



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΞΕΥΓΕΝΙΣΜΟΥ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

«Μείωση εκπομπών CO₂ με εφαρμογή μεθόδων εμπλουτισμού»

MANTZA A. ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

Εξεταστική Επιτροπή

Δ. Βάμβουκα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια (επιβλέπουσα)

Μ. Γαλετάκης, Επίκουρος Καθηγητής

Δρ. Χ. Ροόμπος

Χανιά

Μάρτιος, 2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εξευγενισμού και Τεχνολογίας Στερεών Καυσίμων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Σκοπός της ήταν να διερευνηθεί κατά πόσο ο εμπλουτισμός λιγνίτη, ο οποίος περιέχει υψηλά ποσοστά τέφρας και ανθρακικού ασβεστίου, μπορεί να επιφέρει μείωση των εκπομπών CO₂ κατά την καύση του.

Ως βασική μέθοδος εμπλουτισμού εφαρμόστηκε η Εκλεκτική Ελάττωση Μεγέθους. Αρχικά λήφθηκε αντιπροσωπευτικό δείγμα με τη μέθοδο της τεταρτοδιαίρεσης για την διενέργεια προσεγγιστικής και ποιοτικής ανάλυσης. Το υπόλοιπο δείγμα ταξινομήθηκε με την χρήση κοσκίνων σε διακριτά κλάσματα από +100mm έως και -0.1mm. Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν από τα εκάστοτε δείγματα (κοιτάσματα Αχλάδας και Μαυροπηγής), κλάσματα των οποίων η περιεκτικότητα σε ποσοστό τέφρας επί ξηρού (%) ήταν μικρότερο του 20%.

Το υλικό αυτό θραύτηκε σε σιαγονωτό σπαστήρα και ταξινομήθηκε σε κλάσματα. Αντιπροσωπευτικά δείγματα ελήφθησαν για τις ποιοτικές αναλύσεις (προσδιορισμός ποσοστού υγρασίας και τέφρας, προσδιορισμός κατώτερης θερμογόνου δύναμης και έκλυσης CO₂ κατά την καύση). Για συγκεκριμένα δείγματα, επιλέχθηκε η μέθοδος της Εκλεκτικής λειοτριβήσης σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια. Επίσης, σε επιλεγμένα δείγματα εφαρμόστηκε μια χημική μέθοδος, με χρήση HCl, με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης κατά την καύση και κατά συνέπεια την μείωση των εκπομπών CO₂, μέσω αναβάθμισης της ποιότητας του καυσίμου.

Ως κριτήρια αξιολόγησης επιλέχθηκαν: ο Βαθμός Ανάκτησης (πάνω από 80%), ο υψηλός Βαθμός Απόδοσης των ατμοηλεκτρικών σταθμών, η βελτιωμένη κατανομή της τέφρας και το χαμηλό ποσοστό εκπομπών CO₂. Σύμφωνα με αυτά τα κριτήρια επιλέχθηκαν ως εμπλουτισμένα τα κλάσματα (+50 +0,5 mm) της αρχικής κατανομής για το δείγμα της Αχλάδας και ολόκληρη η αρχική κατανομή για το δείγμα της Μαυροπηγής. Επίσης, σημειώθηκε μικρή μείωση στα επίπεδα του ποσοστού εκπομπών CO₂ στο επιλεγμένο δείγμα της Αχλάδας, ενώ δεν παρατηρήθηκε μείωση στο δείγμα της Μαυροπηγής. Τέλος, τα δείγματα για τα οποία ακολουθήθηκε επεξεργασία με τη χημική μέθοδο παρουσίασαν σημαντική μείωση στις εκπομπές του CO₂. Συγκεκριμένα, το δείγμα της Μαυροπηγής εμφανίζει ποσοστό CO₂ στο επεξεργασμένο δείγμα 0,3% ενώ στο αρχικό 1%, ενώ στο δείγμα της Αχλάδας οι αντίστοιχες τιμές είναι 1,5% και 2,4%.

Αφιερώνεται
στην οικογένειά μου

Κατερίνα Μάντζα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οφείλω να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια κα. Δέσποινα Βάμβουκα-Καλουμένου για την ανάθεση του θέματος, την καθοδήγηση που μου προσέφερε, τις εύστοχες παρατηρήσεις και την άψογη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον επίκουρο καθηγητή κ. Μιχαήλ Γαλετάκη για τις πολύτιμες παρατηρήσεις και διορθώσεις που έκανε στο κείμενο, καθώς επίσης και τον Δρ. Χρήστο Ρούμπο, ο οποίος με τίμησε αποδεχόμενος να συμμετάσχει ως μέλος της εξεταστικής επιτροπής και συνεισέφερε με ουσιαστικές προτάσεις στη βελτίωση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξη που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Χανιά, Μάρτιος 2010

Κατερίνα Μάντζα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	ix
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
2.1 Αέρια ρύπανση από τη χρήση γαιανθράκων για παραγωγή ενέργειας.....	4
2.1.1 Το CO ₂ ως αέριο του θερμοκηπίου.....	5
2.1.2 Ενεργειακές πολιτικές.....	7
2.1.3 Μέθοδοι περιβαλλοντικού ελέγχου.....	17
2.2 Ελληνικοί γαιάνθρακες.....	28
2.2.1 Ο ρόλος των λιγνιτών στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας.....	29
2.2.2 Γένεση, αποθέματα και σύσταση των ελληνικών λιγνιτών.....	33
2.2.3 Η σημασία της ποιότητας των ελληνικών λιγνιτών στη λειτουργία των ΑΗΣ και τις εκπομπές του CO ₂	43
2.3 Μέθοδοι Εμπλουτισμού με σκοπό την μείωση των εκπομπών CO ₂ κατά την καύση.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
3.1 Μεθοδολογία εκτέλεσης δοκιμών.....	50
3.1.1 Εμπλουτισμός με Εκλεκτική λειοτριβήση.....	50
3.1.2 Εμπλουτισμός με οξύ (HCl).....	51
3.2 Προέλευση και Προετοιμασία Δειγμάτων.....	51
3.2.1 Λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων.....	52
3.2.2 Συσκευή κοκκομετρικής ανάλυσης.....	53

3.2.3	Συσκευές θραύσης και άλεσης.....	53
3.3	Χαρακτηρισμός Δειγμάτων.....	55
3.3.1	Προσεγγιστική ανάλυση.....	55
3.3.2	Στοιχειακή ανάλυση.....	56
3.3.3	Προσδιορισμός θερμογόνου δύναμης.....	60
3.3.4	Χημική ανάλυση τέφρας.....	61
3.3.5	Προσδιορισμός CO ₂ με τη μέθοδο του ασβεστιμέτρου.....	62
3.3.6	Προσδιορισμός CO ₂ με τη χρήση κλιβάνου.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ		
4.1	Ποιοτική ανάλυση αρχικών δειγμάτων.....	65
4.2	Κοκκομετρική Ανάλυση Αρχικών Δειγμάτων και Άμεση Ποιοτική ανάλυση των Κλασμάτων.....	68
4.3	Εμπλουτισμός δείγματος με τη μέθοδο της Ε.Ε.Μ. και αξιολόγηση των τελικών προϊόντων.....	71
4.4	Αποτελέσματα Εμπλουτισμού στα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά των Δειγμάτων.....	92
4.5	Κριτήρια Αξιολόγησης των Αποτελεσμάτων.....	99
4.6	Εκτίμηση του Κόστους των Εκπομπών CO ₂ των εμπλουτισμένων Δειγμάτων.....	106
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		108
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		111
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1:.....		113
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2:.....		119
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: :.....		125

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

2.1: Συμμετοχή της εκάστοτε ενεργειακής πρώτης ύλης στο ενεργειακό ισοζύγιο στην Ευρωπαϊκή Ένωση, Ελλάδα και Γερμανία.....	32
2.2: Τυπική σύνθεση τέφρας λιγνιτών.....	38
4.1: Προσεγγιστική ανάλυση αρχικών δειγμάτων.....	65
4.2: Στοιχειακή ανάλυση αρχικών δειγμάτων (% επί ξηρού).....	66
4.3: Χημική ανάλυση τέφρας αρχικών δειγμάτων (950°).....	67
4.4: Ποσοστό CO ₂ και Απώλεια Πύρωσης εκλυόμενα μεταξύ 600°C και 950°C στις τέφρες των δειγμάτων.....	68
4.5: Χημική ανάλυση των αρχικών κλασμάτων του δείγματος της Μαυροπηγής.....	69
4.6: Χημική ανάλυση των αρχικών κλασμάτων του δείγματος της Αχλάδας.....	69
4.7: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Α' Θραύσης του δείγματος της Μαυροπηγής.....	71
4.8: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Β' Θραύσης του δείγματος της Μαυροπηγής.....	72
4.9: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Γ' Θραύσης του δείγματος της Μαυροπηγής.....	72
4.10: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Α' Θραύσης του δείγματος της Αχλάδας.....	73
4.11: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Β' Θραύσης του δείγματος της Αχλάδας.....	73
4.12: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του αρχικού δείγματος Μαυροπηγής.....	75
4.13: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Α' Θραύσης της Μαυροπηγής.....	76

4.14:	Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Β' Θραύσης της Μαυροπηγής.....	77
4.15:	Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Γ' Θραύσης της Μαυροπηγής.....	78
4.16:	Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του αρχικού δείγματος της Αχλάδας.....	79
4.17:	Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Α' Θραύσης της Αχλάδας.....	80
4.18:	Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Β' Θραύσης της Αχλάδας.....	81
4.19:	Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ.....	93
4.20:	Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ.....	93
4.21:	Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ.....	94
4.22:	Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ.....	94
4.23:	Αποτελέσματα Βαθμού Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης Α.Η.Σ.....	100
4.24:	Αποτελέσματα Βαθμού Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης Α.Η.Σ.....	100
4.25:	Αποτελέσματα Βαθμού Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης Α.Η.Σ.....	101
4.26:	Αποτελέσματα Βαθμού Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης Α.Η.Σ.....	101
4.27:	Χαρακτηριστικά αρχικών κατανομών και των εμπλουτισμένων Κλασμάτων.....	105
4.28:	Αποτελέσματα εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος της Αρχικής κατανομής για το απόρριμμα.....	105

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

4.1: ΑΘΔ επί ξηρού κλασμάτων Μαυροπιηγής συναρτήσει της Καύσιμης ύλης επί ξηρού.....	70
4.2: ΑΘΔ επί ξηρού κλασμάτων Αχλάδας συναρτήσει της Καύσιμης ύλης επί ξηρού.....	70
4.3: Μείωση Τέφρας επί ξηρού των κλασμάτων της Αρχικής Κατανομής προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα.....	82
4.4: Μείωση Τέφρας επί ξηρού των κλασμάτων της Α' Θραύσης προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα.....	83
4.5: Μείωση Τέφρας επί ξηρού των κλασμάτων της Αρχικής Κατανομής προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα.....	83
4.6: Μείωση Τέφρας επί ξηρού των κλασμάτων της Α' Θραύσης προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα.....	84
4.7: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους επί ξηρού και της Αθροιστικής Τέφρας επί ξηρού Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Αρχικής Κατανομής.....	85
4.8: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους επί ξηρού και της Αθροιστικής Τέφρας επί ξηρού Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Α' Θραύσης.....	86
4.9: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους επί ξηρού και της Αθροιστικής Τέφρας επί ξηρού Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Αρχικής Κατανομής.....	87
4.10: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους επί ξηρού και της Αθροιστικής Τέφρας επί ξηρού Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Α' Θραύσης.....	88

- 4.11:** Μικρότερη (Βέλτιστη) Κατανομή ανά Βάρος Κλάσματος (Κ) κάθε θραύσης συναρτήσει του αντίστοιχου Κοκκομετρικού Κλάσματος.....89
- 4.12:** Μικρότερη (Βέλτιστη) Κατανομή ανά Βάρος Κλάσματος (Κ) κάθε θραύσης συναρτήσει του αντίστοιχου Κοκκομετρικού Κλάσματος.....90
- 4.13:** Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους ως έχει και της Αθροιστικής ΚΘΔ ως έχει Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Αρχικής κατανομής.....95
- 4.14:** Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους ως έχει και της Αθροιστικής ΚΘΔ ως έχει Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Α΄ Θραύσης.....96
- 4.15:** Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους ως έχει και της Αθροιστικής ΚΘΔ ως έχει Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Αρχικής Κατανομής.....97
- 4.16:** Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους ως έχει και της Αθροιστικής ΚΘΔ ως έχει Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Α΄ Θραύσης.....98
- 4.17:** Μεταβολή του λόγου Εε/Εα συναρτήσει του Αθροιστικού Βάρους Παραμένοντος (%)......102
- 4.18:** Μεταβολή του λόγου Εε/Εα συναρτήσει του Αθροιστικού Βάρους Παραμένοντος (%)......103
- 4.19:** Μεταβολή κόστους που εξοικονομείται από τη μείωση του ποσοστού CO₂ (Ac) ως προς τον επιβαλλόμενο φόρο (P).....107

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

Ο άνθρακας αποτελεί την πιο σημαντική ενεργειακή πρώτη ύλη σε παγκόσμιο επίπεδο. Το ύψος των αποθεμάτων των κοιτασμάτων των γαιανθράκων, η γεωγραφική τους εξάπλωση και οι τιμές του γαιάνθρακα (χαμηλές και σταθερές) τον καθιστούν βασικό παράγοντα για την επίτευξη των στόχων της βιώσιμης ανάπτυξης. [1]

Η χρήση των λιγνιτών για την παραγωγή ενέργειας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην Ευρωπαϊκή Ένωση καθώς το 1/3 της ενέργειας παράγεται από λιγνίτες, ενώ για τη χώρα μας, αποτελούν τη βασικότερη διαθέσιμη και αξιοποιήσιμη εγχώρια πηγή ενέργειας. Οι γαιάνθρακες αποτελούν το 65% περίπου των παγκόσμιων εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων, ενώ το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αντιπροσωπεύουν το εναπομένον 35%. [4] Τα τελευταία 30 χρόνια, η παγκόσμια παραγωγή άνθρακα έχει διπλασιαστεί από 2 δις τόνους/έτος σε 5 δις τόνους/έτος, με ετήσια αύξηση σε ποσοστό 3%. [6]

Αυτή η εντυπωσιακή αναβάθμιση του ρόλου του άνθρακα στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο οφείλεται στο διπλασιασμό της κατανάλωσης ηλεκτρισμού την περίοδο 2005-2030, ο οποίος αυξάνει το μερίδιό του από 17% στο 22% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Οι αυξημένες τιμές πετρελαίου και φυσικού αερίου καθιστούν τον άνθρακα περισσότερο ανταγωνιστικό για μονάδες ηλεκτροπαραγωγής βασικού φορτίου. [7]

➤ Τα πλεονεκτήματα χρήσης του άνθρακα

Ο άνθρακας παρέχει ασφάλεια εφοδιασμού σε Ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο. Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα άνθρακα αποτελούν τα πιο σημαντικά ενεργειακά αποθέματα, καθώς επαρκούν για πάνω από 200 χρόνια και απαντώνται σε περισσότερες από 100 χώρες. Αντίθετα, τα αποθέματα φυσικού αερίου και πετρελαίου είναι συγκεντρωμένα σε μικρό αριθμό χωρών

και κυρίως σε περιοχές που τα τελευταία χρόνια χαρακτηρίζονται από πολιτική αστάθεια και συγκρούσεις.

Οι τιμές του άνθρακα είναι και αναμένεται να παραμείνουν ανταγωνιστικές ενώ παρουσιάζουν σχετική σταθερότητα σε σχέση με το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο, των οποίων οι τιμές χαρακτηρίζονται από έντονες διακυμάνσεις και είναι απρόβλεπτες και μη ελεγχόμενες. [1]

Επιπρόσθετα, ο άνθρακας συμβάλει πολύπλευρα στη βιώσιμη ανάπτυξη του κόσμου με τους ακόλουθους τρόπους:

➤ Οικονομική ανάπτυξη

- Η συμμετοχή του άνθρακα στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας φτάνει το 38%, ποσοστό που είναι διπλάσιο σε σχέση με το φυσικό αέριο.
- Η χρήση άνθρακα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προβλέπεται να αυξηθεί κατά 60-70% μέχρι το 2030.
- Οι τιμές του άνθρακα είναι ανταγωνιστικές. [1]

➤ Κοινωνική ανάπτυξη

- Περίπου 7,0 εκατ. θέσεις εργασίας συνδέονται άμεσα με την παραγωγή και αξιοποίηση του άνθρακα.
- 1,6 δις άνθρωποι σε αναπτυσσόμενες χώρες δεν έχουν πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια. Ο άνθρακας λόγω των χαμηλών τιμών του και της γεωγραφικής εξάπλωσης του, θα βοηθήσει στον εξηλεκτρισμό των φτωχών περιοχών του κόσμου και στη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου. [1]

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση του άνθρακα έχει αυξηθεί ταχύτερα από κάθε άλλο καύσιμο. Το 2003, η κατανάλωση άνθρακα αυξήθηκε κατά 7%. Η ζήτηση της Κίνας αυξήθηκε κατά 15%, της Ρωσίας κατά 7%, της Ιαπωνίας κατά 5% και των ΗΠΑ κατά 2,6%. Σήμερα, σε ποσοστό της τάξεως του 40% της παγκόσμιας ηλεκτρικής παραγωγής γίνεται από τον άνθρακα. Στις ανεπτυγμένες χώρες το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο (77% της κινεζικής

παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται από άνθρακα, ενώ αντίστοιχα στην Ινδία 75%, στην Νότια Αφρική σε ποσοστό άνω του 90%). [6]

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να διερευνηθεί κατά πόσο ο εμπλουτισμός λιγνίτη, ο οποίος περιέχει υψηλά ποσοστά τέφρας και ανθρακικού ασβεστίου, μπορεί να επιφέρει μείωση των εκπομπών CO₂ κατά την καύση.

Για την διεκπεραίωση του σκοπού αυτού εφαρμόστηκε καταρχήν η μέθοδος της Εκλεκτικής Ελάττωσης Μεγέθους ως μέθοδος εμπλουτισμού σε δείγματα από την περιοχή της Μαυροπηγής και Αχλάδας. Η μέθοδος έγκειται στην εκλεκτική θραύση του δείγματος και την ταξινόμηση του σε διάφορα κλάσματα. Από τις ποιοτικές αναλύσεις των κοκκομετρικών κλασμάτων σε όλες τις θραύσεις (προσεγγιστική ανάλυση, θερμογόνος δύναμη και ποσοστό CO₂) αναμένεται να προκύψουν συμπεράσματα ως προς την αποτελεσματικότητα της μεθόδου για την μείωση των εκπομπών CO₂ από τους ΑΗΣ, διατηρώντας την απόδοση των σταθμών, καθώς επίσης τυχόν οικονομικά οφέλη λόγω της μείωσης του φόρου του CO₂ που επιβάλλεται στη χώρα μας από την Ε.Ε.

Επιπλέον, εκτός από την μέθοδο της εκλεκτικής ελάττωσης εφαρμόστηκε μια χημική μέθοδος με χρήση υδροχλωρικού οξέος (HCl) σε επιλεγμένα δείγματα ώστε να γίνει σύγκριση των δύο μεθόδων. Τα κριτήρια επιλογής των δειγμάτων είναι ο βαθμός ανάκτησης, η κατανομή της τέφρας και το ποσοστό των εκπομπών του CO₂.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Θεωρητικό μέρος

2.1 Αέρια ρύπανση από τη χρήση γαιανθράκων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η χρήση των στερεών καυσίμων για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τόσο στην Ελλάδα όσο και στον κόσμο είναι ουσιαστικά μονόδρομος, λόγω της υπεραφθονίας των στερεών καυσίμων και της παραγωγής φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας. Η επιφύλαξη που υπάρχει ως προς την χρήση γαιανθράκων οφείλεται στις εκπομπές του CO₂ που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. [11]

Είναι γνωστό ότι όλα τα συμβατικά ενεργειακά καύσιμα (fossil fuels), που χρησιμοποιούνται για ηλεκτροπαραγωγή, εκπέμπουν κατά την καύση τους οξείδια του άνθρακα, του θείου, του αζώτου κ.λπ., ενώ η ηλεκτροπαραγωγή από πυρηνικά συνδέεται με τα προβλήματα της ασφάλειας και της διάθεσης αποβλήτων. [3]

Τα ορυκτά καύσιμα και η κατανάλωση πυρηνικής ενέργειας συνδέονται στενά με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, η οποία απειλεί την ανθρώπινη υγεία, μέσω των κλιματικών αλλαγών και των επιπτώσεων του φαινομένου του θερμοκηπίου. [4]

Αν ληφθούν υπόψη μόνο οι εκπομπές CO₂, τότε τα στερεά καύσιμα και οι λιγνίτες ειδικότερα, βρίσκονται σε μειονεκτική θέση έναντι των υπολοίπων υγρών ή αερίων συμβατικών καυσίμων. Αν όμως ληφθούν υπόψη όλα τα εκπεμπόμενα αέρια του θερμοκηπίου, τότε η διαφορά μεταξύ των τριών συμβατικών καυσίμων (άνθρακα, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) γίνεται σημαντικά μικρότερη. [3]

Τα τελευταία χρόνια οι βιομηχανίες άνθρακα των ανεπτυγμένων χωρών έχουν αναπτύξει τεχνολογίες αξιοποίησης-καύσης του άνθρακα που είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον και με υψηλό βαθμό απόδοσης. Οι τεχνολογικές

αυτές εξελίξεις σε συνδυασμό και με τα άλλα πλεονεκτήματα του άνθρακα ως καύσιμο δημιουργούν θετικές προοπτικές για μια αξιόπιστη, οικονομική και περιβαλλοντικά συμβατή αξιοποίηση του άνθρακα και για το μέλλον. [3]

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί η επιρροή των εκπομπών CO₂ από τους ΑΗΣ που χρησιμοποιούν γαιάνθρακες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και οι τεχνολογίες που έχουν αναπτυχτεί για τον περιβαλλοντικό έλεγχο, καθώς επίσης και οι ενεργειακές πολιτικές που έχουν εφαρμοστεί παγκοσμίως για τον περιορισμό των ρυπαντών.

2.1.1 Το CO₂ ως αέριο του θερμοκηπίου

Ο όρος «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου», χρησιμοποιείται γενικά για το σύνολο των στοιχείων της ατμόσφαιρας (κυρίως υδρατμοί και σύννεφα) για τη διατήρηση της επιφάνειας της γης σε θερμή κατάσταση, συσχετίζεται πλέον με τη συνεισφορά του CO₂ στο ρόλο αυτό. Όμως και άλλα αέρια, όπως το CH₄, οι CFCs, τα αλογόνα, το N₂O, το όζον και το υπεροξείδιο του νιτρικού ακετυλίου (τα ονομαζόμενα αέρια του θερμοκηπίου), τα οποία παράγονται στις βιομηχανίες και οικιακές δραστηριότητες, συντελούν στην εμφάνιση και διόγκωση του φαινομένου, έχοντας ως αποτέλεσμα την άνοδο της θερμοκρασίας της γης. [4]

Η ανθρωπότητα συντελεί, επίσης στην αύξηση της συγκέντρωσης των διαφόρων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Οι εκπομπές CO₂ από την καύση των ορυκτών καυσίμων, οι εκπομπές μεθανίου από αυξημένη ανθρώπινη δραστηριότητα, οι εκπομπές χλωροφλουορανθράκων και η καταστροφή των δασών συντείνουν από κοινού στην επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Πολλοί, αν όχι οι περισσότεροι ειδικοί στην κλιματική αλλαγή, θεωρούν ότι η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων αποτελεί την κύρια αιτία της συγκέντρωσης του CO₂. Περίπου 29 δις τόνοι CO₂ εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, από τους οποίους 23 δις προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων και άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες. [4]

Η υλοποίηση των επενδύσεων στον Τομέα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας θα έχει άμεσα θετικά οφέλη για το περιβάλλον, καθώς μεταξύ των ετών 2006 και 2015 θα εξασφαλισθεί μείωση ανά παραγόμενη κιλοβατώρα:

- Του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κατά 25%
- Του διοξειδίου του θείου (SO₂) κατά 91%
- Των οξειδίων του αζώτου (NO_x) κατά 39%
- Των σωματιδίων (PM) κατά 56% [7]

Σύμφωνα με το Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης, κάθε χρόνο εκλύονται στην ατμόσφαιρα περίπου 6 δις τόνοι άνθρακα με την μορφή CO₂, από τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Τις τελευταίες δεκαετίες, οι εκπομπές αυτές αυξηθήκαν με ρυθμό περίπου 2% ετησίως. Η χρήση των γαιανθράκων ευθύνονταν για το 40% της αύξησης των εκπομπών CO₂, παγκοσμίως, ενώ τα αντίστοιχα ποσοστά για το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο ήταν 31% και 29% αντίστοιχα. Στις επερχόμενες τρεις δεκαετίες, το πετρέλαιο θα παράγει το 37%, ενώ η συνεισφορά του φυσικού αερίου θα αυξηθεί στο 25%. Χωρίς τη λήψη συγκεκριμένων μέτρων για τη μείωση των εκπομπών CO₂, περίπου 1500GtC αναμένεται να εκλυθούν στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα. [4]

Οι αυξημένες συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα των αερίων του θερμοκηπίου, αυξάνουν τον τρόπο κατά τον οποίο τα αέρια αυτά δεσμεύουν την θερμότητα, αυξάνοντας την επιφανειακή θερμοκρασία. Έτσι, η θερμοκρασία της επιφάνειας της γης αυξήθηκε κατά περίπου 0,6°C τον τελευταίο αιώνα, γεγονός που συντέλεσε στην άνοδο της επιφάνειας της θάλασσας περίπου 20cm. Πολλοί επιστήμονες προβλέπουν ότι η θερμοκρασία της γης μπορεί να αυξηθεί κατά τη διάρκεια αυτού του αιώνα κατά 2°C ακόμα και ίσως μέχρι τους 4°C. Αν αυτή η πρόβλεψη επαληθευτεί, το ύψος της επιφάνειας της θάλασσας θα μπορούσε να αυξηθεί μεταξύ 30 και 60cm πριν το τέλος τους 21^{ου} αιώνα. Οι επιπτώσεις ενός τέτοιου φαινομένου θα είναι δραματικές, καθώς θα επιφέρουν πλημμύρες στους παράκτιους οικισμούς, μετατόπιση των εύφορων ζωνών για γεωγραφικές καλλιέργειες και

παραγωγή τροφίμων προς υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη, μειωμένη διαθεσιμότητα νερού για άρδευση και άλλες ουσιαστικές χρήσεις. Αυτές οι επιπτώσεις μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την επιβίωση ολόκληρων τμημάτων του πληθυσμού. [4]

2.1.2 Ενεργειακές πολιτικές

Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, οι σκοποί της ενεργειακής πολιτικής, συνοψίζονται σε τρεις στόχους, που αποτελούνται από την «ασφάλεια της παροχής ενέργειας», την «επίτευξη ανταγωνιστικών τιμών και κόστους» και τη «χρήση της ενέργειας κατά τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον». Ο πρώτος στόχος είναι η αποφυγή των διακοπών παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και η ασφάλεια της παροχής ενέργειας να συμβαδίζει με τη μείωση της εξάρτησης σε εισαγόμενες κύριες ενεργειακές πηγές. Ο δεύτερος στόχος της ενεργειακής πολιτικής, η επίτευξη ανταγωνιστικών ενεργειακών τιμών που εκφράζεται σαν μια προσπάθεια συγκράτησης του κόστους. [4]

Σύμφωνα με μελέτες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η Ευρωπαϊκή Ένωση, το έτος 2020, θα εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις ενεργειακές της εισαγωγές και κατά συνέπεια θα είναι ευάλωτη στις διακυμάνσεις και τις αυξήσεις των τιμών. Στην περίπτωση αυτή, η στροφή προς εγχώριες ενεργειακές πηγές μπορεί να συνεισφέρει στην κατεύθυνση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλού κόστους. Σήμερα, οι περιβαλλοντικές διαστάσεις της χρήσης της ενέργειας εστιάζουν στην αποφυγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να συνεισφέρει στην επίτευξη αυτού του στόχου. [4]

Η καταπολέμηση των κλιματικών αλλαγών είναι μια από τις κύριες δεσμεύσεις πίσω από την στρατηγική βιώσιμης ανάπτυξης της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σε μια προσπάθεια διαμόρφωσης μιας στρατηγικής στην κατεύθυνση της βιώσιμης παραγωγής ενέργειας στην Ευρώπη και στη μείωση της στρατηγικής εξάρτησης από τα εισαγόμενα καύσιμα και ιδιαίτερα από το

πετρέλαιο, τόσο η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, όσο και μεμονωμένα κράτη-μέλη έχουν λάβει διάφορες πολιτικές πρωτοβουλίες. [4]

Στρατηγική καθαρού άνθρακα.

Η στρατηγική καθαρού άνθρακα περιέχει τρία στάδια.

- **Πρώτο στάδιο:** Σε αυτό το στάδιο ο στόχος είναι να εφαρμοστούν τελευταίας τεχνολογίας συστήματα στις ήδη υπάρχουσες μονάδες παραγωγής. Σε κάποιες περιπτώσεις είναι απαραίτητη η εγκατάσταση βελτιωμένων συστημάτων καθαρισμού των αερίων. Μπορεί ακόμα να συνδυαστούν ώστε αποδοτικότητα και περιβαλλοντική εναρμόνιση να επιτευχθούν σε χαμηλό κόστος.
- Σε **δεύτερο στάδιο**, κάποιες υπάρχουσες αποδοτικές μέθοδοι θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε βιομηχανικό επίπεδο. Θεωρητικά, αν η ευρωπαϊκή ένωση αντικαθιστούσε όλες τις μονάδες παραγωγής ενέργειας θα πετύχαινε μείωση από 250 ως 300 Mt των εκπομπών διοξειδίου το άνθρακα σε Ευρώπη μόνο. Αυτό αντιστοιχεί στο 25% με 30% των σημερινών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Σε **τρίτο στάδιο**, θα αναπτυχθούν τεχνικές δέσμευσης και αποθήκευσης του CO₂. Τόσο ευρωπαϊκές όσο και διεθνείς έρευνες δείχνουν ότι η ανάπτυξη τεχνολογιών για διαχωρισμό και διευθέτηση του CO₂ είναι έτοιμη για εφαρμογή και θα είναι οικονομικά εφικτές μέχρι το 2020. Μακροπρόθεσμα, ανοίγει ο δρόμος για μονάδες παραγωγής ρεύματος με μηδενικές εκπομπές CO₂. [5]

Αποτελέσματα ολοκλήρωσης Στρατηγικού Σχεδίου ως προς το περιβάλλον.

Η επιτυχής ολοκλήρωση του στρατηγικού σχεδίου θα έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας, διατηρώντας παράλληλα ένα ισορροπημένο μίγμα καυσίμων στο ενεργειακό ισοζύγιο. Αναβάθμιση των υπάρχουσών μεθόδων – επιλογών.

Κάποιες απλές εφαρμογές είναι:

- Προετοιμασία του γαιάνθρακα (ξήρανση και μπρικετοποίηση). Αυτό μπορεί να μειώσει το ποσοστό της τέφρας κατά 50%, μείωση των εκπομπών SO₂ και βελτίωση της θερμικής αποδοτικότητας, οδηγώντας σε μείωση των CO₂ εκπομπών. Η μέθοδος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και από τις ανεπτυγμένες χώρες σαν μια φτηνή μέθοδος για την βελτίωση της περιβαλλοντικής χρήσης του γαιάνθρακα.
- Επίσης, η αναβάθμιση των λιγότερο αποδοτικών μονάδων μπορεί να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 22%. Ακόμα μεγαλύτερες μειώσεις, πάνω από 45%, έχουν επιτευχθεί από σύγχρονες μονάδες στην Ιαπωνία, στις ΗΠΑ, Ρωσία, Κίνα και Αυστραλία. [6]

➤ Το πρωτόκολλο του Κιότο και οι δεσμεύσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο (11-12-1998) για τις κλιματικές αλλαγές η Ευρωπαϊκή Ένωση, συνολικά, έχει δεσμευτεί για την περίοδο 2008-2012 να περιορίσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (έξι αέρια: CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, SF₆, PFCs) κατά 8% σε σχέση με τα επίπεδα εκπομπών του έτους βάσης 1990. [1]

Το Πρωτόκολλο του Κιότο προβλέπει μια σειρά αγοραίων μηχανισμών, όπως το Εμπόριο Εκπομπών, την από Κοινού Υλοποίηση (JI) και το Μηχανισμό Καθαρής Ανάπτυξης (CDM). Αυτοί επιτρέπουν στις βιομηχανικές χώρες να επιτύχουν τους στόχους τους εμπορευόμενες τα δικαιώματα εκπομπών στο εξωτερικό. Η από Κοινού Υλοποίηση αναφέρεται σε χώρες οι οποίες έχουν στόχους εκπομπών, ενώ ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης αναφέρεται σε έργα σε αναπτυσσόμενες χώρες, οι οποίες δεν δεσμεύονται από συγκεκριμένους στόχους. Το Συνέδριο του Κιότο θεωρείται μια συντηρητική πρώτη προσπάθεια στα πλαίσια μια διεθνούς προσπάθειας για τη

σταθεροποίηση του παγκόσμιου κλίματος. Έτσι καμία από τις κύριες βιομηχανικές χώρες δεν έχει επικυρώσει το Πρωτόκολλο του Κιότο μέχρι το τέλος του 2001. [4]

Οι στόχοι του Κιότο για περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου θα επιτευχθούν μόνο αν το παράδειγμα των χωρών της Ε.Ε. υιοθετηθεί και από τις χώρες που εκπέμπουν τις μεγαλύτερες ποσότητες αερίων, όπως είναι οι ΗΠΑ, η Κίνα, η Αυστραλία, κ.λπ. Η Ελλάδα δεσμεύτηκε να περιορίσει την αύξηση των εκπομπών στο 25% μέχρι το 2012, σε σχέση με τις εκπομπές του έτους βάσης 1990. [1] Το 41% των παγκοσμίων εκπομπών CO₂ προέρχεται από δυο μόνο χώρες, τις ΗΠΑ και την Κίνα. [5] Η Ε.Ε. συνολικά κατάφερε μείωση των εκπομπών 2% έως το 2007. [1]

➤ Πράσινη Βίβλος

Σαν πρώτο βήμα προς μια στρατηγική ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε μια Πράσινη Βίβλο τον Νοέμβριο του 1996. Αυτό είχε σα σκοπό το διπλασιασμό της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών στη συνολική παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας, σε επίπεδα της τάξης του 12% μέχρι το 2010. Το Νοέμβριο του 2000, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε μια Πράσινη Βίβλο για την ασφάλεια της παροχής ενέργειας, με στόχο την εκκίνηση ενός διαλόγου σε γεωπολιτικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά θέματα, που σχετίζονται με την εξασφάλιση της παροχής ενέργειας στην Ευρώπη. Τον Ιούνιο του 2005, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε μια Πράσινη Βίβλο για την ενεργειακή Αποδοτικότητα, η οποία περιλαμβάνει ένα κατάλογο επιλογών για τη μείωση ποσοστού 20% της ενεργειακής κατανάλωσης μέχρι το 2020, κατά τρόπο αποδοτικό από πλευράς κόστους. Η πρωτοβουλία αυτή θα βοηθήσει την Ευρώπη να δημιουργήσει μεγαλύτερη ανάπτυξη και καλύτερες θέσεις εργασίας καθώς και να φέρει εις πέρας τις υποχρεώσεις της, οι οποίες απορρέουν από την συνθήκη του Κιότο. [4]

➤ Λευκή Βίβλος

Η Λευκή Βίβλος, η οποία υιοθετήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 1997, στοχεύει στην «Κοινοτική Στρατηγική και Σχέδιο Δράσης, Ενέργεια για το Μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας». Ένα άμεσο αποτέλεσμα από την Λευκή Βίβλο είναι η Καμπάνια για Απογείωση, η οποία στοχεύει στην υλοποίηση των στόχων της Πράσινης Βίβλου. Η καμπάνια κάλυψε την περίοδο 1997-2003. Οι στόχοι από την Λευκή Βίβλο περιλαμβάνουν την παραγωγή 828 PJ βιο-ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το 2010, δηλαδή ένα δεκαπλασιασμό της δυναμικότητας σε σύγκριση με το 1995 και την αύξηση του μεριδίου της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στο ένα τρίτο. Συνολικά, προβλέπει για το 2010, μια συνεισφορά παραγωγής ενέργειας από βιομάζα της τάξης των 5700 PJ, δηλαδή ένα τριπλασιασμό του επιπέδου του 1999. [4]

➤ Προώθηση της παραγωγής ηλεκτρισμού από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Η οδηγία γνωστή ως “Οδηγία RES-E”, υιοθετήθηκε το 2001 και έχει στόχο τη δημιουργία ενός πλαισίου για αύξηση του μεριδίου της “πράσινης” ηλεκτρικής ενέργειας από 14% σε 22% της μεικτής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στη Ευρώπη μέχρι το 2010. Με τον τρόπο αυτό θα συνδράμει στο διπλασιασμό του μεριδίου των πηγών πράσινης ενέργειας από 6% σε 12% της μέσης ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρώπη μέχρι το 2010 και να βοηθήσει περαιτέρω τη συμμόρφωση της Ευρωπαϊκής Ένωσης στις επιταγές του Πρωτοκόλλου του Κιότο, για την μείωση των εκπομπών GHG. [4]

➤ Ευρωπαϊκό Σχέδιο Εμπορίας Εκπομπών

Με τη Οδηγία Εμπορίου Εκπομπών 2003/87/ΕΕ, θεσπίστηκε σύστημα εμπορίας εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (ETs) για τις χώρες της Ε.Ε, που προβλέπει ανώτατα όρια εκπομπών ανά πηγή ή βιομηχανική εγκατάσταση και δυνατότητα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών. [1]

Το σύστημα ETs λειτουργεί στη βάση ανώτατων ορίων εκπομπών και εμπορίας δικαιωμάτων. Η κεντρική ιδέα του συστήματος είναι η μείωση των ρύπων ανεξάρτητα της περιοχής. Για το σκοπό αυτό προβλέπονται οι παρακάτω εναλλακτικοί μηχανισμοί συμμόρφωσης με τους περιορισμούς εκπομπών των Εθνικών Σχεδίων Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών CO₂ (ΕΣΚΔΕ):

- **Ενδοεπιχειρησιακές δράσεις:** Επενδύσεις εξοικονόμησης ενέργειας, βελτίωση βαθμού απόδοσης παραγωγικών δραστηριοτήτων κ.λπ.
- **Απόκτηση Δ.Ε. μέσω της ελεύθερης αγοράς που διαμορφώνεται μέσα στην Ε.Ε:** Βιομηχανικές εγκαταστάσεις, των οποίων οι ετήσιες εκπομπές υπερβαίνουν τα Δ.Ε. CO₂ που κατανεμήθηκαν μέσω των ΕΣΚΔΕ, θα πρέπει να αγοράσουν τα επιπλέον δικαιώματα της υπέρβασης. Αντίθετα, εγκαταστάσεις που οι ετήσιες εκπομπές τους είναι λιγότερες από τα δικαιώματα που τους κατανεμήθηκαν, μπορούν να πουλήσουν τα πλεονάζοντα Δ.Ε.
- **Απόκτηση Δ.Ε. μέσω έργων Μηχανισμών Καθαρής Ανάπτυξης (Clean Development Mechanism - CDM) και από κοινού προγραμμάτων (Joint Implementation - JI):** Πρόκειται για έργα που εκτελούν επιχειρήσεις χωρών που έχουν επικυρώσει τη συνθήκη του Κιότο σε αναπτυσσόμενες χώρες (για τα έργα CDM) και σε χώρες αναπτυγμένων ή μεταβατικών οικονομιών (για τα έργα JI), τα οποία αφορούν κυρίως εξοικονόμηση ενέργειας και εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. [1]

Τα ΕΣΚΔΕ των χωρών μελών της Ε.Ε. διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ως προς την δομή, το περιεχόμενο, τα δεδομένα και τις μεθόδους που θα εφαρμοστούν για την επίτευξη των τελικών στόχων του Κιότο. Ειδικότερα, παράμετροι, όπως η ποσότητα των συνολικών δικαιωμάτων, το απόθεμα για νεοεισερχόμενους, η κατανομή σε σύγκριση με αναμενόμενες εκπομπές, το ποσοστό εκπομπών που καλύπτεται από ΕΣΚΔΕ, η χρήση πιστοποιητικών και δράσεων CDM και JI, η ομαδοποίηση εγκαταστάσεων, η περίοδος αναφοράς ιστορικών εκπομπών δεν αντιμετωπίζονται με ενιαίο τρόπο από τις χώρες μέλη της Ε.Ε. με αποτέλεσμα οι επιπτώσεις να είναι διαφορετικές. [1]

Στη Γερμανία το ΕΣΚΔΕ καλύπτει το 95% των αναγκών σε Δ.Ε. CO₂ και επιπρόσθετα υπάρχουν μηχανισμοί που ευνοούν τις επενδύσεις στον ενεργειακό τομέα και στη βιομηχανία του λιγνίτη. Στην Αγγλία, η κυβέρνηση ζήτησε μεγαλύτερη μείωση εκπομπών και συγκεκριμένα στις δραστηριότητες ηλεκτροπαραγωγής τα Δ.Ε. είναι λιγότερα κατά 28% σε σχέση με το 2004. [1]

Σε ότι αφορά την Ελλάδα, τα βασικά στοιχεία του ΕΣΚΔΕ για την περίοδο 2005-2007 συνοψίζονται στα εξής:

- Τα Δ.Ε. καθορίζονται σε 213,4 εκατ.t CO₂ (71,4 εκατ. t CO₂/έτος) για τις 141 εγκαταστάσεις που εντάσσονται στο σύστημα, στις δραστηριότητες ηλεκτροπαραγωγής καθορίζονται 155,9 εκατ.t CO₂ (ποσοστό 73% των συνολικών δικαιωμάτων).
 - Το σύνολο των Δ.Ε. CO₂ είναι κατά 2,1% μικρότερο από τις προβλεπόμενες εκπομπές των ενταχθεισών στο ΕΣΚΔΕ εγκαταστάσεων.
- [1]

Αξιολογώντας τα ΕΣΚΔΕ και το σύστημα εμπορίας εκπομπών CO₂ της πρώτης περιόδου προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Τα Δ.Ε. CO₂, που κατανεμήθηκαν στις διάφορες χώρες, υπολείπονται σημαντικά των αναμενόμενων εκπομπών.
- Η κατανομή των δικαιωμάτων στις επιχειρήσεις δεν έγινε με ενιαία κριτήρια, με αποτέλεσμα να προκύπτουν ανισομερείς επιβαρύνσεις σε

κρίσιμους τομείς, όπως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα και διαφορετικές επιπτώσεις από χώρα σε χώρα.

- Είναι αναγκαία η 2^η φάση (2008-2012) να εξομαλυνθούν οι διαφορές και να δημιουργηθεί κατάλληλο επενδυτικό κλίμα, ώστε να καλυφθούν με αξιοπιστία και με χαμηλό κόστος οι μελλοντικές ανάγκες των χωρών της Ε.Ε. [1]

➤ Προώθηση Συνδυασμένης Παραγωγής Θερμότητας και Ισχύος

Η οδηγία σχετικά με την προώθηση της συμπαραγωγής θερμότητας και ισχύος, αποσκοπεί στην αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και στη βελτίωση της ασφάλειας της προσφοράς για τον σκοπό αυτό δημιούργησε ένα πλαίσιο για την προώθηση και ανάπτυξη συστημάτων παραγωγής θερμότητας και ισχύος υψηλής αποδοτικότητας. Αυτό θα βασίζεται στη ζήτηση χρήσιμης θερμότητας και την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας στην εσωτερική αγορά, λαμβάνοντας υπόψη τις ειδικές συνθήκες σε κάθε χώρα και ειδικότερα τις κλιματικές και οικονομικές συνθήκες. Βραχυπρόθεσμα, η πρόθεση της οδηγίας είναι η υποστήριξη εγκαταστάσεων συμπαραγωγής θερμότητας και ισχύος και η ανάπτυξη της αγοράς σε επίπεδο που επιτρέπει την εύρυθμη λειτουργία της. Μέχρι το 2010, εκτιμάται ότι η δυναμικότητα των εγκαταστάσεων συμπαραγωγής θερμότητας και ισχύος θα φτάσει τα 20 GWe. Μια τέτοια χρήση της βιομάζας θα δημιουργήσει πιέσεις στη ζήτηση προϊόντων βιομάζας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. [4]

➤ Σχέδιο Δράσης για τη Βιομάζα

Το 2004, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε ένα Σχέδιο Δράσης για τη Βιομάζα που είχε σαν στόχο να τεθούν μέτρα για την αύξηση της ανάπτυξης ενέργειας από ξύλο, απόβλητα και αγροτικές καλλιέργειες. Περιλαμβάνει μέτρα για την προώθηση της βιομάζας στη θέρμανση, στην παραγωγή ηλεκτρισμού και στις μεταφορές. Παρά το γεγονός ότι βρίσκονται σε εξέλιξη

πολλές πρωτοβουλίες στον τομέα της βιο-ενέργειας στην Ευρώπη, δεν έχουν ακόμα επιτευχτεί οι στόχοι που έχουν τεθεί. Εφόσον η βιο-ενέργεια θεωρείται ως η πλέον σημαντική πηγή ανανεώσιμου καυσίμου στην ΕΕ, πρέπει να αναληφθούν περαιτέρω πρωτοβουλίες στον τομέα της βιο-ενέργειας οι οποίες θα επιτρέψουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση να επιτύχει τους στόχους της. [4]

➤ Ενεργειακή πολιτική της Ελλάδος

Οι επενδύσεις τις οποίες προγραμματίζει να πραγματοποιήσει η ΔΕΗ και οι οποίες προβλέπεται να ξεπεράσουν τα 12 δις € αποβλέπουν στην εξασφάλιση πλήρους ενεργειακής επάρκειας, στην ενίσχυση της οικονομικής ανάπτυξης και κοινωνικής ευημερίας και στη αποτελεσματικότερη προστασία του περιβάλλοντος. Η Στρατηγική Παραγωγής της ΔΕΗ θα υλοποιηθεί με την κατασκευή νέων μονάδων σύγχρονης τεχνολογίας φιλικής προς το περιβάλλον, με καύσιμα τους εγχώριους λιγνίτες, τον εισαγόμενο άνθρακα και το φυσικό αέριο. Παράλληλα, η ΔΕΗ συνεχίζει την κατασκευή μεγάλων Υδροηλεκτρικών έργων και προωθεί το Επιχειρησιακό Σχέδιο για την πραγματοποίηση επενδύσεων ύψους περίπου 2 δις € στον τομέα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. [7]

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να επισημανθεί ότι, η κατασκευή ανθρακικών μονάδων, που θα ενσωματώνουν την πλέον σύγχρονη περιβαλλοντική τεχνολογία με δυνατότητες δέσμευσης και αποθήκευσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), θα έχει πολλαπλά θετικά οικονομικά οφέλη για την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη και την προστασία περιβάλλοντος. Η πολιτική της ΔΕΗ στον τομέα του άνθρακα είναι πλήρως ευθυγραμμισμένη με αυτήν της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως προκύπτει και από την πρόσφατη ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σχετικά με τις δυνατότητες δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂. [7]

Οι νέες ανθρακικές Μονάδες κατασκευάζονται και λειτουργούν λαμβάνοντας υπόψη όλες τις σύγχρονες τεχνολογίες και πρακτικές όπως αυτές αποτυπώνονται στα κείμενα της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις Βέλτιστες

Διαθέσιμες Τεχνικές των Μεγάλων Εγκαταστάσεων Καύσης με καύσιμο άνθρακα. [7]

Ο υψηλός βαθμός απόδοσης σε συνδυασμό με την εγκατάσταση πλήρους αντιρρυπαντικού εξοπλισμού σύγχρονης τεχνολογίας (end-of-pipe technology) εξασφαλίζει περιβαλλοντικές επιδόσεις ως προς τους συμβατικούς ρύπους- διοξείδιο του θείου (SO₂), οξείδια του αζώτου (NO_x) και σωματίδια. Σημειώνεται, ότι οι εκπομπές των νέων μονάδων είναι πολύ καλύτερες των αυστηρότατων ορίων που η σχετική Ευρωπαϊκή περιβαλλοντική νομοθεσία προβλέπει. [7]

Το σχέδιο Οδηγίας για την υπόγεια αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα προβλέπει ότι όλες οι νέες μονάδες ορυκτών καυσίμων (λιγνιτικές, πετρελαϊκές, ανθρακικές και φυσικού αερίου):

- Θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα μεταγενέστερης εγκατάστασης εξοπλισμού δέσμευσης CO₂ (capture ready).
- Κατά τη διαδικασία περιβαλλοντικής τους αδειοδότησης θα πρέπει να εξεταστεί η διαθεσιμότητα χώρου υπόγειας αποθήκευσης.
- Όταν ο εξοπλισμός δέσμευσης CO₂, καταστεί εμπορικά διαθέσιμος, θα μπορεί να εγκατασταθεί στις μονάδες αυτές για το διαχωρισμό του CO₂ από τα καυσαέρια και την εν συνεχεία υγροποίησή του. Αποτέλεσμα της εγκατάστασης αυτής θα είναι να εκπέμπονται περιορισμένες εκπομπές CO₂ στην ατμόσφαιρα. [7]

Οι εκπομπές του CO₂ από τους ΑΗΣ που χρησιμοποιούν στερεά καύσιμα μπορούν να ελαττωθούν σημαντικά όταν αυξηθεί ο συντελεστής απόδοσης του καυσίμου. Ήδη στην Ανατολική Γερμανία λειτουργεί μονάδα με συντελεστή ενεργειακής απόδοσης του λιγνίτη στο 42% ενώ στην Ελλάδα οι μονάδες λειτουργούν με συντελεστή απόδοσης του καυσίμου στο 32%. Η χρήση νέων τεχνολογιών καύσης ελαττώνει τις εκπομπές του CO₂ κατά 30% ήτοι το 19% των εκπομπών του CO₂ που εκπέμπονται από την χρήση των στερεών καυσίμων στους ΑΗΣ μπορεί να πέσει κάτω του 14%.

Επιπροσθέτως, αν συνεκτιμηθεί η δυνατότητα της τηλεθέρμανσης που παρέχουν όλοι οι ΑΗΣ, άρα και τον εκπομπό του πετρελαίου θέρμανσης που επίσης εκπέμπει στην ατμόσφαιρα CO₂ αλλά και την προσρόφηση του CO₂ από τις αναδασωτές εκτάσεις που αναπτύσσονται στα λιγνιτωρυχεία μετά το πέρας της εκμετάλλευσης, τότε η χρήση των στερεών καυσίμων, είναι η καλύτερη λύση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, το φυσικό αέριο είναι μια εισαγόμενη πρώτη ύλη από περιοχές με μεγάλη πολιτική αστάθεια και ως ενεργειακή πρώτη ύλη ακολουθεί τις τιμές του πετρελαίου, επομένως είναι και θα είναι ακριβότερη από τον λιγνίτη. [11]

2.1.3 Μέθοδοι περιβαλλοντικού ελέγχου

Στα πλαίσια του πρωτοκόλλου του Κιότο, βάση του οποίου έχουν υιοθετηθεί μέτρα περιορισμού των εκπομπών για τα αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε διεθνές επίπεδο, η ανάγκη για μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς είναι επιτακτική. [8]

Στις δυο τελευταίες δεκαετίες, ο κίνδυνος και η πραγμάτωση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης έχουν γίνει περισσότερο εμφανείς. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων έχουν αυξηθεί δραματικά, σαν επακόλουθο της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού, της κατανάλωσης, της βιομηχανικής δραστηριότητας και άλλων παραγόντων. [9]

Πέρα από τις προόδους σε περιβαλλοντική επιστήμη, οι εξελίξεις σε βιομηχανικές διεργασίες και δομές οδήγησαν σε νέα περιβαλλοντικά προβλήματα. Αυτά εκτείνονται σε ένα συνεχώς αυξανόμενο εύρος ρύπων, κινδύνων και παραγόντων υποβάθμισης του οικοσυστήματος, όπως η μόλυνση του αέρα, η καθίζηση οξέων, η μείωση του όζοντος, η καταστροφή των δασών και η εκπομπή ραδιενεργών ουσιών. Η καύση των ορυκτών καυσίμων οδηγεί αναπόφευκτα στην παραγωγή όλων αυτών των κατηγοριών ρύπων. Τα κρισιμότερα γνωστά προβλήματα είναι η καθίζηση των οξέων, η

μείωση της στοιβάδας του όζοντος στη στρατόσφαιρα και η παγκόσμια κλιματική αλλαγή. [4]

Η ανάπτυξη καθαρών και αποδοτικών τεχνολογιών καύσης του άνθρακα είναι αναγκαία για την εξασφάλιση της περιβαλλοντικής συμβατότητας του. Οι καθαρές τεχνολογίες καύσης περιλαμβάνουν:

- Εφαρμογή αντιρρυπαντικών τεχνολογιών για τη μείωση εκπομπών CO₂
- Καθαρισμός των αερίων με δέσμευση του CO₂
- Δέσμευση και αποθήκευση CO₂ [1]

- **Εφαρμογή αντιρρυπαντικών τεχνολογιών για τη μείωση εκπομπών CO₂**

Σκοπός των νέων τεχνολογιών είναι η μελλοντική αντικατάσταση των συμβατικών μονάδων παραγωγής ενέργειας με νέες, οι οποίες θα είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον και θα εξασφαλίζουν φθηνή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. [5]

Παρακάτω αναφέρονται τρεις αντιρρυπαντικές τεχνολογίες:

- Υπερκρίσιμες και έξτρα-υπερκρίσιμες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας

Η απόδοση των συμβατικών μονάδων καύσης άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ 36% και 38%. Πριν 30 χρόνια, υπήρχε η άποψη αυτά τα ποσοστά θα αντιπροσώπευαν τη μέγιστη απόδοση μιας μονάδας καύσης άνθρακα. Όμως, με την εξέλιξη σύνθετων υλικών γίνεται δυνατή η εξέλιξη υπερκρίσιμων τεχνολογιών οι οποίες προσφέρουν μεγαλύτερη απόδοση (> 45%) και λιγότερες εκπομπές. Ακόμη μεγαλύτερη απόδοση αναμένεται από τις έξτρα-υπερκρίσιμες μονάδες παραγωγής ενέργειας, οι οποίες λειτουργούν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις. [6]

Στις περισσότερες χώρες, οι υπερκρίσιμες μονάδες είναι πλέον εμπορικές, με κόστος κεφαλαίου λίγο υψηλότερο από αυτό των συμβατικών μονάδων καύσης άνθρακα και κόστος καυσίμου σημαντικά χαμηλότερο λόγω της αυξημένης απόδοσης. Σε παγκόσμιο επίπεδο, λειτουργούν περισσότεροι από 400 τέτοιοι σταθμοί. [6]

➤ Ολοκληρωμένη αεριοποίηση συνδυασμένου κύκλου

Η διεργασία IGCC προσφέρει ακόμη μια προοπτική για μια πιο φιλική προς το περιβάλλον χρήση του γαιάνθρακα. Με πολύ υψηλά επίπεδα απόδοσης, επιτυγχάνει απομάκρυνση των εκπομπών NO_x και SO_x κατά 95-99%. Η εξέλιξη της διεργασίας αυτής θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στις περιβαλλοντικές επιδόσεις του γαιάνθρακα. [6] Επίσης, θεωρείται μεταξύ των “καθαρότερων” και πιο αποτελεσματικών αντιρυπογόνων τεχνολογιών γαιάνθρακα. [2]

Η διεργασία IGCC αποτελείται από τέσσερα βήματα:

1. Από την αντίδραση του γαιάνθρακα με ατμό υψηλής θερμοκρασίας και οξειδωτικό μέσο (οξυγόνο ή αέρα) παράγεται σε αναγωγική ατμόσφαιρα ένα καύσιμο αέριο.
2. Το αέριο ψύχεται, παράγοντας ατμό και στην συνέχεια καθαρίζεται για την περαιτέρω απομάκρυνση της σωματιδιακής ύλης και των ενώσεων του θείου και του αζώτου.
3. Το καθαρό καύσιμο καίγεται σε μια εγκατάσταση με γεννήτρια αεροστροβίλου για την παραγωγή ηλεκτρισμού.
4. Η υπολειμματική θερμότητα στο αέριο εκτόνωσης του αεροστροβίλου ανακτάται σε μια γεννήτρια με ατμό. Ο ατμός αυτός χρησιμοποιείται για την παραγωγή επιπρόσθετης ενέργειας σε μια γεννήτρια στροβίλου ατμού. [2]

Παγκοσμίως, υπάρχουν 160 μονάδες αεριοποίησης. Εκτιμάται ότι η χρήση της διεργασίας IGCC σε αεροστροβλικές μονάδες θα έχει καθαρή απόδοση 56% και θα επιτύχει ακόμα χαμηλότερες εκπομπές CO₂. [6]

➤ Καύση γαιάνθρακα με βιομάζα

Τα καύσιμα από βιομάζα, όπως κατάλοιπα (π.χ. ζαχαροκάλαμο) είναι διαθέσιμα εποχιακά. Το γεγονός αυτό καθιστά αναγκαία την κατασκευή μονάδων που θα καίνε γαιάνθρακα και βιομάζα μαζί, όταν αυτή θα είναι διαθέσιμη. Η τροποποίηση των συμβατικών μονάδων καύσης άνθρακα ώστε να είναι δυνατή η χρήση 10-20% βιομάζας μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές του θερμοκηπίου. Ένα παράδειγμα μονάδας που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από συνδυασμό καύσης γαιάνθρακα και βιομάζας είναι η Belle Vue Plant στην Μαυριτανία. [7]

Συμπερασματικά, ο υψηλός βαθμός απόδοσης σε συνδυασμό με την εγκατάσταση πλήρους αντιρρυπαντικού εξοπλισμού σύγχρονης τεχνολογίας εξασφαλίζει περιβαλλοντικές επιδόσεις ως προς τους συμβατικούς ρύπους, πολύ καλύτερες των υφιστάμενων σήμερα μονάδων. [7]

→ **Καθαρισμός των απαερίων με δέσμευση του CO₂**

Οι τεχνολογίες δέσμευσης του CO₂ διακρίνονται, ανάλογα με το στάδιο διεργασίας, στο οποίο απομονώνεται το CO₂ σε:

- Τεχνολογίες δέσμευσης κατά την καύση,
- Τεχνολογίες δέσμευσης πριν από την καύση,
- Καύση του άνθρακα με υψηλή συγκέντρωση O₂/CO₂,
- Καινοτόμες εφαρμογές. [1]

➤ Διεργασίες με Αλκαλοαμίνες

Οι αμίνες MEA και DEA αντιδρούν τόσο με το υδρόθειο όσο και με το CO₂ και θεωρούνται σαν μη εκλεκτικοί χημικοί διαλύτες, ενώ οι τριτογενείς αμίνες MDEA και TEA αντιδρούν πιο αργά με το CO₂ και θεωρούνται περισσότερο εκλεκτικές για απομάκρυνση του υδρόθειου. Οι DEA και MDEA προτιμώνται έναντι των MEA επειδή δεν είναι ευαίσθητες στην αποσύνθεση, όντας σε θέση να απορροφήσουν και άλλες ενώσεις του θείου ενώ παράλληλα παρουσιάζουν μικρές απώλειες λόγω εξάτμισης και μικρότερες απαιτήσεις απογύμνωσης με ατμό. Οι DGA έχουν την διπλάσια αντιδραστικότητα σε

σύγκριση με τις ΜΕΑ και χαμηλότερο ρυθμό ανακυκλοφόρησης. Ο μικρός ρυθμός κυκλοφορίας οδηγεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες στην συσκευή απορρόφησης περιορίζοντας τη χρήση των αμινών σε συγκεντρώσεις όξινων αερίων μικρότερες από 1%. Οι DIPA μπορούν να αφαιρέσουν το CO₂ και είναι εκλεκτικές για απομάκρυνση του H₂S έναντι του CO₂. [8]

Το όξινο αέριο, που περιέχει H₂S και CO₂, εισέρχεται στη βάση μιας στήλης απορρόφησης και ρέει προς τα πάνω σε αντιρροή με τον διαλύτη αμινών. Το αέριο που έχει υποστεί γλύκανση ρέει προς την κορυφή της στήλης. Το πλούσιο σε αμίνες διάλυμα υπόκειται σε εναλλαγή θερμότητας με καθαρό διαλύτη, πριν το όξινο αέριο απογυμνωθεί στον αναγεννητή. Η θερμότητα από τον ατμό χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του H₂S και του CO₂ στον αναγεννητή και τα εκλυόμενα όξινα αέρια μεταφέρονται σε ένα σύστημα ανάκτησης θείου. Με την σειρά του ο καθαρός διαλύτης αμινών από τον πυθμένα του αναγεννητή ψύχεται (στους 40°C περίπου) και ανακυκλώνεται στη στήλη απορρόφησης. [8]

Για την εφαρμογή τεχνολογιών καθαρισμού των απερίων με δέσμευση του CO₂, προσομοιώθηκε σε ελληνικό ΑΗΣ, ένας συμβατικός λιγνιτικός ΑΗΣ με δυνατότητα μετατροπής με τεχνολογίες δέσμευσης με αμίνη και καύσης σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου. Το κόστος των τεχνολογιών δέσμευσης CO₂ σε ότι αφορά τη μείωση του βαθμού απόδοσης των μονάδων είναι σημαντικό. Για την συγκεκριμένη διαμόρφωση ΑΗΣ η εφαρμογή της τεχνολογίας καύσης σε περιβάλλον οξυγόνου μειώνει το βαθμό απόδοσης περίπου 10.3 εκατοστιαίες μονάδες, ενώ η έκπλυση του καυσαερίου με αμίνες κατά 11.6. [8]

➤ Διεργασίες διαλυμάτων αλκαλικών αλάτων

Η Διεργασία Θερμού Ανθρακικού Καλίου ταξινομείται σαν μια μη εκλεκτική διεργασία. Το πλεονέκτημα της είναι ότι η θερμοκρασία απορρόφησης είναι υψηλότερη από ότι στη διεργασία ΜΕΑ (110°C), επιτρέποντας να χρησιμοποιηθεί ένα διάλυμα υψηλότερης συγκέντρωσης (περίπου 30-40%), επιτυγχάνοντας έτσι την αύξηση της συγκέντρωσης του όξινου αερίου ανά μονάδα όγκου διαλύματος το οποίο κυκλοφορεί.

Επιπρόσθετα, δεν χρειάζονται εναλλάκτες θερμότητας καθώς η αναρρόφηση διεξάγεται στην ίδια θερμοκρασία με την αναγέννηση, γεγονός που μειώνει την κεφαλαιουχική επένδυση.

Η διεργασία επιτελείται καλύτερα υπό πίεση 1.9 MPa και οι συγκεντρώσεις όξινου αερίου μεγαλύτερες από 5%. Γενικά, μειώνει την περιεκτικότητα του αέριου προϊόντος σε CO₂ και H₂S σε 0.5% και 30 ppm αντίστοιχα. Λειτουργικά προβλήματα που μπορεί να παρουσιαστούν είναι η διάβρωση, η αποσάρθρωση και η αστάθεια της στήλης απορρόφησης. Η διεργασία έχει τροποποιηθεί για να συμπεριλαμβάνει χημικούς ενεργοποιητές, οι οποίοι αυξάνουν τους ρυθμούς απορρόφησης και μειώνουν περαιτέρω την θερμότητα αναγέννησης και το ύψος της κεφαλαιουχικής επένδυσης.

➤ Διεργασία Selexol

Η διεργασία Selexol χρησιμοποιεί σαν διαλύτη διμεθυλικό αιθέρα του πολυαιθυλενίου της γλυκόζης και είναι περισσότερο αποτελεσματική σε υψηλή πίεση και χαμηλές θερμοκρασίες, τυπικά στην περιοχή των 3.3-6.7 MPa και 25°C αντίστοιχα. Η διεργασία αυτή θεωρείται εφαρμόσιμη στην εκλεκτική απομάκρυνση θειωδών αερίων και στην μαζική απομάκρυνση μεγάλων ποσοτήτων όξινων αερίων.

Το αέριο τροφοδοσίας περνά μέσα στη μονάδα απορρόφησης, όπου έρχεται σε επαφή με δυο ρεύματα απογυμνωμένου διαλύτη σε αντίρροπη ροή. Το ερχόμενο σε επαφή υγρό εξατμίζεται ακαριαία σε ένα τόμπανο εξάτμισης υψηλής πίεσης και το CO₂ απωθείται από το διάλυμα. Ο διαλύτης θερμαίνεται από εναλλαγή θερμότητας, προϊόντα του πυθμένα του απογυμνωτή και τροφοδοτείται στον αναγεννητή, όπου απωθούνται οι υπόλοιπες ποσότητες του CO₂ και H₂S. Ο θερμός καθαρός διαλύτης ψύχεται από εναλλαγή θερμότητας με την ψυχρή τροφοδοσία του απογυμνωτή και από περαιτέρω εναλλαγή θερμότητας με ύδωρ ψύξης. Στη συνέχεια, τροφοδοτείται στην κορυφή της συσκευής απορρόφησης.

➤ Διεργασία Rectisol

Η διεργασία Rectisol αναπτύχθηκε από την εταιρεία Lurgi για την απομάκρυνση H_2S και CO_2 , μαζί με άλλες οργανικές ενώσεις του θείου και βαρείς υδρογονάνθρακες που παράγονται από τη διεργασία αεριοποίησης. Χρησιμοποιεί οργανικούς διαλύτες, συνήθως μεθανόλη, σε συμβατικές στήλες με δίσκους και πληρωτικά υλικά. Η δυνατότητα διάλυσης των αερίων αυξάνεται όσο η θερμοκρασία μειώνεται, με την μείωση του υπολειμματικού περιεχομένου στον αναγεννημένο διαλύτη και την αύξηση της μερικής πίεσης στο αέριο τροφοδοσίας. Η διεργασία αυτή, λειτουργεί σε θερμοκρασίες μεταξύ $-1^\circ C$ και $-40^\circ C$ και είναι ελκυστική για τα όξινα αέρια τα οποία είναι διαθέσιμα σε υψηλές πιέσεις.

Το ακατέργαστο αέριο ψύχεται και στο όξινο αέριο εισάγεται μια μικρή ποσότητα μεθανόλης, για να αποφευχθεί ο σχηματισμός πάγου. Το ακατέργαστο αέριο έρχεται σε επαφή με τον διαλύτη σε αντίρροπη ροή, σε μια στήλη απορρόφησης με δίσκους, όπου εισάγεται στο μέσον ένας μερικά αναγεννημένος διαλύτης και στον κορυφαίο δίσκο ένας πλήρως αναγεννημένος διαλύτης, αμφοτεροί σε αντίρροπη ροή. Ο πλούσιος διαλύτης από την στήλη απορρόφησης οδηγείται στην συσκευή αναγέννησης, όπου με ανακύκλωση του διαλύτη αυξάνεται η απομάκρυνση του CO_2 και του H_2S .

➤ Διεργασία Purisol

Η Διεργασία Purisol είναι παρόμοια με τη διεργασία Rectisol. Χρησιμοποιεί σαν διαλύτη N-μέθυλο 2-πυρρολιδόνη, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για τον καθαρισμό των αερίων σε υψηλή πίεση. Το όξινο αέριο εισέρχεται στον πυθμένα της συσκευής απορρόφησης και ρέει σε αντίρροπη με τον καθαρό διαλύτη, ο οποίος εισέρχεται στην κορυφή. Σε μια συσκευή επαναπορρόφησης μέτριας πίεσης, τα όξινα αέρια και οι υδρογονάνθρακες εξατμίζονται ακαριαία και έρχονται σε επαφή με έναν ανακυκλούμενο διαλύτη. Η διεργασία είναι σε θέση να επιτύχει καθαρισμό των αερίων σε επίπεδα CO_2 μικρότερα του 0.1%.

➤ Διεργασία Fluor

Η διεργασία Fluor χρησιμοποιεί διάφορους διαλύτες για τον καθαρισμό των όξινων αερίων, όπως το ανθρακικό προπυλένιο, ο τριοξικός εστέρας γλυκερόλης, ο οξικός εστέρας της βουτοξυδιαιθυλογλυκόλης και ο οξικός εστέρας της μεθοξυ-τριαιθυλογλυκόλης. Οι διαλύτες αυτοί είναι περισσότερο εκλεκτικοί για την απομάκρυνση του CO₂.

➤ Διαχωρισμός CO₂ από το καυσαέριο

Οι ακόλουθες βασικές διεργασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση του CO₂ από το καυσαέριο σε μεγάλη κλίμακα:

- Απορρόφηση (διαχωρισμός του CO₂ με υγρό διάλυμα σε στήλη απορρόφησης)
- Προσρόφηση (διαχωρισμός του CO₂ με προσρόφηση αυτού σε κάποιο στερεό)
- Μembrάνες (βάση της διαφορετικής διαπερατότητας των αερίων διαμέσου μεμβρανών)
- Κρυογενικές τεχνολογίες (ψύξη ή συμπύκνωση του CO₂) [8]

Από τις τεχνολογίες που αναφέρθηκαν παραπάνω, η απορρόφηση είναι μια ώριμη εμπορικά διαθέσιμη τεχνολογία, ενώ οι υπόλοιπες διεργασίες δεν είναι ανεπτυγμένες σε στάδιο που να αποτελούν ελκυστικές εναλλακτικές λύσεις. Τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν υδατικά διαλύματα ΜΕΑ περιεκτικότητας 15-25% κ.β. για λόγους αποφυγής δημιουργίας συνθηκών διάβρωσης. Κατά τη λειτουργία του συστήματος απορρόφησης CO₂, το εισερχόμενο καυσαέριο στη στήλη απορρόφησης, πρέπει να είναι ελεύθερο αερίων όπως SO₂, O₂, υδρογονανθράκων καθώς και σωματιδίων. Το CO₂ απορροφάται από το υγρό διάλυμα στη στήλη απορρόφησης που λειτουργεί σε θερμοκρασία 40-60°C. Το καυσαέριο και το υγρό διάλυμα έρχονται σε επαφή κατ' αντιστροφή. Το καυσαέριο, πριν την είσοδο του στη στήλη, συμπιέζεται στα 1,3bar και εισέρχεται από το κάτω μέρος. Το στάδιο της αναγέννησης του πλούσιου σε CO₂ διαλύματος πραγματοποιείται στους 120-

150°C και χαμηλές πιέσεις και στόχο έχει την απομάκρυνση του CO₂ από το διάλυμα απορρόφησης. [8]

→ Δέσμευση και αποθήκευση CO₂

Οι τεχνολογίες δέσμευσης του CO₂ από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, αναμένεται να συνεισφέρουν σημαντικά στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου σε παγκόσμια κλίμακα, λαμβάνοντας υπόψη ότι το παραγόμενο CO₂ από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς αποτελεί περίπου το 1/3 των συνολικών εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα. [8]

Οι κυριότερες εμπορικές ή υπό ανάπτυξη τεχνολογίες δέσμευσης CO₂ σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:

- Καύση σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου (oxy-fuel)
- Παραγωγή καυσίμου που δεν περιέχει άνθρακα [8]

➤ Καύση σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου (oxy-fuel)

Η καύση του στερεού καυσίμου, των υδρογονανθράκων ή του συνθετικού αερίου πραγματοποιείται με καθαρό οξυγόνο και το παραγόμενο καυσαέριο περιέχει κυρίως διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμό. Με ψύξη των καυσαερίων, το H₂O που περιέχεται στο καυσαέριο συμπυκνώνεται και παράγεται σχεδόν καθαρό CO₂. Στη συνέχεια αυτό συμπιέζεται και μεταφέρεται στην περιοχή αποθήκευσης. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, αεριοτροβλικές μονάδες και σταθμούς συνδυασμένου κύκλου με καύσιμο φυσικό αέριο ή οποιοδήποτε ορυκτό καύσιμο (στερεά καύσιμα, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο). [8]

Για την παραγωγή του οξυγόνου είναι απαραίτητη η χρήση μονάδας διαχωρισμού του αέρα (Air Separation Unit, ASU). Η κρυογενική μέθοδος είναι η πιο κατάλληλη τεχνολογία για το διαχωρισμό του αζώτου από τον αέρα. Η καύση με καθαρό οξυγόνο οδηγεί σε μη αποδεκτά υψηλή θερμοκρασία καύσης στην εστία. Για να μειωθεί η θερμοκρασία, τμήμα του καυσαερίου ανακυκλοφορεί στο θάλαμο καύσης. Στην περίπτωση εφαρμογής σε υφιστάμενο σταθμό, στον σχεδιασμό των μετατροπών θα πρέπει να ληφθεί

υπόψη ότι η θερμοκρασία και η παροχή του καυσαερίου θα πρέπει να διατηρηθούν στα επίπεδα της συμβατικής καύσης με αέρα. [8]

➤ Παραγωγή καυσίμου που δεν περιέχει άνθρακα

Σύμφωνα με αυτή την τεχνολογία, ο άνθρακας απομακρύνεται από το καύσιμο πριν αυτό οδηγηθεί για καύση. Στην τυπική διαδικασία του συνδυασμένου κύκλου με αεριοποίηση (IGCC), το στερεό καύσιμο κονιοποιείται και διαλύεται σε νερό. Στη συνέχεια το διάλυμα θερμαίνεται με οξυγόνο ή αέρα περίπου στους 1300K και παράγεται αέριο μίγμα που αποτελείται κυρίως από υδρογονάνθρακες και μονοξείδιο του άνθρακα. Ακολουθεί αντίδραση μετατροπής του μονοξειδίου του άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό (CO shift). Η αντίδραση αυτή είναι εξώθερμη. Το αέριο καύσιμο που τελικά παράγεται περιέχει H_2 και CO_2 , λόγω της υψηλής μερικής πίεσης του CO_2 στο αέριο μίγμα, η μέθοδος της φυσικής απορρόφησης αποτελεί μια πιθανή λύση για το διαχωρισμό του CO_2 από το H_2 στο αέριο καύσιμο. Μembranes διαχωρισμού του H_2 μπορούν να χρησιμοποιηθούν. [8]

Οι τεχνολογίες δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση του εκπεμπόμενου CO_2 στην ατμόσφαιρα από τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Ωστόσο, η επίδραση των τεχνολογιών αυτών στη μείωση του βαθμού απόδοσης είναι υψηλή με αποτέλεσμα, σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος εγκατάστασης, να οδηγούν σε αυξημένο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, με την αγορά δικαιωμάτων εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα από την διαμορφούμενη αγορά εκπομπής CO_2 , αναμένεται να επιβαρυνθεί το κόστος παραγωγής ενέργειας. [8]

Παράλληλα με τις τεχνολογίες δέσμευσης διερευνώνται και αναπτύσσονται και οι τεχνολογίες αποθήκευσης σε πιθανούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Τα ζητήματα της ασφάλειας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από πιθανή διαρροή των υπογείων ταμιευτήρων CO_2 είναι εξαιρετικά πολύπλοκα και συνδέονται με σοβαρά οικονομικά, πολιτικά και κοινωνικά θέματα. [1]

➤ Αποθήκευση του CO₂.

Μετά την δέσμευση του CO₂, θα πρέπει να αποθηκευτεί για μεγάλες χρονικές περιόδους, τουλάχιστον για 1000 χρόνια και ίσως μερικές χιλιάδες χρόνια. Για αυτό τον λόγο είναι απαραίτητο να γίνει με ασφάλεια.

Για λόγους χωρητικότητας, το CO₂ πρέπει να συμπιεστεί σε μεγάλη πίεση και θα πρέπει να τοποθετηθεί σε βάθος μεγαλύτερο από 800 μέτρα. Αμέσως μετά την εισαγωγή ένα μέρος από το CO₂ έχει παγιδευτεί μόνιμα σε μικροπόρους. Το μέρος που απομένει ανέρχεται προς τα πάνω , σχηματίζοντας ένα κάλυμμα. Το CO₂ σιγά σιγά διαλύεται από το νερό. Το νερό που περιέχει CO₂, είναι βαρύτερο και έτσι τείνει να βυθίζεται. Τελικά, μετά από ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, όλο το CO₂ θα πρέπει να διαλυθεί στο σχηματισμό του νερού.

Η αποθήκευση του CO₂ μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους, όπως:

- Αποθήκευση σε άδειους ταμειωτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου
- Αποθήκευση σε ανεκμετάλλευτα κοιτάσματα γαιάνθρακα
- Αποθήκευση σε βαθιούς αλατούχους υδροφόρους οριζόντες
- Αποθήκευση σε σπηλιές και ορυχεία
- Χρήση της μεθόδου της απολιθοποίησης του CO₂ [5]

2.2 Ελληνικοί γαιάνθρακες

Οι ελληνικοί γαιάνθρακες, η τύρφη και ο λιγνίτης, αποτελούν για τη χώρα μας την κυριότερη πηγή ενέργειας. Πρόκειται για γαιάνθρακες χαμηλής απόδοσης, αφού ο Ελλαδικός χώρος εξαιτίας της γεωλογικής του ιδιομορφίας δεν επέτρεψε τη δημιουργία παλαιών κοιτασμάτων ορυκτού άνθρακα. [9]

Οι γαιάνθρακες είναι ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία αποτελούνται κύρια από οργανικά συστατικά αλλά και από ανόργανα, καθώς επίσης από υγρασία και αέρια μέσα σε μικροσκοπικούς πόρους. [9]

Δημιουργήθηκαν από τη συσσώρευση και απόθεση διαφόρων φυτικών ουσιών σε υγρό περιβάλλον όπως έλη, εκβολές ποταμών, λιμνοθάλασσες, όπου οι όξινες και αναερόβιες συνθήκες των χαμηλότερων στρωμάτων συνέβαλαν στη βιοχημική αποσύνθεση των φυτικών ουσιών, αλλά και σε δομικές αλλαγές, με αποτέλεσμα τα φυτικά υπολείμματα να συμπιεστούν, να σκληρύνουν και να μετατραπούν χημικά σε διάφορες οργανικές ουσίες που ονομάζονται “φυτόκλαστα”. Η μετατροπή των αρχικών φυτικών ουσιών και ο εμπλουτισμός τους σε άνθρακα ονομάζεται **ενανθράκωση**. [9]

Στην Ελλάδα ηπειρωτικές λιμναίες λεκάνες που φιλοξενούν λιγνίτη και τύρφη είναι της Πτολεμαΐδας, της Φλώρινας, της Μεγαλόπολης, των Φιλίππων κ.λπ. Στους Φιλίππους της Καβάλας βρίσκεται το μεγαλύτερο κοιτάσμα τύρφης του ελλαδικού χώρου (περισσότερο από 4 δισεκατομμύρια m³), το οποίο όμως δεν εκμεταλλεύεται, λόγω της χαμηλής ενεργειακής απόδοσης. Παράκτιες λεκάνες που φιλοξενούν μικρά κοιτάσματα λιγνίτη χαμηλής οικονομικής σημασίας είναι οι λεκάνες της Δ.Πελοποννήσου, της Πρέβεζας, της Ακαρνανίας κ.λπ. Τέλος, φακοειδείς ενστρώσεις λιθάνθρακα μικρού πάχους (<1.30m) με περιορισμένο οικονομικό ενδιαφέρον έχουν εντοπισθεί στην Χίο, Κεντρική Εύβοια, Μονεμβασιά Λακωνίας. [9]

Στο παρόν κεφάλαιο θα προσδιοριστούν τα αποθέματα των Ελληνικών λιγνιτών και θα αναλυθεί η γένεση και η σύσταση τους. Ακόμα, θα γίνει αναφορά στο ρόλο και τη συνεισφορά τους στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Τέλος, θα τονιστεί η σημασία της ποιότητάς τους στη λειτουργία των ΑΗΣ και τις εκπομπές CO₂.

➤ Αποθέματα Πρωτογενών Πηγών Ενέργειας

Εγχώριες Πηγές :

Λιγνίτης Μεγαλόπολης : 25 χρόνια.

Λιγνίτης Δυτικής Μακεδονίας : 35 χρόνια.

Εισαγόμενες Πηγές :

Φυσικό Αέριο : 50 χρόνια.

Άνθρακας : 200 χρόνια. [7]

2.2.1 Ο ρόλος των λιγνιτών στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας

Για την Ελλάδα, ο λιγνίτης αποτελεί καύσιμο στρατηγικής σημασίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αφού παρέχει ασφάλεια εφοδιασμού, χαμηλές τιμές και σημαντικό αριθμό θέσεων απασχόλησης. [1]

Η ασφάλεια εφοδιασμού και η ανταγωνιστικότητα της λιγνιτικής κίλοβατώρας καθώς επίσης το ύψος των εκμεταλλεύσιμων λιγνιτικών αποθεμάτων καθιστούν το λιγνίτη την πιο σημαντική ενεργειακή πρώτη ύλη για την Ελλάδα. [1]

Η Ελλάδα καλύπτει το 65% των συνολικών αναγκών της από εισαγόμενα καύσιμα. Το υπόλοιπο 35% καλύπτεται από την εγχώρια παραγωγή και βασίζεται κυρίως στον λιγνίτη (29% του συνόλου των αναγκών). [1]

Σε ότι αφορά τα ειδικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης εγχωρίου λιγνίτη στην Ελλάδα, σε αυτά συμπεριλαμβάνονται τα ακόλουθα :

- **Ασφάλεια τροφοδοσίας:** Η ΔΕΗ Α.Ε, η οποία παράγει το 96% του συνόλου της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στην Ελλάδα, έχει εξασφαλισμένη πρόσβαση στο κύριο καύσιμο, αξιόλογη τεχνογνωσία και υποδομή εκμετάλλευσης λιγνιτικών κοιτασμάτων. [1] Η ασφάλεια εφοδιασμού προδίδει μεγάλη οικονομική σημασία στον ελληνικό λιγνίτη, ιδιαίτερα αν ληφθεί υπόψη ότι υπάρχει σε μεγάλη ποσότητα και εξορύσσεται υπαίθρια και σχετικά εύκολα. [3]
- **Χαμηλό κόστος - ανταγωνιστική λιγνιτική κίλοβατώρα:** Το κόστος του λιγνίτη που τροφοδοτείται στις Λιγνιτικές Μονάδες Παραγωγής Ενέργειας είναι πολύ χαμηλό λόγω: του χαμηλού κόστους εξόρυξης (υπαίθριες εκμεταλλεύσεις) και στο μικρό κόστος μεταφοράς. [1]
- **Σταθερότητα τιμών** έναντι των εντόνων διακυμάνσεων των ανταγωνιστικών καυσίμων. [1] Η δυνατότητα μακροπρόθεσμης πρόβλεψης της τιμής του, που με βάση τις αξιόπιστες Μεταλλευτικές Μελέτες δεν προβλέπεται αύξηση, σε σταθερές τιμές του κόστους εξόρυξης του λιγνίτη, αυξάνει επιπρόσθετα τη σημασία του όσον αφορά την ενεργειακή ασφάλεια της χώρας. [3]

- **Απασχόληση - περιφερειακή ανάπτυξη.** [1] Η αξιοποίηση του κοιτάσματος και η λειτουργία των λιγνιτικών σταθμών στην περιοχή έχουν δημιουργήσει 11.150 θέσεις εργασίας από τις οποίες 9.800 θέσεις αφορούν τακτικό προσωπικό χωρίς να συνοπολογίζονται οι επιπλέον θέσεις εργασίας από τις δορυφορικές επιχειρήσεις, που αναπτύσσονται γύρω από τις δραστηριότητες της ΔΕΗ. [3]
- **Τηλεθέρμανση:** Στην περιοχή της Πτολεμαΐδας, τα λιγνιτωρυχεία και ατμοηλεκτρικοί σταθμοί διασφαλίζουν τη δυνατότητα συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμικής ενέργειας. Σήμερα, η θέρμανση της Πτολεμαΐδας και της Κοζάνης γίνεται με ζεστό νερό, το οποίο εξασφαλίζεται από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της περιοχής. Έτσι οι πόλεις αυτές, με τη συνεργασία της ΔΕΗ, προσφέρουν στους κατοίκους τους, με οικολογικό τρόπο, φθηνή οικιακή θέρμανση. Η τηλεθέρμανση είναι για την Ελλάδα μια νέα, πρωτοποριακή εφαρμογή, που ξεκίνησε για πρώτη φορά στην Πτολεμαΐδα, με την συνεργασία της ΔΕΗ. Ήδη έχουν ολοκληρωθεί οι τροποποιήσεις των εγκαταστάσεων του ΑΗΣ Αμυνταίου- Φιλώτα, για την τηλεθέρμανση του Αμυνταίου. Επίσης σε εξέλιξη βρίσκεται και το έργο της τηλεθέρμανσης της πόλης της Μεγαλόπολης. [3]
- **Εξοικονόμηση συναλλάγματος:** Η χρησιμοποίηση του λιγνίτη υποκαθιστά εισαγόμενα καύσιμα ή ηλεκτρική ενέργεια αξίας περίπου 1.150 εκ. €/έτος. Το μέγεθος αυτό από μόνο του προσδιορίζει τη σημασία της λιγνιτικής δραστηριότητας στην ανάπτυξη της Εθνικής οικονομίας. Αντίθετα, η εισαγωγή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου εξαρτώνται από τα δρώμενα στο διεθνές πολιτικοοικονομικό σκηνικό και η τιμή των αποτελεί ένα άγνωστο παράγοντα, που δυσκολεύει τον οικονομικό σχεδιασμό της χώρας. Επιπρόσθετα, η εισαγωγή τους προϋποθέτει τη διαρροή μεγάλων συναλλαγματικών αποθεμάτων και την απώλεια θέσεων εργασίας με ιδιαίτερα αρνητικές επιπτώσεις στην περιφερειακή ανάπτυξη της χώρας μας. [3]

➤ **Η αναγκαιότητα θερμοηλεκτρικών μονάδων**

Είναι γνωστό ότι το ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας παρουσιάζει έλλειψη παραγωγικού δυναμικού. Είναι απαραίτητο για λόγους επάρκειας να ενταχθούν νέες αξιόπιστες μονάδες παραγωγής. [7]

Τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας και η αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας – ΑΠΕ (Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί, Αιολικά Πάρκα, Γεωθερμία, Φωτοβολταικά Πάρκα) καθώς και οι μεγάλοι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί βοηθούν στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Όμως, τα αιολικά πάρκα, δεν είναι διαθέσιμα για λειτουργία κατά τις ώρες υψηλού φορτίου του συστήματος, όταν δεν πνέουν άνεμοι και η συμμετοχή της υδροηλεκτρικής παραγωγής στο ενεργειακό ισοζύγιο είναι απόλυτα συνδεδεμένη με τις εκάστοτε κλιματολογικές συνθήκες της χώρας. [7]

Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη την επάρκεια παραγωγικού δυναμικού και την προοπτική ανάπτυξης των ηλεκτρικών συστημάτων στην ευρύτερη περιοχή, καθώς και την ισχύ των διασυνδέσεων με τις γειτονικές χώρες, οι οποίες θα μπορούσαν να συνεισφέρουν σε περίπτωση μη διαθεσιμότητας των αιολικών αλλά και σε ενδεχόμενες περιόδους παρατεταμένης ξηρασίας, απαιτείται να αναπτυχθούν παράλληλα και θερμοηλεκτρικές μονάδες, ώστε να καλύπτεται με αξιοπιστία η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα. [7]

➤ **Ο στρατηγικός ρόλος του λιγνίτη**

Η προοπτική της φθίνουσας πορείας της χρήσης του λιγνίτη, του στρατηγικού καυσίμου από την άποψη της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας, λόγω της εξαντλησιμότητας του, καθιστά αναγκαία την προετοιμασία των περιοχών όπου αυτός εξορύσσεται για τη μετά-λιγνιτική εποχή. Η εισαγωγή άνθρακα στο ενεργειακό ισοζύγιο αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή για τη συμπληρωματική ενίσχυση της ασφάλειας εφοδιασμού και σε καμιά περίπτωση δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ανταγωνιστική με τη χρήση του λιγνίτη. Αντίθετα, ο συμπληρωματικός ρόλος του άνθρακα παρατείνει το χρονικό περιθώριο για την ανάπτυξη άλλων

οικονομικών δραστηριοτήτων και την ομαλή μετάβαση σε ένα νέο μοντέλο περιφερειακής ανάπτυξης των λιγνιτικών περιοχών. [7]

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ασφάλεια εφοδιασμού έχει την ίδια βαρύτητα με την ανταγωνιστικότητα και την περιβαλλοντική προστασία είναι βέβαιο ότι ο λιθάνθρακας και ο λιγνίτης θα συνεχίσουν να παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στις ενεργειακές ανάγκες της ευρωπαϊκής ένωσης. Οι τιμές του άνθρακα είναι και θα παραμείνουν ανταγωνιστικές. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές του άνθρακα παγκοσμίως παρουσιάζουν μια αξιοσημείωτη σταθερότητα. Αντίθετα οι τιμές φυσικού αερίου και πετρελαίου παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις και είναι απρόβλεπτες και μη ελεγχόμενες. [3]

Ο λιγνίτης είναι εγχώριος και ο παράγοντας αυτός είναι ξεχωριστής σημασίας, για τις περιοχές που λειτουργούν τα Ορυχεία και οι θερμοηλεκτρικές μονάδες. Σύμφωνα με απολογιστικά οικονομικά στοιχεία της ΔΕΗ αποδίδονται στις τοπικές κοινωνίες που αναπτύσσεται η λιγνιτική δραστηριότητα σε ετήσια βάση πάνω από 380 εκατ. € με την μορφή μισθών, έργων και τοπικών προμηθειών. [3]

Ο σημαντικός και εξισορροπητικός ρόλος του άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή στην ευρωπαϊκή ένωση και ειδικότερα στην Ελλάδα και τη Γερμανία κατά τα τελευταία χρόνια φαίνεται στο παρακάτω Πίνακα 2.1. [3]

Πίνακας 2.1: Συμμετοχή της εκάστοτε ενεργειακής πρώτης ύλης στο ενεργειακό ισοζύγιο στην Ευρωπαϊκή Ένωση, Ελλάδα και Γερμανία. (2004) [3]

Ενεργειακή Πρώτη Ύλη	Ευρωπαϊκή Ένωση (%)	Ελλάδα (%)	Γερμανία (%)
Πυρηνική Ενέργεια	35	-	31
Υδροηλεκτρικά	13	8	4
Πετρέλαιο	7	17	-
Φυσικό Αέριο	14	10	10
Ανανεώσιμες Πηγές	3	0,5	4
Λιγνίτης	11	65	25
Λιθάνθρακας	17	-	26

2.2.2 Γένεση, αποθέματα και σύσταση των ελληνικών λιγνιτών

➤ Γένεση λιγνιτών

Από φυσική άποψη, ο γαιάνθρακας είναι ένα ετερογενές μείγμα οργανικών ενώσεων (C, H, N, O, S), που εμπεριέχει διάφορες ποσότητες οργανικής ύλης, υγρασίας και αερίων. Από χημική άποψη είναι ένα σύνθετο πολυμερές στερεό. Όσον αφορά τον τρόπο γένεσης του, ο γαιάνθρακας είναι ένα απολίθωμα που σχηματίστηκε από τη συγκέντρωση υπολειμμάτων φυτών, τα οποία τροποποιήθηκαν ως προς την υφή και τη σύνθεση τους, λόγω της διαγενεσής τους, της ταφής τους και της τεκτονικής δράσης. [2]

Οι γαιάνθρακες ταξινομούνται κατά τύπο, τάξη και βαθμό. Η ταξινόμηση ως προς τον τύπο γίνεται βασιζόμενη στις διαφορές των αναλογιών και της κατανομής των οργανικών και ανόργανων ενώσεων που περιέχουν. Η διαφοροποίηση ως προς τη τάξη αναφέρεται στο βαθμό ενανθράκωσης που πρόεκυψε από τη δράση της πίεσης και της θερμότητας κατά το χρονικό διάστημα της ταφής τους έως την εξόρυξη τους. Τέλος, οι γαιάνθρακες ταξινομούνται κατά βαθμό, ανάλογα με την αξία τους για μια συγκεκριμένη χρήση. [2]

Η ταξινόμηση κατά βαθμό και τάξη είναι η παρακάτω: [2]

Τύρφη ⇒

Λιγνίτης ⇒

Υπασφαλτούχος Γαιάνθρακας ⇒

Ασφαλτούχος Γαιάνθρακας ⇒

Ανθρακίτης

Στην Ελλάδα υπήρξαν κατάλληλες συνθήκες για το σχηματισμό του λιγνίτη και της τύρφης από τις αρχές του Καινοζωικού (πριν 55.000.000

χρόνια) και κατά την Τεταρτογενή γεωλογική περίοδο (πριν 1.000.000 χρόνια). [9] Οι λιγνίτες (όπως και οι υποασφαλτούχοι γαιάνθρακες) αναφέρονται σαν γαιάνθρακες χαμηλής τάξης, μαλακοί γαιάνθρακες ή φαιάνθρακες. [2] Οι Λιγνίτες είναι στερεές ορυκτές καύσιμες ύλες μικρού βαθμού ενανθράκωσης, σχηματίζονται δηλαδή κατά τα πρώτα στάδια της ενανθράκωσης αμέσως μετά την τύρφη. [9]

Για τον σχηματισμό ενός κυβικού μέτρου λιγνίτη έχει υπολογιστεί ότι απαιτείται χρονικό διάστημα 1000 έως 4000 ετών. Κατά το χρονικό διάστημα αυτό συντελούνται σημαντικές μεταβολές στη σύνθεση της χλωρίδας από την οποία προκύπτουν τα φυτικά υπολείμματα όσο και στις συνθήκες απόθεσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τη δημιουργία λιγνιτικών στρωμάτων που έχουν το ίδιο βαθμό ενανθράκωσης αλλά είναι διαφορετικού τύπου. Οι διαφορετικοί αυτοί τύποι ονομάζονται *λιθότυποι* και διακρίνονται εύκολα στα μέτωπα εκσκαφής των ορυχείων σαν στρώματα διαφορετικής υφής και χρώματος. [9]

Κατά το Καινοζωικό και προς το τέλος της Νεογενούς περιόδου (Μειόκαινο – Πλειόκαινο) στον ελλαδικό χώρο δημιουργήθηκαν 2 ειδών λεκάνες, οι παράκτιες και οι ηπειρωτικές. [9]

Οι παράκτιες αποτελούν αβαθή παράκτια έλη, τα οποία δημιουργήθηκαν από την απόσυρση της θάλασσας. Εκεί αναπτύχθηκε βλάστηση, λόγω ευνοϊκών κλιματολογικών συνθηκών (υγρό και θερμό κλίμα) και όπου οι παλαιογεωγραφικές συνθήκες το επέτρεπαν αναπτύχθηκε λιγνιτοφορία υπό τη μορφή στρωμάτων. Πολλές φορές η θάλασσα επίκλυε ξανά τις περιοχές, με αποτέλεσμα να διακόπτεται η βλάστηση κ με την σειρά της και η λιγνιτοφορία και να αποθέτονται θαλάσσια ιζήματα. [9]

Οι ηπειρωτικές λεκάνες βρίσκονται στο εσωτερικό της χώρας και σχηματίστηκαν σαν τεκτονικές τάφροι, οι οποίες πληρώθηκαν με ιζήματα. Μεγάλο μέρος του αρχικού υποβάθρου, έμεινε κάτω από το νερό λόγω διαφόρων τεκτονικών παραγόντων, οπότε δημιουργήθηκαν αβαθείς ή βαθιές λεκάνες οι οποίες αργότερα γέμισαν με ιζήματα. Τμήματα των λιμνών αυτών

μετατράπηκαν περιοδικά σε έλη, όπου όταν οι συνθήκες ήταν κατάλληλες για την ανάπτυξη βλάστησης, αναπτύχθηκε και η λιγνιτοφορία. [9]

Τα σημαντικότερα κοιτάσματα λιγνίτη αναπτύχθηκαν σε αβαθείς λίμνες και σε έλη κλειστών ενδοηπειρωτικών λεκανών. Ειδικότερα, οι Λιγνίτες Πτολεμαΐδας εμφανίζονται σε λιμναία ή ποτάμια ιζήματα τα οποία αποτελούνται κυρίως από αργίλους και μάργες. [9]

Οι αναγκαίες προϋποθέσεις για τον σχηματισμό κοιτασμάτων λιγνίτη είναι: η επικράτηση υγρού και θερμού κλίματος, καθώς και μια στάθμη ύδατος αργά ανερχόμενη με ταυτόχρονη υποχώρηση του εδάφους, ίση με το ρυθμό ανάπτυξης των φυτών. [9]

Είναι γνωστό ότι τα φυτά αποτελούνται κυρίως από C, H, O, N. Η κυταρρίνη και η λιγνίνη αποτελούν τις κυριότερες ομάδες κατά το σχηματισμό των φυτών. Η **κυταρρίνη** αποτελεί τη σημαντικότερη σκελετική ύλη των φυτών. Είναι ένα χημικά σταθερό υδροξείδιο του άνθρακα το οποίο κάτω από κατάλληλες συνθήκες μπορεί να ενανθρακωθεί. Η **λιγνίνη** δεν υπάρχει σε κατώτερα φυτά και σε αυτό οφείλεται η αποξήλωση του κυτταρικού τοιχώματος.

Ο σχηματισμός των λιγνιτών χαρακτηρίζεται από την αποσύνθεση της κυταρρίνης και της λιγνίνης, οπότε σχηματίζονται τα χουμικά οξέα, τα οποία αποτελούν φορείς των ιδιοτήτων του λιγνίτη ενώ παράλληλα η λιγνίνη και η κυταρρίνη εξακολουθούν να υπάρχουν σε καθαρή μορφή. Τα χουμικά οξέα αποτελούν ένα μέρος των κύριων συστατικών του λιγνίτη και σε αυτά οφείλεται το χρώμα, η οσμή και η υγροσκοπικότητά του. Ο μετασχηματισμός τόσο της κυταρρίνης αλλά και της λιγνίνης σε χουμικό οξύ ονομάζεται **διαδικασία χουμοποίησης**. Η δημιουργία του χουμικού οξέος μέσα στο κυτταρικό τοίχωμα αποτελεί την πρώτη φάση της χουμοποίησης. Η δεύτερη αρχίζει με την έξοδο του από το τοίχωμα.

Στον σχηματισμό των λιγνιτών καθοριστικό ρόλο παίζουν όχι μόνο το είδος των φυτών αλλά και το κλίμα, η θερμοκρασία και το pH του νερού. [9]

➤ Αποθέματα λιγνιτών στην Ελλάδα

Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικά κοιτάσματα φτωχών στερεών καυσίμων, όπως είναι ο λιγνίτης και η τύρφη. Η μέχρι σήμερα αξιοποίηση των λιγνιτικών κοιτασμάτων έχει συμβάλλει αποφασιστικά στην ενεργειακή ανάπτυξη της χώρας μας. Η Ελλάδα εισάγει ενέργεια ίση με το 70% των συνολικών ενεργειακών αναγκών. Το υπόλοιπο 30% που αντιστοιχεί στην εγχώρια παραγωγή βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στους λιγνίτες.

Με τα σημερινά τεχνολογικά και οικονομικά δεδομένα και με βάση τις μέχρι σήμερα κοιτασματολογικές έρευνες τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη ανέρχονται σε 3.2 δισ. τόνους, οι οποίοι ισοδυναμούν με 450 εκ. τόνους πετρελαίου. [12]

Μέχρι το τέλος του 2008 από τα Ορυχεία της ΔΕΗ έχουν εξορυχτεί 1.707 εκ. τόνοι λιγνίτη (1332 εκ. τόνοι από τα ορυχεία Δυτικής Μακεδονίας, 357 εκ. τόνοι από τα ορυχεία Μεγαλόπολης και 18,6 εκ. τόνοι από τα ορυχεία Αλιβερίου). [3]

Επιπρόσθετα, στη Δυτική Μακεδονία και πιο συγκεκριμένα στην τεκτονική τάφρο που αναπτύσσεται στον άξονα Φλώρινα – Πτολεμαΐδα – Κοζάνη – Ελασσόνα, είναι συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο λιγνιτικό δυναμικό της χώρας μας, το οποίο αποτελεί το 64% του συνολικού αποθέματος. [2] Άλλες περιοχές που διαθέτουν αξιόλογα λιγνιτικά κοιτάσματα είναι οι εξής:

- Η λεκάνη Μεγαλόπολης, στην οποία έχουν εντοπισθεί αξιόλογα κοιτάσματα φτωχού λιγνίτη της τάξεως των 500 εκ. τόνων. Τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα ανέρχονται σε 264 εκ. τόνους [3].
- Η ευρύτερη περιοχή της Δράμας στην Ανατολική Μακεδονία, με εκμεταλλεύσιμο απόθεμα 900 εκ., σε σχέση εκμετάλλευσης 6,9:1 m³ : τόνο και θερμογόνο δύναμη 1.030 kcal/kg.
- Η περιοχή Ελασσόνας στη Θεσσαλία, με εκμεταλλεύσιμο απόθεμα 150 εκ. τόνους, σχέση εκμετάλλευσης 4,3:1 m³ : τόνο και θερμογόνο δύναμη 2.050 kcal/kg. [3]

Τα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα της χώρας μας ανήκουν στην κατηγορία των φτωχών στερεών καυσίμων. Η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του εξορυσσόμενου λιγνίτη κυμαίνεται από 900 kcal/kg (Μεγαλόπολη) μέχρι 2.300 kcal/kg (Φλώρινα).

Τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη επαρκούν να τροφοδοτήσουν τις εγκατεστημένες μονάδες για 45 ακόμη χρόνια στη Δυτική Μακεδονία και για 25 ακόμη χρόνια στη Μεγαλόπολη. [3]

Σύμφωνα με έρευνα του Ι.Γ.Μ.Ε (Ινστιτ. Γεωλ. και Μεταλ. Ερευν.) το 80% των λιγνιτικών αποθεμάτων βρίσκονται στην Β. Ελλάδα. Βάσει της έρευνας και των σημερινών οικονομικοτεχνικών συνθηκών, τα υπαίθρια απολήψιμα αποθέματα κυμαίνονται γύρω στους 3.150 εκατ. τόνους, ενώ τα πιθανά και δυνατά αποθέματα υπολογίζονται γύρω στους 4.400 εκατ. τόνους. Ενδεικτικά, θα μπορούσε να πει κανείς ότι το κοιτάσμα πετρελαίου στον Πρίνο είναι ισοδύναμο με 75.000.000 τόνους λιγνίτη δηλ. το 1/3 του κοιτάσματος λιγνίτη Αναργύρων Αμυνταίου – Πτολεμαΐδας, όπου ήδη εκμεταλλεύεται η Δ.Ε.Η για την τροφοδοσία των 2 ατμοηλεκτρικών σταθμών συνολικής ισχύος 600 MW. [9]

➤ Χημικά συστατικά

Ο γαιάνθρακας περιέχει κυρίως ενώσεις πολύ μεγάλου μοριακού βάρους, δεν είναι όμως ένα συνηθισμένο πολυμερές. Συνήθως περιγράφεται σαν μια μακρομοριακή ένωση, που αποτελείται από συναφή πολυμερή με μεγάλο αριθμό βασικών μονάδων (μέσου μοριακού βάρους ≈ 400), τυχαία κατανεμημένο στη μακρομοριακή δομή. Κάθε μόριο γαιάνθρακα αποτελείται από αρωματικά, υδροαρωματικά, αλειφατικά κ.τ.λ. συστατικά και διαφέρει σε μέγεθος και εσωτερική διάρθρωση. [9]

Τα κύρια συστατικά από τα οποία αποτελείται ο λιγνίτης είναι ο άνθρακας, το υδρογόνο και το οξυγόνο, ενώ τα δευτερεύοντα είναι : θείο, άζωτο, πυρίτιο, αργίλιο, σίδηρος, κάλιο, νάτριο, μαγνήσιο, χαλκός, ασβέστιο, τιτάριο. Η

σύνδεση των χημικών συστατικών γίνεται σχηματίζοντας οργανικές και ανόργανες ενώσεις. Το οργανικό τμήμα αποτελείται από πολυμερή των C, H, O με μικρά ποσά S και N. Το ανόργανο τμήμα αποτελείται από ενώσεις των υπολοίπων στοιχείων, είτε μεταξύ τους είτε με τον C και το O₂. [9]

Οι οργανικές ομάδες που επικρατούν, είναι αυτές που περιέχουν οξυγόνο. Ειδικότερα, περιέχονται φαινόλες, αλκοόλες, αιθέρες, καρβοξυλικά οξέα και καρβονύλια. Η συμμετοχή των ομάδων του οξυγόνου καθορίζεται από τη περιεκτικότητα του λιγνίτη σε άνθρακα. Τα συχνότερα παρατηρούμενα ανόργανα συστατικά στους λιγνίτες είναι το πυρίτιο, αργίλιο, ασβέστιο, σίδηρος, μαγνήσιο, νάτριο, κάλιο, τιτάνιο και θείο, με τις μορφές του ιλλίτη, καολινίτη, πυρίτη, δολομίτη, ασβεστόλιθου, ανκερίτη και χαλαζία. [9]

Πίνακας 2.2: Τυπική σύνθεση τέφρας λιγνιτών [2]

Συστατικό	% κ.β. στην τέφρα
SiO ₂	30.86
Fe ₂ O ₃	6.35
Al ₂ O ₃	13.76
TiO ₂	0.70
CaO	32.65
MgO	6.32
SO ₃	7.48
Na ₂ O	0.77
K ₂ O	0.77

Πετρογραφικά Συστατικά

→ Μακροπετρογραφικά

Μακροσκοπικά, οι γαιάνθρακες διακρίνονται στους χουμικούς και στους σαπροπηλιτικούς. Οι λιγνίτες έχουν φαιό χρώμα, είναι μαλακοί και θαμποί. Εμφανίζονται σε σαπροπηλιτική ή σε χουμική μορφή με αναγνωρίσιμα

τεμάχια ξύλου, φύλλων και άλλων φυτικών υλών σε μια λεπτότερη κοκκώδη οργανική μήτρα. [2]

Οι λιγνίτες είναι θαμπά, χωματώδη υλικά, χρώματος καφέ έως μαύρου. Εμφανίζονται σαν “ταινιοειδείς” και σπανιότερα σαν “μη ταινιοειδείς”. Κατά την αποκάλυψη τους ραγίζουν και θρυμματίζονται εύκολα εξαιτίας της ξήρανσης τους. Βάσει του χρώματος και της υφής τους ταξινομούνται σε :

- (α) Ξυλιτικούς (xylitic)
- (β) Αττριτικούς (atrititic)
- (γ) Φουσιτικούς (fusitic) και
- (δ) Ορυκτοποιημένους (mineralized). [9]

Στο μικροσκόπιο, οι λιθότυποι του γαιάνθρακα φαίνονται σαν σύνθετα συναθροίσματα ξεχωριστών οντοτήτων, που αντιπροσωπεύουν τα ανθρακοποιημένα υπολείμματα των διαφόρων φυτικών ιστών. Οι οντότητες αυτές ονομάζονται *φυτόκλαστα* και εμφανίζουν διαφορές στη μορφή, τις οπτικές ιδιότητες σε ανακλώμενο φως, την χημική τους σύνθεση [2], την σκληρότητα, καθώς και στην τεχνολογική τους συμπεριφορά κατά την χρήση του λιγνίτη. [9]

→ Μικροπετρογραφία

Τα λιγνιτικά φυτόκλαστα διακρίνονται στο μικροσκόπιο λόγω της μορφολογίας τους και των οπτικών ιδιοτήτων τους. Εμφανίζουν διαφορές στη σκληρότητα, στα χημικά χαρακτηριστικά καθώς και στην τεχνολογική τους συμπεριφορά κατά την χρήση του λιγνίτη. Σύμφωνα με το σύστημα Stores-Heelen διακρίνονται στις παρακάτω ομάδες:

A) Ομάδα χουμινίτη (huminit): Τα δομικά συστατικά της κατηγορίας αυτής εμφανίζουν έντονες φυσικοχημικές διαφοροποιήσεις, οι οποίες προσδιορίζουν κατά ένα μεγάλο βαθμό την τεχνολογική συμπεριφορά του λιγνίτη.

B) Ομάδα λιπτινίτη (liptinit): Τα φυτόκλαστα αυτά προέρχονται από τον εξωτερικό φλοιό των σπόρων, από γύρη καθώς και από ουσίες που παράγονται από τα θαλάσσια φύκη και ρητίνη. Κατά την εκπομπή φωτός

εμφανίζονται ωχρά, ενώ παρουσιάζονται σαν συγκρότημα μικρών οργανικών σωματιδίων υψηλής περιεκτικότητας σε H_2 και πηκτικά.

Γ) Ομάδα Ινερτινίτη (inertinit): Τα φυτόκλαστα αυτά εμφανίζουν σχετική αδράνεια στις τεχνολογικές επεξεργασίες. Είναι αδιαφανή σε λεπτή τομή και άσπρα ή ανοιχτό γκρι σε στιλβωμένη. Έχουν υψηλή ικανότητα ανάκλασης και εμφανίζουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε C και μικρότερη σε H_2 από άλλα φυτόκλαστα.

Δ) Ομάδα Τελινίτη (telinit): Περιλαμβάνει όλα τα υπόλοιπα φυτόκλαστα που εμφανίζουν κυτταρική δομή.

Οι ομάδες του Λιπτινίτη, Ινερτινίτη και του Τελινίτη επηρεάζουν σε πολύ μικρό βαθμό τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των λιγνιτών και δεν εμφανίζουν ουσιαστικές διαφοροποιήσεις. [9] Οι λιγνίτες είναι πλούσιοι σε φυτόκλαστα της ομάδας του χουμίτη. Πετρογραφικές μελέτες έδειξαν ότι ο λιγνίτης χαρακτηρίζεται από πολύ μεγάλες ποσότητες (82.8 % κ.ο) φυτοκλάστων της ομάδας του χουμίτη, μεσαίες ποσότητες (11.9 % κ.ο) της ομάδας φυτοκλάστων του λιπτινίτη και μικρές ποσότητες (5.3 % κ.ο) της ομάδας φυτοκλάστων του ινερτινίτη. Στην πρώτη ομάδα, ο ντενζινίτης, ο ατρινίτης και ο ουλμινίτης αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων. [2]

→ Μικροσκοπικώς και μακροσκοπικώς αναγνωρίσιμα συστατικά

Οι τεχνολογικές λιγνιτικές εφαρμογές οδήγησαν από την δεκαετία του 1930 σε λεπτομερή έρευνα των πετρογραφικών χαρακτηριστικών. Οι μάρκο-μικροπετρογραφικές μελέτες σε συνδυασμό με άλλες φυσικοχημικές μεθόδους, βοήθησαν στην απόκτηση συγκρίσιμων στοιχείων, που κατέστησαν δυνατή την εκτίμηση της καταλληλότητας της πρώτης ύλης. [9]

Πιο συγκεκριμένα, τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά των λιγνιτών αναφέρονται:

Α) Στη σύνθεση: Οι λιγνίτες αποτελούνται από: την κύρια μάζα όπου η διαδικασία της αποσύνθεσης έχει πλήρως εξαφανισθεί και δε διακρίνεται πλέον κυτταρική δομή και προσμίξεις στις οποίες συγκαταλέγονται οι λεπτοί

ιστοί που χαρακτηρίζουν τις διατάξεις και τη δομή των στρωμάτων. Εδώ διακρίνονται είτε υπολείμματα ιστών, μίσχων, φύλλων, βελονών, σώματα ρητίνης, δευτερογενείς πυρωτικές ύλες των κενών, είτε προσμίξεις από περιβάλλοντες σχηματισμούς όπως πηλός, άμμος, άργιλος και ανθρακομιγής άργιλος, είτε τέλος ενστρώσεις από ξυλίτες όπως κορμοί, κλαριά δέντρων κ.τ.λ. [9]

Β) Στο χρώμα και υφή επιφανείας: Στο αποσαθρωμένο πρανές διακρίνονται χρώματα σκοτεινά, μέτρια σκοτεινά, μέτρια φωτεινά και φωτεινά, ενώ όσο αφορά την υφή, οι λιθότυποι παρουσιάζουν ρωγμές αδρές, λεπτές, κάθετες ή παράλληλες στην στρώση. [9]

Γ) Στη συμπεριφορά κατά τη θραύση: Η μορφή της επιφάνειας θραύσης των λιθότυπων με μεγάλη περιεκτικότητα σε ιστούς είναι κλιμακωτή. Εκεί που η περιεκτικότητα ελαττώνεται, η επιφάνεια θραύσης παρουσιάζεται ακανόνιστη και τελικά λεία ή οστρακοειδής.

Τα μακροσκοπικά λιγνιτικά χαρακτηριστικά, όπως εντοπίζονται στα πρανή των ορυχείων, δε μας επιτρέπουν να βγάλουμε σίγουρα συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά των λιγνιτών στις βιομηχανικές εφαρμογές. Για αυτό συμπληρώνονται από εργαστηριακές έρευνες και παρατηρήσεις, επιδιώκοντας πάντα μια ουσιαστικά στενή σύνδεση της μακροσκοπίας με τη μικροσκοπία. [9]

→ **Η σύσταση του λιγνίτη**

Οργανική ύλη: αποτελείται από τα πτητικά συστατικά και τον μόνιμο άνθρακα. Η σύσταση και η δομή της εξαρτώνται από τη σύσταση των φυτοκλάστων (Macerals).

Υγρασία: είναι βασικό συστατικό των λιγνιτών και γενικά όλων των γαιανθράκων χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης και διακρίνεται σε τριχοειδή και προσροφημένη υγρασία.

Τέφρα: σε αυτή περιέχονται όλα τα ανόργανα συστατικά των φυτικών υπολειμμάτων (πρωτογενής ή συγγενετική τέφρα) καθώς και τα ανόργανα που προήλθαν από εξωτερικούς παράγοντες και εναποτέθηκαν μαζί με τα φυτικά υπολείμματα ή εισχώρησαν σε αυτά διαμέσω ρηγμάτων (δευτερογενής ή επιγενετική τέφρα). Η πρωτογενής τέφρα αντίθετα με τη δευτερογενή δεν μπορεί να διαχωριστεί από το λιγνίτη.

Υπάρχει και ένα τρίτο είδος τέφρας (τέφρα εκμετάλλευσης), που αναφέρεται στο ανόργανο υλικό που συνεξορύσσεται με το λιγνίτη (ενδιάμεσα στείρα). Η σχέση που συνδέει τα 3 παραπάνω συστατικά του λιγνίτη είναι: [9]

$$\text{Καύσιμη ύλη (\%)} + \text{υγρασία (\%)} + \text{τέφρα (\%)} = 100$$

2.2.3 Η σημασία της ποιότητας των ελληνικών λιγνιτών στη λειτουργία των ΑΗΣ και τις εκπομπές του CO₂

Η σύνθεση και οι ιδιότητες των γαιανθράκων καθώς και η ποιότητα αυτών επηρεάζει άμεσα τις διεργασίες καύσης. Στην περίπτωση του λιγνίτη, η θερμαντική αξία, η περιεκτικότητα σε υγρασία και τέφρα καθώς επίσης και η περιεκτικότητα σε πτητικά επηρεάζει τον σχεδιασμό των ΑΗΣ, την απόδοση των καυστήρων και των συστημάτων περιβαλλοντικού έλεγχου. [2]

Οι απαραίτητες χημικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό της ποιότητας των Ελληνικών Λιγνιτών είναι:

→ **Προσεγγιστική Ανάλυση (Proximate Analysis).**

Με αυτή προσδιορίζονται τα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά των λιγνιτών (υγρασία, τέφρα, πτητικά, μόνιμος άνθρακας), η γνώση της διακύμανσης των οποίων στα κοκκομετρικά κλάσματα που λαμβάνονται

κατά την εφαρμογή της Εκλεκτικής Ελάττωσης Μεγέθους (E.E.M.) είναι απαραίτητη.

- **Υγρασία (moisture) %:**

Μπορεί να περιέχεται στους λιγνίτες είτε με τη μορφή ένυδρων, είτε να είναι προσροφημένη στους πόρους. Διακρίνεται σε φυσική, όταν αποτελεί κατά κάποιον τρόπο συστατικό του λιγνίτη, και σε ξένη, όταν οφείλεται σε εξωτερικούς παράγοντες όπως ρεύματα νερού, βροχές, συμπυκνώσεις υδρατμών κ.ά. [9]

Το υψηλό ποσοστό υγρασίας (56-62%) των Ελληνικών Λιγνιτών δημιουργεί προβλήματα, αφού μειώνει την ικανότητα διακίνησης και την απόδοση της καύσης. ανακυκλοφορίας, με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης τους. [9]

Η υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία μπορεί να προκαλέσει προβλήματα πάγου στα συστήματα διανομής, αποθήκευσης και διαχείρισης, σε περιοχές με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται και το κόστος μεταφοράς. Επομένως, καθιστά αναγκαία μια υψηλή θερμοκρασία πρωτογενούς αέρα για ξήρανση στους μύλους, περιορίζει τους ρυθμούς τροφοδοσίας των συσκευών κονιοποίησης και επιδρά στην αλεσιμότητα του λιγνίτη. Επιπλέον, η υγρασία μειώνει την θερμοκρασία των αερίων καύσης, αυξάνει τον όγκο και την ταχύτητα του απαερίου και μεταφέρει την χρήσιμη θερμότητα. Επομένως, απαιτούνται μεγαλύτεροι καυστήρες σε σχέση με αυτούς που χρησιμοποιούν γαιάνθρακα με μικρότερο ποσοστό υγρασίας. [2]

- **Τέφρα (ash) %:**

Είναι το ανόργανο μέρος των λιγνιτών που μένει ως υπόλειμμα μετά την τέλεια καύση τους, υπό καθορισμένες συνθήκες. Η ύπαρξη της οφείλεται στις ανόργανες ύλες που υπάρχουν στους λιγνίτες καθώς και στις ενδιάμεσες στείρες ενστρώσεις (άργλιοι, μάργες κ.τ.λ.) που συνεξορύσσονται με αυτούς.

Ένα ποσοστό της τέφρας μπορεί να οφείλεται σε κελύφη απολιθωμάτων που πιθανόν να υπάρχουν μέσα στα δείγματα.

Η ύπαρξη υψηλού ποσοστού τέφρας δημιουργεί πολλά προβλήματα όπως:

- Αύξηση του κόστους εξόρυξης και διακίνησης
- Επιβάρυνση στις εγκαταστάσεις πρόθραυσης και άλεσης
- Δημιουργεί φθορές στους μύλους, απαιτεί λεπτότερη άλεση για αποδοτική καύση
- Απάγει τη θερμότητα από τις εστίες καύσης
- Συμπαράσχει άκαυστα σωματίδια C προς την βάση της εστίας
- Προκαλεί τοπικές επικαθίσεις ανάλογα με την σύσταση της στους κλιβάνους και στους σωλήνες εναλλαγής
- Επιβαρύνει το περιβάλλον λόγω της εκπομπής υπαμμένης τέφρας και αερίων ρύπων. [9]

Η ύπαρξη υψηλού ποσοστού τέφρας συνεισφέρει στις εκπομπές των καπνοδόχων λόγω της εκπομπής υπάμμένης τέφρας και αερίων ρύπων, μειώνει τη μεταφορά θερμότητας στον κλίβανο, τροποποιεί την ροή των αερίων και επικάθεται σε επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας θέτοντας σε κίνδυνο το σύστημα καύσης λόγω των έντονων φαινομένων διάβρωσης. [2]

Ακόμα, επιβαρύνει τις εγκαταστάσεις πρόθραυσης και άλεσης, δημιουργεί φθορές στους μύλους, απαιτεί λεπτομερέστερη άλεση για αποδοτική καύση και απάγει θερμότητα από τις εστίες καύσης. [9] Επιπρόσθετα, η επικαθίση της σε σωληνώσεις του κλιβάνου προξενεί αύξηση της θερμοκρασίας ατμού στον υπερθερμαντήρα. Επίσης, οι επικαθίσεις στα τοιχώματα μεταγωγής θερμότητας μειώνουν την διάμετρο τους προκαλώντας αύξηση της ταχύτητας των αερίων και επιτάχυνση της διάβρωσης τους. Εν τέλει, οι επικαθίσεις της τέφρας μειώνουν την ισχύ της μονάδας, αυξάνουν το κόστος συντήρησης και το κεφαλαιουχικό κόστος των νέων μονάδων και άρα το τελικό κόστος της παραγόμενης ενέργειας. [2]

- **Πτητικά (volatile matter) %:**

Είναι το μέρος των λιγνιτών που απελευθερώνονται κατά την θέρμανση σε υψηλές θερμοκρασίες (μη συμπεριλαμβανομένης της περιεκτικότητας σε υγρασία), απουσία αέρα, σαν ατμός ή αέριο, κάτω από προκαθορισμένες συνθήκες.

Η παρουσία των πτητικών συστατικών, ειδικά στους Ελληνικούς Λιγνίτες, είναι αρκετά θετική, αφού βοηθά στην έναρξη της καύσης στους λέβητες, καθώς και στη ταχύτερη ανάφλεξη σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, όταν βρίσκονται σε αρκετά υψηλά ποσοστά. Ο συνδυασμός υψηλού ποσοστού πτητικών με χαμηλή τέφρα μειώνει τις απαιτήσεις για πολύ λεπτομερή άλεση του υλικού. [9]

- **Μόνιμος Άνθρακας (fixed carbon) %:**

Ως μόνιμος άνθρακας ορίζεται:

$$\text{Μόνιμος C \%} = 100 - [\text{Υγρασία \%} + \text{Πτητικά \%} + \text{Τέφρα \%}]$$

και αποτελεί μαζί με τα πτητικά το καύσιμο μέρος του λιγνίτη. Το ποσοστιαίο άθροισμα των Πτητικών και του Μόνιμου Άνθρακα καλείται Καύσιμη Ύλη και εκφράζεται επί %. [9]

- **Θερμαντική αξία:**

Οι γαιάνθρακες χαμηλής τάξης, όπως και οι ελληνικοί γαιάνθρακες, έχουν μικρή θερμαντική αξία. Το γεγονός αυτό οδήγησε σημαντική αύξηση της ποσότητας ατμού ή ηλεκτρικής ενέργειας. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού απαιτείται αύξηση του αριθμού και του μεγέθους των μύλων, καθώς και η αύξηση του μεγέθους του κλιβάνου και όλου του βοηθητικού εξοπλισμού. Η αύξηση του όγκου του καυσίμου προξενεί αύξηση της φθοράς των μηχανικών τμημάτων λόγω αποξέσεων και μεγαλύτερες ποσότητες υπάμενης τέφρας, επιβαρύνοντας την απόδοση των ηλεκτροστατικών συσκευών καθίζησης και των συστημάτων διαχείρισης της υπάμενης τέφρας. [2]

2.3 Μέθοδοι Εμπλουτισμού με σκοπό την μείωση των εκπομπών CO₂ κατά την καύση

➤ Εκλεκτική Ελάττωση Μεγέθους (E.E.M)

Οι λιγνίτες αποτελούνται από 2 συστατικά εύκολα διακρινόμενα μεταξύ τους, τα οποία εναλλάσσονται, είτε υπεισέρχονται το ένα μέσα στο άλλο. Έτσι το ένα συστατικό είναι μαύρο, με στιλπνή (λαμπερή) επιφάνεια, ομοιόμορφη υφή και επιφάνεια θραύσης ομαλή, ενώ το άλλο είναι τεφρό, θαμπό (αλαμπές), έχει κοκκώδη υφή και επιφάνεια θραύσης ανώμαλη. Το δεύτερο αυτό υλικό αποτελεί το συνδετικό υλικό του στιλπνού, αφού στηρίζει και γεμίζει το σκελετό των λιγνιτικών υλικών. Τα συστατικά αυτά δεν είναι στενά συνδεδεμένα μεταξύ τους, ούτε ομοιόμορφα κατανεμημένα μέσα στη μάζα του γαιάνθρακα, με αποτέλεσμα να γίνεται δυνατή η απομάκρυνση τους με μηχανικές μεθόδους συμβάλλοντας έτσι στον εμπλουτισμό του λιγνίτη. [9]

Στην περίπτωση του λιγνίτη, εμφανίζονται 2 τύποι σύνδεσης μεταξύ του καθαρού λιγνίτη και του στείρου, και στους 2 τύπους, οι διαφορετικοί κόκκοι είναι εύκολο να αποδεσμευτούν μετά από μια θραύση. Αυτόν ακριβώς τον τρόπο σύνδεσης εκμεταλλευόμαστε κατά τον εμπλουτισμό του λιγνίτη με την E.E.M, κατά την οποία προκαλείται αύξηση της συγκέντρωσης του ανόργανου μέρους στα λεπτόκοκκα κλάσματα, εξαιτίας της διαφορετικής τους αλεστικότητας. [9]

Η μέθοδος της E.E.M περιλαμβάνει τις διαδικασίες της θραύσης και της άλεσης, οι οποίες δημιουργούν στο υλικό καινούργια επιφάνεια. Η κατάτμηση των ψαθυρών σωμάτων επιτυγχάνεται με την εφαρμογή διαφόρων δυνάμεων, οι οποίες εμφανίζουν διαφορές ως προς τον τρόπο που εφαρμόζονται στα σώματα. Οι κυριότερες κατηγορίες δυνάμεων που προκαλούν κατάτμηση είναι η θλίψη, η κρούση, η τριβή και η διάτμηση. Παράλληλα με τον υποβιβασμό του μεγέθους λαμβάνει χώρα σε περισσότερα του ενός στάδια. Σε ένα πρώτο στάδιο επιδιώκεται ένα μέγεθος υλικού που να

μπορεί να μεταφέρεται στις μεταφορικές ταινίες, ενώ στα ενδιάμεσα στάδια επιχειρούνται μεγέθη που να καλύπτουν τις προδιαγραφές του προϊόντος. [9]

Κατά την ελάττωση μεγέθους λιγνίτη γίνεται σταδιακή θραύση του στυλπινού και θαμπίου υλικού. Το μεν πρώτο αντιστέκεται σημαντικά στη προσπάθεια μείωσης του μεγέθους του, το δε δεύτερο θραύεται εύκολα και ορισμένες φορές ανάλογα με την σύσταση του καταρρέει σε μικρά τεμάχια. Επομένως, κατά την σταδιακή και ελεγχόμενη εφαρμογή ενέργειας θραύσης, τα λεπτότερα κλάσματα εμφανίζονται εμπλουτισμένα σε ανόργανα, με αποτέλεσμα μια κατάλληλα ελεγχόμενη διαδικασία ελάττωσης μεγέθους να μπορεί να οδηγήσει σε μια αύξουσα κατανομή των προσμίξεων από τα χονδρόκοκκα στα λεπτόκοκκα. Η επιλογή του βέλτιστου μεγέθους αποδέσμευσης βασίζεται στην προέλευση και σύσταση του υλικού μεγέθους θραύσης και του επιθυμητού διαχωρισμού του λεπτόκοκκου από το χονδρόκοκκο κλάσμα. [9]

Κριτήρια της επιλογής του μεγέθους διαχωρισμού μπορεί να προκαλέσουν:

(α) Το μέγεθος του υλικού από το οποίο αρχίζει η αποδέσμευση του ανόργανου μέρους.

(β) Η ποσοστιαία κατανομή του ανόργανου αυτού μέρους σε κάθε κλάσμα μεγέθους σε σχέση με το κλάσμα βάρους του μεγέθους του.

(γ) Η οικονομικότητα της ελάττωσης μεγέθους (θραύση ή άλεση) στη συγκεκριμένη περιοχή μεγεθών. [9]

Μετά την ελάττωση του μεγέθους η διαδικασία της ταξινόμησης (κοσκίνισμα), θα επιφέρει ένα μηχανικό διαχωρισμό όχι μόνο των στείων διαφορετικού μεγέθους, αλλά και των μακροσκοπικά διακριτών σωματιδίων. Οι ενεργοβόρες διαδικασίες της θραύσης και της άλεσης για τις βιομηχανίες είναι “αναγκαίο κακό”, αφού έχουν να διατελέσουν διπλό ρόλο, τόσο στην ελάττωση του μεγέθους όσο και στον εμπλουτισμό συγκεκριμένων κλασμάτων. Αποκτούν ακόμη μεγαλύτερη σημασία, εξαιτίας του ότι το

κόστος τους ξεπερνά το μισό κόστος της συνολικής διεργασίας εξόρυξης, διαχωρισμού και μεταφοράς του υλικού. [9]

Η τεχνική της εκλεκτικής ελάττωσης υιοθετήθηκε για την διερεύνηση της πιθανότητας ανάκτησης του εύφλεκτου υλικού από το απορριπτόμενο στο ορυχείο του Κομάνου στην Ελλάδα, σε μια προσπάθεια να αυξηθούν τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα ενέργειας. Η ποικιλία των ποιοτικών χαρακτηριστικών των κόκκων, που παράχθηκαν από την εφαρμογή της τεχνικής, παρείχε χρήσιμες πληροφορίες τόσο πάνω στην καταλληλότητα των κλασμάτων για καύση στους ηλεκτρικούς σταθμούς της περιοχής όσο και στην πιθανότητα εκμετάλλευσης αυτού του απορρίμματος. [10]

➤ Χημικές μέθοδοι

Η ολοένα αυξανόμενη ανησυχία για τη χρήση των ορυκτών καυσίμων και η συνακόλουθη ανάγκη για καλύτερες συνθήκες καύσης, οδηγεί στην ανάπτυξη νέων μεθόδων καθαρισμού του άνθρακα. Έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί γύρω από την παραγωγή “ultra-clean” άνθρακα με την χρήση διαφόρων χημικών μεθόδων. Παρακάτω αναφέρονται κάποιες μελέτες που όμως δεν είχαν σαν σκοπό την μείωση των εκπομπών του CO₂.

Μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Steel & Patrick (2004) σε αυστραλιανούς λιγνίτες για τη παραγωγή “ultra-clean” άνθρακα με τη χρήση υδροχλωρίου και υδροφθορικού οξέως, χρησιμοποιώντας τη διαδικασία LTA-Low Temperature Ashing, είχε ως αποτέλεσμα τη παραγωγή άνθρακα με λιγότερο από 0.1% κατά βάρος ανόργανης ύλης. Βρέθηκε ότι το HCl διέλυσε απλές ενώσεις όπως φωσφορίτες και ανθρακίτες, όχι όμως πλήρως τις αργίλους, ενώ το HF αντιδράσε σχεδόν με κάθε ορυκτό στη ανόργανη ύλη, εκτός από το πυρίτιο. [14]

Σε έρευνα που υλοποιήθηκε από τους Kordylewski, Zacharczuk, Hardy & Kaczmarczyk (2004) αναπτύχθηκε τεχνική, με την οποία απομακρύνθηκε περίπου 65% (wt) κατά βάρος του Si του άνθρακα. Η τεχνική αυτή, είναι τμήμα της διαδικασίας παραγωγής “ultra-clean” άνθρακα με αναγέννηση υδροφθορικού οξέος και εκλεκτικό διαχωρισμό του Si (IV). Με τη μέθοδο αυτή

γίνεται ανακύκλωση τόσο του HF, όσο και του $Al(NO_3)_3$ και περιορίζεται σημαντικά η συνεχής αγορά χημικών ουσιών. [15]

Σε μελέτη που εκπονήθηκε για να διαπιστωθεί η συμπεριφορά καύσης “ultra-clean” άνθρακα, που αποκτήθηκε με χημική απορρυκτοποίηση, προέκυψε σημαντική μείωση στα επίπεδα της τέφρας (95%), όπως επίσης και στα επίπεδα του SO_2 . Ο άνθρακας που χρησιμοποιήθηκε ήταν ασφαλούχος με 6% ποσοστό τέφρας και επεξεργάστηκε χημικά με υδροφθορικό και νιτρικό οξύ. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τέφρα που προέκυψε από τον επεξεργασμένο άνθρακα παρουσίασε εντελώς διαφορετική δομή, μορφολογία και συμπεριφορά αντίδρασης, αλλά και η συμπεριφορά καύσης ήταν διαφορετική από εκείνη του αρχικού δείγματος. [17]

Ακόμα, σε έρευνα που έγινε από τους Karaca & Onal (2003), για την απορρυκτοποίηση Τούρκικων λιγνιτών σε ένα και μόνο στάδιο προεπεξεργασίας, επιτεύχθηκε μείωση της τέφρας κατά 3,3% στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με 30% NaOH και 10% HCl. [16]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 Μεθοδολογία εκτέλεσης δοκιμών

Οι φάσεις της διπλωματικής εργασίας ήταν οι ακόλουθες:

Αρχικά έγινε συλλογή και προετοιμασία των δειγμάτων λιγνίτη, πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκαν δυο δείγματα των 20kg περίπου το καθένα. Τα δείγματα του λιγνίτη προέρχονται από την αυλή ομογενοποίησης στις περιοχές Αχλάδα και Μαυροπηγή Πτολεμαΐδας.

Από τα αρχικά αυτά δείγματα έγινε λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων βάρους ίσο με το 1/10 της αρχικής ποσότητας με βάση τη μέθοδο του κώνου και της τεταρτοδιαίρεσης. Στη συνέχεια, το κάθε δείγμα ταξινομήθηκε για χαρακτηρισμό σε καθορισμένα κλάσματα με τη μέθοδο της κοσκίνισης. Από το κάθε κλάσμα λήφθηκε αντιπροσωπευτικό δείγμα βάρους ίσο με το 1/10 της αρχικής του ποσότητας. Τα αντιπροσωπευτικά αυτά με την σειρά τους υποβλήθηκαν σε θραύση και άλεση ώστε να φτάσουν σε κοκκομετρία τα -250 μm σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM. Στα δείγματα έγινε προσεγγιστική και στοιχειακή ανάλυση, χημική ανάλυση της τέφρας, όπως επίσης και προσδιορισμός της θερμογόνου δύναμης.

Τόσο το δείγμα της Αχλάδας όσο και της Μαυροπηγής υποβλήθηκαν σε κοκκομετρική ανάλυση και στη συνέχεια για όλα τα κλάσματα πραγματοποιήθηκε προσεγγιστική ανάλυση, προσδιορισμός της θερμογόνου δύναμης και καθορισμός του εκλυόμενου CO₂ κατά την καύση.

3.1.1 Εμπλουτισμός με Εκλεκτική λειοτριβήση

Με βάση τα ποσοστά τέφρας (μικρότερο του 20%) επιλέχθηκαν κάποια κλάσματα και από τα δυο δείγματα, στα οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος της εκλεκτικής ελάττωσης μεγέθους. Ακολούθησε η θραύση των επιλεγμένων κλασμάτων στη θέση 3 του σιαγωγωτού σπαστήρα και κοκκομετρική

ανάλυση. Εν συνεχεία, πραγματοποιήθηκε τόσο κοκκομετρική όσο και προσεγγιστική ανάλυση των κλασμάτων που προέκυψαν. Ακόμα, ελήφθησαν αντιπροσωπευτικά δείγματα βάρους ίσο με το 1/10 του βάρους του κάθε κλάσματος και ακολούθησαν μετρήσεις ποσοστών της τέφρας επί ξηρού(%) και υγρασίας(%), καθώς επίσης και ο προσδιορισμός θερμογόνου δύναμης και CO₂ επιλεγμένων κλασμάτων.

3.1.2 Εμπλουτισμός με οξύ (HCl)

Με βάση τα ποσοστά τέφρας καθώς και τον βαθμό ανάκτησης του υλικού επιλέχθηκαν τα κλάσματα (+50 +0.5mm) για το δείγμα της Αχλάδας και από το δείγμα της Μαυροπηγής όλη η αρχική κατανομή, στα οποία εφαρμόστηκε η χημική μέθοδος με τη χρήση υδροχλωρικού οξέος.

Η διαλυτοποίηση με υδροχλωρικό οξύ έγινε ως εξής:

1. Σε δείγμα ποσότητας 10 gr, προστέθηκαν 200 ml διαλύματος HCl 0,1M και αναδεύτηκε για 4 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου.
2. Πραγματοποιήθηκε έκπλυση του δείγματος με αποτισμένο νερό μέχρι να ουδετεροποιηθεί (PH≈7).
3. Ξήρανση του εκπλυθέντος δείγματος στους 110°C για 24h.

3.2 Προέλευση και Προετοιμασία Δειγμάτων

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν δείγματα λιγνίτη που προήλθαν από περιοχές της Β.Ελλάδας και πιο συγκεκριμένα από τις περιοχές Αχλάδα και Μαυροπηγή Πτολεμαΐδας.

Για τον χημικό χαρακτηρισμό των λιγνιτών που μελετήθηκαν, σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM, απαιτήθηκε η λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων, η οποία πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια διαχωριστή Jones (Riffler), καθώς και με την μέθοδο του κώνου και της τεταρτημόρησης.

Επίσης για την κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε μηχανή κοσκίνησης RETSCH τύπου 3D.

Για την πραγματοποίηση των διάφορων αναλύσεων τα δείγματα έπρεπε να αποκτήσουν συγκεκριμένη κοκκομετρία (-250 μm), η οποία επιτεύχθηκε με τη χρήση σφαιρόμυλου της εταιρείας SEPOR INC.

3.2.1 Λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων

Σύμφωνα με τη μέθοδο του κώνου και της τεταρτοδιαίρεσης, το δείγμα τοποθετείται στο μισό του χώρου του δαπέδου προπαρασκευής και μετακινείται στο άλλο μισό με την βοήθεια ενός φτυαριού, με συνεχή αλλαγή της θέσης που λαμβάνεται το δείγμα από το σωρό. Έτσι επιτυγχάνεται ανάμειξη των διαφόρων συστατικών κατά τη δημιουργία του καινούργιου σωρού. Η κίνηση που εφαρμόζεται στο φτυάρι είναι κυκλική, ώστε το υλικό να διανέμεται σε μεγαλύτερη έκταση γύρω από το σωρό και να εξασφαλίζεται αναμειξιμότητα.

Στη συνέχεια σχηματίζεται μια λωρίδα με πλάτος όσο το πλάτος του φτυαριού και μήκος που εξαρτάται από την ποσότητα του υλικού. Ο σχηματισμός της λωρίδας αρχίζει από το μέσο του δαπέδου, ώστε κάθε φορά, η ποσότητα του δείγματος να εναποτίθεται αντιδιαμετρικά. Κατόπιν αρχίζει και πάλι η μετακίνηση του δείγματος με το φτυάρι και ο σχηματισμός καινούργιου κώνου, όπως και πριν. Η λήψη του δείγματος γίνεται από το μέσον της λωρίδας προς τις άκρες.

Μετά από αυτή την διαδικασία, ο σωρός είναι έτοιμος προς τεταρτοδιαίρεση. Χρησιμοποιώντας την λεπίδα δειγματοληψίας με την οποία παίρνονται συνεχώς ισόποσες ποσότητες γύρω από την βάση του κώνου, από τις οποίες οι περιττοί αριθμοί εναποτίθενται ξεχωριστά από τους άρτιους, σχηματίζοντας τελικά δυο όμοιους και αντιπροσωπευτικούς με το αρχικό δείγμα σωρούς. Η διχοτόμηση αυτή μπορεί να επαναληφθεί στο ήδη μισό δείγμα (ή και στα δυο) για να σχηματιστούν δυο ή τέσσερα όμοια δείγματα με βάρος το $\frac{1}{4}$ του αρχικού.

Η συνέχιση ή μη της διχοτόμησης σε κάθε δείγμα για τον τετραπλασιασμό, οκταπλασιασμό κτλ., του αριθμού των επί μέρους όμοιων δειγμάτων, εξαρτάται από το επιθυμητό για τις δοκιμές βάρος, πάντοτε όμως με τον περιορισμό του μέγιστου τεμαχίου.

Είναι κατανοητό ότι όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το δείγμα για διχοτόμηση τόσο περισσότερο διευκολύνεται η δειγματοληψία.

3.2.2 Συσσκευή κοκκομετρικής ανάλυσης.

Η κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων έγινε με την βοήθεια μιας δονούμενης συσκευής κοσκίνησης (laboratory sieving machine) RETSCH τύπου 3D. Αποτελείται από κόσκινα της σειράς ASTM, διαμέτρου 20cm, τα οποία είναι τοποθετημένα το ένα πάνω στο άλλο, έτσι ώστε το άνοιγμα των βρόγχων να μειώνεται από πάνω προς τα κάτω. Κάτω από το κόσκινο με το μικρότερο άνοιγμα οπής υπάρχει ένας συλλέκτης ίδιας διαμέτρου με τα κόσκινα, στον οποίο συγκεντρώνεται το πέρασμα του τελευταίου κόσκινου. Η συσκευή επιτρέπει την λειτουργία σε διάφορες συχνότητες δόνησης (max=100 round/min) και σε προκαθορισμένους χρόνους κοσκίνησης (max= 1 hr).

3.2.3 Συσσκευές θραύσης και άλεσης.

➤ Θραυστήρας σιαγόνων

Για την θραύση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε ένας θραυστήρας σιαγόνων , πρωτογενούς θραύσης, της εταιρείας FRITSCH, τύπου Pulverrisette 1. Το μέγιστο μέγεθος τροφοδοσίας αυτού του θραυστήρα είναι 100mm, ενώ το τελικό μέγεθος τεμαχιδίων που λαμβάνεται κυμαίνεται από 15mm έως 2mm.

Το εσωτερικό του είναι κατασκευασμένο από σκληρό κράμα μαγγανιούχου χάλυβα και αποτελείται από μια ακίνητη επιφάνεια, σχεδόν κατακόρυφη, απέναντι στην οποία βρίσκεται μια δεύτερη κινητή επιφάνεια υπό γωνία. Η

κίνηση της δεύτερης επιφάνειας συνθλίβει τα σώματα που βρίσκονται μεταξύ των δύο επιφανειών, οι οποίες δρουν σαν ένα είδος σιαγόνων.

Όσο αφορά τη θέση στήριξης της κινητής σιαγόνας, η συσκευή κατατάσσεται στην κατηγορία Dodge απλού βραχίονα, αφού έχει σταθερό άνοιγμα τροφοδοσίας και μεταβλητό άνοιγμα εξόδου του υλικού. Το άνοιγμα στο πάνω μέρος των σιαγόνων καθορίζει το μέγεθος των τεμαχίων της τροφοδοσίας, ενώ το άνοιγμα στο κάτω μέρος καθορίζει το μέγεθος του προϊόντος, που δεν είναι σταθερό.

Ένα σώμα εισερχόμενο στο σπαστήρα συλλαμβάνεται από τις σιαγόνες σε κάποιο σημείο και συνθλίβεται. Τα τεμάχια της θραύσης ελευθερώνονται με το άνοιγμα της σιαγόνας και πέφτουν προς τα κάτω, μέχρι να ξανασυλληφθούν από τις σιαγόνες που κλείνουν ξανά κ.λ.π, έως να εξέλθουν του σπαστήρα.

➤ Σφαιρόμυλος

Η λειοτριβήση έγινε με τη βοήθεια του σφαιρόμυλου τύπου SEPOR INC. Ο σφαιρόμυλος αποτελείται από μεταλλικό κύλινδρο ο οποίος τοποθετείται πάνω σε ένα ζευγάρι περιστρεφόμενων κυλίνδρων, με τη βοήθεια των οποίων περιστρέφεται σε προκαθορισμένη ταχύτητα. Η ταχύτητα περιστροφής του κυλίνδρου μπορεί να φτάσει έως 100RPM. Για τη λειοτριβήση των δειγμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η ταχύτητα περιστροφής ήταν 60 RPM για 20 min.

Για την λειοτριβήση του υλικού χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικές σφαίρες διαφόρων μεγεθών. Η ποσότητα των μεταλλικών αυτών σφαιρών πληρούσε το 45-55% του όγκου του κυλίνδρου, ενώ η ποσότητα του υλικού κάλυπτε το 25% περίπου του όγκου του κυλίνδρου.

3.3 Χαρακτηρισμός Δειγμάτων

3.3.1 Προσεγγιστική ανάλυση

Οι ποιοτικές αναλύσεις του δείγματος έγιναν σύμφωνα με τα Αμερικανικά Πρότυπα ASTM.

➤ Προσδιορισμός υγρασίας

Για τον προσδιορισμό της υγρασίας τόσο του αρχικού δείγματος όσο και των κλασμάτων, τα τεμαχίδια των αντιπροσωπευτικών δειγμάτων λειοτριβήθηκαν σε μέγεθος – 250 μm.

Ο προσδιορισμός της υγρασίας έγινε σε κλίβανο της εταιρίας SANYO τύπου OMT OVEN MK II και σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM D3172-89, σύμφωνα με τα οποία λαμβάνονται περίπου 2 gr αντιπροσωπευτικού δείγματος τοποθετούνται σε μια πορσελάνινη κάψα γνωστού βάρους, ζυγίζονται σε αναλυτικό ζυγό ακριβείας, της τάξεως του 0.1 mg και κατόπιν θερμαίνονται στους 110°C για 1.30 ώρα. Το δείγμα κατόπιν φυλάσσεται σε ξηραντήρα για την εξισορρόπηση των θερμοκρασιών μεταξύ κάψας και ατμόσφαιρας και ζυγίζεται.

Ο υπολογισμός της υγρασίας έγινε με την βοήθεια του ακόλουθου τύπου:

$$\text{Υγρασία (\%)} = \{ [\Delta - (\delta - K)] / \Delta \} * 100$$

Όπου Δ = ακριβής ποσότητα δείγματος πριν την θέρμανση (≈ 2 gr)

Δ = βάρος κάψας και υπολείματος μετά την θέρμανση (gr)

K = βάρος κάψας (gr)

Τα αποτελέσματα του προσδιορισμού της υγρασίας ήταν επαναλήψιμα και εκφράστηκαν σαν μέσος όρος τριών μετρήσεων.

➤ **Προσδιορισμός τέφρας**

Το μέγεθος των κόκκων του αντιπροσωπευτικού δείγματος για τον προσδιορισμό της τέφρας ήταν -250 μm.

Ο προσδιορισμός της τέφρας έγινε σε κλίβανο της εταιρίας Nabertherm τύπου Labotherm L3/S, σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM D 3174-93, σύμφωνα με τα οποία τα δείγματα καίγονται στον κλίβανο μέχρι τους 780°C με ρυθμό θέρμανσης 12 °C/min και παρέμεινε σε αυτή την θερμοκρασία για 2 ώρες. Με το πέρας της καύσης, τα δείγματα μεταφέρονται στον ξηραντήρα έως ώτου εξισορροπηθεί η θερμοκρασία με αυτήν του περιβάλλοντος και κατόπιν ζυγίζονται.

Ο υπολογισμός του ποσοστού της τέφρας έγινε στη συνέχεια με τον τύπο:

$$\text{Τέφρα (\%)} = [(\delta - \text{K}) / \Delta] * 100$$

Όπου Δ = βάρος του δείγματος πριν την καύση (≈ 1 gr)

δ = βάρος της κάψας και του δείγματος μετά την καύση (gr)

K = βάρος κάψας (gr)

Τα αποτελέσματα ήταν επαναλήψιμα και όπως και προηγουμένως εκφράστηκαν σαν μέσος όρος τριών μετρήσεων.

➤ **Προσδιορισμός καύσιμης ύλης**

Η καύσιμη ύλη ή αλλιώς το άθροισμα των πτητικών και του μόνιμου άνθρακα, υπολογίστηκε από τον εξής τύπο:

$$\text{Καύσιμη ύλη (\%)} = 100 - \text{Υγρασία (\%)} - \text{Τέφρα "ως έχει"}$$

3.3.2 Στοιχειακή ανάλυση

Η στοιχειακή ανάλυση του καυσίμου συνίσταται στον ποσοτικό προσδιορισμό του άνθρακα (C), του υδρογόνου (H), του αζώτου (N), του θείου (S) και του οξυγόνου(O).

➤ **Προσδιορισμός άνθρακα (C), του υδρογόνου (H), του αζώτου (N)**

Ο ποσοτικός προσδιορισμός του ολικού άνθρακα, υδρογόνου και αζώτου έγινε με τον αυτοματοποιημένο στοιχειακό αναλυτή της LECO, τύπου CHN-600.

Η αρχή λειτουργίας του μηχανήματος είναι η ακόλουθη:

Ποσότητα δείγματος της τάξεως βάρους 2mg εισάγεται σε ειδικό υποδοχέα και καίγεται πλήρως σε καθαρή ατμόσφαιρα οξυγόνου. Κατά την καύση παράγονται υδρατμοί, CO₂, NO_x, N₂ και SO_x. Από το CO₂ υπολογίζεται ο άνθρακας, από τους υδρατμούς το υδρογόνο και από το υπόλοιπο αέριο το άζωτο.

Αρχικά, με μια δευτερογενή καύση, παρουσία CaO, δεσμεύονται τα SO_x με σκοπό τη αποφυγή δημιουργίας θεικού οξέος, το οποίο θα έφθειρε την συσκευή. Κατόπιν, οι υδρατμοί και το CO₂ δεσμεύονται σε δυο στήλες, ενώ το οξυγόνο απομακρύνεται με την χρήση κατάλληλου καταλύτη. Από το αέριο που διαφεύγει, με την χρήση υπέρθερμου χαλκού τα NO_x μετατρέπονται σε N₂. Στη συνέχεια, το αέριο μεταφέρεται σε ένα ηλεκτρονικό στοιχείο που αποτελείται από μια γέφυρα Wheatstone, όπου λόγω διαφορετικής αγωγιμότητας αζώτου και ηλίου μετριέται το άζωτο. Από τους υδρατμούς και το CO₂ υπολογίζονται φασματομετρικά το H₂ και ο C.

Αφού ολοκληρωθούν όλες οι διαδικασίες γίνονται διάφορες διορθώσεις ως προς τη βαρομετρική πίεση και ως προς άλλες παρεμβολές που λαμβάνουν χώρα κατά την διαδικασία της καύσης και στη συνέχεια λαμβάνονται καταγεγραμμένα τα συνολικά ποσοστά των C, H, N, συμπεριλαμβανομένων του άνθρακα των ανθρακικών ενώσεων, του υδρογόνου της υγρασίας και της ενυδάτωσης των πυριτικών ενώσεων.

➤ **Αναλυτής CHN-600**

Ο προσδιορισμός των στοιχείων C, H, N έγινε με τον στοιχειακό αναλυτή CHN-600 (LECO) (Carbon-Hydrogen-Nitrogen Determinator).

Τα παραπάνω στοιχεία προσδιορίζονται από την τέλεια καύση καθορισμένης ποσότητας δείγματος (100-200 mg) σε καθαρό οξυγόνο στους 950°C. Τα προϊόντα της καύσης είναι CO₂, υδρατμοί, οξείδια του αζώτου, στοιχειακό άζωτο και οξείδια του θείου. Τα οξείδια του θείου απομακρύνονται με προσθήκη οξειδίου του ασβεστίου κατά την διάρκεια μιας δευτερογενούς καύσης, οπότε οι υδρατμοί δε σχηματίζουν θειικό οξύ, το οποίο φθείρει τη συσκευή. Τα υπόλοιπα αέρια της καύσης συγκεντρώνονται σε συγκεκριμένο όγκο και αναμειγνύονται καλά.

Για τον προσδιορισμό του αζώτου, μια ποσότητα δείγματος 10 cm³ μεταφέρεται με He σε ένα αντιδραστήριο που αποτελείται από Cu και καταλύτη αζώτου για την απομάκρυνση του O₂ και την μετατροπή του NO_x σε N₂, NaOH για την απομάκρυνση του CO₂ και υπερχλωρικό μαγνήσιο για την απομάκρυνση του H₂O. Το στοιχειακό άζωτο μετριέται με ένα ηλεκτρονικό κύτταρο, η λειτουργία του οποίου βασίζεται στην αγωγιμότητα των αερίων TCC (Thermal Conductivity Cell), η οποία είναι διαφορετική για κάθε αέριο. Τα στοιχεία C και H υπολογίζονται συγχρόνως από τις ποσότητες του CO₂ και του H₂O αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά πολλαπλασιάζονται με έναν συντελεστή "K Factor", ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη βαρομετρική πίεση, τις διάφορες χημικές παρεμβολές και τον αρχικό όγκο του δοχείου από όπου ελήφθη το δείγμα. Οι μετρήσεις κάποιων standards είναι απαραίτητες.

Η μέθοδος που αναλύθηκε παραπάνω δίνει τα συνολικά ποσοστά του άνθρακα, του υδρογόνου και του αζώτου καθώς και τον άνθρακα των ανθρακικών αλάτων, το υδρογόνο της υγρασίας και το ενυδατωμένο νερό των πυριτικών αλάτων.

Εάν το ποσοστό της υγρασίας είναι γνωστό, τα αποτελέσματα μπορούν να υπολογιστούν "επί ξηρού".

➤ **Προσδιορισμός θείου (S)**

Ο υπολογισμός του θείου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του επαγωγικού φούρνου HF-10 και του αυτόματου αναλυτή θείου της LECO-532-500. Η ποσότητα που χρησιμοποιήθηκε ήταν της τάξεως των mg, τοποθετήθηκε σε χωνευτήριο καύσης και εφόσον σκεπάστηκε με ειδικό κάλυμμα κήκε στους 2000°C στον επαγωγικό φούρνο παρουσία οξυγόνου. Σε κάθε δείγμα προστέθηκε σαν επιταχυντής καύσεως 1g σιδήρου (ελευθέρου θείου), που παρέχει αγωγή και επιταχύνει την καύση. Όπως επίσης και 1g κασιτέρου (ελευθέρου θείου), που λειτουργεί ως συλλίπασμα.

Κατά την καύση το θείο μετατρέπεται σε διοξείδιο του θείου, το οποίο αυτόματα ογκομετρείται παρουσία αμύλου με διάλυμα KI-KIO₃. Στον υποδοχέα τιτλοδότησης περιέχεται HCl, KI και αρκετό KIO₃, το οποίο παρουσία του αμύλου δίνει ένα έντονο μπλε χρώμα.

Όταν το διοξείδιο του θείου εισέρχεται στον υποδοχέα αντιδρά και διαυγάσει το διάλυμα, λόγω αντίδρασης με το ιώδιο. Τότε αυτόματα, μέσω ενός φωτοκύτταρου απελευθερώνεται KIO₃ από την προχοίδα και το διαυγές διάλυμα επανέρχεται στο αρχικό της μπλε χρώμα. Το καταναλωθέν KIO₃ προσδιορίζεται από την προχοίδα, η οποία είναι ήδη βαθμονομημένη σε αντίστοιχα ποσοστά θείου.

Το συνολικό θείο των δειγμάτων υπολογίζεται με τη βοήθεια πρότυπων και διορθώνεται ως προς την μάζα του ως εξής:

Στην πραγματική τιμή 0,135% S (περιεκτικότητα σε θείο των προτύπων) μετράτε μια μέση τιμή β προτύπων % S, οπότε στη μέση τιμή α % S των δειγμάτων αντιστοιχεί πραγματική τιμή 0,135*α/β.

Το % S διορθωμένο ως προς τη μάζα υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$S \% = [0.135 * \alpha / \beta] / m$$

όπου m η μέση τιμή μάζας σε g των προς μελέτη δειγμάτων.

➤ Προσδιορισμός οξυγόνου O (%)

Το οξυγόνο “ως έχει” προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$O \% = 100 - [\text{Υγρασία} (\%) + C(\%) + H(\%) + N(\%) + S(\%)]$$

3.3.3 Προσδιορισμός θερμογόνου δύναμης

Ο προσδιορισμός της θερμογόνου δύναμης του δείγματος έγινε με την βοήθεια του Αυτόματου Θερμιδόμετρου LECO (Automatic Calorimeter), τύπου AC-300 του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Περίπου 1gr δείγματος τοποθετείται σε ειδικό υποδοχέα, μέσα από τον οποίο περνάει λεπτό σύρμα που χρησιμοποιείται για την ανάφλεξη του δείγματος και το σύστημα της βόμβας που περιέχει την ουσία, τοποθετείται στο νερό του θερμιδομέτρου. Η ουσία καίγεται σε περιβάλλον καθαρού οξυγόνου και σε υψηλή πίεση (440 psi). Το σύστημα είναι ισοθερμικό. Πριν καεί το δείγμα, μετριέται η θερμοκρασία του νερού που περιβάλλει τη βόμβα, ενώ η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και του νερού υπολογίζεται κατά τη διάρκεια της ανάλυσης.

Η θερμοκρασία του νερού μετριέται με ηλεκτρονικό θερμόμετρο κάθε 6 λεπτά. Η επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος υπολογίζεται και τα αποτελέσματα διορθώνονται. Επιπλέον γίνεται διόρθωση βάσει της περιεκτικότητας σε N₂, S και υγρασία του δείγματος. Τέλος τα αποτελέσματα εκτυπώνονται. Η θερμογόνος δύναμη του δείγματος προσδιορίζεται από την αλλαγή της θερμοκρασίας του νερού.

Η μέτρηση του θερμιδομέτρου αναφέρεται στην Α.Θ.Δ. “επί ξηρού”.

Ο υπολογισμός της Κ.Θ.Δ. “ως έχει” γίνεται με την ακόλουθη σχέση:

$$H_{κλ} = \{ [H_{οξ} - 5,85 * 9 * (100 - A_d) * 0,05] * (100 - O_u) \} / (100 - 5,85 * O_u)$$

Όπου $H_{κλ}$ = Κ.Θ.Δ. “ως έχει”

$H_{οξ}$ = Α.Θ.Δ. “επί ξηρού”

A_d = Τέφρα “επί ξηρού” (%)

O_u = Ολική υγρασία “ως έχει”

Ο συντελεστής 5,85 αντιστοιχεί στην λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης των υδρατμών, ο συντελεστής 9 στην αναλογία βάρους του υδρογόνου στο μόριο του νερού και ο συντελεστής 0,05 αντιστοιχεί στην παραδοχή ότι το υδρογόνο είναι το 5% του καυσίμου “επί ξηρού”.

3.3.4 Χημική ανάλυση τέφρας

Για την χημική ανάλυση της τέφρας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της φασματοσκοπίας ακτίνων Χ φθορισμού XRF.

➤ Συσκευή χημικής ανάλυσης τέφρας

Για την χημική ανάλυση της τέφρας χρησιμοποιήθηκε αυτόματο σύστημα φασματοσκοπίας ακτίνων-Χ φθορισμού τύπου S2 RANGER της εταιρείας BRUKER, του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η αρχή λειτουργίας της συσκευής στηρίζεται στο ότι τα άτομα των στοιχείων διεγείρονται από ακτίνες-Χ υψηλής ενέργειας και εκπέμπουν δευτερογενή ακτινοβολία (φθορισμός) ακτίνων-Χ, το φάσμα της οποίας αναλύεται και μελετάται.

➤ Αρχή της μεθόδου XRF

Η φασματοσκοπία ακτίνων-Χ φθορισμού (XRF) ανήκει στις οπτικές μεθόδους ενόργανης ανάλυσης. Στηρίζεται στην αλληλεπίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και ύλης. Το μέγεθος που μετράται είναι η δευτερογενής ακτινοβολία φθορισμού των ακτίνων-Χ, που εκπέμπεται από τα διεγερμένα άτομα των στοιχείων, καθώς αυτά επιστρέφουν στην θεμελιώδη κατάσταση και οφείλεται σε μεταπτώσεις ηλεκτρονίων των εσωτερικών στοιβάδων. Η διέγερση των ατόμων επιτυγχάνεται με την επίδραση πάνω τους ακτίνων-Χ υψηλής ενέργειας και οι μεταπτώσεις των ηλεκτρονίων ακολουθούν τους νόμους της κβαντομηχανικής. Τα στοιχεία που μπορούν να

προσδιοριστούν με αυτή την μέθοδο βρίσκονται στο περιοδικό σύστημα μεταξύ του βορίου και του ουρανίου.

Οι ακτίνες-Χ προσκρούουν και απομακρύνουν ηλεκτρόνια εσωτερικής στοιβάδας εφόσον η ενέργεια τους είναι μεγάλη. Τα ηλεκτρόνια των εσωτερικών στοιβάδων πέφτουν στις κενές θέσεις με ταυτόχρονη εκπομπή ακτίνων-Χ. Η διέγερση του δείγματος για εκπομπή ακτίνων-Χ γίνεται με ειδικές λυχνίες ακτίνων-Χ, ενέργειας πολλαπλάσιας από αυτή που θέλουμε να διεγείρουμε. Στο φασματομέτρο ακτίνων-Χ διασκορπισμένης ενέργειας, η λυχνία ακτινοβολεί απευθείας το δείγμα και το φάσμα ακτίνων-Χ που προέρχεται από το δείγμα μετράτε με έναν ανιχνευτή που διαχωρίζει τις διαφορετικές ενέργειες. Ο ανιχνευτής είναι ικανός να μετρήσει τις ενέργειες της εισερχόμενης ακτινοβολίας απευθείας. Μια εναλλακτική είναι να τοποθετηθεί ένας δευτερογενής στόχος μεταξύ της λυχνίας και του δείγματος. Η λυχνία ακτινοβολεί το δευτερογενή στόχο και αυτός εκπέμπει τη δική του χαρακτηριστική ακτινοβολία. Το πλεονέκτημα του δευτερογενή στόχου είναι ότι εκπέμπει (σχεδόν) μονοχρωματική ακτινοβολία, αλλά το μειονέκτημα είναι ότι χάνεται ενέργεια. Χρησιμοποιώντας διαφορετικούς δευτερογενείς στόχους μπορεί να επιτευχθεί η βέλτιστη διέγερση για όλα τα στοιχεία.

Με την φασματομετρία ακτίνων-Χ φθορισμού προσδιορίστηκαν τα κύρια ανόργανα στοιχεία τα οποία εκφράσθηκαν σαν οξειδία (CaO , SiO_2 , P_2O_5 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SO_3 , MgO , K_2O , TiO_2 , MnO , Na_2O) στις τέφρες των δειγμάτων. Τα λειοτριβιμένα σε μέγεθος κόκκου κάτω από $250\mu\text{m}$ δείγματα πυρώθηκαν στους 1050°C και στη συνέχεια παρασκευάστηκαν ανθεκτικά δισκία με λεία επιφάνεια μέσα σε ειδική μήτρα.

3.3.5 Προσδιορισμός CO_2 με τη μέθοδο του ασβεστιμέτρου

Ο προσδιορισμός του CO_2 και του ασβεστίτη (CaCO_3) έγινε με το ασβεστιμέτρο τύπου Dietrich-Fruhling. Είναι ένας σταθμικός προσδιορισμός

που στηρίζεται στην μέτρηση του όγκου του CO₂ που εκλύεται από την επίδραση υδροχλωρικού οξέος στο δείγμα σύμφωνα με την αντίδραση:



Το ποσοστό του CO₂ ανάγεται στη συνέχεια σε CaCO₃.

Αυτή η μέθοδος δίνει καλά αποτελέσματα στην περίπτωση που το δείγμα δεν περιέχει ορυκτό το οποίο μπορεί να παράγει αέριο CO₂ με την επίδραση του HCl, όπως π.χ. ο δολομίτης.

Ζυγίζοντας δείγμα βάρους 2g περίπου, τοποθετείται στη φιάλη του ασβεστιμέτρου μαζί με δοκιμαστικό σωλήνα που περιέχει αραιωμένο HCl σε αναλογία 1:3. Η φιάλη κλείνεται και ανακινείται μέχρι να σταματήσει η αντίδραση του HCl με τον ασβεσίτη. Το εκλυόμενο αέριο κατεβάζει τη στάθμη του χρωματισμένου υγρού στο βαθμονομημένο σωλήνα. Αφού εξισορροπηθεί η υδροστατική πίεση, σημειώνεται η ένδειξη σε ml του υγρού στον σωλήνα, καθώς και η πίεση P (σε mmHg) και η θερμοκρασία Θ (σε °C) του χώρου όπου γίνεται η μέτρηση. Κάθε πέντε περίπου δείγματα επαναλαμβάνεται η διαδικασία με ένα πρότυπο δείγμα γνωστής περιεκτικότητας (καθαρός ασβεσίτης 43,6 %) σε CO₂, ώστε να υπολογίσουμε τον συντελεστή διόρθωσης ΣΔ.

Από πίνακα υπολογίζεται η τάση ατμών P_(H₂O) του νερού με βάση τη θερμοκρασία.

Ο όγκος του εκλυόμενου CO₂, σε κανονικές συνθήκες, δίνεται από τον τύπο:

$$V_{\text{CO}_2} = [\text{ένδειξη}] * (P - P_{(\text{H}_2\text{O})}) * 273 / (760 * (273 + \Theta))$$

Η περιεκτικότητα Π % του προτύπου σε CO₂ είναι:

$$\text{Π \%} = [\text{ένδειξη}] / [\text{μάζα}] * 0,196$$

Όπου 0,196 = M.B CO₂ / 22400 * 100 = 44 / 22400

Ο συντελεστής διόρθωσης είναι:

$$\Sigma\Delta = 43,56 / \Pi\%$$

Κατά συνέπεια το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα είναι:

$$\text{CO}_2 \% = V_{\text{CO}_2} * 0,196 * \Sigma\Delta / [\mu\acute{\alpha}\zeta\alpha]$$

Δεδομένου ότι σε 1gr CO₂ αντιστοιχούν 2,273gr CaCO₃, το ποσοστό (%) του ασβεστίτη είναι:

$$\text{Ασβεστίτη (\%)} = \text{CO}_2 (\%) * 2,273$$

3.3.6 Προσδιορισμός CO₂ με τη χρήση κλιβάνου

Για τον προσδιορισμό του CO₂ με τη χρήση κλιβάνου ελήφθη δείγμα βάρους 5gr περίπου με τη μέθοδο της τεταρτοδιαίρεσης από τα αντιπροσωπευτικά δείγματα του εκάστοτε κλάσματος. Στη συνέχεια, το δείγμα κάηκε στους 600°C και παρέμεινε σε αυτή τη θερμοκρασία για 3 ώρες. Μετά το πέρας των τριών ωρών το δείγμα τοποθετήθηκε σε συνθήκες ελλείψεως υγρασίας, έτσι ώστε η θερμοκρασία να γίνει ίση με εκείνη του περιβάλλοντος, και ζυγίστηκε στον αναλυτικό ζυγό. Κατόπιν επανατοποθετήθηκε στον φούρνο και κάηκε στους 950°C για δύο ώρες. Έπειτα μεταφέρθηκε σε συνθήκες ελλείψεως υγρασίας και παρέμεινε έως ότου η θερμοκρασία να γίνει ίση με εκείνη του περιβάλλοντος και ζυγίστηκε στον αναλυτικό ζυγό.

Το ποσοστό του CO₂ υπολογίστηκε από τον εξής τύπο:

$$\text{CO}_2 \% = [\text{διαφορά} * 100] / W_{600}$$

Όπου διαφορά = $W_{600} - W_{950}$

W_{600} = βάρος μετά τους 600°C

W_{950} = βάρος μετά τους 950°C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Ποιοτική ανάλυση αρχικών δειγμάτων.

Για την άμεση ποιοτική ανάλυση των δειγμάτων (Μαυροπηγής και Αχλάδας), λήφθηκε αντιπροσωπευτικό δείγμα από τα αντίστοιχα αρχικά δείγματα με την μέθοδο του κώνου-τετάρτων και του διαχωριστή Jones (riffler). Το δείγμα στη συνέχεια λειοτριβήθηκε μέχρι μεγέθους -250mm, σύμφωνα με τα ASTM Standards.

Στους Πίνακες 4.1, 4.2, 4.3 και 4.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσεγγιστικής και στοιχειακής ανάλυσης, τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης της τέφρας και της θερμογόνου δύναμης των αρχικών δειγμάτων καθώς και η έκλυση διοξειδίου του άνθρακα από τις τέφρες των δειγμάτων.

Πίνακας 4.1: Προσεγγιστική ανάλυση αρχικών δειγμάτων

Δείγματα	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη επί ξηρού (%)
Μαυροπηγή	49,8	20	80
Αχλάδα	19,5	44,7	55,3

Στον Πίνακα 4.1 διακρίνουμε τις περιεκτικότητες των αρχικών δειγμάτων σε υγρασία (%), τέφρα επί ξηρού (%) και καύσιμη ύλη (%). Παρατηρούμε ότι τα δύο δείγματα είναι πολύ διαφορετικά, με το δείγμα της Μαυροπηγής να έχει υψηλό ποσοστό υγρασίας σε αντίθεση με το δείγμα της Αχλάδας. Η ποιότητα των δειγμάτων διαφέρει επίσης, το δείγμα της Μαυροπηγής χαρακτηρίζεται από μέτρια περιεκτικότητα σε τέφρα και υψηλό ποσοστό καύσιμης ύλης, ενώ το δείγμα της Αχλάδας χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό τέφρας και μέτριο ποσοστό καύσιμης ύλης.

Κατά τη στοιχειακή ανάλυση των αρχικών δειγμάτων προσδιορίστηκαν οι περιεκτικότητες σε C, H, N, S και O καθώς και η θερμογόνος δύναμη “επί ξηρού” (Πίνακας 4.2).

Πίνακας 4.2 : Στοιχειακή ανάλυση αρχικών δειγμάτων (% επί ξηρού)

Δείγματα	Τέφρα	C	H	N	S	O	A.Θ.Δ (kcal/kg)
Μαυροπηγή	20	42,7	3,3	1,7	0,9	31,9	3799,7
Αχλάδα	44,7	27,3	2,1	0,6	1,1	24,2	2124,8

Το δείγμα της Μαυροπηγής εμφανίζει ένα ποσοστό C και H γύρω στο 43,0% και 3,0% αντίστοιχα, ενώ το ποσοστό του N στο δείγμα είναι της τάξης του 1,7%. Μικρή είναι και η περιεκτικότητα του δείγματος σε S (0,9%). Λόγω της περιορισμένης περιεκτικότητας σε N και S αναμένεται μικρό ποσοστό εκπομπών κατά την καύση του.

Το δείγμα της Αχλάδας εμφανίζει χαμηλά ποσοστά σε N και S (0,6% και 1,1% αντίστοιχα), επομένως αναμένεται μικρή έκλυση αέριων ρύπων κατά την καύση του. Τα ποσοστά σε C και H είναι περίπου 27% και 2% αντίστοιχα.

Από τον Πίνακα 4.2, παρατηρούμε ότι τα δύο δείγματα είναι διαφορετικά μεταξύ τους. Το δείγμα της Μαυροπηγής παρουσιάζει υψηλή θερμογόνο δύναμη όπως είναι αναμενόμενο καθώς το ποσοστό της τέφρας είναι χαμηλό, ενώ το ποσοστό του C είναι μεγάλο (43%). Αντίθετα, το δείγμα της Αχλάδας παρουσιάζει χαμηλή θερμογόνο δύναμη, καθώς έχει υψηλό ποσοστό τέφρας (45%) και το ποσοστό του C είναι χαμηλό (27%).

Στον Πίνακα 4.3 αναγράφονται τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης της τέφρας στα οξείδια : CaO, SiO₂, P₂O₅, Fe₂O₃, Al₂O₃, SO₃, MgO, K₂O, TiO₂, MnO, Na₂O.

Πίνακας 4.3 : Χημική ανάλυση τέφρας αρχικών δειγμάτων (950°C)

Οξείδια Μετάλλων (%)	Δείγμα Μαυροπηγής	Δείγμα Αχλάδας
CaO	39,5	6,8
SiO ₂	20,6	53,8
P ₂ O ₅	0,9	0,3
Fe ₂ O ₃	7,7	11,6
Al ₂ O ₃	9,7	13,2
SO ₃	14,6	8,9
MgO	5,1	0,1
K ₂ O	0,9	3,7
TiO ₂	0,8	1,4
MnO	0,02	0,1
Na ₂ O	0,1	0,1

Το δείγμα της Μαυροπηγής εμφανίζει σε σημαντικό ποσοστό, της τάξης του 39,5% το CaO. Ως συνέπεια αναμένεται υψηλό ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα κατά την καύση. Σε χαμηλότερα ποσοστά, η ανόργανη ύλη περιέχει SiO₂, Fe₂O₃ και SO₃ σε ποσοστά της τάξης 20%, 7,7% και 14,6% αντίστοιχα. Το ποσοστό του S είναι σημαντικό και οδηγεί στην έκλυση οξειδίων του S κατά την καύση. Τέλος, σε αρκετά χαμηλά ποσοστά περιέχονται τα οξείδια του Al και του Mg (9,7% και 5,1%), όπως και τα οξείδια του P, του K, του Ti και του Mn που κρμαινούνται σε ποσοστά κάτω του 1%. Πρέπει να τονιστεί ότι τα ποσοστά του K και Na, τα οποία σχηματίζουν επικαθίσεις ή επισκωριώσεις με αργιλοποριτικά ορυκτά σε συνθήκες καύσης και έχουν διαβρωτική δράση, είναι πολύ χαμηλά.

Το δείγμα της Αχλάδας παρουσιάζει ιδιαίτερα χαμηλό ποσοστό περιεκτικότητας σε CaO (6,8%), οπότε δεν αναμένεται υψηλό ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα. Το δείγμα εμφανίζει όμως ιδιαίτερα υψηλό ποσοστό σε SiO₂ της τάξης του 53,8% ακόμα η περιεκτικότητα του δείγματος σε οξείδια του Fe, του Al, του S και του Mg είναι χαμηλή.

Τέλος, στον Πίνακα 4.4 που ακολουθεί δίνονται οι τιμές της Απώλειας Πύρωσης (Α.Π) των δειγμάτων κατά την καύση από τους 600°C έως τους 950°C και της περιεκτικότητας σε CO₂ που προέρχεται από την διάσπαση του CaCO₃ της τέφρας όπως αυτό μετρήθηκε με το ασβεσίμετρο. Είναι φανερό ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της απώλειας πύρωσης οφείλεται στην έκλυση του CO₂ σε αυτές τις θερμοκρασίες.

Πίνακας 4.4 : Ποσοστό CO₂ και Απώλεια Πύρωσης εκλυόμενα μεταξύ 600°C και 950°C στις τέφρες των δειγμάτων

	Μαυροπηγή	Αχλάδα
Απώλεια Πύρωσης (%)	5,5	6,6
CO ₂ (%)	3,6	2,0

4.2 Κοκκομετρική Ανάλυση Αρχικών Δειγμάτων και Άμεση Ποιοτική Ανάλυση των Κλασμάτων

Αρχικά, τα δείγματα ταξινομήθηκαν με τη βοήθεια κόσκινων στα εξής κλάσματα: (+100), (-100 +50), (-50 +25), (-25 +16), (-16 +8), (-8 +4), (-4 +2), (-2 +1), (-1 +0,5), (-0,5 +0,3), (-0,3 +0,1), (-0,1). Για την άμεση ποιοτική ανάλυση των κλασμάτων, ελήφθησαν αντιπροσωπευτικά δείγματα με τη μέθοδο του κώνου-τετάρτων και του διαχωριστή Jones (riffler), τα οποία λειοτριβήθηκαν σε -250mm.

Τα αποτελέσματα της προσεγγιστικής ανάλυσης, της θερμογόνου δύναμης και τα ποσοστά του διοξειδίου του άνθρακα των κλασμάτων παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.5 και 4.6

Στους παρακάτω πίνακες, παρατηρείται μια έντονη αύξηση της τέφρας επί ξηρού (%) από τα χονδροκόκκα στα λεπτόκόκκα κλάσματα. Πιο αναλυτικά, στο δείγμα της Μαυροπηγής, η τέφρα επί ξηρού (%) στο κλάσμα +100mm είναι 9,9% και καταλήγει στο κλάσμα -0,1mm όπου η τιμή της τέφρας επί ξηρού φτάνει το 29,4%. Στο δείγμα της Αχλάδας, η τέφρα κυμαίνεται μεταξύ 19,6% έως 70,4%. Η αυξημένη συγκέντρωση της τέφρας καθιστά τα κλάσματα ενεργειακά υποβαθμισμένα, σε σχέση με αυτά που έχουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε τέφρα και αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό αν κοιτάξουμε

την θερμογόνο δύναμη των κλασμάτων σε σχέση με την αντίστοιχη τέφρα. Ακόμα, η υγρασία των κλασμάτων μειώνεται στα λεπτόκοκκα κλάσματα, σε αντίθεση με το CO₂ το οποίο αυξάνεται.

Πίνακας 4.5 : Χημική ανάλυση των αρχικών κλασμάτων του δείγματος της Μαυροπηγής

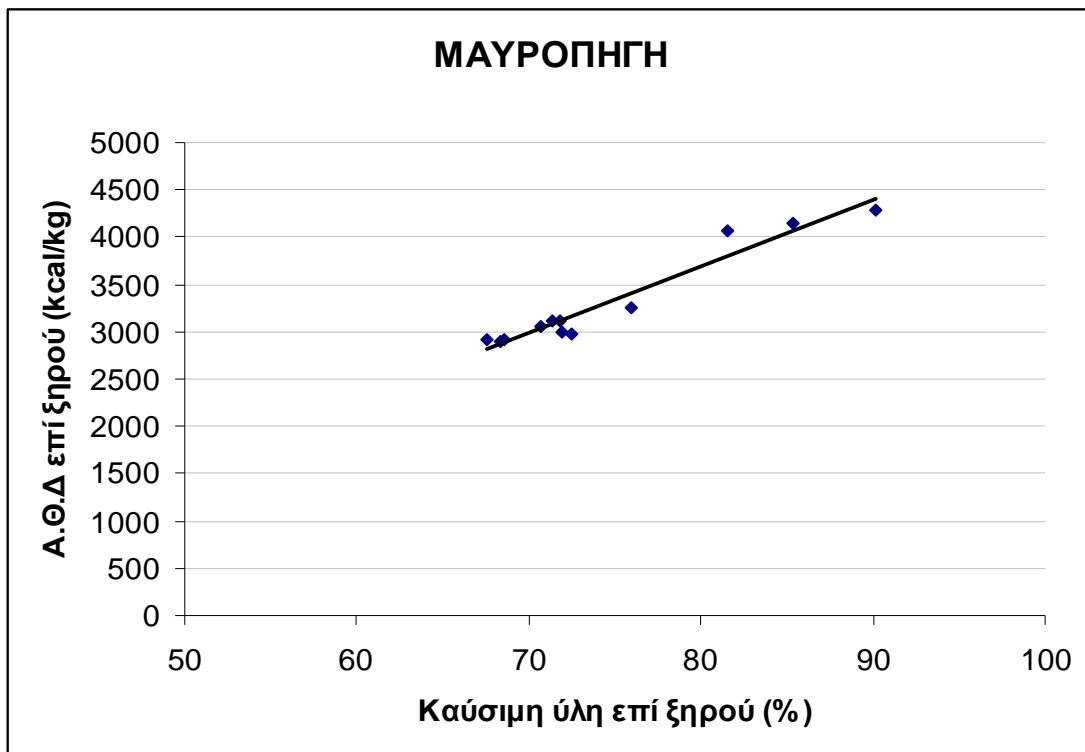
Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη επί ξηρού (%)	Απώλεια Πύρωσης (%)	CO ₂ (%) από ασβ/τρο	Α.Θ.Δ. επί ξηρού (kcal/kg)
+ 100	14,00	47,9	9,9	90,1	4,4	3,0	4276,4
- 100 + 50	13,95	49,2	14,7	85,3	4,1	2,1	4151,3
- 50 + 25	20,98	49,3	18,4	81,6	4,6	1,9	4077,0
- 25 + 16	6,47	28,5	27,5	72,5	3,5	2,0	2969,8
- 16 + 8	15,13	42,7	24,0	75,9	4,9	3,1	3255,0
- 8 + 4	8,58	28,5	28,1	71,9	6,1	4,4	3114,3
- 4 + 2	6,62	35,0	28,1	71,9	6,5	5,9	2995,8
- 2 + 1	4,64	28,3	28,7	71,3	9,5	6,2	3124,1
- 1 + 0,5	3,55	34,9	31,4	68,6	8,1	6,6	2920,5
- 0,5 + 0,3	1,87	31,5	32,4	67,6	9,3	8,7	2923,6
- 0,3 + 0,105	2,64	33,7	31,7	68,3	8,0	-	2901,0
- 0,105	1,57	32,9	29,4	70,6	-	6,7	3064,5

* Οι τιμές της Απώλειας Πύρωσης (%) και του CO₂ (%) που μετρήθηκε στο ασεβσίμετρο αναφέρονται στην τέφρα

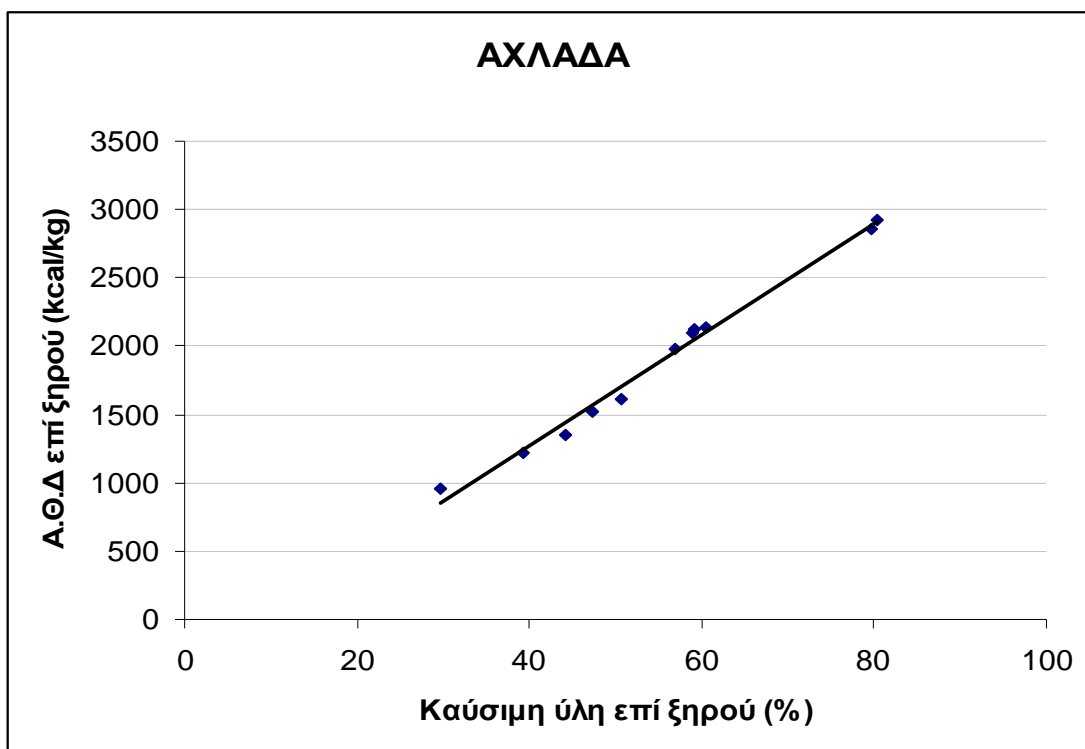
Πίνακας 4.6 : Χημική ανάλυση των αρχικών κλασμάτων του δείγματος της Αχλάδας

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη επί ξηρού (%)	Απώλεια Πύρωσης (%)	CO ₂ (%) από ασβ/τρο	Α.Θ.Δ. επί ξηρού (kcal/kg)
+ 50	5,24	18,5	19,6	80,4	5,2	2,1	2928
- 50 + 25	13,15	31,2	20,4	79,6	7,9	3,7	2854
- 25 + 16	8,59	25,4	39,6	60,4	6,4	3,5	2141
- 16 + 8	23,90	26,7	40,8	59,2	6,7	2,6	2128
- 8 + 4	19,38	31,3	41,1	58,8	6,2	1,9	2091
- 4 + 2	12,28	26,6	43,1	56,9	5,3	2,2	1977,9
- 2 + 1	6,78	18,9	49,3	50,7	5,1	2,1	1609
- 1 + 0,5	4,82	17,9	52,7	47,3	4,9	2,5	1527
- 0,5 + 0,3	2,35	14,2	55,7	44,3	4,7	2,5	1356
- 0,3 + 0,105	2,8	14,2	60,7	39,3	7,8	2,8	1213
- 0,105	0,70	7,0	70,4	29,6	-	2,9	958

* Οι τιμές της Απώλεια Πύρωσης (%) και του CO₂ (%) που μετρήθηκε στο ασεβσίμετρο αναφέρονται στην τέφρα



Διάγραμμα 4.1: ΑΘΔ επί ξηρού κλασμάτων Μαυροπηγής συναρτήσει της Καύσιμης ύλης επί ξηρού



Διάγραμμα 4.2: ΑΘΔ επί ξηρού κλασμάτων Αχλάδας συναρτήσει της Καύσιμης ύλης επί ξηρού

4.3 Εμπλουτισμός δείγματος με τη μέθοδο της Ε.Ε.Μ. και αξιολόγηση των τελικών προϊόντων

Στους Πίνακες 4.7 έως 4.11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Προσεγγιστικής Ανάλυσης των κλασμάτων όλων των θραύσεων. Στους παρακάτω πίνακες παρατηρείται ότι η τέφρα επί ξηρού των κλασμάτων των θραύσεων όλων των δειγμάτων έχει αυξητική τάση προς τα λεπτόκοκκα τεμαχίδια, το οποίο δείχνει ότι η ανόργανη ύλη συγκεντρώνεται προς τα λεπτόκοκκα. Σαν αποτέλεσμα της αύξησης αυτής είναι η αντίστοιχη μείωση της καύσιμης ύλης.

Όσον αφορά την περιεκτικότητα των δειγμάτων σε υγρασία, είναι φανερό ότι στα δείγματα το ποσοστό της υγρασίας μειώνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό της τέφρας προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα.

ΜΑΥΡΟΠΗΓΗ

Α΄ ΘΡΑΥΣΗ (+ 100)

Πίνακας 4.7: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Α΄ Θραύσης του δείγματος της Μαυροπηγής

Κοκκομετρικά Κλάσματα Θραύση +100	Βάρος Κλάσματος (gr)	Βάρος Κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη (%)
- 100 + 50	2120,5	14,72	49,2	14,7	85,3
- 50 + 25	3189,6	22,14	49,3	18,4	81,6
- 25 + 16	984,1	6,83	28,5	27,5	72,5
- 16 + 8	2384,9	16,55	51,8	23,5	76,5
- 8 + 4	1942,3	13,48	52,8	22,5	77,5
- 4 + 2	1297,4	9,01	49,4	24,9	75,1
- 2 + 1	835,2	5,80	47,7	26,8	73,2
- 1 + 0,5	613,2	4,26	43,4	30,0	69,9
- 0,5 + 0,3	323,7	2,25	39,3	30,9	69,0
- 0,3 + 0,105	448,7	3,11	37,9	30,6	69,4
- 0,105	265,8	1,84	39,2	28,4	71,6
Σύνολο	14405,5	100			

Β' ΘΡΑΥΣΗ (+ 50)**Πίνακας 4.8:** Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Β' Θραύσης του δείγματος της Μαυροπηγής

Κοκκομετρικά Κλάσματα Θραύση +50	Βάρος Κλάσματος (gr)	Βάρος Κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη (%)
- 50 + 25	3313,1	23,00	49,3	18,4	81,6
- 25 + 16	1022,2	7,09	28,5	27,5	72,5
- 16 + 8	2548,2	17,69	42,8	24,7	75,3
- 8 + 4	2833,4	19,67	36,4	29,1	70,9
- 4 + 2	1716,6	11,92	38,2	25,1	74,9
- 2 + 1	1034,6	7,18	31,3	23,3	76,7
- 1 + 0,5	732,7	5,09	35,8	30,5	69,5
- 0,5 + 0,3	386,2	2,68	32,4	30,5	69,5
- 0,3 + 0,105	519,7	3,61	34,1	30,3	69,7
- 0,105	298,6	2,07	33,2	31,6	68,4
Σύνολο	14405,5	100			

Γ' ΘΡΑΥΣΗ (+ 25)**Πίνακας 4.9:** Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Γ' Θραύσης του δείγματος της Μαυροπηγής

Κοκκομετρικά Κλάσματα Θραύση +25	Βάρος Κλάσματος (gr)	Βάρος Κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη (%)
- 25 + 16	1083,7	7,52	28,5	27,5	72,5
- 16 + 8	2765,5	19,20	42,9	23,7	76,3
- 8 + 4	4127,4	28,65	38,9	23,3	76,7
- 4 + 2	2397,9	16,65	39,9	25,4	74,6
- 2 + 1	1405,6	9,76	33,7	26,9	73,0
- 1 + 0,5	981,1	6,81	37,4	29,6	70,4
- 0,5 + 0,3	532,8	3,70	34,6	30,4	69,6
- 0,3 + 0,105	704,2	4,89	36,2	29,8	70,2
- 0,105	407	2,82	35,4	27,7	72,3
Σύνολο	14405,5	100			

ΑΧΛΑΔΑ

Α΄ ΘΡΑΥΣΗ (+ 50)

Πίνακας 4.10: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Α΄ Θραύσης του δείγματος της Αχλάδας

Κοκκομετρικά Κλάσματα Θραύσης +50	Βάρος Κλάσματος (gr)	Βάρος Κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη (%)
- 50 + 25	1853,3	13,26	31,2	20,4	79,6
- 25 + 16	1210,7	8,66	25,4	39,6	60,4
- 16 + 8	3512,6	25,13	26,5	39,4	60,6
- 8 + 4	2990,5	21,40	30,1	39,5	60,5
- 4 + 2	1842,7	13,19	25,9	41,6	58,4
- 2 + 1	1004,8	7,19	18,7	48,1	51,9
- 1 + 0,5	703,5	5,03	17,7	52,1	47,9
- 0,5 + 0,3	343	2,45	14,2	55,1	44,9
- 0,3 + 0,105	407,6	2,92	14,2	60,1	39,9
- 0,105	106,2	0,76	7,4	69,1	30,9
Σύνολο	13975	100			

Β΄ ΘΡΑΥΣΗ (+ 25)

Πίνακας 4.11: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Β΄ Θραύσης του δείγματος της Αχλάδας

Κοκκομετρικά Κλάσματα Θραύσης +25	Βάρος Κλάσματος (gr)	Βάρος Κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη (%)
- 25 + 16	1233,5	8,83	25,4	39,6	60,4
- 16 + 8	3890,7	27,84	26,6	38,6	61,4
- 8 + 4	3737	26,74	30,2	36,5	63,5
- 4 + 2	2157,7	15,44	26,4	40,3	59,7
- 2 + 1	1161,1	8,31	19,3	47,2	52,8
- 1 + 0,5	794,4	5,68	18,3	51,0	48,9
- 0,5 + 0,3	390,9	2,80	15,0	53,9	46,1
- 0,3 + 0,105	465,3	3,33	14,9	59,0	40,9
- 0,105	144,3	1,03	20,2	66,8	33,2
Σύνολο	13975	100			

Στους Πίνακες 4.12 έως 4.18 υπολογίστηκε η κατανομή της τέφρας ανά βάρος κλάσματος και συμβολίστηκε με (K). Η παράμετρος αυτή είναι σημαντική, γιατί αποδεικνύει την αποδέσμευση της τέφρας από το λιγνιτικό ενδιάμεσο. Όσο το (K) είναι μικρότερο της μονάδας τόσο εμπλουτίζεται το δείγμα στο συγκεκριμένο κλάσμα σε λιγνίτη.

Ο υπολογισμός των παραμέτρων που εμφανίζονται στους Πίνακες 4.12 έως 4.18 έγινε βάση των ακόλουθων σχέσεων:

1. Αθροιστικά Διερχόμενο Βάρος (%) = $100 - \text{Αθροιστικά Παραμένον Βάρος (\%)}$
2. Μονάδες Τέφρας = $[\text{Βάρος Κλάσματος (\%)} * \text{Τέφρα (\%)}] / 100$
3. Κατανομή Τέφρας (%) = $(\text{Μονάδες Τέφρας} * 100) / [\Sigma (\text{Μονάδων Τέφρας})]$
4. Μείωση Τέφρας (%) = $\{[\text{Τέφρα (\%)} - \text{Τέφρα Αρχ. (\%)}] * 100\} / [\text{Τέφρα Αρχ. (\%)}]$
5. Αθροιστική Τέφρα (%) = $(\text{Αθροιστικές Μονάδες Τέφρας} * 100) / (\text{Αθροιστικά Παραμένον Βάρος})$

ΜΑΥΡΟΠΗΓΗ

ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Πίνακας 4.12: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του αρχικού δείγματος Μαυροπηγής

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος Επί ξηρού (%)	Αθρ. Παραμ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα Επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας Ανά βάρος κλάσματος (Κ)
+ 100	14	14	86	9,9	1,4	1,4	9,9	-50,8	6,5	0,5
- 100 + 50	13,95	27,95	72,05	14,7	2,0	3,4	12,3	-26,7	9,6	0,7
- 50 + 25	20,98	48,93	51,07	18,4	3,9	7,3	14,9	-8,2	18,1	0,9
- 25 + 16	6,47	55,4	44,6	27,5	1,8	9,1	16,4	37,1	8,3	1,3
- 16 + 8	15,13	70,53	29,47	24,0	3,6	12,7	18,0	19,8	17,0	1,1
- 8 + 4	8,58	79,11	20,89	28,1	2,4	15,1	19,1	40,3	11,3	1,3
- 4 + 2	6,62	85,73	14,27	28,1	1,9	17,0	19,8	39,9	8,7	1,3
- 2 + 1	4,64	90,37	9,63	28,7	1,3	18,3	20,3	43,0	6,2	1,3
- 1 + 0,5	3,55	93,92	6,08	31,4	1,1	19,4	20,7	56,8	5,2	1,5
- 0,5 + 0,3	1,87	95,79	4,21	32,4	0,6	20,0	20,9	61,7	2,8	1,5
- 0,3 + 0,105	2,64	98,43	1,57	31,7	0,8	20,9	21,2	57,9	3,9	1,5
- 0,105	1,57	100	0	29,4	0,5	21,3	21,3	46,3	2,2	1,4
Σύνολο	100				21,3					

Α΄ ΘΡΑΥΣΗ (+ 100)

Πίνακας 4.13: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Α΄ Θραύσης της Μαυροπηγής

Κοκκομετρικό Κλάσμα +100 (mm)	Βάρος Κλάσματος Επί ξηρού (%)	Αθρ. Παραμ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα Επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας Ανά βάρος κλάσματος (Κ)
- 100 + 50	14,72	14,72	85,28	14,7	2,2	2,2	14,7	-26,7	9,7	0,7
- 50 + 25	22,14	36,86	63,14	18,4	4,0	6,2	16,9	-8,2	18,3	0,8
- 25 + 16	6,83	43,69	56,31	27,5	1,9	8,1	18,6	37,1	8,4	1,2
- 16 + 8	16,55	60,24	39,76	23,5	3,9	12,0	19,9	17,4	17,5	1,0
- 8 + 4	13,48	73,72	26,28	22,4	3,0	15,0	20,4	12,1	13,6	1,0
- 4 + 2	9,01	82,73	17,27	24,9	2,3	17,3	20,9	24,3	10,1	1,1
- 2 + 1	5,8	88,53	11,47	26,8	1,6	18,8	21,3	33,6	1,0	1,2
- 1 + 0,5	4,26	92,79	7,21	30,0	1,3	20,1	21,7	49,6	5,7	1,3
- 0,5 + 0,3	2,25	95,04	4,96	31,0	0,7	20,8	21,9	54,5	3,1	1,4
- 0,3 + 0,105	3,11	98,15	1,85	30,6	0,9	21,8	22,2	52,4	4,3	1,4
- 0,105	1,84	99,99	0,01	28,4	0,5	22,3	22,3	41,7	2,3	1,3
Σύνολο	100				22,3					

Β' ΘΡΑΥΣΗ (+ 50)**Πίνακας 4.14:** Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Β' Θραύσης της Μαυροπηγής

Κοκκομετρικό Κλάσμα + 50 (mm)	Βάρος Κλάσματος Επί ξηρού (%)	Αθρ. Παραμ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα Επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας Ανά βάρος κλάσματος (Κ)
- 50 + 25	23	23	77	18,4	4,2	4,2	18,4	-8,2	14,3	0,6
- 25 + 16	7,09	30,09	69,91	27,5	2,0	6,2	20,6	37,1	6,6	0,9
- 16 + 8	17,69	47,78	52,22	24,7	4,4	10,6	22,1	23,0	14,7	0,8
- 8 + 4	19,67	67,45	32,55	29,1	5,7	16,3	24,1	45,1	19,3	1,0
- 4 + 2	11,92	79,37	20,63	25,1	3,0	19,3	24,3	25,0	10,1	0,9
- 2 + 1	7,18	86,55	13,45	23,3	1,7	20,9	24,2	16,0	5,6	0,8
- 1 + 0,5	5,09	91,64	8,36	30,5	1,5	22,5	24,5	52,2	5,3	1,0
- 0,5 + 0,3	2,68	94,32	5,68	30,5	0,8	23,3	24,7	52,1	2,8	1,0
- 0,3 + 0,105	3,61	97,93	2,07	30,3	1,1	24,4	24,9	50,9	3,7	1,0
- 0,105	2,07	100	0	31,6	0,6	25,1	25,1	57,8	2,2	1,1
Σύνολο	100				25,1					

Γ' ΘΡΑΥΣΗ (+ 25)

Πίνακας 4.15: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Γ' Θραύσης της Μαυροπηγής

Κοκκομετρικό Κλάσμα + 25 (mm)	Βάρος Κλάσματος Επί ξηρού (%)	Αθρ. Παραμ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα Επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας Ανά βάρος κλάσματος (Κ)
- 25 + 16	7,52	7,52	92,48	27,5	2,1	2,1	27,5	37,1	8,1	1,1
- 16 + 8	19,2	26,72	73,28	23,7	4,6	6,6	24,8	18,3	17,8	0,9
- 8 + 4	28,65	55,37	44,63	23,3	6,7	13,3	24,0	16,3	26,2	0,9
- 4 + 2	16,65	72,02	27,98	25,4	4,2	17,5	24,3	26,5	16,5	1,0
- 2 + 1	9,76	81,78	18,22	27,0	2,6	20,2	24,7	34,4	10,3	1,1
- 1 + 0,5	6,81	88,59	11,41	29,6	2,0	22,2	25,0	47,8	7,9	1,2
- 0,5 + 0,3	3,7	92,29	7,71	30,4	1,1	23,3	25,3	51,7	4,4	1,2
- 0,3 + 0,105	4,89	97,18	2,82	29,8	1,5	24,8	25,5	48,8	5,7	1,2
- 0,105	2,82	100	0	27,7	0,8	25,5	25,5	38,0	3,1	1,1
Σύνολο	100				25,5					

ΑΧΛΑΔΑ

ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Πίνακας 4.16: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του αρχικού δείγματος της Αχλάδας

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος Επί ξηρού (%)	Αθρ. Παραμ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα Επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας Ανά βάρος κλάσματος (Κ)
- 100 + 50	5,24	5,24	94,76	19,6	1,0	1,0	19,6	-56,2	2,6	0,5
- 50 + 25	13,15	18,39	81,61	20,4	2,7	3,7	20,2	-54,5	6,8	0,5
- 25 + 16	8,59	26,98	73,02	39,6	3,4	7,1	26,3	-11,5	8,6	1,0
- 16 + 8	23,9	50,88	49,12	40,8	9,8	16,9	33,1	-8,8	24,7	1,0
- 8 + 4	19,38	70,26	29,74	41,2	8,0	24,8	35,3	-8,0	20,2	1,0
- 4 + 2	12,28	82,54	17,46	43,1	5,3	30,1	36,5	-3,7	13,4	1,1
- 2 + 1	6,78	89,32	10,68	49,3	3,3	33,5	37,5	10,1	8,5	1,3
- 1 + 0,5	4,82	94,14	5,86	52,7	2,54	36,0	38,2	17,9	6,4	1,3
- 0,5 + 0,3	2,35	96,49	3,51	55,7	1,3	37,3	38,7	24,6	3,3	1,4
- 0,3 + 0,105	2,8	99,29	0,71	60,7	1,7	39,0	39,3	35,7	4,3	1,5
- 0,105	0,7	99,99	0,01	70,4	0,5	39,5	39,5	57,3	1,3	1,8
Σύνολο	100				39,5					

Α΄ ΘΡΑΥΣΗ (+ 50)

Πίνακας 4.17: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Α΄ Θραύσης της Αχλάδας

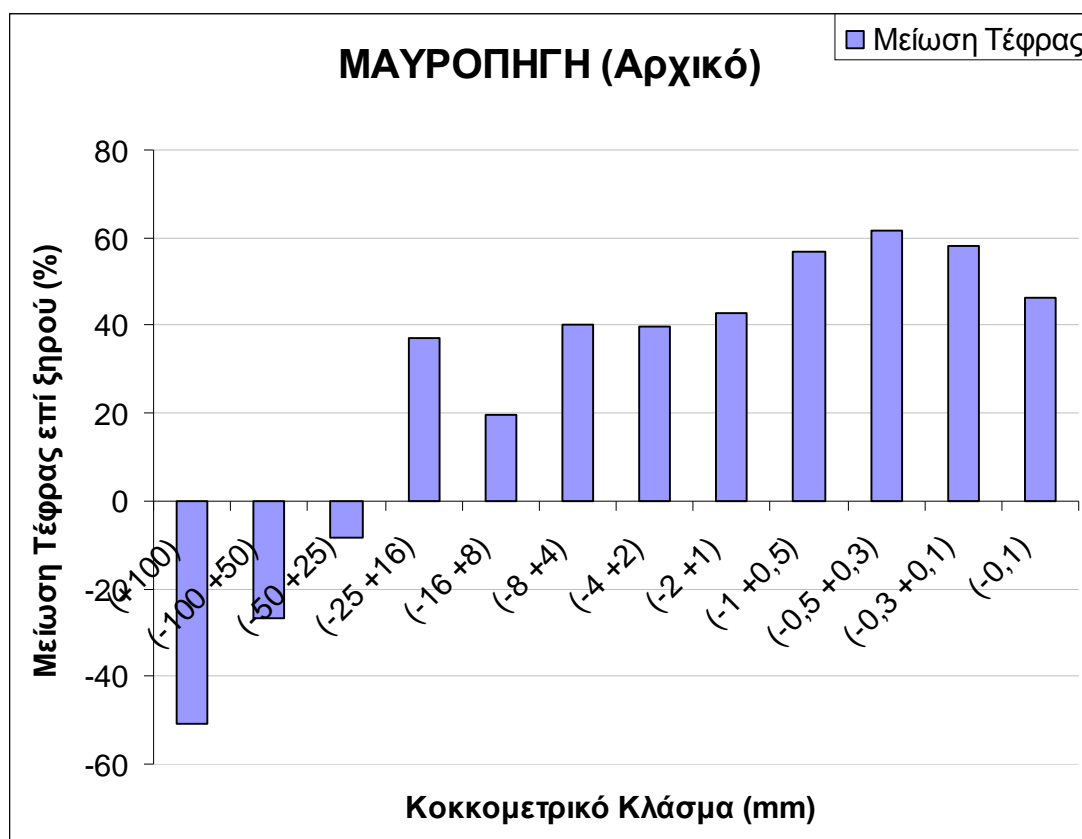
Κοκκομετρικό Κλάσμα + 50 (mm)	Βάρος Κλάσματος Επί ξηρού (%)	Αθρ. Παραμ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα Επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας Ανά βάρος κλάσματος (Κ)
- 50 + 25	13,26	13,26	86,74	20,4	2,7	2,7	20,4	-54,4	6,8	0,5
- 25 + 16	8,66	21,92	78,08	39,6	3,4	6,1	28,0	-11,5	8,6	1,0
- 16 + 8	25,13	47,05	52,95	39,4	9,9	16,0	34,1	-11,8	25,0	1,0
- 8 + 4	21,4	68,45	31,55	39,5	8,5	24,5	35,8	-11,7	21,3	1,0
- 4 + 2	13,19	81,64	18,36	41,6	5,5	30,0	36,7	-7,0	13,8	1,0
- 2 + 1	7,19	88,83	11,17	48,1	3,5	33,4	37,6	7,5	8,7	1,2
- 1 + 0,5	5,03	93,86	6,14	52,1	2,6	36,1	38,4	16,4	6,6	1,3
- 0,5 + 0,3	2,45	96,31	3,69	55,1	1,4	37,4	38,8	23,2	3,4	1,4
- 0,3 + 0,105	2,92	99,23	0,77	60,1	1,8	39,2	39,5	34,4	4,4	1,5
- 0,105	0,76	99,99	0,01	69,1	0,5	39,7	39,7	54,5	1,3	1,7
Σύνολο	100				39,7					

Β' ΘΡΑΥΣΗ (+ 25)

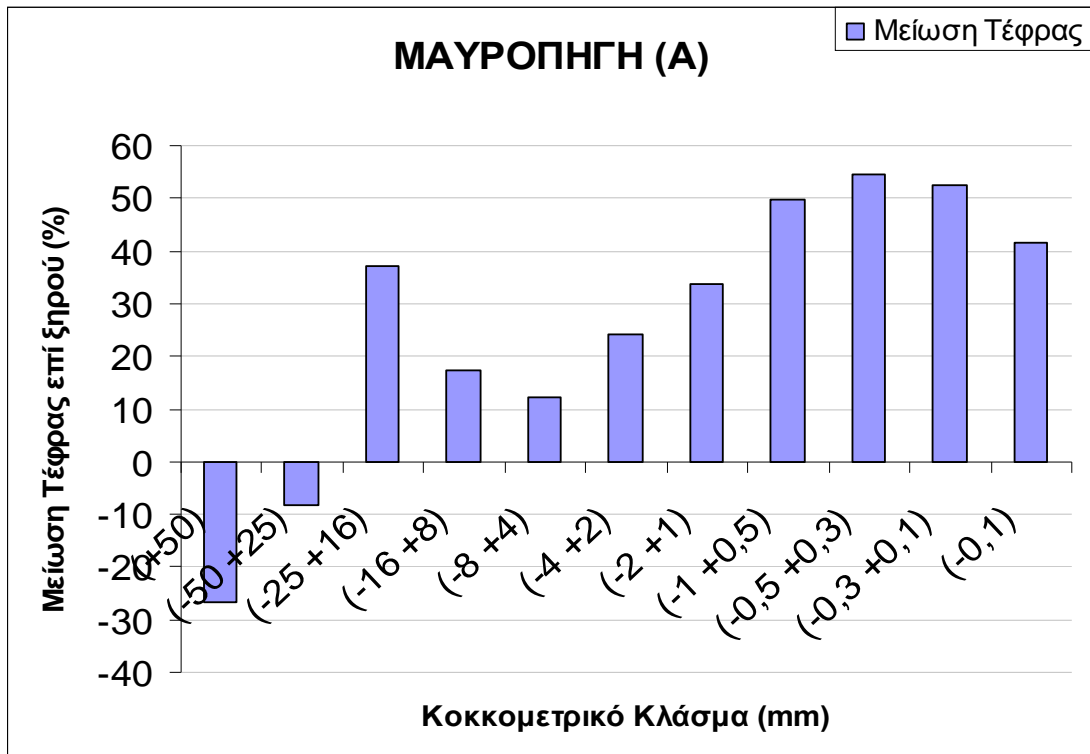
Πίνακας 4.18: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Β' Θραύσης της Αχλάδας

Κοκκομετρικό Κλάσμα + 25 (mm)	Βάρος Κλάσματος Επί ξηρού (%)	Αθρ. Παραμ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα Επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας Ανά βάρος κλάσματος (Κ)
- 25 + 16	8,83	8,83	91,17	39,6	3,5	3,5	39,6	-11,5	8,5	1,0
- 16 + 8	27,84	36,67	63,33	38,6	10,7	14,2	38,9	-13,7	26,1	0,9
- 8 + 4	26,74	63,41	36,59	36,5	9,7	24,0	37,8	-18,5	23,7	0,9
- 4 + 2	15,44	78,85	21,15	40,3	6,2	30,2	38,3	-9,9	15,1	1,0
- 2 + 1	8,31	87,16	12,84	47,2	3,9	34,1	39,2	5,4	9,5	1,1
- 1 + 0,5	5,68	92,84	7,16	51,0	2,9	37,0	39,9	14,0	7,0	1,2
- 0,5 + 0,3	2,8	95,64	4,36	53,9	1,5	38,5	40,3	20,4	3,7	1,3
- 0,3 + 0,105	3,33	98,97	1,03	59,0	2,0	40,5	40,9	31,9	4,8	1,4
- 0,105	1,03	100	0	66,8	0,7	41,2	41,2	49,3	1,7	1,6
Σύνολο	100				41,2					

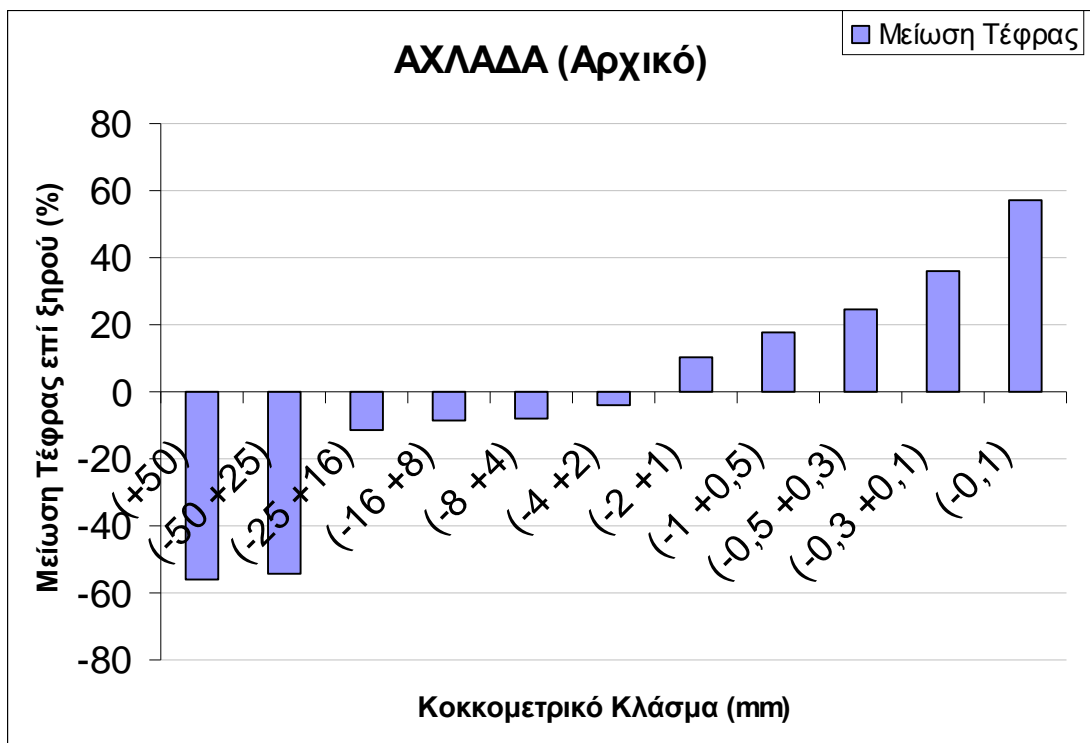
Η θραύση με την μεγαλύτερη μείωση τέφρας παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 4.3 έως 4.6. Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα διαγράμματα της αρχικής κατανομής και της Α' Θραύσης κάθε κλάσματος, ενώ οι υπόλοιπες θραύσεις παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 1 έως 3 στο Παράρτημα 1. Συγκεκριμένα, στο δείγμα της Μαυροπηγής η μεγαλύτερη μείωση τέφρας παρατηρείται στην αρχική κατανομή στο μέγεθος +100mm και έχει τιμή -50,8%. Στο δείγμα της Αχλάδας η τιμή της μεγαλύτερης μείωσης τέφρας είναι -56,2% και εμφανίζεται στην αρχική κατανομή στο μέγεθος +50mm ενώ στην Α' Θραύση εμφανίζεται επίσης μεγάλη μείωση τέφρας και η τιμή της είναι -54,5% στο μέγεθος +25mm.



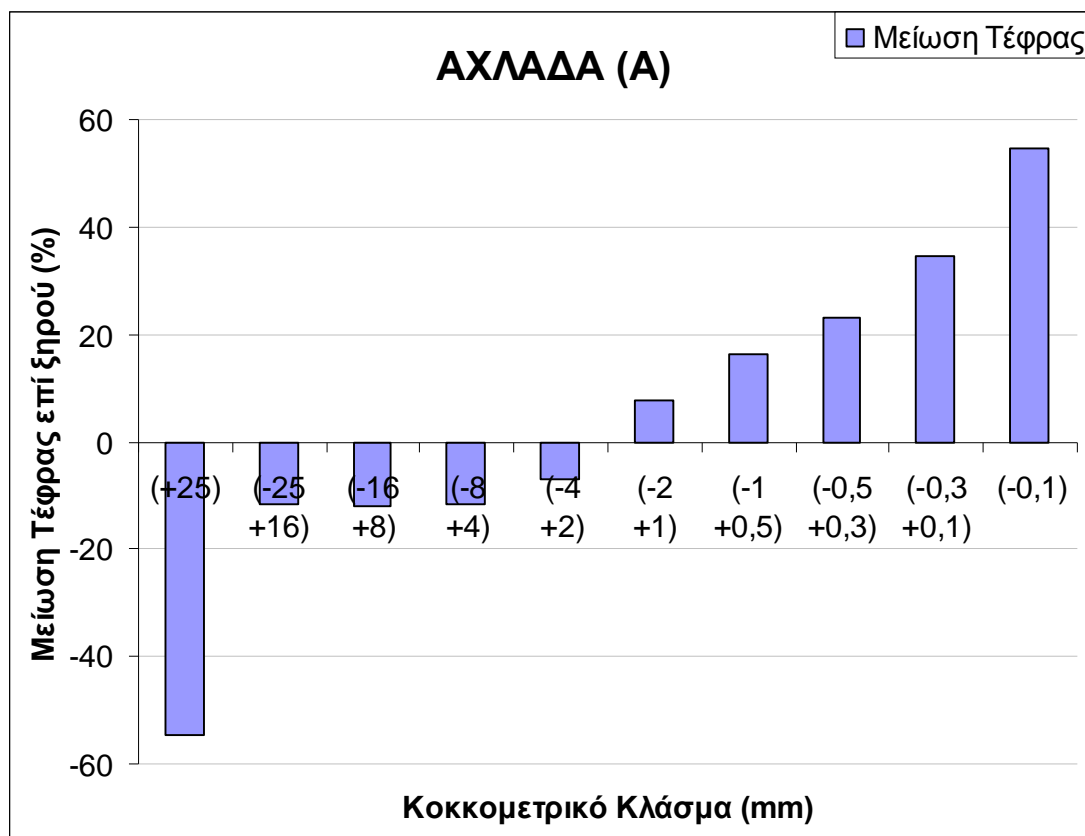
Διάγραμμα 4.3: Μείωση Τέφρας επί ξηρού των κλασμάτων της Αρχικής Κατανομής προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα



Διάγραμμα 4.4: Μείωση Τέφρας επί ξηρού των κλασμάτων της Α΄ Θραύσης προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα

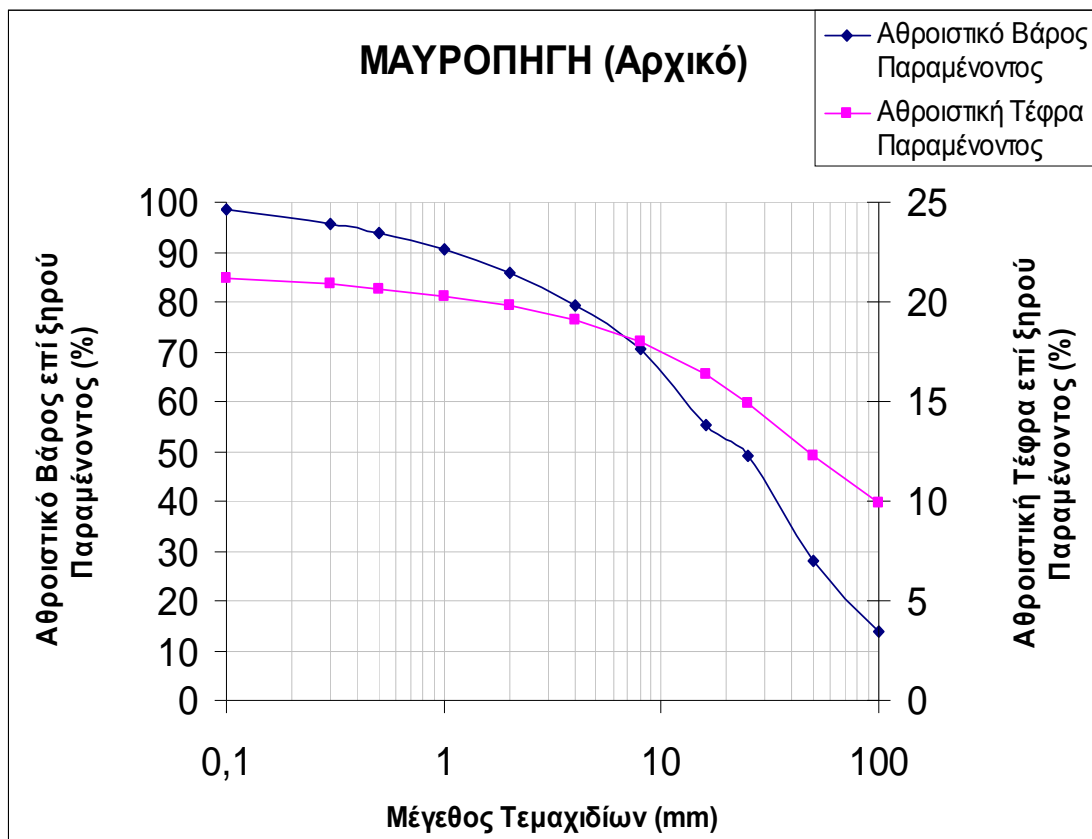


Διάγραμμα 4.5: Μείωση Τέφρας επί ξηρού των κλασμάτων της Αρχικής Κατανομής προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα

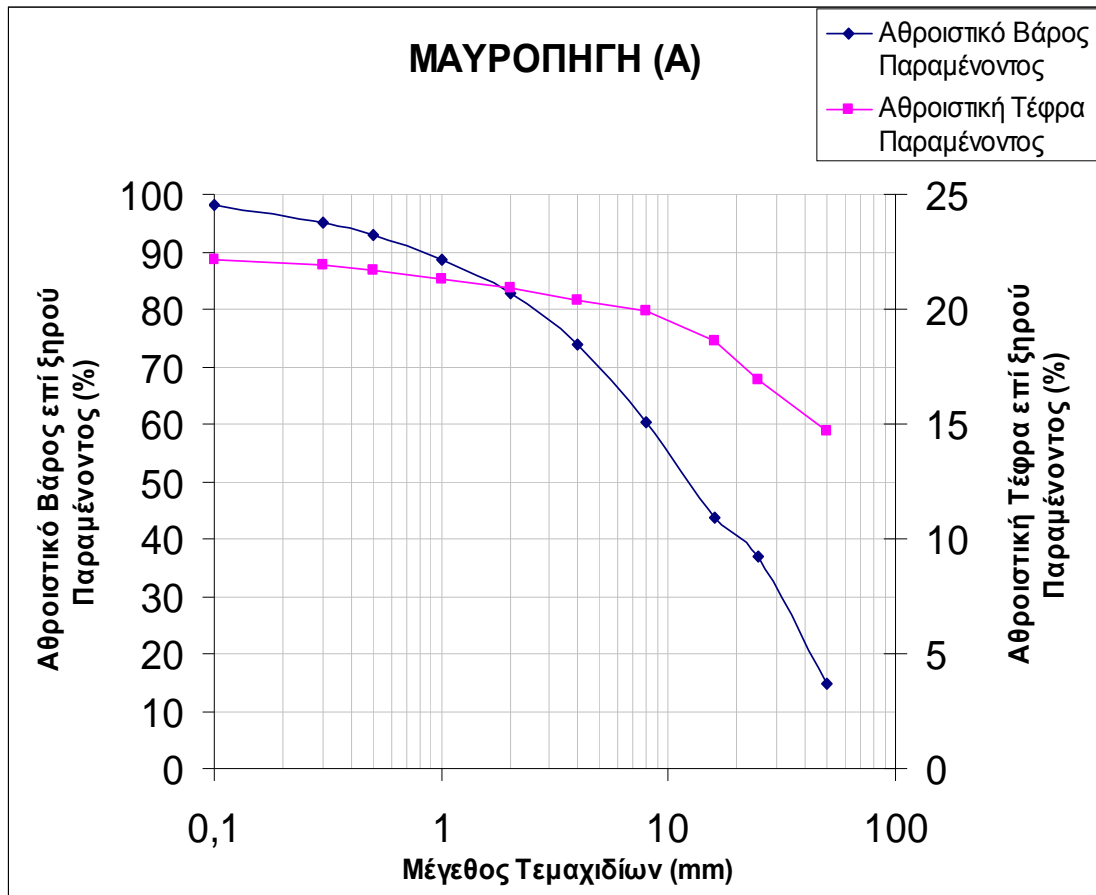


Διάγραμμα 4.6: Μείωση Τέφρας επί ξηρού των κλασμάτων της Α' Θραύσης προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα

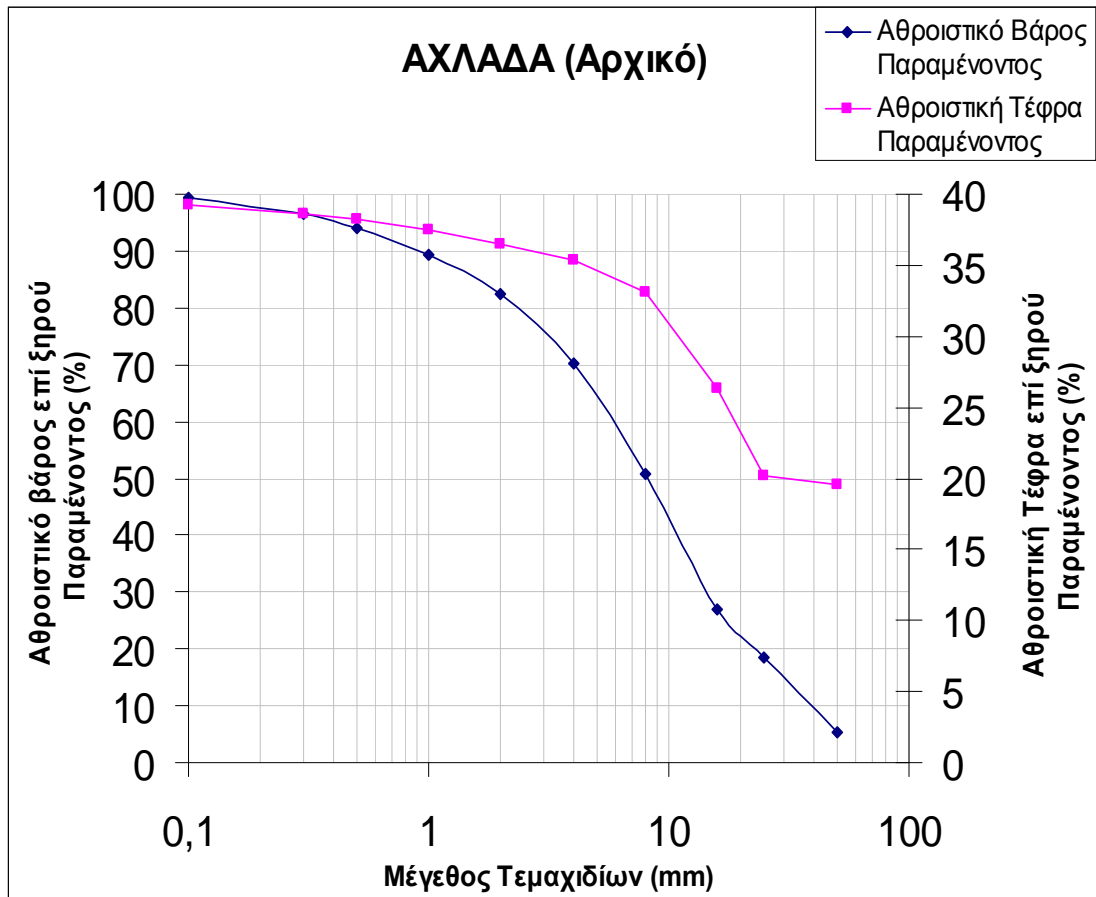
Ακολουθούν τα Διαγράμματα 4.7 έως 4.10, καθώς και τα Διαγράμματα 3 έως 6 του Παραρτήματος 1, στα οποία παρουσιάζεται η μεταβολή της Αθροιστικής Τέφρας επί ξηρού Παραμένοντος (%) και του Αθροιστικού Βάρους επί ξηρού Παραμένοντος (%) ως προς το Μέγεθος των Τεμαχιδίων. Από τα διαγράμματα αυτά γίνεται φανερό ότι τόσο το αθροιστικό Βάρος Παραμένοντος όσο και η Αθροιστική Τέφρα Παραμένοντος αυξάνονται καθώς μειώνεται το μέγεθος των τεμαχιδίων. Εξαιρέση αποτελούν τα πολύ χονδρόκοκκα κλάσματα όπου ο διαχωρισμός οργανικής και ανόργανης ύλης δεν έχει επιτευχθεί.



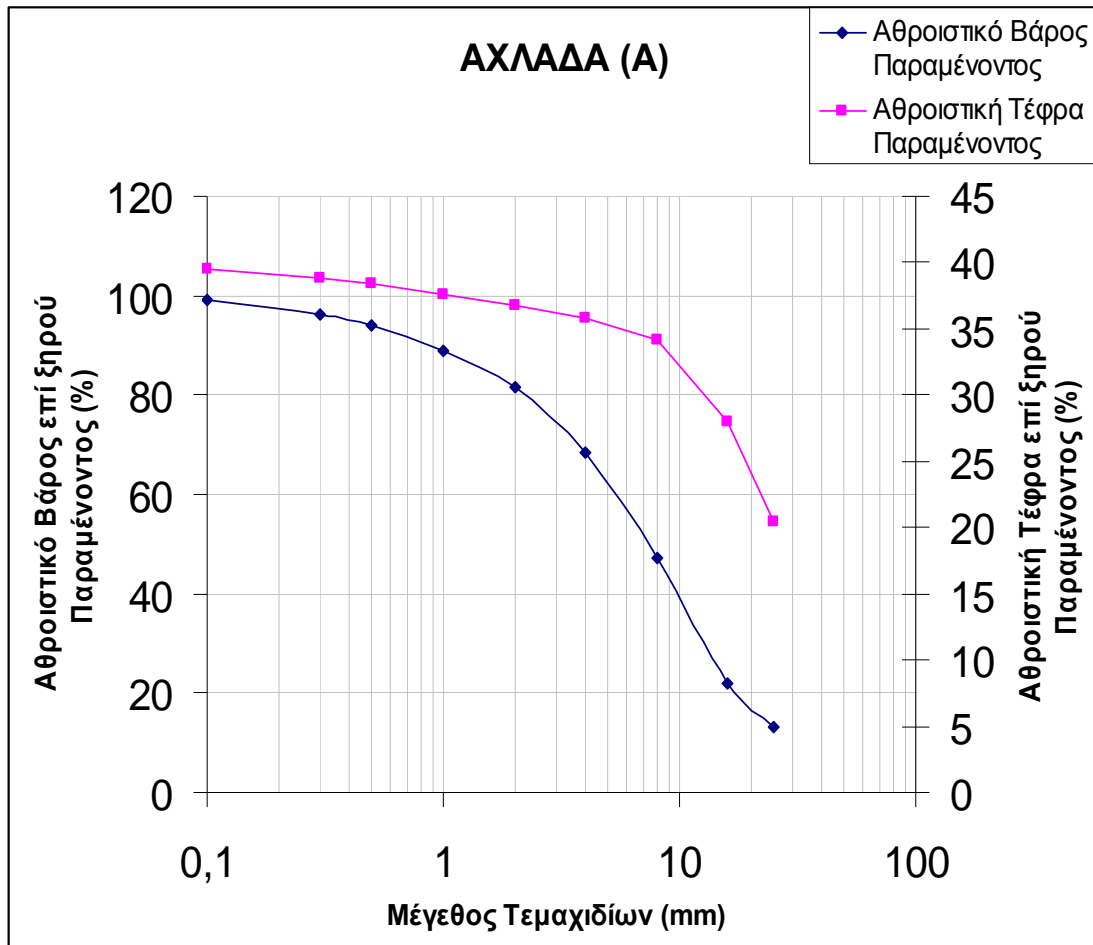
Διάγραμμα 4.7: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους επί ξηρού και της Αθροιστικής Τέφρας επί ξηρού Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Αρχικής Κατανομής



Διάγραμμα 4.8: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους επί ξηρού και της Αθροιστικής Τέφρας επί ξηρού Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Α' Θραύσης



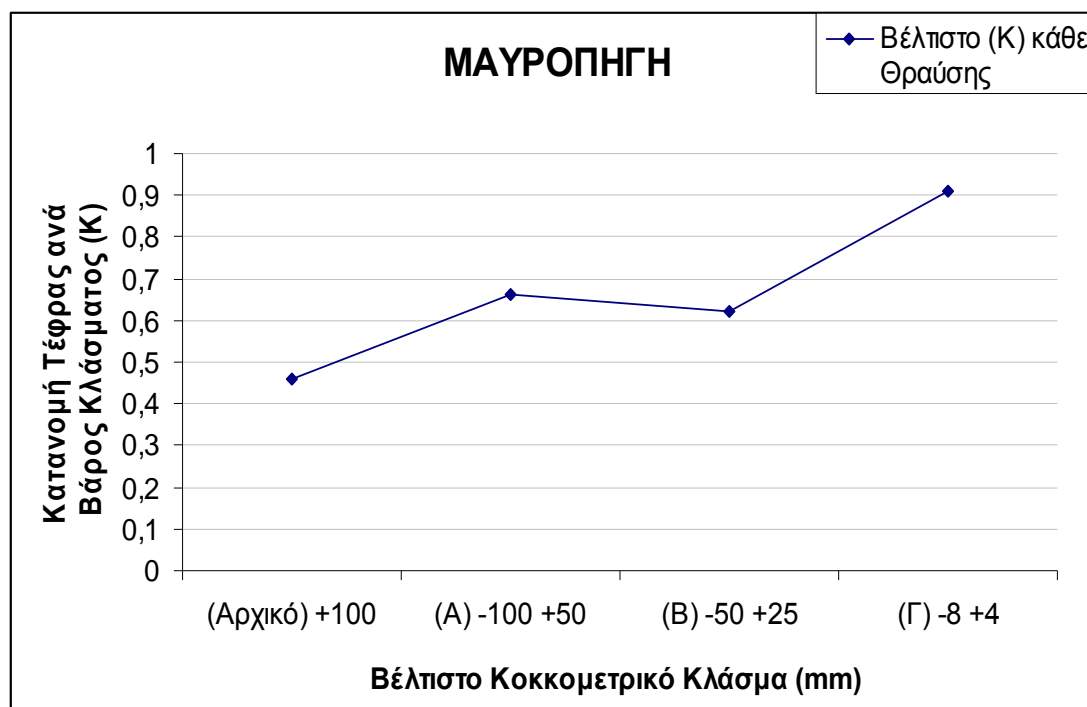
Διάγραμμα 4.9: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους επί ξηρού και της Αθροιστικής Τέφρας επί ξηρού Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Αρχικής Κατανομής



Διάγραμμα 4.10: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους επί ξηρού και της Αθροιστικής Τέφρας επί ξηρού Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Α' Θραύσης

Από τους Πίνακες 4.12 έως 4.15 του δείγματος της Μαυροπηγής, διαπιστώνεται ότι το μέγεθος +100mm της Αρχικής Κατανομής, εμφανίζει τη μικρότερη κατανομή τέφρας ανά βάρος κλάσματος ($K=0,5$) και αποτελεί το μέγεθος που αρχίζει να αποδεσμεύεται η τέφρα. Αντίστοιχα στις Α', Β' και Γ' Θραύσεις το μέγεθος που αρχίζει να αποδεσμεύεται η τέφρα είναι (-100 +50mm) με τιμή $K=0,7$, στο μέγεθος (-50 +25mm) με τιμή $K=0,6$ και τέλος, στο μέγεθος (-8 +4mm) με τη μικρότερη κατανομή τέφρας ανά βάρος κλάσματος $K=0,9$.

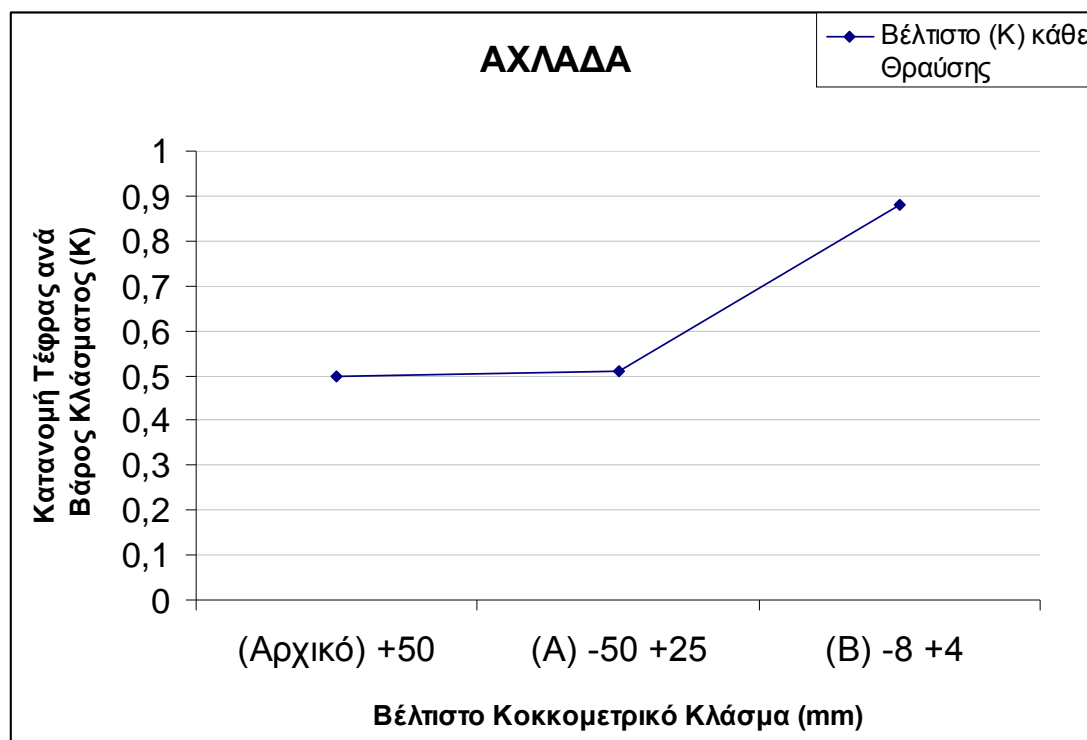
Για το δείγμα της Μαυροπηγής, σε όλες τις θραύσεις, οι τιμές του (K) αρχικά αυξάνονται, εν συνεχεία μειώνονται και τέλος αυξάνονται και πάλι στα λεπτά κλάσματα. Παρατηρούμε ότι το (K) αυξάνεται αισθητά από την αρχική κατανομή προς την Α' Θραύση, ενώ στη συνέχεια εμφανίζεται μια μικρή μείωση ανάμεσα στην Α' και Β' Θραύση. Από την Β' προς την Γ' Θραύση εμφανίζεται πολύ σημαντική αύξηση. Μια τέτοια αυξομείωση οφείλεται στο γεγονός της μη ουσιαστικής αποδέσμευσης του ανόργανου από το οργανικό υλικό.



Διάγραμμα 4.11: Μικρότερη (Βέλτιστη) Κατανομή ανά Βάρος Κλάσματος (K) κάθε θραύσης συναρτήσεϊ του αντίστοιχου Κοκκομετρικού Κλάσματος

Όσον αφορά το δείγμα της Αχλάδας, είναι φανερό από τους Πίνακες 4.16 έως 4.18 ότι το μέγεθος +50mm της Αρχικής κατανομής εμφανίζει τη μικρότερη κατανομή τέφρας ανά βάρος κλάσματος $K=0,50$, όπου αρχίζει να αποδεσμεύεται η τέφρα. Επίσης, στην Α' Θραύση η μικρότερη κατανομή τέφρας εμφανίζεται στο μέγεθος (-50 +25mm) με τιμή $K=0,5$. Όμοια, το μέγεθος (-8 +4mm) όπου εμφανίζεται το μικρότερο $K=0,9$ για την Β' Θραύση, αποτελεί ένα δεύτερο μέγεθος έναρξης της αποδέσμευσης της τέφρας.

Στην αρχική κατανομή του δείγματος της Αχλάδας, το (K) αυξάνεται συνεχώς προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα. Κάτι τέτοιο υποδηλώνει την αυξημένη δυνατότητα διαχωρισμού της τέφρας από το λιγνίτη, αφού αποτελεί ένα μέτρο συγκέντρωσης της σε κάθε κλάσμα του δείγματος, κατά τη διαδικασία του εμπλουτισμού του με την Ε.Ε.Μ. Στις Α' και Β' Θραύσεις, οι τιμές του (K) αρχικά αυξάνονται, στη συνέχεια μειώνονται και τέλος αυξάνονται πάλι στα λεπτά κλάσματα. Για κάθε θραύση εντοπίστηκε η βέλτιστη τιμή του (K) και σχεδιάστηκαν τα Διαγράμματα 4.11 και 4.12.



Διάγραμμα 4.12: Μικρότερη (Βέλτιστη) Κατανομή ανά Βάρος Κλάσματος (K) κάθε θραύσης συναρτήσεως του αντιστοιχού Κοκκομετρικού Κλάσματος

Η καλύτερη αποδέσμευση του οργανικού από το ανόργανο μέρος των δειγμάτων παρουσιάζεται στο μέγεθος +100mm της αρχικής κατανομής στη Μαυροπηγή, στο μέγεθος +50mm της αρχικής κατανομής στην Αχλάδα διότι:

- a) Η κατανομή της τέφρας ανά βάρος κλάσματος είναι η μικρότερη από κάθε άλλη,
- b) Εμφανίζεται η μεγαλύτερη μείωση του ποσοστού της τέφρας ως προς την τέφρα του αρχικού δείγματος,
- c) Το κλάσμα εμφανίζει την μικρότερη τέφρα επί ξηρού.

Γενικά, όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το κλάσμα τόσο πιο καλή είναι η αποδέσμευση αλλά και ταυτόχρονα λιγότερο οικονομική.

Στις θραύσεις εμφανίζεται μεγάλο εύρος τιμών του (K) και αυτό υποδεικνύει ότι δεν απαιτείται λεπτομερέστερη θραύση του υλικού για την επίτευξη καλύτερης αποδέσμευσης, αφού το δείγμα χαρακτηρίζεται από την διασπορά του ανόργανου υλικού στη μάζα του λιγνίτη. Τα ποσοστά μείωσης της τέφρας εξαρτώνται όχι μόνο από το αρχικό ποσοστό της τέφρας, αλλά και από τη σύσταση της και τον τρόπο κατανομής της στη μάζα του λιγνίτη. Υλικά που κατανέμονται σε στρώματα το ένα εντός του άλλου αποδεσμεύονται σε μεγέθη τουλάχιστον μικρότερα του πάχους των στρωμάτων, ενώ τα υλικά που το ένα διασπείρεται στη μάζα του άλλου απαιτούν λεπτομερέστερη θραύση.

4.4 Αποτελέσματα Εμπλουτισμού στα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά των Δειγμάτων

Μετά την ανάλυση των αποτελεσμάτων εμπλουτισμού του δείγματος σε κάθε θραύση μελετώνται οι παράμετροι του Αθροιστικού Βάρους, της Αθροιστικής Τέφρας επί ξηρού και της Αθροιστικής ΚΘΔ ως έχει του συμπυκνώματος, προκειμένου να διαπιστωθεί η ύπαρξη κάποιας κοκκομετρίας του δείγματος που να καλύπτει τις προδιαγραφές για καύση στους λέβητες της ΔΕΗ.

Οι παράμετροι του Αθροιστικού Βάρους και της Αθροιστικής Τέφρας επί ξηρού δίνονται στους Πίνακες 4.12 έως 4.18, ενώ η Αθροιστική ΚΘΔ ως έχει του συμπυκνώματος για κάθε θραύση ξεχωριστά δίνεται στους Πίνακες 4.19 έως 4.22 που ακολουθούν, καθώς και στους Πίνακες 1 έως 3 του Παραρτήματος 2. Η μεταβολή της Αθροιστικής Τέφρας και Αθροιστικής ΚΘΔ με το Μέγεθος Τεμαχιδίων του συμπυκνώματος παρίσταται γραφικά στα Διαγράμματα 4.7 έως 4.10 και 4.13 έως 4.16.

Από τους Πίνακες 4.12 και 4.18 παρατηρείται ότι η Αθροιστική ΚΘΔ ως έχει μειώνεται καθώς αυξάνει η Τέφρα επί ξηρού προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα. Στο δείγμα της Μαυροπηγής (Πίνακες 4.12 και 4.15), οι τιμές της Αθροιστικής ΚΘΔ ως έχει κυμαίνονται από 1820.2 έως 1561.2 kcal/kg και παρουσιάζονται αυξημένες τιμές στην Αρχική Κατανομή και Α΄ Θραύση. Όσον αφορά το δείγμα της Αχλάδας (Πίνακες 4.16 και 4.18), οι τιμές της Αθροιστικής ΚΘΔ ως έχει κυμαίνονται από 1617.3 έως 1198.3 kcal/kg, με την μεγαλύτερη τιμή να εμφανίζεται στην Αρχική Κατανομή.

Από τα Διαγράμματα 4.13 έως 4.16 και από τα Διαγράμματα 1 έως 3 του Παραρτήματος 2, γίνεται φανερό ότι το Αθροιστικό Βάρος ως έχει αυξάνεται καθώς μειώνεται το μέγεθος των τεμαχιδίων, ενώ η Αθροιστική ΚΘΔ ως έχει μειώνεται στα λεπτόκοκκα.

ΜΑΥΡΟΠΗΓΗ
ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Πίνακας 4.19: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος ως έχει (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ ως έχει (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμ/ντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμ/ντος (kcal/kg)
+ 100	14	14	1820,2	254,8	254,8	1820,2
- 100 + 50	13,95	27,95	1719,7	239,9	494,7	1770,1
- 50 + 25	20,98	48,93	1642,2	344,5	839,3	1715,2
- 25 + 16	6,47	55,4	1452,8	94,0	933,3	1684,6
- 16 + 8	15,13	70,53	1525,0	230,7	1164,0	1650,3
- 8 + 4	8,58	79,11	1439,3	123,5	1287,5	1627,4
- 4 + 2	6,62	85,73	1441,2	95,4	1382,9	1613,1
- 2 + 1	4,64	90,37	1428,2	66,3	1449,1	1603,6
- 1 + 0.5	3,55	93,92	1370,5	48,7	1497,8	1594,8
- 0.5 + 0.3	1,87	95,79	1349,8	25,2	1523,0	1590,0
- 0.3 + 0.105	2,64	98,43	1365,7	36,1	1559,1	1584,0
- 0.105	1,57	100	1414,1	22,2	1581,3	1581,3
Σύνολο	100			1581,3		

*ΚΘΔ ως έχει (kcal/kg) = 2026 – (20.85 * Τέφρα επί ξηρού (%))

Α' ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.20: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος ως έχει (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ ως έχει (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμ/ντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμ/ντος (kcal/kg)
+ 50	14,72	14,72	1719,7	253,1	253,1	1719,7
- 50 + 25	22,14	36,86	1642,2	363,6	616,7	1673,1
- 25 + 16	6,83	43,69	1452,8	99,2	715,9	1638,7
- 16 + 8	16,55	60,24	1535,2	254,1	970,0	1610,3
- 8 + 4	13,48	73,72	1557,3	209,9	1179,9	1600,6
- 4 + 2	9,01	82,73	1506,2	135,7	1315,6	1590,3
- 2 + 1	5,8	88,53	1467,2	85,1	1400,7	1582,2
- 1 + 0.5	4,26	92,79	1400,3	59,7	1460,4	1573,9
- 0.5 + 0.3	2,25	95,04	1380,1	31,1	1491,5	1569,3
- 0.3 + 0.105	3,11	98,15	1388,8	43,2	1534,6	1563,6
- 0.105	1,84	99,99	1433,7	26,4	1561,0	1561,2
Σύνολο				1561,0		

*ΚΘΔ ως έχει (kcal/kg) = 2026 – (20.85 * Τέφρα επί ξηρού (%))

ΑΧΛΑΔΑ
ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Πίνακας 4.21: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος ως έχει (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ ως έχει (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμ/ντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμ/ντος (kcal/kg)
+ 50	5,24	5,24	1617,3	84,7	84,7	1617,3
- 50 + 25	13,15	18,39	1601,1	210,5	295,3	1605,7
- 25 + 16	8,59	26,98	1200,3	103,1	398,4	1476,6
- 16 + 8	23,9	50,88	1175,7	281,0	679,4	1335,3
- 8 + 4	19,38	70,26	1168,0	226,4	905,8	1289,2
- 4 + 2	12,28	82,54	1128,0	138,5	1044,3	1265,2
- 2 + 1	6,78	89,32	998,7	67,7	1112,0	1245,0
- 1 + 0.5	4,82	94,14	926,6	44,7	1156,7	1228,7
- 0.5 + 0.3	2,35	96,49	863,8	20,3	1177,0	1219,8
- 0.3 + 0.105	2,8	99,29	760,0	21,3	1198,2	1206,8
- 0.105	0,7	99,99	559,0	3,9	1202,1	1202,3
Σύνολο	100			1202,1		

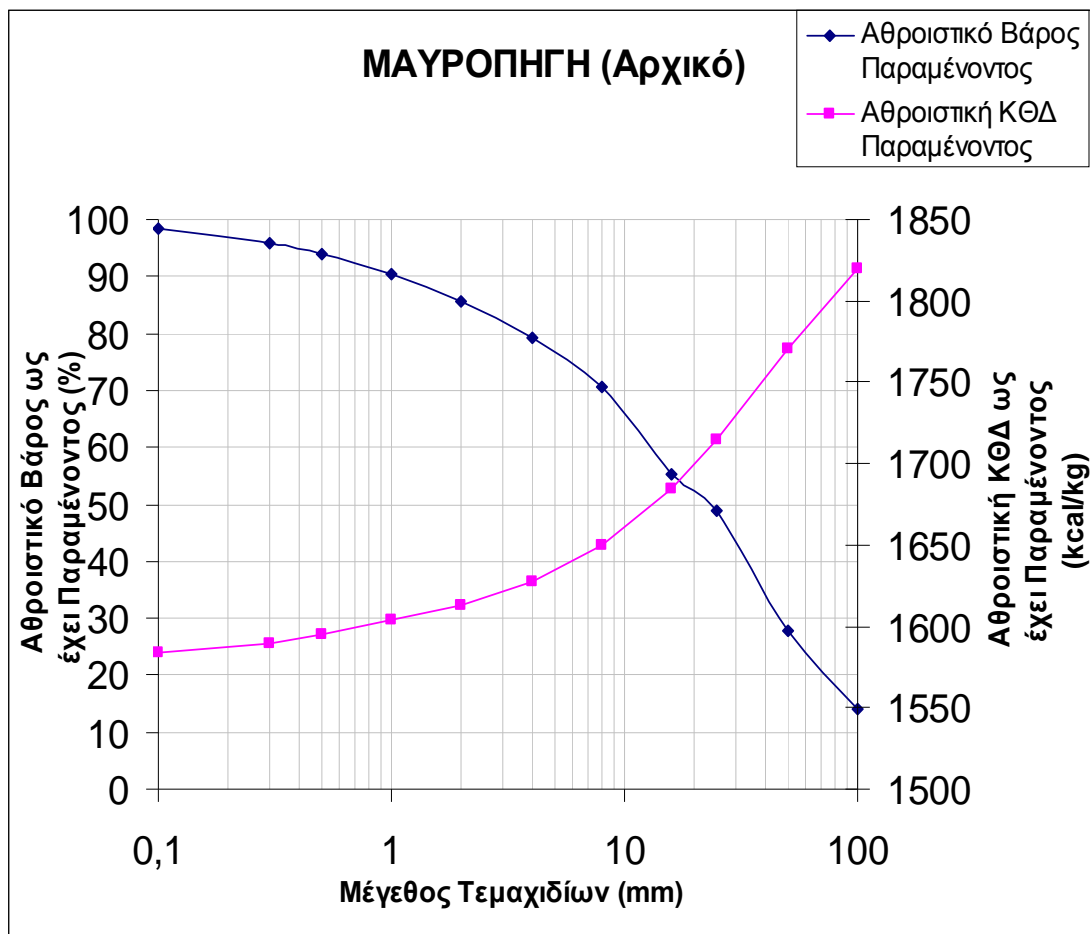
*ΚΘΔ ως έχει (kcal/kg) = 2026 – (20.85 * Τέφρα επί ξηρού (%))

Α' ΘΡΑΥΣΗ

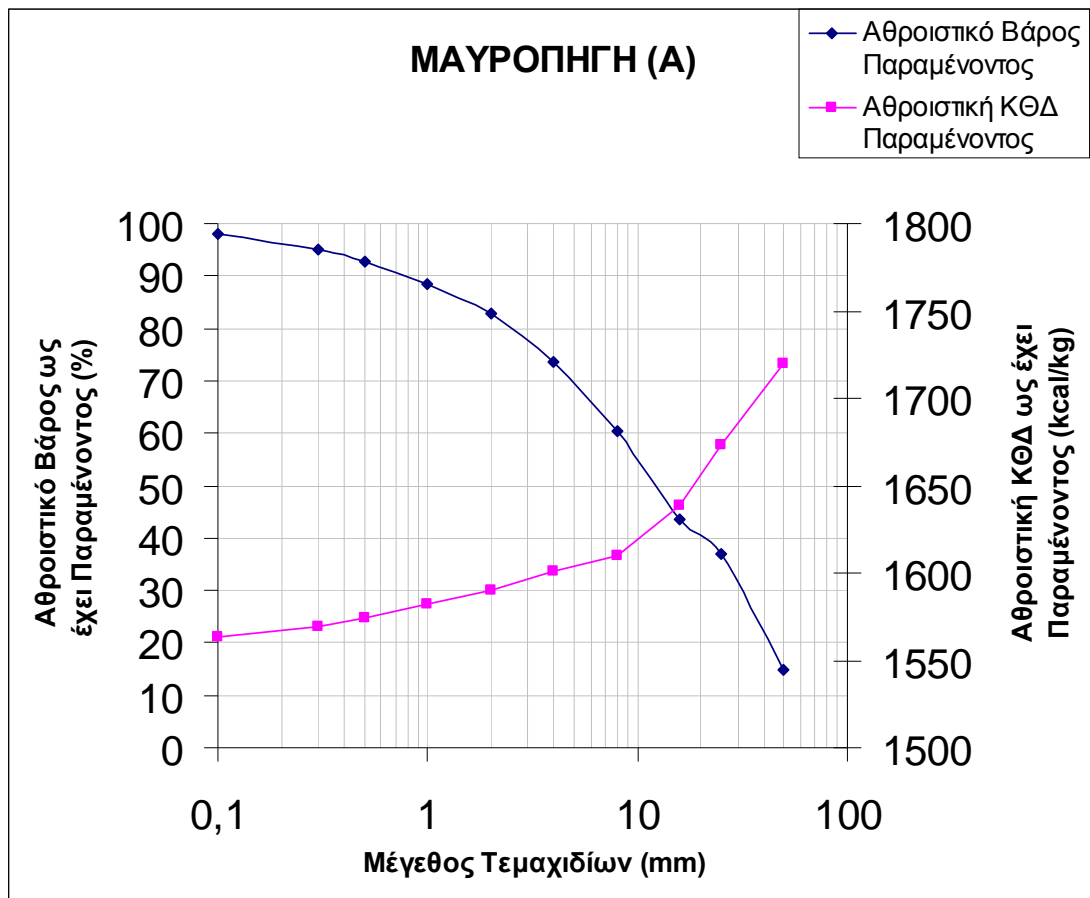
Πίνακας 4.22: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος ως έχει (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ ως έχει (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμ/ντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμ/ντος (kcal/kg)
+ 25	13,26	13,26	1601,1	212,3	212,3	1601,1
- 25 + 16	8,66	21,92	1200,3	103,9	316,3	1442,8
- 16 + 8	25,13	47,05	1203,7	302,5	618,7	1315,1
- 8 + 4	21,4	68,45	1202,6	257,4	876,1	1279,9
- 4 + 2	13,19	81,64	1158,6	152,8	1028,9	1260,3
- 2 + 1	7,19	88,83	1022,7	73,5	1102,5	1241,1
- 1 + 0.5	5,03	93,86	939,7	47,3	1149,7	1224,9
- 0.5 + 0.3	2,45	96,31	876,5	21,5	1171,2	1216,1
- 0.3 + 0.105	2,92	99,23	772,1	22,5	1193,7	1203,0
- 0.105	0,76	99,99	585,1	4,4	1198,2	1198,3
Σύνολο	100			1198,2		

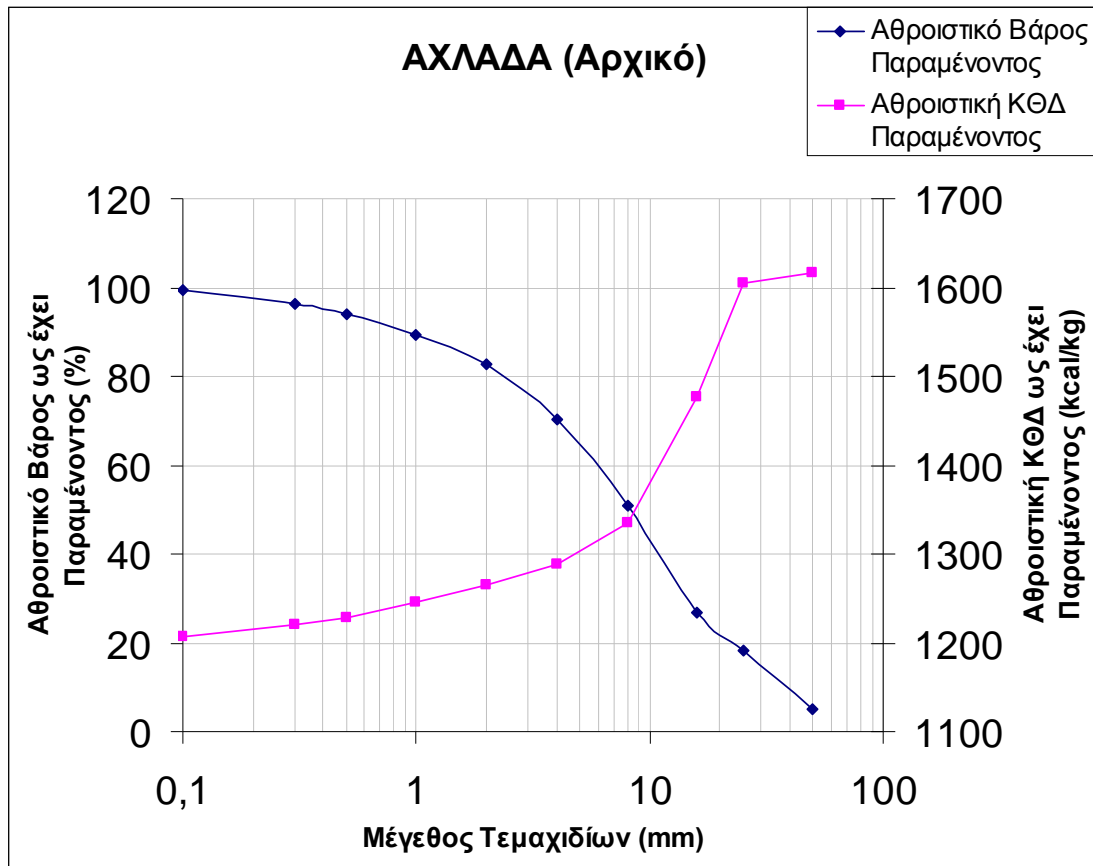
*ΚΘΔ ως έχει (kcal/kg) = 2026 – (20.85 * Τέφρα επί ξηρού (%))



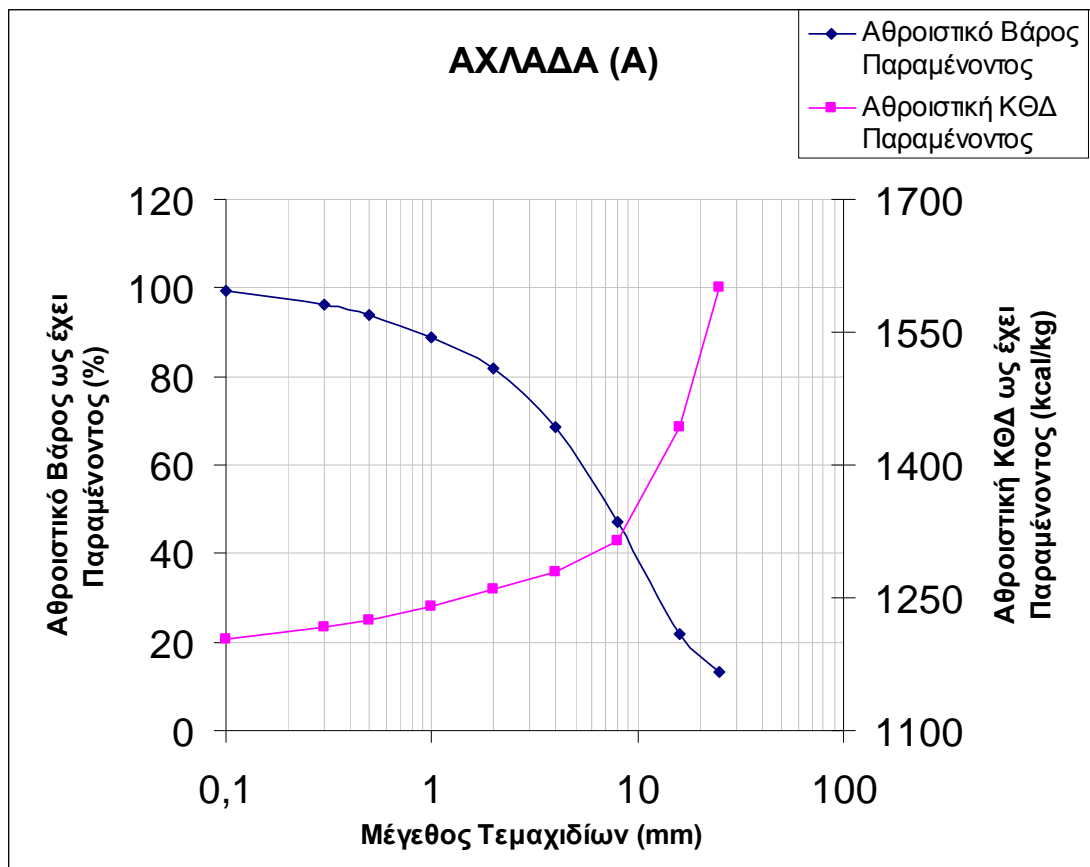
Διάγραμμα 4.13: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους ως έχει και της Αθροιστικής ΚΘΔ ως έχει Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Αρχικής κατανομής



Διάγραμμα 4.14: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους ως έχει και της Αθροιστικής ΚΘΔ ως έχει Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Α΄ Θραύσης



Διάγραμμα 4.15: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους ως έχει και της Αθροιστικής ΚΘΔ ως έχει Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Αρχικής κατανομής



Διάγραμμα 4.16: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους ως έχει και της Αθροιστικής ΚΘΔ ως έχει Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Α΄ Θραύσης

4.5 Κριτήρια Αξιολόγησης των Αποτελεσμάτων

Τα κριτήρια αξιολόγησης σύμφωνα με τα οποία επιλέχθηκε η βέλτιστη θραύση σε κάθε δείγμα είναι ο Βαθμός Ανάκτησης χρήσιμου υλικού για καύση στους Α.Η.Σ, ο Βαθμός Απόδοσης του Α.Η.Σ, η κατανομή της τέφρας και το ποσοστό των εκπομπών για CO₂. Πιο αναλυτικά, ένα εμπλουτισμένο δείγμα θα πρέπει να συνδυάζει Βαθμό Ανάκτησης σε ποσοστό πάνω του 80%, υψηλό Βαθμό Απόδοσης και σχετικά χαμηλά ποσοστά τέφρας και εκπομπών CO₂ κατά την καύση.

Ο υπολογισμός του Βαθμού Ανάκτησης και του Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης Εε/Εα έγινε με βάση τις ακόλουθες σχέσεις:

$$1. \quad n = (0,0066 * ΚΘΔ) + 25,1$$

$$2. \quad Εε/Εα = (nε * Με * ΚΘΔ.ε) / (nα * Μα * ΚΘΔ.α)$$

Όπου, nε = Βαθμός Απόδοσης του εμπλουτισμένου δείγματος

Με = μάζα του εμπλουτισμένου δείγματος (kg)

ΚΘΔ.ε = Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη εμπλουτισμένου δείγματος (kcal/kg)

nα = Βαθμός Απόδοσης του αρχικού δείγματος

Μα = μάζα του αρχικού δείγματος (kg)

ΚΘΔ.α = Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη του αρχικού δείγματος (kcal/kg)

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς διαμορφώθηκαν οι Πίνακες 4.23 έως 4.26 καθώς και οι Πίνακες 1 έως 3 του Παραρτήματος 3.

ΜΑΥΡΟΠΗΓΗ
ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Πίνακας 4.23: Αποτελέσματα Βαθμού Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης
Α.Η.Σ

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος (%)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ/ντος (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμ/ντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (n)	Εε/Εα
+ 100	14	2016,3	9,9	1820,2	37,1	0,2
- 100 + 50	13,95	4025,4	12,3	1770,1	36,8	0,3
- 50 + 25	20,98	7047,5	14,9	1715,2	36,4	0,5
- 25 + 16	6,47	7979,9	16,4	1684,6	36,2	0,6
- 16 + 8	15,13	10159,7	18,0	1650,3	36,0	0,7
- 8 + 4	8,58	11395,3	19,1	1627,4	35,8	0,8
- 4 + 2	6,62	12349	19,8	1613,1	35,7	0,9
- 2 + 1	4,64	13018,1	20,3	1603,6	35,7	0,9
- 1 + 0.5	3,55	13529,6	20,7	1594,8	35,6	0,9
- 0.5 + 0.3	1,87	13799	20,9	1590	35,6	0,9
- 0.3 + 0.105	2,64	14179,1	21,2	1584	35,6	1,0
- 0.105	1,57	14405,5	21,3	1581,3	35,5	1,0

Α΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.24: Αποτελέσματα Βαθμού Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης
Α.Η.Σ

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος (%)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ/ντος (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμ/ντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (n)	Εε/Εα
- 100 + 50	14,72	2120,5	14,7	1719,7	36,5	0,2
- 50 + 25	22,14	5310,1	16,9	1673,1	36,1	0,4
- 25 + 16	6,83	6294,2	18,6	1638,7	35,9	0,5
- 16 + 8	16,55	8679,1	19,9	1610,3	35,7	0,6
- 8 + 4	13,48	10621,4	20,4	1600,6	35,7	0,7
- 4 + 2	9,01	11918,8	20,9	1590,3	35,6	0,8
- 2 + 1	5,8	12754	21,9	1582,2	35,5	0,9
- 1 + 0.5	4,26	13367,2	21,7	1573,9	35,5	0,9
- 0.5 + 0.3	2,25	13690,9	21,9	1569,3	35,5	0,9
- 0.3 + 0.105	3,11	14139,6	22,2	1563,6	35,4	1,0
- 0.105	1,84	14405,4	22,3	1561,2	35,4	1,0

ΑΧΛΑΔΑ
ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

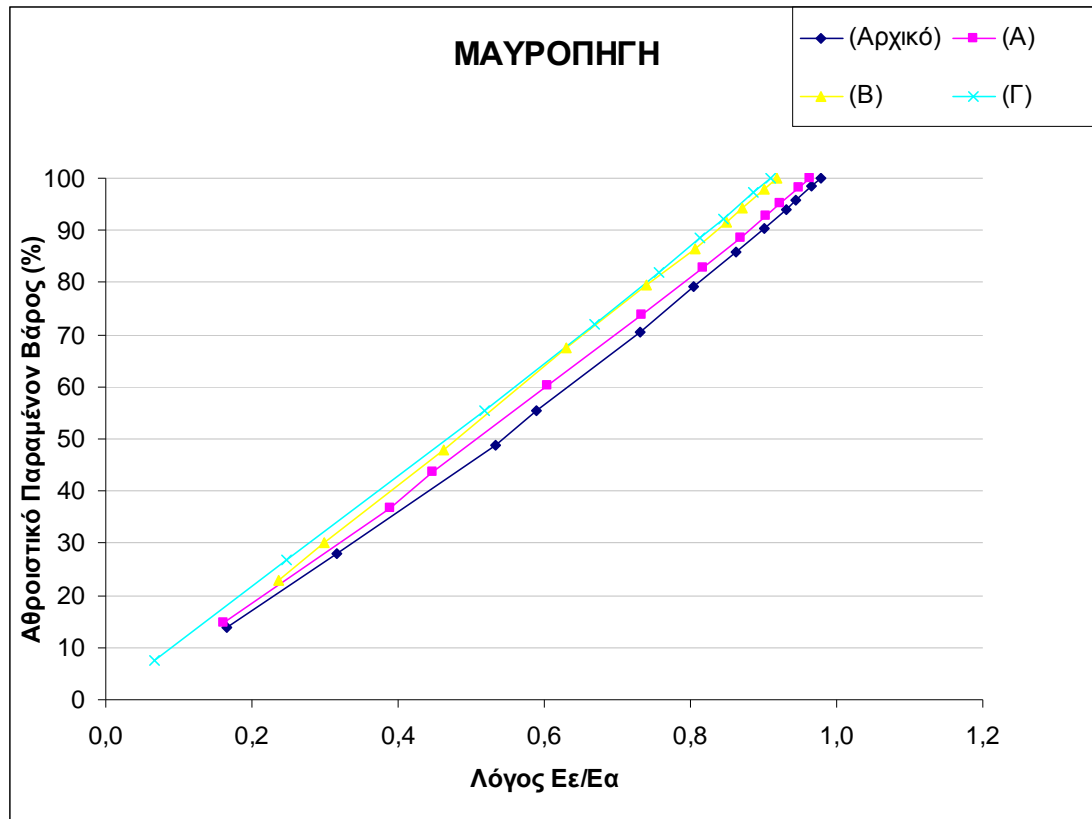
Πίνακας 4.25: Αποτελέσματα Βαθμού Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης
Α.Η.Σ

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος (%)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ/ντος (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμ/ντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (n)	Εε/Εα
+ 50	5,24	732,4	19,6	1617,3	35,8	0,1
- 50 + 25	13,15	2570,5	20,2	1605,7	35,7	0,3
- 25 + 16	8,59	3771,3	26,3	1476,6	34,8	0,4
- 16 + 8	23,9	7110,9	33,1	1335,3	33,9	0,7
- 8 + 4	19,38	9819,9	35,3	1289,2	33,6	0,9
- 4 + 2	12,28	11536,2	36,5	1265,2	33,5	1,0
- 2 + 1	6,78	12483,5	37,5	1245	33,3	1,0
- 1 + 0.5	4,82	13156,7	38,2	1228,7	33,2	1,1
- 0.5 + 0.3	2,35	13485,3	38,7	1219,8	33,2	1,1
- 0.3 + 0.105	2,8	13876,6	39,3	1206,8	33,1	1,1
- 0.105	0,7	13975	39,5	1202,3	33,0	1,1

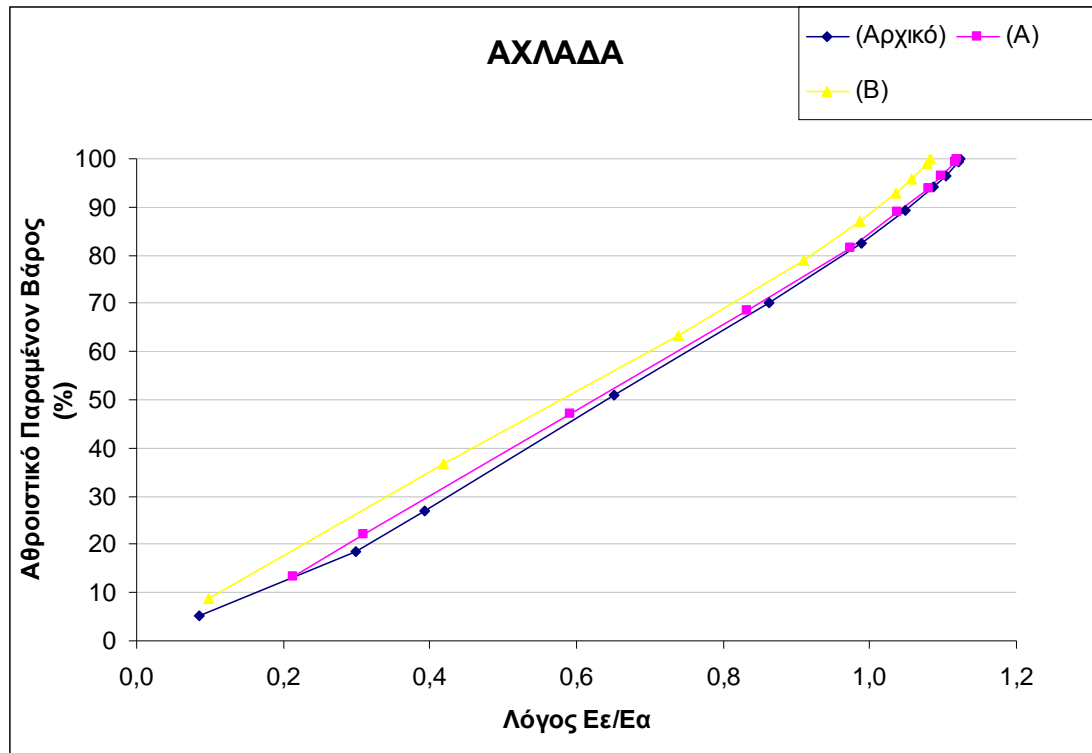
Α' ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.26: Αποτελέσματα Βαθμού Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης
Α.Η.Σ

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος (%)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ/ντος (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμ/ντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (n)	Εε/Εα
+ 25	13,26	1853,3	20,4	1601,1	35,7	0,2
- 25 + 16	8,66	3064	28,0	1442,8	34,6	0,3
- 16 + 8	25,13	6576,6	34,1	1315,1	33,8	0,6
- 8 + 4	21,4	9567,1	35,8	1279,9	33,5	0,8
- 4 + 2	13,19	11409,8	36,7	1260,3	33,4	1,0
- 2 + 1	7,19	12414,6	37,6	1241,1	33,3	1,0
- 1 + 0.5	5,03	13118,1	38,4	1224,9	33,2	1,1
- 0.5 + 0.3	2,45	13461,1	38,8	1216,1	33,1	1,1
- 0.3 + 0.105	2,92	13868,7	39,5	1203	33,0	1,1
- 0.105	0,76	13974,9	39,7	1198,3	33,0	1,1



Διάγραμμα 4.17: Μεταβολή του λόγου Εε/Εα συναρτήσει του Αθροιστικού Βάρους Παραμένοντος (%)



Διάγραμμα 4.18: Μεταβολή του λόγου Εε/Εα συναρτήσει του Αθροιστικού Βάρους Παραμένοντος (%)

Από τους παραπάνω πίνακες και διαγράμματα προκύπτει ότι ο λόγος Εε/Εα αυξάνεται όσο κατευθυνόμαστε προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα, σε αντίθεση με τον Βαθμό Απόδοσης που μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την τέφρα και μειώνεται στα λεπτόκοκκα κλάσματα.

Τόσο ο Βαθμός Απόδοσης και Ανάκτησης, όσο και το ποσοστό της Αθροιστικής Τέφρας (%) και των εκπομπών CO₂ αποτέλεσαν τα κριτήρια ώστε να επιλεγούν στο εκάστοτε δείγμα οι βέλτιστες θραύσεις και μεγέθη για καύση στους Α.Η.Σ. Τέλος, έγινε σύγκριση των εκπομπών CO₂ μεταξύ των επιλεγμένων δειγμάτων που εμπλουτίστηκαν με τη μέθοδο της Εκλεκτικής Λειοτριβήσης και των δειγμάτων που εμπλουτίστηκαν με τη χημική μέθοδο (χρήση HCl).

Στο δείγμα της Μαυροπηγής (Πίνακες 4.23-4.24 και Διάγραμμα 4.17) η αρχική κατανομή θεωρήθηκε ως βέλτιστη. Στη κατανομή του δείγματος της Μαυροπηγής η τιμή του Βαθμού Ανάκτησης φτάνει το 98% και ο Βαθμός Απόδοσης είναι 35,5%. Συγκρίνοντας τη αρχική κατανομή με αντίστοιχες τιμές των θραύσεων φαίνεται ότι παρουσιάζει χαμηλότερο ποσοστό τέφρας, υψηλότερη Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος, όπως επίσης και υψηλότερο Βαθμό Απόδοσης.

Στο δείγμα της Αχλάδας (Πίνακες 4.25-4.26 και Διάγραμμα 4.18) ως βέλτιστο μέγεθος επιλέχθηκε το μέγεθος (+50 +0.5mm) της αρχικής κατανομής. Στο μέγεθος αυτό η τιμή του Βαθμού Ανάκτησης είναι στο 100% και του Βαθμού Απόδοσης 33,2%. Από την σύγκριση με τα αντίστοιχα μεγέθη των θραύσεων, προκύπτει ότι οι θραύσεις περιέχουν υψηλότερο ποσοστό τέφρας, που ευθύνεται για τις αυξημένες εκπομπές CO₂ κατά την καύση. Ακόμα, το ποσοστό της τέφρας και οι εκπομπές CO₂ στο επιλεγμένο μέγεθος (38,2% και 6,3% αντίστοιχα) είναι χαμηλότερα σε σχέση με τις τιμές του μεγέθους (+50 -0.1mm) της αρχικής κατανομής (39,5% και 6,6% αντίστοιχα).

Στον Πίνακα 4.27 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των αρχικών κατανομών και των εμπλουτισμένων κλασμάτων.

Πίνακας 4.27: Χαρακτηριστικά αρχικών κατανομών και των εμπλουτισμένων κλασμάτων

Δείγματα	Κοκκομετρία Κλάσματος (mm)	Εε/Εα	Βαθμός Απόδοσης (η)	Αθροιστική Τέφρα (%)	CO ₂ μετά από ΕΕΜ (%)	CO ₂ μετά από πλύση με ΗCl (%)
Μαυροπηγή (Αρχικό)	+100 -0.1	1,0	35,5	21,3	1,0	1,0
Μαυροπηγή (Επιλεγμένο)	+100 -0.1	1,0	35,5	21,3	1,0	0,3
Αχλάδα (Αρχικό)	+50 -0.1	1,0	33	39,5	2,4	2,4
Αχλάδα (Επιλεγμένο)	+50 +0.5	1,0	33,2	38,2	2,3	1,5

Τα χαρακτηριστικά του απορρίμματος του δείγματος της Αχλάδας παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.28. Όπως παρατηρείται, το απόρριμμα εμφανίζει υψηλά ποσοστά τέφρας και η ποιότητα του χαρακτηρίζεται ως χαμηλή.

ΑΧΛΑΔΑ

Πίνακας 4.28: Αποτελέσματα εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος της Αρχικής Κατανομής για το απόρριμμα.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσμ. (gr)	Βάρος Κλάσμ. (%)	Αθρ. Βάρος Παραμ. (%)	Τέφρα “επί ξηρού” (%)	Μονάδες Τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)
-0.5 +0.3	328,6	2,35	96,49	55,7	1,3	37,3	38,7
-0.3 +0.1	391,3	2,8	99,29	60,7	1,7	39,0	39,3
-0.1	98,4	0,7	99,99	70,4	0,5	39,5	39,5
Σύνολο	818,6	99,99			3,5		

Αθρ. Τέφρα Παρ.(%) = (Αθρ. Μον. Τέφρας Παρ. 100)/(Αθρ.Βάρος Παρ. (%))

4.6 Εκτίμηση Κόστους Εκπομπών CO₂ των Εμπλουτισμένων δειγμάτων.

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα διερευνηθεί για διάφορες τιμές του επιβαλλόμενου από την Ε.Ε. φόρου για τις εκπομπές CO₂, το κόστος καύσης λιγνίτη ανά MWh, με το οποίο επιβαρύνονται οι Α.Η.Σ, εξαιτίας της έκλυσης CO₂. Γνωρίζοντας την τιμή του Βαθμού Θερμικής Ανάκτησης (λόγος E_ε/E_α) και ότι η τιμή του κόστους καύσης λιγνίτη ανά MWh ανέρχεται στα 30 €/MWh [5], γίνεται δυνατός ο υπολογισμός του επιπλέον κόστους λόγω των εκπομπών.

Στο δείγμα της Μαυροπηγής ο λόγος E_ε/E_α έχει τιμή 0,98, ενώ στο δείγμα της Αχλάδας είναι 1.0. Στο δείγμα της Αχλάδας, βρέθηκε ότι δεν υπάρχει επιβάρυνση. Ενώ για το δείγμα της Μαυροπηγής δεν υπάρχει όφελος καθώς δεν υπάρχει μείωση στο ποσοστό του CO₂.

Το κόστος που εξοικονομείται από την μείωση των εκπομπών CO₂, λόγω του εμπλουτισμού, υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$A_c = \Delta C_{CO_2} * E * P$$

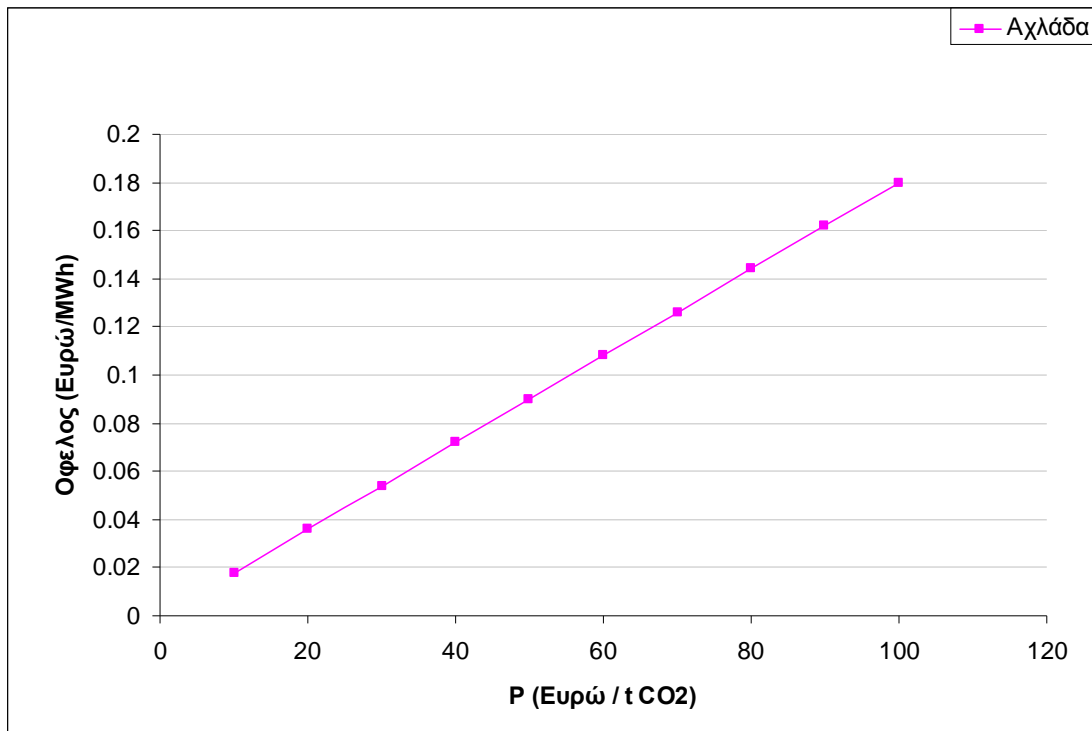
Όπου A_c = το κόστος που εξοικονομείται (€).

ΔC_{CO_2} = η διαφορά του ποσοστού CO₂(%) μεταξύ της αρχικής κατανομής και του επιλεγμένου μεγέθους.

E = ειδικός συντελεστής κατανάλωσης με μέση τιμή 1.8 t/MWh [5]

P = ο επιβαλλόμενος φόρος (€/tCO₂).

Από το Διάγραμμα 4.19 παρατηρείται η μεταβολή του A_c για διάφορες τιμές προστίμου. Για το δείγμα της Αχλάδας δε παρατηρείται επιβάρυνση στο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Διάγραμμα 4.19: Μεταβολή κόστους που εξοικονομείται από τη μείωση του ποσοστού CO₂ (Ac) ως προς τον επιβαλλόμενο φόρο (P).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Συμπεράσματα

Από το σύνολο των δοκιμών εμπλουτισμού στα δείγματα των ορυχείων τόσο της Μαυροπηγής όσο και της Αχλάδας προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- ✓ Η ποιότητα των δειγμάτων χαρακτηρίζεται από μέτρια περιεκτικότητα σε τέφρα “επί ξηρού” και υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία (20% και 49,8% αντίστοιχα) για το δείγμα της Μαυροπηγής ενώ το δείγμα της Αχλάδας χαρακτηρίζεται από υψηλή τέφρα “επί ξηρού” και χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία (44,7% και 19,5% αντίστοιχα). Από την στοιχειακή ανάλυση των αρχικών δειγμάτων προκύπτει ότι το ποσοστό σε C είναι 42,7% για τη Μαυροπηγή και 27,3% για το δείγμα της Αχλάδας. Τέλος και τα δύο δείγματα έχουν χαμηλά ποσοστά σε S και N, τα οποία είναι αποδεκτά από περιβαλλοντική άποψη.
- ✓ Από τον υπολογισμό της Α.Θ.Δ προκύπτει ότι και τα δύο δείγματα εμφανίζουν χαμηλή έως μέτρια θερμογόνο δύναμη λόγω του χαμηλού ως μέτριου ποσοστού τέφρας που περιέχουν. Η Α.Θ.Δ “επί ξηρού” κυμαίνεται από 2124,8 kcal/kg έως 3799,7 kcal/kg.
- ✓ Από τη χημική ανάλυση της τέφρας των δειγμάτων γίνεται φανερό ότι η ανόργανη ύλη των αρχικών δειγμάτων αποτελείται κυρίως από CaO, SiO₂, Al₂O₃ και SO₃. Η ανόργανη ύλη στο δείγμα της Μαυροπηγής χαρακτηρίζεται ως ασβεστιτική ενώ το δείγμα της Αχλάδας ως πυριτική με ποσοστό σε SiO₂ 53,8%. Τα υπόλοιπα οξείδια περιέχονται μικρότερα ποσοστά. Τέλος, όσο αφορά τα ποσοστά του CO₂ στις τέφρες των δειγμάτων, οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 5,5% και 6,6%.

- ✓ Για το δείγμα της Μαυροπηγής το ποσοστό της τέφρας “επί ξηρού” κυμαίνεται από 9,7% ως 32,4% στις κοκκομετρίες +100mm έως -0.1mm. Αντίστοιχα για το δείγμα της Αχλάδας το εύρος τιμών της τέφρας είναι 19,6% έως 70,4% στις κοκκομετρίες +50mm έως -0.1mm. Γενικά, η περιεκτικότητα σε τέφρα “επί ξηρού” αυξάνεται από τα χονδρόκοκκα στα λεπτόκοκκα κλάσματα. Ενώ, αντιστρόφως ανάλογα με την τέφρα μεταβάλλεται η Α.Θ.Δ. Πιο αναλυτικά, στο δείγμα της Μαυροπηγής οι τιμές της Α.Θ.Δ κυμαίνονται από 2920,5 kcal/kg έως 4276,4 kcal/kg, ενώ στο δείγμα της Αχλάδας από 958 kcal/kg έως 2928 kcal/kg.
- ✓ Η αυξητική τάση της τέφρας “επί ξηρού” προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα έχει σαν αποτέλεσμα τη συγκέντρωση της ανόργανης ύλης στα λεπτόκοκκα και την αντίστοιχη μείωση της καύσιμης ύλης, της υγρασίας και της θερμογόνου δύναμης σε αυτά. Αντιστρόφως ανάλογα με την τέφρα, η Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (Κ) αυξάνεται από τα χονδρόκοκκα προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα. Ο ουσιαστικός διαχωρισμός του ανόργανου από το οργανικό μέρος του λιγνίτη επιτεύχθηκε στα τεμάχια κοκκομετρίας +100mm της αρχικής κατανομής (Κ=0,5) στο δείγμα της Μαυροπηγής και στο κλάσμα +50mm της αρχικής κατανομής της Αχλάδας (Κ=0,5).
- ✓ Όσο αφορά την Αθροιστική Κ.Θ.Δ “ως έχει” μειώνεται καθώς αυξάνεται η τέφρα “επί ξηρού” προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα. Στο δείγμα της Μαυροπηγής το εύρος τιμών είναι 1581,3 – 1820,2 kcal/kg, ενώ στο δείγμα της Αχλάδας από 1202,3 – 1617,3 kcal/kg.
- ✓ Τα κριτήρια αξιολόγησης σύμφωνα με τα οποία επιλέχθηκε η βέλτιστη θραύση σε κάθε δείγμα είναι ο Βαθμός Ανάκτησης χρήσιμου υλικού για καύση στους Α.Η.Σ, ο Βαθμός Απόδοσης στους Α.Η.Σ, η βελτιωμένη κατανομή της τέφρας στα κλάσματα (Κ) και το ποσοστό των εκπομπών του CO₂. Γενικά, παρατηρείται ότι ο Βαθμός Απόδοσης

μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την τέφρα “επί ξηρού” και επομένως μειώνεται προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα.

- ✓ Σύμφωνα με τα κριτήρια αξιολόγησης προκύπτει ότι στο δείγμα της Μαυροπηγής θεωρείται ως βέλτιστο το δείγμα από +100 έως -0.1mm, δηλαδή όλη η αρχική κατανομή. Στο δείγμα της Αχλάδας ως βέλτιστο θεωρείται το δείγμα από +50 έως +0.5mm της αρχικής κατανομής. Παρατηρείται μείωση των εκπομπών CO₂, από 2,4% ⇒ 2,3% στο δείγμα της Αχλάδας, ενώ δεν παρατηρείται μείωση στο δείγμα της Μαυροπηγής (1,0%). Ακόμα, στα επιλεγμένα δείγματα εφαρμόστηκε χημική μέθοδος με HCl όπου πραγματοποιήθηκε ακόμη μεγαλύτερη μείωση των εκπομπών CO₂ από 1,0% σε 0,3% και από 2,4% σε 1,5% αντίστοιχα για τα δείγματα της Μαυροπηγής και της Αχλάδας.
- ✓ Στο δείγμα της Μαυροπηγής δεν σημειώνεται μείωση στο ποσοστό CO₂, επομένως δεν υπάρχει όφελος στην καύση του λιγνίτη καθώς το κόστος παραμένει ίδιο. Στο δείγμα της Αχλάδας παρόλο που σημειώνεται μικρή μείωση στο ποσοστό του CO₂, δεν υπάρχει καμία επιβάρυνση του κόστους καύσης του λιγνίτη ανά MWh.
- ✓ Λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια αξιολόγησης και των δύο δειγμάτων καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι όσο αφορά τη μείωση των εκπομπών CO₂, η μέθοδος της εκλεκτικής ελάττωσης δεν μας δίνει μεγάλη μείωση παρόλο που μας εξασφαλίζει καθαρότερο άνθρακα. Σε αντίθεση με τη μέθοδο E.E.M, η χημική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα διπλωματική, δίνει καλύτερα αποτελέσματα όσο αφορά τη μείωση των εκπομπών του CO₂. Γενικά, οι χημικές μέθοδοι τείνουν να είναι πιο ακριβές, γι’ αυτό θα πρέπει να πραγματοποιηθεί τεχνικό-οικονομική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί αν η μέθοδος είναι βιώσιμη.

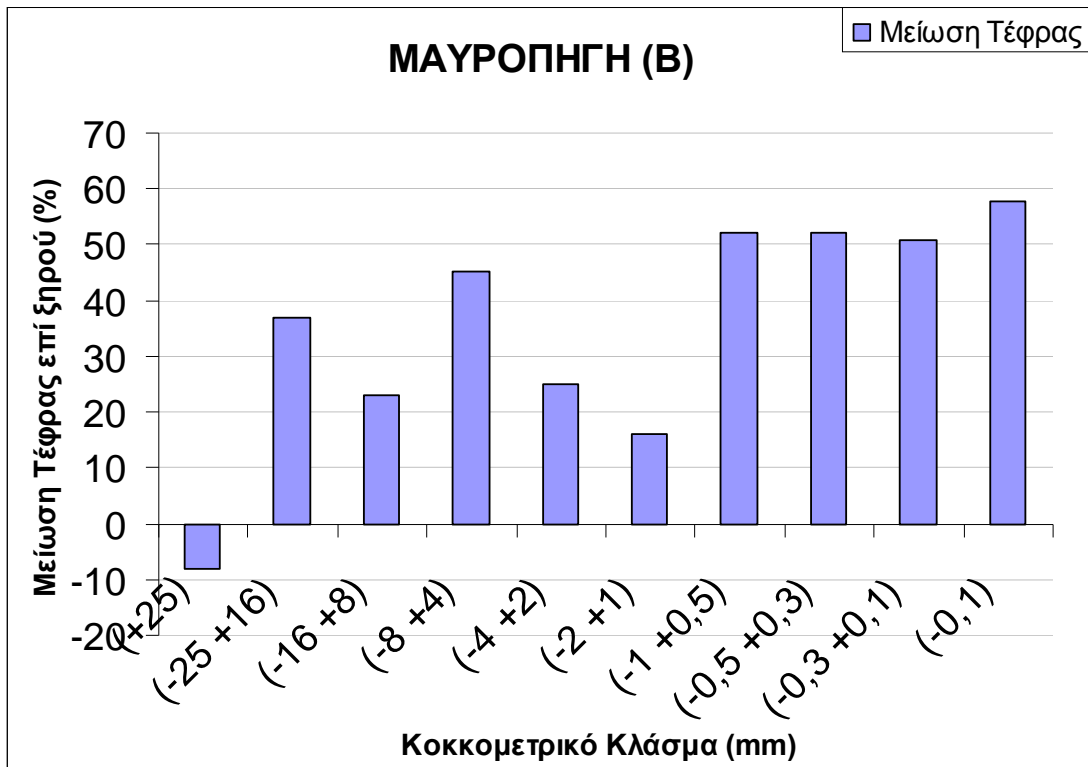
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κ. Καβουρίδης, Φ. Παυλουδάκης (2007), «Το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών CO₂ και οι επιπτώσεις του στην ανταγωνιστικότητα του λιγνίτη, στις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας και στις επενδύσεις.», Ορυκτός Πλούτος, Τεύχος 143.
2. Δ. Βάμβουκα (2002), «Αντιρυπογόνος Χρήσης Γαιανθράκων. Τεχνολογίες Αξιοποίησης Γαιανθράκων Χαμηλής Τάξης», Εκδόσεις ΙΩΝ, 2002.
3. Κ. Καβουρίδης, Φ. Παυλουδάκης (2004), «Ο ρόλος των στερεών καυσίμων στην Ευρωπαϊκή και Παγκόσμια αγορά ενέργειας του 21^{ου} αιώνα», Τεχνικά Χρονικά, Δίμηνη έκδοση Τ.Ε.Ε, Ιανουάριος-Φεβρουάριος 2004, σελ. 28.
4. Δ. Βάμβουκα (2009), «Βιομάζα, Βιοενέργεια και Περιβάλλον», Εκδόσεις Τζιόλα.
5. Κ. Kavouridis, N. Koukoulas, «Coal in the EU Energy Power Current Challenges and Barriers to Cleaner Coal Power», Department of Mineral Resources Engineering, Technical University of Crete, Chania, Greece, CERTH/ISFTA, Attica Technology Park, GR-1530 Ag. Paraskevi, Greece.
6. M. Catelin, «Coal-Supply and demand by 2030», World Coal Institute.
7. «Ο ρόλος του Άνθρακα στη Στρατηγική Παραγωγής της ΔΕΗ».
www.dei.com/Documents/dei-antrakas.pdf
8. Ε. Κακαράς, Α. Δουκέλης, Δ. Γιαννακόπουλος, Α. Κουμανάκος, «Δέσμευση CO₂ στον Τομέα ηλεκτροπαραγωγής από λιγνίτη και φυσικό Αέριο».

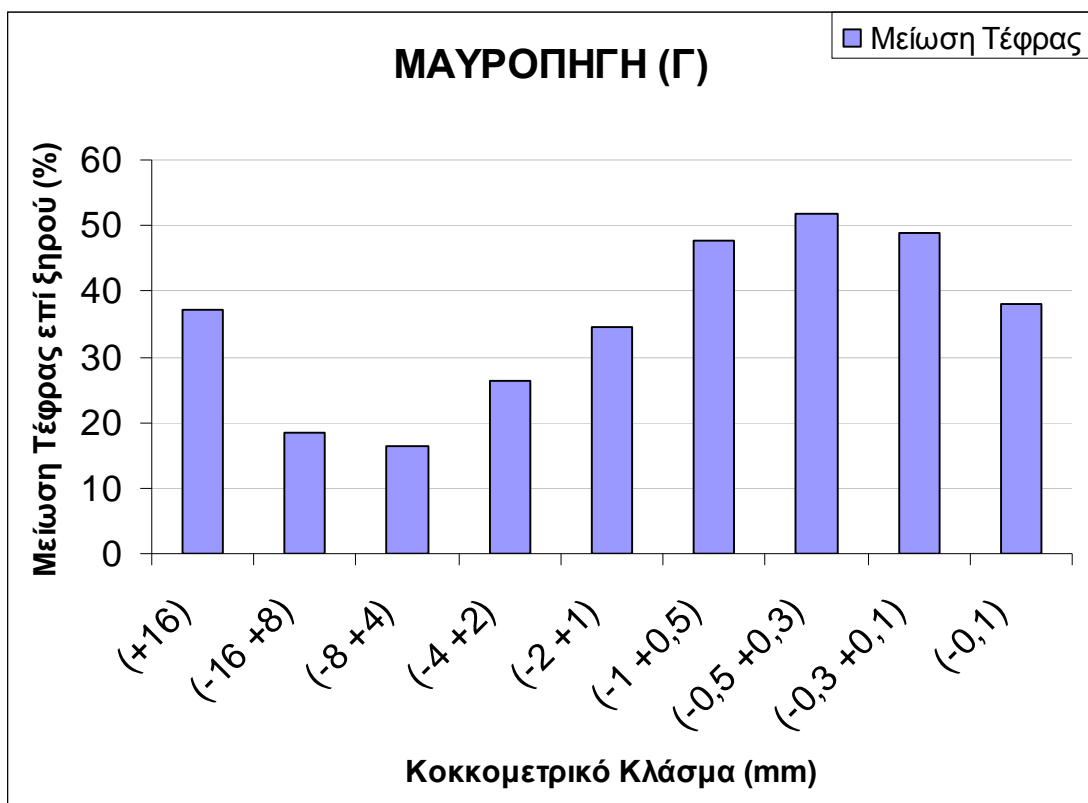
9. Φ. Γκουτζαμάνη (1994), «Ποιοτική Αναβάθμιση Λιγνιτικού Ενδιάμεσου από το Ορυχείο Κομάνου με τη Μέθοδο Εμπλουτισμού της Εκλεκτικής Ελάττωσης Μεγέθους», Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
10. D. Vamvuka (1996), «Study on the Possibility of Recovering Lignites from Refused Innerburden», Paper received, Department of Mineral Resources Engineering, Technical University of Crete, Chania, Greece, September 1996.
11. Α. Φώσκολος, Δρ. Κ. Παπανικολάου, Ζ. Αγιουτάντης (2005), «Παγκόσμια Ενεργειακά Αποθέματα και Κατανάλωσης Αργού Πετρελαίου, Φυσικού Αερίου και Γαιανθράκων. Επιπτώσεις στον Σχεδιασμό της Ηλεκτροπαραγωγής».
12. www.dei.gr/Default.aspx , 2008
13. K. M. Steel, J. Besida, T. A. O'Donnell, D. G. Wood (2001), «Production of Ultra Clean Coal Part I- Dissolution Behavior of mineral matter in black Coal toward hydrochloric and hydrofluoric acid»,
www.sciencedirect.com
14. K. M. Steel, J. W. Patrick (2004), «Re-generation of hydrofluoric acid and selective separation of Si(IV) in a process for producing ultra-clean coal»,
www.sciencedirect.com
15. W. Kordylewski, W. Zacharczuk, T. Hardy, J. Kaczmarczyk (2004), «The effect of the calcium in lignite on its effectiveness as a reburn fuel»,
www.sciencedirect.com
16. H. Karaca, Y. Onal (2003), «Demineralization of lignites by single and successive pretreatment», www.sciencedirect.com

17. F. Rubiera, A. Arenillas, B. Arias, J. J. Pis, K. M. Steel, J. W. Patrick, I. Suarez-Ruiz (2003), «Combustion behaviour of ultra clean coal obtained by chemical demineralisation», www.sciencedirect.com

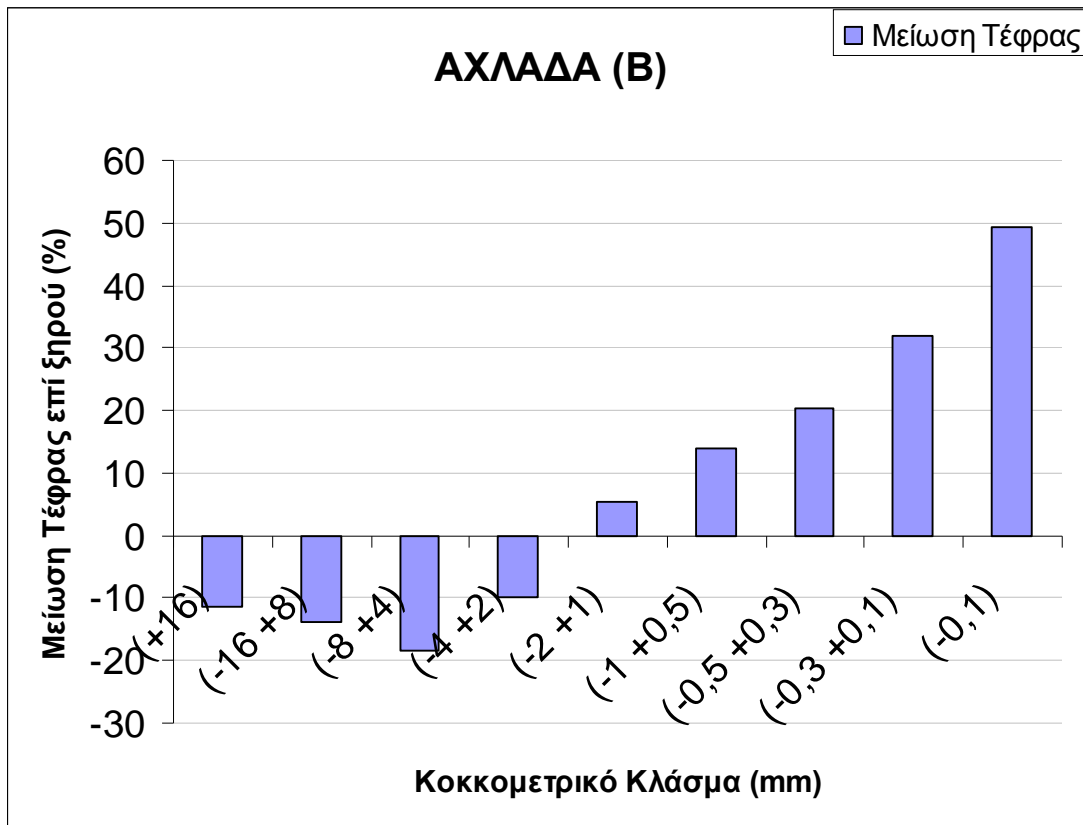
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1
(ΕΝΟΤΗΤΑ 4.3)



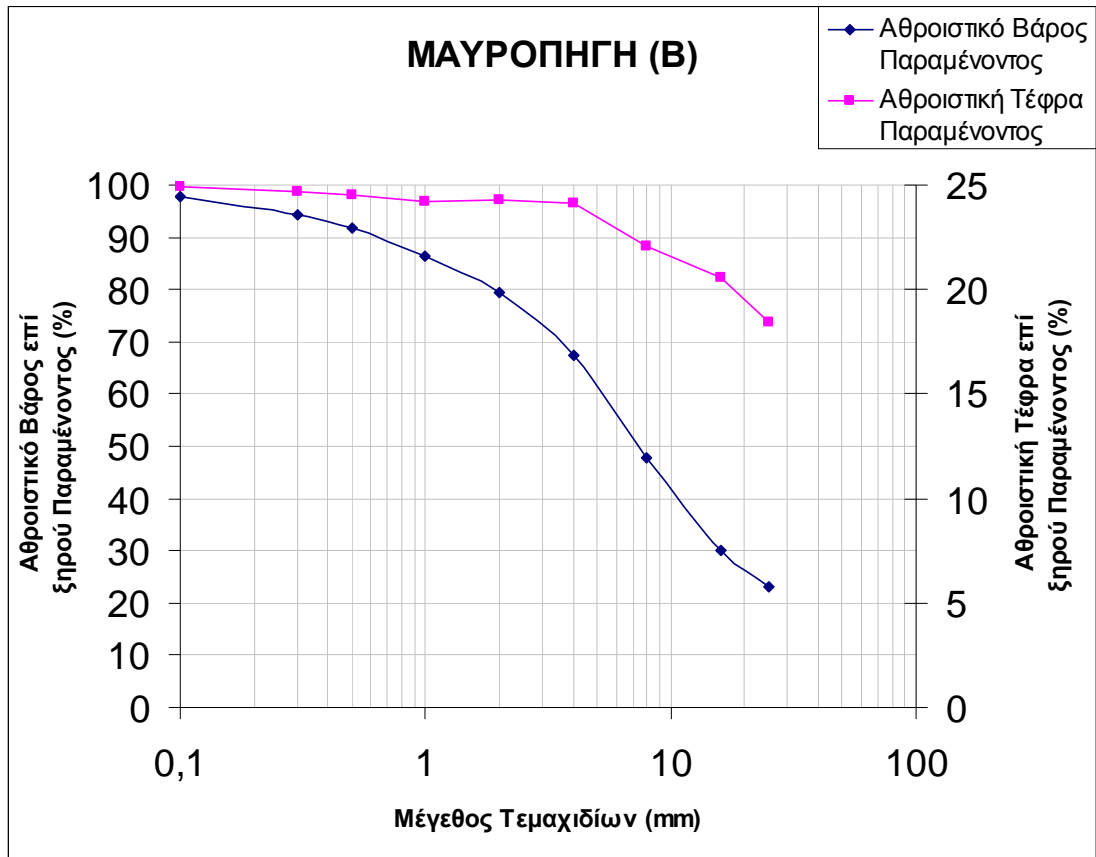
Διάγραμμα 1: Μείωση Τέφρας επί ξηρού των κλασμάτων της Β' Θραύσης προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα



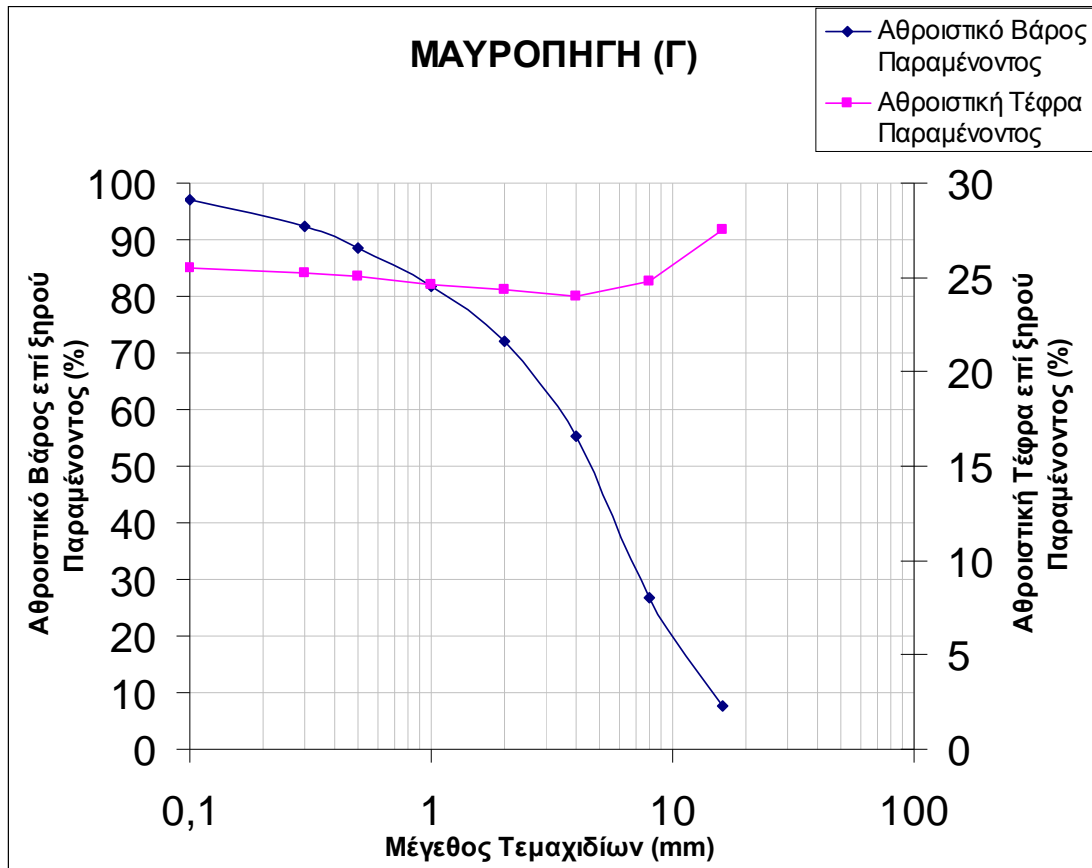
Διάγραμμα 2: Μείωση Τέφρας επί ξηρού των κλασμάτων της Γ' Θραύσης προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα



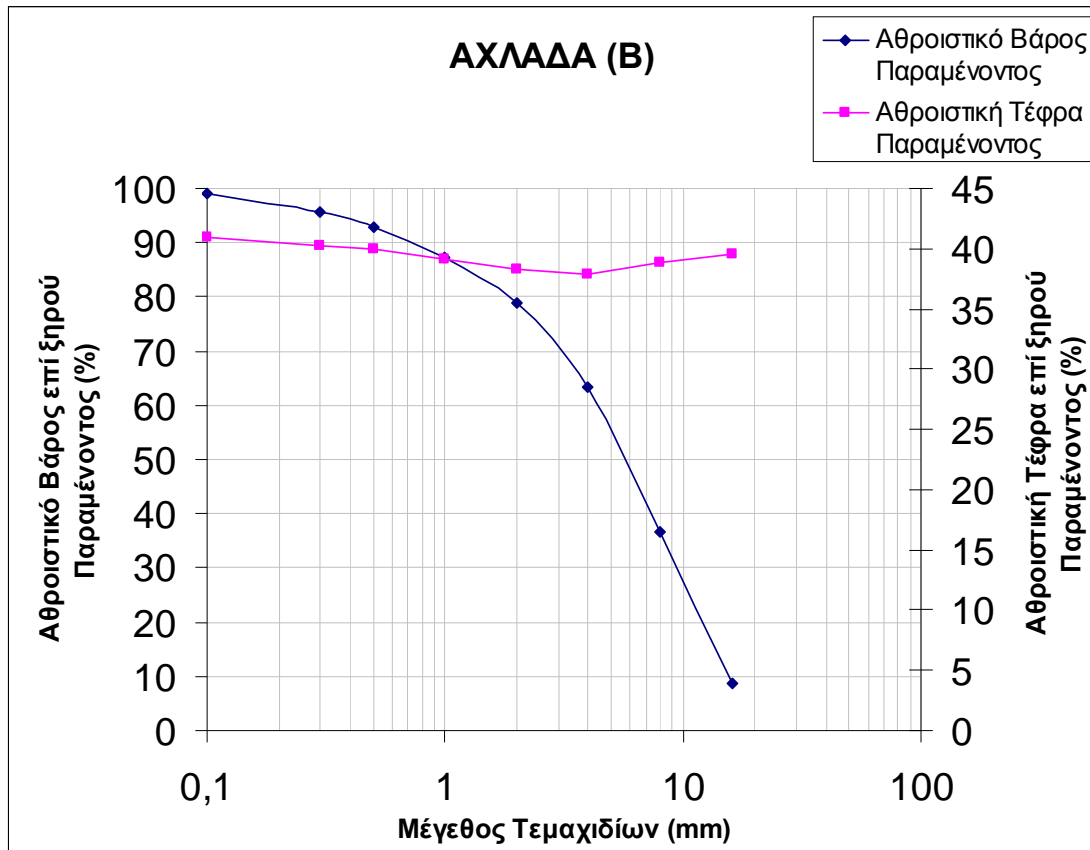
Διάγραμμα 3: Μείωση Τέφρας επί ξηρού των κλασμάτων της Β' Θραύσης προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα



Διάγραμμα 4: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους επί ξηρού και της Αθροιστικής Τέφρας επί ξηρού Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Β' Θραύσης



Διάγραμμα 5: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους επί ξηρού και της Αθροιστικής Τέφρας επί ξηρού Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Γ' Θραύσης



Διάγραμμα 6: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους επί ξηρού και της Αθροιστικής Τέφρας επί ξηρού Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Β' Θραύσης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2
(ΕΝΟΤΗΤΑ 4.4)

ΜΑΥΡΟΠΗΓΗ

Β' ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 1: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος ως έχει (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ ως έχει (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμ/ντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμ/ντος (kcal/kg)
+ 25	23	23	1642,2	377,7	377,7	1642,2
- 25 + 16	7,09	30,09	1452,8	103,0	480,7	1597,5
- 16 + 8	17,69	47,78	1511,6	267,4	748,1	1565,7
- 8 + 4	19,67	67,45	1419,3	279,2	1027,3	1523,0
- 4 + 2	11,92	79,37	1503,5	179,2	1206,5	1520,1
- 2 + 1	7,18	86,55	1540,8	110,6	1317,1	1521,8
- 1 + 0.5	5,09	91,64	1389,4	70,7	1387,8	1514,5
- 0.5 + 0.3	2,68	94,32	1390,1	37,3	1425,1	1510,9
- 0.3 + 0.105	3,61	97,93	1395,1	50,4	1475,5	1506,7
- 0.105	2,07	100	1366,3	28,3	1503,7	1503,7
Σύνολο	100			1503,7		

*ΚΘΔ ως έχει (kcal/kg) = 2026 – (20.85 * Τέφρα επί ξηρού (%))

Γ' ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 2: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος ως έχει (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ ως έχει (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμ/ντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμ/ντος (kcal/kg)
+ 16	7,52	7,52	1452,8	109,3	109,3	1452,8
- 16 + 8	19,2	26,72	1531,2	294,0	403,2	1509,2
- 8 + 4	28,65	55,37	1539,8	441,1	844,4	1525,0
- 4 + 2	16,65	72,02	1497,2	249,3	1093,7	1518,6
- 2 + 1	9,76	81,78	1463,9	142,9	1236,6	1512,1
- 1 + 0.5	6,81	88,59	1408,0	95,9	1332,4	1504,1
- 0.5 + 0.3	3,7	92,29	1391,7	51,5	1383,9	1499,6
- 0.3 + 0.105	4,89	97,18	1403,8	68,6	1452,6	1494,7
- 0.105	2,82	100	1449,1	40,9	1493,5	1493,5
Σύνολο	100			1493,5		

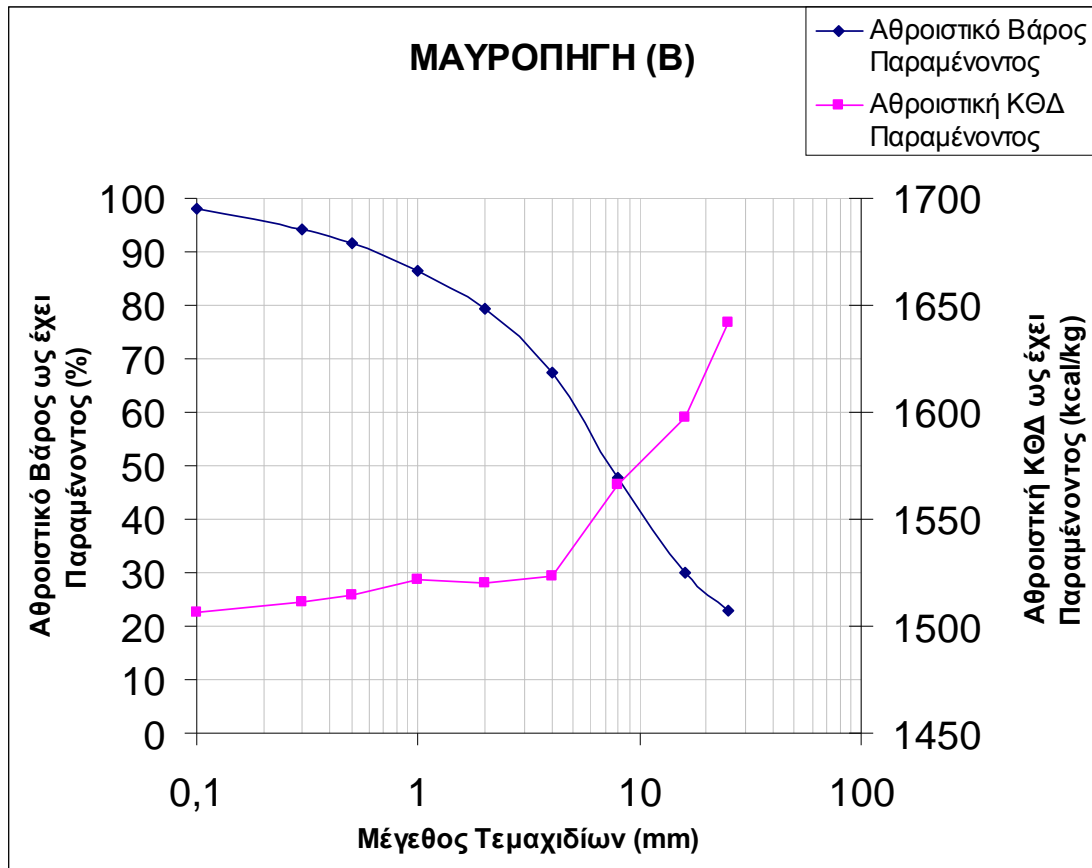
*ΚΘΔ ως έχει (kcal/kg) = 2026 – (20.85 * Τέφρα επί ξηρού (%))

ΑΧΛΑΔΑ
Β' ΘΡΑΥΣΗ

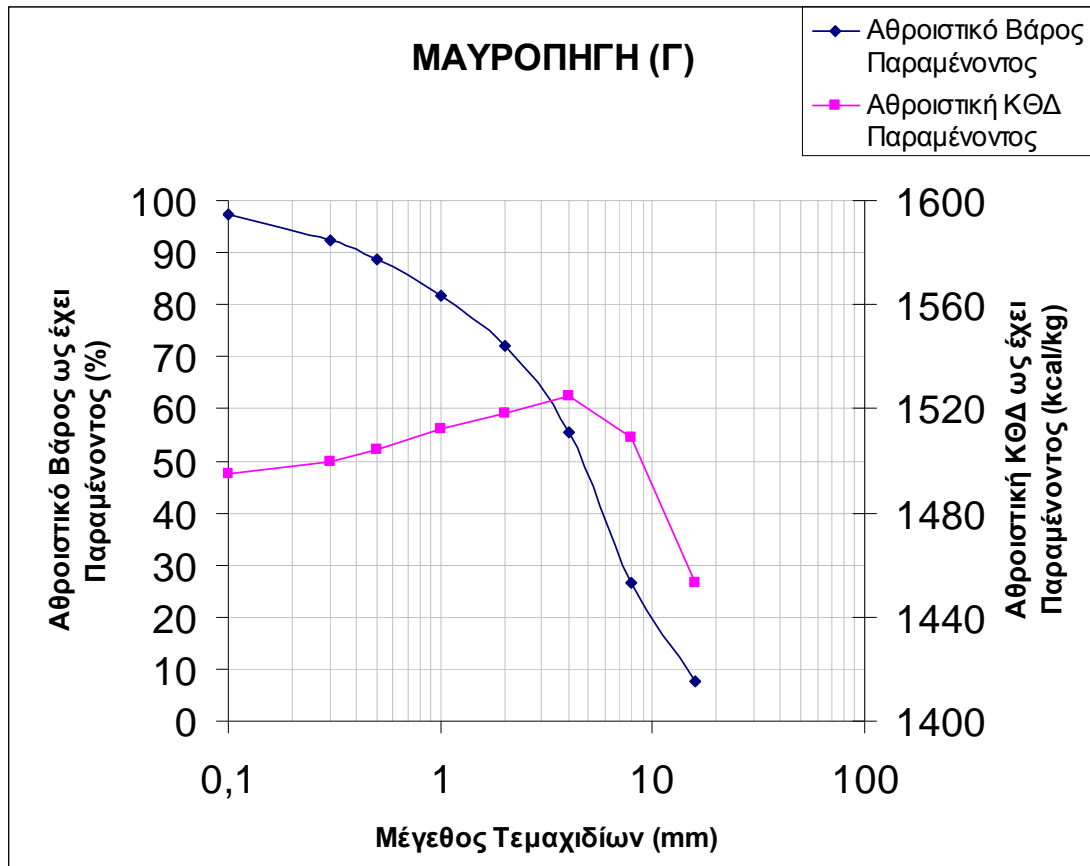
Πίνακας 3: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος ως έχει (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ ως έχει (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμ/ντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμ/ντος (kcal/kg)
+ 16	8,83	8,83	1200,3	106,0	106,0	1200,3
- 16 + 8	27,84	36,67	1220,8	339,9	445,9	1215,9
- 8 + 4	26,74	63,41	1265,8	338,5	784,3	1236,9
- 4 + 2	15,44	78,85	1185,1	183,0	967,3	1226,8
- 2 + 1	8,31	87,16	1042,7	86,6	1054,0	1209,2
- 1 + 0.5	5,68	92,84	962,4	54,7	1108,6	1194,1
- 0.5 + 0.3	2,8	95,64	903,0	25,3	1133,9	1185,6
- 0.3 + 0.105	3,33	98,97	795,4	26,5	1160,4	1172,5
- 0.105	1,03	100	633,0	6,5	1166,9	1166,9
Σύνολο	100			1166,9		

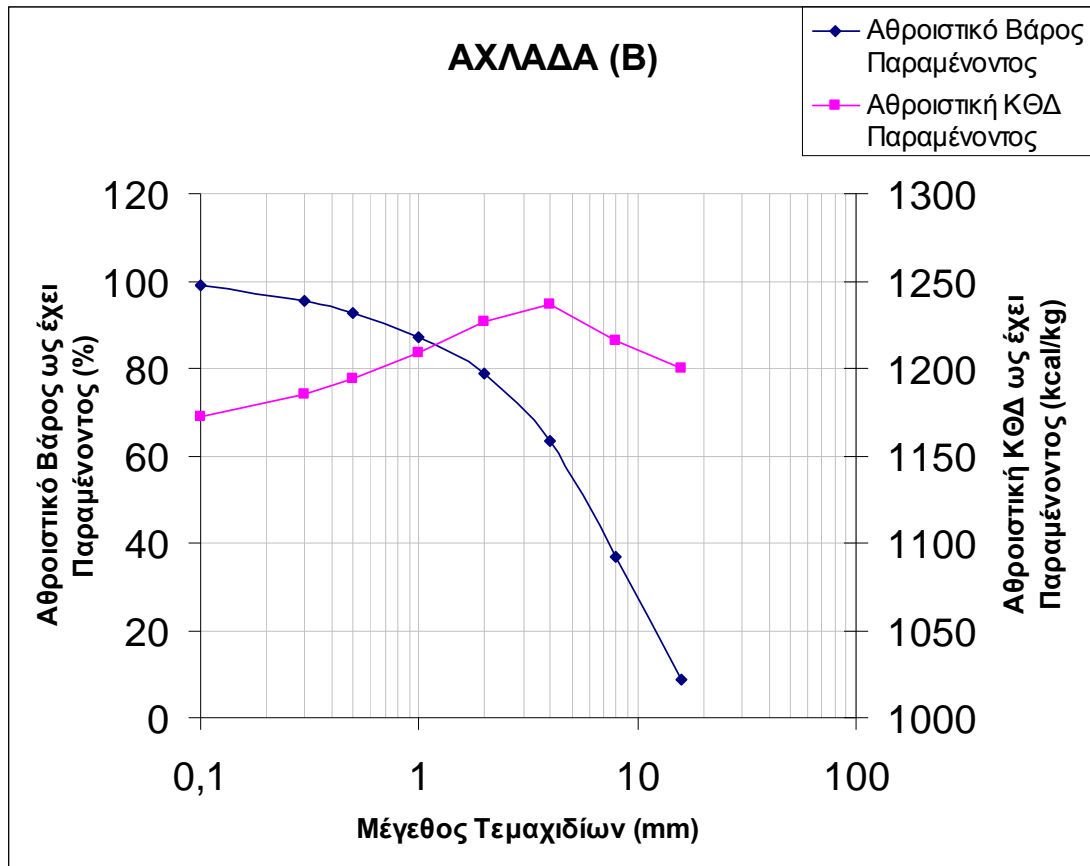
*ΚΘΔ ως έχει (kcal/kg) = 2026 – (20.85 * Τέφρα επί ξηρού (%))



Διάγραμμα 1: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους ως έχει και της Αθροιστικής ΚΘΔ ως έχει Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Β' Θραύσης



Διάγραμμα 2: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους ως έχει και της Αθροιστικής ΚΘΔ ως έχει Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Γ' Θραύσης



Διάγραμμα 3: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους ως έχει και της Αθροιστικής ΚΘΔ ως έχει Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Γ' Θραύσης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3
(ΕΝΟΤΗΤΑ 4.4)

ΜΑΥΡΟΠΗΓΗ**Β' ΘΡΑΥΣΗ****Πίνακας 1:** Αποτελέσματα Βαθμού Ανάκτησης και Βαθμού Αποδοσης
Α.Η.Σ

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος (%)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ/ντος (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμ/ντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (n)	Εε/Εα
- 50 + 25	23	3313,1	18,41	1642,2	35,9	0,2
- 25 + 16	7,09	4335,3	20,55	1597,5	35,6	0,3
- 16 + 8	17,69	6883,5	22,08	1565,7	35,4	0,5
- 8 + 4	19,67	9716,9	24,12	1523	35,2	0,6
- 4 + 2	11,92	11433,5	24,26	1520,1	35,1	0,7
- 2 + 1	7,18	12468,1	24,18	1521,8	35,1	0,8
- 1 + 0.5	5,09	13200,8	24,53	1514,5	35,1	0,9
- 0.5 + 0.3	2,68	13587	24,7	1510,9	35,1	0,9
- 0.3 + 0.105	3,61	14106,7	24,91	1506,7	35,0	0,9
- 0.105	2,07	14405,3	25,05	1503,7	35,0	0,9

Γ' ΘΡΑΥΣΗ**Πίνακας 2:** Αποτελέσματα Βαθμού Ανάκτησης και Βαθμού Αποδοσης
Α.Η.Σ

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος (%)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ/ντος (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμ/ντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (n)	Εε/Εα
- 25 + 16	7,52	1083,7	27,49	1452,8	34,7	0,1
- 16 + 8	19,2	3849,2	24,79	1509,2	35,1	0,2
- 8 + 4	28,65	7976,6	24,03	1525	35,2	0,5
- 4 + 2	16,65	10374,5	24,34	1518,6	35,1	0,7
- 2 + 1	9,76	11780,1	24,65	1512,1	35,1	0,8
- 1 + 0.5	6,81	12761,2	25,03	1504,1	35,0	0,8
- 0.5 + 0.3	3,7	13294	25,25	1499,6	35,0	0,8
- 0.3 + 0.105	4,89	13998,2	25,48	1494,7	35,0	0,9
- 0.105	2,82	14405,2	25,54	1493,5	35,0	0,9

ΑΧΛΑΔΑ

Β' ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 3: Αποτελέσματα Βαθμού Ανάκτησης και Βαθμού Αποδοσης
Α.Η.Σ

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος (%)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ/ντος (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμ/ντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (n)	Εε/Εα
- 25 + 16	8,83	1233,5	39,6	1200,3	33,0	0,1
- 16 + 8	27,84	5124,2	38,86	1215,9	33,1	0,4
- 8 + 4	26,74	8861,2	37,85	1236,9	33,3	0,7
- 4 + 2	15,44	11018,9	38,33	1226,8	33,2	0,9
- 2 + 1	8,31	12180	39,17	1209,2	33,1	1,0
- 1 + 0.5	5,68	12974,4	39,9	1194,1	33,0	1,0
- 0.5 + 0.3	2,8	13365,3	40,31	1185,6	32,9	1,1
- 0.3 + 0.105	3,33	13830,6	40,94	1172,5	32,8	1,1
- 0.105	1,03	13974,9	41,2	1166,9	32,8	1,1