ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Ανάκτηση λιγνίτη από απορρίμματα εκσκαφέων Μεγαλόπολης"

ΑΝΔΡΟΝΙΚΙΔΗΣ Ι. ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ

Εξεταστική Επιτροπή

Σταμπολιάδης Ηλίας, Αναπληρωτής Καθηγητής (επιβλέπων)

Βάμβουκα Δέσποινα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Πασαδάκης Νικόλαος, Επίκουρος Καθηγητής

Χανιά,

Δεκέμβριος , 2009

αφιερώνεται,

στην οικογένειά μου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης υπό την επίβλεψη του Αν. Καθηγητή Η. Σταμπολιάδη. Αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η ανάκτηση του λιγνίτη από τα απορρίμματα των εκσκαφέων των λιγνιτωρυχείων της ΔΕΗ στη Μεγαλόπολη.

Οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή του συγκεκριμένου θέματος είναι το γεγονός ότι ο λιγνίτης αποτελεί τον κυριότερο τύπο στερεού καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Μια πιθανή ενεργειακή κρίση σε συνδυασμό με τη συνεχόμενη αύξηση της τιμής του πετρελαίου καθιστά αναγκαία την ορθή αξιοποίηση της πλούσιας λιγνιτοφορίας στον Ελλαδικό χώρο. Λόγω δυσκολίας εξόρυξης, μέρος του λιγνίτη καταλήγει στις αποθέσεις των εκσκαφέων. Συνεπώς είναι αναγκαία η διερεύνηση μεθόδων για την ανάκτηση της χαμένης ποσότητας καθώς και την ποιοτική αναβάθμισή της. Ο εμπλουτισμός του λιγνίτη αποτελεί πρόκληση για το Μηχανικό Ορυκτών Πόρων.

Παράλληλα το θέμα αυτό αποτελεί το συνδετικό κρίκο μεταξύ των θεωρητικών γνώσεων που αποκτήθηκαν κατά τη φοίτηση στο τμήμα και των προβλημάτων που αντιμετωπίζονται στην πράξη.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Αν. Καθηγητή κ. Ηλία Σταμπολιάδη για το ενδιαφέρον του στην εκτέλεση της εργασίας και την αμέριστη συμπαράστασή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας. Θέλω επίσης να ευχαριστήσω την Αν. Καθηγήτρια κ. Δέσποινα Βάμβουκα και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Νικόλαο Πασαδάκη για τις συμβουλές τους κατά τη διάρκεια της εκπόνησης του πειραματικού μέρους της εργασίας και για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους πάνω στο κείμενο και την καλή τους διάθεση να αφιερώσουν μέρος από τον πολύτιμο χρόνο τους για την αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Αισθάνομαι ότι οφείλω ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στους επιστημονικούς συνεργάτες του εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων την κ. Όλγα Παντελάκη και τον κ. Βαγγέλη Πετράκη για την αμέριστη βοήθεια τους κατά την εκπόνηση των πειραμάτων. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω ειδικότερα τον κ. Γιώργο Αλεβίζο, την κ. Δέσποινα Πεντάρη, την κ. Χρύσα Αποστολάκη, τον κ. Γεώργιο Αποστολάκη, την κ. Άννα Κρητικάκη, την κ. Καλλιόπη Αναστασιάδου και τον κ. Παναγιώτη Χαζιράκη για την σημαντική βοήθεια τους στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Επίσης θα ήθελα αν ευχαριστήσω το κ. Γιάννη Τύπου για τις αναλύσεις των δειγμάτων που έκανε για λογαριασμό της παρούσας εργασίας, στο ΙΤΕΣΚ.

Τελειώνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους γονείς μου και τον αδερφό μου για τη στήριξή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο λιγνίτης, που ανήκει στην ευρύτερη κατηγορία των γαιανθράκων, είναι η κυριότερη ορυκτή καύσιμη ύλη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ανήκει στα «φτωχά» στερεά καύσιμα και ιδίως ο λιγνίτης Μεγαλόπολης είναι το φτωχότερο εκμεταλλεύσιμο παγκοσμίως. Ένα μέρος του εξορυσσόμενου λιγνίτη οδηγείται στις αποθέσεις των αγόνων.

Σκοπός λοιπόν της παρούσας εργασίας είναι η ανάκτηση του λιγνίτη από τα απορρίμματα των εκσκαφέων. Ο στόχος του εμπλουτισμού του συγκεκριμένου δείγματος είναι ο διαχωρισμός της οργανικής από την ανόργανη ύλη και την απομάκρυνση της τελευταίας. Αυτό γίνεται για τους εξής λόγους: Πρώτον η τέφρα (ανόργανη ύλη) αποτελεί το άκαυστο μέρος του λιγνίτη και η παρουσία της στους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς μειώνει την απόδοση καύσης ενώ παράλληλα προκαλεί φθορές στους λέβητες. Δεύτερον με τον εμπλουτισμό των γαιανθράκων επιτυγχάνεται ποιοτική αναβάθμισή τους.

Οι μέθοδοι εμπλουτισμού που επιλέχθηκαν είναι ο διαχωρισμός σε βαρέα υγρά και ο αεροδιαχωρισμός ώστε να γίνει εκμετάλλευση της διαφοράς του ειδικού βάρους του λιγνίτη από τα υπόλοιπα ορυκτά. Πριν από τις παραπάνω διαδικασίες προηγήθηκε θραύση του υλικού και κοσκίνιση σε συγκεκριμένα μεγέθη ώστε τα κοκκομετρικά κλάσματα να αποτελέσουν την τροφοδοσία των μεθόδων εμπλουτισμού. Για την αξιολόγηση του διαχωρισμού πραγματοποιήθηκαν προσεγγιστική και στοιχειακή ανάλυση, προσδιορισμός της Ανώτερης Θερμογόνου Δυνάμεως καθώς και χημική – ορυκτολογική ανάλυση της τέφρας.

Κάποια από τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι ότι ο αεροδιαχωρισμός είναι εφικτός μόνο σε ένα στενό εύρος μεγέθους κόκκων, που όμως λαμβάνεται συμπύκνωμα μέτριας ποιότητας με μεγάλη απώλεια βάρους. Όσον αφορά το διαχωρισμό με βαρέα υγρά το εύρος των κόκκων είναι μεγαλύτερο, η ανάκτηση βάρους και καύσιμης ύλης αρκετά υψηλή και η περιεκτικότητα σε τέφρα χαμηλή. Επίσης επιτυγχάνεται αναβάθμιση του λιγνίτη σχετικά με τη Θερμαντική του Ικανότητα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ iii

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ iv

ΠΕΡΙΛΗΨΗ v

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΛΙΓΝΙΤΕΣ 3

2.1 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΩΝ 3

2.2 ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ 5

2.3 ΣΥΣΤΑΣΗ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ 9

2.3.1 ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΩΣ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΩΣ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΙΜΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ 9

2.3.2 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ 11

2.3.3 ΣΥΣΤΑΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΔΟΜΗ 11

2.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΛΙΓΝΙΤΩΝ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΧΡΗΣΗ 11

2.4.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (PROXIMATE ANALYSIS) 12

2.4.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (ULTIMATE ANALYSIS) 13

2.4.3 ΧΗΜΙΚΗ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΦΡΑΣ [5,10] 14

2.4.4 ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ 15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΛΟΓΟΙ ΠΟΥ ΣΥΝΤΕΙΝΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ 17

3.1 ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 17

3.2 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ [4,10] 19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ 23

4.1 ΘΡΑΥΣΗ 23

4.2 ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ 24

4.3 ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ 26

4.3.1 ΒΑΡΕΑ ΥΓΡΑ 26

4.3.2 ΑΕΡΟΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ 29

4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ 30
4.5 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ 31
4.5.1 ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (DTA) 31
4.5.2 ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (TGA) [18] 32
4.6 ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΕΦΡΑΣ 33
4.7 ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 35
4.8 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ 35
4.9 ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ – Χ 37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΡΧΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ . 39
5.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ 39
5.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 39
5.3 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΦΡΑΣ 43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 44
6.1 ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΕ ΒΑΡΕΑ ΥΓΡΑ 44
6.1.1 ΠΡΩΤΗ ΣΕΙΡΑ ΔΟΚΙΜΩΝ 44
6.1.1.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΩΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΔΟΚΙΜΩΝ 45
6.1.2 ΔΕΥΤΕΡΗ ΣΕΙΡΑ ΔΟΚΙΜΩΝ 62
6.1.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΔΟΚΙΜΩΝ 63
6.2 ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΕ ΑΕΡΟΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ 75
6.2.1 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΑΕΡΟΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ 76
6.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΕΡΟΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ 79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ 86
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 88
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της καλύτερης μεθόδου εμπλουτισμού για τη δυνατή ανάκτηση λιγνίτη από απορρίμματα εκσκαφέων. Το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε προέρχεται από τις αποθέσεις αγόνων των λιγνιτωρυχείων της Δ.Ε.Η. στη Μεγαλόπολη και είναι ενδεικτικό της ποιότητας του λιγνίτη της ευρύτερης γεωλογικής λεκάνης.

Στόχος της εργασίας είναι η αποδέσμευση της οργανικής από την ανόργανη ύλη και η ανάκτηση τελικού συμπυκνώματος με περιεκτικότητα σε τέφρα "επί ξηρού" όσο το δυνατόν χαμηλότερη από 42 %.

Οι μέθοδοι εμπλουτισμού που επιλέχθηκαν για την επίτευξη του παραπάνω στόχου είναι ο διαχωρισμός σε βαρέα υγρά και ο αεροδιαχωρισμός, που εντάσσονται στην κατηγορία των βαρυτομετρικών μεθόδων εμπλουτισμού.

Ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός αποσκοπεί στο διαχωρισμό των ορυκτών ανάλογα με τη διαφορά του ειδικού βάρους τους. Ο διαχωρισμός των ορυκτών πραγματοποιείται με βάση τη διαφορετική τους κίνηση μέσα σε ρευστά υπό την επίδραση της βαρύτητας. Έτσι ανάλογα με το ειδικό βάρος των ορυκτών το υλικό διαχωρίζεται σε βαρύ και ελαφρύ.

Στον διαχωρισμό με βαρέα υγρά σαν ρευστό χρησιμοποιείται μίγμα οργανικών διαλυμάτων. Στον αεροδιαχωρισμό τη θέση των διαλυμάτων καταλαμβάνει ο αέρας και έτσι οι κόκκοι των ορυκτών μαζί με τον αέρα συμπεριφέρονται ως ρευστό.

Η θραύση του υλικού αποσκοπεί στην ελάττωση του μεγέθους των τεμαχίων του σε μεγέθη κατάλληλα προς εμπλουτισμό. Η διαδικασία της κατάτμησης εφαρμόζεται συνήθως σε όλες τις μεθόδους εμπλουτισμού, ως πρωταρχική διεργασία, για να επιτευχθεί η αποδέσμευση του μεταλλεύματος από τα στείρα και η δημιουργία κατάλληλων κοκκομετρικών κλασμάτων.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών εμπλουτισμού, θα εξάγει συμπέρασμα για το αν είναι δυνατή η ανάκτηση του λιγνίτη από τα απορρίμματα και θα συμβάλει στην επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου εμπλουτισμού ώστε να ληφθεί συμπύκνωμα με ικανοποιητική περιεκτικότητα σε τέφρα.

Στην εργασία περιγράφονται αρχικά διάφορα θεωρητικά στοιχεία, όπως για τη γένεση των γαιανθράκων, τα αποθέματα και τη σύσταση των ελληνικών λιγνιτών, την

περιγραφή των ποιοτικών χαρακτηριστικών των λιγνιτών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τους λόγους που συντείνουν τον εμπλουτισμό τους.

Στη συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή του δείγματος, όπου αναφέρεται στην προέλευση, την κοκκομετρική και ορυκτολογική ανάλυσή του. Τέλος, υπάρχει η περιγραφή και ανάλυση της εργαστηριακής μελέτης, όπου παρουσιάζονται οι εργαστηριακές δοκιμές εμπλουτισμού του υλικού με τα αποτελέσματα και την αξιολόγησή τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΛΙΓΝΙΤΕΣ

2.1 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΩΝ

Σύμφωνα με το γεωλογικό σενάριο της ιζηματογένεσης και ενανθράκωσης φυτικών λειψάνων στο κατάλληλο περιβάλλον και υπό ευνοϊκές φυσικοχημικές συνθήκες δίνεται η ερμηνεία της προέλευσης των ορυκτών ανθράκων ή γαιανθράκων και πιο συγκεκριμένα των λιγνιτών. Η συνάθροιση φυτικής ύλης (φύλλα, ρίζες, κορμοί δέντρων κ.α.) σε βαλτώδεις περιοχές και κλειστές ενδοηπειρωτικές λεκάνες κατά κύριο λόγο, σε συνδυασμό με τον ενταφιασμό της από άλλα υλικά όπως ιλύς και αργίλους, σηματοδότησε την έναρξη της χρονοβόρας διαδικασίας της ενανθράκωσης[8].

Υπό τον όρο ενανθράκωση συμπεριλαμβάνονται όλες οι φυσικοχημικές διεργασίες που με την πάροδο του χρόνου συνετέλεσαν στο σταδιακό εμπλουτισμό της φυτικής ύλης κυρίως στο στοιχείο άνθρακα καθώς και στην απομάκρυνση στοιχείων όπως το οξυγόνο, το υδρογόνο και το άζωτο.

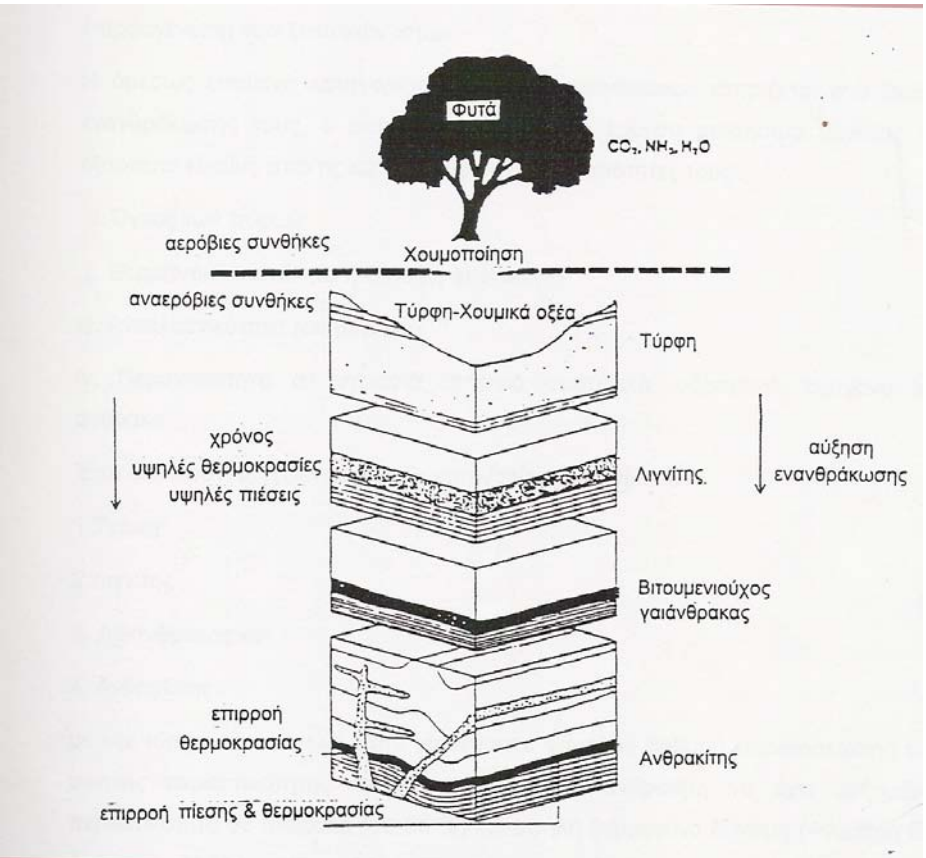
Ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες, η ενανθράκωση των φυτικών λειψάνων ποικίλλει σε βαθμό και ένταση και ερμηνεύει κατά κάποιο τρόπο τη διακύμανση της περιεκτικότητας σε άνθρακα μεταξύ κοιτασμάτων ή εμφανίσεων γαιανθράκων σε διαφορετικές περιοχές. Σημαντικότερο ρόλο για το είδος του γαιάνθρακα ή ακόμη και του λιγνίτη κατέχει ο χρόνος διάρκειας της απόθεσης, ενταφιασμού και ενανθράκωσης της φυτικής ύλης[12].

Οι ουσιαστικότερες παράμετροι που επηρεάζουν το βαθμό ενανθράκωσης των γαιανθράκων συνοψίζονται στις ακόλουθες[12] **:**

- Κλιματολογικές συνθήκες. Υψηλό ποσοστό βροχοπτώσεων σε ήπιο κλίμα ώστε να βρίσκονται καλυμμένα από νερό σε πρώτο στάδιο τα συσσωρευμένα φυτά.
- Σταθερός ρυθμός καθίζησης της φυτικής ύλης και ιζηματογένεσης.
- Υψηλές πιέσεις υπερκείμενων ιζηματογενών στρωμάτων και υψηλές θερμοκρασίες.

- Αναερόβιες συνθήκες σε συνδυασμό με ουδέτερο προς όξινο pH και χαμηλό δυναμικό οξειδοαναγωγής που συντελούν στην ανάπτυξη μικροοργανισμών έως το στάδιο σχηματισμού των λιγνιτών.

Η βιοχημική διάσπαση της φυτικής ύλης (κυτταρίνη και λιγνίνη) ακολουθούμενη από τις προαναφερθείσες γεωχημικές και φυσικές διεργασίες σχηματίζουν τον κύκλο επανεμφάνισής της στη νέα της μορφή, τους γαιάνθρακες. Η σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας σχηματισμού των γαιανθράκων και της ενανθράκωσης απεικονίζεται στο σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1: Σχηματική αναπαράσταση των σταδίων ενανθράκωσης [16]

Η αρχική διαφοροποίηση μεταξύ των γαιανθράκων είναι ανάλογα με το αρχικό περιβάλλον σχηματισμού τους. Έτσι διακρίνονται σε σαπροπηλιτικούς που σχηματίστηκαν σε θαλάσσιο περιβάλλον και σε χουμικούς που σχηματίστηκαν σε ηπειρωτικό περιβάλλον και περιλαμβάνουν στη μάζα τους σαν βασική δομική μονάδα τον χουμινίτη που προέρχεται από το πρώτο στάδιο της ενανθράκωσης (τυρφογένεση) των ξυλιτικών ιστών[8].

Η αμέσως επόμενη κατηγοριοποίηση των γαιανθράκων στηρίζεται στο βαθμό ενανθράκωσής τους, ο οποίος αποτελεί ένα έμμεσα μετρήσιμο μέγεθος και εξαρτάται κυρίως από τις κάτωθι φυσικοχημικές ιδιότητες[12] **:**

- Όγκος των πόρων.
- Θερμαντική ικανότητα ή θερμογόνος δύναμη σε Kcal/Kg.
- Ανακλαστικότητα του βιτρινίτη.
- Περιεκτικότητα σε υγρασία, πτητικά συστατικά, υδρογόνο, οξυγόνο και άνθρακα.

Έτσι διακρίνονται τέσσερις κύριες κατηγορίες γαιανθράκων **:**

i. Τύρφη
ii. Λιγνίτης
iii. Λιθάνθρακας
iv. Ανθρακίτης

2.2 ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ

Κοιτάσματα γαιανθράκων σχηματίστηκαν σε όλες τις γεωλογικές περιόδους**.** Η μεγαλύτερή τους όμως ανάπτυξη σε παγκόσμια κλίμακα παρατηρείται κατά την περίοδο του Λιθανθρακοφόρου (πριν 180 εκατομμύρια χρόνια) και κατά τον Καινοζωικό αιώνα (πριν 60 εκατομμύρια χρόνια), που συνεχίζεται μέχρι σήμερα[8].

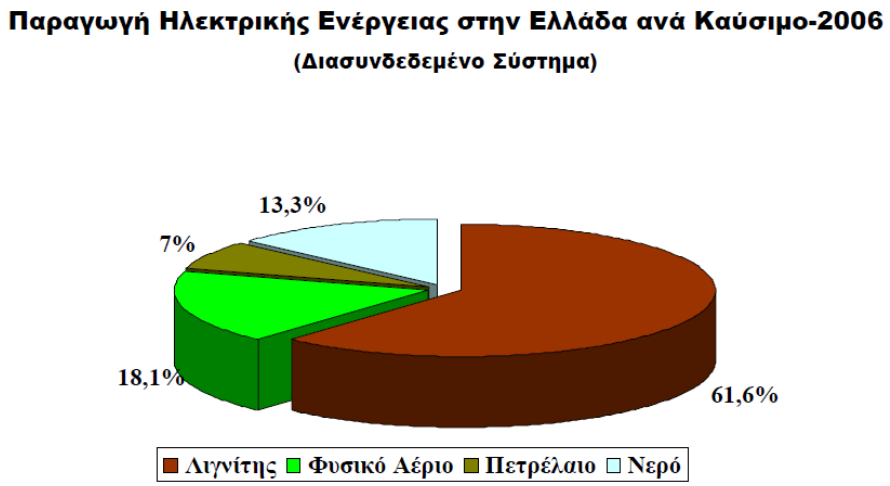
Κατά τον Καινοζωικό αιώνα και προς το τέλος της νεογενούς περιόδου (Μειόκαινο – Πλειόκαινο) και στις αρχές του τεταρτογενούς (Πλειστόκαινο), επικρατούσαν στον Ελλαδικό χώρο ευμενείς συνθήκες για το σχηματισμό γαιανθράκων. Την περίοδο αυτή διακρίνουμε δύο κατηγορίες λεκανών μέσα στις οποίες σχηματίστηκαν και αναπτύχθηκαν τα Ελληνικά κοιτάσματα **:** τις παράκτιες και τις ηπειρωτικές λεκάνες[8].

Οι παράκτιες λεκάνες αποτελούσαν αβαθή παράκτια έλη, τα οποία δημιουργήθηκαν από την απόσυρση της θάλασσας. Μέσα στα αβαθή αυτά έλη αναπτυσσόταν η λιγνιτοφορία υπό μορφή στρωμάτων. Πολλές φορές η θάλασσα επίκλυε και πάλι τις περιοχές, με αποτέλεσμα να σταματάει η λιγνιτοφορία και να αποτίθενται θαλάσσια ιζήματα. Το φαινόμενο της απόκλισης και της επίκλησης της θάλασσας επαναλήφθηκε πολλές φορές και αυτό είχε σαν συνέπεια τη συχνή εναλλαγή λιγνιτοφόρων ιζημάτων με στείρα ιζήματα θαλάσσιας προέλευσης. Τέτοιες

παράκτιες λεκάνες είναι οι λεκάνες της Πρέβεζας, της Πελοποννήσου, της Ακαρνανίας, κ.τ.λ.[8].

Σε αντίθεση με τις παράκτιες λεκάνες, οι ηπειρωτικές λιμναίες λεκάνες βρίσκονταν στο εσωτερικό της χώρας. Οι λεκάνες αυτές σχηματίστηκαν σαν τεκτονικές τάφροι με μήκος πολλές φορές δεκάδων και εκατοντάδων χιλιομέτρων (τάφρος Μοναστηρίου – Φλώρινας – Κοζάνης – Ελασσόνας), εξαιτίας της ρηξιγενούς τεκτονικής που επηρέασε τον Ελληνικό χώρο κατά την περίοδο εκείνη[12].

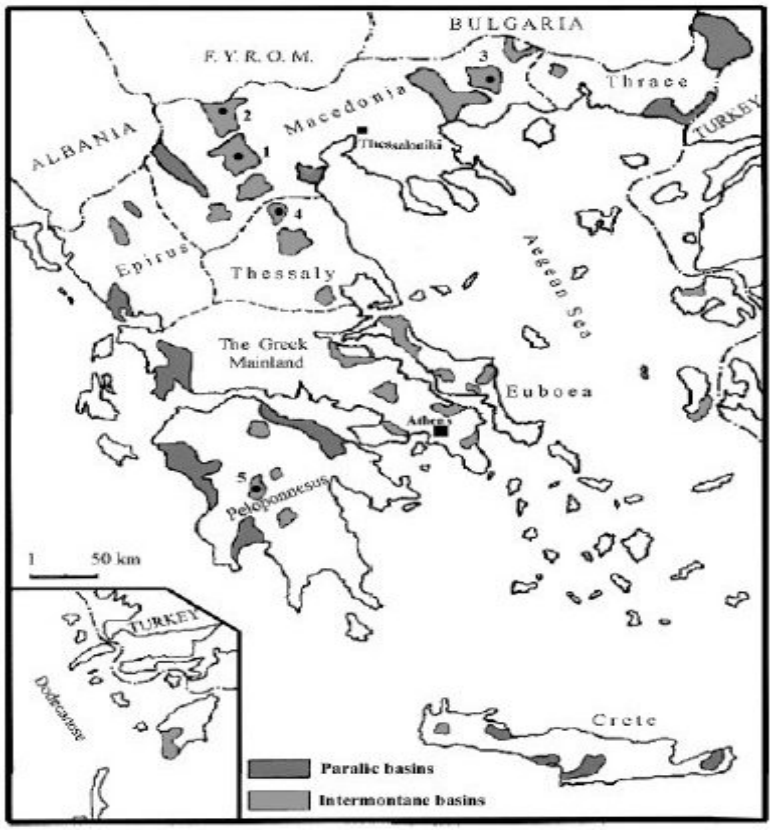
Ο λιγνίτης λοιπόν είναι γαιάνθρακας χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης, δηλαδή σχηματίζεται αμέσως μετά την τυρφοποίηση. Η χρήση των λιγνιτών ως στερεή καύσιμη ύλη προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αντικατοπτρίζει την σπουδαιότητα της άφθονης λιγνιτοφορίας στον Ελλαδικό χώρο. Στη συνέχεια παρατίθεται ένα γράφημα στο οποίο παρατηρείται η σπουδαιότητα των λιγνιτών προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Διάγραμμα 2.1 **:** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά τύπο καυσίμου στην Ελλάδα [19]

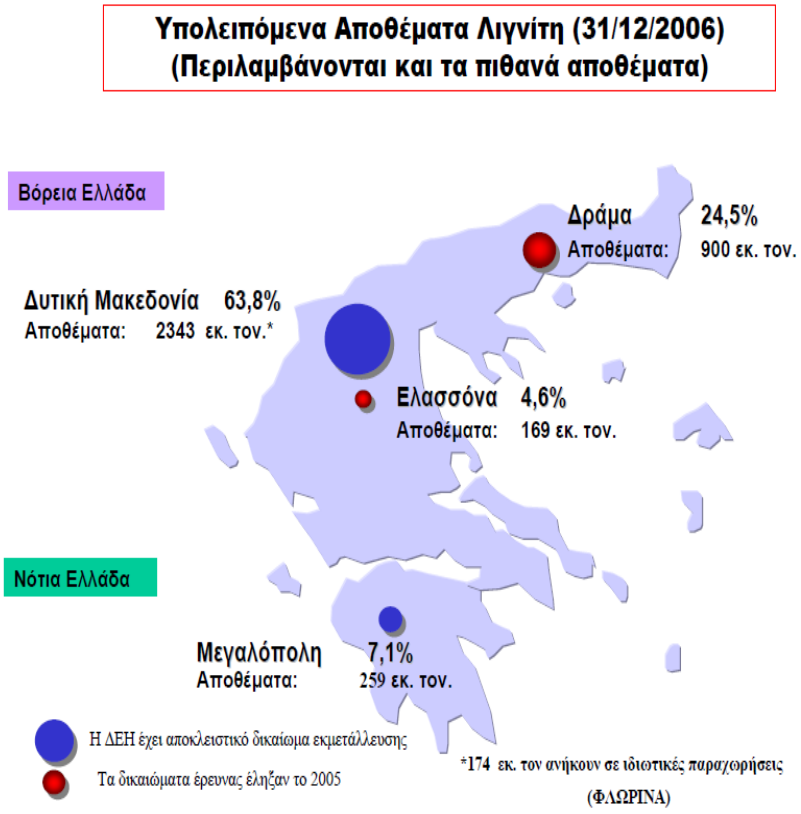
Οι σημαντικότερες εμφανίσεις λιγνίτη στην Ελλάδα παρουσιάζονται στο χάρτη 2.1, ενώ τα μέχρι σήμερα εν ενεργεία ορυχεία εξόρυξης λιγνίτη βρίσκονται στα

λιγνιτικά κοιτάσματα της Μεγαλόπολης (Πελοπόννησος), Πτολεμαΐδας (Κοζάνη) και Αμυνταίου (Φλώρινα) [15].



Χάρτης 2.1. Λιγνιτοφόρες λεκάνες της Ελλάδας με κύριες τις λιγνιτοφόρες λεκάνες (1) της Πτολεμαΐδας, (2) της Φλώρινας, (3) της Δράμας, (4)Ελασσόνας και (5) της Μεγαλόπολης (ΙΓΜΕ / ΔΕΠΥ) [16]

Σύμφωνα με το ΙΓΜΕ για το 2006 τα βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στην Ελλάδα ανέρχονται στα 6,7 δις. τόνους από τα οποία 3,3 δις. τόνοι εκτιμώνται ως εκμεταλλεύσιμα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μέχρι σήμερα έχουν καταναλωθεί 1,3 δις. τόνοι. Πέραν των ανωτέρω περιοχών στις οποίες η ΔΕΗ έχει αποκλειστικά δικαιώματα εκμετάλλευσης των λιγνιτικών κοιτασμάτων μέχρι εξάντλησής τους η ΔΕΗ έχει και το αποκλειστικό δικαίωμα έρευνας και στις περιοχές Ελασσόνας και Δράμας με εκμεταλλεύσιμα λιγνιτικά αποθέματα 169 εκατομμύρια τόνους και 900 εκατομμύρια τόνους αντίστοιχα. Στη συνέχεια παρατίθεται χάρτης με τα υπολειπόμενα αποθέματα λιγνίτη και διάγραμμα για την εξέλιξη της παραγωγής λιγνίτη στα ορυχεία της ΔΕΗ [17].

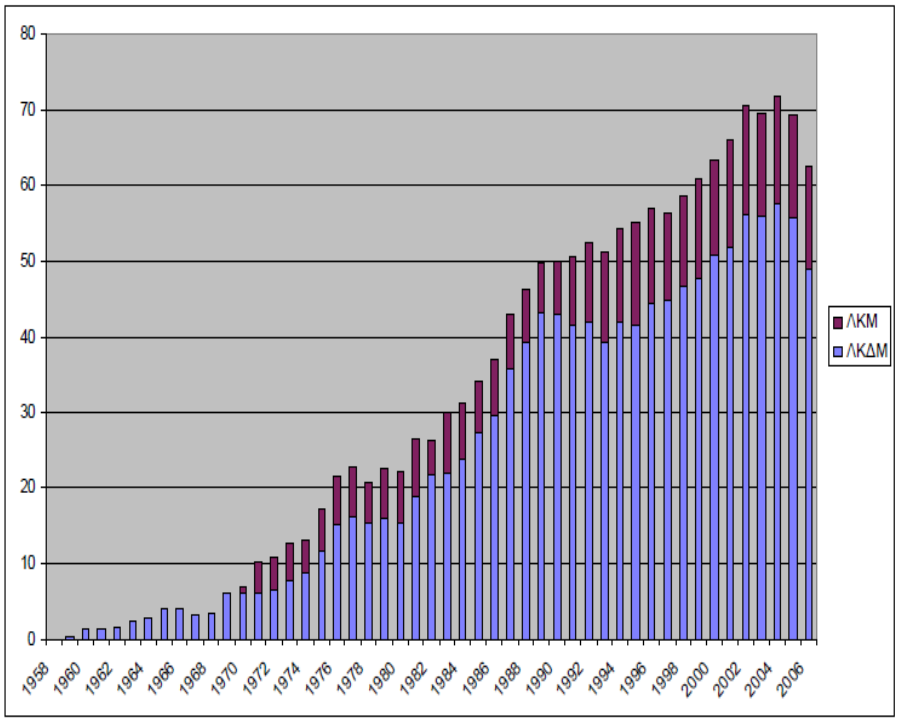


Χάρτης 2.2 **:** Κατανομή υπολειπόμενων αποθεμάτων λιγνίτη [4]

Οι λιγνίτες των κοιτασμάτων Δυτικής Μακεδονίας και Μεγαλόπολης, που βρίσκονται υπό εκμετάλλευση ανήκουν στην κατηγορία των φτωχών στερεών καυσίμων. Η ποιότητά τους διαφοροποιείται όχι μόνο από ορυχείο σε ορυχείο αλλά και μεταξύ στρωμάτων του ίδιου ορυχείου. Η Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη ‘ως έχει’ του ελληνικού λιγνίτη κυμαίνεται μεταξύ 1.050-1.100 kcal/kg στα κοιτάσματα της Μεγαλόπολης, μεταξύ 1.800-2.300 kcal/kg στα κοιτάσματα της Φλώρινας, μεταξύ 1.300-1.400 kcal/kg στα κοιτάσματα της Πτολεμαΐδας (Κυρίου Πεδίου, Νότιου Πεδίου και Καρδιάς) και μεταξύ 1.050-1.300 kcal/kg στα κοιτάσματα του Αμυνταίου[15].

Για να γίνει αντιληπτή η ενεργειακή αξία των αποθεμάτων λιγνίτη, αξίζει να σημειωθεί ότι το κοίτασμα πετρελαίου στον Πρίνο είναι ισοδύναμο ενεργειακά με 75 εκατομμύρια τόνους λιγνίτη Αναργύρων – Αμυνταίου – Πτολεμαΐδας [4].

Παραγωγή Λιγνίτη στα Ορυχεία της ΔΕΗ (τόνοι x 10^6) 1958 - 2006



Παραγωγή από ορ. Αλιβερίου 1951-1988 (κατά το μέγιστο με υπόγεια εκμετάλλευση):18,6 εκ. τόνοι

Διάγραμμα 2.2 **:** Εξέλιξη παραγωγής λιγνίτη [19]

Λ.Κ.Μ.: Λιγντικό Κέντρο Μεγαλόπολης, Λ.Κ.Δ.Μ.: Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας

2.3 ΣΥΣΤΑΣΗ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ

2.3.1 ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΩΣ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΩΣ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΙΜΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

ΜΑΚΡΟΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ

Οι λιγνίτες, ανάλογα με τις μακροσκοπικές λιθοτυπικές ή φυσικοχημικές διαφορές που αντικατοπτρίζουν, διακρίνονται[12] **:**

1. Σε μαλακούς γαιώδεις λιγνίτες, που στη φυσική τους κατάσταση είναι χρώματος σκούρου καστανού έως καστανόμαυρου. Είναι μαλακοί και αποσαθρώνονται εύκολα στον αέρα. Είναι επίσης λεπτοστρωματώδεις, συχνά φυλλώδεις και σπάνια συμπαγείς. Προέρχονται από τη ζύμωση

φύλλων και πόρων. Παρατηρούνται φυτικά λείψανα (υπολείμματα φύλλων, κ.τ.λ.) και πολύ συχνά ανόργανη ύλη, όπως λεπτόκοκκοι άμμοι, φυλλάρια μαρμαρυγίας και, όχι σπάνια, κελύφη απολιθωμάτων.

2. Σε σκληρούς λιγνίτες, συμπαγείς, αλαμπείς ή στιλπνούς. Αυτοί είναι χρώματος καφέ έως μαύρου και σπάνια παρατηρούνται φυτικά υπολείμματα

Ένας άλλος τύπος λιγνίτη, σημαντικός και για τον Ελλαδικό χώρο και λόγω της ποιότητάς του, αλλά και λόγω της ποσότητας των αποθεμάτων του, είναι ο ξυλώδης τύπος ή ξυλίτης. Το χρώμα του είναι καστανόμαυρο, έχει ομοιόμορφη υφή, στιλπνή επιφάνεια και, όταν θραύεται, η επιφάνεια θραύσεώς του είναι ομαλή. Ο λιγνίτης αυτός δημιουργήθηκε από την ανθρακοποίηση κορμών και κλαδιών φυτικής ύλης και ονομάστηκε από τον THYSSEN «ανθρακόξυλο».

ΜΙΚΡΟΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ

Τα βασικά δομικά συστατικά των λιγνιτών, όπως αυτά φαίνονται στο μικροσκόπιο, ονομάζονται φυτόκλαστα ή οργανόκλαστα (macerals).

Τα φυτόκλαστα χαρακτηρίζονται από τη μορφή τους, τη χημική τους σύσταση και τις οπτικές τους ιδιότητες, που με τη σειρά τους εξαρτώνται από το είδος των φυτικών υπολειμμάτων από τα οποία προήλθαν. Σύμφωνα με το σύστημα Stopes Heerlen διακρίνονται στις παρακάτω ομάδες[8] **:**

1. Ομάδα Χουμινίτη (Hummit). Τα δομικά συστατικά της κατηγορίας αυτής, τα οποία αποτελούν την κύρια μάζα των μαλακών λιγνιτών, εμφανίζουν έντονες φυσικοχημικές διαφοροποιήσεις, οι οποίες καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την τεχνολογική συμπεριφορά του λιγνίτη.
2. Ομάδα Λιπτινίτη (Liptinit). Τα φυτόκλαστα της κατηγορίας αυτής προέρχονται από τον εξωτερικό φλοιό σπόρων, από γύρη καθώς και από ουσίες που παράγονται από θαλάσσια φύκια και ρητίνη. Κατά την εκπομπή φωτός εμφανίζονται ωχρά, ενώ παρουσιάζονται σαν συγκρότημα μικρών οργανικών σωματιδίων υψηλής περιεκτικότητας σε H_2 και πτητικά.
3. Ομάδα Ινερτινίτη (Inertinit). Τα φυτόκλαστα αυτά, όπως δηλώνει και το όνομα της κατηγορίας, εμφανίζουν σχετική αδράνεια στις τεχνολογικές επεξεργασίες. Είναι αδιαφανή σε λεπτή τομή και άσπρο

ή ανοιχτό γκρι σε στιλβωμένη. Έχουν υψηλή ικανότητα ανάκλασης και εμφανίζουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε C και μικρότερη σε H_2 από άλλα φυτόκλαστα.

4. Ομάδα Τελινίτη (Telinit). Περιλαμβάνει όλα τα υπόλοιπα φυτόκλαστα που παρουσιάζουν κυτταρική δομή.

Οι ομάδες Λιπτινίτη, Ινερτινίτη και Τελινίτη επηρεάζουν σε πολύ μικρό βαθμό τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των λιγνιτών και δεν εμφανίζουν ουσιαστικές διαφοροποιήσεις.

2.3.2 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ

Χημικά ο λιγνίτης αποτελείται από άνθρακα (C), υδρογόνο (H) και οξυγόνο (O), τα οποία αναφέρονται σαν κύρια συστατικά, καθώς και από δευτερεύοντα όπως είναι τα S, N, Si, Al, Fe, K, Na, Mg, Cu, Ca, Ti. Η σύνδεση των χημικών του συστατικών γίνεται με ποικίλους τρόπους, σχηματίζοντας οργανικές και ανόργανες ενώσεις. Το οργανικό τμήμα αποτελείται από πολυμερή των C, H, O, με μικρά ποσά S και N. Το ανόργανο τμήμα αποτελείται από ενώσεις των υπόλοιπων στοιχείων είτε μεταξύ τους, είτε με C και O_2[12].

2.3.3 ΣΥΣΤΑΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΔΟΜΗ

Η δόμηση της κύριας μάζας των λιγνιτών συνίσταται από την οργανική ύλη, την περιεχόμενη υγρασία στους πόρους και την ανόργανη ύλη. Εκτενέστερη αναφορά γίνεται στην αμέσως επόμενη ενότητα.

2.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΛΙΓΝΙΤΩΝ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΧΡΗΣΗ

Ένας πλήρης προσδιορισμός της ποιότητας του λιγνίτη περιλαμβάνει **:**

- Προσεγγιστική ανάλυση (Proximate Analysis)
- Στοιχειακή ανάλυση (Ultimate Analysis)
- Χημική και ορυκτολογική ανάλυση τέφρας
- Προσδιορισμό θερμογόνου δυνάμεως

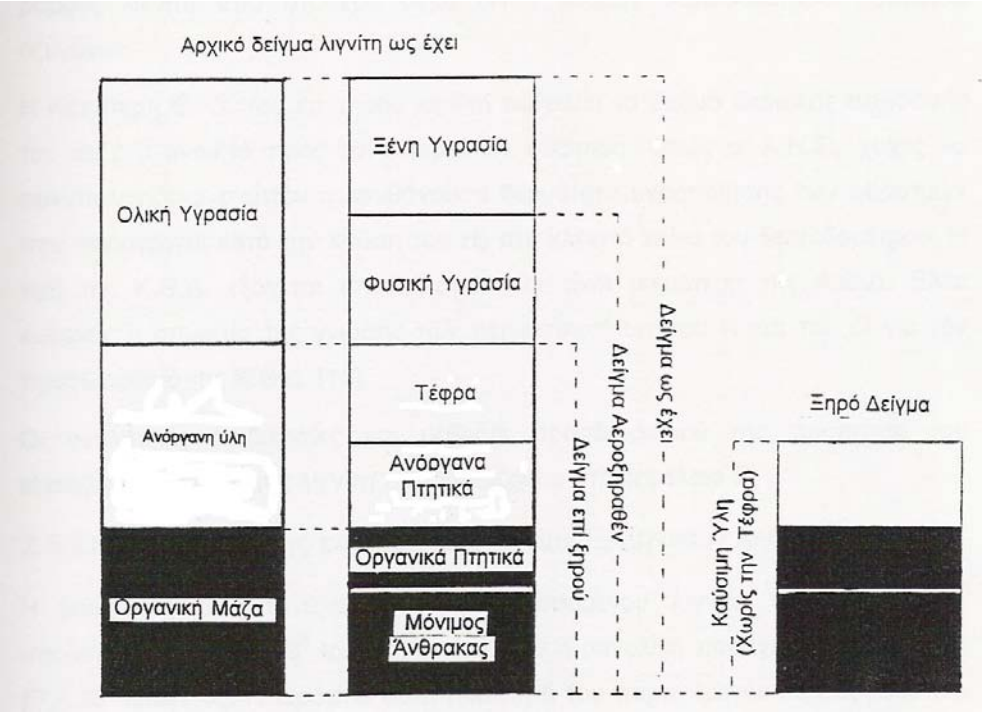
2.4.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (PROXIMATE ANALYSIS)

Συνίσταται στον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του γαιάνθρακα σε (σχήμα 2.2)**:** α)Υγρασία, β)Πτητική Ύλη, γ)Τέφρα και δ)Μόνιμο Άνθρακα[10]

- Υγρασία (Moisture)**:** Μπορεί να περιέχεται στον άνθρακα υπό μορφή ένυδρων ή μπορεί να έχει απορροφηθεί στους πόρους. Διακρίνεται σε φυσική, όταν αποτελεί συστατικό του λιγνίτη και σε ξένη όταν οφείλεται σε εξωτερικούς παράγοντες όπως ρεύματα νερού, βροχές, συμπυκνώσεις υδρατμών. Η υγρασία στους Ελληνικούς λιγνίτες κυμαίνεται από 56 ~ 62 %, ποσοστό ιδιαίτερα υψηλό αν ληφθεί υπόψιν ότι απαιτείται εκτεταμένη ξήρανση των λιγνιτών στους μύλους και κατά συνέπεια μείωση της απόδοσής τους.
- Πτητική Ύλη **:** Συναποτελεί μαζί με το μόνιμο άνθρακα το καύσιμο μέρος του λιγνίτη και αποτελείται από ευρύ φάσμα ελαφρών υδρογονανθράκων, CO, CO_2, SO_2 και H_2O_v. Η παρουσία της ειδικά στους λιγνίτες, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας αυτών σε υγρασία, είναι θετική, καθόσον υποβοηθά την έναρξη της καύσης στους λέβητες. Γενικά, οι λιγνίτες με υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά αναφλέγονται ταχύτερα και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, υποβοηθώντας τη διεργασία της καύσης.
- Τέφρα **:** Είναι το ανόργανο υπόλειμμα που απομένει μετά την καύση του γαιάνθρακα. Τα προβλήματα από την ύπαρξη υψηλού ποσοστού τέφρας στους λιγνίτες συνοψίζονται στο ότι η παρουσία της αυξάνει το κόστος εξόρυξης και διακίνησης του υλικού, επιβαρύνει τις εγκαταστάσεις προθραύσης και άλεσης, προξενεί φθορές στους μύλους, αυξάνει την απαιτούμενη λεπτότητα άλεσης για αποδοτική καύση, απάγει θερμότητα από τις εστίες καύσης, συμπαρασύρει άκαυστα σωματίδια άνθρακα προς τη βάση της εστίας και δημιουργεί ανάλογα με τη σύστασή της τοπικές επικαθίσεις εντός των κλιβάνων και σωλήνων εναλλαγής. Επίσης προκαλεί αυξημένη ρύπανση στο περιβάλλον κυρίως λόγω της περιεκτικότητας σε θείο (S).

Έτσι η σχέση που συνδέει τα παραπάνω συστατικά είναι η εξής **:**

$$\boldsymbol{Καύσιμο\% + Υγρασία\% + Τέφρα\% = 100\%}$$



Σχήμα 2.2**:** Κατανομή των προσδιοριζόμενων συστατικών στην αρχική και στην ξηρή μάζα του λιγνίτη [10]

2.4.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (ULTIMATE ANALYSIS)

Συνίσταται στον προσδιορισμό του στοιχειακού άνθρακα, του υδρογόνου, του αζώτου, του θείου και του οξυγόνου, τα οποία περιέχονται στο οργανικό τμήμα του λιγνίτη.

Οι πληροφορίες που λαμβάνονται από τη στοιχειακή ανάλυση, οδηγούν έμμεσα σε συμπέρασμα για την ποιότητα ενός στερεού καυσίμου. Εκτός από τις καθαρά καύσιμες ύλες, άνθρακα και υδρογόνο, από τη στοιχειακή ανάλυση προκύπτουν ενδιαφέροντα συμπεράσματα και για τα άλλα στοιχεία και ιδιαίτερα για την επίπτωσή τους στην ποιότητα του λιγνίτη. Έτσι έχει αποδειχτεί ότι[2]:

- Η περιεκτικότητα σε οξυγόνο έχει την ίδια αντιθερμογόνο δράση με την τέφρα.
- Το S καιγόμενο αποδίδει $SO_χ$, που αφενός μεν εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα, αφ' εταίρου δε είναι υπεύθυνο για τη διάβρωση

πυρίμαχων και σωληνώσεων εναλλαγής θερμότητας στις υψηλές θερμοκρασίες των εστιών καύσης.

- Το N, τέλος, καιγόμενο αποδίδει οξείδια NO_x, για την εκπομπή των οποίων υπάρχουν περιορισμοί.

2.4.3 ΧΗΜΙΚΗ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΦΡΑΣ [5,10]

Η λιγνιτική τέφρα αποτελείται από ένα μίγμα πυριτικών, θειικών αλάτων και οξειδίων.

Στην αναλυτική μέθοδο αποδίδεται η περιεκτικότητάς σε οξείδια. Τα συστατικά της χωρίζονται σε όξινα και βασικά. Τα όξινα είναι SiO_2**,** Al_2O_3**,** TiO_2, ενώ τα βασικά είναι Fe_2O_3, CaO, MgO καθώς και αλκαλικά οξείδια Na_2O, K_2O[10].

Η ορυκτολογική ανάλυση της τέφρας των λιγνιτών είναι επιβεβλημένη γιατί οι χημικές αναλύσεις δε καθορίζουν με βεβαιότητα σε ποια μορφή βρίσκονται τα ανόργανα στοιχεία. Τα λιγνιτικά κοιτάσματα στην Ελλάδα περιέχουν 20 ~ 30 % ανόργανα συστατικά και η πραγματική αξιολόγηση της ποιότητας των λιγνιτών επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό των ορυκτών σε τέφρες χαμηλής θερμοκρασίας[10].

Με τις αναλύσεις αυτές μπορεί κανείς να γνωρίζει την τάση για επικαθίσεις και επισκωριώσεις στην εστία του λέβητα, όπου η ύπαρξή τους μειώνει τη θερμική απόδοση και προκαλεί χημική αποσύνθεση στα πυρίμαχα. Με βάση τη σύσταση της τέφρας σε τελικά οξείδια, έχουν προταθεί διάφοροι τύποι για τη συμπεριφορά της τέφρας σε υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στις εστίες καύσης. Δύο τέτοιοι δείκτες που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια είναι οι εξής**:**

1. Δείκτης επικαθίσεων κατά Pollman SR[5]:

$$SR = \frac{100 * SiO_2\%}{SiO_2\% + Fe_2O_3\% + CaO\% + MgO\%}$$

ο οποίος εάν είναι <65 υπάρχει μεγάλη τάση επικαθίσεων στους λέβητες καύσης, το αντίθετο δε, εάν SR>72.

2. Δείκτης ρύπανσης επιφανειών επαφής μεταφοράς. Κυρίως επικρατούν δείκτες συγκέντρωσης αλάτων και ειδικότερα του Na_2O[5].Συμπερασματικά:

% Na_2O στην τέφρα	Δείκτης επικαθίσεων
<2,0	χαμηλός
2,0 – 2,9	μεσαίος
3,0 – 6,0	υψηλός
>6,0	πολύ υψηλός

Η τέφρα παρουσιάζει υψηλό σημείο τήξης όταν αποτελείται κύρια από Al_2O_3 και SiO_2 και χαμηλό όταν το Al_2O_3 αντικαθίσταται από CaO, MgO και κυρίως Fe_2O_3. Τα αλκάλια ελαττώνουν τα σημείο τήξεως της τέφρας και θεωρούνται υπεύθυνα για τις επικαθίσεις[10].

Η παρουσία $CaCO_3$ είναι θετική λόγω του ότι δεσμεύει το S του καυσίμου.

2.4.4 ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ

Η Θερμογόνος Δύναμη ορίζεται ως το ποσόν της ενέργειας που εκλύεται ανά μονάδα βάρους του γαιάνθρακα. Υπολογίζεται από δύο τιμές **:** την Ανώτερη Θερμογόνο Δύναμη (ΑΘΔ) και την Κατώτερη Θερμογόνο Δύναμη (ΚΘΔ). Η πρώτη εκφράζεται ως το ποσόν της θερμότητας που εκλύεται κατά την καύση μιας μονάδας βάρους υπό σταθερό όγκο, μέσα στο θερμιδόμετρο και ορίζεται σε kcal/kg ή σε Btu /lb. Η ΚΘΔ, ορίζεται υπολογιστικά αφαιρώντας από την ΑΘΔ τη λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης των υδρατμών που παράγονται κατά την καύση του H_2, το οποίο είναι ενωμένο με τον άνθρακα υπό τη μορφή υδρογονανθράκων. Η ΚΘΔ έχει βιομηχανική σημασία, επειδή οι υδρατμοί απομακρύνονται από τους λέβητες καύσης χωρίς να υγροποιηθούν[2].

Η Θερμογόνος Δύναμη είναι καθοριστικό μέγεθος για τη λειτουργία των Ατμοηλεκτρικών Σταθμών (Α.Η.Σ.) αφού προσδιοριστεί ο βαθμός φόρτισης των μονάδων για την επίτευξη συγκεκριμένης ισχύος.

Στη συνέχεια παρατίθεται ο πίνακας 2.1 με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των Ελληνικών λιγνιτών.

Λιγνίτης

Ποιοτικά Χαρακτηριστικά

Περιοχή	Υγρασία (% κ.β.)[1]	Τέφρα (% κ.β.)[2]	Κατ. Θ.Δ. (kcal/kg)[1]	Θείο (% κ.β.)[1]
Πτολεμαΐδα - Κοζάνη	52 – 58	30 – 36	1270 – 1300	0.5
Αμύνταιο	49 –54	37 – 40	1145	0.5
Φλώρινα	40	34	1800 – 2500	> 1
Κόμνηνα	40 - 45	32	1500 – 1850	> 1
Μεγαλόπολης	56 – 60	38 – 45	950 – 1000	1.2 – 6
Δράμα	60	39	1000	0.6
Ελασσόνα	42	28	2300	0.65

[1]ως έχει, [2]επί ξηρού

Γ' ΠΕΠ Δυτ. Μακεδονίας, Ιανουάριος 17, 2008, Πτολεμαΐδα

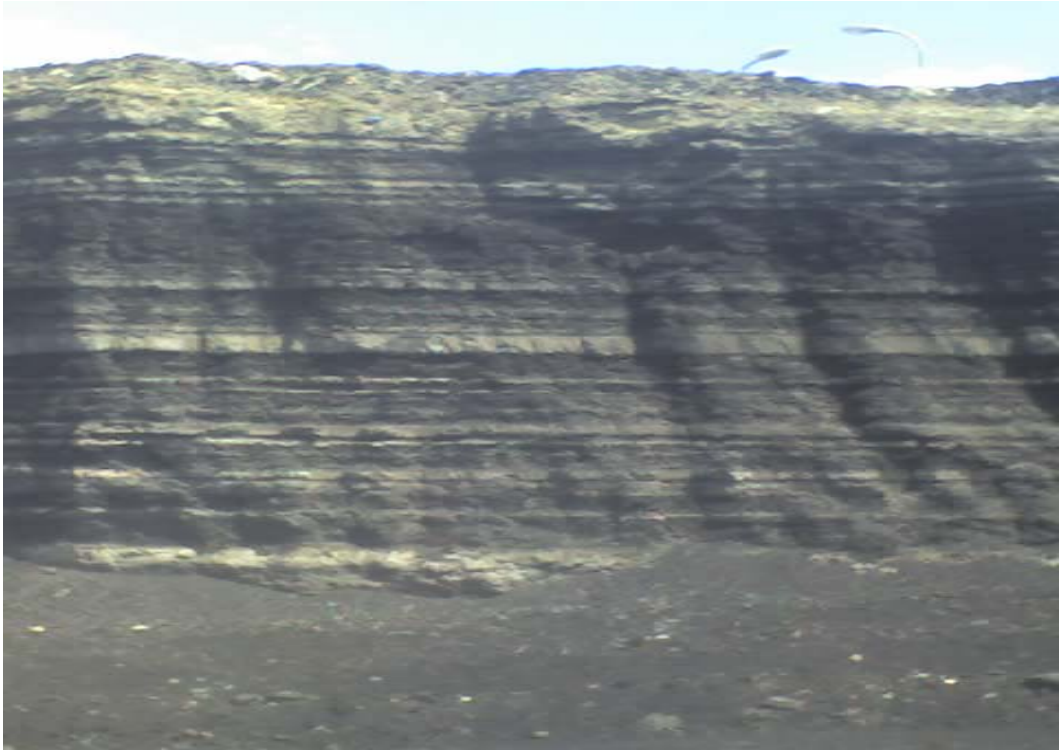
Πίνακας 2.1 : Ποιοτικά χαρακτηριστικά Ελληνικού λιγνίτη ανά τοποθεσία [9]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΛΟΓΟΙ ΠΟΥ ΣΥΝΤΕΙΝΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ

3.1 ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η εκμετάλλευση του λιγνίτη στα ορυχεία της ΔΕΗ είναι επιφανειακή και πραγματοποιείται με τη μέθοδο ορθών βαθμίδων. Στα λιγνιτωρυχεία ακολουθείται η μεικτή μέθοδος εκμετάλλευσης δηλαδή συνδυασμός συνεχούς και ασυνεχούς μεθόδου. Για τη συνεχή μέθοδο εκμετάλλευσης, στη γενική της μορφή υπάρχει η περιοχή εκσκαφής με τους καδοφόρους εκσκαφείς, το σύστημα μεταφοράς με εκτεταμένες μεταφορικές ταινίες (ταινιόδρομους) και η περιοχή απόθεσης με τους αποθέτες. Η δεύτερη μέθοδος αποτελείται από πετρελαιοκίνητα οχήματα τα οποία συχνά αναφέρονται και σαν «βοηθητικός εξοπλισμός ορυχείου» και αυτά μπορεί να είναι ερπυστριοφόροι προωθητές, φορτωτές, ισοπεδωτές, χωματουργικά αυτοκίνητα, ερπυστριοφόροι εκσκαφείς μετωπικού ή συρόμενου κάδου, κλπ.

Σε ένα μέτωπο εκσκαφής παρατηρούνται εναλλαγές στρωμάτων λιγνίτη με ενδιάμεσους στείρους σχηματισμούς κυρίως μάργων, αργίλων και ασβεστολιθικών σχηματισμών (εικόνα 3.1). Ο εκσκαφέας έχει τη δυνατότητα εκλεκτικής κοπής σε στρώματα πάχους >30 cm. Προκειμένου να γίνει εκλεκτική εξόρυξη ενός στρώματος λιγνίτη εξορύσσεται πρώτα το από πάνω ευρισκόμενο στρώμα στείρων μαζί με τμήμα περί τα 10cm από το στρώμα του λιγνίτη. Η διαδικασία αυτή λέγεται καθαρισμός του στρώματος λιγνίτη. Στη συνέχεια εξορύσσεται το στρώμα λιγνίτη αφήνοντας πάλι τμήμα περί τα 10cm στην επαφή με το από κάτω στρώμα ενδιάμεσων στείρων. Προκύπτει, δηλαδή, συνολική απώλεια περί τα 20cm από το αρχικό πάχος στρώματος λιγνίτη. Επίσης λιγνιτικά στρώματα με πάχος < 30 cm καταλήγουν σε αποθέσεις αγόνων διότι ο εκσκαφέας δεν έχει τη δυνατότητα εξόρυξης αυτών. Οπότε σημαντική ποσότητα λιγνίτη οδηγείται στα απορρίμματα των εκσκαφέων. Να σημειωθεί ότι αυτό είναι και το θέμα της παρούσας εργασίας.

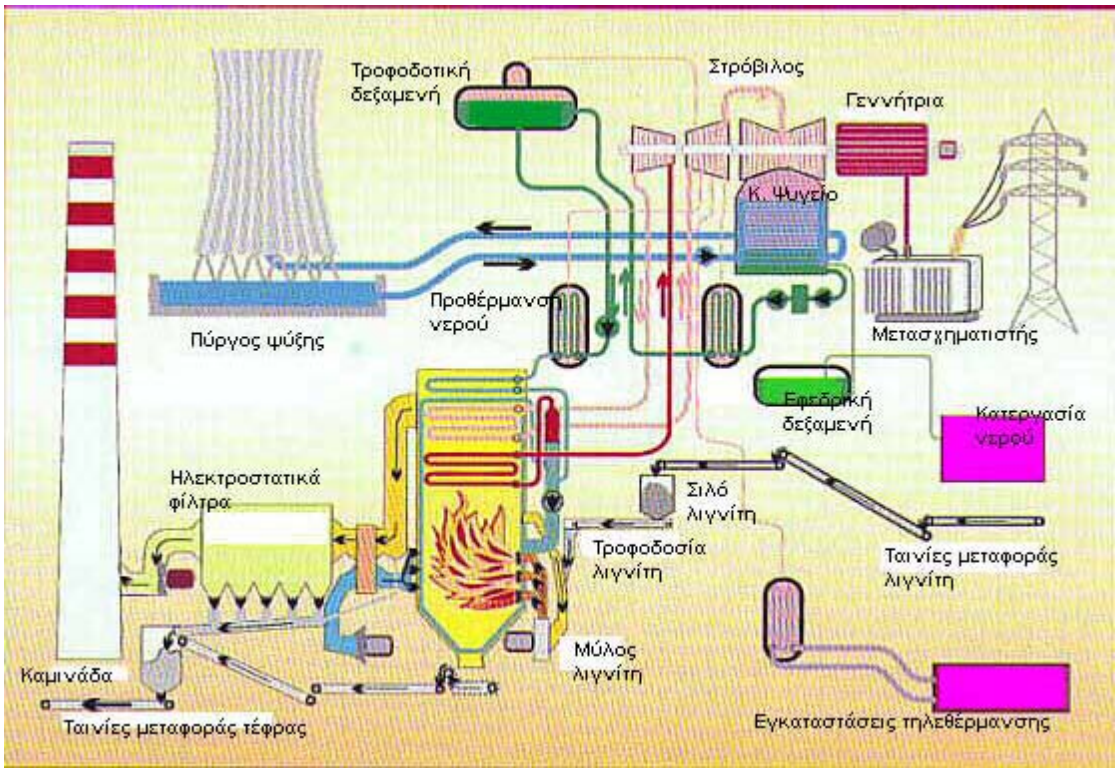


Εικόνα 3.1 **:** Στρωματογραφία μετώπου εκσκαφής

Οι τεχνολογίες της καύσης του λιγνίτη στους Α.Η.Σ. στην Ελλάδα αναπτύχθηκαν έχοντας σαν βασικό κριτήριο το είδος του εξορυσσόμενου λιγνίτη. Στη συνέχεια ακολουθεί περιληπτική περιγραφή της πορείας του λιγνίτη προς καύση μέχρι το στάδιο της προσαγωγής των καυσαερίων στους λέβητες παραγωγής υπέρθερμων ατμών και σχηματική απεικόνιση (σχήμα 3.1).

Η τροφοδοσία των σπαστήρων πρωτογενούς θραύσης του λιγνίτη γίνεται με ταινιόδρομους μέσω απολήπτών ή από τα Bunker (αυλές αποθήκευσης λιγνίτη) πλησίον του σταθμού. Ο έλεγχος της ποιότητας του λιγνίτη που έχει προηγηθεί της εξόρυξής του επαναλαμβάνεται πριν την τροφοδότησή του στο σταθμό. Το μέσο μέγεθος τεμαχίων του εξορυσσόμενου λιγνίτη είναι κατά ποσοστό 90 % μικρότερο από 40 cm. Το προϊόν της θραύσης -40 mm οδηγείται σε σιλό αποθήκευσης με λεπίδες και στη συνέχεια μέσω τροφοδότη στους μύλους κονιοποίησης. Ο λιγνίτης υπό μορφή σκόνης οδηγείται για καύση σε ειδικούς καυστήρες οι οποίοι θερμαίνουν τους ατμολέβητες για ατμοποίηση του νερού. Ο ατμολέβητας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού ύδατος λειτουργεί σε 540 ^{0}C και πίεση 170 atm, παράγοντας υπέρθερμο ατμό. Ο ατμός αυτός οδηγείται με ατμαγωγούς στο στρόβιλο τον οποίο και στρέφει με 3000 στροφές το λεπτό. Ο ατμός μετά την εκτόνωσή του στο στρόβιλο, συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή και μέσω προθερμαντών νερού

οδηγείται ξανά στο λέβητα για να συνεχίσει την ίδια διαδικασία. Ο ατμοστρόβιλος στρέφει τη γεννήτρια, η οποία παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, έχει τάση 20 KV, ανυψώνεται μέσω του μετασχηματιστή ανύψωσης στα 400 KV, καταλήγει στο Εθνικό Δίκτυο διαμέσου των Κέντρων Υπερυψηλής Τάσης (ΚΥΤ)[11].



Σχήμα 3.1 : Σχηματική λειτουργία λιγνιτικής μονάδας [11]

3.2 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ [4,10]

Πιθανή παγκόσμια ενεργειακή κρίση επιβάλλει την αύξηση της παραγόμενης από εγχώριες πηγές ενέργειας, προκειμένου να περιοριστεί η υψηλή συναλλαγματική επιβάρυνση από τις εισαγωγές πετρελαίου[4].

Επειδή τα γνωστά αποθέματα λιγνίτη επαρκούν, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τις παρούσες σχέσεις απολησιμότητας, για 40 χρόνια περίπου, θα πρέπει να αναζητηθούν λύσεις σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας ή αξιοποίηση των φτωχών κοιτασμάτων λιγνίτη[4].

Το μέγεθος της απώλειας από την εκμετάλλευση των λιγνιτών μπορεί να γίνει αντιληπτό εξετάζοντας τις διαφορές μεταξύ του απολήψιμου λιγνίτη και του γεωλογικού αποθέματος[10]**:**

- Απολήψιμα λιγνιτικά στρώματα είναι εκείνα που το πάχος τους είναι τουλάχιστον 50 cm και η περιεκτικότητά τους σε τέφρα το πολύ 35 %.
- Από κάθε απολήψιμη στοιβάδα αφαιρούνται 5 – 20 cm ανά διεπιφάνεια. Το ποσό αυτό υπολογίζεται στα ενδιάμεσα στείρα και διακρίνεται ως απώλεια εκμεταλλεύσεως.
- Αν μεταξύ δύο στρωμάτων λιγνίτη παρεμβάλλεται στρώμα αργιλούχου λιγνίτη, ή γενικότερα στείρου με περιεκτικότητα σε τέφρα 35 – 40 %, τότε αυτό εξορύσσεται μαζί με το λιγνίτη, εφόσον η μέση τέφρα είναι μικρότερη του 35 %. Αυτό όμως οδηγεί στην επιφόρτιση της περιεκτικότητας του καυσίμου σε τέφρα.

Στα απορριπτόμενα ενδιάμεσα στείρα περιλαμβάνονται οι εξής κατηγορίες **:**

- Οι ενδιάμεσες στείρες ενστρώσεις με πάχος > 20 %.
- Τα λιγνιτικά στρώματα, που για λόγους πάχους ή ποιότητας δεν περιλαμβάνονται στα απολήψιμα.
- Τα τμήματα των λιγνιτικών στρωμάτων, που αφαιρούνται από την οροφή και το δάπεδο κάθε λιγνιτικής στοιβάδας.

Το πρόβλημα των απωλειών από τα παραπάνω φαίνεται να είναι σοβαρό, και αν σε αυτό προστεθούν προβλήματα που προκύπτουν από το είδος του καυσίμου όπως[10]**:**

- Λιγνίτες υψηλής περιεκτικότητας σε τέφρα δημιουργούν προβλήματα **:**
  1. Στους μύλους (φθορές, σκωρίες).
  2. Στους καυστήρες, λόγω ατελούς καύσης τους και επικαθήσεων επιβλαβών οξειδίων.
  3. Στο περιβάλλον, λόγω ρύπανσης της ατμόσφαιρας από ιπτάμενη τέφρα στις περιπτώσεις υπερφόρτισης των ηλεκτροδίων.
  4. Στους ρυθμούς τροφοδοσίας, αφού θα πρέπει να βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα για την διατήρηση φορτίου σταθερής θερμικής απόδοσης στους καυστήρες.
  5. Στη διαχείριση και απομάκρυνση της παραγόμενης σε αυξημένες ποσότητες τέφρας.

- Λιγνίτες με υψηλά ποσοστά υγρασίας ή μικρή περιεκτικότητα σε πτητικά παρουσιάζουν μειωμένη θερμική απόδοση και μικρούς ρυθμούς καύσης, που εκτός από τα προφανή αποτελέσματα παρατηρείται αύξηση του ποσοστού της λαμβανόμενης τέφρας υψηλής θερμοκρασίας και μεγάλου δείκτη ρυπαντικής ικανότητας.
- Η χημική σύσταση της τέφρας οδηγεί σε χρήσιμα συμπεράσματα για τη συμπεριφορά του καυσίμου σε υψηλές θερμοκρασίες. Ανεπιθύμητα στοιχεία όπως S, αλκάλια, ιόντα P και Cl, ιχνοστοιχεία και οξείδια ορυκτών υψηλής σκληρότητας σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορούν να προξενήσουν σημαντικά προβλήματα όσον αφορά **:**
    1. Τη φθορά των επιφανειών ατμοπαραγωγών από τις επικαθήσεις επιβλαβών οξειδίων και ανθρακόπισσας.
    2. Την εκπομπή του, επικίνδυνου σε συγκεντρώσεις πάνω από κάποιο όριο, αερίου SO_2 και της ιπτάμενης τέφρας στην ατμόσφαιρα.
    3. Τη φθορά των μύλων κονιοποίησης από σκληρά ορυκτά.
    4. Την παραγωγή υψηλής θερμοκρασίας τέφρα.
- Υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό S και οργανικό N δημιουργεί αρνητικες επιδράσεις όσον αφορά **:**
    1. Τα επιβλαβή παραγόμενα αέρια προϊόντα της καύσης, SO_2 και NO_x.
    2. Τη συντήρηση των σωληνώσεων καυσαερίων λόγω διάβρωσής τους από τα θειικά άλατα (όπως Na2SO4) που σχηματίζονται σε υψηλής θερμοκρασίας τέφρες.

Από όλους τους παραπάνω λόγους μοιραία βγαίνει το συμπέρασμα ότι είναι επιτακτική ανάγκη ο εμπλουτισμός του λιγνίτη πριν από την καύση, διότι μπορεί να αποφέρει πλεονεκτήματα όπως **:**

- Χαμηλότερο κόστος μεταφοράς ανά μονάδα παρεχόμενης ενέργειας.
- Χαμηλότερο κόστος απόθεσης των αποβλήτων στον τόπο χρήσης.
- Βελτίωση στο χειρισμό.
- Υψηλότερη απόδοση κατά την καύση.
- Μείωση των επικαθήσεων και επισκωριώσεων στους λέβητες, με αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου συντήρησης.

- Προστασία του περιβάλλοντος κατά τις εκπομπές SO_χ κατά την καύση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

4.1 ΘΡΑΥΣΗ

Η θραύση περιλαμβάνει τα στάδια της κατάτμησης των τεμαχίων από το αρχικό μέγεθος μέχρι περίπου 10mm έως 2mm. Σκοπός της πρωτογενούς θραύσης είναι η ελάττωση του μεγέθους του εξορυσσόμενου υλικού που μπορεί να περιέχει όγκους μέχρι και ένα μέτρο, ώστε να μπορεί να μεταφερθεί με μεταφορικές ταινίες. Στα επόμενα στάδια η κατάτμηση εξυπηρετεί τις προδιαγραφές χρήσης του προϊόντος, τις απαιτήσεις της διαδικασίας που ενδεχομένως ακολουθεί και τις ανάγκες αποδέσμευσης του υλικού. Όταν πρόκειται για μετάλλευμα που προορίζεται να υποστεί μια διαδικασία για τον διαχωρισμό του χρήσιμου από το άχρηστο ορυκτό, θα πρέπει το μέγεθος να είναι τέτοιο ώστε να μην συνυπάρχουν το χρήσιμο με τα άχρηστα ορυκτά στον ίδιο κόκκο[14].

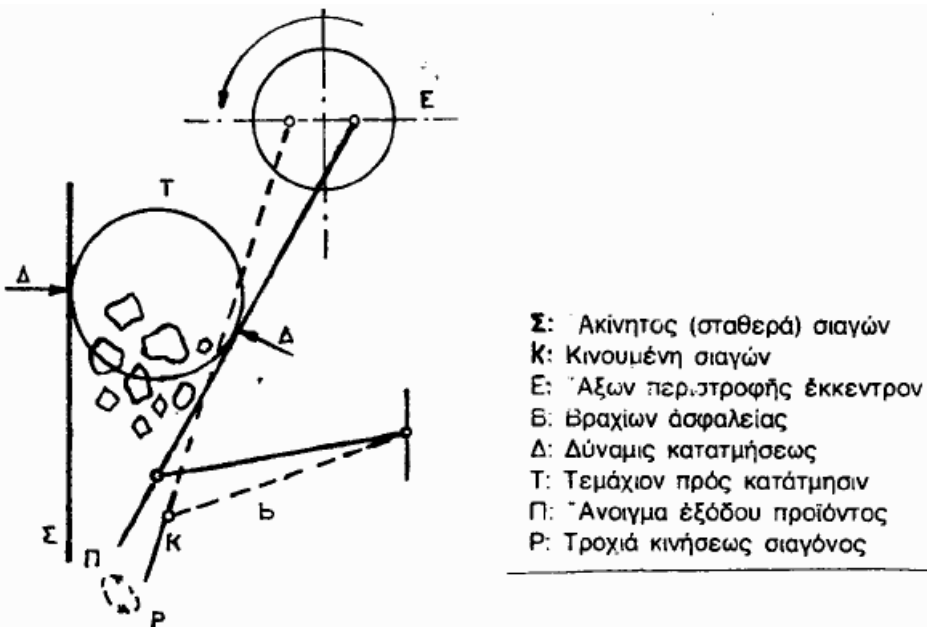
Για να σπάσουμε ένα σώμα πρέπει να καταβάλουμε δυνάμεις που να υπερβαίνουν τις δυνάμεις συνοχής του υλικού αυτού. Οι κυριότερες κατηγορίες δυνάμεων που εξασκούν οι μηχανές κατάτμησης είναι οι ακόλουθες[14]:

- *Θλίψη*: Είναι η συνηθέστερη μορφή δύναμης που χρησιμοποιείται στην κατάτμηση και εφαρμόζεται δια της συμπίεσης των σωμάτων μεταξύ δύο επιφανειών. Η πίεση εξασκείται από τη μια επιφάνεια ενώ η άλλη μένει ακίνητη. Οι κυριότεροι τύποι μηχανών κατάτμησης με θλίψη είναι οι σιαγονωτοί σπαστήρες, οι γυροσκοπικοί και οι κωνικοί σπαστήρες.
- *Κρούση*: είναι η απλούστερη δύναμη κατάτμησης και εξασκείται με την απότομη πρόσκρουση τεμαχίου επί ταχέως κινούμενης επιφάνειας ή αντιστρόφως, με αποτέλεσμα τον κατακερματισμό του τεμαχίου. Οι κυριότερες μηχανές κατάτμησης με κρούση είναι οι κρουστικοί περιστροφικοί σπαστήρες και εν μέρει οι σφυρόμυλοι, οι ραβδόμυλοι, οι σφαιρόμυλοι και οι μύλοι αυτογενούς λειοτρίβησης.
- *Τριβή*: είναι η δύναμη κατάτμησης που εφαρμόζεται όταν το υλικό βρίσκεται μεταξύ δύο παράλληλων και αντιθέτως κινούμενων επιφανειών που δημιουργούν διατμητικές τάσεις μέσα στο σώμα και ολίσθηση σε εσωτερικές επιφάνειες του σώματος. Ο σφυρόμυλος θεωρείται ως η κυριότερη μηχανή

κατάτμησης με τριβή. Άλλες τέτοιες μηχανές είναι οι σφαιρόμυλοι και οι ραβδόμυλοι.

- *Διάτμηση*: είναι κυρίως εφελκυστική δύναμη και έχει περιορισμένη εφαρμογή στην κατάτμηση και εν μέρει παρατηρείται στους σφυρόμυλους και τους οδοντωτούς κυλινδρόμυλους[6].

Η συσκευή η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για τις ανάγκες της θραύσης του υλικού ήταν ο σιαγονωτός σπαστήρας (σχήμα 4.1). Πρέπει να επισημανθεί ότι η αρχική θραύση έγινε δια χειρός με σφυρί διότι υπήρχαν αρκετοί, μεγάλου μεγέθους όγκοι του υλικού και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε ο σπαστήρας.



Σχήμα 4.1: Σχηματική διάταξη σιαγονωτού σπαστήρα [14]

Να αναφερθεί πως έπειτα από κάθε διεργασία εμπλουτισμού τα προϊόντα λειοτριβήθηκαν σε πλανητικό μύλο ώστε το μέγεθος των κόκκων να είναι <300μm για τις ανάγκες των αναλύσεων.

4.2 ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ

Ο διαχωρισμός κατά μέγεθος είναι μια διαδικασία που στη βιομηχανία αλλά και στο εργαστήριο χρησιμοποιείται πολύ συχνά. Με τη μέθοδο της κοσκίνισης πραγματοποιείται η κατανομή βάρους στα διάφορα μεγέθη[14].

Ο σκοπός της κοσκίνισης ποικίλλει κατά περίπτωση και συνήθως είναι[14]**:**

- Να απομακρύνει τα ψιλά κλάσματα πριν από κάποιο σπαστήρα, ώστε να αυξηθεί η απόδοση και η παροχή του.
- Να εμποδίσει χονδρά κλάσματα από το να εισέλθουν σε κάποια επόμενη διαδικασία και γι' αυτό χρησιμοποιείται στα κλειστά κυκλώματα θραύσης.
- Να ετοιμάσει ένα στενό μέγεθος κλάσματος ως τροφή σε κάποια διαδικασία εμπλουτισμού ή ως τελικό προϊόν που υπόκειται σε συγκεκριμένες προδιαγραφές μεγέθους.

Η υγρασία είναι σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την κοσκίνιση. Όταν η υγρασία είναι άνω του 8 % οι κόκκοι κολλούν μεταξύ τους και σχηματίζουν «γέφυρες» που κλείνουν τα ανοίγματα. Η κοσκίνιση πρέπει να γίνεται σε ξηρό υλικό ή σε τελείως υγρό υλικό με καταιονισμένο νερό. Η υγρή κοσκίνιση προτιμάται όταν ακολουθεί επεξεργασία του υλικού εν υγρώ[14].

Για το σκοπό της εργασίας πραγματοποιήθηκαν και οι δύο μέθοδοι κοσκίνισης ο καθένας για διαφορετικούς λόγους.

Η ξηρή κοκκομετρική ανάλυση του λιγνίτη έγινε σε εργαστηριακή συσκευή της εταιρίας RETSCH τύπου 3D (εικόνα 4.1).

Εικόνα 4.1: Συσκευή κοκκομετρικής ανάλυσης

4.3 ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ

Με τον όρο βαρυτομετρικός διαχωρισμός χαρακτηρίζεται μία σειρά μεθόδων εμπλουτισμού μεταλλευμάτων, οι οποίες εκμεταλλεύονται τη διαφορά των πυκνοτήτων των προς διαχωρισμό ορυκτών. Το αποτέλεσμα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα των τεμαχιδίων[13].

Οι βαρυτομετρικές μέθοδοι διαχωρίζουν ορυκτά με βάση τη διαφορετική τους κίνηση μέσα σε ρευστά υπό την επίδραση της βαρύτητας. Για να επιτευχθεί ικανοποιητικός διαχωρισμός πρέπει να υπάρχει εμφανής διαφορά στην πυκνότητα των προς διαχωρισμό ορυκτών. Η τροφοδοσία των σωματιδίων σε μία μέθοδο βαρυτομετρικού διαχωρισμού πρέπει να είναι πολύ στενά ταξινομημένη σε ένα στάδιο προετοιμασίας με κοσκίνιση[13].

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για το διαχωρισμό του λιγνίτη από τα στείρα, κυρίως αργιλικά ορυκτά, ήταν οι εξής **:**

- Βαρέα υγρά
- Αεροδιαχωριστής

4.3.1 ΒΑΡΕΑ ΥΓΡΑ

Η μέθοδος των βαρέων υγρών εκμεταλλεύεται τη διαφορά πυκνοτήτων ανάμεσα στα βαρέα υγρά και στα προς διαχωρισμό ορυκτά. Είναι το εργαστηριακό ανάλογο της μεθόδου των βαρέων διαμέσων, που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία. Γενική αρχή της μεθόδου είναι ότι ένα σώμα αιωρείται σε ένα υγρό όταν έχει το ίδιο ειδικό βάρος με το υγρό. Επιπλέει όταν έχει μικρότερο ειδικό βάρος από το υγρό, ενώ αντίθετα καταβυθίζεται όταν έχει μεγαλύτερο ειδικό βάρος[13].

Η χρήση βαρέων υγρών προς εμπλουτισμό γαιανθράκων είναι ένα ζήτημα που μελετάται χρόνια εργαστηριακά για την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά το βαθμό επιτυχίας του διαχωρισμού και το οικονομικό κριτήριο της μεθόδου.

Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη για την αποορυκτοποίηση των γαιανθράκων και βασίζεται στις διαφορές μεταξύ της ειδικής πυκνότητας των οργανικών συστατικών των γαιανθράκων – 1,1 έως 1,3 – και των ανόργανων συστατικών αυτών – 1,4 έως 5 –[2].

Ο προσδιορισμός της δυνατότητας διαχωρισμού των γαιανθράκων σε κλάσματα πλούσια σε οργανικές και ανόργανες ουσίες γίνεται με τη διαδικασία

‘Επίπλευσης και Καταβύθισης’, σε υγρά τα οποία έχουν ένα ενδιάμεσο ειδικό βάρος μεταξύ των οργανικών και ανόργανων ουσιών.

Τα υγρά τα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται έχουν ειδικό βάρος από 1,2 έως 2,2 και μπορεί να είναι διαλύματα διαφόρων ανόργανων αλάτων σε νερό ή μίγματα οργανικών υγρών. Τα μίγματα των οργανικών υγρών, όπως τετραχλωριούχου άνθρακα – βενζολίου, μπορούν να διαχωρίσουν ικανοποιητικά τα συστατικά του βάσει του ειδικού τους βάρους, επειδή οι επιφανειακές τους τάσεις και τα ιξώδη είναι μικρότερα και κατά συνέπεια προτιμώνται[2]. Για τον διαχωρισμό στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν μίγματα οργανικών υγρών ισοπροπυλικής αλκοόλης (0.78 gr/ml) με τετραβρωμοαιθάνιο (πυκνότητα 2,96 gr/ml) και εξανόλης (0,818 gr/ml) με τετραβρωμοαιθάνιο ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές πυκνότητες. Ο συνδυασμός των παραπάνω υγρών έγινε σύμφωνα με τους τύπους:

$$V_1 * p_1 + V_2 * p_2 = V_3 * p_3 \quad \text{και} \quad V_1 + V_2 = V_3$$

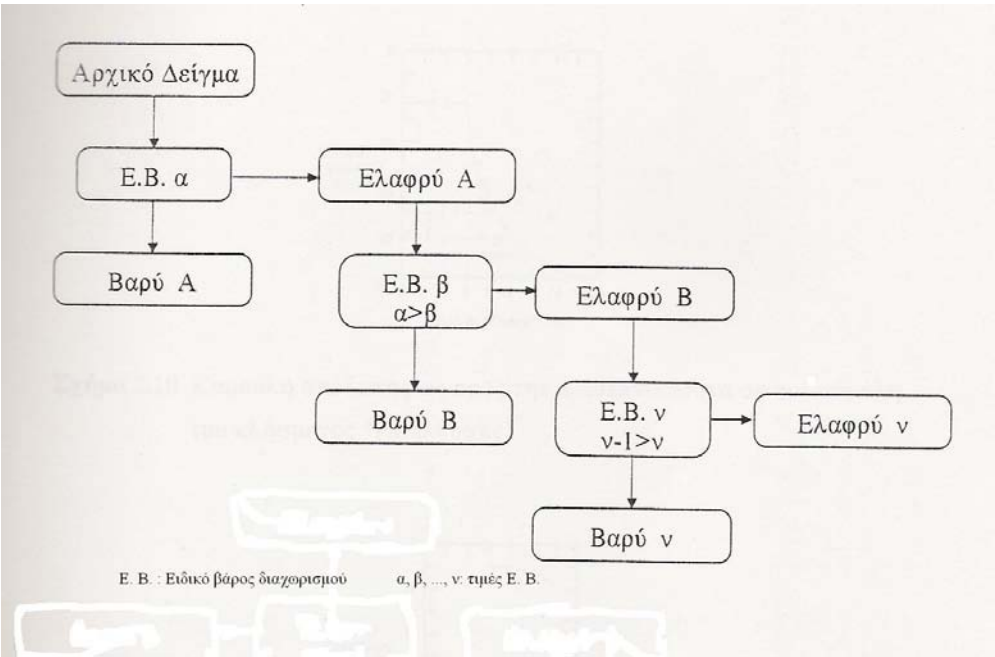
όπου V_1, p_1**:** όγκος και πυκνότητα εξανόλης ή ισοπροπανόλης.

V_2, p_2**:** όγκος και πυκνότητα τετραβρωμοαιθανίου

V_3, p_3**:** όγκος και πυκνότητα τελικού διαλύματος. Στην προκειμένη περίπτωση ο όγκος είναι 1000 ml και η πυκνότητα είναι η τελική που πρέπει να επιτευχθεί (1.5, 1.4, 1.3 κλπ).

Τα p_1, p_2, p_3, V_3 είναι γνωστά. Οπότε λύνοντας τη δεύτερη εξίσωση ως προς τον έναν από τους δύο αγνώστους και αντικαθιστώντας στην πρώτη υπολογίζεται ο όγκος που πρέπει να αναμιχθεί από το ένα υγρό. Αντικαθιστώντας στη δεύτερη εξίσωση υπολογίζεται ο όγκος και του άλλου υγρού.

Η διαδικασία διεξάγεται με μια σειρά από υγρά διαφορετικού ειδικού βάρους. Ο λιγνίτης αναμιγνύεται με το υγρό που έχει το μεγαλύτερο ειδικό βάρος. Το κλάσμα ‘καταβύθισης’ έχει μεγαλύτερο ειδικό βάρος απ’ αυτό του υγρού και το κλάσμα που ‘επιπλέει’ μικρότερο. Το επιπλεύσαν συλλέγεται και μεταφέρεται στο υγρό με το αμέσως μικρότερο ειδικό βάρος και η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται (σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2: Διαδικασία βαρυτομετρικής ανάλυσης λιγνίτη με βαρέα υγρά [10]

Για να είναι πλήρης ο προσδιορισμός της δυνατότητας διαχωρισμού του γαιάνθρακα σε βαρέα υγρά, πρέπει να αναλυθούν δείγματα από διάφορα μεγέθη σωματιδίων. Αξίζει να σημειωθεί όμως ότι μεγέθη σωματιδίων μικρότερα από 0,5 mm δεν χρησιμοποιούνται στην πράξη. Τα κλάσματα που λαμβάνονται ξεπλένονται με ακετόνη και παραμένουν σε ατμοσφαιρικό αέρα μέχρι την εξάτμισής της, όπου και φυλάσσονται για περαιτέρω αναλύσεις. Η διεξαγωγή του βαρυτομετρικού διαχωρισμού γίνεται μέσα σε θάλαμο απαγωγής αερίων (εικόνα 4.2) λόγω της τοξικότητας των οργανικών διαλυμάτων.

Εικόνα 4.2: Απαγωγέας αερίων του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων

4.3.2 ΑΕΡΟΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ

Η μέθοδος του αεροδιαχωρισμού χρησιμοποιεί τη διαφορά των πυκνοτήτων των ορυκτών για τον διαχωρισμό τους. Οι αρχές που διέπουν τον διαχωρισμό με υγρά διέπουν και τον αεροδιαχωρισμό, με την διαφορά ότι την θέση του υγρού καταλαμβάνει ο αέρας. Η καταβύθιση των βαρύτερων τεμαχιδίων είναι γρηγορότερη στον αεροδιαχωρισμό, λόγω μικρότερης άνωσης[6].

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επίτευξη του διαχωρισμού είναι:

a) Η ταχύτητα του ρεύματος αέρα

b) Η ένταση δόνησης του αεροδιαχωριστή

c) Το ειδικό βάρος των κόκκων

d) Η αντίσταση του αέρα κατά την κίνηση των τεμαχιδίων

Ο τρόπος εφαρμογής του ρεύματος του αέρα καθορίζει τη μέθοδο του διαχωρισμού. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στο Εργαστήριο του Εμπλουτισμού είναι η εμφύσηση ανοδικού ρεύματος.

Βασική αρχή του αεροδιαχωριστή είναι ότι οι κόκκοι του μεταλλεύματος με τον αέρα συμπεριφέρονται ως ρευστό. Όπου οι βαρύτεροι κόκκοι βυθίζονται και οι ελαφρύτεροι ανέρχονται στην επιφάνεια.

Η δομή του αεροδιαχωριστή στο εργαστήριο είναι:

a) Μηχανή δόνησης

b) Δακτύλιοι , χωρητικότητας 250 ml έκαστος, εκ των οποίων ο πρώτος έχει πόρους για να περνά ο αέρας.

c) Συμπιεστής αέρα ρυθμιζόμενης ροής.

Τη σχεδίαση της κατασκευής του αεροδιαχωριστή καθώς και τον τρόπο λειτουργίας του επιμελήθηκε ο Διευθυντής του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων Ηλίας Σταμπολιάδης.

Εικόνα 4.3: Αεροδιαχωριστής Εργαστηρίου Εμπλουτισμού

4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Ο προσδιορισμός της υγρασίας σε ένα γαιάνθρακα είναι σημαντική παράμετρος. Για παράδειγμα, λιγνίτες με υψηλή υγρασία παρουσιάζουν μειωμένη θερμική απόδοση. Επίσης καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια για την ξήρανσή τους σε ξηραντήρες. Ο υπολογισμός της υγρασίας δίνεται από τον παρακάτω τύπο **:**

$$\textit{ΥΓΡΑΣΙΑ}\ \% = \frac{m_{\alpha\rho\chi.} - m_{\tau\varepsilon\lambda}}{m_{\alpha\rho\chi.}} * 100$$

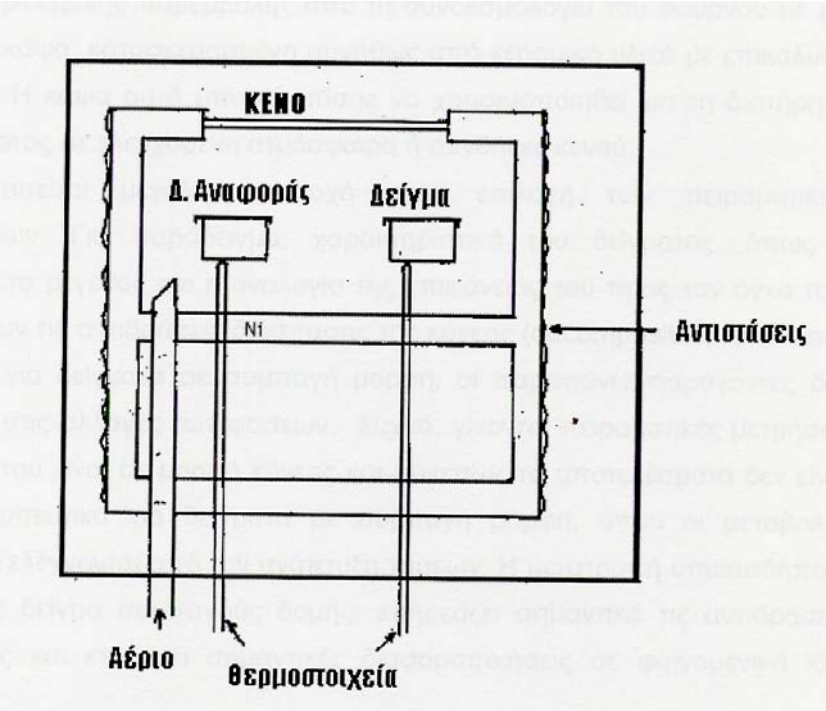
Το ποσοστό της υγρασίας των δειγμάτων προσδιορίστηκε με χρήση φούρνου της εταιρίας KOTTERMANN του εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η διαδικασία υπολογισμού είναι η εξής **:** ζυγίζεται μία αντιπροσωπευτική ποσότητα δείγματος ($m_{αρχ}$) και τοποθετείται στον ξηραντήρα για 24 ώρες περίπου σε θερμοκρασία 110 ^{o}C. Αφού περάσει ο χρόνος βγαίνει το δείγμα και τοποθετείται σε συνθήκες ελλείψεως υγρασίας για μισή ώρα και ξαναζυγίζεται ($m_{τελ.}$). Έπειτα με χρήση της εξίσωσης προσδιορίζεται η περιεκτικότητα σε υγρασία.

4.5 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η θερμική ανάλυση περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνικών στις οποίες μία φυσική ιδιότητα του δείγματος μετράται ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, καθώς το δείγμα υπόκειται σε ένα ελεγχόμενο πρόγραμμα θερμοκρασίας. Οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν είναι η *διαφορική θερμική ανάλυση (DTA)* και η *βαρυτομετρική θερμική ανάλυση (TGA)*. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για τις θερμικές αναλύσεις ήταν το DIAMOND TG/TDA της εταιρίας Perkin Elmer του εργαστηρίου Τεχνολογίας Κεραμικών και Υάλου του Πολυτεχνείου Κρήτης.

4.5.1 ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (DTA)

Η διαφορική θερμική ανάλυση περιλαμβάνει τη θέρμανση ή την ψύξη του δείγματος και ενός ουδέτερου δείγματος αναφοράς υπό τις ίδιες συνθήκες, και την καταγραφή οποιασδήποτε διαφοράς θερμότητας μεταξύ του δείγματος και του δείγματος αναφοράς. Δηλαδή καταγράφεται η απορρόφηση ή η έκλυση θερμότητας από το δείγμα καθώς πραγματοποιούνται οι διάφορες αντιδράσεις και οι αλλαγές φάσεων, συγκριτικά με την ουσία αναφοράς. Η διαφορά θερμότητας στη συνέχεια σχεδιάζεται συναρτήσει του χρόνου ή της θερμοκρασίας[18]. Στη συνέχεια παρατίθεται σχηματική αναπαράσταση της συσκευής που χρησιμοποιήθηκε (σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3: Σχηματική αναπαράσταση της συσκευής διαφορικής θερμικής ανάλυσης [18]

Οι ποσότητες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν της τάξης των 30 – 50 mg. Έγιναν δύο αναλύσεις, η πρώτη περιείχε ως αέριο άζωτο και η δεύτερη αέρα. Ο ρυθμός ανόδου της θερμοκρασίας ήταν 10 ^{o}C/min για την πρώτη περίπτωση και 40 ^{o}C/min για τη δεύτερη. Η θερμοκρασία ξεκίναγε από 100 ^{o}C και κατέληγε στους 900 ^{o}C. Οι δειγματοφορείς που χρησιμοποιήθηκαν ήταν από λευκόχρυσο.

4.5.2 ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (TGA) [18]

Η βαρυτομετρική θερμική ανάλυση (TGA) είναι μία τεχνική με την οποία καταγράφεται το βάρος ενός δείγματος που θερμαίνεται ή ψύχεται με συγκεκριμένο ρυθμό, ως συνάρτηση του χρόνου ή της θερμοκρασίας. Η βαρυτομετρική θερμική ανάλυση δίνει την απόλυτη μεταβολή του βάρους ενός δείγματος καθώς και το ρυθμό μεταβολής αυτού[18].

Είναι υψίστης σημασίας τεχνική διότι μπορούμε να υπολογίσουμε την ποσοστιαία περιεκτικότητα του λιγνίτη σε τέφρα, πτητική ύλη και μόνιμο άνθρακα.

Οι συνθήκες λειτουργίας ήταν οι ίδιες με τις συνθήκες της διαφορικής θερμικής ανάλυσης. Η χρήση δύο διαφορετικών αερίων αποσκοπούσε στον υπολογισμό της ποσοστιαίας περιεκτικότητας του λιγνίτη σε μόνιμο άνθρακα. Με τη χρήση αζώτου υπολογίστηκε η περιεκτικότητα σε πτητικά, ενώ με τη χρήση αέρα η

περιεκτικότητα σε τέφρα και καύσιμη ύλη. Οι εξισώσεις που μας δίνουν τα αποτελέσματα είναι οι εξής **:**

- Με χρήση αζώτου ΠΤΗΤΙΚΑ % = $[(m_{110} – m_{900})/m_{110}]*100$
- Με χρήση αέρα ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ % = $[(m_{110} – m_{900})/m_{110}]*100$
- Με χρήση αέρα ΤΕΦΡΑ % = $(m_{900}/m_{110})*100$
- ΜΟΝΙΜΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ = ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ – ΠΤΗΤΙΚΑ

Οι παραπάνω υπολογισμοί αναφέρονται σε ξηρό δείγμα. Ο δείκτης της μάζας αναφέρεται σε ^{o}C.

4.6 ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΕΦΡΑΣ

Οι χημικές αναλύσεις που έγιναν για τον προσδιορισμό της σύστασης της τέφρας αφορούσαν τη φασματομετρία ακτίνων - x φθορισμού (XRF). Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η μέθοδος της φασματομετρίας ακτίνων – Χ φθορισμού παρέχει τη δυνατότητα αναγνώρισης των οξειδίων των στοιχείων που απαρτίζουν την τέφρα αλλά και άλλων στοιχείων που βρίσκονται σε στοιχειακή μορφή με μικρή περιεκτικότητα.

Όπως φαίνεται στην σχήμα 4.4 το σύστημα φασματομετρίας ακτίνων –Χ φθορισμού που χρησιμοποιήθηκε, αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη:

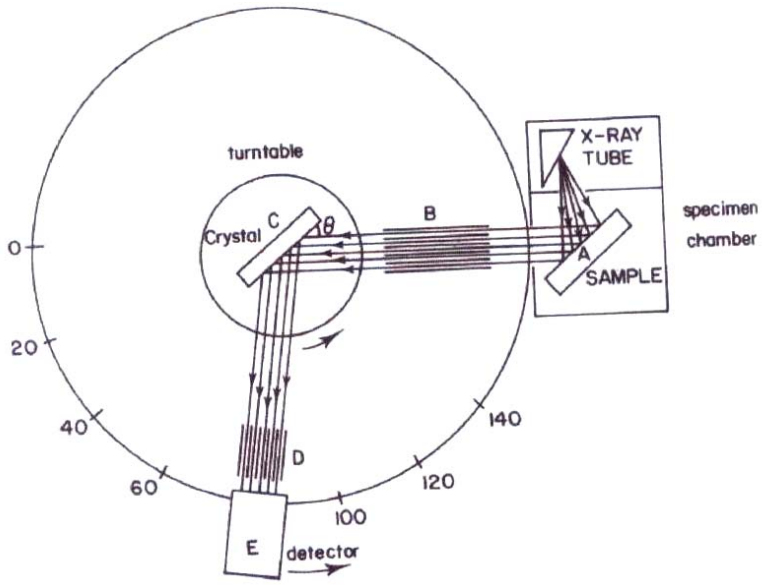
- Τη λυχνία παραγωγής πρωτογενούς ακτινοβολίας Χ (X - RAY TUBE)
- Τον δειγματοφορέα (A)
- Το φίλτρο πρωτογενούς ακτινοβολίας
- Τον ευθυγραμμιστή (B, D)
- Τον αναλυτή κρύσταλλο (C)
- Τον ανιχνευτή (E)
- Το ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής

Η αρχή λειτουργίας του φασματοφωτόμετρου XRF είναι η παρακάτω. Πρωτογενείς ακτίνες X_1 που εκπέμπονται από τη πηγή, προξενούν εκπομπή χαρακτηριστικών δευτερογενών ακτινών X_2 από το δείγμα (φθορισμός), των οποίων οι ενέργειες είναι μικρότερες από την ενέργεια των πρωτογενών ακτινών X_1, εξαρτώνται δε από τα στοιχεία που περιέχει το δείγμα[1].

Η δέσμη των ακτινών X_2 φθορισμού διέρχεται από τον ευθυγραμμιστή για να γίνει παράλληλη και προσπίπτει στον αναλυτή κρύσταλλο όπου και περιθλάται. Η περιθλώμενη αυτή ακτινοβολία μετριέται από τον ανιχνευτή και μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα το οποίο καταγράφεται[1].

Από το μήκος κύματος των ακτινών -Χ προσδιορίζεται το είδος των στοιχείων του δείγματος (ποιοτική ανάλυση), ενώ από την ένταση τους η σύσταση (ποσοτική ανάλυση)[1].

Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων της ιπτάμενης τέφρας πραγματοποιήθηκε με χρήση λυχνίας Pd, με τάση λυχνίας U=30KV, και ένταση ρεύματος I=100μA. Οι συνθήκες μέτρησης των δειγμάτων ήταν ένταση I=250μA, και τάση μέτρησης 40KV για τα βαριά στοιχεία (Fe, Mn, Ti, Ca, K) και 20KV για τα ελαφριά (P, Si, Al, Mg, Na).



Σχήμα 4.4 **:** Διάταξη φασματόμετρου του εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης [1]

Ποσότητα περίπου 4 gr ξηρού λιγνίτη και κεριού από κάθε δείγμα περιβλήθηκε από 0,4 gr βορικού οξέος και πιέστηκε εντός ειδικής μήτρας, με πίεση 150 atm, για τη δημιουργία ανθεκτικών δισκίων με λεία επιφάνεια.

4.7 ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Με τη στοιχειακή ανάλυση παρέχονται πληροφορίες για την % περιεκτικότητα του λιγνίτη (ξηρού) σε στοιχειακό C, H, N, S και O. Οι αναλύσεις έγιναν στο εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν CHNS-O Elementar Analyser της εταιρίας Eurovector, μοντέλο EuroEA3000 Series.

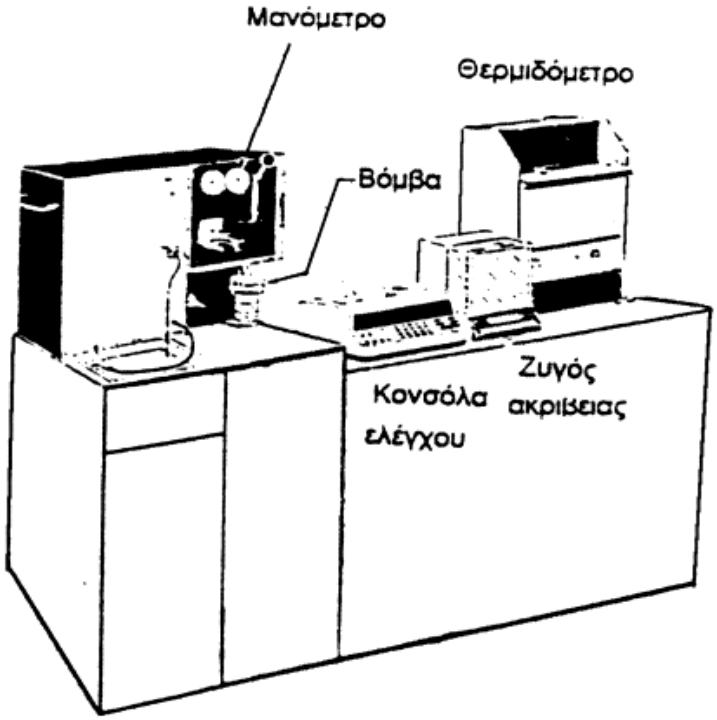
Ο αναλυτής είναι ειδικός στον ταυτόχρονο προσδιορισμό των προαναφερθέντων στοιχείων. Το δείγμα, ζυγισμένο σε mg, τοποθετημένο σε μία κάψουλα κασσιτέρου (τενεκεδένια κάψουλα), ρίχνεται μέσα σε ένα σωλήνα χαλαζία στους 1020 ^{o}C με συνεχή ροή He (αέριος φορέας). Λίγα δευτερόλεπτα προτού το δείγμα πέσει στο θάλαμο (σωλήνα) ανάφλεξης, το ρεύμα εμπλουτίζεται με μετρημένη ποσότητα υψηλής καθαρότητας σε οξυγόνο για να επιτευχθεί ένα περιβάλλον υψηλής οξείδωσης το οποίο εγγυάται σχεδόν πλήρη καύση/οξείδωση ακόμα και σε θερμικά ανθεκτικές ουσίες[3].

Το αέριο μίγμα οδηγείται μέσω μιας ζώνης καταλύτη οξείδωσης, κατόπιν μέσω μιας επόμενης ζώνης Cu η οποία μειώνει τα NO_x και τους θειώδεις ανυδρίτες (SO_3) που τελικά δημιουργούνται κατά την καύση στον καταλύτη και τα μετατρέπει σε στοιχειώδες N και θειώδεις ανυδρίτες (SO_2), ενώ διατηρεί την περίσσεια οξυγόνου. Τα τέσσερα τελικά συστατικά του μίγματος καύσης εντοπίζονται από έναν ανιχνευτή Θερμικής Αγωγιμότητας με τη σειρά N_2, CO_2, H_2O και SO_2[3].

Τα συνολικά C, H, N και S υπολογίζονται με ακρίβεια 0,1μg. Τα ποσοστά κάθε στοιχείου είναι πιο σημαντικά καθώς ελαχιστοποιούν το ποσοστό σφάλματος του εργαλείου. Η περιεκτικότητα σε O υπολογίζεται αν από το 100 αφαιρέσουμε τις περιεκτικότητες του υπολοίπων στοιχείων.

4.8 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ

Ο προσδιορισμός της θερμογόνου δύναμης πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης με τη βοήθεια του Αυτόματου Θερμιδόμετρου LECO (Automatic Calorimeter), τύπου AC-300 (σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5 **:** Αυτόματο Θερμιδόμετρο AC-300 της LECO[3]

Στο θερμιδόμετρο, η ουσία που εξετάζεται (0,5 gr ξηρού λιγνίτη περίπου) τοποθετείται σε ειδικό υποδοχέα, μέσα από τον οποίο περνά λεπτό σύρμα που χρησιμοποιείται για την ανάφλεξη του δείγματος και το σύστημα της βόμβας που περιέχει την ουσία, τοποθετείται στο νερό του θερμιδόμετρου. Η ουσία καίγεται σε περιβάλλον καθαρού οξυγόνου και σε υψηλή πίεση (440 psi). Το σύστημα είναι ισοθερμικό. Προτού καεί το δείγμα, μετριέται η θερμοκρασία του νερού που περιβάλλει τη βόμβα, ενώ η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και του νερού υπολογίζεται κατά τη διάρκεια της ανάλυσης[3].

Η θερμοκρασία του νερού μετριέται με ηλεκτρονικό θερμόμετρο κάθε έξι λεπτά. Η επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος υπολογίζεται και τα αποτελέσματα διορθώνονται. Επιπλέον γίνεται διόρθωση βάσει της περιεκτικότητας σε N_2 και S. Τέλος τα αποτελέσματα εκτυπώνονται. Η μέτρηση του θερμιδόμετρου αναφέρεται στην Ανώτερη Θερμογόνο Δύναμη (Α.Θ.Δ.) ‘επί ξηρού’. Ο υπολογισμός της Κατώτερης Θερμογόνου Δυνάμεως (Κ.Θ.Δ) ‘ως έχει’ έγινε με την ακόλουθη σχέση:

$$H_{κλ}=\{[H_{oξ} – 5,85*9*(100 – A_d)*0,05)*(100 – O_u)]/100\} – 5.85*O_u \quad (kcal/kg)$$

όπου $H_{κλ}$ = Κ.Θ.Δ. ‘ως έχει’ (kcal/kg)

$H_{o\xi}$ = Α.Θ.Δ. ‘επί ξηρού’ (kcal/kg)

A_d = Τέφρα ‘επί ξηρού’ (%)

O_u = Ολική υγρασία ‘ως έχει) (%)

Στον παραπάνω τύπο ο συντελεστής 5,85 αντιστοιχεί στη λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης των υδρατμών και ο συντελεστής 9 στην αναλογία βάρους του υδρογόνου στο μόριο του νερού. Τέλος, ο συντελεστής 0,05 αντιστοιχεί στην παραδοχή ότι το Η είναι το 5% του καυσίμου ‘επί ξηρού’.

4.9 ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ – Χ

Η ορυκτολογική εξέταση της τέφρας του λιγνίτη έγινε στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης με τη χρήση περιθλασίμετρου ακτίνων – Χ (XRD: X-Ray-Difraction Analysis).

Με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων – Χ είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση των γωνιών και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων – Χ που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής σκόνης[8].

Το δείγμα βρίσκεται σε ένα μεταλλικό ή πλαστικό πλακίδιο με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζει επίπεδη επιφάνεια. Το πλακίδιο αυτό τοποθετείται στο δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασίμετρου ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο ενός κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων – Χ[8].

Ταυτόχρονα περιστρέφεται ο απαριθμητής με σταθερή γωνιακή ταχύτητα και το επίπεδο του δείγματος με τη μισή τιμή της γωνιακής ταχύτητας του απαριθμητή. Η ταυτόχρονη μετατόπιση του απαριθμητή και η περιστροφή του δείγματος έχει σαν αποτέλεσμα ο πρώτος να σχηματίζει την ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος με το σημείο εξόδου των ακτίνων – Χ της λυχνίας[8].

Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η καταγραφή της ακτινοβολίας που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους του δείγματος που βρίσκονται σε τέτοια γωνία ως προς την κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων – Χ, που προέρχονται από τη λυχνία[8].

Το φαινόμενο της περίθλασης ακτίνων – Χ διέπεται από το νόμο του Bragg **:**

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin\theta \quad \text{όπου}$$

- n **:** τάξη ανάκλασης
- λ **:** μήκος κύματος
- θ **:** γωνία πρόσπτωσης

- d **:** πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου

Στην περιθλασιμετρία ακτίνων – Χ, το ζητούμενο μέγεθος είναι το d, γνωστό μέγεθος το λ και μετρούμενο μέγεθος το 2θ[8].

Οι αναλύσεις των δειγμάτων έγιναν σε αυτοματοποιημένο σύστημα XRD τύπου D8 Advance της Bruker. Το περιθλασίμετρο συνδέεται με μονάδα ηλεκτρονικού υπολογιστή με τη βοήθεια του οποίου γίνεται όλη η διαδικασία μέτρησης των δειγμάτων. Οι συνθήκες μέτρησης ήταν, ακτινοβολία Co, λ=1.7889 A^o, φίλτρο Ni, τάση 35 kV, ένταση 35 mA και βήμα ακτινοσκόπησης 1°/min. Η αξιολόγηση γίνεται με τα υπάρχοντα διεθνή πρότυπα της ICPDS.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΡΧΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

5.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

Το δείγμα στο οποίο έγιναν οι δοκιμές εμπλουτισμού και περαιτέρω αναλύσεις στάλθηκε από τη ΔΕΗ και προέρχεται από το Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης (Λ.Κ.Μ.). Σήμερα στο Λ.Κ.Μ. η εξόρυξη λιγνίτη πραγματοποιείται στα ορυχεία του Χωρεμίου, των Κυπαρισσίων και της Μαραθούσας και τροφοδοτούνται δύο Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί (ΑΗΣ) συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 850MW[17]. Ο λιγνίτης της περιοχής αυτής δεν έχει καλά ποιοτικά χαρακτηριστικά συγκριτικά με άλλους. Το δείγμα προέρχεται από απορρίμματα εκσκαφέων του ορυχείου του Χωρεμίου και σκοπός της εργασίας είναι η ανάκτηση του λιγνίτη.

5.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Το αρχικό δείγμα είχε βάρος 120 kg, θραύτηκε σε μέγεθος κόκκων -30 mm, ομογενοποιήθηκε και τεταρτοδιαιρέθηκε με τη μέθοδο του κόλουρου κώνου. Αμέσως αποθηκεύτηκε σε αεροστεγείς σακούλες για να μη χαθεί υγρασία. Αρχικά πάρθηκε αντιπροσωπευτικό δείγμα για τον προσδιορισμό κάποιων ποιοτικών χαρακτηριστικών (πίνακας 5.1).

Πίνακας 5.1: Ποιοτικά χαρακτηριστικά δείγματος

ΑΡΧΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ	
ΥΓΡΑΣΙΑ ‘ΩΣ ΕΧΕΙ’ %	47,9
ΣΤΕΡΕΑ %	52,1
ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ ‘ΩΣ ΕΧΕΙ’ %	27
ΤΕΦΡΑ ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ %	48,2
ΤΕΦΡΑ ‘ΩΣ ΕΧΕΙ’ %	25,1

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι περίπου το 50 % του βάρους, 47,9 %, αποτελεί την υγρασία και ότι η τέφρα επί ξηρού αποτελεί το 48,2 %. Οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές για την ποιότητα του λιγνίτη Μεγαλόπολης και αποδεικνύουν ότι είναι κακής ποιότητας στερεό καύσιμο. Επισημαίνεται ότι το υλικό τροφοδοσίας των ΑΗΣ Μεγαλόπολης πρέπει να περιέχει λιγότερο από 42 % σε τέφρα επί ξηρού.

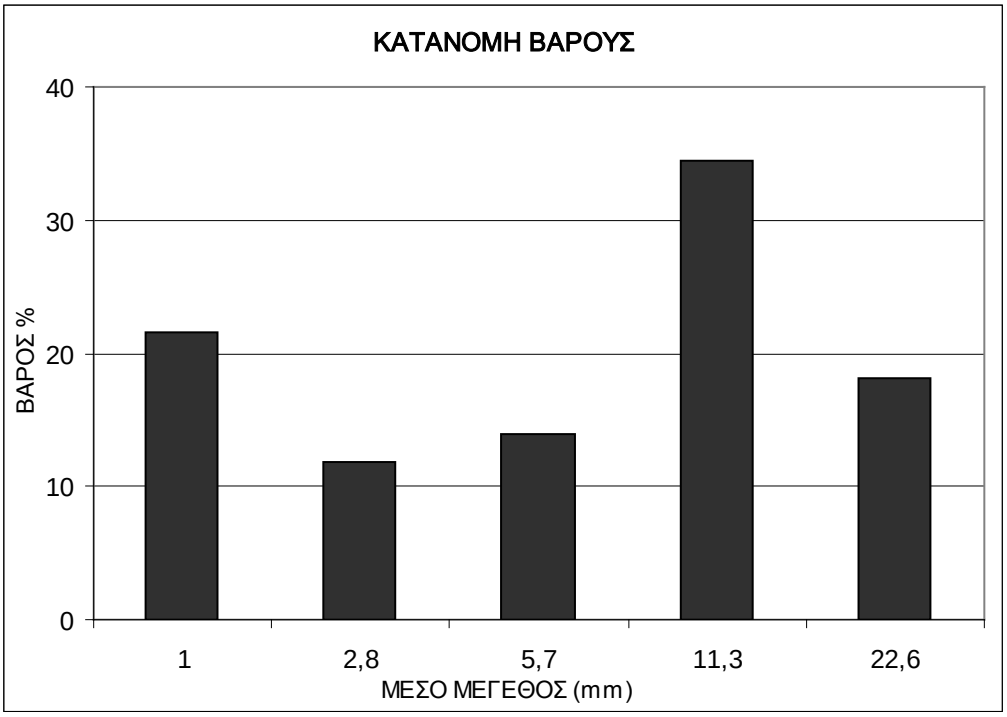
Έπειτα, πραγματοποιήθηκε ξηρή κοσκίνιση αντιπροσωπευτικής ποσότητας υλικού στα μεγέθη 16, 8, 4 και 2 mm και υπολογίστηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά στα επί μέρους μεγέθη.

Πίνακας 5.2: Κοκκομετρική ανάλυση αρχικού δείγματος

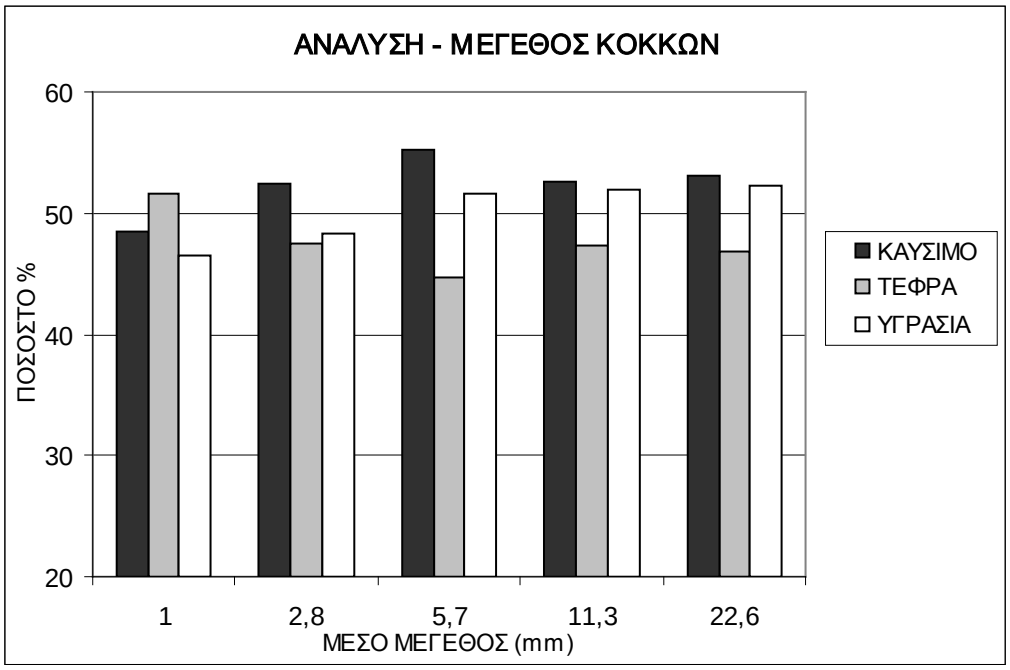
		ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ			
ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ (mm)	ΜΕΣΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ %	ΤΕΦΡΑ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ %	ΥΓΡΑΣΙΑ %
16	22,6	18,1	46,84	53,16	52,19
8	11,3	34,5	47,36	52,64	51,97
4	5,7	13,9	44,7	55,3	51,65
2	2,8	11,8	47,56	52,44	48,37
-2	1	21,6	51,6	48,4	46,45
ΣΥΝΟΛΟ		100	47,83	52,17	50,45

Από τον πίνακα συμπεραίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του βάρους 34,5 % βρίσκεται στο κοκκομετρικό κλάσμα 8 – 16 mm με 47,36 % σε τέφρα. Επίσης κανένα κλάσμα δεν περιέχει την επιθυμητή περιεκτικότητα σε τέφρα (<42 %). Αξίζει να σημειωθεί ότι η τέφρα στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν αποτελεί μόνο το άκαυστο υλικό του λιγνίτη, αλλά και άλλα αργιλικά ορυκτά διότι δεν έχει εμπλουτιστεί το δείγμα, παρά μόνον έχει υποστεί θραύση. Παρατηρείται ότι στο λεπτόκοκκο κλάσμα το ποσοστό της τέφρας είναι το υψηλότερο. Αυτό διότι, τα αργιλικά ορυκτά είναι περισσότερο εύθρυπτα από το λιγνίτη κατά τη θραύση συνεπώς συσσωρεύονται στα λεπτόκοκκα κλάσματα. Η υγρασία φαίνεται να μειώνεται από το χονδρότερο προς το ελαφρύτερο κλάσμα, αιτία αυτού είναι ότι κατά τη θραύση με την αποδέσμευση των ορυκτών χάνεται και μέρος της υγρασίας.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται γραφικά οι παραπάνω αναλύσεις. Τα παραπάνω συμπεράσματα εξάγονται και με τη συνεισφορά των γραφημάτων 5.1 και 5.2.



Διάγραμμα 5.1: Κατανομή βάρους στα κόσκινα



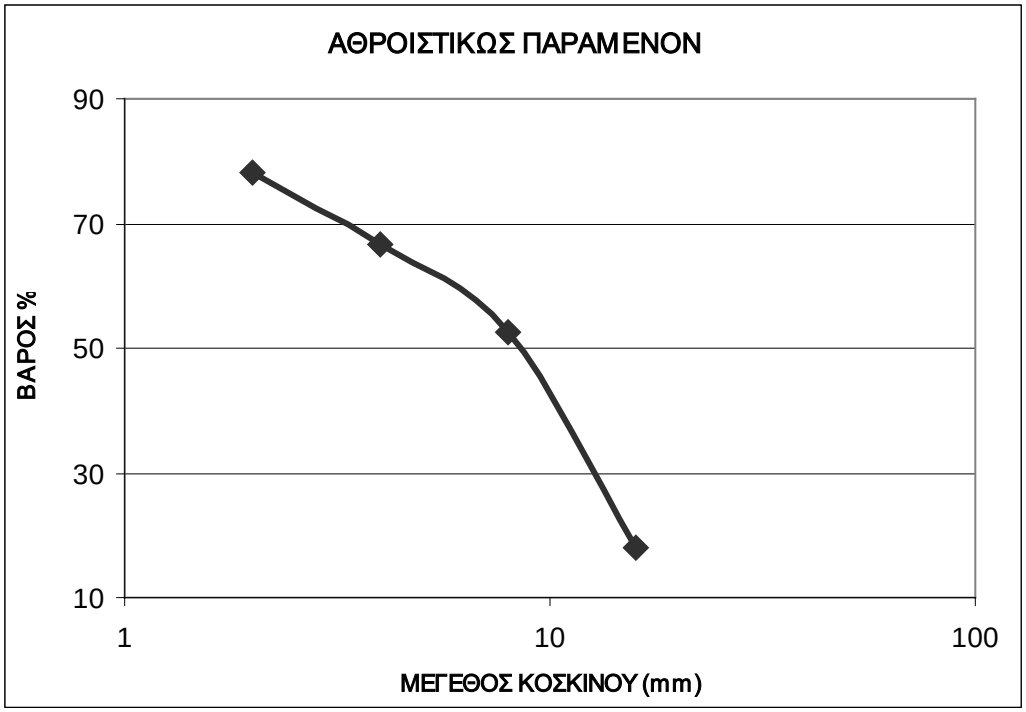
Διάγραμμα 5.2 : Κατανομή ποιοτικών χαρακτηριστικών στα διάφορα μεγέθη

Σαφέστερα συμπεράσματα βγαίνουν από τα αθροιστικώς διερχόμενα και παραμένοντα μεγέθη του κάθε κλάσματος και τις αντίστοιχες αναλύσεις. Ο πίνακας 5.3 βοηθάει γι' αυτό το σκοπό.

Πίνακας 5.3: Κοκκομετρική - προσεγγιστική ανάλυση των αθροιστικώς διερχόμενων - παραμένοντων

	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ				ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ			
	ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ				ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ			
ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ (mm)	ΒΑΡΟΣ %	ΤΕΦΡΑ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ %	ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΒΑΡΟΣ %	ΤΕΦΡΑ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ %	ΥΓΡΑΣΙΑ %
16	81,9	48,04	51,88	49,88	18,1	46,90	53,15	52,21
8	47,4	48,48	51,33	48,35	52,6	47,24	52,82	52,05
4	33,5	50,00	49,68	46,99	66,5	46,74	53,33	51,97
2	21,6	51,31	48,18	46,24	78,3	46,87	53,20	51,43

Στον πίνακα 5.3 παρατηρείται ότι στα αθροιστικώς παραμένοντα κλάσματα τα χαρακτηριστικά των αναλύσεων είναι περισσότερο ικανοποιητικά επειδή όπως αναφέρθηκε στο λεπτόκοκκο κλάσμα βρίσκεται περισσότερη τέφρα. Στη συνέχεια παρατίθεται η κοκκομετρική κατανομή του αθροιστικώς παραμένοντος.



Διάγραμμα 5.3: Κοκκομετρική κατανομή

5.3 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΦΡΑΣ

Μετά από την αρχική κοκκομετρική ανάλυση πάρθηκε μικρή ποσότητα από την τέφρα του κάθε κλάσματος και πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική ανάλυση. Τα ορυκτά που αποτελούν την τέφρα είναι**:** ο χαλαζίας, ο ανυδρίτης, ο μοσχοβίτης, ο ανορθίτης και ο αιματίτης.

Για το κάθε κοκκομετρικό κλάσμα έγινε ακτινοδιάγραμμα, τα οποία βρίσκονται στο παράρτημα. Στα αποτελέσματα των ακτινοδιαγραμμάτων έγιναν ημιποσοτικές ορυκτολογικές αναλύσεις, που φαίνονται αναλυτικά στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 5**.4:** Ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΧΑΛΑΖΙΑΣ %	ΑΝΟΡΘΙΤΗΣ %	ΜΟΣΧΟΒΙΤΗΣ %	ΑΝΥΔΡΙΤΗΣ %	ΑΙΜΑΤΙΤΗΣ %
16 – 32	59,7	9	28,4	3	—
8 – 16	51,7	9,4	26,8	10,7	1,4
4 – 8	41,3	9,7	16,3	29,4	3,3
2 – 4	51,5	7,4	14,3	23,4	3,5
-2	48,1	9,6	18,5	20,3	3,4

Το κύριο ορυκτό της τέφρας είναι ο χαλαζίας με ποσοστό περί του 50 %. Οι χημικοί τύποι των ορυκτών είναι για το χαλαζία SiO_2, ανορθίτης $CaAl_2Si_2O_8$, μοσχοβίτης $KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$, ανυδρίτης $Ca(SO_4)$ και για τον αιματίτη Fe_2O_3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

6.1 ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΕ ΒΑΡΕΑ ΥΓΡΑ

Ο διαχωρισμός με βαρέα υγρά έγινε έπειτα από κοσκίνιση υλικού στα μεγέθη 30, 5 και 1 mm. Τα κλάσματα που εμπλουτίστηκαν ήταν το 5 – 30 mm και 1 – 5 mm. Οι πυκνότητες των διαλυμάτων που επιλέχθηκαν για τον εμπλουτισμό του λιγνίτη ήταν 1.5, 1.4, 1.3, 1.2 και 1.1 gr/ml επειδή ο λιγνίτης έχει ειδικό βάρος 1,2 ~ 1.3 gr/ml ενώ τα λοιπά ορυκτά μεγαλύτερο από 1,3 gr/ml. Τα υγρά που αναμείχθηκαν για τη παρασκευή των διαλυμάτων ήταν η ισοπροπυλική αλκοόλη με πυκνότητα 0,78 gr/ml και το τετραβρωμοαιθάνιο με 2,96 gr/ml, η αναλογία των οποίων υπολογίστηκε βάσει της εξίσωσης 4.1.Τα υγρά αναμειγνήθηκαν για 10 περίπου λεπτά ώστε να δημιουργηθούν ομογενή τελικά διαλύματα που τοποθετήθηκαν σε ποτήρια ζέσεως των 1000 ml. Έτσι παράχθηκαν πέντε διαλύματα με τις προαναφερθείσες πυκνότητες διαχωρισμού.

Τα διαλύματα αυτά τοποθετήθηκαν κατά σειρά μείωσης της πυκνότητας το ένα δίπλα στο άλλο. Έτσι το κλάσμα τροφοδοσίας διοχετεύτηκε πρώτα στο διάλυμα 1,5 στο οποίο ένα μέρος καταβυθίστηκε και το υπόλοιπο επέπλευσε. Το επιπλεύσαν οδηγήθηκε στο διάλυμα 1,4 όπου ένα μέρος καταβυθίστηκε ενώ το υπόλοιπο επέπλευσε και συνεχίστηκε η διαδικασία αυτή μέχρι το διάλυμα 1,1.

Αφού πραγματοποιήθηκε ο εμπλουτισμός και στα δύο κοκκομετρικά κλάσματα παρατηρήθηκε ότι στα διαλύματα χάθηκε η ομοιογένεια. Αυτό κίνησε υποψίες πως ο διαχωρισμός μπορεί να μην έδινε αξιόπιστα αποτελέσματα. Έτσι αντί της ισοπροπανόλης επιλέχθηκε μια αλκοόλη με περισσότερα άτομα άνθρακα στο μοριακό της τύπο. Η αλκοόλη που χρησιμοποιήθηκε είναι η εξανόλη με πυκνότητα 0,818 gr/ml. Οπότε πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές δοκιμών με τη δεύτερη να αναμειγνύονται εξανόλη και τετραβρωμοαιθάνιο για την παρασκευή των διαλυμάτων. Τα βαρυτομετρικά κλάσματα ξεπλύθηκαν με ακετόνη ζυγίστηκαν και αναλύθηκαν.

6.1.1 ΠΡΩΤΗ ΣΕΙΡΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

Έλαβε χώρα υγρή κοσκίνιση 5 kg δείγματος στα μεγέθη που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η κατανομή του βάρους φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6.1: Κοκκομετρική ανάλυση υγρής κοσκίνισης

ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ %
5 – 30	3298,8	66,7
1 – 5	1140,5	23,1
-1	503,1	10,2
ΣΥΝΟΛΟ	4942,4	100

Έπειτα τα κλάσματα 5 – 30 και 1 – 5 mm εμπλουτίστηκαν στα διαλύματα βαρέων υγρών όπου αναμείχθηκαν ισοπροπανόλη και τετραβρωμοαιθάνιο. Οι ποσότητες προς διαχωρισμό ήταν 1 kg για το 5 – 30 mm και 0,5 kg για το 1 – 5 mm. Επισημαίνεται ότι τα βαρυτομετρικά κλάσματα αφού ξεπλύθηκαν με ακετόνη παρέμειναν για μικρό χρονικό διάστημα εκτεθειμένα στον ατμοσφαιρικό αέρα ώστε να εξατμιστεί η ακετόνη και αμέσως αποθηκεύτηκαν σε αεροστεγείς σακούλες για να μην χαθεί μέρος της κλασματικής υγρασίας.

6.1.1.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΩΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΔΟΚΙΜΩΝ

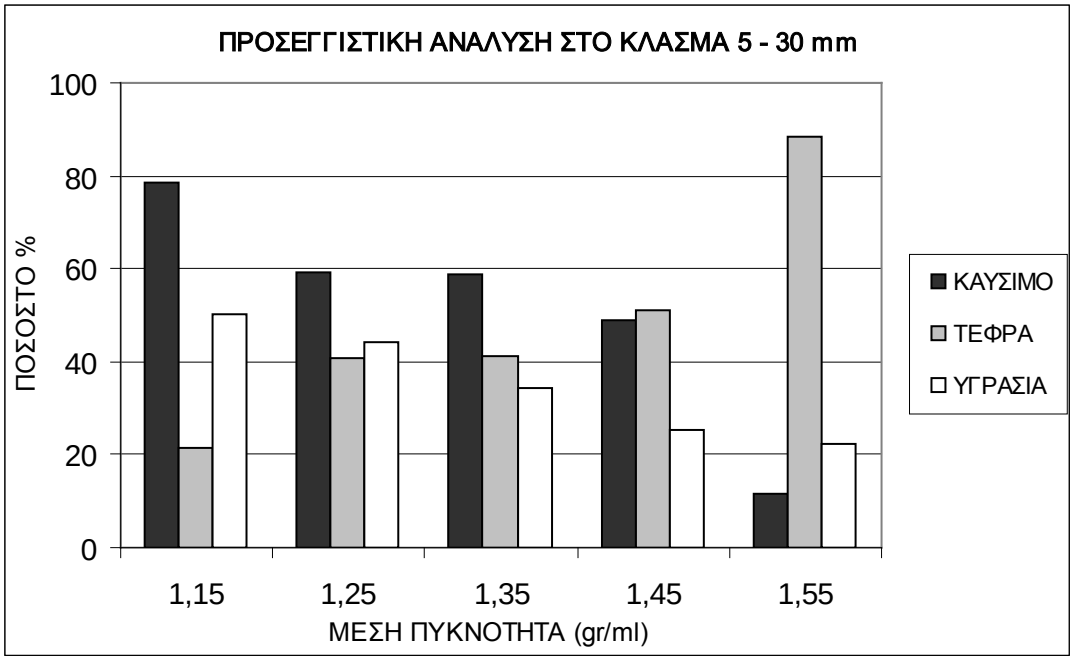
Τα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού και των δύο κοκκομετρικών κλασμάτων ζυγίστηκαν και πραγματοποιήθηκε προσεγγιστική ανάλυση τα αποτελέσματα της οποίας συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες. Επιπλέον παρατίθενται και πίνακες με τα αθροιστικώς ελαφρύτερα και βαρύτερα καθώς και αντίστοιχα γραφήματα για την οπτική απεικόνιση των αποτελεσμάτων και την ευκολότερη εξαγωγή συμπερασμάτων. Η κατανομή στον παρακάτω πίνακα υπολογίζεται από τους τύπους:

$$ΜΕΤΑΛΛΟΜΟΝΑΔΕΣ = \frac{ΒΑΡΟΣ * ΑΝΑΛΥΣΗ}{100}$$

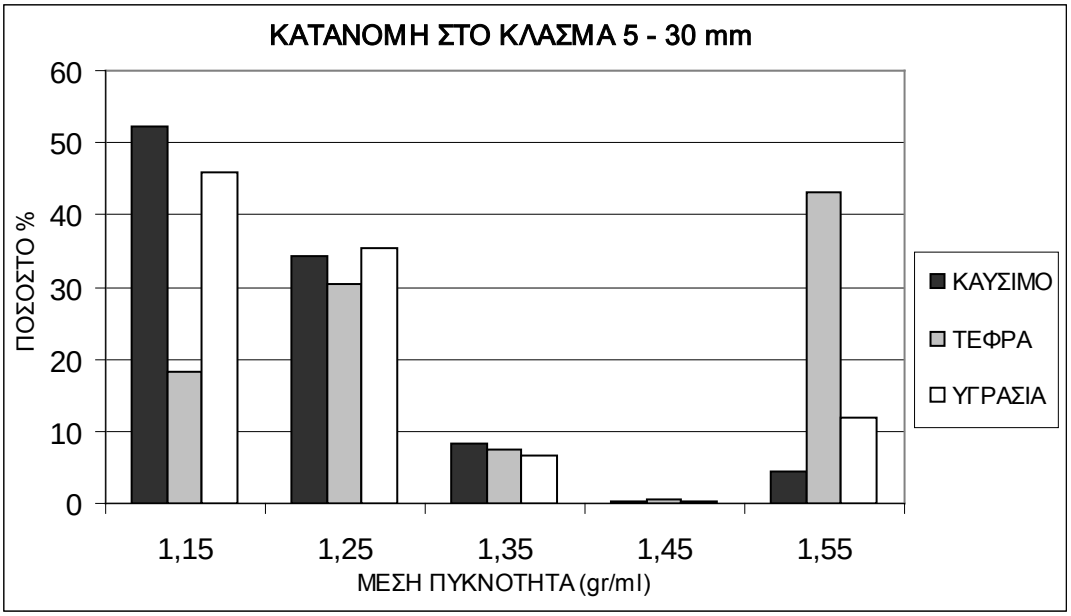
$$ΚΑΤΑΝΟΜΗ\ \% = \frac{ΜΕΤΑΛΛΟΜΟΝΑΔΕΣ_{κλάσματος}}{ΜΕΤΑΛΛΟΜΟΝΑΔΕΣ_{συνολικές}} * 100$$

Πίνακας 6.2: Προσεγγιστική ανάλυση και κατανομή του κλάσματος 5 – 30 mm

	ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ				ΚΑΤΑΝΟΜΗ %		
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm^3)	ΒΑΡΟΣ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ %	ΤΕΦΡΑ %	ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ	ΤΕΦΡΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ
+1,5	21,5	11,69	88,31	22,4	4,48	43,27	11,78
1,4 – 1,5	0,43	48,77	51,23	25,3	0,37	0,5	0,26
1,3 – 1,4	8,02	58,97	41,03	34,5	8,43	7,5	6,76
1,2 – 1,3	32,7	59,09	40,91	44,2	34,4	30,43	35,3
-1,2	37,4	78,5	21,5	50,2	52,31	18,3	45,89
ΣΥΝΟΛΟ	100,0	56,1	43,9	42,6	100	100	100



Διάγραμμα 6.1: Προσεγγιστική ανάλυση του κλάσματος 5 – 30 mm



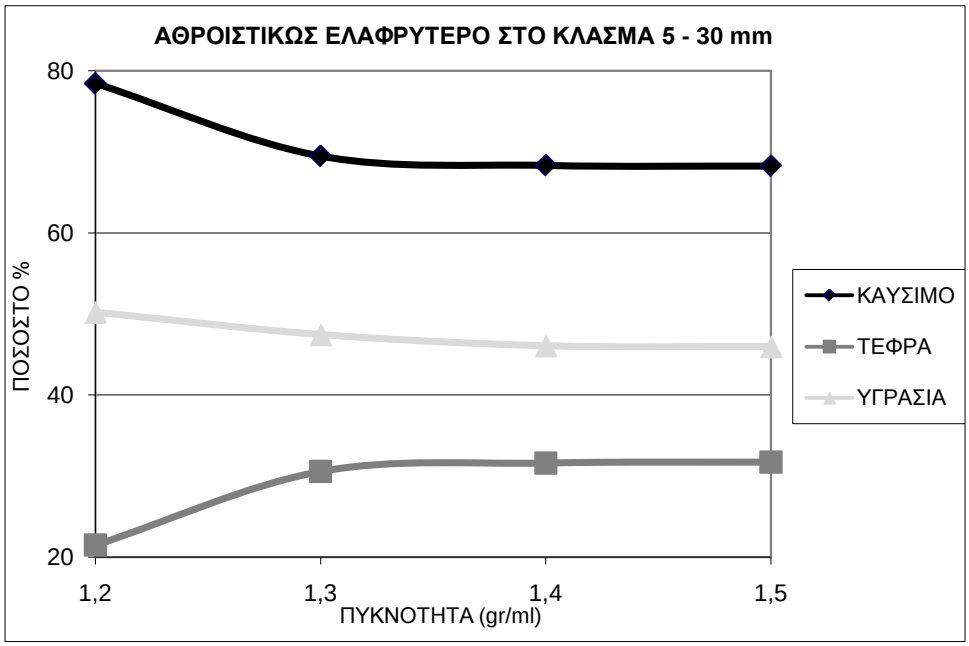
Διάγραμμα 6.2: Κατανομή του κλάσματος 5 – 30 mm

Από τον πίνακα 6.2 και τα διαγράμματα 6.1 και 6.2 διαπιστώνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος του βάρους 70,1 % καταλήγει στα βαρυτομετρικά κλάσματα 1,2 και -1,2 γεγονός που σημαίνει ότι το δείγμα περιείχε υψηλή περιεκτικότητα σε λιγνίτη παρόλο που πάρθηκε από απορρίμματα εκσκαφέων. Επίσης η κλασματική υγρασία φαίνεται ότι αυξάνεται σταδιακά προς τα ελαφρύτερα κλάσματα κάτι το φυσιολογικό επειδή ο λιγνίτης έχει υψηλότερο ποσοστό σε υγρασία από τα σύνδρομά του ορυκτά. Αξιοσημείωτη είναι η υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα στο κλάσμα +1,5 καθώς και η πολύ μικρή κατανομή σε βάρος του κλάσματος 1,4 – 1,5 που πιθανόν να σημαίνει ότι η πυκνότητα 1,4 είναι η κατάλληλη για το διαχωρισμό. Τέλος παρατηρείται ότι το 52,31 % της καύσιμης ύλης κατανέμεται στο βαρυτομετρικό κλάσμα -1,2 ενώ το 43,27 % της τέφρας στο κλάσμα 1,5. Όλα αυτά τα στοιχεία αρχικά μαρτυρούν ότι πραγματοποιήθηκε ένας καλός διαχωρισμός του λιγνίτη από τα άλλα ορυκτά.

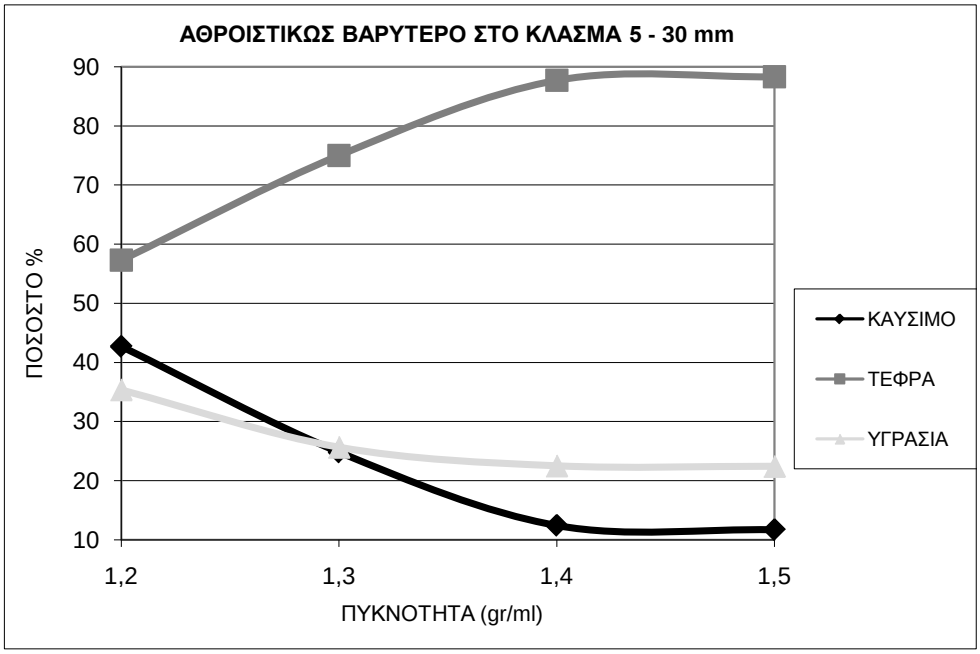
Όμως για ακριβέστερα συμπεράσματα πρέπει να μελετηθούν τα αθροιστικώς ελαφρύτερα και βαρύτερα των κλασμάτων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται πίνακας με τις αναλύσεις αυτές καθώς και τα αντίστοιχα γραφήματα

Πίνακας 6.3: Αναλύσεις στα αθροιστικώς βαρύτερα και ελαφρύτερα και κατανομή επί των βαρυτομετρικών κλασμάτων του κοκκομετρικού κλάσματος 5 – 30 mm

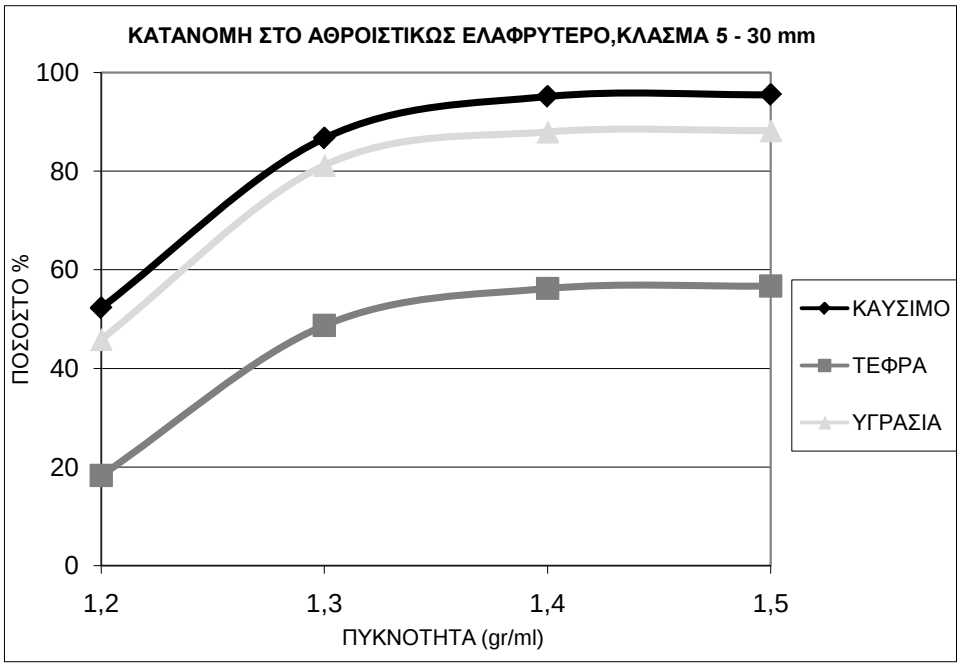
	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΕΛΑΦΡΥΤΕΡΑ							ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΒΑΡΥΤΕΡΑ						
	ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ				ΚΑΤΑΝΟΜΗ %			ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ				ΚΑΤΑΝΟΜΗ %		
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm^3)	ΒΑΡΟΣ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ %	ΤΕΦΡΑ %	ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ	ΤΕΦΡΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ	ΒΑΡΟΣ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ %	ΤΕΦΡΑ %	ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ	ΤΕΦΡΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ
1,5	78,5	68,26	31,73	45,98	95,52	56,73	88,22	21,5	11,7	88,34	22,43	4,48	43,27	11,78
1,4	78,1	68,34	31,61	46,08	95,15	56,23	87,96	21,9	12,43	87,72	22,51	4,85	43,77	12,04
1,3	70	69,49	30,57	47,46	86,71	48,74	81,19	30	24,85	75,01	25,66	13,29	51,26	18,81
1,2	37,4	78,46	21,49	50,21	52,31	18,3	45,89	62,6	42,73	57,29	35,37	47,69	81,7	54,11



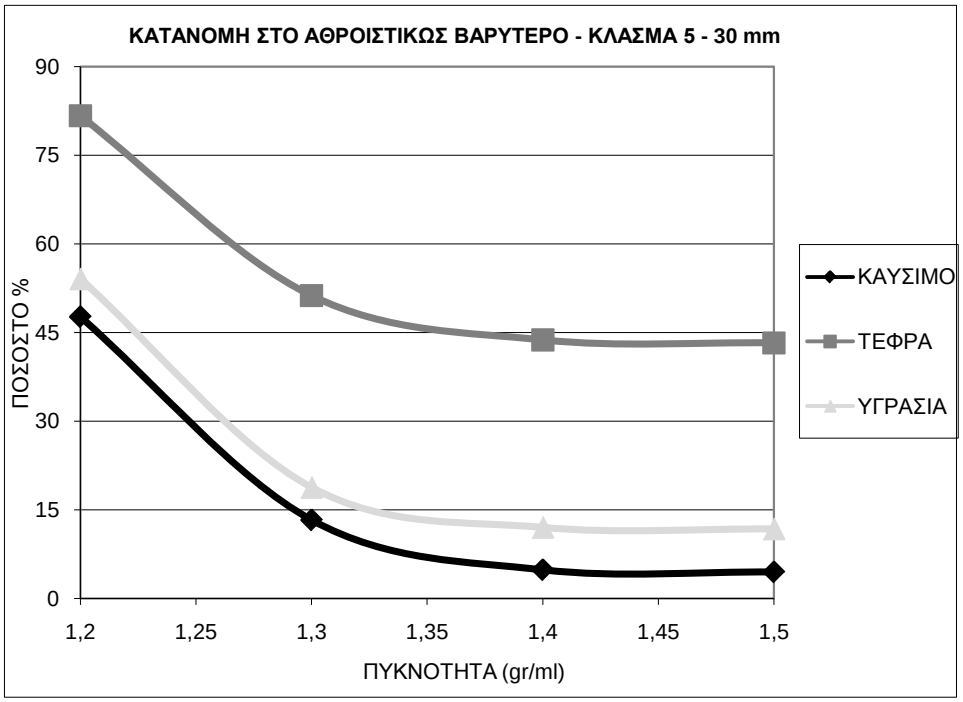
Διάγραμμα 6.3**:** Αναλύσεις του αθροιστικώς ελαφρύτερου του κλάσματος 5 – 30 mm



Διάγραμμα 6.4**:** Αναλύσεις του αθροιστικώς βαρύτερου του κλάσματος 5 – 30 mm



Διάγραμμα 6.5: Κατανομή του αθροιστικώς ελαφρύτερου του κλάσματος 5 – 30 mm



Διάγραμμα 6.6: Κατανομή του αθροιστικώς βαρύτερου του κλάσματος 5 – 30 mm

Παρατηρώντας τον πίνακα 6.3 και τα γραφήματα 6.3 ~ 6.6 βγαίνει ένα αρχικό συμπέρασμα πως τα προϊόντα των αθροιστικώς ελαφρύτερων έχουν καλύτερες αναλύσεις από αυτά των αθροιστικώς βαρύτερων. Πιο συγκεκριμένα αν παρθεί το επιπλεύσαν στην πυκνότητα 1,5 επιτυγχάνεται ανάκτηση καύσιμης ύλης κατά 95,52 % ενώ απόρριψη τέφρας κατά 43,27 %. Επίσης η περιεκτικότητα σε τέφρα του κλάσματος αυτού είναι 31,73 % μια θεμιτή τιμή και αρκετά καλή για προορισμό του υλικού για καύση. Η ανάκτηση σε βάρος του κλάσματος αυτού είναι 78,5 %. Το μόνο μειονέκτημα είναι η υψηλή ανάκτηση σε υγρασία 88,22%, εφόσον όμως το προϊόν πληροί τα προϋποθέσεις για την τροφοδοσία του σε Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς το γεγονός αυτό μπορεί να παραληφθεί (περιεκτικότητα σε τέφρα <42 %).

Επομένως με εμπλουτισμό του λιγνίτη σε πυκνότητα 1,5 gr/ml για το κοκκομετρικό κλάσμα 5 – 30 mm παραλαμβάνεται συμπύκνωμα με ικανοποιητική ανάκτηση βάρους και ιδιαίτερα εμπλουτισμένο σε καύσιμη ύλη ενώ η περιεχόμενη υγρασία είναι 45,98 %.

Στον πίνακα 6.4 παρουσιάζονται οι αναλύσεις της τροφοδοσίας, του συμπυκνώματος καθώς και του απορρίμματος.

Πίνακας 6.4: Αναλύσεις τροφοδοσίας, συμπυκνώματος και απορρίμματος του κλάσματος 5 – 30 mm

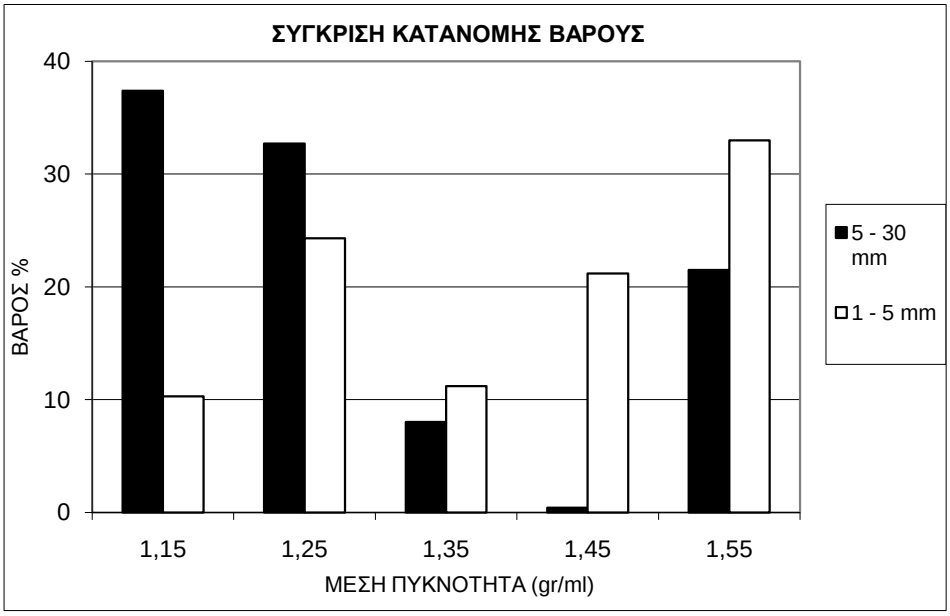
		ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ				ΚΑΤΑΝΟΜΗ %		
ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ mm	ΠΡΟΪΟΝ	ΒΑΡΟΣ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ %	ΤΕΦΡΑ %	ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ	ΤΕΦΡΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ
5 – 30	ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ	78,5	68,26	31,73	45,98	95,52	56,73	88,22
	ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	21,5	11,7	88,34	22,43	4,48	43,27	11,78
	ΤΡΟΦΗ	100	56,1	43,9	42,6	100	100	100

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων του κλάσματος 1 – 5 mm καθώς και τα αντίστοιχα γραφήματα.

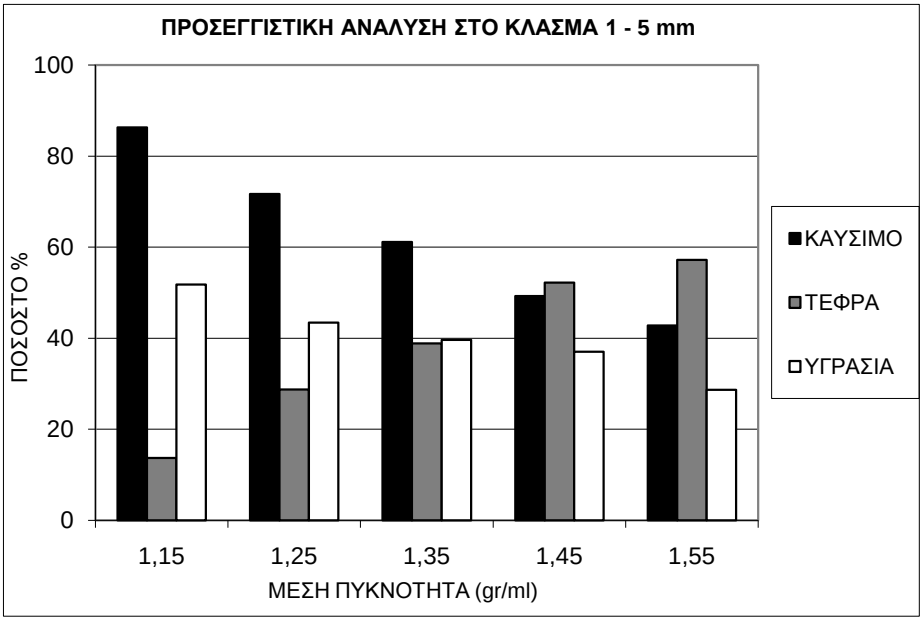
Πίνακας 6.5: Προσεγγιστική ανάλυση και κατανομή στο κλάσμα 1 – 5 mm

	ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ				ΚΑΤΑΝΟΜΗ %		
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm^3)	ΒΑΡΟΣ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ %	ΤΕΦΡΑ %	ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ	ΤΕΦΡΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ
+1,5	33	42,79	57,21	28,7	24,67	44,23	25,18
1,4 – 1,5	21,2	47,79	52,21	37	17,72	25,97	20,91
1,3 – 1,4	11,2	61,11	38,89	39,6	11,95	10,2	11,79
1,2 – 1,3	24,3	71,27	28,73	43,4	30,17	16,31	27,98
-1,2	10,3	86,33	13,67	51,8	15,49	3,29	14,14
ΣΥΝΟΛΟ	100	57,29	42,71	37,6	100	100	100

Στο συγκεκριμένο κοκκομετρικό κλάσμα παρατηρείται διαφορετική κατανομή του βάρους στα βαρυτομετρικά κλάσματα. Το βάρος είναι πιο ομαλά κατανεμημένο συγκριτικά με το κοκκομετρικό κλάσμα 5 – 30 mm. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο πρόβλημα που παρουσιάστηκε με την ανομοιογένεια των διαλυμάτων. Παρακάτω ακολουθεί διάγραμμα όπου συγκρίνεται η κατανομή του βάρους στα δύο κλάσματα. Επίσης γραφήματα που οπτικοποιούν τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα.

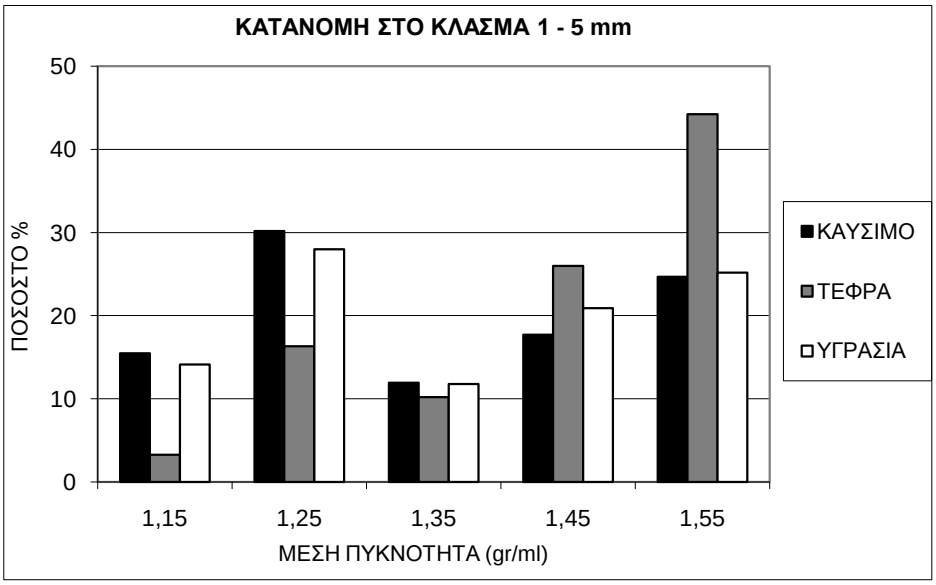


Διάγραμμα 6.7**:** Σύγκριση κατανομής του βάρους στα δύο κοκκομετρικά κλάσματα



Διάγραμμα 6.8: Προσεγγιστική ανάλυση του κλάσματος 1 – 5 mm

Και σ' αυτό το κοκκομετρικό κλάσμα στα ελαφρύτερα κλάσματα αυξάνεται η περιεκτικότητα σε καύσιμη ύλη ενώ το αντίθετο συμβαίνει για την περιεκτικότητα σε τέφρα, αυξάνεται προς τα βαριά κλάσματα. Η υγρασία φαίνεται να αυξάνεται προς τα ελαφρύτερα κλάσματα.



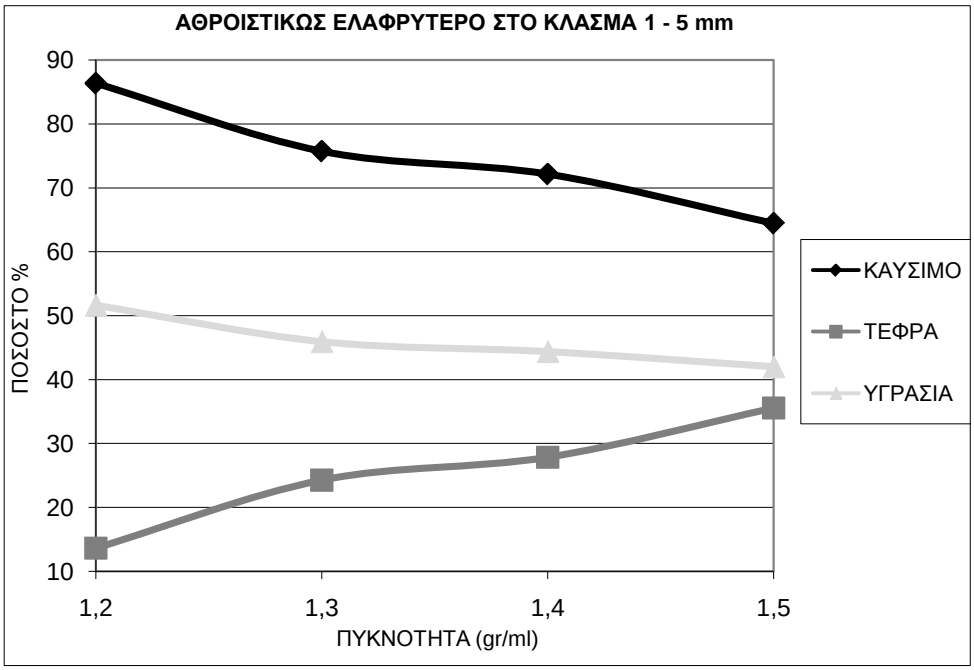
Διάγραμμα 6.9: Κατανομή του κλάσματος 1 – 5 mm

Η τέφρα ως επί το πλείστον, κατανέμεται στα βαριά κλάσματα ενώ η καύσιμη ύλη παρουσιάζει σχεδόν μια ισοκατανομή με το μεγαλύτερο ποσοστό να διοχετεύεται στο βαρυτομετρικό κλάσμα 1,2 ~ 1,3 gr/cm^3. Αξιοσημείωτο είναι το ποσοστό της καύσιμης ύλης που κατανέμεται στα βαριά κλάσματα κάτι που δεν παρατηρήθηκε στο κλάσμα 5 – 30 mm.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας των αθροιστικώς ελαφρύτερων και βαρύτερων καθώς και διαγράμματα για την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων.

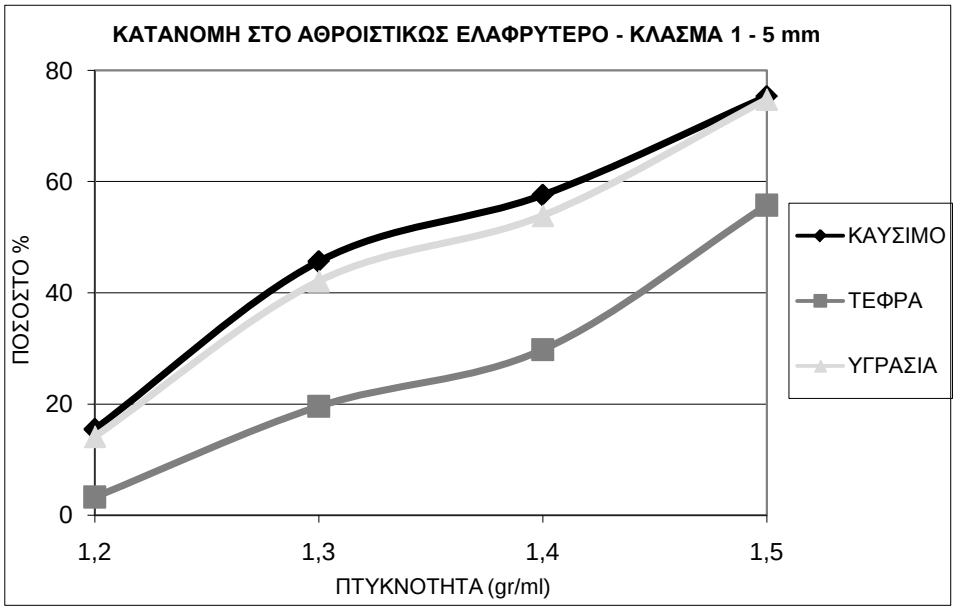
Πίνακας 6.6: Αναλύσεις στα αθροιστικώς βαρύτερα και ελαφρύτερα και κατανομή επί των βαρυτομετρικών κλασμάτων του κοκκομετρικού κλάσματος 1 – 5 mm

	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΕΛΑΦΡΥΤΕΡΑ							ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΒΑΡΥΤΕΡΑ						
	ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ				ΚΑΤΑΝΟΜΗ %			ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ				ΚΑΤΑΝΟΜΗ %		
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm^3)	ΒΑΡΟΣ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ %	ΤΕΦΡΑ %	ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ	ΤΕΦΡΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ	ΒΑΡΟΣ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ %	ΤΕΦΡΑ %	ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ	ΤΕΦΡΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ
1,5	67	64,45	35,55	42,02	75,33	55,77	74,82	33	42,81	57,19	28,68	24,67	44,23	25,18
1,4	45,7	72,15	27,85	44,39	57,61	29,8	53,91	54,3	44,75	55,25	31,96	42,39	70,2	46,09
1,3	34,5	75,73	24,27	45,95	45,66	19,6	42,12	65,5	47,55	52,45	33,26	54,34	80,4	57,88
1,2	10,3	86,36	13,64	51,66	15,49	3,29	14,14	89,7	53,96	46,04	36,01	84,51	96,71	85,86



Διάγραμμα 6.10**:** Αναλύσεις του αθροιστικώς ελαφρύτερου του κλάσματος 1 – 5 mm

Στο παραπάνω διάγραμμα καθώς μειώνεται η πυκνότητα επιτυγχάνονται όλο και καλύτερες αναλύσεις, δηλαδή μειώνεται η τέφρα και αυξάνεται η καύσιμη ύλη. Παράλληλα πρέπει να αξιολογηθεί η αντίστοιχη κατανομή καθώς και το βάρος στην κάθε πυκνότητα.



Διάγραμμα 6.11**:** Κατανομή του αθροιστικώς ελαφρύτερου του κλάσματος 1 – 5 mm

Εδώ φαίνεται πως η ανάκτηση καύσιμης ύλης στην πυκνότητα 1,5 είναι αρκετά ικανοποιητική καθώς και η αντίστοιχη ανάκτηση σε τέφρα, που πρέπει να είναι χαμηλή.

Επομένως, από τον πίνακα 6.6 και τα διαγράμματα 6.10 και 6.11 αν επιλεχθεί σαν πυκνότητα διαχωρισμού η 1,5 gr/ml και παρθεί σαν συμπύκνωμα το ελαφρύτερο τότε επιτυγχάνεται ανάκτηση καύσιμης ύλης κατά 75,33 % ενώ απόρριψη τέφρας κατά 44,23 %. Η ανάκτηση βάρους στην συγκεκριμένη πυκνότητα είναι 67 %. Η κλασματική υγρασία θα είναι 42,02 % ενώ η περιεκτικότητα σε τέφρα 35,55 % (<42 %), θεμιτή τιμή. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι αναλύσεις της τροφοδοσίας, του συμπυκνώματος και του απορρίμματος του κλάσματος 1 – 5 mm.

Πίνακας 6.7: Αναλύσεις τροφοδοσίας, συμπυκνώματος και απορρίμματος του κλάσματος 1 – 5 mm

		ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ				ΚΑΤΑΝΟΜΗ %		
ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ (mm)	ΠΡΟΪΟΝ	ΒΑΡΟΣ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ %	ΤΕΦΡΑ %	ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ	ΤΕΦΡΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ
1 – 5	ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ	67	64,45	35,55	42,02	75,33	55,77	74,82
	ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	33	42,81	57,19	28,68	24,67	44,23	25,18
	ΤΡΟΦΗ	100	57,29	42,71	37,6	100	100	100

Συνοψίζοντας λοιπόν, από τα δύο κοκκομετρικά κλάσματα που εμπλουτίστηκαν στις συγκεκριμένες πυκνότητες βαρέων υγρών εξάγεται το συμπέρασμα πως η καταλληλότερη πυκνότητα διαχωρισμού είναι η 1,5 gr/ml. Στο κοκκομετρικό κλάσμα 5 – 30 mm επιτεύχθηκε υψηλότερη ανάκτηση βάρους και καύσιμης ύλης (θεαματικά υψηλή), μικρότερη περιεκτικότητα σε τέφρα και παρόμοια απόρριψη αυτής, ενώ το μόνο μειονέκτημα ήταν η ελάχιστα μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υγρασία, συγκριτικά με το κοκκομετρικό κλάσμα 1 – 5 mm όσον αφορά τα συμπυκνώματα που πάρθηκαν. Συνεπώς το κλάσμα 5 – 30 mm κρίνεται καταλληλότερο προς εμπλουτισμό.

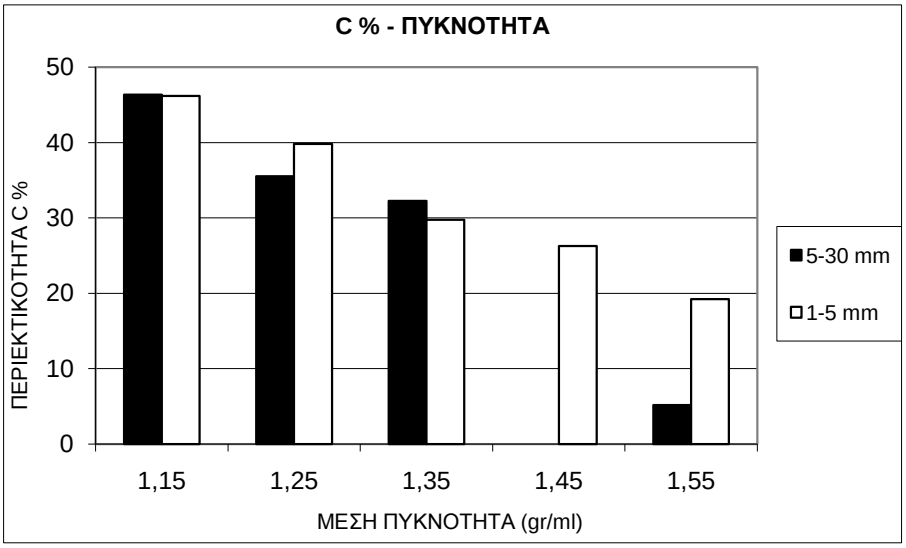
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης που έλαβε χώρα στα προϊόντα του διαχωρισμού των δύο κοκκομετρικών κλασμάτων. Αρχικός σκοπός ήταν να προσδιοριστεί η περιεκτικότητα σε C, H, S, N και O όμως τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το S και το N κρίθηκαν αναξιόπιστα και ακατάλληλα για παρουσίαση γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε αδυναμία του

αναλυτή που χρησιμοποιήθηκε. Γι' αυτό παρουσιάζονται μόνο οι αναλύσεις για C και H που είναι αξιόπιστες.

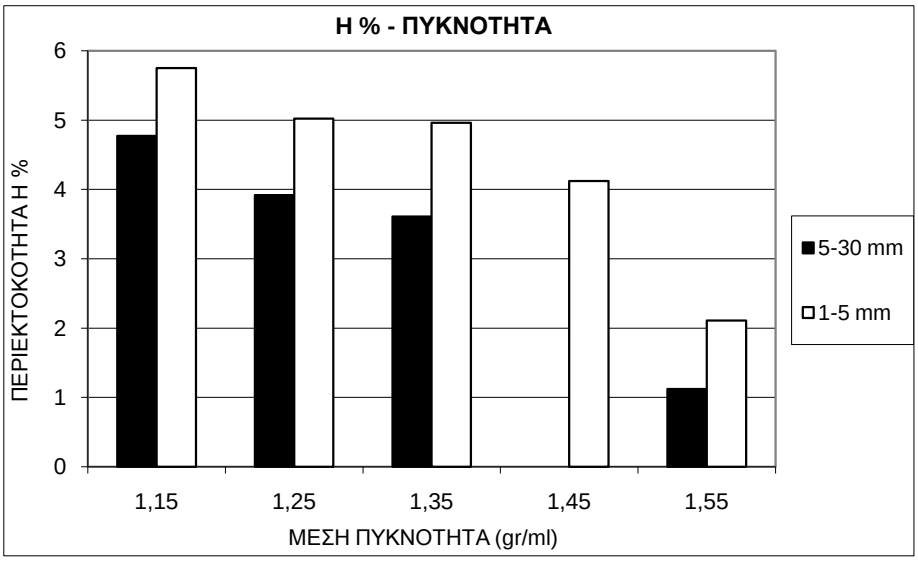
Πίνακας 6.8: Στοιχειακή ανάλυση προϊόντων

	ΚΛΑΣΜΑ 5 - 30 mm			ΚΛΑΣΜΑ 1 - 5 mm		
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm^3)	ΒΑΡΟΣ %	C %	H %	ΒΑΡΟΣ %	C %	H %
+1,5	21,5	5,17	1,12	33	19,24	2,11
1,4 – 1,5	0,43	–	–	21,2	26,26	4,12
1,3 – 1,4	8,02	32,25	3,61	11,2	29,74	4,96
1,2 – 1,3	32,7	35,51	3,92	24,3	39,82	5,02
-1,2	37,4	46,36	4,77	10,3	46,19	5,75
ΣΥΝΟΛΟ	100,0	32,63	3,59	100	29,68	3,94

Το βαρυτομετρικό κλάσμα 1,4 – 1,5 του κλάσματος 5 – 30 mm δεν αναλύθηκε λόγω ανεπαρκούς ποσότητας του δείγματος. Η περιεκτικότητα σε C και H αυξάνεται προς τα ελαφρύτερα κλάσματα κάτι το αναμενόμενο γιατί όπως παρουσιάστηκε πιο πάνω αυξάνεται η καύσιμη ύλη στο κλάσματα αυτά, άρα εμπλουτίζονται σε υδρογονάνθρακες. Ακολουθούν διαγράμματα που αναπαριστούν τη μείωση της περιεκτικότητας του C και H με την αύξηση της πυκνότητας στα δύο κλάσματα.



Διάγραμμα 6.12: Μεταβολή της περιεκτικότητας σε C σχετικά με την πυκνότητα



Διάγραμμα 6.13: Μεταβολή της περιεκτικότητας σε Η σχετικά με την πυκνότητα

Επιπλέον έγινε προσδιορισμός της Θερμογόνου Δυνάμεως των προϊόντων του εμπλουτισμού. Και σε αυτή την περίπτωση υπήρξε πρόβλημα υπολογισμού. Στα βαριά κλάσματα ήταν αναμενόμενο να μην προσδιοριστεί Θερμογόνος Δύναμη διότι το μεγαλύτερο μέρος αυτών αποτελείται από ανόργανα συστατικά και έτσι δεν πραγματοποιείται καύση. Όμως προβλήματα στον υπολογισμό είχαν όλα τα κλάσματα εκτός των ελαφρύτερων των δύο κοκκομετρικών κλασμάτων. Σε αυτά προσδιορίστηκε από τον αναλυτή η Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη 'επί ξηρού' και με χρήση της εξίσωσης της ενότητας 4.8 υπολογίστηκε η Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη 'ως έχει'.

Πίνακας 6.9: Προσδιορισμός Θερμογόνου Δυνάμεως

ΜΕΓΕΘΟΣ (mm)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm3)	Α.Θ.Δ. "ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ" (kcal/kg)	Κ.Θ.Δ. "ΩΣ ΕΧΕΙ" (kcal/kg)
5 — 30	-1,2	4356,8	2133
1 — 5	-1,2	4255,1	2293

Στα παραπάνω βαρυτομετρικά κλάσματα των κοκκομετρικών κλασμάτων η Κ.Θ.Δ. περίπου έχει διπλασιαστεί συγκριτικά με την Κ.Θ.Δ. του πίνακα 2.1. Αναγκαίες είναι οι τιμές και των υπόλοιπων κλασμάτων για την εξαγωγή συμπερασμάτων κάτι που γίνεται στη δεύτερη σειρά δοκιμών.

Τέλος πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της χημικής σύστασης της τέφρας. Τα αποτελέσματα με τα κυριότερα οξείδια όλων των βαρυτομετρικών κλασμάτων και των δύο κοκκομετρικών κλασμάτων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.10: Χημική ανάλυση τέφρας των προϊόντων

		ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΟΞΕΙΔΙΑ										
ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ (mm)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm^3)	SiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	Al_2O_3 (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	MgO (%)	CaO (%)	SO_3 (%)	TiO_2 (%)	P_2O_5 (%)	ΑΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΑ %
5 – 30	+1,5	59,34	11,85	9,94	4,69	3,77	3,66	2,26	2,02	1,04	0,24	1,19
	1,4 – 1,5	54,12	10,2	10,13	4,5	2,56	3,91	5,47	3,45	1,11	0,43	4,12
	1,3 – 1,4	49,43	13,8	10,41	4,04	2,11	3	9,38	4,9	1,16	0,65	1,12
	1,2 – 1,3	45,62	14,54	12,97	3,68	1,65	3,88	8,5	6,27	1,43	0,64	0,82
	-1,2	26,9	20,12	6,47	2,82	0,97	4,22	20,9	15,59	0,88	0,52	0,61
	ΣΥΝΟΛΟ	**41,53**	**15,97**	**9,67**	**3,61**	**1,89**	**3,89**	**11,85**	**8,72**	**1,12**	**0,51**	1,24
1 – 5	+1,5	52,22	10,51	10,11	3,67	1,9	3,55	8,18	7,11	1,12	0,57	1,06
	1,4 – 1,5	49,94	11,1	9,9	5,75	2,22	3,84	7,29	7,29	1,09	0,81	0,77
	1,3 – 1,4	50,68	14,01	10,99	2,39	2,09	3,02	8,26	5,36	1,46	0,7	1,04
	1,2 – 1,3	41,28	16,84	9,57	6,19	1,77	4,41	10,61	6,31	1,02	0,64	1,36
	-1,2	25,1	22,15	5,12	3,88	0,97	4,68	21,6	13,4	0,88	0,69	1,53
	ΣΥΝΟΛΟ	**43,77**	**13,76**	**9,85**	**4,75**	**1,86**	**3,88**	**10,3**	**8,73**	**1,1**	**0,66**	1,34

Αν και τα αποτελέσματα αναφέρονται ως οξείδια από τους αναλυτές, τα στοιχεία βρίσκονται στην τέφρα κυρίως ως ενώσεις των πυριτικών, των οξειδίων και των θειικών και σε μικρές ποσότητες άλλων ενώσεων. Τα πυριτικά προέρχονται κυρίως από πηλώδη ορυκτά.

Η κύρια πηγή του οξειδίου του σιδήρου είναι ο σιδηροπυρίτης, ο οποίος καίγεται για να δώσει οξείδιο του σιδήρου και του θείου. Τα οξείδια του ασβεστίου και του μαγνησίου είναι αποτέλεσμα της διάσπασης των ανθρακούχων ορυκτών. Τα θειούχα σχηματίζονται κυρίως από την αλληλεπίδραση των ανθρακούχων ορυκτών, των πυριτικών και του οξυγόνου. Εμφανής είναι η υψηλή περιεκτικότητα πυριτικών ορυκτών.

Για τα συμπυκνώματα των δύο κοκκομετρικών κλασμάτων προσδιορίστηκε η ποιότητα της τέφρας σύμφωνα με τους δείκτες που αναφέρθηκαν στην ενότητα (2.4.3).

Πίνακας 6.11: Εκτίμηση ποιότητας τέφρας των συμπυκνωμάτων

ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ (mm)	ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ	ΤΙΜΗ ΔΕΙΚΤΗ	ΤΑΣΗ
5 – 30	SR	55,96	ΜΕΓΑΛΗ
	% Na_2O	3,31	ΥΨΗΛΗ
1 – 5	SR	58,75	ΜΕΓΑΛΗ
	% Na_2O	5,06	ΥΨΗΛΗ

Παρατηρείται πως η τέφρα των συμπυκνωμάτων είναι κακής ποιότητας, οπότε κατά την καύση του λιγνίτη στους Α.Η.Σ. είναι πολύ πιθανή η φθορά των επιφανειών των ατμοπαραγωγών από τις επικαθίσεις των επιβλαβών οξειδίων.

6.1.2 ΔΕΥΤΕΡΗ ΣΕΙΡΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

Για το δεύτερο πέρασμα πραγματοποιήθηκε, όπως και στο πρώτο, υγρή κοσκίνιση 5 kg δείγματος σε μεγέθη κοσκίνων 30, 5 και 1 mm. Ακολουθεί πίνακας με την κατανομή του βάρους επί των κλασμάτων.

Πίνακας 6.12: Κοκκομετρική ανάλυση υγρής κοσκίνισης

ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ %
5 – 30	2843,2	57,2
1 – 5	1267,4	25,5
-1	857,6	17,3
ΣΥΝΟΛΟ	4968,2	100

Η κατανομή του βάρους είναι παρόμοια με αυτή του πρώτου περάσματος. Από το χονδρό κλάσμα πάρθηκε ποσότητα 1,5 kg ενώ από το λεπτό κλάσμα 1 kg και εμπλουτίστηκαν στα βαρέα υγρά όπου αυτή τη φορά αναμείχθηκε εξανόλη με τετραβρωμοαιθάνιο. Τα βαρυτομετρικά κλάσματα που παρήχθησαν ξεπλύθηκαν με ακετόνη και ζυγίστηκαν όπως και στο πρώτο πέρασμα.

6.1.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΔΟΚΙΜΩΝ

Στα δύο κοκκομετρικά κλάσματα που εμπλουτίστηκαν προσεγγιστική ανάλυση έγινε μόνο στο κλάσμα 5 – 30 mm. Για το λεπτό κλάσμα παρουσιάζεται απλά η κατανομή του βάρους και η κλασματική υγρασία στα επί μέρους βαρυτομετρικά κλάσματα.

Πίνακας 6.13: Κατανομή βάρους και κλασματικής υγρασίας των κοκκομετρικών κλασμάτων

ΚΛΑΣΜΑ 5 - 30 mm			ΚΛΑΣΜΑ 1 - 5 mm		
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm^3)	ΒΑΡΟΣ % (ΞΗΡΟΥ)	ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm^3)	ΒΑΡΟΣ % (ΞΗΡΟΥ)	ΥΓΡΑΣΙΑ %
+1,5	26,8	31	1,5	10,8	7,7
1,4 – 1,5	3,2	38,9	1,4 – 1,5	9,7	40
1,3 – 1,4	24,3	45,8	1,3 – 1,4	44	44,6
1,2 – 1,3	29,2	56,6	-1,3	35,5	56,7
-1,2	16,5	61			
ΣΥΝΟΛΟ	**100**	**47,2**		**100**	**47,2**

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται πως η κατανομή του βάρους στα βαριά κλάσματα +1,4 είναι 30 % στο χονδρό και στο λεπτό το +1,4 είναι 20,5 % στοιχείο που εκφράζει παρεμφερή κατανομή βάρους. Στο πρώτο πέρασμα δεν υπήρξε τέτοια ομαλή κατανομή στα δύο κλάσματα γεγονός που ενισχύει περισσότερο τον ισχυρισμό ότι η χρήση εξανόλης αντί της ισοπροπανόλης καθίσταται καταλληλότερη.

Στα βαρυτομετρικά κλάσματα του κοκκομετρικού κλάσματος 5 – 30 mm έγινε προσεγγιστική ανάλυση η οποία επιτεύχθηκε με την πραγματοποίηση βαρυτομετρικής θερμικής ανάλυσης. Έτσι εκτός από την καύσιμη ύλη υπολογίστηκαν επιπλέον τα πτητικά και ο μόνιμος άνθρακας. Παρακάτω ακολουθούν πίνακες με τις αναλύσεις καθώς και τις κατανομές αυτών και γραφήματα για το σχολιασμό των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 6.14: Προσεγγιστική ανάλυση του κλάσματος 5 – 30 mm

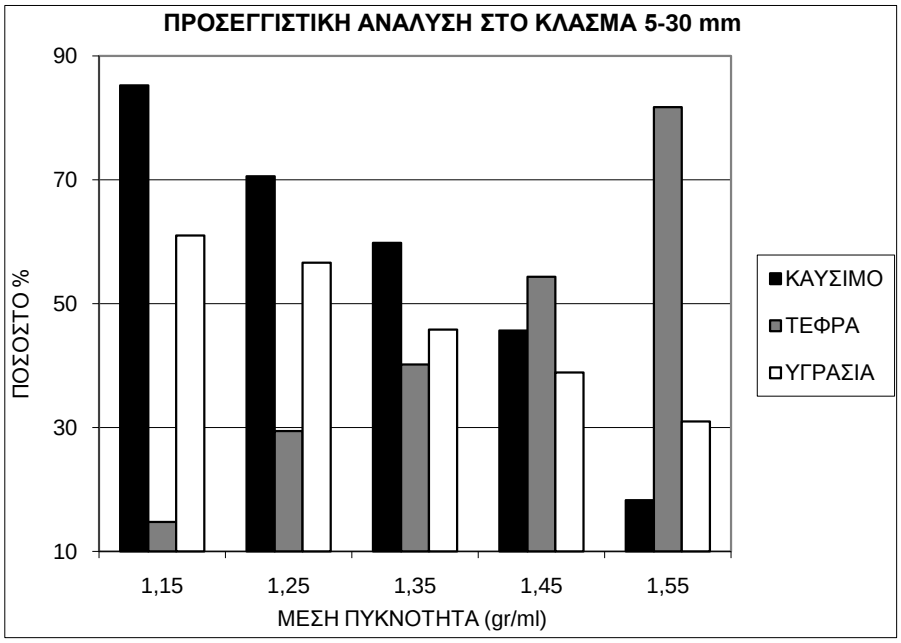
	ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ					
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm^3)	ΒΑΡΟΣ %	ΠΤΗΤΙΚΑ %	ΜΟΝΙΜΟΣ C %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ %	ΤΕΦΡΑ %	ΥΓΡΑΣΙΑ %
+1,5	26,8	15,05	3,21	18,25	81,75	31
1,4 – 1,5	3,2	31,17	14,48	45,65	54,35	38,9
1,3 – 1,4	24,3	38,25	21,59	59,84	40,16	45,8
1,2 – 1,3	29,2	43,15	27,44	70,59	29,41	56,6
-1,2	16,5	50,14	35,13	85,27	14,73	61
ΣΥΝΟΛΟ	100	35,19	20,37	55,56	44,44	47,2

Στα ελαφριά κλάσματα παρατηρείται αυξημένη περιεκτικότητα σε καύσιμη ύλη ενώ το αντίθετο συμβαίνει για την τέφρα. Στο κλάσμα +1,5 η περιεκτικότητα σε τέφρα είναι πολύ υψηλή γεγονός που μαρτυράει έναν καλό διαχωρισμό. Παρατηρείται μια ισοκατανομή του βάρους αν εξαιρεθεί το κλάσμα 1,4 – 1,5 ενώ η κλασματική υγρασία αυξάνεται προς τα ελαφρύτερα κλάσματα, κάτι το αναμενόμενο. Με την αύξηση της καύσιμης ύλης προς τα ελαφρύτερα μοιραία αυξάνονται τα πτητικά καθώς και ο μόνιμος C. Η παρουσία των πτητικών στη μάζα του λιγνίτη είναι θετική καθώς υποβοηθούν στην έναρξη της καύσης. Ακολουθεί πίνακας με την κατανομή των αναλύσεων.

Πίνακας 6.15: Κατανομή επί των βαρυτομετρικών κλασμάτων του κλάσματος 5 – 30 mm

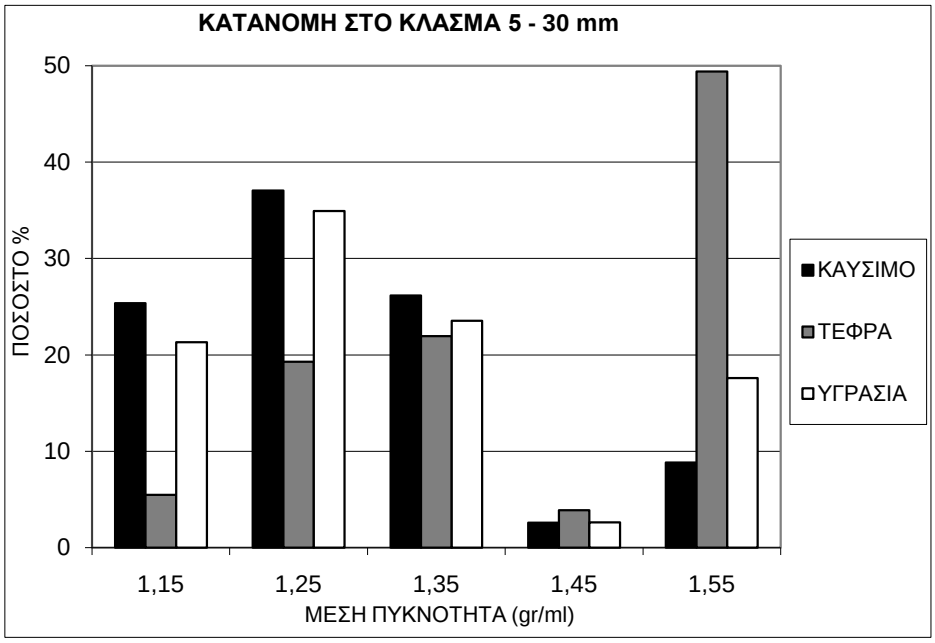
	ΚΑΤΑΝΟΜΗ %				
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm^3)	ΠΤΗΤΙΚΑ	ΜΟΝΙΜΟΣ C	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ	ΤΕΦΡΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ
+1,5	11,48	4,23	8,82	49,39	17,59
1,4 – 1,5	2,81	2,25	2,6	3,88	2,61
1,3 – 1,4	26,41	25,74	26,16	21,95	23,54
1,2 – 1,3	35,77	39,29	37,06	19,3	34,94
-1,2	23,53	28,49	25,36	5,48	21,32
ΣΥΝΟΛΟ	100	100	100	100	100

Δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός πως το 49,39 % κατανέμεται στο +1,5 ενώ η καύσιμη ύλη κατανέμεται στα ελαφρύτερα κλάσματα. Το γεγονός ότι το 50 % περίπου της τέφρας κατανέμεται βαρύτερο κλάσμα υποδηλώνει ότι επιτεύχθηκε καλή αποδέσμευση της ανόργανης ύλης. Στη συνέχεια ακολουθεί γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων.



Διάγραμμα 6.14: Προσεγγιστική ανάλυση του κλάσματος 5 – 30 mm

Αξίζει να παρατηρηθεί εδώ η υψηλή περιεκτικότητα σε καύσιμη ύλη στο ελαφρύτερο κλάσμα που σημαίνει ότι αυτό αποτελείται αποκλειστικά από οργανική ύλη.



Διάγραμμα 6.15**:** Κατανομή στο κλάσμα 5 – 30 mm

Όπως στο πρώτο πέρασμα έτσι και σε αυτό η καταλληλότερη πυκνότητα εμπλουτισμού του λιγνίτη φαίνεται να είναι η 1,5 gr/ml. Όμως για ασφαλή συμπεράσματα ας μελετηθούν οι αναλύσεις στα αθροιστικώς ελαφρύτερα και βαρύτερα και οι κατανομές αυτών.

Πίνακας 6.16: Προσεγγιστική ανάλυση στα αθροιστικώς ελαφρύτερα και κατανομή επί των βαρυτομετρικών κλασμάτων του κλάσματος 5 – 30 mm

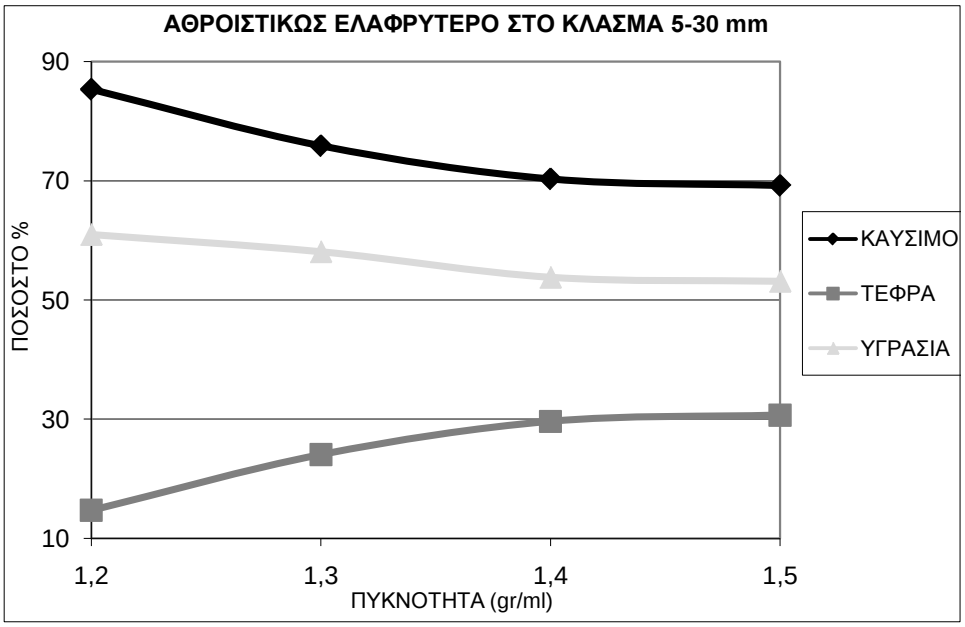
ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΕΛΑΦΡΥΤΕΡΟ											
	ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ						ΚΑΤΑΝΟΜΗ %				
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm^3)	ΒΑΡΟΣ %	ΠΤΗΤΙΚΑ %	ΜΟΝΙΜΟΣ C %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ %	ΤΕΦΡΑ %	ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΠΤΗΤΙΚΑ	ΜΟΝΙΜΟΣ C	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ	ΤΕΦΡΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ
1,5	73,2	42,55	26,65	69,21	30,72	53,18	88,52	95,77	91,18	50,61	82,41
1,4	70	43,09	27,22	70,31	29,67	53,85	85,71	93,52	88,58	46,73	79,8
1,3	45,7	45,67	30,21	75,88	24,1	58,14	59,3	67,77	62,41	24,78	56,25
1,2	16,5	50,2	35,17	85,37	14,75	61,03	23,54	28,49	25,35	5,48	21,32

Πίνακας 6.17: Προσεγγιστική ανάλυση στα αθροιστικώς βαρύτερα και κατανομή επί των βαρυτομετρικών κλασμάτων του κλάσματος 5 – 30 mm

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΒΑΡΥΤΕΡΟ											
	ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ						ΚΑΤΑΝΟΜΗ %				
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm^3)	ΒΑΡΟΣ %	ΠΤΗΤΙΚΑ %	ΜΟΝΙΜΟΣ C %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ %	ΤΕΦΡΑ %	ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΠΤΗΤΙΚΑ	ΜΟΝΙΜΟΣ C	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ	ΤΕΦΡΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ
1,5	26,8	15,08	3,22	18,28	81,9	31,03	11,48	4,23	8,82	49,39	17,59
1,4	30	16,76	4,4	21,16	78,91	31,82	14,29	6,48	11,42	53,27	20,2
1,3	54,3	26,37	12,09	38,46	61,56	38,06	40,7	32,23	37,59	75,22	43,75
1,2	83,5	32,22	17,45	49,67	50,31	44,52	76,46	71,51	74,65	94,52	78,68

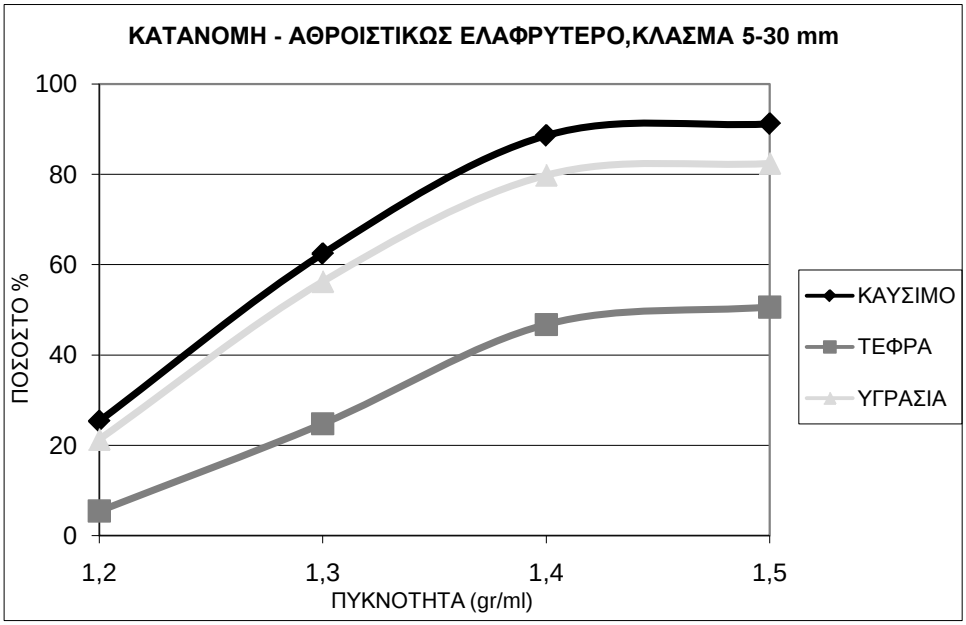
Από τους παραπάνω πίνακες φαίνεται ότι και πάλι οι αναλύσεις των αθροιστικώς ελαφρύτερων είναι καλύτερες από τις αντίστοιχες των βαρύτερων. Και πάλι η βέλτιστη πυκνότητα διαχωρισμού είναι η 1,5 gr/ml. Πιο συγκεκριμένα αν παρθεί σαν συμπύκνωμα το επιπλεύσαν της πυκνότητας 1,5 θα έχει επιτευχθεί ανάκτηση σε καύσιμη ύλη κατά 91,18 % και σε βάρος κατά 73,2 % ενώ παράλληλα ικανοποιητική απόρριψη τέφρας η οποία αγγίζει το 49,39 %. Επίσης η περιεκτικότητα σε τέφρα του συμπυκνώματος θα είναι 30,72 % αρκετά ικανοποιητική τιμή εφόσον είναι <42 % και η κλασματική υγρασία θα είναι 53,18 %. Τα πτητικά με 42,55 % και ο μόνιμος C με 26,65 % αποτελούν την καύσιμη ύλη με ποσοστό 69,21 % του συμπυκνώματος. Το μόνο αρνητικό είναι η υψηλή ανάκτηση σε υγρασία 82,41 % συγκριτικά όμως με τα στοιχεία που αναφέρθηκαν το γεγονός αυτό δεν καθίσταται τόσο σημαντικό.

Ακολουθούν γραφήματα του αθροιστικώς ελαφρύτερου που αναπαριστούν τα δεδομένα αυτά.



Διάγραμμα 6.16: Αναλύσεις του αθροιστικώς ελαφρύτερου του κλάσματος 5 – 30 mm

Καθώς μειώνεται η πυκνότητα, μειώνεται και η περιεκτικότητα των κλασμάτων σε τέφρα ενώ αυξάνονται σε καύσιμη ύλη και υγρασία. Στην πυκνότητα 1,5 διακρίνονται οι τιμές που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Διάγραμμα 6.17**:** Κατανομή στο αθροιστικώς ελαφρύτερο του κλάσματος 5 – 30 mm

Η υψηλότερη ανάκτηση σε καύσιμη ύλη επιτυγχάνεται ακριβώς στην πυκνότητα διαχωρισμού 1,5 με θεμιτή ανάκτηση σε τέφρα (χαμηλή τιμή).

Σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι μέρος των βαρυτομετρικών κλασμάτων του δεύτερου περάσματος του κοκκομετρικού κλάσματος 5 – 30 mm, στάλθηκε για ανάλυση στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας και Εφαρμογών Στερεών Καυσίμων (ΙΤΕΣΚ) στην Πτολεμαϊδα, ώστε να αξιολογηθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα της προσεγγιστικής ανάλυσης ήταν αξιόπιστα.

Τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης και του προσδιορισμού της Θερμογόνου Δυνάμεως που παρουσιάζονται στη συνέχεια προέρχονται από τις αναλύσεις στο ΙΤΕΣΚ.

Πίνακας 6.18: Στοιχειακή ανάλυση του κλάσματος 5 – 30 mm

ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm^3)	ΒΑΡΟΣ %	C %	H %	N %	S %
+1,5	26,8	7,81	1,06	0,37	0,63
1,4 – 1,5	3,2	23,75	2,4	0,86	1,85
1,3 – 1,4	24,3	33,28	3,1	1,1	2,16
1,2 – 1,3	29,2	40,7	3,58	1,42	2,64
-1,2	16,5	51,17	4,25	1,45	2,93
ΣΥΝΟΛΟ	100	31,27	2,86	1,05	2,01

Η περιεκτικότητα σε υδρογονάνθρακες αυξάνεται προς τα ελαφρύτερα κλάσματα (αναμενόμενο στοιχείο). Επίσης αυξάνεται η περιεκτικότητα σε N και S. Η αύξηση του S στα ελαφρύτερα κλάσματα οφείλεται στο γεγονός ότι το περισσότερο θείο βρίσκεται οργανικά δεσμευμένο στη μάζα του λιγνίτη. Αρνητικό στοιχείο είναι η υψηλή περιεκτικότητα σε S στο σύνολο του υλικού. Τα στοιχεία αυτά αποδεικνύουν ότι ο λιγνίτης Μεγαλόπολης είναι στερεό καύσιμο με υψηλή περιεκτικότητα ρυπαντών.

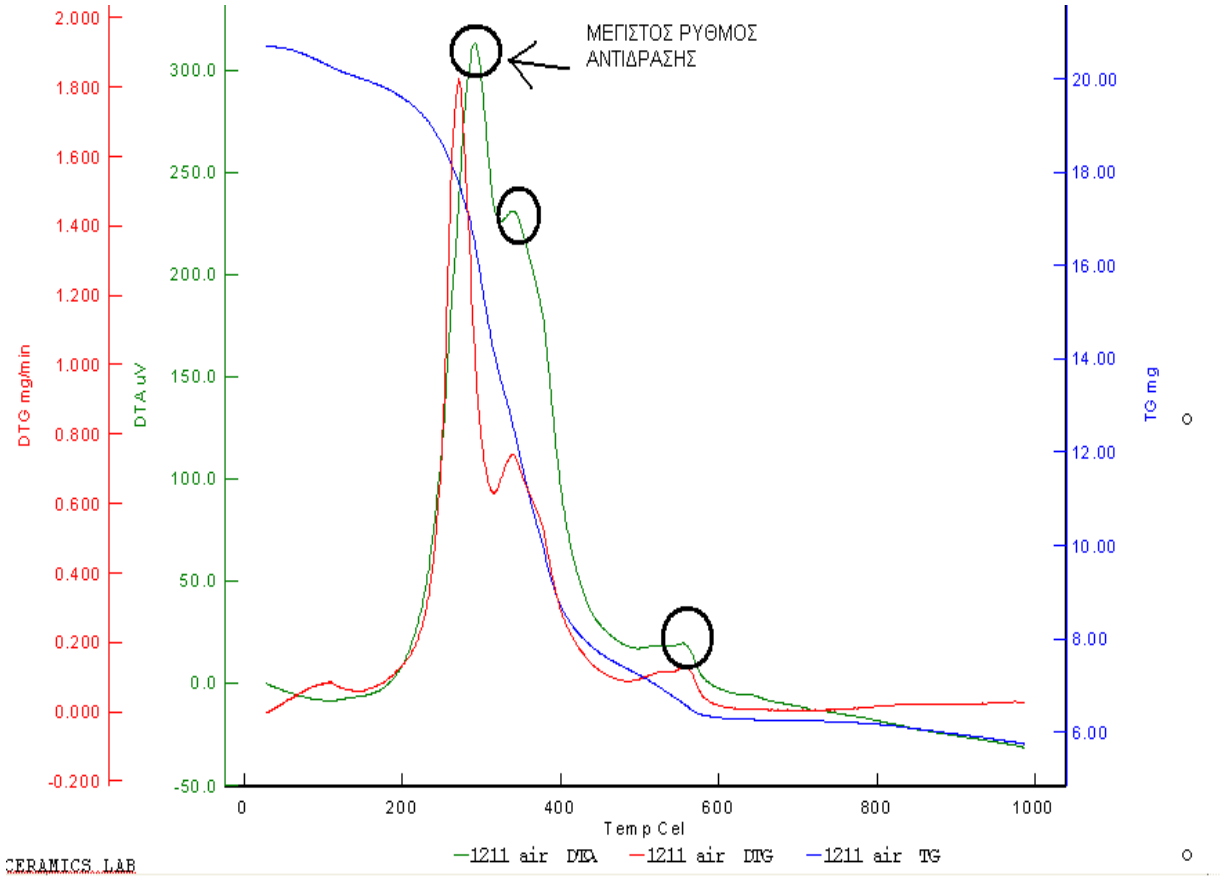
Ακολουθεί πίνακας με τις τιμές της Θερμογόνου Δυνάμεως των κλασμάτων και του συνόλου καθώς και των αθροιστικώς ελαφρύτερων και βαρύτερων. Οι τιμές αναφέρονται στην Ανώτερη Θερμογόνου Δύναμη επί ξηρής βάσης.

Πίνακας 6.19: Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη των βαρυτομετρικών κλασμάτων στο κλάσμα 5 – 30 mm

				ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΕΛΑΦΡΥΤΕΡΟ			ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΒΑΡΥΤΕΡΟ		
	ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ			ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ			ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ		
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr/cm^3)	ΒΑΡΟΣ %	ΑΘΔ (kcal/kg)	ΚΑΤΑΝΟΜΗ %	ΒΑΡΟΣ %	ΑΘΔ (kcal/kg)	ΚΑΤΑΝΟΜΗ %	ΒΑΡΟΣ %	ΑΘΔ (kcal/kg)	ΚΑΤΑΝΟΜΗ %
+1,5	26,8	402	4,02	73,2	3513	95,98	26,8	402	4,02
1,4 – 1,5	3,2	1123	1,34	70	3623	94,64	30	479	5,36
1,3 – 1,4	24,3	2953	26,78	45,7	3979	67,86	54,3	1586	32,14
1,2 – 1,3	29,2	3634	39,6	16,5	4589	28,26	83,5	2302	71,74
-1,2	16,5	4589	28,26						
ΣΥΝΟΛΟ	100	2680	100						

Η τιμή της Α.Θ.Δ. της τροφοδοσίας $H_{o\xi}$ = 2680 kcal/kg αποδεικνύει ότι το δείγμα είναι φτωχό σε θερμικό περιεχόμενο. Η αντίστοιχη τιμή της Κατώτερης Θερμογόνου Δυνάμεως 'ως έχει' είναι $H_{\kappa\lambda}$ = 1062 kcal/kg. Στο συμπύκνωμα (αθροιστικώς ελαφρύτερο του 1,5) επιτυγχάνεται ανάκτηση θερμικού περιεχομένου σε ποσοστό 95,98 % με παράλληλη ποιοτική αναβάθμιση του καυσίμου κατά 30 % και τιμή της Α.Θ.Δ. $H_{o\xi}$ = 3513 kcal/kg. Η αντίστοιχη Κ.Θ.Δ. 'ως έχει' είναι $H_{\kappa\lambda}$ = 1482 kcal/kg.

Στη συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα της βαρυτομετρικής και διαφορικής θερμικής ανάλυσης του βαρυτομετρικού κλάσματος 1,2 – 1,3. Τα διαγράμματα των υπόλοιπων βαρυτομετρικών κλασμάτων βρίσκονται στο παράρτημα.



Διάγραμμα 6.18: Βαρυτομετρική – Θερμική ανάλυση του κλάσματος 1,2 – 1,3 gr/cm^3 του κλάσματος 5 – 30 mm

Τα pick που είναι κυκλωμένα στο διάγραμμα αποτυπώνουν εξώθερμες αντιδράσεις κατά την καύση του λιγνίτη. Ο μέγιστος ρυθμός της αντίδρασης βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της καμπύλης. Πολλά pick δηλώνουν ετερογένεια στο δείγμα. Όσο πιο κοντά βρίσκονται αυτά στον άξονα DTA (πράσινος άξονας) τόσο αντιδραστικότερο είναι το δείγμα.

Συνοψίζοντας λοιπόν παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι αναλύσεις της τροφοδοσίας, του συμπυκνώματος και του απορρίμματος.

Πίνακας 6.20: Αναλύσεις και κατανομή της τροφοδοσίας, συμπυκνώματος και απορρίμματος του βαρυτομετρικού διαχωρισμού του κοκκομετρικού κλάσματος 5 – 30 mm

		ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ					ΚΑΤΑΝΟΜΗ %			
ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ (mm)	ΠΡΟΪΟΝ	ΒΑΡΟΣ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ %	ΤΕΦΡΑ %	Α.Θ.Δ. (kcal/kg)	ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ	ΤΕΦΡΑ	Α.Θ.Δ.	ΥΓΡΑΣΙΑ
5 – 30	ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ	73,2	69,21	30,72	3513	53,18	91,18	50,61	95,98	82,41
	ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	26,8	18,28	81,9	402	31,03	8,82	49,39	4,02	17,59
	ΤΡΟΦΗ	100	55,56	44,44	2680	47,2	100	100	100	100

Στο συμπύκνωμα επιτυγχάνεται ανάκτηση καύσιμης ύλης κατά 91,18 % ενώ απόρριψη τέφρας σε ποσοστό 49,39 %. Η Α.Θ.Δ. αυξήθηκε κατά 30 % με υψηλή ανάκτηση θερμικού περιεχομένου, 95,98 %, και τιμή 3513 kcal/kg. Το συμπύκνωμα αποτελεί το 73,2 % του βάρους της τροφοδοσίας, με κλασματική υγρασία 53,18 %. Τα πτητικά αποτελούν το 42,55 % και ο μόνιμος C το 26,65 % της μάζας του συμπυκνώματος σε ξηρή βάση. Η παρουσία πτητικών και σε ακόμη υψηλότερη περιεκτικότητα θα ήταν θεμιτή. Η περιεκτικότητα σε τέφρα του συμπυκνώματος 30,72 % είναι αρκετά ικανοποιητική. Η στοιχειακή ανάλυση αυτού είναι C:39.86 %, H:3,52 %, N:1,30 %, S:2,51 %. Προβληματισμό προξενεί η αυξημένη συγκέντρωση του S.

Συμπερασματικά λοιπόν, συγκρίνοντας το πρώτο με το δεύτερο πέρασμα οι αναλύσεις δώσανε παρόμοια αποτελέσματα με πολύ καλές ανακτήσεις σε καύσιμη ύλη αλλά και σε απόρριψη τέφρας. Η βέλτιστη πυκνότητα διαχωρισμού και στα δύο περάσματα ήταν 1,5 gr/ml. Το γεγονός ότι αρχικά χρησιμοποιήθηκε ισοπροπανόλη δεν επηρέασε τελικά την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της πρώτης σειράς δοκιμών. Αυτό που διαφοροποιείται στη δεύτερη σειρά δοκιμών είναι η κατανομή βάρους στα διάφορα βαρυτομετρικά κλάσματα και είναι περισσότερο αξιόπιστη, καθόσον η χρήση της εξανόλης εξασφαλίζει ομοιογένεια στο βαρύ υγρό.

6.2 ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΕ ΑΕΡΟΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Οι δοκιμές στον αεροδιαχωριστή έγιναν στα κοκκομετρικά κλάσματα 2 – 4 mm, 1 – 2 mm και 0.5 – 1 mm που προέκυψαν από συνδυασμό ξηρής και υγρής κοσκίνισης η οποία αναλύεται στην επόμενη ενότητα. Το κύκλωμα του αεροδιαχωριστή έχει ως εξής: γίνεται η τροφοδοσία στον αεροδιαχωριστή, όπου και πραγματοποιείται διαχωρισμός βάσει του ειδικού βάρους. Παρατηρούνται τρία στρώματα στους δακτυλίους. Το κατώτερο στρώμα που αποτελείται από τα πηλούχα ορυκτά της τροφοδοσίας (βαρύ προϊόν) λιγνίτη, αμέσως πάνω ένα ενδιάμεσο στρώμα (ενδιάμεσο προϊόν) και τέλος πάνω απ’ αυτό το ελαφρύ στρώμα του λιγνίτη (ελαφρύ προϊόν). Σε μια πραγματική μονάδα εμπλουτισμού με αεροδιαχωριστή, ως τελικά προϊόντα θα είναι το ελαφρύ και το βαρύ, δηλαδή δε θα υπάρχει ενδιάμεσο προϊόν διότι αυτό θα ανακυκλώνεται συνεχώς. Επειδή όμως στο εργαστήριο δεν υπήρχε αυτή η δυνατότητα, συνυπολογίστηκε το ενδιάμεσο ως προϊόν. Η ποσότητα της τροφοδοσίας κάλυπτε τρεις δακτυλίους ενώ τα τρία προϊόντα ζυγίστηκαν και

αναλύθηκαν. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι ρυθμίσεις του αεροδιαχωριστή σε κάθε δοκιμή καθώς και η φαινόμενη πυκνότητα της τροφής και των εκάστοτε προϊόντων.

Πίνακας 6.21: Ρυθμίσεις αεροδιαχωριστή και φαινόμενη πυκνότητα στα προϊόντα

ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ (mm)	ΠΡΟΙΟΝ	ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (gr/ml)	ΟΓΚΟΣ (ml)	ΡΥΘΜΙΣΗ ΔΟΝΗΣΗΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ (m/s)
2 – 4	ΤΡΟΦΗ	0,68	750	28	0,8
	ΒΑΡΥ	0,71	233		
	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ	0,7	253		
	ΕΛΑΦΡΥ	0,66	234		
1 – 2	ΤΡΟΦΗ	0,67	750	20	0,34
	ΒΑΡΥ	0,72	256		
	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ	0,66	241		
	ΕΛΑΦΡΥ	0,61	210		
0,5 – 1	ΤΡΟΦΗ	0,62	750	15	0,33
	ΒΑΡΥ	0,69	252		
	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ	0,62	263		
	ΕΛΑΦΡΥ	0,58	176		

Φαίνεται στον πίνακα πως με τη μείωση του μεγέθους των κόκκων αλλάζουν και οι ρυθμίσεις του οργάνου και συγκεκριμένα μειώνεται η ταχύτητα του αέρα καθώς και η ένταση δόνησης. Αυτό γίνεται διότι στο χονδρό κλάσμα οι κόκκοι είναι βαρύτεροι και δεν διαχωρίζονται ικανοποιητικά σε μικρές τιμές των παραμέτρων αυτών του αεροδιαχωριστή.

6.2.1 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΑΕΡΟΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

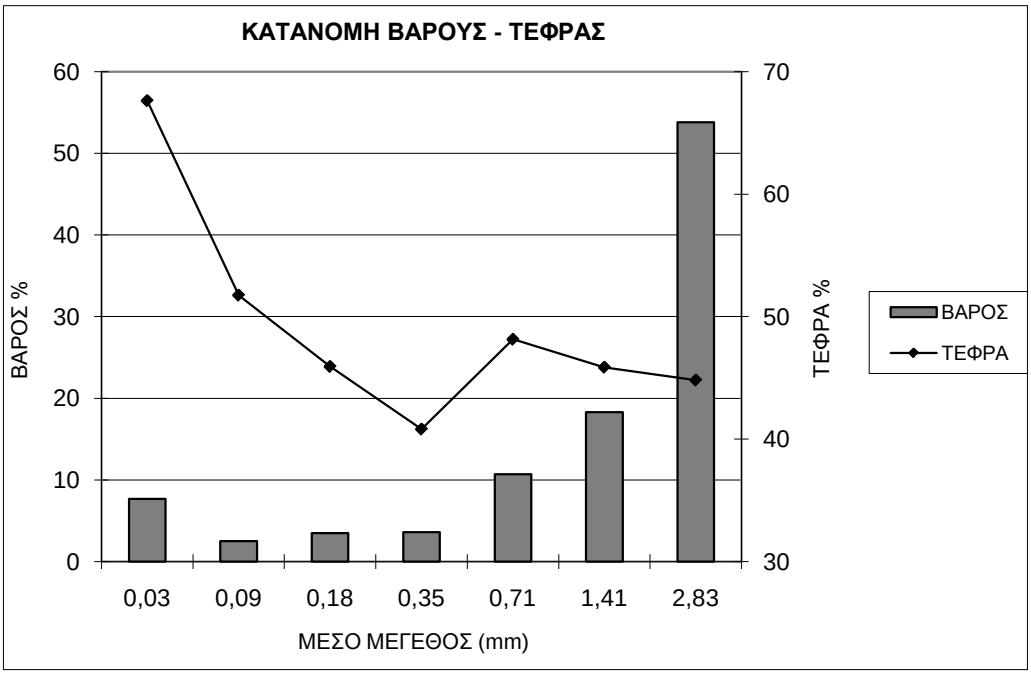
Αρχικά πάρθηκε ποσότητα από το συνολικό δείγμα, θραύτηκε σε μέγεθος κόκκων -4 mm, ξηράθηκε και υπολογίστηκε η υγρασία 49,6 %. Στη συνέχεια έγινε ξηρή κοσκίνιση του υλικού σε μεγέθη κόσκινων 2, 1 και 0,5 mm. Έπειτα για το κοκκομετρικό κλάσμα -0,5 mm πραγματοποιήθηκε υγρή κοσκίνιση στα 0,063mm. Το κλάσμα +0,063 mm αφού στέγνωσε κοσκινίστηκε εκ νέου στα 0.50, 0.25, 0.125 και 0.063 mm. Το -0.063 mm προστέθηκε στο αρχικό κλάσμα -0.063 mm. Τέλος

υπολογίστηκε η κοκκομετρία και η τέφρα για όλα τα κλάσματα. Τα κλάσματα 2 – 4, 1 – 2 και 0,5 – 1 mm είναι αυτά που εμπλουτίστηκαν στον αεροδιαχωριστή.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας όπου φαίνεται συνοπτικά η κοκκομετρική ανάλυση και η περιεκτικότητα σε τέφρα σε κάθε κλάσμα καθώς και η ανάλυση των αθροιστικώς διερχόμενων και παραμένοντων καθώς και τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 6.22: Κοκκομετρική ανάλυση και κατανομή τέφρας

				ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ			ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ		
ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ %	ΤΕΦΡΑ %	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΦΡΑΣ %	ΒΑΡΟΣ %	ΤΕΦΡΑ %	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΦΡΑΣ %	ΒΑΡΟΣ %	ΤΕΦΡΑ %	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΦΡΑΣ %
2 – 4	53,8	44,81	51,08	46,2	49,93	48,92	53,8	44,81	51,08
1 – 2	18,3	45,86	17,74	27,9	52,58	31,18	72,1	45,08	68,82
0,5 – 1	10,7	48,14	10,96	17,2	55,35	20,22	82,8	45,47	79,78
0,25 – 0,5	3,6	40,81	3,13	13,6	59,21	17,09	86,4	45,28	82,91
0,125 – 0,25	3,5	45,92	3,37	10,2	63,75	13,72	89,8	45,3	86,28
0,063 – 0,125	2,5	51,74	2,71	7,7	67,61	11,01	92,3	45,48	88,99
-0,063	7,7	67,61	11,01						
ΣΥΝΟΛΟ	100	46,11	100						



Διάγραμμα 6.19: Κατανομή βάρους και τέφρας συνδυασμού ξηρής και υγρής κοσκίνισης

Από τον πίνακα και το διάγραμμα συμπεραίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος του βάρους 53,8 % βρίσκεται στο κλάσμα 2 – 4 mm με 44,8 % σε τέφρα. Παρατηρείται ότι τα κλάσματα που θα αποτελέσουν την τροφοδοσία του αεροδιαχωριστή έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα. Άρα σκοπός είναι, τα προϊόντα που θα παρθούν από τον εμπλουτισμό των κλασμάτων αυτών να έχουν μειωμένη περιεκτικότητα. Επίσης από τον πίνακα εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα αθροιστικώς παραμένοντα κλάσματα είναι καλύτερα, ποιοτικά, σε σχέση με τα διερχόμενα. Να αναφερθεί ότι τα μεγέθη βάρος % και τέφρα % αναφέρονται σε ξηρό δείγμα.

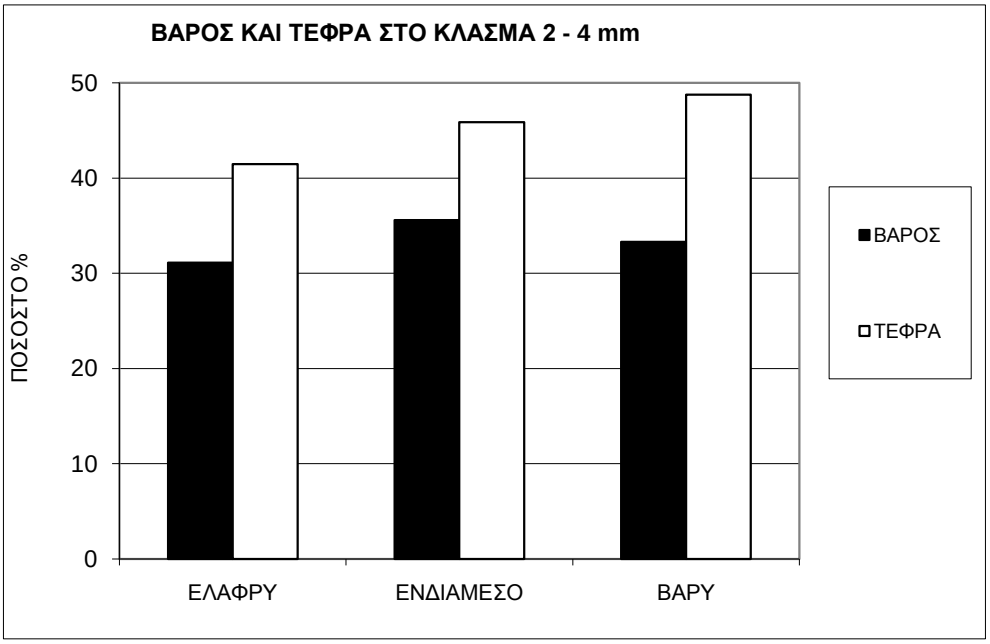
6.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΕΡΟΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

Τα τελικά προϊόντα του αεροδιαχωρισμού που είναι το ελαφρύ, το ενδιάμεσο και το βαρύ του κάθε κοκκομετρικού κλάσματος ζυγίστηκαν και αναλύθηκαν. Στον πίνακα παρουσιάζεται το βάρος και η περιεκτικότητα σε τέφρα, καθώς και η κατανομή της τέφρας στα προϊόντα του κάθε κλάσματος. Επίσης τα αθροιστικώς διερχόμενα και παραμένοντα των προϊόντων των επί μέρους κλασμάτων αλλά και διαγράμματα για τη γραφική αναπαράσταση των δεδομένων.

Πίνακας 6.23: Ανάλυση στα προϊόντα του αεροδιαχωρισμού

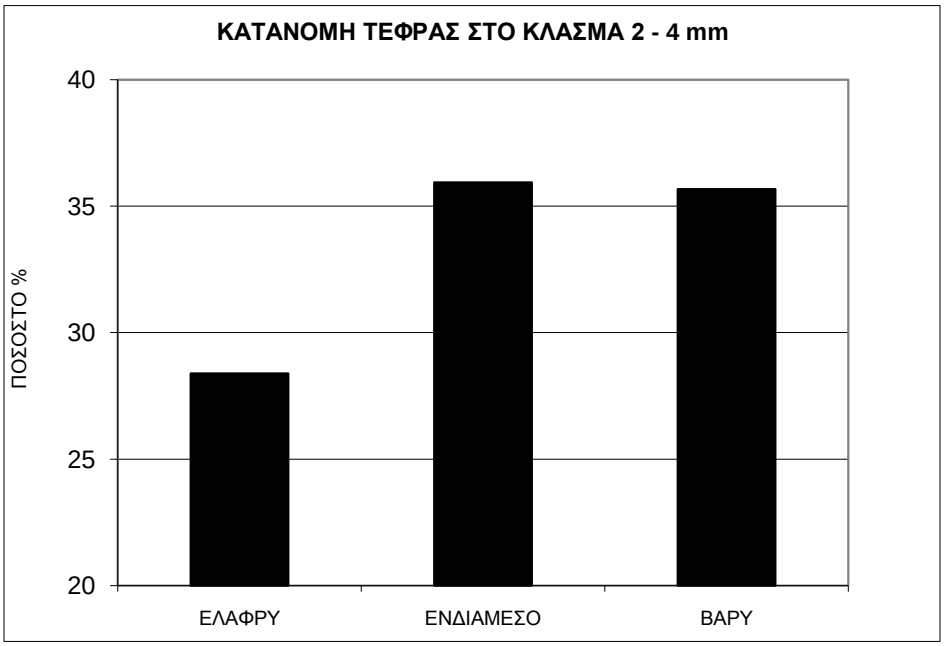
					ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ			ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ		
ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ (mm)	ΠΡΟΙΟΝ	ΒΑΡΟΣ %	ΤΕΦΡΑ %	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΦΡΑΣ %	ΒΑΡΟΣ %	ΤΕΦΡΑ %	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΦΡΑΣ %	ΒΑΡΟΣ %	ΤΕΦΡΑ %	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΦΡΑΣ %
2 – 4	ΕΛΑΦΡΥ	31,1	41,47	28,39	68,9	47,25	71,61	31,1	41,47	28,39
	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ	35,6	45,86	35,94	33,3	48,74	35,67	66,7	43,81	64,33
	ΒΑΡΥ	33,3	48,74	35,67						
	ΣΥΝΟΛΟ	100	45,5	100						
1 – 2	ΕΛΑΦΡΥ	27,2	44,59	24,86	72,8	50,26	75,14	27,2	44,59	24,86
	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ	33,7	44,22	30,61	39,1	55,47	44,54	60,9	44,39	55,46
	ΒΑΡΥ	39,1	55,47	44,54						
	ΣΥΝΟΛΟ	100	48,7	100						
0,5 – 1	ΕΛΑΦΡΥ	23,2	46,48	21,34	76,8	51,85	78,66	23,2	46,48	21,34
	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ	37,1	47,43	34,78	39,7	55,98	43,88	60,3	47,06	56,12
	ΒΑΡΥ	39,7	55,98	43,88						
	ΣΥΝΟΛΟ	100	50,6	100						

Η ανάλυση σε τέφρα στα προϊόντα όλων των κοκκομετρικών κλασμάτων δεν δίνει ενθαρρυντικά στοιχεία. Μόνο το ελαφρύ προϊόν του κλάσματος 2 – 4 mm με περιεκτικότητα σε τέφρα 41,47 % δίνει αποδεκτή τιμή. Τα υπόλοιπα προϊόντα του κάθε κλάσματος έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα. Ας αξιολογηθούν όμως λεπτομερέστερα το κάθε κλάσμα με τη βοήθεια γραφημάτων.



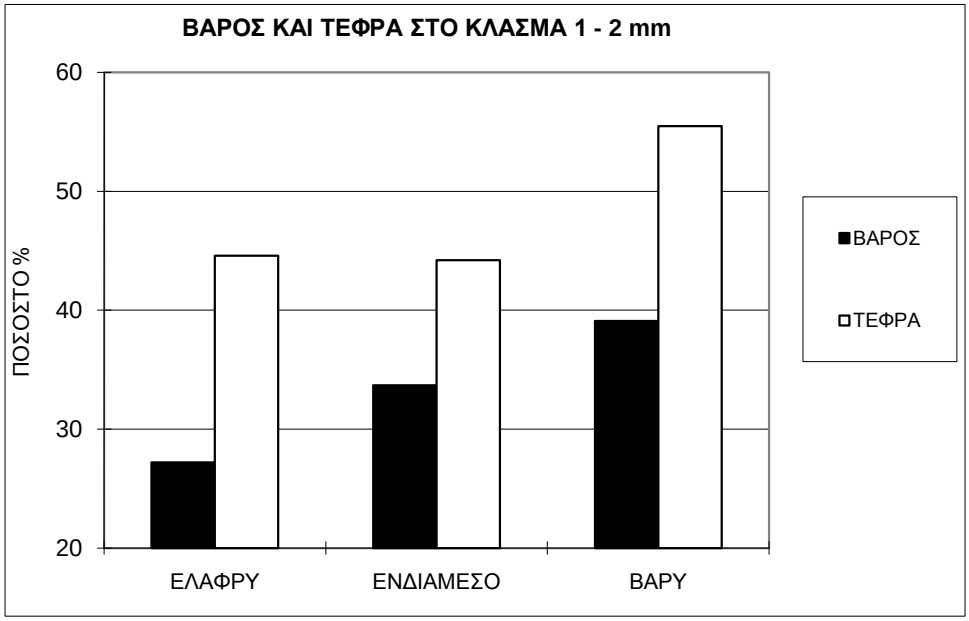
Διάγραμμα 6.20: Κατανομή βάρους και % τέφρα των προϊόντων του κλάσματος 2 – 4 mm

Στο κλάσμα αυτό παρατηρείται μια ισοκατανομή του βάρους στα προϊόντα ενώ η περιεκτικότητα σε τέφρα αυξάνεται προς το βαρύτερο κλάσμα. Το ελαφρύ κλάσμα με αποδεκτή ανάλυση σε τέφρα αποτελεί το 31,1 % του βάρος της τροφοδοσίας.



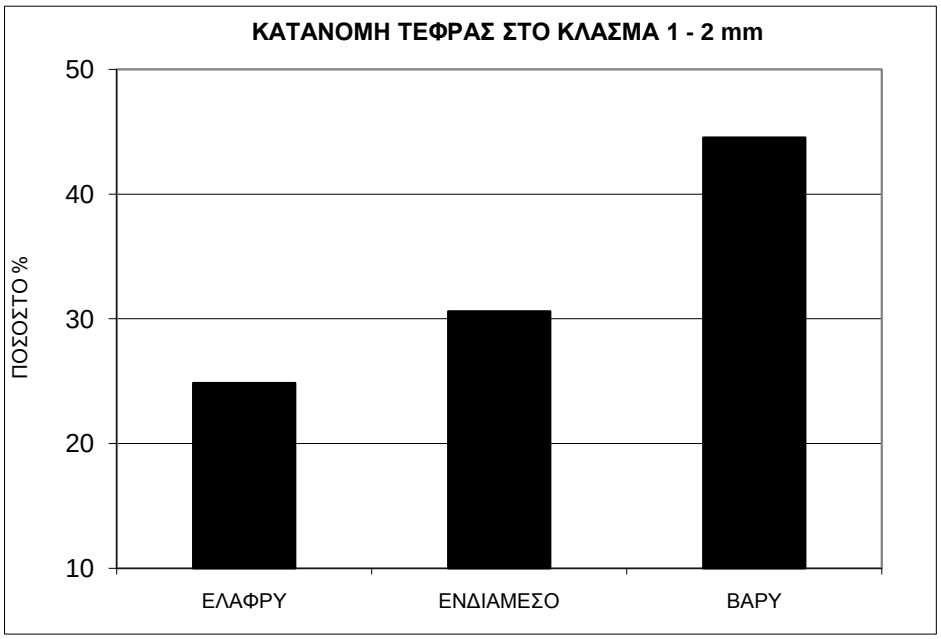
Διάγραμμα 6.21**:** Κατανομή τέφρας στα προϊόντα του κλάσματος 2 – 4 mm

Στα παραπάνω διαγράμματα διακρίνεται πως παρόλο που το βαρύτερο κλάσμα περιέχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε τέφρα, το μεγαλύτερο μέρος αυτής κατανέμεται στο ενδιάμεσο προϊόν. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε κακή αποδέσμευση της ανόργανης ύλης.



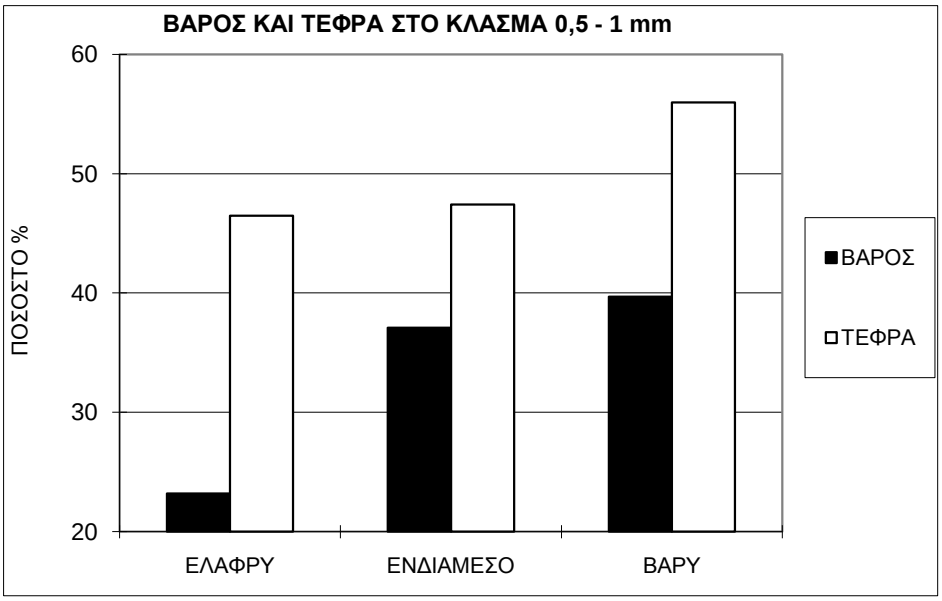
Διάγραμμα 6.22**:** Κατανομή βάρους, % τέφρα του κλάσματος 1 – 2 mm

Στο κλάσμα 1 – 2 mm το υλικό κατανέμεται περισσότερο στο βαρύ κλάσμα με υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα. Κανένα κλάσμα δεν περιέχει καλή ανάλυση σε τέφρα.

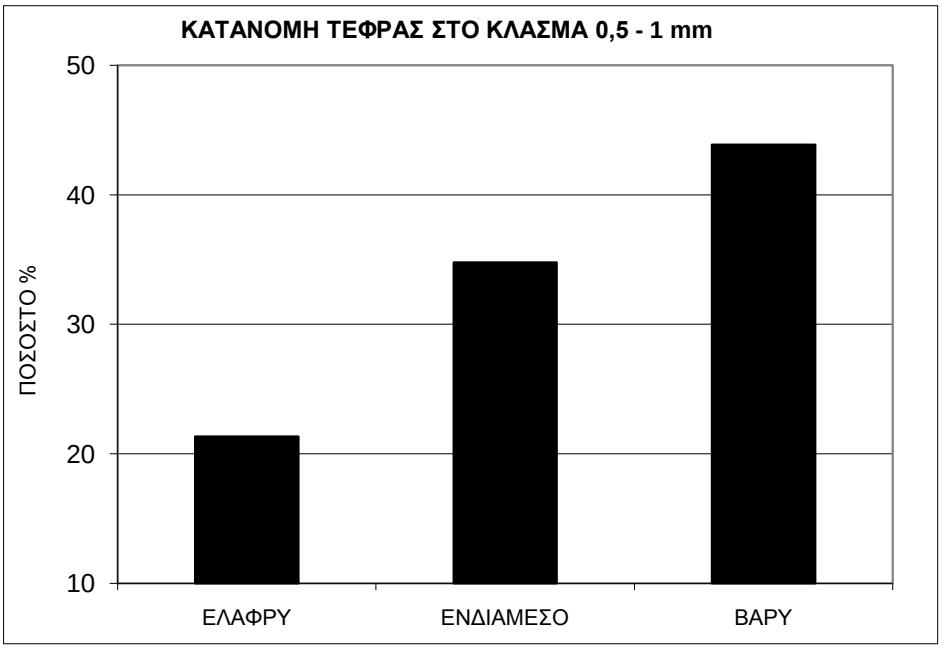


Διάγραμμα 6.23**:** Κατανομή τέφρας στα προϊόντα του κλάσματος 1 – 2 mm

Εδώ το μεγαλύτερο μέρος της τέφρας τείνει στο βαρύ κλάσμα. Ακολουθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα για το κλάσμα 0,5 – 1 mm



Διάγραμμα 6.24**:** Κατανομή βάρους και % τέφρα στα προϊόντα του κλάσματος 0,5 – 1 mm



Διάγραμμα 6.25**:** Κατανομή τέφρας στα προϊόντα του κλάσματος 0,5 – 1 mm

Από την αξιολόγηση όλων των παραπάνω διαγραμμάτων καθώς και του αθροιστικώς διερχόμενου και παραμένοντος των κοκκομετρικών κλασμάτων παρατηρείται πως με τον αεροδιαχωρισμό δεν επιτυγχάνονται οι επιθυμητές αναλύσεις των προϊόντων.

Πιο συγκεκριμένα στα κοκκομετρικά κλάσματα 1 – 2 mm και 0,5 – 1 mm δεν παρήχθησαν προϊόντα με κατάλληλη περιεκτικότητα σε τέφρα. Το μεγαλύτερο μέρος της τέφρας κατέληγε στα βαριά κλάσματα. Οι αναλύσεις του αθροιστικώς παραμένοντος ήταν καλύτερες από αυτές του διερχόμενου.

Στο κλάσμα 2 – 4 mm ανάλυση σε τέφρα <42 % είχε μόνο το ελαφρύ κλάσμα (41,47 %) αλλά και πάλι δεν παρήχθησε συμπύκνωμα με ικανοποιητικά χαμηλή ανάλυση όπως στα βαρέα υγρά. Στο κλάσμα αυτό παρατηρήθηκε ανάκτηση βάρους 31,1 % με απόρριψη τέφρας σε ποσοστό 71,61 %. Σημαντική ήταν η ποσότητα της τέφρας που απορρίφθηκε όμως υπήρξε παράλληλη μεγάλη απόρριψη βάρους. Το αθροιστικώς παραμένον του ενδιάμεσου με 43,81 % τέφρα και 66,7 % του υλικού τροφοδοσίας ήταν κοντά στην επιθυμητή ανάλυση.

Συνοψίζοντας λοιπόν, ο εμπλουτισμός μέσω αεροδιαχωριστή κρίθηκε σχεδόν αποτελεσματικός μόνο για το κλάσμα 2 – 4 mm. Τα κλάσματα 1 – 2 mm και 0,5 – 1 mm είναι ακατάλληλα για το συγκεκριμένο είδος διαχωρισμού. Στο κλάσμα 2 – 4 mm ανακτήθηκε μικρό μέρος του βάρους χωρίς ιδιαίτερα χαμηλή ανάλυση. Συνεπώς ο

αεροδιαχωρισμός δεν προτείνεται για εμπλουτισμό λιγνίτη και παραγωγή συμπυκνώματος που να τροφοδοτείται στους ΑΗΣ. Για το αθροιστικώς παραμένον του ενδιάμεσου στο χονδρό κλάσμα προτείνεται η ανάκτηση του συμπυκνώματος για περαιτέρω επεξεργασία με σκοπό την ποιοτική αναβάθμισή του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Το γενικό συμπέρασμα από τις δοκιμές εμπλουτισμού και τις αναλύσεις που έλαβαν χώρα είναι πως είναι δυνατή η ανάκτηση του λιγνίτη από τα απορρίμματα των εκσκαφέων με σημαντική ανάκτηση βάρους και θεμιτή περιεκτικότητα σε τέφρα του συμπυκνώματος.

Αρχικά να αναφερθεί ότι πρόκειται για δείγμα με κακά ποιοτικά χαρακτηριστικά και χαμηλό θερμικό περιεχόμενο. Η περιεκτικότητα σε τέφρα 'επί ξηρού' αγγίζει το 48,2 % και η υγρασία το 47,9 %. Επίσης η Α.Θ.Δ. 'επί ξηρού' υπολογίστηκε στα 2680 kcal/kg.

Εν πρώτης παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν για κάθε μέθοδο διαχωρισμού και στη συνέχεια γίνεται σύγκριση ώστε να βρεθεί η καλύτερη μέθοδος ανάκτησης λιγνίτη.

Στο διαχωρισμό με βαρέα υγρά στο πρώτο πέρασμα χρησιμοποιήθηκε μίγμα ισοπροπανόλης – τετραβρωμοαιθανίου και παρατηρήθηκε ότι με την πάροδο του χρόνου χανόταν η ομοιογένεια του διαλύματος. Στο κοκκομετρικό κλάσμα 5 – 30 mm επιτεύχθηκε υψηλή ανάκτηση καύσιμης ύλης και βάρους, 95,52 και 78,5 % αντίστοιχα, και ανάλυση σε τέφρα 31,73 % με απόρριψη αυτής κατά 43,27 %. Το συμπύκνωμα πάρθηκε στην πυκνότητα διαλύματος 1,5 gr/ml.

Για το κοκκομετρικό κλάσμα 1 – 5 mm και πάλι η βέλτιστη πυκνότητα διαχωρισμού ήταν η 1,5 gr/ml. Το συμπύκνωμα αποτελούσε το 67 % της τροφοδοσίας με ανάκτηση καυσίμου 75,33 % και περιεκτικότητα σε τέφρα 35,55 % με παράλληλη απόρριψη της τάξης του 44,23 %.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η τάξη μεγέθους 5 – 30 mm είναι καταλληλότερη προς εμπλουτισμό διότι επιτυγχάνεται υψηλότερη ανάκτηση σε καύσιμη ύλη και βάρος του υλικού τροφοδοσίας ενώ παράλληλα καλύτερη ποιότητα όσον αφορά την περιεκτικότητα της τέφρας.

Στη δεύτερη σειρά πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε μίγμα εξανόλης – τετραβρωμοαιθανίου χωρίς να παρατηρείται πρόβλημα στην ομοιογένεια του διαλύματος. Έτσι προτείνεται για μελλοντική χρήση το μίγμα διαλύματος του δεύτερου περάσματος δηλαδή μιας αλκοόλης (εξανόλη) με περισσότερα άτομα C στο μόριό της. Οι αναλύσεις του δεύτερου περάσματος ήταν παρεμφερείς με αυτές του πρώτου για το κοκκομετρικό κλάσμα 5 – 30 mm. Και εδώ η βέλτιστη πυκνότητα διαχωρισμού ήταν η 1,5. Επίσης επιτεύχθηκε ανάκτηση σε θερμικό περιεχόμενο κατά

95,98 % και παράλληλη αύξηση της Α.Θ.Δ. κατά 30 %. Συνεπώς η βέλτιστη πυκνότητα για εμπλουτισμό λιγνίτη με χρήση βαρέων υγρών είναι 1,5 gr/ml.

Αρνητικό στοιχείο είναι η κακής ποιότητας τέφρα των συμπυκνωμάτων, η οποία επιδεικνύει μεγάλη τάση επικαθίσεων οξειδίων κατά την καύση και με την πάροδο του χρόνου είναι πολύ πιθανές βλάβες στους σωλήνες των καυστήρων.

Προβληματισμό προκαλεί η υψηλή περιεκτικότητα του δείγματος σε ρυπαντές, N και S, ιδιαίτερα δε αυτή του S στο τελικό συμπύκνωμα (2,51 %). Έτσι προτείνεται η διοχέτευση τεμαχίων υψηλής καθαρότητας ασβεστόλιθου μεγέθους της τάξης μm στους καυστήρες σε μορφή πολφού, για τη συγκράτηση του πτητικού S από το CaO και σχηματισμό ανυδρίτη.

Στην τελευταία σειρά δοκιμών που έγινε στον αεροδιαχωριστή αποδείχθηκε ότι στα κλάσματα 1 – 2 mm και 0,5 – 1 mm δεν είναι εφικτή η μέθοδος. Τα κλάσματα που παρήχθησαν είχαν υψηλά ποσοστά τέφρας. Στο κλάσμα 2 – 4 mm στο ελαφρύ προϊόν η ανάλυση σε τέφρα ‘επί ξηρού’ ήταν <42 % όμως υπήρχε μεγάλη απώλεια βάρους. Επομένως η χρήση αεροδιαχωριστή δεν προτείνεται για το σκοπό της εργασίας.

Εν κατακλείδι, η ανάκτηση του λιγνίτη από τα στείρα ορυκτά είναι εφικτή με εμπλουτισμό του σε βαρέα υγρά πυκνότητας 1,5 gr/ml, με ανάμειξη εξανόλης και τετραβρωμοαιθανίου, και την παραγωγή συμπυκνώματος με υψηλή ανάκτηση βάρους – καύσιμης ύλης και περιεκτικότητα σε τέφρα ‘επί ξηρού’ αρκετά κάτω από το ανώτερο όριο για καύση του υλικού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. WHISTON, C. (1987). “X – Ray methods, Published on behalf of Acol, Thames Polytechnic, London, by Wiley, New York.
2. ΒΑΜΒΟΥΚΑ, Δ. (2004). “Εξευγενισμός Γαιανθράκων”. Σημειώσεις Παραδόσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
3. ΓΙΔΑΡΑΚΟΣ, Ε. (2005). “Στοιχειακή ανάλυση και θερμογόνος δύναμη του μαθήματος”. Σημειώσεις εργαστηρίου, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
4. ΚΑΒΟΥΡΙΔΗΣ, Β.Κ., “Εισήγηση: Η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην Ελλάδα με οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Σημερινή κατάσταση προοπτικές”. Λιγνίτης και φυσικό αέριο στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας, ΤΕΕ, Αθήνα, 9 – 10, 2006.
5. ΚΟΤΤΑΣ, Α.Γ. (2005). “Αναβάθμιση εξορυσσόμενου λιγνίτη Πτολεμαίδας με φυσικές και φυσικοχημικές μεθόδους”. Διπλωματική εργασία, Χανιά.
6. ΚΟΥΚΝΗΣ, Ε.Α. (2009). “Εμπλουτισμός μεταλλεύματος βωξίτη Παρνασσού – Γκιώνας”. Διπλωματική εργασία, Χανιά.
7. ΚΩΣΤΑΚΗΣ, Γ. (1988). “Κεφάλαια ακτινοσκοπίας των κρυστάλλων”. Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
8. ΚΩΤΤΗΣ, Θ. (1991). “Κοιτασματολογία Γαιανθράκων”. Σημειώσεις παραδόσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
9. ΜΠΑΣΙΝΑΣ Π., ΣΚΟΡΔΑΣ Γ., ΚΑΚΑΡΑΣ Ε., ΣΑΚΕΛΛΑΡΟΠΟΥΛΟΣ Γ. “Ανάπτυξη Τεχνολογίας για την Παραγωγή «Καθαρών» Στερεών Καυσίμων από Λιγνίτες και Απόβλητα”. Γ’ ΠΕΠ Δυτικής Μακεδονίας, Ιανουάριος 17, 2008, Πτολεμαίδα.
10. ΝΙΚΟΛΑΟΥ, Γ.Ι. (1997). “Εμπλουτισμός λιγνίτη Μεγαλόπολης με βαρυτομετρικές μεθόδους”. Διπλωματική εργασία, Χανιά.
11. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Μ.Δ. (2002). “Οικονομική Ανάλυση Ενεργειακών Συστημάτων”. Σημειώσεις Παραδόσεων, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
12. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Κ. (1996). “Κοιτασματολογία Ενεργειακών Πόρων”. Σημειώσεις παραδόσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
13. ΣΤΑΜΠΛΙΑΔΗΣ, Η. (2008). “Εμπλουτισμός Μεταλλευμάτων”. Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

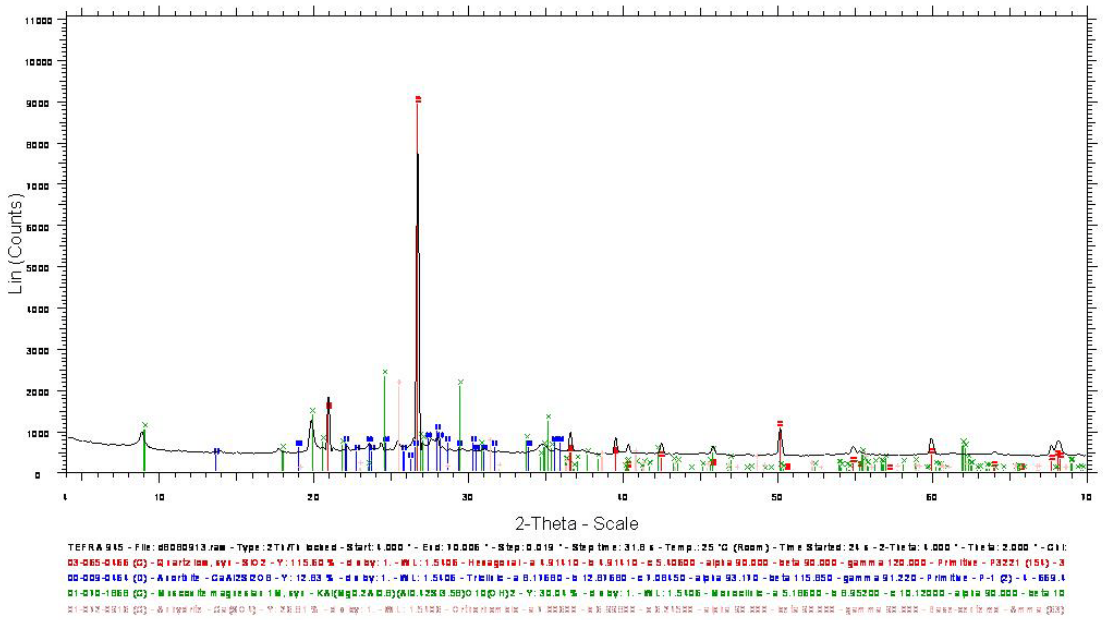
14. ΣΤΑΜΠΟΛΙΑΔΗΣ, Η. (2008). “Μηχανική των Τεμαχιδίων”. Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

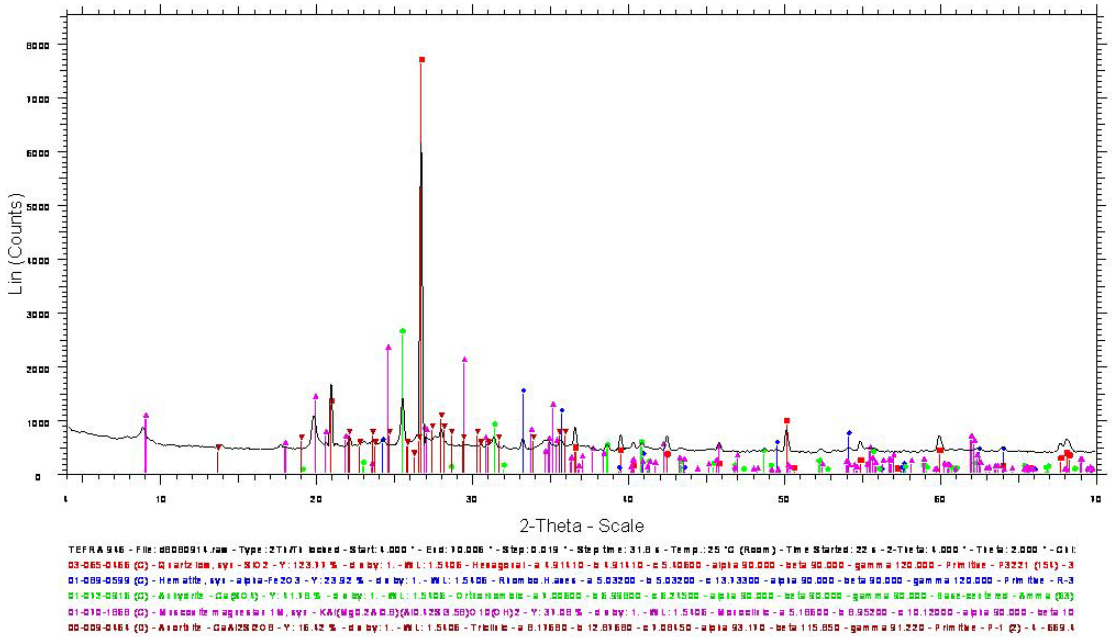
15. www.dei.gr
16. www.lithos.geology.upatras.gr
17. www.megalopolis.gr
18. www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2002/Thermal1.pdf
19. www.spartakos-dei.gr/images/.../31_Melas%20parousiasi.pdf

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

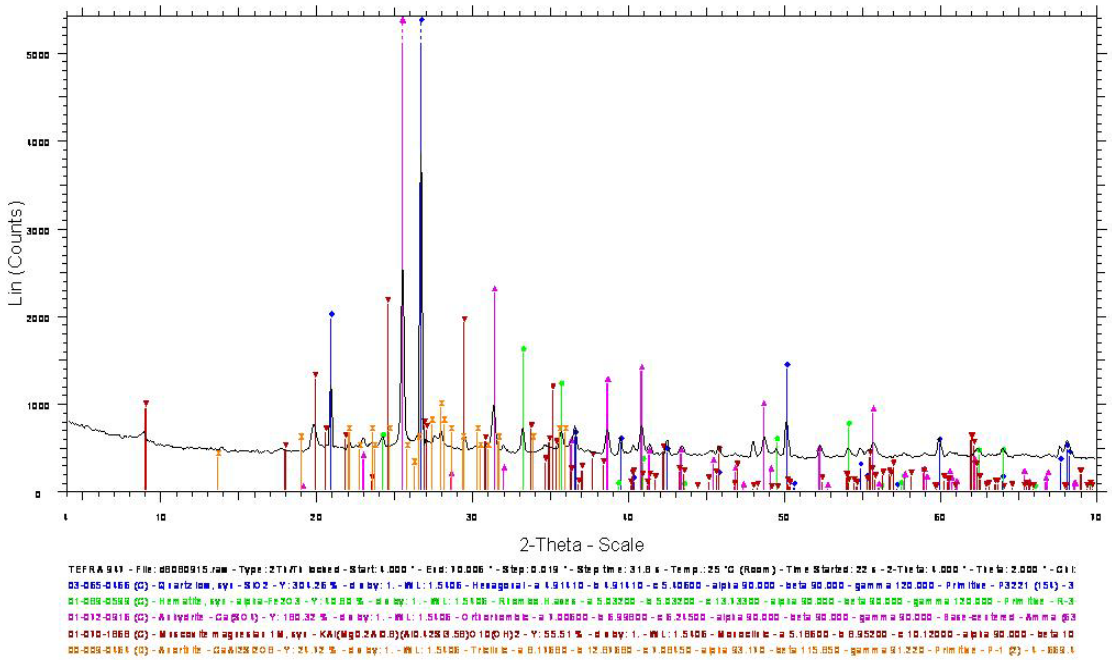
1. Ακτινοδιαγράμματα από το περιθλασίμετρο (XRD)



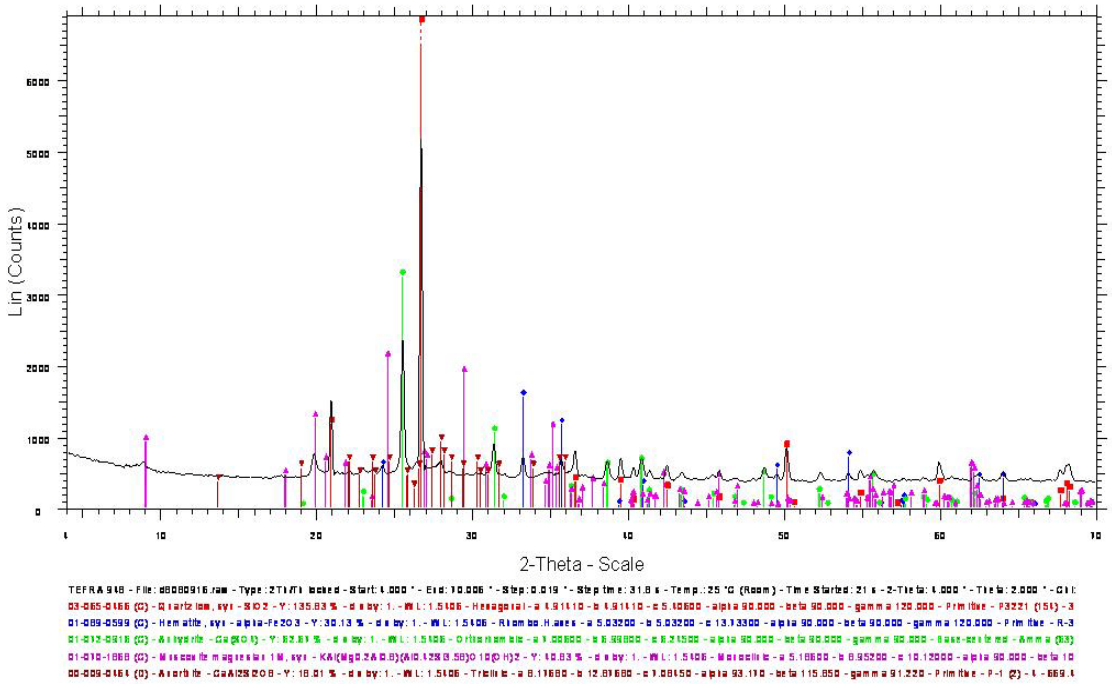
Διάγραμμα 1.1: Ακτινοδιάγραμμα του κλάσματος 16 – 32 mm



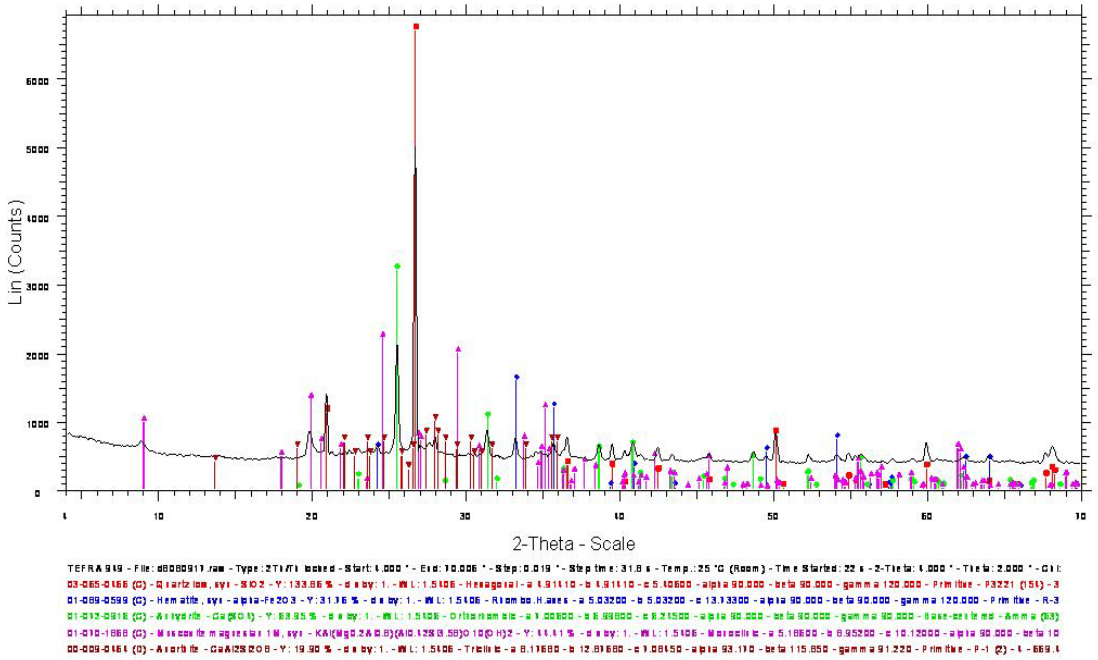
Διάγραμμα 1.2: Ακτινοδιάγραμμα του κλάσματος 8 – 16 mm



Διάγραμμα 1.3: Ακτινοδιάγραμμα του κλάσματος 4 – 8 mm

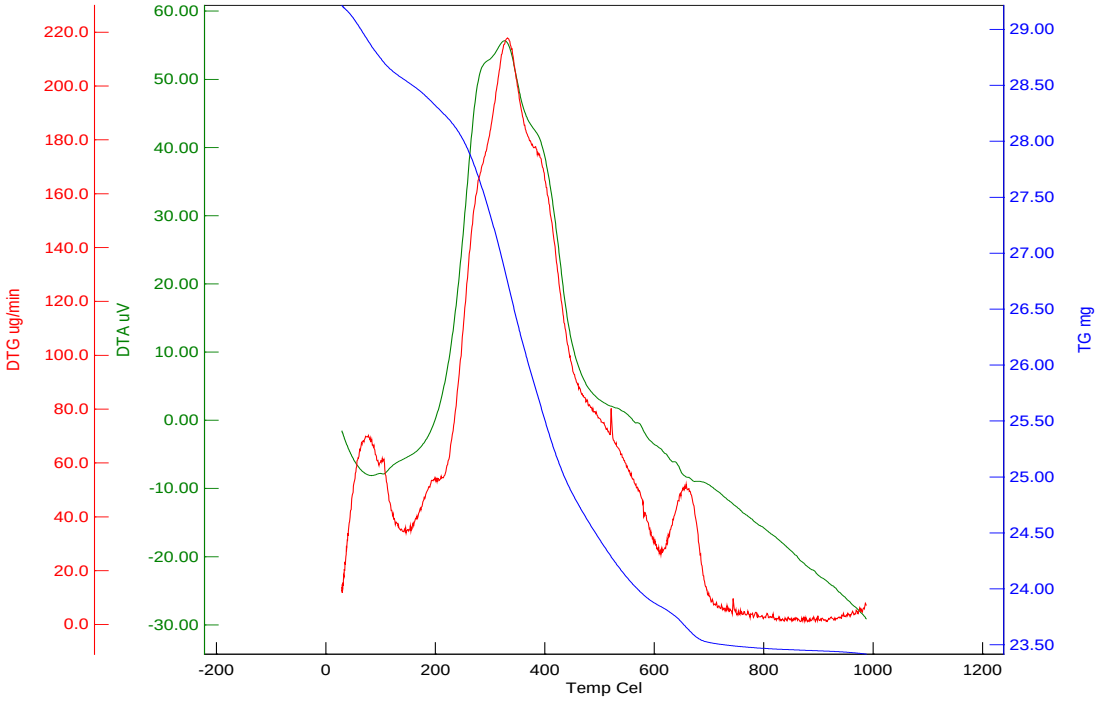


Διάγραμμα 1.4: Ακτινοδιάγραμμα του κλάσματος 2 – 4 mm

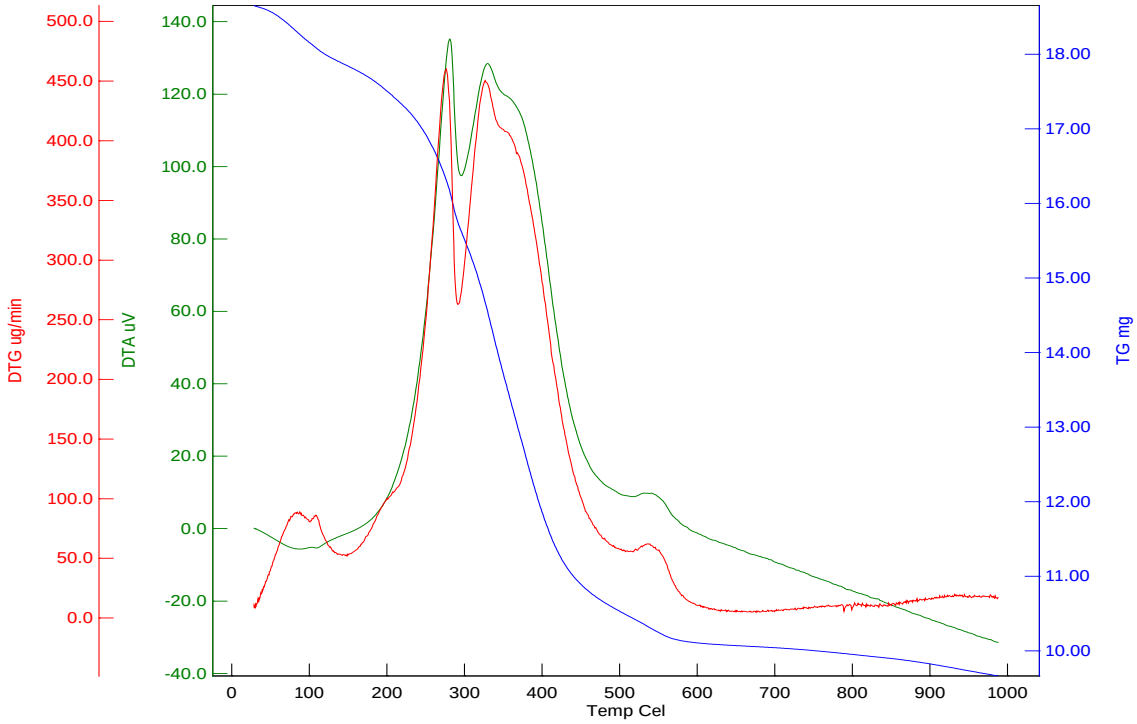


Διάγραμμα 1.5: Ακτινοδιάγραμμα του κλάσματος -2 mm

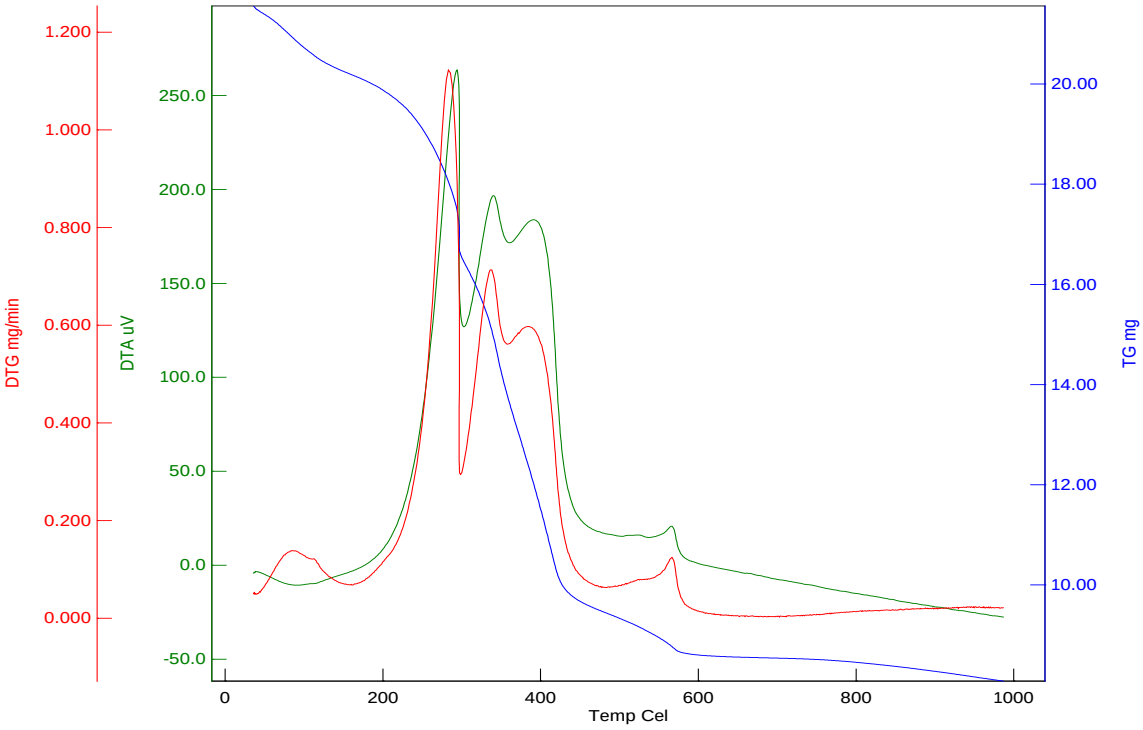
2. Διαγράμματα διαφορικής και βαρυτομετρικής θερμικής ανάλυσης



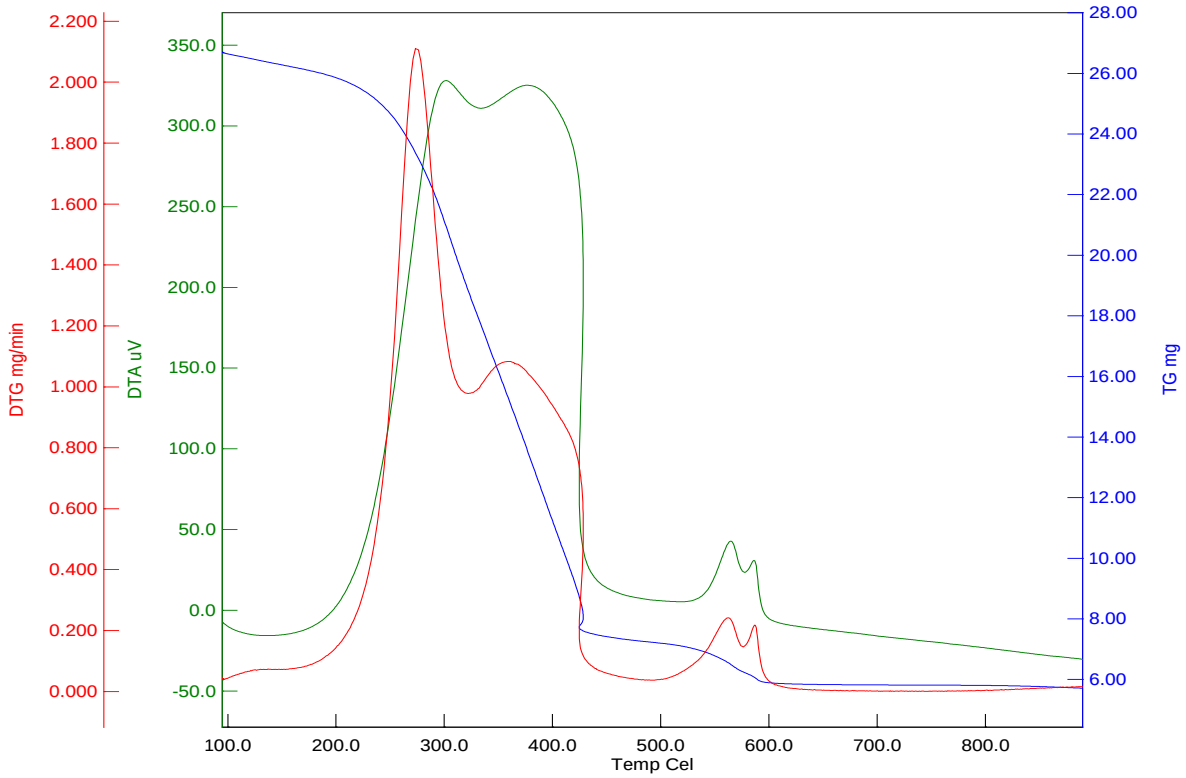
Διάγραμμα 2.1: Διάγραμμα διαφορικής – βαρυτομετρικής θερμικής ανάλυσης του κλάσματος +1,5 gr/cm^3



Διάγραμμα 2.2: Διάγραμμα διαφορικής – βαρυτομετρικής θερμικής ανάλυσης του κλάσματος 1,4 – 1,5 gr/cm^3



Διάγραμμα 2.3: Διάγραμμα διαφορικής – βαρυτομετρικής θερμικής ανάλυσης του κλάσματος 1,3 – 1,4 gr/cm^3



Διάγραμμα 2.4: Διάγραμμα διαφορικής – βαρυτομετρικής θερμικής ανάλυσης του κλάσματος -1,2 gr/cm^3