτης-Β	62,6	78,0	15,0	61,8	73,3	13,5	47,2	4,4
Ουλμινίτης	*62,8*	*78,0*	*61,5*	*70,3*	*74,8*	*48,4*	*63,2*	*12,0*
Δετροχουμινίτης	**19,0**	**9,6**	**25,5**	**7,2**	**12,7**	**32,6**	**21,9**	**75,0**
Αττρινίτης	7,9	2,4	4,5	5,9	5,3	21,0	11,5	70,6
Ντενζινίτης	11,1	7,2	21,0	1,3	7,4	11,6	10,4	4,4
Γελοχουμινίτης	**2,7**	**1,0**	**2,5**	**3,6**	**0,7**	**1,6**	**5,9**	**0,6**
Πορινγελινίτης	0,5	0,0	0,6	2,8	0,2	0,0	1,7	0,3
Λεβιγελινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Κορποχουμινίτης	2,1	1,0	2,0	0,8	0,5	1,6	4,2	0,3
ΣΥΝΟΛΟ	**94,1**	**95,9**	**89,5**	**87,3**	**97,2**	**82,6**	**91,3**	**87,7**
ΛΕΙΠΤΙΝΙΤΗΣ								
Σπορινίτης	0,8	0,0	3,4	0,3	0,6	2,9	0,6	1,3
Κουτινίτης	5,1	4,1	1,7	4,7	1,8	0,0	3,9	0,3
Ρεζινίτης	0,0	0,0	0,6	7,5	0,2	3,2	0,8	0,0
Σουμπερινίτης	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	1,0	2,0	0,0
Αλγινίτης	0,0	0,0	3,1	0,3	0,1	8,1	1,4	10,8
Λειπτοδετρινίτης	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**5,9**	**4,1**	**9,9**	**12,7**	**2,8**	**16,1**	**8,7**	**12,3**
ΙΝΕΡΤΙΝΙΗΣ								
Φουσινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0
Φουνγκινίτης	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ινερτοδετρινίτης	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**0,0**	**0,0**	**0,6**	**0,0**	**0,0**	**1,3**	**0,0**	**0,0**
ΟΡΥΚΤΑ								
Αργιλικά ορυκτά	4,7	1,2	10,3	1,5	1,2	16,0	3,4	15,5
Σιδηροπυρίτης	2,2	4,0	4,5	1,2	0,4	0,9	0,9	1,6
Ανθρακικά	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,7	0,4	0,7
Διάφορα	1,3	0,4	0,6	0,2	0,0	1,5	0,0	0,7
ΣΥΝΟΛΟ	**8,3**	**5,6**	**15,3**	**3,1**	**1,6**	**19,2**	**4,7**	**18,5**
TPI	4,2	9,5	3,0	7,9	6,6	2,1	3,3	0,2
GI	4,8	9,4	20,5	6,4	5,9	3,7	7,8	0,3
VI	4,5	9,8	2,9	12,3	6,9	1,8	3,5	0,2
GWI	0,3	0,2	0,9	0,1	0,1	0,9	0,3	0,6

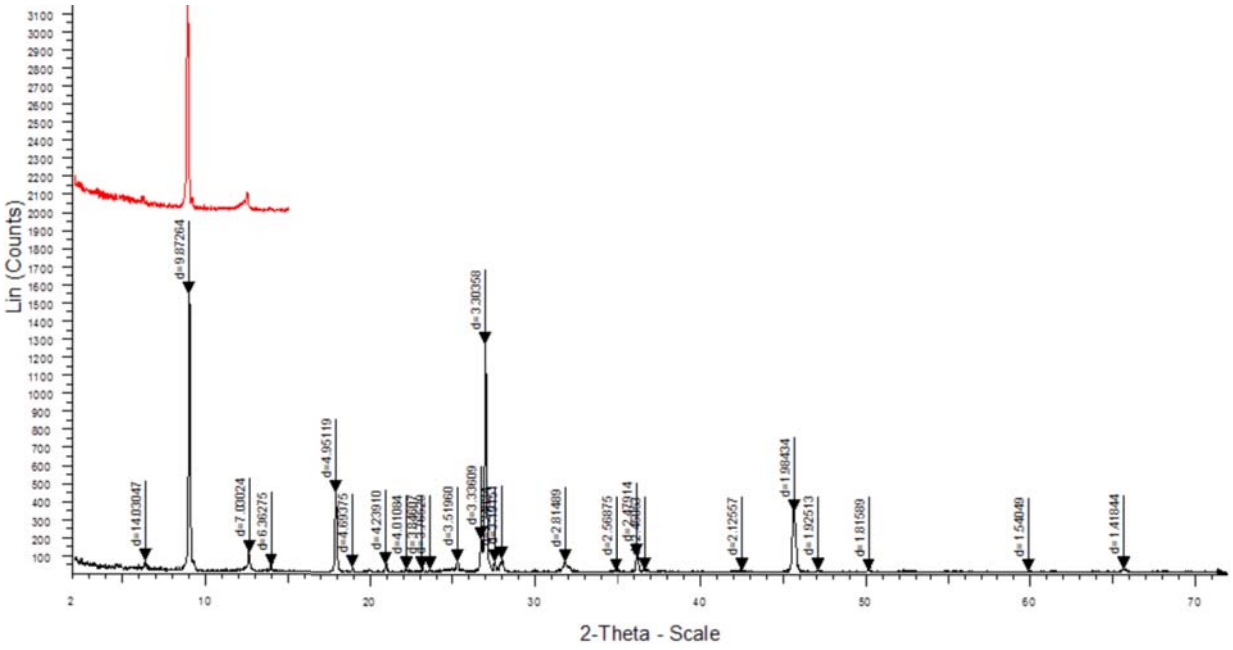
Πίνακας 4. (συνέχεια)

	C87	D6	D23
ΧΟΥΜΙΝΙΤΗΣ			
Τελοχουμινίτης	**36,3**	**49,6**	**58,0**
Τεξτινίτης-Α	0,0	0,3	0,0
Τεξτινίτης-Β	0,0	3,1	0,0
Ουλμινίτης-Α	23,1	20,8	38,7
Ουλμινίτης-Β	13,2	25,4	19,3
Ουλμινίτης	*36,3*	*46,2*	*58,0*
Δετροχουμινίτης	**43,9**	**39,3**	**26,4**
Αττρινίτης	14,1	14,8	6,3
Ντενζινίτης	29,7	24,5	20,2
Γελοχουμινίτης	**0,9**	**0,3**	**1,1**
Πορινγελινίτης	0,3	0,0	0,0
Λεβιγελινίτης	0,0	0,0	0,0
Κορποχουμινίτης	0,6	0,3	1,1
ΣΥΝΟΛΟ	**81,1**	**89,2**	**85,6**
ΛΕΙΠΤΙΝΙΤΗΣ			
Σπορινίτης	5,4	0,8	5,7
Κουτινίτης	1,8	0,0	1,9
Ρεζινίτης	2,1	0,3	0,3
Σουμπερινίτης	0,3	0,0	0,0
Αλγινίτης	7,8	8,3	6,0
Λειπτοδετρινίτης	0,0	0,3	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**17,4**	**9,7**	**13,9**
ΙΝΕΡΤΙΝΙΗΣ			
Φουσινίτης	0,0	1,1	0,5
Φουνγκινίτης	1,5	0,0	0,0
Ινερτοδετρινίτης	0,0	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	**1,5**	**1,1**	**0,5**
ΟΡΥΚΤΑ			
Αργιλικά ορυκτά	10,7	13,3	7,2
Σιδηροπυρίτης	1,4	0,4	1,7
Ανθρακικά	2,8	0,2	2,0
Διάφορα	0,2	0,4	0,2
ΣΥΝΟΛΟ	**15,1**	**14,2**	**11,0**
TPI	1,0	1,6	2,6
GI	5,3	4,4	13,3
VI	1,1	1,3	2,3
GWI	1,3	0,9	0,6

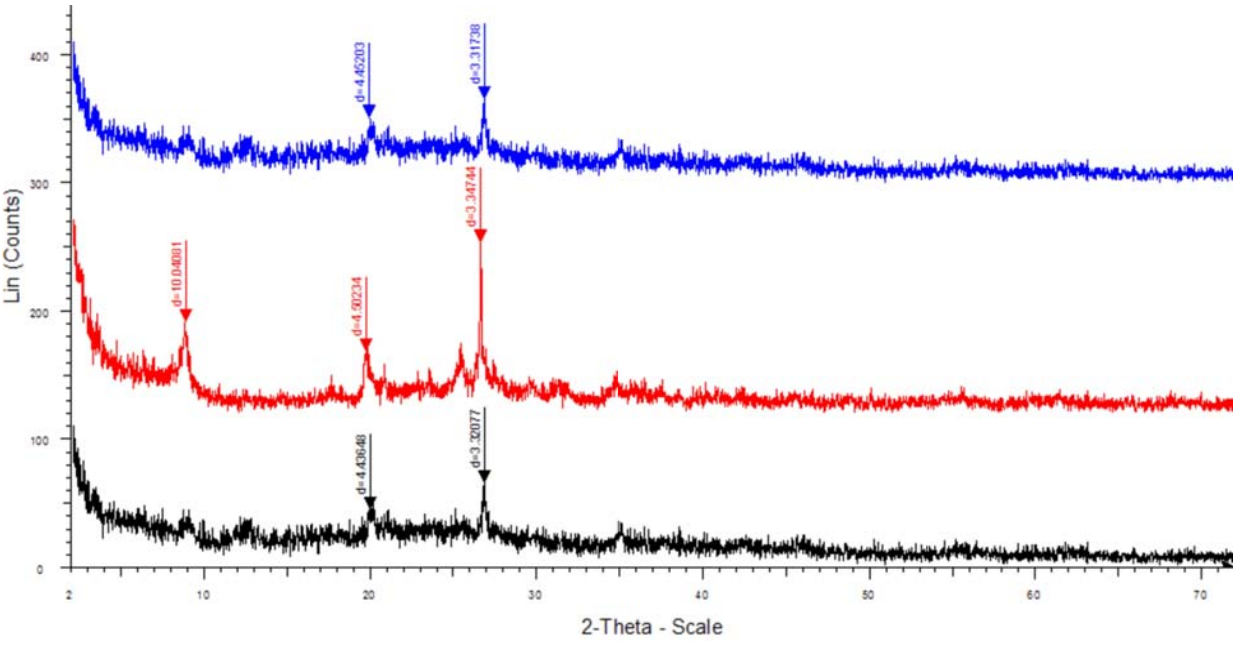
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ XRD

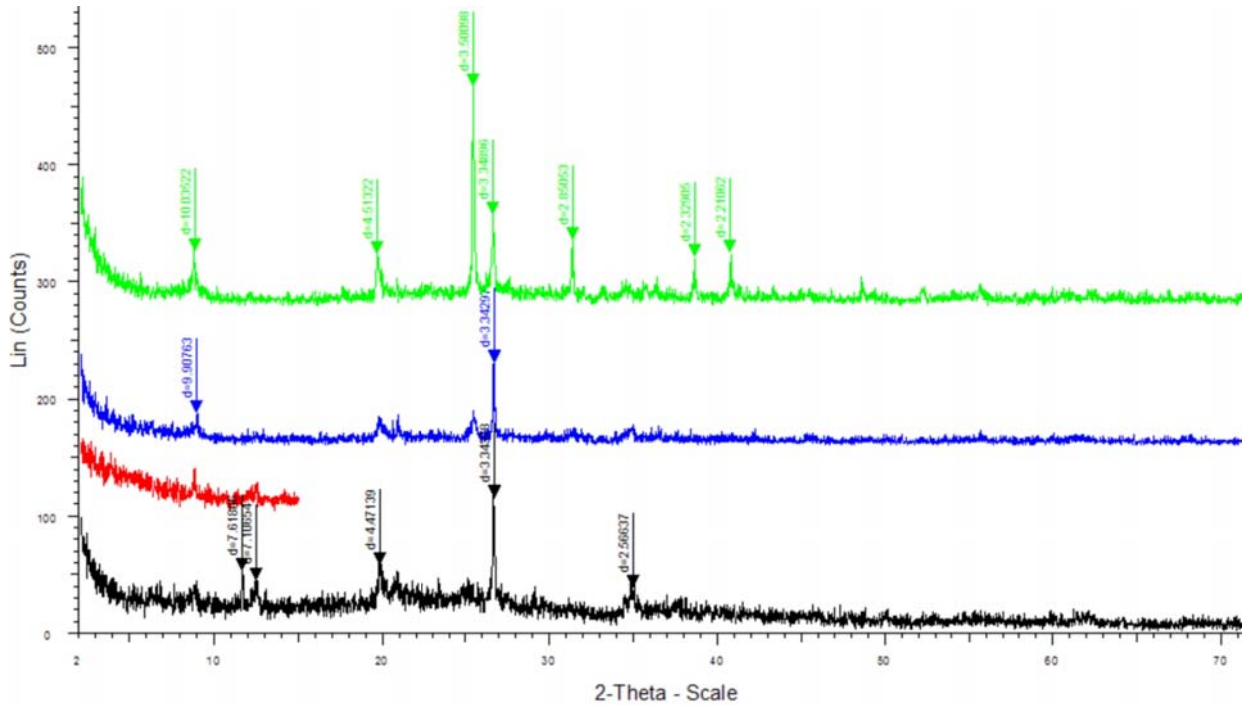
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: Α0
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη.



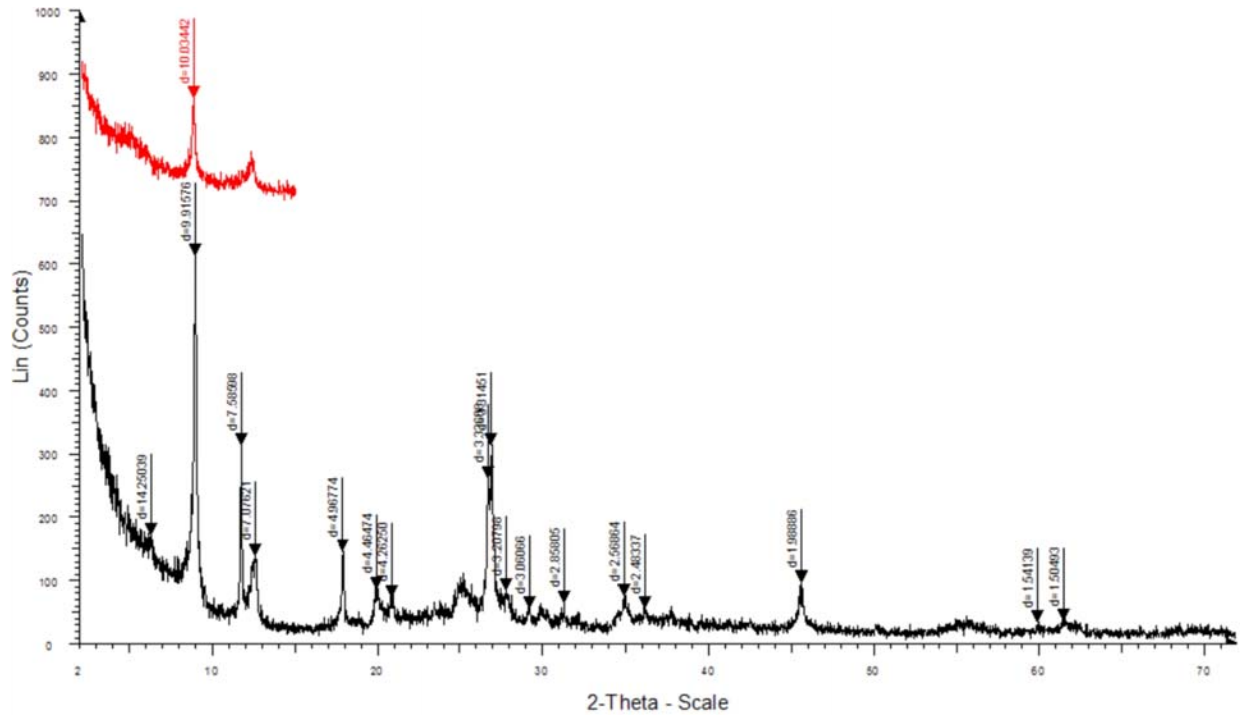
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: Α1
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: 500 ^{o}C, μπλε: τέφρα.



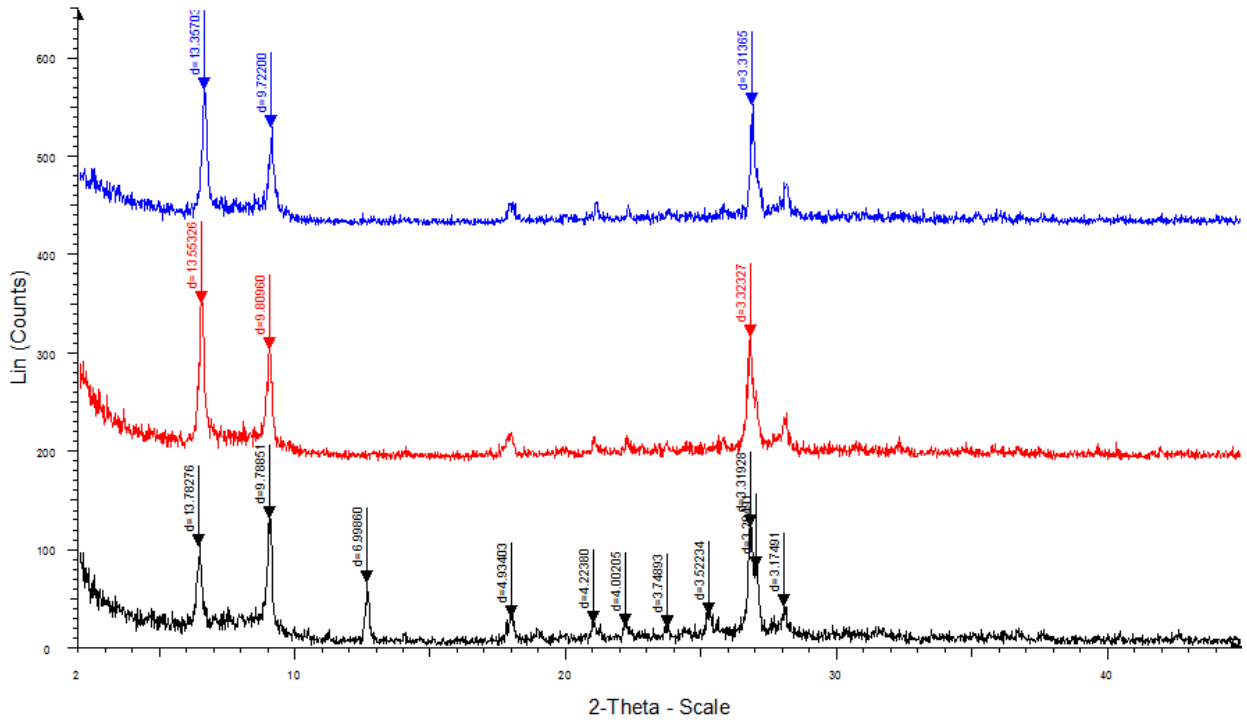
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: Α2
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη, μπλε: 500 ^{o}C, πράσινο: τέφρα.



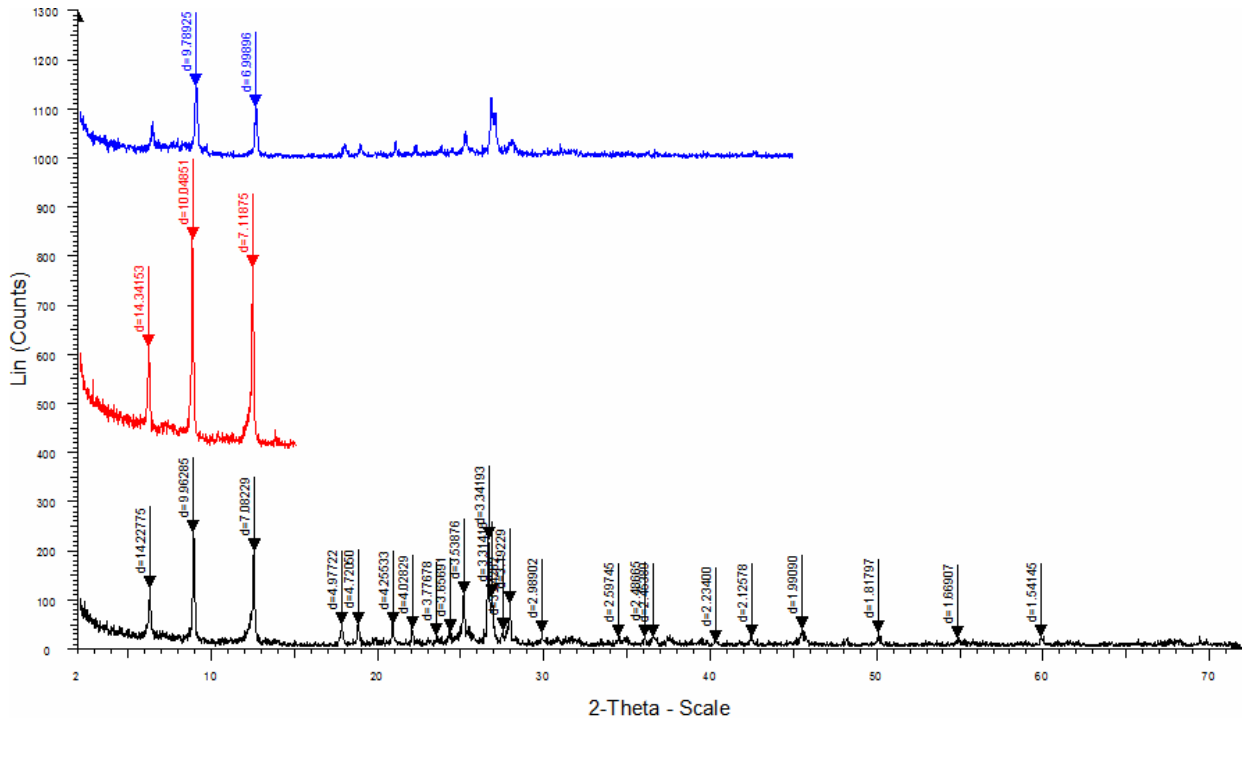
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: Α3
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη .



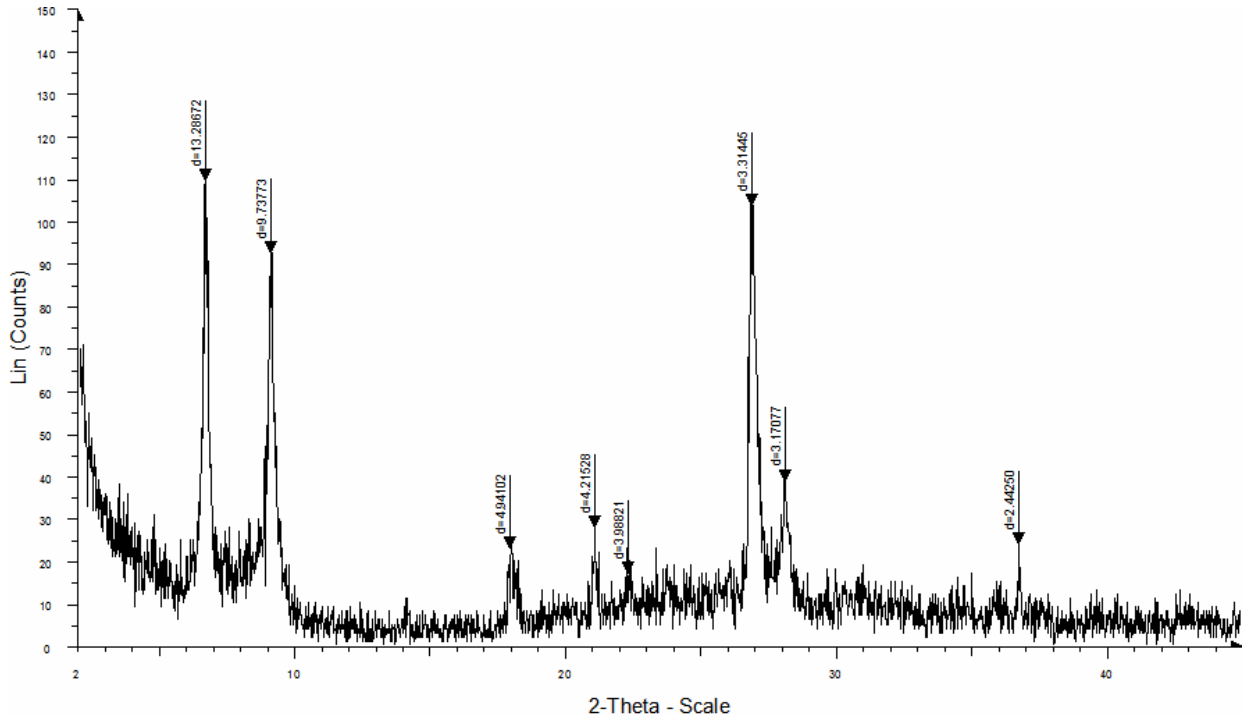
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: Α9α
Μαύρο: 550 °C, κόκκινο: 600 °C, μπλε: 650 °C.



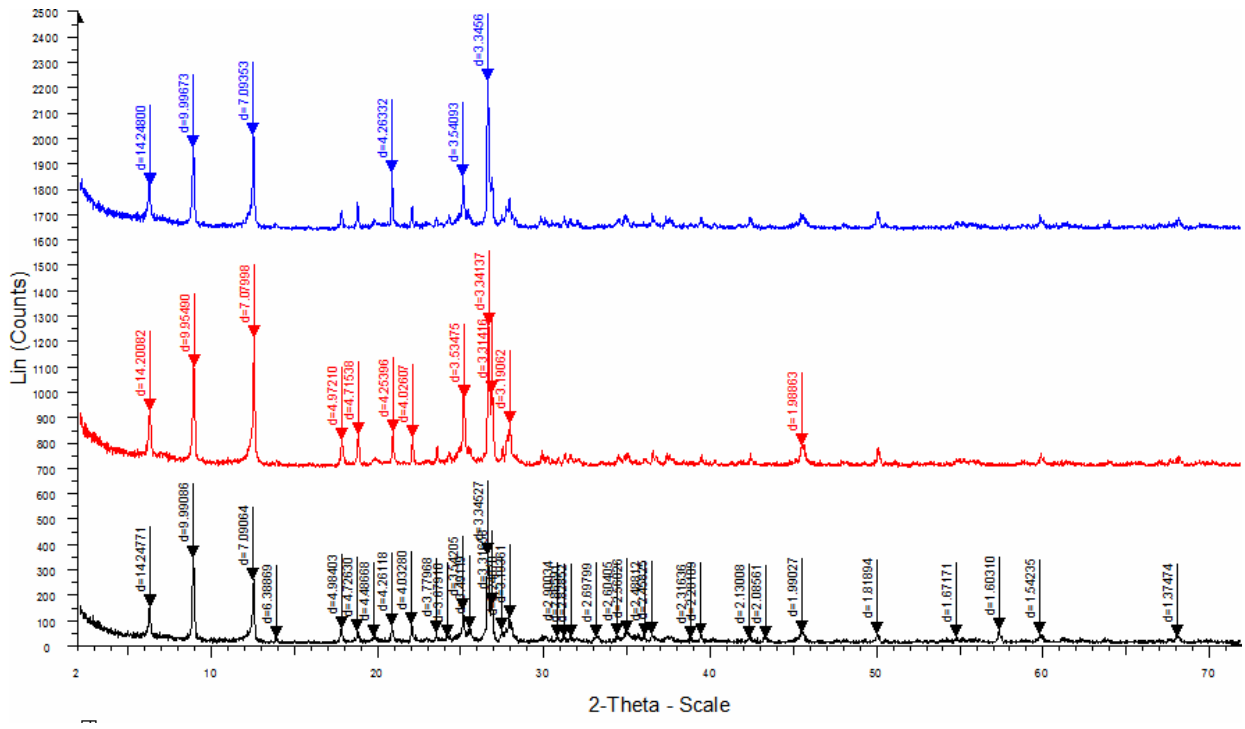
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: Α9α
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη, μπλε: 500 °C.



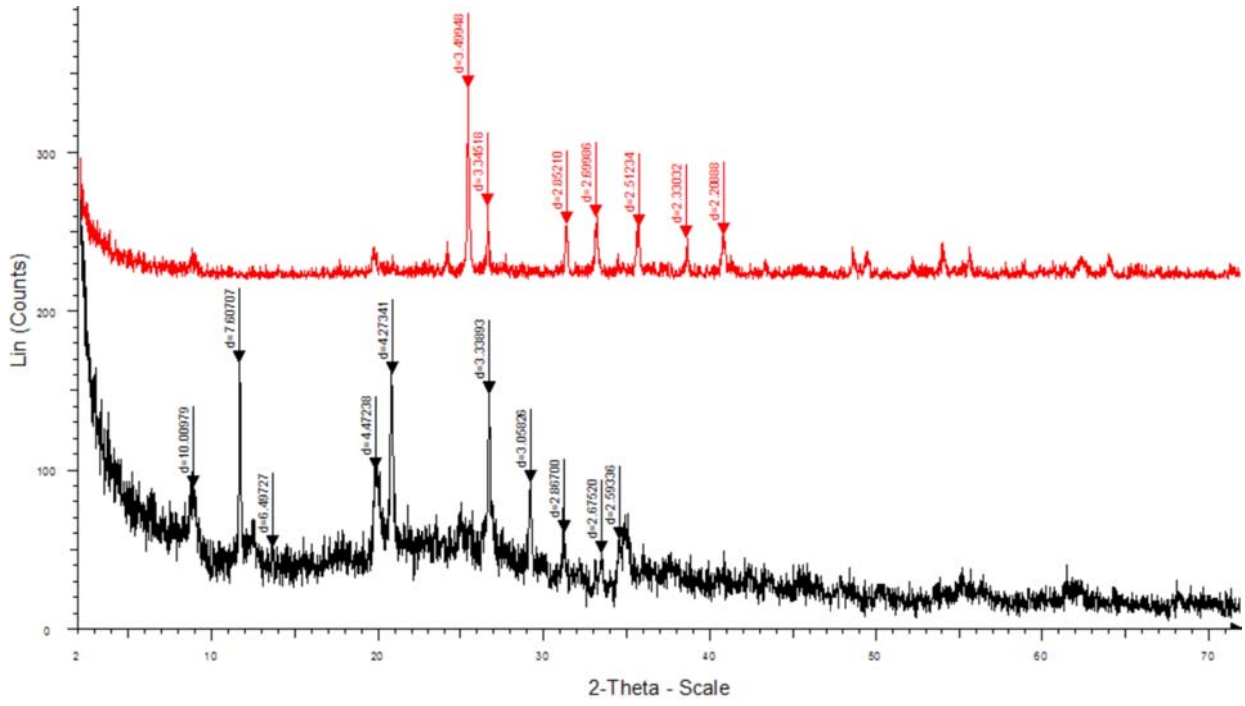
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: Α9a
500 ^{o}C.



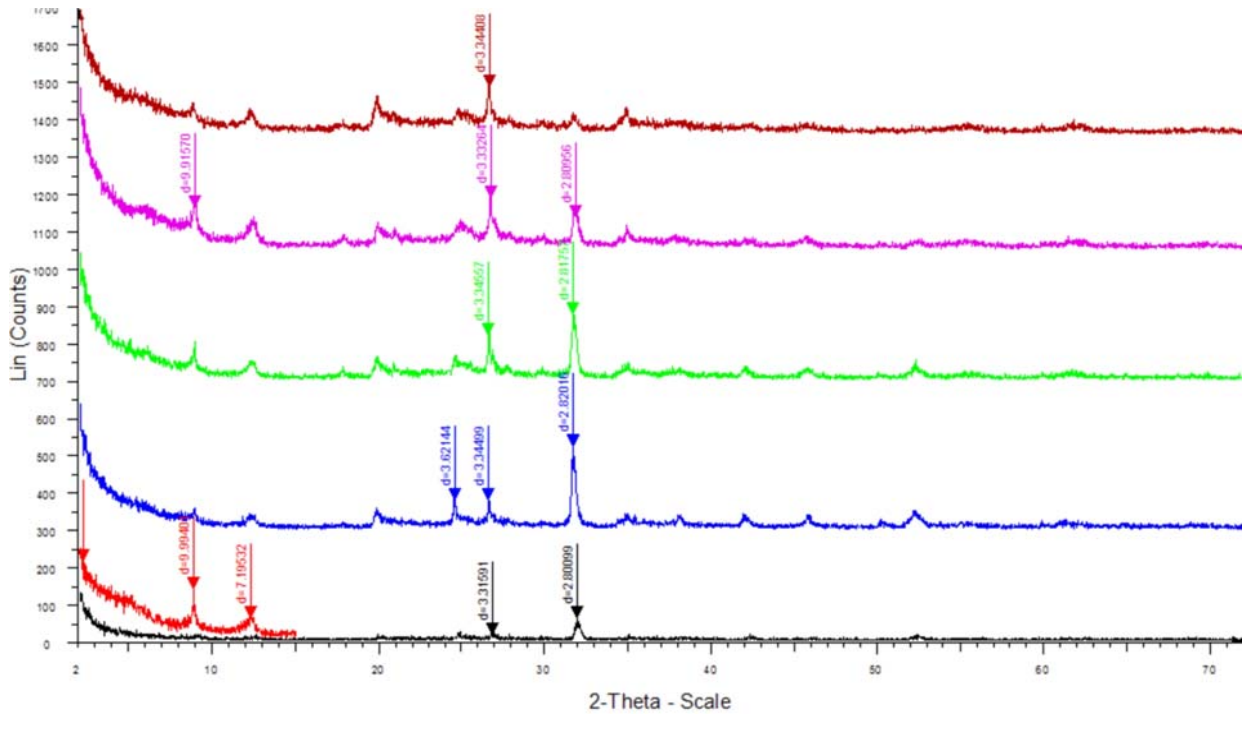
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: Α9α
Μαύρο: 1Ampere, κόκκινο: 2,5Ampere, μπλε: 5,5Ampere.



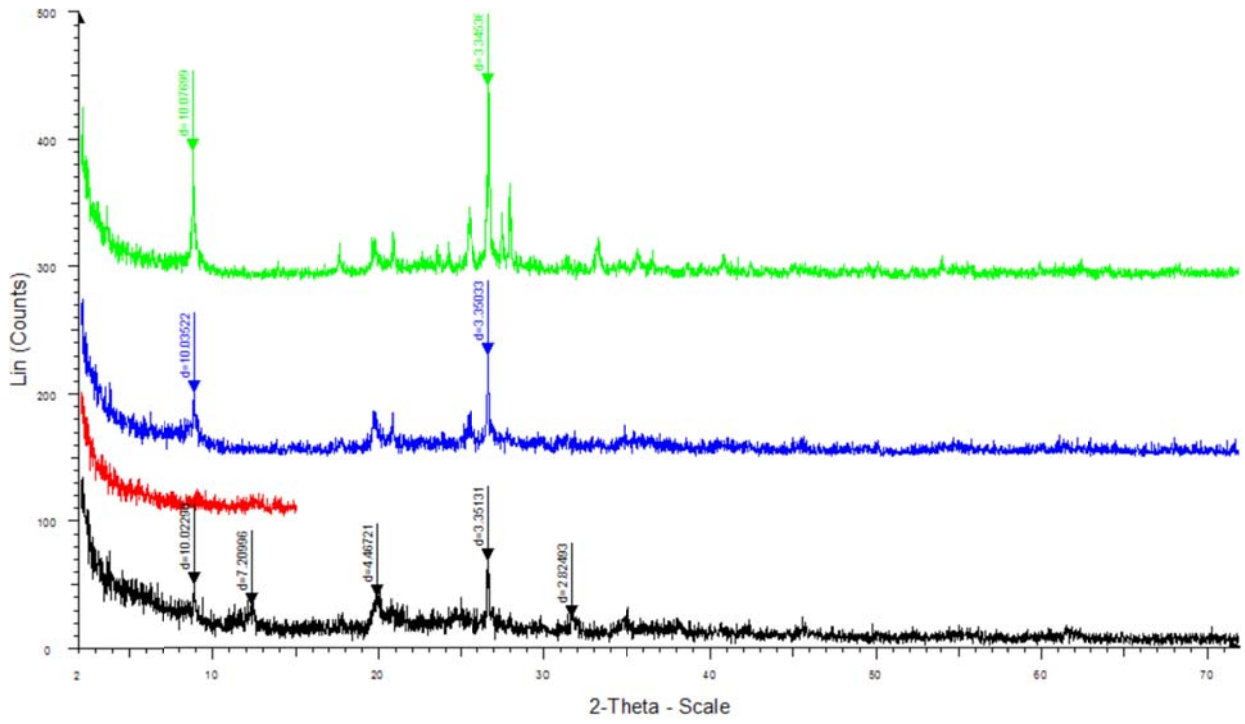
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: Α10
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: τέφρα.



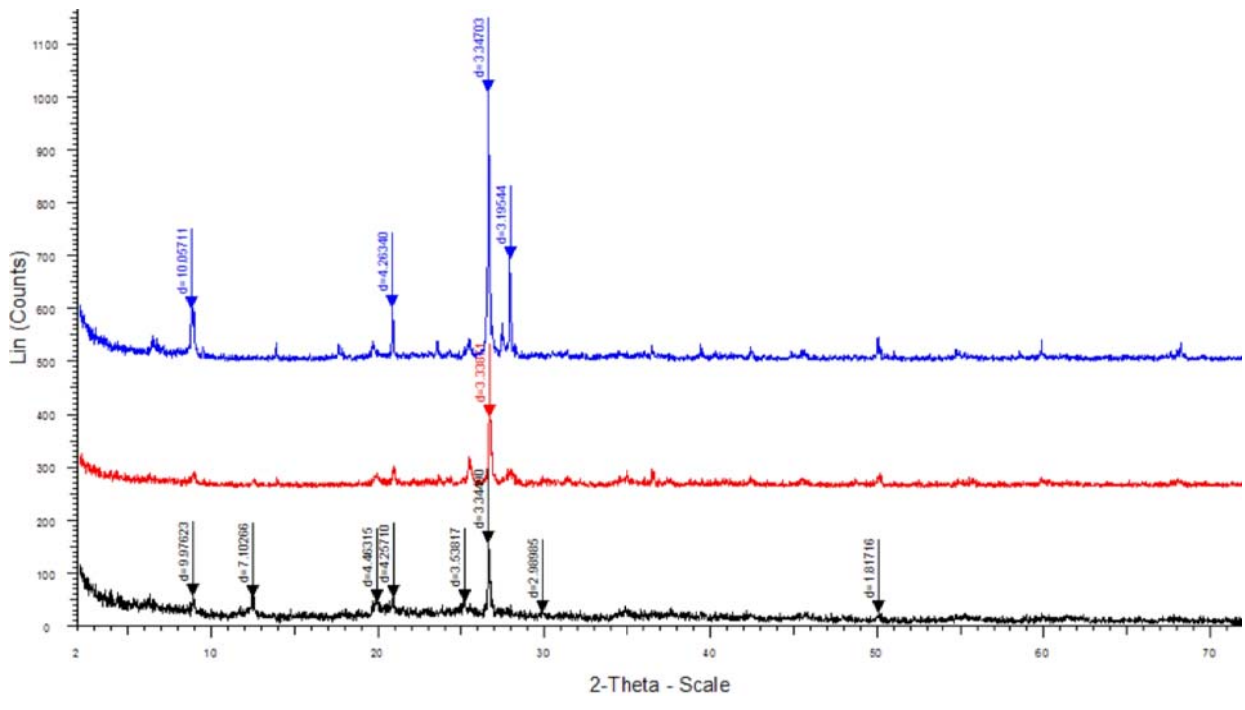
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: Α13
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη, μπλε: 1Ampere, πράσινο: 2,5Ampere, μοβ: 4Ampere, καφέ: 5,5Ampere.



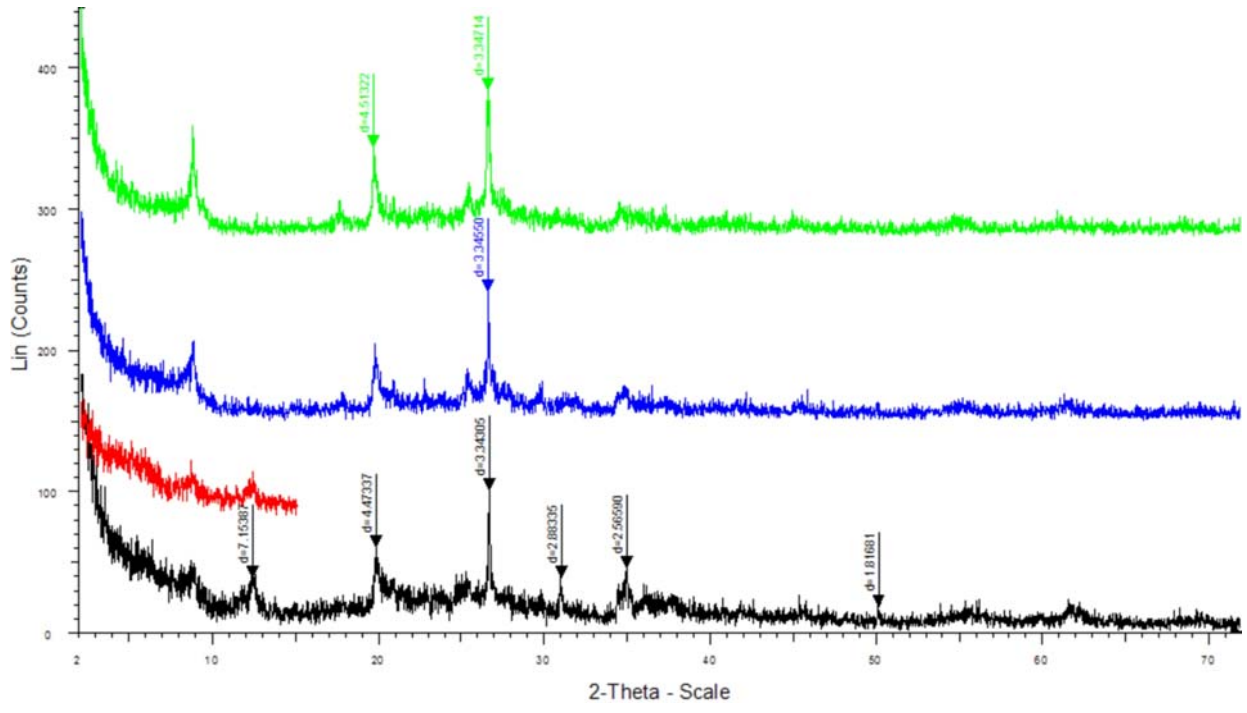
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: Α14
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη, μπλε: 500 ^{o}C, πράσινο: τέφρα.



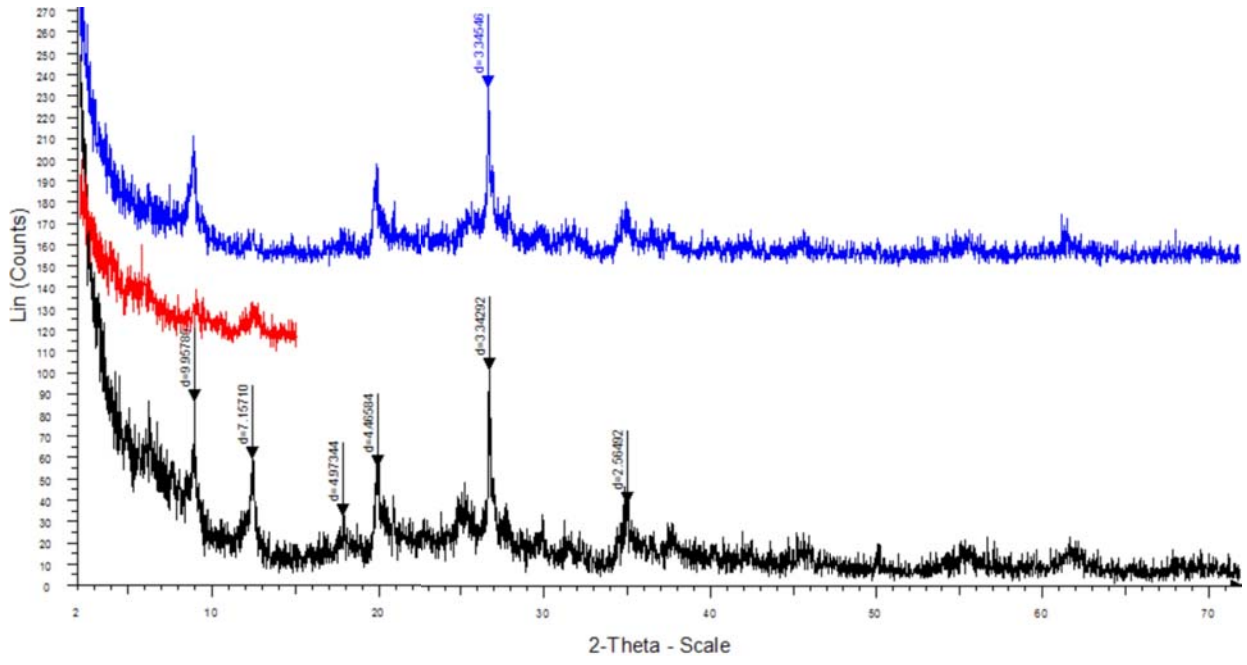
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: Α18
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: 500 ^{o}C, μπλε: τέφρα.



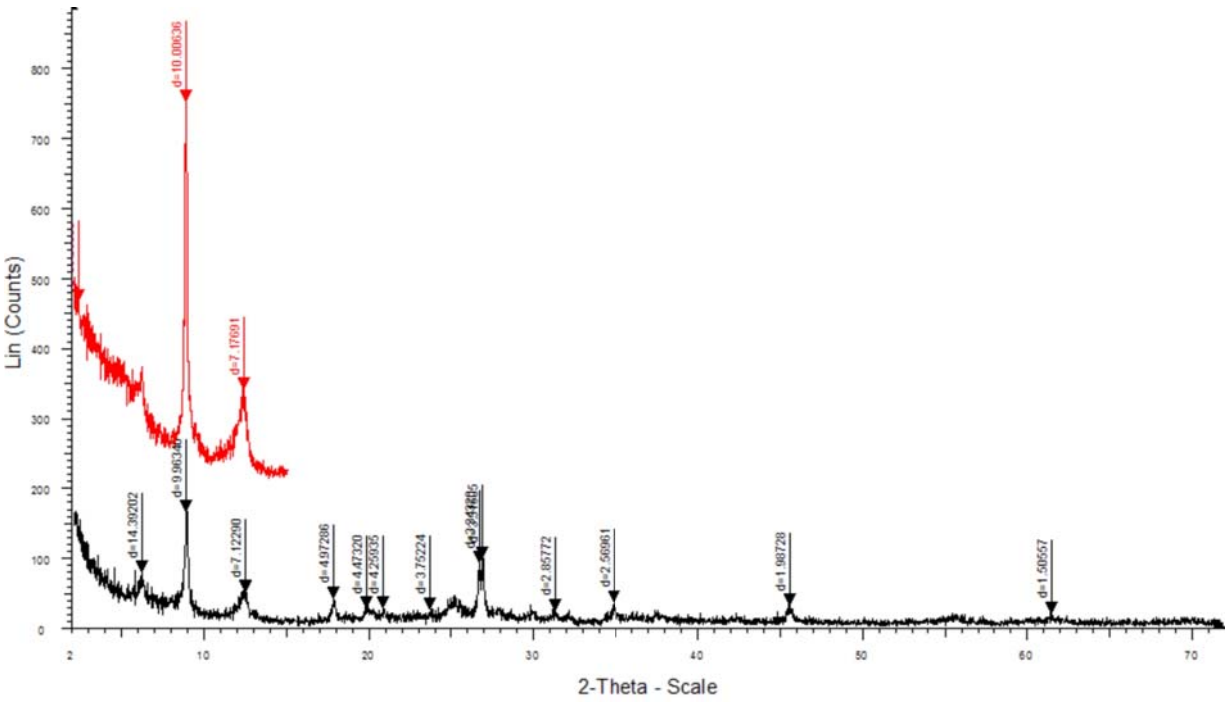
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: Α24
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη, μπλε: 500 ^{o}C, πράσινο: τέφρα.



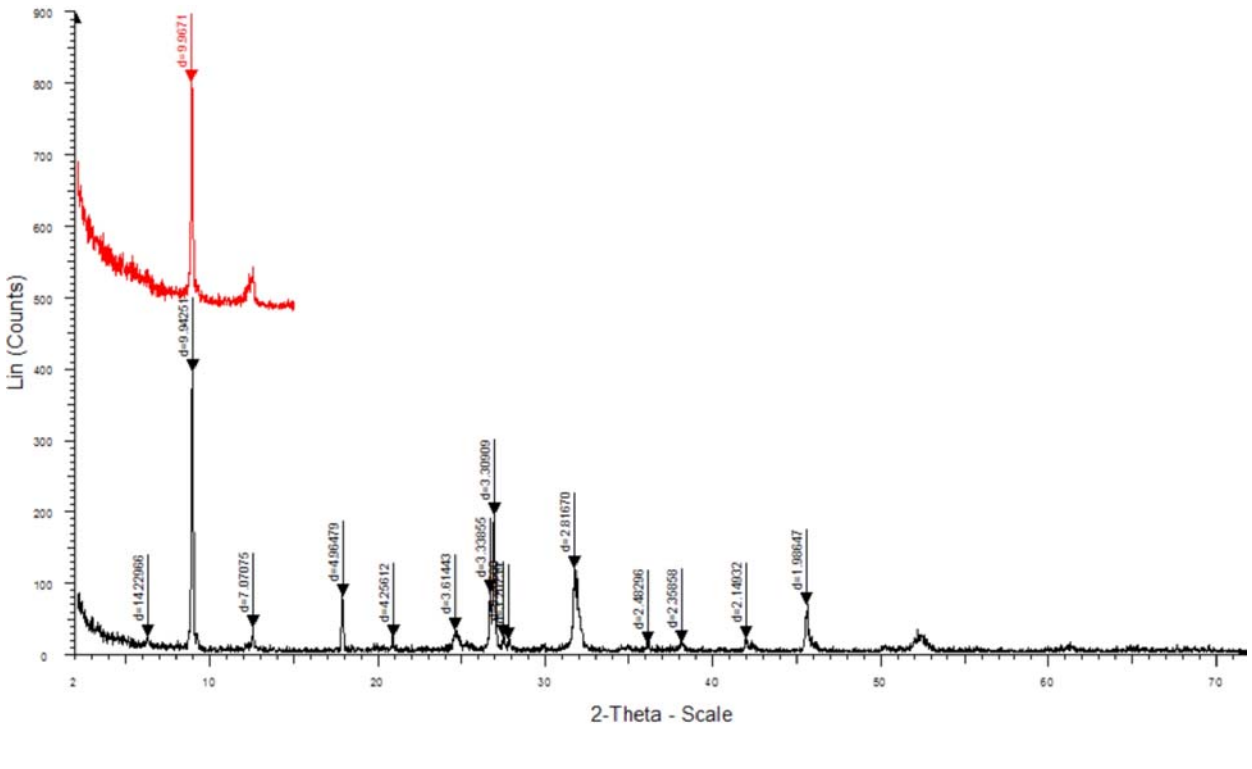
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: Α26
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη, μπλε: 500 ^{o}C.



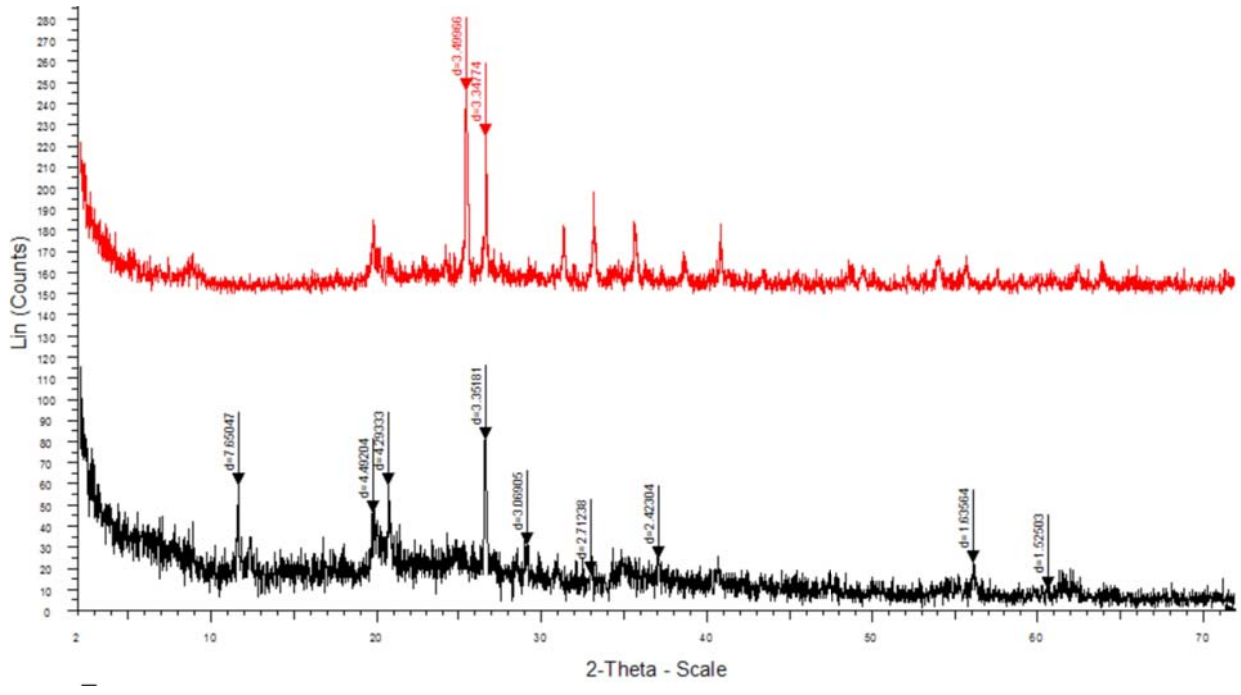
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: Α27
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη.



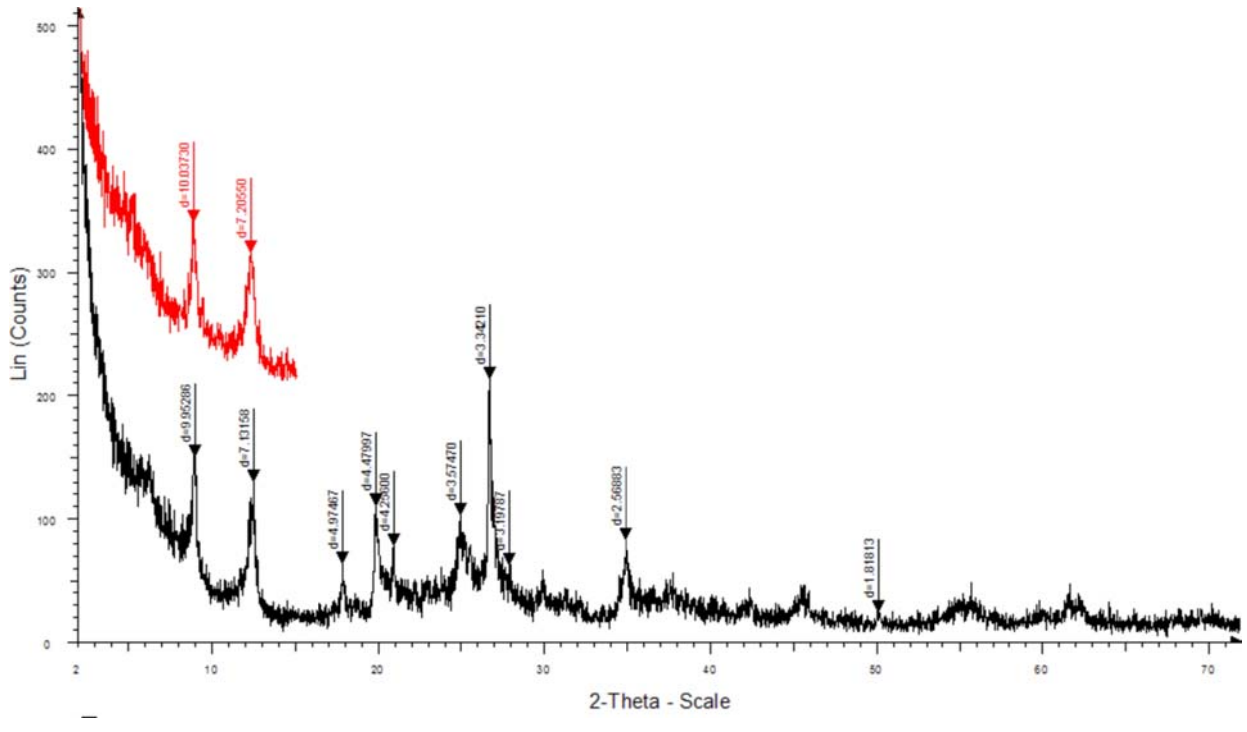
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: Α35
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη.



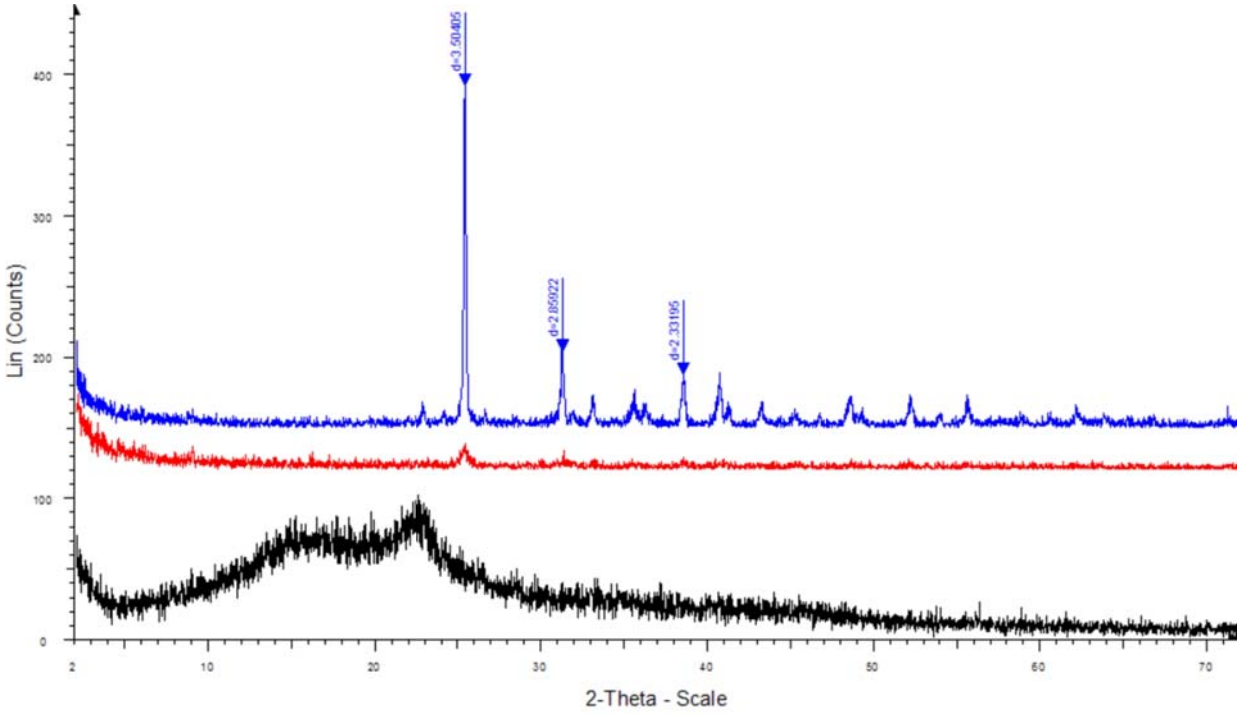
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: B3a
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: τέφρα.



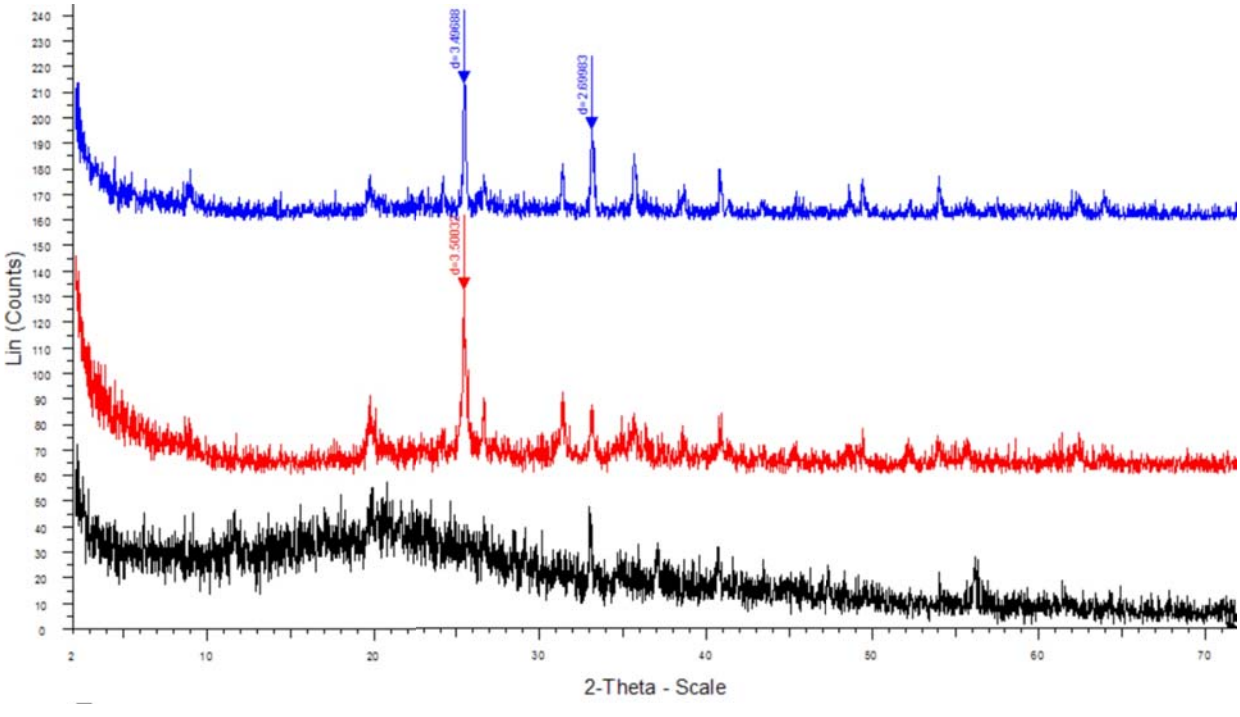
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: B5a
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη.



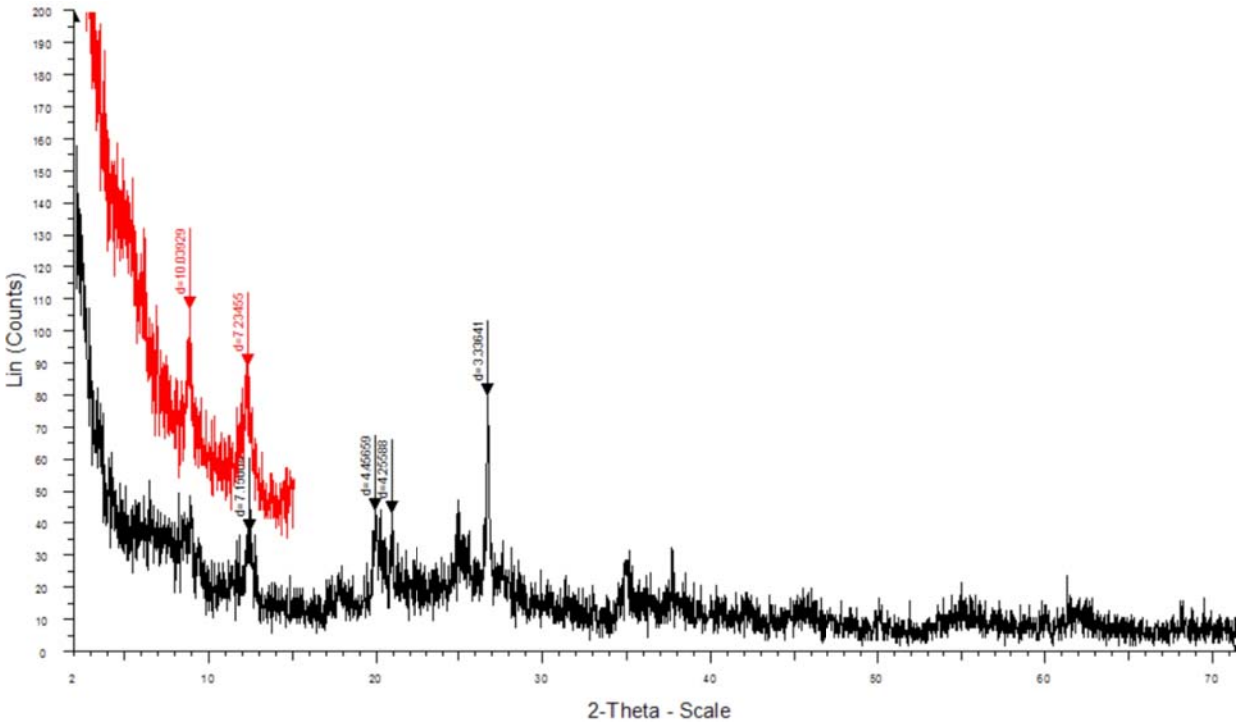
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: B6x
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: 500 ^{o}C, μπλε: τέφρα.



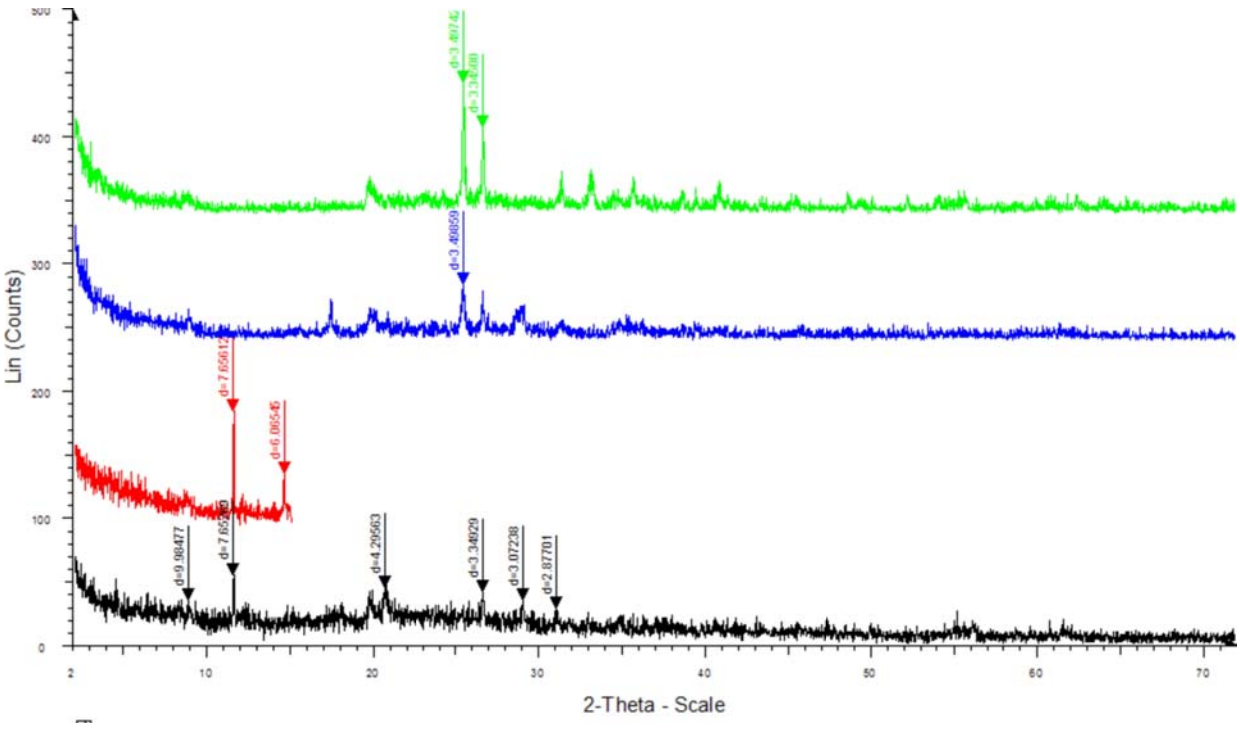
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: B15
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: 500 ^{o}C, μπλε: τέφρα.



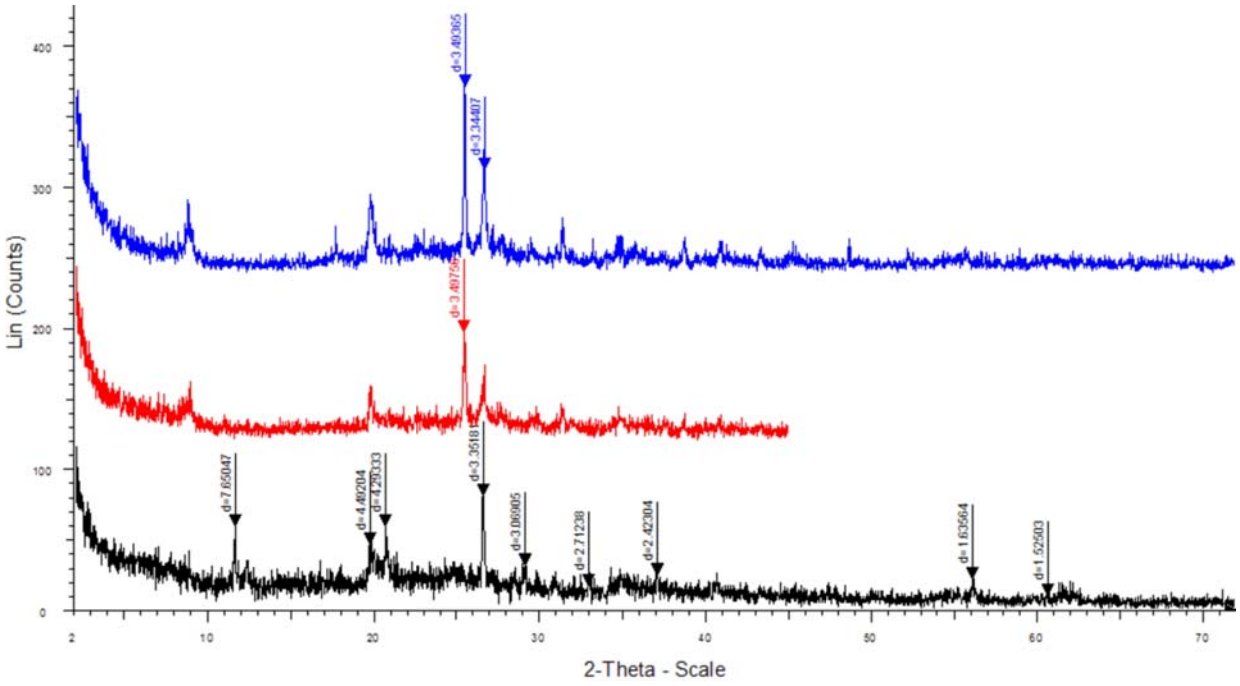
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: B16
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη .



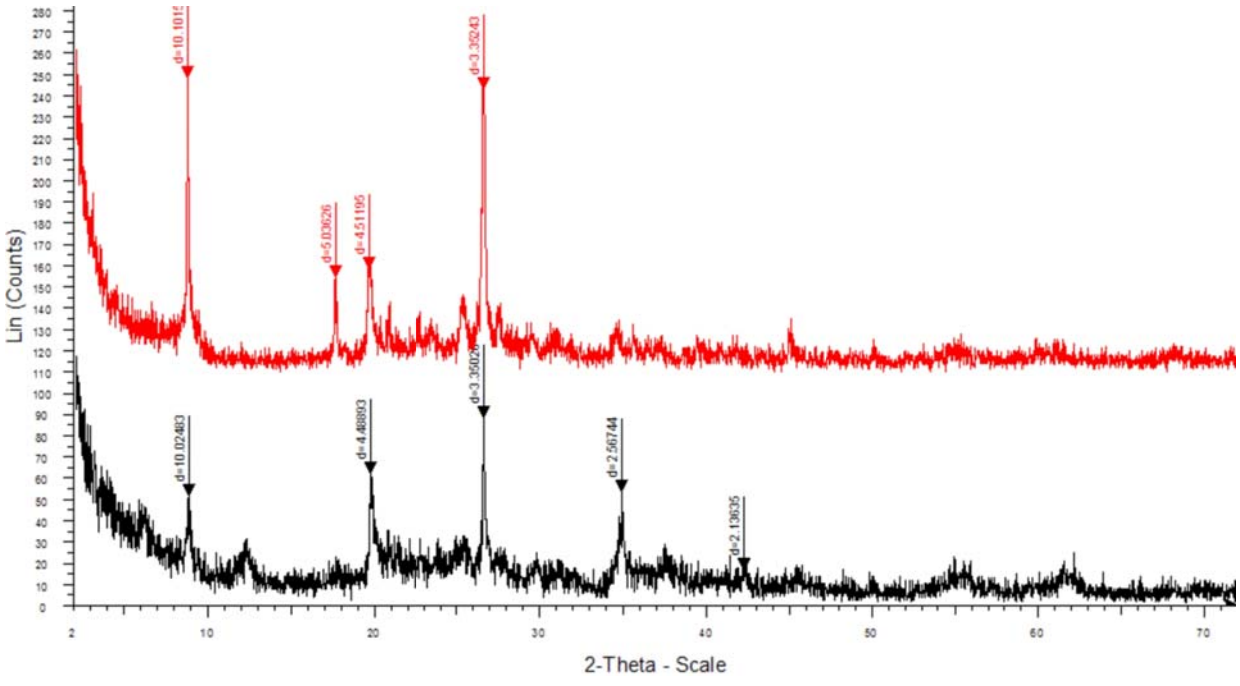
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: C2
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη, μπλε: 500 ^{o}C, πράσινο: τέφρα.



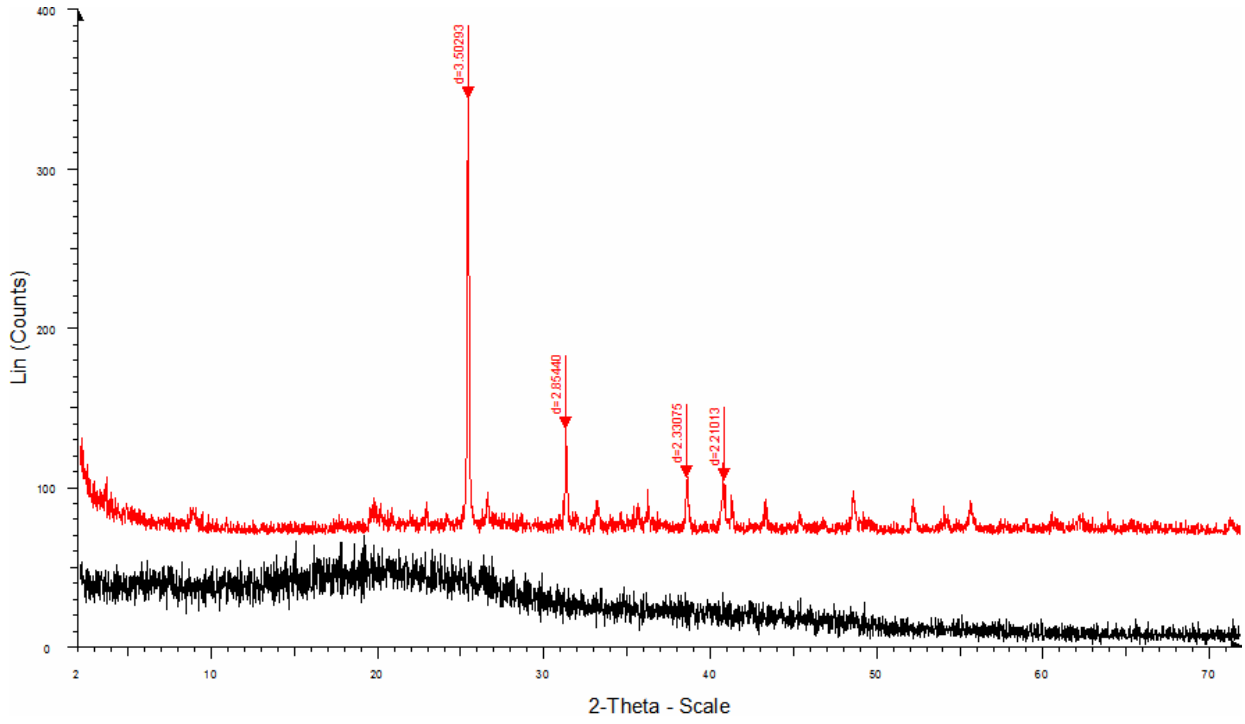
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: C4
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: 500 ^{o}C, μπλε: τέφρα.



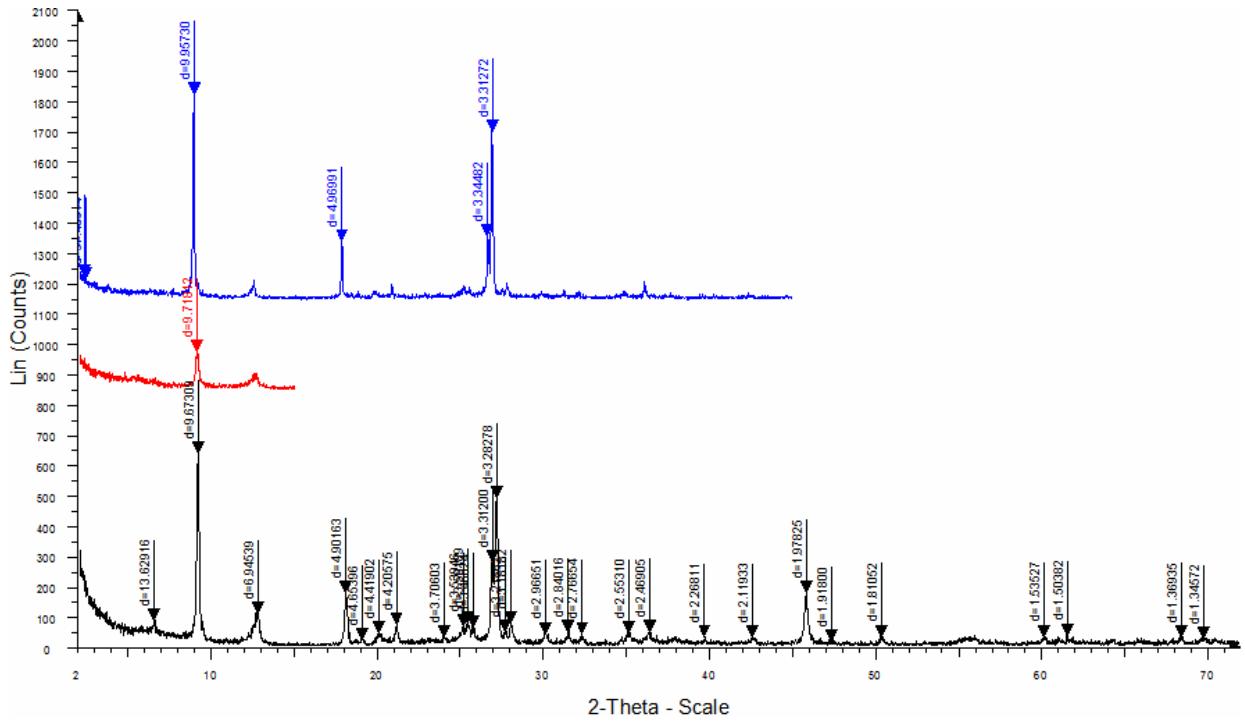
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: C13
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: τέφρα.



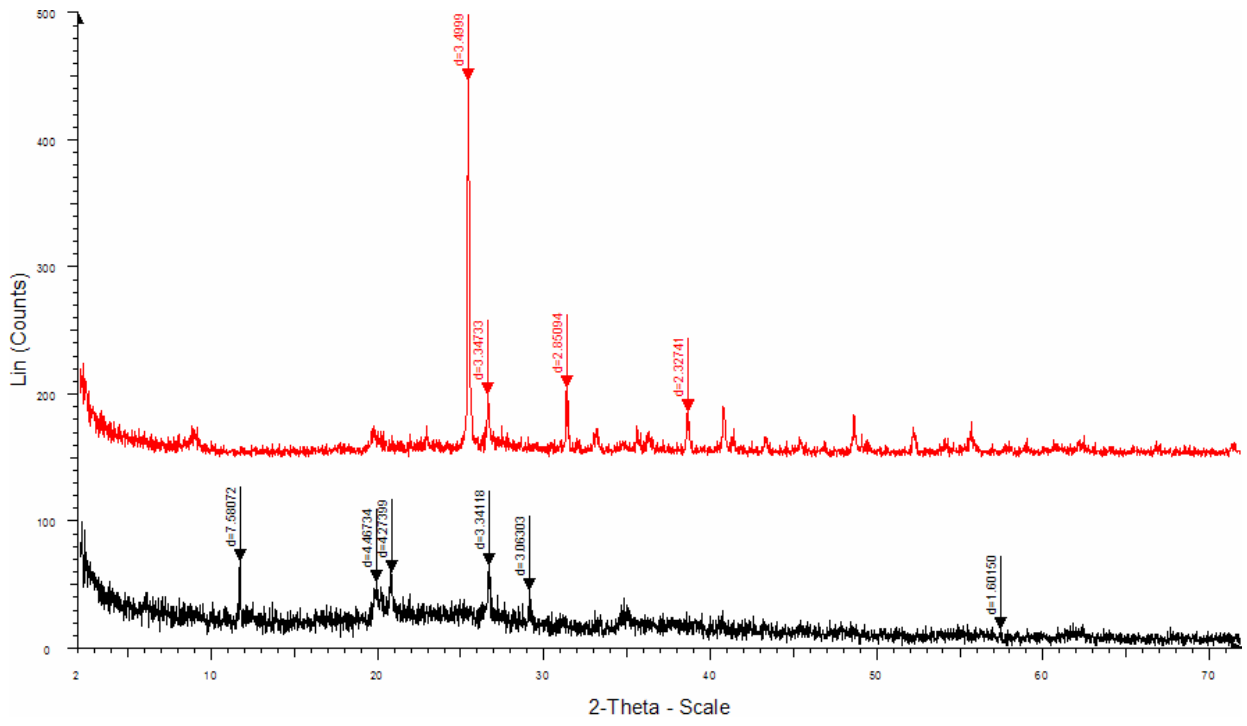
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: C19
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: τέφρα.



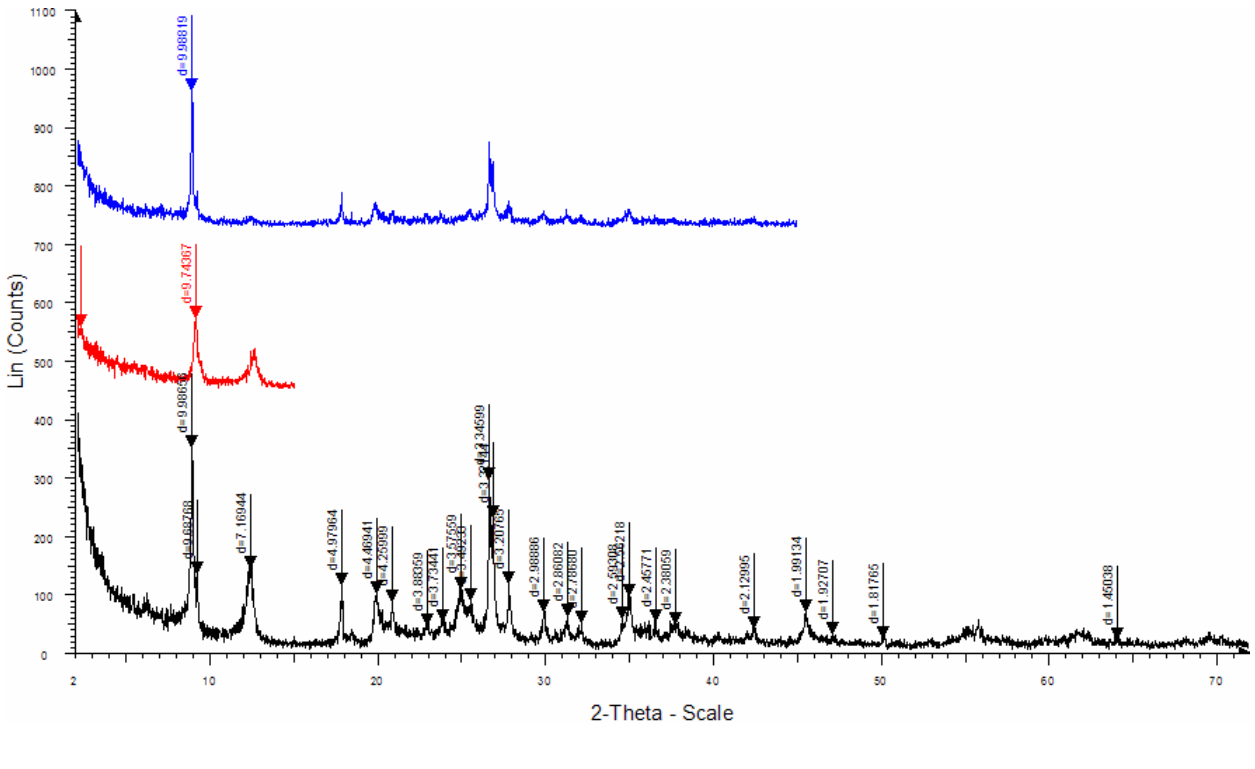
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: C28
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη, μπλε: 500 °.



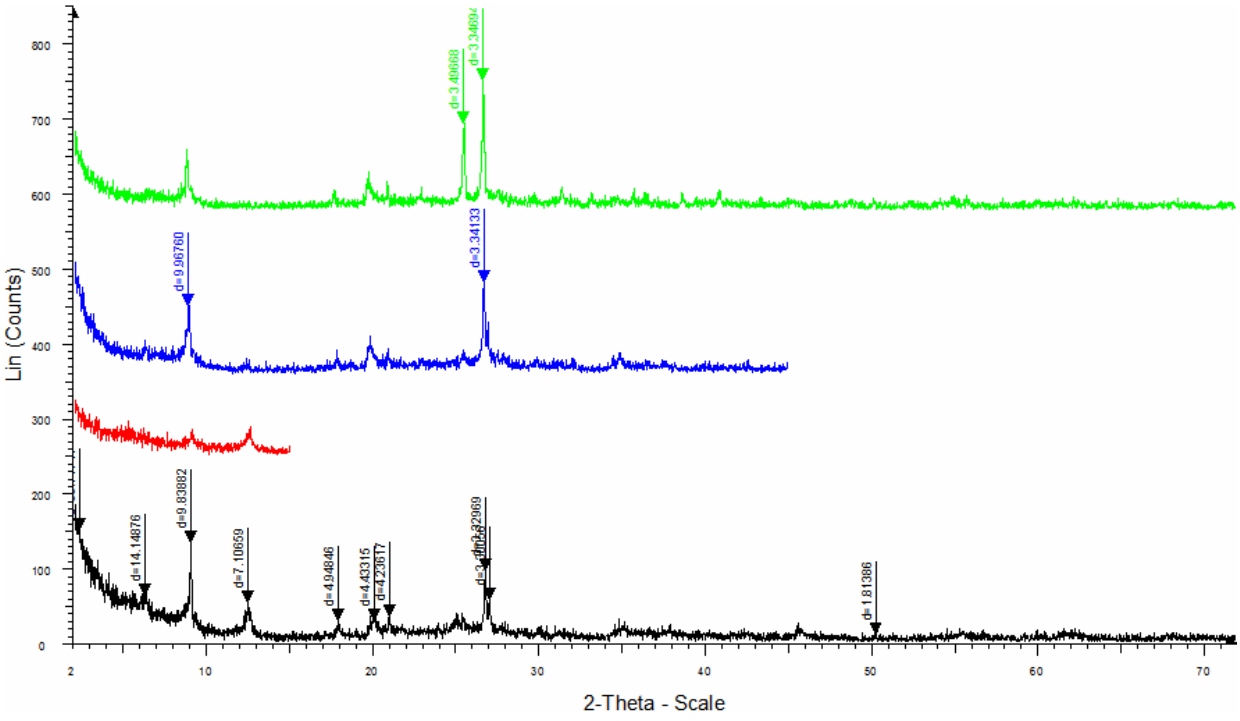
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: C30
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: τέφρα.



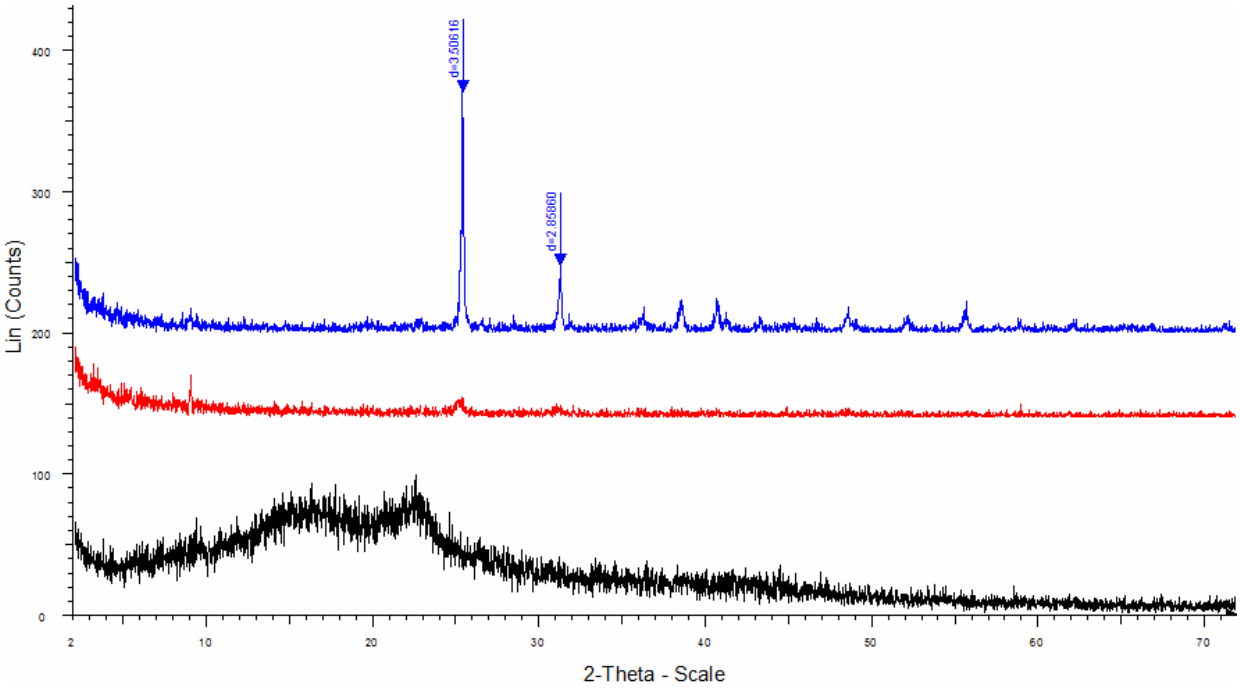
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: C38
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη, μπλε: 500 ^{o}C.



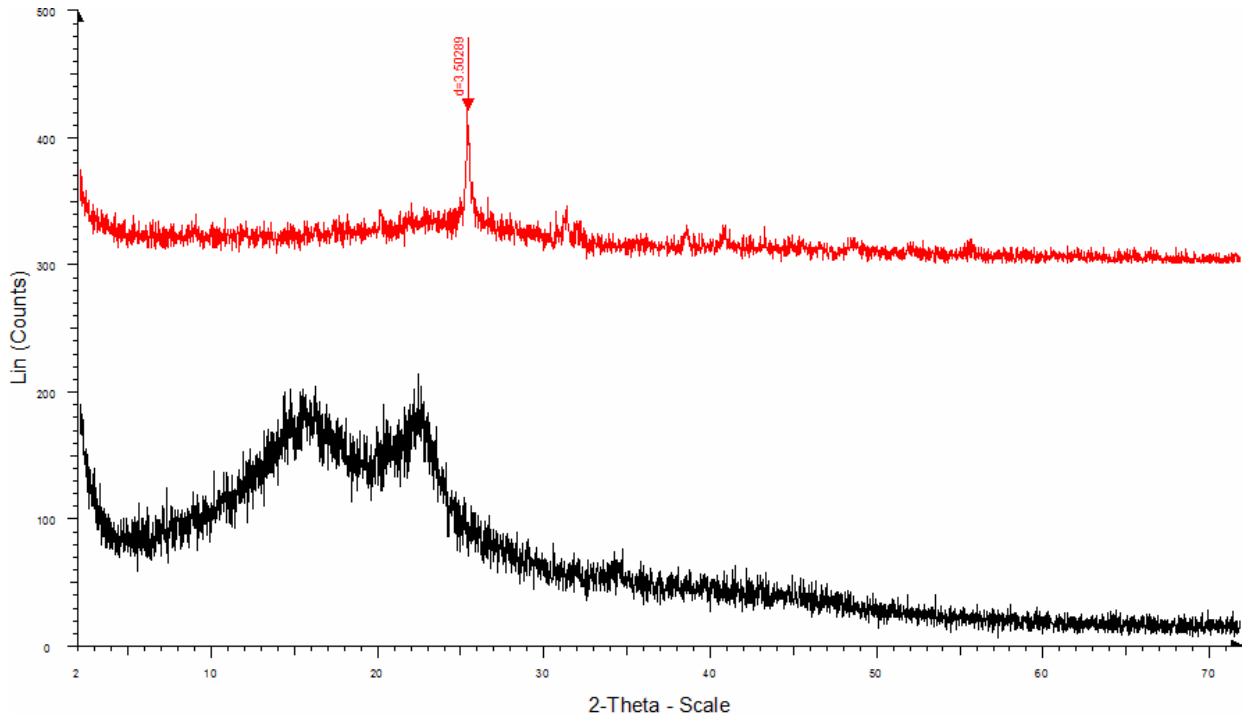
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: C55
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη, μπλε: 500 ^{o}C, πράσινο τέφρα.



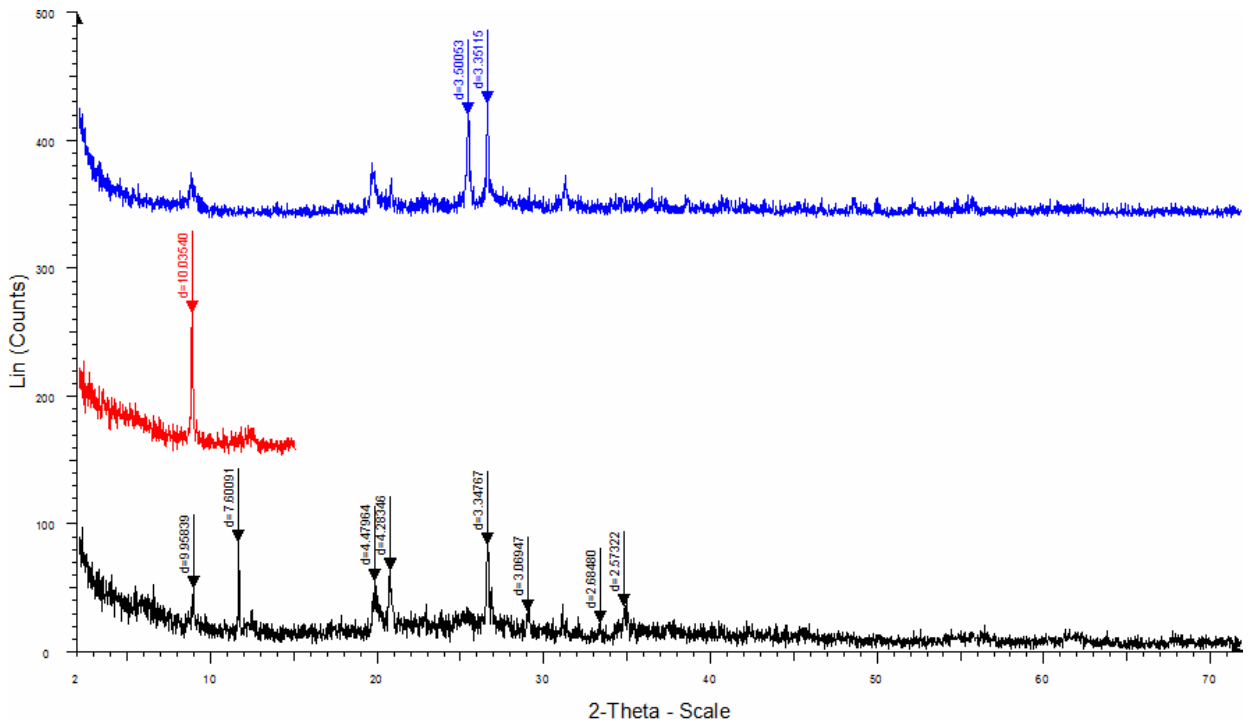
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: C59
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: 500 ^{o}C, μπλε: τέφρα.



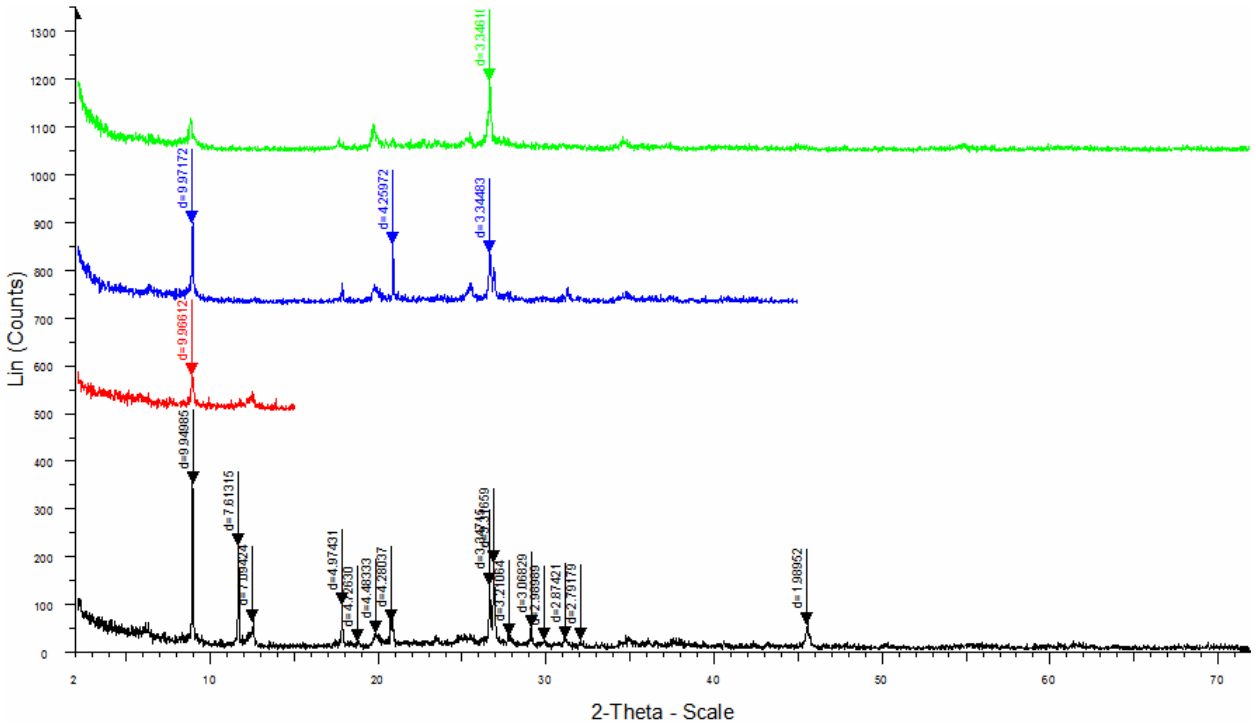
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: C61
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: 500 °C.



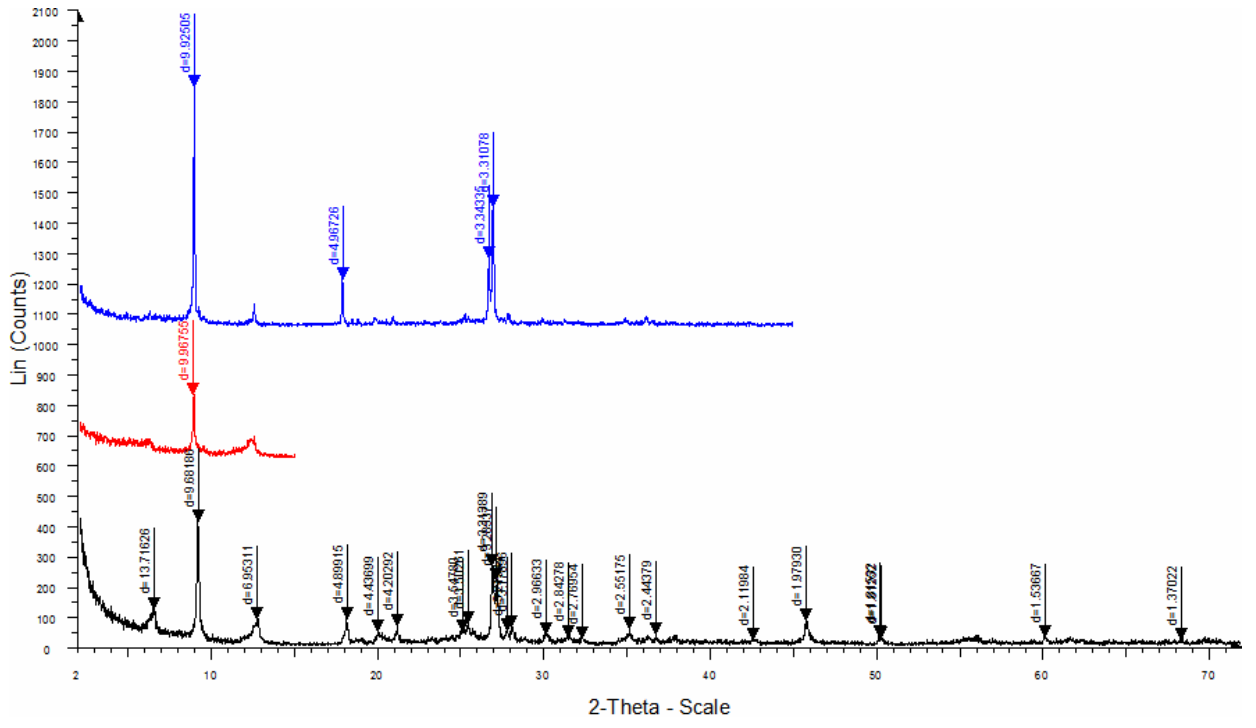
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: C63
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη, μπλε: τέφρα.



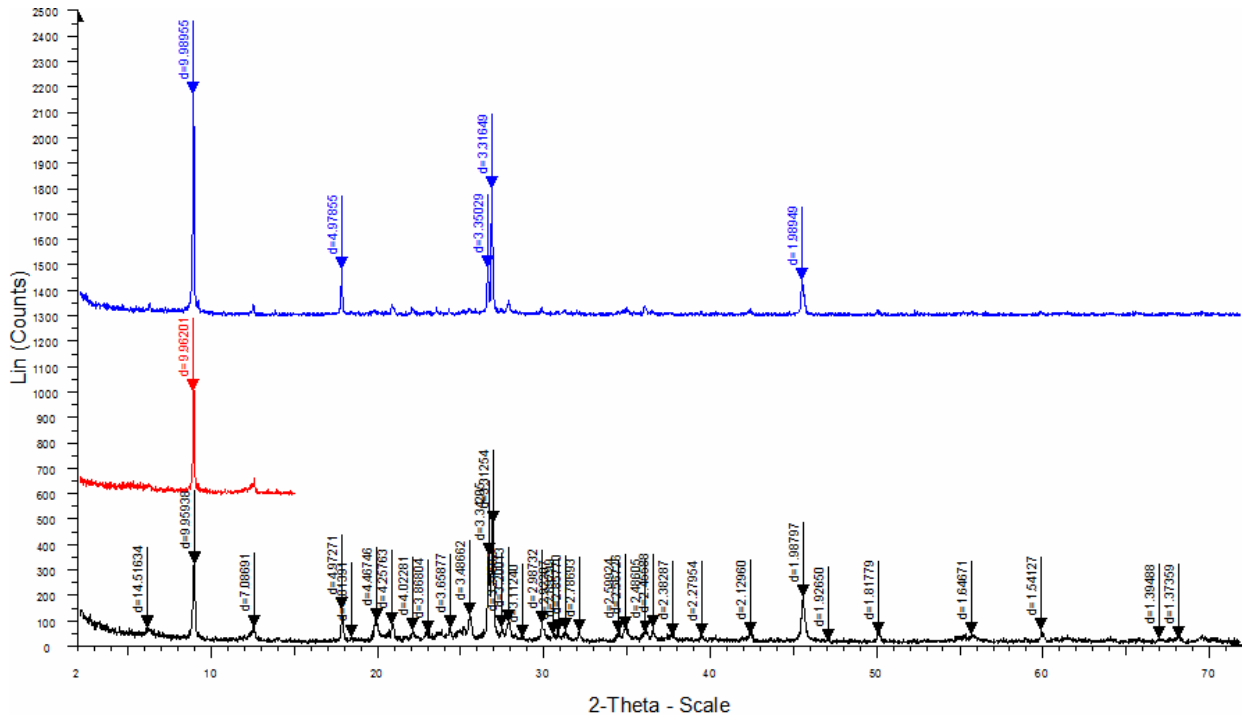
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: C73
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη, μπλε: 500 ^{o}C, πράσινο: τέφρα.



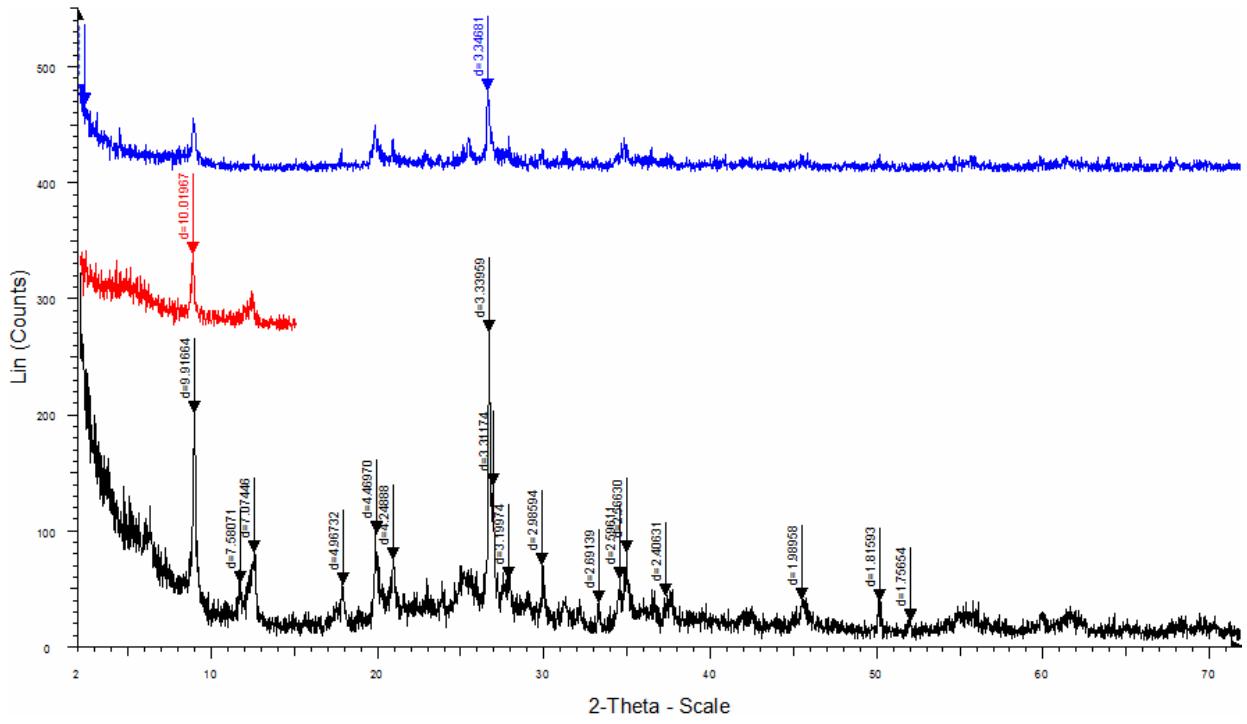
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: C88
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη, μπλε: 500 ^{o}.



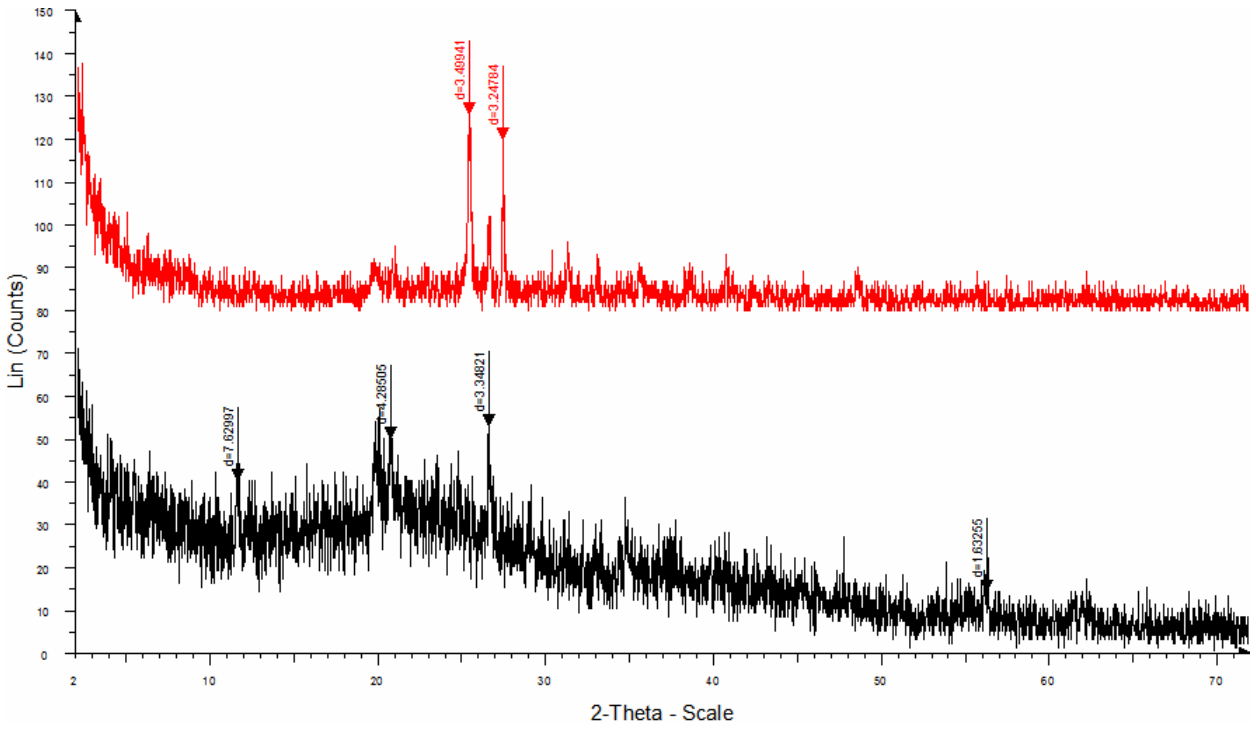
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: D1
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη, μπλε: 500 °.



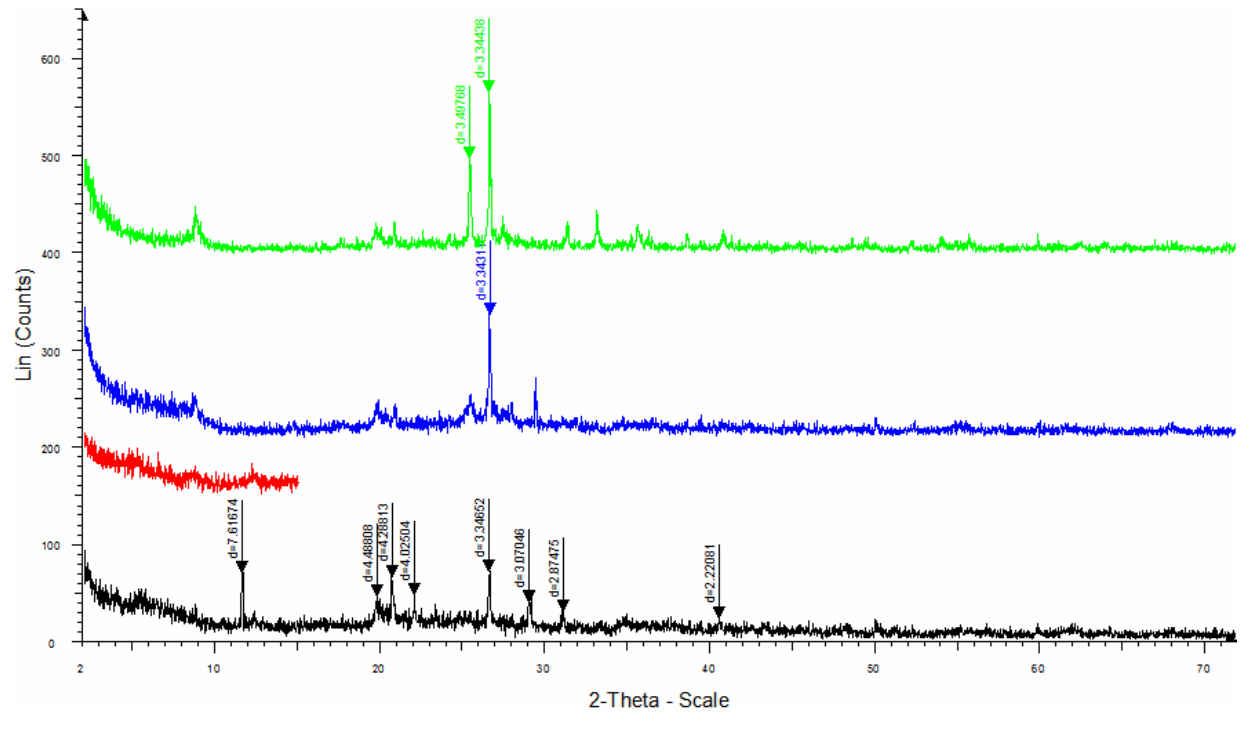
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: D7
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη, μπλε: 500 °.



Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: D19
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: τέφρα.



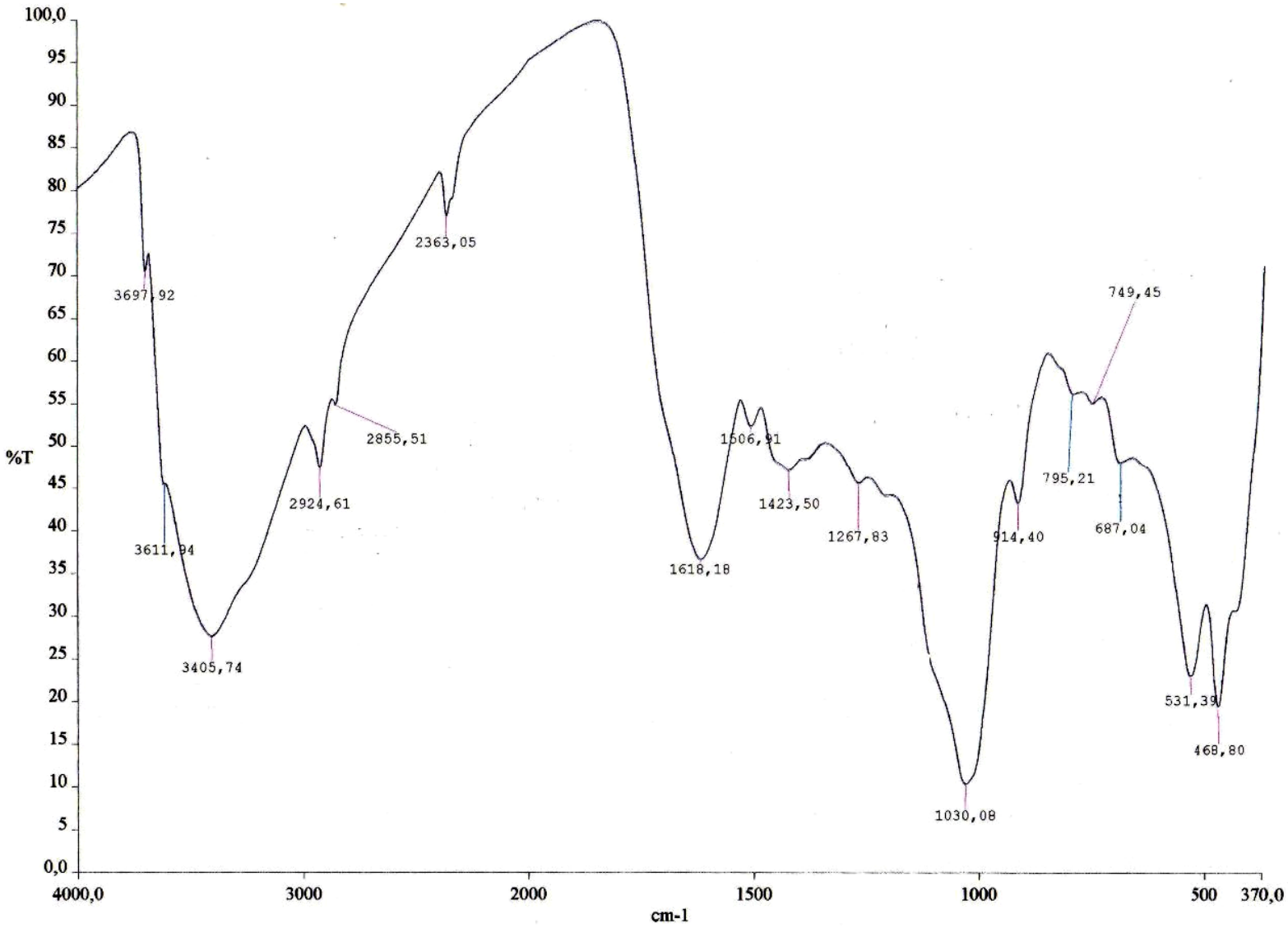
Διάγραμμα *XRD*
Αριθμός δείγματος: D23
Μαύρο: ως έχει, κόκκινο: αιθυλενογλυκόλη, μπλε: 500 ^{o}C, πράσινο: τέφρα.



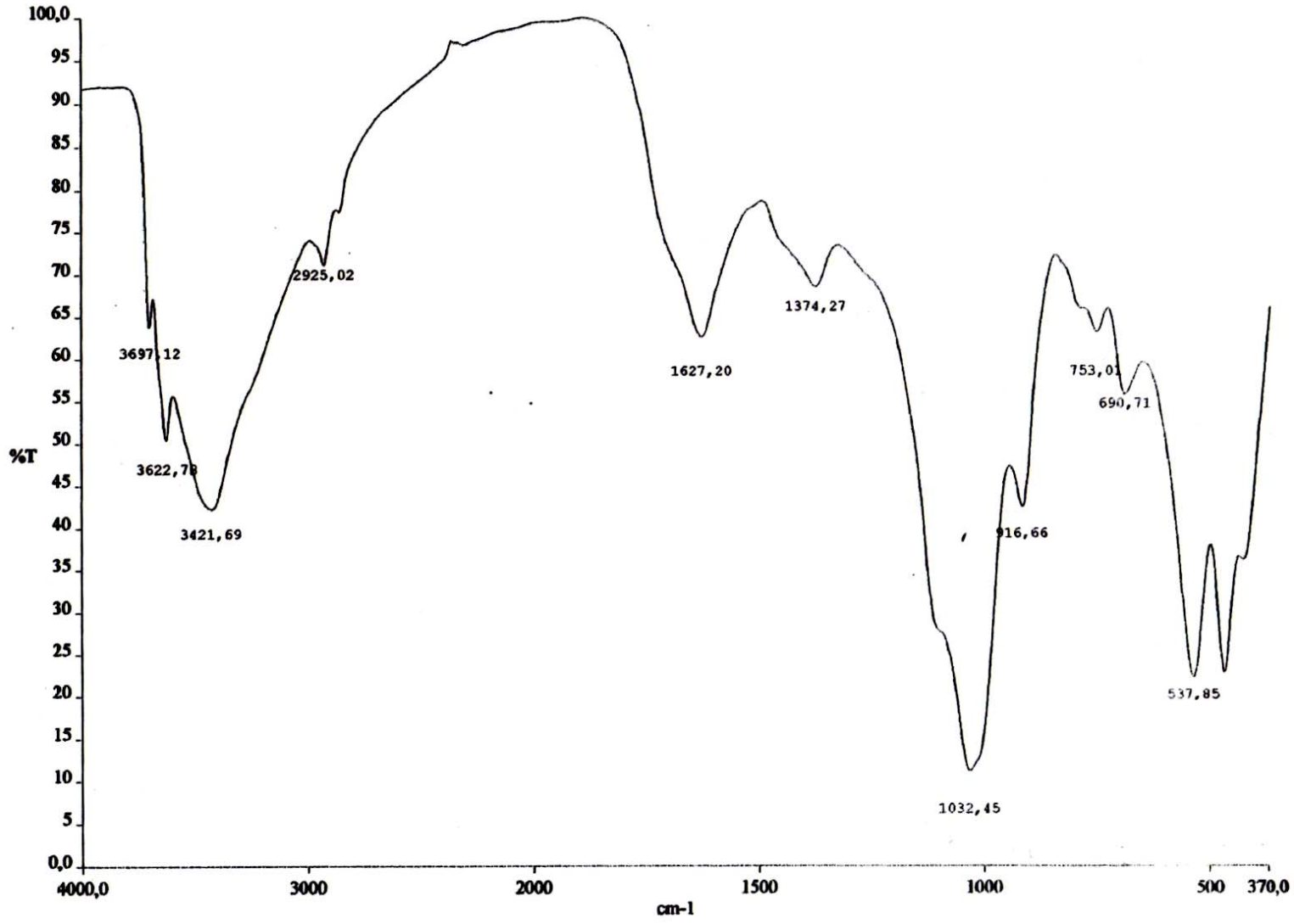
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

ΦΑΣΜΑΤΑ FTIR

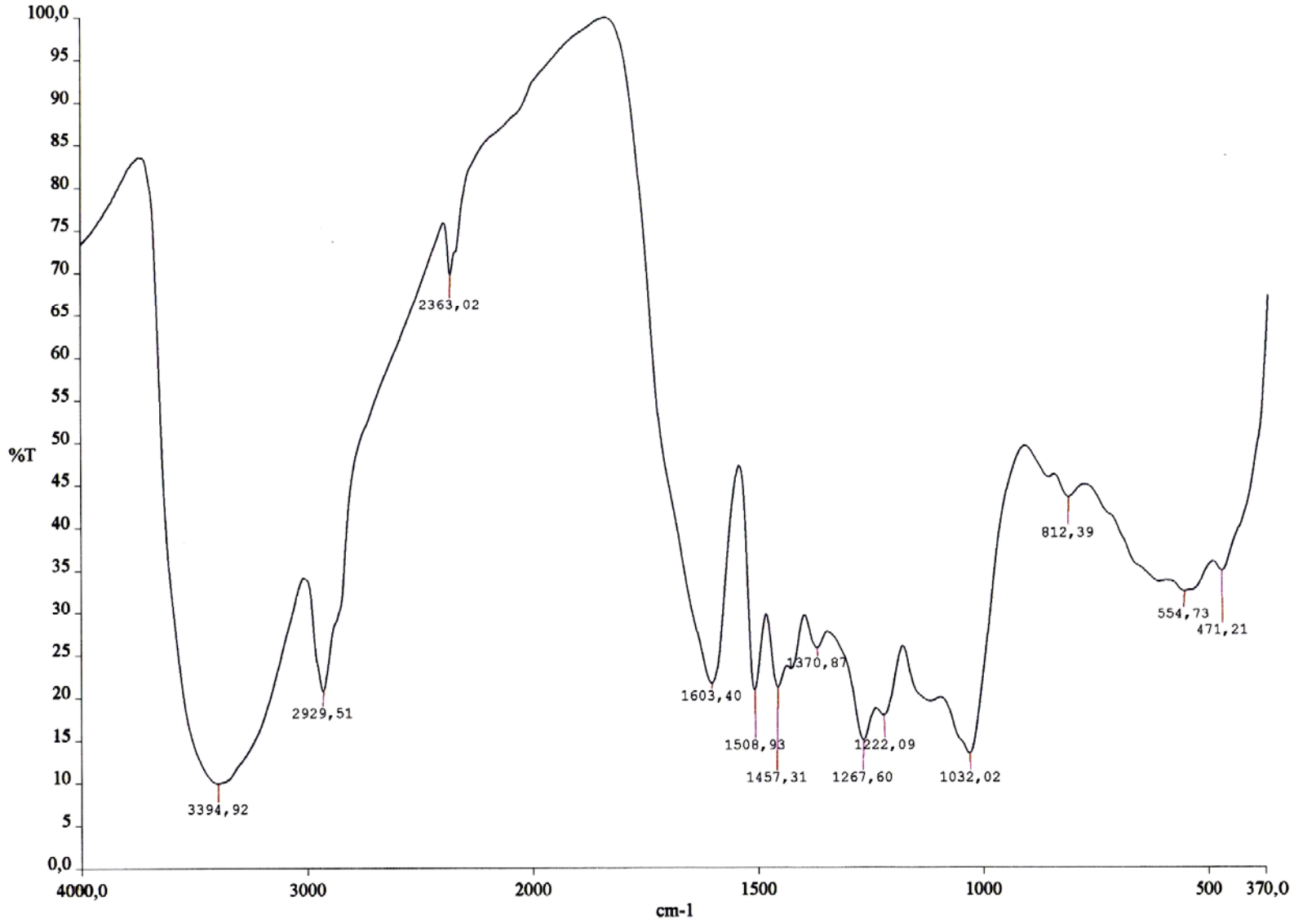
Διάγραμμα *FT-IR*
Αριθμός δείγματος: A1



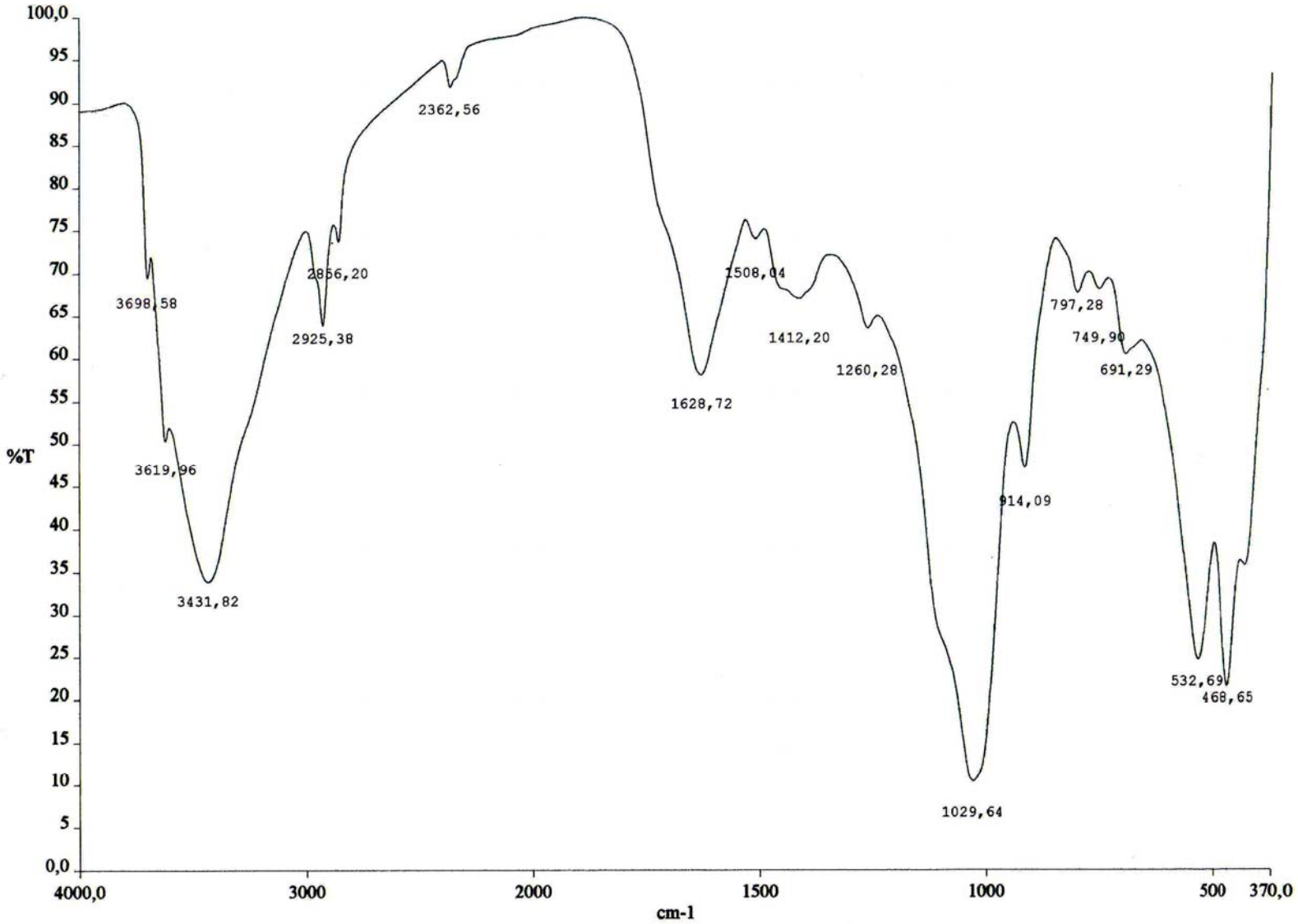
Διάγραμμα *FT-IR*
Αριθμός δείγματος: C8



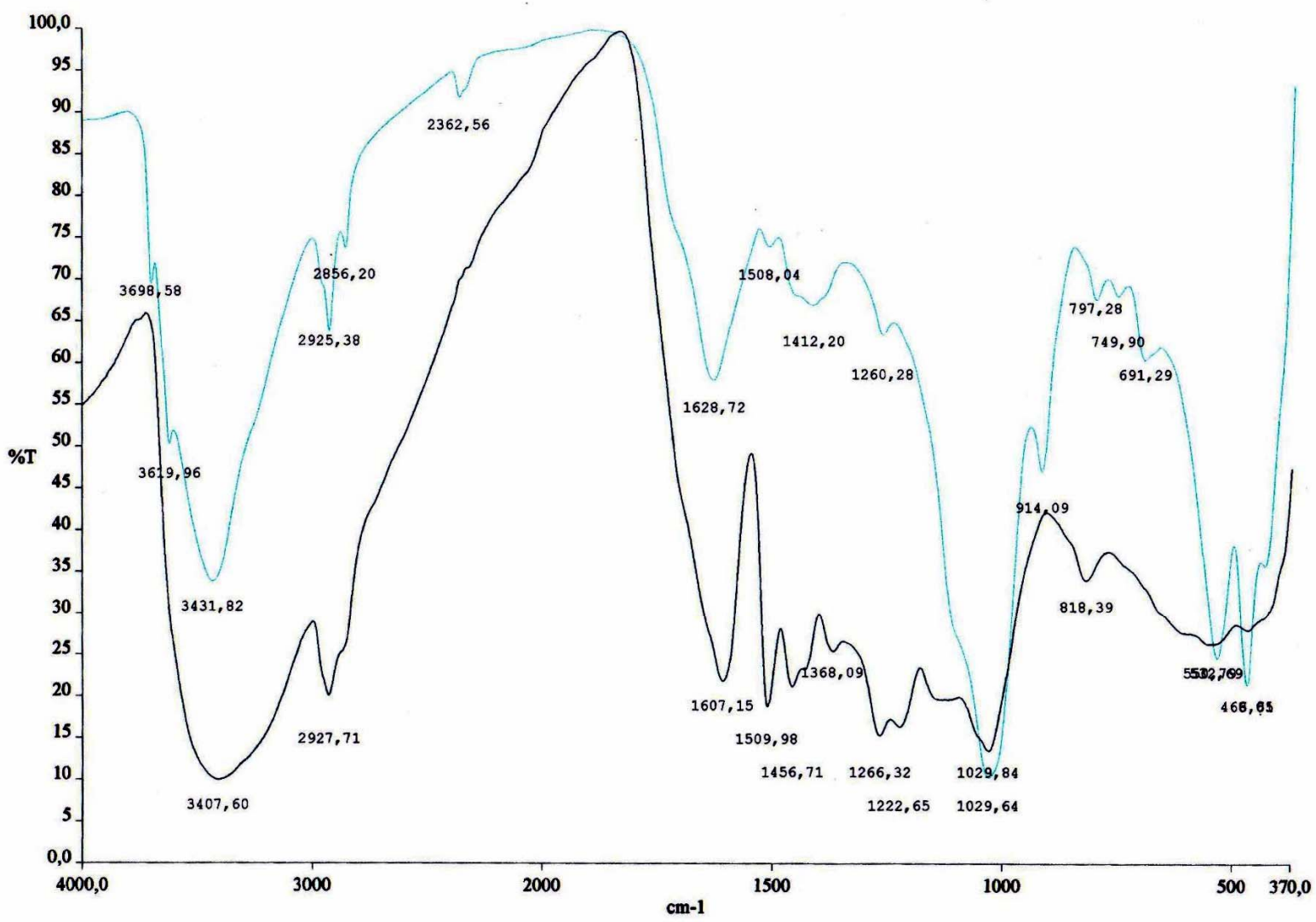
Διάγραμμα *FT-IR*
Αριθμός δείγματος: C59



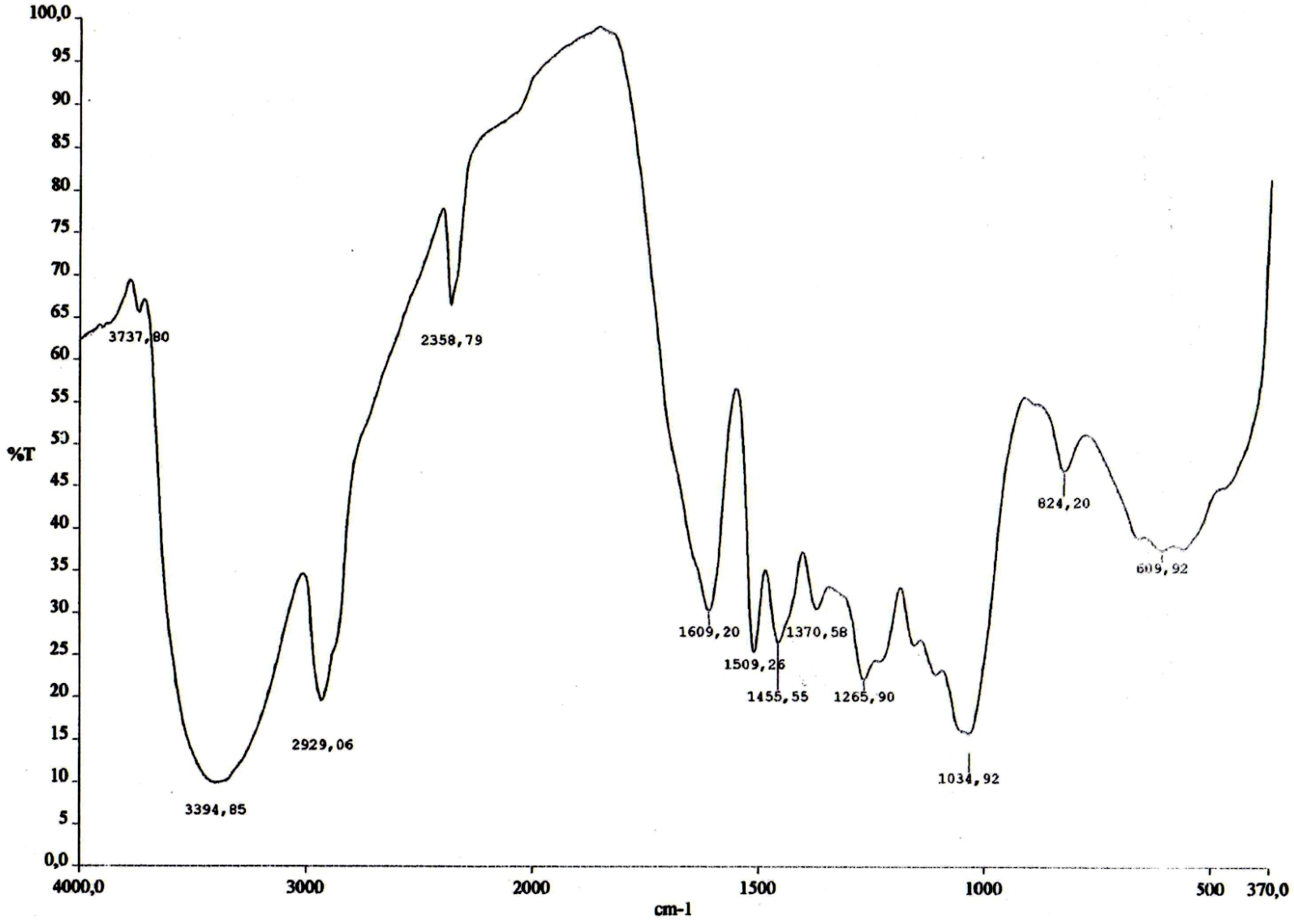
Διάγραμμα *FT-IR*
Αριθμός δείγματος: C60



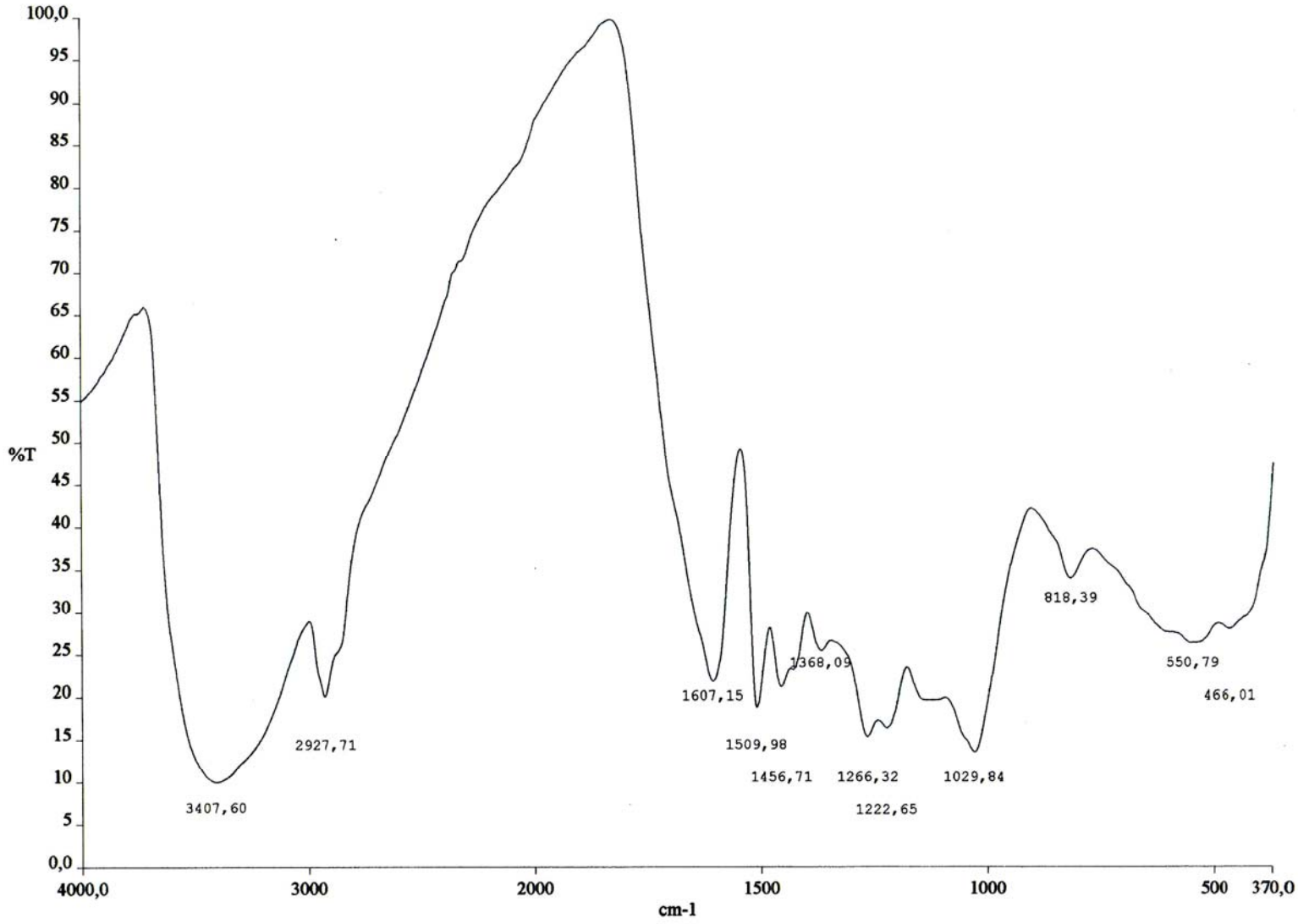
Διάγραμμα *FT-IR*
Αριθμός δείγματος: C60 (μαύρο)_C80 (μπλε).



Διάγραμμα *FT-IR*
Αριθμός δείγματος: C61



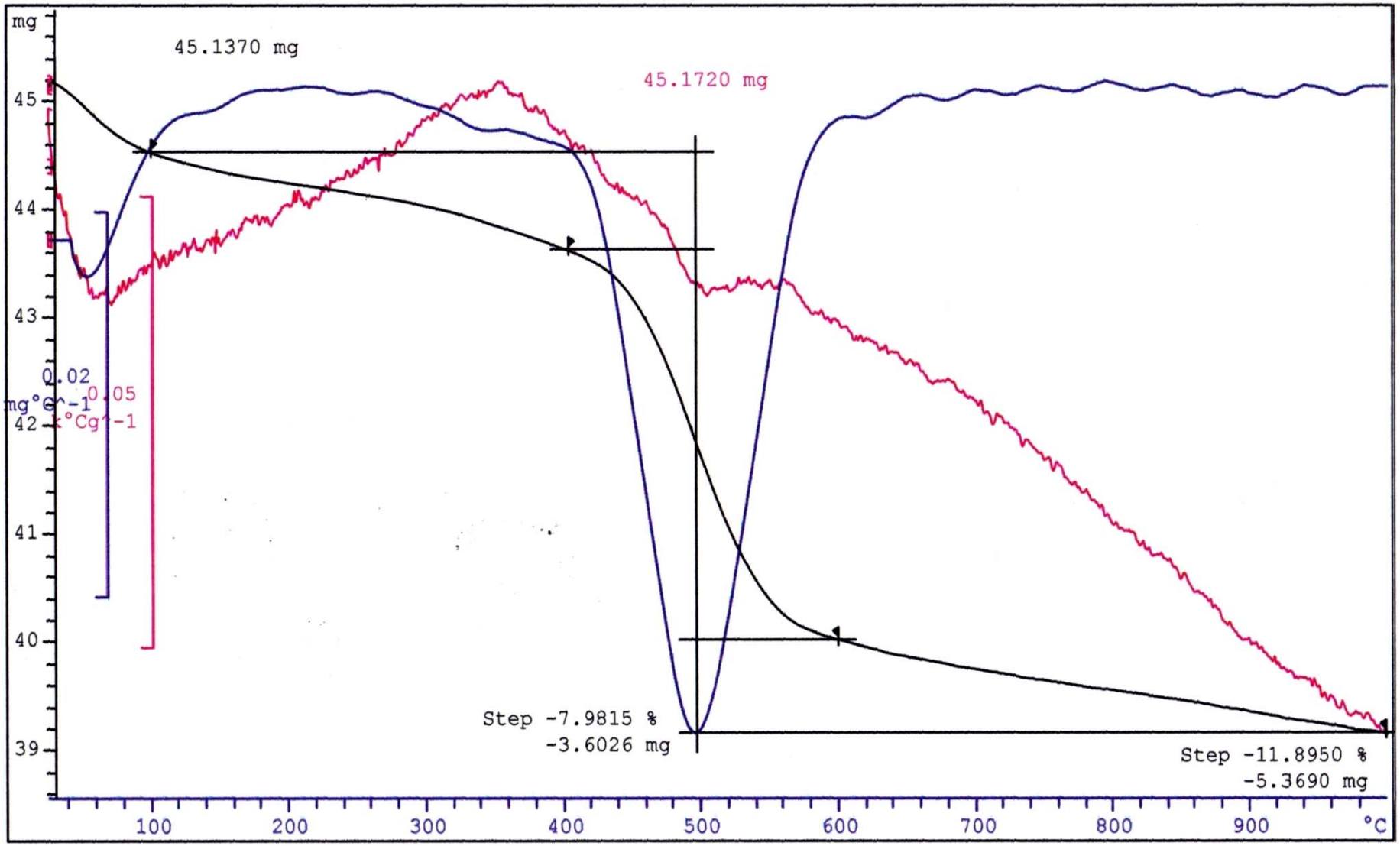
Διάγραμμα *FT-IR*
Αριθμός δείγματος: C80



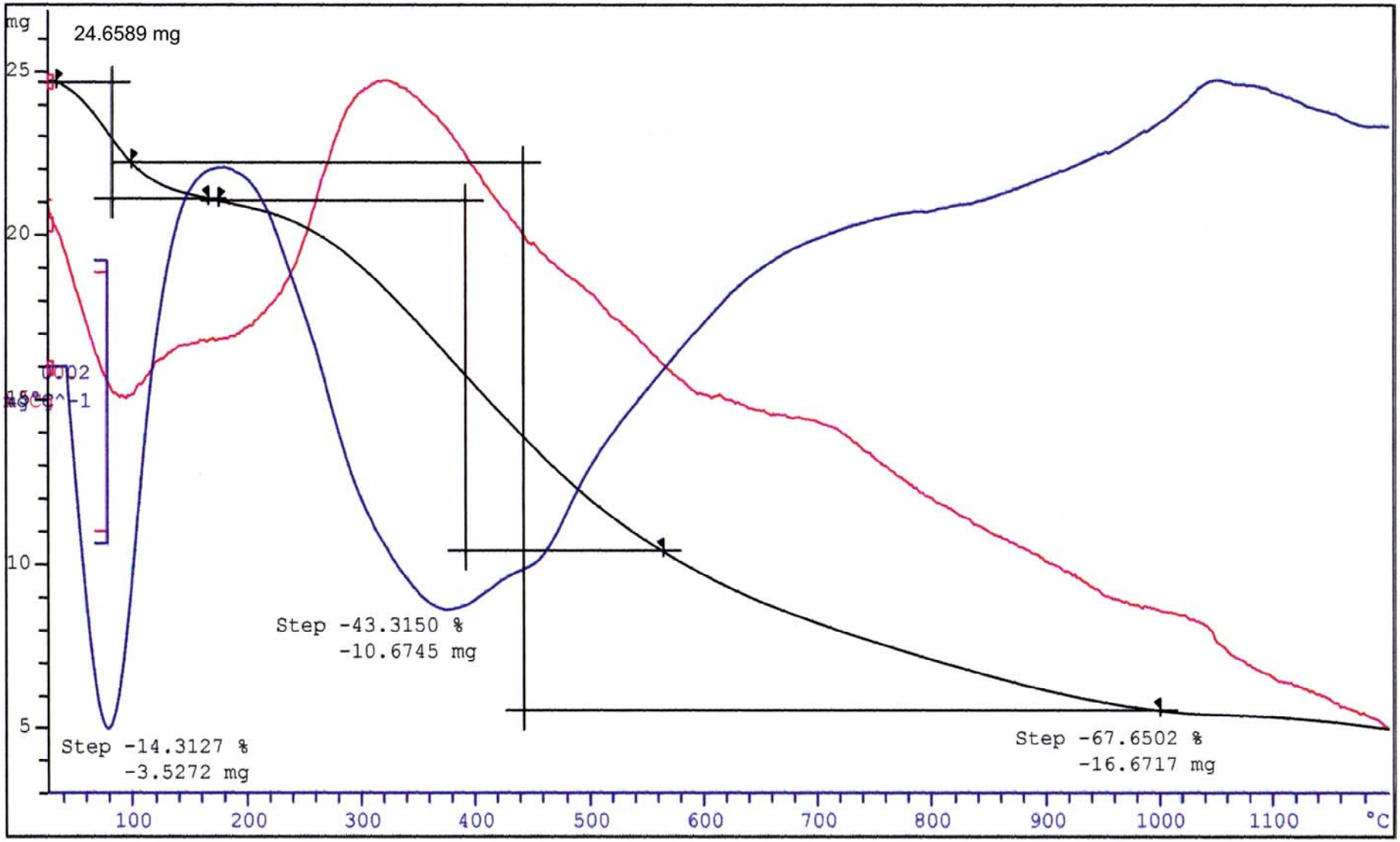
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ TG/DTG/DTA

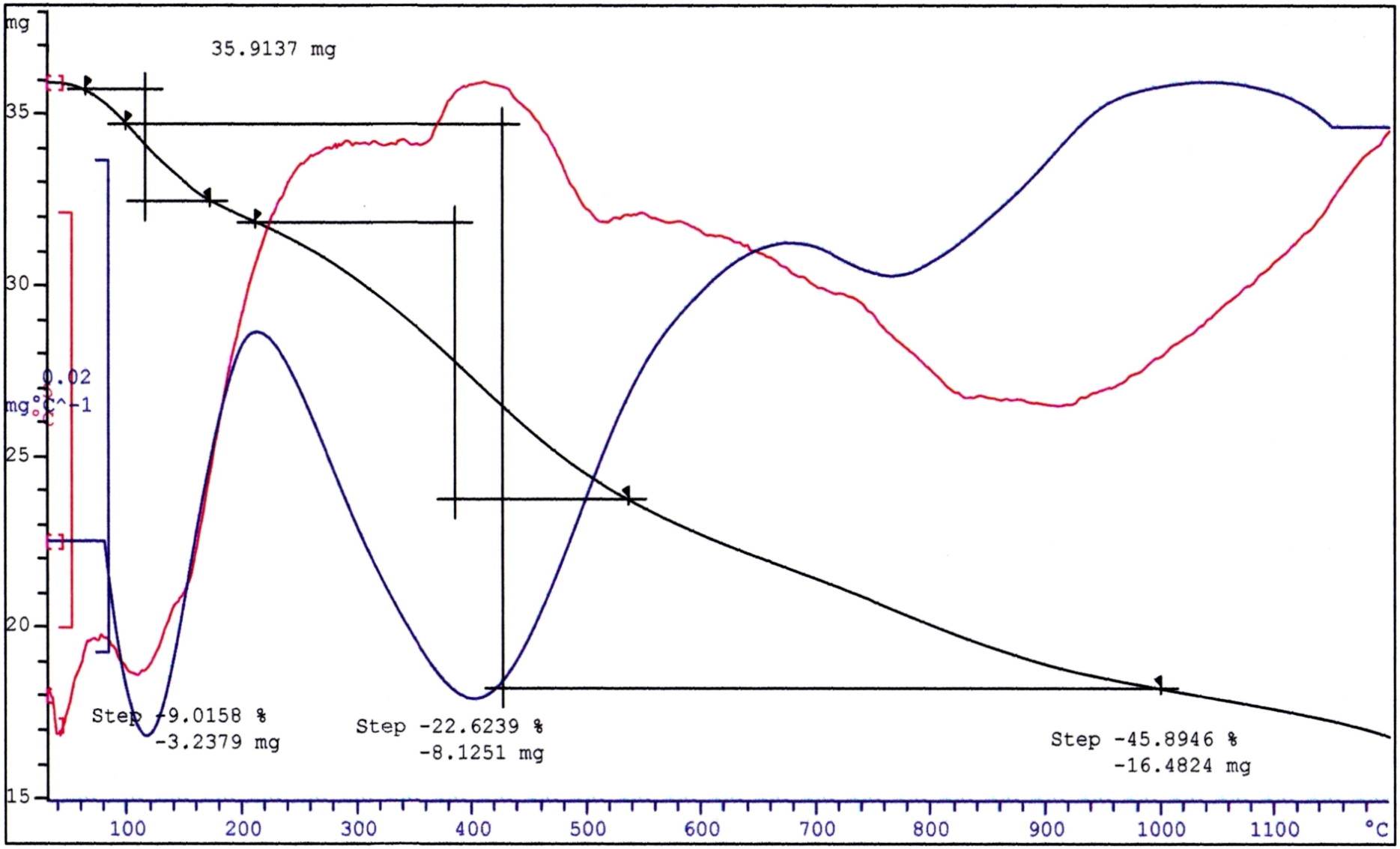
Διάγραμμα *TG/DTG/DTA*
Αριθμός δείγματος: Α0



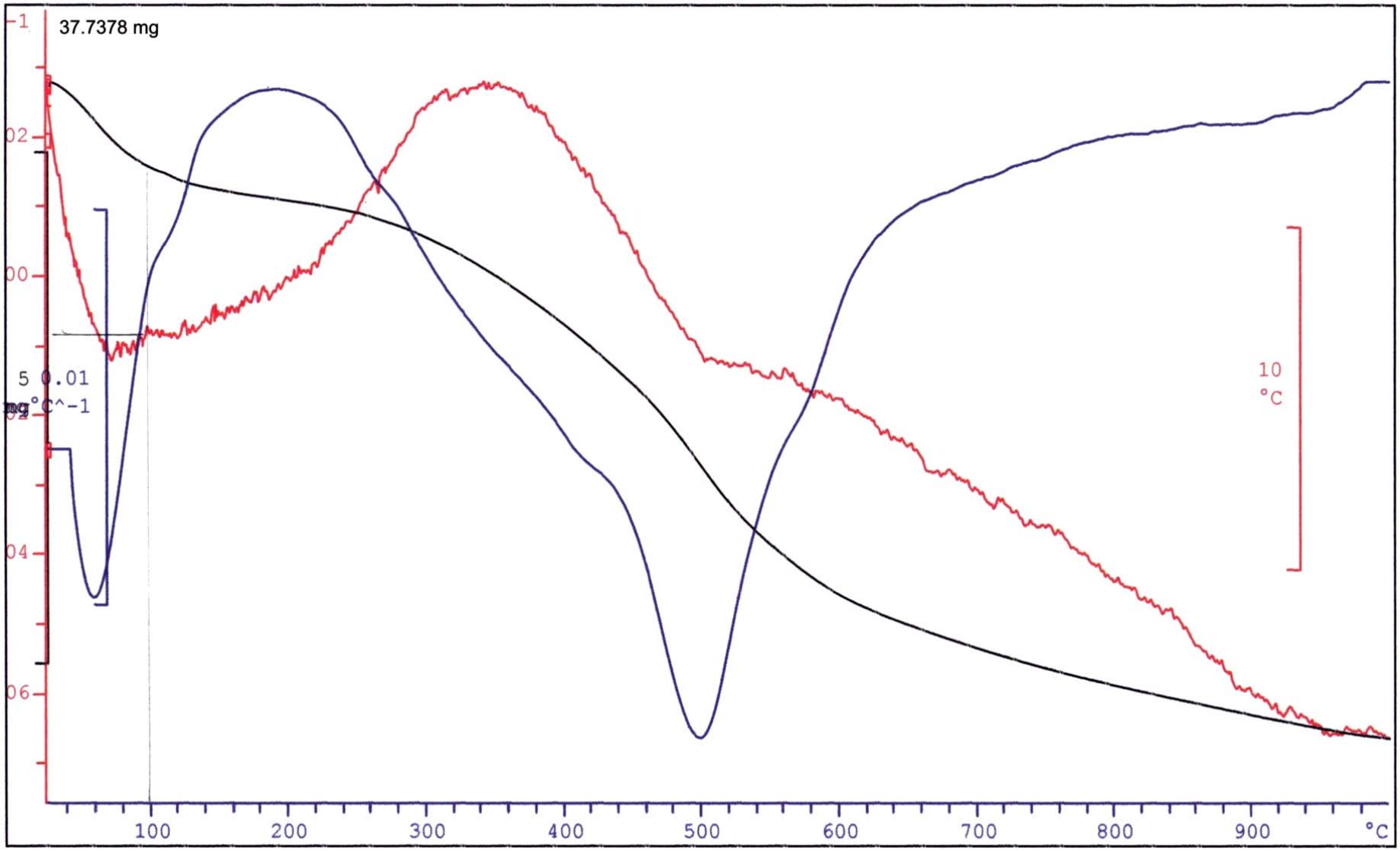
Διάγραμμα *TG/DTG/DTA*
Αριθμός δείγματος: A1



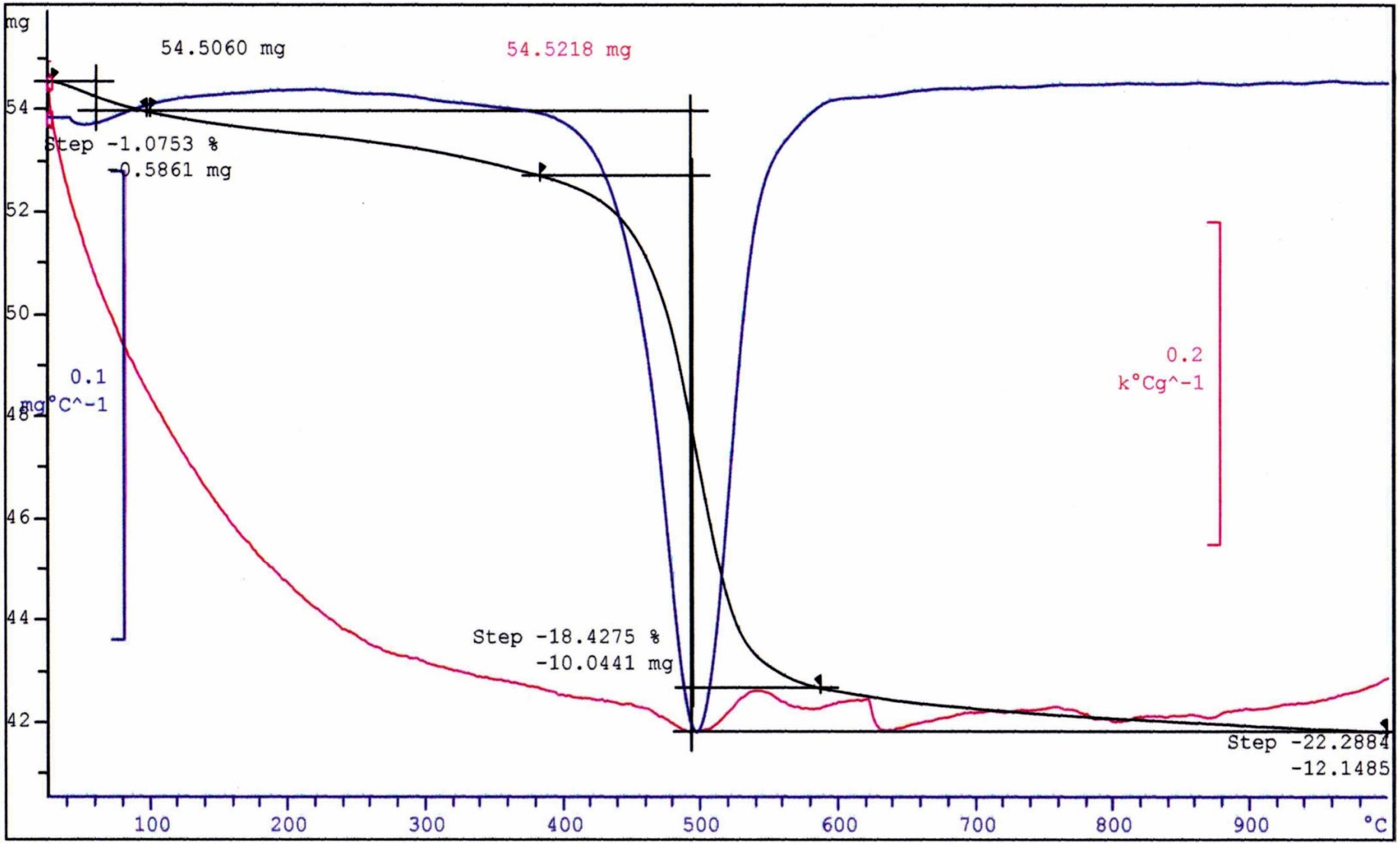
Διάγραμμα *TG/DTG/DTA*
Αριθμός δείγματος: A10



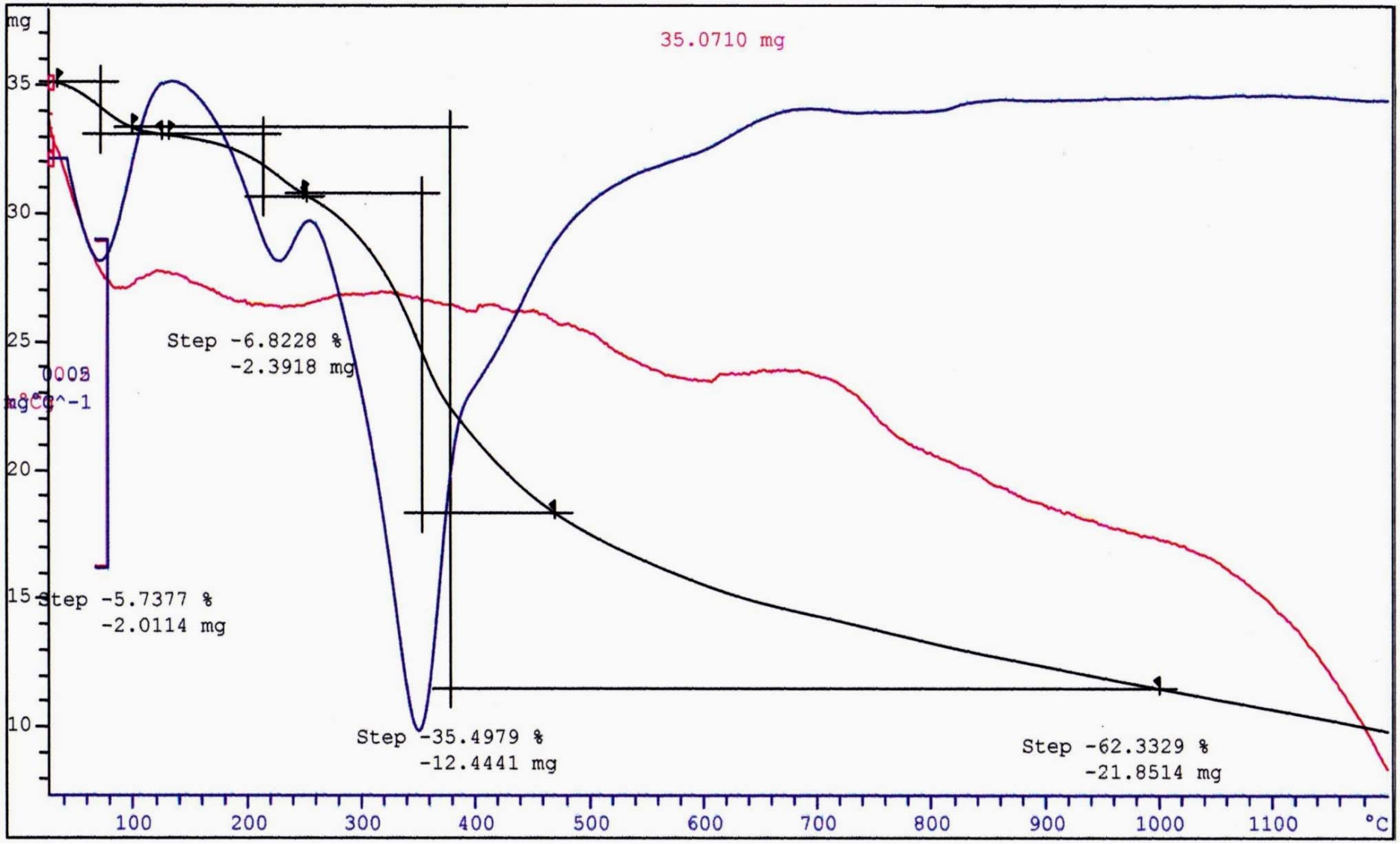
Διάγραμμα *TG/DTG/DTA*
Αριθμός δείγματος: A21



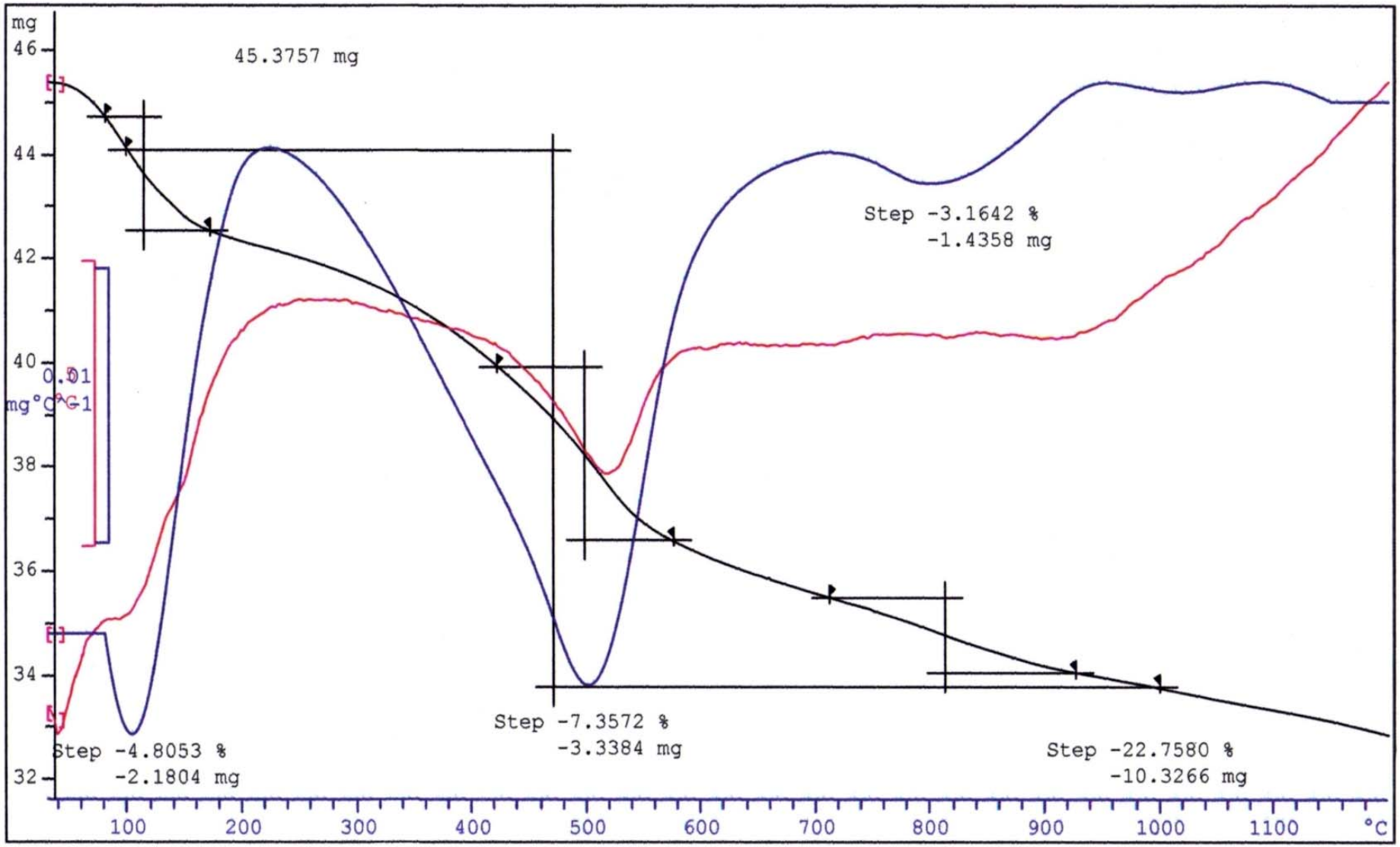
Διάγραμμα *TG/DTG/DTA*
Αριθμός δείγματος: Α35



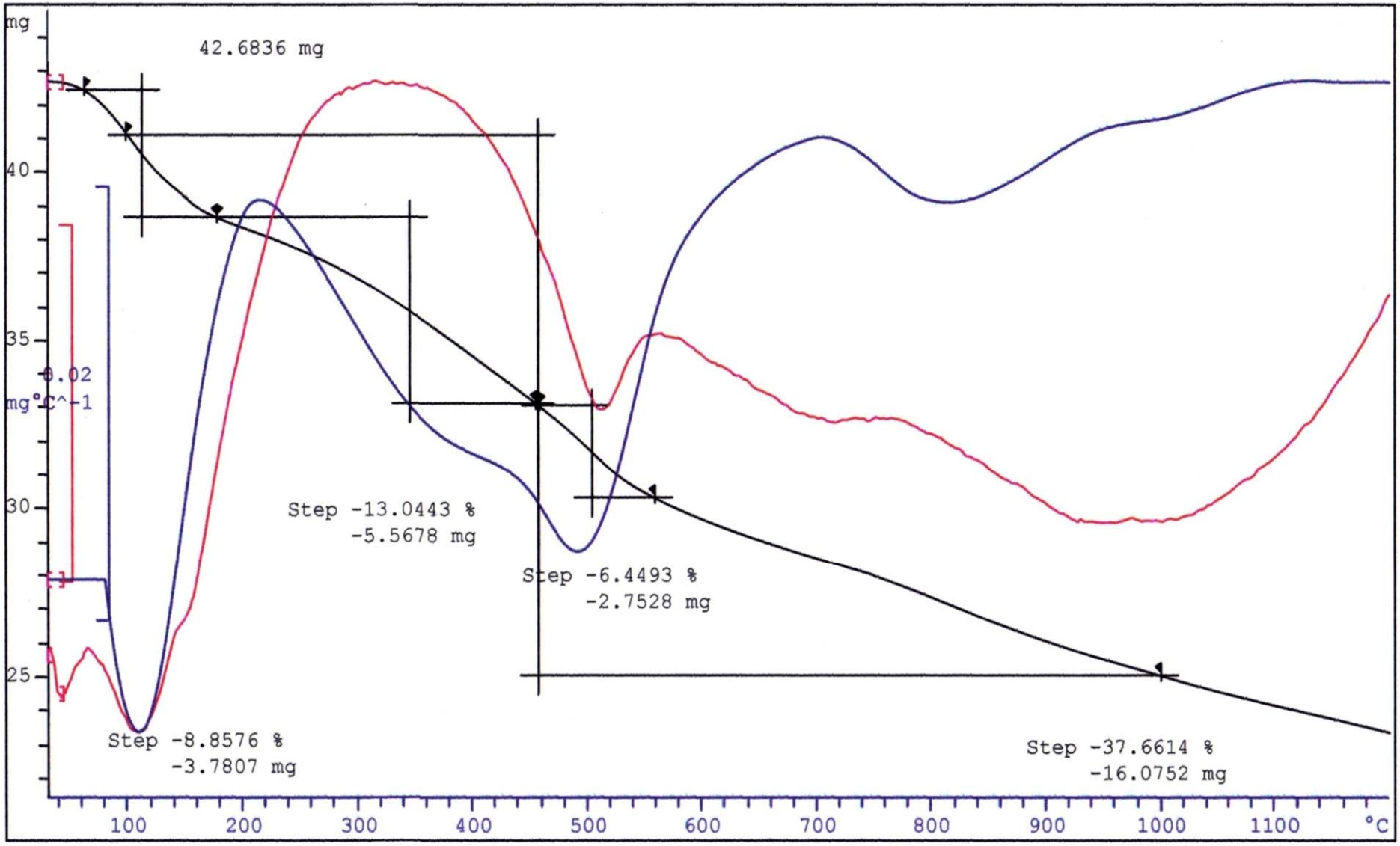
Διάγραμμα *TG/DTG/DTA*
Αριθμός δείγματος: Β6



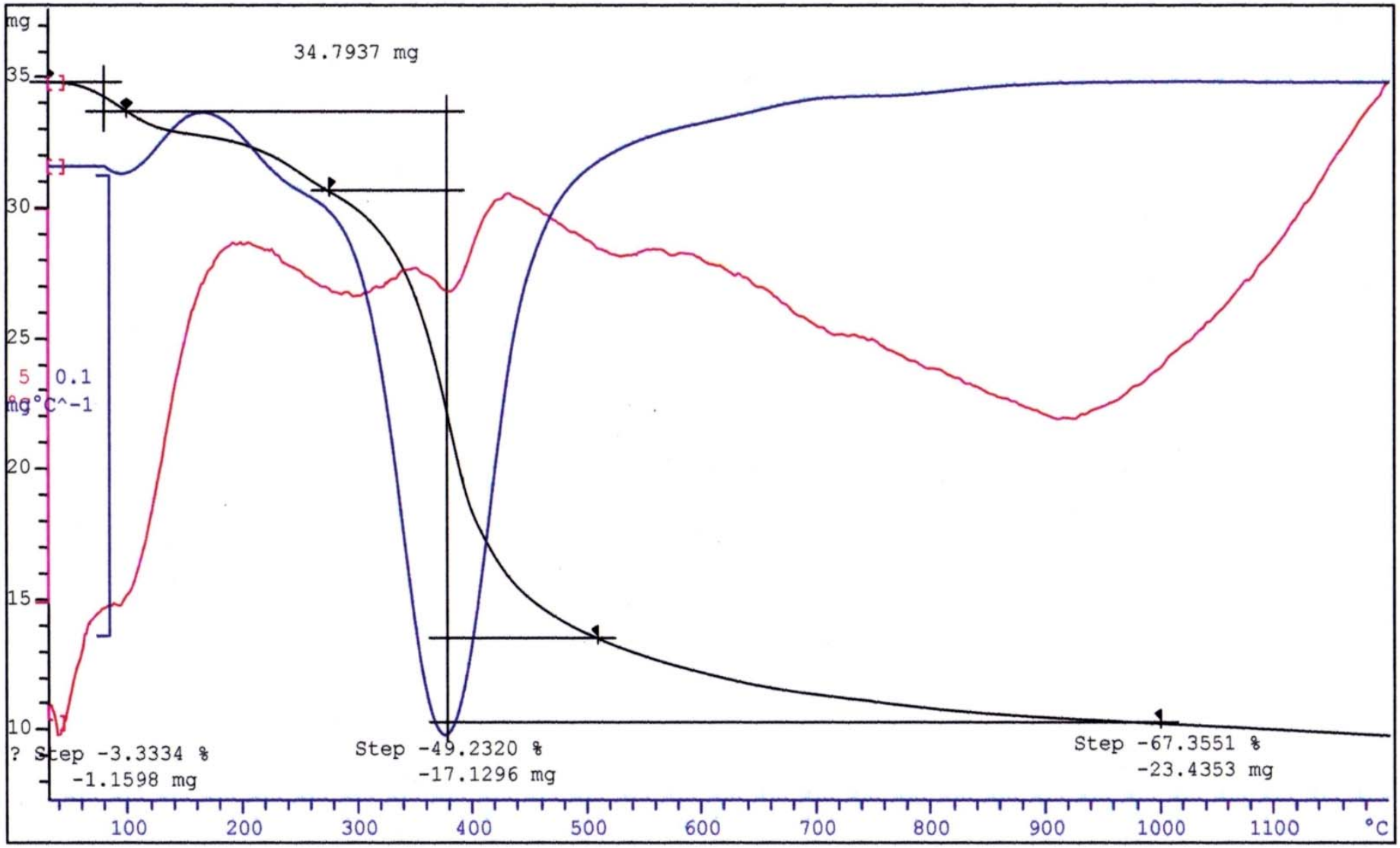
Διάγραμμα *TG/DTG/DTA*
Αριθμός δείγματος: C6



Διάγραμμα *TG/DTG/DTA*
Αριθμός δείγματος: C8

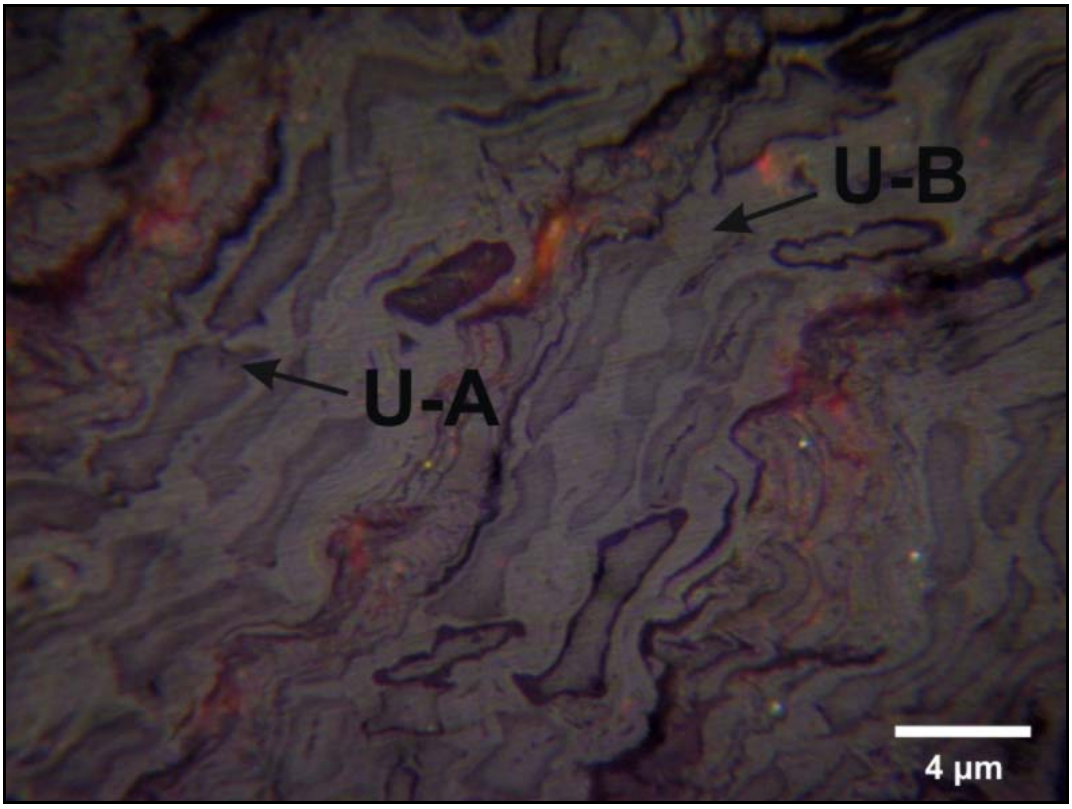


Διάγραμμα *TG/DTG/DTA*
Αριθμός δείγματος: C61

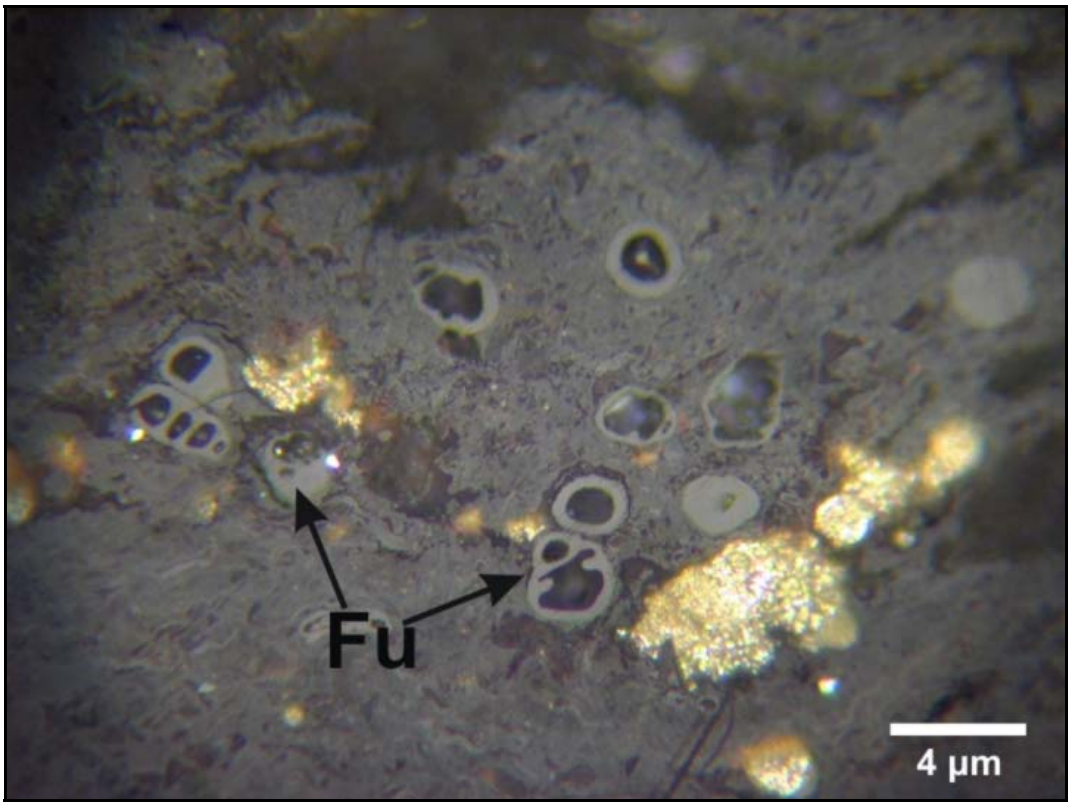


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V

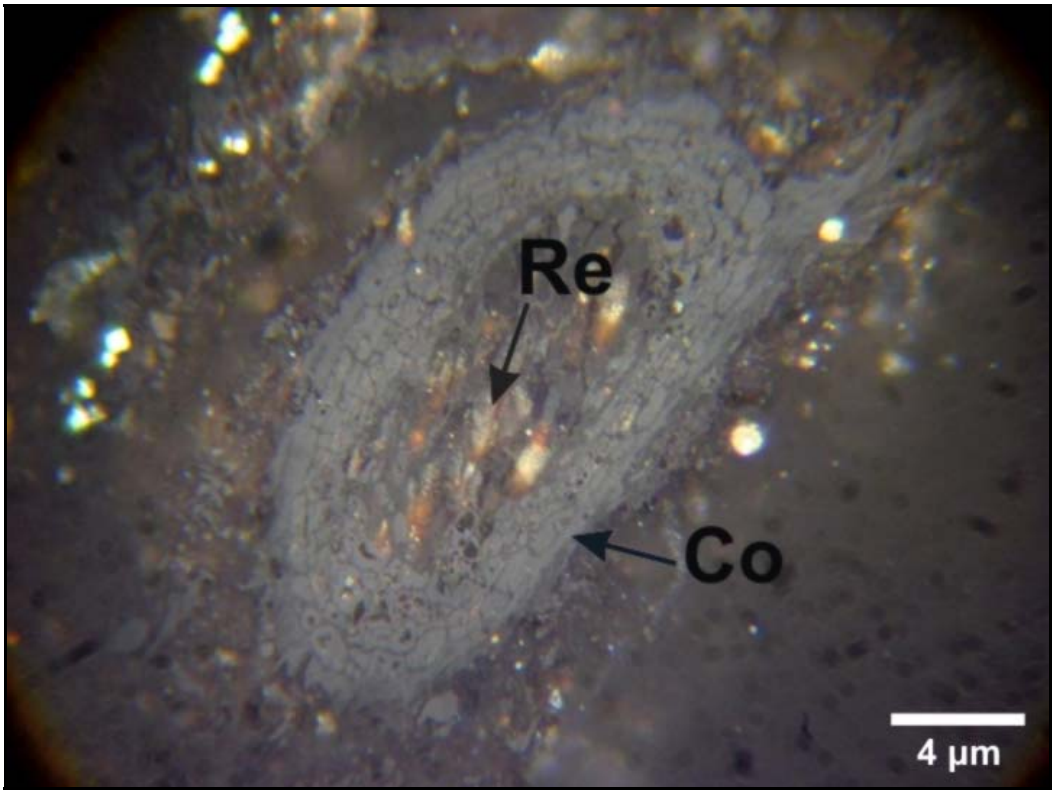
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ



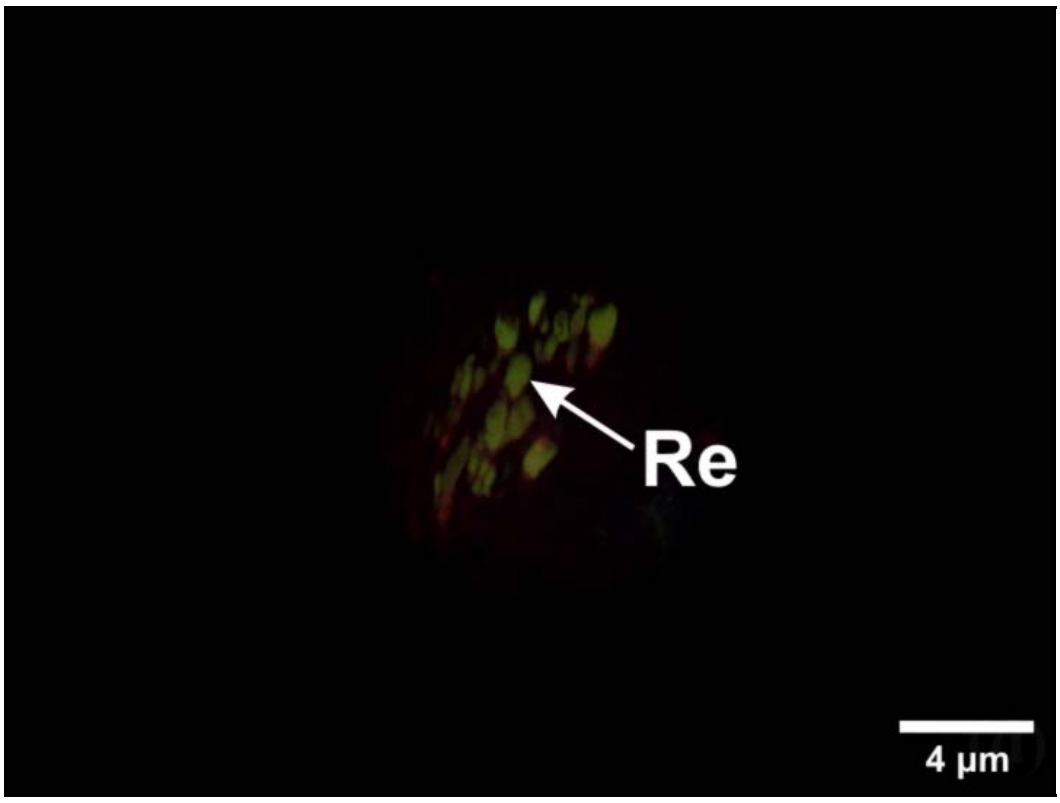
Αντιπροσωπευτική μικροφωτογραφία ουλμινίτη-Α (σκοτεινός) (U-A) και ουλμινίτη-Β (U-B) από το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας (Ν. Φλώρινας), –μεγέθυνση 50×.



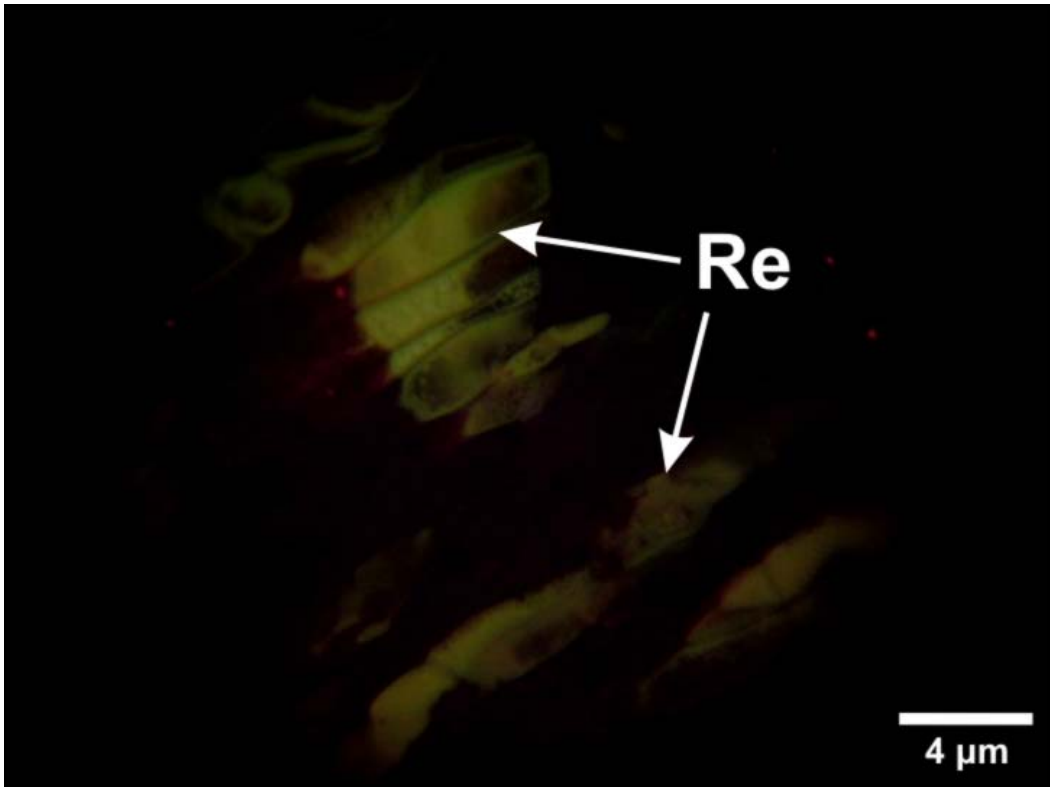
Αντιπροσωπευτική μικροφωτογραφία χαρακτηριστικής αποικίας φουνγκινίτη (Fu) και διάσπαρτου σιδηροπυρίτη, μέσα σε ουλμινιτική μάζα από το λιγνιτικό κοίτασμα Αχλάδας, –μεγέθυνση 50×.



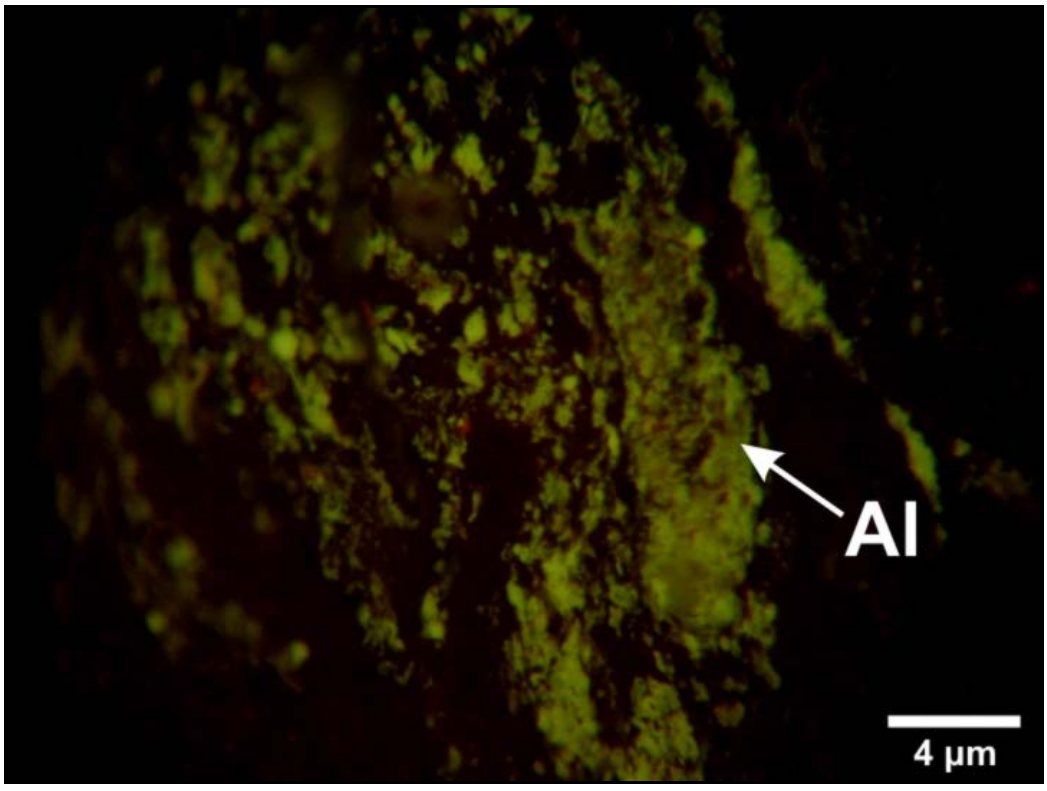
Αντιπροσωπευτική μικροφωτογραφία χαρακτηριστικής κυκλικής δομής κορποχουμινίτη (Co) με ρεζινίτη (Re) στο κέντρο και διάσπαρτο βοτρυοειδή σιδηροπυρίτη (λευκό), από το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας (Ν. Φλώρινας), –μεγέθυνση 50×.



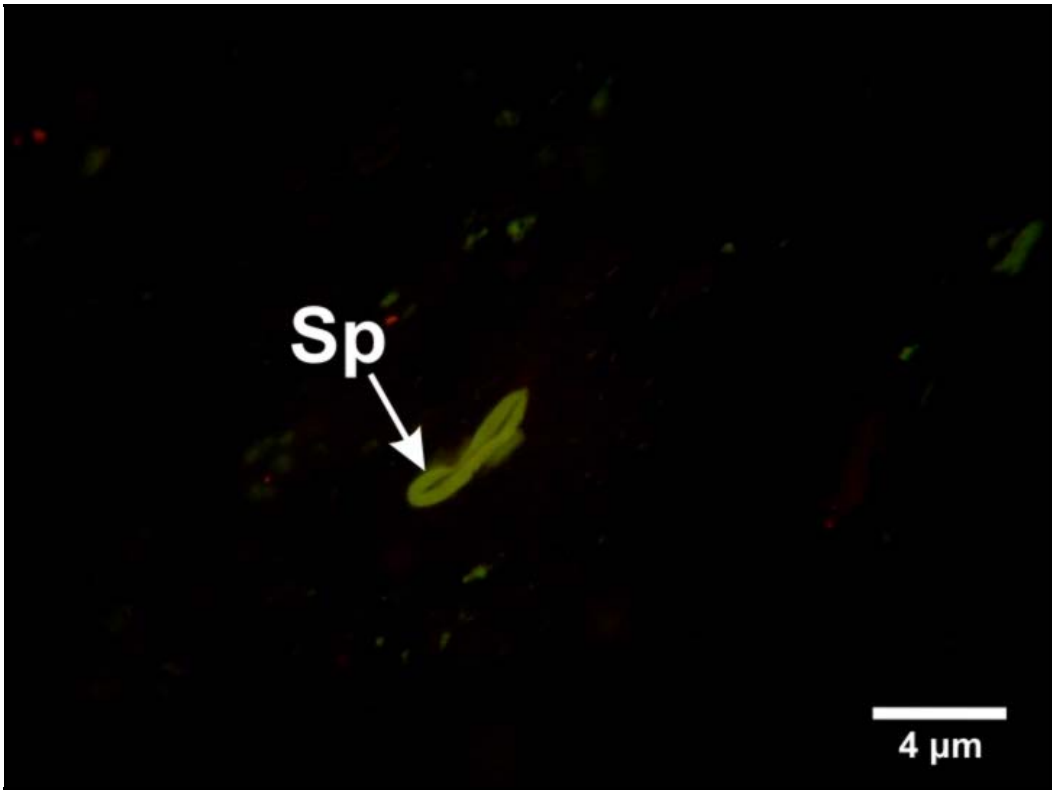
Αντιπροσωπευτική μικροφωτογραφία σε φθορίζον φώς της συγκέντρωσης ρεζινίτη (Re) στο κέντρο του κορποχουμινίτη της επάνω φωτογραφίας, –μεγέθυνση 50×.



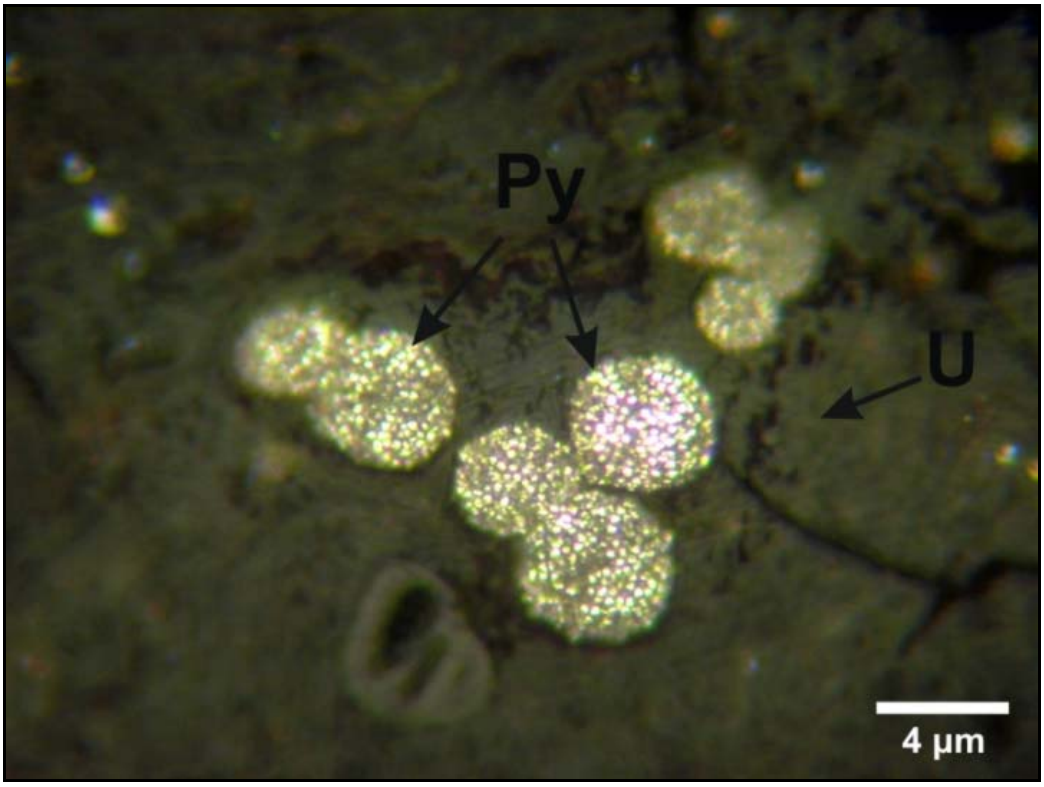
Αντιπροσωπευτική μικροφωτογραφία, σε φθορίζον φώς, συγκέντρωσης ρεζινίτη (Re), από το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας (Ν. Φλώρινας), –μεγέθυνση 50×.



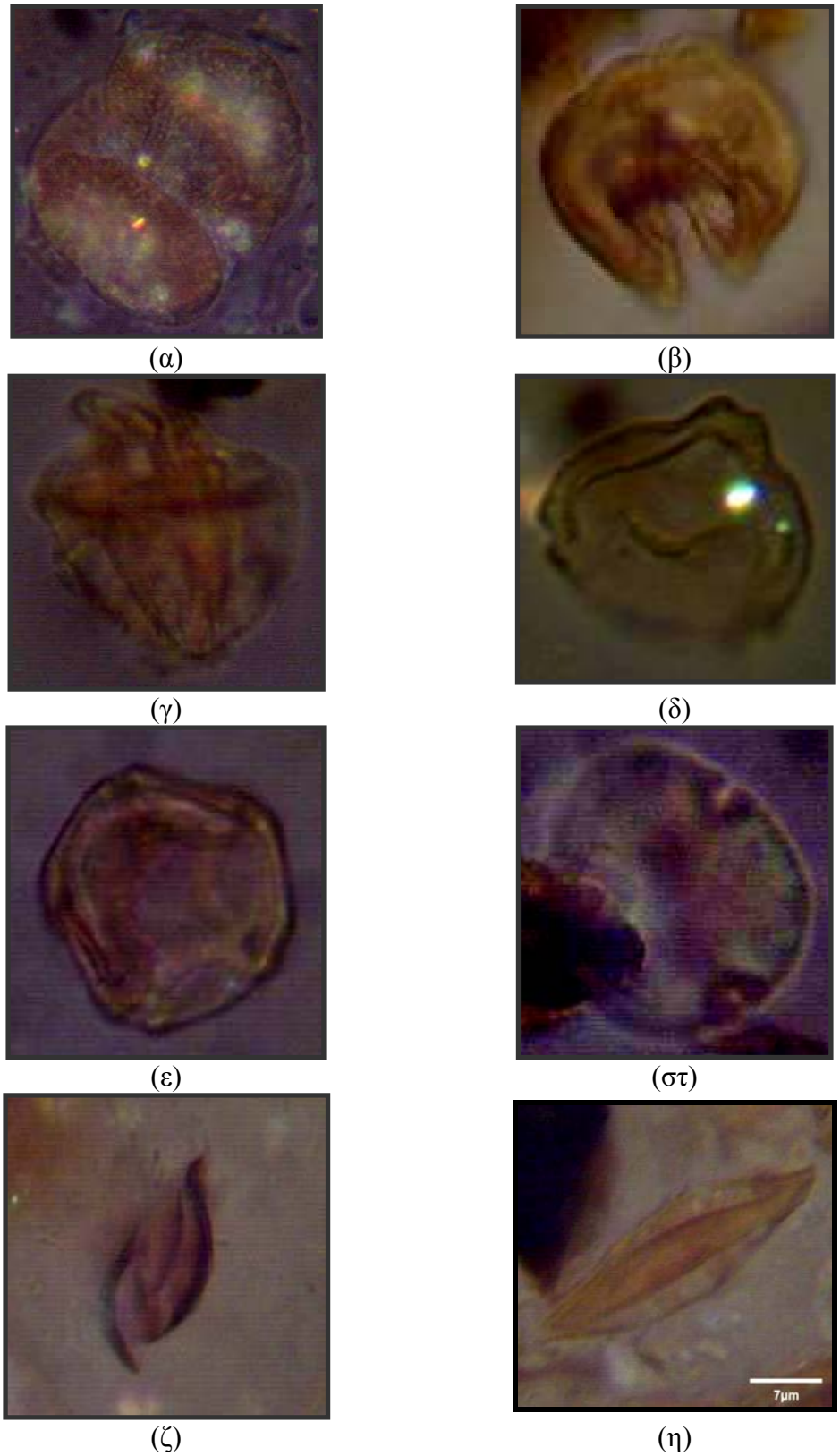
Αντιπροσωπευτική μικροφωτογραφία, σε φθορίζον φώς, συγκέντρωσης αλγινίτη (Al), από το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας (Ν. Φλώρινας), –μεγέθυνση 50×.



Αντιπροσωπευτική μικροφωτογραφία, σε φθορίζον φώς, συγκέντρωσης σπορινίτη (Sp), από το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας (Ν. Φλώρινας), –μεγέθυνση 50×.



Αντιπροσωπευτική μικροφωτογραφία συγκέντρωσης βοτρυοειδή σιδηροπυρίτη (Py) μέσα σε μάζα από ουλμινίτη (U),, από το λιγνιτικό κοίτασμα της Αχλάδας (Ν. Φλώρινας), –μεγέθυνση 50×.



Αντιπροσωπευτικές φωτογραφίες γυρεόκοκκων από τη λιγνιτοφόρο ακολουθία της Αχλάδας. (α): Pinaceae, (β): Taxodiaceae, (γ): *Sequoia*, (δ): Betulaceae, (ε): *Alnus* (στ): Tiliaceae, (ζ): Plankton, (η): *Ovoidides*. Η κλίμακα ισχύει για όλες τις φωτογραφίες.