Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΜΙΧΑΗΛΙΔΟΥ Χ. ΕΛΕΝΗ

ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Τ.Ε.

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΚΑΘΗΣΕΩΝ ΤΕΦΡΑΣ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΚΑΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΗΣ Δ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ 'ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ',

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: 'ΟΡΥΚΤΟΙ ΠΟΡΟΙ – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ'

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2020

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΜΙΧΑΗΛΙΔΟΥ Χ. ΕΛΕΝΗ

Μηχανικός Περιβάλλοντος Τ.Ε.

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
ΕΠΙΚΑΘΗΣΕΩΝ ΤΕΦΡΑΣ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΚΑΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΗΣ Δ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών ‘Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία’, Κατεύθυνση ‘Ορυκτοί Πόροι – Περιβάλλον’

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 22/10/2020

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγητής Γεωργακόπουλος Ανδρέας, Επιβλέπων
Αν. Καθηγητής Καντηράνης Νικόλαος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής
Καθηγητής Φιλιππίδης Ανέστης, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

© Ελένη Χ. Μιχαηλίδου, Μηχανικός Περιβάλλοντος Τ.Ε. 2020
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΚΑΘΗΣΕΩΝ ΤΕΦΡΑΣ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΚΑΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΗΣ Δ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ – *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

© Eleni C. Michailidou, Environmental Engineer T.E. 2020
All rights reserved.
MINERALOGY AND MORPHOLOGY OF AGGLOMERATIONS OR FOULING DEPOSITS IN THE PULVERIZED COAL – FIRED POWER PLANTS OF WESTERN MACEDONIA, GREECE. – *Master Thesis*

Citation:
Μιχαηλίδου Ε., 2020. –Ορυκτολογικός και μορφολογικός χαρακτηρισμός επικαθήσεων τέφρας στη ζώνη καύσης των ΑΗΣ Δ. Μακεδονίας. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 70σελ.
Michailidou. E., 2020. –Mineralogy and morphology of agglomerations or fouling deposits in the pulverized coal – fired power plants of Western Macedonia, Greece, 70pp.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: Επικαθήσεις Λέβητα ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, ΔΕΗ Κοζάνης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ…….....σελ.8

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ…….....σελ.9

ΠΕΡΙΛΗΨΗ…….....σελ.11

ABSTRACT…… σελ.12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ…….

1.1 Λιθοστρωματογραφικά Στοιχεία…….....σελ.13

1.1.2 Γένεση και Αποθέματα Ελληνικών Γαιανθράκων……....σελ.14

1.1.3 Ενανθράκωση……...σελ.16

1.2 Σχηματισμός των Ενστρώσεων Ασβεστολιθικής Μάργας…….....σελ.17

1.2.1 Διαδικασία Εκμετάλλευσης Λιγνίτη…….σελ.18

1.2.2 Προσδιορισμός Ποιότητας Λιγνιτών για Ηλεκτρική χρήση……σελ.20

1.2.3 Τεχνολογία Καύσης Λιγνίτη στους Α.Η.Σ……....σελ.20

1.3 Επιπτώσεις κατά την καύση……σελ.22

1.3.1 Επιβάρυνση Ηλεκτροστατικών Φίλτρων…….....σελ.23

1.3.2 Σύσταση Υγρής Τέφρας……....σελ.25

1.3.3 Επικαθήσεις και Επισκωριώσεις Τέφρας…….....σελ.25

1.3.4 Εγκαταστάσεις Καύσης……σελ.29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ……

2.1 Προέλευση Δείγματος……..σελ.31

2.2 Χημική και Ορυκτολογική Ανάλυση Τέφρας……..σελ.32

2.2.1 Φασματομετρία ακτίνων – Χ (XRF)…….σελ.33

2.2.2 Περιθλασιμετρία ακτίνων – Χ (XRD)……...σελ.34

2.2.3 Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM)……....σελ.35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ…….....

3.1 Ορυκτολογικές Αναλύσεις……σελ.37

3.1.2 Ορυκτολογική Σύσταση……σελ.37

3.1.3 Μορφολογία και Δομή……...σελ.44

3.2 Χημική Σύσταση……...σελ.50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ……..σελ.54

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ……σελ.56

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ……...σελ.66

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία», κατεύθυνση «Ορυκτοί Πόροι – Περιβάλλον» στο Τμήμα Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Πιο συγκεκριμένα, υλοποιήθηκε στον Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο ορυκτολογικός και ο μορφολογικός χαρακτηρισμός των επικαθήσεων της τέφρας στη ζώνη καύσης των Ατμοηλεκτρικών Σταθμών (ΑΗΣ) της Δυτικής Μακεδονίας. Στο πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο δίνονται πληροφορίες σχετικές με το περιβάλλον σχηματισμού των λιγνιτικών κοιτασμάτων εντός της γεωλογικής λεκάνης Πτολεμαΐδας και Κοζάνης ενώ περιγράφονται αναλυτικά η διαδικασία εκμετάλλευσης και οι τεχνολογίες καύσης του λιγνίτη. Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφονται τα υλικά και οι μέθοδοι έρευνας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία. Ειδικότερα, γίνεται περιγραφή των ληφθέντων δειγμάτων και των σημείων δειγματοληψίας αυτών ενώ γίνεται και αναλυτική παρουσίαση των μεθόδων έρευνας και του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε. Στο τρίτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα αποτελέσματα της έρευνας και γίνεται σχετική συζήτηση πάνω σε αυτά. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσονται τα συμπεράσματα της διατριβής.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους τους καθηγητές οι οποίοι συνέβαλαν με τη βοήθεια και τα σχόλιά τους στην ολοκλήρωση της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής εργασίας.

Πρώτα από όλα, για την περάτωση της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, κύριο Ανδρέα Γεωργακόπουλο, για την επιστημονική του καθοδήγηση όχι μόνο στην παρούσα εργασία αλλά και κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Ήταν πάντα στο πλευρό μου κάθε φορά που έτρεξα σε ένα πρόβλημα ή έκανα μια ερώτηση σχετικά με την έρευνά μου, υποστηρίζοντας συνεχώς τη δουλειά και την έρευνα μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους Καθηγητές οι οποίοι συνεισέφεραν στην υλοποίηση της παρούσας έρευνας και στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Νικόλαο Καντηράνη, τον Καθηγητή κ. Ανέστη Φιλιππίδη και την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κα. Λαμπρινή Παπαδοπούλου για τη βοήθειά τους και τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν.

Από τα βάθη της καρδιάς μου, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον κύριο Ιωάννη Νικολαΐδη, Δρ. Χημικό Μηχανικό και Υποτομεάρχη Χημικής Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, για την αδιάκοπη βοήθεια του στη δειγματοληψία των δειγμάτων αλλά και τη συνεχή καθοδήγησή του σχετικά με την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Τη συγκεκριμένη εργασία την αφιερώνω στους γονείς μου και τον αδερφό μου, τους οποίους και ευχαριστώ θερμά για την ενθάρρυνση και εμψύχωση που μου προσέφεραν ώστε να μπορέσω να ανταπεξέλθω σε αυτή την επίπονη προσπάθεια.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στον ορυκτολογικό και μορφολογικό χαρακτηρισμό των επικαθήσεων τέφρας στη ζώνη καύσης των ΑΗΣ Δυτικής Μακεδονίας. Συνολικά μελετήθηκαν δεκατέσσερα δείγματα τέφρας τα οποία λήφθηκαν από τους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς Αγίου Δημητρίου και Καρδιάς. Η ορυκτολογική σύσταση των εξεταζόμενων δειγμάτων μελετήθηκε με περιθλασιμετρία ακτίνων – Χ (XRD) και με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) ενώ η χημική σύσταση αυτών, με φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων – Χ (XRF).

Η ποιότητα του λιγνίτη τροφοδοσίας μπορεί να δημιουργεί σημαντικά προβλήματα κατά τη διαδικασία της καύσης και γενικότερα στη λειτουργία των Ατμοηλεκτρικών Σταθμών (ΑΗΣ). Η τέφρα είναι ανόργανη ύλη η οποία αποτελείται από πλήθος πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών. Ουσιαστικά, είναι το υπόλειμμα της καύσης του γαιάνθρακα η οποία κατά τη διαδικασία της καύσης στους λέβητες έχει υποστεί επιπλέον θερμική επεξεργασία. Η ύπαρξη της τέφρας στους ελληνικούς λιγνίτες προκαλεί πολύ σοβαρά προβλήματα. Ένα από αυτά είναι ότι έχει μεγάλη επίπτωση στις εγκαταστάσεις άλεσης και πρόθραυσης καθώς επίσης προκαλεί βλάβες στους μύλους. Επιπρόσθετα, ανάλογα με τη σύσταση της, δημιουργούνται τοπικές επικαθήσεις στα μεταλλικά μέρη της ζώνης καύσης των ΑΗΣ και οι επικαθήσεις αυτές εμποδίζουν την ανταλλαγή θερμότητας των καυσαερίων με αποτέλεσμα να διακόπτεται συνεχώς η λειτουργία των σταθμών με σκοπό την αφαίρεση αυτών των επικαθήσεων. Ακόμα, αυξάνονται τα άκαυστα σωματίδια στην υγρή τέφρα λόγω της έντονης ανάμειξης των σωματιδίων του λιγνίτη από τα ανόργανα σωματίδια μέσα στο λέβητα. Συμπερασματικά, για την αποφυγή των ακραίων καταστάσεων στην καύση και στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος είναι η ομογενοποίηση του εξορυσσόμενου λιγνίτη.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ABSTRACT

This work focuses on the mineralogy and morphology of agglomerations or fouling deposits of pulverized coal in the coal – powered plants of the Western Macedonia region in Greece. A total of 14 ash samples were studied which were taken from the steam power plants of Agios Dimitrios and Kardia. The mineralogical composition of the samples was studied by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) while their chemical composition by X-ray fluorescence spectroscopy (XRF). Furthermore, monitoring lignite quality is paramount to the energy generation of the plant as a low quality creates significant problems in the ignition and generally in the operation of steam power plants. Ash is an inorganic matter that consists of several primary and secondary minerals. Moreover, it is the residue of coal combustion which during the kindling process in the boilers has undergone additional heat treatment. The presence of ash in Greek lignite causes serious issues to not just the flaming process but rather to extraction, transport, and milling as well. Thus, the presence of ash increases the cost of extraction and handling of the material, burdens the crushing and grinding facilities, causes damage to the mills, and increases the grinding fineness required for efficient combustion. Also, depending on ash composition, local deposits are created in the metal parts of the combustion zone and these deposits make it difficult for the heat exchange of the exhaust gases and therefore lead to frequent operational interruptions of the stations, to remove the deposits. It also increases the unburned particles in the bottom ash, because of the entrapping from the inert particles to the base of the combustion hearth. In conclusion, lignite homogenization seems to be one of the solutions with the most promise regarding the extreme situations during combustion and the environmental burden.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Λιθοστρωματογραφικά Στοιχεία

Οι Γαιάνθρακες, αναπτύχθηκαν από τη συλλογή και τοποθέτηση ποικίλων υλικών σε περιβάλλον όπου κυριαρχούσε το νερό όπως για παράδειγμα λιμνοθάλασσες και εκβολές ποταμών. Οι πρώτες ύλες των αποθέσεων αυτών προέρχονται από φυτική προέλευση όπως για παράδειγμα φυτικά υπολείμματα όπου συσσωρεύτηκαν και δέχτηκαν ορισμένες μεταβολές και τα οποία υπάρχουν ακόμη και σήμερα (Κώτης, 1991). Συνεπώς, τα κοιτάσματα λιγνίτη στην περιοχή της Πτολεμαΐδας βρίσκονται κυρίως σε λίμνες ή ποτάμια και απαρτίζονται από μάργες (Καβουρίδης, 1992).

Εικόνα 1.1 Λιμναία & Παραποτάμια Ιζήματα

Εικόνα 1.1.1 Πυθμένας Ορυχείου Νότιου Πεδίου

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

1.1.2 Γένεση και Αποθέματα Ελληνικών Γαιανθράκων

Η γενική ονομασία των λιγνιτών είναι Γαιάνθρακες και υπάγονται στις στερεές καύσιμες ύλες. Οι ορυκτοί άνθρακες ή Γαιάνθρακες, αποτελούν ιζηματογενή πετρώματα και λειτουργούν ως καύσιμη ύλη για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι Γαιάνθρακες σχηματίστηκαν σε όλες τις γεωλογικές περιόδους, αλλά σημαντική ανάπτυξη έδειξαν την περίοδο της Λιθανθρακοφόρου (πριν από 180 εκατομμύρια χρόνια) και της Καινοζωικής περιόδου (πριν από 60 εκατομμύρια χρόνια) όπου παρατείνεται έως τώρα (Ανδρονικίδης, 2009).

Η γεωλογική ιστορία και η παλαιογραφική εξέλιξη της Ελλάδας, έχουν σχέση με την ηλικία του Ελληνικού λιγνίτη. Καθ' όλη τη διάρκεια της Καινοζωικής περιόδου και κυρίως στο τέλος της Νεογενούς περιόδου (Μειόκαινο – Πλειόκαινο) καθώς επίσης και στην αρχή της Τεταρτογενούς (Πλειστόκαινο), οι καταστάσεις που επικρατούσαν για τη διαμόρφωση των λιγνιτών αποτελούσαν ευμενείς. Οι λιγνίτες στην Ελλάδα, δημιουργήθηκαν στις παράκτιες και στις ηπειρωτικές λεκάνες (Σταματίου, 2015).

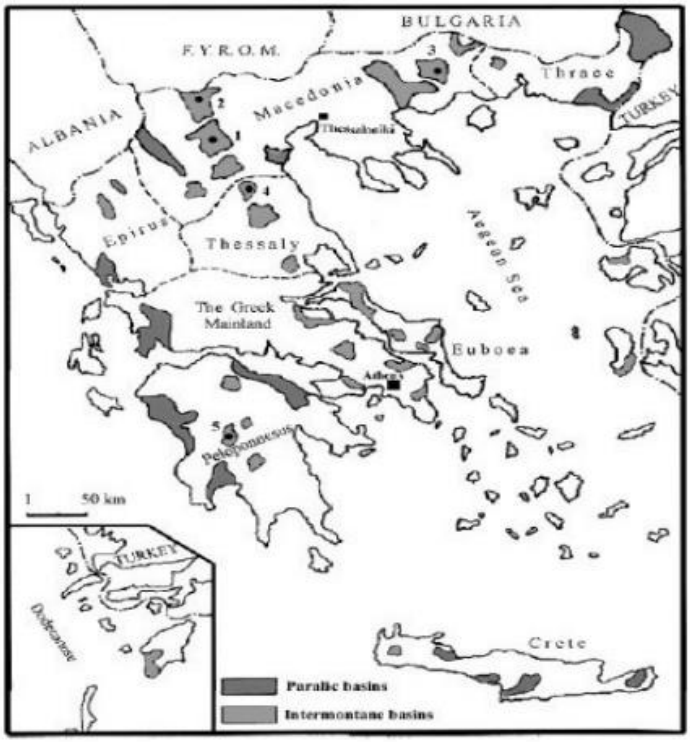
Η δημιουργία των αβαθών ελών που σχηματίστηκαν από την απόσυρση της θάλασσας ονομάζονται παράκτιες λεκάνες, ενώ οι ηπειρωτικές λεκάνες, δημιουργήθηκαν ως τεκτονικές τάφροι στο εσωτερικό της χώρας (Φλώρινα – Κοζάνη – Ελασσόνα – Πτολεμαΐδα) με μήκος δεκάδες έως και εκατοντάδες χιλιόμετρα (Μέρκος, 1991).

Ένα σχετικά μεγάλο μέρος του πρωτοεμφανιζόμενου υποβάθρου εξαιτίας αρκετών τεκτονικών παραγόντων, παρέμεινε κάτω από το νερό. Με αυτό τον τρόπο, σχηματίστηκαν οι βαθιές ή αβαθείς λεκάνες όπου με την πάροδο του χρόνου γέμισαν ιζήματα. Τμήματα αυτών των λεκανών, με βάση τις εκάστοτε συνθήκες, στις οποίες υπήρχε η δυνατότητα ανάπτυξης της βλάστησης, μετασχηματίστηκαν σε έλη και έτσι αναπτύχθηκε η λιγνιτοφορία (Καβουρίδης, 1992).

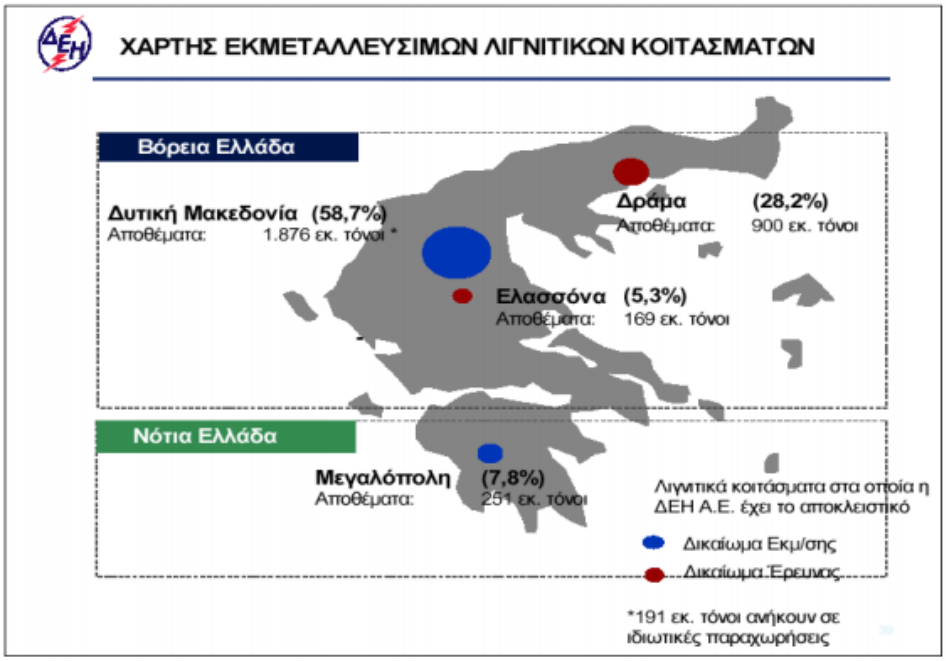
Παρακάτω απεικονίζονται οι λιγνιτοφόρες λεκάνες της Χώρας μας και στη συνέχεια παρουσιάζεται η εικόνα με τα αποθέματα των Ελληνικών Γαιανθράκων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλο
Α.Π.Θ



Εικόνα 1.1.2 Οι Λιγνιτοφόρες Λεκάνες Της Ελλάδας (Ι.Γ.Μ.Ε./ΔΕΠΥ, 1997)



Εικόνα 1.1.2.1 Γεωγραφική Κατανομή των Λιγνιτικών Κοιτασμάτων (ΔΕΗ, 2006)

Στη Δυτική Μακεδονία και τη Θεσσαλία, συγκεκριμένα στη Φλώρινα, στην Κοζάνη, στην Πτολεμαΐδα και στην Ελασσόνα, εντοπίζεται το 64% των συνολικών αποθεμάτων λιγνίτη της Ελλάδος.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

1.1.3 Ενανθράκωση

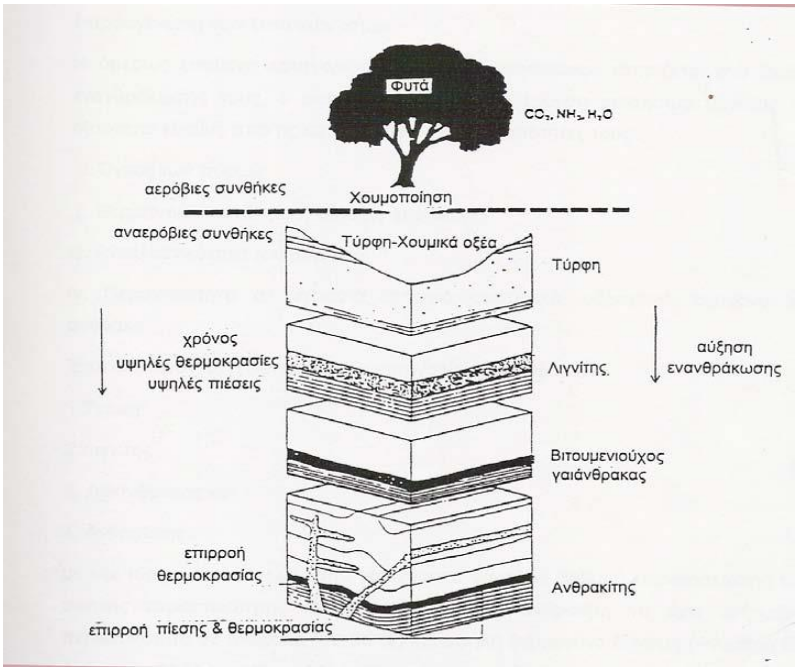
Οι διαδικασίες οι οποίες επιφέρουν αλλοιώσεις και αλλαγές στον εμπλουτισμό της φυτικής ύλης σε άνθρακα αλλά ακόμα και στην ίδια, αποτελούν την ενανθράκωση. Η διακύμανση από την πρώιμη μέχρι και στην τελική φάση της ενανθράκωσης, εκφράζεται από μία αλληλουχία αλλαγών στις φυσικοχημικές ιδιότητες των γαιανθράκων ως ακολούθως:

- μείωση των πτητικών συστατικών,
- μείωση της περιεκτικότητας σε οξυγόνο και υδρογόνο,
- αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα.

Η ενανθράκωση εξαρτάται από:

- το γεωλογικό χρόνο,
- τη θερμοκρασία,
- την πίεση.

Η διαδικασία της ενανθράκωσης διεξάγεται στη βιοχημική και στη δυναμοχημική (Παπανικολάου, 1996).



Εικόνα 1.1.3 Στάδια Ενανθράκωσης (Ανδρονικίδης, 2009)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

1.2 Σχηματισμός των Ενστρώσεων της Ασβεστολιθικής Μάργας

Η αρχική λίμνη στην περιοχή της Κοζάνης – Πτολεμαΐδας, αναπτύχθηκε εντός της τεκτονικής τάφρου Μοναστηρίου – Φλώρινας – Πτολεμαΐδας – Κοζάνης, η οποία σχηματίστηκε λόγω τεκτονικών κινήσεων μετά το τέλος των Αλπικών πτυχώσεων. Η κλειστή αυτή τάφρος πληρώθηκε κατά τη διάρκεια της Νεογενούς περιόδου από ιζήματα, τα οποία δεν ήταν ενιαία είτε ως προς τη λιθολογική σύσταση, είτε ως προς την ιζηματογενή φάση. Λόγω αυτών των συνεχών τεκτονικών κινήσεων, μεγάλο μέρος του ανάγλυφου παρέμενε κάτω από τα νερά με αποτέλεσμα τον σχηματισμό πολλών βαθέων ή αβαθών λιμνών, μεγάλα τμήματα των οποίων μεταβάλλονταν κατά περιόδους σε έλη. Τόσο η ελόβια, όσο και η υδρόβια βλάστηση με την πάροδο του χρόνου και τη συνδρομή άλλων βοηθούντων παραγόντων όπως η συνίζηση, επικάλυψη, δράση αερόβιων ή αναερόβιων οργανισμών, δημιούργησαν τις διάφορες συγκεντρώσεις τύρφης και λιγνίτη. Η συνέχιση των τεκτονικών κινήσεων και οι περιφερειακές της λίμνης διαβρώσεις των πετρωμάτων διαμόρφωσαν τη σημερινή εικόνα του κοιτάσματος το οποίο χαρακτηρίζεται από τις συχνές εναλλαγές λιγνιτικών και στείρων αργιλομαργαϊκών ενστρώσεων.

Εικόνα 1.2 Ασβεστολιθική Μάργα σε μεγάλο ύψος μετώπου εξόρυξης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

1.2.1 Διαδικασία Εκμετάλλευσης Λιγνίτη

Λόγω των κλιματολογικών συνθηκών, ευνοήθηκε η πλούσια υδροχαρής βλάστηση σε πολλά σημεία της λεκάνης Μοναστηρίου, Φλώρινας, Αμυνταίου, Πτολεμαΐδας, Κοζάνης και Σερβίων. Μεγάλες ποσότητες αυτών των φυτών, συσσωρεύτηκαν στο κάτω μέρος των λιμνών και έπειτα τα γαιώδη υλικά σκέπασαν την πυκνή βλάστηση. Τα γαιώδη υλικά κάλυψαν τη βλάστηση και μέσω των διαφόρων μικροοργανισμών και πίεσης, μετατράπηκαν σε στρώματα λιγνίτη. Αυτό, επαναλήφθηκε πολλές φορές μέχρι που άλλα γαιώδη υλικά, τα υπερκείμενα, επικάθησαν στο πάνω μέρος των νεότερων στρωμάτων λιγνίτη. Έτσι, αναπτύχθηκαν τα λιγνιτικά κοιτάσματα τύπου << ζέβρας >>. Συνεπώς, το κοίτασμα αυτό καθαυτό δεν είναι ενιαίο (Γεωργακόπουλος, 2003).

Πιο συγκεκριμένα, στα κοιτάσματα αυτά, εντοπίζονται επαναλαμβανόμενα και ακανόνιστα πάχη στρώματος λιγνίτη, τοποθετημένα ανάμεσα σε ανόργανη ύλη. Οι ενστρώσεις των άγονων υλικών, συγκροτούνται από αργίλους, μάργες και άμμους. Για αυτό το συγκεκριμένο είδος του κοιτάσματος, απαιτείται η εκλεκτική εξόρυξη με τη βοήθεια καδοφόρου εκσκαφέα. Έτσι, πολλές και κυρίως λεπτές, αργιλομαργαϊκές ενστρώσεις, θα συνεξορυχθούν με το λιγνίτη γιατί είναι αδύνατο να διαχωριστούν.

Συνεπώς, η ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι κάπως υποβαθμισμένη. Το τελικό προϊόν συνήθως αποτελείται από μεγάλα ποσοστά ανθρακικών αλάτων του ασβεστίου ($CaCO_3$) και του μαγνησίου ($MgCO_3$). Όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στο λιγνίτη, τόση περισσότερη θα είναι και η παραγόμενη τέφρα ανά μονάδα θερμότητας η οποία παράγεται από την καύση (Κολοβός, 2001: 2016).

Εικόνα 1.2.1 Στρωματογραφία Μετώπου Εξόρυξης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογ
Α.Π.Θ

Εικόνα 1.2.1.2 Καδοφόρος Εκσκαφέας

Ο απολήψιμος λιγνίτης είναι ο λιγνίτης ο οποίος έχει εξορυχτεί από τα μέτωπα εξόρυξης και περιέχει τα λιγνιτικά πακέτα, ενώ ο λιγνίτης τροφοδοσίας ενός Ατμοηλεκτρικού Σταθμού (ΑΗΣ), είναι ο ολικός λιγνίτης, ο οποίος μεταφέρεται από το Ορυχείο μέσω ταινιοδρόμων και φορτηγών και οδηγείται προς την καύση του (Κολοβός, 2001: 2016).

Εικόνα 1.2.1.3 Ταινιόδρομος Τροφοδοσίας ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου

Το είδος των λιγνιτών έχει μεγάλη επίδραση στην καύση τους και κυρίως στη χρήση των Θερμοηλεκτρικών Σταθμών. Για αυτό το λόγο, ο έλεγχος της ποιότητας του λιγνίτη πραγματοποιείται πρώτα στο Ορυχείο και στη συνέχεια, αφού φτάσει στο σταθμό (ΑΗΣ), ελέγχεται πριν την τροφοδότηση του (Κολοβός, 2001: 2016).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Εικόνα 1.2.1.4 Ταινιόδρομος Απολήπτη για Τροφοδοσία του Σταθμού

1.2.2 Προσδιορισμός Ποιότητας Λιγνιτών για Ηλεκτρική Χρήση

Μία ολοκληρωμένη εκτίμηση της ποιότητας του λιγνίτη γίνεται με:

- Προσεγγιστική Ανάλυση(Proximate Analysis),
- Στοιχειακή Ανάλυση(Ultimate Analysis),
- Χημική και Ορυκτολογική Σύσταση Τέφρας,
- Προσδιορισμός Θερμογόνου Δύναμης.

1.2.3 Τεχνολογίες Καύσης Λιγνίτη στους ΑΗΣ

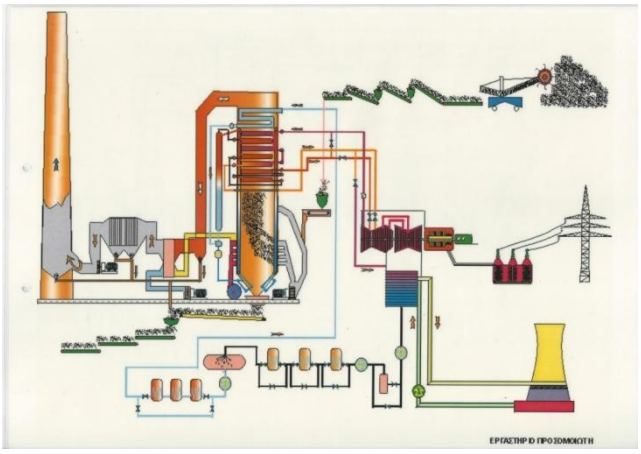
Η πορεία του λιγνίτη προς την καύση, αρχίζει με την τροφοδοσία του στους σπαστήρες θραύσης, όπου ο λιγνίτης, οδηγείται με ταινιόδρομους με τη βοήθεια των απολήπτών ή από τα Bunker (αυλές λιγνίτη) που υπάρχουν στο Σταθμό (ΑΗΣ) (Ανδρονικίδης, 2009).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Εικόνα 1.2.3 Αποθέτης – Απολήπτης Λιγνίτη στην Αυλή του Σταθμού

Το προϊόν αρχικά οδεύει σε σιλό αποθήκευσης με λεπίδες και ύστερα με τη βοήθεια του τροφοδότη, στους μύλους κονιοποίησης. Μετά την κονιοποίηση, ο αλεσμένος λιγνίτης, οδηγείται προς την καύση σε ειδικούς καυστήρες όπου ζεσταίνουν τους ατμολέβητες για την ατμοποίηση του νερού. Για την παραγωγή του ατμού ύδατος αξιοποιείται ο ατμολέβητας ο οποίος βρίσκεται στους 540^{o}C με πίεση 170atm, αποδίδοντας υπέρθερμο ατμό. Αυτός ο ατμός κατευθύνεται με ατμαγωγούς στο στρόβιλο όπου τον στρέφει με 3000 στροφές το λεπτό. Ο ατμός αφού εκτονωθεί από τον στρόβιλο, συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή και στη συνέχεια, με τη βοήθεια των προθερμαντήρων του νερού, οδεύει και πάλι μέσα στον καυστήρα για να ακολουθήσει αυτή τη διεργασία. Ο ατμοστρόβιλος γυρνάει τη γεννήτρια που παράγει ηλεκτρικό ρεύμα (Ανδρονικίδης, 2009). Η λειτουργία όλων των επιμέρους τμημάτων επηρεάζεται από την ποιότητα του αρχικού λιγνίτη.



Εικόνα 1.2.3.1 Λειτουργικό Διάγραμμα Ατμοηλεκτρικών Σταθμών

1.3 Επιπτώσεις κατά την καύση

Ο λιγνίτης τροφοδοσίας πιθανόν να προέρχεται από διαφορετικές στρώσεις λιγνιτικών πακέτων οπότε η εύρεση των ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων, να παρουσιάζει δυσκολίες. Την ώρα της καύσης, τα ανόργανα συστατικά στους άνθρακες μετατρέπονται σε τέφρα, ανόργανη ύλη, η οποία είναι το παραπροϊόν της καύσης του

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

λιγνίτη και χαρακτηρίζεται ως το άκαυστο μέρος του. Τα παραπροϊόντα που είναι σε αέρια μορφή είναι το CO_2 και το SO_3 ενώ σε στερεή μορφή, είναι η υγρή τέφρα (Bottom Ash) και η ιπτάμενη τέφρα (Fly Ash). Η ιπτάμενη τέφρα κατακρατείται κατά 99% σχεδόν από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα όπως επίσης συμπαρασύρεται με τα καυσαέρια. Όταν η ιπτάμενη τέφρα δεν περιέχει υψηλές ποσότητες ελεύθερου ασβεστίου, διαπιστώνεται ότι δεν κατάφερε να δεσμεύσει το διοξείδιο του θείου από το καυσαέριο και έτσι δεν υπάρχουν αυξημένα θειικά. Επίσης, η ιπτάμενη τέφρα, είναι το κύριο παραπροϊόν των ενεργειακών σταθμών λόγω του ότι παράγεται σε αφθονία και αυτό εμποδίζει τη μέγιστη απόδοση της καύσης. Στις εστίες καύσης, τα ανόργανα υλικά του λιγνίτη, υφίστανται φυσικοχημικές διεργασίες και καταναλώνουν θερμότητα φθείροντας τους λέβητες. Συνεπώς, η συμμετοχή της τέφρας κατά την καύση, έχει αντίκτυπο στις εγκαταστάσεις πρό–θραυσης και άλεσης όπως επίσης και στους μύλους. Επιπρόσθετα, η τέφρα, σύμφωνα με τη σύνθεση της σχηματίζει τοπικές επικαθήσεις στα μεταλλικά σημεία της ζώνης καύσης. Αυτές οι επικαθήσεις εμποδίζουν τη μετάδοση της θερμότητας προκαλώντας αναστολή λειτουργίας των Ατμοηλεκτρικών Σταθμών, (ΑΗΣ), για να πραγματοποιηθεί η αφαίρεση αυτών των επικαθήσεων (Ανδρονικίδης, 2009).

Τα πτητικά συστατικά της τέφρας επιτυγχάνουν τη διάβρωση στους λέβητες καύσης καθώς η ανόργανη ύλη έχει επιδράσεις στο περιβάλλον εξαιτίας των εκπομπών της ιπτάμενης τέφρας και των αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα (Ανδρονικίδης, 2009).

Επίσης, όσο περισσότερο είναι το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα στο λιγνίτη, τόσο περισσότερη είναι η παραγόμενη τέφρα ανά μονάδα θερμότητας που παράγεται από την καύση. Το ανθρακικό ασβέστιο αλλά και το ανθρακικό μαγνήσιο σε κάποιο μικρότερο ποσοστό όταν εισέρχονται στο λέβητα, διασπώνται εκλύοντας διοξείδιο του άνθρακα με χημικές αντιδράσεις που είναι ενδόθερμες, δηλαδή απορροφούν την ωφέλιμη θερμότητα του λέβητα. Συνεπώς, το γεγονός αυτό, δημιουργεί ακόμα περισσότερα προβλήματα στην καύση (Ανδρονικίδης, 2009).

Κατά την καύση το οξυγόνο στους άνθρακες επηρεάζεται από το βαθμό αντίδρασης. Η κακής ποιότητας άνθρακες έχουν πολύ μεγαλύτερη ποσότητα οξυγόνου σε σχέση με τους καλής ποιότητας άνθρακες διότι το οξυγόνο δεσμεύει τα κατιόντα των μετάλλων

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

(K, Ca, Na, Mg) και έτσι αυτό έχει ως συνέπεια τη δημιουργία της τέφρας κατά την καύση.

1.3.1 Επιβάρυνση Ηλεκτροστατικών Φίλτρων

Όταν το ποσοστό της ανθρακικής μάργας στο λιγνίτη τροφοδοσίας αυξάνεται, αυξάνεται και η παραγωγή της τέφρας. Αυτό δηλώνει ότι το φορτίο των σωματιδίων στο ρεύμα των καυσαερίων που οδεύει στην καμινάδα μέσω των ηλεκτροστατικών φίλτρων, ανεβαίνει. Συνεπώς, διαπιστώνεται ότι μεγαλώνει και η δυσκολία της κατακράτησης των σωματιδίων της τέφρας από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Η διασπώμενη ανθρακική μάργα παράγει μεγάλο ποσοστό ελεύθερου οξειδίου του ασβεστίου. Τα σωματίδια του ελεύθερου ασβεστίου έχουν εξαιρετικά χαμηλή κοκκομετρία, πράγμα που επίσης σημαίνει ότι αυξάνεται η δυσκολία της συγκράτησης αυτών από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα.

Το ελεύθερο ασβέστιο έχει μεγάλη ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα και ειδικότερα αυξημένη δυσκολία συγκράτησης του από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα ενώ το $CaSO_4$ που είναι προϊόν της αποθείωσης του καυσαερίου, έχει χαμηλή ειδική αγωγιμότητα και συγκρατείται με επιτυχία από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα (Andrabi et al., 2013).

Η ανθρακική μάργα και κυρίως η ασβεστολιθική μάργα με τη διάσπαση της παράγει οξείδιο του ασβεστίου στο θάλαμο καύσης. Κατά την καύση του λιγνίτη παράγεται θειώδες ασβέστιο (Georgakopoulos et al., 1994) σύμφωνα με την αντίδραση:

$$\mathbf{CaO + SO_2 \rightarrow CaSO_3}$$

Λόγω της περίσσειας οξυγόνου στο καυσαέριο το θειώδες ασβέστιο αντιδρά με το οξυγόνο και παράγει θειικό ασβέστιο. (Georgakopoulos et al., 1994)

$$\mathbf{CaSO_3 + ½\ O_2 \rightarrow CaSO_4}$$

Όταν ο λιγνίτης έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε ασβεστολιθική μάργα, έχει πολύ μεγάλη αποθειωτική δράση. Σε υψηλές περιεκτικότητες CO_2 στο λιγνίτη, οι εκπομπές

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

SO_2 σχεδόν μηδενίζονται. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φυσική αποθείωση του καυσαερίου. Το ποσοστό αποθείωσης του καυσαερίου μπορεί να υπολογιστεί από την περίσσεια ελεύθερου ασβεστίου στην παραγόμενη τέφρα.

Συνήθως, η τέφρα του σταθμού παραγωγής έχει πολύ υψηλό ποσοστό οξειδίου του ασβεστίου, όμως μόνο ένα μέρος του οξειδίου του ασβεστίου είναι ελεύθερο οξείδιο του ασβεστίου, ενώ το υπόλοιπο είναι δεσμευμένο σε διάφορα ορυκτά. Το ελεύθερο ασβέστιο στην τέφρα ουσιαστικά δηλώνει την περίσσεια ασβεστίου ώστε να γίνει η αποθείωση του καυσαερίου.

1.3.2 Σύσταση Υγρής Τέφρας

Τα ανόργανα συστατικά της υγρής τέφρας προέρχονται από τη συνεξόρυξη του λιγνίτη μαζί με τα στείρα υλικά. Η υγρή τέφρα αποτελείται από ανόργανα συστατικά και από υπολείμματα άκαυστου λιγνίτη. Η αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των ανόργανων συστατικών κατά την καύση, χρειάζεται πληροφορίες σχετικά με τη συγκεκριμένη ποσότητα, τις διαστάσεις και την άμεση σχέση των ανόργανων κλασμάτων με τον άνθρακα. Αυτά τα ανόργανα συστατικά του λιγνίτη ακολουθούν μια σειρά χημικών και φυσικών αλλαγών, την ώρα της καύσης, έτσι ώστε να παράγουν υγρά και στερεά είδη τέφρας. Επίσης, εξαρτώνται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των ατόμων του άνθρακα, όπως επίσης και από τις συνθήκες που επικρατούν κατά την καύση. Επιπρόσθετα, τα κλάσματα των κόκκων και η σύσταση της τέφρας έχουν άμεση σχέση με τις επικαθήσεις και τις επισκωριώσεις στα μεταλλικά σημεία της ζώνης καύσης των ΑΗΣ (Νικολάου, 1997).

1.3.3 Επικαθήσεις και Επισκωριώσεις Τέφρας

Αναλόγως των διαφορετικών μηχανισμών που συνδέονται με την επικάθηση της τέφρας στις επιφάνειες μεταφοράς θερμότητας, οι δύο τύποι επικαθήσεων είναι το slagging (επισκωριώσεις) και το fouling (καθαλατώσεις). Ο σχηματισμός ρευστοποιημένων επικαθήσεων σε περιοχές του λέβητα που έρχονται σε επαφή με την ακτινοβολούμενη θερμότητα από την καύση, ονομάζεται slagging, ενώ οι επικαθήσεις που σχηματίζονται στις περιοχές που η θερμότητα μεταδίδεται με συναγωγή από τα

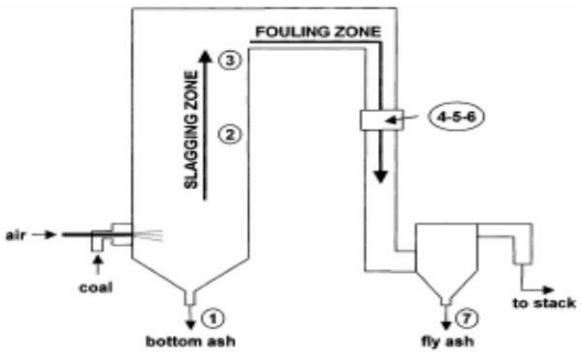
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

θερμά καυσαέρια όπως είναι οι υπερθερμαντήρες και οι αναθερμαντήρες, αποτελεί το fouling. Η επισκωρίαση (slag) διαμορφώνεται όταν τα λειωμένα σωματίδια της τέφρας καταλήγουν στις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας του λέβητα (αυλούς). Όταν οι θερμοκρασίες είναι πάνω από 1000^{o}C, αν η θερμοκρασία τήξης της τέφρας είναι πολύ χαμηλή, ενδεχομένως η τέφρα να κολλήσει στους αυλούς και να παρουσιάσει επικάθηση νέων σωματιδίων και ειδικότερα συσσώρευση της τέφρας. Ειδικότερα, η σκωρία αποτελεί λιωμένη τέφρα και άκαυστα υποπροϊόντα που παραμένουν μετά την καύση του άνθρακα. Παρ ’όλο που αυτές οι επιφάνειες μπορεί να φυσηχτούν και να καθαριστούν με ατμό ή με αέρα, συχνά συσσωρεύουν την τέφρα επιδεινώνοντας την κατάσταση. Κατά την καύση του λιγνίτη, δημιουργείται το fouling από τα πτητικά ανόργανα συστατικά. Όταν η θερμοκρασία των καυσαερίων ελαττώνεται, λόγω του ότι η θερμότητα μεταφέρεται στους αυλούς στις επιφάνειες της συναγωγής του λέβητα, οι ανόργανες αυτές ενώσεις συμπυκνώνονται και τα σωματίδια της τέφρας, κολλάνε πάνω στις σωληνώσεις δημιουργώντας μια επιφάνεια που επιφέρει πρόσθετες επικαθήσεις.

Η τάση για επισκωριώσεις σχετίζεται με τις θερμοκρασίες τήξης της τέφρας. Οι υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με τη χαμηλή τήξη της τέφρας, ενδεχομένως να ωθήσουν την τέφρα να κολλήσει στους αυλούς του λέβητα κι έτσι να δημιουργηθεί επικάθηση και συνεπώς συσσώρευση της τέφρας.

Συνεπώς, η μέτρηση των θερμοκρασιών τήξης της τέφρας είναι σημαντική ένδειξη για την τάση της τέφρας.



Εικόνα 1.3.3 Δημιουργία σκωρίας (slagging) και συσσωματωμάτων (fouling) στις εγκαταστάσεις καύσης των ανθράκων στους ΑΗΣ (Fernandez – Turiel et al., 2004)

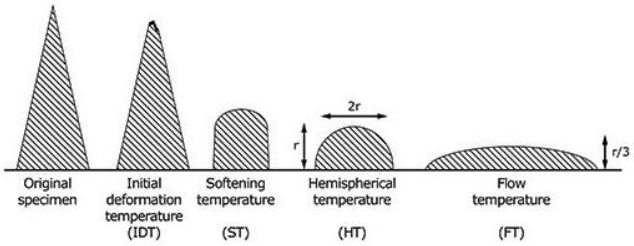
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Οι θερμοκρασίες τήξης της τέφρας είναι:

- η θερμοκρασία αρχικής παραμόρφωσης (initial deformation),
- η θερμοκρασία μαλάκυνσης (softening temperature),
- η θερμοκρασία ημισφαιρίου (hemispherical temperature),
- η θερμοκρασία ροής (fluid temperature).

Αυτές οι θερμοκρασίες, επαληθεύονται καταγράφοντας τον τρόπο με τον οποίο παραμορφώνεται ένας κώνος τέφρας ορισμένων διαστάσεων με την αύξηση της θερμοκρασίας (Hatt, 1996).



Εικόνα 1.3.3.1 Σημεία Τήξης της Τέφρας (Hobbs, 2016)

Ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας είναι, 8^{o}C/min και ο πρώτος κώνος παραμορφώνεται με αργό ρυθμό. Στη συνέχεια, τη στιγμή που οι διαστάσεις του τροποποιηθούν, στην Εικόνα 1.3.3.1 απεικονίζονται οι τέσσερεις θερμοκρασίες ως IDT, ST, HT και FT. Οι θερμοκρασίες καύσης του λιγνίτη στο λέβητα, κυμαίνονται από 1200–1400°C το πολύ. Η υψηλή τάση επισκωριώσεων και το πιθανό λιώσιμο της τέφρας, προκαλούνται από τις μεγάλες θερμοκρασίες.

Όταν η τέφρα αποτελείται κυρίως από Al_2O_3 και SiO_2, εμφανίζει υψηλό σημείο τήξης ενώ χαμηλό όταν το Al_2O_3 καλύπτεται από CaO, MgO και κυρίως Fe_2O_3. Τα αλκάλια μειώνουν το σημείο τήξης της τέφρας και θεωρούνται υπεύθυνα για τις επικαθήσεις (Ανδρονικίδης, 2009). Τα κοιτάσματα λιγνίτη στη Δυτική Μακεδονία, έχουν αρκετά μεγάλα ποσοστά θείου και ασβεστίου, Συνεπώς, δρά αποτελεσματικά το σύστημα της φυσικής αποθείωσης του καυσαερίου (Τσαμόπουλος, 2013).

Συγκεκριμένα, η σύσταση της τέφρας επιδρά στις επικαθήσεις της, στη θερμοκρασία αποσκλήρυνσης, στο ιξώδες καθώς επίσης και στα χαρακτηριστικά σύντηξης της τα

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

οποία παράλληλα ορίζουν τον τρόπο απομάκρυνσης της τέφρας είτε από τη στερεά μορφή είτε υπό μορφή ρευστής σκωρίας.

Οι μεγάλες ποσότητες τέφρας στα τοιχώματα των σωληνώσεων μέσα στον καυστήρα, έχουν τη δυνατότητα να εμποδίσουν αποτελεσματικά την ανταλλαγή της θερμότητας προκαλώντας υψηλότερες ταχύτητες αερίων, γεγονός που προξενεί διάβρωση των σωλήνων. Ακόμα, οι επικαθήσεις αυτές ελαττώνουν την απόδοση ης μονάδας και μεγαλώνει το κόστος συντήρησης τους με αποτέλεσμα τελικά να αυξάνεται το κόστος της παραγόμενης ενέργειας.

Εικόνα 1.3.3.2 Επικαθήσεις

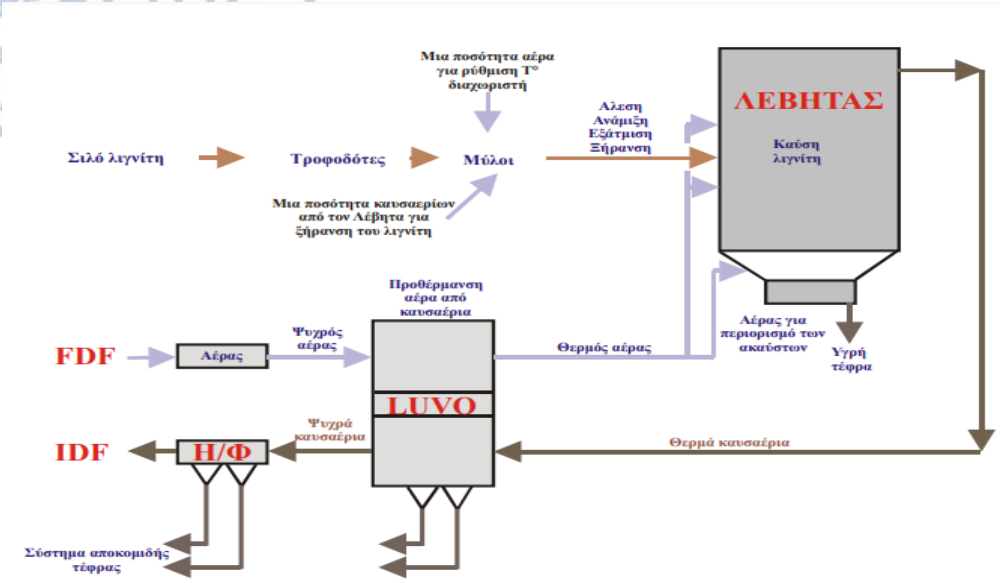
1.3.4 Εγκαταστάσεις Καύσης

Τα κύρια τμήματα του ατμολέβητα είναι:

- ο Υπερθερμαντήρας (Superheater, SH),
- ο Προθερμαντήρας (ECO),
- ο Προθερμαντήρας αέρα καύσης (LUVO).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα



Εικόνα 1.3.4 Λειτουργία Λέβητα (Γρηγοριάδου και Λαμπρογιώργου, 2015)

Το LUVO είναι ένας ιδιαίτερος προθερμαντής αέρος που λειτουργεί ως εξής:

Το καυσαέριο σε θερμοκρασία 450°C, περνά μέσα από ένα πλέγμα κυματοειδών λαμαρινών και θερμαίνει τις λαμαρίνες. (Εικόνες 1.3.4.1 και 1.3.4.2). Η θερμοκρασία του καυσαερίου πέφτει στους 170°C και οι λαμαρίνες αυτές θερμαίνονται και περιστρέφονται με πολύ αργή ταχύτητα. Ένα ρεύμα αέρα που προορίζεται για καύση στο λέβητα, διαπερνά τις λαμαρίνες που είναι καυτές και η θερμοκρασία του αέρα από 20°C, ανεβαίνει στους 310°C περίπου. Συνεπώς, οι λαμαρίνες αυτές, ζεσταίνονται και κρυώνουν συνεχώς όπως περιστρέφονται. Επίσης, οι λαμαρίνες δέχονται από την μια πλευρά το καυτό καυσαέριο (θερμή πλευρά) και από την άλλη πλευρά τον κρύο αέρα. Στη θερμή πλευρά, λοιπόν, δημιουργούνται επικαθήσεις θεϊκού ασβεστίου και έτσι, ψυχόμενες από τον αέρα, στερεοποιείται το $CaSO_4$. Η αφαίρεση του θειικού ασβεστίου είναι σχεδόν αδύνατη (σκληρή επικάθηση) γι' αυτό και κάθε πενταετία, αντικαθίστανται οι λαμαρίνες. Ο λόγος που αντικαθίστανται, είναι γιατί οι λαμαρίνες με τις επικαθήσεις, δεν αφήνουν το καυσαέριο να έχει ελεύθερη πορεία για να γίνει η μεταφορά της θερμότητας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Εικόνα 1.3.4.1 Κυψέλες χωρίς επικαθήσεις

Εικόνα 1.3.4.2 Κυψέλες με επικαθήσεις

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Προέλευση Δείγματος

Τα δείγματα στα οποία έγιναν χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις, ελήφθησαν από τα μεταλλικά μέρη της ζώνης καύσης των Ατμοηλεκτρικών Σταθμών (ΑΗΣ) Καρδιάς και Αγίου Δημητρίου. Το Ορυχείο Καρδιάς τροφοδοτεί τον ΑΗΣ Καρδιάς και το Νότιο Πεδίο τον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου.

Αναλυτικότερα, τα δείγματα από τον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου είναι τα εξής:

- $\Delta_{1:}$ Αναθερμαντήρας Ιβ (+54m, 492^{o}C),
- $\Delta_{2:}$ Υπερθερμαντήρας ΙΙ (+42m, κοντά στα τοιχώματα, 408^{o}C),
- Δ_{3}: Υπερθερμαντήρας ΙΙ (+42m, 830^{o}C),
- Δ_{4}: Ατμοϋδροτοίχωμα (+31m, 965 ^{o}C),
- Δ_{5}: Ατμοϋδροτοίχωμα (+29m, 965 ^{o}C),
- Δ_{6}: Ατμοϋδροτοίχωμα (+21m, 965 ^{o}C),
- Δ_{7}: Ατμοϋδροτοίχωμα (+15m, 965 ^{o}C),
- Δ_{luvo}: LUVO (θερμή πλευρά) Μονάδα ΙΙ,
- Δ_{iv5}: Υπερθερμαντήρας ΙΙ (+46m, 830^{o}C),
- Δ_{ii6}: Υπερθερμαντήρας ΙΙ (+43m, 830^{o}C),
- Δ_{iv7}: Υγρή Τέφρα Μονάδα IV.

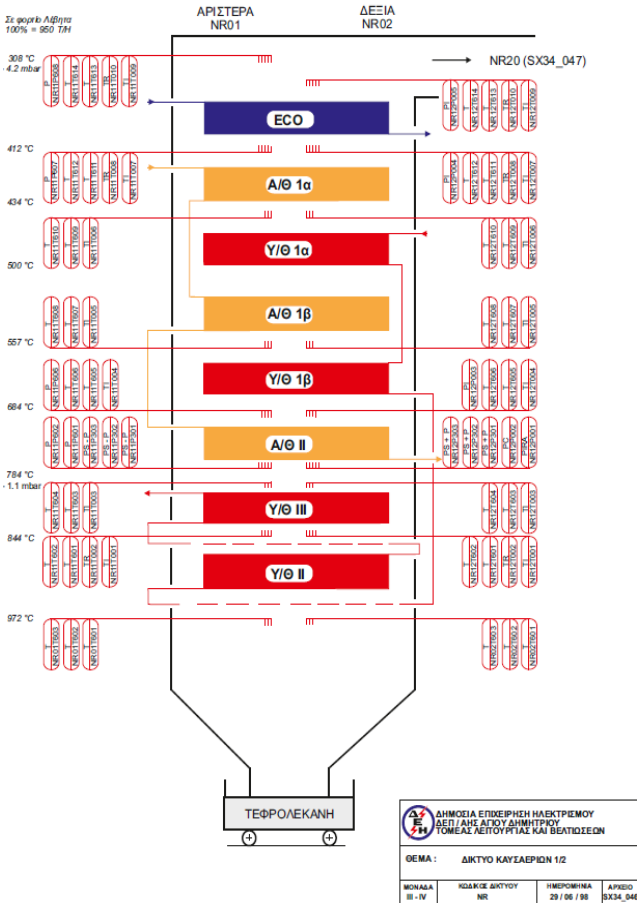
Και τα δείγματα από τον ΑΗΣ Καρδιάς είναι τα παρακάτω:

- Δ_{AK1}: Αναθερμαντήρας I_{α} Μονάδα Ι (+62m, 405^{o}C),
- Δ_{AK2}: Αναθερμαντήρας I_{β} Μονάδα Ι (+55m, 492^{o}C),
- Δ_{AK3}: Υπερθερμαντήρας I_{β} Μονάδα Ι (+53m, 548^{o}C).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζονται τα σημεία από όπου έγινε η δειγματοληψία.



Εικόνα 2.1 Σημεία δειγματοληψίας

2.2 Χημική και Ορυκτολογική Ανάλυση Τέφρας

Οι τέφρες διαφοροποιούνται χημικά και ορυκτολογικά ανάλογα με τη σύσταση τους. Η λιγνιτική τέφρα περιέχει μια μίξη οξειδίων, θειικών και πυριτικών αλάτων και το περιεχόμενό της κατηγοριοποιείται σε όξινα και βασικά. Τα όξινα είναι τα SiO_2, Al_2O_3, TiO_2 ,τα βασικά είναι τα Fe_2O_3, CaO, MgO και τέλος τα αλκαλικά οξείδια είναι το Na_2O και το K_2O. Οι ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις της τέφρας των λιγνιτών είναι απαραίτητες για τον εντοπισμό της μορφής των ανόργανων στοιχείων. Η αξιολόγηση των λιγνιτών διεξάγεται με την εύρεση των ορυκτών σε τέφρες χαμηλής

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

θερμοκρασίας. Κατά αυτό τον τρόπο διερευνάται η τάση για επικαθήσεις και επισκωριώσεις στα μεταλλικά σημεία της ζώνης καύσης. Αναλυτικότερα, η χημική ανάλυση της τέφρας παίζει πολύ μεγάλο ρόλο κατά την καύση των γαιανθράκων γιατί έχουν άμεση σχέση με τις επιδράσεις των επισκωριώσεων, της διάβρωσης και των επικαθήσεων. Για τη γενικότερη πρόγνωση της συμπεριφοράς της τέφρας, οι ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις είναι πολύ σημαντικές για την αντιμετώπιση των επικαθήσεων και των επισκωριώσεων.

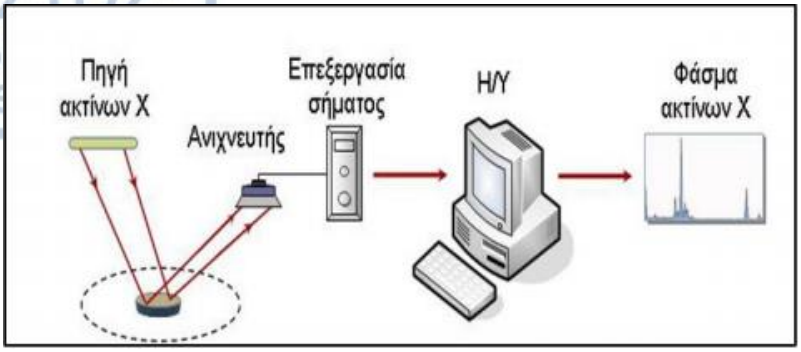
2.2.1 Φασματομετρία ακτίνων – Χ φθορισμού (X – RAY FLUORESCENCE)

Η χημική σύσταση των τεφρών εξετάστηκε με τη χρήση της φασματομετρίας ακτίνων – Χ φθορισμού (XRF). Η XRF παρέχει πλήρη ανάλυση των στοιχείων με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Επιπρόσθετα, με τις συγκεκριμένες ρυθμίσεις που απαιτούνται, μπορεί να ανιχνεύσει αξιόπιστα τα στοιχεία Fe, Al, Co, Ti, Mg, Pb, Sn, Cu, Zn, Ni. Η μέθοδος της φασματομετρίας ακτίνων – Χ φθορισμού, διαθέτει την ικανότητα εύρεσης οξειδίων των στοιχείων που αποτελούν την τέφρα, αλλά και άλλων στοιχείων που υπάρχουν σε στοιχειακή μορφή σε χαμηλή περιεκτικότητα.

Η αρχή λειτουργίας του φασματογράφου XRF είναι η εξής: Πρωτογενείς ακτίνες X_1 που εκπέμπονται από τη πηγή, προξενούν εκπομπή χαρακτηριστικών δευτερογενών ακτίνων X_2 από το δείγμα (φθορισμός), των οποίων οι ενέργειες είναι μικρότερες από την ενέργεια των πρωτογενών ακτίνων X_1 και επιπλέον εξαρτώνται από τα στοιχεία που περιέχει το δείγμα. Η δέσμη των ακτίνων X_2 φθορισμού διέρχεται από τον ευθυγραμμιστή για να γίνει παράλληλη και προσπίπτει στον αναλυτή κρύσταλλο όπου και περιθλάται. Η περιθλώμενη αυτή ακτινοβολία μετράται από τον ανιχνευτή και μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα το οποίο καταγράφεται. Από το μήκος κύματος των ακτίνων – Χ, προσδιορίζεται το είδος των στοιχείων του δείγματος (ποιοτική ανάλυση), ενώ από την ένταση τους η σύσταση (ποσοτική ανάλυση) (Ανδρονικίδης, 2009). Για τη χημική σύσταση της τέφρας αξιοποιήθηκε το αυτόματο σύστημα φασματοσκοπίας ακτίνων Χ – φθορισμού στο εργαστήριο Ορυκτολογίας –Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεω
Α.Π.Θ



Εικόνα 2.2.1 Αρχή λειτουργίας της μεθόδου XRF (Καντηράνης και Παπαδοπούλου, 2011)**(http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo324e/)**

2.2.2 Περιθλασιομετρία ακτίνων – X (X – RAY DIFFRACTION)

Για τον προσδιορισμό των ορυκτολογικών συστατικών που υπάρχουν στα συγκεκριμένα δείγματα, εφαρμόστηκε η περιθλασιμετρία ακτίνων – X (XRD: X – Ray – Difraction), με τη βοήθεια του περιθλασίμετρου τύπου Philips PW1820/00 του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Το περιθλασίμετρο είναι εξοπλισμένο με μικροεπεξεργαστή PW1710/00, λυχνία Cu και φίλτρο Ni για τη λήψη $Cu_{K\alpha}$ ακτινοβολίας, ενώ η περιοχή σάρωσης γωνίας 2θ ήταν 3-63° και η ταχύτητα σάρωσης 1,2°/min. Η περιθλασιμετρία ακτίνων – X, ειδικεύεται στον προσδιορισμό των κρυσταλλικών φάσεων.

Η περίθλαση ακτίνων – X δειγμάτων σε μορφή σκόνης, προσδιορίζει τη δομή και τη σύσταση του δείγματος όπου κάθε δείγμα ενδεχομένως να περιέχει πολλές κρυσταλλικές ενώσεις. Επιπρόσθετα, είναι εφικτό να αναλυθούν στερεά οποιασδήποτε μορφής.

Η προπαρασκευή των παρασκευασμάτων, οι δειγματολήπτες και οι συνθήκες σάρωσης εφαρμόστηκαν σε όλα τα δείγματα με τον ίδιο τρόπο. Στη συνέχεια λήφθηκε αντιπροσωπευτική ποσότητα όλων των εξεταζόμενων δειγμάτων για την επίτευξη της κονιοποίησης στο χέρι με αχάτινο γουδί ώσπου να ομογενοποιηθεί το υλικό και να τοποθετηθεί με τυχαία σειρά στις συγκεκριμένες αντικειμενοφόρες πλάκες.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Από τη μορφολογική εξέταση του περιθλασιογράμματος εμφανίζεται το άμορφο υλικό ως μια ή περισσότερες πλατιές ανακλάσεις (αναθόλωση του υποβάθρου) μεταξύ 10-50^{o} 2θ (Guinier, 1963), αλλά πιο συχνά ως μια κύρια πλατιά ανάκλαση μεταξύ 10-18^{o} 2θ (Καντηράνης, 1999). Η εκτίμηση του συνολικού ποσοστού του άμορφου υλικού επιτεύχθηκε με τη σύγκριση του εμβαδού κάθε πλατιάς ανάκλασης με την ανάλογη περιοχή πρότυπων μιγμάτων ορυκτών και διαφορετικών ποσοστών φυσικού άμορφου υλικού (Καντηράνης κ.α., 2004, Δρακούλης κ.α. 2005). Το όριο ανίχνευσης της μεθόδου είναι ±1% κ. β. για τα ορυκτά και ±3% κ. β. για το άμορφο υλικό (Καντηράνης κ.α., 2004).

Εικόνα 2.2.2 Περιθλασιόμετρο ακτίνων-Χ τύπου Philips PW1710/00 του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας του Α.Π.Θ (Κατσαρά, 2019)

2.2.3 Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης SEM (Scanning Electron Microscopy)

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) χρησιμοποιεί δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας, με σκοπό την ανάλυση των δειγμάτων σε ακριβή κλίμακα. Τα ηλεκτρόνια έχουν τη δυνατότητα να εστιαστούν, όπως και τα φωτεινά κύματα, αλλά σε πολύ μικρότερη επιφάνεια (π.χ. κόκκος υλικού). Η δέσμη ηλεκτρονίων καλύπτει την επιφάνεια του δείγματος με την οποία επικοινωνεί. Από την αλληλεπίδραση αυτή μπορούμε να συλλέξουμε πληροφορίες σχετικά με τη μορφολογία και τη σύσταση του εξεταζόμενου υλικού. Από την επιφάνεια του εξεταζόμενου υλικού εκβάλλονται κυρίως δευτερογενή (secondary) και οπισθοσκεδαζόμενα (backscattered) ηλεκτρόνια όπως επίσης και ακτίνες Χ. Τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας, έχουν επίδραση στην ένταση των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων. Εντούτοις, το SEM παρέχει στοιχεία που αφορούν κυρίως τη σύσταση και τη μορφολογία της επιφάνειας. Ενεργοποιώντας ένα

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

σύστημα ανίχνευσης της διασποράς των ενεργειών των ακτίνων Χ (EDS, Energy Dispersive Spectroscopy) που συγκεντρώνονται στην επιφάνεια από την προσπίπτουσα δέσμη, μπορεί να γίνει ημιποσοτική στοιχειακή ανάλυση του υλικού (Σκλαβούνος, 2011). Οι μικροαναλύσεις των εξεταζόμενων δειγμάτων για την επίτευξη της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, υλοποιήθηκαν στο Διατμηματικό Εργαστήριο Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης συνδεδεμένο με φασματοσκόπιο ενεργειακής διασποράς τύπου INCA-300, με χρόνο ανάλυσης 80 sec και τάση επιτάχυνσης 20 kV. Τέλος, όλα τα εξεταζόμενα δείγματα επιμεταλλώθηκαν με άνθρακα, για να είναι αγώγιμα και να μπορέσει το ηλεκτρικό ρεύμα να περάσει από αυτά με σκοπό την ομαλή λειτουργία του Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου.

Εικόνα 2.2.3 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης τύπου Jeol JSM-840 του Α.Π.Θ (Δρακουλάκου, 2019)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

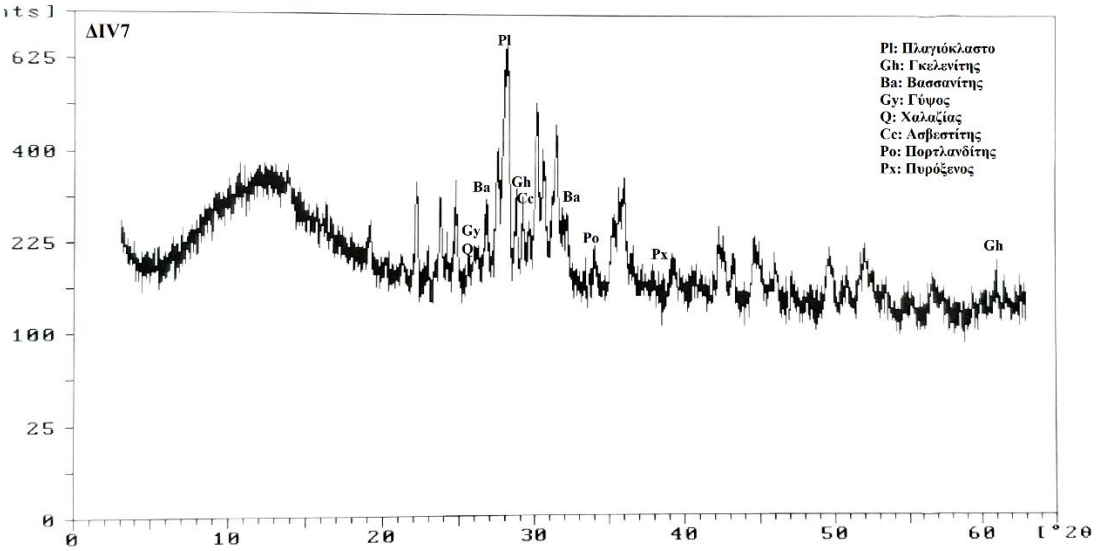
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Ορυκτολογικές Αναλύσεις

3.1.2 Ορυκτολογική Σύσταση

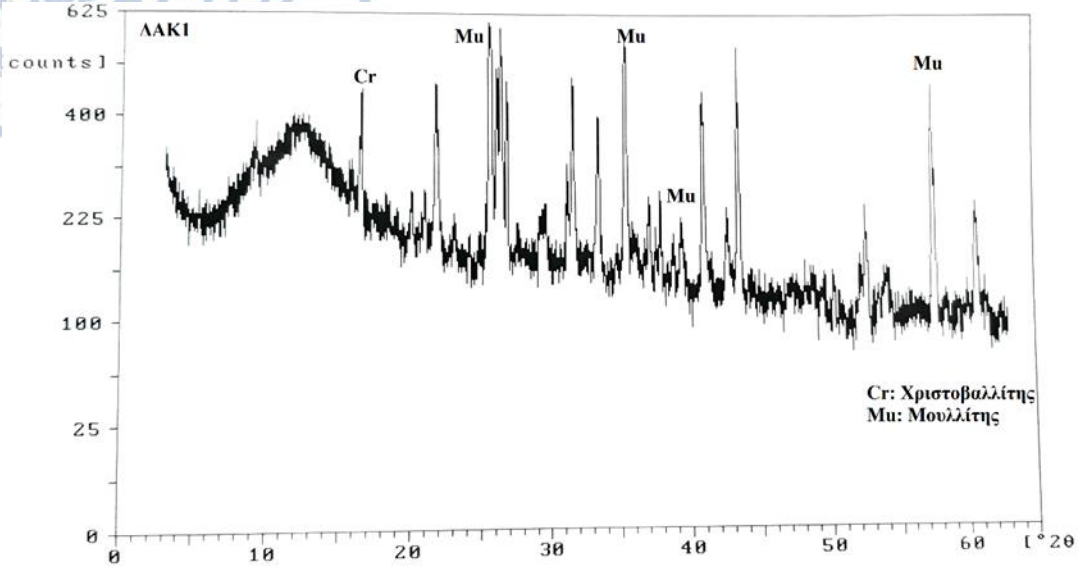
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για τον προσδιορισμό των ορυκτολογικών συστατικών που υπάρχουν στα συγκεκριμένα δείγματα, εφαρμόστηκε η περιθλασιμετρία ακτίνων – Χ (XRD: X-Ray-Diffraction). Η περιθλασιμετρία ακτίνων – Χ, ειδικεύεται στον προσδιορισμό των κρυσταλλικών φάσεων μεταξύ των αργιλικών ορυκτών. Αντιπροσωπευτικά περιθλασιογράμματα παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα, ενώ στον Πίνακα 1, παρουσιάζεται η ποσοτική ανόργανη σύσταση κάθε δείγματος που μελετήθηκε στο εργαστήριο.



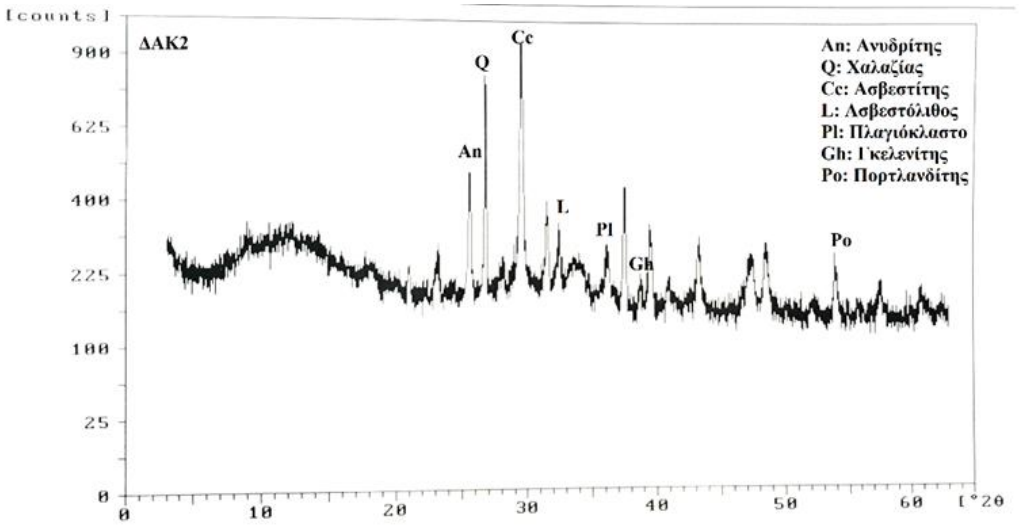
Σχήμα 3.1.2 Περιθλασιόγραμμα του δείγματος Δ_{IV7} (υγρή τέφρα)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



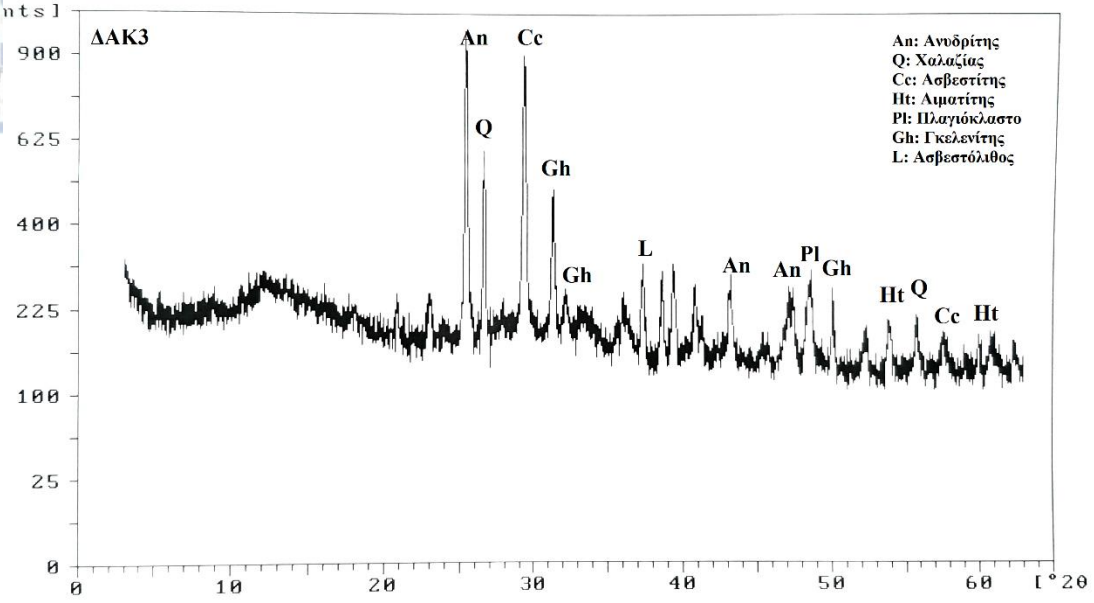
Σχήμα 3.1.2.1 Περιθλασιόγραμμα του δείγματος $Δ_{ΑΚ1}$



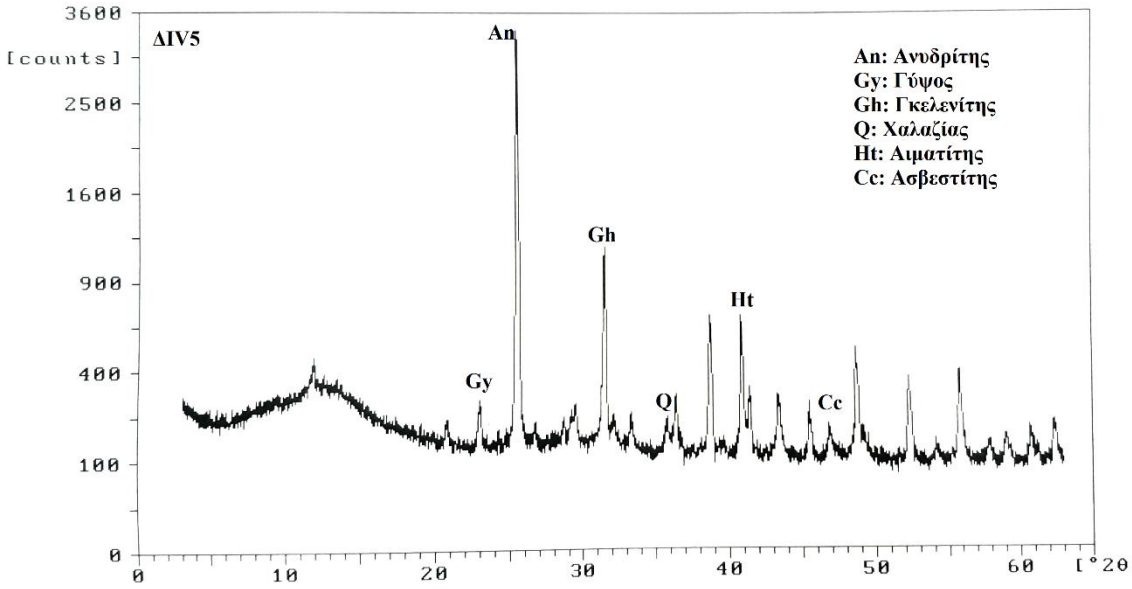
Σχήμα 3.1.2.2 Περιθλασιόγραμμα του δείγματος $Δ_{ΑΚ2}$

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



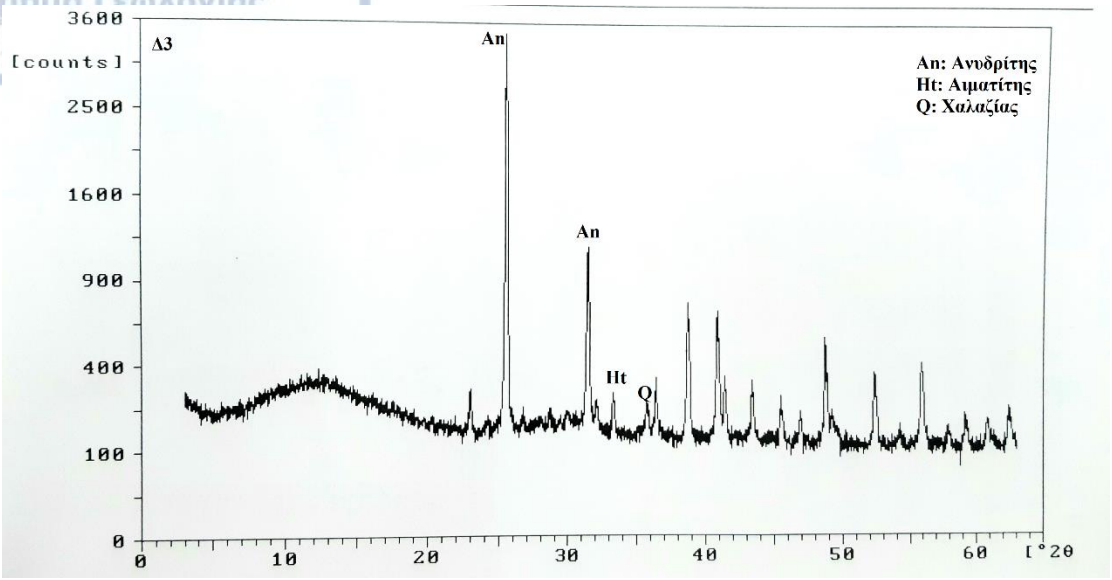
Σχήμα 3.1.2.3 Περιθλασιόγραμμα του δείγματος $Δ_{AK3}$



Σχήμα 3.1.2.4 Περιθλασιόγραμμα του δείγματος $Δ_{IV5}$

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Σχήμα 3.1.2.5 Περιθλασιόγραμμα του δείγματος Δ3

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Πίνακας 1. Ημι-ποσοτικός προσδιορισμός (% κ.β.) της ορυκτολογικής σύστασης των εξεταζόμενων δειγμάτων.

Δείγμα	Άμορφο υλικό	Κρυσταλλικές φάσεις	An	Cc	Po	Ht	Pl	Q	Px	Et	Gh	Mt	Mu	Cr	L	serp	Gy	M
Δ_1	31	69	58	6	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Δ_2	28	72	65	-	-	6	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Δ_3	29	71	65	-	-	5	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Δ_4	17	83	36	15	-	16	3	9	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-
Δ_5	39	61	30	2	-	18	-	3	-	-	3	4	-	-	-	-	-	-
Δ_6	48	52	18	3	-	19	-	2	-	-	4	6	-	-	-	-	-	-
Δ_7	35	65	45	-	-	18	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Δ_{AK1}	28	72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	35	-	-	-	-
Δ_{AK2}	37	63	8	25	4	-	1	10	-	1	3	-	-	-	11	-	-	-
Δ_{AK3}	22	78	28	27		4	1	8	-	-		-	-	-	8	-	-	-
Δ_{LUVO}	41	59	29	18	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
Δ_{IV5}	21	79	68	3	-	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-
Δ_{II6}	26	74	57	11	-	4	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
Δ_{IV7}	26	73	-	6	7	-	15	3	15	-	17	-	-	-	-	-	8	-

An:Ανυδρίτης, Cc:Ασβεστίτης, Po:Πορτλανδίτης, Ht:Αιματίτης, Pl:Πλαγιόκλαστο, Qt:Χαλαζίας, Px:Πυρόξενος, Et:Ετριγκίτης, Gh:Γκελενίτης, Mt:Μαγνητίτης, Mu:Μουλλίτης, Cr:Χριστοβαλίτης, L:Άσβεστος, Serp:Σερπεντίνης, Gy:Γύψος, M:Μαρμαρυγίες

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Στον παραπάνω πίνακα, τα ορυκτά που εμφανίστηκαν είναι ο ανυδρίτης, ο αιματίτης, ο ασβεστίτης, η άσβεστος, ο γκελενίτης, η γύψος, ο ετριγκίτης, ο μαγνητίτης, μαρμαρυγίες, ο μουλλίτης, το πλαγιόκλαστο, ο πορτλανδίτης, ο πυρόξενος, ο σερπεντίνης, ο χαλαζίας και ο χριστοβαλίτης.

Τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά, που παρουσιάστηκαν στα εξεταζόμενα δείγματα είναι ο ανυδρίτης, ο ασβεστίτης, ο αιματίτης, ενώ στο δείγμα Δ_{AK1} υπερισχύει ο μουλλίτης και ο χριστοβαλίτης. Οι μεγάλες περιεκτικότητες ανυδρίτη ενδεχομένως να προέρχονται από την αντίδραση των οξειδίων ασβεστίου και θείου, τα οποία απελευθερώνονται κατά την καύση του λιγνίτη (Ward et al., 2001), πράγμα που αιτιολογεί τις μεγαλύτερες περιεκτικότητες σε ανυδρίτη. Γενικά, η γύψος και ο ασβεστίτης είναι αυθιγενή ορυκτά (Vassilev et al., 1997). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στο δείγμα Δ_{IV7}, στην υγρή τέφρα δηλαδή, εντοπίστηκε ο βασσανίτης. Η παρουσία του συγκεκριμένου ορυκτού, αποδίδεται στη μερική ενυδάτωση του ανυδρίτη κατά την προετοιμασία και μεταφορά των δειγμάτων (Ward et al., 2001).

Ο ασβεστίτης, ο χαλαζίας και το πλαγιόκλαστο, είναι χαρακτηριστικά ορυκτά για τους λιγνίτες με μεγάλα ποσοστά τέφρας και περιέχονται στο αρχικό καύσιμο (Vassilev et al., 1997). Ο ασβεστίτης απουσιάζει σε τέσσερα δείγματα και από αυτό το γεγονός συμπεραίνεται ότι έχει μετατραπεί σε άσβεστο. Ο χαλαζίας έχει κλαστική προέλευση (Παπαζησίμου, 2003; Παπαζησίμου κ.α., 2004) και γενικά παρουσιάζεται με τη μορφή μεμονωμένων κρυστάλλων (Παπαζησίμου, 2003).

Επιπλέον, σε πολύ μικρό ποσοστό ανιχνεύθηκαν και μαρμαρυγίες οι οποίοι είναι και αυτοί από κλαστική προέλευση. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι μαρμαρυγίες συνδέονται με την εξαλλοίωση των αστρίων και είναι επιγενετικά ορυκτά (Vassilev et al., 1997).

Επίσης, άλλο ένα ορυκτό που βρέθηκε είναι ο γκελενίτης το οποίο είναι δευτερογενής φάση και είναι συνηθισμένο ορυκτό των τεφρών σε πολλές περιοχές του κόσμου (Martinez et al., 1996; Vassilev et al., 1996; Spears, 2000; Karayigit and Gayer 2001; Vassilev et al., 2001; Boyd, 2002; Goni et al., 2003; Ilic et al., 2003; Chen et al., 2004; Hower and Robertson, 2004; Mardon and Hower, 2004; Vassilev et al., 2005) και της Ελλάδας. (Sakorafa et al., 1996; Fernandez – Turiel et al., 2004; Kantiranis et al., 2004). Επιπρόσθετα, ο γκελενίτης κατατάσσεται στην κατηγορία των ασβεστο-αργιλο-

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

πυριτικών ορυκτών. Αντίθετα, στους γαιάνθρακες υψηλού βαθμού ενανθράκωσης, το CaO συνδέεται με τον ασβεστίτη (Chen et al., 2004). Επιπρόσθετα, κατά την καύση του λιγνίτη, σχηματίζονται ο γκελενίτης, ο ανυδρίτης, η άσβεστος και τα άμορφα υλικά. (Filippidis and Georgakopoulos, 1992; Filippidis et al., 1996a; 1997; Kassoli – Fournaraki et al., 1992).

Ακόμα, από την εκτίμηση των δεδομένων της περιθλασιμετρίας ακτίνων – Χ τα δευτερογενή ορυκτά που προέκυψαν, ήταν ο μαγνητίτης και ο αιματίτης.

Τέλος, περιστασιακά και σε μικρές περιεκτικότητες, εμφανίζονται ο πορτλανδίτης, ο εττριγκίτης και ο σερπεντίνης ενώ ο πυρόξενος βρίσκεται μόνο στο δείγμα της υγρής τέφρας σε αρκετά μεγάλο ποσοστό. Ο σερπεντίνης είναι ένα προϊόν εξαλλοίωσης μαγνησιούχων πυριτικών ορυκτών κυρίως του ολιβίνη και περιέχεται στα ενδιάμεσα στείρα στρώματα που συνεξορύσσονται, αλλά και στο ανόργανο μέρος του λιγνίτη.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του Αγίου Δημητρίου με τα δείγματα της Καρδιάς, παρουσιάζονται έντονες διαφορές στα ορυκτά που υπερισχύουν, όπως για παράδειγμα, στο δείγμα Δ_{AK1} εμφανίζονται τα ορυκτά μουλλίτης και χριστοβαλίτης σε αρκετά μεγάλα ποσοστά. Ο μουλλίτης είναι και αυτός δευτερογενής φάση που βρίσκεται μαζί με τον γκελενίτη στα κοινά ορυκτά των τεφρών σε πολλές περιοχές του κόσμου (Martinez et al., 1996; Vassilev et al., 1996; Spears, 2000; Karayigit and Gayer, 2001; Vassilev et al., 2001; Boyd, 2002; Goni et al., 2003; Ilic et al., 2003; Chen et al., 2004; Hower and Robertson, 2004; Mardon and Hower, 2004; Vassilev et al., 2005) αλλά και της Ελλάδας (Sakorafa et al., 1996; Fernandez – Turiel et al., 2004; Kantiranis et al., 2004). Ο Spears (2000) αναφέρει πως ο σχηματισμός του μουλλίτη έχει να κάνει με την καταστροφή του καολινίτη. Επιπροσθέτως, ο μουλλίτης συνδέεται άμεσα με τα αργιλικά ορυκτά, μαρμαρυγίες, τους αστρίους και τα φυλλοπυριτικά ορυκτά και σχηματίζεται σε θερμοκρασίες πάνω από 1000^{o}C (Vassilev et al., 1996). Όσον αφορά στο χριστοβαλίτη, προέρχεται από μετατροπή του χαλαζία σε υψηλές θερμοκρασίες. Το δείγμα Δ_{AK2} περιέχει μεγάλα ποσοστά ασβεστίτη, χαλαζία και ασβέστου ενώ στο δείγμα Δ_{AK3}, υπάρχουν υψηλά ποσοστά ανυδρίτη και ασβεστίτη. Συνεπώς, τα ποσοστά του χαλαζία, της ασβέστου και του ασβεστίτη, βρίσκονται σε αρκετά μεγάλη ποσότητα στα δείγματα του ΑΗΣ Καρδιάς σε σχέση με τον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου.

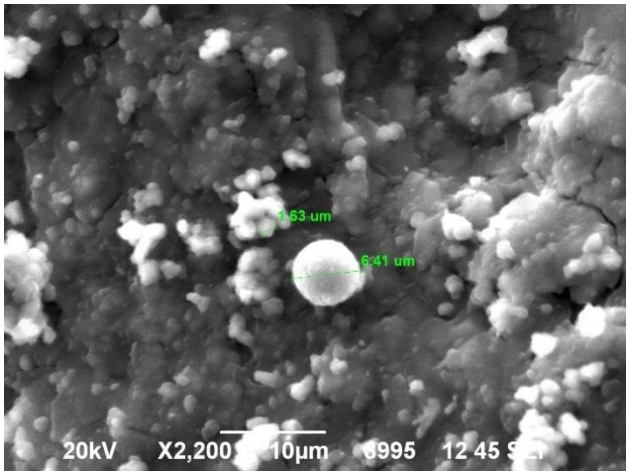
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Οι μεγάλες ποσότητες σε αργιλικές ενώσεις, προκαλούν επικαθήσεις και εμποδίζουν τους μηχανισμούς διαχείρισης και τροφοδοσίας, ενώ η υγρασία μειώνει την απόδοση της θερμότητας με αποτέλεσμα να καίγονται περισσότερες ποσότητες άνθρακα για την ηλεκτροπαραγωγή.

3.1.3 Μορφολογία και Δομή

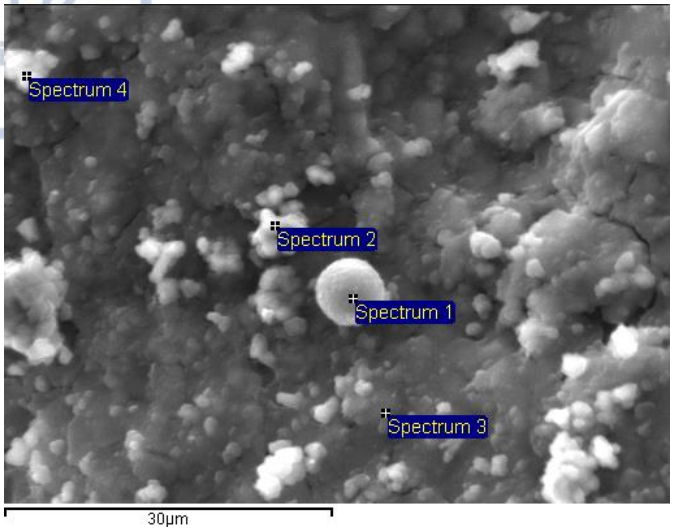
Από το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο (SEM) συλλέγονται στοιχεία που αφορούν τη μορφολογία και τη σύσταση των εξεταζόμενων δειγμάτων. Σε αυτή την περίπτωση αναλύθηκαν δώδεκα δείγματα ιπτάμενης τέφρας, ένα δείγμα υγρής τέφρας και ένα δείγμα από το Luvo. Οι συγκεκριμένες αναλύσεις, αξιοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της σύνθεσης όλων των εξεταζόμενων υλικών. Παρακάτω απεικονίζονται ορισμένες αντιπροσωπευτικές εικόνες από την ανάλυση καθώς επίσης και τα αποτελέσματα στα εξεταζόμενα δείγματα στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.



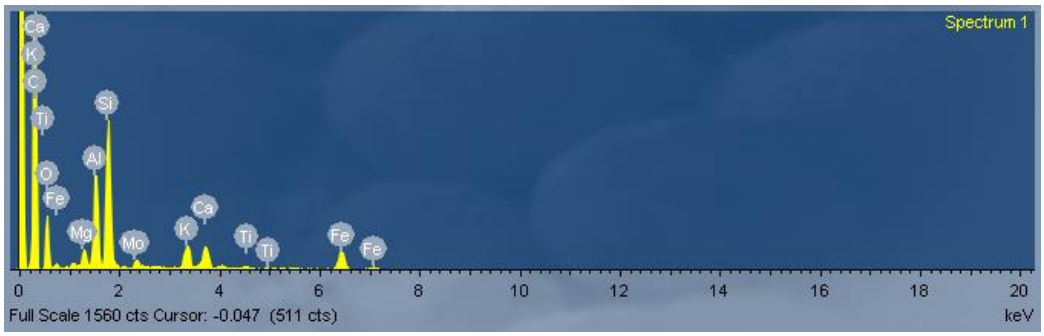
Εικόνα 3.1.3 Διάμετρος σφαιριδίων δείγματος $Δ_1$(Ανάθερμος Ατμός Ιβ +54m)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογ
Α.Π.Θ



Εικόνα 3.1.3.1 Μορφολογία δείγματος Δ_1 (Ανάθερμος Ατμός Ιβ +54m)



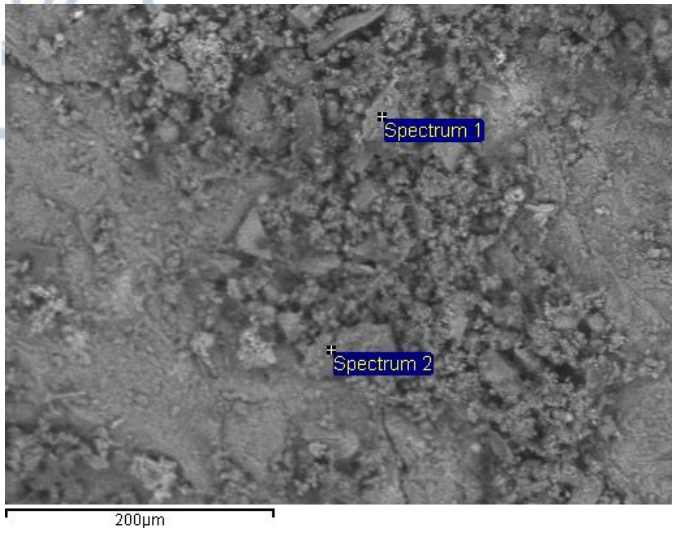
Σχήμα 3.1.3.2 Σύσταση σφαιριδίου Spectrum 1 Δ_1 (Ανάθερμος Ατμός Ιβ +54m)

Πίνακας 2. Χημική σύσταση (% κ.β.) οξειδίων του δείγματος Δ_1.

Οξείδιο	Spectrum 1	Spectrum 2	Spectrum 3	Spectrum 4
MgO	3.71	2.77	19.2	16.46
Al_2O_3	21.1	1.33	3.56	5.96
SiO_2	43.96	1.53	1.61	5.6
K_2O	5.26	-	2.19	1.24
CaO	6.63	0.96	7.77	10.97
TiO_2	1.29	-	-	-
FeO	12.66	86.54	9.38	22.33
MoO_3	5.39	-	-	-
SO_3	-	6.87	56.29	37.43
Σύνολο	100	100	100	99.99

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

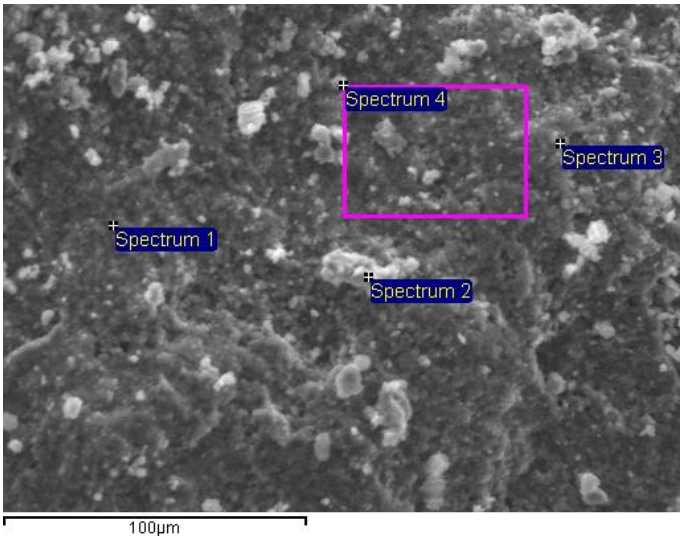
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογ
Α.Π.Θ



Εικόνα 3.1.3.3 Μορφολογία δείγματος Δ_{IV7} (Υγρή Τέφρα)

Πίνακας 3. Χημική σύσταση (% κ.β.) του δείγματος Δ_{IV7} (Υγρή Τέφρα)

Οξείδιο	Spectrum 1	Spectrum 2
CaO	63.17	74.64
SO_3	36.83	25.36



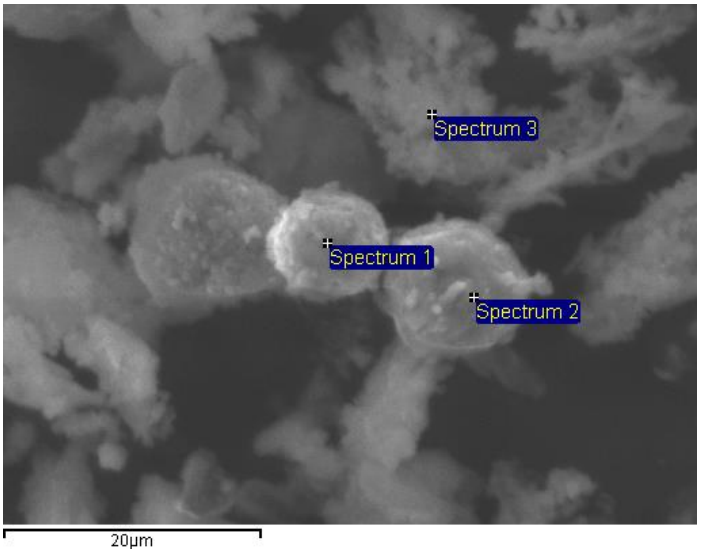
Εικόνα 3.1.3.4 Μορφολογία δείγματος Δ_{LUVO}

Πίνακας 4. Χημική σύσταση (% κ.β.) του δείγματος Δ_{LUVO}

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Οξείδιο	Spectrum 1	Spectrum 2	Spectrum 3	Spectrum 4
MgO	5.80	4.98	2.88	3.88
Al_2O_3	5.65	5.12	2.78	6.08
SiO_2	6.05	6.61	20.28	12.89
CaO	40.37	48.87	43.67	47.15
FeO	4.22	2.75	-	4.62
SO_3	37.91	31.67	18.31	25.37
Σύνολο	100	100	87.92	99.99



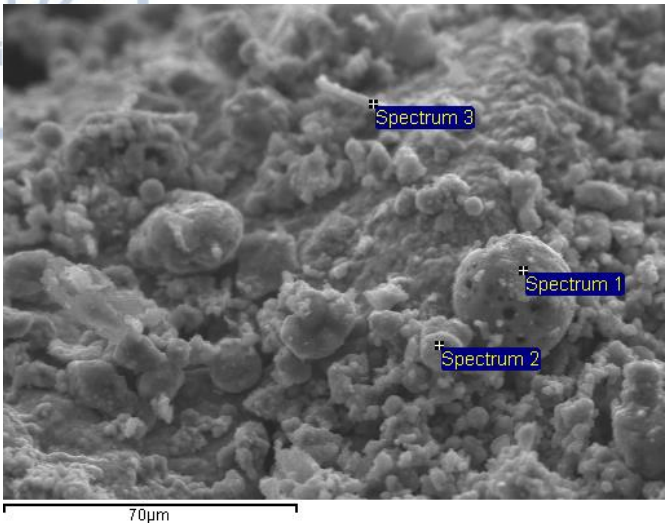
Εικόνα 3.1.3.5 Μορφολογία δείγματος $Δ_{AK2}$ (Ανάθερμος Ατμός Ιβ +55m)

Πίνακας 5. Χημική σύσταση (% κ.β.) του δείγματος $Δ_{AK2}$

Οξείδιο	Spectrum 1	Spectrum 2	Spectrum 3
MgO	-	-	7.92
Al_2O_3	-	7.47	14.55
SiO_2	-	6.36	19.54
CaO	23.28	69.76	36.11
FeO	76.72	-	-
SO_3	-	16.41	21.88
Σύνολο	100	100	100

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

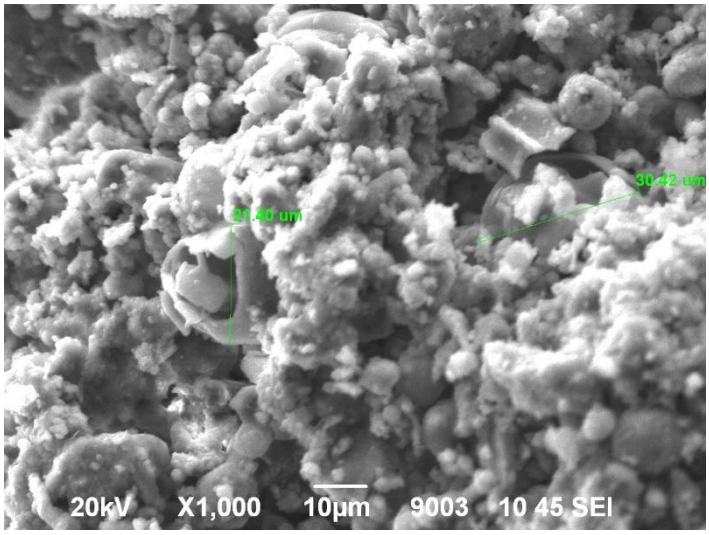
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογί
Α.Π.Θ



Εικόνα 3.1.3.6 Μορφολογία του δείγματος Δ_5 (Ατμοϋδροτοίχωμα, +29m, 965 ºC)

Πίνακας 6. Χημική σύσταση (% κ.β.) του δείγματος Δ_5

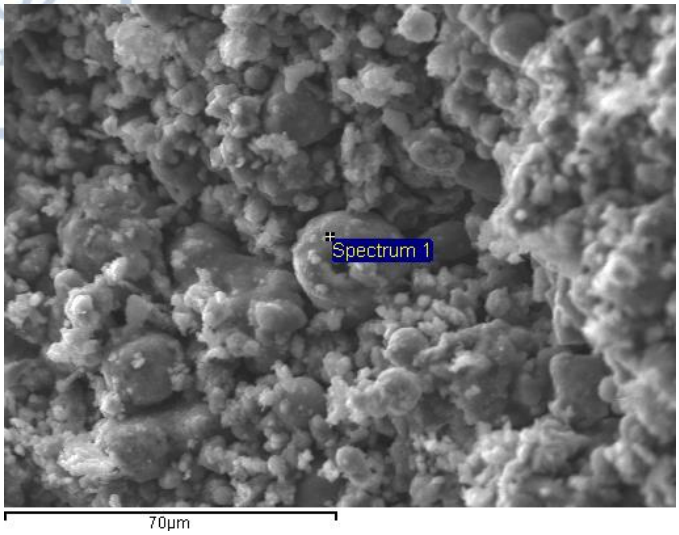
Οξείδιο	Spectrum1	Spectrum2	Spectrum3
MgO	-	3.12	5.11
Al_2O_3	2.62	15.82	21.91
SiO_2	7.95	31.23	43.63
CaO	26.61	17.29	5.32
FeO	16.34	3.27	10
SO_3	46.48	25.9	8.06
Na_2O	-	1.38	-
K_2O	-	1.98	5.97
Σύνολο	100	99.99	100



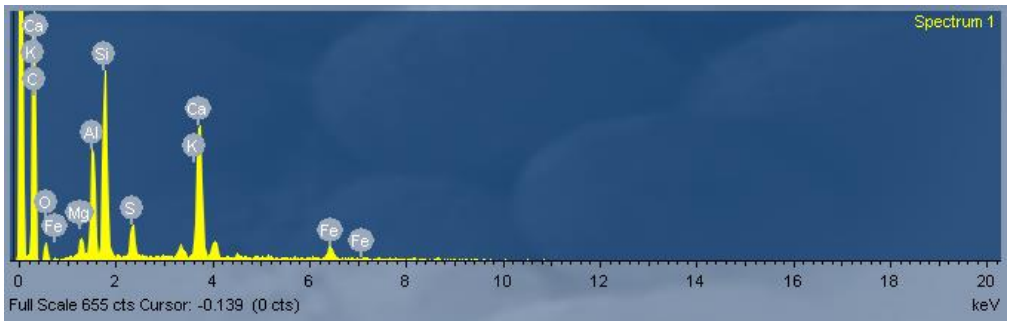
Εικόνα 3.1.3.7 Διάμετρος κενοσφαιριδίων Δ_4 (Ατμοϋδροτοίχωμα, +31m, 965 ºC)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Εικόνα 3.1.3.8 Μορφολογία του δείγματος Δ_4 (Ατμοϋδροτοίχωμα, +31m, 965 ºC)



Σχήμα 3.1.3.9 Σύσταση σφαιριδίου Spectrum 1 Δ_4 (Ατμοϋδροτοίχωμα, +31m, 965 ºC)

Πίνακας 7. Χημική σύσταση (% κ.β.) του δείγματος Δ_4

Οξείδιο	**Spectrum1**
MgO	2.87
Al_2O_3	16.59
SiO_2	36.55
CaO	26.88
FeO	5.97
SO_3	9.45
K_2O	1.69
Σύνολο	100

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Υπάρχουν μικρά σφαιρίδια περίπου 1mm και κάποια μεγαλύτερα που φτάνουν τα 30,43mm τα οποία είναι ιπτάμενη τέφρα η οποία κολλάει στα μεταλλικά σημεία της ζώνης καύσης του Αγίου Δημητρίου (Δ_1, Δ_4, Δ_5 και Δ_{LUVO}) και ΑΗΣ Καρδιάς (Δ_{AK2}). Γενικότερα, στο χαμηλό μέρος του λέβητα τα ατμοσφαιρίδια σκάζουν και έτσι δημιουργούνται κενοσφαιρίδια λόγω της εκτόνωσης τους. Στα χαμηλότερα μέτρα του καυστήρα η ορυκτολογική σύσταση του δείγματος δεν είναι πολύ ευδιάκριτη ενώ στα υψηλότερα μέτρα, δημιουργούνται πολλοί κρύσταλλοι λόγω θερμοκρασίας και πίεσης. Επιπρόσθετα, πιο ψηλά στον καυστήρα έχει αφεθεί χρόνος δημιουργίας των σωματιδίων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ως επί το πλείστον, ασβεστιτική βάση με πυριτικό περίβλημα ενώ στα περισσότερα δείγματα, υπερισχύει ο ανυδρίτης. Στη συνέχεια εμφανίστηκε ο χαλαζίας, ο σιδηροπυρίτης, η γύψος και τα αργιλοπυριτικά ορυκτά. Στην εικόνα του δείγματος $\Delta_{IV7,}$ εμφανίζεται η μαύρη γύψος η απουσία των σφαιριδίων λόγω του άκαυστου λιγνίτη. Παράλληλα, στους παραπάνω πίνακες παρουσιάζεται η χημική σύσταση των εξεταζόμενων δειγμάτων.

Όλα αυτά τα οξείδια σχετίζονται με την ορυκτολογική σύσταση των εξεταζόμενων υλικών. Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα XRD, έδειξαν υψηλά ποσοστά ανυδρίτη. Επίσης, τα οξείδια του πυριτίου σχετίζονται με τον χαλαζία (SiO_2) καθώς επίσης και τα οξείδια του αργιλίου, πιθανώς έχουν να κάνουν με τα αργιλοπυριτικά ορυκτά.

3.2 Χημική Σύσταση

Πίνακας 8. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων (% κ.β.) των εξεταζόμενων δειγμάτων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Οξείδια %	Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_4	Δ_5	Δ_6	Δ_7	Δ_{AK1}	Δ_{AK2}	Δ_{AK3}	Δ_{LUVO}	Δ_{IV5}	Δ_{II6}	Δ_{IV7}
SiO_2	8.74	5.78	6.16	18.27	10.54	7.22	7.58	25.44	21.59	24.38	5.01	4.15	3.57	43.19
Al_2O_3	5.7	3.07	3.14	7.02	4.57	3.2	3.81	51.06	9.35	9.73	3.75	2.92	2.57	18.38
TiO_2	0.33	0.18	0.18	0.37	0.25	0.19	0.22	1.93	0.42	0.45	0.26	0.17	0.15	0.9
CaO	65.6	29.07	30.6	25.42	21.28	18.18	25.32	8.23	36.25	31.08	49.41	32.47	38.06	24.72
MgO	4.85	1.91	1.9	2.79	1.95	1.5	1.75	0.33	2.65	2.5	3.11	1.72	2.54	4.24
K_2O	0.58	0.63	0.44	0.75	0.54	0.27	3.75	0.44	0.74	0.72	-	0.58	0.17	1.08
Na_2O	0.19	0.17	-	0.39	0.24	0.14	0.86	0.23	0.24	0.34	-	-	-	0.36
P_2O_5	0.41	0.17	0.17	0.25	0.19	0.14	0.19	0.12	0.2	0.19	0.3	0.25	0.18	0.37
Fe_2O_3	7.65	18	11.05	21.19	58.8	55.54	53.43	1.68	7.91	6.93	4.54	7.26	7.78	6.13
SO_3	-	37.42	43.36	16.81	-	11.59	-	2.4	6.17	11.54	19.62	46.37	38.57	-
MnO	0.06	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.07	0.06	0.04	0.04	0.03	0.04
SrO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.03	-	-
LOI	5.78	4.06	2.91	6.21	1.38	1.812	2.66	8	13.92	11.836	14.52	4.06	6.04	0.5
Total	99.88	100.5	99.92	99.51	99.79	99.81	99.61	99.89	99.51	99.76	100.59	100	99.66	99.91

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Η αυξημένη συγκέντρωση της ανθρακικής μάργας στο λιγνίτη, έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ιπτάμενης τέφρας με αυξημένα ποσοστά ολικού ασβεστίου, αλλά και αυξημένο ποσοστό θειικών ως SO_3. Όσο περισσότερο ελεύθερο ασβέστιο έχει η τέφρα, τόσο περισσότερο αυξάνεται το ποσοστό της φυσικής αποθείωσης του καυσαερίου με δέσμευση του SO_2 στην τέφρα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλές τιμές θειικών ως SO_3. Τα θειικά έχουν άμεση σχέση με την δημιουργία των λιγνιτών και ταυτόχρονα με τις συνθήκες καύσης του αφού εκεί δεσμεύεται με το CaO. Όταν η ιπτάμενη τέφρα δεν περιέχει μεγάλες ποσότητες ελεύθερου ασβεστίου, αυτό σημαίνει ότι δεν μπόρεσε να δεσμεύσει διοξείδιο του θείου από το καυσαέριο και συνεπώς δεν περιέχει αυξημένα θειικά. Οι τέφρες με αυξημένο ελεύθερο ασβέστιο δεν παρουσιάζουν μεγάλη τάση επικαθήσεων όπως επίσης και το αυξημένο οξείδιο του ασβεστίου, αυξάνει το σημείο τήξης της τέφρας. Συμπερασματικά, η ύπαρξη ελεύθερου ασβεστίου στην τέφρα βελτιώνει την λειτουργία του λέβητα.

Συνεπώς, στον πίνακα 8, απεικονίζονται μεγάλα ποσοστά CaO και SO_3. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις του οξειδίου του ασβεστίου (CaO) έχουν μέγιστη τιμή 65,60% στο δείγμα (Δ_1) και ελάχιστη τιμή ίση με 8,23% (Δ_{AK1}). Επίσης, οι συγκεντρώσεις SO_3 αντιστοιχούν σε 46,37% (Δ_{IV5}) και 2,4% (Δ_{AK1}) αντίστοιχα. Έτσι αυτά τα υψηλά ποσοστά CaO καταλήγουν στο προϊόν της καύσης, στην ιπτάμενη τέφρα δηλαδή, εξαιτίας της συνεξόρυξης των ενδιάμεσων υλικών με τον λιγνίτη. Κατά τη διάρκεια της καύσης, το οργανικό θείο ελευθερώνεται κατά προσέγγιση με τη μορφή διοξειδίου του θείου μολονότι ένα μικρό κομμάτι, ενδεχομένως να δεσμευτεί στην τέφρα. (Georgakopoulos et al., 1994).

Τα ποσοστά των οξειδίων του μαγνησίου (MgO) και του μαγγανίου (MnO), είναι πολύ χαμηλά. Επίσης, οι πολύ χαμηλές τιμές του στρόντιου (Sr) πιθανόν να συνδέονται με τα ανθρακικά και τα θειικά ορυκτά.

Το υψηλότερο ποσοστό απώλειας πύρωσης (LOI) βρέθηκε στο δείγμα Δ_{luvo} με τιμή 14,52% κ.β., ενώ το χαμηλότερο ποσοστό εντοπίστηκε στο δείγμα Δ_{IV7} (υγρή τέφρα) με τιμή 0,5% κ.β. Επομένως, το δείγμα Δ_{luvo} έχει το υψηλότερο ποσοστό συγκέντρωσης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

οργανικού υλικού. Η μέση τιμή της απώλειας πύρωσης για όλα τα δείγματα είναι LOI= 5,98% κ.β. Ειδικότερα, όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα των πτητικών στους λιγνίτες, τόσο ταχύτερα αναφλέγεται αυτός ακόμα και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες μάλιστα. Κατά τη διάρκεια της καύσης του λιγνίτη, το υδρογόνο και ο άνθρακας απελευθερώνονται με τη μορφή H_2O και CO_2 και μάλιστα το άζωτο εκπέμπει NOx τα οποία έχουν περιβαλλοντικό περιορισμό.

Όταν η τέφρα αποτελείται κυρίως από Al_2O_3 και SiO_2, παρουσιάζει υψηλό σημείο τήξης ενώ χαμηλό σημείο τήξης, όταν το Al_2O_3 υπολείπεται του CaO, MgO και κυρίως του Fe_2O_3 (Ανδρονικίδης, 2009). Συνεπώς, το δείγμα Δ_{AK1} αποτελείται κυρίως από Al_2O_3 και SiO_2 άρα, η τέφρα σε αυτό το δείγμα έχει υψηλό σημείο τήξης. Παράλληλα, τα υπόλοιπα δείγματα εμφανίζουν υψηλές περιεκτικότητες σε CaO και ιδιαίτερα στα δείγματα $\Delta_{5,6,7}$ εντοπίστηκαν πολύ μεγάλες ποσότητες Fe_2O_3 οι οποίες φτάνουν μέχρι και 59%. Τα αλκάλια μειώνουν το σημείο τήξης της τέφρας και θεωρούνται υπεύθυνα για τις επικαθήσεις (Ανδρονικίδης, 2009).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης είχε ως στόχο τον ορυκτολογικό και μορφολογικό χαρακτηρισμό των επικαθήσεων τέφρας στη ζώνη καύσης των Α.Η.Σ Δυτικής Μακεδονίας. Αναλύθηκαν δεκατέσσερα δείγματα τα οποία ελήφθησαν από τα μεταλλικά μέρη της ζώνης καύσης των Ατμοηλεκτρικών Σταθμών (ΑΗΣ) Καρδιάς και Αγίου Δημητρίου. Για τη μελέτη τους χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (SEM), περιθλασιμετρίαςακτίνων-Χ (XRD) και φασματομετρίαςακτίνων-Χ φθορισμού (XRF). Ως προς τη μορφολογική δομή της τέφρας, η ιπτάμενη τέφρα, αποτελείται από σωματίδια τα οποία είναι σφαιρικά καθώς επίσης και ατμοσφαιρίδια τα οποία στα χαμηλότερα μέρη του λέβητα σκάζουν με αποτέλεσμα να δημιουργούνται τα κενοσφαιρίδια λόγω της εκτόνωσης τους. Πιο συγκεκριμένα, αυτά τα σφαιρίδια κυμαίνονται από 1,63 μέχρι και 30,42 mm. Όσον αφορά την ορυκτολογική τους σύσταση αναγνωρίστηκαν ανυδρίτης, αιματίτης, ασβεστίτης, άσβεστος, γκελενίτης, γύψος, εττριγκίτης, μαγνητίτης, μαρμαρυγίες, μουλλίτης, πλαγιόκλαστο, πορτλανδίτης, πυρόξενος, σερπεντίνης, χαλαζίας και χριστοβαλίτης. Για την αποτελεσματικότερη περιγραφή της συμπεριφοράς της τέφρας, χρειάστηκαν και χημικές αναλύσεις για την επίδραση της μηχανικής διάβρωσης, της τάσης των επικαθήσεων και επισκωριώσεων. Επιπρόσθετα, προέκυψαν μεγάλες ποσότητες οξειδίου του ασβεστίου (CaO) και αυξημένα θειικά ως (SO_3). Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχει υψηλή συγκέντρωση ανθρακικής μάργας στο λιγνίτη. Οι τέφρες με αυξημένο ελεύθερο ασβέστιο δεν παρουσιάζουν μεγάλη τάση επικαθήσεων. Παράλληλα, οι μεγάλες ποσότητες οξειδίου του ασβεστίου αυξάνουν το σημείο τήξης της τέφρας.

Η έντονη εναλλαγή των ενστρώσεων της ανθρακικής μάργας διαφοροποιεί σε καθημερινή βάση την ποιότητα του τροφοδοτούμενου λιγνίτη με αποτέλεσμα να υπάρχουν επιπτώσεις στην ποιότητα του. Το σημαντικότερο μειονέκτημα της ανθρακικής μάργας είναι η δυσκολία στη διαχείριση της τέφρας ενώ το σημαντικότερο πλεονέκτημα είναι το φαινόμενο της φυσικής αποθείωσης του καυσαερίου. Ανακεφαλαιώνοντας, η μοναδική λύση στην έντονη διακύμανση της ποιότητας του λιγνίτη τροφοδοσίας, είναι η ομογενοποίηση του εξορρυσσόμενου λιγνίτη έτσι ώστε να επιτευχθεί η μείωση της παραγόμενης τέφρας με υψηλό ποσοστό ελεύθερου ασβεστίου και συνεπώς να αντιμετωπιστούν οι ακραίες καταστάσεις στην καύση και προφανώς στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Η ομογενοποίηση προϋποθέτει

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

κατάλληλους χώρους για την τοποθέτηση μεγάλων αποθεμάτων λιγνίτη ώστε να είναι δυνατή η ανάμειξη αυτού έτσι ώστε οι Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί (ΑΗΣ) παραγωγής να τροφοδοτούνται με μέση μηνιαία ποιότητα και όχι με λιγνίτη που καταναλώνεται αμέσως μόλις εξορύσσεται.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΓΓΛΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

Agraniotis, M., Grammelis, P., Papapavlou, C., Kakaras, E. 2009. Experimental investigation on combustion behavior of pre-dried Greek lignite. Fuel Process. Technol., 90, 1071-1079 pp.

Andrabi, S.J.A., Chandra, A., Ashla, M., Hassan, I.A. 2013. Influence of chemical combustion on the electrical resistivity of fly ash generated from Indian coal based thermal power plants. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 5(6), 2284-2288 pp.

Benson, S.A., Jones, M.L., Harb, J.N. 1993. Ash formation and deposition. L.D. Smoot (Ed.), Fundamentals of Coal Combustion for Clean and Efficient Use, Elsevier, Amsterdam, 299-373 pp.

Boyd, R.J., 2002. The partitioning behavior of boron from tourmaline during ashing of coal. International Journal of Coal Geology, 53: 43-54 pp.

Bryers, R.W. 1996. Fireside slagging, fouling, and high-temperature corrosion of heat-transfer surface due to impurities in steam-raising fuels. Prog. Energy Combust., 22, 29-120 pp.

Chen, Y., Shah, N., Huggins, F.E., Huffman, G.P., Linak, W.P. and Miller, C.A., 2004. Investigation of primary fine particulate matter from coal combustion by computer-controlled scanning electron microscopy. Fuel Processing Technology, 85: 743-761 pp.

Couch, G. 1994. Understanding Slagging and Fouling in pf Combustion, IEACR/72. IEA Coal Research, London.

Faugeres L. 1978. Recherches geomorphorlogiques en Grece septentrionale. Macedoine Centrale et Occindentale. Tome I, II. Paris.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Fernandez – Turiel, J., Georgakopoulos, A., Gimeno, D., Papastergios, G., Kolovos, N., 2004. Ash deposition in a pulverized coal-fired power plant after high- calcium lignite combustion. Global Nest Journal 9(1), 77-82 pp.

Filippidis, A., and Georgakopoulos, A., 1992. Mineralogical and chemical investigation of fly ash from the Main and Northern lignite fields in Ptolemais, Greece. Fuel 71(4), 373-376 pp.

Filippidis, A., Georgakopoulos, A., Kassoli-Fournaraki, A., 1996. Mineralogical components of some thermally decomposed lignite and lignite ash from the Ptolemais basin, Greece. International Journal of Coal Geology 30, 303-314 pp.

Filippidis, A., Georgakopoulos, A., Kasoli-Fournaraki, A., Misaelides, P., Yiakkoupis, P., Brossoulis, J. 1996. Trace elements content in composite samples of three lignite seams from the central part of Drama lignite deposit, Macedonia, Greece. Intl. J. Coal Geol. (29), 219-234 pp.

Filippidis, A., Kassoli-Fournaraki, A., Georgakopoulos, A. 1997. Mineralogy, major and trace element contents of fly ashes from the Electric Power Stations of the Ptolemais-Amynteo Lignite Center. In: Proceedings Nat. Symp. Fly Ash Uses in Constructions, Kozani 3-4/10/1997, Tome B, 159–168 pp. (in Greek).

Filippidis, A., Georgakopoulos, A., Kassoli-Fournaraki, A., Blondin, J., Fernadez-Turiel, J.L. 1997. The sulphocalcic coal fly ashes of Ptolemais (Macedonia, Greece) and Gardanne (Provence, France). A Thermie Program Action. Seminar: Coal fly ash, a secondary raw material, 18-4-97, Marseilles.

Georgakopoulos, A., Filippidis, A., Kassoli-Fournaraki, A., 1994. Morphology and trace element contents of the fly ash from Main and Northern lignite fields, Ptolemais, Greece. Fuel 73(11), 1802-1804 pp.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Gluskoter, H.J. 1965. Electronic low temperature ashing of bituminous coal. Fuel, 44, 285-291 pp.

Goni, C., Helle, S., Garcia, X., Gordon, A., Parra, R., Kelm, U., Jimenez, R., Alfaro, G., 2003. Coal blend combustion: fusibility ranking from mineral matter composition. Fuel, 82, 2087-2095 pp.

Guinier, A. 1963. X-Ray Diffraction in Crystals, Imperfect Crystals, and Amorphous Bodies. W. H. Freeman, San-Francisco.

Hatt, R.M. 1990. Fireside deposits in coal/fired utility boilers. Prog. Energy Combust., 16 (4), 235-241 pp.

Hatt, R.M., 1996. Correlating the Slagging of a Utility Boiler with Coal Characteristics. In: Baxter L., DeSollar R. (eds) Applications of Advanced Technology to Ash-Related Problems in Boilers. Springer, Boston, MA, 237-244 pp.

Heap, M.P., Kramlich, J.C., Pershing, D.W., Pohl, D.W., Richter, W.F., Seeker, W.R. 1986. Effects of Coal Quality on Power Plant Performance and Costs. Review of Coal Science Fundamentals, vol. 4, EPRI, Palo Alto, CA, USA.

Hobbs, H. 2016. The future of ash fusion analysis. University of Nottingham, UK, World Coal. Published by Harleigh Hobbs,

Hower, J.C. and Robertson, J.D., 2004. Chemistry and petrology of fly ash derived from the co-combustion of western United States coal and tire-derived fuel. Fuel Processing Technology, 85, 359-377 pp.

Ilic, M., Cheeseman, C., Sollars, C., Knight, J. 2003. Mineralogy and microstructure of sintered lignite coal fly ash. Fuel, 82, 331-336 pp.

Iordanidis, A., and Georgakopoulos, A. 2003. Pliocene lignites from Apofysis mine, Amynteo basin, Northwestern Greece: petrographical characteristics and

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

depositional environment. International Journal of Coal Geology, 54(1-2), 57-68 pp.

Kantiranis, N., Tsirambides, A., Filippidis, A., Christaras, B. 1999. Technological characteristics of the calcined limestone from Agios Panteleimonas, Macedonia, Greece. Materials and Structures, 32, 546-551 pp.

Kantiranis, N., Stamatakis, M., Filippidis, A., Squires, C. 2004. The uptake ability of the clinoptilolitic tuffs of Samos Island, Greece. Bull. Geol. Soc. Greece, 36(1), 89-96 pp.

Kantiranis, N., Chrissafis, C., Filippidis, A., Paraskevopoulos, K. 2006. Thermal distinction of HEU-type mineral phases contained in Greek zeolite-rich volcaniclastic tuffs. European Journal of Mineralogy, 18(4), 509-516 pp.

Karayigit, A.I., and Gayer, R.A. 2001. Characterization of fly ash from the Kangal Power Plant, Eastern Turkey. Inernational Ash Utilization Symposioum, University of Kentucky, paper #4: 8 pp.

Kassoli-Fournaraki, A., Georgakopoulos, A., Filippidis, A. 1992. Heating experiments of the Ptolemais lignite in the temperature range from 100°C to 500°C. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte H1, 487–493 pp.

Kolovos, N., Georgakopoulos, A., Filippidis, A., Kavouridis, C. 2001. Environmental effects of lignite and steriles coexcavation in the Southern lignite field mine of Ptolemais, Northern Greece. Energy Sources, 24(6), 561-573 pp.

Kostakis, G. 2009. Characterization of the fly ashes from the lignite burning power plants of northern Greece based on their quantitative mineralogical composition. J. Hazard. Mater., 166, 972-977 pp.

Kostakis, G. 2011. Mineralogical composition of boiler fouling and slagging deposits and their relation to fly ashes: The case of Kardia power plant. Journal of Hazardous Materials, 185(2-3), 1012-1018 pp.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Mardon, S.M., and Hower, J.C. 2004. Impact of coal properties on coal combustion by-product quality: examples from a Kentucky power plant. International Journal of Coal Geology, in press.

Martinez-Tarazona, M.R., and Spears, D.A. 1996. The fate of trace elements and bulk minerals in pulverized coal combustion in a power station. Fuel Processing Technology, 47, 79-92 pp.

Mitchell, R.S., Gluskoter, H.J. 1976. Mineralogy of ash of some American coals: variations with temperature and source. Fuel. Volume 55, Issue 2, 90-96 pp.

Nutalapati, D., Gupta, R., Moghtaderi, B., Wall, T.F. 2007. Assessing slagging and fouling during biomass combustion: A thermodynamic approach allowing for alkali/ash reactions Fuel Processing Technology, 88 (11-12), 1044-1052 pp.

O'Gorman, J.V. and WalkerJr, P.L. 1973. Thermal behavior of mineral fractions separated from selected American coals. Fuel, 52, 71-79 pp.

Oladejo, J.M., Adegbite, S., Pang, C., Lester, E., Wu, T. 2020. In-situ monitoring of the transformation of ash upon heating and the prediction of ash fusion behavior of coal/biomass blends, Energy 199,117330.

Reid, W.T. 1984. The relation of mineral composition to slagging, fouling and erosion during and after combustion. Prog. Energy Combust., 10, 159-175 pp.

Sakorafa, V., Michailidis, K., Burragato, F. 1996. Mineralogy, geochemistry and physical properties of fly ash from the Megalopolis lignite fields, Peloponnese, Southern Greece. Fuel, 75, 419-423 pp.

Sondreal, E.A., Tufte, P.H., Beckering, W. 1977. Ash fouling in the combustion of low-rank western coals. Combust. Sci. Technol., 16, 95-110 pp.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Vassilev, S.V. and Vassileva, C.G. 1996. Mineralogy of combustion wastes from coal-fired power stations. Fuel Processing Technology, 47, 261-280 pp.

Vassilev, S.V., Kitano, K., Vassileva, C.G. 1997. Relations between ash yield and chemical and mineral composition of coal. Fuel, 76, 3-8 pp.

Vassilev, S.V., Eskenazi, G.M., Vassileva, C.G. 2001. Behavior of elements and minerals during preparation and combustion of the Pernik coal, Bulgaria. Fuel Processing Technology, 72, 103-129 pp.

Vassilev, S.V., Vassileva, C.G., Karayigit, A.I., Bulut, Y., Alastuey, A., Querol, X. 2005. Phase-mineral and chemical composition of composite samples from feed coals, bottom ashes and fly ashes at the Soma power station, Turkey. International Journal of Coal Geology, 61, 35-63 pp.

Wall, T.F., and Lindner, E.R. 1987. Fouling and Slagging, Workshop on Streaming Coal: Testing and Characterization, 17–19 November, Newcastle, NSW, Australia, University of Newcastle, Institute of Coal Research, Newcastle, NSW, Australia, L10.1-L10.27 pp.

Wall, T.F., Creelman, R.A., Gupta, R.P., Gupta, S.K., Coin, C., Lowe, A. 1998. Coal ash fusion temperatures - New characterization techniques, and implications for slagging and fouling. Progress in Energy and Combustion Science, 24 (4), 345-353 pp.

Ward, C.R., Taylor, J.C., Matulis, C.E., Dale, L.S. 2001. Quantification of mineral matter in the Argonne Premium Coals using interacting Rietveld-based Xray diffraction. International Journal of Coal Geology, 46, 67-82 pp.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

Ανδρονικίδης, Δ., 2009. Ανάκτηση λιγνίτη από απορρίμματα εκσκαφέων Μεγαλόπολης. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά. Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

Βάμβουκα – Καλουμένου, Δ., 1995. Εξευγενισμός Γαιανθράκων. Σημειώσεις Παραδόσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Γρηγοριάδου, Σ., Λαμπρογιώργου, Κ., 2015. Ενεργειακός βαθμός απόδοσης λεβήτων λιγνιτικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας – μέθοδοι υπολογισμού και βέλτιστες πρακτικές αύξησης. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Πολυτεχνική Σχολή. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.

Δρακουλάκου, Ι., 2019. Ορυκτολογική, Ορυκτοχημική και Φασματοσκοπική (FTIR) Μελέτη της εμφάνισης τυρκουαζ στην περιοχή Βάθη Ν. Κιλκίς. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας. Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας.

Δρακούλης, Α., Καντηράνης, Ν., Φιλιππίδης, Α., Στεργίου, Α., 2005. Δεσμευτική ικανότητα πλούσιων σε άμορφες φάσεις βιομηχανικών υλικών της Νήσου Μήλου. 2ο Συνέδριο της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Θεσσαλονίκη, Πρακτ., 55-63 σελ.

Ζηλάκου, Σ., 2006. Εκτίμηση της κινητικότητας ιχνοστοιχείων από δείγματα λιγνίτη, ιπτάμενης τέφρας, τέφρας εστίας και αποθέσεων σε όξινο, ουδέτερο και βασικό περιβάλλον. Σημειώσεις Παραδόσεων. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Καβουρίδης, Κ., 1992. Υπολογισμός απόδοσης καδοφόρου εκσκαφέα. Σημειώσεις Παραδόσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Καντηράνης, Ν., Στεργίου, Χ.Α., Φιλιππίδης, Α., Δρακούλης, Α., 2004. Υπολογισμός του ποσοστού του άμορφου υλικού με τη χρήση περιθλασιογραμμάτων ακτίνων-Χ. 10ο Διεθνές Συνέδριο Ε.Γ.Ε., Θεσσαλονίκη, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, 36/1: 446-453 σελ.

Κατσάρα, Α., 2019. Μελέτη της έκπλυσης βαρεών μετάλλων από μίγματα ιπτάμενης τέφρας – μαργαϊκού ασβεστολίθου – ζεολιθικού τόφφου τύπου HEU (Κλινοπτιλόλιθος – Ευλανδίτης). Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας. Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας.

Κολοβός, Ν., 2001. Το λιγνιτικό κοίτασμα του Νοτίου Πεδίου της λεκάνης της Πτολεμαΐδας. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας. Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας.

Κώτης, Θ., 1991. Κοιτασματολογία Γαιανθράκων. Σημειώσεις Παραδόσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά. Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

Μέρκος, Π., 1991. Απομείωση τέφρας λιγνιτών με εκλεκτική ελάττωση του μεγέθους. Διπλωματική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Τμήμα Ορυχείων. Αθήνα.

Νικολάου, Ι., 1997. Εμπλουτισμός Λιγνίτη Μεγαλόπολης με Βαρυτομετρικές Μεθόδους. Διπλωματική Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά. Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

Παπαζησίμου, Σ., 2003. Γένεση και εξέλιξη παράκτιων λιγνιτικών κοιτασμάτων Δ. Πελοποννήσου. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, 226 σελ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Παπαζησίμου, Σ., Καλαϊτζίδης, Σ., 2004. Ποσοτικός προσδιορισμός ορυκτών σε λιγνίτη με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ και χρήση ανιχνευτή σταθερής θέσης (XRD-PSD). Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, XXXVI: 464-473 σελ.

Παπανικολάου, Κ., 1996. Κοιτασματολογία Ενεργειακών Πόρων. Σημειώσεις Παραδόσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά. Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

Σκλαβούνος, Σ., 2011. Εργαστηριακές μέθοδοι έρευνας ορυκτών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα εκδόσεων 2011-2012.

Σταματίου, Γ., 2015. Ανάλυση κύκλου ζωής και κοστολόγηση κύκλου ζωής του λιγνίτη για παραγωγή ηλεκτρικής έρευνας: εφαρμογή στην Ελληνική περίπτωση. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών. Αθήνα.

Τσαμόπουλος, Ι., 2013. Η χημική κονιοποίηση σαν μέθοδος απομείωσης της τέφρας και του ανόργανου θείου των λιγνιτών. (Πτυχιακή Εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά. Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.)

Χατζηαποστόλου, Α., Καλαϊτζίδης, Σ., Παπαζησίμου, Σ., Χρηστάνης, Κ., Βάγιας, Δ., 2004. Περιβαλλοντική Γεωχημική και ορυκτολογική μελέτη του λιγνιτικού κοιτάσματος Πελλάνας (Ν.Λακωνίας). 10ο Διεθνές Συνέδριο Ε.Γ.Ε., Θεσσαλονίκη, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, 300-309 σελ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ:

Γεωργακόπουλος Α. 2003. Σημειώσεις του μαθήματος Κοιτασματολογίας Ανθράκων. http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo874e/shmeiwseis/KOITASMATOLOGIA_AN8R AKWN.pdf

ΔΕΗ. 2006. Χάρτης Αποθεμάτων Ελληνικών Λιγνιτών. www.dei.grElectronic

ΔΕΗ. 2006. Χάρτης Ορυχείων Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου. https://www.dei.gr/el/oruxeia/ptolemaida-amuntaio

Εργαστηριακές Μέθοδοι Έρευνας ορυκτών και πετρωμάτων. Τμήμα Γεωλογίας – Τομές Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo324e/

Η γεωλογία των ορυκτών ανθράκων ή γαιανθράκων. Περιβαλλοντική Τεχνική Γεωλογία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Πολυτεχνική Σχολή ΑΠΘ. https://docplayer.gr/24070782-29-i-geologia-ton-orykton-anthrakon-i-gaianthrakon-uli-tongaianthrakon-eidi-gaianthrakon.html#show_full_text

Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.). http://www.igme.gr/geoportal/

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Παραρτήματα

Παράρτημα Ι

Εικόνες

Εικόνα 1.1: Λιμναία & παραποτάμια ιζήματα σελ.13

Εικόνα 1.1.1: Πυθμένας ορυχείου Νότιου Πεδίου σελ.13

Εικόνα 1.1.2: Οι λιγνιτοφόρες λεκάνες (χάρτης) σελ.15

Εικόνα 1.1.2.1: Γεωγραφική κατανομή λιγνιτικών κοιτασμάτων σελ.15

Εικόνα 1.1.3: Στάδια ενανθράκωσης σελ.16

Εικόνα 1.2: Ασβεστολιθική μάργα σε μεγάλο ύψος μετώπου εξόρυξης σελ.17

Εικόνα 1.2.1.2: Εκσκαφέας σελ.19

Εικόνα 1.2.1.3: Ταινιόδρομος τροφοδοσίας ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου σελ.19

Εικόνα 1.2.1.4: Ταινιόδρομος απολήπτη για τροφοδοσία σταθμού σελ.20

Εικόνα 1.2.3: Αποθέτης – απολήπτης λιγνίτη στην αυλή του σταθμού σελ.21

Εικόνα 1.2.3.1: Λειτουργικό διάγραμμα ΑΗΣ σελ.21

Εικόνα 1.3.3: Δημιουργία σκωρίας και συσσωματωμάτων στις εγκαταστάσεις καύσης των ανθράκων στους ΑΗΣ σελ.26

Εικόνα 1.3.3.1: Σημεία τήξης της τέφρας σελ.27

Εικόνα 1.3.3.2: Επικαθήσεις σελ.28

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Εικόνα 1.3.4: Λειτουργία λέβητα σελ.29

Εικόνα 1.3.4.1: Κυψέλες χωρίς επικαθήσεις σελ.30

Εικόνα 1.3.4.2: Κυψέλες με επικαθήσεις σελ.30

Εικόνα 2.1: Σημεία δειγματοληψίας σελ.32

Εικόνα 2.2.1: Αρχή λειτουργίας της μεθόδου XRF σελ.34

Εικόνα 2.2.2: Περιθλασιόμετρο ακτίνων – Χ τύπου Philips PW1710/00 του τομέα ορυκτολογίας – πετρολογίας – κοιτασματολογίας σελ.35

Εικόνα 2.2.3: Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης τύπου JEOL JSM – 840 του ΑΠΘ σελ.36

Εικόνα 3.1.3: Διάμετρος σφαιριδίων δείγματος Δ_1 (αναθ. I_β) σελ.44

Εικόνα 3.1.3.1: Μορφολογία δείγματος Δ_1 (αναθ. I_β) σελ.44

Εικόνα 3.1.3.3: Μορφολογία δείγματος Δ_{IV7} (υγρή τέφρα) σελ.46

Εικόνα 3.1.3.4: Μορφολογία δείγματος Δ_{LUVO} σελ.46

Εικόνα 3.1.3.5: Μορφολογία δείγματος Δ_{AK2} (αναθ. I_β) σελ.46

Εικόνα 3.1.3.6: Μορφολογία δείγματος Δ_5 (ατμουδροτοίχωμα) σελ.47

Εικόνα 3.1.3.7 Διάμετρος κενοσφαιριδίων Δ_4 (ατμουδροτοίχωμα,) σελ. 48

Εικόνα 3.1.3.8: Μορφολογία δείγματος Δ_4 (ατμουδροτοίχωμα) σελ.48

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Παράρτημα ΙΙ

Σχήματα

Σχήμα 3.1.2: Περιθλασιόγραμμα για το δείγμα Δ_{IV7} (υγρή τέφρα) σελ.37

Σχήμα 3.1.2.1: Περιθλασιόγραμμα για το δείγμα Δ_{AK1} (αναθ. I_{α}) σελ.38

Σχήμα 3.1.2.2: Περιθλασιόγραμμα για το δείγμα Δ_{AK2} (αναθ. I_{β}) σελ.38

Σχήμα 3.1.2.3: Περιθλασιόγραμμα για το δείγμα Δ_{AK3} (υπερθ. I_{β}) σελ.39

Σχήμα 3.1.2.4: Περιθλασιόγραμμα για το δείγμα Δ_{IV5} (υπερθ. ΙΙ) σελ.39

Σχήμα 3.1.2.5: Περιθλασιόγραμμα για το δείγμα Δ_3 (υπερθ. ΙΙ) σελ. 40

Σχήμα 3.1.3.2: Σύσταση σφαιριδίου spectrum 1, δείγμα Δ_1 (αναθ. I_{β}) σελ.44

Σχήμα 3.1.3.9: Σύσταση σφαιριδίου spectrum 1, δείγμα Δ_4 (ατμουδροτοίχωμα) σελ.48

Παράρτημα ΙΙΙ

Πίνακες

Πίνακας 1: Ημι – ποσοτικός προσδιορισμός ορυκτών εξεταζόμενων δειγμάτων σελ.41

Πίνακας 2: Χημική σύνθεση οξειδίων για το δείγμα Δ_1 (αναθ. I_{β}) σελ.45

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Πίνακας 3: Χημική σύνθεση οξειδίων για το δείγμα Δ_{IV7} (υγρή τέφρα) σελ.45

Πίνακας 4: Χημική σύνθεση οξειδίων για το δείγμα Δ_{LUVO} σελ.46

Πίνακας 5: Χημική σύνθεση οξειδίων για το δείγμα Δ_{AK2} (αναθ. Iβ) σελ.47

Πίνακας 6: Χημική σύνθεση οξειδίων για το δείγμα Δ_5 (ατμουδροτοίχωμα) σελ.47

Πίνακας 7: Χημική σύνθεση οξειδίων για το δείγμα Δ_4 (ατμουδροτοίχωμα) σελ.49

Πίνακας 8: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων σελ.50

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης