



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΞΕΥΓΕΝΙΣΜΟΥ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**

ΣΤΕΛΙΟΣ Π. ΜΑΡΓΕΤΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ
ΜΕ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγήτρια Βάμβουκα Δέσποινα (Επιβλέπων)

Καθηγητής Σταμπολιάδης Ηλίας

Επίκουρος Καθηγητής Αλεβίζος Γεώργιος

ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2014

Στον πατέρα μου. Και στη γυναίκα μου. Και στα παιδιά μου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, υπό την επίβλεψη της κυρίας Δέσποινας Βάμβουκα. Η εργασία είχε σκοπό την ανάκτηση του εναπομένοντος λιγνίτη από την υγρή τέφρα, η οποία παράγεται από την καύση του λιγνίτη στους λέβητες των ατμοηλεκτρικών σταθμών της Δ.Ε.Η. Για τη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος εμπλουτισμού της βαρυτομετρικής ανάλυσης. Το θετικό αποτέλεσμα της μελέτης επιτρέπει την παραγωγή καυσίμου με μικρή περιεκτικότητα σε τέφρα, αλλά και σταθερή ποιότητα, με αποτέλεσμα το προϊόν αυτό να μπορεί να συντελέσει στην αύξηση των διαθέσιμων εγχώριων αποθεμάτων πηγών ενέργειας.

Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίστηκε στο διαχωρισμό του λιγνίτη από την υγρή τέφρα, με βάση τα διαφορετικά τους ειδικά βάρη, με τη βοήθεια μιας σειράς βαρέων υγρών, με προοδευτικά αυξανόμενη πυκνότητα. Με αυτόν τον τρόπο, το αρχικό δείγμα διαχωρίστηκε σε κλάσματα βάρους που αντιστοιχούσαν σε διαφορετικά ειδικά βάρη. Τα κλάσματα αυτά ζυγίστηκαν και αναλύθηκαν. Τα αποτελέσματα των ζυγίσεων και αναλύσεων εκφράστηκαν σε εκατοστιαία βάση και στη συνέχεια κατασκευάστηκαν οι καμπύλες εμπλουτισσιμότητας. Έτσι είχαμε την εξαγωγή συμπερασμάτων, τόσο για τις δυνατότητες εμπλουτισμού, όσο και για την ανάκτηση του λιγνίτη.

Η εφαρμογή του βαρυτομετρικού διαχωρισμού για την ανάκτηση του λιγνίτη από την υγρή τέφρα φάνηκε ότι είναι δυνατή, γιατί το προϊόν εμπλουτίσματος που προέκυψε είχε σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα. Λαμβάνοντας υπόψη τη χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα, πτητικά συστατικά, αλλά και τη σταθερότητα των ποιοτικών χαρακτηριστικών του εμπλουτίσματος, φάνηκε η μεγάλη σημασία που έχει η αξιοποίηση της υγρής τέφρας για την οικονομία μας, αφού ο εμπλουτισμένος λιγνίτης θα αυξήσει το βαθμό απόδοσης των εξαρτημένων από την καύση του λιγνίτη μονάδων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κλείνοντας επιτέλους, μετά από πολύ καιρό, τον κύκλο των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, θα ήθελα ιδιαίτερα να ευχαριστήσω την κυρία Βάμβουκα, που ήταν η επιβλέπουσα καθηγήτρια της εργασίας μου και για το γεγονός ότι δέχθηκε να με βοηθήσει όλα αυτά τα χρόνια.

Ευχαριστώ τον κύριο Ηλία Σταμπολιάδη, για τη βοήθειά του κατά τη «μαραθώνια» εκ μέρους μου διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας, ώστε με τις παρεμβάσεις και τις διορθώσεις του να μπορέσω να εμφανίσω μία αρκετά υποφερτή μελέτη.

Ευχαριστώ τον κύριο Γεώργιο Αλεβίζο, αρχικά για τη βοήθειά του στο εργαστήριο και έπειτα για την παρουσία του ως εξεταστής στην εργασία μου, παρότι η όλη διαδικασία έγινε εκτός προγράμματος δυστυχώς, εξαιτίας της απώλειας του καθηγητή Κώστα Καβουρίδη. Η βοήθειά του ήταν πολύτιμη και πριν και μετά.

Θέλω να εκφράσω τις άπειρες ευχαριστίες μου σε όλα τα μέλη της σχολής μας, που με βοήθησαν κατά τη διάρκεια της εργασίας, από τα παλιά τα χρόνια μέχρι σήμερα. Ελπίζοντας να μην ξεχάσω κανέναν, ευχαριστώ την Ευδοξία Μυστακίδου, το ζεύγος Αμμολωχίτη, την Ευτυχία Ρεπούσκου, τη Δέσποινα Πεντάρη, το Μιχάλη Γαλετάκη, το «Γιαννάου» Γιάννη Νικολάου, το Νίκο Ανδρονικίδη και τον τελευταίο καιρό την Παγώνα Μακρή και τον «αδερφό μου» Γιώργο Τριανταφύλλου, χωρίς τη βοήθεια των οποίων θα ήμουν ακόμα χαμένος!

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ εκφράζω στους γονείς μου για τη στήριξη, υλική κι ηθική, όλα αυτά τα χρόνια.

Θέλω να ζητήσω συγγνώμη από τον πατέρα μου, που δυστυχώς δεν βρίσκεται κοντά μου, για την πολύ μεγάλη καθυστέρηση της ολοκλήρωσης των σπουδών μου, ελπίζοντας εκεί που βρίσκεται να βλέπει και να το χαίρεται επιτέλους.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου Μαρία, για την υπομονή της όλα αυτά τα χρόνια, για την πίεση αλλά και τη στήριξή της στο θέμα της διπλωματικής εργασίας μου και της ολοκλήρωσης των σπουδών μου, υπενθυμίζοντάς μου συνεχώς, χωρίς να το έχω ξεχάσει, ότι το οφείλω στον πατέρα μου.

Σε ευχαριστώ, επιτέλους τέλος...

ΣΜ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	1
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</u>	2
2.1. ΟΙ ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΕΣ	2
2.1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	3
2.1.2. ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ	5
2.1.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ	8
2.1.4. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ ΣΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ	12
2.1.5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΟΡΙΖΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	15
2.2. ΤΕΦΡΑ	17
2.2.1. ΥΓΡΗ ΤΕΦΡΑ	18
2.2.1.1. ΣΥΣΤΑΣΗ ΥΓΡΗΣ ΤΕΦΡΑΣ	19
2.2.2. Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΛΙΓΝΙΤΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΤΕΦΡΑ	20
2.3. ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΤΕΦΡΑ	20
2.3.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΤΟΥ	20
2.3.2. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΜΕ ΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ - ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ	21
2.3.3. Ο ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΑΝ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΤΕΦΡΑ	22
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</u>	24
3.1. ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΓΡΗΣ ΤΕΦΡΑΣ	24
3.2. ΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	24
3.2.1. ΛΗΨΗ ΑΡΧΙΚΩΝ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	24
3.2.2. ΘΡΑΥΞΗ ΚΑΙ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	25
3.2.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	26
3.2.4. ΠΟΙΟΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ (ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ, ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ, ΧΗΜΙΚΗ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ)	29
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ</u>	37
4.1. ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΠΟΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΟΡΓΑΝΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΔΕΙΓΜΑ	37
4.1.1. ΑΜΕΣΗ ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΛΑΣΜΑΤΩΝ	

ΤΗΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	37
4.1.2. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΙ ΤΕΦΡΑΣ ΤΩΝ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΛΑΣΜΑΤΩΝ - ΚΑΤΑΝΟΜΗ GATES - GOUNDIN – SCHUHMAN	37
4.2. ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΤΕΦΡΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	38
4.2.1. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΛΑΣΜΑΤΩΝ	39
4.2.2. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΙΜΟΤΗΤΑΣ, ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΟΧΗΣ	41
4.2.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΤΕΦΡΑΣ (1050 °C) ΣΤΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	43
4.3. ΠΟΙΟΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΣΤΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ	47
4.4. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	61
4.5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	62
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	64
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	 66
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	 67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έλλειψη επαρκών ποσοτήτων ενέργειας και παράλληλα η μεγάλη αύξηση του κόστους προμήθειας των καυσίμων, προκαλούν στην εποχή μας μεγάλη ανησυχία, αφού η ενέργεια αποτελεί το βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη της βιομηχανικής παραγωγής, αλλά και για την εξασφάλιση αγαθών, ειδών διατροφής, της υγείας και του τρόπου ζωής μας.

Σήμερα που ζούμε αυτή την κρίση, για να περιορίσουμε την οικονομική επιβάρυνση από τις εισαγωγές πετρελαίου, αλλά και για να καλύψουμε τις ανάγκες μας σε ενέργεια, πρέπει να αυξήσουμε την παραγωγή ενέργειας από τις εγχώριες πηγές, αλλά και να αξιοποιήσουμε τα διαθέσιμα αποθέματα.

Αυτή τη στιγμή, βέβαια, τα διαθέσιμα γνωστά αποθέματα επαρκούν για λίγα σχετικά χρόνια και γι' αυτό θα πρέπει να αναζητήσουμε συμπληρωματικά αποθέματα, αλλά και εναλλακτικές ενεργειακές πηγές, όπως είναι η γεωθερμία και η ηλιακή ενέργεια.

Στην προσπάθεια αυτή εντάσσεται και η συγκεκριμένη εργασία, η οποία σκοπό έχει την ανάκτηση του εναπομένοντος λιγνίτη από την υγρή τέφρα, η οποία παράγεται από την καύση του λιγνίτη στους λέβητες των ατμοηλεκτρικών σταθμών της Δ.Ε.Η. Για τη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος εμπλουτισμού της βαρυτομετρικής ανάλυσης. Το θετικό αποτέλεσμα της μελέτης θα επιτρέψει την παραγωγή καυσίμου με μικρή περιεκτικότητα σε τέφρα, αλλά και σταθερή ποιότητα, με αποτέλεσμα το προϊόν αυτό να μπορεί να συντελέσει στην αύξηση των διαθέσιμων εγχώριων αποθεμάτων πηγών ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 ΟΙ ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΕΣ

Οι γαιάνθρακες είναι πετρώματα ιζηματογενή, που προέρχονται από την ενανθράκωση φυτικής ύλης σε κατάλληλο περιβάλλον και κατάλληλες φυσικοχημικές συνθήκες. Συγκεκριμένα, η συσσώρευση φυτικής ύλης (φύλλα, ρίζες κ.λ.π.) σε υγρό περιβάλλον, σε συνδυασμό με διάφορες γεωλογικές και γεωχημικές διαδικασίες, καταλήγει στη δημιουργία γαιάνθρακα.

Ο γαιάνθρακας είναι από φυσική άποψη ένα ετερογενές μίγμα οργανικών ενώσεων, που εμπεριέχουν υγρασία και ανόργανες προσμίξεις και από χημική άποψη ένα σύνθετο πολυμερές στερεό. Οι ιδιότητές του και κατά συνέπεια η αντιδραστικότητα κατά τη χρησιμοποίησή του, καθορίζονται τόσο από τη φυσική, όσο και από τη χημική δομή του (Βάμβουκα, 2002).

Η διαδικασία κατά την οποία η αρχική φυτική ύλη εμπλουτίζεται με άνθρακα και χάνει άλλα στοιχεία, όπως οξυγόνο, άζωτο, ή υδρογόνο, ονομάζεται ενανθράκωση. Η ενανθράκωση των φυτικών πρώτων υλών διαφέρει, ανάλογα με την αύξηση της περιεκτικότητας του άνθρακα, ή τη μείωση της περιεκτικότητας των άλλων στοιχείων (O_2 , H_2). Οι μεταβολές αυτές οφείλονται κυρίως σε τρεις παράγοντες: Το γεωλογικό χρόνο, τη θερμοκρασία και την πίεση.

Οι γαιάνθρακες στην Ελλάδα, αν και είναι χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης, αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας. Σημαντικά κοιτάσματα λιγνίτη έχουν εντοπιστεί στις περιοχές της Πτολεμαΐδας, της Μεγαλόπολης και της Φλώρινας. Στις εν λόγω περιοχές βρίσκονται και τα ενεργά ορυχεία εξόρυξης των κοιτασμάτων αυτών. Στους Φιλίππους της Μακεδονίας υπάρχουν σημαντικές ποσότητες αποθεμάτων τύρφης, που όμως λόγω χαμηλής ενεργειακής απόδοσης, η εκμετάλλευσή τους είναι οικονομικά ασύμφορη.

Τέλος, άλλες περιοχές με μικρότερα κοιτάσματα λιγνίτη είναι η Δυτική Πελοπόννησος, η Πρέβεζα, η Εύβοια, η Αιτωλοακαρνανία και η Χίος (Βάμβουκα, 1994).

2.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ο λιγνίτης συνεχίζει μέχρι και σήμερα να αποτελεί την πιο ανταγωνιστική και πρωτεύουσα πηγή ενέργειας για τα ελληνικά δεδομένα λόγω των μεγάλων και οικονομικά εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων που παρουσιάζονται στον ελλαδικό χώρο. Το γεγονός αυτό καθιστά το λιγνίτη πρωταρχικής σημασίας καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μονάδες βάσης, αφού καλύπτει ποσοστό μεγαλύτερο του 60% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην Ελλάδα μέχρι το 1938 η εξόρυξη του λιγνίτη περιοριζόταν κυρίως σε τοπικό επίπεδο, από τους κατοίκους οι οποίοι χρησιμοποιούσαν το λιγνίτη, ως υποκατάστατο του ξύλου, για τις ανάγκες της οικιακής θέρμανσης. Αρκετά αργότερα, περί το 1950, άρχισε η γεωλογική εξερεύνηση του ελλαδικού χώρου με σκοπό την ανεύρεση κοιτασμάτων λιγνίτη.

Συγκεκριμένα η πρώτη σοβαρή προσπάθεια για την εκμετάλλευση λιγνιτικών κοιτασμάτων στη χώρα μας άρχισε στο Αλιβέρι (Εύβοια) το 1873. Μια πλημμύρα το 1897 κατέστρεψε όλες τις επιφανειακές και υπόγειες εγκαταστάσεις εξόρυξης. Η εκμετάλλευση ξανάρχισε μετά τον πρώτο Παγκόσμιο πόλεμο. Το 1922 η ετήσια παραγωγή έφθασε τους 23.000 τόνους και διατηρήθηκε μέχρι το 1927. Το επόμενο έτος η εκμετάλλευση σταμάτησε για οικονομικούς λόγους.

Μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο η ανάγκη εξηλεκτρισμού της χώρας οδήγησε στην απόφαση κατασκευής ατμοηλεκτρικού σταθμού στο Αλιβέρι, που θα λειτουργούσε αποκλειστικά με λιγνίτη. Το 1951 η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.) αναλαμβάνει την υπόγεια εκμετάλλευση των ορυχείων στο Αλιβέρι, και κατορθώνει να αυξήσει την ετήσια παραγωγή λιγνίτη σε 750 χιλιάδες τόνους και να τροφοδοτήσει μονάδες ισχύος 280 MW. Η εξερεύνηση του ελλαδικού χώρου για εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη εντείνεται τα επόμενα χρόνια και τα αποτελέσματά της αποδεικνύονται άκρως θετικά.

Το 1955 συστάθηκε η εταιρία ΛΙΠΤΟΛ, που είχε ως αντικείμενο την εξόρυξη και παραγωγή λιγνίτη από τα πλούσια κοιτάσματα στη λεκάνη της Πτολεμαΐδας, (επιφανειακό λιγνιτορυχείο) καθώς και τη χρησιμοποίησή του για την παραγωγή

μπρικετών, αζωτούχων λιπασμάτων, ημικώκ και ηλεκτρικής ενέργειας. Το 1959 το 90% των μετοχών της ΛΙΠΤΟΛ περιήλθαν στη ΔΕΗ και το 1975 συγχωνεύθηκε η ΛΙΠΤΟΛ με τη ΔΕΗ. Η παραγωγή λιγνίτη που ήταν το 1959 1,3 εκ. τόνους, αυξήθηκε το 1975 σε 11,7 εκ. τόνους, το 1985 σε 27,3 εκ. τόνους και το 2004 σε 53,7 εκατομμύρια τόνους (συμπεριλαμβανομένου και του ορυχείου στη Φλώρινα). Το λιγνιτικό κοίτασμα Μεγαλόπολης μελετήθηκε επιστημονικά για πρώτη φορά το 1957 και τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά. Το 1969 άρχισε από τη ΔΕΗ η εκμετάλλευση του λιγνίτη. Το γεγονός αυτό ήταν μία ιδιαίτερη περίπτωση σε παγκόσμιο επίπεδο, επειδή για πρώτη φορά τόσο φτωχός λιγνίτης εξορύσσεται και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το λιγνιτορυχείο της Μεγαλόπολης ξεκίνησε με ετήσια παραγωγή 1 εκ. τόνους και έφθασε το 2005 τους 13.5 εκ. τόνους.

Η αλματώδης πρόοδος που πραγματοποιήθηκε στην εξόρυξη του λιγνίτη τα τελευταία 40 χρόνια ήταν ο ακρογωνιαίος λίθος για την ενεργειακή ανάπτυξη της χώρας και τη δημιουργία ατμοηλεκτρικών μονάδων βάσης, οι οποίες καλύπτουν σήμερα πάνω από το 70% της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Σήμερα η ΔΕΗ κατέχει σχεδόν αποκλειστικά δικαιώματα της εκμετάλλευσης του λιγνίτη και παράγει συνολικά περίπου 70 εκ. τόνους λιγνίτη σε ετήσια βάση. Η εντυπωσιακή ανάπτυξη των λιγνιτωρυχείων της ΔΕΗ επιτρέπει στη χώρα μας να κατέχει τη δεύτερη θέση στην παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση, την πέμπτη θέση στην Ευρώπη και την έκτη στον κόσμο (Κούβελα, 2009).

2.1.2 ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ

Ο γαιάνθρακας αποτελεί ένα σύνθετο ετερογενές μείγμα οργανικών ενώσεων (που περιέχουν άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και μικρές ποσότητες θείου και αζώτου), που σχετίζεται με διάφορες ποσότητες ανόργανης ύλης, υγρασίας και αερίων. Στην πράξη, είναι ένα απολίθωμα το οποίο σχηματίζεται από τη συγκέντρωση υπολειμμάτων φυτών, που τροποποιήθηκαν τόσο όσον αφορά την υφή τους όσο και τη σύνθεσή τους, λόγω της διαγένεσης, της ταφής τους και της τεκτονικής δράσης (Βάμβουκα, 2002).

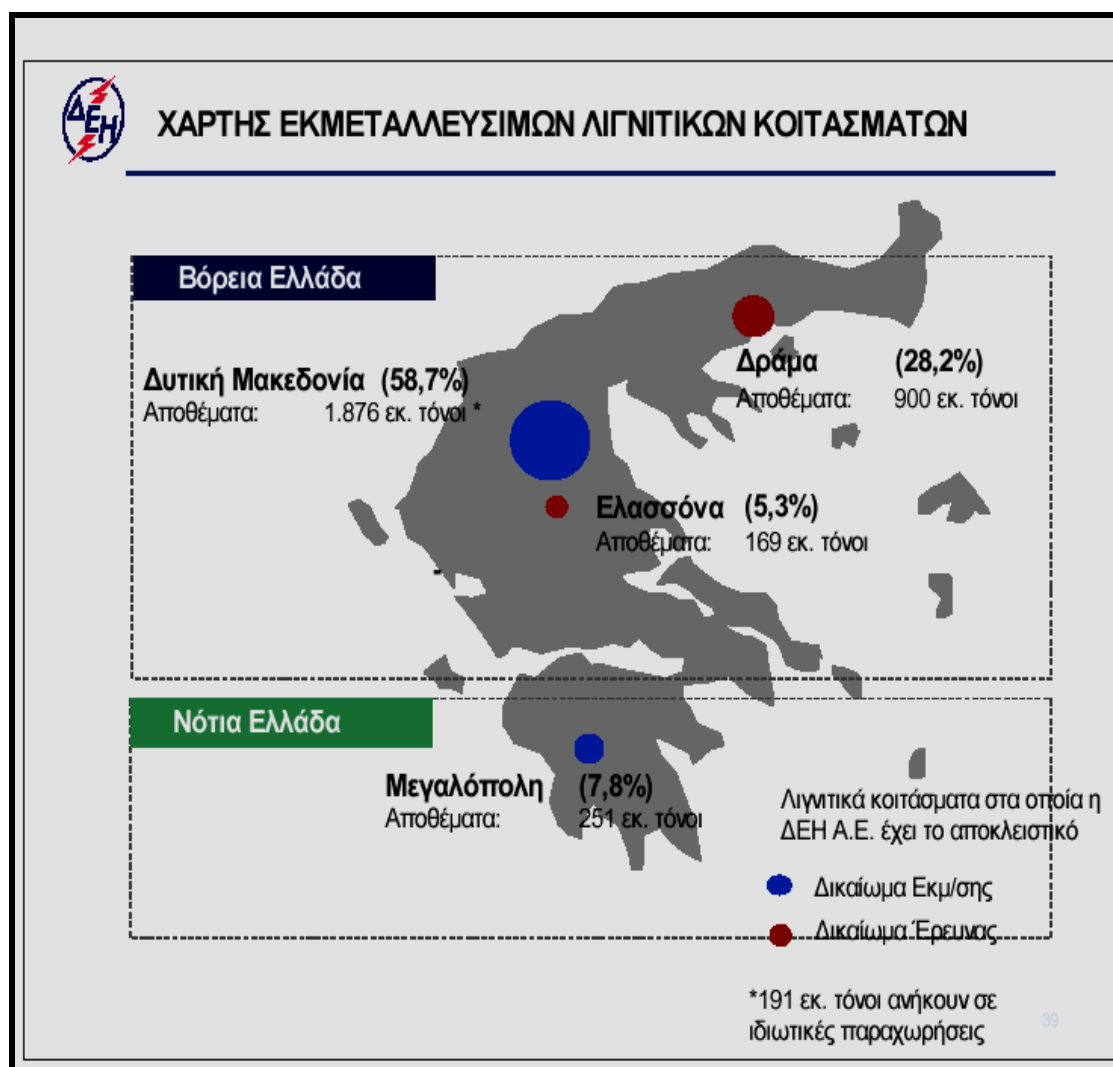
Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικές ποσότητες λιγνιτικών κοιτασμάτων που η μέχρι σήμερα αξιοποίησή τους συμβάλλει αποφασιστικά στην ενεργειακή ανάπτυξη της χώρας μας. Στον Ελληνικό χώρο, οι λιγνίτες σχηματίστηκαν στις αρχές του Καινοζωικού αιώνα και κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς, σε παράκτιες και ηπειρωτικές λεκάνες.

Οι παράκτιες λεκάνες αποτελούσαν αβαθή παράκτια έλη, που προέκυψαν από την απόσυρση της θάλασσας. Μέσα εκεί αναπτύχθηκε η λιγνιτοφορία υπό μορφή στρωμάτων, που πολλές φορές όμως διακόπτονταν, διότι η θάλασσα επίκλυε αυτές τις περιοχές και έτσι γινόταν απόθεση θαλάσσιων ιζημάτων. Η συνεχής απόκλιση και επίκληση της θάλασσας είχαν σαν αποτέλεσμα τη συχνή εναλλαγή λιγνιτοφόρων ιζημάτων, με στείρα θαλάσσια ιζήματα. Τέτοιες λεκάνες βρίσκουμε στις περιοχές της Πρέβεζας και της Πελοποννήσου.

Οι ηπειρωτικές λεκάνες σχηματίστηκαν σαν τεκτονικές τάφροι, στο εσωτερικό της χώρας, εξαιτίας της ρηξιγενούς τεκτονικής που έλαβε χώρα στον Ελλαδικό χώρο, εκείνη την περίοδο. Ένα μεγάλο μέρος του αρχικού υπόβαθρου παρέμεινε κάτω από το νερό, όπου και δημιουργήθηκαν βαθιές λεκάνες, οι οποίες αργότερα πληρώθηκαν με ιζήματα. Μερικά τμήματα των λεκανών μετατράπηκαν σε έλη, όπου και αναπτύχθηκε η λιγνιτοφορία. Τέτοιες λεκάνες είναι στην Τάφρο Μοναστηρίου, στη Φλώρινα, στην Κοζάνη κ.λ.π.

Τα σημαντικότερα κοιτάσματα λιγνίτη στην Ελλάδα αναπτύχθηκαν σε κλειστές ενδοηπειρωτικές λεκάνες, σε αβαθείς ή βαθιές λεκάνες.

Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικά κοιτάσματα φτωχών στερεών καυσίμων όπως είναι ο λιγνίτης και η τύρφη. Η μέχρι σήμερα εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων έχει συμβάλει καθοριστικά στην ενεργειακή ανάπτυξη της χώρας, αφού ποσοστό της τάξεως του 70% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτεται από το λιγνίτη, καθιστώντας έτσι το λιγνίτη εθνικό καύσιμο πρωταρχικής σημασίας. Σύμφωνα με το ΙΓΜΕ, τα βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στην Ελλάδα ανέρχονται σε 6.7 δις τόνους, εκ' των οποίων οι 3.3 δις τόνοι εκτιμώνται ως εκμεταλλεύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η κατανομή των εκμεταλλεύσιμων λιγνιτικών κοιτασμάτων στο ελλαδικό χώρο παρουσιάζεται στο χάρτη του Σχήματος 1.1.



Σχήμα 1.1. Κατανομή των λιγνιτικών κοιτασμάτων στον ελλαδικό χώρο (Καβουρίδης κ.α., 2005).

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 1.1, στη Δυτική Μακεδονία και συγκεκριμένα στον άξονα Φλώρινα – Κοζάνη – Πτολεμαΐδα – Ελασσόνα, βρίσκεται συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο λιγνιτικό δυναμικό της χώρας, που αποτελεί περίπου το 64% του συνολικού λιγνιτικού αποθέματος.

Πιο συγκεκριμένα, για τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα λιγνιτικά κοιτάσματα στη Δυτική Μακεδονία έχουμε:

- **Λεκάνη Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου.** Τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα λιγνιτικά κοιτάσματα ανέρχονται σε 1546 εκ. τόνους.
- **Λεκάνη Φλώρινας.** Τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα λιγνιτικά κοιτάσματα ανέρχονται σε 330 εκ. τόνους, εκ' των οποίων 191 εκ. τόνοι έχουν παραχωρηθεί σε ιδιώτες.

Οι υπόλοιπες περιοχές που διαθέτουν αξιόλογα λιγνιτικά κοιτάσματα είναι οι εξής:

- **Λεκάνη της Μεγαλόπολης (Πελοπόννησος).** Τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη ανέρχονται σε 251 εκ. τόνους.
- **Δράμα (Ανατολική Μακεδονία).** Στην περιοχή παρουσιάζεται εκμεταλλεύσιμο απόθεμα 900 εκ. τόνων λιγνίτη, με σχέση εκμετάλλευσης $6.9:1\text{M}^3$ τόνους και θερμογόνο ικανότητα 4.312 kJ/kg .
- **Ελασσόνα (Θεσσαλία).** Η περιοχή παρουσιάζει εκμεταλλεύσιμο απόθεμα 150 εκ. τόνους με σχέση εκμετάλλευσης $4,3:1\text{M}^3$ τόνους και θερμογόνο ικανότητα 8.582 kJ/kg (Κούβελα, 2009).

Με βάση τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της χώρας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για περισσότερο από 45 χρόνια. Μέχρι σήμερα οι εξορυχθείσες ποσότητες λιγνίτη φτάνουν περίπου στο 29% των συνολικών αποθεμάτων. Εκτός από το λιγνίτη η Ελλάδα διαθέτει και ένα μεγάλο κοιτάσμα Τύρφης στην περιοχή των Φιλίππων (Ανατολική Μακεδονία). Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα στο κοιτάσμα αυτό εκτιμώνται σε 4 δις κυβικά μέτρα και ισοδυναμούν περίπου με 125 εκατ. τόνους πετρελαίου (www.dei.gr).

2.1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ & ΣΥΣΤΑΣΗ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ

Τα εκμεταλλεύσιμα λιγνιτικά κοιτάσματα της χώρας μας (Δυτικής Μακεδονίας και Μεγαλόπολης) ανήκουν στην κατηγορία των φτωχών στερεών καυσίμων. Η ποιότητα του λιγνίτη παρουσιάζει διαφοροποιήσεις όχι μόνο από ορυχείο σε ορυχείο, αλλά και μεταξύ στρωμάτων του ίδιου ορυχείου.

Η θερμογόνος ικανότητα των ελληνικών λιγνιτών κυμαίνεται μεταξύ 4.390 – 5.440 kJ/kg στα κοιτάσματα της Μεγαλόπολης, μεταξύ 7.536 – 9.630 kJ/kg στα κοιτάσματα της Φλώρινας, μεταξύ 5.440 -5.860 kJ/kg στα κοιτάσματα της Πτολεμαΐδας (Κυρίου Πεδίου, Νοτίου Πεδίου και Καρδιάς) και μεταξύ 4.390 – 5.440 kJ/kg στα κοιτάσματα του Αμυνταίου.

Χαρακτηριστικό του ελληνικού λιγνίτη αποτελεί επίσης το υψηλό ποσοστό υγρασίας (περίπου 55%) και τέφρας (περίπου 15-30%). Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι, ο λιγνίτης των κοιτασμάτων της Δυτικής Μακεδονίας περιέχει χαμηλά ποσοστά θείου και υψηλά ποσοστά οξειδίων του ασβεστίου, με αποτέλεσμα να ευνοείται η φυσική αποθείωση. Σε αντίθεση, ο λιγνίτης της Μεγαλόπολης παρουσιάζει υψηλά επίπεδα θείου, με αποτέλεσμα αυξημένες εκπομπές SO₂ που καθιστούν απαραίτητη τη λειτουργία μονάδας αποθείωσης (FGD).

Ωστόσο, στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια έχει επιτευχθεί σημαντική βελτίωση στην ποιότητα των ελληνικών λιγνιτών. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην προσπάθεια ανάμιξης λιγνιτών διαφορετικών χαρακτηριστικών, που πραγματοποιήθηκε κυρίως από τα λιγνιτωρυχεία της ΔΕΗ. Η βελτίωση στα χαρακτηριστικά του λιγνίτη είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμογόνου ικανότητας του καυσίμου, η οποία μεταφράζεται ως αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και του βαθμού απόδοσης των ατμοηλεκτρικών μονάδων (Κούβελα, 2009).

Οι λιγνίτες αποτελούνται από την οργανικής ύλη, την υγρασία που περιέχεται στους πόρους και την ανόργανη ύλη.

Η οργανική (καύσιμη) ύλη περιλαμβάνει και τα πτητικά συστατικά. Αυτά αποτελούνται από ελαφρείς υδρογονάνθρακες, CO, CO₂, SO₂, H₂O, κ.α.

Η υγρασία βρίσκεται στους λιγνίτες είτε προσροφημένη στους πόρους τους, είτε υπό μορφή ένυδρων συστατικών. Υγρασία μπορεί να προέρχεται στους λιγνίτες και λόγω ύπαρξης έντονης υδροφορίας. Υψηλά ποσοστά υγρασίας περιέχονται σε λιγνίτες χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης.

Η ανόργανη ύλη αποτελείται από την τέφρα του λιγνίτη και από μέρος των πτητικών συστατικών που αποδεσμεύονται κατά την καύση του σε υψηλές θερμοκρασίες. Η ανόργανη (ορυκτή) ύλη προέρχεται είτε από πρωτογενή δέσμευση ανόργανων συστατικών από τις ενανθρακωμένες φυτικές ουσίες που προήλθε ο λιγνίτης, είτε από ρύπανση του λιγνίτη από γειτονικά πετρώματα. Η τέφρα της ανόργανης ύλης διακρίνεται σε:

- Πρωτογενή τέφρα, αργιλικής κυρίως φύσης.
- Δευτερογενή τέφρα, που σχηματίζεται κατά τη λιγνιτογένεση.
- Τέφρα εκμετάλλευσης, το οργανικό υλικό που συνεξορύσσεται με το λιγνίτη.

Η πρωτογενής τέφρα δε διαχωρίζεται από το λιγνίτη, σε αντίθεση με τη δευτερογενή. Η σχέση που συνδέει τα τρία παραπάνω συστατικά είναι :

$$\text{Καύσιμη Ύλη (\%)} + \text{Υγρασία (\%)} + \text{Τέφρα (\%)} = 100 (\%)$$

Η σύσταση των λιγνιτών μπορεί να αναγνωριστεί μακροσκοπικά και μικροσκοπικά. Ανάλογα με τις μακροσκοπικές διαφορές τους, οι λιγνίτες διακρίνονται σε :

- Μαλακούς, γαιώδεις λιγνίτες. Είναι καστανόμαυροι, μαλακοί και αποσαθρώνονται εύκολα. Παρουσιάζουν στρώσεις, είναι φυλλώδεις και στις επιφάνειες τους παρατηρούνται φυτικά υπολείμματα, ανόργανη ύλη και κελύφη απολιθωμάτων.
- Σκληρούς λιγνίτες. Είναι μαύροι, συμπαγείς, αλαμπείς και σπάνια παρουσιάζουν στρώσεις.
- Ξυλώδεις λιγνίτες (ξυλίτες). Είναι καστανοί, σκληροί, ινώδεις και διατηρούν τον ιστό και την υφή του αρχικού φυτικού λειψάνου.

Τα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά των λιγνιτών, τα οποία δίνουν περισσότερες πληροφορίες για τη συμπεριφορά τους στις βιομηχανικές εφαρμογές, ονομάζονται φυτόκλαστα (macerals). Χαρακτηρίζονται από τη μορφή τους, τη χημική τους σύσταση, τις οπτικές τους ιδιότητες και διαφέρουν στη σκληρότητα και στην τεχνολογική συμπεριφορά τους κατά τη χρήση του λιγνίτη.

Διακρίνονται σε τέσσερις ομάδες :

- 1) Ομάδα Χουμινίτη. Προέρχονται από λείψανα ξύλων, φυτών. Παρουσιάζουν έντονες φυσικοχημικές διαφοροποιήσεις, οι οποίες καθορίζουν την τεχνολογική συμπεριφορά του λιγνίτη.
- 2) Ομάδα Λιπτινίτη. Προέρχονται από σπόρους, γύρη καθώς και από θαλάσσια φύκια και ρητίνες. Είναι ωχρά στο φως, ενώ παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε H₂ και πτητική ύλη.
- 3) Ομάδα Ινερτινίτη. Είναι αδρανή στις τεχνολογικές επεξεργασίες. Έχουν υψηλή ικανότητα αντανάκλασης και παρουσιάζουν μεγάλη περιεκτικότητα σε C και μικρή σε H₂.
- 4) Ομάδα Τελινίτη. Είναι φυτόκλαστα που εμφανίζουν κυτταρική δομή.

Οι τρεις τελευταίες ομάδες επηρεάζουν σε μικρό βαθμό τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των λιγνιτών.

Τα πλέον διαδεδομένα ορυκτά που απαντώνται στην ανόργανη μάζα των Ελληνικών λιγνιτών είναι :

- Αργιλώδεις ενώσεις, όπως ιλλίτης ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})\text{OH}_2$), καολινίτης ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$), μοντμοριλονίτης ($\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), μοσχοβίτης ($\text{K}_2\text{Al}_4\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20}(\text{OH})_4$) κ.α.
- Ανθρακικά άλατα, κυρίως ασβεστίτης CaCO_3 , σιδηρίτης FeCO_3 , δολομίτης $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, ανκερίτης $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$.
- Θειούχα άλατα, κυρίως σιδηροπυρίτης FeS_2 , μαρκασίτης FeS_2 , σφαλερίτης ZnS , γαληνίτης PbS .
- Χαλαζίας SiO_2 .
- Θεϊκά άλατα, όπως γύψος $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ και ανυδρίτης CaSO_4 .

Όσον αφορά στη χημική σύσταση, τα βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελούνται οι λιγνίτες είναι ο άνθρακας, το υδρογόνο και το οξυγόνο. Τα δευτερεύοντα είναι : S, N₂, Si, Al, Fe, K, Na, Mg, Cu, Ca, Ti. Αυτά τα στοιχεία ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν διάφορες οργανικές και ανόργανες ενώσεις. Οι οργανικές ενώσεις αποτελούνται από πολυμερή των C, H, O, S και N, ενώ οι ανόργανες αποτελούνται από τα υπόλοιπα στοιχεία ενωμένα μεταξύ τους, ή ενωμένα με C και O₂.

Οι κυριότερες οργανικές ομάδες είναι αυτές που περιέχουν οξυγόνο, όπως για παράδειγμα οι αλκοόλες, οι αιθέρες, τα καρβοξυλικά οξέα και τα καρβονύλια. Η συμμετοχή των ομάδων του οξυγόνου εξαρτάται από την περιεκτικότητα του λιγνίτη σε άνθρακα. Κάθε μόριο λιγνίτη διαφέρει σε μέγεθος και έτσι δεν έχει συγκεκριμένη μοριακή δομή (Νικολάου, 1997).

2.1.4 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ ΣΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ

Οι ενεργειακές ανάγκες της Ελλάδας καλύπτονται κυρίως από λιγνίτη και πετρέλαιο. Το φυσικό αέριο τώρα αρχίζει και κάνει τα πρώτα του βήματα, ενώ δεν υπάρχει παραγωγή από πυρηνικούς σταθμούς. Τέλος, η υδροηλεκτρική ενέργεια αντιπροσωπεύει ένα πολύ μικρό ποσοστό της παραγωγής και η παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μικρή.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα προέρχεται κυρίως από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας παράγεται περίπου το 50% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκέντρωση των θερμοηλεκτρικών σταθμών στο Βορρά, δημιουργεί αυξημένες απώλειες κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στα κέντρα κατανάλωσης και ανισορροπία στη λειτουργία. Ωστόσο, ο σχεδιασμός τους βασίστηκε στην εγγύτητά τους στις περιοχές που υπάρχουν πλούσια κοιτάσματα λιγνίτη, ο οποίος αποτελεί την καύσιμη ύλη για τους σταθμούς αυτούς. Σύμφωνα με στοιχεία του 2011 για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα (National Report RAE, 2012), το 66.5% της εγκατεστημένης ισχύος των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων είναι θερμικοί σταθμοί, εκ των οποίων με λιγνίτη 4930 MW, με πετρέλαιο 730 MW και με φυσικό αέριο 4597 MW. Το 19.6% είναι μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί και το 13.9% είναι μονάδες ΑΠΕ.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται εξ ολοκλήρου στη ΔΕΗ και γίνεται από θερμικούς, αλλά και υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Οι θερμικοί σταθμοί χρησιμοποιούν σαν καύσιμο Ελληνικούς λιγνίτες και πετρέλαιο. Ο λιγνίτης είναι η **σημαντική εγχώρια ενεργειακή πηγή**, συνεισφέροντας το 53.15% της εγχώριας παραγωγής για το 2011. Το φυσικό αέριο συνεισφέρει το 28.3%. Ταυτόχρονα η ανάδειξη της προστασίας του περιβάλλοντος ως στόχου υψηλής προτεραιότητας της ελληνικής πολιτείας, οδηγεί σε προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, θέτοντας ως στόχο την αύξηση συμμετοχής τους στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο 34% μέχρι το 2020. Στο ίδιο πλαίσιο δίνεται έμφαση στην επιτάχυνση της διείσδυσης του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο. Επειδή η χρονική διάρκεια ζωής των ήδη γνωστών

εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων λιγνίτη δεν υπερβαίνει τα 35 χρόνια, έχει διατυπωθεί η άποψη ότι θα πρέπει να μουν στον ελληνικό ισοζύγιο ηλεκτρισμού νέα καύσιμα, όπως ο λιθάνθρακας, ώστε να παραταθεί η διαθεσιμότητα και η χρήση του λιγνίτη σε μεγαλύτερο βάθος χρόνου (www.rae.gr).

Το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών παραγωγής κυμαινόταν στα 9200 MW περίπου το 1991, από τα οποία 8.500 MW ήταν η ισχύς των σταθμών στην Ηπειρωτική Ελλάδα, ενώ τα 700 MW η ισχύς των σταθμών στα νησιά. Οι σταθμοί της ηπειρωτικής Ελλάδας ανήκουν στο Εθνικό Διασυνδεδεμένο Δίκτυο. Σ' αυτό υπάγονται 32 θερμικοί σταθμοί συνολικής ισχύος 6.000 MW. Από αυτούς 20 είναι λιγνιτικοί, 11 πετρελαϊκοί και ένας, ο ΑΗΣ Αλιβερίου ΙΙΙ χρησιμοποιεί είτε λιγνίτη, είτε πετρέλαιο. Οι 20 λιγνιτικοί σταθμοί είναι κατανεμημένοι στα δύο μεγαλύτερα λιγνιτικά κέντρα της χώρας και συγκεκριμένα στο λιγνιτικό κέντρο Πτολεμαΐδας και στο λιγνιτικό κέντρο Μεγαλόπολης.

Το αναπτυξιακό πρόγραμμα της ΔΕΗ για τη δεκαετία του '90 είχε ως στόχο την ανάπτυξη νέων λιγνιτωρυχείων, καθώς και την αναβάθμιση των ήδη υπαρχόντων.

Η προβλεπόμενη αύξηση ζήτησης ηλεκτρικού ρεύματος κατά 3% ανά έτος έως το 2003, εκτιμήθηκε πως θα αύξανε την απαιτούμενη κατανάλωση λιγνίτη κατά 1,5% ανά έτος. Η συνολική ποσότητα λιγνίτη που καταναλώθηκε τη δεκαετία 1994-2003 ανέρχεται σε 600×10^6 τόνους, μειώνοντας έτσι και τα βεβαιωμένα αποθέματα.

Οι λιγνιτικοί σταθμοί που είχε προγραμματιστεί να ενταχθούν στο ενεργειακό πλάνο της ΔΕΗ, είναι οι εξής:

- Η V μονάδα ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, που θα τροφοδοτείται από το Ν. Πεδίο με ισχύ 300 MW.
- Η Ι μονάδα Φλώρινας, που θα τροφοδοτείται με ξυλίτη από τη Φλώρινα, με ισχύ 400MW.
- Η ΙΙΙ μονάδα Αμυνταίου-Φιλώτα, που θα τροφοδοτείται από το νέο ορυχείο Κομνηνών, με ισχύ 300 MW.

Τελικά, τα σχέδια προγραμματισμού της ΔΕΗ από το 2003 και για τα επόμενα 20 χρόνια, εκτιμώνται ως εξής:

- i. Συμμετοχή του λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό 70 %.
- ii. Αύξηση της απαιτούμενης απόδοσης από την καύση λιγνίτη κατά τα προσεχή έτη.
- iii. Αναγκαιότητα ένταξης των προαναφερόμενων νέων μονάδων. Έτσι με τη συνέχιση της λειτουργίας των ήδη υπαρχόντων μονάδων, η συνολική ισχύς θα φτάσει τα 8.000 MW και η απαίτηση σε καύσιμο λιγνίτη 100×10^6 τόνους ετησίως μετά το 2024. Αυτό θα έχει σαν συνέπεια την ελάττωση των απολήψιμων αποθεμάτων κατά 60% περίπου.
- iv. Εκμετάλλευση των κοιτασμάτων Δράμας, Ελασσόνας, Κοζάνης και των μικρότερων κοιτασμάτων στην Πτολεμαΐδα, με σκοπό την κάλυψη των απαιτήσεων των καινούριων μονάδων σε λιγνίτη (Καβουρίδης & Μιχόπουλος, 1982).

Η εγκατεστημένη ισχύς των εν λειτουργία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ήταν 2140 MW στο τέλος του 2011. Σε επίπεδο τεχνολογίας, τα αιολικά έργα επικρατούν στο σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος των έργων ΑΠΕ που βρίσκονται σε λειτουργία. Ωστόσο στα επόμενα 2 έτη αναμένεται να ενισχυθούν σημαντικά τα φωτοβολταϊκά.

2.1.5 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΟΡΙΖΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη, τα οποία επηρεάζουν την καύση του για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, προσδιορίζονται από τις παρακάτω αναλύσεις:

Προσεγγιστική ανάλυση: Περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της % υγρασίας, της % καύσιμης ύλης, του μόνιμου άνθρακα και της % τέφρας του λιγνίτη. Πιο συγκεκριμένα:

- i. Υγρασία. Βρίσκεται είτε υπό μορφή ένυδρων, είτε απορροφημένη στους πόρους. Στο λιγνίτη περιέχεται σε μεγάλο ποσοστό και γι' αυτό δημιουργεί προβλήματα, διότι μειώνει την απόδοση της καύσης.
- ii. Πτητική ύλη. Είναι τα συστατικά που απελευθερώνονται κατά τη θέρμανση σε υψηλή θερμοκρασία, απουσία αέρα, με τη μορφή αερίου. Η ύπαρξη πτητικής ύλης βοηθά την καύση, ενώ σε συνδυασμό με χαμηλή τέφρα, μειώνει τις απαιτήσεις για λεπτομερή άλεση του υλικού.
- iii. Μόνιμος άνθρακας. Αποτελεί μαζί με την πτητική ύλη το καύσιμο μέρος του λιγνίτη. Ισχύει ότι:

$$\% \text{ μόνιμος C} = 100 - \% \text{ υγρασία} - \% \text{ πτητ. ύλη} - \% \text{ τέφρα}$$

- iv. Τέφρα. Είναι το ανόργανο υπόλειμμα της καύσης των λιγνιτών και οφείλεται στα ανόργανα συστατικά που περιέχουν, αλλά και στις ενδιάμεσες στρώσεις που εξορύσσονται μαζί. Η παρουσία τέφρας αυξάνει το κόστος εξόρυξης και διακίνησης, ενώ δημιουργεί προβλήματα στους μύλους ξήρανσης. Αυξάνει την απαιτούμενη λεπτότητα άλεσης για αποδοτική καύση, απάγει θερμότητα κατά την καύση, συμπαρασύρει άκαυστο άνθρακα και προκαλεί επικαθήσεις στους κλίβανους και στους σωλήνες εναλλαγής, σε μικρό ή μεγάλο βαθμό. Επίσης επιβαρύνει το περιβάλλον, λόγω εκπομπής ιπτάμενης τέφρας και αερίων ρύπων.

Στοιχειακή ανάλυση: Περιλαμβάνει τον ποσοτικό προσδιορισμό της καύσιμης ύλης σε ολικό και οργανικό άνθρακα, άζωτο, υδρογόνο, θείο και οξυγόνο.

Ο άνθρακας και το υδρογόνο βρίσκονται σε διάφορους υδρογονάνθρακες και αποδεσμεύονται κατά την καύση του γαιάνθρακα, με τη μορφή CO_2 και H_2O . Ο άνθρακας επίσης περιέχεται και στα ανθρακικά άλατα.

Το άζωτο αποδεσμεύεται με τη μορφή NO_x και το θείο με τη μορφή SO_x , ενώ περιέχεται και στα θειούχα και θειϊκά άλατα.

Τέλος, η περιεκτικότητα σε οξυγόνο έχει την ίδια αντιθερμογόνο δράση με την τέφρα.

Ορυκτολογική και χημική ανάλυση τέφρας: Περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της σύστασης της τέφρας των λιγνιτών σε ορυκτολογικές φάσεις και στην % περιεκτικότητα της στα βασικά οξείδια, όπως SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , MgO , K_2O και SO_3 .

Υπολογισμός θερμογόνου δύναμης: Η θερμογόνος δύναμη είναι η έκφραση του θερμικού περιεχομένου του λιγνίτη, υπό μορφή εκλυόμενης θερμότητας, κατά την καύση μιας μονάδας βάρους του. Υπολογίζεται από την ανώτερη θερμογόνο δύναμη (Α.Θ.Δ.) και την κατώτερη θερμογόνο δύναμη (Κ.Θ.Δ.) Η Α.Θ.Δ. εκφράζει το ποσό της θερμότητας που εκλύεται κατά την καύση μιας μονάδας βάρους, υπό σταθερό όγκο, μέσα στο θερμιδόμετρο. Υπολογίζεται σε kcal/kg ή σε Btu/lb . Η Κ.Θ.Δ. υπολογίζεται αφαιρώντας από την Α.Θ.Δ. τη λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης των υδρατμών, που παράγονται κατά την καύση του H_2 , που είναι ενωμένο με C σε υδρογονάνθρακες. Έχει βιομηχανική σημασία, διότι οι υδρατμοί απομακρύνονται από τους λέβητες χωρίς να υγροποιηθούν (Αγριδιώτης, 1998).

2.2 ΤΕΦΡΑ

Η τέφρα ορίζεται ως το λεπτό διαμερισμένο υπόλοιπο προερχόμενο από την καύση. Σημαντικές ποσότητες τέφρας παράγονται από τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας, οι οποίοι χρησιμοποιούν στερεά καύσιμα, όπως ο λιγνίτης και ο ανθρακίτης. Η τέφρα αυτή χωρίζεται γενικά σε δύο κατηγορίες:

- Στην Τέφρα Βάσης ή Υγρή Τέφρα (bottom ή wet ash), που αποτελείται από συσσωματώματα άκαυστου καυσίμου και ανόργανα υπολείμματα της καύσης που καταπίπτουν στην τεφρολεκάνη κάτω από την εστία.
- Στην Ιπτάμενη Τέφρα (fly ash), που αποτελείται από τα υπολείμματα της καύσης που συμπαρασύρονται από τα καυσαέρια. Η Ιπτάμενη Τέφρα κατακρατείται σε πολύ μεγάλο ποσοστό, έως και πάνω από 99%, από τις συσκευές κατακράτησης σωματιδίων.

Τα στερεά σωματίδια που διαφεύγουν από τα φίλτρα και εκπέμπονται από τις καπνοδόχους στο περιβάλλον αποτελούν την τέφρα καπναερίων, η οποία αποτελεί ένα μικρό κλάσμα της παραγόμενης Ιπτάμενης Τέφρας. Η Ιπτάμενη Τέφρα και η Τέφρα Βάσης συλλέγονται κατά την παραγωγή και οδηγούνται με μεταφορικές ταινίες στα εξαντλημένα ορυχεία, όπου χρησιμοποιούνται ως υλικό πλήρωσης, ή απορρίπτονται στις καθορισμένες περιοχές των αποθέσεων. Συχνά, με τη βοήθεια των ανέμων συμπαρασύρονται σωματίδια τέφρας από το χώρο των αποθέσεων και διαχέονται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Συνεπώς, τα αιωρούμενα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας προέρχονται από δύο πηγές:

- α) την τέφρα καπναερίων, που αποτελεί την κύρια πηγή
- β) τις αποθέσεις, τα εξαντλημένα ορυχεία και τις ανοιχτές μεταφορικές ταινίες, που συμμετέχουν στη διασπορά αιωρούμενων σωματιδίων με πολύ μικρότερο ποσοστό.

Η λεπτομερής γνώση της σύστασης της τέφρας είναι ιδιαίτερα σημαντική από άποψης βασικής και εφαρμοσμένης έρευνας. Η μελέτη της σύστασης και των χαρακτηριστικών της Ιπτάμενης Τέφρας συμβάλει στα ακόλουθα αντικείμενα:

- Καθορισμός του περιεχομένου, της τάσης συγκέντρωσης ή εξάντλησης, της διαταραχής και της μετανάστευσης των στοιχείων που περιέχονται στην Ιπτάμενη Τέφρα.
- Καθορισμό της επίδρασης των στοιχείων, των ορυκτών και των φάσεων που περιέχονται στο καύσιμο στην Ιπτάμενη Τέφρα.
- Καθορισμό της συμπεριφοράς των οργανικών και ανόργανων συστατικών κατά τη διάρκεια της καύσης.
- Ερμηνεία του μηχανισμού σχηματισμού Ιπτάμενης Τέφρας.
- Χαρακτηρισμό των ιδιοτήτων της ιπτάμενης τέφρας και των οικονομικά αξιοποιήσιμων ή περιβαλλοντικά επικίνδυνων συστατικών που περιέχει.
- Αναγνώριση, καθορισμό και κατηγοριοποίηση των διάφορων τύπων ιπτάμενης τέφρας.
- Πρόβλεψη, αποσαφήνιση, μείωση ή εξάλειψη των διάφορων τεχνολογικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από την ιπτάμενη τέφρα (Πέππα, 2008).

2.2.1 ΥΓΡΗ ΤΕΦΡΑ

Για να δώσουμε μια απλή και κατανοητή ερμηνεία στον όρο «υγρή τέφρα», θα πρέπει να αναφερθούν μερικά στοιχεία και πληροφορίες σχετικά με την καύση του λιγνίτη στους ατμολέβητες της ΔΕΗ. Αρχικά, για να καεί ο λιγνίτης θα πρέπει να προηγηθεί λειοτρίβηση και ξήρανση. Αργότερα, στις εστίες των λεβητών γίνεται η καύση του λιγνίτη σε περίσσεια ατμοσφαιρικού αέρα και τα προϊόντα της καύσης ακολουθούν ανοδική πορεία, καθώς από το πάνω μέρος του λέβητα γίνεται αναρρόφηση με τους ανεμιστήρες ελκυσμού.

Ένα μέρος του προς καύση κονιοποιημένου λιγνίτη δεν προλαβαίνει να καεί. Επίσης, μέρος των αδρανών συστατικών, λόγω βάρους, δεν συμπαρασύρεται από τα καυσαέρια. Όλα τα παραπάνω κατευθύνονται προς το κάτω μέρος του λέβητα και συγκεντρώνονται σε μια τεφρολεκάνη (ειδική μεταλλική δεξαμενή), η οποία περιέχει νερό θερμοκρασίας 60°C. Εκεί αποπυρακτώνονται και στη συνέχεια παραλαμβάνονται με αλυσοταινία και μεταφέρονται σε “silos”. Το υλικό που συγκεντρώνεται στα silos ονομάζεται «υγρή τέφρα» και συνήθως αποτελεί το 1 με 2 % της ποσότητας του λιγνίτη που καίγεται στους λέβητες (Καβουρίδης & Μιχόπουλος, 1982).

2.2.1.1 ΣΥΣΤΑΣΗ ΥΓΡΗΣ ΤΕΦΡΑΣ

Η υγρασία της υγρής τέφρας προέρχεται από την προσρόφηση μέρους του νερού, που χρησιμοποιείται για την αποπυράκτωση της.

Σχετικά με το είδος της υγρασίας, μπορούμε να δεχθούμε ότι ένα μέρος είναι «δεσμευμένη υγρασία» και ένα άλλο ποσοστό «μη δεσμευμένη».

Το μεγαλύτερο ποσοστό των αδρανών συστατικών της υγρής τέφρας είναι εξωτερική τέφρα. Η εξωτερική τέφρα προφανώς οφείλεται στην αποδέσμευση των στείρων, που προέρχεται από τη λειοτρίβηση του λιγνίτη, για να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.

Η υγρή τέφρα περιέχει ανόργανα συστατικά, καθώς και καύσιμη ύλη, η οποία έχει παραμείνει μετά τη μερική καύση του λιγνίτη. Για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των ανόργανων συστατικών κατά την καύση, πρέπει να έχουμε λεπτομερείς πληροφορίες για την ποσότητα, το μέγεθος και τη σύνδεση των ανόργανων κόκκων με τον άνθρακα. Η σύνδεση τους με το ανθρακικό περίβλημα πρέπει να είναι καθορισμένη και ταξινομημένη.

Τα ανόργανα συστατικά του λιγνίτη υφίστανται πολλές χημικές και φυσικές μεταμορφώσεις κατά τη διάρκεια της καύσης, για να παράγουν ενδιάμεσα είδη τέφρας, που αποτελούνται από αέρια, υγρά και στερεά. Η κατανομή των ανόργανων συστατικών κατά την καύση για την παραγωγή τέφρας, εξαρτάται από τη σύνδεση, τις φυσικές και τις χημικές ιδιότητες των μορίων του άνθρακα, καθώς και από τις συνθήκες της καύσης.

Για την πρόβλεψη των επιπτώσεων των ανόργανων συστατικών στα συστήματα καύσης, πρέπει να διευκρινίζονται οι μηχανισμοί από τους οποίους καθορίζονται το μέγεθος των κόκκων και η σύσταση της ενδιάμεσης τέφρας. Το μέγεθος των κόκκων και η σύσταση αυτής της τέφρας επιδρούν άμεσα στη σκωρία και τη μόλυνση στα συστήματα καύσης (Νικολάου, 1997).

2.2.2 Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΤΕΦΡΑ

Όπως προαναφέραμε και στην εισαγωγή, στην εποχή μας είναι αναγκαία η εξεύρεση νέων πηγών ενέργειας, εξαιτίας της μείωσης των γνωστών αποθεμάτων λιγνίτη που υπάρχουν αυτή τη στιγμή στη χώρα μας, τα οποία και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Άλλες πηγές ενέργειας όπως το φυσικό αέριο, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί, καθώς και η εισαγωγή πετρελαίου από το εξωτερικό, μάλλον δεν θα αλλάξουν την κατάσταση που υπάρχει αυτή τη στιγμή, όσον αφορά στα αποθέματα λιγνίτη. Δεδομένου επίσης ότι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί, όπως αυτός στη Μεγαλόπολη, σταματούν ή θα σταματήσουν τη λειτουργία τους λόγω εξόφλησης των

κοιτασμάτων τους, θεωρείται επιβεβλημένη η ανάγκη για μελέτες με σκοπό την εξασφάλιση των αποθεμάτων λιγνίτη, που θα καλύψουν τις άμεσες ανάγκες μας, έως ότου βρεθεί τρόπος για την έρευνα και τον εντοπισμό νέων κοιτασμάτων.

Η μελέτη για την ανάκτηση του λιγνίτη από την υγρή τέφρα με τη βαρυτομετρική μέθοδο θα επιτρέψει την παραγωγή καυσίμου με χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα και τελικά θα είναι ένα προϊόν που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ειδικές εξωηλεκτρικές χρήσεις. Με αυτόν τον τρόπο θα έχει αξιοποιηθεί ουσιαστικά ένα απόρριμμα, ενώ – έμμεσα – θα έχει γίνει μια προσπάθεια για την αύξηση των διαθέσιμων αποθεμάτων πηγών ενέργειας.

2.3 ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΤΕΦΡΑ

2.3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΤΟΥ

Οι φυσικές ιδιότητες, καθώς και η μακροσκοπική ανάλυση του δείγματος του λιγνίτη είναι τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την ανάκτηση του. Το χρώμα του, η υφή του, η οπτική προσέγγιση της ορυκτολογικής και χημικής σύστασης του, το ειδικό βάρος, η σκληρότητα του κ.λ.π. δίνουν τις αρχικές πληροφορίες για την κατάρτιση της πορείας των εργαστηριακών αναλύσεων, που πρέπει να ακολουθηθούν στη συνέχεια.

Από τις διάφορες φυσικές ιδιότητες, εκείνη που υπεισέρχεται και είναι καθοριστική για την απόδοση του βαρυτομετρικού διαχωρισμού, είναι το ειδικό βάρος και συγκεκριμένα η διαφορά στην τιμή ειδικού βάρους μεταξύ λιγνίτη και στείρου υλικού. Η γνώση επίσης του ειδικού βάρους είναι απαραίτητη για την επιλογή του εύρους, αλλά και της διαφοράς των πυκνοτήτων των βαρέων υγρών που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια, για τη βαρυτομετρική ανάλυση (Νικολάου, 1997).

2.3.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΜΕ ΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ – ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ

Η ανάκτηση του λιγνίτη πραγματοποιείται με τις διάφορες μεθόδους εμπλουτισμού, με το διαχωρισμό του δηλαδή και την απομάκρυνση ανεπιθύμητων συστατικών από το κυρίως μετάλλευμα ή ορυκτό. Οι μέθοδοι εμπλουτισμού στηρίζονται στις φυσικές ή /και χημικές ιδιότητες των ορυκτών και εφαρμόζονται με τη βοήθεια κατάλληλα σχεδιασμένων μηχανών, που εκμεταλλεύονται τη φυσική ή τεχνητή διαφοροποίηση κάποιων από αυτές τις φυσικοχημικές ιδιότητες, μεταξύ χρήσιμου και απορριπτόμενου συστατικού.

Οι κυριότερες εκμεταλλεύσιμες ιδιότητες των ορυκτών στον εμπλουτισμό είναι η λάμψη, το χρώμα, η πυκνότητα, η αγωγιμότητα, η μαγνητική διαπερατότητα, η χημική σύσταση, το μέγεθος, το σχήμα κ.λ.π.

Οι φυσικές μέθοδοι εμπλουτισμού του λιγνίτη στηρίζονται κυρίως στη διαφορετική πυκνότητα, στο διαφορετικό μέγεθος κόκκων, καθώς και στη διαφορετική κίνηση τεμαχίων μέσα σε ρευστά, που παρουσιάζουν η οργανική ύλη και τα ορυκτά της ανόργανης ύλης (Γκουτζαμάνη, 1994).

2.3.3 Ο ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΑΝ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΤΕΦΡΑ

Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται στο διαχωρισμό του λιγνίτη από την υγρή τέφρα, με βάση τα διαφορετικά τους ειδικά βάρη, με τη βοήθεια μιας σειράς βαρέων υγρών, με προοδευτικά αυξανόμενη πυκνότητα. Με αυτόν τον τρόπο, το αρχικό δείγμα διαχωρίζεται σε κλάσματα βάρους που αντιστοιχούν σε διαφορετικά ειδικά βάρη. Τα κλάσματα αυτά ζυγίζονται και αναλύονται. Τα αποτελέσματα των ζυγίσεων και αναλύσεων εκφράζονται σε εκατοστιαία βάση και στη συνέχεια κατασκευάζονται οι καμπύλες εμπλουτισιμότητας. Αυτές επιτρέπουν την εξαγωγή συμπερασμάτων, τόσο για τις δυνατότητες εμπλουτισμού, όσο και για την ανάκτηση του λιγνίτη.

Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου γίνεται κατά κανόνα σε μια σειρά από κοκκομετρικές ομάδες. Το μέγιστο μέγεθος κόκκου, καθεμιάς, καθορίζεται από την έναρξη μιας μακροσκοπικά διαπιστούμενης αποδέσμευσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, για το διαχωρισμό του υλικού εφαρμόζεται η φυγοκέντρωση, λόγω της μικρής ταχύτητας καταβύθισης. Η διαδικασία ξεκινά από το μικρότερο ειδικό βάρος προς το μεγαλύτερο.

Τα βαρέα υγρά που χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό έχουν συνήθως πυκνότητες μεταξύ 1,2 και 2,0 gr/cm³. Τα βαρέα υγρά πρέπει: i) να είναι φθηνά ii) να μη διασπώνται iii) να είναι χημικά αδρανή iv) να διαχωρίζονται σχετικά εύκολα από το γαιάνθρακα v) να έχουν μικρό ιξώδες, ώστε να μη δημιουργούνται προβλήματα συσσωμάτωσης.

Τα όρια του μεγέθους των τεμαχίων που μπορούν να διαχωριστούν με βαριά υγρά, για τα αδρομερή εξαρτώνται από το διαθέσιμο βαρύ υγρό, ενώ για τα λεπτομερή από την ταχύτητα καταβύθισης, η οποία, όταν είναι μικρή, απαιτεί την εφαρμογή φυγοκέντρωσης.

Δεν είναι πολλά τα διαθέσιμα στοιχεία παγκοσμίως για την περίπτωση γαιανθράκων χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης. Μελέτες που έγιναν σε γαιάνθρακες από το Τέξας και τη Μ. Βρετανία έδωσαν διαφορετικά αποτελέσματα για κάθε περιοχή, όσον αφορά στη μείωση της τέφρας, στην αύξηση της

θερμογόνου δύναμης και στη μείωση του θείου. Χαρακτηριστική για τους Ελληνικούς γαιάνθρακες είναι η εργασία των Σταμπολιάδη & Νικολάου (2000), που μελέτησαν τον εμπλουτισμό Λιγνίτη από την περιοχή της Μεγαλόπολης με τη μέθοδο των βαρέων διαμέσων.

Στη χώρα μας, στην αρχή της δεκαετίας του '80, εργαστηριακές δοκιμές που εκτελέστηκαν στο ΛΚΠ-Α, απέδειξαν τη δυνατότητα εμπλουτισμού του λιγνίτη με την εφαρμογή των βαρέων υγρών. Τα αποτελέσματα οδήγησαν σε υψηλό ποσοστό ανάκτησης και καλή ποιότητα εμπλουτίσματος. Το 1996 εκτελέστηκαν δοκιμές σε ημιβιομηχανική κλίμακα, σε διαχωριστή TRIFLO, με πρώτη ύλη το παραγόμενο προϊόν εκμετάλλευσης των λιγνιτωρυχείων Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου και με σκοπό να επανελεγχτεί η εμπλουτισσιμότητα του λιγνίτη και η καταγραφή όλων των σχετικών πρωτογενών στοιχείων, προκειμένου να εκτιμηθούν τα κοστολογικά και περιβαλλοντικά στοιχεία από τη χρησιμοποίηση του εμπλουτισμένου λιγνίτη ως κύριου καυσίμου τροφοδοσίας των θερμοηλεκτρικών μονάδων (Γκουτζαμάνη, 1994).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΓΡΗΣ ΤΕΦΡΑΣ

Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκιμές αυτής της εργασίας προέκυψαν από την ανάμειξη σειράς δειγμάτων, που πάρθηκαν σε διαφορετικές ημερομηνίες, κατά τον Απρίλιο 1996, από το ορυχείο της Καρδιάς. Έτσι για όλες τις δοκιμές και αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν το δείγμα ήταν κοινό, λογικά λοιπόν αντιπροσώπευε το μέσο δείγμα της υγρής τέφρας που παράγεται από τον παραπάνω Α.Η.Σ.

Οι μετρήσεις και οι δοκιμές, που έγιναν, αναφέρονται όλες σε δείγμα επί ξηρού. Αυτό έγινε, για να διασφαλιστεί η καλύτερη διερεύνηση των φαινομένων που υπεισέρχονται στον υπόψη διαχωρισμό.

3.2 ΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Το αρχικό δείγμα απλώθηκε σε μια μεγάλη επιφάνεια και αεροξηράνθηκε για κάποιες ημέρες, διότι ήταν πολύ υγρό. Αφού στέγνωσε, ακολουθήθηκε η πειραματική διαδικασία, η οποία περιελάμβανε τα εξής στάδια :

- Λήψη αρχικών αντιπροσωπευτικών δειγμάτων
- Θραύση και κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων
- Δοκιμές βαρυτομετρικού διαχωρισμού
- Ποιοτικές αναλύσεις

3.2.1 ΛΗΨΗ ΑΡΧΙΚΩΝ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Στη φάση της δειγματοληψίας, το δείγμα τοποθετείται πάνω σε ένα μεγάλο καθαρό επίπεδο, με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζεται ένας σωρός σχήματος κώνου. Με τη βοήθεια ενός φτυαριού λαμβάνονται ισόποσα δείγματα υλικού από διαφορετικά σημεία του κώνου και τοποθετούνται σε άλλο σημείο του δαπέδου, με σκοπό τη δημιουργία νέου κώνου υλικού. Αυτή η μετακίνηση, εξασφαλίζει την καλύτερη ανάμειξη του υλικού. Όταν τελειώσει η διαδικασία, ακολουθεί ο

σχηματισμός μιας λωρίδας υλικού, με μήκος που εξαρτάται από την ποσότητα του δείγματος. Ξεκινώντας από το μέσο της λωρίδας γίνεται νέα λήψη του υλικού, με σκοπό τη δημιουργία νέου (τελευταίου) κώνου. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται πλήρης ανάμιξη του υλικού και έτσι με το νέο σωρό που δημιουργήθηκε, είναι δυνατή η λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων.

Μετά την ανάμιξη του υλικού, γίνεται τεταρτόμηση του κώνου, χρησιμοποιώντας κατάλληλη λεπίδα δειγματοληψίας. Έτσι, ο κώνος χωρίζεται σε τέσσερα τεταρτημόρια, από τα οποία λαμβάνονται δύο απέναντι και συγχωνεύονται. Τα εναπομείναντα τμήματα αποτελούν το υπόλοιπο αντιπροσωπευτικό του δείγματος, το οποίο χρησιμοποιείται για τις αρχικές αναλύσεις του υλικού.

3.2.2 ΘΡΑΥΣΗ ΚΑΙ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Η πρωτογενής θραύση του υλικού έγινε με τη χρήση εργαστηριακού σιαγονωτού σπαστήρα τύπου Blake του κατασκευαστικού οίκου FRITSCH μοντέλου pulverisette 01.703. Ο συγκεκριμένος σπαστήρας αποτελείται από μια ακίνητη κατακόρυφη επιφάνεια και από μια κινούμενη επιφάνεια, ακριβώς απέναντι της. Η κίνηση της δεύτερης επιφάνειας, μέσω του έκκεντρου, συνθλίβει τα τεμάχια του υλικού μεταξύ δύο επιφανειών, που λειτουργούν σαν σιαγόνες. Η επιλογή της τελικής κοκκομετρίας του σπασμένου υλικού γίνεται μέσω της κινούμενης σιαγόνας και της ρύθμισης του ανοίγματος εξόδου του υλικού. Η τελική κοκκομετρία κυμαίνεται από 2 έως 15 χιλιοστά. Στην παρούσα εργασία ήταν τα 4 χιλιοστά.

Μετά τη θραύση, ακολούθησε η κοκκομετρική ανάλυση. Η έννοια «κοκκομετρική ανάλυση» αναφέρεται, γενικά, στην κατανομή μάζας των τεμαχίων, που υπάρχουν μέσα σε ένα θραυσμένο υλικό, μεταξύ προκαθορισμένου μεγέθους κοσκίνων.

Η κοκκομετρική ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε μία δονούμενη μηχανή κοσκίνησης του κατασκευαστικού οίκου Retsch μοντέλου VE 1000, στην οποία χρησιμοποιούνται κόσκινα τυποποιημένων κατασκευαστικών παραμέτρων, κατά ASTM. Η δόνηση της συσκευής είναι τρισδιάστατη, ενώ υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συχνότητας (max 100RPM) και χρονικής διάρκειας δόνησης (max 1 hr).

Η σειρά των κόσκινων που χρησιμοποιούνται, ακολουθεί μια γεωμετρική πρόοδο, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$X_{r-1} = q \times X_r$$

όπου X = η διάσταση οπής του κόσκινου, $q = 2^{1/4}$, ή $2^{1/2}$, ή 2.

Τα κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν διαστάσεων 4.00, 2.80, 2.00, 1.00 και 0.50 mm (και η βάση), τοποθετημένα σε σειρά το ένα πάνω από το άλλο, ξεκινώντας από την κορυφή με το κόσκινο των 4.00 mm.

Λόγω της μικρής χωρητικότητας των κόσκινων και της πιθανής τους τύφλωσης, εξ' αιτίας της υγρασίας και των θραυσμάτων του λιγνίτη, γινόταν κάθε φορά κοσκίνιση μικρής ποσότητας, με μέσο χρόνο διάρκειας 15 λεπτών και συχνότητας 100Hz. Τα πέντε κλάσματα που δημιουργήθηκαν ζυγίστηκαν, ώστε να υπολογιστούν τα ποσοστά % του βάρους τους.

3.2.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Τα βαριά υγρά που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη αυτή ήταν μίγμα τετραχλωράνθρακα – ισοπροπανόλης, με διαφορετικές σε κάθε περίπτωση αναλογίες. Οι αναλογίες αυτές υπολογίστηκαν από τη σχέση:

$$\alpha \times A + \beta \times B = \gamma \times \Gamma$$

όπου: α = ειδικό βάρος τετραχλωράνθρακα (1,59 gr/cm³)

β = ειδικό βάρος ισοπροπανόλης (0,87 gr/cm³)

γ = ειδικό βάρος υγρού που προέκυψε από την ανάμειξη

A = όγκος τετραχλωράνθρακα σε cm³

B = όγκος ισοπροπανόλης σε cm³

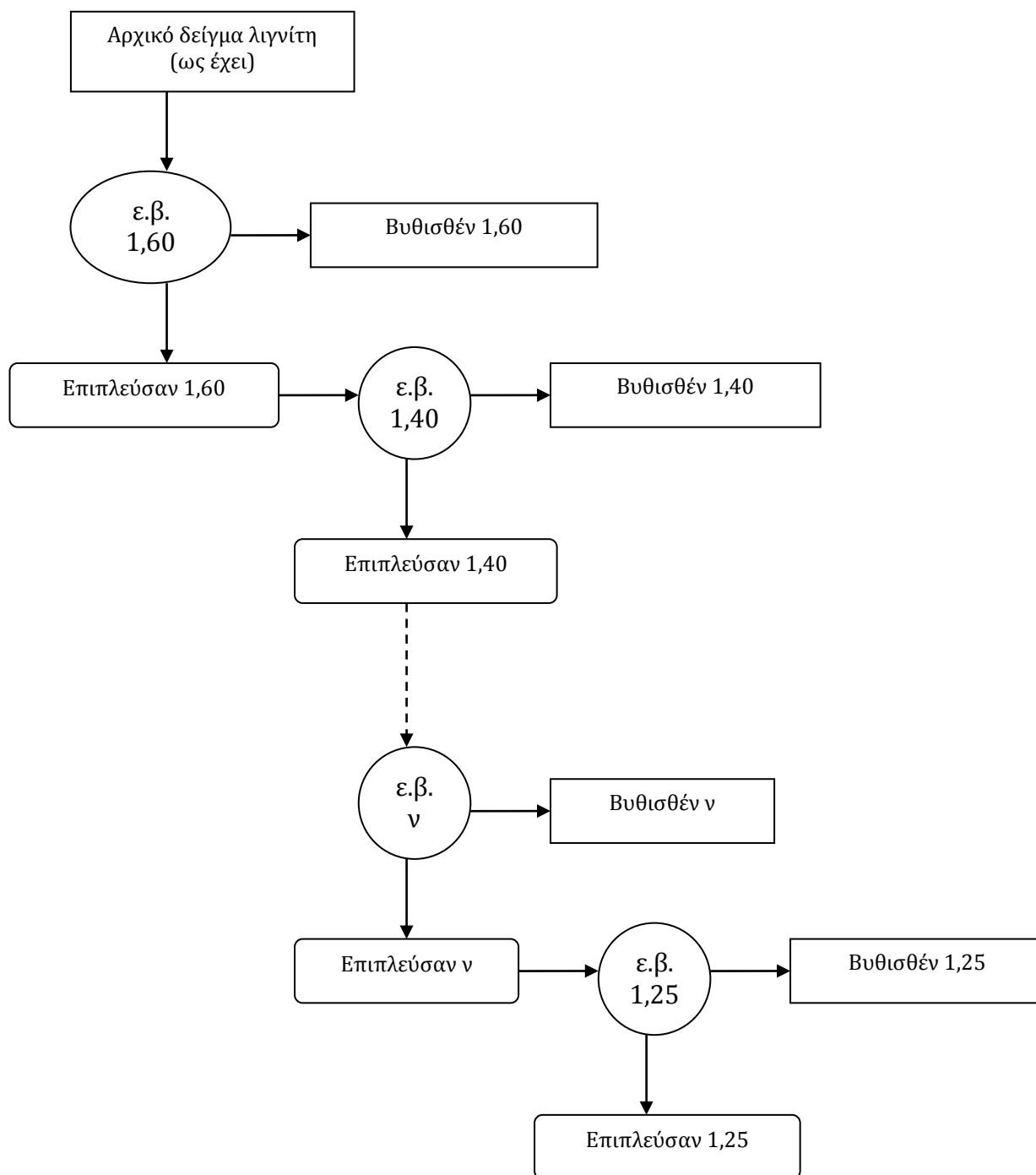
Γ = όγκος μίγματος σε cm³

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για το βαρυτομετρικό διαχωρισμό είναι η μέθοδος της φυγοκέντρωσης. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε, για το βαρυτομετρικό διαχωρισμό κάθε κλάσματος που προέκυψε από την κοκκομετρική ανάλυση, ήταν η εξής:

- Ζυγίστηκαν στον αναλυτικό ζυγό 3 gr περίπου υλικού, για κάθε φυγοκεντρικό υποδοχέα.
- Προστέθηκαν τόσα ml από το βαρύτερο υγρό σε κάθε υποδοχέα, όσα χρειάστηκαν για να γεμίσουν τα 2/3 του.
- Οι υποδοχείς τοποθετήθηκαν στη φυγόκεντρο, αφού ζυγοσταθμίστηκαν ανά δύο οι αντιδιαμετρικά αντίθετοι.
- Η φυγόκεντρος ρυθμίστηκε στις 3.000 rpm για 20 λεπτά και ξεκίνησε η φυγοκέντρωση.
- Συλλέχτηκε από κάθε υποδοχέα το υλικό που επέπλευσε (με τη σπάτουλα το χονδρόκοκκο, με την πιπέτα το λεπτόκοκκο), προσέχοντας να μην απομακρυνθεί το υλικό που καταβυθίστηκε.
- Η όλη διαδικασία επαναλήφθηκε μέχρι να τελειώσει όλο το διαθέσιμο υλικό.
- Το επιπλέον υλικό επανατοποθετήθηκε, όπως και προηγουμένως, στους υποδοχείς της φυγοκέντρου, οι οποίοι γεμίστηκαν κατά τα 2/3 με ελαφρύτερο υγρό και ξανάγινε φυγοκέντρωση.
- Μόλις ολοκληρώθηκε και η τελευταία φυγοκέντρωση του υλικού με το πλέον βαρύτερο υγρό, τα προϊόντα τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα. Μετά από ξήρανση του στους 110°C, έγινε ο προσδιορισμός της υγρασίας. Μετά από καύση στους 780°C, έγινε ο προσδιορισμός της τέφρας και κατασκευάστηκαν οι απαραίτητοι πίνακες.

Το τελευταίο πείραμα που έγινε, ήταν ο διαχωρισμός του δείγματος με την ως έχει κοκκομετρία του. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η ίδια με την προαναφερθείσα και η μόνη διαφορά που υπήρχε ήταν ότι το δείγμα δεν είχε χωριστεί σε κλάσματα, αλλά τα κλάσματα συνυπήρχαν όλα, στο δείγμα που χρησιμοποιήθηκε κατά τη φυγοκέντρωση. Το τελικό ελαφρύ υλικό που λήφθηκε αντιστοιχούσε στο ειδικό βάρος 1,60.

Στο παρακάτω διάγραμμα ροής (Σχήμα 3.1), φαίνεται η διαδικασία ανάλυσης με βαρέα υγρά, για την ως έχει κοκκομετρία λιγνίτη.



Σχήμα 3.1. Διαδικασία ανάλυσης με βαρέα υγρά για το αρχικό δείγμα λιγνίτη ως έχει.

3.2.4 ΠΟΙΟΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Υγρασία

Ο προσδιορισμός της υγρασίας (όπου χρειάστηκε) έγινε κατά ASTM, σε λειοτριβημένα δείγματα, μεγέθους –250 μm. Η λειοτριβήση πραγματοποιήθηκε σε πλανητικό μύλο και το λειοτριβημένο υλικό, αφού ζυγίστηκε, τοποθετήθηκε σε κάψες γνωστού βάρους και θερμάνθηκε στους 110 °C μέχρι σταθερής απώλειας βάρους. Αφού εξισορροπήθηκαν οι θερμοκρασίες μεταξύ κάψας και ατμόσφαιρας, προσέχοντας να μην επανακτηθεί ποσό υγρασίας στο δείγμα του λιγνίτη, ζυγίστηκε η κάθε κάψα και υπολογίστηκε το επί % ποσοστό της υγρασίας ως εξής:

$$\text{ΥΓΡΑΣΙΑ \%} = (\Delta - \delta_1) \times 100 / \Delta$$

όπου : Δ (gr) το βάρος του λιγνίτη ως έχει, πριν την ξήρανση

δ₁ (gr) το βάρος του λιγνίτη μετά την ξήρανση

Τέφρα

Ο υπολογισμός της τέφρας του λιγνίτη έγινε κατά ASTM, σε λειοτριβημένα δείγματα, μεγέθους –250 μm. Το λειοτριβημένο υλικό αφού ζυγίστηκε, τοποθετήθηκε σε κάψες γνωστού βάρους και θερμάνθηκε στους 780 °C για 2 ώρες. Μετά την καύση του δείγματος, η κάψα ζυγίστηκε και υπολογίστηκε το ποσοστό της περιεχόμενης τέφρας ως εξής:

$$\text{ΤΕΦΡΑ ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ \%} = (\delta_2 / \Delta) \times 100$$

όπου : Δ (gr) το βάρος του δείγματος πριν την καύση

δ₂ (gr) το βάρος του δείγματος μετά την καύση

Το ποσοστό % της τέφρας ως έχει στα δείγματα λιγνίτη προκύπτει από την εξίσωση:

$$\text{ΤΕΦΡΑ ΩΣ ΕΧΕΙ \%} = [100 - \text{ΥΓΡΑΣΙΑ \%}] \times \text{ΤΕΦΡΑ (ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ)} \times 0,01$$

Καύσιμη Ύλη

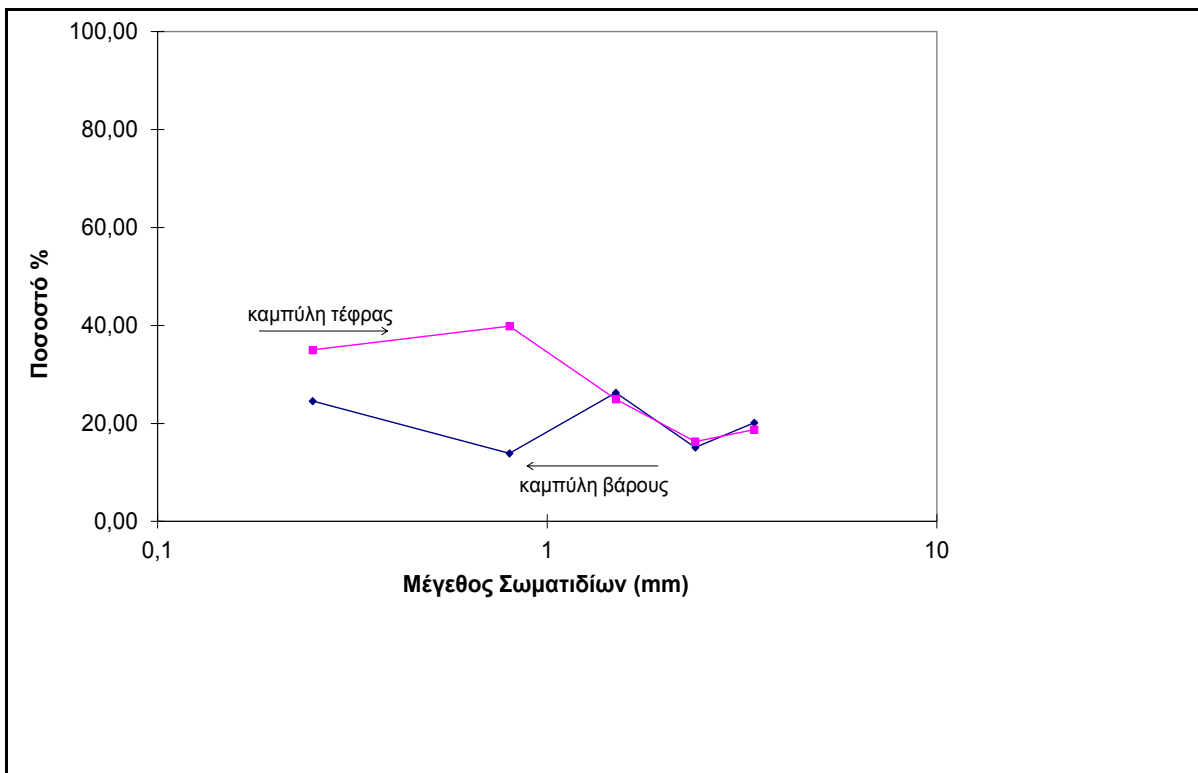
Καύσιμη ύλη καλείται το άθροισμα των πτητικών συστατικών και του μόνιμου άνθρακα του λιγνίτη και υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$\text{ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ \%} = 100 - \text{ΥΓΡΑΣΙΑ \%} - \text{ΤΕΦΡΑ ΩΣ ΕΧΕΙ \%}$$

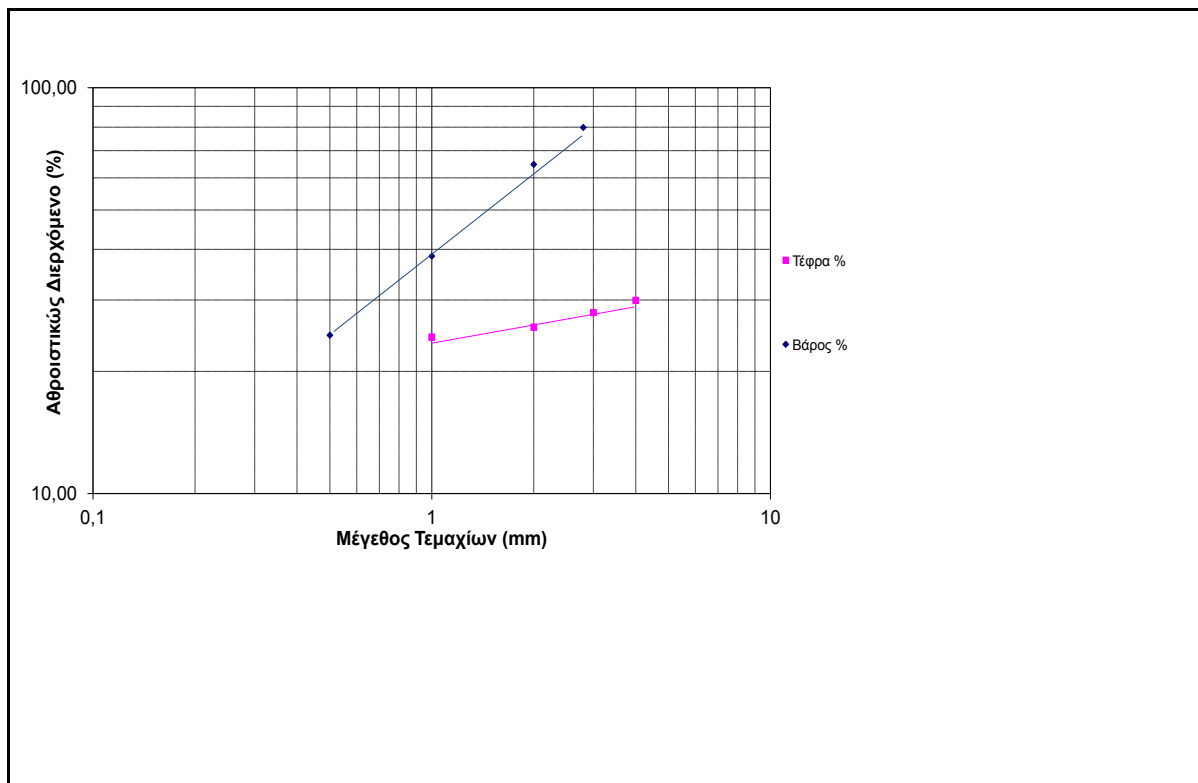
Στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί, δίνονται τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης του χρησιμοποιηθέντος αρχικού δείγματος. Από τις μετρήσεις αυτές, κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα 3.1 και 3.2. Το διάγραμμα 3.1 δείχνει την κατανομή του βάρους και της τέφρας, συναρτήσει του μεγέθους των κόκκων. Το διάγραμμα 3.2 δείχνει την κατανομή του αθροιστικώς διερχομένου βάρους και της αθροιστικώς διερχόμενης τέφρας, συναρτήσει των τεμαχιδίων και ακολουθεί κατανομή GATES – GAUDIN – SCHUMAN (GGS).

Πίνακας 3.1. Αποτελέσματα κοκκομετρικής και προσεγγιστικής ανάλυσης του αρχικού δείγματος λιγνίτη (επί ξηρού).

Κοκκομετρικό	Μέσο	Βάρος	Τέφρα	Καύσιμη	Μονάδες	Κατανομή	Μέγεθος	Αθροιστικό	Αθροιστική διερχόμενη	Αθροιστικές Μονάδες Τέφρας	Αθροιστική	Αθροιστική
Κλάσμα	Μέγεθος			Υψη	Τέφρας	Τέφρας	(mm)	Βάρος	Τέφρα		Τέφρα	Κατανομή τέφρας
(mm)	(mm)	(%)	(%)	(%)		(%)		(% διερχ.)	(%)	(% διερχ.)	(%) (του διερχόμενου υλικού)	(%) (του διερχόμενου υλικού)
-4,00 +2,80	3,4	20,16	18,74	81,26	3,78	14,02	2,80	79,84	24,32	23,17	29,01	85,98
-2,80 +2,00	2,4	15,10	16,32	83,69	2,46	9,14	2,00	64,74	25,73	20,70	31,98	76,83
-2,00 +1,00	1,5	26,27	24,97	75,03	6,56	24,35	1,00	38,47	27,92	14,14	36,76	52,49
-1,00 +0,50	0,8	13,90	39,87	60,13	5,54	20,57	0,50	24,57	29,94	8,60	35,00	31,92
-0,50 + βάση	0,25	24,57	35,00	65,00	8,60	31,92						
Σύνολο		100			26,94	100						



Διάγραμμα 3.1. Κατανομή βάρους – τέφρας (επί ξηρού), συναρτήσει του μέσου μεγέθους κόκκων.



Διάγραμμα 3.2. Κατανομή GGS αθροιστικώς διερχομένου βάρους – τέφρας (%), συναρτήσει του μεγέθους των τεμαχίων.

Στοιχειακή Ανάλυση

Η στοιχειακή ανάλυση περιλαμβάνει τον υπολογισμό της περιεκτικότητας % σε στοιχειακό άνθρακα (C), άζωτο (N_2) και υδρογόνο (H_2) και έγινε με τη χρήση του στοιχειακού αναλυτή CHN-600 της εταιρίας LECO. Τα ποσοστά άνθρακα, υδρογόνου και οξυγόνου προσδιορίστηκαν κατά την καύση προκαθορισμένης ποσότητας δείγματος 100 – 200 mg, σε καθαρό οξυγόνο, στους 950°C.

Τα προϊόντα της καύσης του δείγματος είναι διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), υδρατμοί [$(H_2O)_v$], οξείδια του αζώτου (NO_x), στοιχειακό άζωτο (N_2) και οξείδια του θείου (SO_x).

Πριν την καύση του δείγματος, πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές καύσεις σε τυποποιημένα δείγματα κατά ASTM, για να διαπιστωθεί αν υπάρχει απόκλιση από τις γνωστές τιμές περιεκτικότητας σε C, N_2 , H_2 .

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έγιναν σε ηλεκτρονικό επεξεργαστή και παρουσιάζονται σαν ποσοστά επί % στοιχειακού άνθρακα, υδρογόνου και αζώτου. Οι μετρήσεις έγιναν σε ξηρά δείγματα και τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν το υδρογόνο που περιέχεται στην οργανική και ανόργανη ύλη, το ποσοστό του αζώτου, καθώς και τα ποσοστά οργανικού και ανόργανου άνθρακα που περιέχονται στο δείγμα.

Προσδιορισμός Θείου

Ο υπολογισμός του ανόργανου και του οργανικού θείου, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του επαγωγικού φούρνου και του αυτόματου αναλυτή θείου. Στον επαγωγικό φούρνο έγινε καθαρισμός του οξυγόνου από την υγρασία και τις ενώσεις του θείου, ενώ στον αυτόματο αναλυτή θείου S 532-500, έγινε ογκομέτρηση του δείγματος, με τη βοήθεια ηλεκτρονικού κυκλώματος, με σκοπό τον τελικό υπολογισμό της % περιεκτικότητας σε συνολικό θείο του δείγματος.

Προσδιορισμός Θερμογόνου Δύναμης

Ο προσδιορισμός της Ανωτέρου Θερμογόνου Δύναμης έγινε στα εργαστήρια του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου, στη συσκευή αυτόματου θερμιδόμετρου τύπου AC-300 της LECO.

Η θερμογόνος δύναμη εκφράζει τη θερμότητα που χρειάζεται για την καύση 1 g της ουσίας που αναλύεται. Οι μετρήσεις έγιναν σε ξηρά δείγματα γνωστής περιεκτικότητας σε C, H₂, N₂, S. Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν την Α.Θ.Δ. επί ξηρού σε μονάδες kcal / kg.

Γνωρίζοντας την Α.Θ.Δ. επί ξηρού, μπορούν να γίνουν υπολογισμοί για την Α.Θ.Δ. ως έχει, καθώς και για την Κ.Θ.Δ. επί ξηρού και ως έχει, με βάση τις ακόλουθες εξισώσεις:

I. $Q_{\varphi} = Q_{\xi} \times (100 - W_{\varphi}) / 100$

II. $q_{\varphi} = Q_{\varphi} - \{[100 - (A_{\varphi} + W_{\varphi})] \times 0,45 + W_{\varphi}\} \times 5,85$

III. $q_{\xi} = 100 \times q_{\varphi} / (100 - W_{\varphi})$

όπου :

- Q_{φ} η Α.Θ.Δ. ως έχει
- Q_{ξ} η Α.Θ.Δ. επί ξηρού
- W_{φ} η % υγρασία
- q_{φ} η Κ.Θ.Δ. ως έχει
- A_{φ} η % τέφρα ως έχει
- q_{ξ} η Κ.Θ.Δ. επί ξηρού
- 5,85 Λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης του νερού σε cal
- 0,45 Συντελεστής που εξαρτάται από την περιεκτικότητα του λιγνίτη σε υδρογόνο και το μοριακό βάρος του νερού

Στον Πίνακα 3.2 που ακολουθεί, δίνονται τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης του χρησιμοποιηθέντος δείγματος.

Πίνακας 3.2. Στοιχειακή ανάλυση βαρυτομετρικών κλασμάτων αρχικού δείγματος.

ε.β. υγρού	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	A.Θ.Δ. (cal/gr)
1,25	57,5	5,45	0,37	0,99	
1,40	53,6	5,76	0,53	0,95	
1,425	49,6	5,38	1,30	0,92	
1,45	48,4	5,22	1,38	0,93	
1,475	47,4	5,03	1,34	0,98	
1,50	46,2	4,79	1,30	1,06	
1,60	44,6	4,23	1,26	1,18	
βυθ. στο 1,60	22,7	1,65	0,60	0,50	
Αρχικό Δείγμα	41,1	4,09	1,02	1,23	4002,8

Χημική Ανάλυση Τέφρας (XRF)

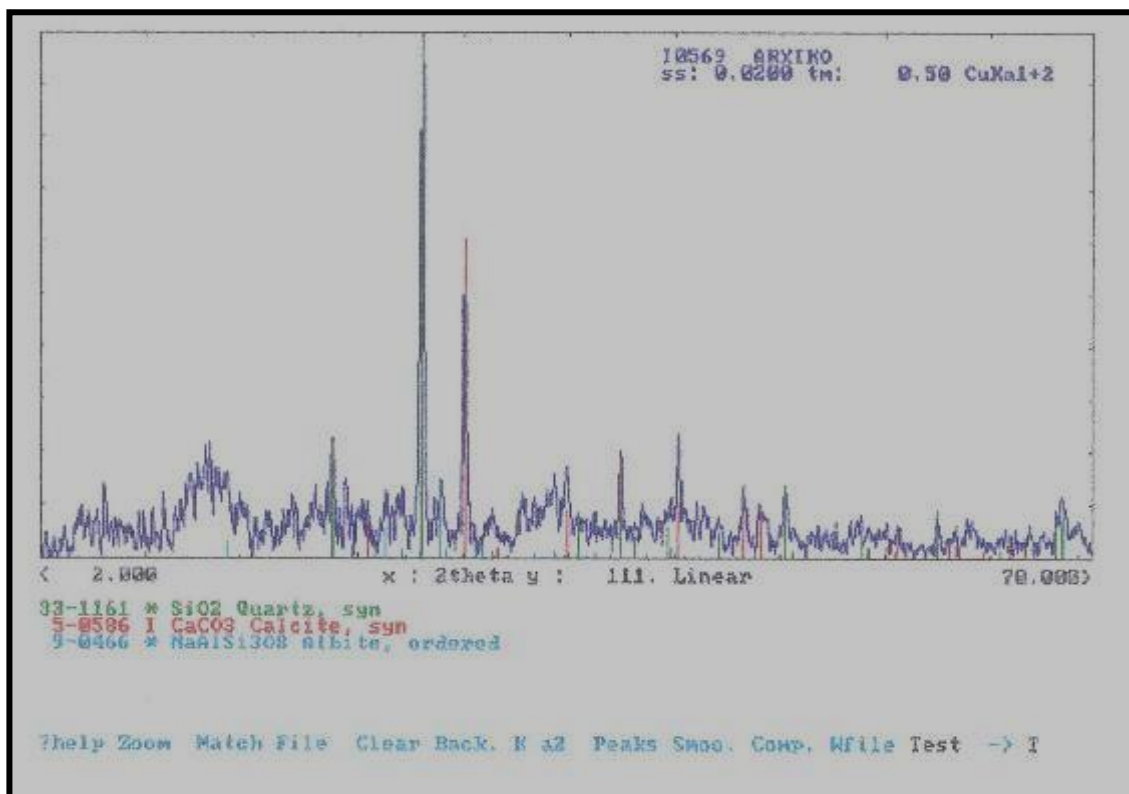
Για τη χημική ανάλυση της τέφρας χρησιμοποιήθηκε το αυτόματο σύστημα φασματοσκοπίας ακτίνων X – φθορισμού στο Λιγνιτικό κέντρο Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3. Χημική ανάλυση τέφρας (1050° C).

ΔΕΙΓΜΑ	Οξείδια (%)										
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
αρχικό	29,04	4,94	0,02	13,27	0,51	40,97	3,86	5,52	0,51	0,72	0,14
επιπλ. 1,25	30,52	4,76	0,02	14,21	0,61	39,25	3,96	6,12	0,64	0,81	0,12
επιπλ. 1,45	31,12	4,91	0,02	12,52	0,47	41,02	4,15	4,85	0,45	0,76	0,14
επιπλ. 1,475	30,56	5,23	0,02	13,56	0,36	40,41	5,12	5,17	0,54	0,75	0,11
βυθ. 1,60	30,23	5,63	0,02	14,11	0,56	40,25	3,54	4,95	0,63	0,83	0,15

Ορυκτολογική Ανάλυση Τέφρας (XRD) Η ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του περιθλασίμετρου τύπου D500 Siemens. Ο προσδιορισμός της σύστασης, αλλά και της ποσότητας της ορυκτής ύλης του δείγματος, είναι απαραίτητος για την αρχική πρόβλεψη της συμπεριφοράς του κατά την καύση και τον βαρυτομετρικό διαχωρισμό. Τα αποτελέσματα της

ορυκτολογικής ανάλυσης στο ξηρό δείγμα, μετά την αντίδραση με H_2O_2 , παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 3.3 και στον Πίνακα 3.4.



Διάγραμμα 3.3. Παρουσίαση του ακτινοδιαγράμματος περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) του αρχικού δείγματος, μετά την αντίδραση του με H_2O_2 .

Πίνακας 3.4. Ορυκτολογική σύσταση αρχικού δείγματος.

Ορυκτό	Χημικός τύπος	Σκληρότητα κατά Mohs
Χαλαζίας	SiO_2	7
Ασβεστίτης	$CaCO_3$	3
Αλβίτης	$NaAlSi_3O_8$	6

Παρατηρούμε ότι τα ορυκτά που ανιχνεύονται σε σχετικά μεγαλύτερη αναλογία είναι ο χαλαζίας, ο ασβεστίτης και ο αλβίτης. Όπως θα δούμε και στις επόμενες ορυκτολογικές εξετάσεις όλων των δειγμάτων (βλ. Παράρτημα), στο δείγμα ανιχνεύτηκαν επίσης και άλλα ορυκτά, όπως αιματίτης ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), ανυδρίτης ($CaSO_4$), ανορθίτης ($CaAl_2Si_2O_8$), μοσχοβίτης ($KAl_2(AlSi_3O_{10}/(OH)_2$)), κ.α, σε μικρότερες αναλογίες. Με τη συγκεκριμένη ορυκτολογική σύσταση, το δείγμα μπορεί να χαρακτηριστεί χαλαζιακής σύστασης, με αυξημένες συγκεντρώσεις ασβεστίτη. Η σύσταση αυτή είναι πολύ συνηθισμένη στους Ελληνικούς λιγνίτες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια, το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε στις εργαστηριακές δοκιμές, συλλέχθηκαν από τις μονάδες του Ατμοηλεκτρικού Σταθμού Καρδιάς, τον Απρίλιο του 1996. Όλες οι δοκιμές αναφέρονται σε δείγμα επί ξηρού, για την καλύτερη και σωστότερη αξιολόγηση αποτελεσμάτων.

4.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΠΟΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΟΡΓΑΝΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΔΕΙΓΜΑ

4.1.1 ΑΜΕΣΗ ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΛΑΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Από τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης του αρχικού δείγματος (πίνακας 3.1), προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Το μεγαλύτερο ποσοστό (27% περίπου) του πρωτογενούς δείγματος λιγνίτη ως έχει, κατανέμεται στο κλάσμα $-2 +1$, με μέσο μέγεθος 1,5 mm.
- Το ποσοστό τέφρας % αυξάνεται, όσο μειώνεται το μέσο μέγεθος κόκκων, ενώ είναι σχεδόν παρόμοιο στα δύο πρώτα κλάσματα. Τα μεγαλύτερα ποσοστά τέφρας στα μικρότερα κλάσματα αντικατοπτρίζουν την αποδέσμευση του ενδογενούς στείρου υλικού, που βρίσκεται διασκορπισμένο στο λιγνίτη, υπό μορφή κόκκων.
- Η καύσιμη ύλη μειώνεται, όσο μειώνεται το μέσο μέγεθος των κόκκων.
- Οι μονάδες της τέφρας αυξάνονται, όσο μειώνεται το μέσο μέγεθος των κόκκων.
- Η κατανομή τέφρας, που προκύπτει από τις Μονάδες Τέφρας **(κατανομή τέφρας = (μονάδες τέφρας / σύνολο μονάδων) x 100)**, κυμαίνεται από 14,02% - 31,92% και είναι μεγαλύτερη στο κλάσμα με μέγεθος μικρότερο από 500μm.

4.2 ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΤΕΦΡΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα βαρέα υγρά που χρησιμοποιήθηκαν για το βαρυτομετρικό διαχωρισμό ήταν μίγμα τετραχλωράνθρακα – ισοπροπανόλης, όπου ανάλογα με την περίπτωση διέφεραν οι αναλογίες των δύο υγρών. Ο διαχωρισμός έγινε με τη μέθοδο της φυγοκέντρωσης, κατά την οποία χρησιμοποιήθηκε το δείγμα ως έχει.

Η διαδικασία της ανάλυσης ξεκινά από τη μικρότερη πυκνότητα. Το μικρότερο ειδικό βάρος διαχωρισμού ήταν το 1,25. Μετά το τέλος της πρώτης φυγοκέντρωσης συλλέχθηκε το επιπλεύσαν υλικό, ενώ το βαρύτερο υλικό που έμεινε προχώρησε σε νέο διαχωρισμό, αυτή τη φορά σε ειδικό βάρος 1,40.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε μέχρι τέλους. Τα ειδικά βάρη των υγρών που χρησιμοποιήθηκαν για το διαχωρισμό ήταν 1,25. 1,40. 1,425. 1,45. 1,475. 1,50 και 1,60. Τα κριτήρια επιλογής των συγκεκριμένων ειδικών βαρών αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 3.

4.2.1. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΛΑΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα της προσεγγιστικής ανάλυσης στα προϊόντα του διαχωρισμού με βαρέα υγρά, παρουσιάζονται αναλυτικά στους Πίνακες 4.1 και 4.2.

Πίνακας 4.1. Αποτελέσματα εμπλουτισμού με βαρέα υγρά και προσεγγιστική ανάλυση του δείγματος λιγνίτη (επί ξηρού).

Ειδικό βάρος διαχωρισμού	Βάρος (%)	Τέφρα (%)	Καύσιμη ύλη (%)	Κατανομή τέφρας (%)	Αθροιστικό βάρος (%)	Αθροιστική τέφρα (%)	Αθροιστική κατανομή τέφρας (%)
επιπλ.	16,46	4,88	95,12	3,56	16,46	4,88	3,56
1,25 τροφή		25,64	74,36	9,56		25,64	9,56
βυθισθέν		29,73	70,27	8,79		29,73	8,79
επιπλ.	6,96	6,02	93,98	1,86	23,42	5,22	5,42
1,40 τροφή		29,73	70,27	11,09		27,69	20,65
βυθισθέν		31,88	68,12	10,50		30,87	19,29
επιπλ.	6,93	10,33	89,67	3,17	30,35	6,39	8,59
1,425 τροφή		31,88	68,12	11,89		29,08	32,54
βυθισθέν		34,02	65,98	11,21		31,96	30,50
επιπλ.	14,90	11,77	88,23	7,77	45,25	8,15	16,36
1,45 τροφή		34,02	65,98	12,69		30,32	45,23
βυθισθέν		40,09	59,91	12,08		33,91	42,58
επιπλ.	13,10	13,13	86,87	7,62	58,35	9,27	23,99
1,475 τροφή		40,09	59,91	14,95		32,27	60,18
βυθισθέν		48,57	51,43	14,94		36,80	57,52
επιπλ.	9,06	14,06	85,94	5,65	67,41	9,91	29,63
1,50 τροφή		48,57	51,43	18,12		34,99	78,30
βυθισθέν		58,16	41,84	18,72		40,44	76,24
επιπλ.	9,79	20,35	79,65	8,83	77,20	11,23	38,47
1,60 τροφή		58,16	41,84	21,69		38,30	100,00
βυθισθέν		74,40	25,60	23,75		45,36	100,00
βυθ στο 1,60	22,80	60,90	39,10	61,55	100	22,56	100

Πίνακας 4.2. Αποτελέσματα εμπλουτισμού με βαρέα υγρά στα αθροιστικώς επιπλεύσαντα

Ειδικό Βάρος	Ειδικό βάρος	Μέσο ειδικό βάρος	Βάρος (%)	Αθροιστικό βάρος	Μέσο αθροιστικό βάρος (%)	Αθροιστικό βάρος	Τέφρα (%)	Αθροιστική τέφρα
Διαχωρισμού	μεταξύ $\pm 0,1$	διαχωρισμού		(%)	βάρος (%)	μεταξύ $\pm 0,1$ ε.β.		(%)
1,25	1,25	1,25	16,46	16,46	8,23	23,42	4,88	4,88
1,40	1,25 - 1,50	1,38	6,96	23,42	19,94	13,89	6,02	5,21
1,425	1,40 - 1,525	1,46	6,93	30,35	26,89	21,83	10,33	6,39
1,45	1,425 - 1,55	1,49	14,90	45,25	37,80	28,00	11,77	8,15
1,475	1,45 - 1,575	1,51	13,10	58,35	51,80	22,16	13,13	9,27
1,50	1,475 - 1,60	1,54	9,06	67,41	62,88	18,85	14,06	9,91
1,60	1,50 - 1,70	1,60	9,79	77,20	72,31	32,59	20,35	11,23
βυθ.στο 1,60	---	1,70	22,80	100	88,60		60,90	22,56
Σύνολο			100					

Ο υπολογισμός της περιεκτικότητας % σε τέφρα, αλλά και η κατανομή της τέφρας, έγινε ακριβώς με τον ίδιο τρόπο, όπως και στους πίνακες της κοκκομετρικής ανάλυσης, τόσο για το αρχικό δείγμα, όσο και για τα αθροιστικώς επιπλεύσαντα του αρχικού δείγματος.

Για τον Πίνακα 4.1 μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις:

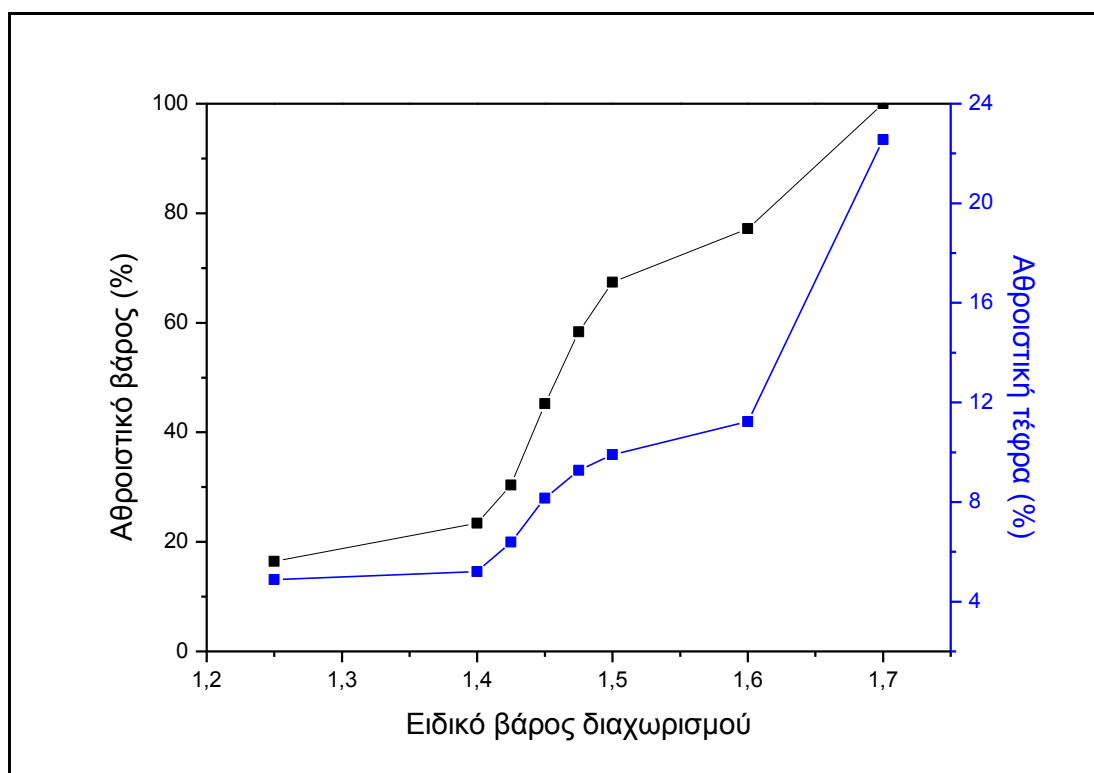
- Το ποσοστό τέφρας % αυξάνεται, όσο αυξάνεται το ειδικό βάρος διαχωρισμού των υγρών εμπλουτισμού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η καύσιμη ύλη να μειώνεται συναρτήσει του ειδικού βάρους.
- Η κατανομή τέφρας % είναι παρόμοια τόσο για την τροφοδοσία, όσο και για τα καταβυθισθέντα, ενώ είναι σαφώς μικρότερη για τα επιπλεύσαντα, με μεγαλύτερες τιμές όλων αυτών στο ειδικό βάρος διαχωρισμού 1,60.
- Οι τιμές της αθροιστικής τέφρας είναι μεγαλύτερες σε όλα τα καταβυθισθέντα κλάσματα και μικρότερες στα επιπλεύσαντα.

Όσον αφορά στον Πίνακα 4.2, παρατηρούμε ότι τα μεγαλύτερα ποσοστά βάρους κατανέμονται στα επιπλεύσαντα των ειδικών βαρών 1,25, 1,45 και 1,475. Επίσης, η τέφρα αυξάνεται διαρκώς από τα μικρότερα στα μεγαλύτερα ειδικά βάρη διαχωρισμού. Μάλιστα, παρατηρείται απότομη αύξηση του ποσοστού τέφρας στο τελευταίο καταβυθισθέν κλάσμα, από 20% σε 60%.

Με βάση λοιπόν τα στοιχεία των Πινάκων 4.1 και 4.2, κατασκευάστηκαν τα παρακάτω διαγράμματα: Η καμπύλη εμπλουτισιμότητας, η χαρακτηριστική καμπύλη περιεκτικότητας και η καμπύλη ανοχής.

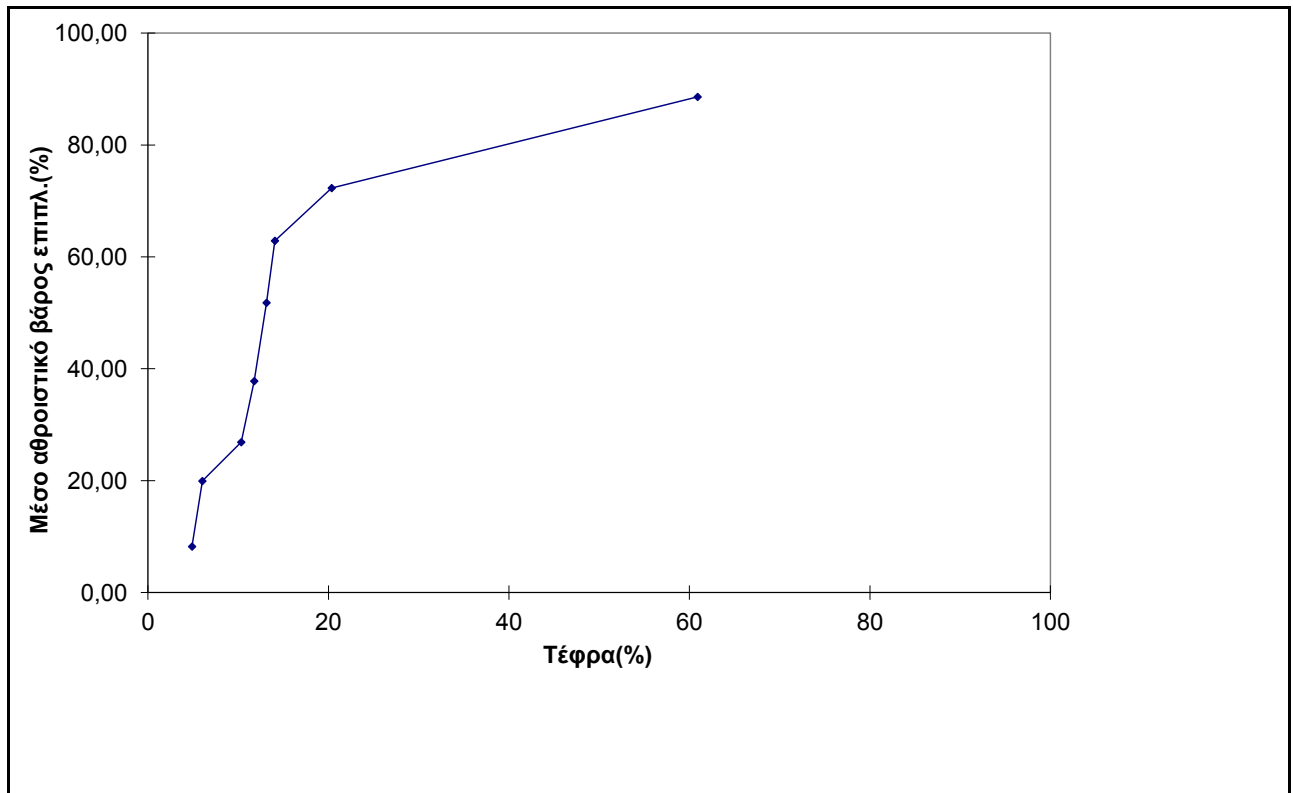
4.2.2. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΙΜΟΤΗΤΑΣ, ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΟΧΗΣ

Η καμπύλη εμπλουτισιμότητας παρέχει τη δυνατότητα μελέτης των ποσοστών αποδέσμευσης μεταξύ των τεμαχίων λιγνίτη υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα ή στείρα. Στον κατακόρυφο άξονα τοποθετείται το % αθροιστικό βάρος και η % αθροιστική τέφρα των επιπλευσάντων του αρχικού δείγματος. Στον οριζόντιο άξονα τοποθετείται το ειδικό βάρος διαχωρισμού.



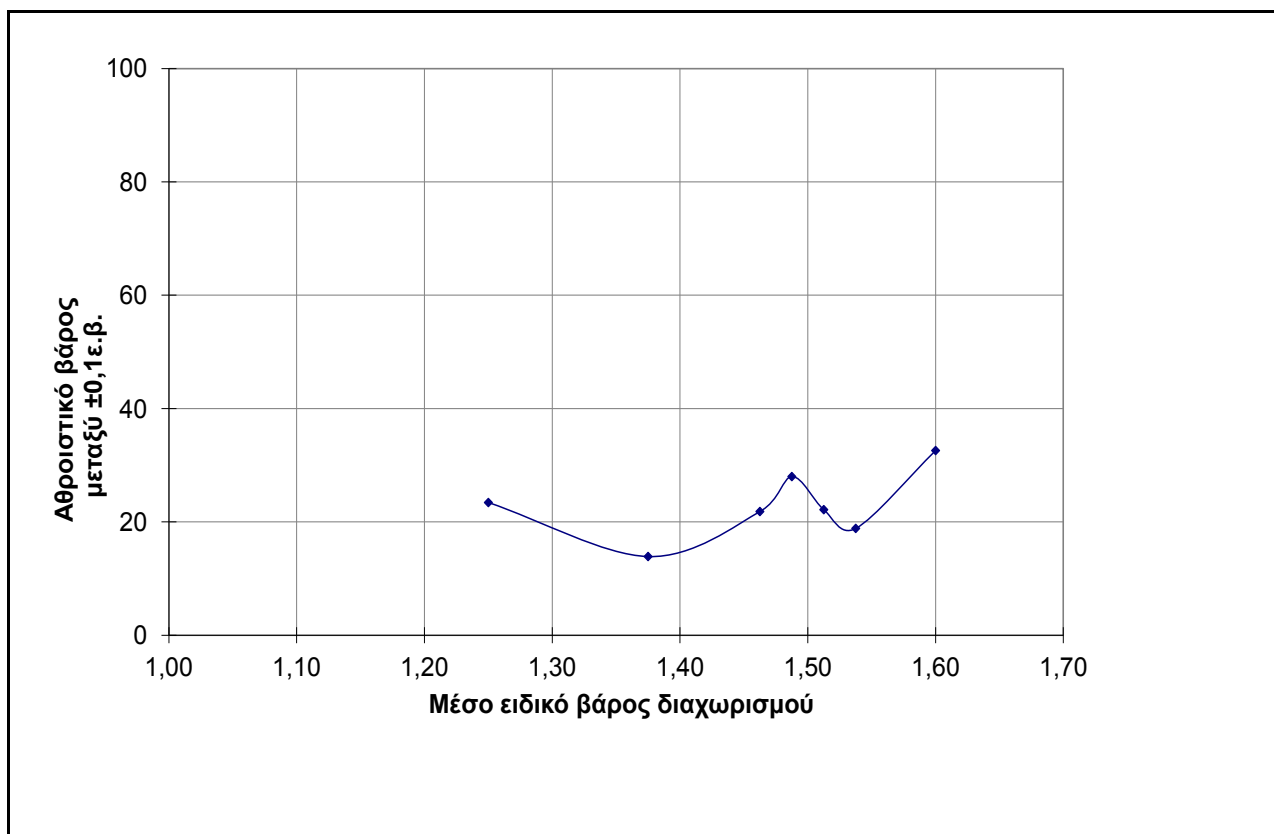
Διάγραμμα 4.1. Καμπύλη εμπλουτισιμότητας μετά τον εμπλουτισμό

Η χαρακτηριστική καμπύλη περιεκτικότητας δείχνει την περιεκτικότητα του πλουσιότερου υλικού στα επιπλεύσαντα. Στον κατακόρυφο άξονα τοποθετείται το ποσοστό του μέσου αθροιστικού βάρους των επιπλευσάντων, ενώ στον οριζόντιο άξονα τοποθετείται η περιεκτικότητα σε τέφρα.



Διάγραμμα 4.2. Χαρακτηριστική καμπύλη περιεκτικότητας για τα αθροιστικώς ελαφρύτερα μετά τον εμπλουτισμό

Τέλος, η καμπύλη ανοχής δίνει το βαθμό δυσκολίας του διαχωρισμού. Βασίζεται στο μέτρο μεταβολής του βάρους του προϊόντος, συναρτήσει της αυξομείωσης του ειδικού βάρους διαχωρισμού κατά $\pm 0,1$ γύρω από μια καθορισμένη τιμή. Στον κατακόρυφο άξονα τοποθετείται το ποσοστό του αθροιστικού βάρους των επιπλευσάντων που βρίσκεται μεταξύ $\pm 0,1$ ειδικού βάρους, ενώ στον οριζόντιο άξονα τοποθετείται το μέσο ειδικό βάρος.



Διάγραμμα 4.3. Καμπύλη ανοχής για τα αθροιστικώς ελαφρύτερα μετά τον εμπλουτισμό

4.2.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΤΕΦΡΑΣ (1050°C) ΣΤΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης και των μετρήσεων της θερμογόνου δύναμης των προϊόντων του διαχωρισμού με βαρέα υγρά του αρχικού δείγματος, παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.3, 4.4 και 4.5. Η στοιχειακή ανάλυση είναι απαραίτητη, για τη σαφή διεξαγωγή συμπερασμάτων, ως προς την αποδοτικότητα του διαχωρισμού με βαρέα υγρά, λαμβάνοντας υπόψη και τη θερμαντική ικανότητα του καύσιμου λιγνίτη.

Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί, ότι η χημική ανάλυση τέφρας δεν είναι ολοκληρωμένη για όλα τα ειδικά βάρη διαχωρισμού, εξαιτίας της απώλειας αρκετού υλικού που χρησιμοποιήθηκε για άλλες αναλύσεις και της μεγάλης ποσότητας υλικού που απαιτείται για τη συγκεκριμένη ανάλυση.

Πίνακας 4.3. Αποτελέσματα προσεγγιστικής, στοιχειακής και χημικής ανάλυσης τέφρας μετά τον εμπλουτισμό.

		ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ			ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ						ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΦΡΑΣ (%)										
Κλάσμα -4 +0,5	Ειδικό βάρος διαχ/σμού	Βάρος (%)	Τέφρα (%)	Καύσιμη ύλη (%)	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	Α.Θ.Δ. (cal/g)	Κ.Θ.Δ. (cal/g)	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
	1,25	16,46	4,88	95,12	57,5	5,45	0,37	0,99	5401	4805	30,5	4,8	0,02	14,2	0,6	39,3	4,0	6,1	0,6	0,8	0,1
	1,40	6,96	6,02	93,98	53,6	5,76	0,53	0,95	5155	4559											
	1,425	6,93	10,33	89,67	49,6	5,38	1,30	0,92	4629	4043											
Float	1,45	14,90	11,77	88,23	48,4	5,22	1,38	0,93	4481	3591	31,1	4,9	0,02	12,5	0,5	41,0	4,2	4,9	0,5	0,8	0,1
	1,475	13,10	13,13	86,87	47,4	5,03	1,34	0,98	4337	3748	30,6	5,2	0,02	13,6	0,4	40,4	5,1	5,2	0,5	0,8	0,1
	1,50	9,06	14,06	85,94	46,2	4,79	1,30	1,06	4191	3604											
	1,60	9,79	20,35	79,65	44,6	4,23	1,26	1,18	3946	3379											
SINK	1,6	22,80	60,90	39,10	22,7	1,65	0,60	0,50	1790	1351	30,2	5,6	0,02	14,1	0,6	40,3	3,5	5,0	0,6	0,8	0,2
Σύνολο		100,00	22,56	77,44	41,1	4,09	1	1,23	4003	3460	29,0	4,9	0,02	13,3	0,5	41,0	3,9	5,5	0,5	0,7	0,1

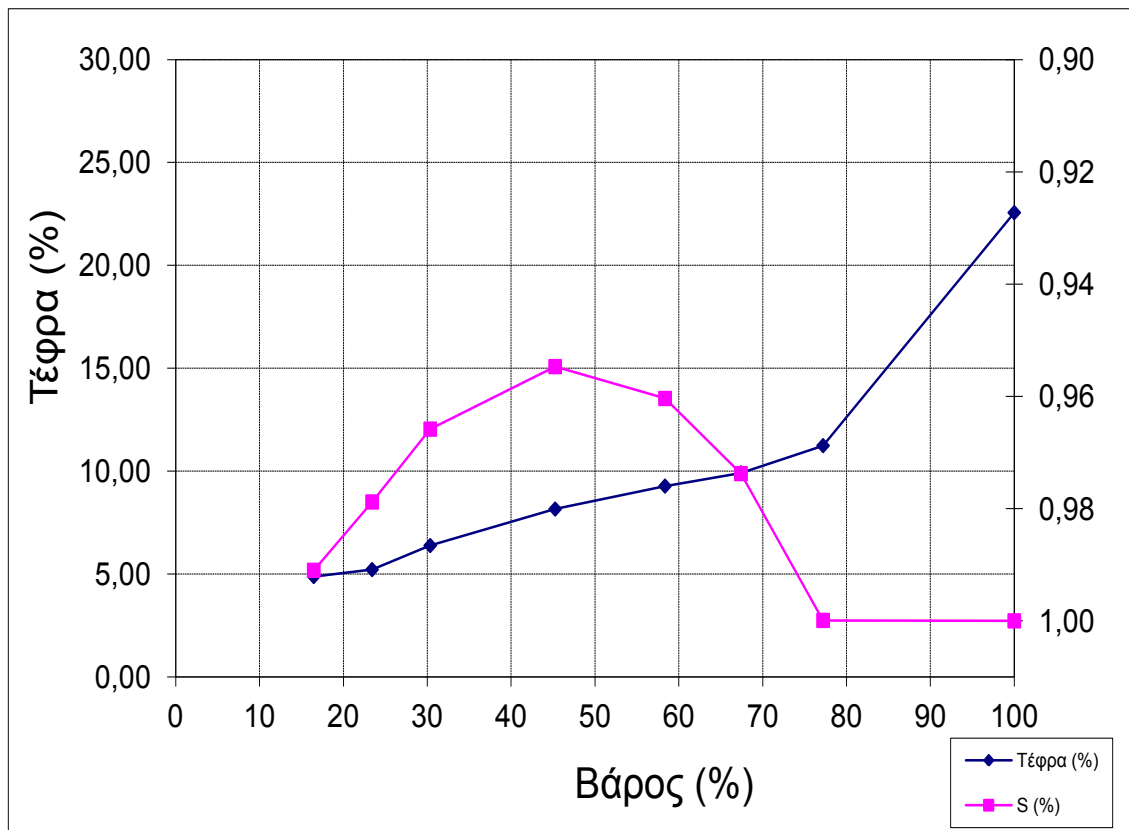
Πίνακας 4.4. Αποτελέσματα προσεγγιστικής, στοιχειακής και χημικής ανάλυσης για τα αθροιστικώς ελαφρύτερα μετά τον εμπλουτισμό.

		ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ			ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ						ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΦΡΑΣ (%)										
Κλάσμα -4 +0,5	Ειδικό βάρος διαχ/σμού	Βάρος (%)	Τέφρα (%)	Καύσιμη ύλη (%)	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	Α.Θ.Δ. (cal/g)	Κ.Θ.Δ. (cal/g)	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
	1,25	16,46	4,88	95,12	57,5	5,45	0,37	0,99	5401	4805	30,5	4,8	0,02	14,2	0,6	39,3	4,0	6,1	0,6	0,8	0,1
	1,40	23,42	5,22	94,78	56,3	5,54	0,4	0,98	5328	4732											
	1,425	30,35	6,39	93,61	54,8	5,51	0,6	0,97	5168	4575											
Float	1,45	45,25	8,16	91,84	52,7	5,41	0,9	0,95	4942	4251	31,1	4,9	0,02	12,5	0,5	41,0	4,2	4,9	0,5	0,8	0,1
	1,475	58,35	9,27	90,73	51,5	5,33	1,0	0,96	4806	4138	30,6	5,2	0,02	13,6	0,4	40,4	5,1	5,2	0,5	0,8	0,1
	1,50	67,41	9,92	90,08	50,8	5,25	1,0	0,97	4723	4066											
	1,60	77,20	11,24	88,76	50,0	5,12	1,0	1,0	4325	3979											
Σύνολο		100,00	22,56	77,44	41,1	4,09	1,0	1,0	3979	3380	30,2	5,6	0,02	14,1	0,6	40,3	3,5	5,0	0,6	0,8	0,2

Πίνακας 4.5. Αποτελέσματα προσεγγιστικής, στοιχειακής και χημικής ανάλυσης για τα αθροιστικώς βαρύτερα μετά τον εμπλουτισμό.

		ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ			ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ						ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΦΡΑΣ (%)										
Κλάσμα -4 +0,5	Ειδικό βάρος διαχ/σμού	Βάρος (%)	Τέφρα (%)	Καύσιμη ύλη (%)	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	Α.Θ.Δ. (cal/g)	Κ.Θ.Δ. (cal/g)	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Σύνολο		100,00	22,56	77,44	41,1	4,3	1,0	1,0	3979	3380											
	1,25	83,54	26,04	73,96	41,1	4,07	1,12	1,00	3699	3099	30,5	4,8	0,02	14,2	0,6	39,3	4,0	6,1	0,6	0,8	0,1
	1,40	76,58	27,86	72,14	39,9	3,92	1,18	1,01	3566	2967											
	1,425	69,65	29,61	70,39	39,0	3,77	1,17	1,01	3461	2859											
SINK	1,45	54,75	34,46	65,54	36,4	3,38	1,11	1,04	3183	2660	31,1	4,9	0,02	12,5	0,5	41,0	4,2	4,9	0,5	0,8	0,1
	1,475	41,65	41,17	58,83	33,0	2,86	1,04	1,06	2820	2318	30,6	5,2	0,02	13,6	0,4	40,4	5,1	5,2	0,5	0,8	0,1
	1,50	32,59	48,71	51,29	29,3	2,33	0,96	1,05	2439	1961											
	1,60	22,80	60,89	39,11	22,7	1,51	0,83	1,00	1792	1352											

Το Διάγραμμα 4.4 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η μεταβολή της τέφρας (%) και του S (%), συναρτήσει του βάρους (%) των αθροιστικώς ελαφρύτερων.



Διάγραμμα 4.4. Μεταβολή τέφρας % και S% συναρτήσει βάρους % των αθροιστικώς ελαφρύτερων.

4.3. ΠΟΙΟΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΣΤΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ

Μετά την ολική μελέτη του αρχικού δείγματος (κοκκομετρική ανάλυση, προσεγγιστική και στοιχειακή ανάλυση, χημική και ορυκτολογική ανάλυση τέφρας, προσδιορισμού θερμογόνου δύναμης), προσπαθήσαμε να κάνουμε τις ίδιες ακριβώς αναλύσεις στα επιμέρους κλάσματα.

Έπειτα από τις αναλύσεις που έγιναν, αποτελέσματα των οποίων βρίσκονται στους Πίνακες 4.6 έως 4.13, κατασκευάστηκαν και οι αντίστοιχες καμπύλες εμπλουτισιμότητας, περιεκτικότητας και ανοχής για κάθε κλάσμα ξεχωριστά, όπως φαίνεται από τα Διαγράμματα 4.5 έως 4.16.

Πίνακας 4.6. Αποτελέσματα εμπλουτισμού με βαρέα υγρά και προσεγγιστική ανάλυση του κλάσματος +2,80 mm επί ξηρού).

ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	ΒΑΡΟΣ (%)	ΤΕΦΡΑ (%)	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ (%)	ΜΟΝΑΔΕΣ ΤΕΦΡΑΣ	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΦΡΑΣ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΤΕΦΡΑ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΦΡΑΣ (%)
(+2,80)	επιπλ. 0,95 τροφή βυθισθέν	16,36	3,23 18,74 21,77	96,77 81,26 78,23	0,53 18,74 18,21	3,93 10,08 10,13	16,36	3,23 18,74 21,77	3,93 10,08 10,13
	επιπλ. 1,05 τροφή βυθισθέν	6,53	3,85 21,77 23,02	96,15 78,23 76,98	0,25 21,77 21,52	1,87 11,71 11,97	22,89	3,41 20,26 22,43	5,80 21,79 22,10
	επιπλ. 1,25 τροφή βυθισθέν	10,02	3,67 23,29 25,47	96,33 76,71 74,53	0,37 23,29 22,92	2,74 12,53 12,75	32,91	3,49 21,27 23,46	8,54 34,31 34,84
	επιπλ. 1,30 τροφή βυθισθέν	7,57	4,72 26,22 27,98	95,28 73,78 72,02	0,36 26,22 25,87	2,66 14,10 14,39	40,48	3,73 22,51 24,62	11,20 48,42 49,23
	επιπλ. 1,35 τροφή βυθισθέν	4,96	7,40 28,96 30,09	92,60 71,04 69,91	0,37 28,96 28,59	2,73 15,58 15,90	45,44	4,14 23,80 25,76	13,93 63,99 65,13
	επιπλ. 1,40 τροφή βυθισθέν	11,02	10,72 30,92 33,42	89,28 69,08 66,58	1,18 30,92 29,74	8,80 16,63 16,54	56,46	5,42 24,98 27,02	22,73 80,62 81,67
	επιπλ. 1,45 τροφή βυθισθέν	23,12	13,63 36,03 42,88	86,37 63,97 57,12	3,15 36,03 32,96	23,46 19,38 18,33	79,58	7,80 26,56 28,98	46,19 100,00 100,00
	βυθ.στο 1,45	20,42	35,39	64,61	7,23	53,81	100,00	13,43	100,00

Πίνακας 4.7. Αποτελέσματα εμπλουτισμού με βαρέα υγρά στα αθροιστικώς επιπλεύσαντα του κλάσματος +2,80 mm (επί ξηρού).

ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΜΕΤΑΞ. ±0,1	ΜΕΣΟ ΕΙΔ. ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	ΒΑΡΟΣ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (%)	ΜΕΣΟ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΜΕΤΑΞ.±0,1	ΤΕΦΡΑ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΤΕΦΡΑ (%)
0,95	0,95	0,95	16,36	16,36	8,18	22,89	3,23	3,24
1,05	0,95 - 1,15	1,05	6,53	22,89	19,63	16,55	3,85	3,41
1,25	1,05 - 1,35	1,20	10,02	32,91	27,90	17,59	3,67	3,49
1,30	1,25 - 1,40	1,33	7,57	40,48	36,70	12,53	4,72	3,73
1,35	1,30 - 1,45	1,38	4,96	45,44	42,96	15,98	7,40	4,14
1,40	1,35 - 1,50	1,43	11,02	56,46	50,95	34,14	10,72	5,42
1,45	1,40 - 1,55	1,48	23,12	79,58	68,02	43,54	13,63	7,80
βυθ στο 1,45			20,42	100	89,79		35,39	13,43
ΣΥΝΟΛΟ			100					

Πίνακας 4.8. Αποτελέσματα εμπλουτισμού με βαρέα υγρά και προσεγγιστική ανάλυση του κλάσματος -2,80+2,00 mm (επί ξηρού).

ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	ΒΑΡΟΣ (%)	ΤΕΦΡΑ (%)	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ (%)	ΜΟΝΑΔΕΣ ΤΕΦΡΑΣ	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΦΡΑΣ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΤΕΦΡΑ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΦΡΑΣ (%)
-2,80+2,00	επιπλ. 1,15 τροφή	11,84	5,16	94,84	0,61	3,61	11,84	5,15	3,61
	βυθισθέν		16,32	83,68	16,32	7,99		16,32	7,99
			17,82	82,18	15,71	8,15		17,82	8,15
	επιπλ. 1,25 τροφή	3,94	5,5	94,50	0,22	1,28	15,78	5,26	4,89
	βυθισθέν		17,82	82,18	17,82	8,72		17,07	16,71
			18,33	81,67	17,60	9,13		18,08	17,28
	επιπλ. 1,35 τροφή	3,67	5,87	94,13	0,22	1,27	19,45	5,40	6,16
	βυθισθέν		18,40	81,60	18,40	9,01		17,51	25,72
			18,88	81,12	18,18	9,43		18,35	26,72

επιπλ. 1,40 τροφή βυθισθέν	6,13	6,66	93,34	0,41	2,41	25,58	5,71	8,57
		18,97	81,03	18,97	9,29		17,88	35,01
		19,77	80,23	18,56	9,63		18,71	36,35
επιπλ. 1,425 τροφή βυθισθέν	11,01	11,5	88,50	1,27	7,48	36,59	7,46	16,05
		19,98	80,02	19,98	9,78		18,30	44,79
		21,03	78,97	18,71	9,71		19,15	46,05
επιπλ. 1,45 τροφή βυθισθέν	14,32	13,3	86,70	1,90	11,25	50,91	9,09	27,30
		21,45	78,55	21,45	10,50		18,82	55,29
		22,81	77,19	19,55	10,14		19,73	56,20
επιπλ. 1,475 τροφή βυθισθέν	21,87	14,86	85,14	3,25	19,20	72,78	10,83	46,50
		23,83	76,17	23,83	11,67		19,54	66,95
		26,34	73,66	20,58	10,68		20,55	66,88
επιπλ. 1,50 τροφή βυθισθέν	7,97	17,92	82,08	1,43	8,44	80,75	11,53	54,93
		31,04	68,96	31,04	15,19		20,98	82,15
		32,18	67,82	29,61	15,36		22,04	82,24
επιπλ. 1,60 τροφή βυθισθέν	9,38	24,07	75,93	2,26	13,34	90,13	12,84	68,27
		36,47	63,53	36,47	17,85		22,70	100,00
		37,75	62,25	34,21	17,75		23,80	100,00
βυθ.στο 1,60	9,87	54,47	45,53	5,38	31,76	100,00	16,95	100,00

Πίνακας 4.9. Αποτελέσματα εμπλουτισμού με βαρέα υγρά στα αθροιστικώς επιπλεύσαντα του κλάσματος -2,80+2,00 mm (επί ξηρού).

ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΜΕΤΑΞ. ±0,1	ΜΕΣΟ ΕΙΔ. ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	ΒΑΡΟΣ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (%)	ΜΕΣΟ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΜΕΤΑΞ.±0,1	ΤΕΦΡΑ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΤΕΦΡΑ (%)
1,15	1,15	1,15	11,84	11,84	5,92	15,78	5,16	5,15
1,25	1,15 - 1,35	1,25	3,94	15,78	13,81	7,61	5,50	5,26
1,35	1,25 - 1,45	1,35	3,67	19,45	17,62	9,80	5,87	5,40
1,40	1,35 - 1,50	1,43	6,13	25,58	22,52	17,14	6,66	5,71

1,425	1,40 - 1,525	1,46	11,01	36,59	31,09	25,33	11,50	7,46
1,45	1,425 - 1,55	1,49	14,32	50,91	43,75	36,19	13,30	9,09
1,475	1,45 - 1,575	1,51	21,87	72,78	61,85	29,84	14,86	10,83
1,50	1,475 - 1,60	1,54	7,97	80,75	76,77	17,35	17,92	11,53
1,60	1,50 - 1,70	1,60	9,38	90,13	85,44	19,25	24,07	12,84
βυθ στο 1,60			9,87	100	95,07		54,47	16,95

Πίνακας 4.10. Αποτελέσματα εμπλουτισμού με βαρέα υγρά και προσεγγιστική ανάλυση του κλάσματος -2,00+1,00 mm (επί ξηρού).

ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	ΒΑΡΟΣ (%)	ΤΕΦΡΑ (%)	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ (%)	ΜΟΝΑΔΕΣ ΤΕΦΡΑΣ	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΦΡΑΣ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΤΕΦΡΑ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΦΡΑΣ (%)
-2,00+1,00	επιπλ. 1,25 τροφή βυθισθέν	7,29	6,31 24,97 26,44	93,69 75,03 73,56	0,46 24,97 24,51	1,61 8,23 8,63	7,29	6,31 24,97 26,44	1,61 8,23 8,63
	επιπλ. 1,40 τροφή βυθισθέν	2,01	10,00 26,44 26,78	90,00 73,56 73,22	0,20 26,44 26,24	0,70 8,71 9,24	9,30	7,10 25,71 26,61	2,31 16,94 17,87
	επιπλ. 1,425 τροφή βυθισθέν	11,57	11,81 26,22 28,11	88,19 73,78 71,89	1,37 26,22 24,85	4,77 8,64 8,75	20,87	9,73 25,88 27,08	7,08 25,59 26,62
	επιπλ. 1,45 τροφή βυθισθέν	5,82	13,32 28,33 29,26	86,68 71,67 70,74	0,78 28,33 27,55	2,71 9,34 9,70	26,69	10,53 26,49 27,63	9,79 34,92 36,33
	επιπλ. 1,475 τροφή βυθισθέν	21,08	14,25 29,52 33,60	85,75 70,48 66,40	3,00 29,52 26,52	10,48 9,73 9,34	47,77	12,16 27,10 28,67	20,27 44,65 45,67
	επιπλ. 1,50 τροφή	12,45	16,93 35,68	83,07 64,32	2,11 35,68	7,36 11,76	60,22	13,15 28,53	27,63 56,41

	βυθισθέν		38,35	61,65	33,57	11,82		30,24	57,49
	επιπλ.	8,53	33,84	66,16	2,89	10,08	68,75	15,72	37,70
	1,60 τροφή		41,55	58,45	41,55	13,69		30,39	70,10
	βυθισθέν		42,27	57,73	38,66	13,62		31,98	71,11
	επιπλ.	5,26	26,78	73,22	1,41	4,92	74,01	16,51	42,62
	1,70 τροφή		43,65	56,35	43,65	14,39		32,05	84,49
	βυθισθέν		44,59	55,41	42,24	14,88		33,63	85,98
	επιπλ.	12,71	57,26	42,74	7,28	25,40	86,72	22,49	68,02
	1,80 τροφή		47,06	52,94	47,06	15,51		33,71	100,00
	βυθισθέν		45,57	54,43	39,78	14,01		34,91	100,00
	βυθ.στο 1,80	13,28	69,05	30,95	9,17	32,01	100,00	28,66	100,00

Πίνακας 4.11. Αποτελέσματα εμπλουτισμού με βαρέα υγρά στα αθροιστικώς επιπλεύσαντα του κλάσματος -2,00+1,00 mm (επί ξηρού).

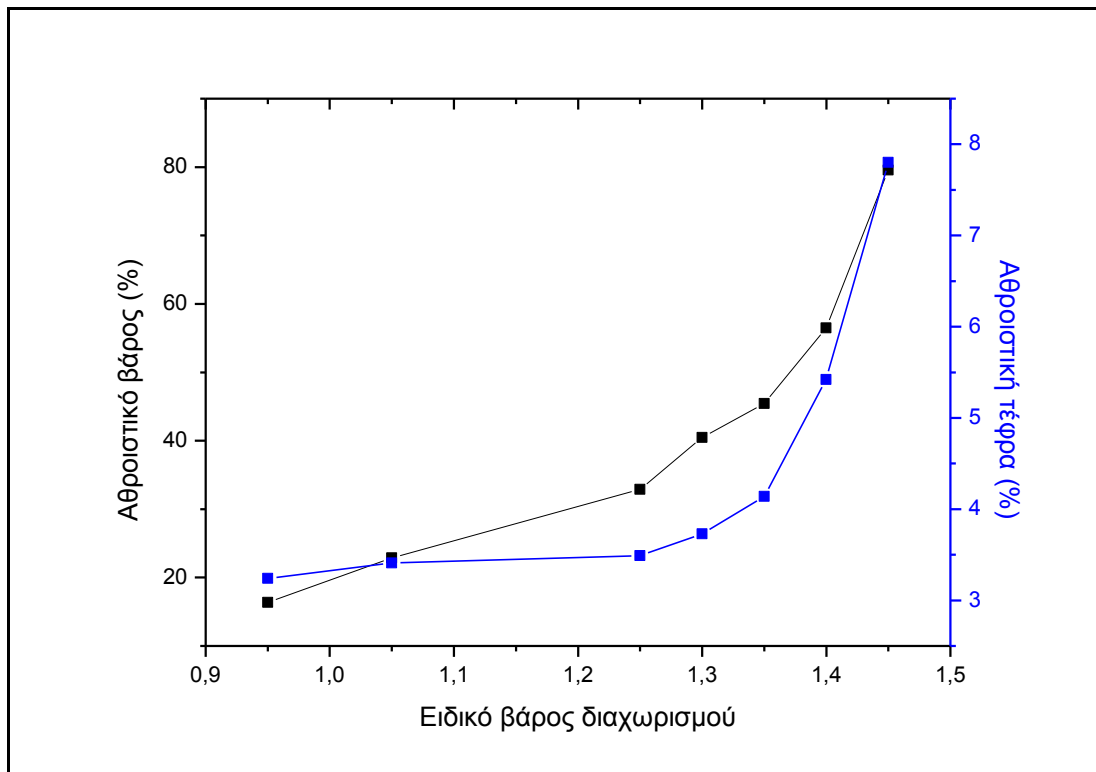
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΜΕΤΑΞ. ±0,1	ΜΕΣΟ ΕΙΔ. ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	ΒΑΡΟΣ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (%)	ΜΕΣΟ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΜΕΤΑΞ.±0,1	ΤΕΦΡΑ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΤΕΦΡΑ (%)
1,25	1,25	1,25	7,29	7,29	3,65	9,30	6,31	6,31
1,40	1,25 - 1,50	1,38	2,01	9,30	8,30	13,58	10,00	7,10
1,425	1,40 - 1,525	1,46	11,57	20,87	15,09	17,39	11,81	9,73
1,45	1,425 - 1,55	1,49	5,82	26,69	23,78	26,90	13,32	10,53
1,475	1,45 - 1,575	1,51	21,08	47,77	37,23	33,53	14,25	12,16
1,50	1,475 - 1,60	1,54	12,45	60,22	54,00	20,98	16,93	13,15
1,60	1,50 - 1,70	1,60	8,53	68,75	64,49	13,79	33,84	15,72
1,70	1,60 - 1,80	1,70	5,26	74,01	71,38	17,97	26,78	16,51
1,80	1,70 - 1,90	1,80	12,71	86,72	80,37	25,99	57,26	22,49
βυθ στο 1,80			13,28	100	93,36		69,05	28,66
ΣΥΝΟΛΟ			100					

Πίνακας 4.12. Αποτελέσματα εμπλουτισμού με βαρέα υγρά και προσεγγιστική ανάλυση του κλάσματος -1,00+0,50 mm (επί ξηρού).

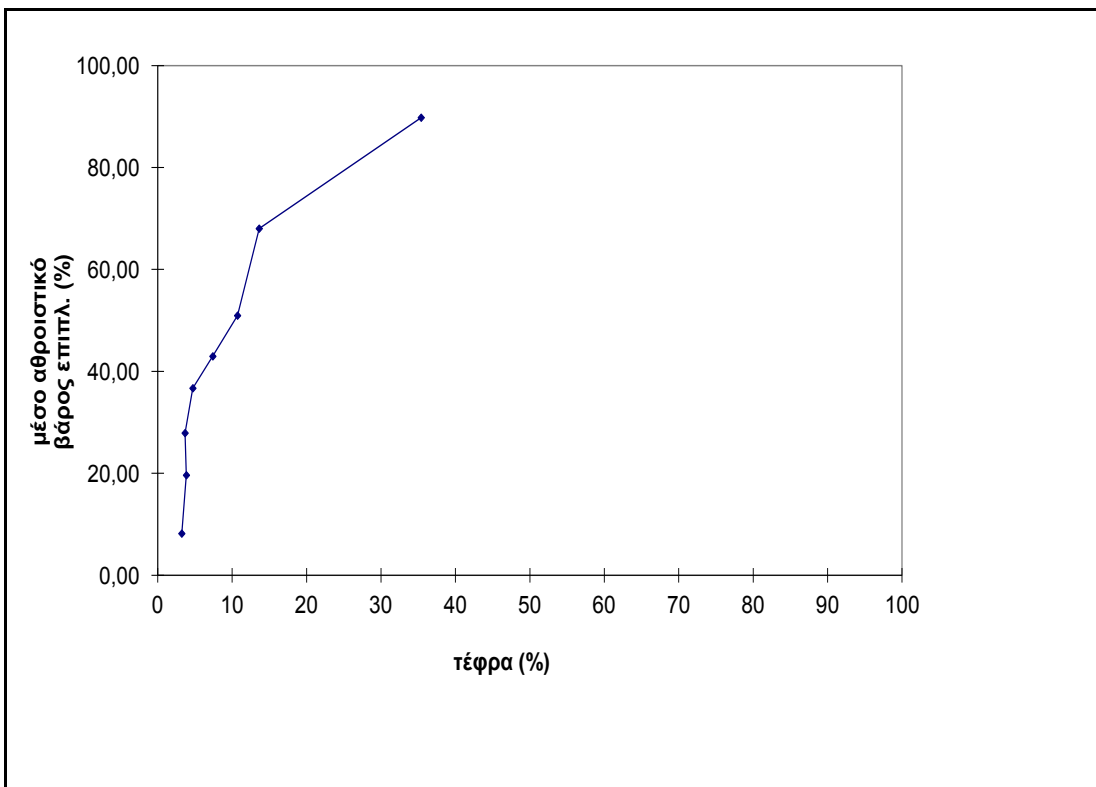
ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	ΒΑΡΟΣ (%)	ΤΕΦΡΑ (%)	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ (%)	ΜΟΝΑΔΕΣ ΤΕΦΡΑΣ	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΦΡΑΣ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΤΕΦΡΑ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΦΡΑΣ (%)
-1,00+0.05	επιπλ. 1,40 τροφή βυθισθέν	2,64	10,3 39,87 40,67	89,70 60,13 59,33	0,27 39,87 39,60	0,65 9,24 9,64	2,64	10,23 39,87 40,67	0,65 9,24 9,64
	επιπλ. 1,425 τροφή βυθισθέν	11,64	12,59 40,67 44,37	87,41 59,33 55,63	1,47 40,67 39,20	3,52 9,43 9,54	14,28	12,18 40,27 42,43	4,17 18,67 19,18
	επιπλ. 1,45 τροφή βυθισθέν	9,97	14,82 44,48 47,76	85,18 55,52 52,24	1,48 44,48 43,00	3,55 10,31 10,46	24,25	13,28 41,67 44,17	7,73 28,98 29,64
	επιπλ. 1,50 τροφή βυθισθέν	13,99	15,28 48,38 53,76	84,72 51,62 46,24	2,14 48,38 46,24	5,14 11,22 11,25	38,24	14,02 43,35 46,45	12,87 40,20 40,89
	επιπλ. 1,60 τροφή βυθισθέν	8,95	20,60 55,88 59,35	79,40 44,12 40,65	1,84 55,88 54,04	4,43 12,96 13,15	47,19	15,26 45,86 49,04	17,30 53,16 54,04
	επιπλ. 1,70 τροφή βυθισθέν	5,45	26,39 61,86 63,90	73,61 38,14 36,10	1,44 61,86 60,42	3,46 14,34 14,70	52,64	16,41 48,52 51,61	20,76 67,50 68,74
	επιπλ. 1,90 τροφή βυθισθέν	15,42	48,84 65,94 69,06	51,16 34,06 30,94	7,53 65,94 58,41	18,11 15,29 14,21	68,06	23,76 51,01 53,95	38,87 82,79 82,95
	επιπλ. 2,10 τροφή βυθισθέν	6,24	66,06 74,2 74,74	33,94 25,80 25,26	4,12 74,20 70,08	9,91 17,20 17,05	74,30	27,31 53,91 56,73	48,79 100,00 100,00
	βυθ.στο 2.10	25,70	82,86	17,14	21,30	51,21	100,00	41,58	100,00

Πίνακας 4.13. Αποτελέσματα εμπλουτισμού με βαρέα υγρά στα αθροιστικώς επιπλεύσαντα του κλάσματος -1,00+0,50 mm (επί ξηρού).

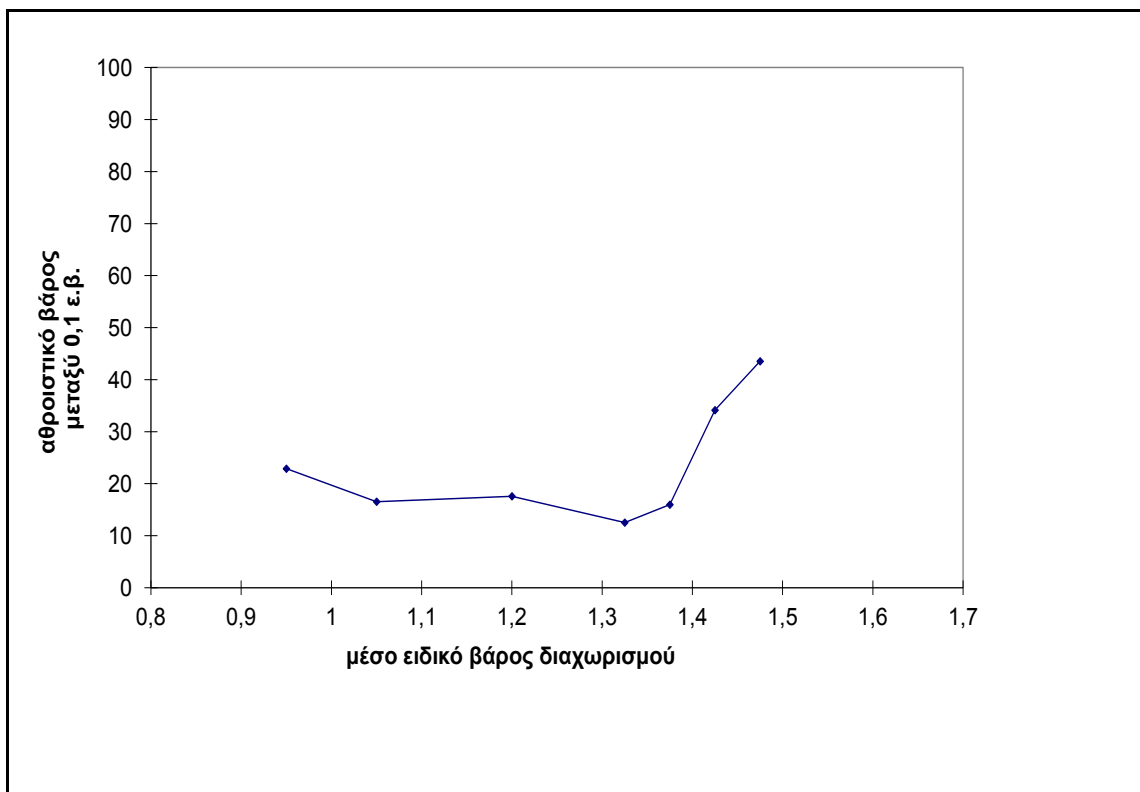
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΜΕΤΑΞ. $\pm 0,1$	ΜΕΣΟ ΕΙΔ. ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	ΒΑΡΟΣ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (%)	ΜΕΣΟ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΜΕΤΑΞ. $\pm 0,1$	ΤΕΦΡΑ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΤΕΦΡΑ (%)
1,40	1,40	1,40	2,64	2,64	1,32	14,28	10,30	10,23
1,43	1,40 - 1,53	1,47	11,64	14,28	8,46	21,61	12,59	12,18
1,45	1,43 - 1,55	1,49	9,97	24,25	19,27	23,96	14,82	13,28
1,50	1,45 - 1,60	1,53	13,99	38,24	31,25	22,94	15,28	14,02
1,60	1,50 - 1,70	1,60	8,95	47,19	42,72	14,40	20,60	15,26
1,70	1,60 - 1,80	1,70	5,45	52,64	49,92	20,87	26,39	16,41
1,90	1,70 - 2,00	1,85	15,42	68,06	60,35	21,66	48,84	23,76
2,10	1,90 - 2,20	2,05	6,24	74,30	71,18	31,94	66,06	27,31
βυθ στο 2,10			25,70	100	87,15		82,86	41,58
ΣΥΝΟΛΟ			100					



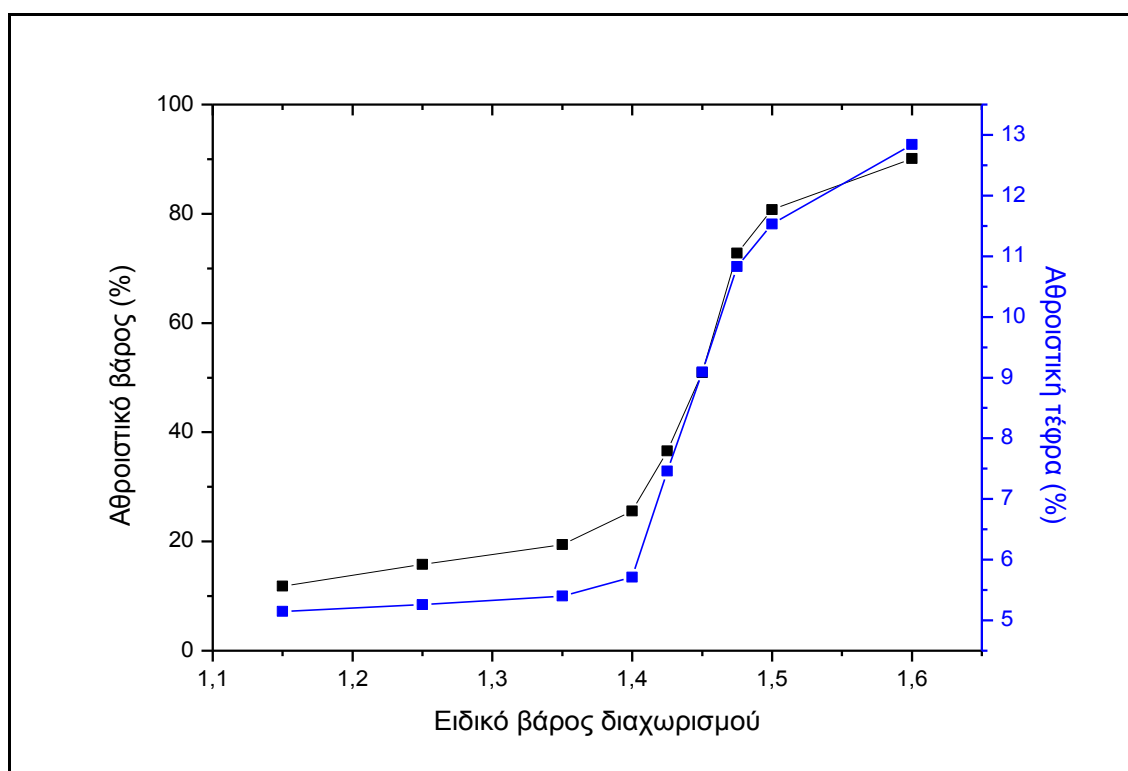
Διάγραμμα 4.5. Καμπύλη εμπλουτισιμότητας για τα αθροιστικώς ελαφρύτερα του κλάσματος +2,80 mm.



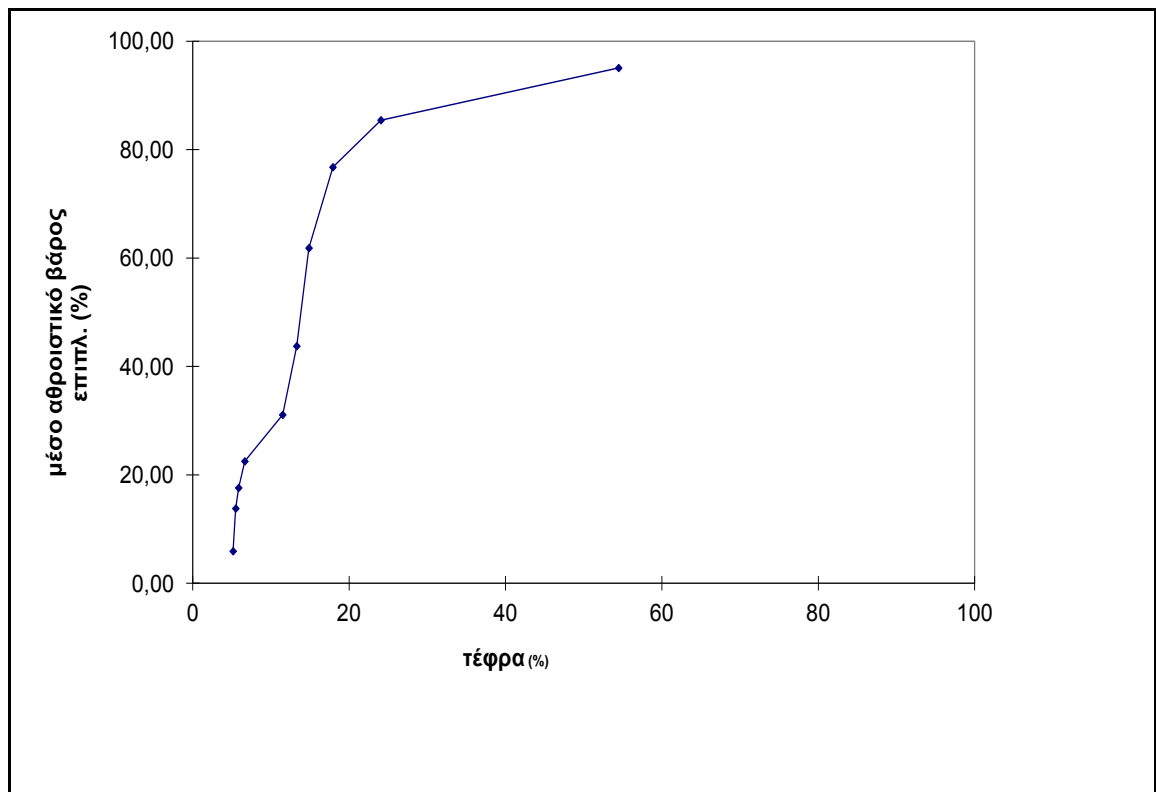
Διάγραμμα 4.6. Χαρακτηριστική καμπύλη περιεκτικότητας για τα αθροιστικώς ελαφρύτερα του κλάσματος +2,80 mm.



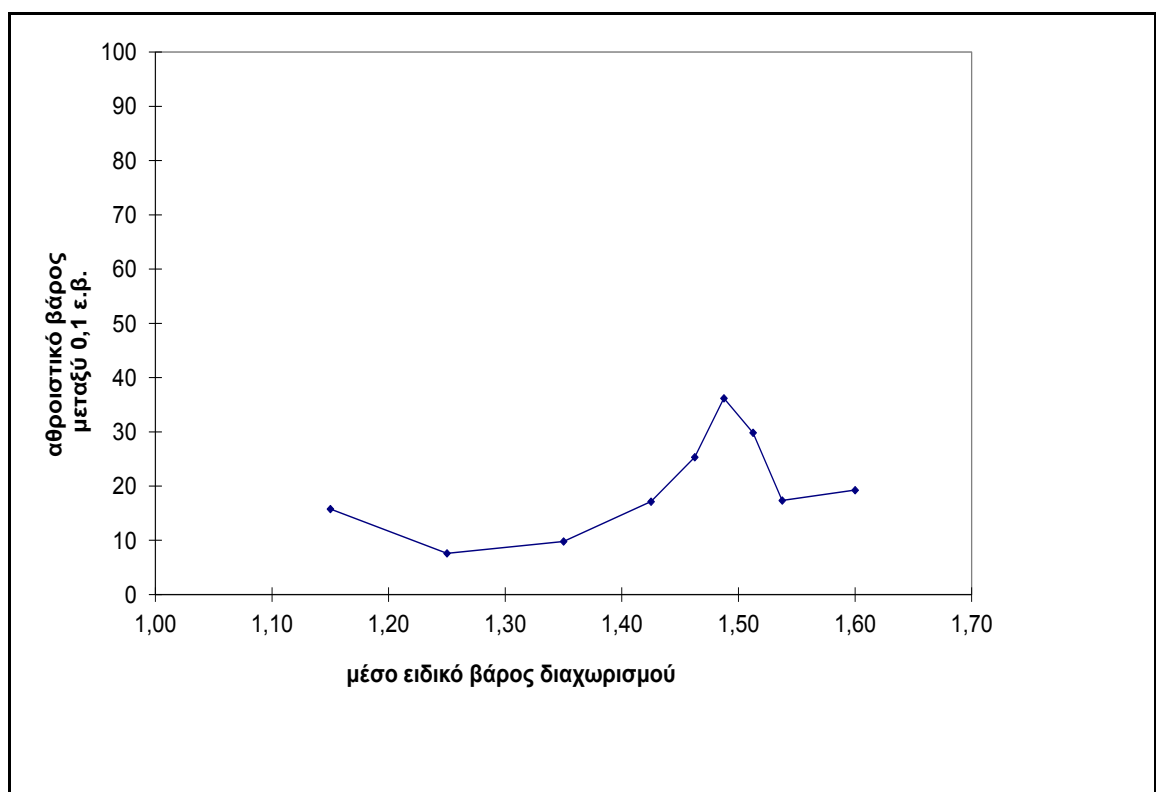
Διάγραμμα 4.7. Καμπύλη ανοχής για τα αθροιστικώς ελαφρύτερα του κλάσματος +2,80 mm.



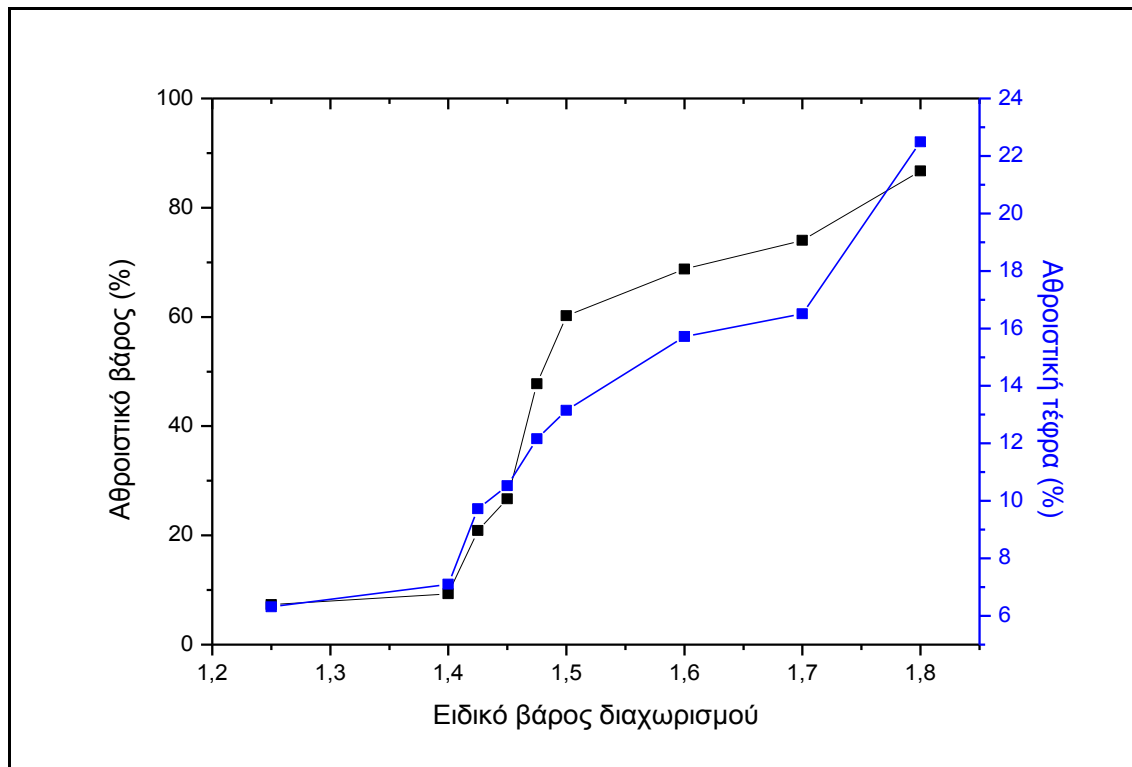
Διάγραμμα 4.8. Καμπύλη εμπλουτισιμότητας για τα αθροιστικώς ελαφρύτερα του κλάσματος -2,80+2,00 mm.



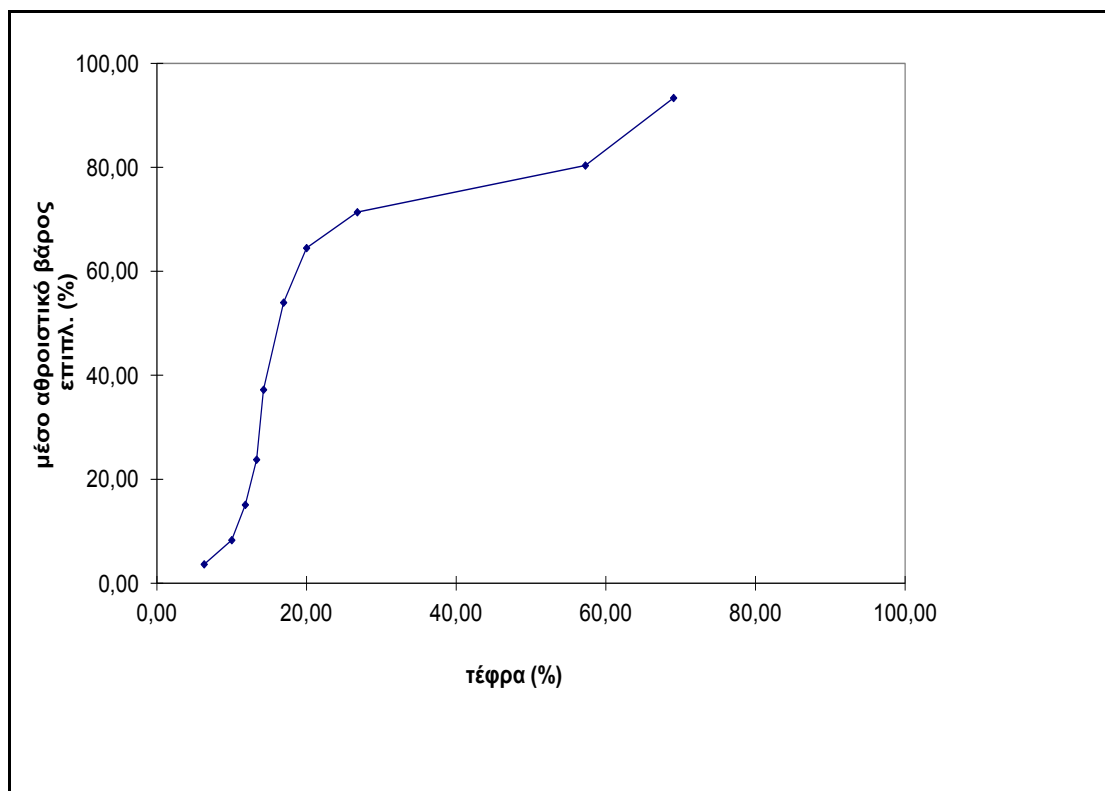
Διάγραμμα 4.9. Χαρακτηριστική καμπύλη περιεκτικότητας για τα αθροιστικώς ελαφρύτερα του κλάσματος -2,80+2,00 mm.



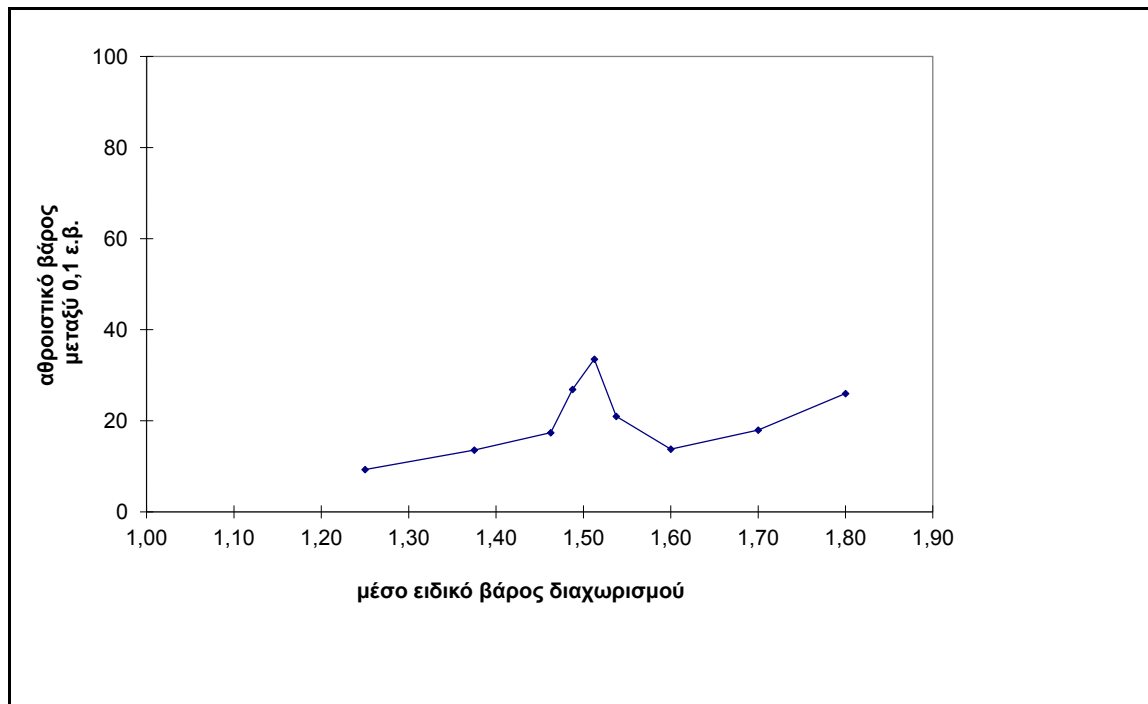
Διάγραμμα 4.10. Καμπύλη ανοχής για τα αθροιστικώς ελαφρύτερα του κλάσματος -2,80+2,00 mm.



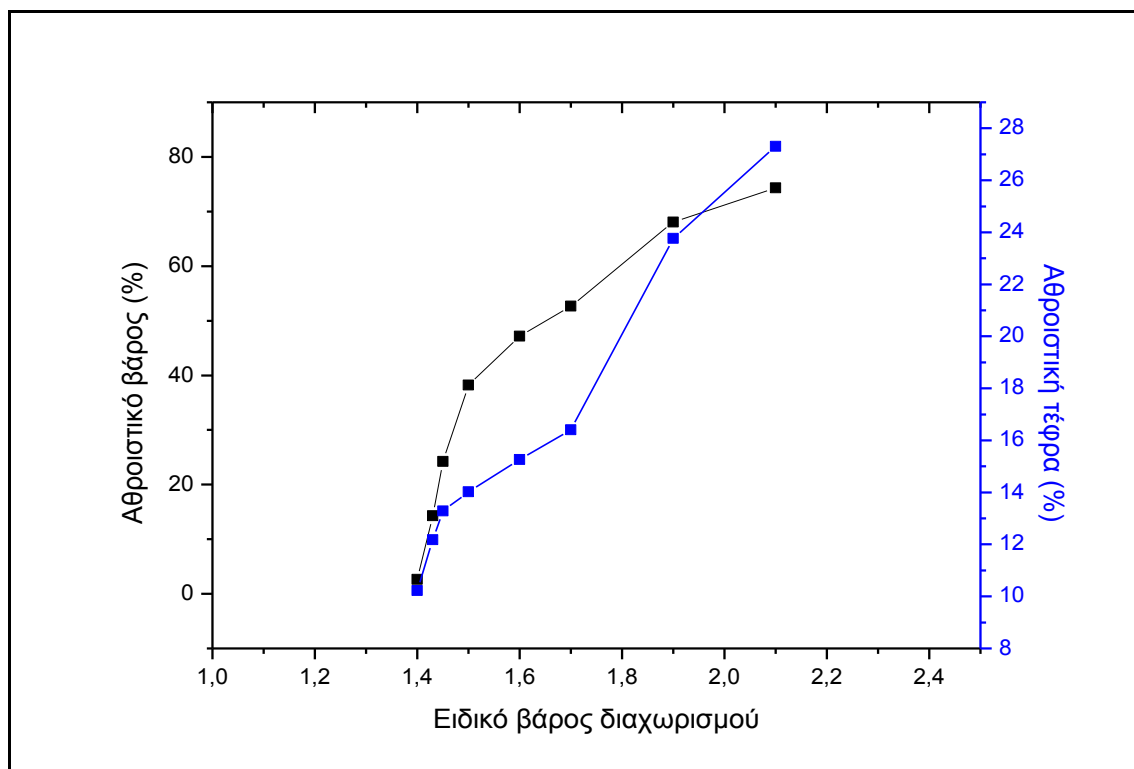
Διάγραμμα 4.11. Καμπύλη εμπλουτισιμότητας για τα αθροιστικώς ελαφρύτερα του κλάσματος -2,00+1,00 mm.



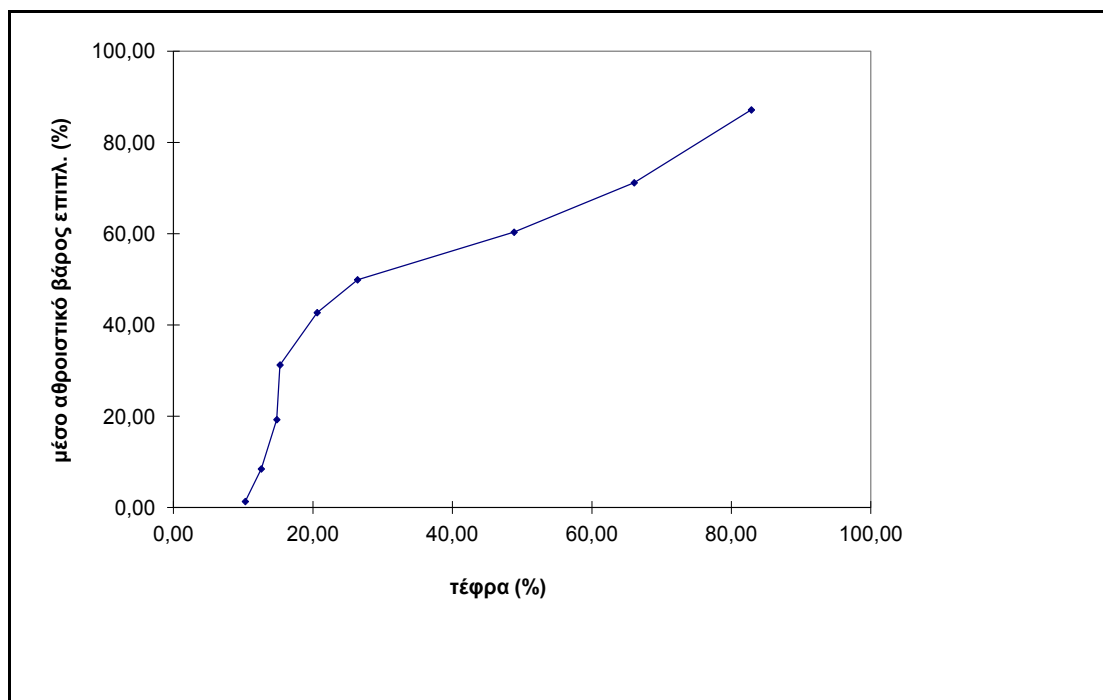
Διάγραμμα 4.12. Χαρακτηριστική καμπύλη περιεκτικότητας για τα αθροιστικώς ελαφρύτερα του κλάσματος -2,00+1,00 mm.



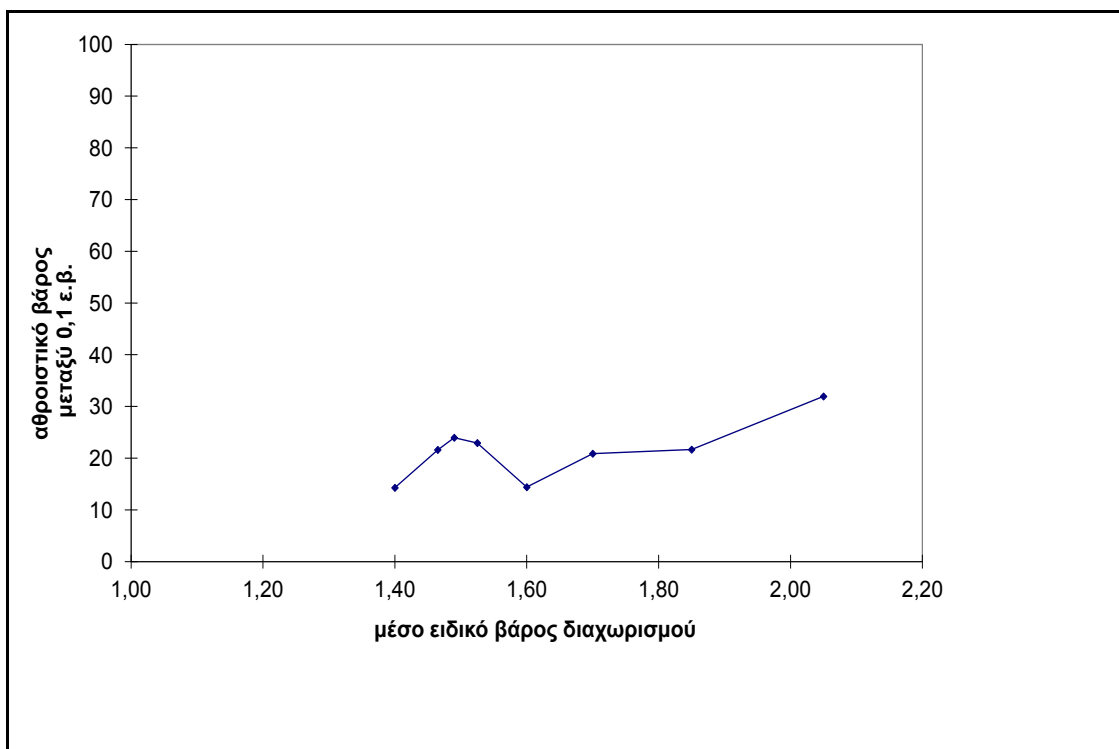
Διάγραμμα 4.13. Καμπύλη ανοχής για τα αθροιστικώς ελαφρύτερα του κλάσματος - 2,00+1,00 mm.



Διάγραμμα 4.14. Καμπύλη εμπλουτισιμότητας για τα αθροιστικώς ελαφρύτερα του κλάσματος -1,00+0,50 mm.



Διάγραμμα 4.15. Χαρακτηριστική καμπύλη περιεκτικότητας για τα αθροιστικώς ελαφρύτερα του κλάσματος -1,00+0,50 mm.



Διάγραμμα 4.16. Καμπύλη ανοχής για τα αθροιστικώς ελαφρύτερα του κλάσματος -1,00+0,50 mm.

4.4. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με βάση τα στοιχεία από τους Πίνακες 4.6-4.13 μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις:

- ♦ Στον Πίνακα 4.6, παρατηρούμε ότι για το κλάσμα +2,80mm το ποσοστό βάρους επιπλευσάντων είναι μεγαλύτερο στο μικρότερο και το μεγαλύτερο ειδικό βάρος διαχωρισμού (0,95 και 1,45). Η τέφρα% αυξάνεται ομαλά, όσο αυξάνεται το ειδικό βάρος διαχωρισμού, ενώ η μεγαλύτερη κατανομή τέφρας εμφανίζεται στο μεγαλύτερο ειδικό βάρος διαχωρισμού.
- ♦ Στον Πίνακα 4.8, για το κλάσμα -2,80+2,00mm, αντίθετα με το προηγούμενο κλάσμα, παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό βάρους επιπλευσάντων εμφανίζεται στα ειδικά βάρη 1,45 και 1,475. Η τέφρα % αυξάνεται ομαλά και γι' αυτό το κλάσμα, όμως η μεγαλύτερη κατανομή τέφρας εμφανίζεται στο ειδικό βάρος 1,475.
- ♦ Στον Πίνακα 4.10, όσον αφορά στο κλάσμα -2,00+1,00mm, το μεγαλύτερο ποσοστό βάρους επιπλευσάντων εμφανίζεται και πάλι στο ειδικό βάρος 1,475, ενώ πολύ μικρό είναι το ποσοστό για το ειδικό βάρος 1,40. Η τέφρα % εδώ αυξάνει ομαλά ως το ειδικό βάρος 1,70, ενώ στο τελευταίο ειδικό βάρος (1,80) παρατηρούμε απότομη αύξηση από 27 σε 57%. Η μεγαλύτερη κατανομή τέφρας εμφανίζεται στο 1,80, ενώ είναι παρόμοια για τα ειδικά βάρη 1,475 και 1,60.
- ♦ Στον Πίνακα 4.12, για το τελευταίο κλάσμα (-1,00+0,50mm) παρατηρούμε ότι το ποσοστό βάρους επιπλευσάντων μοιράζεται σε πολλά ειδικά βάρη, με μεγαλύτερη τιμή 15% περίπου, στο ειδικό βάρος 1,90. Η τέφρα αυξάνεται διαρκώς, όσο αυξάνει το ειδικό βάρος, ενώ η κατανομή τέφρας κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

Οι Πίνακες 4.7, 4.9, 4.11 και 4.13 αναφέρονται στα αθροιστικώς επιπλεύσαντα των επιμέρους κλασμάτων. Από αυτούς τους πίνακες παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό βάρους εμφανίζεται σε υγρά διαχωρισμού, που το ειδικό τους βάρος κυμαίνεται μεταξύ 1,45 και 1,50. Η τέφρα αυξάνεται σχετικά ομαλά. Στα μεγάλα ειδικά βάρη παρατηρείται απότομη αύξηση των τιμών, μέχρι τέλους.

4.5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Ο κύριος σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνηθεί η δυνατότητα βαρυτομετρικού διαχωρισμού του λιγνίτη από την υγρή τέφρα, προσδιορίζοντας όμως το καταλληλότερο ειδικό βάρος διαχωρισμού.

Στον Πίνακα 4.14 προσδιορίζεται η ετήσια αξία των συμπυκνωμάτων καυσίμων που προκύπτουν από τον εμπλουτισμό της υγρής τέφρας, καθώς και το ισοδύναμο των αναμενόμενων συμπυκνωμάτων σε συμβατικό λιγνίτη.

Πίνακας 4.14. Προσδιορισμός αξίας συμπυκνωμάτων καυσίμου και μετατροπή τους σε ισοδύναμο συμβατικό λιγνίτη, για την πενταετία '85-'90

Έτη	Ποσότητα υγρής τέφρας (εκ. τόνοι)	Περιεχόμενη αξία υγρής τέφρας (χιλ. ευρώ)	Ποσότητα συμπυκνώματος (εκ. τόνοι)	Αξία συμπυκνώματος (χιλ. ευρώ)	Ισοδύναμο συμπυκνώματος υγρής τέφρας σε συμβατικό λιγνίτη (εκ. τόνοι)
1985	0,45	652	0,17	487	0,24
1986	0,46	666	0,18	499	0,25
1987	0,51	737	0,20	552	0,28
1988	0,50	722	0,19	543	0,27
1989	0,51	737	0,20	552	0,28
1990	0,52	751	0,20	563	0,28
ΣΥΝΟΛΟ	2,95	4265	2,95	3196	1,60

Με βάση τον πίνακα αυτό, προκύπτει ότι η μη αξιοποίηση της υγρής τέφρας για τη συγκεκριμένη περίοδο (1985-1990) ισοδυναμεί με 1,60 εκατομμύρια τόνους συμβατικού λιγνίτη, που αντιστοιχούν σε 3,2 εκατομμύρια ευρώ.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι σε μια τέτοια εγκατάσταση εμπλουτισμού τροφοδοτούνται και οι απώλειες εκμετάλλευσης, που προέρχονται από την απόρριψη του λεπτού πάχους λιγνιτικών στρωμάτων, σε συνδυασμό και με την καλή ποιότητα των παραγόμενων συμπυκνωμάτων, είναι φανερό ότι χρειάζεται η λεπτομερής ανάλυση και μελέτη όλου του προβλήματος.

Για τον προσδιορισμό του κόστους παραγωγής ενός τόνου συμπυκνώματος καυσίμου από την υγρή τέφρα, θα πρέπει να γίνουν οι εξής παραδοχές:

- ♦ Το κόστος παραγωγής ενός τόνου συμβατικού λιγνίτη είναι τουλάχιστον 1,5 €/τόνο.
- ♦ Η δυναμικότητα της εγκατάστασης εμπλουτισμού του λιγνίτη είναι περίπου 300 τόνοι/ώρα.
- ♦ Από στατιστικά στοιχεία παραπλήσιων εγκαταστάσεων, προκύπτει ότι το κόστος κεφαλαίου ανά τόνο τροφοδοσίας είναι περίπου 0,075€.
- ♦ Η συμβολή του λειτουργικού κόστους για τις ίδιες εγκαταστάσεις είναι της τάξης των 0,09 € /τόνο αρχικής τροφοδοσίας.

Από τα προηγούμενα έγινε γνωστό ότι για την παραγωγή ενός τόνου συμπυκνώματος απαιτούνται 2,6 τόνοι αρχικής υγρής τέφρας, με περιεκτικότητα σε τέφρα έως και 55%.

Άρα το συνολικό κόστος παραγωγής ενός τόνου συμπυκνώματος καυσίμου είναι :

$$K_{\sigma} = (K_{κ,τ} + K_{λ,τ}) \times 2,6$$

όπου

K_{σ} το κόστος παραγωγής ενός τόνου συμπυκνώματος

$K_{κ,τ}$ το κόστος κεφαλαίου ανά τόνο αρχικής τροφοδοσίας

$K_{λ,τ}$ το λειτουργικό κόστος ανά τόνο αρχικής τροφοδοσίας

Σύμφωνα λοιπόν με τις ανωτέρω παραδοχές, η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$K_{\sigma} = (0,075 + 0,09) \times 2,6 \quad K_{\sigma} = 0,429 \text{ €/τόνο}$$

Η τιμή αυτή φανερώνει ότι η οικονομικότητα της εγκαταστάσεως εμπλουτισμού της υγρής τέφρας είναι εξασφαλισμένη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών για το βαρυτομετρικό διαχωρισμό του καυσίμου από την υγρή τέφρα του Ατμοηλεκτρικού Σταθμού Καρδιάς, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Η υγρή τέφρα προέρχεται από το λιγνίτη, ο οποίος έχει υποστεί μερική απόσταξη στην εστία των λεβήτων (ελάττωση των πτητικών συστατικών) και έπειτα έχει εμπλουτιστεί σημαντικά σε αδρανή συστατικά (**τέφρα έως και 55%**). Με αυτή την περιγραφή μπορούμε να χαρακτηρίσουμε την υγρή τέφρα ως «ειδικό φτωχό καύσιμο».
2. Το κοκκομετρικό μέγεθος της υγρής τέφρας επιτρέπει την βαρυτομετρική κατεργασία της, χωρίς να απαιτείται η παρεμβολή ενδιάμεσου σταδίου θραύσεως της. Η κοκκομετρική κατανομή της υγρής τέφρας του ΑΗΣ Καρδιάς δείχνει να προσεγγίζει τα χαρακτηριστικά της λογαριθμικής κανονικής κατανομής.
3. Προϊόν υγρής τέφρας με περιεκτικότητα σε τέφρα **40%** έχει Α.Θ.Δ. περίπου 4500 Kgal/Kg, που σημαίνει ότι το θερμικό της περιεχόμενο είναι αρκετό και θα πρέπει να ανακτηθεί.
4. Η εφαρμογή του βαρυτομετρικού διαχωρισμού για την ανάκτηση του λιγνίτη από την υγρή τέφρα φάνηκε ότι είναι δυνατή. Το προϊόν εμπλουτίσματος που προέκυψε έχει σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα. Το ειδικό βάρος που βρέθηκε ότι δίνει τα ευνοϊκότερα αποτελέσματα είναι **1,50 g/cm³** για το κλάσμα **-2,00+1,00mm**.
5. Τέλος, από την οικονομική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, προκύπτει ότι η εγκατάσταση εμπλουτισμού της υγρής τέφρας είναι οικονομικά δυνατή, αφού το συνολικό κόστος παραγωγής ενός εμπλουτίσματος είναι περίπου 0,43 ευρώ.
6. Λαμβάνοντας υπόψη τη χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα, πτητικά συστατικά, αλλά και τη σταθερότητα των ποιοτικών χαρακτηριστικών του εμπλουτίσματος, φαίνεται η μεγάλη σημασία που έχει η αξιοποίηση της υγρής τέφρας για την οικονομία μας. Ο εμπλουτισμένος λιγνίτης θα αυξήσει το βαθμό απόδοσης των εξαρτημένων από την καύση του λιγνίτη μονάδων.

Επίσης, η χρησιμοποίηση του σε ειδικές εξωηλεκτρικές χρήσεις θα μπορέσει να βοηθήσει την ανάπτυξη και την οικονομία μας. Και τελικά, μια τέτοιου είδους εγκατάσταση θα αποδεσμεύσει και το ορυχείο από την υποχρέωση του να παράγει λιγνίτη ποιότητας Α, που αυτό σημαίνει ότι θα έχει μεγαλύτερες απώλειες εκμετάλλευσης και μείωση των αποδόσεων των εκσκαφών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγριδιώτης Β., (1998), «Η επίδραση των χημικών αντιδραστηρίων στην επίπλευση των λιγνιτών», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
2. Ανδρονικίδης Ν., (1998), «Διερεύνηση δυνατότητας παραγωγής εμπλουτισμένων προϊόντων λιγνίτη, με τη μέθοδο της εκλεκτικής ελάττωσης μεγέθους και χρήση της μεθόδου των βαρέων διαμέσων», Μεταπτυχιακή Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
3. Βάμβουκα Δ., (2002). Αντιρυπογόνο Χρήσεις Γαιανθράκων. Τεχνολογίες Αξιοποίησης Γαιανθράκων Χαμηλής Τάξης. Εκδόσεις Ιων, σ. 594.
4. Βάμβουκα Δ., (1994), «Εξευγενισμός Γαιανθράκων», Σημειώσεις παραδόσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
5. Γκουτζαμάνη Φ., (1994), «Ποιοτική αναβάθμιση λιγνιτικού ενδιαμέσου από το ορυχείο Κομάνου, με τη μέθοδο εμπλουτισμού της εκλεκτικής ελάττωσης μεγέθους», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
6. Καβουρίδης Κ., Χαλούλος Κ., Λεοντίδης Μ. και Ρούμπος Χ., (2005). Η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην Ελλάδα με οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Σημερινή κατάσταση – Προοπτικές. ΤΕΕ, Αθήνα, Λιγνίτης και φυσικό αέριο στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας.
7. Καβουρίδης Κ., Μιχόπουλος Χ., (1982) «Μελέτη για τη δυνατότητα ανάκτησης του καυσίμου από την υγρή τέφρα του Α.Η.Σ. Καρδιάς» ΛΚΠ-Α/ΔΕΗ.
8. Κούβελα Ι., (2009), «Υπολογισμός θερμοδυναμικού κύκλου ελληνικού Α.Η.Σ. σε συνθήκες μεικτής καύσης ξηρού με φυσικό λιγνίτη», Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.
9. Νικολάου Ι., (1997), «Εμπλουτισμός Λιγνίτη Μεγαλόπολης με Βαρυτομετρικές Μεθόδους», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
10. Πέππας Θ., (2008), «Εγκατάσταση και παραμετρική μελέτη διάταξης ανάλυσης κοκκομετρίας – Εφαρμογή στην κοκκομετρική ανάλυση και τον προσδιορισμό των ραδιολογικών χαρακτηριστικών των διαφόρων κλασμάτων ιπτάμενης τέφρας», Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.
11. Σταμπολιάδης Η. και Νικολάου Ι., (2000). Μελέτη εμπλουτισμού λιγνίτη Μεγαλόπολης με τη μέθοδο των βαρέων διαμέσων. 3ο Συνέδριο Ορυκτού Πλούτου, ΤΕΕ, Ε.Ε. Μηχ. Μεταλ. Μετ., τόμος Β, σελ. 263-270.
12. Φραγκίσκος Α. (1990), «Η μελέτη του εμπλουτισμού των μεταλλευμάτων και βιομηχανικών ορυκτών», ΕΜΠ, Αθήνα.
13. www.dei.gr
14. www.rae.gr

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

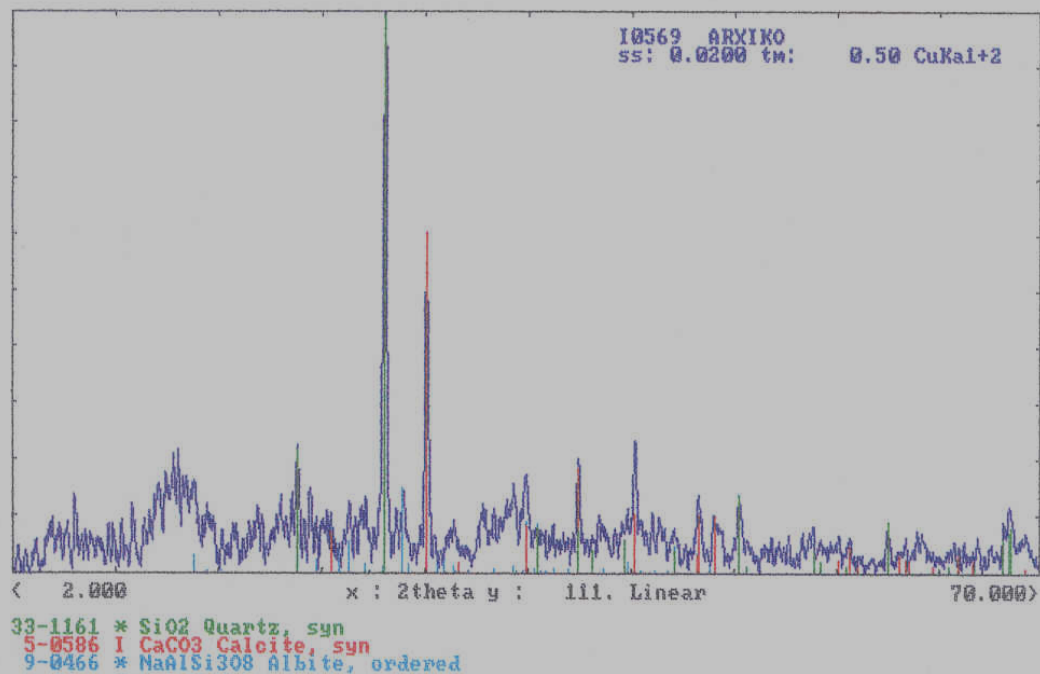
Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων-X (XRD)

[Περιθλασιμετρία κόνεως ακτίνων-X (XRD)]

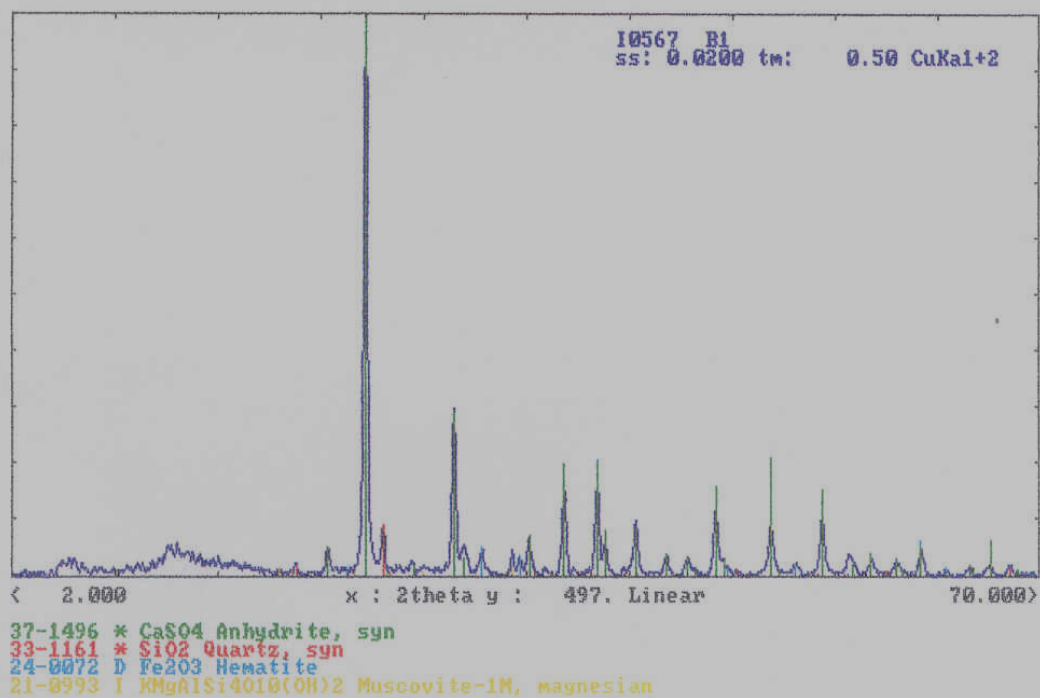
[X-ray diffraction qualitative analysis]

ΔΕΙΓΜΑ	Χαλαζίας	Ασβεστίτης	Αλβίτης	Αιματίτης	Μοσχοβίτης	Ανυδρίτης	Άσβεστος	Γκελενίτης	Ανορθίτης
ΑΡΧΙΚΟ	X	X	X						
B1 (1,25 ΤΡΟΦΗ)	X			X	X	X			
B3 (1,40 ΤΡΟΦΗ)	X			X		X	X		
B4 (1,425 ΤΡΟΦΗ)	X	X	X	X		X	X		
A5 (1,45 ΤΡΟΦΗ)	X		X	X		X	X		
A6 (1,475 ΤΡΟΦΗ)	X					X	X	X	X
B8 (1,50 ΤΡΟΦΗ)	X			X	X	X	X		X
B7 (1,60 ΤΡΟΦΗ)	X		X	X	X	X		X	

Ακολουθούν τα ακτινοδιαγράμματα των παραπάνω δειγμάτων.



?help Zoom Match File Clear Back. K a2 Peaks Smoo. Comp. Wfile Test -> T



?help Zoom Match File Clear Back. K a2 Peaks Smoo. Comp. Wfile Test -> M

