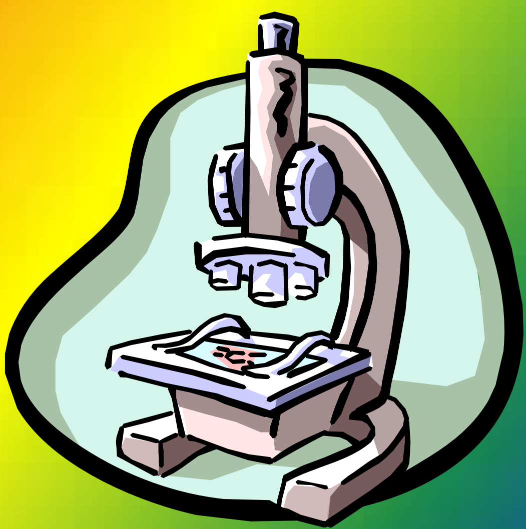
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αναβάθμιση Εξορυσσόμενου Λιγνίτη Πτολεμαΐδας με Φυσικές και Φυσικοχημικές Μεθόδους

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Α. ΚΟΤΤΑΣ



ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:
Επίκουρος Καθ., Δ. Βάμβουκα, Επιβλέπουσα
Αναπληρωτής Καθ., Κ. Καβουρίδης
Αναπληρωτής Καθ., Ηλ. Σταμπολιάδης

ΧΑΝΙΑ
Φεβρουάριος 2005

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

«Αναβάθμιση εξορυσσόμενου λιγνίτη Πτολεμαΐδας με φυσικές και φυσικοχημικές μεθόδους»

Οι στόχοι της ερευνητικής αυτής εργασίας ήταν να εξεταστεί η δυνατότητα παραγωγής αναβαθμισμένης ποιότητας λιγνίτη με φυσικές και φυσικοχημικές μεθόδους. Στο θεωρητικό μέρος της εργασίας, υπάρχει γενική αναφορά στις διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιούνται σήμερα, για την ποιοτική αναβάθμιση λιγνίτη. Ειδικότερη αναφορά γίνεται στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανική κλίμακα από τη Δ.Ε.Η. στην περιοχή Πτολεμαΐδας.

Στο πειραματικό μέρος, η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή της αρχικής θραύσης – κοσκίνησης. Κριτήριο επιλογής αρχικών δειγμάτων ήταν το κατώτερο όριο λειτουργίας των ατμοηλεκτρικών σταθμών (Α.Η.Σ.) της περιοχής Πτολεμαΐδας, σε σχέση με την κατώτερη θερμογόνο δύναμη (Κ.Θ.Δ.) των λιγνιτικών κοιτασμάτων που χρησιμοποιούνται. Με την ολοκλήρωση των εργαστηριακών μετρήσεων και ειδικότερα για το δείγμα με Κ.Θ.Δ. 954 kcal/kg (κατώτερο του ορίου λειτουργίας των Α.Η.Σ. που είναι 1200 – 1300 kcal/kg) επιτυγχάνεται απόληψη υψηλού ποσοστού εμπλουτίσματος (45% - 60%)

Συμπερασματικά, η χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου επιφέρει σημαντικά ποσοστά ποιοτικής αναβάθμισης του λιγνίτη. Επίσης, το γεγονός της ύπαρξης της απαιτούμενης τεχνογνωσίας και η απλοϊκότητα της μεθόδου, δίνουν τη δυνατότητα ανάπτυξης της σε βιομηχανική κλίμακα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την επίκουρο καθηγήτρια κ. Δ. Βάμβουκα Καλουμένου για την ανάθεση του θέματος της διπλωματικής μου εργασίας καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που προσέφερε.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους Αναπληρωτές Καθηγητές κ.κ. Κ. Καβουρίδη και Η. Σταμπολιάδη για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή. Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κ. Καβουρίδη για τις εμπειρίες που αποκόμισα στη θέση εργασίας που εκείνος μου προσέφερε στο Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας.

Ευχαριστώ τον κ. Φρ. Παυλουδάκη, Υπεύθυνο Μηχανικό περιβάλλοντος και αποκατάστασης εδαφών του Λ.Κ.Δ.Μ. για την υποστήριξη και την καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια του πειραματικού μέρους της παρούσας εργασίας, καθώς και την κ. Γρόσου από το Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνας για τη μέγιστη συμβολή της στην ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για όλη την ηθική και οικονομική υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Πίνακας Περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ. 1

ΜΕΡΟΣ Α΄ Περιγραφή Μεθόδων Παραγωγής Αναβαθμισμένης Ποιότητας Λιγνίτη. 5

1. Μέθοδοι Ξήρανσης του Λιγνίτη. 7

1.1. Περιστροφικοί Ξηραντήρες. 11

1.2. Ξήρανση με Ανακυκλοφορία Καυσαερίων. 13

1.3. Ρευστοστερεά κλίνη. 13

1.4. Άλλες Μέθοδοι ξήρανσης. 15

2. Ομογενοποίηση Ποιότητας λιγνίτη. 16

2.1. Παράμετροι Σχεδίασης αυλών ομογενοποίησης. 17

2.2. Παράγοντες που Καθορίζουν τη Σχεδίαση. 17

2.3. Ομογενοποίηση σε Επιμήκεις Σωρούς. 21

2.4. Ομογενοποίηση σε Κυκλικούς Σωρούς. 22

2.5. Αποτελέσματα – Οφέλη Ομογενοποίησης. 24

3. Προσθήκη Ενισχυτικών Καυσίμων. 24

4. Εμπλουτισμός Λιγνίτη με Συμβατικές μεθόδους. 27

4.1. Γενικά. 27

4.2. Χαρακτηριστικά Λιγνίτη που Σχετίζονται με τον Εμπλουτισμό. 28

4.3. Εμπλουτισμός με Διαχωρισμό Βάσει του Ειδικού Βάρους. 33

4.3.1.Υδραυλικός Διαχωρισμός. 33

4.3.2. Διαχωρισμός Βαρέων Διάμεσων. 37

4.4. Εμπλουτισμός με Διαχωρισμό Βάσει Μαγνητικής Επιδεκτικότητας. . . . 44

4.4.1. Διεργασία Magnex. 44

4.4.2. Διεργασία Μαγνητικού Διαχωρισμού Υψηλής Έντασης(HGMS). . . .44

4.5. Εμπλουτισμός Βάσει των Επιφανειακών Ιδιοτήτων. 45

4.5.1. Επίπλευση Αφρού. 45

4.5.2. Συσσωμάτωση με Έλαιο. 61

4.6. Εμπλουτισμός με Διαχωρισμό Βάσει Αλεσιμότητας & Ευθρυπτότητας.63

4.6.1. Εκλεκτική λειοτρίβηση – Κοσκίνηση. 66

ΜΕΡΟΣ Β΄: Εργαστηριακή Μελέτη. 68

1. Γενικά. 68

2. Πειραματικό Μέρος. 72

2.1. Ορισμός Ποιοτικών Χαρακτηριστικών των Δειγμάτων. 72

2.2. Δειγματοληψία. 73

2.3. Επιλογή Αρχικών Δειγμάτων. 75

2.4. Αεροξήρανση. 76

2.5. Αρχική Θραύση σε Σπαστήρα (-3mm). 76

2.6. Κοσκίνηση. 77

2.7. Προσεγγιστική Ανάλυση Κλασμάτων (Proximate Analysis). 78

2.7.1. Υπολογισμός Υγρασίας. 78

2.7.2. Υπολογισμός Τέφρας. 79

2.7.3. Υπολογισμός Διοξειδίου του Άνθρακα (CO_2). 80

2.7.4. Υπολογισμός Θερμογόνου Δύναμης. 80

2.7.5. Αποτελέσματα Μετρήσεων. 82

2.8. Προσδιορισμός Ποιοτικά Αναβαθμισμένων και Υποβαθμισμένων δειγμάτων. 90

2.8.1. Αθροιστική Προσέγγιση Ομαδοποιημένων Κλασμάτων. 91

2.8.2. Εργαστηριακή Επαλήθευση. 94

2.9. Στοιχειακή Ανάλυση Λιγνίτη (Ultimate Analysis). 97

2.10. Πτητικά. 99

2.11. Ανάλυση Τέφρας. 100

2.11.1. Στοιχειακή Ανάλυση Τέφρας. 101

2.11.2. Εμπειρικοί δείκτες υπολογισμού ποιότητας της τέφρας. 103

2.11.3. Ορυκτολογική Ανάλυση Τέφρας. 104

2.12 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων. 105

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ. 110

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στους γονείς μου

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα εισάγει ενέργεια ίση με το 70% των συνολικών ενεργειακών της αναγκών. Το υπόλοιπο 30%, που καλύπτεται από την εγχώρια παραγωγή, έχει ως βασική ενεργειακή πρώτη ύλη τους λιγνίτες. Είναι χαρακτηριστικό ότι την τελευταία 10ετία, ο λιγνίτης χρησιμοποιείται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό που φτάνει το 65% (το φυσικό αέριο κερδίζει έδαφος).

Το γεγονός ότι, ο λιγνίτης ως καύσιμο, υπάρχει σε πολύ μεγάλες ποσότητες και η εξόρυξή του γίνεται σχετικά εύκολα σε υπαίθριες εκμεταλλεύσεις, προσδίδει στα λιγνιτικά κοιτάσματα τεράστια οικονομικοπολιτική σημασία. Επίσης, η δυνατότητα μακροπρόθεσμης πρόβλεψης τις τιμής του και η συμμετοχή του στην περιφερειακή ανάπτυξη της χώρας μας αυξάνουν επιπρόσθετα τη σημασία του, καθιστώντας τον πρωτεύοντα ενεργειακό φυσικό πόρο.

Με τα σημερινά τεχνολογικά και οικονομικά δεδομένα τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη ανέρχονται σε 4,0 δις τόνους περίπου, με ετήσια παραγωγή, που τα τελευταία χρόνια, ξεπερνά τους 70 εκατ. τόνους κατατάσσοντας τη χώρα μας $2^{η}$ στην Ευρωπαϊκή Ένωση και $5^{η}$ στον κόσμο στην κλίμακα των λιγνιτοπαραγωγών χωρών. Έτσι λοιπόν, με τους σημερινούς ρυθμούς εκμετάλλευσης τα λιγνιτικά αποθέματα επαρκούν για ακόμη 40 χρόνια περίπου.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ ο λιγνίτης μαζί με τον λιθάνθρακα καλύπτουν το 70% των διαθέσιμων συμβατικών ενεργειακών πρώτων υλών, η συμμετοχή τους στην παραγωγή ενέργειας είναι μόνο 34%. Αντίθετα, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο με συμμετοχή στα παγκόσμια αποθέματα 30% χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ενέργειας σε ποσοστό 66%. Αυτό, σε συνδυασμό με το ότι τα παγκόσμια αποθέματα ξεπερνούν τα 500 δις τόνους (Αρχεία ΛΚΔΜ), αποδεικνύει ότι και στο μέλλον ο λιγνίτης θα αποτελεί σημαντική και απαραίτητη ενεργειακή πρώτη ύλη.

Στη Δυτική Μακεδονία και ειδικότερα στον άξονα Φλώρινα – Πτολεμαϊδα – Κοζάνη – Ελασσόνα είναι συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο λιγνιτικό δυναμικό της χώρας μας, διαθέτοντας το 65-70% του συνολικού αποθέματος. Ειδικότερα, η εκμετάλλευση λιγνίτη στην ευρύτερη περιοχή Πτολεμαϊδας ανήκει στην αρμοδιότητα του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας (ΛΚΔΜ) που αποτελεί τη μεγαλύτερη Υπηρεσιακή Μονάδα της Δ.Ε.Η.

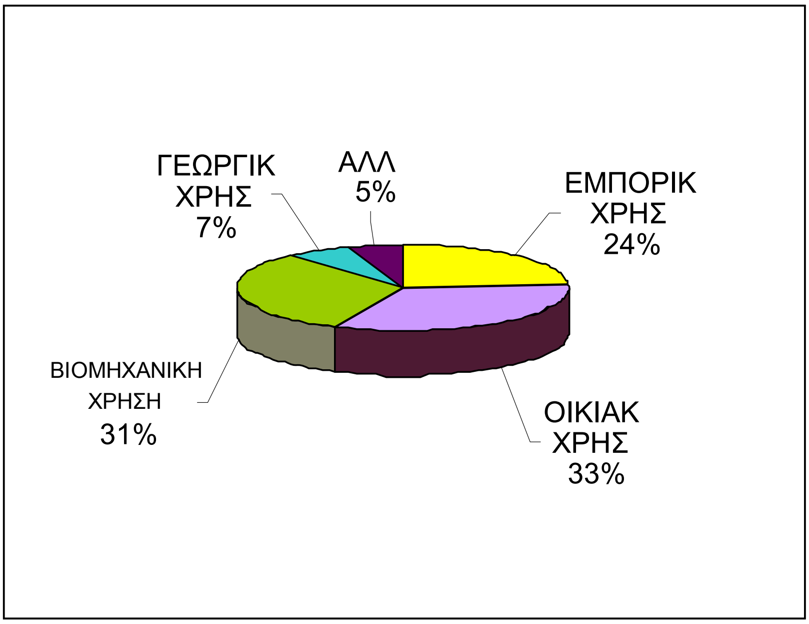
Η διάρθρωση των πεδίων εκμετάλλευσης και των ατμοηλεκτρικών σταθμών (ΑΗΣ) που τροφοδοτούνται από αυτά, καθώς και οι δυνατότητες παραγωγής αυτών αναφέρονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: ΑΗΣ και πεδία εκμετάλλευσης περιοχής Πτολεμαΐδας

ΑΗΣ	**Εγκατεστημένη Ισχύς(MW)**	**Πεδία Εκμετάλλευσης**	**Προγραμματισμένη Παραγωγή (tn/yr)**
ΛΙΠΤΟΛ	43	ΚΥΡΙΟ ΠΕΔΙΟ	7.0
ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	62		
ΚΑΡΔΙΑ	1200	ΠΕΔΙΟ ΚΑΡΔΙΑΣ	15.0
ΑΓΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	1585	ΝΟΤΙΟ ΠΕΔΙΟ	20.0
ΑΜΥΝΤΑΙΟ	600	ΠΕΔΙΟ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	8.0
ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ	**4048**	**ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ**	**50.0**
Νέοι ΑΗΣ (Μέχρι 2005)			
ΦΛΩΡΙΝΑ-ΜΕΛΙΤΗ	330	ΠΕΔΙΟ ΒΕΒΗ-ΑΧΛΑΔΑ	2.3
ΣΥΝΟΛΟ	**4378**	**ΣΥΝΟΛΟ**	**52.3**

Την τελευταία 5ετία η ποσοστιαία συμμετοχή των μονάδων αυτών στην συνολική παραχθείσα ενέργεια του διασυνδεμένου συστήματος κυμάνθηκε από 59% έως 65%.

Η σύνθεση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα φαίνεται στο Σχήμα 1:



Σχήμα 1: Σύνθεση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.

Είναι προφανές, λοιπόν, πόσο σημαντικό ρόλο παίζει για την Ελλάδα η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων λιγνίτη. Είναι γνωστό επίσης ότι η χώρα μας έχει ελλειμματικό ενεργειακό ισοζύγιο και ο λιγνίτης καλύπτει μεγάλο ποσοστό των διαθέσιμων συμβατικών ενεργειακών πρώτων υλών, χωρίς όμως ανάλογη συμμετοχή στην παραγωγή ενέργειας. Έτσι είναι κατανοητή η αναγκαιότητα τεχνολογικής κατεύθυνσης, με προσανατολισμό τη δυνατότητα παραγωγής αναβάθμισης ποιότητας λιγνίτη.

Ο λιγνίτης ως ενεργειακή πρώτη ύλη σε σχέση με το θερμικό του περιεχόμενο θεωρείται χαμηλής ικανότητας, γεγονός που καθιστά ακόμα πιο αναγκαία την προσπάθεια ποιοτικής του αναβάθμισης με συγκεκριμένες μεθόδους εμπλουτισμού.

Χρήση αναβαθμισμένου - εμπλουτισμένου λιγνίτη, ειδικότερα στους ΑΗΣ, βελτιστοποιεί τις συνθήκες καύσης με σημαντική ανακούφιση στον τομέα περιβάλλοντος και προστασίας αυτού. Είναι κατανοητό πως η προστασία του περιβάλλοντος κατέχει εξέχοντα πλέον ρόλο σε οποιαδήποτε βιομηχανική δραστηριότητα, η οποία πρέπει να διέπεται από περιβαλλοντική ευαισθησία.

Η θέση της Ελλάδας στο χώρο των Βαλκανίων, με γνώμονα την προσπάθεια αυτή, που βασίζεται στην ανάπτυξη τεχνογνωσίας προς αυτή την κατεύθυνση, μπορεί να βελτιωθεί, δίνοντας στη χώρα μας τη δυνατότητα να κατέχει πρωτεύοντα ρόλο, σε μια περιοχή όπου το μεγαλύτερο ποσοστό ενεργειακής πρώτης ύλης καλύπτεται από λιγνίτες.

Η προσπάθεια λοιπόν παραγωγής αναβαθμισμένης ποιότητας λιγνίτη δεν είναι μόνο δικαιολογημένη, αλλά απολύτως επιβεβλημένη. Με βάση λοιπόν αυτή την αναγκαιότητα γίνεται στη συγκεκριμένη εργασία μια προσπάθεια, σε εργαστηριακό επίπεδο, παραγωγής αναβαθμισμένης ποιότητας λιγνίτη με συγκεκριμένες διαδικασίες εμπλουτισμού. Εκτιμώντας τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών επιχειρείται μια προσπάθεια αξιολόγησης της επίτευξης του στόχου σε τεχνικό-οικονομικό επίπεδο, καθώς επίσης και οι δυνατότητες μεταφοράς των συγκεκριμένων μεθοδολογιών σε βιομηχανική κλίμακα.

ΜΕΡΟΣ Α΄

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΛΙΓΝΙΤΗ

Ο λιγνίτης ως καύσιμη πρώτη ύλη θεωρείται μέτριας ή και χαμηλής ποιότητας. Επιπλέον, οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται σε ποσοστά τέφρας και υγρασίας, καθώς επίσης και η διαφορετικότητα στη σύσταση των στείρων υλικών των κοιτασμάτων, όπως αυτά συλλέγονται από τα μέτωπα εκμετάλλευσης, δημιουργούν πολλά προβλήματα στη χρήση του λιγνίτη από τους Α.Η.Σ. και ακόμα περισσότερα στην αξιοποίηση του λιγνίτη σε εξωηλεκτρική χρήση, όπου η υψηλή ποιότητα λιγνίτη είναι αναγκαίο στοιχείο.

Ο εξορυσσόμενος λιγνίτης στα πεδία εκμετάλλευσης παρότι παρουσιάζει μέτρια έως χαμηλή ποιότητα, με αρκετές διακυμάνσεις ανάλογα το μέτωπο εξόρυξής του και ως αναφορά τη θερμογόνο του δύναμη ως καύσιμο, στην πλειοψηφία του κυμαίνεται σε υψηλότερο επίπεδο από τον μέσο όρο κατωτέρας θερμογόνου δύναμης (Κ.Θ.Δ) λειτουργίας των Α.Η.Σ. Έτσι θεωρείται ο λιγνίτης ικανότατη καύσιμη πρώτη ύλη, σε σχέση με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Πτολεμαΐδας.

Τα αποθέματα λιγνίτη δεν είναι αστείρευτα. Η μέση ποιότητα λιγνίτη σταδιακά πέφτει και οι διακυμάνσεις της είναι μεγάλες. Υπάρχουν επίσης σημαντικές ποσότητες αποθεμάτων που είναι κάτω από το θερμικό όριο λειτουργίας των Α.Η.Σ και για το λόγο αυτό καταλήγουν σε αποθέσεις. Για εξωηλεκτρική χρήση όπως προαναφέρθηκε, η υψηλή ποιότητα λιγνίτη είναι αναγκαία, περιορίζοντας έτσι τις επιλογές και την ποσότητα του εξορρυσσόμενου λιγνίτη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκεί.

Συμπερασματικά, λοιπόν, η απόκτηση τεχνογνωσίας – τεχνολογίας στον τομέα παραγωγής αναβαθμισμένου ποιοτικά λιγνίτη γίνεται με τον χρόνο όλο και πιο αναγκαία. Αν με κάποιες μεθόδους επιτευχθεί η αναβάθμιση ποιότητας των υπαρχόντων κοιτασμάτων λιγνίτη τα κέρδη θα είναι πολλαπλά.

Η διαδικασία αυτή βέβαια δεν είναι κάτι καινούργιο για τη Δ.Ε.Η. Η αποτελεσματικότητα και το κέρδος από μια τέτοια διαδικασία έγινε γρήγορα κατανοητή και ήδη εδώ και πολλά χρόνια γίνονται σημαντικές προσπάθειες με διάφορες μεθόδους, που σκοπό έχουν να αναβαθμίσουν την ποιότητα του λιγνίτη. Επίσης, υπάρχει διαρκής αναζήτηση στον τομέα των τεχνολογιών και στην απόκτηση τεχνογνωσίας ικανής για την υλοποίηση αυτών των νέων τεχνολογιών. Η διαρκής εκπόνηση ερευνητικών και πιλοτικών προγραμμάτων δείχνει τη σοβαρότητα με την οποία αντιμετωπίζει η Δ.Ε.Η τέτοιες διαδικασίες.

Σήμερα οι τεχνολογικές παρεμβάσεις που προσφέρονται για την αντιμετώπιση του προβλήματος της διακύμανσης της ποιότητας του τροφοδοτούμενου λιγνίτη και για την αποφυγή μείωσης φορτίου των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής, λόγω κακής ποιότητας λιγνίτη, είναι οι εξής:

- **Ομογενοποίηση** της ποιότητας λιγνίτη στις αυλές των ορυχείων και των Α.Η.Σ.
- **Προσθήκη καυσίμων** ενισχυτικών της καύσης στο λέβητα με ειδικό ξηρό λιγνίτη καλής ποιότητας.
- **Ανάμιξη** του λιγνίτη με καύσιμα αναβαθμισμένης ποιότητας.

Η αξιοποίηση των λιγνιτών Πτολεμαϊδας σε εξωηλεκτρικές χρήσεις προϋποθέτει ομοιόμορφη και καλή ποιότητα λιγνίτη, καθώς επίσης και ειδικές απαιτήσεις σε συγκεκριμένες ποιοτικές παραμέτρους (πτητικά, σύσταση τέφρας και καύσιμη ύλης, φυσικοχημικές ιδιότητες κλπ.). Οι τεχνολογικές δυνατότητες παραγωγής των παραπάνω προϊόντων λιγνίτη είναι οι εξής:

- **Ξήρανση** – μπρικετοποίηση (παραγωγή λιγνιτοπλίνθων)
- **Εμπλουτισμός** του λιγνίτη με συμβατικές μεθόδους
- **Εξαερίωση**
- **Εξανθράκωση**

Στη συνέχεια παρουσιάζονται γενικά οι ενέργειες που πραγματοποιούνται από την Δ.Ε.Η για την προπαρασκευή και την αναβάθμιση των λιγνιτικών κοιτασμάτων της λεκάνης Πτολεμαϊδας με την χρήση κάποιων από τις προαναφερθείσες μεθόδους.

1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ

Ποιοτική αναβάθμιση του λιγνίτη μπορεί να επιτευχθεί είτε απομακρύνοντας την υγρασία που συγκρατείται, είτε απομακρύνοντας τις ποσότητες στείρων, μη καύσιμων υλικών που συνυπάρχουν με τον εξορυσσόμενο λιγνίτη. Με την ξήρανση λοιπόν γίνεται μια προσπάθεια επέμβασης στην περιεχόμενη υγρασία, η οποία σε πολύ υψηλά ποσοστά (μπορεί να ανέλθει σε αρκετές περιπτώσεις και στο 60% κ.β.) δημιουργεί προβλήματα, υποβαθμίζοντας ταυτόχρονα την διαδικασία καύσης του λιγνίτη.

Η ξήρανση αποτελεί ίσως τη μοναδική σοβαρή επέμβαση, σε βιομηχανική κλίμακα, ποιοτικής αναβάθμισης του λιγνίτη στη χώρα μας. Επισημαίνεται επίσης, ότι η ξήρανση του λιγνίτη αποτελεί βασικό στάδιο και προϋπόθεση προετοιμασίας του για τις περισσότερες εξωηλεκτρικές χρήσεις του.

Οι περισσότερες από τις διεργασίες προετοιμασίας του λιγνίτη περιλαμβάνουν την προσθήκη σημαντικών ποσοτήτων ύδατος.Αποτέλεσμα αυτού είναι ο κίνδυνος συσσωμάτωσης ή ψύξης, η αύξηση του κόστους μεταφοράς και η μείωση της θερμογόνου δύναμης. Η μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία μπορεί να επιτευχθεί με μηχανικές ή θερμικές διεργασίες. Οι μηχανικές τεχνικές εφαρμόζονται γενικά στην αφυδάτωση, ενώ οι θερμικές εφαρμόζονται στην ξήρανση. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται ώστε να αποφευχθεί ο υπερβολικός βαθμός ξήρανσης καθώς αυξάνεται έτσι ο κίνδυνος αυτογενούς θέρμανσης και ρύπανσης από σκόνη.

- **Μηχανική αφυδάτωση**

Έχουν αναπτυχθεί (Βάμβουκα, Αντιρυπογόνος Χρήσις Γαιανθράκων, 2002) πολλές μηχανικές συσκευές για την αφυδάτωση λιγνιτών διαφόρων μεγεθών. Δονούμενα ή στατικά κόσκινα, καθώς και κάποια ειδικά κόσκινα, χρησιμοποιούνται συχνά για την αφυδάτωση χονδρόκοκκων υλικών, μεγέθους συνήθως μεγαλύτερου από 0,5mm. Όμως για λιγνίτες χαμηλής τάξης, οι συσκευές με τη μεγαλύτερη εφαρμογή είναι οι συσκευές φυγοκέντρισης και τα φίλτρα.

-Φυγοκέντριση

Η αφυδάτωση με φυγοκέντριση βασίζεται σε υψηλές περιστροφικές επιταχύνσεις. Οι βασικοί τύποι οι οποίοι χρησιμοποιούνται είναι οι συσκευές φυγοκέντρισης με διάτρητο κάλαθο, οι συσκευές με δονούμενο κάλαθο και οι συσκευές στερεής λεκάνης.

Οι συσκευές φυγοκέντρισης με διάτρητο κάλαθο έχουν δύο περιστρεφόμενα στοιχεία: ένα εξωτερικό κωνικό σκελετό κόσκινου και ένα στερεό εσωτερικό κώνο με σπειροειδή πτερύγια αναχαίτισης. Ο υγρός λιγνίτης εισέρχεται στην κορυφή του στερεού κώνου, ο οποίος περιστρεφόμενος, τον ωθεί προς το εξωτερικό κόσκινο απ΄όπου διαφεύγει η εμπεριεχόμενη υγρασία. Η δυναμικότητα κατεργασίας φτάνει τους 100tns/h με ποσοστό ανάκτησης που υπερβαίνει το 90%.

Οι συσκευές φυγοκέντρισης δονούμενου κάλαθου μέσω δόνησης προξενούν ροή του λιγνίτη και ταυτόχρονη χαλάρωση αυτού, υποβοηθώντας έτσι την διεργασία αφυδάτωσης. Οι μηχανές αυτές μπορούν να τροφοδοτηθούν με λιγνίτη, με περιεκτικότητα υγρασίας 60% και να διαχειριστούν μέχρι και 350tns/h, δίνοντας τελικό προϊόν επιφανειακής υγρασίας 6% με7%.

Οι συσκευές φυγοκέντρισης στερεής λεκάνης αποτελούνται από δύο περιστρεφόμενα στοιχεία: εξωτερικά μία λεκάνη σχήματος κόλουρου κώνου και εσωτερικά ένας ελικοειδής μεταφορέας που ακολουθεί το περίγραμμα της λεκάνης, περιστρεφόμενος με ελαφρά διαφορετική ταχύτητα. Μέσω φυγοκεντρικών δυνάμεων τα στερεά μεταφέρονται στην πλευρά της λεκάνης με την μικρότερη διάμετρο, ενώ το υγρό ρέει στην άλλη πλευρά του κώνου, από όπου εκρέει (Mc Canolless 1978).

-Διήθηση (φίλτρα)

Τα λεπτά σωματίδια λιγνίτη, μεγέθους μικρότερο του 0,5mm, αφυδατώνονται με χρήση φίλτρων κενού. Ο ρυθμός αφυδάτωσης αυξάνεται ανάλογα με το γινόμενο του εμβαδού της επιφάνειας διήθησης επί την πτώση της πίεσης, ενώ μειώνεται συναρτήσει του ιξώδους του αιωρήματος, της ειδικής αντίστασης της επικάθισης του φίλτρου και του βάρους ανά μονάδα επιφάνειας.

Οι δύο βασικοί τύποι σχεδιασμού φίλτρων είναι τα φίλτρα δίσκου και τα φίλτρα τυμπάνου. Τα φίλτρα δίσκων αποτελούν το 90% του συνόλου των φίλτρων τα οποία βρίσκονται σε χρήση. Είναι ιδιαίτερα πιο οικονομικά από τα φίλτρα τυμπάνου, έχουν μεγάλο εμβαδόν επιφάνειας (μέχρι 400m^2) καταλαμβάνοντας μικρότερο χώρο. Επίσης είναι ευκολότερα στη διαχείριση και στην συντήρησή τους.

- **Θερμική ξήρανση**

Η θερμική ξήρανση είναι μια διεργασία η οποία συνιστάται στην επιτάχυνση της εξάτμισης της επιφανειακής υγρασίας. Εφαρμόζεται κυρίως σε κυκλώματα προετοιμασίας του λιγνίτη, ελαττώνοντας τα επίπεδα υγρασίας σε ένα σημαντικό ποσοστό (Phillips P.J. 1978, Mc Canolless 1978, Hand J.W. 1976).

Υπάρχουν σε χρήση δύο τύποι θερμικών ξηραντών :οι ξηραντές άμεσης και έμμεσης ξήρανσης. Κατά την άμεση ξήρανση τα θερμά αέρια, τα οποία γενικά αποτελούνται από προϊόντα καύσης, έρχονται σε άμεση επαφή με τον υγρό λιγνίτη. Η εξάτμιση της υγρασίας πρέπει να γίνει προσεκτικά έτσι ώστε ούτε ο λιγνίτης να αναφλεγεί, ούτε να αποδεσμεύσει τα πτητικά του, ούτε και να οξειδωθεί.

Οι ξηραντές άμεσης ξήρανσης ταξινομούνται σε ξηραντές: ρευστοστερεάς κλίνης, παράσυρσης, με αεροθυρίδες, κατακόρυφου δίσκου ή κλιμακωτής και συνεχούς μεταφοράς, ή τυμπάνου.

Στους ξηραντές ρευστοστερεάς κλίνης τα σωματίδια ρευστοποιούνται από ένα ρεύμα θερμού αέρα ή αερίου το οποίο περνά δια μέσου της κλίνης. Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτών είναι η μεγάλη δυναμικότητα, ο μεγάλος βαθμός ελέγχου της περιεκτικότητας σε υγρασία του προϊόντος, ο χαμηλός βαθμός αποσύνθεσης του λιγνίτη και η υψηλή θερμική αποδοτικότητα.

Ο ξηραντής αεροθυρίδων προσαρμόζεται στη διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων και εφαρμόζεται σε υλικά τα οποία απαιτούν μικρούς χρόνους κατακράτησης. Αποτελείται από ένα στερεό εξωτερικό κυλινδρικό κέλυφος, το οποίο περιλαμβάνει θυρίδες αέρα σε όλο το μήκος του και ένα εσωτερικό κέλυφος από επικαλυπτόμενες θυρίδες. Κατά τη λειτουργία του, το μέσο μεταφοράς θερμότητας εισάγεται μέσω των ανοιγμάτων των θυρίδων και έρχεται σε στενή επαφή με κάθε σωματίδιο.

Ο ξηραντής τυμπάνου είναι ουσιαστικά ένα περιστρεφόμενο τύμπανο με κλίση περίπου 3mm /m κατά το μήκος του, όπου τα υγρά σωματίδια εισάγονται στη μια άκρη και ο ξηραμένος λιγνίτης εξάγεται από την άλλη. Η ροή των αερίων μπορεί να είναι ίδια ή αντίθετη.

Στην έμμεση θερμική ξήρανση ο λιγνίτης δεν έρχεται ποτέ σε επαφή με το μέσο μεταφοράς θερμότητας(συνήθως θερμό έλαιο, ατμός, θερμό νερό). Τα κύρια πλεονεκτήματα της έμμεσης εναλλαγής θερμότητας είναι ο ακριβής έλεγχος της θερμοκρασίας, η αποτελεσματική ξήρανση των λεπτών σωματιδίων, η αποφυγή κινδύνων έκρηξης και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

- **Ξήρανση με ατμό**

Ο όρος «ξήρανση με ατμό», αναφέρεται στην απομάκρυνση της υγρασίας, η οποία αποβάλλεται κατά την κατεργασία λιγνιτών χαμηλής τάξης, σε σχετικά υψηλές πιέσεις (3MPa),με κορεσμένο ατμό(θερμοκρασίας 230 – 350^{o} C). Κατά την ξήρανση εκλύονται αέρια, λόγω της θερμικής καταστροφής των ομάδων καρβοξυλικών οξέων, οι οποίες παράγουν CO_2 .Ένα μέρος του νερού αφαιρείται χωρίς εξάτμιση σαν υγρό και ένα μέρος εξατμίζεται ακαριαία, όταν το δοχείο το οποίο περιέχει το λιγνίτη αποσυμπιέζεται.

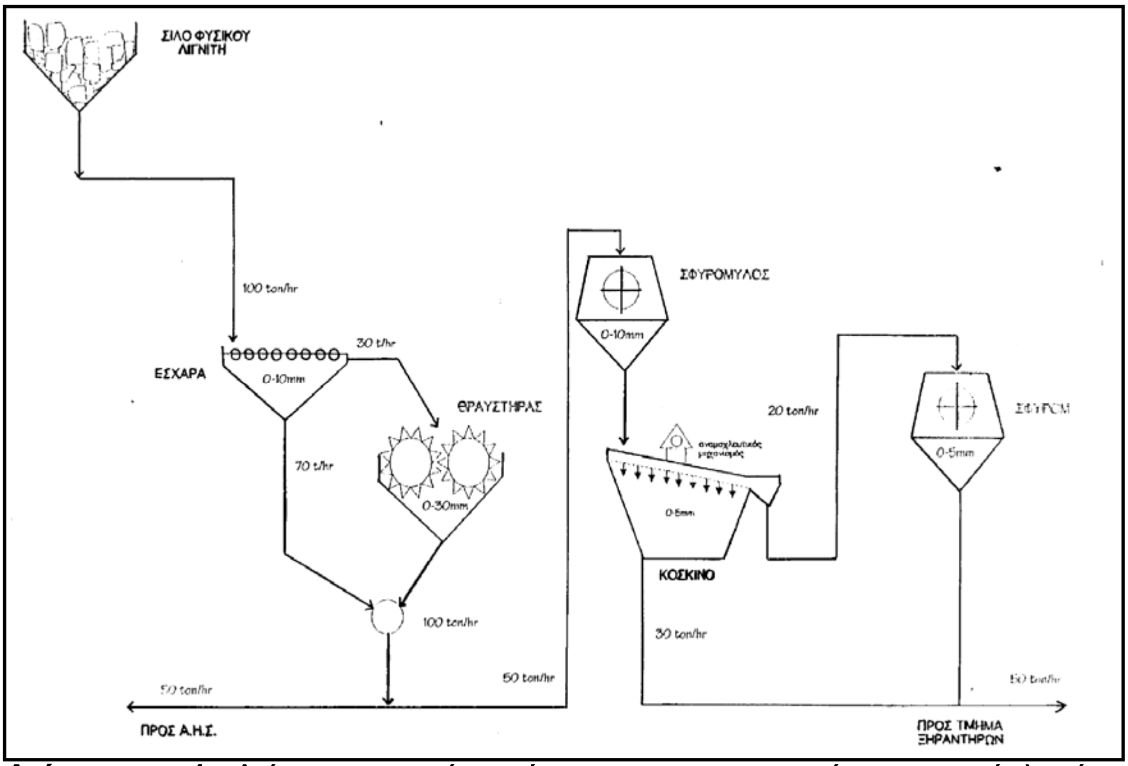
Η επιλογή της μεθόδου ξήρανσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κοκκομετρική σύσταση του τελικού προϊόντος και από τα επιθυμητά ποσοστά υγρασίας. Σήμερα εφαρμόζονται αρκετές μέθοδοι, από τις οποίες ορισμένες είναι δοκιμασμένες και πρωτοποριακές και άλλες βρίσκονται ακόμη στη φάση έρευνας και δοκιμαστικής εφαρμογής. Στη συνέχεια αναφέρονται συγκεκριμένα παραδείγματα ξήρανσης που πραγματοποιούνται από τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ).

1.1 Περιστροφικοί ξηραντήρες

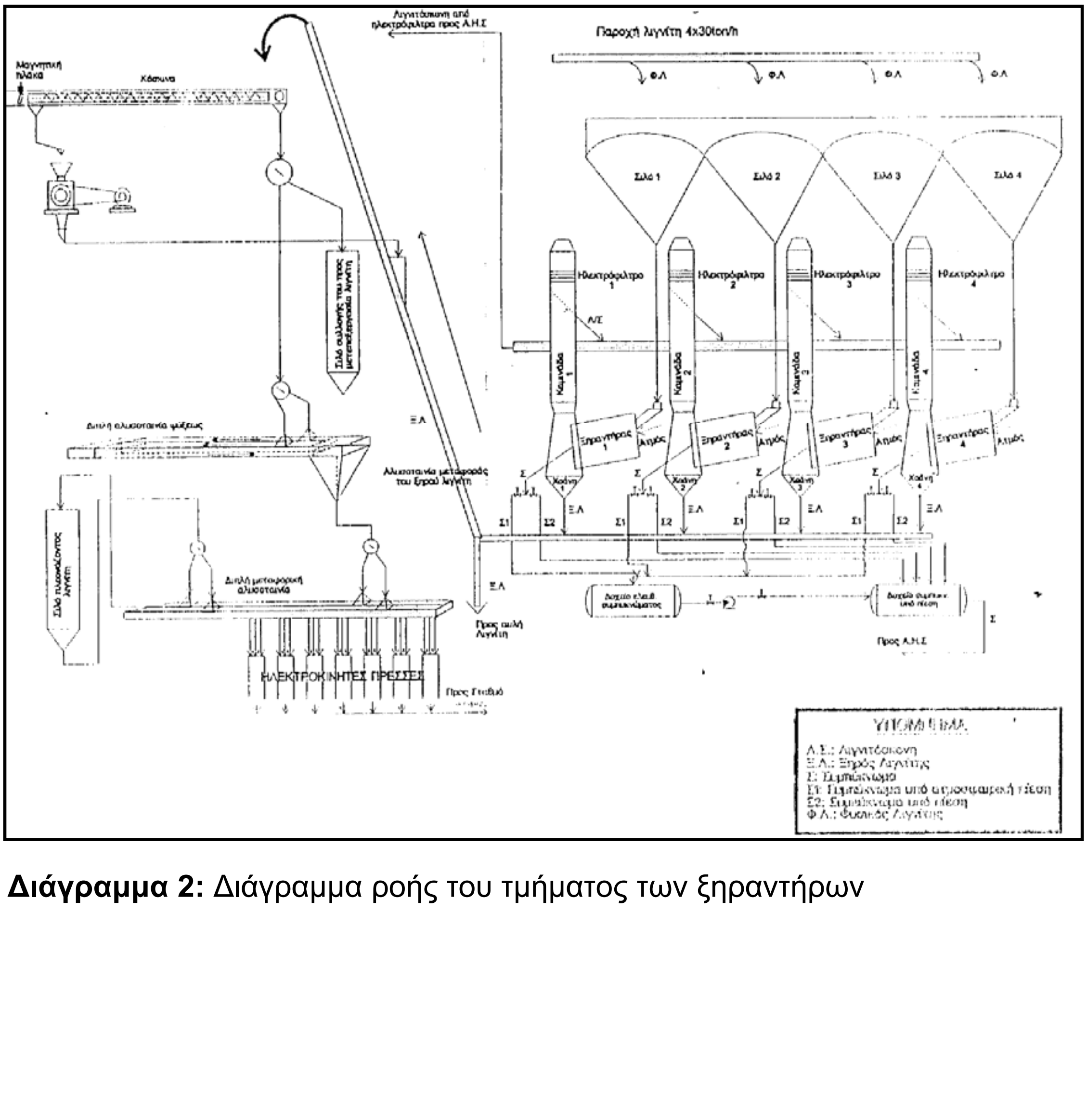
Η χρήση περιστροφικών ξηραντών εμμέσου επαφής είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος ξήρανσης. Ο λιγνίτης με κοκκομετρία -4mm οδεύει μέσα από αυλούς (solids through tubes). Ως μέσο ξήρανσης χρησιμοποιείται ατμός, ο οποίος περιβάλλει εξωτερικά τους αυλούς μέσω του κυλινδρικού κελύφους του ξηραντήρα.

Η μέθοδος αυτή θεωρείται άκρως επιτυχής, με μηδενικές απώλειες υλικού και ενέργειας. Είναι ασφαλής με πολύ καλό έλεγχο της ξήρανσης και ελάχιστα μηχανολογικά προβλήματα. Στηρίζεται σε γερμανικά πρότυπα λειτουργίας και εφαρμόζεται στη χώρα μας με μεγάλη επιτυχία για αρκετά χρόνια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης των περιστροφικών ξηραντήρων είναι το εργοστάσιο παραγωγής λιγνιτοπλίνθων στην Πτολεμαΐδα, όπου η παράλληλη χρήση τεσσάρων τέτοιων ξηραντήρων, διαχειρίζεται επιτυχώς την ξήρανση του φυσικού λιγνίτη, προετοιμάζοντάς τον για την δημιουργία λιγνιτοπλίνθων.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η συνολική επεξεργασία στην οποία υποβάλλεται ο φυσικός λιγνίτης, ώστε να προετοιμαστεί για την παρασκευή λιγνιτοπλίνθων (Αρχεία Εργοστασίου Παρασκευής Λιγνιτοπλίνθων). Το Διάγραμμα 1 παρουσιάζει το ένα από τα δύο πανομοιότυπα συστήματα του τμήματος προκατεργασίας του φυσικού λιγνίτη που λειτουργούν παράλληλα στο συγκεκριμένο εργοστάσιο. Τα δύο αυτά συστήματα είναι υπεύθυνα για τον εφοδιασμό με λιγνίτη του τμήματος των τεσσάρων ξηραντήρων, όπως αυτοί παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 2.



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής τμήματος προκατεργασίας φυσικού λιγνίτη (Στο διάγραμμα απεικονίζεται ένα από τα δύο σκέλη του τμήματος)



Διάγραμμα 2: Διάγραμμα ροής του τμήματος των ξηραντήρων

1.2 Ξήρανση με ανακυκλοφορία καυσαερίων

Στη Δ.Ε.Η., οι κύριες προσπάθειες σε βιομηχανική κλίμακα για την ξήρανση του φυσικού λιγνίτη είναι δύο. Εκτός από την ξήρανση σε περιστροφικούς ξηραντές, που πραγματοποιείται στο εργοστάσιο παρασκευής λιγνιτοπλίνθων όπως αναφέρθηκε, έχουμε ξήρανση φυσικού λιγνίτη και στους Α.Η.Σ με χρήση καυσαερίων.

Από τα σιλό αποθήκευσης ο λιγνίτης οδηγείται με κλειστούς μεταλλικούς τροφοδότες στους σφαιρόμυλους του λέβητα. Οι σφαιρόμυλοι αυτοί είναι ειδικά σχεδιασμένοι για τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη της περιοχής και έχουν τριπλή αποστολή, να αλέθουν, να ξηραίνουν το υλικό και συγχρόνως να το προωθούν στην εστία του λέβητα. Η άλεση αυτή υποβοηθείται με την παρουσία θερμών καυσαερίων που αναρροφώνται από τον χώρο της εστίας και μειώνουν την υγρασία του λιγνίτη καθώς αυτός αλέθεται. Τελικά, το μίγμα σκόνη λιγνίτη + καυσαέρια + υγρασία + αέρας, που επίσης προστίθεται στους σφαιρόμυλους, οδηγείται στους καυστήρες του λέβητα.

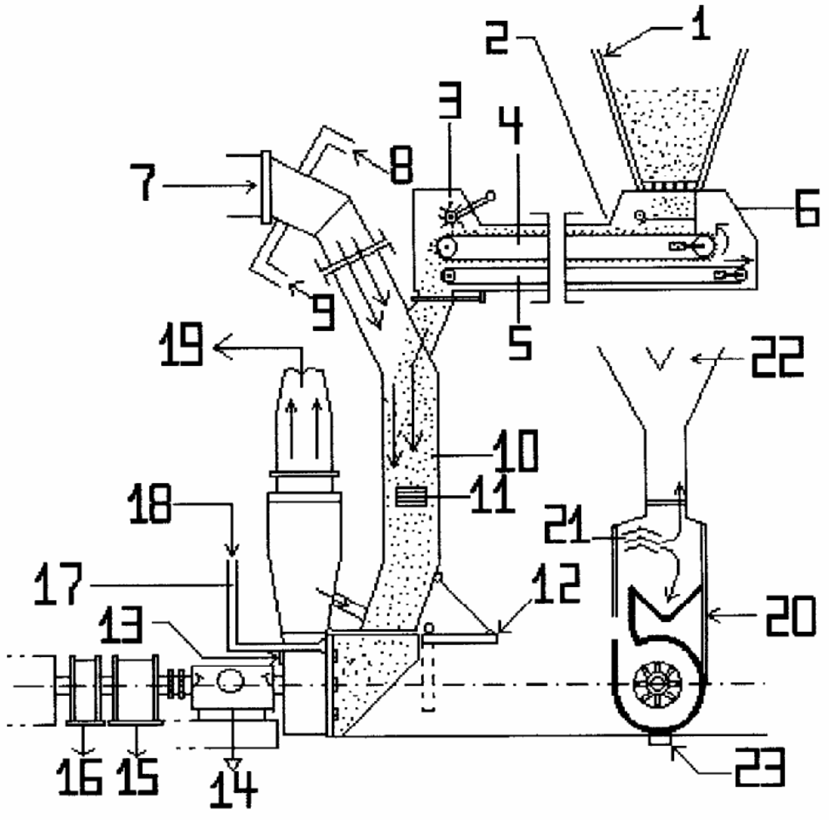
Όπως στην περίπτωση των περιστροφικών ξηραντήρων, έτσι και εδώ είναι απαραίτητη η χρήση ηλεκτροφίλτρων στις καμινάδες για την κατακράτηση των λεπτομερών (ιπτάμενη τέφρα) που παρασύρονται κατά την έξοδο (Αρχεία λειτουργίας Α.Η.Σ. Πτολεμαΐδας).

Στο Διάγραμμα 3 φαίνεται πως επιτυγχάνεται η ξήρανση φυσικού λιγνίτη με ανακυκλοφορία καυσαερίων, όπως αυτή πραγματοποιείται στους Α.Η.Σ.

1.3 Ρευστοστερεά κλίνη

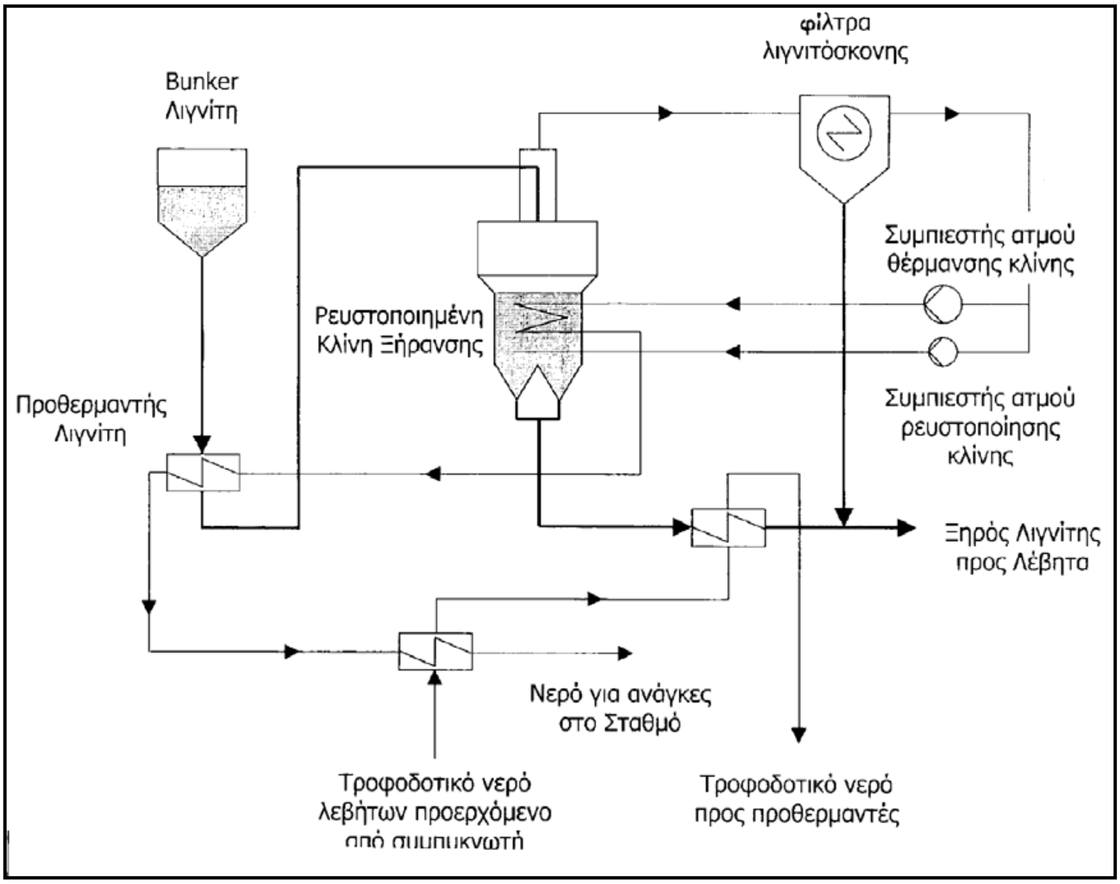
Η ξήρανση του λιγνίτη με κοκκομετρία <6 mm μπορεί να επιτευχθεί σε ρευστοστερεά κλίνη υπό ατμοσφαιρική πίεση, με την βοήθεια θερμών αερίων σε θερμοκρασίες μέχρι και 550^{o} C και θερμοκρασία κλίνης 80-85^{o} C. Ρευστοστερεές κλίνες έχουν δοκιμαστεί για ξήρανση σε μικρής κλίμακας εγκαταστάσεις με θετικό αποτέλεσμα. Η εφαρμογή μιας τέτοιας μεθόδου είναι ιδιαίτερα αποδοτική στις περιπτώσεις που ζητείται παραγωγή προϊόντος με μεγάλη σχετικά κοκκομετρία (40 μm) που είναι κατάλληλο για μεταλλουργικές χρήσεις. Σημαντική διαφορά στην αρχή λειτουργίας της κλίνης είναι ότι μας παρέχει ανακύκλωση και όχι χάσιμο του ατμού της διαφυγούσας υγρασίας από τις καμινάδες στην ατμόσφαιρα, όπως γίνεται στην περίπτωση των περιστροφικών ξηραντήρων (Αρχεία ΛΚΔΜ).

Στο Διάγραμμα 4 φαίνεται πως ξηραίνεται ο φυσικός λιγνίτης σε ρευστοστερεά κλίνη με ανάκτηση της απορριπτόμενης θερμότητας.



1. Σιλό λιγνίτη	13. Συρτάρι ψύξης
2. Σήμανση έλλειψης λιγνίτη	14. Διπλό έδρανο
3. Διασκορπιστής	15. Σύμπλεξη
4. Πλακοταινία	16. Κινητήρας
5. Σαρώτρια	17. Αέρας στεγανοποίησης
6. Τροφοδότης	18. Αέρας καύσης από LUVO
7. Καυσαέρια από εστία	19. Μίγμα προς καύση
8. Dumper θερμού αέρα	20. Τομή μύλου
9. Dumper ψυχρού αέρα	21. Dumpers ανακυκλοφορίας
10. Οχετός ξήρανσης	22. Διαχωριστής
11. Dumper ψυχρού(περιβάλλον)	23. Λεκάνη περισυλλογής αντικειμένων
12. Συρτάρι μύλου	

Διάγραμμα 3: Ξήρανση Λιγνίτη με ανακυκλοφορία καυσαερίων



Διάγραμμα 4: Ξήρανση Λιγνίτη σε ρευστοποιημένη κλίνη με ανάκτηση της απορριπτόμενης θερμότητας (μέθοδος WTA)

1.4 Άλλες μέθοδοι ξήρανσης

Τελευταία, αναπτύσσονται νέες και πιο ριζοσπαστικές μέθοδοι ξήρανσης του λιγνίτη, που έχουν σαν βάση την ξήρανση υπό πίεση σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία.

Η ξήρανση θερμού νερού (Hot Water Drying) συνίσταται στην παρασκευή αιωρήματος αλεσμένου λιγνίτη, που θερμαίνεται σε θερμοκρασία 240^{o} C και υπό πίεση κεκορεσμένου ατμού για λίγα λεπτά της ώρας. Το αιώρημα αποσυμπιέζεται και το νερό απομακρύνεται με μηχανικές μεθόδους.

Η RHEIBRAUN αναπτύσσει αυτή την περίοδο τη μηχανοθερμική μέθοδο ξήρανσης (MTE progress), που φαίνεται ότι έχει σχέση με τη μέθοδο HWD, αφού η ξήρανση γίνεται με προσθήκη ατμού σε αλεσμένο λιγνίτη και απομάκρυνση της υγρασίας από τον λιγνίτη υπό πίεση (Αρχεία ΛΚΔΜ). Η ΔΕΗ έχει δείξει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την συγκεκριμένη μεθοδολογία, καθώς συμμετέχει σε συγκεκριμένο πρόγραμμα ανάπτυξης νέων τεχνολογιών ξήρανσης υπό την χρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

2. ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΛΙΓΝΙΤΗ

Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί (Α.Η.Σ) της περιοχής Πτολεμαΐδας λειτουργούν με όριο ασφαλούς λειτουργίας ένα κατώτερο όριο θερμογόνου δύναμης καυσίμου (Κ.Θ.Δ). Έτσι, για παράδειγμα, στον Α.Η.Σ Αγ. Δημητρίου το όριο αυτό είναι 1150 kcal/kg και για τους Α.Η.Σ Καρδιάς και Πτολεμαΐδας 1300 kcal/kg. Οι ποσότητες όμως λιγνίτη που εξορύσσονται και αποθέτονται στις αυλές των Α.Η.Σ είναι σε ορισμένες περιπτώσεις κατώτερης ποιότητας από το αναμενόμενο όριο, ενώ και οι διακυμάνσεις αυτής είναι σημαντικές. Για να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα και να αποφευχθεί έτσι η δυσλειτουργία και φθορά των καυστήρων των Α.Η.Σ (διαβρώσεις, επικαθίσεις κ.ά.) πραγματοποιούνται ομογενοποιήσεις της ποιότητας του λιγνίτη στις αυλές των Α.Η.Σ ή στις αυλές των ορυχείων, πριν οι ποσότητες αυτές εισέλθουν στους λέβητες για καύση.

Πολλές φορές δημιουργείται σύγχυση για το τι σημαίνουν οι όροι ομογενοποίηση (homogenisation, blending) και ανάμειξη(mixing). Μια γενική περιγραφή του όρου ομογενοποίηση είναι η ακόλουθη: πρόκειται για μία μέθοδο κατά την οποία μερικές στρώσεις υλικού με κυμαινόμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά αποτίθενται σε ένα σωρό με τέτοιο τρόπο, ώστε εφαρμόζοντας στη συνέχεια τεχνικές ανάκτησης του υλικού, να επιτυγχάνεται η ταυτόχρονη λήψη υλικού από διαφορετικές στρώσεις, άρα και με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά, προσδίδοντας στο τελικό προϊόν που ανακτάται ποιότητα που προσεγγίζει τη μέση ποιότητα των στρώσεων. Αντίθετα, ανάμειξη θεωρείται η προσθήκη διαφορετικών ως προς την ποιότητα ή την προέλευση τους καυσίμων εντός της ποσότητας του κύριου καυσίμου που τροφοδοτεί το συγκεκριμένο ΑΗΣ. Ανάμειξη, για παράδειγμα, μπορεί να θεωρηθεί η απόληψη λιγνίτη και ξυλίτη με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά, από δύο διαφορετικούς σωρούς και η μείξη των δύο αυτών υλικών σε τέτοιες αναλογίες, ώστε το παραγόμενο μείγμα που τελικά τροφοδοτείται στον ΑΗΣ να έχει τα επιθυμητά ποιοτικά χαρακτηριστικά.

Όταν το καύσιμο προέρχεται από πολλά διαφορετικά ορυχεία και οι μεταβολές στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του είναι μεγάλες, τότε η ομογενοποίηση είναι η πλέον αποτελεσματική μέθοδος.

Απόδοση της ομογενοποίησης ορίζεται ο λόγος της μέσης τιμής ενός ποιοτικού χαρακτηριστικού του λιγνίτη πριν την απόθεση στο σωρό, προς τη διακύμανση του ίδιου ποιοτικού χαρακτηριστικού μετά την ανάκτηση υλικού από το σωρό.

2.1 Παράμετροι σχεδίασης αυλών ομογενοποίησης

Πρωταρχικός στόχος κατά τη σχεδίαση μίας αυλής λιγνίτη, που αποσκοπεί στην επίτευξη υψηλών βαθμών ομογενοποίησης, είναι ο προσδιορισμός των ακόλουθων παραμέτρων:

- Μήκος και πλάτος του κάθε σωρού, μεγέθη που προσδιορίζουν τη χωρητικότητα του σωρού.
- Αριθμός στρώσεων από τις οποίες αποτελείται ο κάθε σωρός.
- Ποσότητα λιγνίτη που αποτίθεται σε κάθε στρώση.
- Ποσότητα λιγνίτη που ανακτάται σε κάθε κίνηση του απολήπτη που τροφοδοτεί τον ΑΗΣ.
- Θέση του απολήπτη ως προς το σωρό.

Ο προσδιορισμός των παραπάνω λειτουργικών παραμέτρων έχει ως απώτερο στόχο τη μείωση των δικυμάνσεων ποιότητας εντός της κάθε τομής του σωρού και τη μείωση των διακυμάνσεων των μέσων ποιοτήτων των διαδοχικών τομών του σωρού.

2.2 Παράγοντες που καθορίζουν τη σχεδίαση αυλών ομογενοποίησης

Για το βέλτιστο προσδιορισμό των παραμέτρων σχεδίασης, οι ακόλουθοι παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

- Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά καυσίμου του τροφοδοτούμενου ΑΗΣ.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά εμπίπτουν στις ισχύουσες προδιαγραφές. Αυτές συνήθως αφορούν περισσότερες από μία ποιοτικές παραμέτρους (τέφρα, υγρασία, θείο, θερμογόνο δύναμη και την περιεκτικότητα της τέφρας σε συγκεκριμένα στοιχεία).

- Ο βαθμός ομογενοποίησης που πρέπει να επιτευχθεί.

Έχει σχέση με τα χαρακτηριστικά του λιγνίτη στην είσοδο και την έξοδο του συστήματος ομογενοποίησης, όπως αυτά εκφράζονται με στατιστικές προσεγγίσεις.

Η γωνία φυσικού πρανούς, η κοκκομετρία, η συγκολλητικότητα, κλπ, είναι μερικά στοιχεία που επηρεάζουν το σχεδιασμό και τη λειτουργία της αυλής και την απόδοση της ομογενοποίησης.

- Η διαθεσιμότητα της έκτασης της γης που απαιτείται για την κατασκευή της αυλής και η μορφολογία του εδάφους σε σχέση με την πιθανή γεωμετρία της αυλής.

Η επιφάνεια της αυλής πρέπει να είναι απόλυτα επίπεδη, με ελαφρά κλίση για την αποστράγγιση των νερών της βροχής. Όπου δεν είναι διαθέσιμη επίπεδη έκταση εκτελούνται εργασίες για τη διαμόρφωσή της, επιβαρύνοντας το κόστος κατασκευής της αυλής. Σε πολλές περιπτώσεις προβλέπεται η ύπαρξη επιπλέον αποθηκευτικού χώρου (dead storage) για την αντιμετώπιση εκτάκτων καταστάσεων. Σημαντική είναι και η δυνατότητα εύκολης επέκτασης της αυλής στο μέλλον.

- Οι μηχανικές ιδιότητες του εδάφους.

Πρέπει να ενισχύεται η ικανότητα του εδάφους να φέρει τα φορτία που αναμένονται να ασκηθούν λόγω της απόθεσης. Σε πολλές περιπτώσεις είναι απαραίτητη η ξήρανση του εδάφους ή η διάστρωση αδρανών υλικών και σκυροδέματος, ιδιαίτερα στα σημεία που κινούνται τα μηχανήματα απόθεσης και απόληψης του λιγνίτη.

- Οι κλιματολογικές συνθήκες.

Κατά περιόδους η θερμοκρασία πέφτει στους 25-30^{0}C υπό του μηδενός. Έτσι, ο εξοπλισμός της αυλής πρέπει να κατασκευάζεται από χάλυβα ανθεκτικό σε χαμηλές θερμοκρασίες. Επιπλέον, πρέπει να έχει προβλεφθεί αύξηση της απαιτούμενης δύναμης κοπής από το σωρό, λόγω του σχηματισμού πάγου.

- Η μέθοδος και ο εξοπλισμός ομογενοποίησης.

Κάθε αυλή ομογενοποίησης διαφέρει από τις υπόλοιπες ως προς τις ποσότητες και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υλικών που διαχειρίζεται και τον τρόπο με τον οποίο διασυνδέεται, τόσο με το ορυχείο και τους υπόλοιπους προμηθευτές υλικών, όσο και με τον ΑΗΣ και οποιονδήποτε άλλο πελάτη της. Έτσι έχουν αναπτυχθεί στην πράξη διαφορετικές μέθοδοι και τεχνικές για την απόθεση-απόληψη υλικών σε σωρούς, καθώς και διαφορετικού τύπου και μεγέθους μηχανολογικός εξοπλισμός.

- Η ανάγκη ταυτόχρονης απόθεσης και απόληψης λιγνίτη.

Εξαρτάται από τον τύπο και τον αριθμό των εγκατεστημένων μηχανημάτων.

- Η αντιμετώπιση του προβλήματος της διαφοροποίησης της κοκκομετρίας του λιγνίτη που συσσωρεύεται στη βάση ενός σωρού από την κοκκομετρία του λιγνίτη που παραμένει στην κορυφή του σωρού.

Η διαφοροποίηση αυτή συμβαίνει όταν η μέση ποιότητα του χονδρομερούς υλικού, η οποία συγκεντρώνεται στη βάση του σωρού, διαφέρει από τη μέση ποιότητα των λεπτομερών υλικών, τα οποία παραμένουν κοντά στην κορυφή του σωρού. Η διαφοροποίηση είναι εντονότερη όταν η απόθεση γίνεται σε σχετικά λεπτές στρώσεις, σε σύγκριση με την κοκκομετρία του λιγνίτη. Ύπαρξη χονδρομερών υλικών συνεπάγεται αύξηση της απαιτούμενης δύναμης κοπής του λιγνίτη από το σωρό.

- Η αντιμετώπιση του κινδύνου αυτανάφλεξης των σωρών λόγω αύξησης της θερμοκρασίας

Επιτυγχάνεται με τη μείωση του ύψους των σωρών, τη συμπίεση του λιγνίτη μετά την απόθεσή του και την εξάλειψη τυχόν προβλημάτων εκλεκτικής συγκέντρωσης των χονδρομερών υλικών στη βάση του σωρού.

- Η εγκατάσταση συστημάτων on-line παρακολούθησης της ποιότητας του λιγνίτη στην είσοδο ή / και στην έξοδο της αυλής ομογενοποίησης.

Είναι πολύ σημαντική η λειτουργία τέτοιων συστημάτων, ειδικά σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν εναλλακτικές πηγές πληροφόρησης, σχετικά με την ποιότητα λιγνίτη που παραλαμβάνεται σε μία αυλή ομογενοποίησης.

- Η αυτοματοποίηση της λειτουργίας της αυλής.

Αποσκοπεί στη βέλτιστη σχεδίαση της εγκατάστασης και την παρακολούθηση της λειτουργίας του συστήματος ομογενοποίησης. Δίνει πληροφορίες για τον προσδιορισμό των οικονομικότερων συνθηκών λειτουργίας του διαθέσιμου εξοπλισμού, προκειμένου να επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός ομογενοποίησης.

- Η αναγκαιότητα κατασκευής στεγασμένης αυλής λιγνίτη.

Απαιτείται για την αποφυγή σκονισμού της γύρω από την αυλή περιοχής, ειδικά κοντά σε κατοικημένες περιοχές.

- Η μέθοδος τροφοδότησης των μύλων των ΑΗΣ.

Μπορεί να γίνει άμεσα από την αυλή ή με την παρεμβολή συστήματος σπαστήρων για περαιτέρω μείωση της κοκκομετρίας.

- Η εξάλειψη της ανάγκης εγκατάστασης συστήματος αποθείωσης των καυσαερίων του τροφοδοτούμενου ΑΗΣ.

Η εφαρμογή ενός προγράμματος ομογενοποίησης μπορεί να συμβάλλει στη μείωση των διακυμάνσεων της περιεκτικότητας του λιγνίτη σε θείο, εξαλείφοντας με αυτό τον τρόπο παροδικές υπερβάσεις του ορίου εκπομπών SO_2.

- Οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί.

Η συμμόρφωση με τα ισχύοντα όρια εκπομπών επιβάλλει τον έλεγχο των ποιοτικών παραμέτρων του λιγνίτη, που συνδέονται άμεσα με τις εκπομπές σωματιδίων και SO_2 , καθώς και τον έλεγχο των επιπτώσεων άλλων ποιοτικών παραμέτρων στη σωστή λειτουργία των συστημάτων δέσμευσης των εκπομπών.

- Οικονομικοί παράγοντες.

Στην αυλή ομογενοποίησης εισάγονται επιπλέον λειτουργικά κόστη και κατά συνέπεια επιβαρύνεται το κόστος ηλεκτροπαραγωγής.

Υπάρχουν δύο βασικοί μέθοδοι σχηματισμού σωρών στις αυλές ομογενοποίησης: οι επιμήκεις σωροί και οι κυκλικοί.

2.3 Ομογενοποίηση σε επιμήκεις σωρούς

Στη μέθοδο αυτή οι διαδικασίες απόθεσης και απόληψης λιγνίτη είναι διακριτές. Έτσι, απλούστερα η αυλή διαιρείται σε 2 τομείς: στον ένα έχουμε δημιουργία σωρού απόθεσης και στον άλλο έχουμε ταυτόχρονη απόληψη λιγνίτη από ένα ήδη σχηματισμένο σωρό (Εικόνα 1).

Εικόνα 1: ΕΠΙΜΗΚΗΣ ΣΩΡΟΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΛΙΓΝΙΤΗ (Λιγνιτορυχεία Η.Π.Α.)

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι απόθεσης λιγνίτη σε επιμήκεις σωρούς. Στην περίπτωση που απαιτείται υψηλός βαθμός ομογενοποίησης χρησιμοποιείται η μέθοδος Chevron. Κατά τη μέθοδο αυτή ο λιγνίτης αποτίθεται συνεχώς κατά μήκος του διαμήκη άξονα του σωρού, έτσι ώστε να σχηματίζεται ένας συνεχώς αυξανόμενος σωρός τριγωνικής διατομής. Η μέθοδος Chevron χαρακτηρίζεται από έντονο διαχωρισμό των σωματιδίων που αποτίθενται, ανάλογα με το μέγεθός τους. Λόγω βαρύτητας τα μεγαλύτερα σωματίδια κινούνται προς τη βάση και τις εξωτερικές πλευρές του σωρού, ενώ τα μικρότερα συγκεντρώνονται στην κορυφή και το εσωτερικό του σωρού.

Η μέθοδος Windrow, αποτελεί μια επίσης ευρύτατα χρησιμοποιούμενη μέθοδο, κατά την οποία ο σωρός αναπτύσσεται με το σχηματισμό διαδοχικών στρώσεων λιγνίτη τριγωνικής διατομής κατά το συνολικό μήκος του σωρού. Έτσι αντιμετωπίζεται με επιτυχία το πρόβλημα διαχωρισμού χονδρομερών και λεπτομερών σωματιδίων στη βάση και στην κορυφή του σωρού.

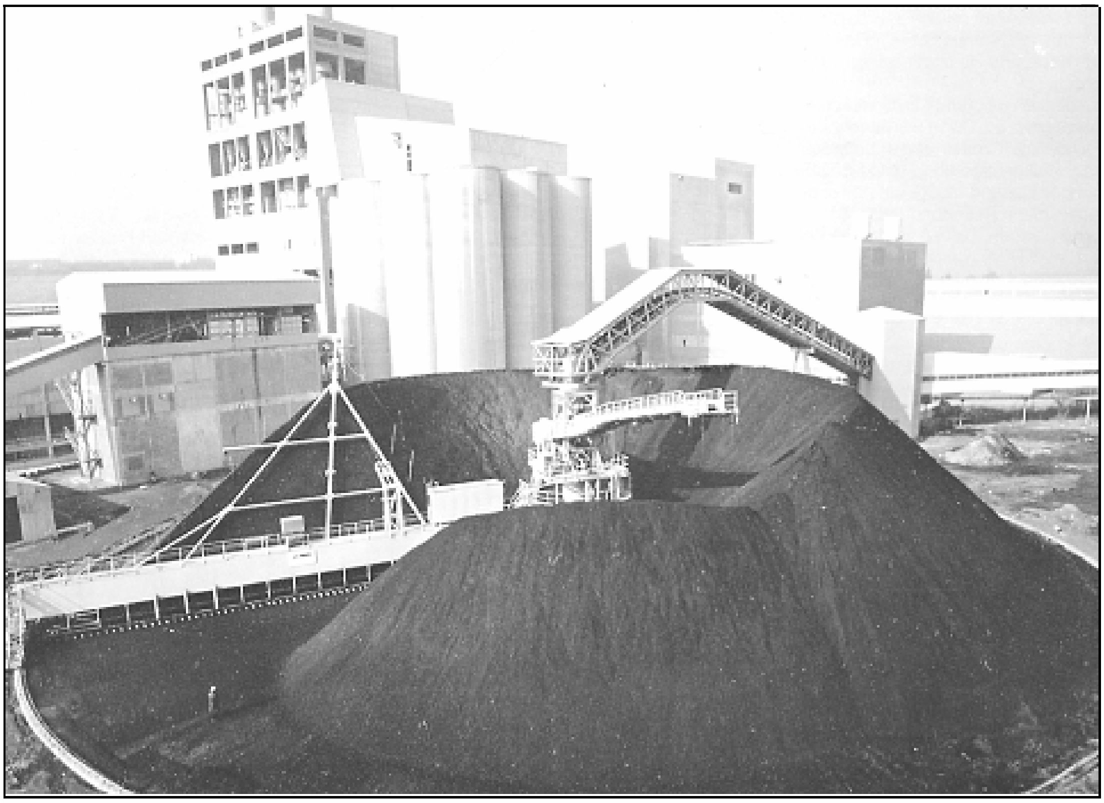
Η μέθοδος απόθεσης κωνικών σωρών είναι εκείνη που χρησιμοποιείται στις περισσότερες αυλές λιγνίτη. Όμως, ο βαθμός ομογενοποίησης που επιτυγχάνεται είναι σημαντικά χαμηλότερος, σε σχέση με τις μεθόδους που προαναφέρθηκαν. Ο σχηματισμός του σωρού απαιτεί μια απλή διαδρομή του αποθέτη από το ένα άκρο προς το άλλο.

Εκτός από τις μεθόδους απόθεσης του λιγνίτη σε σωρούς, αξίζει επίσης να γίνει μια αναφορά στους τρόπους με τους οποίους οι επιμήκεις σωροί είναι δυνατόν να διαταχθούν:

- Διάταξη σωρών σε σειρά
- Διάταξη σωρών παράλληλα
- Διάταξη σωρών σε σειρά και παράλληλα

2.4 Ομογενοποίηση σε κυκλικούς σωρούς

Με τη μέθοδο αυτή η διαδικασία απόθεσης και απόληψης στους σωρούς είναι συνεχής και ταυτόχρονη. Προσομοιώνεται με βάση τον υπολογισμό του κυλιόμενου μέσου όρου της Κ.Θ.Δ του λιγνίτη, που παρέχεται από το ορυχείο, εξασφαλίζοντας σταθερή και ελεγχόμενη ποιότητα λιγνίτη. Η απόθεση και η απόληψη γίνεται ταυτόχρονα, από διαφορετικά μηχανήματα, στα δύο άκρα του σωρού. Ο αποθέτης κινείται μπροστά – πίσω σε ένα τόξο γωνίας συνήθως 120 μοιρών, με βήμα προχώρησης περίπου 0,5 μοίρες, σχηματίζοντας διαδοχικά στρώματα λιγνίτη (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: ΚΥΚΛΙΚΟΣ ΣΩΡΟΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΛΙΓΝΙΤΗ (Λιγνιτορυχείο Η.Π.Α.)

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής συνοψίζονται παρακάτω:

- Επίτευξη υψηλού βαθμού ομογενοποίησης σε συνεχή λειτουργία.
- Αποφυγή προβληματικής λειτουργίας του συστήματος στις απολήξεις των σωρών.
- Βέλτιστη αξιοποίηση του διαθέσιμου χώρου.
- Πλήρως αυτοματοποιημένη λειτουργία, χωρίς ανάγκη για τακτική αλλαγή του σωρού εργασίας
- Χαμηλότερο κόστος αρχικής επένδυσης σε σχέση με τους επιμήκεις.
- Χαμηλότερο κόστος στέγασης της αυλής .
- Χαμηλότερο λειτουργικό κόστος, με χρήση απολήπτη τύπου γέφυρας με αποξεστήρες, λόγω συνεχούς λειτουργίας.

2.5 Αποτελέσματα – Οφέλη Ομογενοποίησης.

Τα σημαντικότερα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή ομογενοποίησης είναι:

- Μεγιστοποίηση απόδοσης μονάδας
- Μείωση κόστους συντήρησης μονάδων
- Μείωση των βλαβών του εξοπλισμού
- Αύξηση χρόνου ζωής του εξοπλισμού
- Βελτίωση της απόδοσης του συστήματος καύσης
- Μείωση των απωλειών θερμότητας και αύξηση του βαθμού απόδοσης του ΑΗΣ.
- Μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Μείωση ρύπανσης (fouling) και επικαθήσεων (slagging) στους καυστήρες.

Η ομογενοποίηση είναι έμμεσος τρόπος αναβάθμισης ποιότητας του λιγνίτη. Δεν επεμβαίνει, ως μέθοδος, σε αυτή καθ' αυτή τη σύσταση του λιγνίτη, μειώνοντας έτσι το ποσοστό υγρασίας και ανόργανης ύλης, αλλά αναμιγνύει διαφορετικής ποιότητας λιγνίτες, εξαλείφοντας το πρόβλημα ύπαρξης φτωχών κοιτασμάτων, μη ικανών για καύση. Εξομαλύνονται οι διακυμάνσεις στην ποιότητα του λιγνίτη, δίνοντας καύσιμο προϊόν ικανής θερμογόνου δύναμης για χρήση από τους καυστήρες των Α.Η.Σ.

Το σύστημα ομογενοποίησης λειτουργεί μέχρι σήμερα αποτελεσματικότατα, καθώς υποβάλλεται σε συνεχείς και διαρκείς ελέγχους της ποιότητας των λιγνιτικών κοιτασμάτων που αποθέτονται στις αυλές των Α.Η.Σ.

3. ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Ο σχεδιασμός του συστήματος καύσης των λέβητων, η διάταξη των θερμαινόμενων επιφανειών, η αλεστική ικανότητα των μύλων, ο σχεδιασμός των ηλεκτροστατικών φίλτρων και πλήθος άλλων σχεδιαστικών παραμέτρων βασίζονται στα χαρακτηριστικά του λιγνίτη, στη θερμογόνο δύναμή του και γενικά στις φυσικοχημικές του ιδιότητες.

Κατά τα χρόνια λειτουργίας των μονάδων της Πτολεμαΐδας παρουσιάστηκαν προβλήματα σε ότι αφορά τη μέγιστη προδιαγραμμένη επιτεύξιμη ισχύ, καθώς και προβλήματα υπερβάσεως θερμοκρασιών, ικανότητας αλέσεως κ.ά., που είχαν σημαντικές επιπτώσεις στη διαθεσιμότητα των μονάδων. Οι επιπτώσεις δε αυτές επιδεινώνονταν με την σταδιακή μείωση της μέσης ποιότητας του λιγνίτη, με αποτέλεσμα οι μονάδες των 300 MW να λειτουργούν συχνά με μειωμένη ισχύ.

Έτσι λοιπόν εκτός από την ομογενοποίηση ποιότητας λιγνίτη που εφαρμόζεται στις αυλές των πεδίων εκμετάλλευσης και των ΑΗΣ, έχει καθιερωθεί η ταυτόχρονη συμμετοχή στην καύση ενισχυτικών υλικών υψηλής θερμογόνου δύναμης (λιθάνθρακας, ξυλίτης, λιγνιτόσκονη, πετρέλαιο κ.ά.) κατορθώνοντας έτσι την επίτευξη μέγιστου βαθμού απόδοσης των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικά σε περιπτώσεις επανέναρξης λειτουργίας των καυστήρων (μικρή παύση λειτουργίας για λόγους συντήρησης) και σε περιπτώσεις συνεχιζόμενων χρήσεων χαμηλής ποιότητας λιγνίτη, η συμμετοχή ενισχυτικών καυσίμων στη διαδικασία της καύσης είναι απαραίτητη.

Τα προϊόντα της καύσης είναι:

- **Καυσαέρια:** των οποίων τα συστατικά είναι άζωτο, διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου και διοξείδιο του άνθρακα.

- **Ιπτάμενη τέφρα:** αυτή αποτελείται από τα ανόργανα συστατικά του λιγνίτη που συμπαρασύρονται με τα καυσαέρια. Συλλέγεται από ηλεκτροστατικά φίλτρα πριν τα καυσαέρια αποδοθούν στην ατμόσφαιρα μέσω της καμινάδας σε ποσοστό 99,9%.

- **Υγρή τέφρα:** ένα ποσοστό των ανόργανων συστατικών, μαζί με τον λιγνίτη που δεν έχει καεί, δεν παρασύρονται από τα καυσαέρια και λόγω βαρύτητας συγκεντρώνονται στο κάτω μέρος του λέβητα, πάνω σε σχάρα. Στη σχάρα αυτή συμπληρώνεται η καύση, ώστε να επιτυγχάνεται περαιτέρω μείωση του ποσοστού ακαύστων και επομένως αύξηση του βαθμού απόδοσης του λέβητα. Κάτω από τη σχάρα υπάρχει τεφρολεκάνη η οποία είναι πλήρης ύδατος. Μέσα στη λεκάνη αυτή γίνεται ενυδάτωση των τεμαχίων αυτών που αποτελούν την υγρή τέφρα.

Τα ενισχυτικά καύσιμα, με τις ιδιαίτερες φυσικοχημικές τους ιδιότητες το καθένα, επηρεάζουν τις συνθήκες και τα αποτελέσματα της καύσης. Σε παλαιότερες μελέτες για μικτή καύση λιγνίτη – ξυλίτη παρατηρήθηκαν τα εξής φαινόμενα:

1. Επηρεασμός του συστήματος αποκομιδής της υγρής τέφρας, λόγω της αυξημένης ποσότητας αυτής. Αυξημένη φθορά και μείωση των ωρών λειτουργίας των στροφείων των μύλων, καθώς και μείωση του συντελεστή ευθρυπτότητας GI του καυσίμου, ανάλογα με τη συμμετοχή του ξυλίτη σε αυτό, με αποτέλεσμα την ανεπαρκή κονιοποίηση αυτού.

2. Αύξηση των θερμοκρασιών σε όλα τα επίπεδα του λέβητα και αύξηση της τάσης ρύπανσης, που σε συνδυασμό επιδεινώνουν την κατάσταση λειτουργίας των ΑΗΣ.

3. Αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων, καθώς και αύξηση της ποσότητας των άκαυστων στην υγρή και ιπτάμενη τέφρα, όταν ο ξυλίτης ευρίσκεται σε υψηλά ποσοστά, φαινόμενα που επηρεάζουν άμεσα τον βαθμό απόδοσης του λέβητα.

Όσο αφορά δε την ρύπανση του περιβάλλοντος, αναμένεται μικρή αύξηση των εκπομπών NO_X, λόγω της αύξησης των θερμοκρασιακών πεδίων στην εστία, ενώ δεν αναμένεται σημαντική αύξηση εκπομπών SO_2, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας της ιπτάμενης τέφρας σε CaO.

Με βάση τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι, η χρήση ενισχυτικών καυσίμων λειτουργεί θετικά ως προς την αύξηση του θερμικού περιεχομένου του συνολικού καυσίμου, όμως αλόγιστη χρήση πιθανότατα επιφέρει τα αντίθετα από τα προσδοκώμενα αποτελέσματα. Ο συνολικός μηχανολογικός εξοπλισμός θα πρέπει να συμφωνεί με τις εκάστοτε προδιαγραφές μικτής καύσης, ώστε να καλύπτει τα συγκεκριμένα ποιοτικά δεδομένα χωρίς φθορές. Επίσης, θεωρείται απαραίτητη η οικονομική μελέτη κόστους εγκατάστασης του ενισχυμένου εξοπλισμού. Το κόστος αυτό δεν πρέπει να ξεπερνά τα προσδοκώμενα οφέλη από την ποιοτική αναβάθμιση του καυσίμου.

4. ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΛΙΓΝΙΤΗ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

4.1. Γενικά

Η ανάγκη για βελτίωση της ποιότητας του λιγνίτη οδήγησε σταδιακά στην εφαρμογή διαφόρων τεχνικών εμπλουτισμού, οι οποίες, ανάλογα με τις ιδιότητες του εφαρμοσμένου προϊόντος και τις ανάγκες τροφοδοσίας των μονάδων εκμετάλλευσης, προσφέρουν ένα ποιοτικά αναβαθμισμένο προϊόν. Οι τεχνικές αυτές είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν από μόνες τους ή σε συνδυασμό με άλλες, προσφέροντας έτσι σε κάθε περίπτωση λιγνίτη με συγκεκριμένα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, ικανά να δώσουν τη μέγιστη απόδοση σε διεργασίες καύσης ή μετατροπής του λιγνίτη.

Οι διεργασίες προετοιμασίας, οι οποίες συμπεριλαμβάνουν την θραύση και τον διαχωρισμό των μεγεθών, οδηγούν στην αποδέσμευση του λιγνίτη από ανεπιθύμητες προσμίξεις και προσφέρουν κατανομές μεγεθών σωματιδίων, που είναι οι πλέον κατάλληλες για τη χρήση συγκεκριμένων κυκλωμάτων ποιοτικής αναβάθμισης. Έτσι λοιπόν, είναι φανερό ότι για κάθε διαδικασία εμπλουτισμού που ακολουθείται σήμερα, είναι αναγκαία μια συγκεκριμένη προεπεξεργασία του λιγνίτη που προωθείται προς ποιοτική αναβάθμιση.

Η λειτουργία της κάθε τεχνικής ποιοτικής αναβάθμισης του λιγνίτη στηρίζεται σε συγκεκριμένα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά αυτού. Επιτυγχάνεται έτσι η αποδέσμευση των ποσοτήτων ανόργανης ύλης, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία τέφρας και επίσης επιτυγχάνεται η μείωση του ποσοστού υγρασίας, με στόχο την βελτίωση των οικονομικών παραμέτρων μεταφοράς και χρήσης.

4.2 Χαρακτηριστικά λιγνίτη που σχετίζονται με τον εμπλουτισμό.

- **Χρώμα**

Με την μακροσκοπική εξέταση του ορυκτού διαπιστώνονται άμεσα και εύκολα οι διαφορές στις φυσικές ιδιότητες του εξορυσσόμενου προϊόντος, όπως είναι το χρώμα, η δομή, η κρυσταλλικότητα κ.α. (Α.Ζ. Φραγκίσκος 1990). Έτσι λοιπόν ευθύς εξαρχής υπάρχει η δυνατότητα, με τα μηχανήματα εξόρυξης στα πεδία, για επιλεκτική αφαίρεση όγκων που μακροσκοπικά συμφωνούν σε υψηλής περιεκτικότητας καθαρού λιγνίτη (στρώσεις κοιτάσματος). Στις αυλές των πεδίων εκμετάλλευσης και στη συνέχεια στις αυλές ομογενοποίησης των Α.Η.Σ., δίνεται έτσι μια πρώτη δυνατότητα διαχείρισης υλικού υψηλής σχετικά ποιότητας και θερμαντικής απόδοσης, η οποία στηρίζεται σε μακροσκοπική παρατήρηση.

- **Ειδικό βάρος**

Η μέτρηση του ειδικού βάρος επιβάλλεται, όταν μέσα στον εξορυσσόμενο λιγνίτη υπάρχουν διάχυτες προσμίξεις, που ανεξάρτητα από την αισθητική ή ποιοτική επίδραση μεταβάλλουν το γνωστό (από πίνακες) ειδικό βάρος. Στην περίπτωση αυτή, ο προσδιορισμός του ειδικού βάρους είναι απαραίτητος, για να συγκριθεί με εκείνο του καθαρού λιγνίτη και του στείρου (Α.Ζ. Φραγκίσκος 1990). Από τα ειδικά αυτά βάρη θα υπολογισθεί, όπως αναφέρεται παρακάτω, το «κριτήριο εμπλουτισιμότητας» του λιγνίτη.

Στη διαφορά αυτή ειδικού βάρους λιγνίτη και στείρων στηρίζονται οι μέθοδοι βαρυτομετρικού διαχωρισμού. Όσο πιο μεγάλη είναι η διαφορά στα ειδικά βάρη, τόσο πιο εύκολη είναι η εφαρμογή των βαρυτομετρικών μεθόδων, ιδιαίτερα των υδρο και αερομηχανικών μεθόδων. Στη μέθοδο με τα βαρέα διάμεσα επιτυγχάνεται διαχωρισμός με διαφορά ειδικών βαρών μόλις 0,1.

Ο τύπος για τον προσδιορισμό του ειδικού βάρους του εξορυσσόμενου λιγνίτη είναι:

Ειδ. βάρος λιγνίτη $= \frac{M.\delta_1 + \Pi.\delta_2}{100}$

Όπου, M = ποσοστό % σε βάρος του λιγνίτη

Π = ποσοστό % σε βάρος των προσμίξεων

δ_1 και δ_2 = τα αντίστοιχα ειδικά βάρη του καθαρού λιγνίτη και των προσμίξεων.

Συνήθως, το κριτήριο για την εφαρμογή των υδροχημικών μεθόδων καθορίζεται από τη σχέση του ειδικού βάρους κάθε αποδεσμευμένου συστατικού με το υγρό, μέσα στο οποίο γίνεται ο διαχωρισμός και δίνεται από τον τύπο:

Κριτήριο εμπλουτισιμότητας: $\mathrm{K}\varepsilon = \frac{\delta_1 - \delta}{\delta_2 - \delta} = \frac{\delta_1 - 1}{\delta_2 - 1}$

όπου, δ_1= το ειδικό βάρος του καθαρού λιγνίτη

δ_2= το μέσο ειδικό βάρος των προσμίξεων

δ = το ειδικό βάρος του υγρού μέσου (συνήθως νερό = 1)

Από την πράξη έχουν προκύψει οι παρακάτω κανόνες:

- Όταν το Κε είναι μεγαλύτερο από το 2, τότε με επιτυχία χρησιμοποιούνται υδροσυγκεντρωτές για τεμάχια μεγαλύτερα από 0,5 mm.

- Όταν Κε είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το 1,2, τότε με επιτυχία χρησιμοποιούνται υδροσυγκεντρωτές για τεμάχια μεγαλύτερα από 5 mm.

- Όταν το Κε είναι μεγαλύτερο από το 2, τότε με επιτυχία χρησιμοποιούνται τράπεζες για τεμάχια μικρότερα από 0,5 mm.

- Όταν το Κε είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το 1,2, τότε με επιτυχία χρησιμοποιούνται τράπεζες για τεμάχια μικρότερα από 5 mm.

Ανεξάρτητα από το κριτήριο εμπλουτισιμότητας, για τεμάχια μικρότερα από 0,05 mm εφαρμόζεται κυρίως επίπλευση ή ο υγρός μαγνητικός διαχωρισμός υψηλής έντασης. Όταν οι διαφορές του ειδικού βάρους μεταξύ των συστατικών είναι μικρές, τότε με τα βαρέα υγρά εξετάζεται η δυνατότητα εφαρμογής των βαρέων διάμεσων. Ιδιαίτερα, όταν το στείρο αποδεσμεύεται σε χονδρά τεμάχια, πρέπει να εξετάζεται με προσοχή η δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου των βαρέων διαμέσων για προεμπλουτισμό του λιγνίτη.

Στους λιγνίτες χαμηλής τάξης, η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι υψηλή και η ανόργανη ύλη είναι διασπαρμένη υπό μορφή λεπτών σωματιδίων. Έτσι οι υδραυλικές διεργασίες εφαρμόζονται σπάνια, αφού συμπεριλαμβάνουν διαχωρισμό μόνο στο νερό και είναι καταλληλότερες για εμπλουτισμό περισσότερο χονδρόκοκκων υλικών.

Όπως είναι κατανοητό, το ειδικό βάρος ενός λιγνίτη διαφέρει ανάλογα την τάξη του και την πετρογραφική του σύνθεση. Ανάλογα με τον τρόπο μέτρησης διακρίνεται σε: α) φαινόμενο ειδικό βάρος, το οποίο περιέχει την ενδογενή υγρασία, τον αέρα στους πόρους και την ανόργανη ύλη, β) πραγματικό ειδικό βάρος, το οποίο λαμβάνει υπ' όψη την ανόργανη ύλη, αλλά είναι ελεύθερο υγρασίας και αέρα και γ) το μοναδικό ειδικό βάρος, το οποίο είναι ελεύθερο από υγρασία, αέρα και ανόργανη ύλη.

Το ειδικό βάρος μεταβάλλεται ανάλογα με την τάξη των γαιανθράκων , λόγω αλλαγών στην χημική τους σύσταση και στην αρωματικότητά τους. Γενικά, το ειδικό βάρος αυξάνεται όσο η τάξη γίνεται υψηλότερη (Βάμβουκα Δ. 2002). Για γαιάνθρακες χαμηλής τάξης (λιγνίτες) κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 1,3, ενώ για τους ανθρακίτες είναι υψηλό και κυμαίνεται μεταξύ 1,5 και 1,7 περίπου (Πίνακας 4.1.)

Πίνακας 4.1. Τέφρα, Πτητική ύλη και Ειδ. Βάρος Γαιανθράκων Διαφορετικής Τάξης.

Γαιάνθρακας	**Τέφρα (%)**	**Πτητική ύλη (%)**	**Ειδ. Βάρος (g/cm^3)**
Λιγνίτης Αμύνταιου	51,20	29,20	1,20
Γαιάνθρακας Brassert Flame	3,20	40,58	1,31
Γαιάνθρακας Prospert Gas	1,45	25,89	1,29
Γαιάνθρακας Konig Ludwig Fat	8,10	21,45	1,34
Ανθρακίτης Langenbrahm	1,97	8,70	1,35
Ανθρακίτης Pennsylvania	3,48	4,10	1,45
Ιταλικός Ανθρακίτης	7,01	8,87	1,76
Γραφίτης Trieben	2,45	4,90	1,90

Για λιγνίτες ισοδύναμης τάξης, τύπου και περιεκτικότητας σε τέφρα το φαινόμενο ειδικό βάρος είναι αντιστρόφως ανάλογο της περιεκτικότητας σε υγρασία επί του φυσικού. Ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το ειδικό βάρος του λιγνίτη είναι η εμπεριεχόμενη ανόργανη ύλη, το μέσο ειδικό βάρος της οποίας είναι μεγαλύτερο από αυτό του καθαρού λιγνίτη. Έτσι είναι προφανές ότι λιγνίτες με περισσότερη ανόργανη ύλη έχουν μεγαλύτερη ειδικό βάρος, κάτι το οποίο φαίνεται και από τον τύπο προσδιορισμού του ειδικού βάρους του λιγνίτη.

- **Μαγνητική επιδεκτικότητα.**

Ένα υλικό καλείται μαγνητικό, όταν οι μαγνητικές ροπές των ατόμων του, οι οποίες απορρέουν από την τροχιά και περιστροφή των ηλεκτρονίων του δεν αλληλοεξουδετερώνονται. Η μαγνητική ροπή, η οποία προκύπτει όταν ένα μαγνητικό υλικό τοποθετείται σε ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, καλείται μαγνητισμός $(\vec{M})$, ενώ η μαγνητική επιδεκτικότητα όγκου (X_m) (Van Krevelen D.W. 1981) ορίζεται σαν τον λόγο της ροπής αυτής, ανά μονάδα όγκου, προς την μαγνητική ένταση του πεδίου $(\vec{H})$:

$$Xm = \frac{\vec{M}}{\vec{H}}$$

Αν η μαγνητική επιδεκτικότητα ενός υλικού είναι αρνητική (κανονική τάξη μεγέθους 10^{-6} cgs.emu), το υλικό καλείται διαμαγνητικό και η επιδεκτικότητά του είναι σχεδόν ανεξάρτητη της θερμοκρασίας και της έντασης του πεδίου. Αν η μαγνητική επιδεκτικότητα είναι θετική (τάξη μεγέθους 10^{-6} έως 10^{-3} cgs.emu) το υλικό καλείται παραμαγνητικό και η επιδεκτικότητά του συνήθως υπακούει στον νόμο του P. Curie:

$$Xp = \frac{C}{T}$$

όπου η τιμή της σταθεράς C για ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο είναι 0,372.

Τα οργανικά συστατικά του γαιάνθρακα είναι βασικά διαμαγνητικά, ενώ τα περισσότερα ανόργανα συστατικά του γαιάνθρακα είναι παραμαγνητικά. Αν η παραμαγνητική φύση αυτών των ανόργανων συστατικών, και ειδικότερα τα του πυρίτη βελτιώνονται από την μερική μετατροπή τους σε σιδηρομαγνητικά υλικά, τότε ο διαχωρισμός τους από τον γαιάνθρακα μπορεί να επιτευχθεί με συμβατικό μαγνητικό διαχωρισμό χαμηλής εντάσεως πεδίου. Διαφορετικά, τα ασθενώς παραμαγνητικά ανόργανα συστατικά μπορούν να αφαιρεθούν από τον γαιάνθρακα μόνο με μαγνητικό διαχωρισμό υψηλής εντάσεως πεδίου (HGNS).

Με βάση λοιπόν την διαφορετικότητα που παρουσιάζεται στην μαγνητική δεκτικότητα που έχουν τα οργανικά και ανόργανα συστατικά ενός λιγνίτη, επιτυγχάνεται διαχωρισμός αυτών με μαγνητικές μεθόδους.

- **Επιφανειακές ιδιότητες.**

Οι διαφορές των επιφανειακών ιδιοτήτων ενός γαιάνθρακα (η οργανική ύλη είναι υδρόφοβο υλικό και η ανόργανη υδρόφιλο υλικό), αποτελούν τη βάση για τον διαχωρισμό του καθαρού λιγνίτη από τα στείρα ανόργανα υλικά, με τεχνικές επίπλευσης αφρού και συσσωμάτωσης με έλαια. Οι διεργασίες αυτές καθορίζονται από τις διεπιφανειακές ιδιότητες των συστημάτων στερού/υγρού/αερίου ή στερεού/υγρού, αντίστοιχα, και εφαρμόζονται στον διαχωρισμό των πιο λεπτόκοκκων κλασμάτων μιας μονάδας προετοιμασίας γαιάνθρακα.

Οι μέθοδοι επίπλευσης αφρού και συσσωμάτωσης με έλαιο γίνονται όλο και περισσότερο δημοφιλείς, όσο το κόστος του λιγνίτη αυξάνεται και η ανάκτηση των λεπτών σωματιδίων του γίνεται πιο ελκυστική, από οικονομική άποψη. Άλλα κίνητρα περιλαμβάνουν την ανάγκη μείωσης της περιεκτικότητας του λιγνίτη σε θείο και τέφρα, για την ικανοποίηση των περιβαλλοντικών κανονισμών και την ανάπτυξη εξειδικευμένων διεργασιών χρήσης του λιγνίτη, οι οποίες απαιτούν πιο λεπτά και καθαρά σωματίδια.

Οι λιγνίτες χαμηλής τάξης, αν και φαινομενικά δεν είναι κατάλληλοι για κατεργασία με τις παραπάνω διεργασίες, λόγω του μικρότερου βαθμού υδροβιότητάς τους, μπορούν να εμπλουτιστούν αποτελεσματικά με τη χρήση κατάλληλων βοηθητικών μέσων (αντιδραστήρια).

4.3. Εμπλουτισμός με διαχωρισμό βάσει του ειδικού βάρους

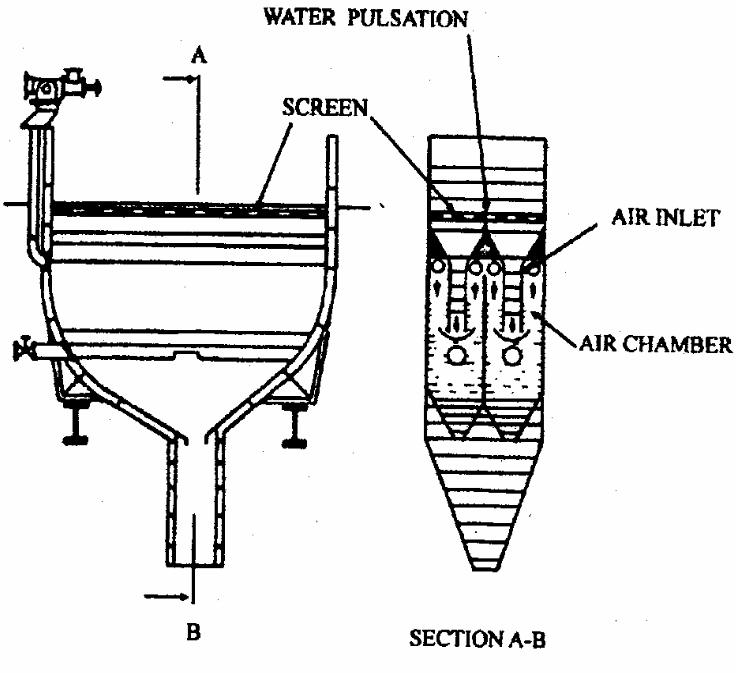
4.3.1. Υδραυλικός Διαχωρισμός

- **Υδροσυγκεντρωτές**.

Η αρχή της υδροσυγκέντρωσης είναι ότι μία ροή ύδατος, παλλόμενη με αέρα ή έμβολα, προξενεί διόγκωση και συμπίεση μίας κλίνης λιγνίτη, η οποία υποστηρίζεται από μία διάτρητη εσχάρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την στρωματοποίηση του ακατέργαστο λιγνίτη, στην οποία τα σωματίδια χαμηλότερης πυκνότητας ή καθαρού λιγνίτη συγκεντρώνονται στην κορυφή της κλίνης, ενώ τα σωματίδια υψηλότερης πυκνότητας (απορριπτόμενα) συγκεντρώνονται στον πυθμένα.

Οι υδροσυγκεντρωτές διαχειρίζονται τροφοδοσίες χονδρόκοκκου λιγνίτη μέχρι και 203 mm σε μέγεθος. Είναι απλοί και οικονομικοί, με μεγάλη χωρητικότητα ανά μονάδα (μέχρι και 1000 tons/h). Όμως, είναι λιγότερο αποτελεσματικοί στον να επιτύχουν τόσο ποιότητα, όσο και υψηλά επίπεδα ανάκτησης, ιδίως στη διαχείριση τροφοδοσιών που περιέχουν ένα μεγάλο ποσοστό υλικού παραπλήσιας ειδικής πυκνότητας με αυτήν του υλικού διαχωρισμού. Επίσης, απαιτείται ομοιογενής κατανομή και σταθερός ρυθμός τροφοδοσίας, ώστε να επιτευχθεί η απόδοση.

Ο πιο προηγμένος υδροσυγκεντρωτής είναι ο Batac, (Σχήμα 4.1.) ο οποίος παράγει παλμό στο ύδωρ σε πολλαπλούς θαλάμους, κατευθείαν κάτω από την εσχάρα της κλίνης. Έχει βελτιωμένες και αυτοματοποιημένες μεθόδους δημιουργίας παλμών και ελέγχου της κλίνης, παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια διαχωρισμού όταν κατεργάζεται τροφοδοσία με μέχρι 10% υλικό παραπλήσιας ειδικής πυκνότητας με αυτήν του υλικού διαχωρισμού και ικανότητα εμπλουτισμού ενός μεγαλύτερου εύρους μεγεθών σωματιδίων (Hake W.D. 1976, Couch G.R. 1997, Nicol S.K. 1997).

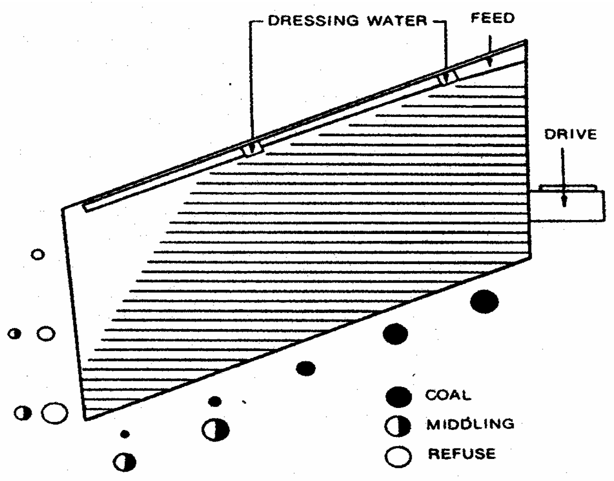


Σχήμα 4.1. Διατομή του Υδροσυγκεντωτή Batac

Ο φυγοκεντρικός υδροσυγκεντρωτής λειτουργεί με περιστροφή της κλίνης του, έτσι ώστε η φυγόκεντρος δύναμη να επιτρέπει την επέκταση της αρχής της υδροσυγκέντρωσης σε μικρότερα μεγέθη σωματιδίων. Είναι δυνατόν να επιτευχθεί διαχωρισμός για πολύ μικρά μεγέθη σωματιδίων (μικρότερα των 38 μm), για μικρές όμως παροχές. Ο διαχωρισμός επηρεάζεται ιδιαίτερα από τον ρυθμό τροφοδοσίας και την αφαίρεση της ιλύος των λεπτών σωματιδίων (Rileg D.M. 1995).

- **Δονούμενες τράπεζες συγκέντρωσης (Shaking Tables)**

Η τράπεζα συγκέντρωσης χρησιμοποιεί την αρχή του ότι τα μεγάλα ή τα ελαφρά σωματίδια, τα οποία παρασύρονται από ένα λεπτό στρώμα ύδατος που ρέει, κινούνται ταχύτερα από ότι τα μικρά ή βαρύτερα σωματίδια ισοδύναμου μεγέθους, αντίστοιχα. Η τροφοδοσία εκπλύνεται με ύδωρ πάνω από μία κεκλιμένη, ρομβοειδή τράπεζα με ραβδώσεις (Σχήμα 4.2), στην οποία επιφέρεται μια οριζόντια κίνηση σε ορθή γωνία προς τη ροή, με ταχεία κίνηση από τα δεξιά προς τα αριστερά και αργή επιστροφή από τα αριστερά προς τα δεξιά. Η κίνηση αυτή επηρεάζει τον ρυθμό μετακίνησης των σωματιδίων σε σχέση με το μέγεθος και το ειδικό τους βάρος προξενώντας στρωματοποίηση μεταξύ των ραβδώσεων. Τα ελαφρά σωματίδια παρασύρονται από το ύδωρ πάνω από τις ραβδώσεις, στο κάτω μέρος της τράπεζας, όπου συλλέγονται ως καθαρό προϊόν λιγνίτη, ενώ τα βαρύτερα σωματίδια τα οποία απορρίπτονται στον πυθμένα της κλίνης, παρασύρονται πίσω από τις ραβδώσεις στην άκρη της τράπεζας.



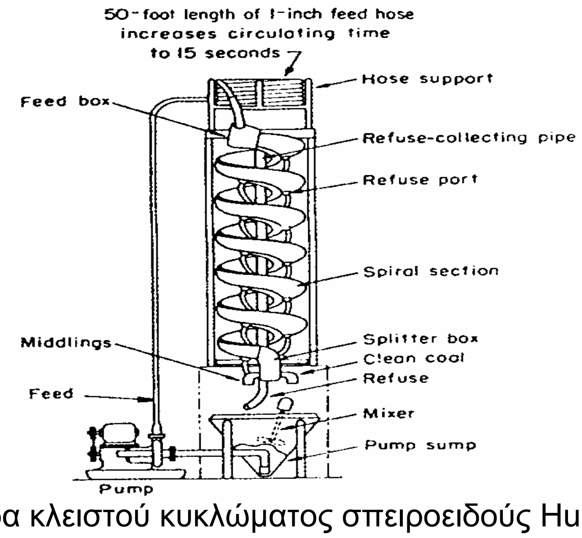
Σχήμα 4.2. Κατανομή των προϊόντων της τράπεζας κατά μέγεθος και ειδ. βάρος.

Οι ταχύτητες της τράπεζας είναι κανονικά περίπου 250-300 strokes/min, με πλάτος κίνησης περίπου 20mm. Τα μεγαλύτερα σωματίδια τα οποία υφίστανται κατεργασία είναι περίπου μεταξύ 20mm και 40mm και η δυναμικότητα είναι 10-15tons/h. Η ακρίβεια διαχωρισμού για υλικά παραπλήσιας ειδικής πυκνότητας είναι υψηλότερη από αυτήν των υδροσυγκεντρωτών.

Για λιγνίτες χαμηλής τάξης, οι τράπεζες που χρησιμοποιούν αέρα ως μέσο διαχωρισμού έχουν μεγαλύτερα πλεονεκτήματα, καθώς δεν απαιτείται ύδωρ που προστίθεται στην επιφανειακή υγρασία του λιγνίτη. Παρόλα αυτά, οι διαχωριστές αυτοί δεν χρησιμοποιούνται ευρέως, καθώς δεν μπορούν να διαχειριστούν αποδοτικά λεπτόκοκκους λιγνίτες ή να απαλείψουν το πρόβλημα της σκόνης (Wilson D.C. 1977).

- **Σπειροειδείς συγκεντρωτές (Humphrey Spyrels)**

Ένα σπειροειδές είναι μια συσκευή συγκέντρωσης ρέουσας μεμβράνης η οποία χρησιμοποιείται για τον εμπλουτισμό λεπτόκοκκου λιγνίτη (Osborne D.G. 1986). Είναι ένα ελικοειδές εξάρτημα πολλαπλών στροφίων, μέσω του οποίου μια φυγόκεντρος δύναμη εξασκείται στη μεμβράνη που ρέει. Σαν αποτέλεσμα, τα βαρύτερα σωματίδια μετακινούνται προς την εσωτερική πλευρά και απομακρύνονται μέσω θυρίδων απόρριψης, ενώ τα ελαφρύτερα σωματίδια μετακινούνται προς την εξωτερική πλευρά και διαχωρίζονται στο χαμηλότερο άκρο του καναλιού μεταφοράς σε καθαρό λιγνίτη και μεσαίο προϊόν, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3. Μονάδα κλειστού κυκλώματος σπειροειδούς Humphreys

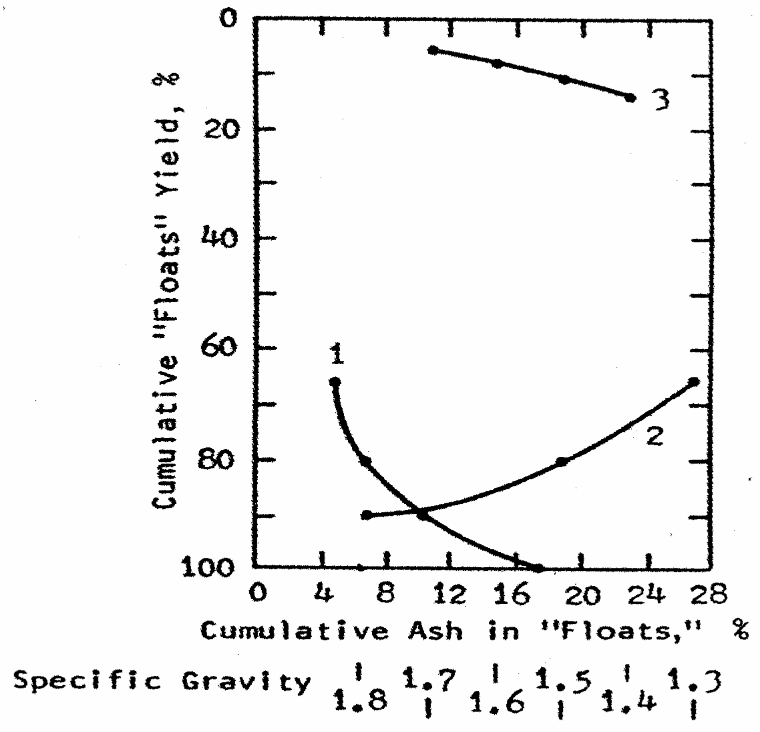
Δοκιμές που έχουν πραγματοποιηθεί σε λεπτόκοκκο λιγνίτη, μεγέθους 4,7-0,4 mm δείχνουν ότι τα σπειροειδή, μαζί με τις τράπεζες συγκέντρωσης, πρέπει να θεωρηθούν ικανές μονάδες εμπλουτισμού προ-επεξεργασίας, ιδιαίτερα για την απομάκρυνση του πυρίτη από λιγνίτες υψηλής περιεκτικότητας σε θείο. Η δυναμικότητα ενός τέτοιου συστήματος φτάνει στους 2tons/h και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστοιχίες 80 ή περισσοτέρων μονάδων.

4.3.2. Δοκιμές βαρέων υγρών

Η βασική δοκιμή, για να προσδιορισθεί κατά πόσον ένας ακατέργαστος λιγνίτης επιδέχεται βελτίωση της ποιότητάς του με χρήση διεργασιών διαχωρισμού βαρέων διαμέσων, είναι η ανάλυση εμπλουτισιμότητας ή η δοκιμή επίπλευσης/βύθισης. Με τη μέθοδο αυτή μετρώνται τα ποσοστά βάρους του δείγματος λιγνίτη που επιπλέει σε υγρά διαφορετικού ειδικού βάρους. Συνήθως χρησιμοποιούνται μείγματα οργανικών υγρών, ή διαλύματα αλάτων, με ειδικό βάρος μεταξύ 1,2 και 2,0.

Η δοκιμή διεξάγεται με εμβάπτιση κάθε κλάσματος μεγέθους του λιγνίτη στο υγρό με το χαμηλότερο ειδικό βάρος για το οποίο είναι επιθυμητή η δοκιμή, αφαίρεση του επιπλέοντος κλάσματος για ανάλυση της τέφρας, αποστράγγιση του υγρού από το κλάσμα που βυθίζεται και τοποθέτησή του στο υγρό με το επόμενο υψηλότερο ειδικό βάρος. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλο το εύρος ειδικών βαρών που έχουν επιλεγεί.

Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται γραφικά σε μια σειρά καμπυλών εμπλουτισιμότητας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4.



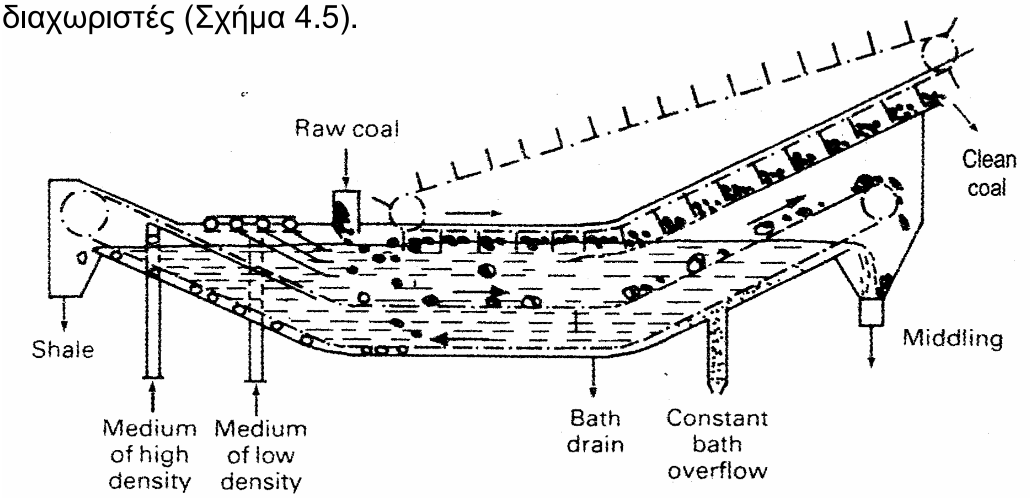
Σχήμα 4.4. Καμπύλη Εμπλουτισιμότητας. Σε π.χ. Ειδ. Βάρος 1,5 Αντιστοιχεί Απόδοση Επιπλεόντων Περίπου 80%, Περιεκτικότητα σε Τέφρα 6,5% και Κλάσμα Μεσαίων Προϊόντων 11% (Berkowitz 1979).

Η ανάλυση εμπλουτισιμότηας αναπαριστά τους θεωρητικούς περιορισμούς της φυσικής αναβάθμισης του λιγνίτη, αφού οι εργαστηριακές δοκιμές διεξάγονται κάτω από «ιδανικές» συνθήκες επεξεργασίας. Στο εργαστήριο χρησιμοποιούνται καθαρά βαρέα υγρά, τα οποία είναι ιδιαίτερα δαπανηρά για χρήση σε συνεχείς διεργασίες μεγάλης κλίμακας. Η αξιοπιστία των δοκιμών μειώνεται, όταν πρόκειται για δείγματα με μεγέθη σωματιδίων κάτω από 0,5 mm.

Σε προηγούμενες μελέτες διαχωρισμού με βαρέα υγρά, που έχουν πραγματοποιηθεί σε δείγματα λιγνίτη από την περιοχή Πτολεμαΐδας (Vamvuka D., Energy and Fuels, in press), έχει σημειωθεί σημαντική μείωση της περιεκτικότητα σε τέφρα, μέχρι και 60%. Επίσης μειώθηκε η δυνατότητα σχηματισμού επικαθίσεων και επισκωριώσεων της τροφοδοσίας.

- **Δοχεία βαρέων διαμέσων.**

Τα δοχεία βαρέων διαμέσων είναι πρακτικά μια επέκταση της εργαστηριακής δοκιμής επίπλευσης/βύθισης. Ο διαχωρισμός πραγματοποιείται μα ανακυκλοφορία ενός υγρού αιωρήματος, συνήθως μαγνητίτη σε ύδωρ, μέσω ενός δοχείου στο οποίο προστίθεται συνεχώς ακατέργαστος λιγνίτης. Το καθαρό υλικό εκχειλίζεται στην κορυφή και το απορριπτόμενο στείρο υλικό στην βάση του δοχείου. Ο μαγνησίτης απομακρύνεται σε εσχάρες έκπλυσης με ύδωρ και ανακτάται με μαγνητικούς διαχωριστές (Σχήμα 4.5).

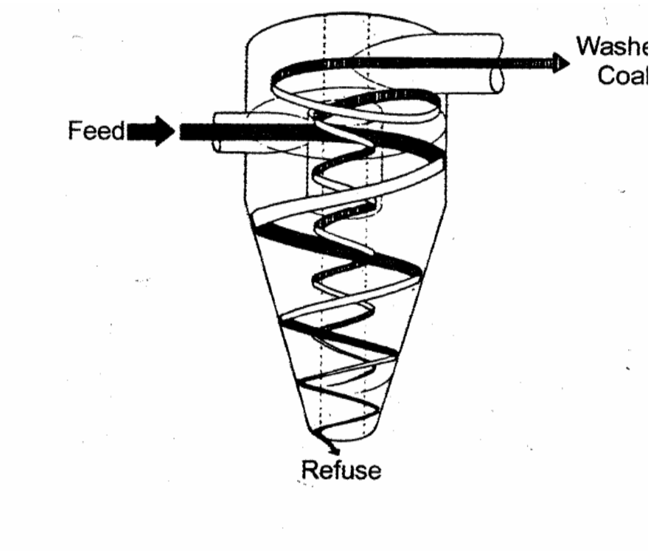


Σχήμα 4.5. Λουτρό Βαρέων Διαμέσων Tromp (Palowitch E.R. 1979).

Τα μεγέθη ακατέργαστης τροφοδοσίας κυμαίνεται μεταξύ 3mm και 203 mm και το ειδικό βάρος μπορεί να ρυθμιστεί μεταξύ 1,3 και 1,8. Σήμερα παρόμοιες εγκαταστάσεις είναι ικανές να επεξεργαστούν τροφοδοσίες 900 tons/h.

- **Κυκλώνες βαρέων διάμεσων.**

Ο κυκλώνας βαρέων διάμεσων είναι μια από τις πιο απλές και αποτελεσματικές συσκευές εμπλουτισμού του λιγνίτη. Είναι μια κυλινδρική μονάδα με κλίση 20^o ως προς την οριζόντια θέση. Ένα μείγμα ακατέργαστου λιγνίτη, με μέγεθος σωματιδίων 6mm - 600μm και βαρέων διάμεσου (συνήθως μαγνητίτη σε ύδωρ) τροφοδοτείται εφαπτομενικά κοντά στην κορυφή του κυλινδρικού τμήματος, όπου δημιουργείται ένας στρόβιλος με ένα κεντρικό πυρήνα αέρα, λόγω της επαγόμενης δύναμης περιστροφής. Λόγω φυγοκέντρου δύναμης, τα απορριπτόμενα σωματίδια κινούνται κατά μήκος των τοιχωμάτων του κυκλώνα και εξέρχονται μέσω του στομίου υπορροής, ενώ ο καθαρός λιγνίτης κινείται προς τον επιμήκη άξονα του κυκλώνα και περνά μέσω του οδηγού στροβιλισμού στον θάλαμο υπερχείλισης. Το βαρύ διάμεσο ρέει προς τα έξω μαζί με τα δύο ρεύματα και επανακτάται (Σχήμα 4.6).



Σχήμα 4.6. Ιδανική μορφή ροής του μέσου σε κυκλώνα (Leonard J.W. 1968).

Οι κυκλώνες βαρέων διάμεσων έχουν διαμέτρους μεταξύ 200 mm και 1 m και δυναμικότητα τροφοδοσίας μέχρι 120 tons/h. Αν και το λειτουργικό κόστος είναι υψηλότερο από άλλα συστήματα εμπλουτισμού, έχουν τη δυνατότητα να επιτύχουν απομάκρυνση στείρων υλικών κατά στο 100% με ακριβέστερο διαχωρισμό σταθερού λιγνίτη και προσμίξεων.

- **Κυλινδρικοί διαχωριστές βαρέων διάμεσων.**

Οι κυλινδρικοί διαχωριστές βασίζονται και αυτοί στις αρχές λειτουργίας της φυγοκέντρου δύναμης, που αναπτύσσεται από ροή περιδίνησης και καθαρισμού με βαρέα διάμεσα. Τέτοιοι κυλινδρικοί διαχωριστές είναι οι

“Vorsyl” (Ferrara G. 1986), “Dyna Whirpool” (Bulletin) και “Tri-flo” (Couch G.R. 1988) (Σχήμα 4.7)

Ο διαχωρισμός Vorsyl είναι σχεδιασμένος για διαχείριση τροφοδοσίας 25X0,5 mm. Έχει την ίδια απόδοση με τους συμβατούς κυκλώνες, εκτός από την περιοχή στην κορυφή της συσκευής.

Ο διαχωριστής Dyna Whirpool έχει κλίση 25^o περίπου σε σχέση με την οριζόντια θέση, επεξεργάζεται ακατέργαστο λιγνίτη μεγέθους μεγαλύτερου από 0,5 mm και έχει χαρακτηριστικά απόδοσης παρόμοια με τον διαχωριστή Vorsyl.

Ο διαχωριστής Tri-flo εμπλουτίζει σωματίδια με εύρος μεγέθους 35mm-7mm (Couch G.R. 1991) και έχει το πλεονέκτημα της άμεσης τροφοδοσίας του ακατέργαστου λιγνίτη, και του διάμεσου. Η αποδοτικότητά του είναι παραπλήσια μ’ αυτή του κυκλώνα βαρέων διαμέσων και σε διεργασίες καθαρισμού φαιανθράκων, μειώθηκε η περιεκτικότητα σε τέφρα κατά 50% (Coal International 1985).

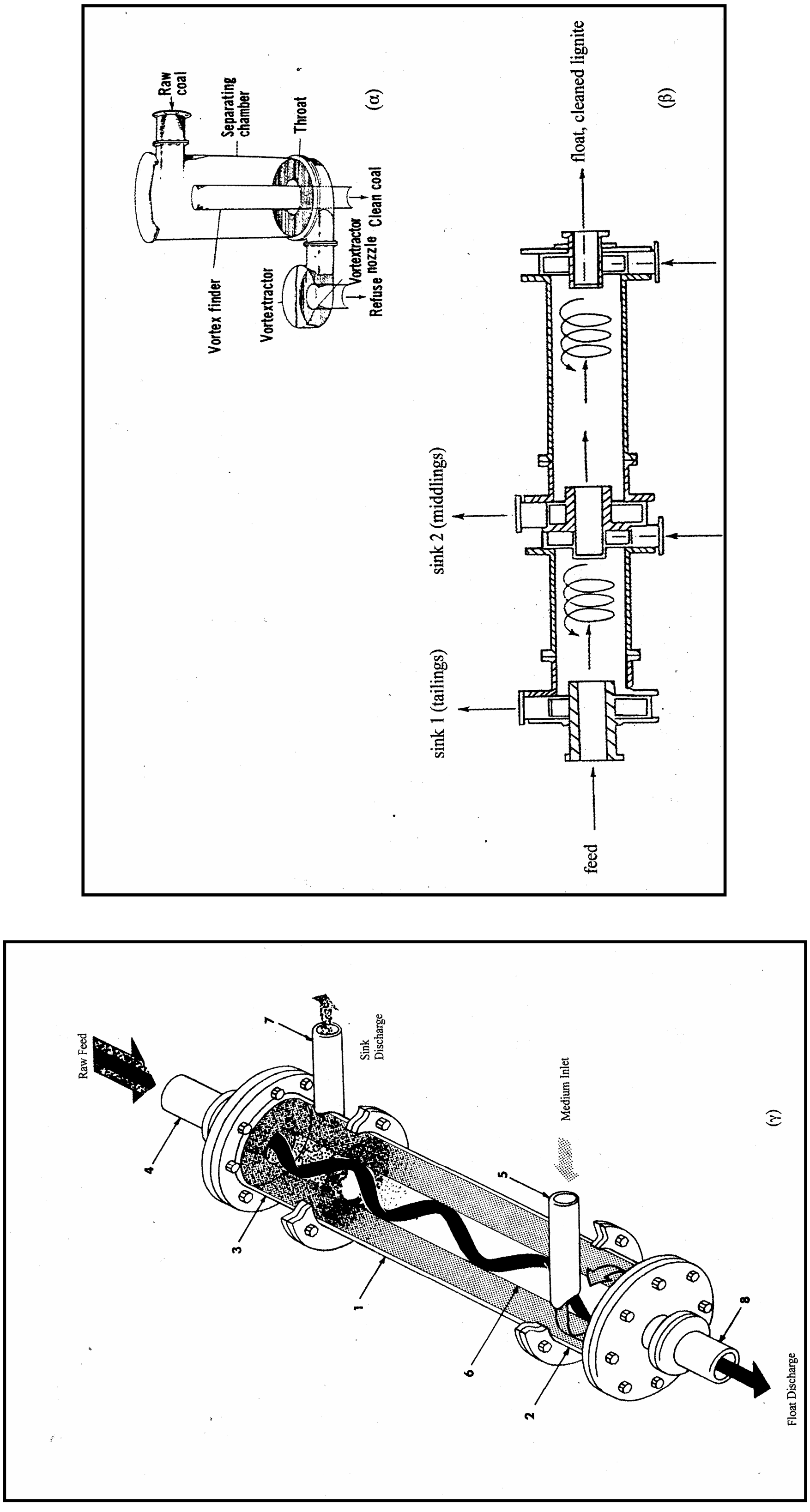
- **Υδροκυκλώνες**

Ένας υδροκυκλώνας δεν χρησιμοποιεί ένα αιώρημα τεχνικής βαρύτητας και γενικά δεν θεωρείται συσκευή διαχωρισμού βαρέων διάμεσων. Το γεγονός όμως ότι χρησιμοποιεί ένα αυτογενές βαρύ διάμεσο, το οποίο δημιουργείται από τον λιγνίτη καθώς αυτός υπόκειται σε εμπλουτισμό (Sokaski M.), τον κατατάσσουν στις βαρυτομετρικές μεθόδους εμπλουτισμού.

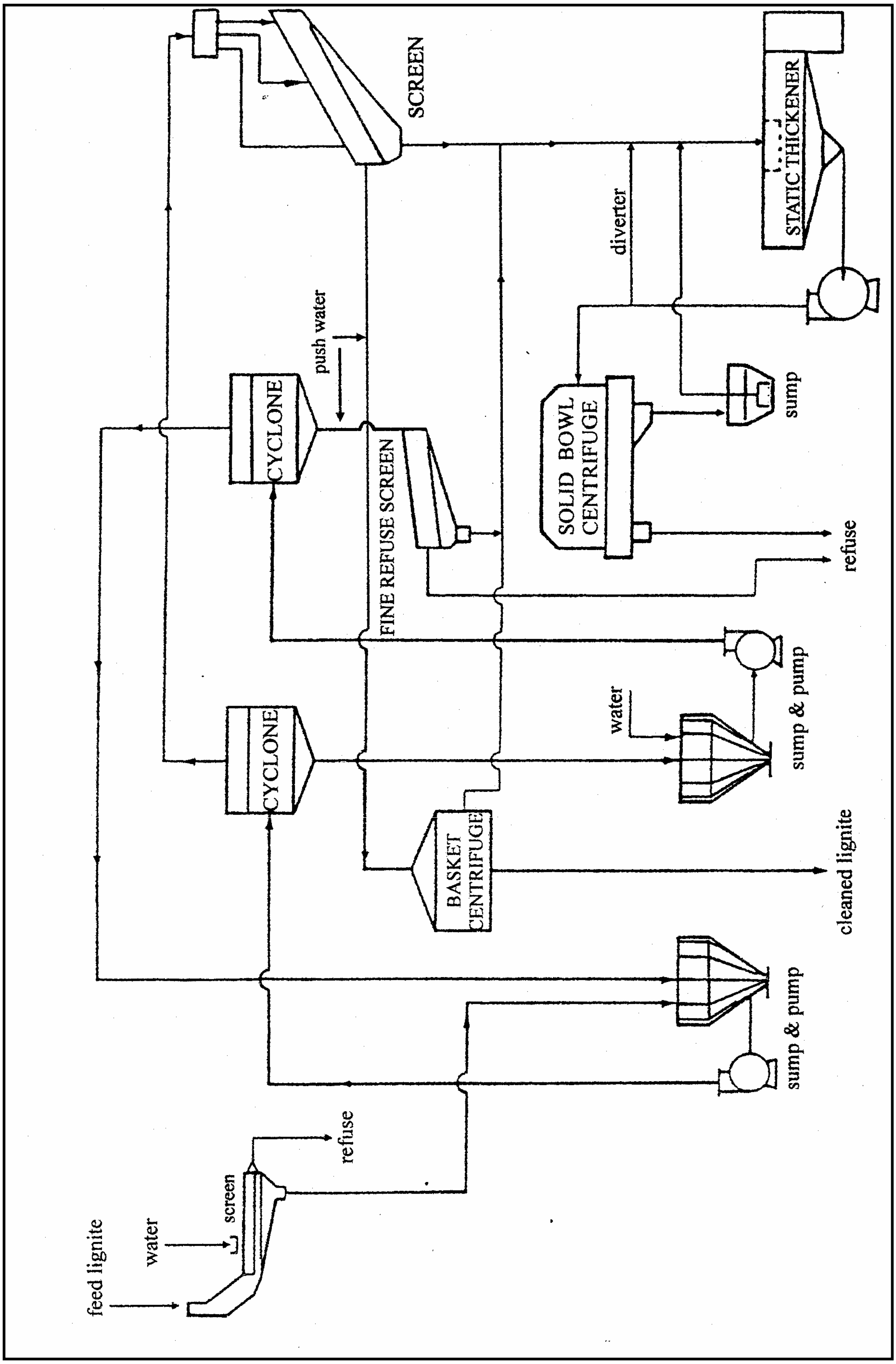
Χρησιμοποιείται για την επεξεργασία κλασμάτων λιγνίτη μεγέθους μεταξύ 30 μm και 150 μm. Δεν επιτυγχάνεται όμως τόσο ακριβής διαχωρισμός όσο στους κυκλώνες βαρέων διαμέσων, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται σπάνια για λιγνίτες με μικρά μεγέθη σωματιδίων ή για λιγνίτες που διαχωρίζονται δύσκολα και έχουν σχετικά μεγάλο κόστος λειτουργίας.

Το διάγραμμα ροής με χρήση υδροκυκλώνων που παρουσιάζεται στο σχήμα 4.8 υλοποιήθηκε στην Homer City των ΗΠΑ και επετεύχθη μείωση της τέφρας κατά 12% ως 45%, μείωση του πυριτικού θείου κατά 58% ως 79% και αύξηση στην θερμαντική αξία κατά 7%.

Σχήμα 4.7. : Κυλινδρικοί διαχωριστές βαρέων διάμεσων: α) Κυκλώνας Vorsyl β) Διαχωριστής Tri-flo γ) Διαχωριστής Dyna whirpool.



Σχήμα 4.8. : Διάγραμμα ροής με χρήση υδροκυκλώνων (Suardini P. 1987).



4.4. Εμπλουτισμός με διαχωρισμό βάσει μαγνητικής επιδεκτικότητας.

4.4.1. Διεργασία Magnex.

Η διεργασία Magnex περιλαμβάνει προκατεργασία του κονιοποιημένου λιγνίτη (μεγέθη -1.4mm) με αέριο πεντακαρβονυλικό σίδηρο, $Fe(CO)_5$, σε ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία περίπου 170^o C, για μισή ως μια ώρα, ακολουθούμενη από μαγνητικό διαχωρισμό χαμηλής έντασης, για την απομάκρυνση του σιδηροπυρίτη και της τέφρας του λιγνίτη (Kinding J.K. 1976). Η διεργασία βασίζεται στην θερμική αποσύνθεση του $Fe(CO)_5$, για τον εκλεκτικό σχηματισμό υλικών με υψηλότερα επίπεδα μαγνητικής επιδεκτικότητας, μόνο όμως στην επιφάνεια των αδρανών σωματιδίων και όχι των σωματιδίων καθαρού λιγνίτη.

Η διεργασία Magnex είναι απλή και εξαλείφει το κόστος αφυδάτωσης. Το κύριο μειονέκτημα είναι ότι ο $Fe(CO)_5$ είναι πολύ τοξικός (Niosh 1976) και σχετικά δαπανηρός. Η μέθοδος εφαρμόζεται σπάνια σε λιγνίτες χαμηλής τάξης, καθώς η περιεκτικότητά τους σε θείο είναι πολύ χαμηλή (Kinding J.K. 1978).

4.4.2. Διεργασία Μαγνητικού Διαχωρισμού Υψηλής Εντάσεως (HGMS)

Η διεργασία HGMS κατευθύνεται κυρίως στον διαχωρισμό του πυριτικού θείου περνώντας ένα υδατικό πυκνό αιώρημα κονιοποιημένου λιγνίτη (μέγεθος – 75μm) σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και ατμοσφαιρική πίεση. Μέσω μιας στήλης με πληρωτικό υλικό, ο λιγνίτης, υπόκειται σε μαγνητικό πεδίο υψηλής έντασης (20KOe) (Liu Y.A. 1982). Το υλικό πλήρωσης είναι βάμβακας ανοξείδωτου χάλυβα η μια εσχάρα από ατσάλινο συρματόσχοινο. Τα παραμαγνητικά υλικά (πυρίτης, ανόργανη ύλη) ρέουν διαμέσου του υλικού πλήρωσης, μαγνητίζονται και εγκλωβίζονται στην μήτρα. Τα διαμαγνητικά σωματίδια λιγνίτη δεν επηρεάζονται και περνούν μέσω της μήτρας.

Παράγοντες που επηρεάζουν τον μαγνητικό διαχωρισμό (Liu Y.A. 1982, Trinade S.C. 1974) είναι:

- Η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων

- Η ταχύτητα του πολτού
- Η ένταση του μαγνητικού πεδίου
- Τα χαρακτηριστικά του πληρωτικού υλικού

Γενικά ο μαγνητικός διαχωρισμός μειώνεται όταν η ταχύτητα του πολτού αυξάνεται και αυξάνεται με την αύξηση της έντασης του μαγνητικού πεδίου. Ο ανοξείδωτος χάλυβας είναι αποδοτικότερος από την εσχάρα, λόγω μεγαλύτερου εμβαδού επιφάνειας.

Η διεργασία HGMS είναι απλή και οικονομική (Murray H.H. 1976). Είναι επίσης αποδοτικότερη της διεργασίας Magnex. Όμως και οι δυο διεργασίες εμφανίζονται πιο αποδοτικές στην αφαίρεση πυριτικού θείου και όχι τόσο για την αφαίρεση της ανόργανης ύλης. Έτσι δεν συνιστώνται για τον εμπλουτισμό λιγνιτών χαμηλής τάξης.

4.5. Εμπλουτισμός βάσει επιφανειακών ιδιοτήτων.

4.5.1. Επίπλευση Αφρού

Η επίπλευση αφρού είναι η πιο γνωστή μέθοδος εμπλουτισμού του λιγνίτη με μέγεθος σωματιδίων μικρότερο από 0,5 mm. Βασίζεται στη εκλεκτική προσκόλληση των φυσικών υδρόφοβων σωματιδίων λιγνίτη σε φυσαλίδες αέρα, μέσα σε ένα υγρό μέσο. Οι φυσαλίδες ανυψώνουν τα σωματίδια στην επιφάνεια του κελιού επίπλευσης, απ' όπου αφαιρούνται σαν αφρός, ενώ τα ανόργανα σωματίδια τα οποία είναι φυσικώς υδροφιλικά, μένουν στο υγρό μέσον και αφαιρούνται σαν απόρριμμα ή ουρές (tailings).

Η επίπλευση σαν μέθοδος εμπλουτισμού περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια (Σαββίδης Γρ.Π. 1988):

- Λειοτρίβηση του λιγνίτη (grinding)
- Δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για επίπλευση (conditioning)
- Επίπλευση των σωματιδίων του χρήσιμου υλικού (flotation)
- Αφυδάτωση του εμπλουτίσματος (dewatering)

Η λειοτρίβηση τυπικά δεν αποτελεί στάδιο της επίπλευσης, επηρεάζει όμως σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα της μεθόδου. Το προϊόν της λειοτρίβησης, από πλευράς μεγέθους σωματιδίων, πρέπει να συνδυάζει τις παρακάτω δύο προϋποθέσεις:

α) Τα προς επίπλευση σωματίδια πρέπει να έχουν το κατάλληλο εκείνο βάρος ώστε, με προσκόλλησή τους σε ανερχόμενες φυσαλίδες αέρος, να είναι δυνατή η ανύψωσή τους από τη μάζα του πολτού στην επιφάνειά του.

β) Τα προς επίπλευση σωματίδια του χρήσιμου υλικού πρέπει να είναι επαρκώς αποδεσμευμένα από τα σωματίδια των στείρων.

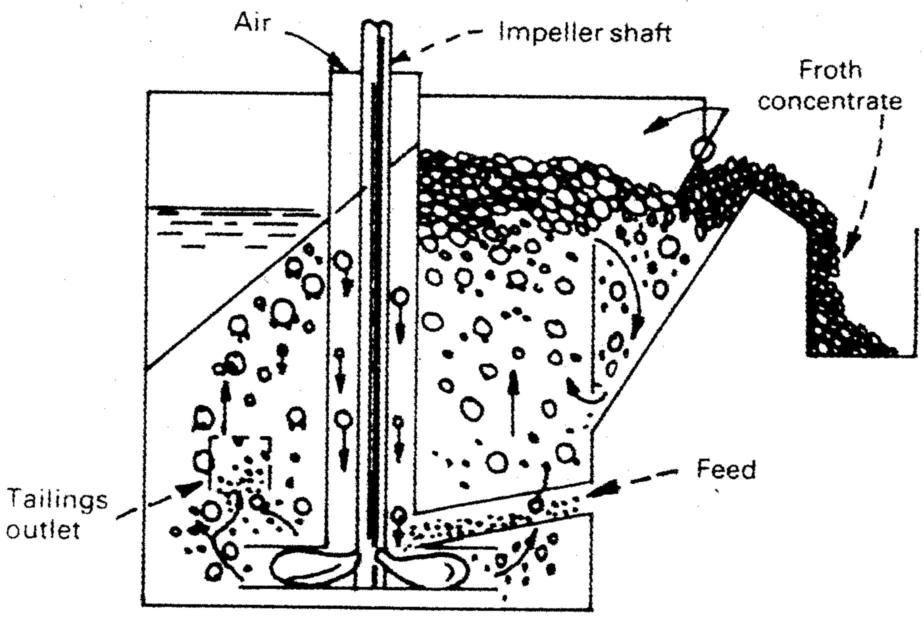
Η προχωρημένη λειοτρίβηση η οποία θα μπορούσε ενδεχομένως να εξασφαλίσει και τις δυο παραπάνω προϋποθέσεις, δεν ενδείκνυται. Με υπερλειοτρίβηση σε πολλές περιπτώσεις δημιουργείται μεγάλη ποσότητα πολύ υψηλών σωματιδίων (slimes). Τα σωματίδια αυτά, λόγω του πολύ μικρού μεγέθους τους, παρουσιάζουν μια πολύ μεγάλη επιφάνεια ανά μονάδα βάρους και επηρεάζουν δυσμενώς τη επίπλευση.

Η δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για επίπλευση έχει σαν κύριο σκοπό την εκλεκτική δημιουργία υδρόφοβων επιφανειών. Στο στάδιο αυτό τα προς επίπλευση σωματίδια του πολτού γίνονται υδρόφοβα, ενώ τα υπόλοιπα παραμένουν υδρόφιλα.

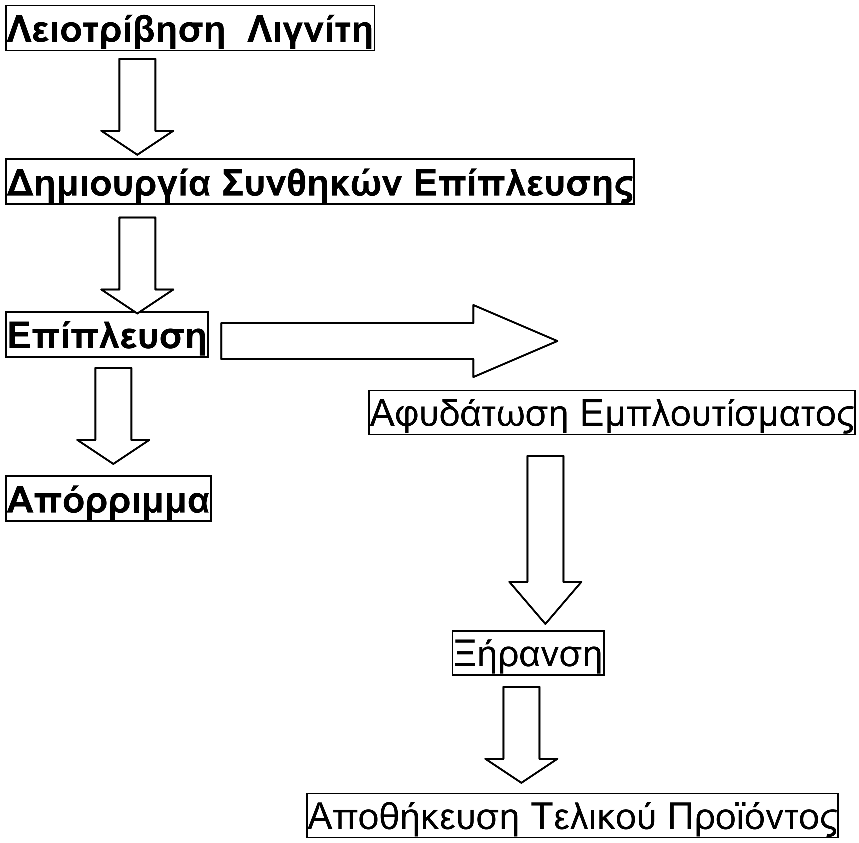
Η επίπλευση των σωματιδίων του χρήσιμου υλικού και η παραγωγή του εμπλουτίσματος πραγματοποιείται με τη βοήθεια ανερχόμενου ρεύματος φυσαλίδων αέρος, που δημιουργείται εντός του πολτού. Η διαδικασία αυτή όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.9 γίνεται εντός του μηχανήματος της επίπλευσης (κυψέλη επίπλευσης, flotation cell).Το ρεύμα των φυσαλίδων αέρος δημιουργείται, ανάλογα με τον τύπο της κυψέλης, με μηχανική ανατάραξη του πολτού, με εισαγωγή πεπιεσμένου αέρα, ή με συνδυασμό και των δύο. Οι φυσαλίδες με τα προσκοληθέντα σ' αυτές σωματίδια ανέρχονται στην επιφάνεια του πολτού σχηματίζοντας τον χαρακτηριστικό αφρό, εμπλουτισμένου λιγνίτη. Τα στείρα σωματίδια μαζί με την περίσσεια νερού απομακρύνονται από την έξοδο της κυψέλης.

Στην πράξη, το κύκλωμα της επίπλευσης είναι μια σειρά από μερικές συστοιχίες κυψελών. Ο πολτός ρέει διαδοχικά από την μια κυψέλη στην άλλη. Ο αφρός με τον εμπλουτισμένο λιγνίτη απομακρύνεται από την κυψέλη με μια μηχανική διάταξη απαγωγής ή απλά με υπερχείλιση του μέσα σε κεκλιμένα ανοιχτά λούκια. Στη συνέχεια οδηγείται σε μια σειρά μηχανημάτων για αφυδάτωση.

Η αφυδάτωση του εμπλουτίσματος περιλαμβάνει την συμπύκνωση στους πυκνωτές (thickeners) και την διήθηση σε διηθητήρια (filters). Όταν ολοκληρωθεί και αυτή η διαδικασία, το αποτέλεσμα λαμβάνεται ως το τελικό εμπλουτισμένο προϊόν της επίπλευσης. Υπάρχει η δυνατότητα για περαιτέρω ξήρανση, αν αυτό θεωρηθεί αναγκαίο. Στο Σχήμα 4.10 φαίνονται τα στάδια εμπλουτισμού με τη μέθοδο επίπλευσης αφρού.



Σχήμα 4.9. Παραδοσιακό κελί επίπλευσης αφρού ή τύπου αεριζόμενου στον πυθμένα



Σχήμα 4.10. Στάδια εμπλουτισμού με τη μέθοδο της επίπλευσης

Παράγοντες που επηρεάζουν την επίπλευση

(α) Τάξη και οξείδωση του λιγνίτη

Η επιπλευσιμότητα του λιγνίτη, ο οποίος θεωρείται εκ φύσεως υδροφοβικός, εξαρτάται από την τάξη του. Η χαμηλή επιπλευσιμότητα των λιγνιτών χαμηλής τάξης αποδίδεται στα υψηλά επίπεδα της περιεκτικότητά τους σε υγρασία και οξυγόνο. Η παρουσία οξυγόνου ευνοεί την επιφανειακή οξείδωση των σωματιδίων λιγνίτη δημιουργώντας ομάδες οξυγόνου και έτσι καθιστά τον λιγνίτη λιγότερο επιπλεύσιμο. Η διαφορά στην υδροφοβικότητα που παρουσιάζεται σε λιγνίτες διαφορετικής τάξης έχει συσχετιστεί με τον λόγο άνθρακα – προς – υδρογόνο. Έτσι, οι λιγνίτες με χαμηλότερο τέτοιο λόγο ανταποκρίνονται σε μικρότερο βαθμό επίπλευσης (Taggart A.F. 1939).

Σαν μέτρο επιπλευσιμότητας μερικώς οξειδωμένων και διαφορετικής τάξης λιγνιτών έχει προταθεί ο λόγος υδρογόνου – προς – οξυγόνο, ο οποίος υπολογίζεται εύκολα με στοιχειακή ανάλυση δειγμάτων των προς επεξεργασία λιγνιτών. Όταν ο λόγος είναι μεγαλύτερος από 20, ο λιγνίτης επιπλέει εύκολα, ενώ όταν ο λόγος είναι μικρότερος από 20 ο λιγνίτης επιπλέει δύσκολα (Wen W.W. 1977, Vamvuka D. 2001, Nimeric K.H. 1982).

Η επιπλευσιμότητα του λιγνίτη συσχετίζεται επίσης με την πετρογραφική του σύνθεση. Έτσι τα ανόργανα συστατικά του έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην επίπλευσή του. Φαίνεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα σε ανόργανη ύλη, τόσο λιγότερο υδροφοβικός είναι ο λιγνίτης. Η παρουσία υδρόφιλων αργιλοπυριτικών ορυκτών, όπως ιλλίτης, καολινίτης, και μοντμοριλλονίτης, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική απώλεια της ανάκτησης με επίπλευση (Vamvuka D. 2001, Eamer B.J. 1981, Mishra S.K. 1985, Arnold B.J. 1981). Η απώλεια αυτή μπορεί να οφείλεται είτε σε επικάλυψη της επιφάνειας των σωματιδίων καθαρού λιγνίτη με αργιλική ύλη, ή σε κατανάλωση των αντιδραστηρίων από την ίλη. Από την άλλη πλευρά, οι πυρίτες και άλλα θειούχα ορυκτά δεν είναι ούτε πολύ υδροφιλικά, ούτε υδροφοβικά.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές για την βελτίωση της υδροφοβικότητας των δύσκολα επιπλεύσιμων λιγνιτών. Οι τεχνικές αυτές, με χρήση χημικών ή μηχανικών μέσων, επιτυγχάνουν αναγωγή των επιφανειακών ομάδων οξυγόνου που ευθύνονται για την μείωση της υδροφοβικότητας.

(β) Μέγεθος σωματιδίων.

Είναι γνωστό ότι σωματίδια λιγνίτη πάνω από ένα όριο μεγέθους δεν μπορούν να επιπλεύσουν. Συνεπώς, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των σωματιδίων, τόσο πιο εύκολα μπορούν να επιπλεύσουν με την βοήθεια των φυσαλίδων αέρα. Όσο σημαντικός όμως είναι ο προσδιορισμός του ανώτατου ορίου μεγέθους των προς επίπλευση σωματιδίων, άλλο τόσο είναι σημαντικός και ο προσδιορισμός κατώτατού ορίου μεγέθους. Η δημιουργία ψιλών σωματιδίων επιδρά δυσμενώς, όπως προαναφέρθηκε στην διαδικασία επίπλευσης (Σαββίδης Γρ.Π. 1988). Έχει παρατηρηθεί ότι έντονη παρουσία ψιλών σωματιδίων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ταχύτητας επίπλευσης, ακόμα και στην πλήρη ανακοπή της.

Μια από τις βασικές αιτίες των επιβλαβών αποτελεσμάτων, που προκαλούν τα ψιλά σωματίδια στην επίπλευση, είναι η προσκόλλησή τους σε μεγάλα σωματίδια. Η προσκόλληση αυτή μπορεί να προχωρήσει μέχρι του σημείου να καλυφθεί πλήρως το μεγάλο σωματίδιο. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να οφείλεται σε χημική αλληλεπίδραση μεταξύ των σωματιδίων, ή σε συσσωμάτωση [1] και κροκίδωση.[2]

Αν τα ψιλά σωματίδια που δημιουργούν το εξωτερικό κάλυμμα του σωματιδίου είναι υδρόφιλα, αναστέλλουν την προσκόλληση του σωματιδίου αυτού σε φυσαλίδα αέρος. Αντίθετα, αν είναι υδρόφοβα είναι δυνατή η κατ' αρχήν προσκόλληση του σωματιδίου σε φυσαλίδα αέρος. Στη συνέχεια όμως, είναι πολύ εύκολο να αποχωριστεί η φυσαλίδα από το σωματίδιο, παρασύροντας μαζί της και ποσότητα ψιλών σωματιδίων.

Η συσσωμάτωση ψιλών σωματιδίων δημιουργεί φλόκους οι οποίοι παραμένουν στον πολτό λόγω του υδρόφιλου χαρακτήρα τους, ενώ η κροκίδωση δημιουργεί υδρόφοβους φλόκους οι οποίοι μπορούν να μεταφερθούν στο αφρό όταν το βάρος τους δεν είναι πολύ μεγάλο.

Τα ψιλά σωματίδια είναι δυνατό να καλύψουν εξωτερικά και τις φυσαλίδες αέρα, μειώνοντας έτσι σημαντικά τη δράση τους.

Επίσης, τα ψιλά σωματίδια καταναλώνουν μια σημαντική ποσότητα συλλέκτη, που οφείλεται στην εξαιρετικά μεγάλη ειδική επιφάνεια τους. Έτσι, είναι απαραίτητη η χρήση περίσσειας συλλέκτη, που όπως φαίνεται παρακάτω οδηγεί σε μη εκλεκτική επίπλευση (συνεπίπλευση στείρων και καθαρού λιγνίτη). Έτσι έχουμε παραγωγή εμπλουτίσματος χαμηλής καθαρότητας.

---

[1] Η συσσωμάτωση οφείλεται στην ελάττωση, αναστροφή ή εξουδετέρωση των ηλεκτρικών απωστικών δυνάμεων μεταξύ των σωματιδίων και ευνοείται από την παρουσία αλάτων μετάλλων (θεϊκό αργίλιο, χλωριούχο μαγνήσιο κ.ά.)

[2] Η κροκίδωση οφείλεται στο σχηματισμό γεφυρών ανάμεσα στα σωματίδια και στον συλλέκτη.

Η προσρόφηση συλλέκτη από τα ψιλά σωματίδια εμποδίζει την επίπλευση των μεγάλων σωματιδίων. Έτσι μειώνεται σημαντικά η ταχύτητα επίπλευσης. Η παρουσία ψιλών σωματιδίων είναι δυνατόν να αυξήσει το ιξώδες του πολτού επίπλευσης. Λειτουργεί έτσι ανασταλτικά στον αερισμό του πολτού και στην ανύψωση των φυσαλίδων αέρα.

Η διεργασία επίπλευσης θεωρείται αντιοικονομική για σωματίδια λιγνίτη μεγέθους πάνω από 600μm (Zimmerman R.E. 1948). Το βέλτιστο μέγεθος σωματιδίων κυμαίνεται μεταξύ 300μm και 106μm. Ο βαθμός ανάκτησης και η ποιότητα του προϊόντος μειώνεται όσο το μέγεθος των σωματιδίων μειώνεται, ιδιαίτερα για μεγέθη μικρότερα από 45μm. Προτιμώνται ακανόνιστα σχήματα σωματιδίων με γωνίες και μεγάλο εμβαδόν επιφάνειας σε σχέση με τη μάζα τους.

(γ) Πυκνότητα Πολτού.

Η πυκνότητα του πολτού επίπλευσης επηρεάζει τις πιθανότητες των αμοιβαίων συγκρούσεων μεταξύ σωματιδίων και φυσαλίδων αέρα. Έτσι επηρεάζεται άμεσα η δυναμικότητα της κυψέλης που χρησιμοποιείται για την επίπλευση. Γενικά ισχύει ότι: όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των σωματιδίων, τόσο πυκνότερος πρέπει να είναι ο πολτός, για να εμποδίζεται η πτώση των μεγάλων και βαρέων σωματιδίων του λιγνίτη.

Πειράματα επίπλευσης (Σαββίδης Γρ.Π. 1988) που επικεντρώθηκαν στην επίδραση της πυκνότητας του πολτού κατέληξαν στα εξής συμπεράσματα:

- Η υψηλή πυκνότητα πολτού επιδεινώνει τις δυσμενείς επιδράσεις των ψιλών σωματιδίων.
- Η επίδραση των ανόργανων αντιδραστηρίων της επίπλευσης επηρεάζεται από την ποιότητα του νερού του πολτού.

- Υψηλές πυκνότητες πολτών μπορούν να δώσουν πιο οικονομική λειτουργία με: (α) αύξηση της δυναμικότητας των κυψελών επίπλευσης και (β) μείωση της ποσότητας των χρησιμοποιούμενων αντιδραστηρίων.

- Η δυναμικότητα των συσκευών επίπλευσης είναι αντιστρόφως ανάλογη του 1+δ.R, όπου δ είναι η πυκνότητα του προς εξέταση μεταλλεύματος και R είναι η σχέση του υγρού προς τα στερεά στον πολτό.

- Η ταχύτητα επίπλευσης εξαρτάται από την πυκνότητα του πολτού. Γενικά μεγαλύτερη ταχύτητα επίπλευση παρατηρείται σε πυκνότητα που αντιστοιχεί σε R=2,5:1.

Το νερό που χρησιμοποιείται για την δημιουργία του πολτού επίπλευσης δεν πρέπει να έχει υψηλή σκληρότητα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια εκλεκτικότητας και αυξημένη κατανάλωση των αντιδραστηρίων της επίπλευσης.

Όταν το νερό έχει υψηλή σκληρότητα, επιβάλλεται πραγματοποίηση οικονομοτεχνικής μελέτης για να αποδειχθεί η σκοπιμότητα ή μη της αποσκλήρυνσής του.

Όπως αναφέρθηκε, ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την επιλογή πυκνότητας πολτού, είναι η κατανομή των μεγεθών στην τροφοδοσία. Για λιγνίτες με εύρος μεγεθών 1,77X0,3mm ενδείκνυται πολτού με πυκνότητα περίπου 15% ενώ για λιγνίτες με εύρος μεγεθών 0,59X0,07 mm έχουμε υψηλή απόδοση επίπλευσης σε πυκνότητες πολτού περίπου 5% με 7% (Mc Candels, 1978, Singh S.P. 1979). Για πυκνότητες υψηλότερες από 12,5% ο λόγος απόδοση/περιεκτικότητα σε τέφρα αυξάνεται σημαντικά (Leonard J.W. 1968).

(δ) Χαρακτηριστικά και pH ύδατος.

Το φυσικό νερό μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα αραιό διάλυμα διαφόρων αλάτων και αερίων (Σαββίδης Γρ.Π. 1988).

Από τα άλατα τα πιο ενδιαφέροντα είναι αυτά των Ca^{++}, Mg^{++}, Fe^{++}, Fe^{+++}, Na^{+}, K^{+} υπό μορφή χλωριούχων (Cl^{-}), θειικών $SO_4^{=}$), ανθρακικών ($CO_3^{=}$) και όξινων ανθρακικών ($HCO_3^{=}$). Στα άλατα του Ca και Mg οφείλεται κυρίως ένα από τα πιο ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά του ύδατος: η σκληρότητα.

Τα περιεχόμενα στο νερό άλατα αλληλεπιδρούν με τον λιγνίτη και τα αντιδραστήρια της επίπλευσης με ποικιλία αποτελέσματα. Σε πολλές περιπτώσεις τα άλατα επηρεάζουν την διαλυτότητα του λιγνίτη και σχηματίζουν αδιάλυτα σύμπλοκα με τα αντιδραστήρια. Οι απρόβλεπτες συνθήκες που μπορεί να δημιουργηθούν από την ύπαρξη διαφόρων διαλυτών αλάτων, αντιμετωπίζονται με αντίστοιχες δοκιμές επίπλευσης σε συνάρτηση και με την μεταβολή του pH.

Ειδικότερα, στην περίπτωση του pH, αν διαπιστωθεί κρίσιμη τιμή, με περιορισμένα όρια διακύμανσης, πρέπει να σχεδιαστεί αυστηρός έλεγχος και δυνατότητα αυτόματης διόρθωσης στο κύκλωμα του εργοστασίου.

Έχει υπολογισθεί ότι για μέγιστη ανάκτηση εμπλουτισμού λιγνίτη η τιμή του pH κυμαίνεται μεταξύ 6 και 8. Όμως, καθώς η τιμή του pH αυξάνεται, η περιεκτικότητα του ανακτώμενου λιγνίτη σε τέφρα αυξάνεται.

Η ύπαρξη κολλοειδών αργιλικών ενώσεων ή ιλύος στο νερό επιδρούν αρνητικά στην επίπλευση. Αυτά μπορούν να αντιμετωπισθούν με την κατάλληλη χρήση χημικών μέσων, για την κροκίδωση τους στην συσκευή, πύκνωσης του απορρίμματος, ή με την χρήση καθαρού νερού στο κύκλωμα επίπλευσης.

(ε) Αντιδραστήρια Επίπλευσης.

Η χρησιμοποίηση των αντιδραστηρίων είναι ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας καθορισμού της λειτουργίας της επίπλευσης (Σαββίδης Γρ.Π. 1988). Η ευρεία εφαρμογή που έχει σήμερα η επίπλευση στο εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων και στον επιμέρους διαχωρισμό των ορυκτών, οφείλεται κυρίως στις μεγάλες προόδους που έχουν γίνει στον τομέα των αντιδραστηρίων που χρησιμοποιούνται για την διεξαγωγή της. Η εκλογή των κατάλληλων αντιδραστηρίων, ο τρόπος και τα σημεία τροφοδότησής τους στα κυκλώματα της επίπλευσης, είναι από τα πρώτα στοιχεία που λαμβάνονται υπ’ όψη κατά τον σχεδιασμό μιας εγκατάστασης επίπλευσης. Επομένως η μελέτη της δράσης των αντιδραστηρίων εκτός από την θεωρητική της αξία έχει και μεγάλη πρακτική σημασία.

Τα αντιδραστήρια της επίπλευσης, σύμφωνα με τη δράση τους, ταξινομούνται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

1. Συλλεκτικά αντιδραστήρια ή συλλέκτες (collectors)

2. Ρυθμιστικά αντιδραστήρια ή ρυθμιστικά μέσα (regulating agents)

3. Αφριστικά αντιδραστήρια (frothers)

Μια άλλη δυνατότητα ταξινόμησης των αντιδραστηρίων της επίπλευσης, μπορεί να γίνει με βάση τη συγκέντρωση των αντιδραστηρίων αυτών στις διεπιφάνειες των συστημάτων επίπλευσης. Με τη βάση αυτή τα αντιδραστήρια επίπλευσης ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Αντιδραστήρια που συγκεντρώνονται στη διεπιφάνεια ορυκτό/νερό και ιδιαίτερα στην επιφάνεια του ορυκτού ή στο άμεσο περιβάλλον της. Τέτοια αντιδραστήρια είναι όλοι οι συλλέκτες και μερικοί ενεργοποιητές.

2. Αντιδραστήρια που συγκεντρώνονται στην διεπιφάνεια αέρας/νερό. Τέτοια αντιδραστήρια είναι κυρίως τα αφριστικά και μερικοί ανόργανοι ηλεκτρολύτες.

3. Αντιδραστήρια που είναι διαλυμένα στον πολτό της επίπλευσης και επηρεάζουν σημαντικά την πορεία της. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν πολλοί ενεργοποιητές, αντιδραστήρια ρύθμισης του pH του πολτού, αντιδραστήρια καταστολής της επίπλευσης κ.ά.

Τέλος, υπάρχει και μια κατηγορία αντιδραστηρίων τα οποία δεν χρησιμοποιούνται στο στάδιο της επίπλευσης, αλλά στα στάδια που ακολουθούν την επίπλευση. Αυτά είναι τα κροκιδωτικά αντιδραστήρια (flocculants) και χρησιμοποιούνται στις διεργασίες της συμπύκνωσης και διήθησης του πολτού που περιέχει το εμπλούτισμα της επίπλευσης.

- Συλλεκτικά αντιδραστήρια ή Συλλέκτες

Οι συλλέκτες είναι γενικά οργανικά αντιδραστήρια, τα οποία βοηθούν την προσκόλληση των σωματιδίων στις φυσαλίδες αέρα. Οι συλλέκτες συγκεντρώνονται στις επιφάνειες των σωματιδίων και μειώνουν την σταθερότητα των υδάτινων στρωμάτων από τα οποία περιβάλλονται τα σωματίδια. Έτσι συντελούν στην διάρρηξη και απομάκρυνση των παραπάνω στρωμάτων και προετοιμάζουν την προσκόλληση των σωματιδίων στις φυσαλίδες αέρα.

Η συλλεκτική ισχύς ενός συλλέκτη υπολογίζεται με το βάθρο επίπλευσης ενός ορυκτού ανά μονάδα χρησιμοποιούμενου συλλέκτη. Ο όρος εκλεκτικότητα ενός συλλέκτη αναφέρεται στην ικανότητα του να προσροφάται κατά προτίμηση στα σωματίδια προς επίπλευση.

Οι συλλέκτες ταξινομούνται στις ακόλουθες τρεις κύριες κατηγορίες:

1. Ανιονικοί συλλέκτες
2. Κατιονικοί συλλέκτες

   Ετεροπολικοί συλλέκτες

3. Μη πολικοί συλλέκτες

Στον Πίνακα 4.2 έχουμε την συνολική ταξινόμηση των συλλεκτών.

Πίνακας 4.2: Ταξινόμηση συλλεκτών (Σαββίδης Γρ.Π. 1988)

ΑΝΙΟΝΙΚΟΙ ΟΞΥΔΡΥΛΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ
Άλατα των λιπαρών οξέων
Άλατα των αλκυλοθειϊκών οξέων
Άλατα των θειικών εστέρων των λιπαρών οξέων με ενδιάμεσο συνδετικό κρίκο αλκοόλες
Άλατα των θειικών εστέρων των αμίνων
Άλατα των αλκυλοσουλφονικών οξέων
Άλατα των αλκυλοσουλφονικών οξέων με ενδιάμεσο συνδετικό κρίκο αμίδια
Δι-αλκυλοσουλφονικά άλατα
Αλκυλ-αρυλο-σουλφονικά άλατα

ΑΝΙΟΝΙΚΟΙ ΣΟΥΛΦΥΔΡΥΛΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ
Μεκραπτάνες
Ξανθογονικά άλατα (xanthates)
Τα άλατα των όξινων εστέρων του μονοθειοανθρακικού και του τριθειοανθρακικού οξέος
Άλατα των αλκυλοθειοκαρβαμιδικών οξέων
Διθειοφωσφορικά άλατα (aerfloats)
Θειοκαρβανιλίδια

ΚΑΤΙΟΝΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ
Άλατα των πρωτοταγών αμινών
Άλατα των δευτεροταγών αμινών
Άλατα των τριτοταγών αμινών
Άλατα των τεταρτοταγών ενώσεων του αμμωνίου

ΜΗ ΙΟΝΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ
Διάφορα έλαια

Οι μη πολικοί συλλέκτες στερούνται πολικών ομάδων και είναι αδιάλυτοι στο νερό. Χρησιμοποιούνται στην επίπλευση μη πολικών ορυκτών, δηλαδή ορυκτών τα οποία χαρακτηρίζονται από μια αυξημένη φυσική υδροφοβία όπως είναι οι λιγνίτες. Για την επίπλευση λιγνιτών συνήθως προστίθενται συλλέκτες υπό μορφή υδρογονανθράκων ή διαφόρων κλασμάτων απόσταξης καύσιμου ελαίου, σε τυπικές συγκεντρώσεις 0,25-1kg/t λιγνίτη.

- Ρυθμιστικά αντιδραστήρια

Τα ρυθμιστικά αντιδραστήρια αναφέρονται και ως μέσα τροποποίησης ή τροποποιητές. Ο ρόλος των ρυθμιστικών αντιδραστηρίων είναι να εντείνουν τη δράση του συλλέκτη, με αποτέλεσμα την βελτίωση της απόδοσης και της εκλεκτικότητας στην επίπλευση. Η δράση τους συνιστάται στην δημιουργία κατάλληλων συνθηκών και την προετοιμασία των σωματιδίων για την εκλεκτική προσρόφηση του συλλέκτη στις επιφάνειες τους, ή για την παρεμπόδιση της προσρόφησης του συλλέκτη στις επιφάνειες αυτές.

Οι συνθήκες αυτές μπορεί να είναι η ρύθμιση του pH, η εκλεκτική δημιουργία υδρόφιλων επιφανειών, η αλλαγή της σύνθεσης των επιφανειών, η κατακρήμνιση των ανεπιθύμητων ιόντων του πολτού, η διασπορά ορισμένων συστατικών του πολτού κ.ά. Ανάλογα λοιπόν την δράση τους τα ρυθμιστικά αντιδραστήρια μπορούν να αναφερθούν και ως α) ενεργοποιητές, β) κατασταλτικά και γ) μέσα διασποράς.

Στη περίπτωση λιγνιτών, ο ενεργοποιητής τροποποιεί την επιφάνεια των σωματιδίων του λιγνίτη, έτσι ώστε να ευνοηθεί η προσκόλληση του συλλέκτη στην φυσαλίδα του αέρα. Επίσης ευνοεί την προσρόφηση των συλλεκτών, οι οποίοι έχουν όμοιο φορτίο με αυτό του λιγνίτη. Συνήθεις ενεργοποιητές για επίπλευση λιγνιτών είναι οι υδρογονάνθραςπου έχουν συστατικά με βάση την παραφίνη, το ναφθαλένιο ή άλλες αρωματικές ενώσεις, οι αιθοξυλιωμένες εννεαφαινόλες, οι λαουρικοί θεϊκοί εστέρες, οι σουλφονικές ενώσεις, τα πολυμερή πολυπροπυλένιου – πολυαιθυλενίου, οι αμίνες με επιμήκη αλυσίδα, τα αμίδια λιπαρών οξέων κ.α.

Τα κατασταλτικό αντιδραστήριο αποτρέπει την αφαίρεση, μαζί με τον αφρό του λιγνίτη, των σωματιδίων της ανόργανης ύλης, επικαλύπτοντάς τα εκλεκτικά. Το οξείδιο του ασβεστίου και τα κυανούχα άλατα του νατρίου και του καλίου είναι κατασταλτικά για πυρίτες, ενώ το πυριτικό νάτριο, η λιγνίνη και οι σουλφονικές ενώσεις πετρελαίου είναι αποτελεσματικά κατασταλτικά για αργιλικές ενώσεις. Κατασταλτικά λιγνίτη για αντίστροφη επίπλευση δεν χρησιμοποιούνται ευρέως, λόγω του υψηλού τους κόστους και της χαμηλής ποιότητας διαχωρισμού.

Τα αντιδραστήρια διασποράς χρησιμοποιούνται για να μειώσουν τις αρνητικές για το διαχωρισμό επιπτώσεις της ιλύος και των αργιλικών ενώσεων. Ένα τυπικό αντιδραστήριο διασποράς είναι το εξαμεταφωσφορικό νάτριο.

Στον Πίνακα 4.3 έχουμε την συνολική ταξινόμηση των ρυθμιστικών αντιδραστηρίων.

Πίνακας 4.3 : Ταξινόμηση ρυθμιστικών αντιδραστηρίων (Σαββίδης Γρ.Π. 1988)

	ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ
1	**Μέσα ρύθμισης του pH (pH modifiers)** Οξέα : H_2SO_4, HCl Βάσεις: $Ca(OH)_2$ ή CaO, NaOH Άλατα : Na_2CO_3
2	**Μέσα ενυδάτωσης των επιφανειών (Wetting agents)** Πυριτικό νάτριο Οργανικά κολλοειδή:άμυλο, αμυλόζη, αμυλοπηκτίνη, δεξτρίνες
3	**Μέσα αναγέννησης των επιφανειών (Re-surfacing agents)** Ανιονικά : CN^-, $PO^{\equiv}_4$, $CO^=_3$, $S^=$ Κατιονικά: Ba^{++}, Ca^{++}, Cu^{++}, Pb^{++}, Zn^{++}, Ag^+
4	**Μέσα κατακρήμνισης (Precipitating agents)** Ανιονικά :$CO^=_3$, $SO^=_3$, $PO^{\equiv}_4$, CN^- Κατιονικά: Ca^{++}, Ba^{++}
5	**Μέσα διασποράς (Dispresing agents)** Πυριτικό νάτριο, NaOH, Na_2CO_3

- Αφριστικά αντιδραστήρια.

Ο ρόλος των αφριστικών αντιδραστηρίων στην επίπλευση είναι να βελτιώσουν την διασπορά του αέρα στον πολτό, να παρατείνουν τη ζωή των φυσαλίδων εντός του πολτού και να αυξήσουν την σταθερότητα του αφρού που σχηματίζεται στην επιφάνεια του πολτού.

Το χαρακτηριστικό των αφριστικών αντιδραστηρίων είναι η ιδιότητά τους να ελαττώνουν την επιφανειακή τάση του νερού. Η ελάττωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την προσωρινή μετάδοση μιας αυξημένης αντοχής στο περίβλημα των φυσαλίδων.

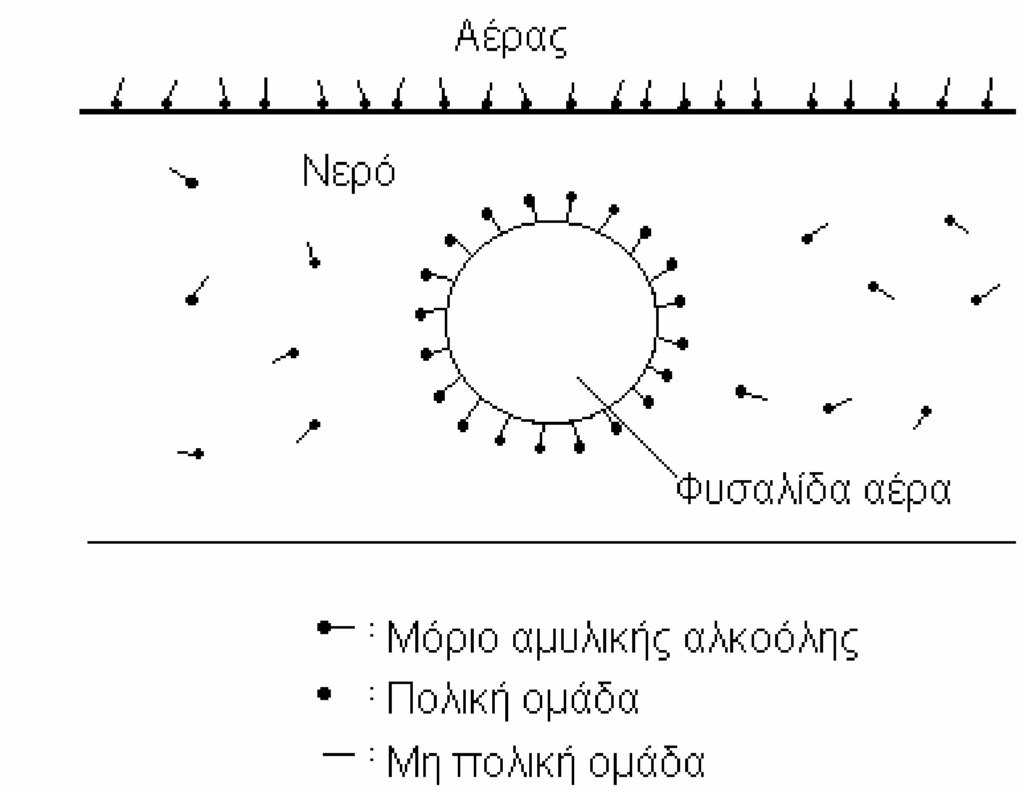
Τα μόρια των αφριστικών αντιδραστηρίων, όπως και τα μόρια των συλλεκτών, συνίστανται από δυο ομάδες ατόμων: Από μια υδρόφοβη και από μια υδρόφιλη ομάδα. Η υδρόφοβη ομάδα είναι μια υδρογονανθρακική αλυσίδα σε ευθεία, ή με διακλάδωση, ή κυκλική. Η υδρόφιλη ομάδα είναι: OH, COOH, C=O, NH_2. Συνήθως χρησιμοποιούνται αφριστικά με υδρόφιλη ομάδα OH.

Τα αφριστικά αντιδρστήρια, μέσα στον πολτό, προσανατολίζονται με τις μη πολικές τους ομάδες προς την αέρια φάση και τις πολικές ομάδες προς την υγρή φάση. Τα μόρια δηλαδή των αφριστικών αντιδραστηρίων συγκεντρώνονται κυρίως στην διεπιφάνεια υγρού / αερίου.

Η συγκέντρωση των μορίων του αφριστικού αντιδραστηρίου στο επιφανειακό στρώμα του νερού, δίνει στη ζώνη αυτή την απαιτούμενη ελαστικότητα, που επιτρέπει στις ανερχόμενες φυσαλίδες να σπάσουν το επιφανειακό αυτό στρώμα του νερού και να αναδυθούν στην επιφάνεια άθικτες (Σχήμα 4.11)

Πολλά από τα χρησιμοποιούμενα αφριστικά αντιδραστήρια έχουν και συλλεκτικές ιδιότητες, όπως άλλωστε και πολλοί συλλέκτες παρουσιάζουν αφριστικές ιδιότητες. Αυτό οφείλεται στις πολικές τους ομάδες. Οι συλλεκτικές ιδιότητες αποτελούν μειονέκτημα για ένα αφριστικό αντιδραστήριο.

Για την επίπλευση λιγνιτών συνήθως χρησιμοποιούνται μη ιονικές τασιενεργείς ουσίες όπως, οι αλκοόλες (π.χ. κρεζόλη, μεθυλ-ισοβουτυλ-καρβινόλη), αλκοξυ-ενώσεις και αιθέρες της γλυκόζης του πολυπροπυλενίου, σε αναλογίες μεταξύ 0,05 kg/t και 0,25 kg/t λιγνίτη.



Σχήμα 4.11.: Σχηματική παράσταση του προσανατολισμού των μορίων αφριστικού αντιδραστηρίου (αμυλική αλκοόλη, $C_5H_{11}OH$) σε υδατικό διάλυμα. (Σαββίδης Γρ.Π. 1988)

4.5.2. Συσσωμάτωση με έλαιο

Η διεργασία συσσωμάτωσης με έλαιο, η οποία αναπτύχθηκε από το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας του Καναδά (NRCC) (Capes C.E. 1970, Capes C.E. 1971), αντιπροσωπεύει μια εναλλακτική μέθοδο της επίπλευσης για εμπλουτισμό λεπτόκοκκου λιγνίτη (<75μm). Όπως και η επίπλευση αφρού, βασίζεται στις διαφορετικές επιφανειακές ιδιότητες των οργανικών και των ανόργανων συστατικών του λιγνίτη για την επίτευξη του διαχωρισμού τους.

Κατά τη διεργασία αυτή, πραγματοποιείται συσσωμάτωση των ανθρακούχων συστατικών των λεπτών σωματιδίων του λιγνίτη, μέσα σε αναδευόμενα πυκνά υδατικά αιωρήματα. Τα έλαια που χρησιμοποιούνται δεν είναι αναμίξιμα με το ύδωρ και κατά προτίμηση υγραίνουν τις υδροφοβικές επιφάνειες του λιγνίτη μέσω τριχοειδών διεπιφανειακών δυνάμεων.

Τα συσσωματώματα αυτά είναι πλέον πιο χονδρόκοκκα από τα μη επηρεασθέντα υδροφιλικά σωματίδια ανόργανης ύλης και έτσι στη συνέχεια μπορούν να διαχωριστούν από αυτή με μια διάταξη επίπλευσης – βύθισης ή με τη χρήση κόσκινων.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη συσσωμάτωση με έλαιο

Α) Τύπος και ποσότητα του ελαίου συλλέκτη

Στον Πίνακα 4.4 φαίνεται ότι τα πιο εξευγενισμένα και ελαφρύτερα έλαια, όπως οι διάφοροι διαλύτες, τα καύσιμα έλαια και η κηροζίνη, είναι πιο εκλεκτικά ως προς την ανάκτηση των ανθρακούχων συστατικών σαν προϊόντα χαμηλής περιεκτικότητας σε τέφρα, από ό,τι τα βαρύτερα έλαια, συμπεριλαμβανομένων της πίσσας του γαιάνθρακα ή του αργού πετρελαίου Bunker C. Τα βαρύτερα έλαια περιέχουν χαρακτηριστικές ομάδες, οι οποίες είναι σε θέση να προετοιμάσουν τα συστατικά της τέφρας για την παραγωγή υδροφοβικών επιφανειών, οδηγώντας τα στην ελαιώδη φάση.

Έλαια με μέσες τιμές σχετικής πυκνότητας (0,7 με 0,85), επιφανειακής τάσης (30dynes/cm)και ιξώδους, είναι πιο αποτελεσματικά (Sun S.C. 1959, Sarkar G.G. 1976, Capes C.E. 1976). Όταν απαιτείται υψηλός βαθμός απομάκρυνσης των προσμίξεων, συνιστάται να χρησιμοποιούνται ελαφρά και εξευγενισμένα έλαια (σχετική πυκνότητα <0,9), με υψηλή περιεκτικότητα σε παραφίνες, ενώ για την παραγωγή μεγάλων συσσωματωμάτων, τα οποία ανακτώνται και αφυδατώνονται εύκολα, συνιστάται η χρήση βαρύτερων ελαίων, περισσότερο αρωματικών και με υψηλό ιξώδες.

Η ποσότητα του ελαίου η οποία χρησιμοποιείται είναι ένας κύριος παράγοντας για την οικονομία της διεργασίας. Με εύρος συγκεντρώσεων ελαίου 5% ως 30% σε ξηρή βάση, επιτυγχάνεται υψηλή αποτελεσματικότητα. Όμως έτσι η δομή των συσσωματωμάτων που προκύπτουν είναι διαφορετική. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις, παράγονται λεπτά σωματίδια, ενώ σε υψηλές συγκεντρώσεις παράγονται χονδρότερα και πιο συμπαγή συσσωματώματα. Τέλος, μεγαλύτερα φορτία ελαίου οδηγούν σε μειωμένη απόδοση.

Πίνακας 4.4.: Επίδραση του τύπου του συλλέκτη ελαίου στον εμπλουτισμό με συσσωμάτωση (Capes C.E. 1970)

Έλαιο Συλλέκτης	Θερμ/σία °C	Τέφρα προϊόντος %	Θείο προϊόντος %	Ανάκτηση καυσίμων %	Μείωση τέφρας %	Μείωση θείου (ολικό) %
Καύσιμο Έλαιο	21	7,2	3,6	97	66	41
Κηροζίνη	21	5,2	2,8	83	75	54
Κηροζίνη	90	5,5	2,9	-	74	52
Varsol	21	5	2,7	91	76	56
50% Κηροζίνη+50%	21	10,6	-	-	50	-
Αργό Bunker C	90	14	4,6	92	34	25
Ελαφρ. πίσσα γαιάνθρακα	21	19	-	90	10	-
Ελαφρ. πίσσα γαιάνθρακα	90	15,7	-	90	26	-

Β) Επίπεδο και διάρκεια Ανάδευσης.

Το επίπεδο και η διάρκεια ανάδευσης, μαζί με την ποσότητα του ελαίου το οποίο προστίθεται, καθορίζουν το ρυθμό σχηματισμού και το τελικό μέγεθος των συσσωματωμάτων. Έτσι επηρεάζουν τόσο την ποιότητα, όσο και το βαθμό ανάκτησης του προϊόντος.

Γ) Επιφανειακή φύση των προσμίξεων

Ορισμένες προσμίξεις, κυρίως ο πυρίτης, καταλήγουν κατά κανόνα στη φάση ελαίου, μειώνοντας έτσι τη δυνατότητα αποθείωσης της διεργασίας. Όμως η φύση της επιφάνειας του πυρίτη μπορεί να μετατραπεί σε υδροφιλική, με την προσθήκη ενός κατασταλτικού πυρίτη, ή την χρήση βακτηρίων / χημικών για την εκλεκτική οξείδωση του πυρίτη προς διαλυτά θεϊκά άλατα (Capes C.E. 1970).

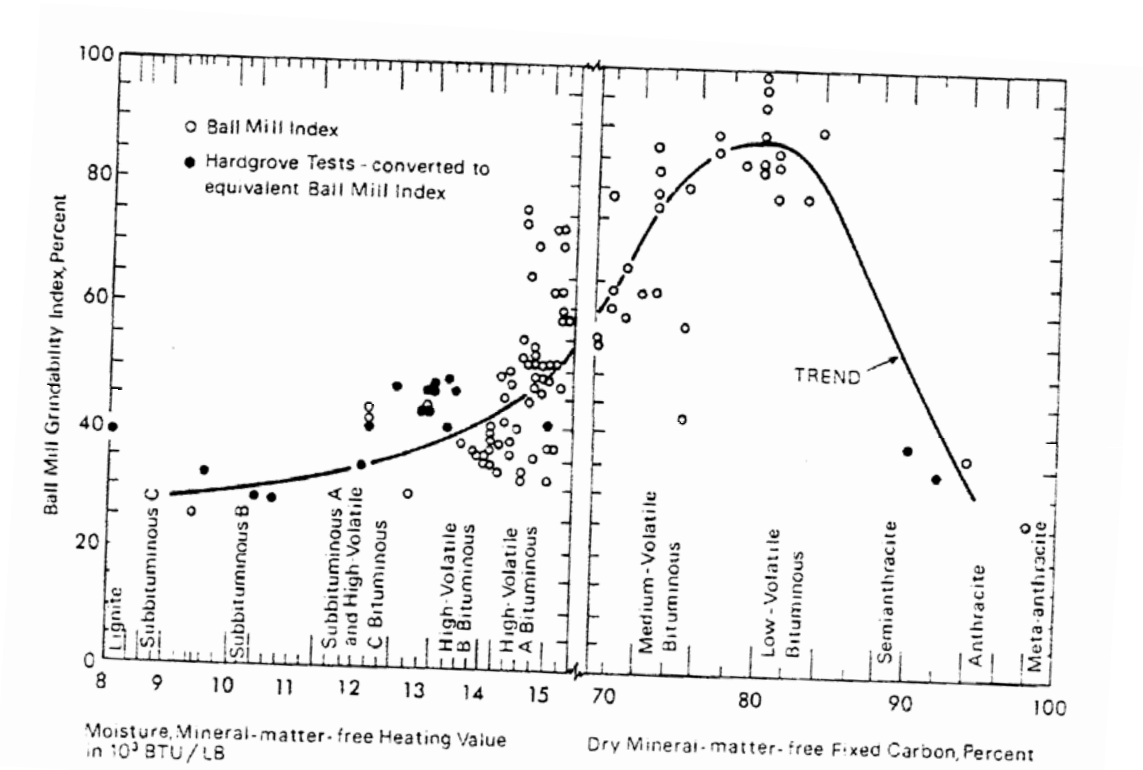
4.6 Εμπλουτισμός με διαχωρισμό βάσει αλεσιμότητας και ευθρυπτότητας (Εκλεκτική λειοτρίβιση, κατάτμηση)

Όπως έχει αναφερθεί, οι διεργασίες προ-επεξεργασίας του λιγνίτη περιλαμβάνουν τη θραύση και το διαχωρισμό των μεγεθών του εξορρυσσόμενου λιγνίτη, οδηγώντας έτσι στην αποδέσμευση των ανόργανων προσμίξεων και σε κατανομές μεγέθους σωματιδίων που είναι κατάλληλα για χρήση σε κυκλώματα εμπλουτισμού.

Η αλεσιμότητα ενός λιγνίτη είναι ένδειξη της σχετικής ευκολίας με την οποία ο λιγνίτης αυτός μπορεί να κονιοποιηθεί, ενώ η ευθρυπτότητα είναι ένδειξη της ικανότητας του λιγνίτη να παρουσιάζει αντίσταση στη μείωση μεγέθους κατά τις διεργασίες διαχείρισής του. Λόγω των διαφορών σε αλεσιμότητα και ευθρυπτότητα των συστατικών του λιγνίτη (οργανική και ανόργανη ύλη), η άλεση επιτρέπει την αποδέσμευση των ανόργανων συστατικών, δημιουργώντας έτσι λιγνίτες ομοιογενούς μεγέθους και ποιότητας.

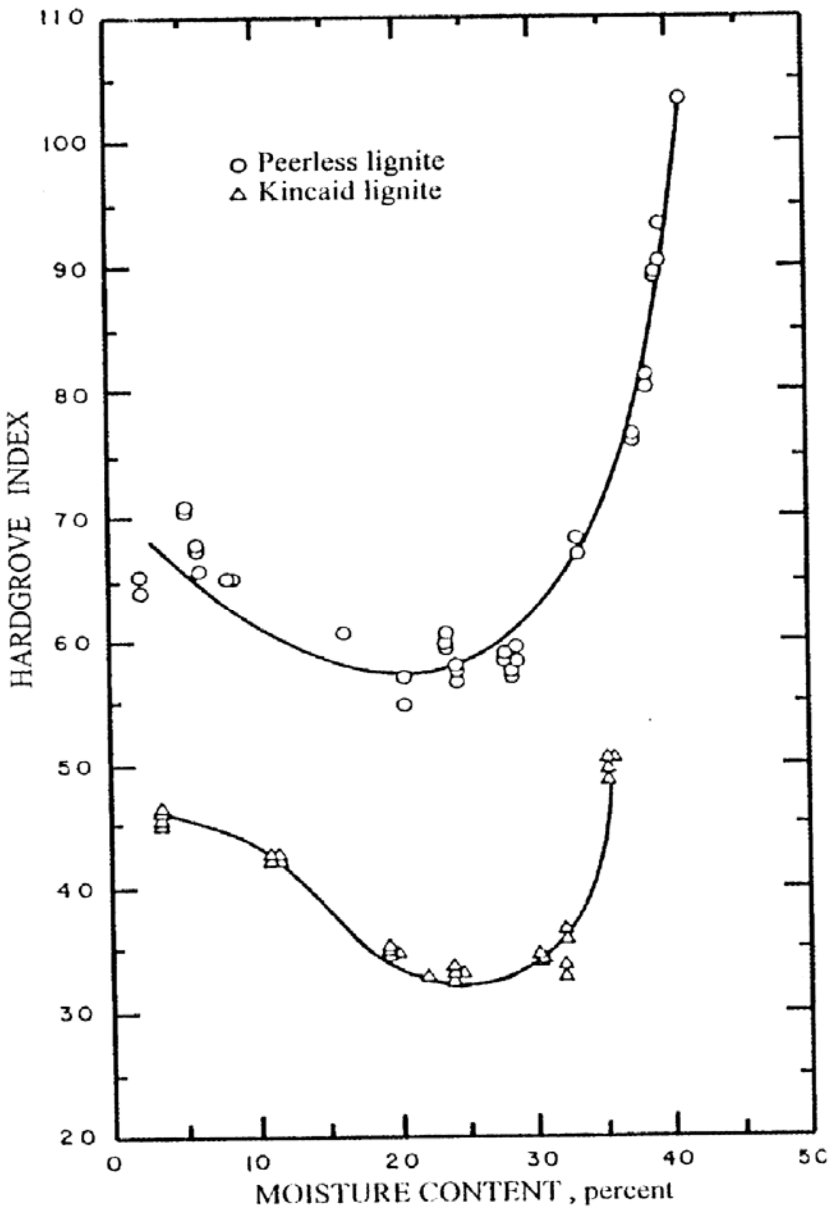
Η ευθρυπτότητα των γαιανθράκων είναι ευθέως ανάλογη της αλεσιμότητάς τους. Οι λιγνίτες είναι οι λιγότερο εύθρυπτοι γαιάνθρακες. Ενώ για τους λιγνίτες το ποσοστό ευθρυπτότητας είναι 12%, για τους ασφαλτούχους γαιάνθρακες με χαμηλό ποσοστό πτητικών φτάνει μέχρι το 70% (Βάμβουκα Δ., 2002). Η αλεσιμότητα του γαιάνθρακα επηρεάζεται από την τάξη του. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.12 η αλεσιμότητα αυξάνεται ανάλογα με την τάξη του γαιάνθρακα. Φτάνει σε μια μέγιστη τιμή περιεκτικότητας σε μόνιμο άνθρακα γύρω στο 80%, στην περίπτωση ασφαλτούχων γαιανθράκων με μικρή περιεκτικότητα σε πτητικά, πριν πέσει απότομα στην περίπτωση των ανθρακιτών.

Συμπερασματικά, ένας γαιάνθρακας υψηλής τάξης είναι σκληρός και η μείωση του μεγέθους του είναι δύσκολη, ένας γαιάνθρακας χαμηλότερης τάξης είναι μαλακός και η μείωση του μεγέθους του είναι ευκολότερη, ενώ ένας γαιάνθρακας πολύ χαμηλής τάξης (λιγνίτης) παρουσιάζει δυσκολίες στη μείωση του μεγέθους του.



Σχήμα 4.12: Συσχέτιση μεταξύ αλεσιμότητας και τάξης

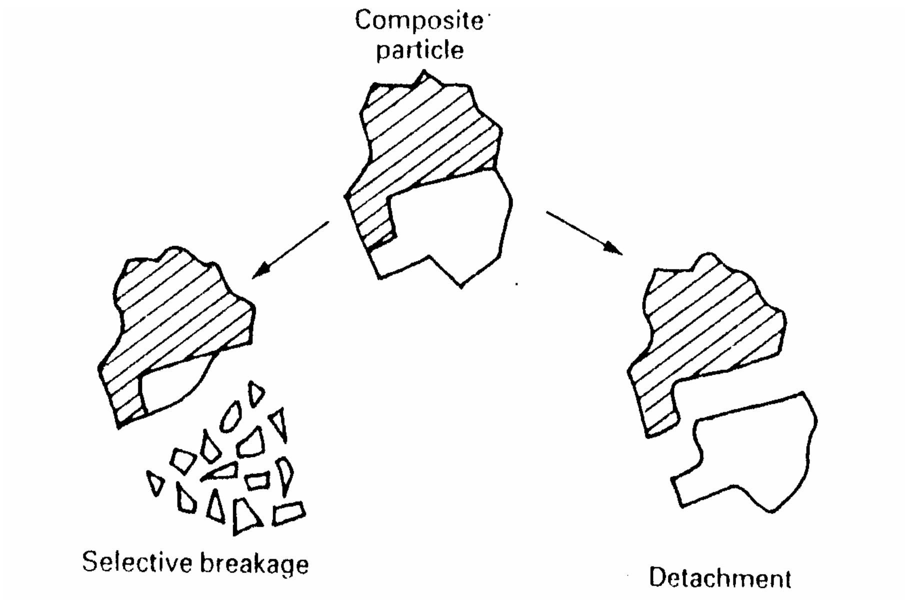
Στους λιγνίτες η περιεκτικότητα σε υγρασία επηρεάζει σημαντικά το δείκτη αλεσιμότητας. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.13, ένας λιγνίτης είναι σχετικά εύκολο να αλεστεί έχοντας τη φυσική του περιεκτικότητα σε υγρασία, δηλαδή 35%-40% ή περιεκτικότητα σε υγρασία κάτω από 15%, ενώ είναι πιο δύσκολο αν η υγρασία ελαττωθεί μέχρι κάποιο επίπεδο μεταξύ 20%-25%. Πιλοτικές εφαρμογές έχουν δείξει ότι η αλεσιμότητα γενικά αυξάνεται όσο η περιεκτικότητα σε υγρασία μειώνεται. Λιγνίτες με υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα αλέθονται γενικά πιο δύσκολα.



Σχήμα 4.13: Δείκτης αλεσιμότητας Hardgrove συναρτήσει της περιεκτικότητας σε υγρασία δυο λιγνιτών των Η.Π.Α.

4.6.1 Εκλεκτική λειοτρίβηση – κοσκίνιση

Οι λιγνίτες εξορύσσονται σχεδόν αποκλειστικά με τεχνικές επιφανειακής εξόρυξης. Η αρχική θραύση γίνεται συνήθως στο ορυχείο ή σε εγκαταστάσεις κοντά σ’αυτό. Εκτός από το γεγονός της ευκολότερης μεταφοράς και διαχείρισης του εξορυσσόμενου προϊόντος με τη θραύση, όπως προαναφέρθηκε, επιτυγχάνεται η αποδέσμευση των προσμίξεων των σύνθετων σωματιδίων λιγνίτη. Η αποδέσμευση αυτή γίνεται με εκλεκτική λειοτρίβηση και απόσπαση της ανόργανης ύλης , όπως φαίνεται στο σχήμα 4.14.



Σχήμα 4.14: Αποδέσμευση σύνθετου σωματιδίου με εκλεκτική θραύση και απόσπαση

Για μεγαλύτερα σωματίδια ακατέργαστου λιγνίτη μεγέθους πάνω από 10mm, αποδεσμεύονται σχεδόν όλα τα σωματίδια τέφρας πάνω από 10mm, μαζί με μερικά μεταξύ 1mm και 10mm. Καθώς το μέγεθος των σωματιδίων μειώνεται ο βαθμός αποδέσμευσης γενικά αυξάνεται. Αυτό οφείλεται στην εκλεκτική θραύση ανάμεσα στα όρια των κόκκων ανόργανης ύλης και των κόκκων καθαρού λιγνίτη και στο γεγονός ότι η ύπαρξη σύνθετων σωματιδίων είναι λιγότερο πιθανή.

Με βάση τα παραπάνω, αν ο εξορυσσόμενος λιγνίτης υποβληθεί σε αρχική θραύση και προωθηθεί σε επεξεργασία κοσκίνισης με ένα ή και περισσότερα κόσκινα, αναμένονται τα εξής αποτελέσματα:

Α)Αύξηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών τω χονδρόκοκκων κλασμάτων σε σχέση με τον αρχικά εξορυσσόμενο λιγνίτη (μείωση ποσοστού τέφρας).

Β)Μείωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των λεπτόκοκκων κλασμάτων σε σχέση με τον αρχικά εξορυσσόμενο λιγνίτη (αύξηση του ποσοστού τέφρας).

ΜΕΡΟΣ Β΄
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

1. Γενικά

Η αναβάθμιση της ποιότητας του λιγνίτη επιτυγχάνεται επεμβαίνοντας κυρίως σε δύο βασικά χαρακτηριστικά της σύστασής του – την υγρασία και το ποσοστό ανόργανης ύλης – που εμπεριέχει ο φυσικός λιγνίτης. Όπως προαναφέρθηκε, η απομάκρυνση της υγρασίας πραγματοποιείται υποβάλλοντας τον φυσικό λιγνίτη σε διάφορες μεθόδους ξήρανσης ή αφυδάτωσης.

Στην εργαστηριακή μελέτη που ακολουθεί γίνεται μια προσπάθεια επέμβασης στο ποσοστό ανόργανης ύλης του φυσικού λιγνίτη, έτσι ώστε αυτό να μειωθεί, με όλα τα πλεονεκτήματα που απορρέουν από μια τέτοια ενέργεια. Η ανόργανη ύλη δεν καίγεται, η ύπαρξή της εντός του φυσικού λιγνίτη υποβιβάζει την θερμαντική του ικανότητα και δημιουργεί προβλήματα επικαθίσεων και διαβρώσεων εντός των καυστήρων των Α.Η.Σ.

Η σταδιακή πτώση ποιότητας του εξορυσσόμενου λιγνίτη καθιστά τέτοιες προσπάθειες ουσιαστικές και σημαντικές για το μέλλον του ως καύσιμη πρώτη ύλη στη χώρα μας. Η ανάγκη ποιοτικής αναβάθμισης, τα τελευταία χρόνια, έχει απασχολήσει τους υπεύθυνους εκμετάλλευσης των λιγνιτικών κοιτασμάτων, με αποτέλεσμα να εφαρμόζονται αρκετές μέθοδοι προς αυτή την κατεύθυνση και συνεχώς να αναζητούνται νέοι τρόποι επίτευξης αυτού του στόχου.

Το 1998 παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα μιας δοκιμής εμπλουτισμού λιγνίτη στις εγκαταστάσεις των λιγνιτωρυχείων Αχλάδας υπό την επίβλεψη του κύριου Γ. Τσιμπούκα, γεωλόγου του τομέα μεταλλευτικών μελετών του ορυχείου Κύριου Πεδίου.

Η δοκιμή αυτή αποτελεί ένα μόνο δείγμα στην συνολική προσπάθεια διερεύνησης από τη Δ.Ε.Η, για τις δυνατότητες ποιοτικής αναβάθμισης του λιγνίτη με απλές συμβατικές μεθόδους και ταυτόχρονα χωρίς ιδιαίτερα υψηλή οικονομική επιβάρυνση.

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τις δοκιμές όπου ο φυσικός λιγνίτης υποβλήθηκε σε δύο βασικές διεργασίες, θραύση και κοσκίνιση. Τα αποτελέσματα των δοκιμών, όπως αναφέρονται παρακάτω, έδωσαν μία πρώτη ώθηση για περαιτέρω διερεύνηση και εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου.

- **Περιγραφή εγκατάστασης δοκιμής εμπλουτισμού**

Στις εγκαταστάσεις εμπλουτισμού περιλαμβάνονταν τα εξής μέρη:

- Τροφοδότης παλινδρομικής κίνησης, με χωρητικότητα 25 m^3 περίπου.
- Προδιαλογέας (κεκλιμένη δονούμενη εσχάρα που φέρει παραλληλόγραμμες οπές διαστάσεων 2 cm x 4 cm) ο οποίος τελικά παρέμεινε ανενεργός καθώς στην συγκεκριμένη δοκιμή δεν έβρισκε εφαρμογή, αφού η σκληρότητα και η κοκκομετρία λιγνίτη – στείρου (μάργας) δεν διαφοροποιούνται σημαντικά.
- Σπαστήρας για την θραύση του υλικού τροφοδοσίας.
- Κόσκινα με οπές διαμέτρου 12 mm, κάτω από τα οποία συλλέγεται το διερχόμενο λεπτομερές κλάσμα των -12 mm.
- Μεταφορική ταινία για την παραλαβή και απόθεση του χονδρομερούς κλάσματος +12 mm.

- **Στοιχεία δοκιμής εμπλουτισμού**

Για τις ανάγκες της δοκιμής χρησιμοποιήθηκαν 25.650 τόνοι φυσικού λιγνίτη, με βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά: Τέφρα επί ξηρού και διοξείδιο του άνθρακα (AWF%+CO_2%)=41,5% και φυσική υγρασία (W%)=49,3 κατατάσσοντας τον λιγνίτη ως υποβαθμισμένης ποιότητας κατηγορίας Δ΄.

Σαν προϊόντα παρελήφθησαν δύο διαφορετικά κλάσματα από άποψη κοκκομετρίας και ποιότητας:

- Χονδρομερές κλάσμα +12 mm βάρους 11.800 τόνων, που αντιστοιχεί σε ποσοστό βάρους 46% του αρχικού λιγνίτη τροφοδοσίας. Η ποιότητά του αναβαθμίστηκε σημαντικά, αφού η αθροιστική μείωση των παραμέτρων

($AWF\%+CO_2\%$), ανήλθε σε 7,7 ποσοστιαίες μονάδες. Επίσης καταγράφηκε αύξηση της Κατωτέρου Θερμογόνου Δύναμης (ΚΘΔ) μεγαλύτερη των 150kcal/kg.

- Λεπτομερές κλάσμα -12 mm βάρους 13.850 τόνων, που αντιστοιχεί σε ποσοστό βάρους 54% του λιγνίτη τροφοδοσίας. Η ποιότητά του υποβαθμίστηκε σημαντικά, με συνολική αύξηση των παραμέτρων ($AWF\%+CO_2\%$) να υπερβαίνει τις 3,5 ποσοστιαίες μονάδες. Επίσης, η ΚΘΔ εμφανίζεται μειωμένη περισσότερο από 50kcal/kg.

- Τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών, όπως φαίνονται στον Πίνακα 1 απέδειξαν ότι η υποβαθμισμένη ποιότητα λιγνίτη επιδέχεται ποιοτική αναβάθμιση με την συγκεκριμένη μέθοδο.

Πίνακας 1: Δοκιμή εμπλουτισμού λιγνίτη ορυχείου τομέα 6 στις εγκαταστάσεις λιγνιτορυχείων Αχλάδας

Α. ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	W%	AWF%	CO_2%	ΚΘΔkcal/kg
ΦΥΣΙΚΟΣ ΛΙΓΝΙΤΗΣ				
Δ1	49,1	33,9	10,3	1280
Δ2	48,8	33,3	10,7	1295
Δ3	50,4	34,0	3,7	1470
Δ4	48,9	37,1	2,8	1441
ΜΕΣΟ ΟΛΙΚΟ	49,3	34,6	6,9	1372

ΚΛΑΣΜΑ ΧΟΝΔΡΟΜΕΡΕΣ +12mm

Χ1	51,5	31,7	4,5	1480
Χ2	51,6	28,6	3,9	1564
Χ3	52,2	27,2	5,5	1572
ΜΕΣΟ ΟΛΙΚΟ	51,8	29,2	4,6	1539

ΚΛΑΣΜΑ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΣ -12mm

Λ1	48,0	36,3	9,1	1315
Λ2	49,7	35,4	7,7	1340
Λ3	47,2	37,5	9,2	1299
ΜΕΣΟ ΟΛΙΚΟ	48,3	36,4	8,7	1318

Β. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΜΕΣΩΝ ΟΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	W%	AWF%	CO_2%	ΚΘΔkcal/kg
ΦΥΣ.ΛΙΓΝΙΤΗΣ	49,3	34,6	6,9	1372
ΚΛΑΣΜΑ +12	51,8	29,2	4,6	1539
ΔΙΑΦΟΡΑ	+2,5	-5,4	-2,3	+167

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	W%	AWF%	CO_2%	ΚΘΔkcal/kg
ΦΥΣ.ΛΙΓΝΙΤΗΣ	49,3	34,6	6,9	1372
ΚΛΑΣΜΑ –12	48,3	36,4	8,7	1318
ΔΙΑΦΟΡΑ	-1,0	+1,8	+1,8	-54

Ταυτόχρονα, υπέδειξαν την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση του συγκεκριμένου θέματος, ώστε να πραγματοποιηθεί η σύνταξη οικονομοτεχνικής μελέτης σκοπιμότητας, πριν ληφθούν αποφάσεις για το ενδεχόμενο υιοθέτησης εγκατάστασης τέτοιων μονάδων εμπλουτισμού. Ως απάντηση στην ανάγκη αυτή πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακό επίπεδο η παρακάτω ερευνητική διαδικασία, της οποίας τα αποτελέσματα φιλοδοξούν να καλύψουν τις γνώσεις ως προς την ενδεχόμενη αναβαθμισμένη ποιότητα λιγνίτη χρησιμοποιώντας τη μέθοδο θραύσης – κοσκίνισης.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1.Ορισμός ποιοτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων

Πρώτο στάδιο του πειραματικού μέρους της εργασίας ήταν ο καθορισμός των ποιοτικών παραμέτρων, των δειγμάτων προς εξέταση. Ο αρχικός προσανατολισμός ήταν η επιλογή δύο αρχικών δειγμάτων με συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Το ένα δείγμα αποφασίστηκε να είναι υψηλής θερμογόνου δύναμης, δηλαδή με ΚΘΔ ανώτερη του λειτουργικού ορίου των Α.Η.Σ της περιοχής Πτολεμαΐδας και το άλλο με Κ.Θ.Δ κάτω του ορίου λειτουργίας των συγκεκριμένων Α.Η.Σ.

Η επιλογή αυτή αποφασίστηκε με γνώμονα την μελέτη της συγκεκριμένης διαδικασίας ποιοτικής αναβάθμισης, σε λιγνίτες διαφορετικής θερμαντικής ικανότητας, όπως επίσης και τον εντοπισμό τυχόν διαφορών στην ανάκτηση αναβαθμισμένης ποσότητας, που επιτυγχάνεται σε κάθε δείγμα, ανάλογα με το ποσοστό και την σύσταση ανόργανης ύλης που αυτό εμπεριέχει.

Για την επιλογή των δύο αυτών αρχικών ποιοτήτων πραγματοποιήθηκαν αρκετές δειγματοληψίες, ώστε να εντοπιστούν τα δείγματα με τα συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά που είχαν προταθεί.

2.2. Δειγματοληψία

Όλα τα δείγματα που παρελήφθησαν κατά την διαδικασία δειγματοληψίας εξετάστηκαν ως προς το ποσοστό υγρασίας τους και το ποσό θερμογόνου δύναμής τους (Κ.Θ.Δ), καθώς αυτά θεωρήθηκαν τα δύο βασικά κριτήρια επιλογής των αρχικών δειγμάτων προς εξέταση.

Η πρώτη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 06-04-2002 με τη βοήθεια του προϊσταμένου γεωλόγου της ομάδας δειγματοληπτών. Λήφθηκαν τρία δείγματα τα οποία μακροσκοπικά χαρακτηρίστηκαν ως: λιγνίτης Α΄ ποιότητας, λιγνίτης Β΄ ποιότητας (ασβεστούχος ως προς την σύσταση της ανόργανης ύλης) και λιγνίτης Β΄ ποιότητας (αργιλούχος ως προς την σύσταση της ανόργανης ύλης). Τα αποτελέσματα των αρχικών αναλύσεων φαίνονται στον Πίνακα 2:

Πίνακας 2: Βασικές αναλύσεις πρώτης δειγματοληψίας

ΔΕΙΓΜΑ	W%	Κ.Θ.Δ kcal/kg
Λιγνίτης Α΄ ποιότητας	30,0	2050
Λιγνίτης Β΄ ποιότητας (ασβεστούχος)	54,4	954
Λιγνίτης Β΄ ποιότητας (αργιλούχος)	40,2	1536

Με βάση τα αποτελέσματα των αρχικών αναλύσεων των δειγμάτων αυτών, ο λιγνίτης Β΄ ποιότητας (ασβεστούχος) ήταν αυτός που συμφωνούσε ποιοτικά με τις προϋποθέσεις περαιτέρω αναλύσεων, ως λιγνίτης με Κ.Θ.Δ. κάτω του ορίου λειτουργίας των Α.Η.Σ της περιοχής Πτολεμαΐδας.

Έτσι πραγματοποιήθηκε μια ακόμη δειγματοληψία στις 16-04-2002, όπου παρελήφθησαν (3) ακόμα δείγματα από την αυλή απόθεσης του Α.Η.Σ

Πτολεμαΐδας, κατόπιν υποδείξεως του προϊσταμένου του Χημείου του Α.Η.Σ Πτολεμαΐδας κυρίου Βούρα. Στα δείγματα αυτά έγιναν οι ίδιες αρχικές αναλύσεις όπως και στα δείγματα της προηγούμενης δειγματοληψίας, ώστε να επιλεγεί το δεύτερο δείγμα για περαιτέρω ανάλυση. Το αποτέλεσμα των αναλύσεων αυτών φαίνονται στον Πίνακα 3:

Πίνακας 3: Βασικές αναλύσεις δεύτερης δειγματοληψίας

ΔΕΙΓΜΑ	W%	Κ.Θ.Δ kcal/kg
Λιγνίτης 1 (Μαυροπηγής)	39,8	1836
Λιγνίτης 2 (Μαυροπηγής)	42,2	1612
Λιγνίτης 3 (Πεδίου Καρδιάς)	53,1	1452

Από τα αποτελέσματα αυτά είναι εμφανές ότι τα δείγματα που προέρχονται από νέες εκσκαφές της περιοχής Μαυροπηγής ήταν υψηλής ποιότητας, ικανά να χρησιμοποιηθούν ακόμα και στο εργοστάσιο παρασκευής λιγνιτοπλίνθων (μπρικετών), οπότε μια προσπάθεια ποιοτικής αναβάθμισης τους κρίθηκε αναγκαία. Το τρίτο δείγμα που προερχόταν από το σωρό (Bunker) του πεδίου Καρδιάς ήταν αυτό που κάλυπτε τις προϋποθέσεις που είχαν τεθεί για περαιτέρω επεξεργασία, καθώς χαρακτηρίστηκε ως μέτριας ποιότητας δείγμα με Κ.Θ.Δ. που κινείται αρκετά πάνω από το όριο λειτουργίας των Α.Η.Σ της περιοχής Πτολεμαΐδας.

Πρέπει να επισημανθεί ότι ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην προσπάθεια ώστε τα δείγματα να προέρχονται από, όσο είναι δυνατόν, πιο πρόσφατες εξορύξεις. Να μην έχουν παραμείνει δηλαδή για πολύ καιρό υπό την επιρροή φυσικών φαινομένων (βροχή, ήλιος κτλ.). Έτσι λοιπόν, οι πρώτες δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν από το Bunker του πεδίου Καρδιάς, όπου είχαν αποτεθεί την ίδια μέρα. Στις επόμενες δειγματοληψίες, που πραγματοποιήθηκαν στην αυλή απόθεσης του Α.Η.Σ Πτολεμαΐδας, παραλήφθηκε λιγνίτης από μισθωμένα φορτηγά που μόλις είχαν ξεφορτώσει, φέρνοντας λιγνίτη ο οποίος είχε εκσκαφτεί την συγκεκριμένη μέρα από το πεδίο Καρδιάς και την περιοχή Μαυροπηγής.

2.3. Επιλογή των αρχικών δειγμάτων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, όλα τα δείγματα που παραλήφθησαν κατά την διαδικασία της δειγματοληψίας υποβλήθηκαν σε μια σειρά κατεργασιών, ώστε να επιλεγούν τα αρχικά δείγματα που θα υποβληθούν στην διαδικασία ποιοτικής αναβάθμισης.

Όλα τα δείγματα υποβλήθηκαν σε αρχική θραύση στον σπαστήρα του Α.Η.Σ Πτολεμαΐδας σε μέγεθος -5 mm. Λόγω του σχετικά μεγάλου μεγέθους θραύσης του σπαστήρα (5mm), πραγματοποιήθηκε χωρίς πρόβλημα η αρχική θραύση των δειγμάτων, παρά το σχετικά υψηλό ποσοστό υγρασίας μερικών εξ' αυτών.

Κατόπιν, στο Χημείο του Λ.Κ.Δ.Μ. ζυγίστηκαν 700g κάθε δείγματος σε ζυγαριά ακριβείας (SARTORIUS BP8100) και τοποθετήθηκαν σε φούρνο (MEMMERT 800 D06064) στους 45^o C για μια μέρα, ώστε να απομακρυνθεί η φυσική υγρασία του κάθε δείγματος. Αφού η θερμοκρασία των δειγμάτων έφτασε στα επίπεδα θερμοκρασίας δωματίου τα δείγματα ξαναζυγίστηκαν και από τη διαφορά του βάρους υπολογίστηκε το ποσοστό φυσικής υγρασίας του καθενός, όπως αυτό αναφέρεται παραπάνω. Η διαδικασία αφαίρεσης της φυσικής υγρασίας ονομάζεται αεροξήρανση.

Μετά την αεροξήρανση, παραλήφθηκαν 10g καθενός από τα δείγματα και τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα BRABENDER A (10 θέσεων) ώστε να αφαιρεθεί και το υπόλοιπο ποσοστό υγρασίας (δεσμευμένη υγρασία). Έτσι λοιπόν τα δείγματα απαλλαγμένα από οποιοδήποτε ίχνος υγρασίας τοποθετήθηκαν σε θερμιδόμετρο LECO AC-300, όπου προσδιορίστηκε η θερμογόνος δύναμη (η Κ.Θ.Δ.) όλων των δειγμάτων.

Τα στοιχεία αυτά, όπως καταγράφηκαν στους Πίνακες 2 και 3, προσδιόρισαν τα δύο αρχικά δείγματα που θα υποβληθούν στην διαδικασία ποιοτικής αναβάθμισης, καθώς πληρούν αυτές τις βασικές αρχικές συνθήκες υγρασίας και θερμογόνου δύναμης.

2.4. Αεροξήρανση

Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας των επιλεγμένων αρχικών δειγμάτων είναι η απομάκρυνση της φυσικής υγρασίας τους σε αεροξηραντήρα MEMMERT. Έτσι λοιπόν τοποθετήθηκε ικανή ποσότητα δείγματος (ώστε να πραγματοποιηθούν όλες οι αναλύσεις που κρίνονται απαραίτητες) περίπου 4,2 kg του κάθε δείγματος στον αεροξηραντήρα για δύο ημέρες στους 48^{o} C, καθώς η ποσότητα ήταν αρκετά μεγάλη (12 ταψιά των 700g). Τα αεροξηρανθέντα δείγματα ζυγίστηκαν πάλι, επαληθεύοντας την αρχική μέτρηση της φυσικής υγρασίας των 2 αρχικών μας δειγμάτων.

2.5. Αρχική θραύση σε σπαστήρα (-3mm)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η συγκεκριμένη μέθοδος αναβάθμισης λιγνίτη με θραύση – κοσκίνιση πραγματοποιείται ώστε να εντοπιστούν τυχόν διαφορετικές αποδόσεις ποιοτικής αναβάθμισης, σε σχέση με την θερμαντική ικανότητα του λιγνίτη και την διαφορετικότητα στη σύσταση της ανόργανης ύλης που εμπεριέχεται σ'αυτόν. Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας που θα εξεταστεί στην συγκεκριμένη εργασία είναι αυτός της αρχικής θραύσης. Πως και αν δηλαδή επηρεάζεται η μέθοδος αυτή, αν το αρχικό δείγμα υποβληθεί σε εντατικότερες συνθήκες αρχικής θραύσης.

Για να επιτευχθεί αυτό χωρίστηκε το κάθε αρχικό αεροξηρανθέν δείγμα σε δύο περίπου ίσα μέρη. Το ένα μέρος παρέμεινε στην αρχική του κατάσταση με μέγεθος κόκκων -5mm, όπως αυτό διαμορφώθηκε από τον σπαστήρα του Α.Η.Σ Πτολεμαϊδας και το άλλο μέρος υποβλήθηκε σε εντατικότερη αρχική θραύση σε σπαστήρα του Χημείου Λ.Κ.Δ.Μ. δίνοντας μέγεθος κόκκων -3mm.

Έτσι λοιπόν ουσιαστικά τα δείγματα που θα εξεταστούν ξεχωριστά είναι τέσσερα (δύο δείγματα με μέγεθος κόκκων -5mm και δύο δείγματα μέγεθος κόκκων -3mm). Η θραύση στον δεύτερο αυτό σπαστήρα δεν παρουσίασε κανένα πρόβλημα, καθώς χρησιμοποιήθηκε αεροξηρανθέν δείγμα.

2.6. Κοσκίνιση

Το επόμενο στάδιο της εργαστηριακής μελέτης περιλαμβάνει την κοσκίνιση των αρχικών δειγμάτων. Σε δονούμενη λοιπόν βάση RETSCH τοποθετήθηκαν τα δείγματα σε σειρά από κόσκινα ENDELOTTS LTD, όπου και υποβλήθηκαν στην διαδικασία κοσκίνισης για 20 min. Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν τα εξής μεγέθη κόσκινων:

4,50mm
3,00mm
2,50mm
1,50mm
0,75mm
0,35mm
0,15mm
-0,015mm(τυφλό)

Παρατηρήθηκε ότι στα δείγματα με αρχική θραύση -5mm η συγκέντρωση τεμαχίων στο κόσκινο μεγέθους οπής 4,50mm είναι πολύ μικρή, οπότε προστέθηκε στο κλάσμα που συγκρατήθηκε από το κόσκινο με μέγεθος οπής 3,00mm. Έτσι για αυτά τα δείγματα παρελήφθησαν επτά ξεχωριστά κλάσματα για το καθένα. Στα δείγματα με αρχική θραύση -3mm παρατηρήθηκε ικανοποιητική συγκέντρωση τεμαχίων στο κόσκινο οπής 1,50mm οπότε οποιοδήποτε άλλο κλάσμα, στα ανώτερα από αυτό κόσκινα, προστέθηκε σ' αυτό. Έτσι για αυτά τα δείγματα παρελήφθησαν πέντε ξεχωριστά κλάσματα για το καθένα.

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία κοσκίνισης, αφαιρέθηκαν επιμελώς από τα κόσκινα, ζυγίστηκαν και αρχειοθετήθηκαν σε μικρές πλαστικές συσκευασίες όλα τα κλάσματα, ώστε να είναι εφικτή η περαιτέρω επεξεργασία τους (Πίνακες 4 και 5).

2.7. Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων(Proximate analysis)

Η προσεγγιστική ανάλυση του λιγνίτη αναπτύχθηκε ως ένα απλό μέσο για τον προσδιορισμό της κατανομής των παραγόμενων προϊόντων κατά τη θέρμανση υπό κανονικές συνθήκες. Είναι ο συνηθέστερος τύπος ανάλυσης καθώς προσδιορίζει ποιοτικά τους λιγνίτες σε σχέση με την χρήση τους. Η προσεγγιστική ανάλυση περιλαμβάνει τις εξής μετρήσεις:

- Υγρασία
- Τέφρα
- Θερμογόνος δύναμη
- Ποσοστό CO_2

Προσεγγιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε όλα τα κλάσματα καθώς επίσης και στα αρχικά δείγματα

2.7.1 Υπολογισμός Υγρασίας

Ο ρόλος της υγρασίας στον λιγνίτη έχει απασχολήσει τους ερευνητές για πολλά χρόνια. Οι δυσκολίες στον ακριβή προσδιορισμό της υγρασίας προέρχονται από το γεγονός ότι το νερό βρίσκεται στον φυσικό λιγνίτη σε περισσότερες από μια μορφές.

Ως προς τη δομή και τη μέθοδο προσδιορισμού η υγρασία διακρίνεται σε ελεύθερη και δεσμευμένη. Ελεύθερη υγρασία θεωρείται αυτή που εξατμίζεται όταν αφήσουμε ένα δείγμα λιγνίτη στον αέρα σε θερμοκρασία δωματίου (αεροξήρανση). Δεσμευμένη υγρασία θεωρείται αυτή που εξατμίζεται από ένα αεροξηρανθέν δείγμα, όταν αυτό θερμανθεί στους 107^{o} C.

Για όλα τα κλάσματα του κάθε αρχικού δείγματος ως ελεύθερη υγρασία (W%) θεωρούμε την τιμή του αρχικού δείγματος, ενώ για τη δεσμευμένη υγρασία (Wαερόξ.%) όλα τα κλάσματα μετρήθηκαν στην ημιαυτόματη συσκευή προσδιορισμού υγρασίας BRABENDER A (Πίνακες 4 και 5).

2.7.2 Υπολογισμός Τέφρας

Η τέφρα είναι η δεύτερη σημαντική παράμετρος στην ανάλυση του λιγνίτη. Με τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε τέφρα παρέχονται στοιχεία για την περιεκτικότητα του λιγνίτη σε ανόργανα συστατικά. Όπως η υγρασία, έτσι και η τέφρα ανήκει στα αδρανή συστατικά του καυσίμου.

Με τον όρο τέφρα καθορίζεται το υπόλειμμα που παραμένει μετά την καύση του δείγματος σε θερμοκρασία 800^{o} C. Κατά την καύση λαμβάνουν χώρα διάφορες αλλαγές βάρους όπως απώλεια της υγρασίας, του CO_2, των ανθρακούχων ενώσεων, οξείδωση του σιδηροπυρίτη σε οξείδιο του σιδήρου κτλ.). Είναι δε σημαντικό να ακολουθούνται κατά τους προσδιορισμούς τυποποιημένες διαδικασίες, έτσι ώστε να επιτυγχάνονται συγκρίσιμα αποτελέσματα.

Η ανάλυση εκτελείται κατά κανόνα επί αεροξηραθέντος δείγματος. Τα δείγματα πριν την εκτέφρωση υφίστανται προσεκτική επαέρωση. Τοποθετούνται σε ψυχρή κάμινο, θερμαίνονται βραδέως και βαθμιαία μέχρι την θερμοκρασία εκτέφρωσης. Η εκτέφρωση εκτελείται διαρκώς σε οξειδωτική ατμόσφαιρα. Γι' αυτό κυκλοφορεί διαρκώς στην κάμινο ήπιο ρεύμα αέρος. Προς το τέλος της εκτέφρωσης συνιστάται η αύξηση του ρεύματος του κυκλοφορούντος αέρος, έτσι ανοίγεται κατά την διάρκεια η πόρτα της καμίνου.

Η θέρμανση στην θερμοκρασία εκτέφρωσης διατηρείται μέχρι την πλήρη καύση της περιεχόμενης οργανικής ουσίας. Μετά τη διακοπή της θέρμανσης, το δείγμα τοποθετείται σε ξηραντήρα και αφού ψυχθεί ζυγίζεται. Η εκτέφρωση θεωρείται επιτυχής όταν δεν παρατηρείται καμία μελανή κηλίδα μετά από ανάδευση με διάπυρο σύρμα πλατίνας στο υπόλειμμα.

Η περιεκτικότητα σε τέφρα κατά βάρος του εξετασθέντος δείγματος παρέχεται από τον τύπο:

$$A\% = \frac{B_T \cdot 100}{B_K}$$

όπου, B_T: Βάρος της Τέφρας

B_K: Βάρος του Καυσίμου

Για τον υπολογισμό της τέφρας επί ξηρού απαιτείται ο προσδιορισμός της δεσμευμένης υγρασίας, κάτι το οποίο έχει ήδη ολοκληρωθεί στην παράγραφο 2.1. Στην περίπτωση αυτή η περιεκτικότητα σε τέφρα επί ξηρού δίνεται από τον τύπο:

$$AWF\% = A\alpha\epsilon\rho o\xi\% \frac{100}{100 - W}$$

όπου AWF = Περιεκτικότητα σε τέφρα επί ξηρού

Αεροξ = Περιεκτικότητα σε τέφρα αποξηραθέντος

Η περιεκτικότητα σε τέφρα επί φυσικού δίνεται από τον τύπο:

$$A\% = AWF\% \frac{100 - W\%}{100} \text{ (Πίνακες 4 και 5)}$$

2.7.3 Υπολογισμός διοξειδίου του άνθρακα (CO_2)

Τα 26 δείγματα [(7+5)x2 κλάσματα και τα 2 αρχικά] τοποθετήθηκαν για ανάλυση στο μηχάνημα MAE-500 της LECO που δίνει την δυνατότητα υπολογισμού υγρασίας, τέφρας και ποσοστού CO_2 για πολλά δείγματα ταυτόχρονα. Έτσι δόθηκε η δυνατότητα επαληθεύσεως των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις παραγράφους 2.7.1 και 2.7.2 και ταυτόχρονα ο υπολογισμός της περιεκτικότητας σε CO_2 για όλα τα κλάσματα και τα δύο αρχικά δείγματα (Πίνακες 4 και 5). Ο υπολογισμός του CO_2 επιτυγχάνεται έμμεσα από την απώλεια βάρους των δειγμάτων κατά την καύση τους προοδευτικά από τους 500^{o}C ως 800^{o}C.

2.7.4 Υπολογισμός Θερμογόνου δύναμης

Η θερμογόνος δύναμη αποτελεί το μέτρο της θερμότητας που ελευθερώνεται κατά την καύση του στερεού καυσίμου. Είναι βασικό στοιχείο υπολογισμού της τεχνικής της καύσεως και της εξαέρωσης. Κατά την καύση του στερεού καυσίμου η θερμότητα που ελευθερώνεται εξαρτάται:

- Από το είδος και την ποιότητα της καιγόμενης ουσίας
- Από το είδος και την ποιότητα των ουσιών που σχηματίζονται κατά την καύση.

Ως ανωτέρα θερμογόνος δύναμη (ΑΘΔ) ενός καυσίμου, χαρακτηρίζεται η θερμότητα που απελευθερώνεται κατά την ολοσχερή καύση της μονάδας μάζας όταν:

- Η θερμοκρασία του καυσίμου προ της καύσης και των προϊόντων που σχηματίζονται κατά την καύση είναι 20^{o} C.
- Το νερό πριν την καύση και αυτό που σχηματίζεται κατά την καύση είναι σε υγρή κατάσταση.

Ως κατωτέρα θερμογόνος δύναμη (ΚΘΔ) ενός καυσίμου χαρακτηρίζεται η θερμότητα που απελευθερώνεται κατά την ολοσχερή καύση της μονάδας μάζας του καυσίμου όταν:

- Η θερμοκρασία του καυσίμου προ της καύσεως και των προϊόντων που σχηματίζονται κατά την καύση είναι 20^{o} C.
- Το προ της καύσεως περιεχόμενο και κατά την καύση σχηματιζόμενο νερό ευρίσκεται ως ατμός στην θερμοκρασία των 20^{o} C.

Για τον υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης χρησιμοποιήθηκε θερμιδόμετρο AG-300 της LECO. Το θερμιδόμετρο είναι ένα δοχείο που επιτρέπει τον συσχετισμό της αλλαγής θερμοκρασίας που επέρχεται ως αποτέλεσμα της αντίδρασης στην αντίστοιχη αλλαγή της θερμότητας. Προφανώς είναι σημαντικό το θερμιδόμετρο να είναι θερμικά μονωμένο για να διασφαλίζεται η ελάχιστη αλλαγή εναλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον. Η αντίδραση λαμβάνει χώρα σε μια «οβίδα» , η οποία εισάγεται σε ένα καλά μονωμένο θερμιδόμετρο που περιέχει νερό. Η θερμότητα που απελευθερώνεται κατά την διάρκεια της αντίδρασης μετράται με την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού. Η οβίδα είναι ένα κυλινδρικό δοχείο από ενισχυμένο χάλυβα και διατηρεί τον όγκο της σταθερό.

Μια γνωστή ποσότητα λιγνίτη τοποθετείται στην οβίδα, η οποία γεμίζεται με οξυγόνο υπό υψηλή πίεση (30 atm περίπου). Η συσκευή εισάγεται στο θερμιδόμετρο και ο λιγνίτης πυροδοτείται με την διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσω ενός λεπτού σύρματος. Αμέσως γίνεται η καύση και η απελευθέρωση θερμότητας προσδιορίζεται από την αύξηση της θερμοκρασίας στο θερμιδομετρικό υγρό (νερό).

Το θερμιδόμετρο μας δίνει την ΑΘΔ επί ξηρού. Για να υπολογίσουμε την ΑΘΔ ως έχει πολλαπλασιάζουμε την ΑΘΔ επί ξηρού με την ποσότητα $\frac{100 - W\%}{100}$:

$$\text{ΑΘΔ ως έχει} = \text{ΑΘΔ επί ξηρού} \cdot \frac{100 - W\%}{100}$$

Για να προσδιορίσουμε την ΚΘΔ ως έχει αφαιρούμε από την ΑΘΔ ως έχει την παρακάτω ποσότητα Α:

$$A = [(100 - W\% - A\%)0{,}45 + W\%] \cdot 5{,}85$$

2.7.5 Αποτελέσματα μετρήσεων

Αφού ολοκληρώθηκαν οι συγκεκριμένες αναλύσεις και πραγματοποιήθηκαν όλες οι μετρήσεις συμπληρώθηκαν οι παρακάτω Πίνακες 4 και 5 που περιλαμβάνουν ολοκληρωμένη την κοκκομετρική προσεγγιστική ανάλυση όλων των κλασμάτων των αρχικών δειγμάτων. Κάτω από κάθε πειραματική μέτρηση ακολούθησε μαθηματική επαλήθευση των αποτελεσμάτων σε συσχετισμό με το αρχικό δείγμα. Επαληθεύτηκε δηλαδή η παρακάτω ισότητα:

$$\sum \frac{\%K\beta \cdot X_{(1-K)}}{100} = X_{\alpha}$$

όπου %Κβ: Ποσοστό κατά βάρος κάθε κλάσματος

$X_{(1-K)}$: Ποσοστό συγκεκριμένης εξεταζόμενης ιδιότητας κάθε κλάσματος

$X_α$: Ποσοστό συγκεκριμένης εξεταζόμενης ιδιότητας αρχικού δείγματος

Όπως φαίνεται από τους Πίνακες 4 και 5, η μαθηματική επαλήθευση πιστοποίησε την ορθότητα των πειραματικών μετρήσεων κινούμενη σε αποδεκτό ποσοστό σφάλματος, το οποίο μπορεί να οφείλεται σε τυχόν μεταβολή των συνθηκών υπό τις οποίες έλαβε χώρα η κάθε μέτρηση και στη χρήση των δεκαδικών ψηφίων στον υπολογισμό του συνόλου.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων επαληθεύεται ξεκάθαρα η υπόθεση ποιοτικής αναβάθμισης των κλασμάτων μεγάλης κοκκομετρίας, με ταυτόχρονη ποιοτική υποβάθμιση στα κλάσματα μικρής κοκκομετρίας. Η ποιοτική αυτή διαβάθμιση καλύπτει όλους τους τομείς της κοκκομετρικής προσεγγιστικής ανάλυσης.

Πίνακας 4: Κοκκομετρική ανάλυση λιγνίτης (ασβεστούχος)

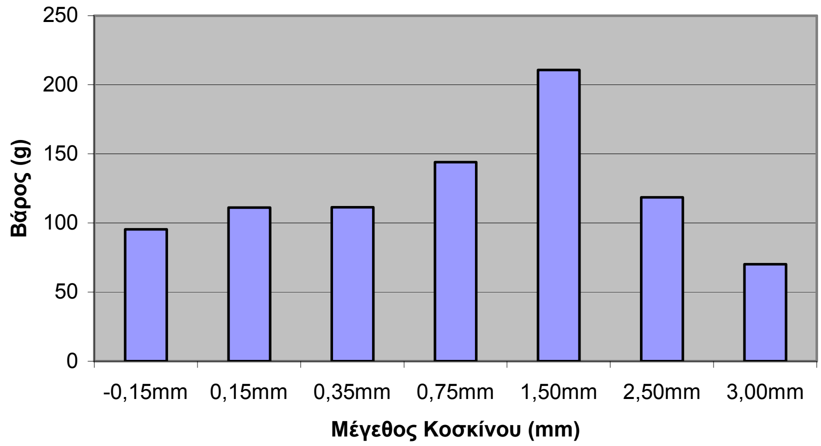
Πίνακας 4.Α. ΑΡΧΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ -5mm

Α/Α	ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ	Βάρος g	Βάρος%	W% αεροξ	Α%	AWF%	ΑΘΔ kcal/kg	ΚΘΔ kcal/kg	CO_2 %
1.	3,00mm	70,2	8,15	9,1	11,6	25,5	1904	1496	8,0
2.	2,50mm	118,5	13,76	8,6	13,4	29,4	1713	1310	11,0
3.	1,50mm	210,6	24,46	7,9	15,2	33,3	1478	1079	13,5
4.	0,75mm	143,9	16,72	7,8	16,8	36,8	1208	814	17,0
5.	0,35mm	111,4	12,93	7,2	17,7	38,8	1131	739	17,7
6.	0,15mm	111,2	12,91	6,5	18,3	40,2	1040	650	18,4
7.	-0,15mm	95,3	11,07	6,0	18,9	41,6	1021	633	19,0
	ΣΥΝΟΛΟ>	861,1	(100)						
	ΣΒάρος%*Χ/100			**7,5**	**16,0**	**35,1**		**951**	**15,1**

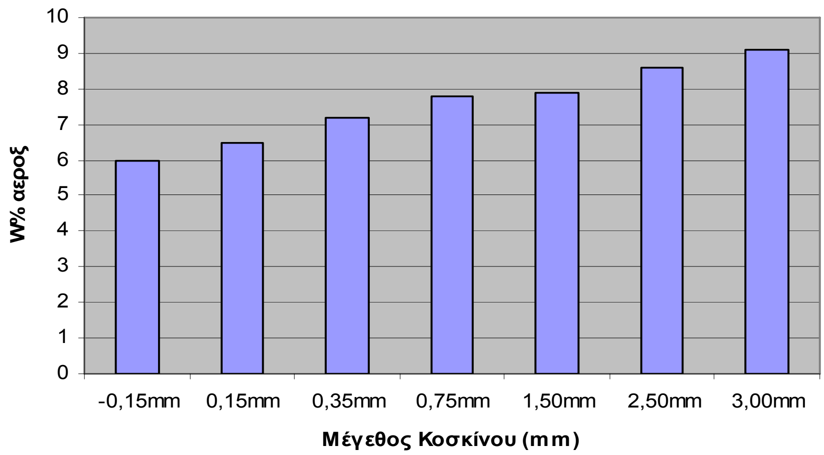
Πίνακας 4.Β. ΑΡΧΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ -3mm

Α/Α	ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ	Βάρος g	Βάρος%	W% αεροξ	Α%	AWF%	ΑΘΔ kcal/kg	ΚΘΔ kcal/kg	CO2 %
1.	1,50mm	51,4	7,81	10,6	11,3	24,9	1957	1548	4,9
2.	0,75mm	109,4	16,65	9,5	12,3	27,1	1814	1408	7,4
3.	0,35mm	110,2	16,77	8,7	14,3	31,5	1557	1156	11,7
4.	0,15mm	146,6	22,30	7,0	16,3	35,8	1273	877	16,9
5.	-0,15mm	239,7	36,47	5,7	17,0	40,0	966	572	21,6
	ΣΥΝΟΛΟ>	657,3	(100)						
	ΣΒάρος%*Χ/100			**7,5**	**15,9**	**35,0**		**953**	**15,2**

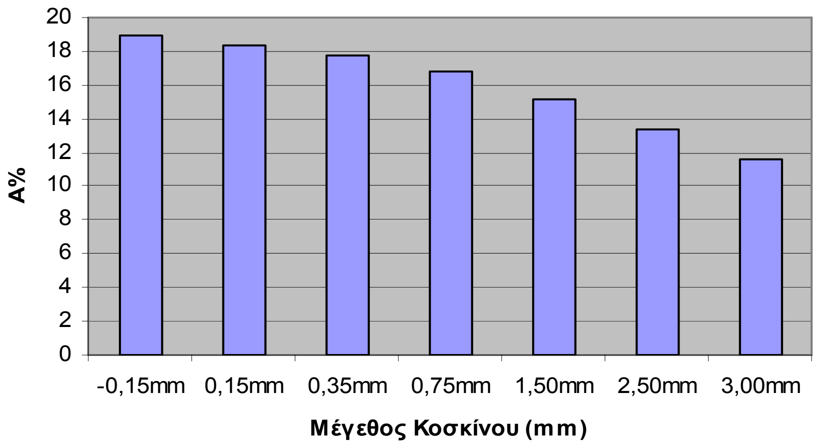
Πίνακας 4.Α.1.: Σχέση Βάρους – Κοκκομετρίας



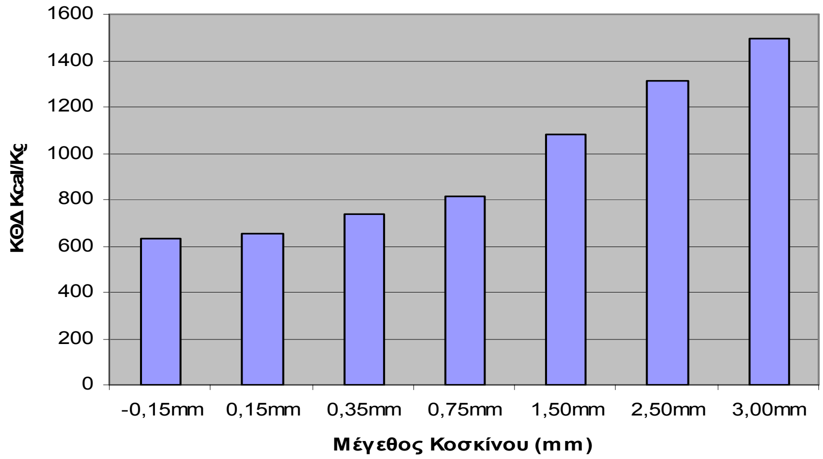
Πίνακας 4.Α.2.: Σχέση ποσοστού Υγρασίας – Κοκκομετρίας



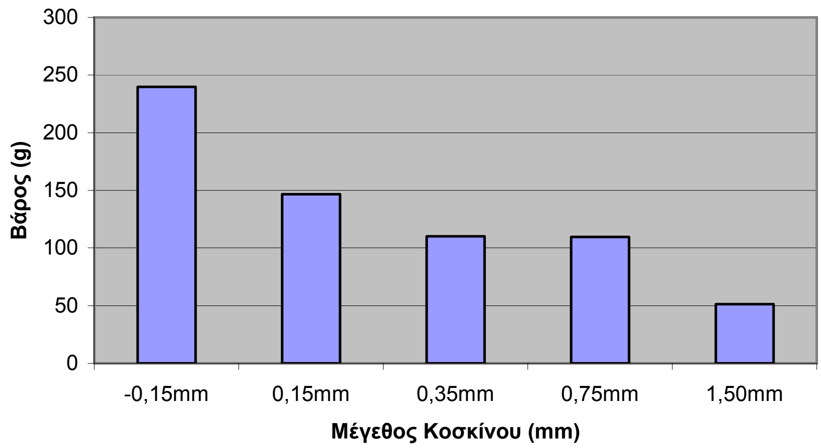
Πίνακας 4.Α.3.: Σχέση ποσοστού Τέφρας – Κοκκομετρίας



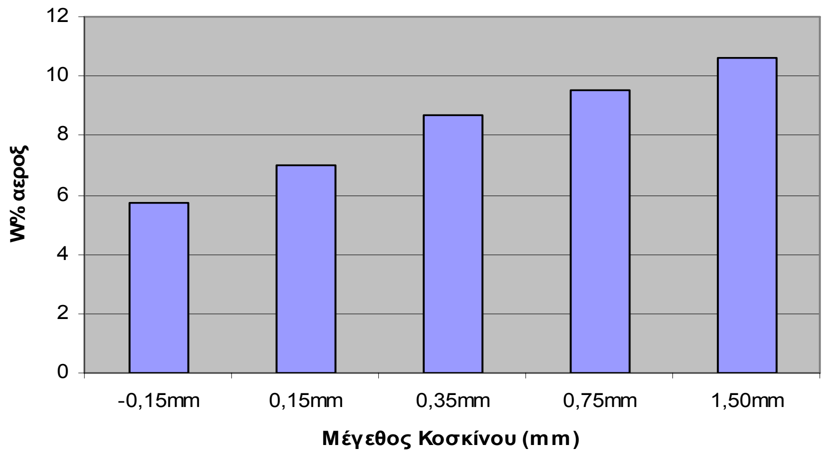
Πίνακας 4.Α.4.: Σχέση ΚΘΔ – Κοκκομετρίας



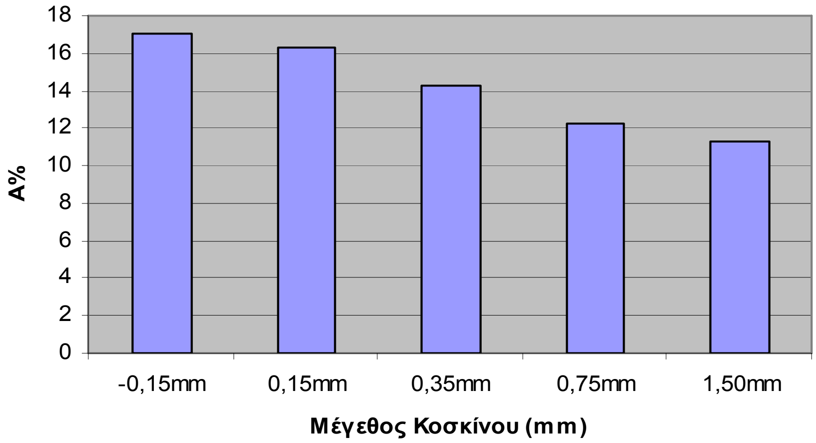
Πίνακας 4.Β.1.: Σχέση Βάρους – Κοκκομετρίας



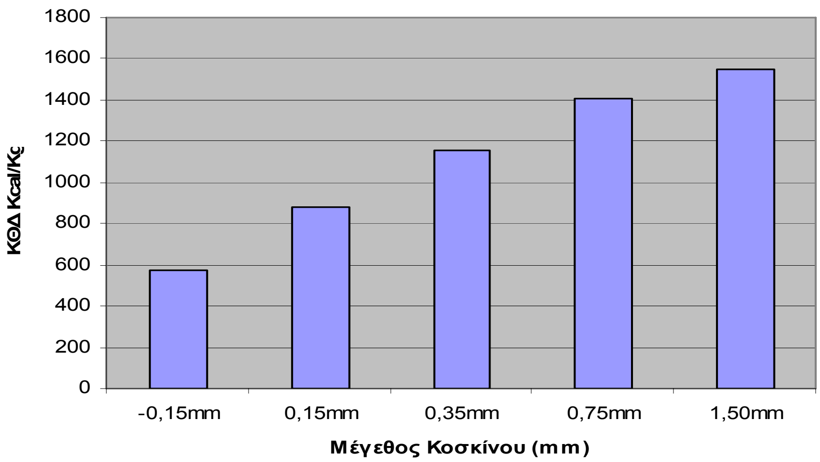
Πίνακας 4.Β.2.: Σχέση ποσοστού Υγρασίας – Κοκκομετρίας



Πίνακας 4.Β.3.: Σχέση ποσοστού Τέφρας – Κοκκομετρίας



Πίνακας 4.Β.4.: Σχέση ΚΘΔ – Κοκκομετρίας



Πίνακας 4.Γ. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΡΧΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΔΕΙΓΜΑ	W% αεροξ	Α%	AWF%	ΑΘΔ Kcal/Kg	ΚΘΔ Kcal/Kg	CO2 %
ΛΙΓΝΙΤΗΣ (ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΟΣ)	**7,5**	**16,0**	**34,9**	**1350**	**954**	**15,2**

Πίνακας 5: Κοκκομετρική ανάλυση
λιγνίτης (Bunker Καρδιάς)

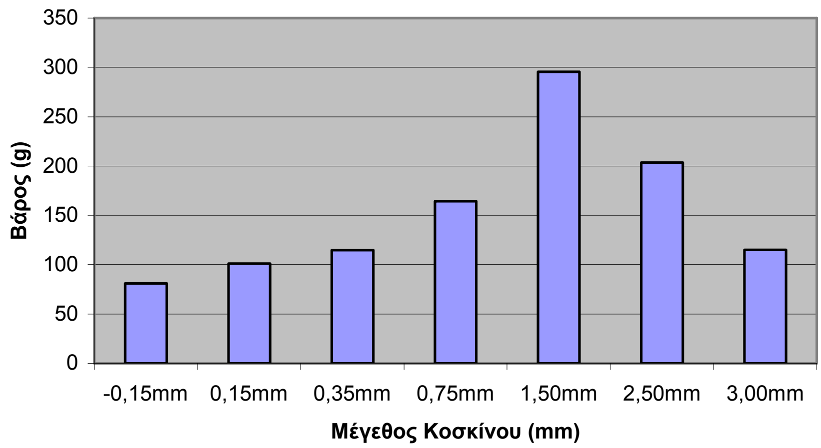
Πίνακας 5.Α. ΑΡΧΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ -5mm

Α/Α	ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ	Βάρος (g)	Βάρος%	W% αεροξ	Α%	AWF%	ΑΘΔ kcal/kg	ΚΘΔ kcal/kg	CO2 %
1.	3,00mm	115,1	10,70	10,3	12,1	25,9	2020	1618	3,7
2.	2,50mm	203,5	18,92	9,5	12,5	26,8	2005	1604	3,3
3.	1,50mm	295,7	27,49	9,0	13,7	29,2	1866	1468	4,8
4.	0,75mm	164,4	15,29	8,5	14,9	31,9	1731	1336	6,3
5.	0,35mm	114,8	10,67	8,4	14,7	31,4	1708	1312	7,2
6.	0,15mm	101,0	9,39	8,2	14,5	30,9	1713	1317	7,5
7.	-0,15mm	81,1	7,54	8,3	14,2	30,3	1730	1333	8,1
	ΣΥΝΟΛΟ>	1075,6	(100)						
	ΣΒάρος%*Χ/100			**8,9**	**13,6**	**29,3**		**1448**	**5,4**

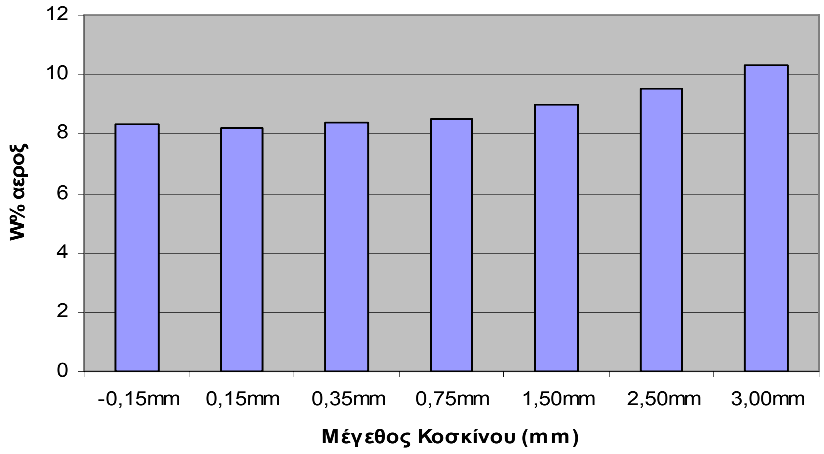
Πίνακας 5.Β. ΑΡΧΙΚΗ ΘΡΑΥΣΗ -3mm

Α/Α	ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ	Βάρος g	Βάρος %	W% αεροξ	Α%	AWF %	ΑΘΔ kcal/kg	ΚΘΔ kcal/kg	CO2 %
1.	1,50mm	81,3	8,24	10,4	11,9	25,4	2084	1681	2,1
2.	0,75mm	217,0	22,00	9,5	12,2	26,0	2051	1649	2,4
3.	0,35mm	199,4	20,21	9,0	12,7	27,1	1985	1584	4,0
4.	0,15mm	214,7	21,77	8,7	13,5	28,7	1835	1436	6,2
5.	-0,15mm	273,9	27,78	8,2	16,3	34,8	1539	1148	9,8
	ΣΥΝΟΛΟ>	986,3	(100)						
	ΣΒάρος%*Χ/100			**8,9**	**13,7**	**29,2**		**1452**	**5,6**

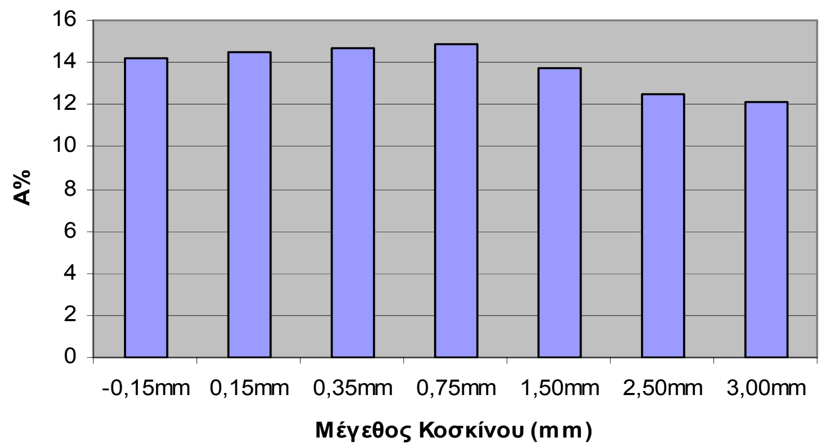
Πίνακας 5.Α.1.: Σχέση Βάρους – Κοκκομετρίας



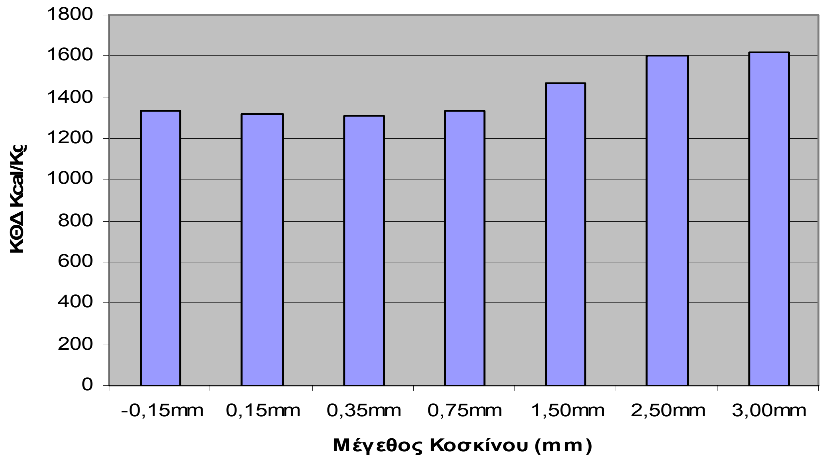
Πίνακας 5.Α.2.: Σχέση ποσοστού Υγρασίας – Κοκκομετρίας



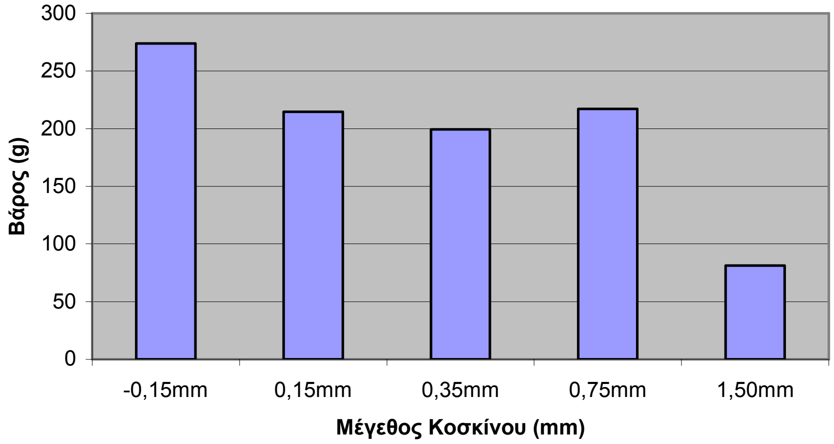
Πίνακας 5.Α.3.: Σχέση ποσοστού Τέφρας – Κοκκομετρίας



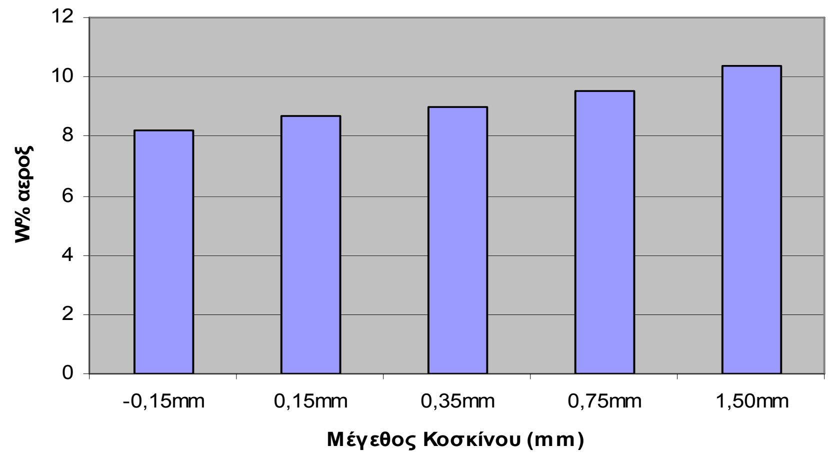
Πίνακας 5.Α.4.: Σχέση ΚΘΔ – Κοκκομετρίας



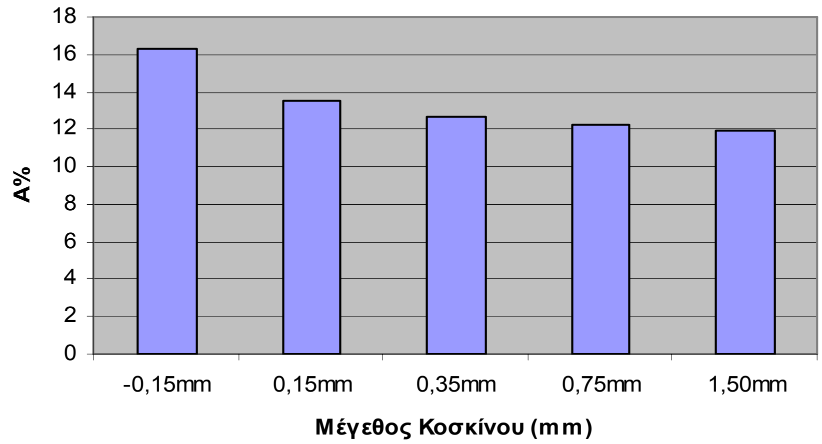
Πίνακας 5.Β.1.: Σχέση Βάρους – Κοκκομετρίας



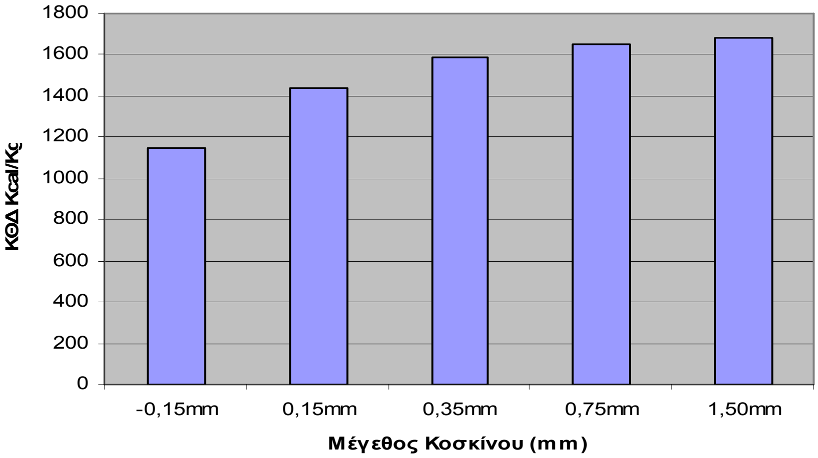
Πίνακας 5.Β.2.: Σχέση ποσοστού Υγρασίας – Κοκκομετρίας



Πίνακας 5.Β.3.: Σχέση ποσοστού Τέφρας – Κοκκομετρίας



Πίνακας 5.Β.4.: Σχέση ΚΘΔ – Κοκκομετρίας



Πίνακας 5.Γ. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΡΧΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΔΕΙΓΜΑ	W% αεροξ	A%	AWF%	ΑΘΔ Kcal/Kg	ΚΘΔ Kcal/Kg	CO2 %
ΛΙΓΝΙΤΗΣ (ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΟΣ)	**9,0**	**13,8**	**29,3**	**1850**	**1452**	**5,5**

2.8. Προσδιορισμός ποιοτικά αναβαθμισμένων και υποβαθμισμένων δειγμάτων

Με βάση τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ακολουθεί η προσπάθεια ομαδοποίησης των κλασμάτων που μπορούν να χαρακτηριστούν αναβαθμισμένα ποιοτικά, με ταυτόχρονη ομαδοποίηση των υποβαθμισμένων ποιοτικά κλασμάτων. Από την δοκιμή εμπλουτισμού που πραγματοποιήθηκε το 1998, γίνεται φανερό ότι βασικά κριτήρια χαρακτηρισμού της ποιότητας ενός λιγνίτη είναι: το ποσοστό υγρασίας, τέφρας, διοξειδίου του άνθρακα CO_2 και η θερμαντική του ικανότητα. Χρησιμοποιώντας τα ίδια αυτά κριτήρια γίνεται και στην συγκεκριμένη εργασία ο ποιοτικός χαρακτηρισμός των ομαδοποιημένων κλασμάτων.

2.8.1 Αθροιστική προσέγγιση ομαδοποιημένων κλασμάτων

Η εργαστηριακή μελέτη απέδωσε κοκκομετρίες, οι οποίες ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθούν με υγρή κοσκίνηση. Τα αρχικά δείγματα προϋποβλήθηκαν σε αεροξήρανση, έτσι είναι ανέφικτη η μέτρηση της φυσικής υγρασίας του κάθε κλάσματος. Έτσι με αρχική υπόθεση ότι τα κλάσματα έχουν την φυσική υγρασία του αρχικού δείγματος, ο ποιοτικός τους έλεγχος στηρίχθηκε στα υπόλοιπα τρία κριτήρια: ποσοστό τέφρας, διοξείδιο του άνθρακα και θερμαντική ικανότητα.

Με βάση την ποσοστιαία αναλογία κατά βάρος του κάθε κλάσματος, υπολογίστηκαν αθροιστικά οι τιμές των προαναφερθέντων τριών κριτηρίων, για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς ομαδοποιημένων κλασμάτων. Τα αποτελέσματα των τιμών, αθροιστικά για τέφρα και διοξείδιο του άνθρακα, καθώς και κατωτέρου θερμογόνου δύναμης παραθέτονται στους Πίνακες 6 και 7. Η αθροιστική ανάλυση αυτών των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων έδωσε σημαντικά αποτελέσματα, τα οποία βέβαια χρίζουν εργαστηριακής επαλήθευσης.

Οι περιπτώσεις ομαδοποιημένων κλασμάτων 6.Α.3, 6.Β.4, 7.Α.2 και 7.Β.3, στους Πίνακες 6 και 7, κατόπιν συνεννοήσεως με τον κύριο Καβουρίδη, είναι αυτές που ενδιαφέρουν, ως αναφορά τις γενικές τους αποδώσεις στον τομέα ποιοτικής αναβάθμισης. Έτσι για αυτές αναπτύχθηκε πλήρης εργαστηριακή μελέτη ελέγχου φυσικοχημικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών.

Πινακας 6: Αθροιστική ανάλυση κοκκομετρικών διαβαθμίσεων
Λιγνιτης (Ασβεστούχος)

Α. Αρχική Θραύση -5mm

<table>
<tr><th colspan="5"></th><th colspan="6">ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ</th></tr>
<tr><th>Α/Α</th><th>ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ</th><th>Βάρος %</th><th>ΚΘΔ kcal/kg</th><th>AWF% +CO2</th><th>6.Α.1</th><th>6.Α.2</th><th>6.Α.3</th><th>6.Α.4</th><th>6.Α.5</th><th>6.Α.6</th></tr>
<tr><td>1.</td><td>3,00mm</td><td>8,15</td><td>1496</td><td>33,5</td><td>8,15% με 1496-33,5</td><td rowspan="2">21,91% με 1379-37,88</td><td rowspan="3">46,36% με 1220-42,60</td><td rowspan="4">63,07% με 1087-43,87</td><td rowspan="5">76,00% με 1028-46,01</td><td rowspan="6">88,94% με 973-47,81</td></tr>
<tr><td>2.</td><td>2,50mm</td><td>13,76</td><td>1310</td><td>40,4</td><td rowspan="6">91,85% με 886-50,60</td></tr>
<tr><td>3.</td><td>1,50mm</td><td>24,46</td><td>1079</td><td>46,8</td><td rowspan="5">78,09% με 811-53,41</td></tr>
<tr><td>4.</td><td>0,75mm</td><td>14,72</td><td>814</td><td>53,8</td><td rowspan="4">53,64% με 689-54,96</td></tr>
<tr><td>5.</td><td>0,35mm</td><td>12,93</td><td>739</td><td>56,5</td><td rowspan="3">36,93% με 675-58,38</td></tr>
<tr><td>6.</td><td>0,15mm</td><td>12,91</td><td>650</td><td>58,6</td><td rowspan="2">24,00% με 641-59,41</td></tr>
<tr><td>7.</td><td>−0,15mm</td><td>11,07</td><td>633</td><td>60,6</td><td>11,06% με 633-60,60</td></tr>
</table>

Σημείωση:Οι τιμές εντός των πλαισίων αντιστοιχούν στην ΚΘΔ και στο άθροισμα ποσοστού Τέφρας +CO2

Β. Αρχική Θραύση -3mm

<table>
<tr><th colspan="5"></th><th colspan="4">ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ</th></tr>
<tr><th>Α/Α</th><th>ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ</th><th>Βάρος %</th><th>ΚΘΔ kcal/kg</th><th>AWF% +CO2</th><th>6.Β.1</th><th>6.Β.2</th><th>6.Β.3</th><th>6.Β.4</th></tr>
<tr><td>1.</td><td>1,50mm</td><td>7,81</td><td>1548</td><td>29,8</td><td>7,81% με 1548-29,8</td><td rowspan="2">24,46% με 1452-32,99</td><td rowspan="3">41,23% με 1332-37,10</td><td rowspan="4">63,53% με 1171-42,58</td></tr>
<tr><td>2.</td><td>0,75mm</td><td>16,65</td><td>1408</td><td>34,5</td><td rowspan="4">92,19% με 914-51,18</td></tr>
<tr><td>3.</td><td>0,35mm</td><td>16,77</td><td>1156</td><td>43,2</td><td rowspan="3">75,54% με 806-54,87</td></tr>
<tr><td>4.</td><td>0,15mm</td><td>22,30</td><td>877</td><td>52,7</td><td rowspan="2">58,77% με 688-58,20</td></tr>
<tr><td>5.</td><td>−0,15mm</td><td>36,47</td><td>572</td><td>61,6</td><td>36,47% με 572-61,60</td></tr>
</table>

Πινακας 7: Αθροιστική ανάλυση κοκκομετρικών διαβαθμίσεων Λιγνιτης (Bunker Καρδιας)

Α. Αρχική Θραύση -5mm

<table>
<tr><th rowspan="2">Α/Α</th><th rowspan="2">ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ</th><th rowspan="2">Βάρος %</th><th rowspan="2">ΚΘΔ kcal/kg</th><th rowspan="2">AWF% +CO2</th><th colspan="6">ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ</th></tr>
<tr><th>7.Α.1</th><th>7.Α.2</th><th>7.Α.3</th><th>7.Α.4</th><th>7.Α.5</th><th>7.Α.6</th></tr>
<tr><td>1.</td><td>3,00mm</td><td>10,70</td><td>1618</td><td>29,6</td><td>10,70% με 1618-29,6</td><td rowspan="2">29,62% με 1609-29,91</td><td rowspan="3">57,11% με 1541-29,91</td><td rowspan="4">72,39% με 1498-33,21</td><td rowspan="5">83,06% με 1474-33,9</td><td rowspan="6">92,46% με 1429-34,33</td></tr>
<tr><td>2.</td><td>2,50mm</td><td>18,92</td><td>1604</td><td>30,1</td><td rowspan="6">89,30% με 1432-35,50</td></tr>
<tr><td>3.</td><td>1,50mm</td><td>27,49</td><td>1468</td><td>34,0</td><td rowspan="5">70,38% με 1387-36,52</td></tr>
<tr><td>4.</td><td>0,75mm</td><td>15,29</td><td>1336</td><td>38,2</td><td rowspan="4">42,89% με 1341-37,91</td></tr>
<tr><td>5.</td><td>0,35mm</td><td>10,67</td><td>1312</td><td>38,6</td><td rowspan="3">27,61% με 1350-37,55</td></tr>
<tr><td>6.</td><td>0,15mm</td><td>9,39</td><td>1317</td><td>38,4</td><td rowspan="2">16,94% με 1384-36,67</td></tr>
<tr><td>7.</td><td>−0,15mm</td><td>7,54</td><td>1333</td><td>38,4</td><td>7,54% με 1333-38,4</td></tr>
</table>

Σημείωση:Οι τιμές εντός των πλαισίων αντιστοιχούν στην ΚΘΔ και στο άθροισμα ποσοστού Τέφρας +CO2

Β. Αρχική Θραύση -3mm

<table>
<tr><th rowspan="2">Α/Α</th><th rowspan="2">ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ</th><th rowspan="2">Βάρος %</th><th rowspan="2">ΚΘΔ kcal/kg</th><th rowspan="2">AWF% +CO2</th><th colspan="4">ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ</th></tr>
<tr><th>7.Β.1</th><th>7.Β.2</th><th>7.Β.3</th><th>7.Β.4</th></tr>
<tr><td>1.</td><td>1,50mm</td><td>8,24</td><td>1681</td><td>27,5</td><td>8,24% με 1681-27,50</td><td rowspan="2">30,24% με 1658-28,15</td><td rowspan="3">50,45% με 1628-29,33</td><td rowspan="4">72,33% με 1570-30,95</td></tr>
<tr><td>2.</td><td>0,75mm</td><td>22,00</td><td>1649</td><td>28,4</td><td rowspan="4">91,76% με 1432-35,50</td></tr>
<tr><td>3.</td><td>0,35mm</td><td>20,21</td><td>1584</td><td>31,1</td><td rowspan="3">69,76% με 1378-37,64</td></tr>
<tr><td>4.</td><td>0,15mm</td><td>21,77</td><td>1436</td><td>34,9</td><td rowspan="2">49,55% με 1294-40,32</td></tr>
<tr><td>5.</td><td>−0,15mm</td><td>27,77</td><td>1148</td><td>44,6</td><td>27,77% με 1148-44,6</td></tr>
</table>

2.8.2 Εργαστηριακή επαλήθευση

Με βάση την ποσοστιαία αναλογία κάθε κλάσματος, ενώθηκαν ως ένα δείγμα όλα τα κλάσματα που θεωρήθηκαν ποιοτικά αναβαθμισμένα και το δείγμα χαρακτηρίστηκε ως εμπλούτισμα. Σε αντιστοιχία ενώθηκαν όλα τα κλάσματα που θεωρήθηκαν ποιοτικά υποβαθμισμένα και το δείγμα που προέκυψε χαρακτηρίστηκε ως απόρριμμα. Στην ουσία δημιουργήθηκαν οχτώ νέα τελικά δείγματα όπου φαίνονται στον Πίνακα 8 τα οποία υποβλήθηκαν σε εργαστηριακή μελέτη ως επαλήθευση της μαθηματικής προσέγγισης.

Πίνακας 8: Τελικά δείγματα (εμπλουτίσματα – απορρίμματα)

Α.Λιγνιτης (Ασβεστούχος)		
	Ποιοτικά αναβαθμισμένα δείγματα	Ποιοτικά υποβαθμισμένα δείγματα
Αρχική θραύση -5mm	Μέγεθος κόκκων +1,50mm	Μέγεθος κόκκων -1,50mm
Αρχική θραύση -3mm	Μέγεθος κόκκων +0,75mm	Μέγεθος κόκκων -0,75mm
Β.Λιγνιτης (Bunker Καρδιάς)		
	Ποιοτικά αναβαθμισμένα δείγματα	Ποιοτικά υποβαθμισμένα δείγματα
Αρχική θραύση -5mm	Μέγεθος κόκκων +2,50mm	Μέγεθος κόκκων -2,50mm
Αρχική θραύση -3mm	Μέγεθος κόκκων +0,35mm	Μέγεθος κόκκων -0,35mm

Η εργαστηριακή μελέτη περιλαμβάνει κατ' αρχήν ολοκληρωμένη την προσεγγιστική ανάλυση όλων των τελικών δειγμάτων. Τα δείγματα λοιπόν επεξεργάστηκαν από τα μηχανήματα MAC-500 και AC-300 της LECO και έδωσαν τα αποτελέσματα που αναγράφονται στον Πίνακα 9.α. Σε αντιπαραβολή με τις τιμές που προβλέφθηκαν από την αθροιστική προσέγγιση, οι αποκλίσεις στις τιμές που παρατηρούνται θεωρούνται αμελητέες και οφείλονται κυρίως στις στρογγυλοποιήσεις δεκαδικών ψηφίων, που πραγματοποιήθηκαν κατά την αθροιστική προσέγγιση, καθώς επίσης και στα περιθώρια σφαλμάτων των μηχανημάτων (αναλυτών), που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εργαστηριακή μελέτη των τελικών δειγμάτων. Στους Πίνακες 9.β. και 9.γ διακρίνεται η μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών των προεπιλεγμένων ομαδοποιημένων κλασμάτων σε σχέση με τα αρχικά.

Τα αποτελέσματα αυτών των αρχικών αναλύσεων κρίθηκαν πολύ ικανοποιητικά, καθώς προέκυψε σημαντική ανάκτηση ποιοτικά αναβαθμισμένης ποσότητας λιγνίτη από τα δύο αρχικά δείγματα. Η ολοκλήρωση λοιπόν της εργαστηριακής μελέτης των συγκεκριμένων τελικών δειγμάτων κρίθηκε απαραίτητη για τον πλήρη χαρακτηρισμό των τελικών δειγμάτων, καθώς και την ολοκληρωμένη αξιολόγηση της μεθόδου ποιοτικής αναβάθμισης που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη εργασία.

Πίνακας 9α: Προσεγγιστική ανάλυση τελικών δειγμάτων

Α/Α	**ΔΕΙΓΜΑ**	**W%**	**W αεροξ%**	**Α%**	**AWF%**	**CO_2%**	**Cμόνι-μος(fix)%**	**ΑΘΔξ kcal/kg**	**ΑΘΔ kcal/kg**	**ΚΘΔ kcal/kg**
1	**ΑΡΧΙΚΟ (ασβεστ.)**	54,4	7,5	16	34,9	15,2	19,76	2962	1350	954
2	**ΠΟΙΟΤΙΚΑΑΝΑΒΑΘΜ. -5mm**	54,4	8,3	13,5	32,8	11,7	24,23	3537	1612	1210
3	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -5mm**	54,4	6,8	17,8	39	18,1	11,99	2381	1086	695
4	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -3mm**	54,4	8,5	14,2	31,1	11,5	23,67	3438	1568	1167
5	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -3mm**	54,4	5,8	17	40,2	21,1	12,95	2096	956	562
6	**ΑΡΧΙΚΟ (Bunker)**	53,1	9	13,8	29,3	5,5	27,12	3946	1850	1452
7	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -5mm**	53,1	9,8	12,3	26,5	3,4	31,58	4298	2015	1612
8	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -5mm**	53,1	8,7	14,4	30,5	6,4	25,23	3722	1746	1350
9	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -3mm**	53,1	9,5	12,3	26,4	3	31,24	4302	2017	1615
10	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -3mm**	53,1	8,5	15,3	32,3	8	25,4	3523	1652	1268

Πίνακας 9β. Μεταβολές τελικών δειγμάτων σε σχέση με το αρχικό δείγμα (ασβεστούχο)

ΑΡΧΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ	**7,5**	**16,0**	**34,9**	**15,2**	**19,76**	**954**

Α/Α	**ΤΕΛΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ**	**Wαεροξ%**	**Α%**	**AWF%**	**CO_2 %**	**Cfix %**	**ΚΘΔ kcal/kg**
1.	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -5mm**	+0,8	-2,5	-2,1	-3,5	+4,47	+256
2.	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -5mm**	-0,7	+1,8	+4,1	+2,9	-7,77	-259
3.	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -3mm**	+1,0	-1,8	-3,8	-3,7	+3,91	+213
4.	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -3mm**	-1,7	+1,0	+5,3	+5,9	-6,81	-392

Πίνακας 9γ. Μεταβολές τελικών δειγμάτων σε σχέση με το αρχικό δείγμα (bunker)

ΑΡΧΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ	**9**	**13,8**	**29,3**	**5,5**	**27,12**	**1452**

Α/Α	ΤΕΛΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ	W%	A%	AWF%	CO_2%	Cfix%	ΚΘΔ kcal/kg
1.	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -5mm	0,8	-1,5	-2,8	-2,1	4,46	160
2.	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -5mm	-0,3	0,6	1,2	0,9	-1,89	-102
3.	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -3mm	0,5	-1,5	-2,9	-2,5	4,12	163
4.	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -3mm	-0,5	1,5	3	2,5	-1,72	-184

2.9. Στοιχειακή ανάλυση λιγνίτη (ULTIMATE ANALYSIS)

Εκτός της προσεγγιστικής ανάλυσης (Proximate analysis), για την ολοκληρωμένη μελέτη δείγματος λιγνίτη είναι απαραίτητη η πραγματοποίηση στοιχειακής ανάλυσης (ultimate analysis) καυσίμου. Αυτή περιλαμβάνει τη σύσταση επί τοις εκατό σε άνθρακα, υδρογόνο, άζωτο, θείο και οξυγόνο που εμπεριέχεται στην καύσιμη ύλη. Στον άνθρακα συμπεριλαμβάνεται ο άνθρακας της οργανικής ουσίας καθώς και ο άνθρακας των ανθρακούχων ορυκτών (C ανόργανο). Στο υδρογόνο συμπεριλαμβάνεται το υδρογόνο του οργανικού άνθρακα, το υδρογόνο του νερού και αυτό των πυριτικών ορυκτών.

Το θείο βρίσκεται σε τρεις μορφές: α) οργανικές ενώσεις θείου στην ύλη του άνθρακα, β) πυρίτη ή μαρκασίτη (FeS_2) και γ) θειούχες ενώσεις.

Τα τελικά δείγματα τοποθετήθηκαν και αναλύθηκαν από την συσκευή CHN-100 της LECO, που έχει την δυνατότητα υπολογισμού της ποσοστιαίας σύστασης του λιγνίτη σε άνθρακα, υδρογόνο και άζωτο. Σε συσκευή SC-32 της LECO υπολογίσθηκε και το ποσοστό ολικού θείου των δειγμάτων προς ανάλυση. Το ποσοστό οξυγόνου υπολογίζεται έμμεσα από την αφαίρεση όλων των προηγούμενων στοιχείων. Στον Πίνακα 10 παρουσιάζεται η στοιχειακή ανάλυση καυσίμου σε αντιπαραβολή των αρχικών δειγμάτων με τα τελικά.

Πίνακας 10: Στοιχειακή ανάλυση καυσίμου(επί ξηρού δείγματος άνευ τέφρας)

Α/Α	ΔΕΙΓΜΑ	C%	H%	N%	Sολικό%	O%	Cανόργ. %
1	ΑΡΧΙΚΟ (ασβεστ.)	37	2,54	0,748	0,72	20,012	4,08
2	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -5mm	41,3	2,96	0,836	0,88	20,604	2,82
3	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -5mm	33,3	2,18	0.672	0,58	19,5	5,17
4	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -3mm	40,9	2,94	0,844	0,89	20,22	3,01
5	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -3mm	33,6	2,19	0,665	0,57	19,832	5
6	ΑΡΧΙΚΟ (Bunker)	43,7	3,24	1,13	0,74	19,63	1,56
7	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -5mm	47,1	3,52	1.210	0,87	20,47	0,93
8	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -5mm	42,3	3,12	1,09	0,69	19,27	1,83
9	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -3mm	46,9	3,4	1.240	0,86	20,61	0,82
10	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -3mm	40,4	3,07	1,02	0,62	18,62	2,3

2.10. Πτητικά

Για την ολοκλήρωση της εργαστηριακής μελέτης των τελικών μας δειγμάτων είναι απαραίτητος και ο υπολογισμός της πτητικής ύλης που παράγεται κατά την πυρόλυση του λιγνίτη.

Η πτητική ύλη αποτελείται κυρίως από τα καύσιμα αέρια: υδρογόνο, μονοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και άλλους υδρογονάνθρακες. Επίσης, αποτελείται από ατμούς πίσσας και από κάποια μη καύσιμα αέρια όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και ατμούς νερού. Το νερό αυτό δεν αναφέρεται στην υγρασία του λιγνίτη αλλά σ’ αυτό που παράγεται κατά την θερμική διάσπαση της μάζας του άνθρακα.

Ο υπολογισμός των πτητικών θεωρείται από τις πιο σημαντικούς προσδιορισμούς της ανάλυσης του άνθρακα, διότι τα πτητικά χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση συγκεκριμένων συστημάτων, καθώς και την αξιολόγηση ανθράκων όσον αφορά την καύση και εξανθράκωση.

Έτσι λοιπόν τα οκτώ τελικά δείγματα μαζί με τα δύο αρχικά προωθήθηκαν για προσδιορισμό πτητικών, που πραγματοποιήθηκε με την θέρμανση 1g λιγνίτη σε κλειστό χωνευτήριο στους 950^{o} C, για 7min, απουσία οξυγόνου. Από την απώλεια σε βάρος του 1g λιγνίτη υπολογίσθηκε το ποσοστό πτητικής ύλης.

Στον Πίνακα 11 φαίνεται ο υπολογισμός του ποσοστού της πτητικής ύλης, των τελικών δειγμάτων σε αντιπαραβολή με τα αρχικά δείγματα.

Πίνακας 11: Ποσοστό πτητικής ύλης αρχικών και τελικών δειγμάτων

Α/Α	ΔΕΙΓΜΑ	Πτητικά %κ.β.
1.	**ΑΡΧΙΚΟ (Ασβεστ)**	30,64
2.	**ΕΜΠΛ. -5mm**	34,87
3.	**ΑΠΟΡΡ. -5mm**	28,14
4.	**ΕΜΠΛ. -3mm**	34,13
5.	**ΑΠΟΡΡ. -3mm**	25,13

Α/Α	ΔΕΙΓΜΑ	Πτητικά %κ.β.
1.	**ΑΡΧΙΚΟ (Bunker)**	37,20
2.	**ΕΜΠΛ. -5mm**	39,12
3.	**ΑΠΟΡΡ. -5mm**	36,81
4.	**ΕΜΠΛ. -3mm**	39,80
5.	**ΑΠΟΡΡ. -3mm**	35,56

2.11. Ανάλυση τέφρας

Για τον πλήρη χαρακτηρισμό των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για ποιοτική αναβάθμιση ενδιαφέρει εκτός από το ποσοστό της τέφρας και η σύστασή της, καθώς αυτή καθορίζει, κατά πόσο είναι επιβλαβής για τους καυστήρες των Α.Η.Σ ο λιγνίτης που εισέρχεται για καύση (σκοριώσεις, επικαθίσεις, διαβρώσεις κλπ.). Η ολοκληρωμένη μελέτη της τέφρας περιλαμβάνει στοιχειακή ανάλυση και ορυκτολογική σύσταση αυτής.

2.11.1 Στοιχειακή ανάλυση τέφρας

Για την πραγματοποίηση στοιχειακής ανάλυσης της τέφρας τοποθετούμε στον εκτεφρωτή ικανή ποσότητα λιγνίτη, ώστε να δώσει τουλάχιστον 2g τέφρας που είναι απαραίτητα για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης ανάλυσης. Η διαδικασία εκτέφρωσης διαρκεί 2-3 ημέρες, καθώς δεν πρέπει να παραμείνει καθόλου ποσότητα λιγνίτη. Τα δείγματα τέφρας τρίφθηκαν και αναλύθηκαν κατά ASTM D2795 για όλα τα πιθανά οξείδια που μπορεί να περιλαμβάνονται, καθώς επίσης και για ελεύθερο CaO. Τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης καταγράφονται στον Πίνακα 12.

Πίνακας 12: Στοιχειακή ανάλυση τέφρας (1050 ^{o}C)

Κύρια Οξείδια%	**ΛΙΓΝΙΤΗΣ** (ΑΣΒΕΣΤ.)	**ΛΙΓΝΙΤΗΣ** (BUNKER)
SiO_2	17,64	32,67
Al_2O_3	8,3	14,74
CaO	56,84	29,4
MgO	2,6	5,6
Fe_2O_3	5,47	9,02
TiO_2	0,11	0,41
P_2O_5	0,37	0,43
SO_3	5,89	6,37
K_2O	0,42	0,3
Na_2O	0,63	0,2
Απροσδιόριστα	1,73	0,86
ΣΥΝΟΛΟ	**100**	**100**

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

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

Από την στοιχειακή ανάλυση της τέφρας επαληθεύτηκε η κατ' αρχήν μακροσκοπική μελέτη των αρχικών δειγμάτων. Ο χαρακτηρισμός ενός εκ των δύο ως ασβεστούχο δικαιολογείται από την υψηλή περιεκτικότητα του δείγματος σε οξείδιο του ασβεστίου (CaO = 56,84%), ενώ ο μικτός ρόλος του άλλου είναι φανερός με υψηλές περιεκτικότητες σε SiO_2, Al_2O_3 και CaO με εύκολο μακροσκοπικό εντοπισμό των αργιλικών.

Η στοιχειακή ανάλυση τέφρας είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες ποιοτικού προσδιορισμού του λιγνίτη, καθώς η τέφρα είναι η κύρια υπεύθυνη για τυχόν προβλήματα που παρουσιάζονται στις εγκαταστάσεις προετοιμασίας, προώθησης της καύσης των λιγνιτών. Χρησιμοποιώντας συγκεκριμένους δείκτες και την σύσταση των οξειδίων της τέφρας οποιουδήποτε λιγνίτη είναι εφικτή η ποιοτική αξιολόγηση αυτού, καθώς και η πρόβλεψη τυχόν προβλημάτων κατά την διαδικασία εκμετάλλευσης αυτών των λιγνιτών. Ταυτόχρονα δίνεται η δυνατότητα έγκαιρης αντιμετώπισης, καθώς οι λύσεις υπάρχουν και γίνονται ολοένα περισσότερες με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας.

2.11.2 Εμπειρικοί δείκτες υπολογισμού ποιότητας της τέφρας

Η ποιότητα της τέφρας καθώς και η τάση της προς επισκωριώσεις και επικαθίσεις στους λέβητες καύσης υπολογίζεται με εμπειρικούς δείκτες (Αρχεία Λ.Κ.Δ.Μ. και Δ. Βάμβουκα, 2002), που χρησιμοποιούν τα ποσοστά % των οξειδίων της τέφρας (Πίνακας 12). Οι δείκτες αυτοί είναι :

1. Δείκτης επικαθήσεων κατά Pollman SR:

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

ο οποίος εάν είναι <65 υπάρχει μεγάλη τάση επικαθήσεων, το αντίθετο δε, εάν SR>72. Ο δείκτης επικαθήσεων κατά Pollman για το ασβεστούχο δείγμα είναι 21,37 ενώ για το bunker είναι 42,60, οπότε και για τα δυο δείγματα, έχουμε μεγάλη τάση επικαθήσεων. Το ασβεστούχο δείγμα παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τάση επικαθήσεων.

2. Δείκτης ρύπανσης επιφανειών επαφής μεταφοράς:

Κυρίως επικρατούν δείκτες συγκέντρωσης αλάτων και ειδικότερα του Na_2O. Συμπερασματικά:

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

Στα δυο αρχικά δείγματα, ο δείκτης επικαθήσεων στις επιφάνειες επαφής μεταφοράς, είναι χαμηλός. Το ποσοστό Na_2O στην τέφρα του ασβεστούχου δείγματος είναι 0,63 ενώ του bunker είναι 0,2.

3. Δείκτης επικαθήσεων (ειδικότερα για τέφρες λιθανθράκων) είναι ο λόγος βασικών προς όξινων αλάτων:

$$\frac{B}{O} = \frac{\%(Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O)}{\%(Al_2O_3 + SiO_2 + TiO_2)}$$

Όπου ισχύει η διαβάθμιση όπως το % Na_2O.

Ο δείκτης επικαθήσεων του ασβεστούχου δείγματος είναι 6,41 και θεωρείται πολύ υψηλός ενώ του bunker είναι 0,87 και είναι χαμηλός.

2.11.3 Ορυκτολογική ανάλυση τέφρας

Με τον όρο ορυκτολογική ανάλυση τέφρας, εννοείται ο προσδιορισμός των κρυσταλλικών φάσεων των ορυκτών της τέφρας. Η ανάλυση αυτή, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων X (X-Ray Diffraction) και χρησιμοποιήθηκε το σύστημα αυτόματης περιθλασιμετρίας ακτίνων X τύπου D-500 της εταιρείας Siemens.

Η προετοιμασία των δειγμάτων έγινε ως εξής: μικρή ποσότητα τέφρας λειοτριβήθηκε σε αχάτη και τοποθετήθηκε στη κοιλότητα κατάλληλου πλαστικού υποδοχέα επιφάνειας μερικών cm^2, δημιουργώντας λεία και επίπεδη επιφάνεια. Τα δείγματα, τοποθετήθηκαν στον υποδοχέα του περιθλασίμετρου ακτίνων X και πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

Οι ορυκτολογικές φάσεις που προσδιορίστηκαν κατά την ορυκτολογική ανάλυση, η οποία πραγματοποιήθηκε στις τέφρες των αρχικών δειγμάτων ύστερα από καύση στους 780^oC παρουσιάζονται στον Πίνακα 13, ενώ τα αντίστοιχα ακτινοδιάγραμματα παρατίθενται στο Παράρτημα της εργασίας.

Πίνακας 13: Ορυκτολογική ανάλυση τέφρας που προέκυψε από την καύση των αρχικών δειγμάτων στους 780^{o}C.

Δείγμα	Ορυκτό	Ιδεατός χημικός τύπος
Λιγνίτης (Ασβεστούχος)	Χαλαζίας	SiO_2
	Ασβεστίτης	$CaCO_3$
	Ανυδρίτης	$CaSO_4$
	Αιματίτης	Fe_2O_3
Λιγνίτης (Bunker Καρδιάς)	Χαλαζίας	SiO_2
	Ασβεστίτης	$CaCO_3$
	Ανυδρίτης	$CaSO_4$
	Αιματίτης	Fe_2O_3

Η ορυκτολογική και στοιχειακή ανάλυση τέφρας δίνουν ολοκληρωμένη εικόνα της ανόργανης ύλης και έτσι ολοκληρώνεται η εργαστηριακή μελέτη των αρχικών δειγμάτων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων κρίνονται ικανά, για την ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων, όσον αφορά τη χρηστικότητα και την απόδοση της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε.

2.12 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Με την ολοκλήρωση των εργαστηριακών μετρήσεων, παρατηρήθηκαν ποσοστιαίες μεταβολές στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των αρχικών δειγμάτων λιγνίτη, χαρακτηρίζοντας τα τελικά δείγματα ως εμπλουτίσματα και απορρίμματα.

Συγκεκριμένα για τα βασικότερα χαρακτηριστικά του λιγνίτη (υγρασία, τέφρα, διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), πτητικά και θερμογόνο δύναμη) η ποσοστιαία μεταβολή που παρατηρήθηκε, σε σχέση με τα αρχικά δείγματα λιγνίτη είναι η εξής:

- **Υγρασία (Wαεροξ)**

Η αύξηση του λιγνιτικού περιεχομένου στα εμπλουτίσματα είναι φυσιολογικό να επιφέρει αύξηση της εμπεριεχόμενης υγρασίας. Στην συγκεκριμένη εργαστηριακή μελέτη και με βάση τη διαφορετικότητα των αρχικών δειγμάτων η αύξηση της υγρασίας στα εμπλουτίσματα είναι 5,5% έως 13,5% περίπου.

- **Τέφρα (AWF%)**

Η μείωση του ποσοστού τέφρας στα εμπλουτίσματα κυμαίνεται στο 6% έως 11% περίπου. Αντίστροφα, το ποσοστό αύξησης της τέφρας στα απορρίμματα φτάνει το 15%. Οι διακυμάνσεις αυτές οφείλονται κυρίως στη διαφορετική σύσταση τέφρας που περιέχει το κάθε αρχικό δείγμα, καθώς και στη διαφορετική αρχική θραύση που αυτό υποβλήθηκε (Αρχική θραύση -5mm και αρχική θραύση -3mm).

- **Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)**

Η μείωση του ποσοστού διοξειδίου του άνθρακα στα εμπλουτίσματα κυμαίνεται μεταξύ 23% και 45% περίπου. Στα απορρίμματα η αύξηση του ποσοστού αυτού είναι από 19% έως 45% περίπου.

- **Θερμογόνος δύναμη**

Η θερμογόνος δύναμη και ειδικότερα η Κ.Θ.Δ. είναι από τα βασικότερα φυσικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη, καθώς οριοθετεί κατά ένα μεγάλο ποσοστό τη δυνατότητα χρήσης αυτού από τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της Δ.Ε.Η. (βλέπε κατώτερα όρια λειτουργίας Α.Η.Σ. περιοχή Πτολεμαΐδας σελ. 16). Με την ολοκλήρωση της εργαστηριακής μελέτης η αύξηση του ποσοστού Κ.Θ.Δ. στα εμπλουτίσματα φτάνει το 41%. Η συγκεκριμένη διακύμανση οφείλεται κυρίως στην επιλογή των ομαδοποιημένων κλασμάτων που θεωρήθηκαν εμπλούτισμα – απόρριμμα, με βάση πάντα ένα ικανό ποσοστό απόληψης σε εμπλούτισμα.

Στους Πίνακες 14α και 14β, αναγράφονται όλες οι μεταβολές ποσοστού στα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη.

Πίνακας 14α: Μεταβολή κύριων φυσικοχημικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν τα τελικά δείγματα σε σχέση με τις τιμές του αρχικού δείγματος(Ασβεστούχο).

ΑΡΧΙΚΟ (ασβεστ.)	7,5	34,9	15,2	30,64	954

Α/Α	ΤΕΛΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ	Υγρασία (Wαερόξ)%	Τέφρα (AWF)%	CO_2%	Πτητικά%	Κ.Θ.Δ. kcal/kg
1	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -5mm**	10,66	-6,01	-23,02	13,80	26,83
2	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -5mm**	-9,33	11,74	19,07	-8,16	-27,14
3	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -3mm**	13,33	-10,88	-24,34	11,40	22,32
4	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -3mm**	-22,66	15,18	38,81	-17,98	-41,09

Πίνακας 14β: Μεταβολή κύριων φυσικοχημικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν τα τελικά δείγματα σε σχέση με τις τιμές του αρχικού δείγματος(Bunker Καρδιάς).

ΑΡΧΙΚΟ (Bunker)	9	29,3	5,5	37,2	1452

Α/Α	ΤΕΛΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ	Υγρασία (Wαερόξ)%	Τέφρα (AWF)%	CO_2%	Πτητικά%	Κ.Θ.Δ. kcal/kg
1	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -5mm**	8,88	-9,55	-38,18	5,16	11,02
2	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -5mm**	-3,33	4,06	16,36	-1,05	-7,02
3	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -3mm**	5,55	-9,89	-45,45	6,99	11,22
4	**ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -3mm**	-5,55	10,23	45,45	-4,40	-12,67

Ως αναφορά τη στοιχειακή ανάλυση καυσίμου, οι ποσοστιαίες μεταβολές που παρουσιάστηκαν με την ολοκλήρωση της εργαστηριακής μελέτης παρουσιάζονται στους Πίνακες 15α και 15β.

Πίνακας 15α: Μεταβολή στη στοιχειακή ανάλυση καυσίμου που παρουσιάζουν τα τελικά δείγματα σε σχέση με τις τιμές του αρχικού δείγματος(Ασβεστούχο).

ΑΡΧΙΚΟ (ασβεστ.)	37	2,54	0,748	0,72	20,012	4,08

Α/Α	ΔΕΙΓΜΑ	C%	H%	N%	Sολικό%	O%	Cανόργ.%
1	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -5mm	11,62	16,53	11,76	22,22	2,95	-30,88
2	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -5mm	-10,00	-14,17	-10,16	-19,44	-2,55	26,71
3	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -3mm	10,54	15,74	12,83	23,61	1,04	-26,22
4	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -3mm	-9,19	-13,78	-11,09	-20,83	0,90	22,54

Πίνακας 15β: Μεταβολή στη στοιχειακή ανάλυση καυσίμου που παρουσιάζουν τα τελικά δείγματα σε σχέση με τις τιμές του αρχικού δείγματος(Bunker Καρδιάς).

ΑΡΧΙΚΟ (Bunker)	43,7	3,24	1,13	0,74	19,63	1,56

Α/Α	ΔΕΙΓΜΑ	C%	H%	N%	Sολικό%	O%	Cανόργ.%
1	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -5mm	7,78	8,64	7,08	17,56%	4,27	-40,38
2	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -5mm	-3,20	-3,70	-3,54	-13,51	-1,83	17,30
3	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΑΝΑΒΑΘΜ. -3mm	7,32	4,93	9,73	16,21	4,99	-47,43
4	ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΜ. -3mm	-7,55	-5,24	-9,73	-16,21	-5,14	47,43

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργαστηριακής μελέτης μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

1. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την ποιοτική αναβάθμιση των δειγμάτων λιγνίτη (αρχική θραύση – κοσκίνηση) είναι απλή, εύχρηστη και σχετικά οικονομική. Δεν χρησιμοποιούνται χημικά αντιδραστήρια (βλέπε επίπλευση), οπότε δεν υπάρχει η συγκεκριμένη οικονομική επιβάρυνση και απλουστεύεται κατά πολύ η χρήση της μεθόδου. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνταν (σπαστήρες, κόσκινα κ.τ.λ.) βρίσκονται υπό χρήση αρκετά χρόνια στις εγκαταστάσεις της Δ.Ε.Η. με αποτέλεσμα να υπάρχει πλήρης κάλυψη από πλευράς τεχνογνωσίας.

2. Τα αποτελέσματα της εργαστηριακής μελέτης παρουσιάζουν ικανοποιητικό επίπεδο ποιοτικής αναβάθμισης του λιγνίτη. Ειδικότερα, για το δείγμα με Κ.Θ.Δ. 954 kcal/kg (λιγνίτης ασβεστούχος) έχουμε ποσοστό εμπλουτίσματος που κυμαίνεται στο 45% έως 60%, ανάλογα την αρχική θραύση και την επιλογή των κλασμάτων που κρατούνται από τη σειρά κοσκίνων που χρησιμοποιήθηκαν. Το εμπλούτισμα αυτό είναι κατάλληλο για χρήση στους Α.Η.Σ. Το αρχικό δείγμα χωρίς τη συγκεκριμένη επεξεργασία θα κατέληγε όλο σε αποθέσεις, καθώς η Κ.Θ.Δ. του είναι πολύ κάτω του ορίου λειτουργίας των Α.Η.Σ. Για το δείγμα που κινείται πάνω από το όριο λειτουργίας των Α.Η.Σ. με Κ.Θ.Δ. 1452 kcal/kg (λιγνίτης Bunker Καρδιάς), επιτυγχάνεται ποσοστό εμπλουτίσματος που κυμαίνεται στο 30% ως 50%, με ποιοτικά χαρακτηριστικά κατάλληλα ακόμα και για την παρασκευή λιγνιτόπλινθων. Το απόρριμμα υποβαθμίζεται ποιοτικά, αλλά είναι και πάλι κατάλληλο για χρήση στους Α.Η.Σ.

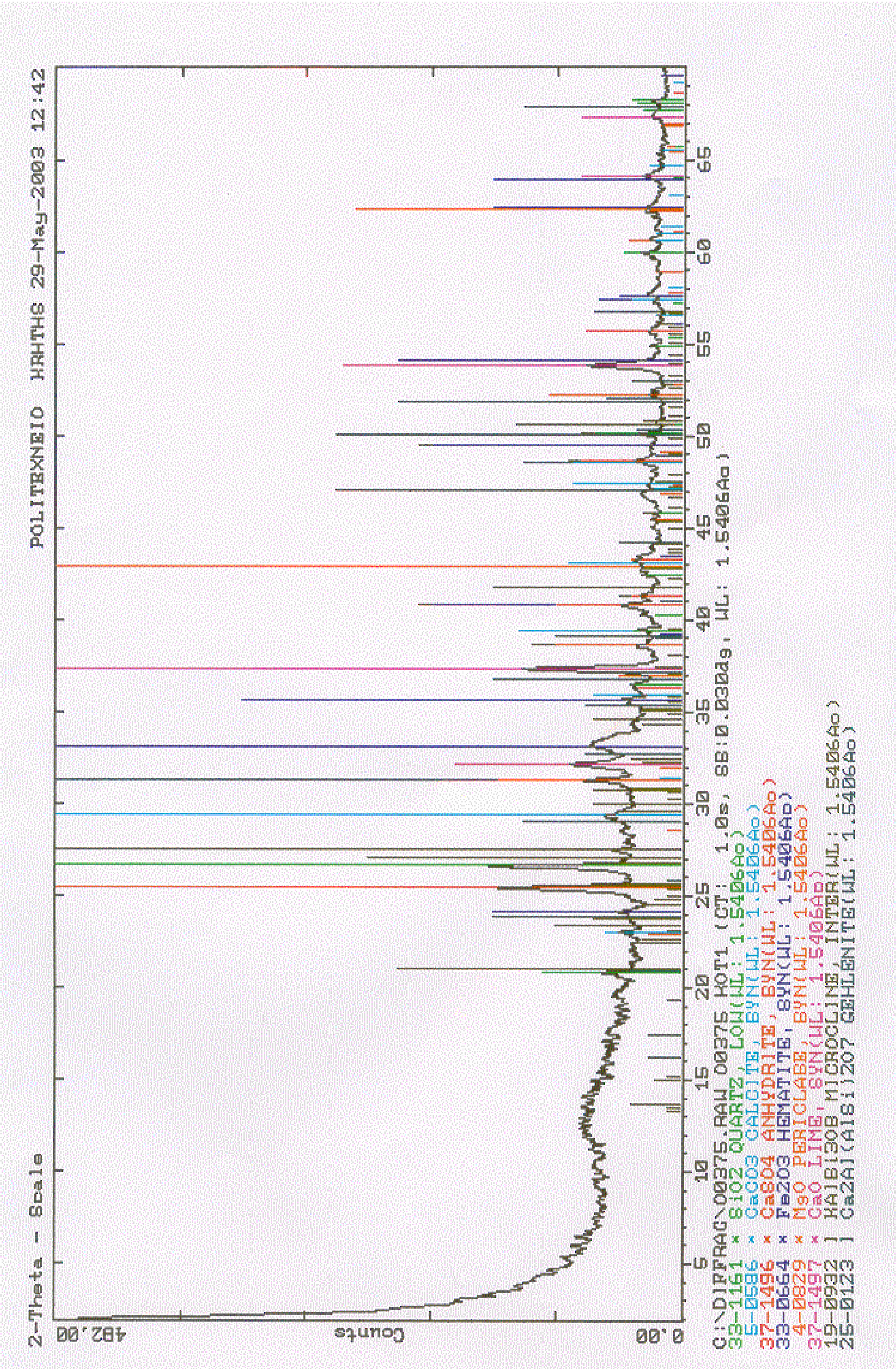
3. Η μείωση του ποσοστού τέφρας που παρουσιάζουν τα εμπλουτίσματα και φτάνει σε ορισμένα το 10% κρίνεται ικανοποιητική. Έτσι λοιπόν, επιτυγχάνεται η μείωση των επιβλαβών συνεπειών της παρουσίας της (επισκωριώσεις, επικαθήσεις κ.τ.λ.).

4. Οι διαφορές που παρουσιάζονται στα ποσοστά εμπλουτισιμότητας των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν οφείλονται στο ποσοστό και στη σύσταση της τέφρας του κάθε δείγματος, καθώς επίσης και στην επιλογή της μέγιστης κοκκομετρίας της αρχικής θραύσης και της ομαδοποίησης των κλασμάτων που θεωρούνται ως εμπλούτισμα.

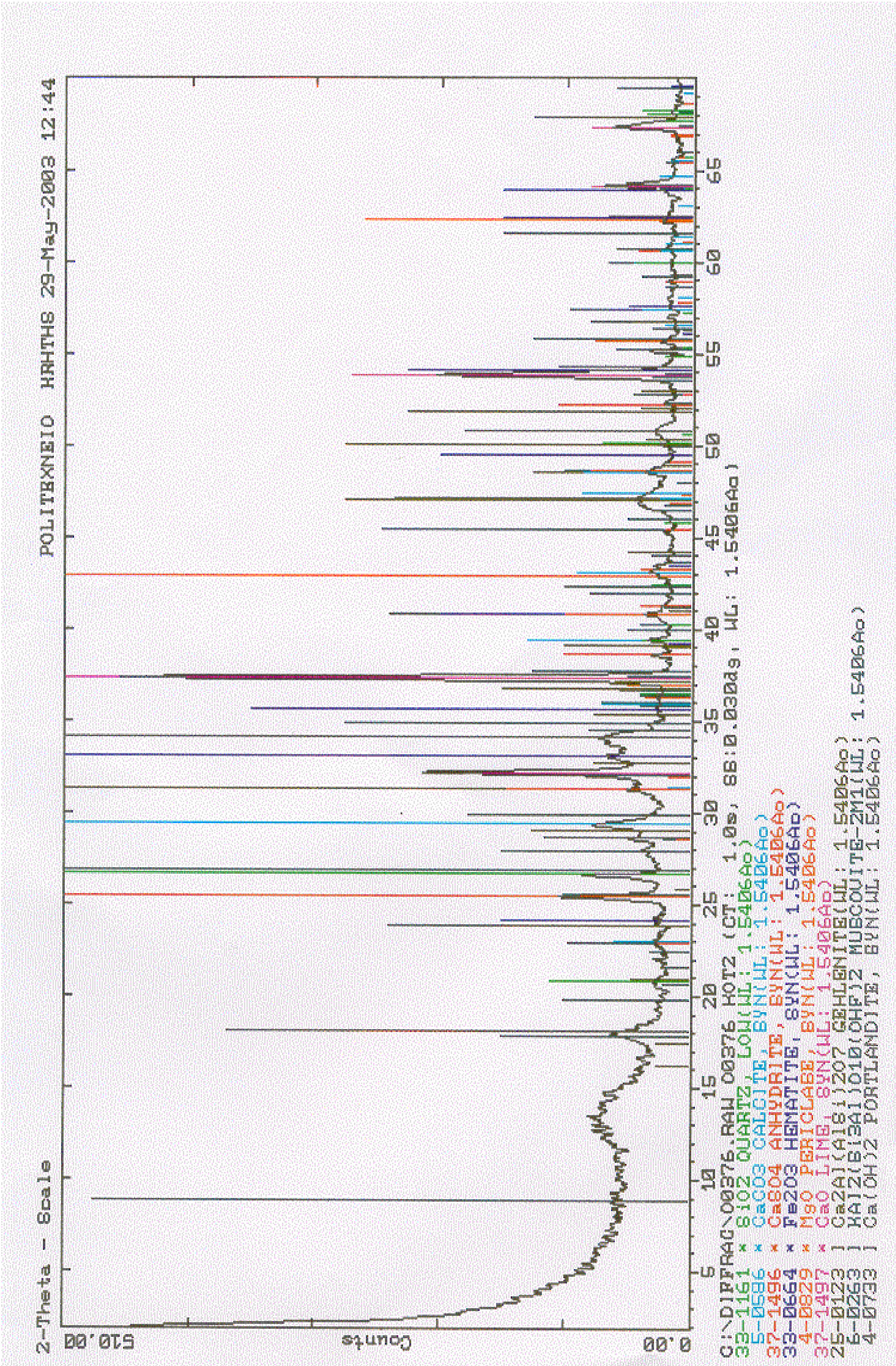
5. Τα εμπλουτίσματα παρουσιάζουν αυξημένα ποσοστά υγρασίας, τα οποία όμως αντιμετωπίζονται εύκολα από τις ήδη εγκατεστημένες μονάδες ξήρανσης.

6. Η δοκιμή εμπλουτισμού που πραγματοποιήθηκε το 1998 στις εγκαταστάσεις των λιγνιτωρυχείων Αχλάδας, έδωσε τις πρώτες συγκεκριμένες ενδείξεις της αποτελεσματικότητας και της χρηστικότητας της μεθόδου αρχικής θραύσης – κοσκίνησης. Τα αποτελέσματα της δοκιμής αυτής, που λειτούργησε ως πιλοτικό πρόγραμμα ημιβιομηχανικής κλίμακας και με τη χρήση ενός μόνο κοσκίνου, έδωσαν το έναυσμα για την περαιτέρω διερεύνηση του θέματος. Ως συνέχεια αυτού, πραγματοποιήθηκε η συγκεκριμένη μελέτη σε εργαστηριακό επίπεδο, ώστε να εξεταστούν όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν το ποσοστό και την ποιότητα ποιοτικής αναβάθμισης. Επιβεβαιώθηκε η εκτίμηση ότι τα χονδρομερή κλάσματα παρουσιάζουν αναβαθμισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, αλλά κυρίως οριστικοποιήθηκε η δυνατότητα επιλογής του ποσοστού και της ποιότητας των εμπλουτισμάτων που λαμβάνονται, με τη χρήση συγκεκριμένης διάταξης αρχικής θραύσης και σειράς κοσκίνων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Διάγραμμα 1: Ακτινοδιάγραμμα τέφρας για αρχικό δείγμα λιγνίτη (bunker)



Διάγραμμα 2: Ακτινοδιάγραμμα τέφρας για αρχικό δείγμα λιγνίτη (ασβεστούχο)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Arnold B.J. and Aplan F.F., ''The Effect of Clay Slimes on Coal Flotation, Part I: The Nature of the Clay and Part II: The Role of Water Quality'', International Journal of Mineral Processing, 17, 225, 1986.

Αρχεία Λειτουργίας Α.Η.Σ. Πτολεμαΐδας.

Αρχεία Λειτουργίας Εργοστασίου Παραγωγής Λιγνιτόπλινθων.

Αρχεία Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας.

Βάμβουκα Δ., ''Αντιρυπογόνος Χρήσις Γαιανθράκων, Τεχνολογίες αξιοποίησης γαιανθράκων χαμηλής τάξης'', 2002.

Berkowitz, N., ''An Introduction to Coal Technology'', Academic Press, 1979, p. 171.

Bulletin, Mountain States Engineers, Tuscon, Arizona

Capes, C.E., McIlhinney, A.E., and Coleman, R.D., ''Beneficiation and Balling of Coal'', Trans. AIME, 247, 233 (1970).

Capes, C.E., McIlhinney, A.E., Sirianni, A.F. and Puddington, I.E., ''Agglomeration in Coal Preparation'', ''Proceedings of the Institute for Briquetting and Agglomeration'', 12, 1971, p. 53.

Capes, C.E., McIlhinney, A.E., McKeever, R.E. and Messer, L., ''Aplication of Spherical Agglomeration to Coal Preparation'', Proc. Symposium, on Pellets and Granules, N.S.W., Australian Institute of Mining and Metallurgy, Oct., 1976.

Coal International, ''Brown Coal Processing Developments'', Coal International, 4(2), 26 (1985).

Couch, G.R., ''Advanced Coal Cleaning Technology'', IEA Coal Research, 1991.

Couch, G.R., ''Advanced Coal Cleaning Technology'', IEA Coal Research, December, 1991.

Couch, G.R., ''Lignite Resources and Characteristics'', IEA CR/13, London, U.K., IEA Coal Research, 1988, p. 100.

Eamer, B., ''Surface Chemical Treatment of Fine Coal with Slime Problem''. M. Appl. Sc. Thesis, Western Australian Institute of Technology, 1981.

Ferrara, G., Ruft, H.J. and Schena, A., ''Improvement of Coal Preparation by Dynamic Multistage Medium Process'', Proceedings 10th International Coal Preparation Congress, Canada, 1986.

Φραγκίσκος Α.Ζ., ''Η μελέτη του Εμπλουτισμού των Μεταλλευμάτων και Βιομηχανικών Ορυκτών'', Αθήνα, 1990.

Hake, W.D., ''Application of the Batac Jig for Processing Fine Coal'', Mining Congress Journal, Sept. (1976).

Hand, J.W., ''Drying of Western Coal'', Mining Congress J., May, 30, 1976.

Kindig, J.K. and Turner, R.L., ''Dry Chemical Process to Magnetize Pyrite and Ash for Removal from Coal'', SME-AIME Preprint No. 76-F-306 for 1976 Fall SME/AIME Meeting, Denver, Colo., 1976.

Kindig, J.K. and Goens, O.N., ''The Dry Removal of Pyrite and Ash from Coal by the Magnex Process. Coal Properties and Process Variables'', Proceedings: Symposium on Coal Cleaning to Achieve Energy and Environmental Goals, Hollywood, Florida, Sep. 1978.w

Leonard, J.W. and Mitchell, D.R., ''Coal Preperation'', AIME Seeley W. Mudd Series, 1968.

Liu, Y.A., ''High-Gradient Magnetic Seperation for Coal Desulfurization'', in Physical Cleaning of Coal, Liu, Y.A., (Ed.), New York, Marcel Dekker, 1982.

McCandless, L.C. and Shaver of Versar, R.B., ''Assessment of Coal Cleaning Technology: First Annual Report'', ERA Report -600/7-78-150, July, 1978.

Mishra, S.K. and Eamer, B.T., ''Effect of Clay Slimes on Flotation Behaviour of Coal'', Fine Particle Society Conference, Miami, Florida, 1985.

Murray, H.H., ''High Intensity Magnetic Cleaning of Bituminous Coal'', Second Symposium on Coal Preparation, NCA/BCR Coal Conference and EXPO III, Louisville, Kentucky, Oct., 1976.

Nicol, S.K., ''The Principles of Coal Preparation'', Australian Coal Preparation Society, Brisbane, 1997.

Nimerick, K.H., ''Characterization of Coal Responding to Froth Conditioning'', Soc. Of Mining Eng. 1982 Fall Meeting, Paper 82-377, 1982.

Niosh, ''Registry of Toxic Effects of Chemical Substances'', Department of health, Education and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, Rockville, Md., HEW Publication No. 76-191, 1976.

Osborne, D.G., ''Fine Coal Cleaning by Gravity Methods: A Review of Current Practice'', Coal Preparation, 2, 1986, p. 207.

Palowitch, E.R. and Deurbrouk, A.W., ''Dense Medium Separation'', in Coal Preparation (4th ed.) Chap. 9, Part I, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, 1979.

Phillips, P.J., ''Coal Preparation for Combustion and Conversion'', EPRI AF-791, May, 1978.

Riley, D.M., Firth, B.A. and Lockhart, N.C., ''Enhanced Gravity Separation'', Ch. 6 in High Efficiency Coal Preparation: An International Symposium, Kawatra, S.K., (Ed.), Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Colorado, 1995.

Σαββίδης Γρ.Π., ''Επίπλευση των Ορυκτών'', 1988.

Sarkar, G.G. et al., ''Demineralization of Coals by Oil Agglomeration, Part I: Studies on the Applicability of the Oil Agglomeration Technique to Various Coal Beneficiation Problems'', and Moza A.K., Kini, K.A. and Sarkar, G.G., ''Part II: Basic Studies in the Mechanism of Oil Agglomeration'', Proceedings, Seventh International Coal Preparation Congress, Sydney, Australia, 1976.

Singh, S.P. and Peterson of Oak, G.R., ''Survey and Evaluation of Current and Potential Coal Beneficiation Processes'', ORNL/TM-5953, March, 1979.

Sokaski, M., Geer, M.R. and Yancey, H.F., Ch. 10 in Coal Preparation, Leonard, J.W. and Mitchell, D.R., (Eds.), American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, New York, 1968.

Suardini, P., Akers, D.J. and Hancock, C., ''Assessing Potential Benefits and Penantlies of Cleaning Low-Rank Coals'', in Proceedings of the 14th Bennial Lignite Symposium on the Technology and Utilization of Low-Rank Coals, Dallas, TX, USA, 18-21 May, 1987, Grand Forks, NO, USA, University of North Dakota, Dept. of Conferences and Institute, 1987, p.17.

Sun, S.C. and McMorris III, W.L., ''Factors Affecting the Cleaning of fine Coals by the Convertol Process'', Min. Eng., Nov., 1151 (1959).

Taggart, A.F., ''Oil-Air Separation of Non-Sulfide and Non-Metal Minerals'', Trans. AIME, 134, 180 (1939).

Trinade, S.C., Howard, J.B., Kolm, H.H. and Dowers, G.J., ''Coal Desulfurization by Magnetic Forces'', ACS Fuel. Chem. Div., 19, 45 (1974).

Vamvuka, D. and Agridiotis, V., ''The Effect of Chemical Reagents on Lignite Flotation'', Int. J. of Miner. Process., 61, 209 (2001).

Vamvuka, D. et al., ''On the Quality of Ash of a Beneficiated Lignite'', Energy and Fuels, in press.

Wen, W.W. and Sun, S.C., ‘’An Electrokinetic Study on the Amine Flotation of Oxidized Coal’’, Trans AIME, 262, 174 (1977).

Wilson, D.C., ‘’Dry Table-Pyrite Removal from Coal’’, in Coal Desulfurization-Chemical and Physical Methods, Wheelock, T.D., (Ed.), ACS Symposium Series, 164, 1977, p.101.

Zimmerman, R.E., ‘’Flotation of Bituminous Coal’’, Trans. AIME, 177, 338 (1948).