

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

«Διερεύνηση της ακρίβειας των μετρήσεων του on line αναλυτή που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ποιότητας του λιγνίτη στο Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης»



Δημήτρης Παπαδόπουλος

Εξεταστική επιτροπή :

Μιχάλης Γαλετάκης,	Λέκτορας ( Επιβλέπων )
Βασίλειος Περδικάτσης	Αναπληρωτής Καθηγητής
Γεώργιος Αλεβίζος	Λέκτορας

Χανιά

Ιούνιος, 2005

## Πρόλογος

Στην παρούσα εργασία μελετάται η λειτουργία ενός on line αναλυτή τέφρας ο οποίος έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί εδώ και μερικά χρόνια στο Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης. Η μέθοδος ελέγχου ποιότητας του λιγνίτη που χρησιμοποιείται στα ορυχεία της περιοχής είναι η συστηματική δειγματοληψία και η χημική ανάλυση. Η μέθοδος έχει αντικατασταθεί μερικώς από τα σύγχρονα συστήματα ελέγχου ποιότητας τα οποία πλεονεκτούν στο ότι παρέχουν τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης της ποιότητας του λιγνίτη σε πραγματικό χρόνο και με ικανοποιητική ακρίβεια.

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη του συγκεκριμένου συστήματος ελέγχου ποιότητας με μέτρηση της τέφρας ( RAMM, Radiometric Ash & Mass Measurement ) καθώς επίσης και η αξιολόγηση του. Το πρώτο τμήμα αναφέρεται στην περιγραφή του λιγνιτικού κέντρου Μεγαλόπολης και στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος, στην επισήμανση των προτερημάτων και των μειονεκτημάτων του και στη σύγκρισή του με τους κυριότερους αναλυτές που υπάρχουν. Ενώ στο δεύτερο τμήμα πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση του αναλυτή. Για την αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία από το Δυτικό μέτωπο του ορυχείου του Χωρεμίου και προετοιμασία των δειγμάτων. Κάθε δείγμα τετραμερίστηκε και ρυπάνθηκε με άγονο υλικό σταδιακά. Η ενέργεια αυτή είχε σκοπό να μελετηθεί το εύρος των τιμών της τέφρας στο οποίο ο αναλυτής είναι ακριβής καθώς και η συμπεριφορά του στο χαμηλότερο και υψηλότερο ποσοστό τέφρας.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις της τέφρας από τον αναλυτή και από χημικό εργαστήριο. Οι μετρήσεις του αναλυτή βασίστηκαν στις τιμές των εντάσεων από το διερχόμενο λιγνίτη των δύο ραδιενεργών πηγών του αναλυτή. Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται η κατάσταση των εξαρτημάτων του αναλυτή ( παλαιότητα ανιχνευτή – πηγών, αναξιοπιστία ηλεκτρονικών εφαρμογών και εξαρτημάτων ) καθώς επίσης και η ισχύς των χρησιμοποιούμενων μαθηματικών εξισώσεων υπολογισμού της τέφρας του λιγνίτη ( συντελεστές εξίσωσης ). Η λήψη νέων δειγμάτων συμβάλλει στην καλύτερη αξιολόγηση του αναλυτή αφού εξετάζει αν μπορεί να ανταποκριθεί στα χρονικά μεταβαλλόμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη. Οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν εν μέρει στο χημείο του ΑΗΣ Β' και εν μέρει στο εργαστήριο Γεωχημείας και ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου

Κρήτης. Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο χημείο του ΑΗΣ αφορούσαν τη μέτρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών ( υγρασία, τέφρα % και θερμογόνο δύναμη ) των δειγμάτων αμέσως μετά τη λήψη τους. Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια του Πολυτεχνείου Κρήτης αφορούσαν τη στοιχειακή και ορυκτολογική ανάλυση της τέφρας των δειγμάτων. Οι πρόσθετες αναλύσεις είχαν σκοπό την ταυτοποίηση των ορυκτολογικών φάσεων που υπάρχουν στην τέφρα του λιγνίτη και η συσχέτιση της χημικής σύστασης της τέφρας με το σφάλμα του αναλυτή.

Το τρίτο τμήμα της εργασίας ( κεφάλαια 4 και 5 ) αφορά την επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν από την ορυκτολογική ανάλυση και τη συσχέτιση τους με αυτά της στοιχειακής. Επίσης πραγματοποιείται εξαγωγή συνδυασμού εξισώσεων υπολογισμού του ποσοστού τέφρας ( στατιστικό μοντέλο ) και στατιστική ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της τέφρας. Επιπρόσθετα μελετήθηκε και η απόδοση του αναλυτή με βάση το θεωρητικό μοντέλο υπολογισμού του ποσοστού της τέφρας του λιγνίτη και συγκρίθηκε με το στατιστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε για την αξιολόγηση του αναλυτή. Τέλος παρατίθενται τα συμπεράσματα της και οι προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση του θέματος .

## Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας και λέκτορα του τμήματος, κ. Μ. Γαλετάκη, για την ανάθεση και την επιστημονική υποστήριξη που μου προσέφερε καθ'όλη την διάρκεια της. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον λέκτορα του τμήματος κ. Γ. Αλεβίζο για την πολύτιμη βοήθειά του στις ορυκτολογικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Β. Περδικάτη για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και την βοήθεια που μου παρείχε για τη διεξαγωγή των χημικών αναλύσεων της τέφρας.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον τομεάρχη του τμήματος Μελέτης και Σχεδιασμού του Λιγνιτικού Κέντρου Μεγαλόπολης κ. Α. Στασινάκη για τη βοήθεια και συνεργασία που μου προσέφερε. Κλείνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Wolfgang Raufhofs ( μηχανικό της κατασκευάστριας εταιρίας ) και τους εργαζόμενους στο χημείο του ΑΗΣ Β' για τη συγκέντρωση των απαιτούμενων στοιχείων και αναλύσεων για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

## Συντομογραφίες και συμβολισμοί

AΗΣ : Ατμοηλεκτρικός σταθμός

AΘΔΞ : Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη επί Ξηρού

AΘΔΥ : Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη επί Υγρού

KΘΔΞ : Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη επί Ξηρού

KΘΔΥ : Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη επί Υγρού

ΛΚΜ : Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης

EDXRF : Energy Dispersive X Ray Fluorescence

PFTNAA : Pulsed Fast Thermal Neutron Analysis

PGNAA : Prompt Gamma Neutron Activation Analysis

RAMM : Radiometric Ash & Mass Measurement

$C_A$  : Τέφρα % επί φυσικού

$I$  : Ένταση εκπεμπόμενης ακτινοβολίας

$\mu$  : Συντελεστής απορρόφησης μάζας

$\rho$  : Πυκνότητα

$h$  : Ύψος ή σταθερά Planck

$\nu$  : Συχνότητα

$E$  : Ενέργεια

$Z$  : Ατομικός αριθμός

$\lambda$  : Μήκος κύματος

$e$  : Σφάλμα

$e_r$  : Σχετικό σφάλμα

$e_{rms}$  : Μέσο τετραγωνικό σφάλμα

MR : Μέση τιμή των μετρήσεων της έντασης της πηγής σε 1 min

## Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	ii
Ευχαριστίες.....	iv
Συντομογραφίες και συμβολισμοί.....	v

### Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : Γενικά στοιχεία για το Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης

1

1.1. Γεωλογία και στρωματογραφία της Λεκάνης.....	2
1.2. Τεκτονική της περιοχής.....	5
1.3. Κοιτασματολογικά και ποιοτικά στοιχεία των λιγνιτικών κοιτασμάτων της Μεγαλόπολης.....	7
1.4. Εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων.....	13
1.4.1. Ακολουθούμενη μέθοδος εκμετάλλευσης.....	15
1.4.2. Απόθεση αγόνων και λιγνίτη.....	16

### Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Χρήση on line αναλυτών τέφρας σε μονάδες παραγωγής

ενέργειας.....	17
2.1. Τύποι on line αναλυτών τέφρας.....	19
2.2. Εφαρμογές αναλυτών σε χαμηλής ποιότητας γαιάνθρακες.....	36
2.3. Σύγκριση των αναλυτών.....	38
2.4. Περιγραφή του αναλυτή που εγκαταστάθηκε στο Λ.Κ. Μεγαλόπολης.....	41
2.4.1. Τα βασικά τμήματα του αναλυτή.....	42
2.4.2. Το πρόγραμμα λήψης, επεξεργασίας και διαχείρισης των μετρήσεων του αναλυτή.....	45
2.4.3. Διαδικασία υπολογισμού της τέφρας.....	47
2.4.4. Ρυθμίσεις παραμέτρων και ακρίβεια μετρήσεων.....	50

### Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> : Δειγματοληψία και εργαστηριακές μετρήσεις.....

3.1. Δειγματοληψία.....	53
3.1.1. Μέθοδος Δειγματοληψίας.....	53
3.1.2. Περιγραφή των θέσεων δειγματοληψίας και των δειγμάτων.....	56
3.2. Εργαστηριακές μετρήσεις.....	63
3.2.1. Εργαστηριακές μετρήσεις των βασικών ποιοτικών παραμέτρων του λιγνίτη.....	63

3.2.2. Χημική και ορυκτολογική ανάλυση της τέφρας.....	70
3.3. Συμπεράσματα κεφαλαίου .....	77
<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Βαθμονόμηση και μετρήσεις στον on line αναλυτή.....</b>	<b>80</b>
4.1. Προκαταρτικός έλεγχος του αναλυτή.....	80
4.2. Βαθμονόμηση του αναλυτή.....	82
4.3. Μέθοδος λήψης μετρήσεων.....	83
4.4. Μετρήσεις στην αρχική τους μορφή και περιγραφική στατιστική ανάλυση.....	84
4.5. Αναλυτικός και στατιστικός τρόπος υπολογισμού του ποσοστού της τέφρας.....	91
4.6. Συμπεράσματα Κεφαλαίου.....	99
<b>Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Αξιολόγηση των μετρήσεων τέφρας από τον αναλυτή και συσχέτιση του σφάλματος των μετρήσεων με τη χημική της σύσταση.....</b>	<b>103</b>
5.1. Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης της τέφρας.....	103
5.2. Στατιστική ανάλυση των μετρήσεων και του σφάλματος του αναλυτή.....	109
5.3. Συσχέτιση των σφαλμάτων του αναλυτή με τη σύσταση της τέφρας.....	114
5.4. Σύνοψη κεφαλαίου.....	116
<b>Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> : Συμπεράσματα της εργασίας και προτάσεις.....</b>	<b>118</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>122</b>

## **1. Γενικά στοιχεία για το Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης**

Η λιγνιτοφόρος λεκάνη της Μεγαλόπολης αποτελεί ένα γεωλογικά νέο ρηξιγενές βύθισμα. Περιβάλλεται από τα όρη Μαίναλο προς Βορρά, Ταΰγετο προς Νότο, Λύκαιο και Τετάνιο προς τα δυτικά. Ο μέγιστος άξονας της λεκάνης έχει διεύθυνση Β ΒΔ-Ν ΝΑ και μήκος 20χλμ. περίπου, ενώ ο εγκάρσιος άξονας δεν υπερβαίνει τα 12 χλμ. Η επιφάνεια της λεκάνης είναι περίπου 200 τετραγωνικά χιλιόμετρα και το επίπεδο της κυμαίνεται μεταξύ 340-450 μ. πάνω από την επιφάνεια της θαλάσσης, με μέσο υψόμετρο 410 m.

Η φυσική αποστράγγιση της λεκάνης γίνεται από τον ποταμό Αλφειό και τους παραποτάμους του, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι ο Ελισσών, ο Ξεριλάς, ο Γουδάνης και ο Λαγκάδας. Η αρχή του ποταμού Αλφειού εμφανίζεται στο ΝΑ άκρο της λεκάνης σε υψόμετρο περίπου 380 m και η έξοδος του παρατηρείται στο ΒΔ άκρο της λεκάνης σε υψόμετρο 320 m. Η έξοδος πραγματοποιείται διαμέσου ενός φαραγγιού ασβεστολιθικής προέλευσης. Παρουσιάζεται μια μείωση του υψομέτρου της κοίτης του ποταμού κατά 60 m σε απόσταση 22 km.

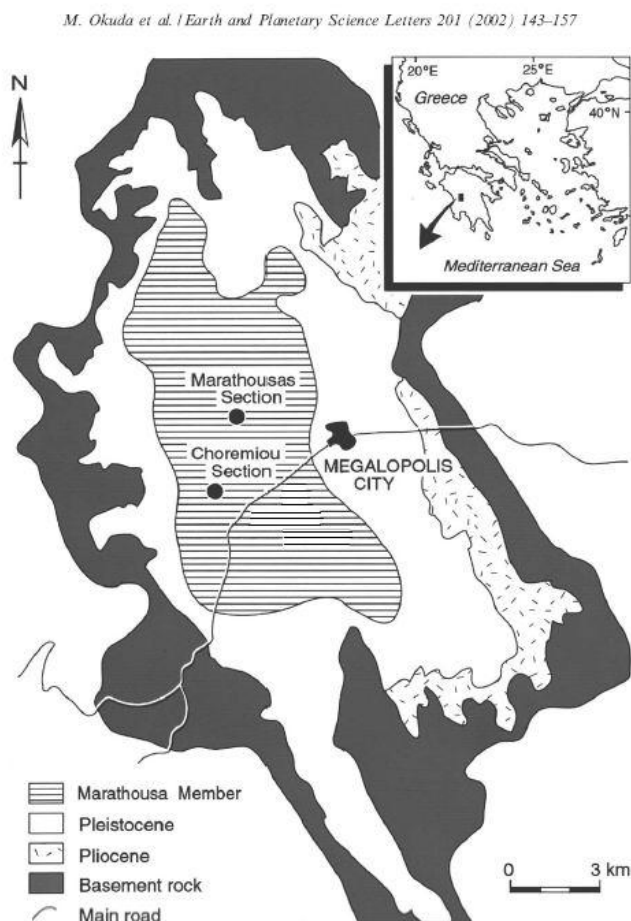
Το εσωτερικό της λεκάνης έχει πληρωθεί από χαλαρά πετρώματα κυρίως του Πλειστοκαίνου και εν μέρει του Πλειόκαινου. Η προέλευση κυμαίνεται από λιμναία έως ηπειρωτική. Ο διαχωρισμός της ηπειρωτικής από τη λιμναία φάση πραγματοποιείται βάση των ιζημάτων που η κάθε μία περιλαμβάνει. Η πρώτη περιλαμβάνει κλαστικά ιζήματα γκριζοκίτρινου χρώματος ενώ η δεύτερη λεπτομερή ιζήματα.

Τόσο η χαλαρή σύνδεση όσο και η σχεδόν οριζόντια θέση των στρωμάτων συντελούν στη διαμόρφωση ήπιας μορφολογίας από στρογγυλούς λοφίσκους που χωρίζονται μεταξύ τους από στενά ρεύματα, ξηρά στη διάρκεια των θερινών μηνών. Στις πλευρές της λεκάνης τα ρεύματα αυτά, που καταλήγουν τελικά στον Αλφειό, διανοίγουν βαθιές χαράδρες με σχεδόν κατακόρυφα τοιχώματα ( τύπου canyon ) μέσα στα καινοζωικά στρώματα, σε βάθος αρκετών μέτρων. Στις πλευρές της λεκάνης τα νεότερα αργιλικά στρώματα ή ο φλύσχης του υποβάθρου βρίσκονται σε συνεχή κατολίσθηση.



### 1.1.Γεωλογία και στρωματογραφία της Λεκάνης

Η λιγνιτοφόρος λεκάνη της Μεγαλόπολης αποτελεί τεκτονική τάφρο που δημιουργήθηκε στην τελευταία φάση της πτυχώσεως μεταξύ Ολιγοκαίνου και Ανώτερου Πλειόκαινου. Κατά τον Ανώτερο Πλειόκαινο αρχίζει η πλήρωση της με λιμναίες αποθέσεις αρχικά και στη συνέχεια με εναλλαγές ποτάμιων και χερσαίων αποθέσεων. Οι αποθέσεις αποτελούνται από μάργες, αργίλους, άμμους και πηλούς . Κατά το κατώτερο Πλειστόκαινο δημιουργήθηκαν οι λιγνιτικές αποθέσεις ( Εικόνα 1.1 ). Οι περιβάλλοντες τη λεκάνη ορεινοί όγκοι περιλαμβάνουν μια μεγάλη ποικιλία πετρωμάτων που ανήκουν στις ζώνες Τριπόλεως και Ωλονού – Πίνδου.



**Εικόνα 1.1 :** Άποψη της στρωματογραφίας στο πεδίο του εκμετάλλευσης του Χωρεμίου

Τα αρχαιότερα στρώματα ανήκουν στη φυλλιτική - χαλαζιτική σειρά του ημιμεταμορφωμένου υπόβαθρου της Κεντρικής Πελοποννήσου. Η σειρά αυτή

αποτελείται από σχιστόλιθους που εναλλάσσονται με χαλαζίτες. Είναι χαμηλής θερμοκρασίας μεταμόρφωσης και υψηλής πίεσης. Το πάχος της σειράς εκτιμάται σε πάνω από 600 m και εμφανίζεται 9 Km Α ΒΑ της Μεγαλόπολης, στις παρυφές του οικισμού Κεραστάρι. Η φυλλιτική σειρά υπόκειται των ημιμεταμορφωμένων ανθρακικών πετρωμάτων της ζώνης Τριπόλεως. Το ημιμεταμορφωμένο υπόβαθρο έχει ηλικία Ανώτερου Παλαιοζωικού - Κατώτερου Τριαδικού. Αντιπροσωπεύεται από τα στρώματα Τυρού, που αποτελούνται από εναλλαγές μικρό έως μεσοκρυσταλλικών ασβεστόλιθων-δολομιτών, ψαμμιτικών δολομιτών, ασβεστολιθικών φυλλιτών και φυλλιτών και χαρακτηρίζονται από χαμηλή μεταμόρφωση. Το πάχος της σειράς υπολογίζεται σε 80-100 μ. και εμφανίζεται Β ΒΑ της Μεγαλόπολης, σε απόσταση 7 Km. Οι σχηματισμοί της Ζώνης Τριπόλεως παρουσιάζουν μεγάλη εξάπλωση, αποτελώντας τις ορεινές παρυφές Β, ΒΑ, Α, ΝΑ και Ν της λεκάνης Μεγαλόπολης.

Η ανθρακική σειρά περιλαμβάνει πετρώματα Ανώτερου Τριαδικού - Ανώτερου Ηωκαίνου και αποτελείται από ασβεστόλιθους και δολομίτες. Το πάχος της ανθρακικής σειράς ξεπερνάει τα 1000 m. Στη βάση της αναπτύσσεται ορίζοντας συνεκτικού κροκαλο - λατυποπαγούς, πάχους 5 έως 20 m.

Ο φλύσχη, ο οποίος ακολουθεί, είναι ηλικίας ανώτερου Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου. Περιλαμβάνει την ψαμμιτική φάση με ακανόνιστες εναλλαγές μέσου μεγέθους κόκκων και λεπτόκοκκων ψαμμιτών καθώς και ενστρώσεις ιλυολίθων. Παρατηρήθηκαν επίσης ενστρώσεις Πελαγικών ασβεστόλιθων με κερατολίθους. Η άργιλο - ψαμμιτική σειρά του φλύσχη έχει αποτεθεί σε ασυμφωνία πάνω στην παλιά καρστική επιφάνεια των ασβεστόλιθων της ζώνης Τριπόλεως .

Μεταξύ της ζώνης Τριπόλεως και του επωθημένου Πινδικού καλύμματος παρεμβάλλεται τεκτονικά πολύμικτος σχηματισμός που αποτελείται από ψαμμίτες, κερατολίθους, εκρηξιγενή πετρώματα, τεμάχια κροκαλοπαγών και ασβεστόλιθων της ζώνης Πίνδου και της ζώνης Τριπόλεως. Το πάχος του σχηματισμού κυμαίνεται από 1 έως 30 m, ενώ ΒΔ της Στεμνίτσας υπερβαίνει τα 200 m. Η Ζώνη Ωλονού - Πίνδου αναπτύσσεται στις βόρειες και δυτικές παρυφές της λεκάνης και μόνο σε ορισμένες θέσεις ανατολικά και νοτιοανατολικά. Η ζώνη αυτή αρχίζει με τα στρώματα του “πρώτου φλύσχη”, κάτω Κρητιδικής-Τουρωνίου ηλικίας. Το πάχος του υπολογίζεται σε 1500 με 2000 m.

Ακολουθούν οι άνω Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι της Ζώνης Ωλονού - Πίνδου, που είναι πολύ διαδεδομένοι στην περιοχή και αποτελούν το σημαντικότερο πέτρωμα από υδρογεωλογική άποψη. Το χρώμα τους είναι λευκό έως υπόλευκο, ελαφρά κίτρινο

και κατά τόπους εμφανίζονται ροδόχροοι έως λευκότεφροι. Εμφανίζουν στρωματοειδή διάταξη, με στρώματα πάχους 5 έως 30 cm ενώ μερικές φορές είναι παχυστρωματώδεις. Το συνολικό πάχος των άνω Κρητιδικών ασβεστόλιθων υπολογίζεται σε 150 έως 200 m. Τα στρώματα μετάβασης από τους πελαγικούς άνω Κρητιδικούς ασβεστόλιθους προς τον φλύσχη αποτελούνται από εναλλαγές λεπτών πλακοειδών μικριτικών, βιομικριτικών πελαγικών ασβεστόλιθων, μαργαϊκών ασβεστόλιθων, μαύρων πυριτόλιθων, καστανών ή ερυθρών μάργων και ψαμμιτικών μάργων. Το συνολικό πάχος των μεταβατικών στρωμάτων κυμαίνεται από 5 έως 100 m.

### Νεογενή ιζήματα

Τα ιζήματα αυτά είναι πλειοκαινικής πλειο – πλειστοκαινικής ηλικίας και είναι αυτά που έχουν και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον όσον αφορά τα λιγνιτικά κοιτάσματα. Το πάχος τους δεν ξεπερνά τα 200 m. Η πλήρωση της λεκάνης έγινε με σχηματισμούς όπως μάργες, αργίλους ( μαργαικούς και αμμώδεις ), άμμους και συνάγματα ( χαλαρά ή και συνεκτικά ). Τα πρώτα ιζήματα που αποτέθηκαν ήταν λιμναίας προέλευσης και πλειοκαινικής ηλικίας ενώ μετέπειτα αποτέθηκαν επίσης λιμναία, ποτάμια και χερσαία ιζήματα πλειο – πλειστοκαινικής ηλικίας. Στον πίνακα 1.1 φαίνεται η διάρθρωση των γεωλογικών βαθμίδων σε συνάρτηση με την ηλικία τους :

**Πίνακας 1.1 :** Διάρθρωση γεωλογικών βαθμίδων σε σχέση με την ηλικία τους

Ηλικία				
Πλειόκαινο	Βαθμίδα Μακρυσίου	Βαθμίδα Τριλόφου		
Πλειστόκαινο	Βαθμίδα Απιδίτσας	Βαθμίδα Χωρεμίου	Βαθμίδα Ποταμιάς	Βαθμίδα Θωκνίας
Ολόκαινο	Βαθμίδα Αλφειού			

Όσον αφορά το πλειόκαινο η βαθμίδα Μακρυσίου αποτελείται κυρίως από μάργες λιμναίας φάσης, πάχους 40-50 μ. Μεταξύ των μαργών και αργίλων περιλαμβάνονται 3-4 στρώματα λιγνίτη, πάχους 0.10-0.50 μ. και μήκους μερικών μέτρων. Η βαθμίδα Τριλόφου αποτελείται από λιμναία στρώματα αργίλων, μαργών και από ποτάμιες

αποθέσεις αργίλων, άμμων, αργιλικών αμμοδών ιζημάτων, ιλύ και χαλαρά κροκαλοπαγή με πάχος 100 – 120 m.

Όσον αφορά το πλειστόκαινο η βαθμίδα Απιδίτσας αποτελείται από χερσαία ιζήματα και κυρίως πηλούς. Οι πηλοί αποτελούνται από φάσεις όπως : κερατόλιθοι, χαλαζίας και φύλλα μοσχοβίτη. Επίσης διακρίνονται ασβεστολιθικά συγκρίματα και χάλικες. Το πάχος της είναι έως 60 m. Η βαθμίδα Χωρεμίου αποτελείται από δύο είδη στρωμάτων. Τα στρώματα Μαραθούσας και τα στρώματα Μεγαλόπολης. Τα πρώτα είναι τα λιγνιτοφόρα και αποτελούνται από χουμώδεις αργίλους, αργίλους, μάργες και λιγνίτη με συνολικό πάχος 200 m. Τα δεύτερα είναι ποτάμιες αποθέσεις και αποτελούνται από εναλλαγές καστανών αργίλων, πηλών, άμμων, χάλικων και κροκαλοπαγή με συνολικό πάχος όχι μεγαλύτερο από 50 m. Η βαθμίδα Θωκνίας αποτελείται από χαλαρά αδρομερή κροκαλοπαγή, καστανούς πηλούς, αμμόδεις αργίλους και χάλικες. Το πάχος της είναι περίπου 10 m.

Τέλος όσον αφορά το ολόκαινο η βαθμίδα του Αλφειού αποτελείται από ασύνδετα αργιλικά αμμόδη υλικά, πηλούς, αμμοχάλικες και κροκάλες ποικίλης προέλευσης. Οι πιο σύγχρονες αποθέσεις αποτελούνται από άμμους, αργίλους και ασύνδετες κροκάλες.

## 1.2. Τεκτονική της περιοχής

Η Ζώνη Ωλνού-Πίνδου θεωρείται κάλυμμα που δημιουργήθηκε από επώθηση πάνω στα ιζήματα της Ζώνης Τριπόλεως. Επωθήθηκε επίσης και δυτικότερα πάνω στη Ζώνη Πύλου – Γραβοβού. Κατά την περίοδο μεταξύ Ηωκαίνου και Ανώτερου Πλειόκαινου πτυχώθηκαν οι θαλάσσιες σειρές από το τριαδικό έως τη βάση του τριτογενούς, τα οποία αποτελούν τον πυθμένα και τα περιθώρια της λεκάνης Μεγαλόπολης.

Η τεκτονική τάφρος της Μεγαλόπολης δημιουργήθηκε κατά την περίοδο μεταξύ Ολιγοκαίνου και Ανώτερου Πλειοκαίνου, σαν αποτέλεσμα κλιμακωτών διαρρήξεων. Οι διαρρήξεις αυτές έλαβαν χώρα μετά την πτύχωση και τη δημιουργία των επωθήσεων των θαλάσσιων ιζημάτων, που αποτελούν το υπόβαθρο της λεκάνης. Οι διαρρήξεις έγιναν στα πλαίσια της εκτόνωσης των τάσεων που είχαν συσσωρευτεί λόγω της πτύχωσης. Μέσα στην τάφρο δημιουργήθηκε η άνω πλειοκαινική λίμνη. Κατά τη διάρκεια της ανύψωσης των κρασπέδων της λεκάνης, η τάφρος που

δημιουργήθηκε άρχισε να καταβυθίζεται με γρήγορο ρυθμό. Η συνίζηση της λεκάνης συνεχίζεται μέχρι σήμερα με ταυτόχρονη ανύψωση του κρασπέδου της.

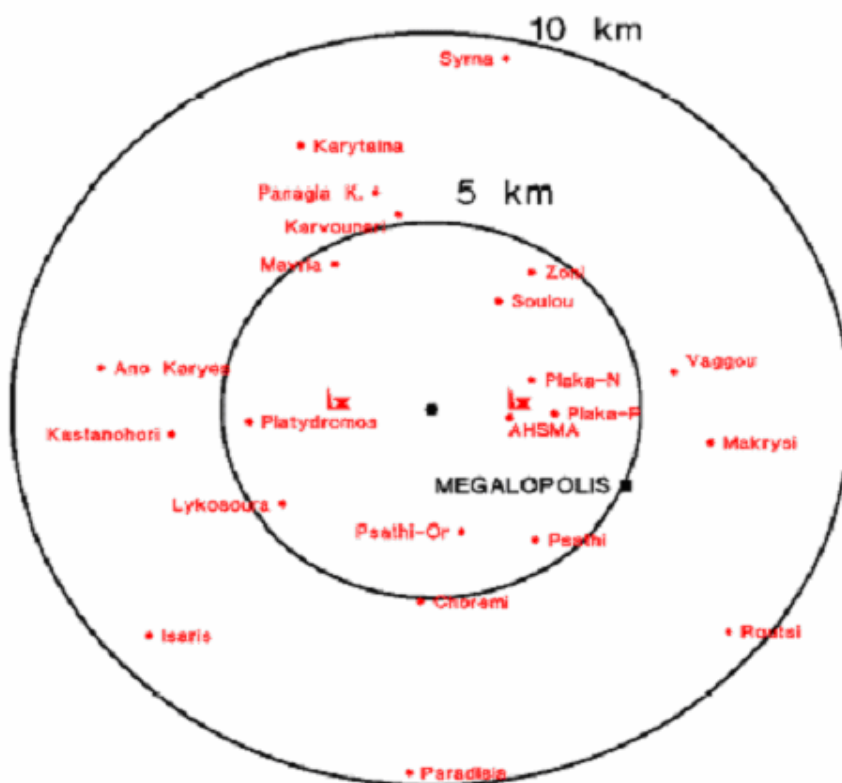
Στην περιφέρεια της λεκάνης διακρίνονται καθαρά τα ρήγματα και οι μεταπτώσεις, ιδίως στους συμπαγείς ασβεστόλιθους. Διακρίνονται δύο κύρια συστήματα ρηγμάτων που τέμνουν τα λιμναία καθώς και τα παλαιότερα στρώματα, Β ΒΔ-N ΝΑ και Α-Δ ( τα συστήματα των και οι διευθύνσεις τους φαίνονται στον γεωλογικό χάρτη που δίνεται στο παράρτημα 1<sup>ο</sup> κεφαλαίου φύλλο Μεγαλοπόλεως ) . Οι μεταπτώσεις προβάλλουν εντονότερα στην ανατολική πλευρά της λεκάνης, τέμνοντας κλιμακωτά τον φλύσχη και στη συνέχεια τα λιμναία στρώματα, πλειοκαινικά και πλειστοκαινικά, τα οποία έχουν αρχικά μια μέτρια κλίση προς τα δυτικά και στη συνέχεια, στο εσωτερικό της λεκάνης, γίνονται οριζόντια.

Στη δυτική πλευρά της λεκάνης δεν διακρίνονται μεγάλες μεταπτώσεις. Προφανώς όμως και η δυτική πλευρά είναι ρηξιγενής, κρίνοντας από τη συνολική μορφολογία της, από τις μικρές μεταπτώσεις που είναι ορατές στα λιγνιτικά πλειστοκαινικά στρώματα, καθώς και από τους σεισμούς που έχουν πλήξει κατ' επανάληψη τα χωριά της δυτικής παρυφής. Ο σχηματισμός τυρφοειδούς λιγνιτικής ελαιογενούς διάπλασης σε σχετικά μεγάλο πάχος κατά μήκος της κοιλάδας του Αλφειού υποδεικνύει ότι η λιγνιτοφόρος ζώνη ήταν τομέας συνεχούς ρυθμικής συνίζησης της όλης λεκάνης, ευρισκόμενος στην προέκταση της ρηξιγενούς τάφρου του ποταμού Ξερίλα. Η τελική διαμόρφωση της λεκάνης ήταν μεταγενέστερη της απόθεσης σε αυτήν των λιμναίων στρωμάτων. Σε διάφορα ύψη γύρω από τη λεκάνη, στην ορεινή Αρκαδία, παρατηρούνται αναβαθμίδες χέρσου που υποδεικνύουν τα στάδια εξάρσεως της Κεντρικής Πελοποννήσου κατά τους πρόσφατους γεωλογικούς χρόνους.

Τα λιμναία άνω καινοζωικά στρώματα της Μεγαλόπολης είναι σταθερά οριζόντια σε όλο σχεδόν το εσωτερικό της λεκάνης, χωρίς εμφανείς σοβαρές μεταπτώσεις. Δεν παρατηρείται καμία αξιόλογη ασυμφωνία αποθέσεως μεταξύ των στρωμάτων της λεκάνης. Μερικές ελαφρές ασυμφωνίες των στρωμάτων στη βάση κυρίως των κροκαλοπαγών προς τις μάργες, αποτελούν συνηθισμένα επεισόδια της ιζηματογένεσης. Πλευρικά διαπιστώνεται η εξελικτική μετάβαση των στρωμάτων των μάργων και αργίλων του εσωτερικού προς τα αμμώδη στρώματα και κροκαλοπαγή της περιφέρειας.

### 1.3.Κοιτασματολογικά στοιχεία και ποιοτικά στοιχεία των λιγνιτικών κοιτασμάτων της Μεγαλόπολης

Η περιοχή της Μεγαλόπολης μελετήθηκε για πρώτη φορά όσον αφορά τα στερεά καύσιμα το 1957. Τα ενθαρρυντικά στοιχεία που προέκυψαν ώθησαν την Δ.Ε.Η στην εκμετάλλευση του κοιτάσματος το 1970 μετά την διαπίστωση βέβαιων αποθεμάτων της τάξεως των  $450 * 10^6$  τόνων λιγνίτη. Το κοιτάσμα του λιγνίτη εκτείνεται με τον κύριο άξονα του κατά τη διεύθυνση Β Ν με μήκος περίπου 12 Km. Το πλάτος του κοιτάσματος κυμαίνεται από 1 έως 2,5 Km. Μια πρόχειρη οριοθέτηση του κοιτάσματος στο χάρτη είναι από το νοτιότερο σημείο του το χωριό Τριπόταμο έως το βορειότερο σημείο του το χωριό Καρβουνάρι. Εκτός της περιοχής αυτής και σε μια περίμετρο τουλάχιστον 2 Km δεν παρατηρείται κάποια άλλη γένεση κοιτάσματος εκτός της περιοχής στα όρια του χωριού Καρύταινας η οποία παρουσιάζει ένα μικρό κοιτάσμα λιγνίτη.



Εικόνα 1.2 : Οριοθέτηση του κοιτάσματος στον χώρο σε σχέση με τις διαστάσεις του

Όσον αφορά τα κοιτάσματα λιγνίτη επικρατεί η άποψη ότι στη λεκάνη Μεγαλόπολης υπήρξαν τρεις λίμνες μέσα στις οποίες πραγματοποιήθηκε η γένεση των επιμέρους κοιτασμάτων λιγνίτη. Η λίμνες αυτές με σειρά από νότο προς βορρά οριοθετούνται :

- i. Πρώτα συναντάται η λίμνη η οποία αρχίζει από το χωριό Λεωντάριο και εκτείνεται έως τα χωριά Τριπόταμο, Χωρέμη, Μαραθούσα στη διεύθυνση Β Ν και από την Μεγαλόπολη έως το χωριό Γεφυράκια σε διεύθυνση Δ Α.
- ii. Έπειτα συναντάται η λίμνη η οποία καταλάμβανε το χώρο που βρίσκονταν τα χωριά Θωκνία και Κυπαρισσία και ανάλογα με την εποχή συνδεόταν ή όχι με την πρώτη λίμνη.
- iii. Η τελευταία λίμνη βρισκόταν στην περιοχή που βρίσκεται σήμερα το χωριό Καρύταινα.

Το κοιτάσμα της ευρύτερης περιοχής έχει χωριστεί σε τέσσερα τμήματα εκμετάλλευσης. Τα τμήματα αυτά είναι :

- a) τμήμα Χωρεμίου
- b) τμήμα Μαραθούσας
- c) τμήμα Κυπαρισίων
- d) τμήμα Θωκνίας

Όσον αφορά το τμήμα του Χωρεμίου είναι το μεγαλύτερο και σημαντικότερο τμήμα εκμετάλλευσης της ΔΕΗ. Βρίσκεται στο νότιο τμήμα της λεκάνης και το μήκος του είναι της τάξης των 4 Km ενώ το πλάτος του κυμαίνεται από 1,5 έως 2,5 Km. Το ανάγλυφό του παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις λόγω της διέλευσης του ποταμού Αλφειού από το μέτωπο της εκμετάλλευσης ( πραγματοποιήθηκε προσωρινή εκτροπή του ποταμού από το πεδίο το 1990 ). Το υψόμετρο της περιοχής μεταβάλλεται από + 360 έως + 420 m. Τρεις κύριες λιγνιτικές ομάδες εμφανίζονται με τη σειρά που φαίνεται στον πίνακα 1.2.

**Πίνακας 1.2 :** Η σειρά και το πάχος των στρωμάτων λιγνίτη και των στειρών που συναντώνται στο κοίτασμα

Είδος στρώματος	Πάχος στρώματος (μ )
Υπερκείμενα	3 – 46
Ανώτερος λιγνίτης	3 - 13
Στείρα	5 – 17
Μέσος λιγνίτης	8 - 21
Στείρα	11 – 40
Κατώτερος λιγνίτης	3 – 18

Τα περισσότερα αποθέματα λιγνίτη εμφανίζονται στην κατώτερη ζώνη ενώ στην ανώτερη παρατηρείται έντονη διάβρωση και κατά συνέπεια έχει και τα λιγότερα αποθέματα. Το ολικό βάθος του κοιτάσματος κυμαίνεται από 60 έως 140 m. Τα υπερκείμενα αυξάνονται ανατολικά του Αλφειού με αντίστοιχη μείωση του πάχους του στρώματος λιγνίτη. Το κοίτασμα έχει διαιρεθεί εκ νέου σε δύο τμήματα, με βάση την διεύθυνση του ποταμού, το Ανατολικό και το Δυτικό Χωρέμι. Το Ανατολικό είναι σε πλήρη ανάπτυξη ενώ το Δυτικό η εκμετάλλευσή του είναι περιστασιακή.

Το επόμενο τμήμα είναι το τμήμα Μαραθούσας του οποίου οι διαστάσεις είναι 1,7 Km μήκος και 1 Km περίπου πλάτος. Και σε αυτό το τμήμα παρατηρείται έντονο ανάγλυφο το οποίο μεταφράζεται σε μια διακύμανση του υψομέτρου από + 360 έως + 410 m. Τα στρώματα των λιγνιτών που εμφανίζονται είναι με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως και στο τμήμα Χωρεμίου. Η διάφορα έγκειται στο πάχος των ενδιάμεσων στειρών, το οποίο παρουσιάζεται αυξημένο, καθώς και στο πάχος και τον αριθμό των στρωμάτων λιγνίτη. Το πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων μειώνεται και αυξάνεται αντίστοιχα ο αριθμός των στρωμάτων. Συνέπεια αυτού είναι η χειρότερη σε σχέση με το προηγούμενο τμήμα σχέση εκμετάλλευσης.

Έπειτα ακολουθεί το τμήμα Θωκνίας το οποίο ουσιαστικά προέρχεται από τη διαίρεση ενός ευρύτερου τμήματος, του τμήματος Θωκνίας – Κυπαρισσίων. Το πεδίο Θωκνίας εμφανίζει τα χαρακτηριστικά του πεδίου Χωρεμίου και τα χαρακτηριστικά του πεδίου Κυπαρισσίων ( αναλύεται παρακάτω ). Το Βόρειο τμήμα του μοιάζει με το πεδίο Κυπαρισσίων ενώ το Νότιο τμήμα του μοιάζει με το πεδίο Χωρεμίου. Μια



γενική παρατήρηση είναι ότι το κοίτασμα παρουσιάζει μεγαλύτερη κατάτμηση σε σχέση με τα άλλα πεδία.

Όσον αφορά τώρα το πεδίο των Κυπαρισσίων το χαρακτηριστικό του γνώρισμα είναι ότι τα στρώματα του λιγνίτη δεν είναι σαφή ως προς τα όρια τους. Μπορεί να θεωρηθεί ότι ο συγκεκριμένος λιγνίτης εμφανίζεται σε ένα ενιαίο στρώμα το οποίο διασπάται από κατά τόπους από ενδιάμεσα στείρα. Άλλο ένα χαρακτηριστικό είναι το πολύ μικρό πάχος των υπερκειμένων. Περισσότερο αναλυτικά όσον αφορά τη στρωματογραφία ειδικά του πεδίου το υπόβαθρο αποτελείται από ασβεστόλιθους ( Ανώτερου Κρητιδικού ) και φλύσχη. Η Ανατολική πλευρά του πεδίου χαρακτηρίζεται από αύξηση των ασβεστολίθων και ταυτόχρονη υποχώρηση των ενδιάμεσων στειρών. Αποτέλεσμα αυτού η έδραση του λιγνιτικού στρώματος στον υποκείμενο ασβεστόλιθο. Το αντίκλινο που σχηματίζεται με αυτόν τον τρόπο διαιρεί το πεδίο σε επιμέρους τμήματα. Το είδος του λιγνίτη που συναντάται είναι αυτό που απαντάται στα κατώτερα στρώματα λιγνίτη στο πεδίο Χωρεμίου. Στη Δυτική πλευρά του πεδίου το λιγνιτικό υλικό αποτελείται από χουμική άργιλο πράγμα που το καθιστά μη εκμεταλλεύσιμο. Τέλος έχει εντοπιστεί στο Ανατολικό τμήμα του πεδίου ένα σύστημα ρηγμάτων με διεύθυνση Β ΒΔ – Ν ΝΑ .

Επίσης υπάρχει ένα ακόμα κοίτασμα λιγνίτη το οποίο όμως δεν υφίσταται εκμετάλλευση ( εμβαδόν επιφάνειας 1,4 Km<sup>2</sup> και βάθους 33 m ). Το κοίτασμα αυτό είναι περίπου ίδιο με αυτό των Κυπαρισσίων μόνο που ένα μεγάλο μέρος του έχει αποκαλυφθεί λόγω διάβρωσης.

#### Ποιότητα και χημική σύσταση λιγνίτη

Ο λιγνίτης ο οποίος θεωρείται πλειστοκαινικός χαρακτηρίζεται από το υψηλό ποσοστό εμπεριεχόμενης υγρασίας ( 58 – 64 % ). Επίσης υψηλό θεωρείται και το ποσοστό εμπεριεχόμενης τέφρας σε αντίθεση με τη θερμαντική του ικανότητα της οποίας ο μέσος όρος είναι 1014 Kcal/Kg. Μερικά ακόμα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του συγκεκριμένου λιγνίτη μακροσκοπικά είναι η χαλαρή σύνδεση των κόκκων του και η σπογγώδης υφή. Επίσης το χρώμα του είναι καστανό έως βαθύ καστανό και μελανό. Όσον αφορά τη σύστασή του είναι αργιλούχος με χουμικά συστατικά. Επιπλέον όταν ξηραθεί στην επιφάνεια του εμφανίζονται ρωγμές και στη συνέχεια σπάει σε μικρά τεμάχια. Το χρώμα του αλλάζει και γίνεται μελανό έως γκρι.

Τόσο η χημική όσο και φυσική σύσταση των λιγνιτών συνδέονται άμεσα με το είδος και τον τύπο των φυτικών οργανισμών τα οποία αποτελούν την πρώτη ύλη

του καυσίμου. Επίσης το κλίμα και ο τρόπος ανάπτυξης της βλάστησης καθώς και η διάταξη της στις ιδιαίτερες συνθήκες που επικράτησαν κατά τη διεργασία της ενανθράκωσης. Σύμφωνα με τα παραπάνω τα λιγνιτικά στρώματα χαρακτηρίζονται από έντονη ανομοιογένεια όσον αφορά τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά.

Η αξιολόγηση της ποιότητας επιτυγχάνεται κατά ένα μέρος με χημικές αναλύσεις κάνοντας χρήση συμβατικών μεθόδων ανάλυσης. Τέτοιου είδους αναλύσεις είναι η προσεγγιστική, η στοιχειακή, η θερμογόνος δύναμη και η χημική ανάλυση τέφρας. Η προσεγγιστική ανάλυση προσδιορίζει ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των λιγνιτών όπως το εμπεριεχόμενο ποσοστό υγρασίας ( % ), εμπεριεχόμενο ποσοστό τέφρας ( % ), το ποσοστό των πτητικών συστατικών ( % ) και τέλος το ποσοστό του μόνιμου άνθρακα ( % ). Η στοιχειακή ανάλυση χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε C, H, O, N, και οργανικά συστατικά. Το O συνήθως προσδιορίζεται έμμεσα σαν διαφορά του αθροίσματος των υπολοίπων επί τοις εκατό. Ένα άλλο σημαντικό μέγεθος που προσδιορίζεται είναι η θερμογόνος δύναμη (σε Kcal/Kgr), δηλαδή το ποσό της θερμότητας που εκλύεται κατά την καύση ενός kg λιγνίτη. Συγκεντρωτικά τα δεδομένα για την ποιότητα από τη στοιχειακή ανάλυση, τη θερμογόνο δύναμη και το ποσοστό των πτητικών συστατικών διακρίνονται στον πίνακα 1.3. Όλες οι τιμές που αναφέρονται στον πίνακα αφορούν τη μέση τιμή της τιμής την οποία περιγράφουν.

**Πίνακας 1.3 :** Βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία του λιγνίτη που συναντάται στο κοίτασμα της Μεγαλόπολης

Στοιχειακή ανάλυση		Θερμογόνος δύναμη ( Kcal / Kgr )	
( % )		Κατώτερη	Ανώτερη
C	60	4640	6218
H	5	Πτητικά συστατικά ( % )	
O	27	63	
S	6 ( 0,75 – 7,85 )	Ειδικό βάρος	1,1 - 1,2
N	2	Ενεργειακή απόδοση ( ton / kWh )	2,6

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη που εξάγονται με την προσεγγιστική ανάλυση δίνονται στον πίνακα 1.4.

**Πίνακας 1.4 :** Βασικές ποιοτικές παράμετροι του λιγνίτη που εξορύσσεται σε κάθε ορυχείο

Ορυχείο	Υγρασία (%)	Τέφρα ( % )	Θερμογόνος δύναμη ( Kcal /Kgr )
Χωρέμι	60,3	14,5	1061
Μαραθούσα	58,4	17,8	995
Θωκνία	59,9	16,7	960
Κυπαρίσσια	64,2	13,5	869

Γενικά η ποιότητα του λιγνίτη που εξορύσσεται στα ορυχεία της περιοχής Μεγαλόπολης δεν είναι σταθερή και ομοιόμορφη, αλλά παρουσιάζει ανομοιογένεια, που σχετίζεται με τον τρόπο γένεσης του κοιτάσματος και τα ιδιόμορφα χαρακτηριστικά (λεπτή στρωμάτωση, μεγάλος αριθμός λιγνιτικών στρωμάτων, τεχνολογία εξόρυξης κλπ.).

#### Αυτανάφλεξη του λιγνίτη και τρόποι αντιμετώπισης

Πολλοί τύποι ανθράκων όπως για παράδειγμα οι λιγνίτες παρουσιάζουν το φαινόμενο της αυτανάφλεξης. Κύριοι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το φαινόμενο αυτό είναι η περιεχόμενη υγρασία του, η ύπαρξη πυριτών, η θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται ο λιγνίτης και η επαφή του με αέρα κατά το χρόνο αποθήκευσης του. Επίσης ρόλο διαδραματίζουν και η σύνθεσή του καθώς και η γεωλογική του ηλικία. Ακόμα σημαντικοί παράγοντες είναι δράση μικροβίων, το μέγεθος των τεμαχιδίων του λιγνίτη καθώς και η περιεκτικότητα του αέρα σε O<sub>2</sub>. Δεν έχει εξακριβωθεί η θετική επίδραση κάποιου παράγοντα ή συστατικού στο φαινόμενο της αυτανάφλεξης ξεχωριστά. Το βέβαιο είναι ότι η διακοπή της κυκλοφορίας του αέρα στη σωρό που αποθηκεύεται ο λιγνίτης αποτρέπει την υπερθέρμανση του.

Όλα τα οργανικά συστατικά του άνθρακα καθώς και οι πυρίτες οξειδώνονται με εξώθερμη αντίδραση. Η θέρμανση του λιγνίτη μέσω της οξείδωσης εύκολα μπορεί να εξελιχθεί σε ανάφλεξη. Ο ρυθμός ανύψωσης της θερμοκρασίας σε κάποια περιοχή μέσα στο σωρό του άνθρακα εξαρτάται από την διαφορά μεταξύ του ρυθμού εκλύσεως θερμότητας και του ρυθμού απαγωγής της. Η παραγόμενη θερμότητα στη μονάδα του χρόνου εξαρτάται κατά ένα μέρος από το ποσό της εκλυόμενης θερμότητας ανά μονάδα όγκου του απορροφούμενου από τον λιγνίτη οξυγόνου, και

κατά ένα μέρος από την ταχύτητα οξειδώσεως του άνθρακα. Η απαγωγή της εκλυόμενης θερμότητας πραγματοποιείται με διαδικασίες μεταφοράς, επαγωγής και ακτινοβολίας.

Ο λιγνίτης που απαντάται στη Μεγαλόπολη δεν έχει παρουσιάσει το φαινόμενο αυτό σε έκταση που να θεωρηθεί επικίνδυνη. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο υψηλό ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας. Αν όμως ο λιγνίτης ξηρανθεί, χάσει την υγρασία του, τότε υπάρχει η πιθανότητα οξείδωσης. Η αποθήκευση του λιγνίτη σε σωρούς για μεγάλο χρονικό διάστημα, για τα δεδομένα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θα πρέπει με γίνεται με ταυτόχρονη παρακολούθηση του ποσοστού υγρασίας και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Στους σωρούς που σχηματίζονται κατά την απόθεση ( σχήματος πυραμίδας και με διαστάσεις για τους χώρους απόθεσης του Λ.Κ.Μ : 12 m ύψος και περίπου 9 m πλάτος ) πραγματοποιείται ταξινόμηση των τεμαχίων κατά μέγεθος. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται δίοδοι κυκλοφορίας αέρα μέσα στη μάζα του σωρού. Οι συγκεκριμένες δίοδοι βοηθούν την οξείδωση του άνθρακα και δυσχεραίνουν την απαγωγή της θερμότητας με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του λιγνίτη. Γενικά παρατηρείται μεγαλύτερη κίνηση αέρα στα άκρα του σωρού και κοντά σε αυτά, ενώ στο κέντρο του σωρού η διεύθυνση του αέρα είναι δυσχερής. Επομένως οι περιοχές που ευνοούν την εμφάνιση του φαινομένου της αυτανάφλεξης είναι στα άκρα της σωρού αποθέσεως. Για την αντιμετώπιση της πιθανότητας αυτανάφλεξης στα άκρα της σωρού οι αποθήκες του ορυχείου έχουν μικρή αποθηκευτική ικανότητα έτσι ώστε η παραμονή του λιγνίτη σε αυτές να μην ξεπερνά τις 12 ημέρες. Ακόμα ένα μέτρο καταστολής του φαινομένου είναι η συμπίεση του λιγνίτη στις σωρούς έτσι ώστε να κλείνουν οι δίοδοι αέρα.

#### 1.4.Εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων

Σύμφωνα με τη μελέτη εκμετάλλευσης η οποία πήρε την τελική της μορφή το 1977 τα προς εκμετάλλευση πεδία είναι το πεδίο Χωρεμίου, το πεδίο Θωκνίας, το πεδίο Μαραθούσας και το πεδίο Κυπαρισσίων . Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε πεδίου φαίνονται συμπυκνμένα στον πίνακα 5. Είναι ευδιάκριτο από τα στοιχεία του πίνακα ότι το σημαντικότερο προς εκμετάλλευση πεδίο είναι αυτό του Χωρεμίου. Έχει τα περισσότερα αποθέματα σε σχέση με τα άλλα πεδία και μια μέτρια σχέση εκμετάλλευσης. Το κοίτασμα έχει χωριστεί σε έξι τομές από τις οποίες στις τέσσερις

γίνεται εκμετάλλευση. Ο κύριος εξοπλισμός εκσκαφής αποτελείται από πέντε καδοφόρους εκσκαφείς εκ των οποίων οι δύο είναι ονομαστικής ικανότητας 2070 FM<sup>3</sup>/H ενώ οι υπόλοιποι 3 είναι 2800 FM<sup>3</sup>/H.

**Πίνακας1.5 :** Τα αποθέματα του κάθε ορυχείου σε παράθεση με τη σχέση εκμετάλλευσης και το βάθος σε κάθε ορυχείο

Πεδίο	Αποθέματα λιγνίτη ( ΤΟΝΟΙ )	Βάθος εκμετάλλευσης ( m )	Σχέση εκμετάλλευσης ΑΓΟΝΩΝ - ΛΙΓΝΙΤΗ
Χωρεμίου	298,424*10 <sup>6</sup>	276	2,23 : 1
Μαραθούσας	29,596*10 <sup>6</sup>	276	3,38 : 1
Θωκνίας	70,105*10 <sup>6</sup>	300	1,17 : 1
Κυπαρισσίων	67,605*10 <sup>6</sup>	320	0,49 : 1

Όσον αφορά το κοίτασμα Μαραθούσας συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν στηριζόμενα στο γεγονός ότι είναι το πεδίο με τα λιγότερα αποθέματα και τη χειρότερη σχέση εκμετάλλευσης σε σχέση με τα υπόλοιπα πεδία. Το πεδίο αυτό προσαρτήθηκε μεταγενέστερα στην αρχική μελέτη εκμετάλλευσης μετά από αναθεώρηση των αρχικών οικονομικών στοιχείων. Ειδικότερα το κοίτασμα έχει χωριστεί σε πέντε τομές εκ των οποίων οι τρεις πρώτες έχει σχεδιαστεί να ενωθούν με αυτές του πεδίου Χωρεμίου. Για τις υπόλοιπες δύο κάτι ανάλογο δεν είναι δυνατό να συμβεί λόγω χωροταξικού και τεχνικού σχεδιασμού των δύο ορυχείων. Στον κύριο εξοπλισμό εκσκαφής ανήκουν δύο καδοφόροι εκσκαφείς ονομαστικής ικανότητας 2070 και 2800 FM<sup>3</sup>/H. Τρεις τομές έχουν αναπτυχθεί και έχουν υποστεί εκμετάλλευση.

Το κοίτασμα Θωκνίας διαθέτει ικανό αριθμό αποθεμάτων και μια πολύ καλή σχέση εκμετάλλευσης. Έχει χωριστεί σε τρεις τομές και όλες έχουν υποστεί εκμετάλλευση. Το κοίτασμα των Κυπαρισσίων έχει διαιρεθεί σε τρεις τομές και στο σημείο που λιγνίτης συναντά τον ασβεστόλιθο η εκμετάλλευση θα συνεχιστεί με εκσκαφέα τύπου dragline ή κάποιο συμβατικό εξοπλισμό. Διαθέτει την καλύτερη σχέση εκμετάλλευσης αφού το χαρακτηριστικό του όπως επισημάνθηκε είναι το πολύ μικρό πάχος των υπερκειμένων. Οι τρεις τομές βρίσκονται σε πλήρη ανάπτυξη χρησιμοποιώντας τρεις καδοφόρους εκσκαφείς. Η ονομαστική ικανότητα τους είναι 1000, 1900, 2800 FM<sup>3</sup>/H.

#### 1.4.1. Ακολουθούμενη μέθοδος εκμετάλλευσης

Η μορφολογία της περιοχής, το μικρό πάχος των υπερκειμένων στρωμάτων καθώς και οικονομικοί λόγοι συνηγορούν στην επιλογή επιφανειακής μεθόδου εκμετάλλευσης. Ένας ακόμα παράγοντας που συντέλεσε στην συγκεκριμένη επιλογή ήταν η ευρύτητα του πεδίου εφαρμογής της μεθόδου καθώς και η υπάρχουσα τεχνογνωσία. Πιο συγκεκριμένα εφαρμόζεται η Γερμανική συνεχής μέθοδος εξορύξεως με καδοφόρους εκσκαφής και εκλεκτική απόληψη λιγνίτη και αγόνων υλικών.

Η μέθοδος εκσκαφής είναι η κατά μέτωπο προσβολή. Επιλέχθηκε λόγω του μεγάλου πάχους των στρωμάτων καθώς επίσης και διότι τα στρώματα αυτά εναλλάσσονται συχνά με άγονα υλικά. Η διακίνηση των εξορυσσόμενων υλικών πραγματοποιείται με σύστημα μεταφορικών ταινιών στις θέσεις απόθεσης λιγνίτη και στις θέσεις απόθεσης αγόνων. Είναι σύνηθες να χρησιμοποιείται και συμπληρωματικός εξοπλισμός ασυνεχούς εξόρυξης, όπως υδραυλικοί εκσκαφείς καδοφόρου πτύου, προωθητές γαιών και φορτωτές. Η μεταφορά του υλικού πραγματοποιείται με φορτηγά αυτοκίνητα. Οι λόγοι της συμπληρωματικής εκμετάλλευσης μπορούν να αποδοθούν στην ανάγκη προετοιμασίας των αρχικών μετώπων των καδοφόρων εκσκαφών ή την υποβοήθηση κατά τη διάρκεια της εργασίας τους. Ένας ακόμα λόγος είναι η συμπληρωματική παραγωγή λιγνίτη. Ο εξοπλισμός και τη διεκπεραίωση του παραπάνω έργου η ΔΕΗ την εξασφαλίζει μέσω εργολαβιών.

Η εγκατάσταση του δικτύου ταινιόδρομων, η κίνηση του καδοφόρου καθώς και η δημιουργία δρόμων προσπέλασης για τις τομές πραγματοποιείται με όρυξη κεκλιμένων τάφρων. Το ύψος των μετώπων εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του διατιθέμενου εξοπλισμού και από την ευστάθεια των πρανών. Για τα ορυχεία Μεγαλόπολης το μέσο ύψος μετώπου είναι περίπου 20 m. Επίσης τα τελικά πρανή έχουν κλίση 1 : 1,5 και η γενική κλίση εκσκαφής είναι 1 : 3 με συντελεστή ασφάλειας  $n = 1,13 - 1,2$  για τελικά βάθη εξόρυξης έως 80 m.

Τα υλικά που εξορύσσονται στο μέτωπο οδηγούνται στις μεταφορικές ταινίες που αναπτύσσονται κατά μήκος της κάθε τομής και από εκεί στις διευθυντικές ταινίες.

Ανάλογα με το είδος του υλικού, λιγνίτης ή άγονο, το υλικό οδηγείται στους χώρους απόθεσης του ορυχείου. Όταν ολοκληρωθεί η εκσκαφή του μετώπου σε όλο το βάθος προσβολής του συγκροτήματος κατά μήκος της τομής, ακολουθεί η προώθηση του συγκροτήματος και η μετάθεση της μεταφορικής ταινίας ώστε να προσεγγίσει το νέο μέτωπο. Η μετάθεση, ανάλογα με την γεωμετρία του κοιτάσματος, μπορεί να είναι παράλληλη ή στροφική ως προς τον προηγούμενο άξονα της ταινίας και συνοδεύεται εάν απαιτείται από επιμήκυνση της αντίστοιχης διευθυντήριας ταινίας. Η μετάθεση γίνεται με την βοήθεια ειδικών προωθητών, οι οποίοι έλκουν τον ταινιόδρομο από τις σιδηροτροχιές πάνω στις οποίες εδράζεται. Για την ανάπτυξη επόμενης τομής πρέπει να δημιουργηθεί όρυγμα τέτοιου πλάτους ώστε να εξασφαλίζεται η ευστάθεια των πρανών των υπερκειμένων εκσκαφών.

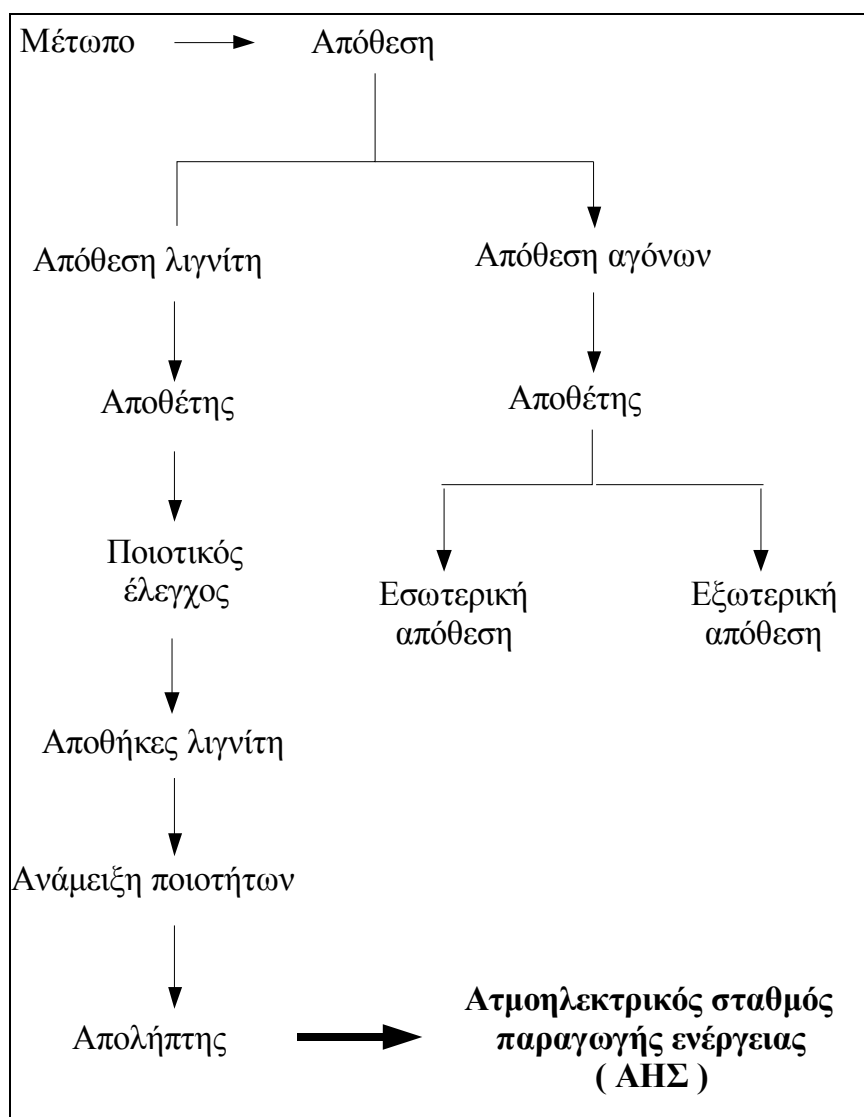
#### 1.4.2 Απόθεση αγόνων και λιγνίτη

Τα άγονα που εξορύσσονται για να πραγματοποιηθεί η εκμετάλλευση έχουν σημαντικό όγκο και η σωστή χωροθέτηση τους διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη ομαλή διεξαγωγή των βασικών λειτουργιών ενός ορυχείου. Τα υπερκείμενα άγονα ( πριν την έναρξη μιας εκμετάλλευσης ) και τα άγονα υλικά που προέρχονται από το μέτωπο μπορούν να αποτεθούν εντός του πεδίου εκμετάλλευσης ή εκτός αυτού. Στην πρώτη περίπτωση η απόθεση μπορεί να λάβει χώρα σε πεδίο του οποίου η εκμετάλλευση έχει σταματήσει ή ακόμα και σε πεδίο που λειτουργεί και πληροί τις προϋποθέσεις για εσωτερική απόθεση αγόνων. Βασικός παράγοντας είναι η απόσταση από την τελική βαθμίδα έως το πόδι της απόθεσης αγόνων. Η απόσταση αυτή για τις συνθήκες και τα υλικά εκμετάλλευσης της Μεγαλόπολης θα πρέπει να είναι μικρότερη από 150 m και εξαρτάται από :

- Το βάθος της εκμετάλλευσης
- Τη γενική κλίση της εκσκαφής
- Τη γωνία εσωτερικής τριβής των αγόνων
- Την απόσταση ασφαλείας από τα έργα αποστράγγισης του πεδίου ( εάν αυτά υπάρχουν )

Στην δεύτερη περίπτωση τα άγονα μπορούν να αποτεθούν εκτός του πεδίου εκμετάλλευσης πράγμα που συνεπάγεται αυξημένο κόστος μεταφοράς και την ύπαρξη ελεύθερου χώρου εκτός πεδίου.

Η απόθεση του λιγνίτη πραγματοποιείται σε ειδικούς χώρους απόθεσης που ονομάζονται αποθήκες λιγνίτη. Στις αποθήκες αυτές γίνεται ο ποιοτικός έλεγχος του λιγνίτη και η ανάμιξη ποιοτήτων του. Η ανάμιξη πραγματοποιείται είτε για να γίνει δυνατή η καύση μιας κακής ποιότητας λιγνίτη είτε για να μεγιστοποιηθεί η θερμαντική αξία του λιγνίτη. Ο τρόπος απόθεσης αγόνων και λιγνίτη φαίνεται στο διάγραμμα 1.



Εικόνα 1.3 : Ακολουθία διαδικασιών απόθεσης αγόνων και λιγνίτη



## 2. Χρήση on line αναλυτών τέφρας σε μονάδες παραγωγής ενέργειας

Η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων λιγνίτη από τη ΔΕΗ καλύπτει το 75% της συνολικής ζήτησης σε ενέργεια στην Ελλάδα. Οι συνθήκες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε τέτοια κλίμακα επιβάλουν καλύτερη και συνεχή παρακολούθηση της διακύμανσης της ποιότητας του λιγνίτη. Η χρήση των on line αναλυτών καθίσταται επιβεβλημένη σε τέτοιες μονάδες παραγωγής ενέργειας για να συμβαδίζει η ποιότητα του γαιάνθρακα που οδεύει προς καύση με την ποιότητα που καθορίζεται από τις προδιαγραφές του καυστήρα. Οι συγκεκριμένοι αναλυτές παρέχουν τη δυνατότητα για συνεχή παρακολούθηση του καυσίμου το οποίο προέρχεται απευθείας από το μέτωπο εξόρυξης και οδεύει προς αποθήκευση ή από την αποθήκευση και οδεύει προς καύση. Επίσης συμβάλλει στην καλύτερη διαχείριση των αποθεμάτων γαιάνθρακα, που χωρίζονται σε υψηλής, μέτριας και χαμηλής ποιότητας και με κατάλληλη μίξη προσδίδουν κατά την καύση τους το μέγιστο δυνατό ποσό ενέργειας. Εκτός από τους παραπάνω πρωταρχικούς στόχους που επιτελούνται από την εγκατάσταση ενός τέτοιου αναλυτή καλύπτονται και μερικοί δευτερεύοντες στόχοι όπως :

- Η σταθεροποίηση ή / και αύξηση της ποιότητας του καυσίμου που οδεύει προς καύση
- Την αύξηση της παραγωγικότητας του εργοστασίου παραγωγής ενέργειας
- Τη μείωση του κόστους παραγωγής της ενέργειας, μέσω της μείωσης της απώλειας γαιάνθρακα ( η κακή ποιότητα που δεν πληροί τις προδιαγραφές του καυστήρα εξετάζεται καλύτερα, με μεγαλύτερη ακρίβεια, και σε σύντομο χρόνο πράγμα που επιτρέπει την τοποθέτησή του στις αποθήκες στερεού καυσίμου )
- Την καλύτερη συναρμογή των τιμών των ρύπων της μονάδας παραγωγής με τις τιμές που είναι θεσπισμένες βάση νόμου.

Όσον αφορά τη σύγκριση των μετρήσεων των τιμών των ποιοτικών χαρακτηριστικών των γαιανθράκων οι οποίες πραγματοποιούνται στο χημικό εργαστήριο και αυτές που λαμβάνουν χώρα από τους on line αναλυτές υπάρχει μια σημαντική διαφορά στο δείγμα που μετράται. Οι αναλυτές καταγράφουν τα χαρακτηριστικά του στερεού καυσίμου σε ακατέργαστη μορφή, όπως ακριβώς αυτό

εξέρχεται από τα μέτωπα της εκμετάλλευσης. Το δείγμα που χρησιμοποιείται για τις αναλύσεις που θα πραγματοποιηθούν στο χημείο λαμβάνεται βάση συγκεκριμένης μεθόδου και κατεργάζεται ανάλογα με την διαδικασία ανάλυσης που θα ακολουθηθεί. Για παράδειγμα θα αναφερθεί η διαδικασία της λειοτρίβισης, καύσης και παραγωγής τέφρας για το δείγμα που προορίζεται για στοιχειακή ανάλυση καθώς και η διαδικασία απλώς της λειοτρίβισης για τη μέτρηση της υγρασίας και της θερμογόνου δύναμης. Μια ακόμη διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι η δειγματοληψία κατά τις αναλύσεις στο χημείο είναι ανά τακτά χρονικά διαστήματα ενώ για τους on line αναλυτές είναι μια συνεχής διαδικασία. Επίσης μπορεί να προστεθεί ότι οι αναλυτές καταγράφουν ένα φυσικό χαρακτηριστικό του γαιάνθρακα ενώ τα χημικά εργαστήρια ένα χημικό χαρακτηριστικό του. Μία ακόμη διαφορά είναι στην ποσότητα του δείγματος που εξετάζεται με τον κάθε τρόπο. Οι αναλυτές μετρούν ένα τεράστιο ποσό γαιάνθρακα γεγονός που βεβαιώνει ότι το δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό του γαιάνθρακα που εξορύσσεται. Αντίθετα τα δείγματα του χημείου είναι μικρές ποσότητες και από συγκεκριμένα σημεία πράγμα που σημαίνει ότι δεν αντιπροσωπεύουν επακριβώς το γαιάνθρακα που εξορύσσεται αλλά αποτελούν προσέγγιση του. Η ποιότητα της προσέγγισης εξαρτάται από τον τρόπο επιλογής των σημείων δειγματοληψίας που για κάθε τομή και πεδίο ποικίλει. Η σύγκριση συγκεντρωτικά φαίνεται στον πίνακα 2.1.

**Πίνακας 2. 1 :** Σύγκριση ποιοτικού ελέγχου που πραγματοποιείται στο χημείο και από τον αναλυτή

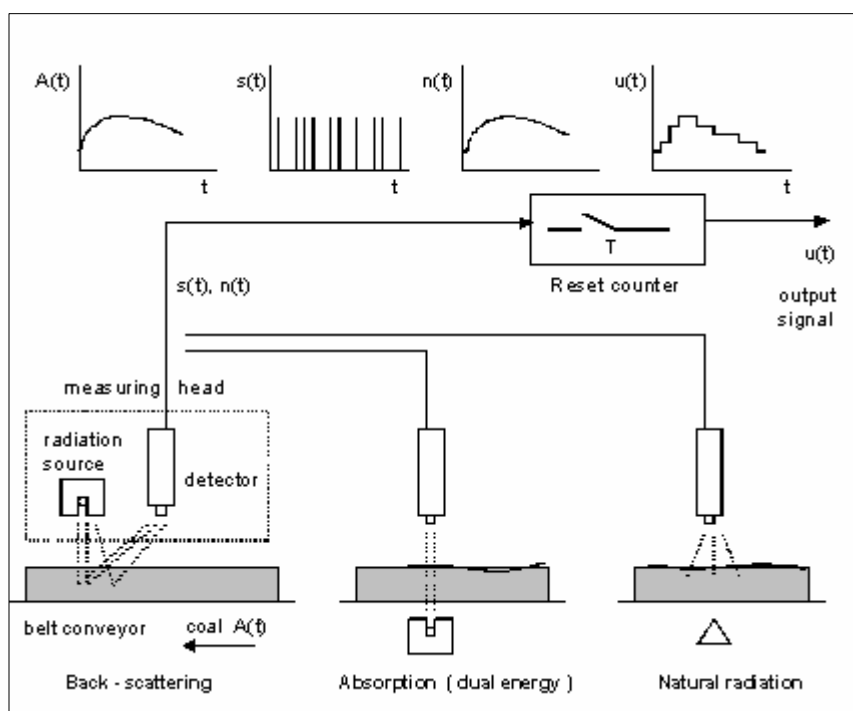
Διαδικασία	Χημικό εργαστήριο	On line αναλυτές
Δειγματοληψία	Ανά τακτά χρονικά διαστήματα	Συνεχής
	Σε επιλεγμένα σημεία σε κάθε τομή του κάθε πεδίου εκμετάλλευσης	Από όλα τα σημεία του κάθε πεδίου εκμετάλλευσης
Μορφή δείγματος	Ποικίλουν ανάλογα με την ανάλυση που ακολουθεί	Όλα τα δείγματα είναι ίδιας μορφής
	Επεξεργασμένο	Ακατέργαστο
Ποσότητα δείγματος	Μικρές ποσότητες ( 500 - 1000 gr )	Μεγάλες ποσότητες ( 1000 -2500 ton/hr)
Μέτρηση	Χημικών χαρακτηριστικών του γαιάνθρακα	Φυσικών χαρακτηριστικών του γαιάνθρακα

## 2.1. Τύποι on line αναλυτών τέφρας

Οι αναλυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

- Αναλυτές που παρακολουθούν τη διακύμανση των κυρίων ποιοτικών χαρακτηριστικών των γαιανθράκων όπως για παράδειγμα η περιεκτικότητα σε τέφρα και η περιεχόμενη υγρασία.
- Αναλυτές που μπορούν να πραγματοποιήσουν στοιχειακή ανάλυση

Στην πρώτη κατηγορία συμπεριλαμβάνονται οι αναλυτές μέτρησης φυσικής ραδιενέργειας, αναλυτές καταγραφής της σκέδασης των ακτίνων  $\gamma$ , αναλυτές μετάδοσης ακτίνων  $\gamma$  διπλής ενέργειας ( στην κατηγορία αυτή ανήκει και ο υπό μελέτη αναλυτής ). Οι τύποι των αναλυτών της πρώτης κατηγορίας φαίνονται στο σχήμα 1 (  $A(t)$  το ποσοστό τέφρας,  $s(t)$  ο αριθμός των παλμών,  $n(t)$  η ένταση των παλμών,  $u(t)$  μορφή του σήματος εξαγωγής και  $t$  είναι ο χρόνος ).



**Εικόνα 2.1. :** Διατάξεις των κυρίων τύπων αναλυτών παρακολούθησης απευθείας των ποιοτικών χαρακτηριστικών του γαιάνθρακα

On line αναλυτής που μετρά φυσική ραδιενέργεια

Όσον αφορά τον αναλυτή που μετρά τη φυσική ραδιενέργεια ακτινών γ που εκπέμπεται από το γαιάνθρακα είναι τα πιο απλά συστήματα σε σχέση με τα υπόλοιπα. Βασίζονται στη ακτινοβολία γ που εκπέμπουν το ουράνιο, το θόριο, το κάλιο που περιέχονται στο γαιάνθρακα. Τα στοιχεία αυτά συγκεντρώνονται συνήθως στις αργίλους και στους σχιστόλιθους. Συναντώνται επίσης και στους ψαμμίτες και στους ασβεστόλιθους αλλά σε μικρότερες ποσότητες. Η μικρότερη συμμετοχή παρατηρείται στους γαιάνθρακες πράγμα που σημαίνει ότι εκπέμπουν ακτινοβολία με τη μικρότερη ένταση σε σχέση με τα παραπάνω πετρώματα. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στο γεγονός ότι τα ανόργανα συστατικά του γαιάνθρακα εκπέμπουν ακτινοβολία γ πολύ υψηλής έντασης. Τα οργανικά συστατικά του γαιάνθρακα αντίθετα εκπέμπουν χαμηλής έντασης ακτινοβολία γ. Η μέτρηση της διαφοράς ενέργειας είναι ικανή να προσδώσει αρκετά ακριβείς μετρήσεις της περιεχόμενης τέφρας. Η ακρίβεια του συγκεκριμένου αναλυτή για το γαιάνθρακα που εξέρχεται από το μέτωπο εκμετάλλευσης είναι της τάξης του 2 – 3 %. Για λειοτριβμένο είναι της τάξης του 1 %.

Τα επιμέρους τμήματα των αναλυτών φυσικής ραδιενέργειας είναι ένας κύριος ανιχνευτής, ένας ταινιοζυγός, μια μικρή μονάδα διαχείρισης των δεδομένων της μέτρησης και ένας κύριος υπολογιστής με το λογισμικό επεξεργασίας. Ο ανιχνευτής αποτελείται από κρύσταλλο ιωδιούχου νατρίου με πρόσμιξη θαλίου. Μετά τον ανιχνευτή τοποθετείται ένας φωτοπολλαπλασιαστής. Η απόκριση του ανιχνευτή μετατρέπεται σε κύμα φωτός και οδηγείται σε αναλογικές ή ψηφιακές εξόδους. Ο πολλαπλασιαστής ενισχύει την απόκριση του ανιχνευτή έτσι ώστε να είναι πιο εύκολη η ανάλυση των δεδομένων. Η όλη διάταξη βρίσκεται μέσα σε ένα κάλυμμα με επίστρωση μολύβδου. Ο λόγος ο οποίος βρίσκεται η διάταξη κάτω από το κάλυμμα είναι να μη δέχεται ο ανιχνευτής άλλη ακτινοβολία από το περιβάλλον εκτός του εξεταζόμενου γαιάνθρακα. Θα πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι είναι δυνατή η μεταβολή της ακτινοβολίας της ατμόσφαιρας κατά ένα σημαντικό ποσό ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Η μεταβολή των καιρικών συνθηκών έχει ως αποτέλεσμα να μεταβάλλεται σημαντικά το ποσό της συνολικής ακτινοβολίας καθώς παρατηρείται το φαινόμενο της διάσπασης των θυγατρικών στοιχείων του ραδονίου και του θορίου ( Mathew,1990 ).

Η περιεκτικότητα του γαιάνθρακα σε τέφρα δίνεται με μια εξίσωση της μορφής :

$$C_A = \alpha_1 M + \alpha_2 N_n + \alpha_3 M N_n \quad (2.1)$$

όπου :  $C_A$  η περιεκτικότητα σε τέφρα σε Kg/m

$\alpha_1$ , σταθερές που εξαρτώνται από τη βαθμονόμηση του αναλυτή

$M$ , το ολικό βάρος σε Kg/m

$N_n$ , ο αριθμός των σπινθηρισμών του ανιχνευτή που καταγράφονται αφού έχει αφαιρεθεί ο θόρυβος του υποβάθρου.

Τα συστήματα αυτού του είδους δεν είναι τα πιο ακριβή σε σχέση με τα συστήματα των άλλων τύπων. Τα πλεονεκτήματα που έχουν αφορούν περισσότερο το χαμηλό τους κόστος και την απουσία εξωτερικής πηγής ραδιενεργού ακτινοβολίας. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η ανάγκη λήψης ειδικής άδειας για κατοχή της πηγής καθώς και η χρήση εξειδικευμένου προσωπικού για συντήρηση και επισκευές. Επίσης ο συγκεκριμένου τύπου αναλυτής έχει μικρές απαιτήσεις για υποστήριξη από βοηθητικές ηλεκτρονικές εφαρμογές.

Ένας από τους κυριότερους παράγοντες που συμβάλλουν στη δημιουργία σφαλμάτων στις μετρήσεις του αναλυτή είναι η ακρίβεια του ταινιοζυγού. Μια χαμηλή ακρίβεια στον ταινιοζυγό που δίνει για παράδειγμα σφάλμα 10% στη μέτρηση του βάρους προκαλεί στον αναλυτή σφάλμα 1 – 2 %. Ακόμα ένας παράγοντας είναι στρώση του γαιάνθρακα πάνω στη μεταφορική ταινία. Όταν υπάρχει μεγάλη ανομοιογένεια τότε επηρεάζεται ο αναλυτής. Αυτό γίνεται διότι ενώ στο σημείο που η στρώση του υλικού στην ταινία έχει σημαντικό ύψος ο αναλυτής καταγράφει υψηλότερη τιμή τέφρας. Στο σημείο που το υλικό πάνω στην ταινία έχει πολύ μικρό ύψος η τιμή της τέφρας που μετρά ο αναλυτής είναι πολύ μικρότερη από αυτή που μετρά με σημαντικό ύψος υλικού στην ταινία. Λόγω της υψηλής ταχύτητας της μεταφορικής ταινίας οι παλμοί που καταγράφει ο ανιχνευτής είναι πολύ κοντά ο ένας με τον άλλο. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να επικαλύψουν οι υψηλοί παλμοί τους χαμηλούς με αποτέλεσμα την εσφαλμένη μέτρηση. Επίσης σφάλμα προκαλούν τα τεμάχια γαιάνθρακα με πολύ μεγάλη διάμετρο πάνω στη ταινία. Η ιδανική

κοκκομετρία είναι έως 75 mm , όμως αποδεκτό θεωρείται και μέγεθος έως 300 mm. Τέλος η πολύ μικρή ποσότητα που μπορεί να μεταφέρει μια ταινία είναι παράγοντας που δημιουργεί σφάλμα στη μέτρηση. Για ταινίες πλάτους 1 m το κατώτερο ποσό είναι 25 kgf/m ενώ για ταινίες πλάτους 2 m το κατώτερο όριο είναι 40 kgf/m. Η διακύμανση της περιεκτικότητας σε σίδηρο δεν επηρεάζει σημαντικά τις μετρήσεις του αναλυτή.

Οι συνθήκες που ευνοούν την εγκατάσταση του αναλυτή μέτρησης φυσικής ραδιενέργειας συνοψίζονται στα παρακάτω :

- Η περιεκτικότητα του γαιάνθρακα σε τέφρα να μην ξεπερνά το 10 %
- Η ύπαρξη περιορισμένων ποσοτήτων ψαμμίτη στην ανόργανη ύλη του γαιάνθρακα
- Η απόσταση της εγκατάστασης του αναλυτή και του σημείου διαχείρισης και ελέγχου να μην είναι μεγαλύτερη από 1,5 km.
- Ικανοποίηση των απαιτήσεων των παραγόντων που επηρεάζουν το σφάλμα ( ρυθμός μεταφοράς υλικού, κοκκομετρία κα )



**Εικόνα 2.2 :** Φορητό σύστημα μέτρησης φυσικής ραδιενέργειας

Τέλος είναι άξιο αναφοράς είναι η ανάπτυξη ενός φορητού συστήματος μέτρησης της φυσικής ραδιενέργειας ( Ash probe ) που χρησιμοποιείται για μετρήσεις στις

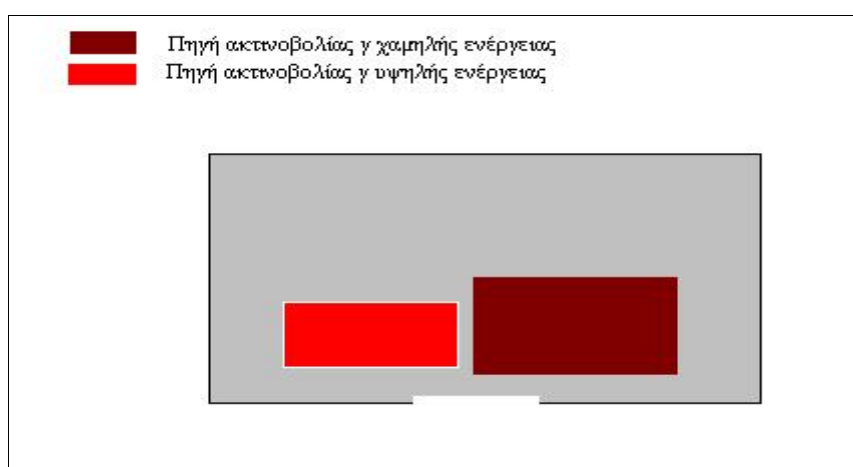
σωρούς απόθεσης του γαιάνθρακα. Η ακρίβεια τους είναι, σύμφωνα με τους κατασκευαστές του, της τάξης του 0,5 – 1 %. Το σύστημα φαίνεται στην εικόνα 2.2.

On line αναλυτές σκέδασης ακτινών γ ( *γ ray backscatter* )

Αποτελούν την πιο διαδεδομένη τεχνική προσδιορισμού της ποιότητας του γαιάνθρακα. Οι ακτίνες γ έχουν μεγαλύτερη διεισδυτική ικανότητα από τις από τις ακτίνες χ που δοκιμάστηκαν πρώτες για τέτοιας διάταξης αναλυτές με συνέπεια την καλύτερη ακρίβεια στη μέτρηση. Ο συγκεκριμένος αναλυτής αντιμετωπίζει προβλήματα λόγω της αυξομειώσης του ύψους του γαιάνθρακα πάνω στη μεταφορική ταινία πράγμα που συνεπάγεται διαφορετική απόσταση από την πηγή ακτινοβολίας και το δέκτη. Η διακύμανση αυτή του ύψους του γαιάνθρακα προκαλεί σημαντικά σφάλματα στα αποτελέσματα που δίνει ο αναλυτής. Η εγκατάστασή είναι προτιμότερο να πραγματοποιείται σε κάποια ταινία εκτροπής που ο γαιάνθρακας πάνω της έχει εξομαλυνθεί ( Klein 1993 ).

On line αναλυτές διπλής ενέργειας ( *dual energy γ ray transmission* )

Η εξέλιξη των αναλυτών που χρησιμοποιούν ακτίνες γ είναι οι αναλυτές μετάδοσης διπλής ενέργειας. Βασίζονται στη χρήση δύο πηγών εκπομπής ακτινοβολίας γ οι οποίες έχουν μεγάλη διαφορά όσον αφορά την ενέργεια της ακτινοβολίας τους. Η υψηλής ενέργειας πηγή είναι της τάξης των 660 KeV και αποτελείται από κέσιο (  $^{127}\text{Cs}$  ). Η χαμηλής ενέργειας πηγή είναι της τάξης των 60 KeV και αποτελείται από αμερίκιο (  $^{241}\text{Am}$  ). Τοποθετούνται πάνω στη μεταφορική ταινία είτε μαζί είτε χωριστά όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.3. Σαν εναλλακτική μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το  $^{133}\text{Ba}$  .



**Εικόνα 2.3 :** Οι διατάξεις των πηγών εκπομπής ραδιενέργειας υψηλής και χαμηλής ενέργειας

Η τεχνική εκμεταλλεύεται το γεγονός της μείωσης της έντασης της ακτινοβολίας κατά τη διέλευσή της από τη μάζα του μεταφερόμενου γαιάνθρακα. Η μετάδοση της ακτινοβολίας του κεσίου εξαρτάται κυρίως από τη μάζα του μεταφερόμενου γαιάνθρακα. Η ακτινοβολία του αμερικίου εξαρτάται από τη μάζα του μεταφερόμενου γαιάνθρακα και από το ποσοστό της εμπεριεχόμενης τέφρας. Αφού οι δύο ακτινοβολίες διαπεράσουν τη μάζα του μεταφερόμενου λιγνίτη οι μειωμένες εντάσεις τους καταγράφονται ξεχωριστά από τον ανιχνευτή. Τα αποτελέσματα συνδυάζονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε δίνεται μια μέτρηση της περιεκτικότητας σε τέφρα η οποία δεν εξαρτάται από το ύψος και τη μάζα του στρώματος γαιάνθρακα πάνω στην ταινία μεταφοράς. Η εξίσωση που περιγράφει τη διαδικασία της διέλευσης των δύο ακτινοβολιών είναι :

$$I = I_0 e^{-\mu \rho h} \quad (2.2)$$

όπου : I, η ένταση της ακτινοβολίας μετά τη

διέλευσή της από το γαιάνθρακα

$I_0$ , η ένταση της ακτινοβολίας της πηγής

$\mu$ , η σταθερά απορρόφησης της ακτινοβολίας

$\rho$ , η πυκνότητα του γαιάνθρακα

$h$ , το ύψος του στρώματος του γαιάνθρακα

Η σταθερά απορρόφησης  $\mu$  της ακτινοβολίας εξαρτάται από την ακτινοβολουμένη ενέργεια και τη σύσταση του γαιάνθρακα. Η παραπάνω εξίσωση δείχνει το λόγο για τον οποίο η ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας εξαρτάται άμεσα από την πυκνότητα και το ύψος που έχει ο γαιάνθρακας πάνω στη μεταφορική ταινία. Η περιεχόμενη τέφρα  $C_A$  του γαιάνθρακα δίνεται από μια εξίσωση της μορφής :

$$C_A = \alpha \cdot Q + \beta \quad (2.3)$$

όπου :  $\alpha$ ,  $\beta$  σταθερές με τις οποίες ρυθμίστηκε ο

αναλυτής και Q η παρακάτω παράσταση



$$Q = \frac{\ln(I_o^{Am}) - \ln(I^{Am})}{\ln(I_o^{Cs}) - \ln(I^{Cs})} \quad (2.4)$$

όπου :  $I_o^{Am}$ ,  $I_o^{Cs}$  οι εντάσεις των  
ακτινοβολιών των πηγών  
 $I^{Am}$ ,  $I^{Cs}$  οι εντάσεις των ακτινοβολιών  
αφού διαπεράσουν το γαιάνθρακα

Στα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου μέτρησης της ποιότητας του γαιάνθρακα συμπεριλαμβάνεται πρώτα η ευκολία εγκατάστασης του αναλυτή στις υπάρχουσες μεταφορικές ταινίες. Επίσης σημαντικό πλεονέκτημα είναι η ικανοποιητική ακρίβεια σε συνθήκες παραγωγής καθώς και ο σύντομος χρόνος των αναλύσεων. Τέλος το χαμηλό επίπεδο της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας που βρίσκεται στα επιτρεπτά όρια καθώς και το αποδεκτό κόστος του αναλυτή είναι βασικά χαρακτηριστικά του αναλυτή.

Στα μειονεκτήματα του αναλυτή μετάδοσης ακτινών  $\gamma$  διπλής ενέργειας συγκαταλέγεται η δύσκολη έως αδύνατη εγκατάσταση του αναλυτή σε σύστημα μεταφορικών ταινιών στο οποίο η ταινία μεταφοράς δεν είναι μιας ενιαίας ποιότητας. Αυτό είναι σύνηθες φαινόμενο σε ορυχεία τα οποία όταν η ταινία κοπεί ή καταστραφεί σε κάποιο σημείο της συγκολλούν ένα άλλο κομμάτι και δεν την αντικαθιστούν ολόκληρη. Η επιδιόρθωση αυτή πραγματοποιείται λόγω του υψηλού κόστους της ταινίας αλλά και για λόγους ευκολίας της επισκευής. Οι μεταφορικές ταινίες ενισχύονται με σύρμα στο εσωτερικό τους για αυξημένη αντοχή. Όμως το υλικό που αποτελείται το σύρμα ενίσχυσης ποικίλει από ταινία σε ταινία. Με τον τρόπο αυτό προκαλείται σημαντικό σφάλμα στη μέτρηση του αναλυτή ο οποίος έχει ρυθμιστεί με ένα ενιαίο τύπο ταινίας.

Ακόμα ένα μειονέκτημα του συγκεκριμένου αναλυτή είναι ότι η ποιότητα της μέτρησής του εξαρτάται και από τον τύπο του γαιάνθρακα. Δηλαδή γαιάνθρακες όπως ο λιγνίτης που παρουσιάζει μεγάλης κλίμακας διακύμανση στα ποιοτικά του χαρακτηριστικά με μεγάλη συχνότητα εμφάνισής καθιστά την λειτουργία του αναλυτή δύσκολη. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος στις εκμεταλλεύσεις λιγνίτη έχει αναπτυχθεί ειδικό σύστημα που μπορεί με ικανοποιητική αξιοπιστία να παρακολουθεί την ποιότητά του. Χρησιμοποιείται πηγή ακτινών  $\gamma$  με ισχυρότερη

ένταση ακτινοβολία από τις συμβατικές εφαρμογές. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται καταγραφή υψηλότερων περιεκτικοτήτων σε τέφρα που τυχόν να εμφανίζονται στο λιγνίτη. Επίσης το σύστημα αυτό καταγράφει ταχύτερα την διερχόμενη από τον λιγνίτη ακτινοβολία και διαθέτει επιλογή που απορρίπτει τις τιμές της περιεχόμενης τέφρας που δεν βρίσκονται μέσα στο πλαίσιο τιμών που έχει οριστεί κατά τη ρύθμιση του αναλυτή. Τέλος δίνει τη δυνατότητα της παρακολούθησης της διακύμανσης της περιεκτικότητας της τέφρας σε σίδηρο.

Επιπρόσθετα ακόμα μια δυσκολία στην εφαρμογή του αναλυτή είναι όταν το ύψος του στρώματος του γαιάνθρακα πάνω στη μεταφορική ταινία είναι μεγάλο ( >60 cm ). Στην περίπτωση αυτή η ακτινοβολία κατά τη διέλευσή της από το στρώμα του γαιάνθρακα εξασθενεί σε βαθμό που επηρεάζει σημαντικά της ακρίβεια της μέτρησης. Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται σε μεγάλου πλάτους μεταφορικές ταινίες όταν αυτές για λόγους παραγωγής φορτώνονται υπερβολικά ή στις ταινίες που γεμίζουν τα σιλό των ατμοηλεκτρικών σταθμών. Η επίλυσή του πραγματοποιείται με τη μετακίνηση της πηγής και του ανιχνευτή στην άκρη της ταινίας.

Η τελευταία εξέλιξη των συστημάτων αυτού του είδους είναι η χρησιμοποίηση τεσσάρων πηγών ( $2 \times {}^{241}\text{Am}$  &  $2 \times {}^{137}\text{Cs}$ ), οι δύο στο κέντρο και οι άλλες δύο στην άκρη της ταινίας, καθώς και η χρησιμοποίηση των αντίστοιχων ανιχνευτών κάτω από τη μεταφορική ταινία. Τα συστήματα αυτά μπορούν να προσαρμοστούν τόσο σε καδοφόρους εκσκαφείς όσο και σε ταινίες.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι στοιχειακοί αναλυτές οι οποίοι αποτελούν την τελευταία εξέλιξη όσον αφορά τα on line συστήματα ελέγχου ποιότητας του γαιάνθρακα. Οι αναλυτές αυτοί πραγματοποιούν στοιχειακή ανάλυση πρώτα και έπειτα με έμμεσο τρόπο υπολογίζεται η περιεχόμενη τέφρα και η θερμογόνο δύναμη. Ο υπολογισμός της θερμογόνου δύναμης ( MJ/kg ) γίνεται με την εισαγωγή των τιμών της περιεκτικότητας στοιχείων όπως C, O, H και S σε έναν αλγόριθμο. Ο υπολογισμός της εμπεριεχόμενης τέφρας γίνεται με παρόμοιο τρόπο αλλά χρησιμοποιούνται τα στοιχεία Si, Ca, Al, και Fe. Επίσης η μέτρηση της περιεκτικότητας του S του γαιάνθρακα βοηθά στον περιορισμό των εκπομπών SO<sub>2</sub> κατά την καύση του στις μονάδες παραγωγής ενέργειας. Τέλος ο προσδιορισμός στοιχείων όπως το Na και Cl είναι πολύ σημαντικός διότι προκαλούν πρόβλημα στον καυστήρα και στις σωληνώσεις του. Υπάρχουν δύο τύποι αναλυτών αυτού του τύπου, οι αναλυτές τύπου PGNA ( prompt gamma neutron activation analysis ) και οι αναλυτές που βασίζονται στη μέθοδο φθορισμομετρίας ακτινών X.

Αναλυτές τύπου PGNAΑ ( prompt gamma neutron activation analysis )

Οι συγκεκριμένοι αναλυτές βασίζονται στην εκπομπή ακτινοβολίας γ από έναν πυρήνα ατόμου καθώς αυτός επιστρέφει από μια κατάσταση διέγερσης στην κατάσταση ισορροπίας του. Ο πυρήνας έρχεται σε κατάσταση διέγερσης μετά από βομβαρδισμό του με νετρόνια που εκπέμπονται από ραδιενεργό ισότοπο. Μια πηγή ακτινοβολίας είναι το  $^{252}\text{Cf}$  που εκπέμπει νετρόνια με μέση ενέργεια 2 MeV. Έτσι όταν ένα νετρόνιο προσκρούσει σε έναν πυρήνα ενός ατόμου που αποτελεί το γαιάνθρακα απορροφάται από αυτόν. Ο συγκεκριμένος πυρήνας διεγείρεται και έπειτα εξέρχεται αυτής της κατάστασης εκπέμποντας σχεδόν στιγμιαία ακτινοβολία γ.

Ο βομβαρδισμός των νετρονίων έχει διαφορετική επίδραση σε κάθε στοιχείο του γαιάνθρακα. Οι διαφορές αυτές εμφανίζονται για δύο βασικούς παράγοντες :

- a) Η τάση μερικών στοιχείων να διεγείρονται ευκολότερα από κάποια άλλα. Το H , Fe και Cl διεγείρονται πολύ εύκολα ενώ αντίθετα το S και η πλειοψηφία των στοιχείων που αποτελούν την τέφρα δύσκολα. Τέλος ο C και το O διεγείρονται ελάχιστα.
- b) Κάθε στοιχείο εκπέμπει ένα χαρακτηριστικό ενεργειακό φάσμα ακτίνων γ. Η εκπομπή ακτινοβολίας γ συγκεκριμένων ενεργειακών στάθμεων από κάθε στοιχείο δεν είναι σίγουρη. Είναι γνωστή η πιθανότητα εκπομπής από κάθε στοιχείο ενός ενεργειακού φάσματος.

Οι χαρακτηριστικές ακτινοβολίες γ του κάθε στοιχείου που αποτελεί μέρος του γαιάνθρακα συνθέτουν ένα αντιπροσωπευτικό συνολικό φάσμα των ενεργειών τους. Ο ανιχνευτής που χρησιμοποιείται είναι από γερμάνιο και βισμούθιο ( BGO detector ) ο οποίος έχει τη δυνατότητα να διακρίνει τρία ευδιάκριτα ενεργειακά φάσματα ακτίνων γ. Οι κορυφές ( peaks ) που εμφανίζονται στο φάσμα αυτό δηλώνουν την παρουσία του κάθε στοιχείου και είναι ανάλογες της ποσότητας του στο γαιάνθρακα. Το γεγονός της μη διέγερσης του άνθρακα από τον βομβαρδισμό του με νετρόνια δε σημαίνει ότι είναι δύσκολος ο προσδιορισμός του. Οι μεγάλες τιμές της συγκέντρωσής του σε όλα τα είδη γαιάνθρακα καθιστά τον προσδιορισμό της ποσότητάς του απλό. Το μόνο στοιχείο που δεν μετράται άμεσα από το

συγκεκριμένο αναλυτή είναι το οξυγόνο. Το γεγονός αυτό ισχύει τόσο στις on line εφαρμογές του συστήματος όσο και στις εργαστηριακές εφαρμογές της μεθόδου.

Οι συνήθεις αναλυτές PGNAA μπορούν να μετρήσουν τα στοιχεία C, H, S, N, Cl, Si, Al, Fe, Ti, Ca, K και Na. Χρησιμοποιώντας την περιεκτικότητα των στοιχείων και ορισμένους αλγόριθμους είναι δυνατό να υπολογιστεί η περιεχόμενη τέφρα και η θερμογόνος δύναμη του υπό ανάλυση γαιάνθρακα. Ο χρόνος μέτρησης είναι περίπου δέκα λεπτά για ακρίβεια στον υπολογισμό της θερμογόνου δύναμη της τάξης των 174.45 kJ / kg. Όσον αφορά την ακρίβεια στον υπολογισμό της περιεχόμενης τέφρας, της υγρασίας και του θείου είναι της τάξης του 0,4 %, 0,2 %, 0,04 % αντίστοιχα. Όταν οι αναλυτές εφαρμόζονται σε ταινίες εκτροπής ( by pass ) η ακρίβεια εξαρτάται από τον τρόπο που εκτρέπεται η ταινία. Δηλαδή το πόσο αντιπροσωπευτικό είναι το ποσό του γαιάνθρακα που εξέρχεται από την κύρια ταινία σε σχέση με το σύνολο του γαιάνθρακα που μεταφέρεται από αυτήν.

Ένα πρωτότυπο σύστημα on line ελέγχου ποιότητας έχει εξελιχθεί βασιζόμενο στη αρχή λειτουργίας του PGNAA στο πανεπιστήμιο του δυτικού Κεντάκι. Ο λόγος κατασκευής του ήταν να αυξηθεί η ικανότητα ανάλυσης σε περισσότερους τόνους ανά ώρα γαιάνθρακα. Επίσης ο συγκεκριμένος αναλυτής έχει τη δυνατότητα της αυτόματης ρύθμισης των παραμέτρων του για την εφαρμογή του σε συγκεκριμένου τύπου γαιάνθρακα. Ακόμα άλλα δύο πλεονεκτήματά του είναι η ακριβέστερη μέτρηση του άνθρακα, του νατρίου και του οξυγόνου καθώς και η μείωση της επικινδυνότητας λόγω ραδιενεργού ακτινοβολίας.

Μια σημαντική διαφορά με την PGNAA είναι στην πηγή εκπομπής νετρονίων. Στο πρότυπο η πηγή είναι ένα παλλόμενο δευτέριο τρίτιο που παράγει ακτινοβολία νετρονίων ενέργειας 14 MeV. Η τεχνική που χρησιμοποιείται καλείται PFTNA ( Pulsed Fast Thermal Neutron Analysis ) και το πλεονεκτημά της είναι ότι χρησιμοποιεί και τις ταχείες και τις θερμικές αντιδράσεις των νετρονίων. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η ποικιλία των αντιδράσεων των νετρονίων και ξεχωρίζοντας τις ταχείες από τις θερμικές αντιδράσεις είναι δυνατό να μετρηθούν περισσότερα στοιχεία και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Η τεχνική αυτή έχει αποδειχτεί ότι μετρά όλα τα κύρια και μη στοιχεία με ακρίβεια καθώς και τα στοιχεία C, O και Na που είναι δύσκολο να προσδιοριστούν από πηγή ραδιοϊσοτόπου. Απαραίτητες προϋποθέσεις για τη σωστή λειτουργία του συστήματος είναι :

- Η παροχή μιας βάσης δεδομένων με τις εντάσεις των ακτινοβολιών γ καθώς και ενός σετ με διορθώσεις για να έχει τη δυνατότητα ο

αναλυτής να προσαρμόζεται στις αλλαγές της σύστασης του γαιάνθρακα.

- Η μέτρηση με ακρίβεια των C και O στο χημικό εργαστήριο ώστε να δοθεί στον αναλυτή μια τιμή της θερμογόνου δύναμης η οποία θα είναι ανεξάρτητη από το ποσό του γαιάνθρακα που διέρχεται από τον αναλυτή.
- Η μέτρηση του στοιχείου Na σε μεγάλο εύρος δειγμάτων έτσι ώστε η τιμή του να θεωρείται αντιπροσωπευτική.

Ο τρόπος μέτρησης των στοιχείων πραγματοποιείται με ροή του γαιάνθρακα σε κάθετη υδατόπτωση βομβαρδίζεται από νετρόνια που έχουν ενέργεια 14 MeV. Η ενέργεια αυτή μεταφέρεται στο γαιάνθρακα με παλμούς οι οποίοι έχουν πλάτος μερικά  $\mu\text{s}$  και συχνότητα μερικών kHz. Τα υψηλής ενέργειας νετρόνια αλληλεπιδρούν με στοιχεία όπως C και O τα οποία εκπέμπουν τη χαρακτηριστική τους ακτινοβολία  $\gamma$ . Μεταξύ των ενεργειακών παλμών των νετρονίων τα γρήγορα νετρόνια χάνουν την ενέργειά τους στο γαιάνθρακα μέσω της διασποράς τους με τα ελαφριά στοιχεία πράγμα που υποδεικνύει θερμικές αντιδράσεις σύλληψης νετρονίων. Τέτοιες αντιδράσεις μετρούν τα στοιχεία H, S και Cl. Για τη μέτρηση του Na πραγματοποιείται ενεργοποίηση των νετρονίων τα οποία παράγουν ισότοπα με χρόνο ημίσειας ζωής της τάξεως του δευτερολέπτου, δηλαδή μεγαλύτερο από αυτόν των νετρονίων που συμμετέχουν στις θερμικές και ταχείες αντιδράσεις σύλληψης. Οι παραπάνω τρόποι μέτρησης δείχνουν ότι η εκπομπή ακτινοβολίας  $\gamma$  είναι συνέπεια τριών κατηγοριών αντιδράσεων, θερμική, ταχεία και ενεργοποιημένων νετρονίων. Οι ενέργειες των ακτινοβολιών κάθε κατηγορίας προβάλλονται σε διαφορετικά ενεργειακά φάσματα με βάση το χρόνο διεξαγωγής των αντιδράσεων. Έτσι μειώνεται δραστικά ο θόρυβος του υποβάθρου που συναντάται στα φάσματα που λαμβάνονται από πηγές ραδιοϊσοτόπων και καθιστούν δύσκολο τον προσδιορισμό των στοιχείων C και O.

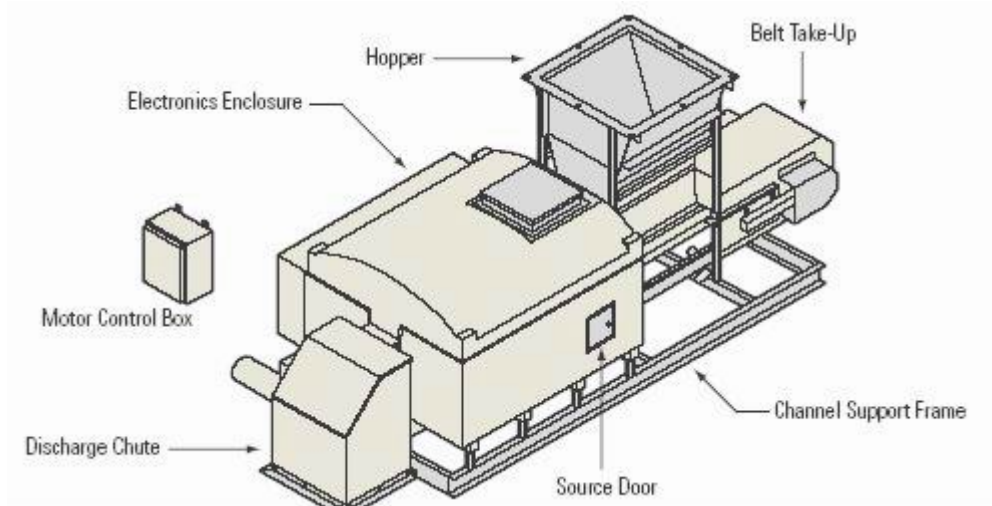
Ο αναλυτής είναι τοποθετημένος σε ένα ρυμουλκούμενο container διαστάσεων 2,4 \* 2,6 \* 14,6 m στο οποίο η θερμοκρασία είναι ελεγχόμενη. Ο εσωτερικός του χώρος είναι χωρισμένος σε δύο μέρη ( μπροστά και πίσω ). Το μπροστά διαμέρισμα περιέχει το κυρίως τμήμα του αναλυτή ενώ το πίσω διαμέρισμα περιέχει τον υπολογιστή και τους χειριστές του αναλυτή. Για την προστασία των χειριστών από την ραδιενέργεια τα δύο διαμερίσματα χωρίζονται με μια μικρή δεξαμενή νερού.

Εισέρχεται επίσης ένας ανελκυστήρας κάδου ( 18 m ) που εισάγει το γαιάνθρακα στον αναλυτή. Για την εξαγωγή του είναι εγκατεστημένη μια μεταφορική ταινία 5 m μήκους και 30 cm πλάτους περίπου. Η απαίτηση σε ποσότητα του αναλυτή είναι 600 kg και έχει ικανότητα μέτρησης γαιάνθρακα που η στρώση του δεν ξεπερνά τα 10 cm ύψος. Τέλος ο αναλυτής φαίνεται στο σχήμα 2.4.



**Εικόνα 2.4 :** Το container στο οποίο βρίσκεται ο πρωτότυπος αναλυτής

Το κόστος ενός αναλυτή τύπου PGNAΑ μαζί με το λογισμικό που συνοδεύεται είναι αρκετά υψηλό ( 450.000 – 850.000 \$ ) πράγμα που αποτελεί το σημαντικότερο μειονέκτημα του. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι τα υπόλοιπα on line συστήματα ελέγχου ποιότητας έχουν κόστος έως και 80 % μικρότερο. Οι εταιρίες που κατασκευάζουν αυτού του είδους συστήματα είναι δύο η Gamma Metrics και η MCI. Ο αναλυτής της Gamma Metrics φαίνεται στο σχήμα 5. Εκτός από την εκμετάλλευση των γαιανθράκων ο αναλυτής αυτού του τύπου βρίσκει εφαρμογή και σε άλλους τομείς εκμετάλλευσης ορυκτών. Ιδιαίτερα διαδεδομένος είναι στην παραγωγή τσιμέντου. Τέλος εφαρμογές συναντώνται και σε εργαστήρια για στοιχειακή ανάλυση η οποία πραγματοποιείται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.



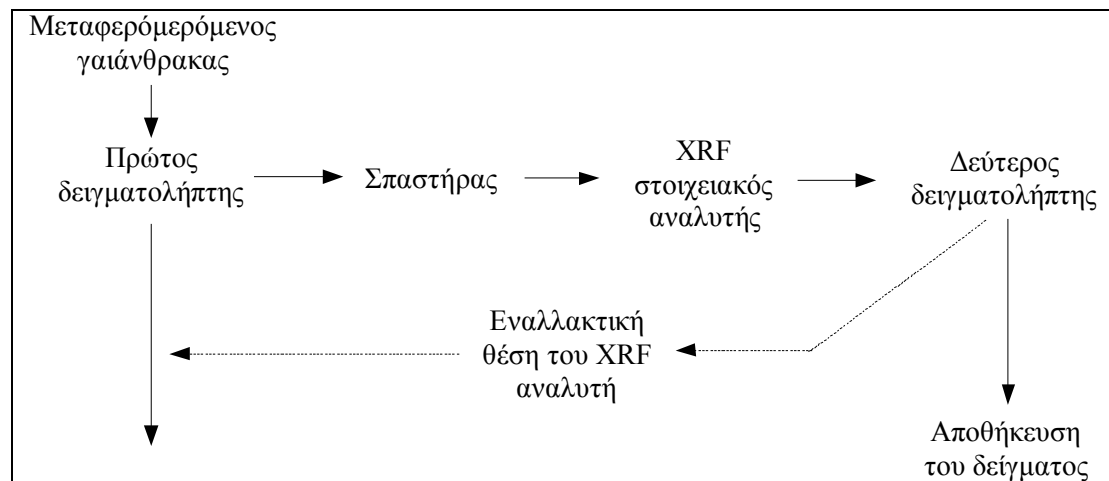
**Εικόνα 2.5:** Σχηματική αναπαράσταση αναλυτή τύπου PGNAA της Gamma Metrics

#### Αναλυτές τύπου φθορισμομετρίας ακτίνων x ( x ray fluorescence )

Η αρχή λειτουργίας του αναλυτή είναι παρόμοια με αυτή του αναλυτή PGNAA. Μόνο που εδώ για τη διέγερση των ατόμων των στοιχείων χρησιμοποιείται πηγή ακτίνων x. Η πρόσπτωση της ακτινοβολίας στο γαιάνθρακα διεγείρει τα άτομα του και αυτά εκπέμπουν δευτερογενή ακτινοβολία (φθορισμός ) ακτίνων x της οποίας το φάσμα είναι χαρακτηριστικό και καταγράφεται και αναλύεται. Ο αναλυτής αποτελείται από μια πηγή παραγωγής ακτίνων x, ένα φίλτρο πρωτογενούς ακτινοβολίας, έναν ευθυγραμμιστή, έναν αναλυτή κρύσταλλο και έναν ανιχνευτή. Επίσης ο αναλυτής συνοδεύεται και από ένα ηλεκτρονικό σύστημα μέτρησης και καταγραφής.

Το φίλτρο πρωτογενούς ακτινοβολίας χρησιμοποιείται για να βελτιώσει το λόγο της έντασης της ακτινοβολίας προς το θόρυβο του υποβάθρου. Συνήθως είναι ένα πολύ λεπτό ( 0.2 mm ) έλασμα Al ή Cu. Ο ευθυγραμμιστής αποτελείται από μια σειρά ελασμάτων που απέχουν μεταξύ τους 0,13 έως 1,3 mm. Σκοπός του είναι η εκπεμπόμενη από το δείγμα ακτινοβολία να γίνει παράλληλη. Ο κρύσταλλος αναλυτής χρησιμοποιείται για να διαχωρίσει την πολυχρωματική ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτόν σε ξεχωριστές. Έτσι συγκεντρωτικά η πρωτογενής ακτινοβολία x προσπίπτει στο γαιάνθρακα και αυτός εκπέμπει δευτερογενή ακτινοβολία ακτίνων x η οποία ενισχύεται, ευθυγραμμίζεται, διαχωρίζεται και τέλος ανιχνεύεται από μια

διάταξη ανίχνευσης. Η πηγή παράγει ακτινοβολία της οποίας η ενέργεια είναι από 3 έως 20 KeV. Επίσης ο ανιχνευτής αποτελείται από πυρίτιο.



**Εικόνα 2.6 :** Διάγραμμα που δείχνει τη θέση του αναλυτή και τα στάδια προετοιμασίας του

Στην εφαρμογή για ανάλυση όγκου υλικού ο αναλυτής τοποθετείται σε ταινία εκτροπής και όχι στην κύρια ταινία μεταφοράς γαιάνθρακα. Εάν το σύστημα δειγματοληψίας αποτελείται από ένα μηχανικό βραχίονα που σκουπίζει τη μεταφορική ταινία κάθετα προς την κατεύθυνση κίνησής της τότε ο αναλυτής τοποθετείται οπωσδήποτε μετά το σπαστήρα και πριν το δευτερεύοντα δειγματολήπτη. Διαφορετικά η τοποθέτησή του γίνεται μετά το δεύτερο δειγματολήπτη. Σε κάθε περίπτωση όμως το συλλεγόμενο δείγμα πρέπει να θραύεται σε μέγεθος περίπου 10 mm έτσι ώστε να δημιουργείται ( συνήθως με τη χρήση κάποιας μορφής αρότρου ) μια ομοιόμορφη επιφάνεια δείγματος η οποία θα οδηγηθεί προς ανάλυση. Η διάταξη του συστήματος του ΧΡF αναλυτή φαίνεται στην εικόνα 2.6. Επίσης μπορεί να προστεθεί ότι είναι δυνατή η χρησιμοποίηση οποιουδήποτε συστήματος δειγματοληψίας όπως για παράδειγμα ο δειγματολήπτης τύπου σφυριού και συστήματα συλλογής σκόνης. Ο μόνος περιορισμός που τίθεται στην επιλογή δειγματολήπτη είναι το πόσο αντιπροσωπευτικό είναι το δείγμα που συλλέγεται. Τέλος είναι εφικτή η πρόσθεση ενός συστήματος μέτρησης υγρασίας στη διάταξη του αναλυτή.

Υπάρχουν δύο κύρια προβλήματα στην εφαρμογή ενός τέτοιου τύπου αναλυτή. Το ένα είναι ο σχεδιασμός του ανιχνευτή πράγμα που αφορά μόνο την κατασκευή και το δεύτερο είναι η δύσκολη αξιολόγηση του φάσματος που λαμβάνεται από την



ακτινοβολία του γαιάνθρακα. Δεδομένου ότι η ενέργεια του σήματος θείου είναι αρκετά χαμηλή απορροφάται από το μικρό πάχος στρώματος. Μια παρενέργεια αυτού είναι η διαφορετική απορρόφηση της ακτινοβολίας από τα στοιχεία του γαιάνθρακα να εξαρτάται από τη σύνθεσή του. Έτσι το μέγεθος της κορυφής που σχηματίζεται στο φάσμα από το θείο να μην εξαρτάται μόνοι από το ποσοστό του θείου στο γαιάνθρακα αλλά και από τη σύστασή του.

Η ακρίβεια του συστήματος όσον αφορά τα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του γαιάνθρακα για μια σχετικά πρόσφατη ( 1999 ) δοκιμαστική εγκατάσταση στην Γερμανία φαίνονται στον πίνακα 2.2.

**Πίνακας 2.2 :** Η ακρίβεια του XRF *on line* αναλυτή

Ποιοτικά χαρακτηριστικά	Εκτιμώμενο σφάλμα	Πραγματικό σφάλμα
Υγρασία	±0.70%	±0.82%
Τέφρα	±0.50%	±0.29%
Θείο	±0.10%	±0.06%

Μια σύντομη σύγκριση των παραμέτρων που μετρούν οι δύο τύποι στοιχειακών αναλυτών, PGNAΑ και XRF παρουσιάζεται στον πίνακα 2.3.

**Πίνακας 2.3 :** Σύγκριση των δύο στοιχειακών *on line* αναλυτών

Μετρήσεις	PGNAΑ	XRF
<i>Εμμεση ανάλυση</i>		
Υγρασία	✓	✓
Τέφρα	✓	✓
Θερμογόνος δύναμη	✓	✓
<i>Στοιχειακή ανάλυση</i>		
C	✓	
H	✓	
N	✓	
S	✓	✓
Cl	✓	✓
Si	✓	✓
Al	✓	✓
Fe	✓	✓
Ti	✓	✓
Ca	✓	✓
K	✓	✓

### On line συστήματα μέτρησης της υγρασίας

Η συνεχής παρακολούθηση της περιεκτικότητας της υγρασίας του εξορυσσόμενου γαιάνθρακα είναι πολύ σημαντική. Αυτό διότι το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας του γαιάνθρακα επηρεάζει το ποσό της θερμότητας που εξάγεται κατά την καύση του. Έτσι το ποσοστό της υγρασίας πρέπει να είναι γνωστό ώστε να μπορούν να υπολογιστούν οι κιλοβατώρες που παράγονται. Άλλο ένα πρόβλημα που δημιουργεί η υγρασία είναι ότι αυξάνει την πυκνότητα του γαιάνθρακα και δυσκολεύει τη μεταφορά του. Μπορεί να μετατραπεί ακόμα και σε πάγο τους χειμερινούς μήνες. Τέλος η γνώση της περιεχόμενης υγρασίας βοηθά τη στοιχειακή ανάλυση στον ακριβή προσδιορισμό του H του γαιάνθρακα.

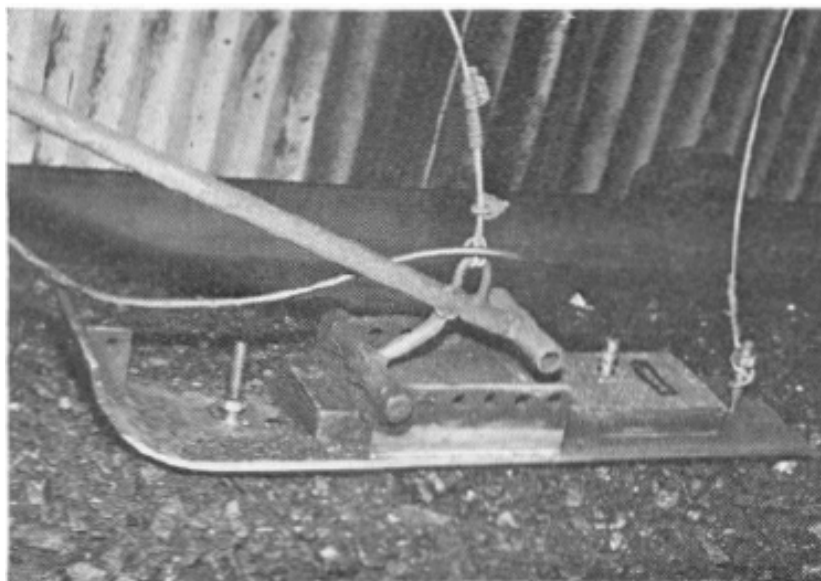
Η μέθοδος που χρησιμοποιούνταν για τη μέτρηση της υγρασίας πριν την εξέλιξη των on line αναλυτών ήταν η συστηματική δειγματοληψία, ζύγιση του δείγματος, θέρμανση του και ξανά ζύγισή του. Η διαδικασία αυτή είναι σημαντικά πιο αργή από τους αναλυτές και η ποσότητα του δείγματος είναι μικρή για να είναι αντιπροσωπευτική του συνόλου της ποσότητας του γαιάνθρακα.

Οι χρησιμοποιούμενες τεχνικές είναι αρκετές αλλά οι επικρατέστερες είναι δύο :

- i. Η μέθοδος της χωρητικότητας ( Capacitance ) και
- ii. Η μέθοδος που χρησιμοποιεί μικροκύματα

### Η μέθοδος της χωρητικότητας

Η μέθοδος της χωρητικότητας εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι η διηλεκτρική σταθερά του νερού λαμβάνει τιμές περίπου στο 80 ενώ οι αντίστοιχες τιμές για το γαιάνθρακα είναι περίπου στο 5. Καθώς ο γαιάνθρακας μεταφέρεται πάνω σε ταινία ένα ειδικό στέλεχος, που αποτελεί το κύριο μέρος του αναλυτή και έχει το σχήμα ενός πέδilu σκι, εφάπτεται πάνω του. Το πέδιλο αυτό ,που είναι στερεωμένο σε ένα κινητό βραχίονα, καθώς εφάπτεται η κατώτερη επιφάνεια του αναμιγνύεται με την πάνω στρώση του μεταφερόμενου γαιάνθρακα. Η κατώτερη επιφάνεια του πέδilu δεν είναι επίπεδη αλλά έχει το σχήμα ενός ανάποδου τριγώνου. Επίσης αποτελείται από πολλές τρύπες από τις οποίες διέρχεται ο γαιάνθρακας και εγκλωβίζεται μεταξύ της επιφάνειας αυτής και της αμέσως επόμενης επιφάνειας του πέδilu προς τα πάνω. Ο γαιάνθρακας δεν μένει εγκλωβισμένος εκεί για πολύ αφού εξωθείται από την επόμενη ποσότητα που μεταφέρεται από την ταινία.



**Εικόνα 2.7 :** Το πέδιλο που χρησιμοποιείται ως πυκνωτής στη μέθοδο της χωρητικότητας

Οι δύο επιφάνειες του πέδilu σχηματίζουν ένα πυκνωτή και ενδιάμεσά τους ο γαιάνθρακας, η υγρασία και ο αέρας το διηλεκτρικό μεταξύ τους. Ο πυκνωτής συνδυαζόμενος με ένα πηνίο συγκροτεί ένα συντονισμένο κύκλωμα που λειτουργεί περίπου σε συχνότητα 1,6 MHz. Με τον τρόπο αυτό όταν αυξάνει η υγρασία, άρα και το διηλεκτρικό, έχουμε μεγαλύτερη ένδειξη στην κορυφή της καμπύλης του συντονισμού του κυκλώματος. Η τάση που εξέρχεται του συγκεκριμένου κυκλώματος τροφοδοτείται σε ένα παρόμοιο κύκλωμα γνωστών όμως παραμέτρων. Όταν η τάση αυτή δεν ισούται με αυτή του κυκλώματος αναφοράς τότε μεταβάλλεται η χωρητικότητα του πυκνωτή του κυκλώματος αναφοράς από τη διαφορά τάσης έως ότου εξισωθούν τα δύο ρεύματα. Από τη μεταβολή αυτή της χωρητικότητας του πυκνωτή και με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται η υγρασία του γαιάνθρακα που βρίσκεται κάτω από το πέδιλο. Η μέθοδος αυτή τείνει να αντικατασταθεί από την τεχνική που χρησιμοποιεί μικροκύματα για τον υπολογισμό της υγρασίας.

#### On line αναλυτής μέτρησης υγρασίας με χρήση μικροκυμάτων

Η αρχή λειτουργίας του αναλυτή βασίζεται ότι μετά την απορρόφηση της ενέργειας των μικροκυμάτων από το γαιάνθρακα παρατηρείται εξασθένησή της και αλλαγή της φάσης του κύματος που εξέρχεται της μάζας του. Το νερό που περιέχεται στο γαιάνθρακα απορροφά την περισσότερη ενέργεια των μικροκυμάτων. Κατά συνέπεια μειώνει το πλάτος τους καθώς επίσης μετατοπίζει και τη φάση τους πιο πολύ από κάθε άλλο στοιχείο του γαιάνθρακα. Η παρακολούθηση της μεταβολής τόσο του

πλάτους όσο και της διαφοράς φάσης των μικροκυμάτων αποτελεί έναν πολύ ακριβή τρόπο μέτρησης της υγρασίας. Επιπλέον η μέθοδος αυτή δεν είναι πολύ ευαίσθητη στη μεταβολή της υγρασίας σε κατακόρυφη διεύθυνση.

Μερικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η εφαρμογή είναι η επίδραση της πυκνότητας του γαιάνθρακα και του ύψους της στρώσης του στη ταινία μεταφοράς. Η αντιμετώπισή τους πραγματοποιείται με τη μέτρηση του βάρους του μεταφερόμενου γαιάνθρακα ανά μονάδα επιφάνειας και συσχέτιση των μετρήσεων. Ακόμα ένα πρόβλημα δημιουργείται με την περιεκτικότητα των αλάτων στο γαιάνθρακα τα οποία επηρεάζουν την αλλαγή της φάσης των μικροκυμάτων. Η αύξηση της συχνότητας τους όμως εξαλείφει το πρόβλημα και ιδιαίτερα για συχνότητες από 2 GHz και πάνω. Η ακρίβεια της συγκεκριμένης τεχνικής είναι μεγαλύτερη από 0,37 % για γαιάνθρακες των οποίων η διακύμανση της περιεχόμενης υγρασίας είναι από 0 – 15 % και το ύψος της στρώσης στη μεταφορική ταινία είναι από 50 έως 250 mm.

## 2.2.Εφαρμογές αναλυτών σε χαμηλής ποιότητας γαιάνθρακες

Οι αναλυτές που έχουν αναφερθεί έως τώρα δεν ανταποκρίνονται, όσον αφορά την ακρίβεια που δίνεται από τον κατασκευαστή τους, όταν εγκατασταθούν σε ορυχεία ή μονάδες παραγωγής ενέργειας στα οποία ο γαιάνθρακας είναι χαμηλής ποιότητας. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στην υψηλή διακύμανση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του γαιάνθρακα και ιδιαίτερα στην υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία η οποία περιορίζει σημαντικά την ευαισθησία του αναλυτή ( IEA 1994 ). Ως γαιάνθρακας υποβαθμισμένης ποιότητας θεωρείται και ο λιγνίτης που αφορά άμεσα την παρούσα εργασία. Για την παρακολούθηση της ποιότητας σε τέτοιου είδους γαιάνθρακες έχουν αναπτυχθεί αρκετές συσκευές που αφορούν όμως εφαρμογές για συγκεκριμένες εφαρμογές. Οι περισσότεροι γνωστές εφαρμογές είναι του αναλυτή με την ονομασία SIROASH, ο αναλυτής Rodos και η εξέλιξή του αναλυτή Solas και τέλος μία ειδική εφαρμογή αναλυτής μετάδοσης ακτινοβολίας γ διπλής ενέργειας. Εκτός των παραπάνω αναλυτών έχουν αναπτυχθεί και δύο συστήματα μέτρησης της υγρασίας που αναφέρονται σε χαμηλής ποιότητας γαιάνθρακες.

### Αναλυτής SIROASH

Η αρχή λειτουργίας του αναλυτή είναι η παραγωγή ζευγών ηλεκτρονίων ποζιτρονίων από ακτινοβολία γ υψηλής ενέργειας. Κατά τη δοκιμαστική λειτουργία του αναλυτή αυτού το RMS ( RMS, Root Mean Square : ρίζα της μέσης τιμής των τετραγώνων ) σφάλμα της μέτρησης της ήταν 0,6 %. Ο γαιάνθρακας που χρησιμοποιήθηκε είχε περιεχόμενη τέφρα σε ποσοστό που κυμαινόταν από 12 ως 22 % ( Watt & Sowerby 1984 ).

### Αναλυτές Rodos και Solas

Το σύστημα αυτό αποτελείται από μια μονάδα δειγματοληψίας, μια μονάδα προπαρασκευής και μια μονάδα αποθήκευσης του δείγματος. Επίσης διαθέτει σύστημα ανάλυσης και επεξεργασίας των μετρήσεων καθώς και ένα σύστημα επικοινωνίας με το βασικό λειτουργικό σύστημα διαχείρισης. Η μονάδα ανάλυσης χρησιμοποιεί έναν στοιχειακό αναλυτή τύπου XRF ο οποίος προσδιορίζει την περιεκτικότητα σε τέφρα και στα στοιχεία : S, Ca, Fe, K, Si. Η διαδικασία της ανάλυσης ολοκληρώνεται σε χρονικό διάστημα 70 sec γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να θεωρηθεί ως συνεχής η παρακολούθηση της ποιότητας. Η μονάδα δειγματοληψίας αποτελείται από έναν σωλήνα ο οποίος απορροφά αντιπροσωπευτικά κλάσματα σκόνης του γαιάνθρακα. Πλεονέκτημα του συστήματος θεωρείται η ικανότητα προσαρμογής του σε διαφορετικές συνθήκες, κυρίως όσον αφορά τη θέση που πραγματοποιείται η δειγματοληψία και την κοκκομετρία του γαιάνθρακα ( Koenig 1999 ).

Όσον αφορά το σύστημα Solas αποτελεί την εξέλιξη του προηγούμενου αναλυτή. Παρόλο που ο αναλυτής έχει βελτιωθεί σημαντικά έχουν ήδη προταθεί οι επόμενες βελτιωτικές κινήσεις. Μια από αυτές αφορά τον σύστημα δειγματοληψίας και το σύστημα ανάλυσης των δειγμάτων. Στην πρώτη περίπτωση εξετάζεται το ενδεχόμενο η δειγματοληψία να πραγματοποιείται σε περισσότερα σημεία. Στη δεύτερη περίπτωση εξετάζεται η δυνατότητα πρόσθεσης μιας επιπλέον ανάλυσης που θα προσδιορίζει το στοιχείο Na.

### Αναλυτής μετάδοσης ακτινοβολίας γ διπλής ενέργειας

Η διαφορά του σε σχέση με το αναφερθέν σύστημα έγκειται στην πρόσθεση ενός ακόμα ζεύγους πηγής δέκτη στην άκρη της μεταφορικής ταινίας. Ο λόγος

τοποθέτησής επιπλέον ζεύγους είναι ότι ο αναλυτής δίνει καλύτερα αποτελέσματα για ποσότητες που δεν ξεπερνούν τους 3000 ton/hr. Πρόβλημα στις μετρήσεις του αναλυτή αυτού δημιουργεί η μεταβολή της σύστασης της τέφρας του γαιάνθρακα. Αν ο γαιάνθρακας είναι πλούσιος σε σιδηροπυρίτη τότε η τιμή της τέφρας παρουσιάζεται αυξημένη ενώ αν είναι κορεσμένος σε υγρασία η τιμή της είναι χαμηλότερη της πραγματικής ( Endesa 1993 ).

#### Συστήματα μέτρησης υγρασίας

Για τη μέτρηση της υγρασίας των γαιανθράκων χρησιμοποιούνται δύο κυρίως τύποι αναλυτών. Το ένα σύστημα που έχει εξελιχθεί προσφέρει παρακολούθηση της υγρασίας σε γαιάνθρακες που το ποσοστό της κυμαίνεται από 0 έως 50 %.. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στη μείωση της έντασης των μικροκυμάτων κατά τη διέλευσή τους από το δείγμα.

Το δεύτερο σύστημα βασίζεται τόσο τη μείωση της έντασης όσο και στη διαφορά φάσης που δημιουργείται σε μικροκύματα κατά τη διέλευση τους από το δείγμα. Έχει τη δυνατότητα να αναλύσει τα δείγματα στη μορφή που βρίσκονται, χωρίς ξήρανση, και το ποσοστό υγρασίας τους πρέπει να είναι στο εύρος τιμών από 50 έως 65 %. Η ακρίβεια του συστήματος είναι της τάξης του 0,7 %.

### 2.3.Συγκριτική αξιολόγηση των αναλυτών

Η σύγκριση αυτή έχει σκοπό να δείξει τους τομείς που πλεονεκτεί κάθε αναλυτής καθώς και τον τύπο γαιάνθρακα για τον οποίο ο καθένας είναι κατάλληλος. Τα κριτήρια πάνω στα οποία πραγματοποιείται η σύγκριση είναι η ακρίβεια των μετρήσεων, το εύρος εφαρμογής τους, το κόστος και το αν εγκαθίστανται στην κύρια ταινία μεταφοράς ή σε ταινία εκτροπής.

Όσον αφορά το πρώτο κριτήριο που αναφέρεται, την ακρίβεια των μετρήσεων των αναλυτών, είναι γνωστό ότι υπερέχουν οι στοιχειακοί αναλυτές, για παράδειγμα η ακρίβεια αναλυτή τύπου PGNAΑ είναι της τάξης 0,4 %, 0,2 %, 0,04 % για περιεχόμενη τέφρα, υγρασία και θείο αντίστοιχα. Επίσης ο αναλυτής που βασίζεται σε φθορισμομετρία ακτινών x έχει ακρίβεια της τάξης 0,3 %, 0,8 %, 0,06 % για τέφρα,

υγρασία και θείο. Τη μικρότερη ακρίβεια θα πρέπει να αναφερθεί ότι την έχουν οι αναλυτές φυσικής ραδιενέργειας.

Το δεύτερο κριτήριο που εξετάζεται είναι το εύρος της εφαρμογής τους. Στον όρο αυτό συμπεριλαμβάνονται και η ευκολία εγκατάστασης η αποδεκτή ακρίβεια σε εφαρμογές σε διαφορετικού τύπου γαιάνθρακες. Οι αναλυτές τύπου μετάδοσης ακτινοβολίας γ διπλής ενέργειας είναι οι πλέον διαδεδομένοι αναλυτές και θεωρούνται ότι αντεπεξέρχονται στις απαιτήσεις μιας εκμετάλλευσης μέσης ποιότητας γαιάνθρακα. Ακόμα και σε κακής ποιότητας γαιάνθρακα με ορισμένες ρυθμίσεις μπορούν να φθάσουν την ακρίβεια που απαιτείται από τις μονάδες παραγωγής ενέργειας. Ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζουν είναι οι συγκεντρώσεις στοιχείων με μεγάλο ατομικό αριθμό στο γαιάνθρακα. Για παράδειγμα όταν περιέχουν σίδηρο και ασβέστιο. Ειδικά για το σίδηρο είναι γνωστό ότι επηρεάζεται η μέτρηση σε ποσοστό 1 % για κάθε 2 % μεταβολή στην περιεκτικότητα στο στοιχείο αυτό. ( Gamma Metrics, Brochures )

Η ευκολία της εφαρμογής τους είναι δεδομένη καθώς τοποθετούνται σε μια οποιαδήποτε συμβατική ταινία μεταφοράς και οι ρυθμίσεις των παραμέτρων τους για την κάθε εγκατάσταση δεν ξεπερνούν τη μία εβδομάδα και σε ειδικές περιπτώσεις τις δύο.

Οι στοιχειακοί αναλυτές επίσης έχουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογής όσον αφορά τις διαφορετικές ποιότητες γαιάνθρακα καθώς δεν επηρεάζονται από τις διακυμάνσεις τους. Η εφαρμογή τους όμως δεν είναι εύκολη υπόθεση. Για να τοποθετηθεί χρειάζεται περιορισμένη τροφοδοσία με δείγμα γαιάνθρακα ( 5 – 500 ton/hr για τον PGNAΑ και 5 – 10 gr στον αναλυτή φθορισομετρίας ακτινών x ) σε αντίθεση με τον προηγούμενο τύπο αναλυτή. Επίσης χρειάζονται μια μονάδα προετοιμασίας του δείγματος πριν αυτό αναλυθεί. Τέλος εύκολη είναι και η εγκατάσταση του αναλυτή φυσικής ραδιενέργειας μόνο που δεν μπορεί να τοποθετηθεί σε μέτριας και κακής ποιότητας γαιάνθρακες. Δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της περιεκτικότητας σε Fe και Ca όπως επίσης και από την πλευρική κακή ομογενοποίηση του γαιάνθρακα. Σημαντική διαφορά με τους υπόλοιπους αναλυτές ότι δε χρειάζεται ειδικές άδειες για τη χρήση ραδιενεργών πηγών.

Οι αναλυτές φθορισομετρίας ακτινών X απαιτούν μεγαλύτερη προετοιμασία για την εγκατάστασή τους. Έχουν βέβαια ευρύ φάσμα εφαρμογής καθώς δεν επηρεάζονται σημαντικά από τη διακύμανση της ποιότητας του γαιάνθρακα όμως η διαδικασία εγκατάστασης τέτοιου αναλυτή είναι σχετικά περίπλοκη εργασία. Η κοκκομετρία του

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Ποιοτικός έλεγχος λιγνίτη με χρήση on line αναλυτών τέφρας

δείγματος καθώς επίσης και ο βαθμός στον οποίο είναι ομογενοποιημένο το δείγμα είναι πολύ σημαντικοί παράγοντες για τη σωστή λειτουργία του αναλυτή ειδικά για ανάλυση των στοιχείων με χαμηλό ατομικό αριθμό.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την επιλογή ενός on line αναλυτή της ποιότητας του γαιάνθρακα σε μία εκμετάλλευση είναι το κόστος του αναλυτή. Ο πιο φθηνός αναλυτής είναι ο αναλυτής μέτρησης της υγρασίας που χρησιμοποιεί τη μέθοδο της χωρητικότητας ο οποίος κοστίζει από 30 – 50.000 \$. Γενικά οι αναλυτές που προσδιορίζουν τα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του γαιάνθρακα είναι κατά πολύ φθηνότεροι των αναλυτών που πραγματοποιούν στοιχειακή ανάλυση. Οι πρώτοι έχουν κόστος από 50 – 80.000 \$ ενώ οι δεύτεροι μεγαλύτερο από 500.000 \$. Συγκεντρωτικά τα στοιχεία του κάθε αναλυτή φαίνονται στον πίνακα 2.4 .

**Πίνακας 2.4 :** Συνοπτική παρουσίαση των αναλυτών που αναφέρθηκαν

Αναλυτές	Πηγή διέγερσης	Μετρούμενες ποσότητες	Ακρίβεια μέτρησης για υγρασία και τέφρα	Χρόνος μέτρησης ( min )	Μέγεθος μετρουμένου δείγματος	Κόστος αναλυτή ( \$ )
Αναλυτής σκέδασης ακτίνων χ- γ	<sup>238</sup> Pu <sup>241</sup> Am	Μέσο ατομικό αριθμό	1% - 1 ~ 2 %	10	Ο γαιάνθρακας που μεταφέρει η ταινία	50 - 80000
Αναλυτής φθορισμομετρίας ακτίνων χ	<sup>55</sup> Fe	K,Al,Fe,S,Ca,Si			5 - 10 gr	400000
Αναλυτής PGNA	<sup>252</sup> Cf	S,C,H,N,Fe, Al,Si,Ca,Cl	0,5 % σε τέφρα 0,1 % σε θείο 349 KJ/kg ( θερμ. δύναμη )	10-30	5 - 500 ton/hr	500000
Αναλυτής φυσικής ραδιενέργειας	--	Ποσότητα των ραδιενεργών στοιχείων	0,4 ~ 1,5 - 1 ~ 2	2	Ο γαιάνθρακας που μεταφέρει η ταινία	60 - 70000
Αναλυτής μετάδοσης ακτινοβολίας ακτίνων γ διπλής ενέργειας	<sup>241</sup> Am, <sup>137</sup> Cs <sup>133</sup> Ba	Μέσο ατομικό αριθμό	0,3 ~ 0,5 - 0,7~1,5	2	Ο γαιάνθρακας που μεταφέρει η ταινία	50 - 80000
Αναλυτής υγρασίας με τη μέθοδο χωρητικότητας	Φορτισμένες πλάκες ( πλάκες πυκνωτή )	Υγρασία	0,5	2	Ο γαιάνθρακας που μεταφέρει η ταινία	30 – 50000
Αναλυτής υγρασίας με μικροκύματα	Πομπός μικροκυμάτων	Υγρασία	0,5	1 ( sec )	Ο γαιάνθρακας που μεταφέρει η ταινία	50 - 70000

Το τελευταίο κριτήριο που τίθεται σε αυτή τη σύγκριση είναι η θέση του αναλυτή όσον αφορά την ταινία μεταφοράς, δηλαδή αν είναι η κύρια ταινία μεταφοράς η ταινία εκτροπής. Οι αναλυτές που τοποθετούνται σε κύριες ταινίες είναι της



μετάδοσης ακτινοβολίας διπλής ενέργειας και οι αναλυτές φυσικής ραδιενέργειας. Επίσης και οι μετρητές της υγρασίας τοποθετούνται σε κύρια ταινία μεταφοράς. Οι στοιχειακοί αναλυτές τοποθετούνται σε κάποια ταινία εκτροπής σε κομβικό σημείο. Η ιδιαίτερη αναφορά στο κριτήριο αυτό γίνεται λόγω του ότι το δείγμα γαιάνθρακα που λαμβάνεται και αναλύεται από την ταινία εκτροπής επηρεάζεται σημαντικά από τον τρόπο εκτροπής της ταινίας, δηλαδή ενδέχεται ο κίνδυνος της μη αντιπροσωπευτικής λήψης δείγματος προς το σύνολο του μεταφερόμενου γαιάνθρακα.

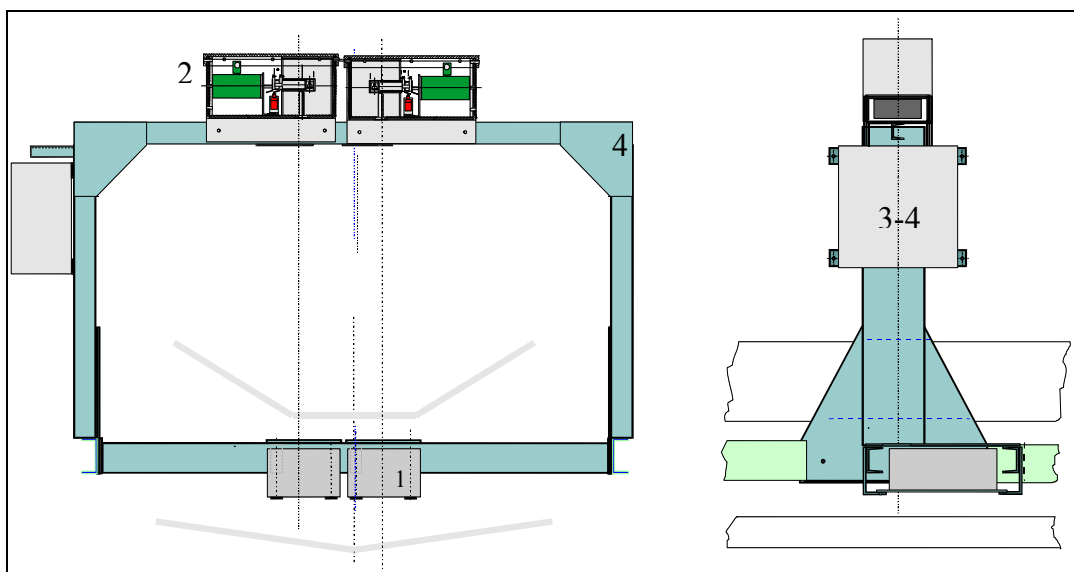
#### 2.4.Περιγραφή του αναλυτή που εγκαταστάθηκε στο Λ.Κ. Μεγαλόπολης

Η ανάγκη για συνεχή παρακολούθηση της ποιότητας του εξορυσσόμενου λιγνίτη, του οποίου η ποιότητα παρουσιάζει σημαντική διακύμανση, ώθησε την ΔΕΗ να προβεί στην εγκατάσταση *on line* αναλυτή στις κύριες μεταφορικές ταινίες καθώς και στις αυλές του ορυχείου της Μεγαλοπόλεως. Η εγκατάσταση του πρώτου αναλυτή πραγματοποιήθηκε το 1999 – 2000 στην ταινία με την κωδική ονομασία K37. Το Ramm ( Radiometric Ash & Mass Measurement ) είναι η εμπορική ονομασία του συστήματος ανάλυσης της ποιότητας γαιάνθρακα που εγκαταστάθηκε. Χρησιμοποιεί ραδιενεργό ακτινοβολία για συνεχή παρακολούθηση της περιεχόμενης τέφρας και της μεταφερόμενης ποσότητας. Η αρχή της λειτουργίας του βασίζεται στην τεχνική της μετάδοσης ακτινοβολίας διπλής ενέργειας η οποία έχει αναφερθεί. Το σύστημα αυτό έχει τροποποιηθεί έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις μιας εκμετάλλευσης λιγνίτη όπως αυτή του λιγνιτικού κέντρου Μεγαλοπόλεως. Η τροποποίηση αφορά την προσθήκη μιας δεύτερης συσκευής εκπομπής ακτινών γ στην άκρη της μεταφορικής ταινίας. Είναι η τροποποίηση που έχει αναφερθεί για κακής ποιότητας γαιάνθρακες. Η εταιρία που το κατασκεύασε είναι η ANATEC και το κόστος του είναι περίπου 75.000 ευρώ. Παρακάτω ακολουθεί παρουσίαση του αναλυτή, όσον αφορά τις επιμέρους μονάδες που τον αποτελούν, αξιολόγηση του και επισήμανση των αδύνατων σημείων του.

### 2.4.1. Τα επιμέρους τμήματα του αναλυτή

Το RAMM αποτελείται από δύο πηγές εκπομπής ραδιενεργού ακτινοβολίας  $\text{Am}^{241}$  και  $\text{Cs}^{137}$  οι οποίες τοποθετούνται πάνω από τη μεταφορική ταινία καθώς και από ένα δέκτη του οποίου το κύριο μέρος είναι ένας κρύσταλλος NaI. Επίσης πάνω στη μεταφορική ταινία βρίσκεται μια μικρή μονάδα αξιολόγησης δεδομένων ( υπολογιστής μικρής ισχύος 3\*86 ) καθώς και ένα μόντεμ για ασύρματη επικοινωνία με τον πύργο ελέγχου. Συνοπτικά το σύστημα αποτελείται από :

1. Ένα δέκτη
2. Μια πηγή ακτινών
3. Μια μονάδα αξιολόγησης
4. Ένα πλαίσιο υποστήριξης
5. Ένα μόντεμ
6. Μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας και ελέγχου
7. Ένα Φορητός υπολογιστής για επιτόπου ρυθμίσεις και φορητός μετρητής της ραδιενεργού ακτινοβολίας



Εικόνα 2.8 : Σχηματική αναπαράσταση του αναλυτή

Οι δύο πηγές ακτινοβολίας είναι τοποθετημένες σε ένα πλαίσιο χάλυβα το οποίο είναι κατάλληλα προσαρμοσμένο πάνω στη μεταφορική ταινία. Το πλαίσιο έχει διαστάσεις 200 mm και βάρος περίπου 150 kg. Οι πηγές τοποθετούνται στην κορυφή του πλαισίου με τέτοια διάταξη έτσι ώστε ο ανιχνευτής, ο οποίος βρίσκεται κάτω από τη ταινία μεταφοράς να έχει τη μέγιστη δυνατή έκθεση στην εκπεμπόμενη ακτινοβολία.

Οι πηγές ακτινοβολίας είναι τοποθετημένες πάνω από τη μεταφορική ταινία όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8. Βρίσκονται μέσα σε κιβώτιο το οποίο διαθέτει προστατευτικό περίβλημα 60 mm μολύβδου για την προστασία από την ακτινοβολία. Το κιβώτιο αυτό φέρει αυτόματο μηχανισμό που κλείνει την έξοδο των ακτινών καθώς επίσης απομονώνει και από την παροχή ρεύματος. Τα χαρακτηριστικά των πηγών ακτινοβολίας φαίνονται στον πίνακα 2.5. Η μορφή των πηγών διακρίνεται στο σχήμα 2.9 όπου η ( α ) αναφέρεται στο Cs<sup>137</sup> και η ( β ) στο Am<sup>241</sup>.



Εικόνα 2.9 : Σχηματική αναπαράσταση της μορφής των δύο πηγών

Πίνακας 2.5 : Χαρακτηριστικά στοιχεία των πηγών παραγωγής της ακτινοβολίας του αναλυτή

ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΣ ΠΗΓΗ	ΜΟΡΦΗ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ [ KeV ]	ΧΡΟΝΟΣ ΗΜΙΖΩΗΣ ( χρόνια )	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ( χρόνια )
Cs <sup>137</sup>	Σβώλοι κεραμικού Κεσίου	662	30,2	15
Am <sup>241</sup>	Κεραμικό σμάλτο	59,5	433	15

Το σύστημα ανίχνευσης αποτελείται από μια μεταλλική θήκη στην οποία περιέχονται οι δύο ανιχνευτές σπινθηρισμού που είναι θερμικά μονωμένοι. Οι ανιχνευτές αποτελούνται από κρυστάλλους NaI διαστάσεων 1,5'' \* 1,5''. Η θήκη χρησιμεύει στην προστασία από μηχανικές παρεμβάσεις ( χτυπήματα ,πτώση κα. ). Ο ανιχνευτής φαίνεται στο σχήμα 2.10. Η λειτουργία του συστήματος ανίχνευσης βασίζεται στο γεγονός ότι όταν διαπερνάται ο κρύσταλλος από την μειωμένη ακτινοβολία γ αντιδρά ελευθερώνοντας ένα ηλεκτρόνιο το οποίο προσκρούει σε μια πλάκα ( scintillation probe ) δημιουργώντας ένα σπινθήρα ανάλογο της ενέργειας της ακτινοβολίας. Με τον τρόπο αυτό μετατρέπεται η ραδιενεργός ακτινοβολία σε ηλεκτρικό παλμό που μπορεί να αναλυθεί.

Η μονάδα αξιολόγησης εξυπηρετεί το σκοπό να καταγράφει του ηλεκτρικούς παλμούς του ανιχνευτή , να αξιολογεί τεχνικά τις μετρήσεις και να διασφαλίζει την επικοινωνία με την κύρια μονάδα επεξεργασίας στον πύργο ελέγχου. Ο υπολογιστής διαθέτει μονάδα επεξεργασίας τύπου MSC i386EX.



**Εικόνα 2.10 :** Το σύστημα ανίχνευσης

Η μονάδα αξιολόγησης είναι υπεύθυνη για τη διάκριση των δύο ενεργειακών επιπέδων των εκπεμπόμενων ακτινοβολιών και να καταγράφει το μέγεθος της ενέργειας μετρώντας τους ηλεκτρικούς παλμούς των ανιχνευτών. Διαθέτει αναλογικές και ψηφιακές μονάδες εξόδου / εισόδου καθώς επίσης και σύστημα ασφαλείας για προστασία από πτώση τάσης. Επίσης δίνει τη δυνατότητα να σταματήσει η εκπομπή ακτινοβολίας κλείνοντας το κλείστρο ασφαλείας της πηγής με επιτόπου χειρισμό (διαθέτει ειδικό διακόπτη) για λόγους ασφαλείας και ρύθμισης των παραμέτρων του οργάνου. Η μονάδα επεξεργασίας τοποθετείται στο πλαϊνό μέρος της κατασκευής έδρασης του συστήματος ( σχήμα 2.11 ).

Ο υπολογιστής στον πύργο ελέγχου είναι ένας τυπικός ηλεκτρονικός υπολογιστής ο οποίος είναι εφοδιασμένος με το λειτουργικό πρόγραμμα που υπολογίζει τις στιγμιαίες τιμές της περιεχόμενης τέφρας και της διερχόμενης ποσότητας λιγνίτη από τα δεδομένα που λαμβάνει από τη μονάδα αξιολόγησης. Επίσης το πρόγραμμα αυτό δίνει και άλλες δυνατότητες οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω ξεχωριστά.

Η μεταφορά των δεδομένων στον πύργο ελέγχου εξασφαλίζεται με τη χρήση ενός modem ( τύπου SATELLINE - 3AS ). Για αποστάσεις αρκετά μεγάλες ( >10 Km ) συνήθως χρησιμοποιούνται ενδιάμεσοι σταθμοί αναμετάδοσης. Η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων είναι 19,2 Kb / s. Η διακριτοποίηση των καναλιών μετάδοσης είναι ανά 25 ή 12,5 kHz και η χρησιμοποιούμενη συχνότητα 429,5 M Hz.



**Εικόνα 2.11 :** Η μονάδα αξιολόγησης που στην μεταφορική ταινία μαζί με τον αναλυτή όπου :1 η μονάδα τύπου MSC, 2 το κλειδί χειρισμού του κλείστρου ασφαλείας, 3 ο θερμοστάτης, 4 η μονάδα θέρμανσης και 5 οι ασφάλειες προστασίας από υψηλή τάση

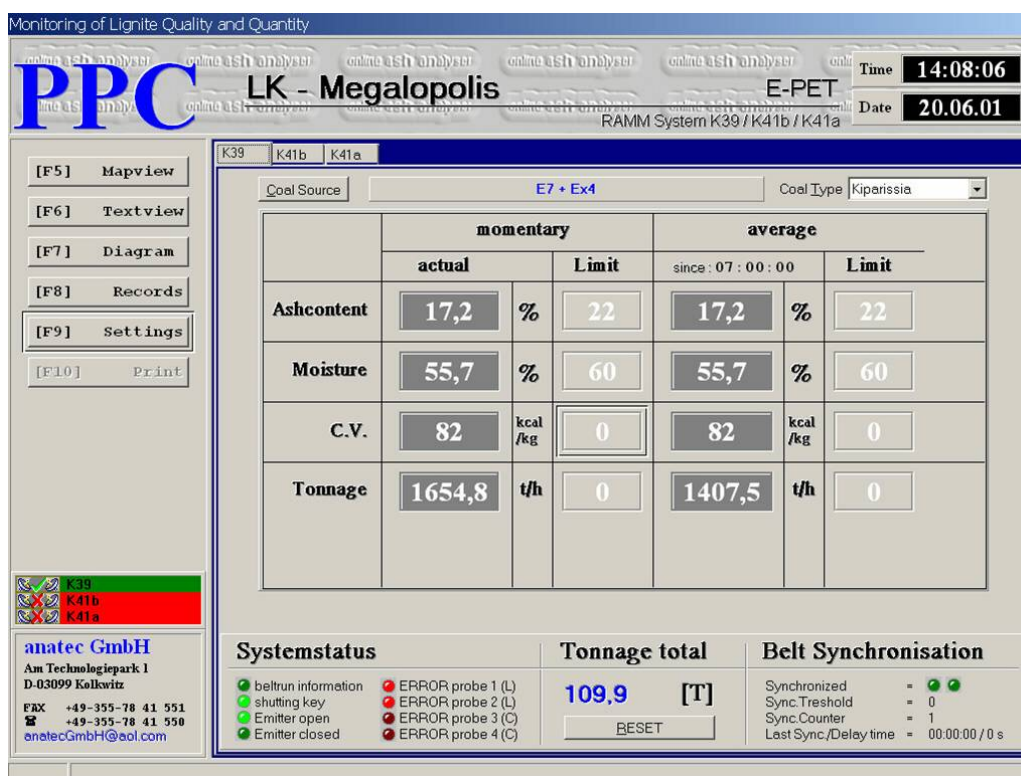
#### 2.4.2. Το πρόγραμμα λήψης, επεξεργασίας και διαχείρισης των μετρήσεων του αναλυτή

Το λειτουργικό σύστημα είναι υπεύθυνο για να γίνεται η μετατροπή των δεδομένων στις επιθυμητές παραμέτρους ‘περιεχόμενη τέφρα’ ‘ποσότητα ανά ώρα’ ‘περιεχόμενη υγρασία’ και ‘θερμογόνος δύναμη’. Επίσης προσφέρει ενδείξεις για την επικοινωνία των αναλυτών μέσω του modem τον πύργο ελέγχου. Η επίβλεψη γίνεται μέσω των μενού του λειτουργικού προγράμματος map view, text view και diagram. Στο πρώτο μενού διακρίνονται οι μεταφορικές ταινίες που είναι εγκατεστημένος ο αναλυτής καθώς και οι τιμές των παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο. Το μενού text view φαίνεται στην εικόνα 2.12. Εδώ διακρίνονται οι παράμετροι σε μία μεταφορική

ταινία. Οι παράμετροι δίνονται σε στιγμιαία και μέσου όρου μορφή σε αντιπαραβολή με τα ανώτερα επιτρεπτά όρια. Και τα τρία μενού έχουν σήμανση συναγερμού όταν ξεπερνά κάποια παράμετρος την ανώτατη τιμή της όπως επίσης και όταν κατέρχεται του κατώτατου ορίου.

Στο μενού Diagram διακρίνεται η διακύμανση μιας παραμέτρου σε σχέση με το χρόνο σε σχέση με τα όρια που έχουν τεθεί για τη συγκεκριμένη παράμετρο. Στον πύργο ελέγχου συνήθως χρησιμοποιείται το map view για τη συνολική παρακολούθηση της ποιότητας που μεταφέρεται στις επιλεγμένες ταινίες. Τα υπόλοιπα δύο μενού χρησιμοποιούνται για επαλήθευση των τιμών και για μελέτη της ποιότητας σε σχέση με το μέτωπο εξόρυξης συνήθως στο τέλος κάθε βάρδιας.

Υπάρχει η δυνατότητα να γίνουν πολλών ειδών ρυθμίσεις στα παραπάνω μενού ανάλογα με τις απαιτήσεις της εταιρίας. Υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής αρχείου τιμών για κάθε παράμετρο καθώς επίσης και η δυνατότητα ανάκτησης δεδομένων. Επίσης κρατά αρχείο ημέρας με τιμές ανά 30 sec και ανά 1 λεπτό. Τα αρχεία αυτά είναι συμβατά με το πρόγραμμα επεξεργασίας Excel. Δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραμέτρων του αναλυτή ( μαθηματικές σταθερές μόνο ) έτσι ώστε να βελτιστοποιείται η λειτουργία του.



Εικόνα 2.12 : Άποψη του μενού text view του λειτουργικού προγράμματος του Ramm

### 2.4.3 Διαδικασία υπολογισμού της τέφρας

Ο διερχόμενος λιγνίτης περνά διαμέσου δύο παράλληλων ακτινοβολιών γ διαφορετικού επιπέδου ενέργειας η καθεμία. Μια είναι χαμηλού επιπέδου (  $\text{Am}^{241}$  με ενέργεια 60 KeV ) και η άλλη υψηλού επιπέδου (  $\text{Cs}^{137}$  με ενέργεια 660 KeV ). Η ακτινοβολία γ μειώνεται από τρεις παραμέτρους οι οποίες εξαρτώνται από τη φύση του υλικού που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι λιγνίτης και είναι :

- Το συντελεστής απορρόφησης μάζας  $\mu$  ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )
- Το ύψος της στρώσης του λιγνίτη πάνω στη μεταφορική ταινία  $h$  ( cm )
- Την πυκνότητα  $\rho$  του λιγνίτη ( $\text{g} / \text{cm}^2$  )

Η εξίσωση που συνδέει τους παράγοντες αυτούς είναι η :

$$\frac{I_0}{I} = e^{-(\mu * \rho * h)} \quad (2.5)$$

Όπου :  $I_0$ , η αρχική εκπεμπόμενη ενέργεια και

$I$ , η μειωμένη εκπεμπόμενη ενέργεια

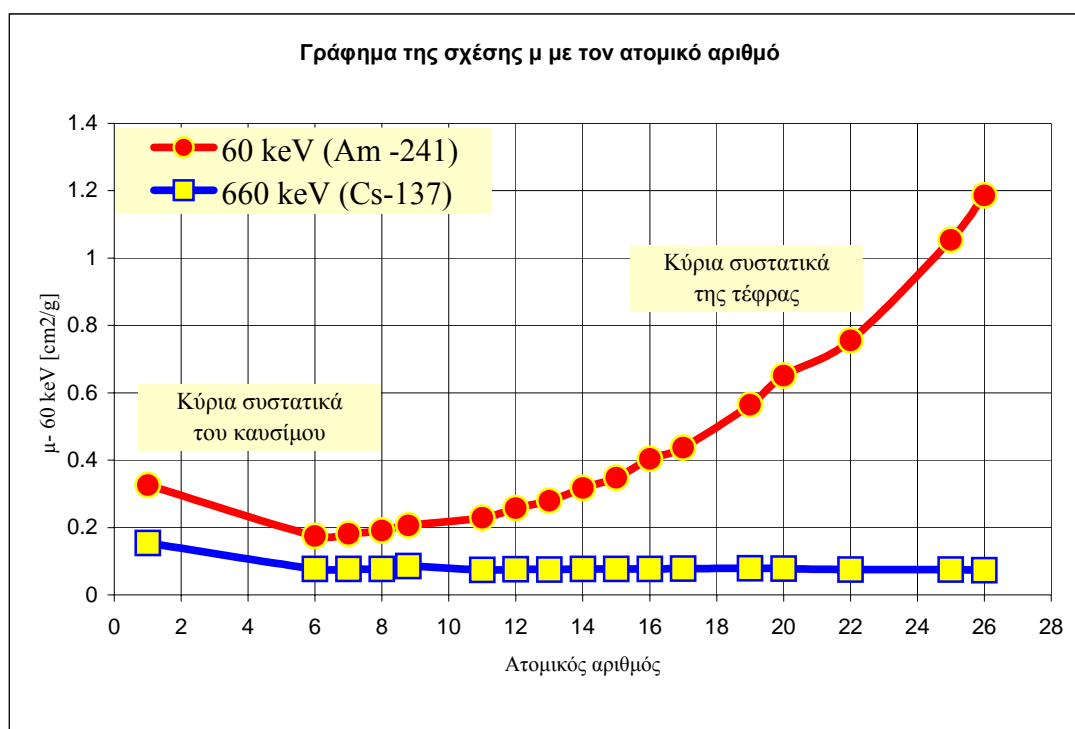
Τα  $\mu$ ,  $\rho$  και  $h$  αναφέρονται πιο πάνω

Ο συντελεστής απορρόφησης μάζας  $\mu$  είναι το βασικό μετρούμενο μέγεθος για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης τέφρας. Μετρώντας τη μείωση της ενέργειας της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας λαμβάνονται πληροφορίες για το σύνολο του γινομένου  $\mu * d * H$ . Έτσι είναι αναγκαία η απαλοιφή του ύψους του λιγνίτη πάνω στη μεταφορική ταινία και της πυκνότητας του. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται και δύο πηγές ακτινοβολίας. Μία χαμηλής ενέργειας και μια υψηλής. Στην πρώτη περίπτωση η ενέργεια μειώνεται με τον ίδιο τρόπο και για τα τρία μετρούμενα μεγέθη. Στη δεύτερη περίπτωση όμως η ενέργεια μειώνεται περισσότερο από το ποσό των  $\rho * h$ . Ο συντελεστής απορρόφησης μάζας  $\mu_{\text{Cs}}$  επηρεάζει σε πολύ μικρότερο βαθμό τη μείωση της ενέργειας της ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα ο κύριος παράγοντας για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης τέφρας είναι ο  $\mu_{\text{Am}}$ .

Δεχόμενοι αυτήν την παραδοχή ο διερχόμενος λιγνίτης διαπερνάται από δύο ακτινοβολίες διαφορετικής ενέργειας η οποίες δίνουν συμπληρωματικές πληροφορίες με αποτέλεσμα τον προσδιορισμό ξεχωριστά των μετρούμενων μεταβλητών.

Κάθε χημικό στοιχείο που περιέχει ο λιγνίτης μειώνει με διαφορετικό τρόπο την ακτινοβολία που τον διαπερνά. Συγκεκριμένα όσο μεγαλύτερο ατομικό αριθμό έχει ένα στοιχείο τόσο περισσότερο μειώνει την διερχόμενη ακτινοβολία ( σχήμα 2.13 ). Το RAMM αναγνωρίζει τον άνθρακα ως μίξη από δύο κύρια συστατικά μόνο. Τέφρα και καύσιμα με νερό.

Η αρχή στην οποία βασίζεται η μέτρηση της τέφρας με την διπλή εκπομπή ενέργειας είναι το μοντέλο 6/12. Σύμφωνα με αυτό θεωρείται ότι τα καύσιμα περιεχόμενα στοιχεία έχουν μέσο ατομικό αριθμό 6. Ο μέσος ατομικός αριθμός των στοιχείων της τέφρας του γαιάνθρακα είναι 12. Το μοντέλο αυτό λειτουργεί αρκετά καλά υπό την προϋπόθεση ότι ο μέσος ατομικός αριθμός 12 δεν μεταβάλλεται σημαντικά. Γίνεται επίσης η παραδοχή ότι η αναλογία των καυσίμων συστατικών και των συστατικών τέφρας είναι σταθερή.



**Εικόνα 2.13 :** Σχέση συντελεστή απορρόφησης  $\mu$  με τον ατομικό αριθμό των στοιχείων του γαιάνθρακα



Ο συντελεστής απορρόφησης μάζας του λιγνίτη υπολογίζεται από τους επιμέρους συντελεστές απορρόφησης μάζας του καύσιμου μέρους και της τέφρας. Αυτό είναι δυνατό εφόσον είναι γνωστή η αναλογία τους και υπολογίζεται με βάση τη σχέση :

$$\mu_{\lambda} = m_{\tau} * \mu_{\tau} + m_{\kappa+\nu} * \mu_{\kappa+\nu} \quad (2.6)$$

$$\text{και } m_{\tau} + m_{\kappa+\nu} = 1 \quad (2.7)$$

Όπου:  $\mu_{\lambda}$  ο συντελεστής απορρόφησης μάζας που μετρά ο αναλυτής

$\mu_{\tau}$  και  $\mu_{\kappa+\nu}$  οι επιμέρους συντελεστές απορρόφησης μάζας που αφορούν τα στοιχεία της τέφρας και τα στοιχεία που αποτελούν το καύσιμο και το νερό αντίστοιχα

$m_{\tau}$  και  $m_{\kappa+\nu}$  οι αναλογίες μάζας των συστατικών της τέφρας και του καυσίμου μαζί με το νερό αντίστοιχα

Εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι το  $\mu_{\lambda}$  αναφέρεται στη μέτρηση του αναλυτή ως προς το Am το οποίο συντίθενται από τα επιμέρους  $\mu_{\tau}$  και  $\mu_{\kappa+\nu}$ . Το  $\mu_{\lambda}$  συνδέεται με το λόγο της αρχικής προς την μειωμένη ένταση του Am με τη σχέση 2.5 η οποία εφαρμόζεται για το συγκεκριμένο στοιχείο. Οπότε με λογαρίθμιση της 2.5 :

$$\frac{\ln(I_o)}{\ln(I)} = \mu_{Am} \rho h \quad (2.8)$$

$$\mu_{Am} = \frac{1}{\rho h} \frac{\ln(I_o)}{\ln(I)}$$

Με συνδυασμό των σχέσεων 2.6 και 2.7 προκύπτει ότι :

$$m_{\tau} = \left[ \frac{\mu_{\kappa+\nu}}{\mu_{\tau} - \mu_{\kappa+\nu}} \right] + \left[ \frac{1}{\mu_{\tau} - \mu_{\kappa+\nu}} \right] * \mu_{\lambda} \quad (2.9)$$

$$\text{και τελικά } m_{\text{τέφρα}} = C_1 + C_2 * \mu_{\text{λιγνίτη}} \quad (2.10)$$

όπου :  $C_1$  και  $C_2$  είναι τα κλάσματα στο δεύτερο σκέλος της 2.9 αντίστοιχα

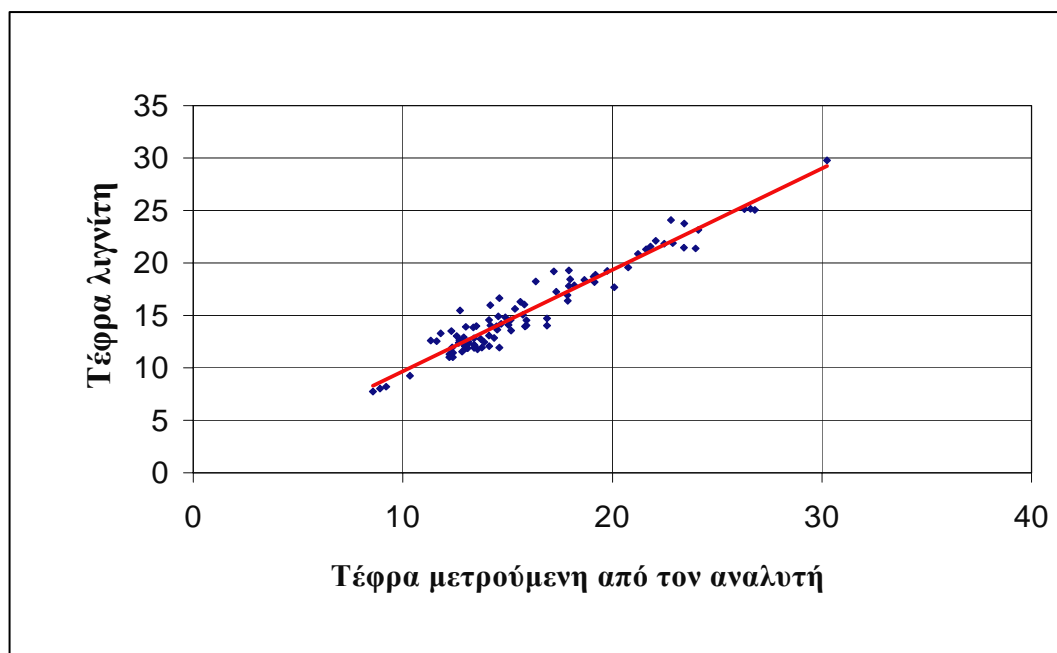
#### 2.4.4 Ρυθμίσεις παραμέτρων και ακρίβεια μετρήσεων

Η ρύθμιση των παραμέτρων του αναλυτή πραγματοποιήθηκε με δύο κύκλους δοκιμών. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν η στιγμιαία λήψη δειγμάτων από αυτόματο δειγματολήπτη, προσαρμοσμένο πάνω στη μεταφορική ταινία, ανά δύο λεπτά. Η διάρκεια της δοκιμής ήταν 30 λεπτά. Σε ταινία με ρυθμό μεταφοράς 1600 ton / hr. Έτσι η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε συνολικό δείγμα 800 ton και τα 15 δείγματα που συλλέχθηκαν ομογενοποιήθηκαν ανά πέντε ( συνολικά τρία δείγματα ). Πραγματοποιήθηκε ανάλυση και σύγκριση των τιμών με τη μέση τιμή των μετρήσεων του αναλυτή στο αντίστοιχο δεκαπεντάλεπτο.

Οι δοκιμές περιλαμβάνουν στατική και δυναμική μελέτη. Ως δυναμική μελέτη του αναλυτή θεωρείται η μέθοδος που περιγράφηκε παραπάνω. Ως στατική θεωρείται η μέθοδος που παρασκευάζονται τα δείγματα με ξεχωριστή δειγματοληψία απευθείας από το μέτωπο. Η μέθοδος αυτή προβλέπει την κατασκευή 8 δειγμάτων που θα αναλυθούν από δύο χημικά εργαστήρια και οι τιμές τους θα συγκριθούν με αυτές του αναλυτή.

Τα κριτήρια που έπρεπε να τηρεί ο αναλυτής για να εγκατασταθεί ήταν το 80 % του συνολικού δείγματος να μην αποκλίνει περισσότερο από  $\pm 1,5$  % και το υπόλοιπο 20 % περισσότερο από  $\pm 3$  %. Το κριτήριο ισχύει και τις δύο μεθόδους που πραγματοποιήθηκαν. Επιπρόσθετα ένα κριτήριο για τη δυναμική μελέτη είναι η απόκλιση της μέσης τιμής των μετρήσεων ανά δοκιμή προς τη μέση τιμή του αναλυτή να είναι  $\pm 1,5$  %.

Η ακρίβεια των μετρήσεων του αναλυτή Ramm κρίθηκε ικανοποιητική και σίγουρα πιο αξιόπιστη από τις προηγούμενες μεθόδους παρακολούθησης της ποιότητας του εξορυσσόμενου λιγνίτη. Σύμφωνα με τα δεδομένα της εταιρίας που κατασκευάζει τον αναλυτή η ακρίβεια αυτή κυμαίνεται σε εξαιρετικά επίπεδα. Συγκεκριμένα η τυπική απόκλιση συγκεντρωτικά των μετρήσεων του αναλυτή είναι της τάξης του  $\pm 1,1$ %. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα ( Εικόνα 2.15, ) δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στις μετρήσεις της τέφρας που έγιναν στο χημείο και αυτές του αναλυτή ( Anatec GmbH, ).



**Εικόνα 2.14 :** Συσχέτιση τέφρας χημείου και μετρούμενης από το Rammer κατά την αρχική διαδικασία βαθμονόμησης του

Εκτός των δοκιμών και των μετρήσεων που έγιναν από τη ΔΕΗ σε συνεργασία με την κατασκευάστρια εταιρία του on line αναλυτή, εκπονήθηκε επιπλέον μελέτη με δείγματα που προέρχονταν από την περιοχή της Πτολεμαΐδας. Ο λιγνίτης που προέρχεται από την Πτολαιμαΐδας διαφέρει από αυτόν της λεκάνης Μεγαλόπολης. Τα αποτελέσματα της μελέτης αναφέρονται για τη δημιουργία μιας πληρέστερης εικόνας του on line αναλυτή, των δυνατοτήτων του και των προβλημάτων που ενδεχομένως ( ανάλογα και με τον τύπο λιγνίτη που εξετάζεται ) αντιμετωπίζει.

Η μελέτη αφορούσε τη λήψη δειγμάτων, τη μέτρηση του ποσοστού τέφρας του από το χημείο και τον αναλυτή, την ορυκτολογική ανάλυση της τέφρας και τέλος τη συσχέτιση των ορυκτολογικών φάσεων με το σφάλμα του αναλυτή. Η στατιστική ανάλυση της σύστασης της τέφρας των δειγμάτων έδειξε ότι όλες οι ορυκτολογικές φάσεις που περιέχονται στην τέφρας παρουσιάζουν μέτρια έως υψηλή μεταβλητότητα. Η σχετική απόκλιση ( ποσοστό της τυπικής απόκλισης της μέσης τιμής ) ποικίλει από την τιμή 24% για τον ασβεστόλιθο σε 85% για τον ασβεστίτη. Η υψηλή διακύμανση στη σύσταση της τέφρας που αποτελείται από ορυκτά πλούσια σε Ca ( όπως ο ασβεστίτης ) επηρεάζουν αρκετά την ακρίβεια του αναλυτή ( Galetakis & Alevizos 2004). Διευκρινίζεται ότι ο μέσος ατομικός αριθμός των στοιχείων των δειγμάτων που ελήφθησαν για τις συγκεκριμένες μετρήσεις και συσχετίσεις δεν έχει

μεγάλη διακύμανση. Στην πραγματικότητα όμως, συγκεντρώσεις στοιχείων με μεγάλο ατομικό αριθμό συναντώνται σχετικά συχνά, σε αντίθεση με τις παραπάνω μετρήσεις, πράγμα που σημαίνει ότι η επιρροή της διακύμανσης της σύστασης της τέφρας στην ακρίβεια της μέτρησης του αναλυτή ενδεχομένως να είναι μεγαλύτερη.

### 3. Δειγματοληψία και εργαστηριακές μετρήσεις

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθεί η μέθοδος με την οποία πραγματοποιήθηκε η συλλογή των δειγμάτων καθώς και η σειρά των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν για την εκτίμηση της διακύμανσης της ποιότητας του λιγνίτη και των ενδιάμεσων τύπου των αγόνων που περιέχονται στον εξορυσσόμενο λιγνίτη για τον υπολογισμό της ακρίβειας της μέτρησης του on line αναλυτή.

#### 3.1. Δειγματοληψία

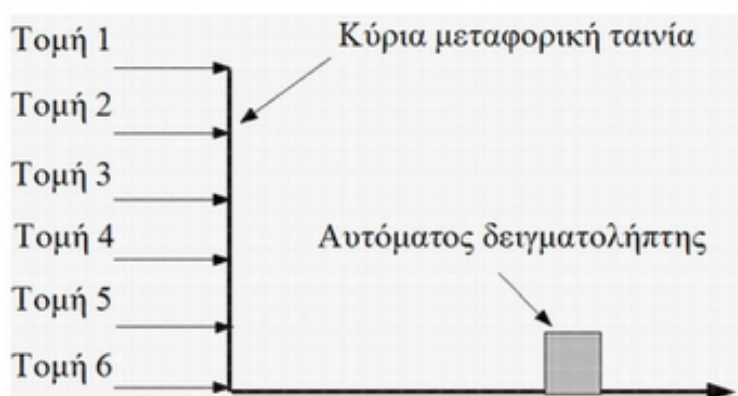
##### 3.1.1. Μέθοδος Δειγματοληψίας

Η λήψη των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε στο ορυχείο του Χωρεμίου την άνοιξη ( Απρίλιος - Μάιος ) του 2004. Οι τομές που ελήφθησαν τα δείγματα επιλέχθηκαν με κύριο κριτήριο την εκμεταλλευσιμότητα και την δυνατότητα πρόσβασης και λήψης του δείγματος. Είναι σημαντικό στην τομή από την οποία λαμβάνεται κάποιο δείγμα να πραγματοποιείται εκμετάλλευση διότι η σύσταση του λιγνίτη του δείγματος πρέπει να ανταποκρίνεται στις σημερινές συνθήκες εκμετάλλευσης. Είναι γνωστό ότι η σύσταση του λιγνίτη μεταβάλλεται όσο προχωρεί η εκμετάλλευση σε μια τομή λόγω των διαφορετικών συνθηκών δημιουργίας του κοιτάσματος εντός της λεκάνης ιζηματογένεσης. Έτσι ένα δείγμα από μια τομή που έχει σταματήσει η εκμετάλλευση οριστικά δεν αντιπροσωπεύει το λιγνίτη που εξορύσσεται και μετράται από τον αναλυτή.

Η μέθοδος δειγματοληψίας καθορίστηκε σε συνεργασία με το μηχανικό και το γεωλόγο της εταιρείας. Ο τρόπος λήψης του δείγματος βασίστηκε στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κάδου του εκσκαφέα. Το πλάτος του κάδου είναι 1,5 μέτρο περίπου και το ύψος δεν ξεπερνά τα 3 μέτρα. Με βάση τα παραπάνω στοιχεία η λήψη του δείγματος πραγματοποιείται μέσα σε ένα νοητό ορθογώνιο με διαστάσεις  $1,5 \times 3$  μέτρα. Η συγκεκριμένη μέθοδος στοχεύει στη μείωση της διακύμανσης ως προς τη σύσταση του αγόνου στο ύψος της βαθμίδας. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται ο αριθμός των διαφορετικών αγόνων, καθώς και η διαφοροποίηση στη σύσταση του ίδιου αγόνου, στο ίδιο δείγμα. Με τον τρόπο αυτό διακρίνεται η επιρροή στην ακρίβεια της μέτρησης του αναλυτή, του συγκεκριμένου τύπου του άγονου υλικού. Επιπρόσθετα διασφαλίζεται και η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος αφού περιέχει λιγνίτη και άγονο υλικό τα οποία θα λαμβάνονταν από τον εκσκαφέα με μία

περιστροφή του κάδου σε ένα συγκεκριμένο ύψος. Το δείγμα αποτελεί με τον τρόπο αυτό μια μικρογραφία του υλικού το οποίο λαμβάνεται από τον εκσκαφέα και οδεύει προς καύση στον ΑΗΣ.

Η δειγματοληψία την οποία θα πραγματοποιούσε ο αυτόματος δειγματολήπτης απορρίφθηκε λόγω της συγκεκριμένης παρασκευής που χρειάζονταν τα δείγματα καθώς και τη μείωση της ποσότητας του μεταφερόμενου λιγνίτη και κατά συνέπεια της παραγωγής ενέργειας. Όπως αναφέρεται και στην παρουσίαση του αναλυτή ο ρυθμός μεταφοράς μειώθηκε σε 1600 ton/hr όταν λήφθηκαν δείγματα για τη ρύθμιση του αναλυτή. Επίσης στον αυτόματο δειγματολήπτη δεν παρέχεται δυνατότητα μακροσκοπικής παρατήρησης του αγόνου που περιέχεται στο λιγνίτη. Επιπρόσθετα δεν είναι δυνατός ο έλεγχος του αριθμού των διαφορετικών τύπων αγόνου υλικού ή ο περιορισμός του σε κάθε δείγμα και συνέπεια αυτού η δυσκολότερη διάκριση του αγόνου που επηρεάζει περισσότερο τη μέτρηση του αναλυτή (εικόνα 3.1).



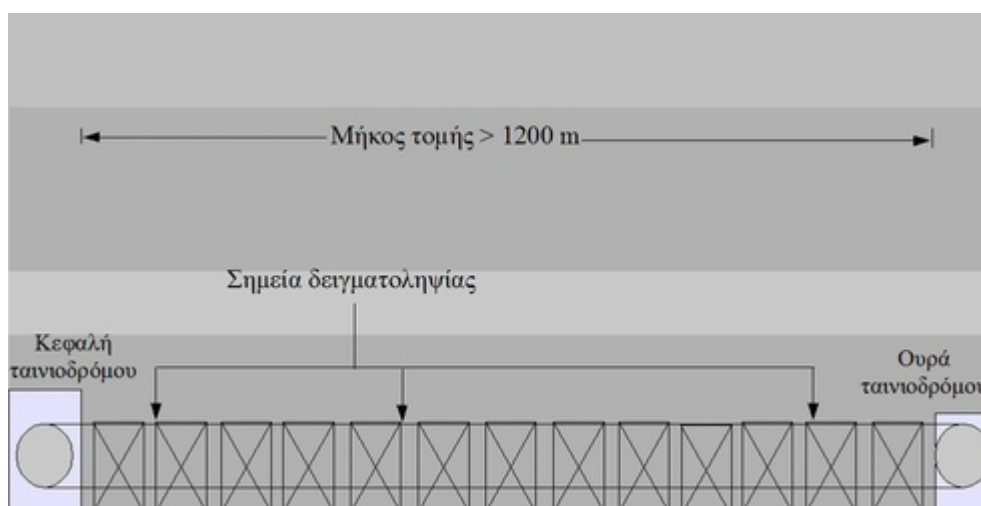
**Εικόνα 3.1 :** Θέση αυτόματου δειγματολήπτη πάνω στην κύρια μεταφορική ταινία

Τα δείγματα ελήφθησαν από τρία σημεία σε κάθε τομή με σκοπό να γίνει παρατήρηση της διακύμανσης της ποιότητας του λιγνίτη κατά μήκος της τομής. Η δειγματοληψία ξεκινούσε στη κεφαλή περίπου της μεταφορικής ταινίας, στη μέση λαμβανόταν ακόμα ένα ( εκτός αν μεσολαβούσε κάποια εμφανής εναλλαγή της στρώσης και της ποιότητας του λιγνίτη ) και στην ουρά το τελευταίο. Η διαδικασία φαίνεται στην εικόνα 3.2. Το συνολικό βάρος του κάθε δείγματος είναι περίπου 8,5 κιλά. Το κάθε δείγμα χωρίζεται σε τέσσερα μικρότερα που στο καθένα θα αυξάνεται το ποσοστό αγόνου, ξεκινώντας από ‘καθαρό’ λιγνίτη. Καθαρός λιγνίτης θεωρείται ο

λιγνίτης που με μακροσκοπική παρατήρηση δεν παρουσιάζει κάποια εμφανή πρόσμιξη , πχ αργιλική κ.α.

Το πρώτο δείγμα από τα τέσσερα στα οποία χωρίζεται έχει βάρος περίπου 2,2 – 2,3 kg και αποτελείται από λιγνίτη χωρίς να προστεθεί επιπλέον ποσότητα αγόνου( κωδικός δείγματος No 0 ). Το δεύτερο έχει το ίδιο βάρος μόνο που έχει 10 % άγονο υλικό στο σύνολο της μάζας του (κωδικός δείγματος No 1 ). Τα επόμενα δύο δείγματα έχουν το ίδιο βάρος μόνο που το ποσοστό αγόνου αυξάνεται σταδιακά και φθάνει το 40 % ( κωδικός δείγματος No 2 & No 3 ).

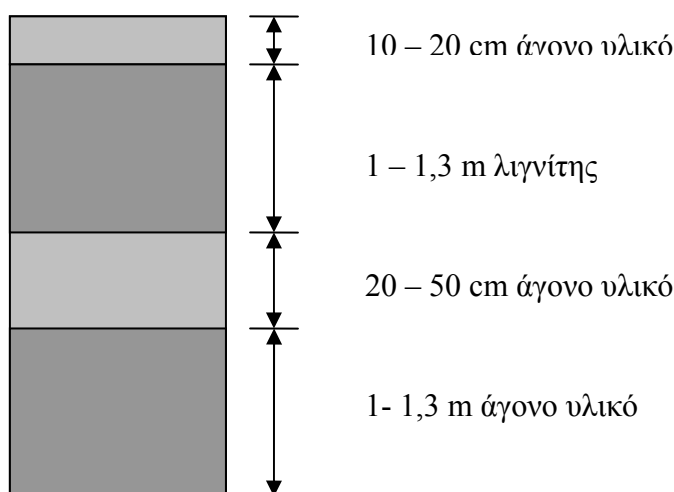
Η προσθήκη του αγόνου σε ποσοστό για τη δημιουργία του τελικού σύνθετου δείγματος όταν υπήρχαν παραπάνω του ενός τύπου άγονα υλικά πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη το πάχος του κάθε στρώματος. Με τον τρόπο αυτό ο κάθε διαφορετικός τύπος αγόνου επηρεάζει την ποιότητα του λιγνίτη του δείγματος ανάλογα με το ποσοστό που συμμετέχει στο κοίτασμα του λιγνίτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αποφεύγονται εσφαλμένες εκτιμήσεις κατά τη μέτρηση της τέφρας, λόγω ενός τύπου αγόνου που απορροφά μεγάλη ποσότητα ακτινοβολίας γ, ενώ βρίσκεται σε ελάχιστη ποσότητα στην πραγματικότητα και δεν είναι αυτό που ουσιαστικά προκαλεί την εσφαλμένη μέτρηση στον αναλυτή. Τα άγονα που χρησιμοποιήθηκαν ως πρόσμιξη είναι αργιλικά , μάργαϊκά και ασβεστιτικά υλικά καθώς και σαπροπηλοί.



**Εικόνα 3.2 :** Σχηματική παράσταση των σημείων που πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία

### 3.1.2. Περιγραφή των θέσεων δειγματοληψίας και των δειγμάτων

Η πρώτη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 16 / 4 / 04 στην τέταρτη τομή του πεδίου του Χωρεμίου. Οι συντεταγμένες των σημείων δειγματοληψίας δίνονται με τη μορφή : απόσταση από την κεφαλή / ουρά του ταινιοδρόμου και ύψους. Στο συγκεκριμένο δείγμα οι συντεταγμένες είναι 200 m από την κεφαλή και σε υψόμετρο 322 m. Η κωδική ονομασία που έχει το δείγμα είναι E14/1 ( όπου το E αντιστοιχεί στο εκσκαφέα και ο αριθμός 4 στην τομή )



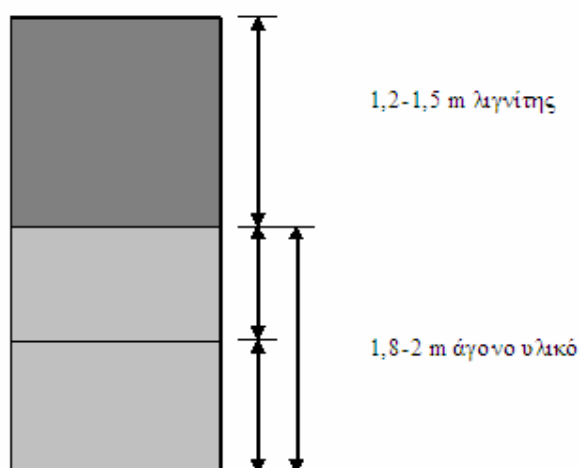
**Εικόνα 3.3 :** Ακολουθίας στρώσεων λιγνίτη – αγόνων στην τέταρτη τομή

Το άγονο που βρίσκεται στην κορυφή της εικόνας 3.3 είναι αρκετά συνεκτικό και εύθρυπτο. Το χρώμα του είναι λευκό έως ανοικτό γκριζο και πρόκειται για ασβεστιτικής σύστασης πέτρωμα. Το άγονο που συναντάται περίπου στη μέση της εικόνας είναι χαλαρά συνδεδεμένο και εύπλαστο. Το χρώμα του είναι ανοικτό έως βαθύ γκρι και πρόκειται για αργιλικής σύστασης πέτρωμα. Ο λιγνίτης που συναντάται έχει σκούρο γκρι έως και μαύρο χρώμα και η εξωτερική του επιφάνεια την ημέρα της δειγματοληψίας ήταν αρκετά ξηρή πράγμα που φανερώνει ότι για μερικές ημέρες δεν είχε υποστεί εκμετάλλευση αυτό το σημείο. Πραγματοποιήθηκε μικρή εκσκαφή περίπου 30- 40 cm κάθετα στην επιφάνεια της τομής έτσι ώστε να μπορεί να



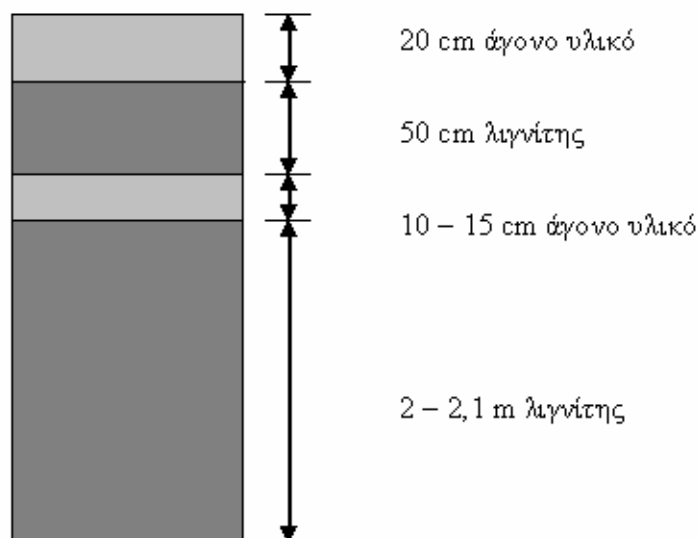
θεωρηθεί ότι ο λιγνίτης έχει τη φυσική του υγρασία και δεν έχει ξηραθεί λόγω της έκθεσής του στην ατμόσφαιρα.

Η λήψη του δεύτερου δείγματος πραγματοποιήθηκε στις 24 - 4 - 04 στην τρίτη τομή του ίδιου πεδίου. Η κωδική ονομασία του δείγματος είναι E13/1. Οι συντεταγμένες του σημείου δειγματοληψίας είναι 250 m από την ουρά του ταινιοδρόμου και σε ύψος 335 m. Ο λιγνίτης που συναντάται χαρακτηρίζεται μέτριας ποιότητας και το χρώμα του είναι σκούρο γκρι. Εδώ η στρώση λιγνίτη ξεκινά από την κορυφή της εικόνας 3.4 και καταλήγει σε άγονο. Το πάχος του στρώματος λιγνίτη είναι 1,2 – 1,5 m που όμως δεν είναι σταθερό αφού δεν παρατηρείται διαφορετική στρώση αγόνου αλλά ομαλή μετάβαση από λιγνίτη σε άγονο υλικό. Το άγονο υλικό είναι αργιλική ιλύς σε ανοικτό γκρι χρώμα. Επίσης σε έξι μέτρα ύψος παρατηρείται μια στρώση του ίδιου αγόνου υλικού πάχους περίπου μισού μέτρου πράγμα που φανερώνει την επανάληψη της στρώσης σε αυτήν την τομή.



**Εικόνα 3.4 :** Ακολουθία στρώσεων λιγνίτη αγόνου στην τρίτη τομή

Στην πέμπτη τομή δεν πάρθηκε κάποιο δείγμα γιατί υπήρχε μεγάλη δυσκολία στην πρόσβαση στο σημείο που υπήρχε κάποια στρώση λιγνίτη ( ήταν περίπου στα 20 m ύψος από το δάπεδο της τομής ) και δε λειτουργούσε κάποιος εκσκαφέας εκεί. Το τρίτο δείγμα κατά σειρά ήταν από την έκτη τομή του πεδίου.

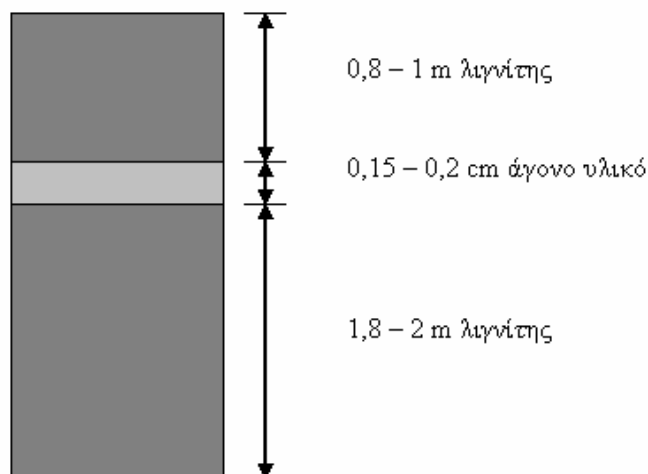


**Εικόνα 3.5 :** Ακολουθία στρώσεων λιγνίτη αγόνου στην έκτη τομή

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 25 - 4 - 04 και η κωδική ονομασία του είναι E16/1. Η ποιότητα του λιγνίτη είναι αρκετά καλή και το χρώμα του είναι σκούρο πορτοκαλί έως τεφρό. Τα άγονα υλικά είναι χρώματος γκρι και σύστασης αργιλικής. Το πάχος των δύο στρώσεων είναι μικρό σε σχέση με το πάχος του λιγνίτη ( 0,1 & 0,2 m τα άγονα και 2 & 0,5 m ο λιγνίτης ). Υπάρχει διαφορά ανάμεσα στις δύο διαφορετικές στρώσεις αγόνων που συναντώνται ως προς το χρώμα και όχι προς τη σύσταση. Οι συντεταγμένες του σημείου δειγματοληψίας είναι 150 m από την ουρά του ταινιοδρόμου και σε υψόμετρο + 281 m.

Εφόσον έχει ληφθεί η πρώτη σειρά δειγμάτων, η οποία πραγματοποιήθηκε με σκοπό να περιγράψει τα στρώματα λιγνίτη που απαντώνται στο πεδίο του Χωρεμίου, λαμβάνεται η δεύτερη σειρά. Αυτή έχει ως σκοπό να περιγράψει τη διακύμανση της σύστασης και της ποιότητας του λιγνίτη ως προς την οριζόντιο ανάπτυξή του κάθε στρώματος. Τρία δείγματα συνολικά από κάθε τομή λήφθηκαν κατά μήκος της τα οποία στη συνέχεια χωρίστηκαν σε τέσσερα το καθένα αυξάνοντας το ποσοστό αγόνου σε κάθε επιμέρους δείγμα όπως περιγράφεται αναλυτικά στην προηγούμενη παράγραφο.

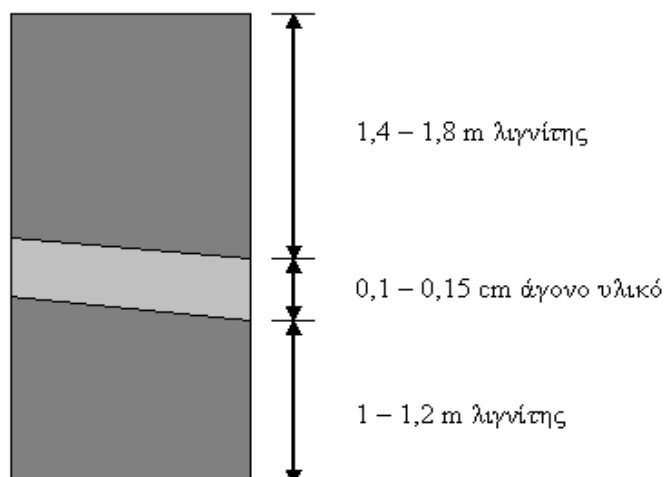
Τα δείγματα που έχουν τον κωδικό 2 μετά την ονομασία του εκσκαφέα που λειτουργούσε στην κάθε τομή έχουν ληφθεί στις 26 - 4 - 04. Το πρώτο ανήκει στην τρίτη τομή και απέχει 1300 m από την ουρά του ταινιοδρόμου και βρίσκεται σε υψόμετρο 335 m. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.6 υπάρχει ένα μικρό στρώμα αγόνου υλικού αργιλικής σύστασης.



**Εικόνα 3.6 :** Δεύτερη σειρά δειγμάτων στην τρίτη τομή ( E13-2 )

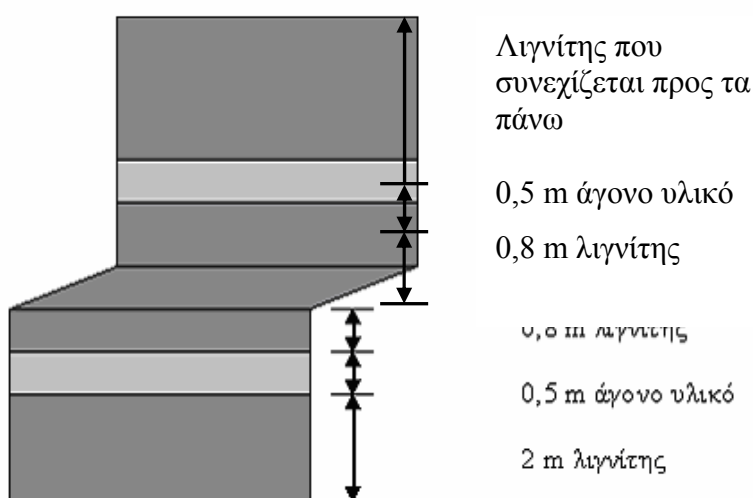
Παρατηρείται μεγάλη διαφορά με το πρώτο δείγμα σε αυτή την τομή όπου το άγονο υλικό ήταν περίπου ίσο σε πάχος στρώματος με το λιγνίτη. Είναι σημαντική η διαφορά αφού από 1 – 1,5 m πάχος άγονου υλικού που εξορύσσει ο κάδος του εκσκαφέα στο δεύτερο σημείο δειγματοληψίας στην ίδια τομή εξορύσσει 0,15 – 0,2 m. Το χρώμα του αγόνου είναι περίπου ίδιο και η διαφορά έγκειται στη συνεκτικότητα του αγόνου που είναι αυξημένη. Ο λιγνίτης δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές στο χρώμα, τη συνεκτικότητα και στην ποιότητα, εκτιμούμενα πάντα βάση οπτικής παρατήρησης και με τη συνεργασία του δειγματολήπτη και του γεωλόγου που παρευρίσκονταν στη διαδικασία δειγματοληψίας.

Το πέμπτο κατά σειρά δείγμα λήφθηκε στην τέταρτη τομή ( E14-2) και απέχει από την ουρά του ταινιοδρόμου 800 περίπου m και βρίσκεται σε υψόμετρο +320 m. Το άγονο που συναντάται είναι ασβεστιτικής σύστασης και έχει πάχος περίπου 0,15 m. Είναι το ίδιο άγονο που συναντάται και στο πρώτο δείγμα μόνο που εδώ γίνεται εμφανής η κλίση του στρώματος της τάξης των  $20^0 - 30^0$  κατακόρυφα σε δυτική διεύθυνση. Γεγονός που δεν έγινε αντιληπτό στο πρώτο δείγμα. Επίσης δεν υπάρχει το στρώμα αγόνου αργλικής σύστασης που παρατηρήθηκε στο πρώτο δείγμα. Ο λιγνίτης μακροσκοπικά δεν παρουσίασε διαφορές άξιες αναφοράς.



**Εικόνα 3.7:** Δεύτερη σειρά δειγμάτων στην τέταρτη τομή ( E14-2 )

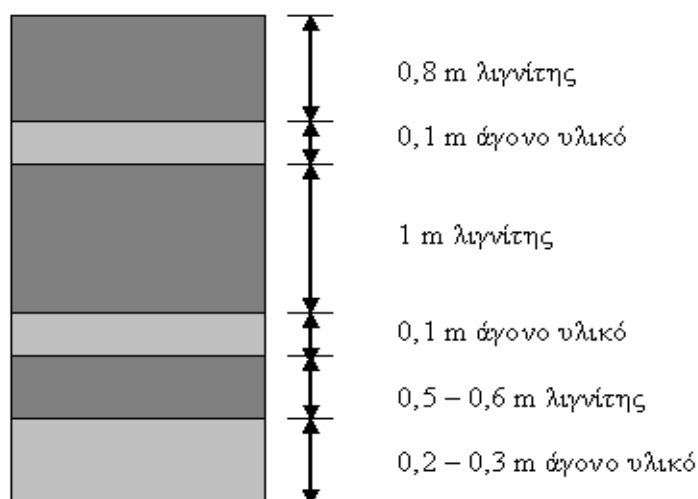
Το επόμενο δείγμα είναι από την έκτη τομή και απέχει 50 m από την ουρά του ταινιοδρόμου σε υψόμετρο +282 m. Στο σημείο αυτό έχει διαμορφωθεί μια μικρή βαθμίδα για τη μετακίνηση του εκσκαφέα σε μεγαλύτερο ύψος. Το σημείο που λήφθηκαν τα δείγματα αντιστοιχεί στη χαμηλή κοπή του εκσκαφέα, δηλαδή την ικανότητά του να κινεί το βραχίονα που φέρει τον κάδο κατακόρυφα και σε απόσταση 3 με 4 m χαμηλότερα από το ύψος του δαπέδου που βρίσκεται.



**Εικόνα 3.8 :** Δεύτερη σειρά δειγμάτων στην έκτη τομή ( E16-2 ) στη χαμηλή κοπή του εκσκαφέα

Ο λιγνίτης είναι καλής ποιότητας αλλά δεν έχει το χρώμα που συναντάται στο πρώτο δείγμα της έκτης τομής. Εδώ ο λιγνίτης έχει μαύρο έως σκούρο γκρι χρώμα. Το άγονο που συναντάται έχει ανοικτό γκρι χρώμα και είναι αρκετά εύπλαστο.

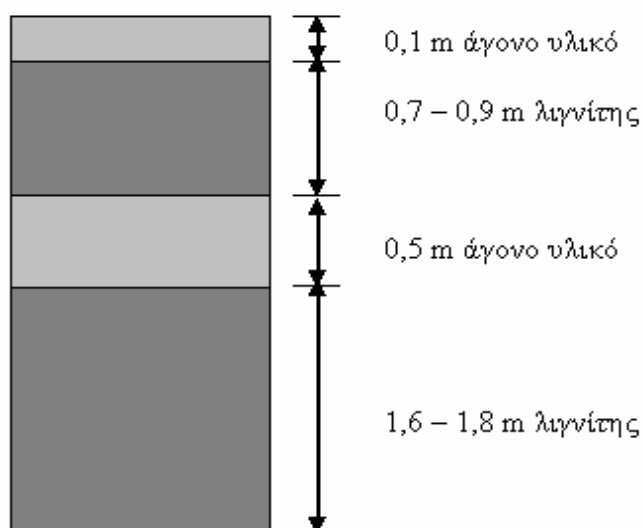
Επίσης λήφθηκε και μια τρίτη σειρά δειγμάτων για να καλυφθεί το μεγάλο μήκος των τομών καθώς επίσης και γιατί παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στη σύσταση του αγόνου υλικού.



**Εικόνα 3.9 :** Τρίτη σειρά δειγμάτων στην τρίτη τομή ( E13 – 3 )

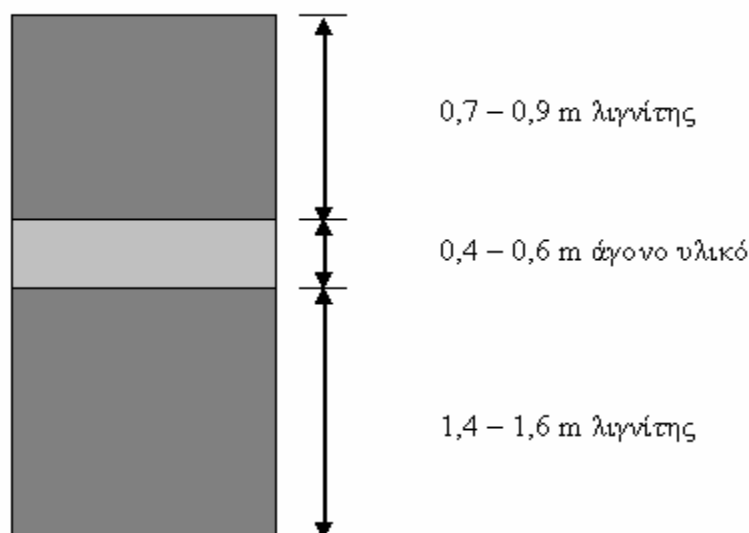
Η τελευταία λήψη δειγμάτων πραγματοποιήθηκε στις 28 – 4 – 04 και στις τρεις τομές που μελετούνται. Το πρώτο δείγμα προέρχεται από την τρίτη τομή και βρίσκεται στην κεφαλή του ταινιοδρόμου σε υψόμετρο +337 m. Το σημείο αυτό βρίσκεται στο ίδιο περίπου ύψος με το δυτικό μέτωπο του πεδίου. Στο μέτωπο αυτό δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία διότι δεν υπήρχε κάποιο διαφορετικό στρώμα λιγνίτη ή αγόνων υλικών από αυτό του νότιου μετώπου. Η λήψη του δείγματος δεν πραγματοποιήθηκε από το ύψος του δαπέδου ( +337 m ) αλλά περίπου 7 – 8 m ψηλότερα λόγω των δύο διαφορετικών αγόνων που συναντώνται στη φορά κοπής του κάδου του εκσκαφέα αλλά και της ευκολίας πρόσβασης που παρουσίαζε το σημείο δειγματοληψίας. Τα δύο στρώματα αγόνου που φαίνονται και στην εικόνα 3.9 και είναι πάχους περίπου 0,1 m το καθένα είναι ασβεστιτικής σύστασης λευκού έως ανοιχτού γκρι χρώματος, ψαθυρού τύπου πέτρωμα αρκετά συνεκτικό. Το άγονο που συναντάται στο κάτω μέρος πάχους 0,2 – 0,3 m είναι αργιλικής σύστασης, ανοικτού έως σκούρου γκρι χρώματος και εύπλαστο.

Το επόμενο δείγμα ανήκει στην τέταρτη τομή και βρίσκεται στην κεφαλή του ταινιοδρόμου σε υψόμετρο +323 m. Το δείγμα φαίνεται στην εικόνα 3.10 και οι στρώσεις αγόνου υλικού που συναντώνται έχουν πάχος 0,1 και 0,5 m αντίστοιχα και είναι αργιλικής σύστασης. Εδώ το άγονο υλικό έχει σκούρο γκρι έως τεφρό χρώμα και είναι λιγότερο εύπλαστο από το άγονο που συναντήθηκε στα προηγούμενα δύο δείγματα της συγκεκριμένης τομής. Η ποιότητα του λιγνίτη παραμένει μέτρια με βάση τις μακροσκοπικές εκτιμήσεις.



**Εικόνα 3.10 :** Τρίτη σειρά δειγμάτων στην τέταρτη τομή ( E14-3 )

Το τελευταίο δείγμα πάρθηκε από την έκτη τομή σε απόσταση 80 m από την κεφαλή και παράλληλα στο δυτικό μέτωπο σε υψόμετρο +302 m. Πάρθηκε σε αυτό το σημείο λόγω του διαφορετικού τύπου αγόνων που συναντώνται. Το στρώμα αγόνου πάχους περίπου 0,5 m είναι μαύρου χρώματος, εύπλαστο ( λιγότερο εύπλαστο από τα αργιλικού τύπου άγονα που συναντώνται στα προηγούμενα δείγματα της τομής ) και πρόκειται για σαπροπηλό. Η ποιότητα του λιγνίτη εξακολουθεί να είναι καλή.

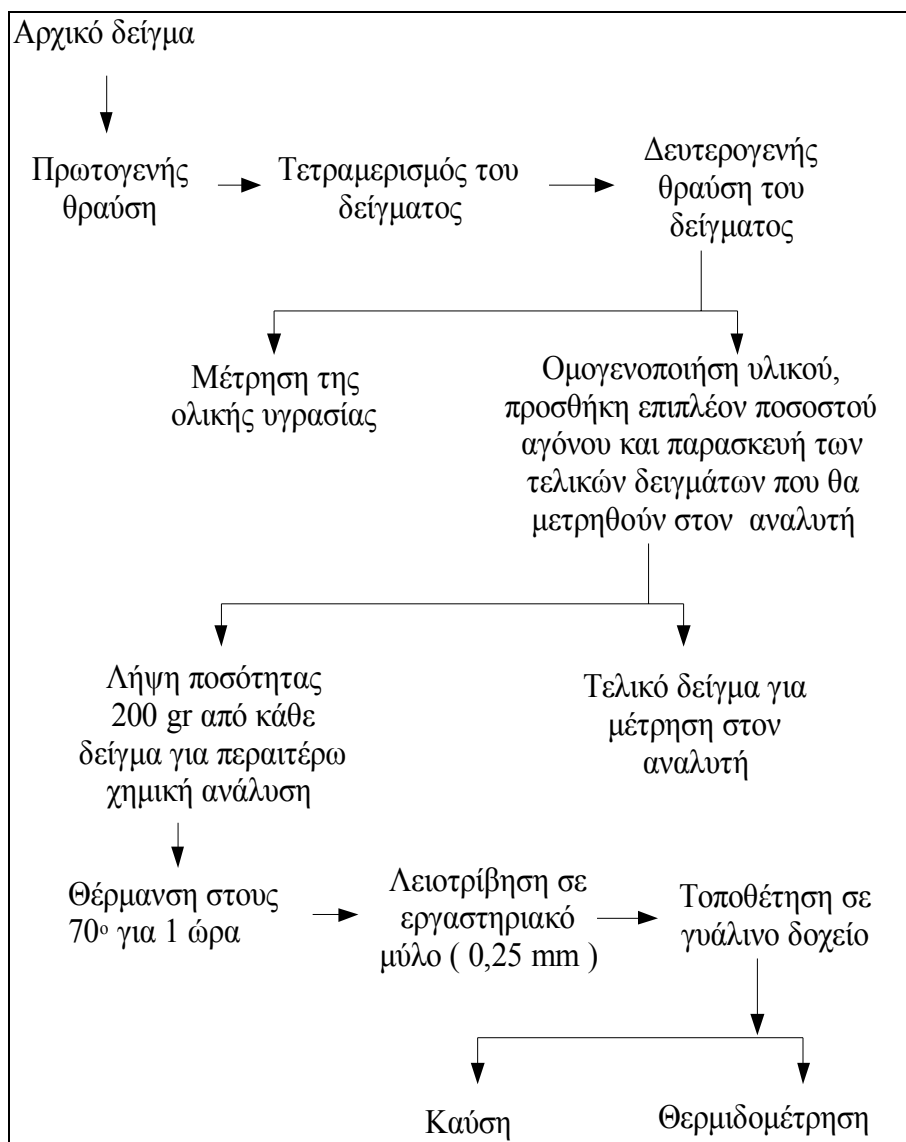


**Εικόνα 3.11 :** Τρίτη σειρά δειγμάτων στην έκτη τομή ( E16-3 )

### 3.2. Εργαστηριακές μετρήσεις

#### 3.2.1. Εργαστηριακές μετρήσεις των βασικών ποιοτικών παραμέτρων του λιγνίτη

Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στο χημείο του ατμοηλεκτρικού σταθμού Μεγαλόπολης Β' ( ΑΗΣΜ Β ) ήταν η καύση του δείγματος και η λήψη της τέφρας του, η θερμιδομέτρησή του και ο υπολογισμός της περιεχόμενης υγρασίας. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν μέσα σε διάστημα δύο ημερών από τη λήψη του κάθε δείγματος από το μέτωπο του ορυχείου για να μην χάσει μέρος της υγρασίας του το δείγμα στην αρχική του μορφή έστω και αν αυτό βρισκόταν σφραγισμένο σε πλαστική συσκευασία. Το δείγμα στο χημείο θα υποστεί μια πρώτη θραύση έτσι ώστε να μην υπάρχουν χονδρομερή κομμάτια λιγνίτη και αγόνου. Έπειτα τετραμερίζεται για το σχηματισμό των δειγμάτων που θα μετρηθούν στον on line αναλυτή και ακολουθεί ακόμα ένα στάδιο θραύσης, αφού πρώτα μετρηθεί η ολική υγρασία, για καλύτερη ομογενοποίηση των δειγμάτων. Στη συνέχεια λαμβάνεται μικρή ποσότητα ( 200 – 300 gr ) από κάθε επιμέρους δείγμα με σκοπό τις εργαστηριακές αναλύσεις για σύγκριση με τα αποτελέσματα του αναλυτή.



**Εικόνα 3.12 :** Διάγραμμα ροής εργασιών στο χημείο του ΑΗΣΜ Β

Το δείγμα στο χημείο θα υποστεί μια πρώτη θραύση έτσι ώστε να μην υπάρχουν χονδρομερή κομμάτια λιγνίτη και αγόνου. Έπειτα τετραμερίζεται για το σχηματισμό των δειγμάτων που θα μετρηθούν στον on line αναλυτή και ακολουθεί ακόμα ένα στάδιο θραύσης, αφού πρώτα μετρηθεί η ολική υγρασία, για καλύτερη ομογενοποίηση των δειγμάτων. Στη συνέχεια λαμβάνεται μικρή ποσότητα ( 200 – 300 gr ) από κάθε επιμέρους δείγμα με σκοπό τις εργαστηριακές αναλύσεις για σύγκριση με τα αποτελέσματα του αναλυτή.



Η ποσότητα αυτή δείγματος θερμαίνεται για μία ώρα στους 70° και έπειτα οδηγείται στον μύλο του εργαστηρίου για να κονιορτοποιηθεί ( 0,25 mm ). Τέλος το δείγμα τοποθετείται σε γυάλινο δοχείο και το επόμενο στάδιο είναι η θερμιδομέτρηση και η καύση του δείγματος ( Εικόνα 3.12 ). Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν είναι:

▪ **Ανώτερη θερμογόνος δύναμη επί ξηρού**

Είναι η θερμότητα που εκλύεται κατά την καύση μιας ποσότητας ξηρού λιγνίτη υπό την προϋπόθεση ότι το νερό που σχηματίζεται κατά την καύση, λόγω του υδρογόνου του καυσίμου, να βρίσκεται σε υγρή κατάσταση.

Όταν στην οβίδα του οργάνου καίγεται 1 gr δείγματος το οποίο περιέχει α % ποσοστό υγρασίας τότε βρίσκεται η θερμότητα καύσεως Q. Αν τα (100-α)/100 gr ξηρού λιγνίτη παράγουν Q cal κατά την καύση τους, εύκολα υπολογίζεται για 1 gr η θερμότητα ΑΘΔΞ :

$$ΑΘΔΞ = \frac{100Q}{100 - \alpha} \quad ( 3.1 )$$

όπου : Q η θερμότητα που παράγεται στο θερμιδόμετρο μετά τις απαραίτητες διορθώσεις λόγω νήματος, σύρματος και παραγόμενου θεικού και νιτρικού οξέως, ανά gr δείγματος και α η περιεκτικότητα σε υγρασία (μερική υγρασία, υγρασία του δείγματος αφού αλεστεί στο μύλο)

▪ **Ανώτερη θερμογόνος δύναμη επί υγρού**

Είναι η θερμότητα που εκλύεται κατά την καύση μιας ποσότητας λιγνίτη υπό την προϋπόθεση ότι το προ της καύσεως νερό και αυτό που σχηματίζεται κατά την καύση, λόγω του υδρογόνου του καυσίμου, να βρίσκεται σε υγρή κατάσταση.

Η διαφορά στο υπολογισμό της έγκειται στο ότι ο λιγνίτης έχει υγρασία. Με τον ίδιο συλλογισμό το 1 gr ξηρού λιγνίτη έχει ΑΘΔΞ cal/gr και τα (1-b/100) gr ξηρού λιγνίτη δίνουν αυτό που ζητάται:

$$ΑΘΔΥ = ΑΘΔΞ \left( 1 - \frac{b}{100} \right) \quad ( 3.2 )$$

όπου : b η ολική υγρασία του δείγματος ( πριν την κονιοποίηση )

▪ **Κατώτερη θερμογόνος δύναμη επί ξηρού**

Είναι η θερμότητα που εκλύεται κατά την καύση μιας ποσότητας ξηρού λιγνίτη υπό την προϋπόθεση ότι το νερό που σχηματίζεται κατά την καύση, λόγω του υδρογόνου του καυσίμου, να βρίσκεται σε αέρια κατάσταση.

Η θερμότητα εξάτμισης του νερού στους 25<sup>ο</sup> είναι 583 cal/gr νερού οπότε :

$$ΚΘΔΞ = ΑΘΔΞ - Q_{H_2O} = ΑΘΔΞ - 583 (M_{H_2O})_{\xi} / \text{gr δείγματος ξηρού λιγνίτη} \quad (3.3)$$



Έστω c η ( % ) περιεκτικότητα του λιγνίτη σε υδρογόνο τότε τα 2 gr H<sub>2</sub> παράγουν κατά την καύση τους 18 gr H<sub>2</sub>O και τα c/100 gr H<sub>2</sub> παράγουν (M<sub>H<sub>2</sub>O</sub>)<sub>ξ</sub> gr H<sub>2</sub>O. Οπότε :

$$(M_{H_2O})_{\xi} = (9 / 100) c \text{ gr} \quad (3.3)$$

$$ΚΘΔΞ = ΑΘΔΞ - 52,47c \quad (3.4)$$

Όπου : (M<sub>H<sub>2</sub>O</sub>)<sub>ξ</sub> η μάζα σχηματιζόμενου νερού λόγω καύσης του στοιχειακού υδρογόνου ( επί ξηρού δείγματος )

▪ **Κατώτερη θερμογόνος δύναμη επί υγρού**

Είναι η θερμότητα που εκλύεται κατά την καύση μιας ποσότητας λιγνίτη υπό την προϋπόθεση ότι το προ της καύσεως νερό και αυτό που σχηματίζεται κατά την καύση, λόγω του υδρογόνου του καυσίμου, να βρίσκεται σε αέρια κατάσταση.

Ο υπολογισμός της ΚΘΔΥ πραγματοποιείται με αφαίρεση δύο ειδών θερμότητας εξάτμισης από την ΑΘΔΥ. Η μία οφείλεται στην εξάτμιση του νερού που δημιουργήθηκε κατά την καύση του στοιχειακού Η επί υγρού δείγματος ( Q<sub>1</sub> ) και η άλλη στην εξάτμιση της ολικής υγρασίας ( b ) που έχει το υγρό δείγμα ( Q<sub>2</sub> ).

$$ΚΘΔΥ = ΑΘΔΥ - Q_{H_2O} \quad (3.5)$$

$$Q_{\text{νερού}} = Q_1 + Q_2 \quad (3.6)$$

$$Q_1 = 583(M_{\text{H}_2\text{O}})_v \quad (3.7)$$

Όπου :  $(M_{\text{H}_2\text{O}})_v$  η μάζα νερού που σχηματίστηκε κατά την καύση του  
στοιχειακού H ( επί υγρού δείγματος )

$$\text{Είναι :} \quad (M_{\text{H}_2\text{O}})_v = (M_{\text{H}_2\text{O}})_x [ (1 - b) / 100 ]$$

$$\text{Άρα :} \quad Q_1 = 0,53 \text{ c } ( 100 - b ) \quad (3.8)$$

$$\text{Ομοίως για το } Q_2 = 5,83 \text{ c} \quad (3.9)$$

Ο σωστός υπολογισμός της θερμογόνου δύναμης προϋποθέτει κάποιες θερμοχημικές διορθώσεις λόγω της δημιουργίας  $\text{H}_2\text{SO}_4$  και  $\text{HNO}_3$  στη θερμιδομετρική οβίδα. Αυτά παράγουν ένα ποσό θερμότητας που πρέπει να υπολογιστεί και να αφαιρεθεί από την ΑΘΔ. Τα ποσά θερμότητας υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις :

$$Q_N = 42.14(N\%)B\Delta \frac{100 - a}{100} \quad (3.8)$$

$$Q_S = 92.18(S\%)B\Delta \frac{100 - a}{100} \quad (3.9)$$

Όπου : BΔ το βάρος του δείγματος για τη θερμιδομέτρηση

$Q_N$ ,  $Q_S$  οι ενέργειες που παρήχθησαν σε joule κατά το σχηματισμό  $\text{HNO}_3$  και  $\text{H}_2\text{SO}_4$

(N%), (S%) οι περιεκτικότητες N και S

**Πίνακας 3.1 :** Παρουσίαση εργαστηριακών μετρήσεων τέφρας και υγρασίας του δείγματος

	Υγρασία (επί φυσικού)	Τέφρα (επί φυσικού)	Τέφρα ( επί ξηρού )
E13(1)			
No0	60,5	9,05	22,9
No1	59,3	15,83	38,9
No2	54	28,38	61,7
No3	49,9	32,82	65,5
E13(2)			
No0	53,1	20,5	43,7
No1	52,2	22,99	48,1
No2	51,4	26,78	55,1
No3	52,1	28,36	59,2
E13(3)			
No0	57,7	13,41	31,7
No1	54,5	17,29	38
No2	50,9	23,47	47,8
No3	51,3	25,66	52,7
E14(1)			
No0	59,5	10,53	26
No1	55,1	15,63	34,8
No2	47	23,48	44,3
No3	43,5	28,87	51,1
E14(2)			
No0	58,8	8,45	20,5
No1	58	10,54	25,1
No2	52,7	15,56	32,9
No3	47,1	19,15	36,2
E14(3)			
No0	56,7	16,37	37,8
No1	56,6	18,05	41,6
No2	54	22,72	49,4
No3	54,3	24,08	52,7
E16(1)			
No0	56,4	9,37	21,5
No1	55,2	12,9	27,2
No2	50,3	18,29	36,8
No3	49	20,55	40,3
E16(2)			
No0	61,7	11,03	28,8
No1	61,7	14,71	38,4
No2	59,6	22,1	54,7
No3	58,4	25,17	60,5
E16(3)			
No0	62	12,16	32
No1	61,3	13,7	35,4
No2	58,9	17,02	41,4
No3	59,8	17,09	42,5

**Πίνακας 3. 2 :** Παρουσίαση εργαστηριακών μετρήσεων θερμογόνου δύναμη του λιγνίτη των δειγμάτων

	Ανώτερη Θερμογόνος δύναμη (επί φυσικού )	Κατώτερη Θερμογόνος δύναμη ( επί φυσικού )	Ανώτερη Θερμογόνος δύναμη (επί ξηρού )	Κατώτερη Θερμογόνος δύναμη (επί ξηρού )
E13(1)				
No0	1723	1296	4364	4176
No1	1385	964	3404	3220
No2	939	542	2042	1864
No3	879	497	1755	1573
E13(2)				
No0	1410	1012	3007	2819
No1	1264	873	2645	2465
No2	980	593	2018	1839
No3	795	407	1661	1485
E13(3)				
No0	1660	1245	3926	3742
No1	1582	1181	3479	3296
No2	1390	1005	2832	2653
No3	1220	836	2506	2331
E14(1)				
No0	1766	1348	4362	4187
No1	1644	1242	3662	3483
No2	1363	991	2572	2387
No3	1284	924	2274	2086
E14(2)				
No0	1929	1507	4683	4493
No1	1698	1278	4044	3851
No2	1378	982	2915	2729
No3	1298	926	2455	2272
E14(3)				
No0	1560	1149	3605	3419
No1	1435	1025	3308	3123
No2	1285	887	2794	2614
No3	1147	749	2512	2334
E16(1)				
No0	1915	1503	4394	4204
No1	1866	1461	4167	3982
No2	1737	1352	3496	3312
No3	1644	1263	3224	3038
E16(2)				
No0	16,26	1192	4248	4055
No1	1321	889	3451	3263
No2	932	513	2309	2133
No3	790	379	1901	1733
E16(3)				
No0	1549	1116	4077	3890
No1	1498	1069	3871	3687
No2	1415	996	3443	3261
No3	1348	927	3355	3175

### 3.2.2. Χημική και ορυκτολογική ανάλυση της τέφρας

Για τον προσδιορισμό των ορυκτολογικών φάσεων της τέφρας των δειγμάτων καθώς και την ημιποσοτική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της περιθλασιμετρίας ακτινών x. Για τη χημική ανάλυσή της χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της φασματοσκοπίας ακτινών x φθορισμού ( Brucker HS3 ) και σκοπό είχε τον προσδιορισμό των στοιχείων της τέφρας.

#### ▪ Μέθοδος φασματοσκοπίας ( EDXRF )

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αρχή ότι κάθε στοιχείο με την προσφορά ενέργειας ( ακτινοβολία X ) εκπέμπει ακτινοβολία (δευτερογενή ) χαρακτηριστικού φάσματος. Τα άτομα των στοιχείων διεγείρονται από ακτίνες x υψηλής ενέργειας και εκπέμπουν δευτερογενή ακτινοβολία ακτινών x το φάσμα της οποίας αναλύεται και μελετάται. Με τη μέθοδο αυτή ανιχνεύονται τα στοιχεία μεταξύ του Βορίου (  $\lambda = 6,2 \text{ nm}$  ) και του Ουρανίου (  $\lambda = 0,091 \text{ nm}$  ).

Η πρόσκρουση ενός στοιχειώδους σωματιδίου που κατέχει υψηλή ενέργεια σε ένα ηλεκτρόνιο μιας εσωτερικής στοιβάδας ενός ατόμου έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά μέρους της ενέργειας στο ηλεκτρόνιο και τον εξοστρακισμό του από το άτομο. Το άτομο μένει για πολύ μικρό διάστημα σε αυτήν την ασταθή κατάσταση. Έπειτα μεταπίπτει σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη με την πλήρωση της κενής θέσης του ηλεκτρονίου με ένα άλλο σύμφωνα με τους κανόνες της κβαντομηχανικής. Η διαφορά στην ενεργειακή κατάσταση του ατόμου από την αρχική στην τελική κατάσταση εκπέμπεται υπό την μορφή φωτονίων σύμφωνα με την εξίσωση :

$$E_2 - E_1 = h\nu \quad ( 3.10 )$$

όπου :  $\nu$  η συχνότητα της ακτινοβολίας

και  $h$  η σταθερά του Planck

Λόγω του ότι τη θέση του ηλεκτρονίου που εξοστρακίστηκε διεκδικούν περισσότερα του ενός ηλεκτρόνια η εκπεμπόμενη ακτινοβολία θα αποτελείται από αρκετές χαρακτηριστικές γραμμές εντάσεως της και τη συνεχή η οποία οφείλεται στην πέδηση του εισερχόμενου σωματιδίου στον ηλεκτρονικό φλοιό του προς διέγερση ατόμου. Οι εντάσεις των χαρακτηριστικών γραμμών της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας αποτελούν μέτρο της πιθανότητας της συγκεκριμένης μεταβολής στη θέση των ηλεκτρονίων. Η σχέση με την οποία συνδέεται το μήκος κύματος της

χαρακτηριστικής γραμμής ενός στοιχείου με τον ατομικό αριθμό δίνεται από το νόμο του Moseley :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = K(Z - \sigma) \quad (3.11)$$

όπου : K μια σταθερά γνωστή για κάθε γραμμή

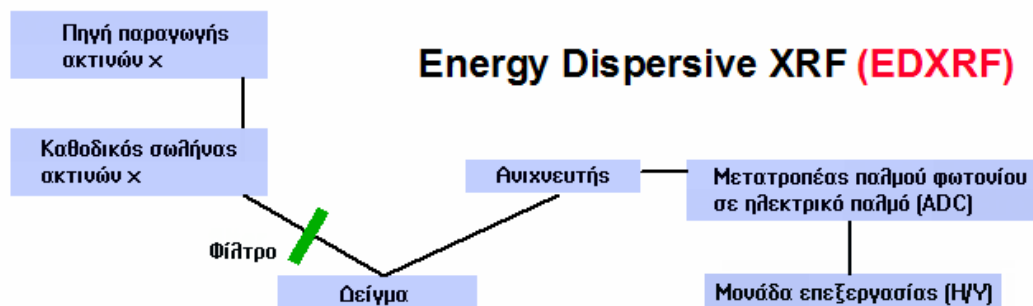
$\sigma$  επίσης μια σταθερά

Z ο ατομικός αριθμός του στοιχείου

#### Περιγραφή της διάταξης που χρησιμοποιεί η μέθοδος

Η διάταξη του αναλυτή φαίνεται στην εικόνα 3.13 και αποτελείται από :

- Μία πηγή διέγερσης ( υψηλής ενέργειας πηγή ακτινών x που τροφοδοτείται από γεννήτρια υψηλής τάσης )
- Ένα σύστημα υποδοχής δειγμάτων
- Ένα σύστημα διαχωρισμού και απομόνωσης των χαρακτηριστικών γραμμών ( σύστημα διανομής )
- Μία συσκευή μέτρησης και καταγραφής των χαρακτηριστικών γραμμών ( μονάδα ανίχνευσης Si ( Li ) )
- Ένα σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων



**Εικόνα 3.13 :** Η διάταξη του XRF αναλυτή που χρησιμοποιεί την τεχνική EDS ( *Energy dispersive spectroscopy* )

Η τάση που χρησιμοποιείται στην πηγή ακτινοβολίας είναι της τάξης των 50 kV και είναι αυτή που καθορίζει ποια στοιχεία μπορούν να ανιχνευθούν. Επίσης τα όρια ανίχνευσης είναι αντιστρόφως ανάλογα με το μέγεθος της τάσης που χρησιμοποιείται. Ακόμα ένα χαρακτηριστικό της τεχνικής EDXRF είναι ότι όλη η ακτινοβολία προσκρούει στον ανιχνευτή ταυτόχρονα πράγμα που σημαίνει ότι ο χρόνος ανάλυσης

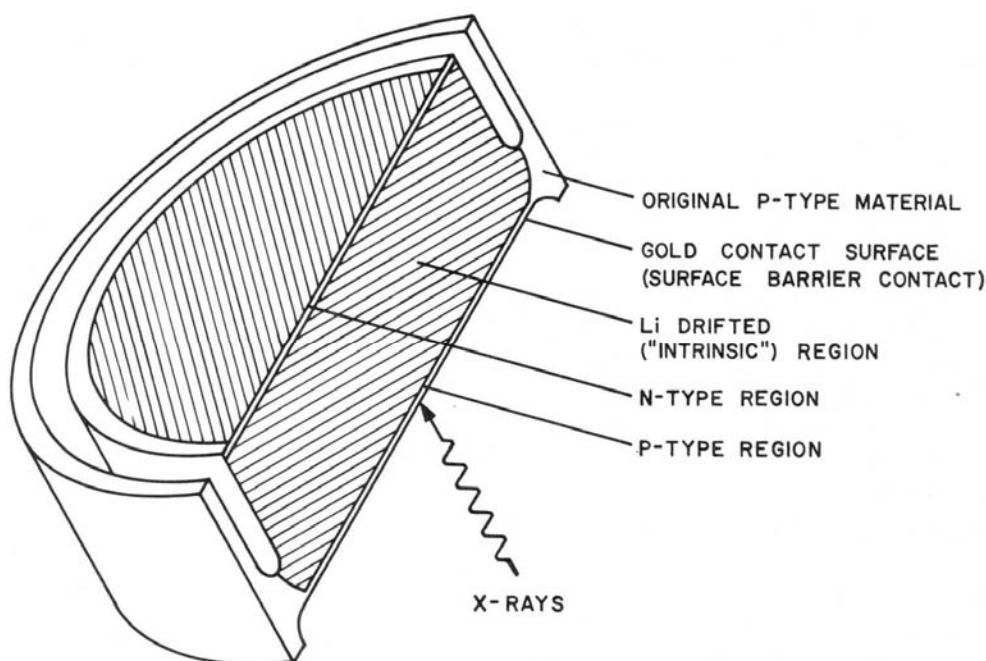
είναι σύντομος, δηλαδή της τάξης των 10 με 100 sec. Ο αναλυτής είναι Si ( Li ) και η ανάλυσή του είναι της τάξης των 150 με 200 eV. Η ευαισθησία του αναλυτή είναι σε επίπεδο ppm. Το κατώτερο όριο ανίχνευσης δίνεται από τον τύπο :

$$LLD = \frac{3}{s} \sqrt{\frac{I_b}{t}} \quad (3.12)$$

όπου : s η ευαισθησία του αναλυτή φάσματος

$I_b$  η ένταση του υποβάθρου

t ο απαιτούμενος χρόνος μέτρησης της κορυφής ( peak ) και της ακτινοβολίας εξαιρουμένης αυτής της πηγής



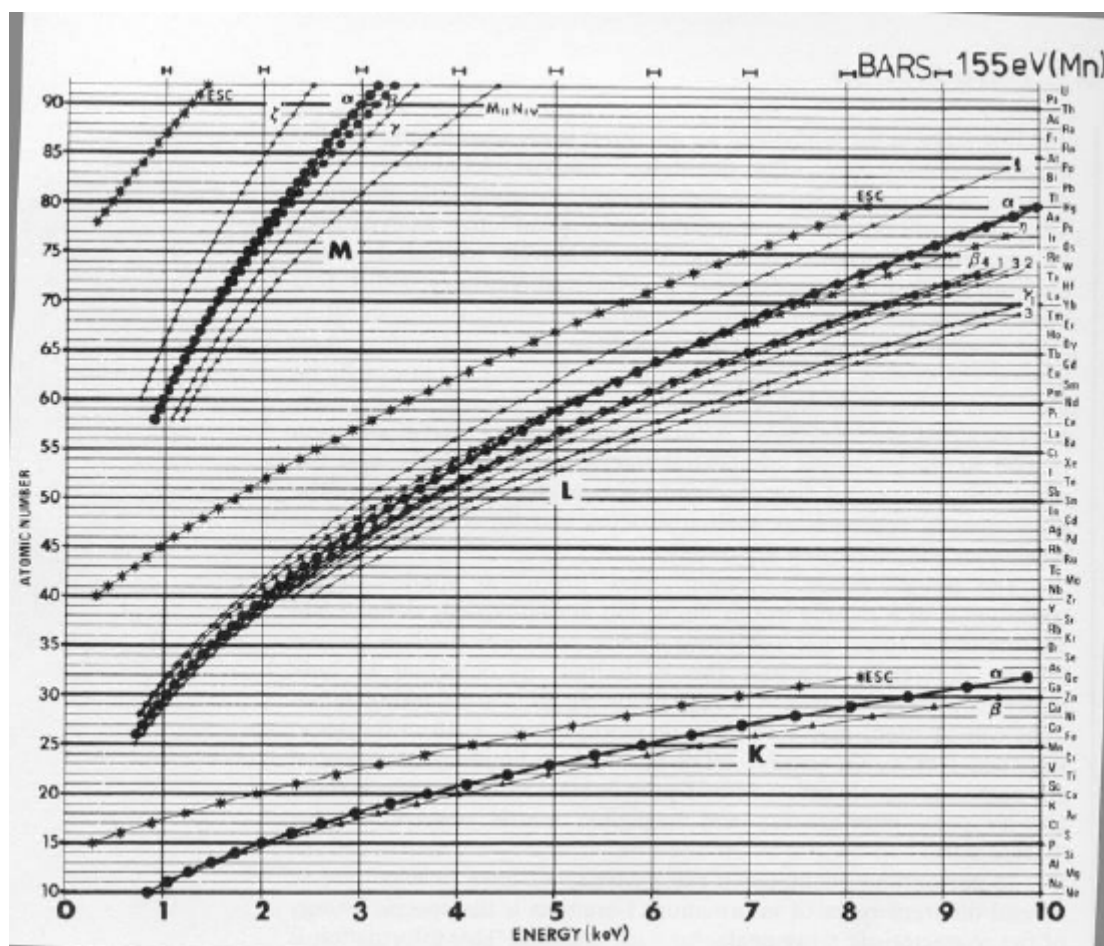
**Εικόνα 3.14 :** Άποψη του ανιχνευτή Si ( Li )

Όταν μια δέσμη ακτίνων x προσκρούει στον κρύσταλλο Si δημιουργεί ένα φωτόνιο το οποίο διασχίζει τη δομή του κρυστάλλου ( ως ένα ορισμένο βάθος περίπου 0,5 – 2  $\mu\text{m}$  ). Το φωτόνιο δημιουργεί ζεύγη ηλεκτρονίων – κενών θέσεων. Τα ηλεκτρόνια και οι κενές θέσεις έλκονται προς αντίθετες άκρες του κρυστάλλου με τη βοήθεια ενός ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου. Ο παλμός που δημιουργείται είναι ανάλογος της έντασης του φωτονίου των ακτίνων x. Ο παλμός ενισχύεται από και δέχεται μορφοποίηση από το λογισμικό ( αποκοπή του θορύβου , Γκαουσιανή εξομάλυνση ) του αναλυτή έτσι



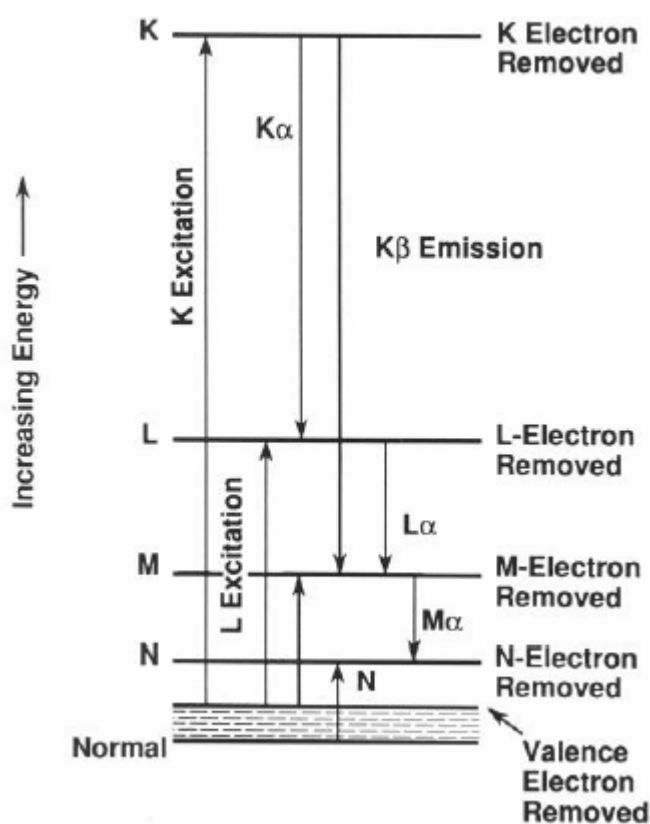
ώστε να παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα έντασης - ενέργειας παλμού στην οθόνη του υπολογιστή.

Όταν η ένταση της ακτινοβολίας φτάνει στο κρίσιμο επίπεδο ιονισμού των ακτινών  $x$  για μια στοιβάδα ή υποστοιβάδα ενός ατόμου έτσι ώστε αυτή να ιονιστεί τότε όλες οι μεταβολές που μπορούν να εμπλέκονται με την ιονιζόμενη στοιβάδα είναι δυνατόν να συμβούν. Με τον τρόπο αυτό παράγεται μια οικογένεια κορυφών ( peaks ) η οποία θα γίνει τόσο πιο περίπλοκη όσο πιο πολύπλοκη είναι η ηλεκτρονική δομή του ατόμου. Η παρουσία σε ένα φάσμα όλων των πιθανών μελών μιας οικογένειας γραμμών εντάσεως αυξάνει το επίπεδο εμπιστοσύνης για την αναγνώριση του στοιχείου του ατόμου στο οποίο ανήκουν.



Εικόνα 3.15 : Συσχέτιση της ενέργειας της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας  $X$  σε σχέση με τον  $Z$  για τις διάφορες οικογένειες φασματικών γραμμών

Η K οικογένεια γραμμών αποτελείται από δύο αναγνωρίσιμες γραμμές την  $K_{\alpha}$  και  $K_{\beta}$ . Η αναλογία της πρώτης ως προς τη δεύτερη είναι 10 : 1 όταν αυτές αναλυθούν. Αυτό αποτελεί σημαντικό κριτήριο για την αναγνώριση ενός στοιχείου. Η οικογένεια L αποτελείται από τις γραμμές  $L_{\alpha}$ ,  $L_{\beta1}$ ,  $L_{\beta2}$ ,  $L_{\beta3}$  και  $L_{\beta4}$  και η οικογένεια γραμμών M από τις  $M_{\alpha}$ ,  $M_{\beta}$ ,  $M_{\gamma}$ . Τα επίπεδα ενέργειας που απαιτούνται για τη διέγερση των στοιβάδων σε σχέση με τις εκπεμπόμενες ακτινοβολίες  $x$  φαίνονται στην εικόνα 3.16.



**Εικόνα 3.16 :** Διάγραμμα που δείχνει τα επίπεδα ενέργειας για ένα άτομο για τη διέγερση των στοιβάδων K, L, M και N και το σχηματισμό των  $K_{\alpha}$ ,  $K_{\beta}$ ,  $L_{\alpha}$  και  $M_{\alpha}$  ακτίνων  $x$

#### Παρασκευή των δειγμάτων και αποτελέσματα μετρήσεων

Η παρασκευή των δειγμάτων είναι μια απλή διαδικασία και απαιτεί μικρή ποσότητα υλικού ( περίπου 5 gr ). Το υλικό πρέπει να λειοτριβηθεί σε μέγεθος μικρότερο των 60  $\mu\text{m}$ . Επίσης θα πρέπει να αναμιχθεί με ειδικό κερί ( wax- c ) σε αναλογία 10 %. Στη συνέχεια πιέζεται εντός ειδικής μήτρας ( πίεση 150 atm ) για τη δημιουργία ανθεκτικού δισκίου με λεία επιφάνεια.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στον πίνακα 3.3.

**Πίνακας 3.3 :** Αποτελέσματα αναλύσεων της σειράς δειγμάτων Νο 1 & 2

Κωδικός Δείγματος	Na <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
E14/1/1	<0,4	4,53	14,32	36,77	3,27	0,29	31,74	0,24	0,04	6,39
E14/1/2	0,41	2,70	11,86	30,47	7,78	0,23	34,95	0,24	0,05	5,57
E16/1/1	<0,4	2,71	16,45	42,24	3,37	0,30	21,90	0,35	0,04	8,73
E16/1/2	<0,4	2,62	17,15	44,02	1,32	0,36	16,44	0,43	0,05	11,82
E13/1/1	<0,4	3,33	18,81	48,28	0,75	0,41	18,50	0,33	0,04	7,99
E13/1/2	<0,4	2,54	20,27	52,04	0,52	0,54	11,68	0,42	0,04	9,29
E14/3/1	<0,4	3,71	21,48	55,12	0,46	0,46	10,99	0,29	0,04	7,42
E14/3/2	<0,4	3,52	22,33	57,30	0,44	0,46	7,93	0,30	0,04	7,50
E13/2/1	<0,4	4,44	18,15	46,57	1,46	0,31	20,84	0,32	0,03	6,25
E13/2/2	<0,4	2,96	17,49	44,90	2,64	0,27	23,65	0,29	0,03	5,13
E13/3/1	<0,4	2,40	18,45	47,35	0,60	0,36	16,40	0,31	0,05	11,72
E13/3/2	<0,4	4,68	18,73	48,08	0,56	0,46	14,03	0,38	0,05	12,34
E16/2/1	<0,4	2,64	17,73	45,51	0,81	0,38	19,72	0,36	0,06	9,65
E16/2/2	<0,4	3,51	16,62	42,66	2,15	0,40	22,46	0,34	0,06	9,06
E16/3/1	<0,4	2,98	19,60	50,31	0,48	0,43	9,42	0,39	0,05	13,64
E16/3/2	<0,4	2,28	20,60	52,88	0,48	0,36	10,01	0,33	0,05	10,67
E14/2/2	<0,4	3,08	9,41	24,22	17,47	0,14	42,13	0,13	0,03	2,10

▪ Μέθοδος περιθλασιμετρίας ακτινών X

Με τη μέθοδο αυτή είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτινών x που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως.

Περιγραφή της διάταξης που χρησιμοποιεί η μέθοδος

Οι βασικές μονάδες που απαρτίζουν ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτινών x είναι :

- Η μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης
- Η λυχνία ακτινών X και η ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής
- Η μονάδα ηλεκτρονικού υπολογιστή που συντονίζει το σύστημα και βοηθά στην αξιολόγηση των δεδομένων

Το προς ανάλυση δείγμα πρέπει να βρίσκεται υπό τη μορφή κόνεως και τοποθετείται σε ειδικό δειγματοφορέα ( πλαστικό ή μεταλλικό ). Η κοιλότητα του δειγματοφορέα που φέρει το υλικό έχει βάθος περίπου 1 mm και έκταση μερικών cm<sup>2</sup> έτσι ώστε να δέχεται ποσότητα δείγματος της τάξης του 1 gr . Η επιφάνεια του

δείγματος πρέπει να είναι εξαιρετικά λεία και επίπεδη. Ο δειγματοφορέας τοποθετείται στο γωνιόμετρο του περιθλασιμέτρου σε ειδική θέση η οποία βρίσκεται στο κέντρο του κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτινών x. Επίσης το επίπεδο του δειγματοφορέα είναι πάντα κάθετο στο επίπεδο του κύκλου.

Ο απαριθμητής περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ( $2\theta/\text{min}$ ) όπως επίσης και ο δειγματοφορέας, μόνο που αυτός έχει τη μισή ταχύτητα του πρώτου. Αυτό γίνεται γιατί με τη σύγχρονη μετατόπιση και των δύο ο απαριθμητής σχηματίζει γωνία με το επίπεδο του δειγματοφορέα ίδια με αυτή του σημείου εξόδου των ακτινών x της λυχνίας και του δειγματοφορέα. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να καταγράφεται η ακτινοβολία που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους του δείγματος που βρίσκονται σε τέτοια γωνία ως προς την κατεύθυνση της δέσμης των ακτινών x της λυχνίας ώστε να πληρούται, για συγκεκριμένα πλεγματικά επίπεδα hkl, η εξίσωση του Bragg ( $n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta_{hkl}$ ).

Με την περιφορά του απαριθμητή με σταθερή ταχύτητα κατά  $170^\circ$  πραγματοποιείται ακριβής καταγραφή των ανακλάσεων και των εντάσεων που προέρχονται από πλεγματικά επίπεδα διαφόρων d με αποτέλεσμα μια πλήρη εικόνα ανάλογη αυτής που απεικονίζεται σε φωτογραφικό φιλμ.

#### Αναγνώριση δειγμάτων και επεξεργασία αποτελεσμάτων μετρήσεων

Το ακτινογράφημα κάθε δείγματος αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα του βάσης του οποίου μπορεί να γίνει αναγνώριση της ουσίας που το αποτελεί. Ένας μεγάλος αριθμός δεδομένων ακτινογραφημάτων έχει συγκεντρωθεί και ταξινομηθεί σε πρότυπες καρτέλες δημιουργώντας βάσεις δεδομένων οι οποίες χρησιμοποιούνται από διάφορα πακέτα προγραμμάτων H/Y για την γρήγορη και εύκολη αναγνώριση ακτινογραφημάτων. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Diffract Plus/Eva.

Τα 18 δείγματα που επιλέχθηκαν για να αναλυθούν με το περιθλασίμετρο ήταν αυτά με 10% και με 30% άγονο υλικό ( δηλαδή αυτά με κωδικό No 1 & 2 ). Ο λόγος που επιλέχθηκαν ήταν η διαφορά που παρουσίαζαν στο ποσοστό αγόνου υλικού αλλά και το γεγονός ότι περιγράφουν καλύτερα το σύνολο της ποιότητας του λιγνίτη των δειγμάτων καθώς δεν ανήκουν στις δύο ακραίες περιπτώσεις του 0 % και 40 % σε ποσοστό αγόνου υλικού ( κωδικού δειγμάτων No 0 και No 3 ).

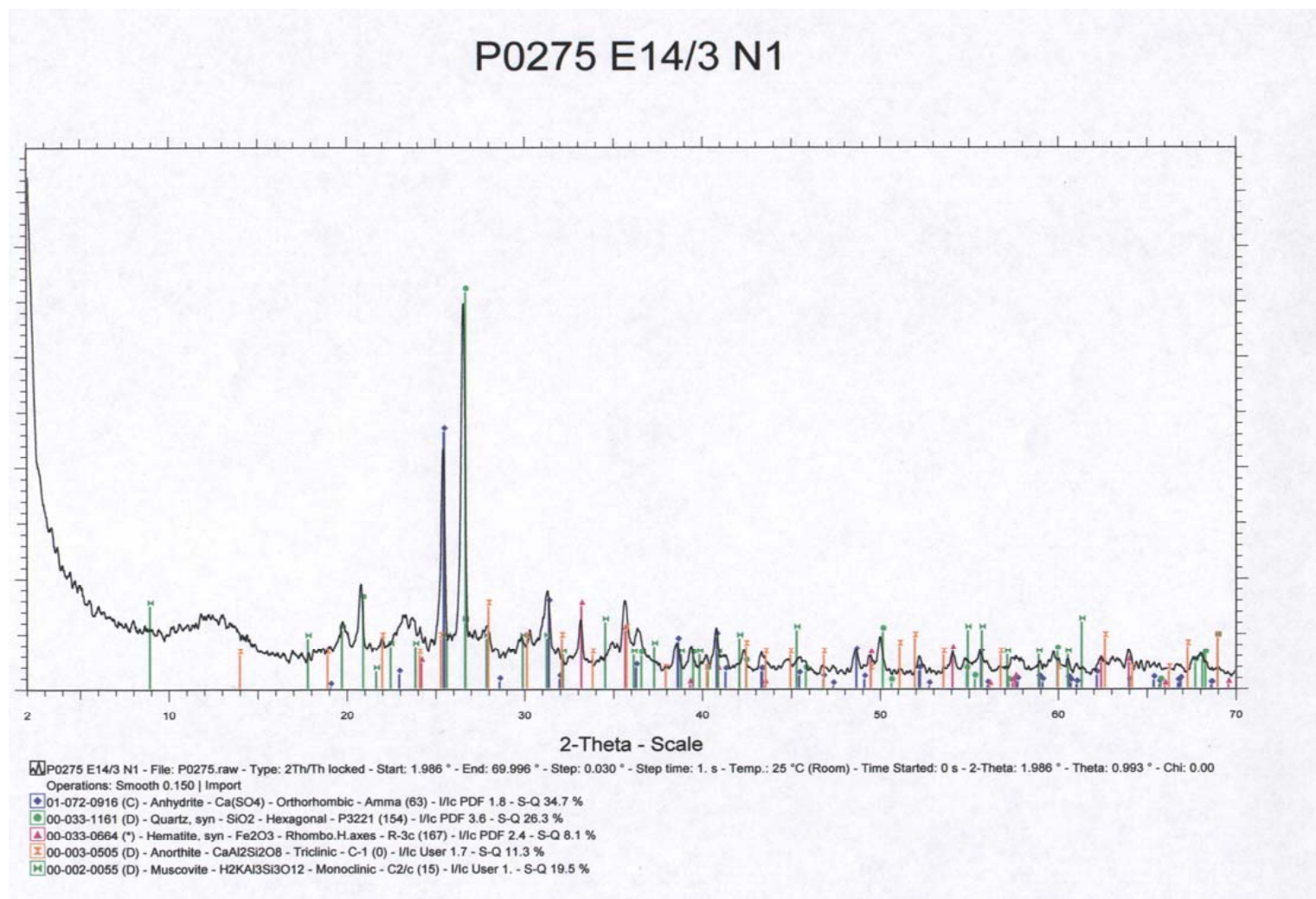
Με την επεξεργασία των δεδομένων της ακτινοσκοπίας πραγματοποιήθηκε η αναγνώριση των ορυκτών που αποτελούν την τέφρα των δειγμάτων. Έτσι πιστοποιήθηκε ότι οι τέφρες των μελετούμενων δειγμάτων αποτελούνται κατά κύριο λόγο από χαλαζία, ανυδρίτη, ανορθίτη και αιματίτη. Επίσης είναι δυνατόν να συναντηθούν και γκελενίτης, οξείδιο του ασβεστίου και ασβεστίτης σε μικρότερες ποσότητες ( Εικόνα 3.17 ). Τα δείγματα που προέρχονταν από το ίδιο σημείο και απλά διέφεραν στο ποσοστό αγόνου αναμενόταν να αποτελούνται από τα ίδια περίπου ορυκτά και αυτό επιβεβαιώνεται από τον πίνακα 3.4 όπου φαίνονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων.

### 3.3.Συμπεράσματα κεφαλαίου

Παρατηρήθηκε κατά τη δειγματοληψία ότι υπάρχει διακύμανση στην ποιότητα του λιγνίτη όχι μόνο ως προς το ύψος αλλά και ως προς το μήκος της τομής. Για παράδειγμα στην έκτη τομή η διαφορά στην ποιότητα του λιγνίτη είναι εμφανής ,από μέτρια στην ουρά του ταινιοδρόμου έως πολύ καλή στην κεφαλή ( διαφορά και στο χρώμα ,σκούρο γκρι – τεφρό το ένα και σκούρο πορτοκαλί – τεφρό το άλλο ). Επίσης παρατηρήθηκε και διακύμανση στην ποιότητα του αγόνου η οποία όμως δεν ήταν τόσο μεγάλη. Διαφορά παρατηρήθηκε και στο πάχος του στρώματος του αγόνου υλικού. Στην τρίτη τομή μεταξύ της πρώτης σειράς δειγμάτων και της δεύτερης, η διαφορά που παρατηρήθηκε είναι της τάξης του ενός μέτρου.

Με τη χρήση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας επιτεύχθηκε ο στόχος που είχε τεθεί ως προς των αριθμό των αγόνων ανά δείγμα, έτσι σε κανένα δείγμα δεν υπάρχουν περισσότερο από δύο διαφορετικούς τύπους άγονου υλικού.

Όσον αφορά τη χημική ανάλυση της τέφρας τα στοιχεία που την αποτελούν κατά κύριο λόγο είναι τα Ca, Fe, Mg, Al και Si. Η χημική ανάλυση επιβεβαιώνεται και από την ορυκτολογική πράγμα που φαίνεται και στα ακτινογραφήματα που παρατίθενται στο παράρτημα του κεφαλαίου.



**Εικόνα 3.17 :** Ακτινοδιάγραμμα δείγματος που ανήκει στην 4<sup>η</sup> τομή με 10% πρόσμιξη αγόνου υλικού

**Πίνακας 3.4 :** Αποτελέσματα ημιποσοτικής ανάλυσης των ορυκτολογικών συστατικών της εργαστηριακής τέφρας ( 750<sup>0</sup> ) του λιγνίτη

	Χαλαζίας	Ανυδρίτης	Αιματίτης	Ανορθίτης	Μοσχοβίτης	Οξείδιο του Ασβεστίου	Γκελενίτης	Ασβεστίτης	Περίκλαστο	Πορτλαντίτης
E13(1)										
No1	23.8	31.5	5.8	10	15.9		13			
No2	35.3	24.8	10.1		21.4		8.9			
E13(2)										
No1	33.5	34	5.7	11.1			15.6			
No2	30	30.5	5.9	11.4		3.3	18.9			
E13(3)										
No1	17.5	44.8	11.7	9.5	16.6					
No2	28.3	34.2	8.4	14.4	14.7					
E14(1)										
No1	19	43.9	5.1			1.7			1.7	
No2	29	37.6	5.9	8.3		3.7	15.5	6.6		18.4
E14(2)										
No1	11.3	46.1	4.6	10.4		11.7	15.8			
No2	7.4	23.9	7.4			22.7				
E14(3)										
No1	26.3	34.7	8.1	11.3	19.5					
No2	32.4	29.9	8.4	12.3	16.9					
E16(1)										
No1	24.8	50.5	8.5	16.2						
No2	39.8	40.4	6.8	13						
E16(2)										
No1	26.1	36.4	8.9	24.1				4.4		
No2	21.9	44.6	6.6	12.6			9.6	4.7		
E16(3)										
No1	33.8	28.5	14.9	15.5			7.2			
No2	33.9	37	14.9	14.2						

#### 4. Βαθμονόμηση και μετρήσεις στον on line αναλυτή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η διαδικασία με την οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις των δειγμάτων λιγνίτη από τον on line αναλυτή. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παρούσα εργασία ο αναλυτής είναι προϊόν της εταιρίας ANATEC GmbH και φέρει την ονομασία RAMM ( Radiometric Ash and Mass Measurement ). Στο ΛΚΜ είναι εγκατεστημένοι αναλυτές σε μεταφορικές ταινίες που οδηγούν σε αποθήκες λιγνίτη και αναλυτές σε ταινίες που οδηγούν στα σιλό τροφοδοσίας των ΑΗΣ Α & Β. Η επιλογή του αναλυτή έγινε με βάση την αξιοπιστία του καθενός. Ο αναλυτής που επιλέχθηκε, στην ταινία με κωδικό K39, ήταν αυτός που λειτουργούσε με την καλύτερη δυνατή ακρίβεια από την στιγμή της εγκατάστασή του.

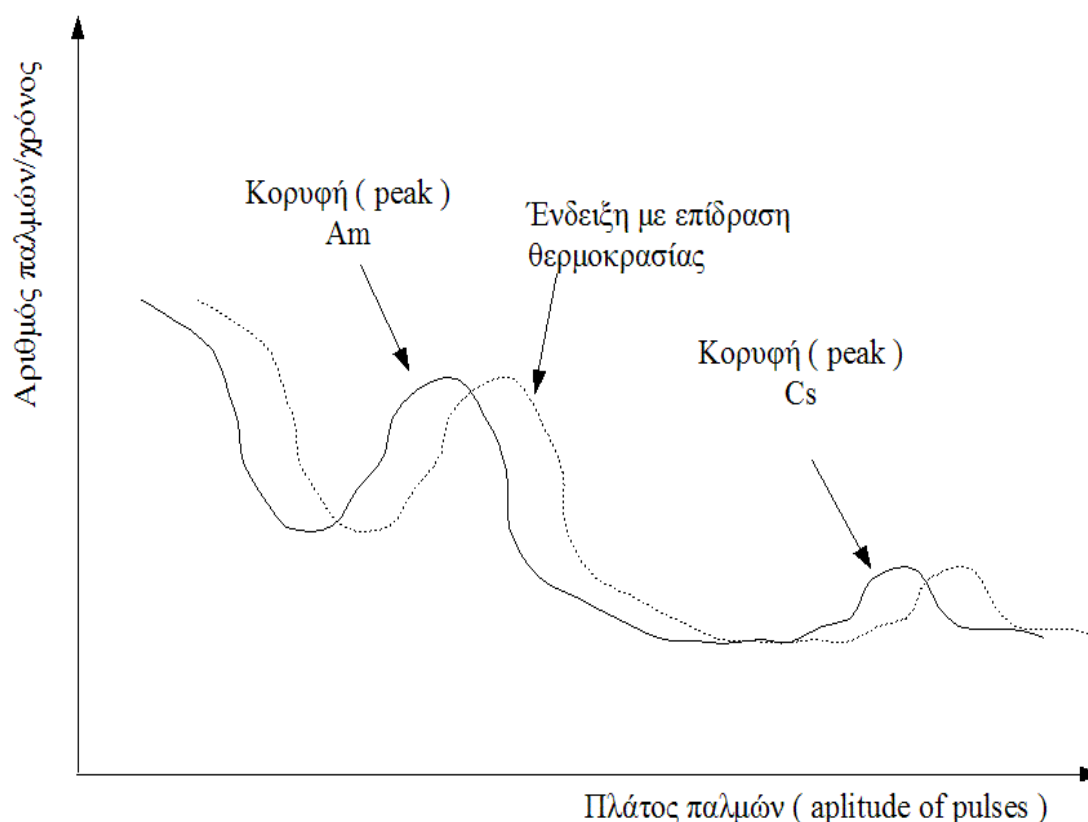
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη λήψη των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε βάση των οδηγιών του εγχειριδίου του αναλυτή αλλά και αυτές του μηχανικού της ANATEC που βρισκόταν στο ΛΚΜ για επιδιορθώσεις και ρύθμιση των αναλυτών.

##### 4.1. Προκαταρκτικός έλεγχος του αναλυτή

Η πάροδος του χρόνου επηρεάζει την ακρίβεια των μετρήσεων του αναλυτή λόγω της μείωσης της ευαισθησίας του ανιχνευτή του κρυστάλλου NaI. Επίσης είναι δυνατή η πρόκληση σφαλμάτων από βρόγχους ελέγχου του λειτουργικού του αναλυτή. Βάσει των παραπάνω κρίθηκε αναγκαίο να πραγματοποιηθεί έλεγχος του αναλυτή πριν τη διεξαγωγή των μετρήσεων. Πραγματοποιήθηκε πρώτα έλεγχος των ηλεκτρονικών συστημάτων που είναι συνδεδεμένα με τους ανιχνευτές και έπειτα του ανιχνευτή.

Αφού ο πρώτος έλεγχος δεν εμφάνισε κάποιο πρόβλημα πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος του ανιχνευτή με τη χρήση του μενού του λογισμικού του αναλυτή spectrum measurement. Το μενού αυτό χρησιμοποιείται για τη μέτρηση και αξιολόγηση του φάσματος της ραδιενεργού ακτινοβολίας που μετρούν οι ανιχνευτές ( υπάρχουν 4 ανιχνευτές σε κάθε αναλυτή ). Υπάρχουν αποθηκευμένες παλαιότερες μετρήσεις του φάσματος, οι οποίες έγιναν κατά τη διάρκεια της αρχικής βαθμονόμησης του αναλυτή, για σύγκριση με τις τιμές που θα ληφθούν κατά τον έλεγχο. Οι μετρήσεις πρέπει να πραγματοποιούνται σε άδεια και ακίνητη μεταφορική ταινία.





**Εικόνα 4.1 :** Άποψη του διαγράμματος φάσματος της ακτινοβολίας  $\gamma$

Στην εικόνα 4.1 φαίνεται η μορφή του διαγράμματος της μέτρησης του φάσματος όπου φαίνονται η κορυφή του Am και του Cs καθώς και επίδραση της θερμοκρασίας στη συγκεκριμένη μέτρηση ( μετατόπιση κορυφής ). Το διάγραμμα που λαμβάνεται κατά τον έλεγχο συγκρίνεται με παλαιότερο και εντοπίζονται οι διαφορές τους. Συγκεκριμένα ελέγχεται αν η κορυφή του Am και του Cs συμπίπτουν με αυτές του διαγράμματος αναφοράς. Αν δεν συμπίπτουν και η διαφορά είναι μικρή τότε απλά γίνεται παρέμβαση στην τιμή της εντάσεως της ακτινοβολίας του κάθε στοιχείου που είναι καταχωρημένη στο λογισμικό του αναλυτή έως ότου οι κορυφές των δύο διαγραμμάτων συμπέσουν. Ουσιαστικά πραγματοποιείται μέτρηση της αρχικής έντασης της ακτινοβολίας των δύο πηγών και η τιμή που λαμβάνεται συγκρίνεται και εν τέλει αντικαθιστά τις αρχικές τιμές ( το πρόβλημα προέρχεται από τις πηγές ακτινοβολίας ). Αν οι διαφορές στα διαγράμματα είναι πολύ μεγάλες τότε αυξάνεται η τάση στον ανιχνευτή σπινθήρα έτσι ώστε να αυξηθεί η ευαισθησία του ανιχνευτή και εξομαλυνθούν οι διαφορές στα διαγράμματα φάσματος ( Η αρχική τάση του

ανιχνευτή είναι στα 900 V και αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου όταν χρειάζεται έως την τιμή των 1200 V ).

Στον αναλυτή της ταινίας K39 που έγιναν οι μετρήσεις δεν χρειάστηκαν σημαντικές αλλαγές διότι ο αναλυτής βρισκόταν σε καλή κατάσταση. Οι αλλαγές που έγιναν αφορούσαν μόνο τις τιμές των εντάσεων των πηγών και έπειτα από αυτή την παρέμβαση οι κορυφές των διαγραμμάτων φάσματος της ακτινοβολίας  $\gamma$  δεν παρουσίασαν διαφορές άξιες αναφοράς.

#### 4.2. Βαθμονόμηση του αναλυτή

Η βαθμονόμηση του αναλυτή πραγματοποιήθηκε με σκοπό τη διαπίστωση της ποιότητας της μέτρησης του αναλυτή. Αυτό σημαίνει ότι έπρεπε να πραγματοποιηθεί έλεγχος για το αν ο αναλυτής ανταποκρίνεται στις θεωρητικές αρχές που διέπουν τον τρόπο λειτουργίας του. Όπως έχει αναφερθεί στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο η μείωση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας εξαρτάται από τρεις παράγοντες. Αυτοί είναι ο συντελεστής απορρόφησης μάζας  $\mu$ , το ύψος του λιγνίτη  $h$  και την πυκνότητα  $\rho$  του μεταφερόμενου από την ταινία λιγνίτη. Ο αναλυτής έχει δύο πηγές ακτινοβολίας από τις οποίες η μία (  $Am$ , 60 KeV ) εξαρτάται και από τους τρεις παραπάνω παράγοντες ενώ η άλλη (  $Cs$ , 660 KeV ) μόνο από την πυκνότητα και το ύψος  $h$ . Έτσι έχοντας σταθερό περίπου το γινόμενο  $\rho \cdot h$  ( με  $0,9 < \rho < 1,1$  και  $10 < h < 30$  cm με συνήθη τιμή 15 με 20 cm) και έχοντας υπόψη την εξίσωση 2.3 υπολογίζεται το  $\mu$  και έπειτα οι παράμετροι ποιότητας του λιγνίτη.

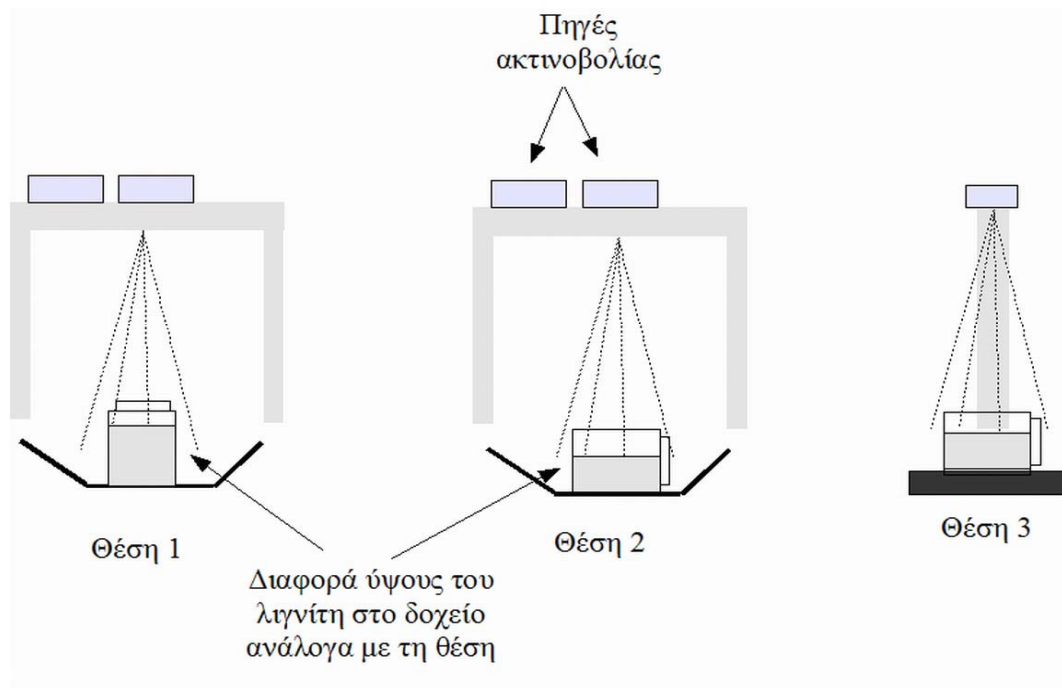
Σύμφωνα με τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό το πόσο σημαντικό είναι, για την ακρίβεια της μέτρησης του αναλυτή, το γινόμενο  $\rho \cdot h$  να είναι περίπου σταθερό. Ο τρόπος με τον οποίο ελέγχεται ο αναλυτής είναι η μέτρηση σε υλικό με παρόμοια πυκνότητα με αυτή του λιγνίτη σε διάφορα ύψη που θεωρητικά ο λιγνίτης έχει πάνω στην ταινία ανάλογα με τις συνθήκες παραγωγής. Το υλικό με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ήταν το νερό σε ένα δοχείο χωρητικότητας 6 περίπου lt. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 4 στάθμες νερού 8, 15, 20 και 25 cm με όριο ανίχνευσης του αναλυτή τα 4 cm. Το γινόμενο που υπολόγισε ο αναλυτής βάση της εξίσωσης 4.1 δεν παρουσίασε σημαντικό σφάλμα και ο αναλυτής κρίθηκε ικανός για τις μετρήσεις των σύνθετων δειγμάτων.

$$I = I_0 e^{-\mu \rho h} \quad (4.1)$$

όπου : CRo & CR η αρχική και η μειωμένη ένταση του Cs και μ ο συντελεστής απορρόφησης μάζας του Cs

#### 4.3. Μέθοδος λήψης μετρήσεων

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν αυτή που προβλέπεται από τον κατασκευαστή για στατική ρύθμιση του αναλυτή. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε με τον φορητό υπολογιστή που συνοδεύει τον αναλυτή στο μενού του λειτουργικού προγράμματος του tare and static calibration. Αυτό συμβαίνει γιατί η μέτρηση των δειγμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο σε ακίνητη μεταφορική ταινία. Το μετρούμενο μέγεθος είναι η ένταση της ακτινοβολίας η οποία μετράται υπό τη μορφή του αριθμού των κρούσεων προς το χρόνο μέτρησης. Απαραίτητη είναι και η μέτρηση της αρχικής έντασης των πηγών ακτινοβολίας, αυτών δηλαδή σε κενή ταινία, για τους υπολογισμούς των μ και ποσοστού τέφρας.



Εικόνα 4.2 : Θέσεις στις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις των δειγμάτων

Οι τιμές που πάρθηκαν για κάθε δείγμα είναι οι εντάσεις των δύο πηγών ακτινοβολίας, το  $\mu$  ( $\text{cm}^2/\text{gr}$ ) και το γινόμενο  $\rho \cdot h$  ( $\text{gr}/\text{cm}^2$ ). Υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης του αριθμού των κύκλων μετρήσεων έτσι ώστε να παρέχεται η καλύτερη δυνατή σχέση ακρίβειας της μέτρησης και χρόνου λήψης της μέτρησης με την επιλογή max tarecycles που στις μετρήσεις των δειγμάτων ήταν στον αριθμό 600 (δηλαδή 600 μετρήσεις από τις οποίες ως τιμή της έντασης θα ληφθεί ο μέσος όρος τους).

Η διαδικασία της λήψης της μέτρησης ήταν απλή, όμως ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην τοποθέτηση του δείγματος ακριβώς κάτω από την οπή από την οποία εξέρχεται η ακτινοβολία. Επίσης κρίθηκε σκόπιμη η λήψη μέτρησης στα δείγματα σε διαφορετικά ύψη του λιγνίτη μέσα στο δοχείο που βρίσκεται. Αυτό κατέστη δυνατό με την τοποθέτηση του δείγματος από την όρθια στην πλάγια θέση όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2. Έτσι στη θέση 1 το ύψος του λιγνίτη είναι τουλάχιστον 10 cm ενώ στις θέσεις 2 και 3 είναι περίπου στα 5 με 6 cm. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται η δυνατότητα παρατήρησης της μεταβολής της μέτρησης του αναλυτή κοντά στο όριο ανίχνευσης του. Επίσης θα υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου των τιμών λόγω του μεγαλύτερου πλήθους μετρήσεων, πχ μια μέτρηση που το δείγμα δεν ήταν ακριβώς κάτω από την οπή γίνεται εύκολα αντιληπτή αφού υπάρχουν άλλες τρεις μετρήσεις του ίδιου δείγματος.

#### 4.4. Μετρήσεις στην αρχική τους μορφή και περιγραφικά στατιστικά στοιχεία

Οι μετρήσεις στην αρχική του μορφή, όπως δηλαδή αυτές πάρθηκαν επί τόπου από τη μεταφορική ταινία K39 δίνονται στους πίνακες 4.2 έως 4.10. Οι τιμές MR αναφέρονται στη μέση τιμή των μετρήσεων του αναλυτή σε ένα λεπτό, το  $\rho h$  είναι η πυκνότητα του λιγνίτη επί το ύψος του δείγματος και το  $\mu$  είναι ο συντελεστής απορρόφησης που υπολογίζεται και φαίνονται στον πίνακα 4.1 για κενή ταινία.

Η λήψη των τιμών των εντάσεων της ακτινοβολίας των στοιχείων Am και Cs πραγματοποιήθηκε με σκοπό την παρέμβαση στο αρχικό στάδιο της μέτρησης του αναλυτή. Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται ο αναλυτής όσον αφορά τον τρόπο μέτρησης του (μέτρηση φυσικών σταθερών) και την κατάσταση που βρίσκονται οι πηγές εκπομπής ακτινοβολίας και όχι η μαθηματική προσέγγιση και ρύθμιση των

παραμέτρων του. Η μαθηματική προσέγγιση και η ρύθμιση θα πραγματοποιηθεί στην επόμενη παράγραφο.

Επιπρόσθετα χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις των εντάσεων και όχι απευθείας των τιμών της τέφρας αποφεύγονται τα σφάλματα που έχει παρατηρηθεί ότι προκαλούν οι βρόχοι ελέγχου του λειτουργικού προγράμματος του αναλυτή. Επίσης δίνεται η δυνατότητα εξαγωγής νέας συνάρτησης που αποδίδει το ποσοστό της τέφρας σύμφωνα με τα δεδομένα των δειγμάτων που συλλέχθηκαν και κατά συνέπεια τη ρύθμιση του αναλυτή σε σημερινά δεδομένα της εκμετάλλευσης.

**Πίνακας 4.1 :** Τα βασικά μεγέθη που μετρήθηκαν από τον αναλυτή σε κενή ταινία

Μέτρηση σε κενή ταινία	
MR <sub>Am</sub>	719,4
MR <sub>Cs</sub>	944
ρh( g/cm <sup>2</sup> )	4,62
μ ( cm <sup>2</sup> /g )	0,0507

**Πίνακας 4.2 :** Πίνακας των μετρήσεων του αναλυτή για την πρώτη σειρά δειγμάτων της 3<sup>ης</sup> τομής

A/A	Θέση 1	Θέση 2	Θέση 3
<b>No 0</b>			
MR <sub>Am</sub>	200,9	353,5 / 390,9	498,05
MR <sub>Cs</sub>	334,8	455,5 / 488,4	546
ρh(g/cm <sup>2</sup> )	12,49	8,72 / 7,95	6,56
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,1028	0,0821 / 0,0774	0,0566
<b>No 1</b>			
MR <sub>Am</sub>	237	332	404,6
MR <sub>Cs</sub>	383,7	455,5	504,6
ρh(g/cm <sup>2</sup> )	10,9	8,76	7,56
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,1021	0,0882	0,077
<b>No 2</b>			
MR <sub>Am</sub>	198,1	248,4	480,8
MR <sub>Cs</sub>	343,5	393,9	560,3
ρh(g/cm <sup>2</sup> )	12,13	10,55	6,26
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,1047	0,1022	0,0646
<b>No 3</b>			
MR <sub>Am</sub>	272,3	352,8	366,7
MR <sub>Cs</sub>	404,3	469,9	488,1
ρh(g/cm <sup>2</sup> )	10,16	8,38	7,93
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0962	0,0859	0,0853

**Πίνακας 4.3 :** Πίνακας των μετρήσεων του αναλυτή για τη δεύτερη σειρά δειγμάτων της 3<sup>ης</sup> τομής

A/A	Θέση 1	Θέση 2	Θέση3
<b>No 0</b>			
MR <sub>Am</sub>	233,6	316,8	379
MR <sub>Cs</sub>	392,6	459,1	500,3
ph(g/cm <sup>2</sup> )	10,55	8,73	7,65
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,1069	0,0945	0,0852
<b>No 1</b>			
MR <sub>Am</sub>	167,9	123,3 / 300	652,8
MR <sub>Cs</sub>	312,5	255,6 / 412	639,2
ph(g/cm <sup>2</sup> )	13,31	15,75 / 9,79	4,69
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,1095	0,01126 / 0,0886	0,0171
<b>No 2</b>			
MR <sub>Am</sub>	180,5	292,8	477,4
MR <sub>Cs</sub>	340	439	565,6
ph(g/cm <sup>2</sup> )	12,24	9,19	6,16
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,113	0,0979	0,0668
<b>No 3</b>			
MR <sub>Am</sub>	234	293,6	486,3
MR <sub>Cs</sub>	407,2	458,8	578,1
ph(g/cm <sup>2</sup> )	10,08	8,65	5,93
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,1117	0,1042	0,0657

**Πίνακας 4.4 :** Πίνακας των μετρήσεων του αναλυτή για την τρίτη σειρά δειγμάτων της 3<sup>ης</sup> τομής

A/A	Θέση 1	Θέση 2	Θέση3
<b>No 0</b>			
MR <sub>Am</sub>	201,8	288,4	457,3
MR <sub>Cs</sub>	337,5	410,8	529,1
ph(g/cm <sup>2</sup> )	12,38	9,96	6,94
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,1036	0,0919	0,0638
<b>No 1</b>			
MR <sub>Am</sub>	258,3	344,8	428,8
MR <sub>Cs</sub>	393,9	408,4	522,8
ph(g/cm <sup>2</sup> )	10,57	8,44	7,1
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0972	0,0875	0,0732

**Πίνακας 4.5 :** Πίνακας των μετρήσεων του αναλυτή για την πρώτη σειρά δειγμάτων της 4<sup>ης</sup> τομής

A/A	Θέση 1	Θέση 2	Θέση3
<b>No 0</b>			
MR <sub>Am</sub>	244,4	279,5	419,9
MR <sub>Cs</sub>	344,4	396,3	503,9
ph(g/cm <sup>2</sup> )	12,1	10,52	7,54
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0902	0,0897	0,0716
<b>No 1</b>			
MR <sub>Am</sub>	257,3	360,5	449,9
MR <sub>Cs</sub>	392,8	474,2	530,7
ph(g/cm <sup>2</sup> )	10,5	8,28	6,9
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0983	0,0878	0,0687
<b>No 2</b>			
MR <sub>Am</sub>	582,3	233,8	767
MR <sub>Cs</sub>	558,3	351,5	673
ph(g/cm <sup>2</sup> )	6,28	11,88	4,05
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0336	0,0948	0,0005
<b>No 3</b>			
MR <sub>Am</sub>	705,1	316,1	581,9
MR <sub>Cs</sub>	625,8	471,3	596,6
ph(g/cm <sup>2</sup> )	5,03	8,43	5,59
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0055	0,0982	0,0367

**Πίνακας 4.6 :** Πίνακας των μετρήσεων του αναλυτή για τη δεύτερη σειρά δειγμάτων της 4<sup>ης</sup> τομής

A/A	Θέση 1	Θέση 2	Θέση3
<b>No 1</b>			
MR <sub>Am</sub>	406,9	317,1	443,4
MR <sub>Cs</sub>	451,5	451,6	533,2
ph(g/cm <sup>2</sup> )	8,95	8,93	6,94
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0638	0,0925	0,0705
<b>No 2</b>			
MR <sub>Am</sub>	404,4	204,2	524,4
MR <sub>Cs</sub>	450	341,1	549,2
ph(g/cm <sup>2</sup> )	8,99	12,34	6,5
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0645	0,1021	0,0487
<b>No 3</b>			
MR <sub>Am</sub>	333	264,3	488,4
MR <sub>Cs</sub>	419,1	409,8	555,1
ph(g/cm <sup>2</sup> )	9,87	10,13	6,31
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0779	0,095	0,0621

**Πίνακας 4.7 :** Πίνακας των μετρήσεων του αναλυτή για την τρίτη σειρά δειγμάτων της 4<sup>ης</sup> τομής

A/A	Θέση 1	Θέση 2	Θέση3
<b>No 0</b>			
MR <sub>Am</sub>	343,4	322,4	483,7
MR <sub>Cs</sub>	452,9	437,2	545,6
ph(g/cm <sup>2</sup> )	8,91	9,2	6,61
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0834	0,0876	0,0605
<b>No 1</b>			
MR <sub>Am</sub>	380,9	317,8	499,1
MR <sub>Cs</sub>	457	446,1	554,2
ph(g/cm <sup>2</sup> )	8,77	9,01	6,46
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0732	0,0911	0,0563
<b>No 3</b>			
MR <sub>Am</sub>	283,8	283,2	624,7
MR <sub>Cs</sub>	409,5	432,7	606,6
ph(g/cm <sup>2</sup> )	10,16	9,45	5,41
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0917	0,0992	0,0256

**Πίνακας 4.8 :** Πίνακας των μετρήσεων του αναλυτή για την πρώτη σειρά δειγμάτων της 6<sup>ης</sup> τομής

A/A	Θέση 1	Θέση 2	Θέση3
<b>No 0</b>			
MR <sub>Am</sub>	285,5	438,5	529,1
MR <sub>Cs</sub>	405,6	514,4	575
ph(g/cm <sup>2</sup> )	10,24	7,38	6,09
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0898	0,0691	0,0522
<b>No 2</b>			
MR <sub>Am</sub>	220,9	305,3	522,2
MR <sub>Cs</sub>	378	442,5	573
ph(g/cm <sup>2</sup> )	11,16	9,15	6
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,106	0,0941	0,0533
<b>No 3</b>			
MR <sub>Am</sub>	260,6	229,1	523,4
MR <sub>Cs</sub>	418,8	378,6	581,7
ph(g/cm <sup>2</sup> )	10,28	11,03	5,87
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,099	0,1051	0,0536



**Πίνακας 4.9 :** Πίνακας των μετρήσεων του αναλυτή για τη δεύτερη σειρά δειγμάτων της 6<sup>ης</sup> τομής

A/A	Θέση 1	Θέση 2	Θέση3
<b>No 0</b>			
MR <sub>Am</sub>	243,8	328,8	454,5
MR <sub>Cs</sub>	378,6	451,4	526,3
ph(g/cm <sup>2</sup> )	11	8,89	7
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0985	0,0882	0,663
<b>No 1</b>			
MR <sub>Am</sub>	328,05	266,4	676
MR <sub>Cs</sub>	450	421,5	625,4
ph(g/cm <sup>2</sup> )	8,91	9,77	4,97
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0882	0,102	0,012
<b>No 2</b>			
MR <sub>Am</sub>	498,9	688,8	584,2
MR <sub>Cs</sub>	526	647	619,3
ph(g/cm <sup>2</sup> )	7,05	4,55	5,07
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0523	0,0087	0,0382

**Πίνακας 4.10 :** Πίνακας των μετρήσεων του αναλυτή για την τρίτη σειρά δειγμάτων της 6<sup>ης</sup> τομής

A/A	Θέση 1	Θέση 2	Θέση3
<b>No 0</b>			
MR <sub>Am</sub>	245,1	243,1	531,4
MR <sub>Cs</sub>	381,3	370,6	568,6
ph(g/cm <sup>2</sup> )	10,95	11,21	6
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,0978	0,0968	0,0508
<b>No 1</b>			
MR <sub>Am</sub>	238,4	247,6	474,4
MR <sub>Cs</sub>	384,2	383,3	542,9
ph(g/cm <sup>2</sup> )	10,9	10,83	6,71
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,1011	0,0989	0,0639
<b>No 2</b>			
MR <sub>Am</sub>	212,1	210,8	480,3
MR <sub>Cs</sub>	366,2	357,2	555,5
ph(g/cm <sup>2</sup> )	11,43	11,66	6,41
μ (cm <sup>2</sup> /g)	0,1078	0,1058	0,0629

Στον πίνακα 4.11 δίνονται οι τιμές των περιγραφικών στατιστικών στοιχείων πρώτα για όλες τις τιμές των εντάσεων σε κάθε θέση και έπειτα ομαδοποιημένα για τις τιμές των εντάσεων σε κάθε τομή. Επίσης δίνονται στην τελευταία στήλη τα στατιστικά

στοιχεία της τέφρας επί φυσικού του χημείου. Παρατηρείται ότι το ποσοστό της τέφρας για την 3<sup>η</sup> τομή ( E13 ) είναι αυξημένο πράγμα που εξηγεί τη διαφορά στην τιμή της έντασης του Am στη συγκεκριμένη τομή από τις άλλες δύο. Επίσης παρατηρείται ότι από τη διαφορά στο ποσοστό της τέφρας μεταξύ της 3<sup>ης</sup> και της 4<sup>ης</sup> και 6<sup>ης</sup> ( E14 & E16 ) δεν επηρεάζεται η ένταση της ακτινοβολίας του Cs πράγμα που επιβεβαιώνει τη θεωρία βάση της οποίας το μ το Cs εξαρτάται από την ποσότητα και όχι από το ποσοστό τέφρας. Ακόμα είναι ενδιαφέρουσα η μείωση της τιμής του εύρους R από το σύνολο των τιμών στην ομαδοποίηση κατά τομές ( από 400 με 500 σε 100 με 250 ). Το ίδιο συμβαίνει και με την τυπική απόκλιση όσον αφορά όμως τη θέση 1.

**Πίνακας 4.11 :** Οι τιμές των μετρηθέντων εντάσεων των δύο πηγών για κάθε δείγμα

	Αποτελέσματα	Θέση 1		Θέση 2		Θέση 3		Τέφρα (%)
		MR <sub>Am</sub>	MR <sub>Cs</sub>	MR <sub>Am</sub>	MR <sub>Cs</sub>	MR <sub>Am</sub>	MR <sub>Cs</sub>	
Συνολικά	Μέσος	298.59	410.34	309.67	432.46	506.54	560.34	18.50
	Τυπική απόκλιση	123.00	68.72	88.84	58.41	89.10	43.31	6.45
	Ελάχιστος	167.90	312.50	204.20	341.10	366.70	488.10	9.05
	Μέγιστος	705.10	625.80	688.80	647.00	767.00	673.00	32.82
	Διασπορά	537.20	313.30	484.60	305.90	400.30	184.90	23.77
Τομή E13	Μέσος E13	218.44	365.00	312.31	436.29	463.18	543.41	21.54
	Τυπική απόκλιση E13	33.83	34.61	33.89	27.32	81.15	44.99	7.63
	Ελάχιστος E13	167.90	312.50	248.40	393.90	366.70	488.10	9.05
	Μέγιστος E13	272.30	407.20	353.50	469.90	652.80	639.20	32.82
	Διασπορά E13	104.40	94.70	105.10	76.00	286.10	151.10	23.77
Τομή E14	Μέσος E14	394.15	456.13	289.89	421.18	528.24	564.81	18.23
	Τυπική απόκλιση E14	146.13	81.20	46.60	46.28	104.72	48.48	5.88
	Ελάχιστος E14	244.40	344.40	204.20	341.10	419.90	503.90	10.53
	Μέγιστος E14	705.10	625.80	360.50	474.20	767.00	673.00	28.87
	Διασπορά E14	460.70	281.40	156.30	133.10	347.10	169.10	18.34
Τομή E16	Μέσος E16	281.48	409.86	328.71	440.72	530.61	574.19	15.44
	Τυπική απόκλιση E16	88.72	50.71	151.61	91.87	66.73	32.34	4.35
	Ελάχιστος E16	212.10	366.20	210.80	357.20	454.50	526.30	9.37
	Μέγιστος E14	705.10	625.80	360.50	474.20	767.00	673.00	28.87
	Διασπορά E16	286.80	159.80	478.00	289.80	221.50	99.10	12.73

#### 4.5. Αναλυτικός και στατιστικός τρόπος υπολογισμού του ποσοστού της τέφρας

Ο υπολογισμός του ποσοστού της τέφρας των δειγμάτων είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος βασίζεται στη θεωρητική προσέγγιση ( αναλυτικό μοντέλο ) και λαμβάνει υπόψη του μόνο τους συντελεστές απορρόφησης μάζας που προκύπτουν από το μοντέλο 6 / 12 και αναφέρονται ως  $\mu$  καυσίμου και νερού (  $\mu_{w+c}$  ) και  $\mu$  τέφρας (  $\mu_{ash}$  ). Υπενθυμίζεται ότι όταν γίνεται αναφορά στο συντελεστή απορρόφησης μάζας εννοείται το  $\mu$  της πηγής εκπομπής ακτινοβολίας Am ( το  $\mu$  του Cs δεν εξαρτάται από τον ατομικό αριθμό (  $Z$  ) των στοιχείων ). Ως καύσιμο λαμβάνονται τα στοιχεία C, H, N, O με  $\mu$  και αναλογία που φαίνεται στον πίνακα 4.12 .

**Πίνακας 4.12 :** Τα στοιχεία που αποτελούν το καύσιμο του λιγνίτη και οι αντίστοιχοι συντελεστές απορρόφησης μάζας  $\mu$

Στοιχείο	C	H	N	O
$\mu$ ( gr/cm <sup>2</sup> )	0.175	0.326	0.182	0.191
Αναλογία ( % )	60,5	6,7	2,1	30,7

Το συνολικό  $\mu$  υπολογίζεται βάση του τύπου :

$$\mu = \sum w_i \mu_i \quad (4.2)$$

όπου : w το ποσοστό που συμμετέχει κάθε στοιχείο

$\mu_i$  ο συντελεστής απορρόφησης μάζας για το στοιχείο i

Η τιμή του  $\mu_{w+c}$  είναι τελικά 0,2011 και του Cs έχει μέση τιμή 0,088 ( η εταιρεία κατασκευής του αναλυτή το έχει υπολογίσει περίπου 0,083 και η διαφορά μάλλον προκύπτει λόγω χρήσης διαφορετικής πηγής δεδομένων, τα δεδομένα προήλθαν από το διαδίκτυο από τη διεύθυνση : physics.nist/PhysRefData/XrayMassCoef/ElemTab ). Τα στοιχεία που αποτελούν το ποσοστό της τέφρας του λιγνίτη αναφέρονται μαζί με τους συντελεστές απορρόφησης μάζας τους στον πίνακα 4.13.

**Πίνακας 4.13 :** Οι συντελεστές απορρόφησης μάζας  $\mu$  του Am και του Cs των ανόργανων στοιχείων της τέφρας

Ένωση	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
$\mu_{Am}$ ( cm <sup>2</sup> /gr )	0,23	0,10	0,11	0,10	0,36	0,31	0,63	0,65	0,13	0,40
$\mu_{Cs}$ ( cm <sup>2</sup> /gr )	0.08	0.05	0.10	0.06	0.13	0.09	0.08	0.14	0.09	0.08

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση 4.1 και λύνοντας ως προς το  $\rho h$  θα ισχύει η σχέση :

$$\rho h = \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) / \mu \quad (4.3)$$

Έπειτα χρησιμοποιώντας την 4.2 για κάθε πηγή και διαιρώντας κατά μέλη ισχύει :

$$\frac{\rho_{\lambda\gamma\nu\iota\tau\eta} h_{\lambda\gamma\nu\iota\tau\eta}}{\rho_{\lambda\gamma\nu\iota\tau\eta} h_{\lambda\gamma\nu\iota\tau\eta}} = \frac{\frac{\ln\left(\frac{I_{0\_Cs}}{I_{Cs}}\right)}{\mu_{Cs}}}{\frac{\ln\left(\frac{I_{0\_Am}}{I_{Am}}\right)}{\mu_{Am}}}$$

οπότε

$$\frac{\mu_{Am}}{\mu_{Cs}} = \frac{\ln(I_{0\_Am}) - \ln(I_{Am})}{\ln(I_{0\_Cs}) - \ln(I_{Cs})}$$

Θέτοντας τώρα το δεύτερο σκέλος της εξίσωσης με Q η εξίσωση γίνεται :

$$\mu_{Am} = \mu_{Cs} * Q \quad (4.4)$$

Στην εξίσωση 4.4 πρέπει να διευκρινιστεί ότι τα  $\mu_{Am}$  και  $\mu_{Cs}$  αναφέρονται σε συντελεστή απορρόφησης για το σύνολο του λιγνίτη. Στις επόμενες σχέσεις διασπάται το  $\mu_{Am}$  σε  $\mu_{Ash}$  και  $\mu_{w+c}$  ενώ το  $\mu_{Cs}$  αναφέρεται στο σύνολο του λιγνίτη ( η τιμή του είναι 1,04 περίπου και όχι 0,08 αφού αυτό ισχύει για τα συστατικά της τέφρας )

#### Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Βαθμονόμηση και μετρήσεις στον on line αναλυτή

Γνωρίζοντας ότι το ποσοστό της τέφρας αθροιζόμενο με αυτό του νερού και του καυσίμου ισούται με τη μονάδα :

$$C_A + C_{w+c} = 1 \quad (4.5)$$

τότε συνδυάζοντας την 4.4 με 4.5

$$C_A = \frac{\mu_{Cs}Q - \mu_{w+c}}{\mu_{Ash} - \mu_{w+c}} \quad (4.6)$$

Η χρήση της τελευταίας εξίσωσης κάνει δυνατό τον υπολογισμό του ποσοστού τέφρας για κάθε δείγμα με το  $\mu$  που υπολογίζεται σε κάθε δείγμα. Ο υπολογισμός του  $\mu$  για το καθένα πραγματοποιείται με χρήση της εξίσωσης 4.2 στη στοιχειακή ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τα 36 δείγματα. Το  $\mu$ , το  $Q$  και το ποσοστό τέφρας  $C_A$  του κάθε δείγματος για τις τρεις θέσεις φαίνονται στον πίνακα 4.14.

**Πίνακας 4.14 :** Υπολογισμός του ποσοστού τέφρας με τη θεωρητική προσέγγιση

Δείγματα	$\mu$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$CA_1$	$CA_2$	$CA_3$	Τέφρα (%)
E14/1/1	0.33	2.15	2.31	2.44	15.44	16.72	17.72	15.63
E14/1/2	0.33	1.91	1.95	3.11	13.22	13.55	22.55	23.48
E16/1/2	0.32	2.26	2.32	2.60	17.30	17.85	20.19	18.29
E13/1/1	0.31	2.20	2.29	2.39	18.70	19.52	20.48	15.83
E13/1/2	0.30	2.11	2.22	2.70	19.36	20.42	25.29	28.38
E14/3/1	0.29	2.00	2.28	2.44	20.28	23.40	25.25	18.05
E13/2/1	0.31	2.07	2.06	3.12	18.20	18.06	28.39	22.99
E13/2/2	0.31	2.21	2.37	2.83	19.37	20.94	25.41	26.78
E13/3/1	0.33	2.15	1.78	2.47	16.29	13.19	18.95	17.29
E16/2/1	0.32	2.25	2.37	2.38	17.58	18.56	18.71	14.71
E16/2/2	0.33	2.04	2.97	3.20	15.34	23.12	25.04	22.1
E16/3/1	0.32	2.19	2.13	2.44	17.51	16.91	19.70	13.7
E16/3/2	0.31	2.21	2.14	2.61	19.84	19.15	23.80	17.02
E14/2/2	0.34	1.81	2.05	2.18	12.35	14.22	15.19	15.56

Ο δεύτερος τρόπος υπολογισμού του ποσοστού τέφρας των δειγμάτων αφορά τη στατιστική προσέγγιση. Έχοντας υπόψη ότι η σχέση του Q της σχέσης 4.4 με το ποσοστό της τέφρας είναι γραμμική είναι δυνατό να εξαχθεί η εξίσωση υπολογισμού του ποσοστού αυτού. Η εξίσωση θα είναι της μορφής :

$$C_A = aQ + b \quad (4.7)$$

Ο υπολογισμός των συντελεστών  $a$  και  $b$  πραγματοποιείται με γραμμική παλινδρόμηση του ποσοστού τέφρας που υπολογίστηκε στο χημείο του ΑΗΣ Β και του Q. Λόγω της ύπαρξης τεχνητά ρυπασμένων δειγμάτων η ομαδοποίηση όλων των δειγμάτων μαζί και η εξαγωγή μιας εξίσωσης για όλα τα δείγματα με ικανοποιητική ακρίβεια δεν είναι δυνατή. Κρίθηκε αναγκαίο να πραγματοποιηθεί ομαδοποίηση των δειγμάτων ανάλογα με το ποσοστό τέφρας που έχουν καθώς επίσης και ανάλογα με την τομή με την οποία προέρχονται.

Η ομαδοποίηση ανάλογα με την τομή που προέρχεται κάθε δείγμα δεν εξάγει κάποια εξίσωση η οποία να ανταποκρίνεται στην ακρίβεια του αναλυτή ή κοντά σε αυτή. Αυτό ήταν αναμενόμενο διότι πραγματοποιείται παλινδρόμηση με ‘καθαρά’ και ρυπασμένα δείγματα μαζί. Είναι λογικό λοιπόν να υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στις τιμές που υπολογίζει η εξαγόμενη εξίσωση και στις τιμές του χημείου. Επίσης είναι άξιο αναφοράς το γεγονός ότι στα ρυπασμένα δείγματα αναμένονται σημαντικές αποκλίσεις λόγω του ότι το υψηλό ποσοστό της τέφρας συνεπάγεται ύπαρξη στοιχείων με μεγάλο Z πράγμα που αντιβαίνει με το μοντέλο 6 – 12 ( δηλαδή τα στοιχεία που αποτελούν την τέφρα έχουν Z αρκετά μεγαλύτερο από 12 ). Ακόμα έγινε προσπάθεια περαιτέρω ομαδοποίησης ανάλογα με τη ρύπανση κάθε δείγματος. Όμως ο αριθμός των τιμών με βάση τα οποία πραγματοποιείται η παλινδρόμηση μειώνεται κατά πολύ και στην ουσία δεν περιγράφει το σύνολο της ποιότητας της κάθε τομής αλλά μικρές ομάδες δειγμάτων.

Μια διαφορετική προσέγγιση είναι η ομαδοποίηση των δειγμάτων ως προς το ποσοστό τη ρύπανση που έχουν δεχθεί. Έτσι τα δείγματα χωρίζονται σε δύο ομάδες, η μια αποτελείται από τα δείγματα που δεν έχουν ρυπανθεί ( No0 ) και τα δείγματα με 10 % επιπλέον άγονο και η άλλη με τα δείγματα που έχουν ρυπανθεί αρκετά περισσότερο από άγονο υλικό ( 30 και 40 % ). Η λογική αυτής της ομαδοποίησης

βασίζεται στο ότι η εξαγωγή δύο εξισώσεων, μία για χαμηλά ποσοστά τέφρας και μια για υψηλά ποσοστά, περιγράφει πληρέστερα το εύρος των τιμών και δίνει σχετικά καλά αποτελέσματα. Οι εξισώσεις για κάθε θέση είναι :

$$\text{Θέση 1 } C_A = 38.421 * Q - 69.26 \quad (\text{No } 0 \& 1) \text{ με } R^2 = 0.84 \quad (4.8)$$

$$C_A = 37.721 * Q - 51.955 \quad (\text{No } 2 \& 3) \text{ με } R^2 = 0.73 \quad (4.9)$$

$$\text{Θέση 2 } C_A = 20.856 * Q - 30.732 \quad (\text{No } \& 1) \text{ με } R^2 = 0.83 \quad (4.10)$$

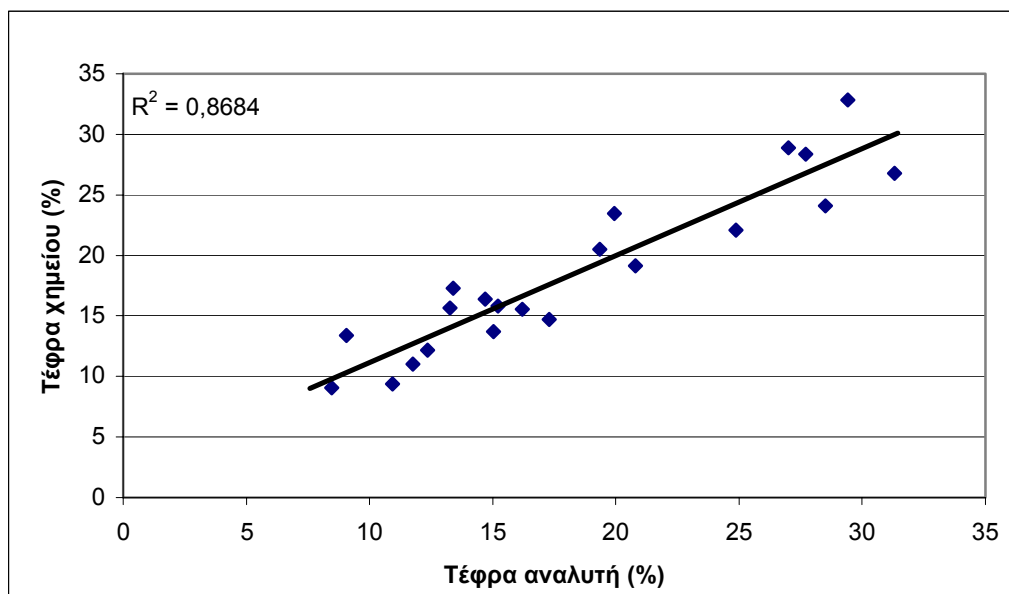
$$C_A = 25.178 * Q - 36.41 \quad (\text{No } 2 \& 3) \text{ με } R^2 = 0.84 \quad (4.11)$$

$$\text{Θέση 3 } C_A = 43.837 * Q - 90.502 \quad (\text{No } 0 \& 1) \text{ με } R^2 = 0.78 \quad (4.12)$$

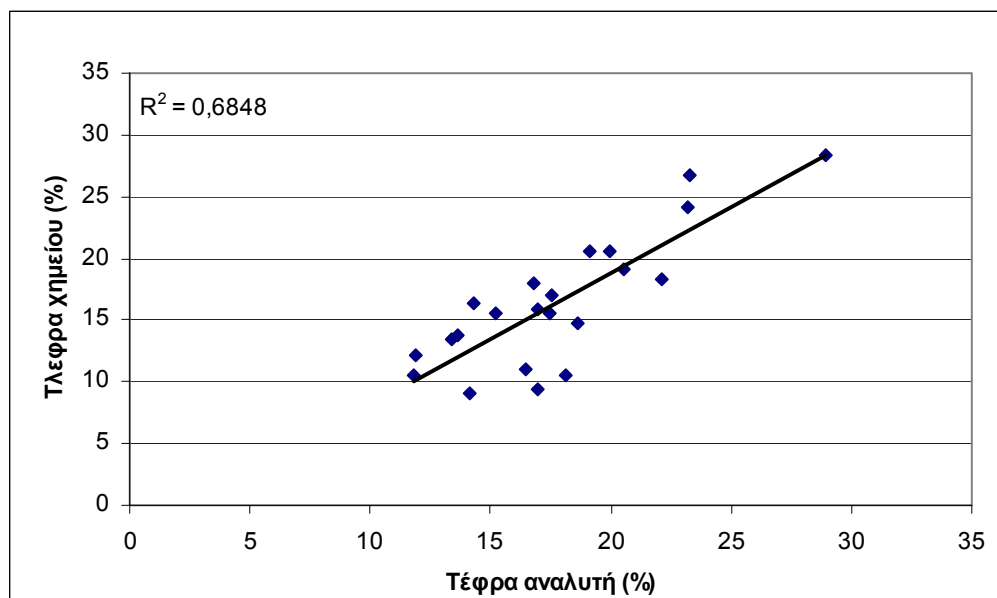
$$C_A = 7.388 * Q - 0.634 \quad (\text{No } 2 \& 3) \text{ με } R^2 = 0.87 \quad (4.13)$$

$$C_A = 6.337 * Q + 9.492 \quad (\text{No } 2 \& 3) \text{ με } R^2 = 0.65 \quad (4.14)$$

Όπου στη θέση 3 χρησιμοποιήθηκαν 3 εξισώσεις γιατί οι δύο εξισώσεις δεν ανταποκρίνονταν σε γραμμική παλινδρόμηση ( εμφανίζονται 3 πληθυσμοί σημείων). Οι τιμές του ποσοστού τέφρας που λαμβάνονται από τον συνδυασμό των παραπάνω εξισώσεων συγκρίνονται με αυτές του χημείου στις εικόνες 4.3, 4.4 και 4.5. Παρατηρείται ότι την μεγαλύτερη ακρίβεια την δίνουν οι εξισώσεις για τη θέση 1 πράγμα που είναι λογικό αν λάβουμε υπόψη ότι οι άλλες δύο θέσεις είναι κοντά στο όριο ανίχνευσης όσον αφορά το ύψος του λιγνίτη πάνω στην ταινία μεταφοράς. Μια χρήσιμη παρατήρηση ακόμα είναι ότι για τιμές του ποσοστού τέφρας πάνω από 30% εμφανίζονται μεγάλες αποκλίσεις σε σχέση με αυτές του χημείου άσχετα με τη θέση που βρίσκεται το δείγμα. Το ίδιο συμβαίνει και για τις χαμηλές τιμές περίπου 10 % πράγμα που εξηγείται μόνο με τη λογική ότι ο αναλυτής έχει ρυθμιστεί για να δίνει ακριβείς τιμές στην περιοχή τιμών 10 – 30 % που είναι οι πλέον συνήθεις στο ΛΚΜ.

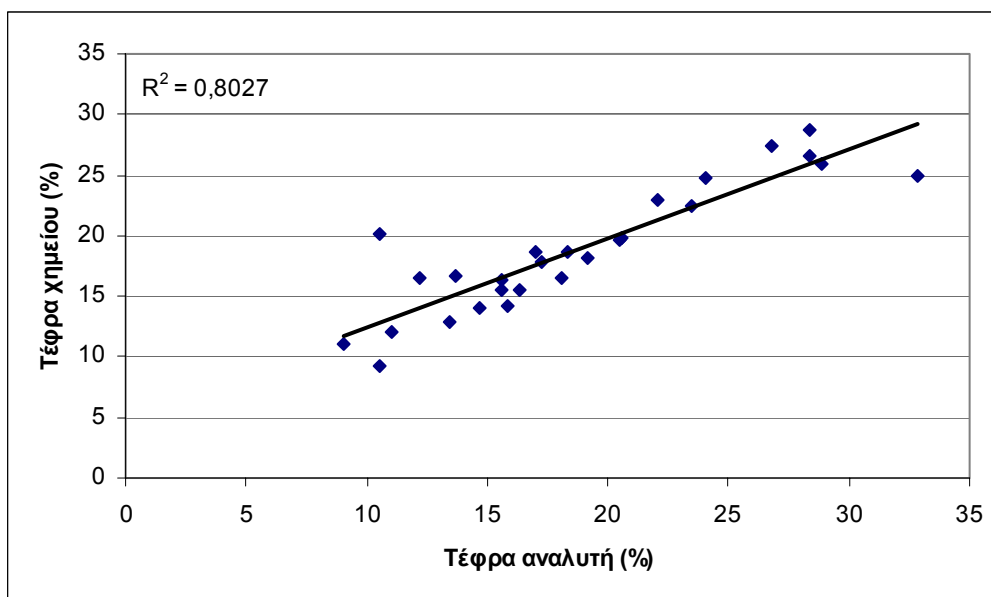


Εικόνα 4.3 : Σύγκριση των τιμών της τέφρας χημείου αναλυτή για τη θέση 1



Εικόνα 4.4: Σύγκριση των τιμών της τέφρας χημείου αναλυτή για τη θέση 2





**Εικόνα 4.5 :** Σύγκριση των τιμών της τέφρας χημείου αναλυτή για τη θέση 3

Η ακρίβεια της παραπάνω ομαδοποίησης είναι καλή όμως όχι και ικανοποιητική όσον αφορά την ακρίβεια που δίνει η εταιρία κατασκευής του αναλυτή ( $\pm 1.5\%$ ). Για το λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθεί νέα ομαδοποίηση η οποία να διακρίνει τα δείγματα με βάση το ποσοστό της περιεχόμενης τέφρας και μόνο. Έτσι τα δείγματα χωρίστηκαν σε δύο περιοχές τιμών, η μια έχει ποσοστό τέφρας από 10 – 17 % και η άλλη από 17 – 30 %. Οι εξισώσεις είναι :

$$\text{Θέση 1 } C_A = 31.167 * Q - 41.351 \quad (10 - 17\%) \text{ με } R^2 = 0.83 \quad (4.15)$$

$$C_A = 36.429 * Q - 64.885 \quad (17 - 30\%) \text{ με } R^2 = 0.85 \quad (4.16)$$

$$\text{Θέση 2 } C_A = 12.415 * Q - 13.41 \quad (10 - 17\%) \text{ με } R^2 = 0.75 \quad (4.17)$$

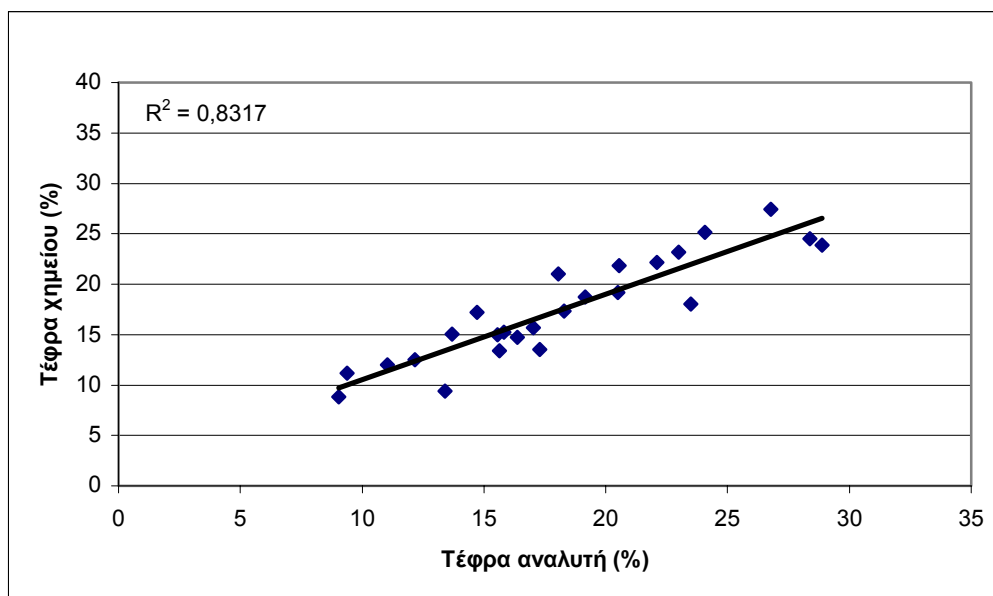
$$C_A = 25.187 * Q - 37.182 \quad (17 - 30\%) \text{ με } R^2 = 0.71 \quad (4.18)$$

$$\text{Θέση 3 } C_A = 32.504 * Q - 64.04 \quad (10 - 17\%) \text{ με } R^2 = 0.6 \quad (4.19)$$

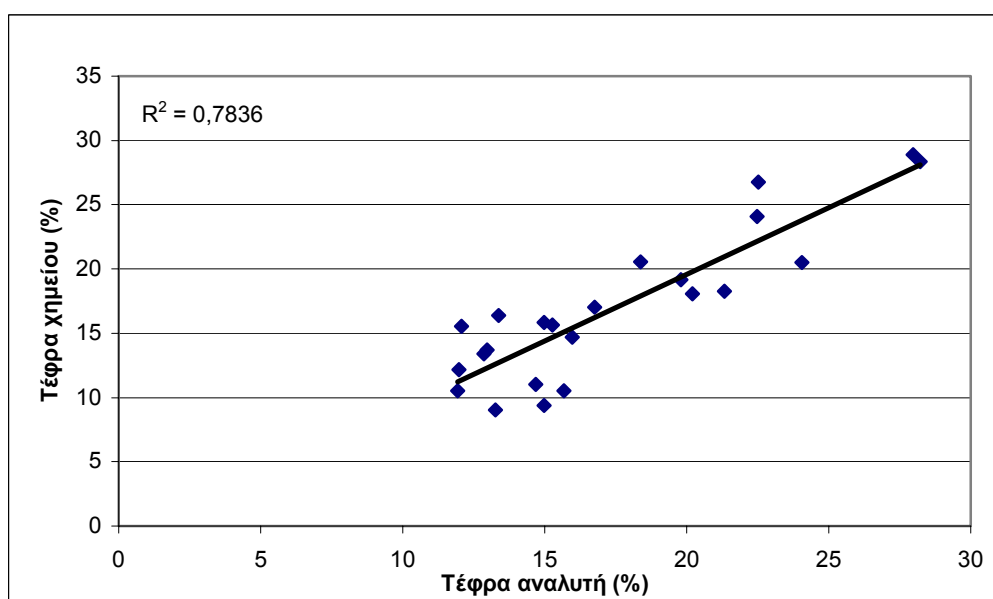
$$C_A = 17.63 * Q - 25.53 \quad (17 - 30\%) \text{ με } R^2 = 0.79 \quad (4.20)$$

Παρατηρείται ότι με την τελευταία ομαδοποίηση επιτυγχάνεται η καλύτερη προσέγγιση των τιμών του χημείου και επιβεβαιώνεται ότι η βέλτιστη θέση μέτρησης είναι η θέση 1. Προτιμάται λόγω του ότι δεν αφαιρούνται πολλά σημεία και διότι οι

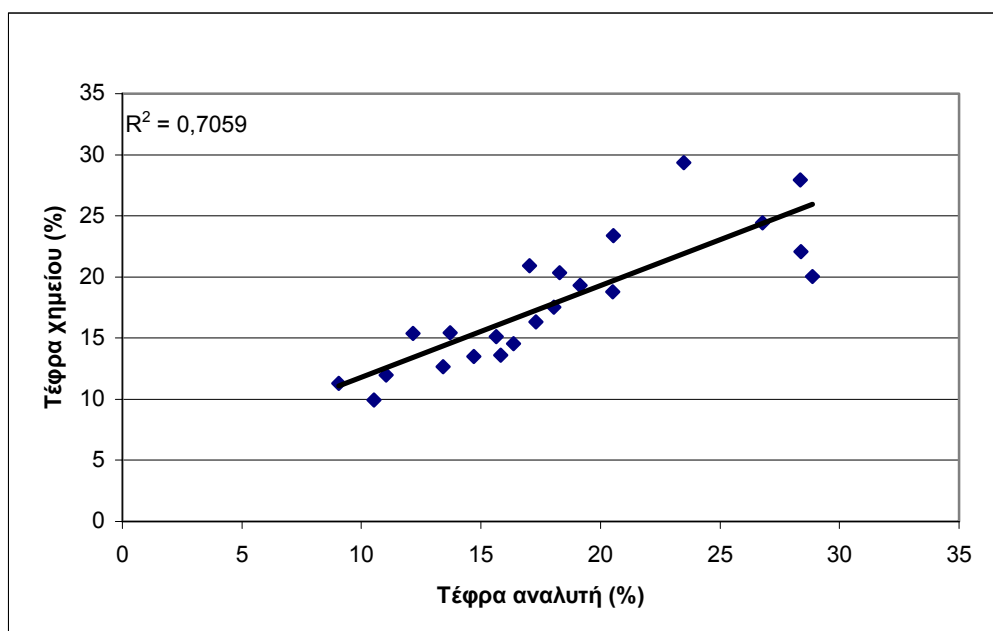
αποκλίσεις που εμφανίζονται είναι περισσότερο ομαλές από τις υπόλοιπες (δεν εμφανίζονται ακραίες τιμές ) Στις εικόνες 4.6-8 φαίνεται η απόδοση κάθε εξίσωσης.



Εικόνα 4.6: Σύγκριση των τιμών της τέφρας χημείου αναλυτή για τη θέση 1



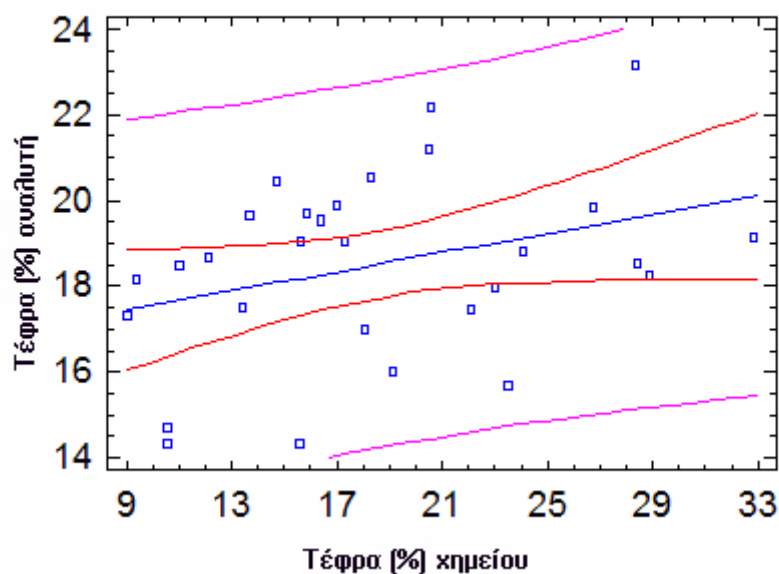
Εικόνα 4.7: Σύγκριση των τιμών της τέφρας χημείου αναλυτή για τη θέση 2



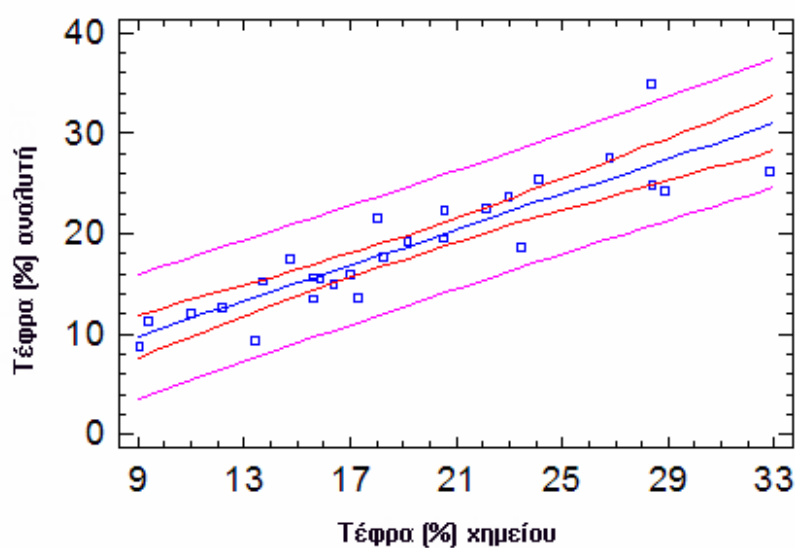
**Εικόνα 4.8:** Σύγκριση των τιμών της τέφρας χημείου αναλυτή για τη θέση 3

#### 4.6. Σύνοψη κεφαλαίου

Ο συνδυασμός των δύο εξισώσεων της θέσης 1 έχει τη μεγαλύτερη αξιοπιστία αφού και οι δύο εξισώσεις δίνουν αποτελέσματα σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95 % ή και περισσότερο. Η γραμμή παλινδρόμησης και τα όρια εμπιστοσύνης φαίνονται στις εικόνες 4.9 και 4.10. Στις δύο εικόνες φαίνεται η διαφορά στην ακρίβεια όταν χρησιμοποιούνται δύο εξισώσεις. Στην πρώτη εικόνα φαίνεται ότι ενώ η γραμμική σχέση του ποσοστού τέφρας και του Q είναι εμφανής δεν υπάρχει η προσδοκώμενη ακρίβεια. Στη δεύτερη εικόνα ( 4.10 ) γίνεται εμφανής η υπεροχή της χρήσης δύο εξισώσεων και η λογική της ομαδοποίησης των δειγμάτων βάση του ποσοστού τέφρας αφού του επίπεδο εμπιστοσύνης ανεβαίνει σε επίπεδα κοντά στο 99 % αν αποκλειστούν ορισμένες τιμές ( περίπου 3 ).

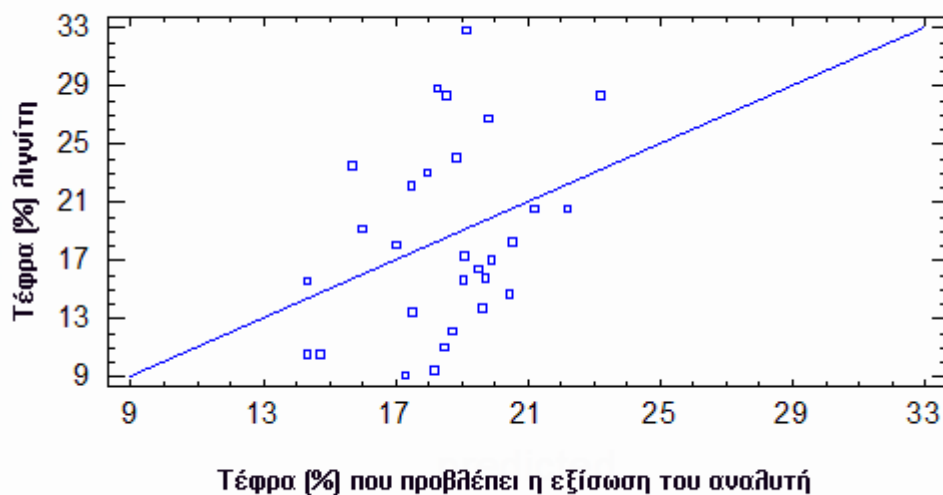


**Εικόνα 4.9:** Η γραμμή παλινδρόμησης και τα όρια εμπιστοσύνης για τιμές τέφρας της θέσης 1 χρησιμοποιώντας μία εξίσωση υπολογισμού

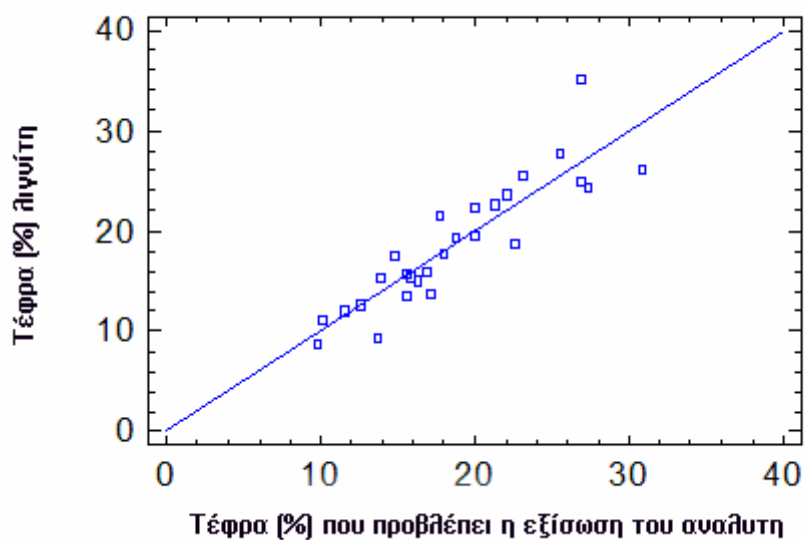


**Εικόνα 4.10:** Η γραμμή παλινδρόμησης και τα όρια εμπιστοσύνης για τιμές τέφρας με τη χρήση της επιλεγμένης ομαδοποίησης

Η διαφορά στην ακρίβεια μέτρησης του αναλυτή με τη χρήση της ομαδοποίησης των τιμών της τέφρας σε δύο τάξεις μεγέθους φαίνεται στις εικόνες 4.11 και 4.12



**Εικόνα 4.11 :** Διάγραμμα κατανομής των τιμών της τέφρας του λιγνίτη χρησιμοποιώντας μία εξίσωση



**Εικόνα 4.12 :** Διάγραμμα κατανομής των τιμών της τέφρας του λιγνίτη χρησιμοποιώντας δύο εξισώσεις( επιλεγόμενη ομαδοποίηση )

Επίσης προσπάθεια εξαγωγής εξίσωσης πραγματοποιήθηκε και με πολλαπλή παλινδρόμηση χρησιμοποιώντας απευθείας τις τιμές των εντάσεων του Am και Cs. Η πολλαπλή παλινδρόμηση έγινε και με τις αρχικές τιμές ως έχουν ( counts/sec ) και ως

φυσικοί λογάριθμοι των εντάσεων χωρίς να αποδώσουν όμως ακρίβεια καλύτερη από αυτή που επιλέχθηκε τελικά (  $R^2 = 0.80$  όσον αφορά την σύγκριση της τέφρας % χημείου με την τέφρα % αναλυτή ).

Τέλος ακόμα μία παρατήρηση μπορεί να γίνει όσον αφορά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της θεωρητικής προσέγγισης και της στατιστικής. Η θεωρητική προσέγγιση δείχνει ως καλύτερες μετρήσεις αυτές της θέσης 3. Η στατιστική δείχνει αυτές της θέσης 1 πράγμα που είναι λογικό λόγω του ότι το ύψος του λιγνίτη σε κάθε δείγμα είναι αρκετά πάνω από το όριο ανίχνευσης. Η ασυμφωνία αυτή δείχνει ότι ίσως υπάρχει σφάλμα στη ρύθμιση των παραμέτρων του αναλυτή ή ότι τα δείγματα με τα οποία πραγματοποιήθηκε η αρχική ρύθμιση των παραμέτρων του δεν έχουν τις ίδιες παραμέτρους ποιότητας με αυτές των σημερινών συνθηκών εκμετάλλευσης. Ο τελευταίος συλλογισμός φαίνεται και πιο πιθανός αφού είναι αναμενόμενη η αλλαγή των ποιοτικών χαρακτηριστικών σε διάστημα περισσότερο των 2 ετών.

## **5. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εξίσωσης υπολογισμού τέφρας και συσχέτιση του σφάλματος της με τη σύσταση της τέφρας**

Στο κεφάλαιο αυτό μελετάται η συσχέτιση της ακρίβειας των μετρήσεων της τέφρας από τον on line αναλυτή με τη χημική σύσταση της τέφρας του λιγνίτη. Η συσχέτιση αυτή αποσκοπεί την βέλτιστη βαθμονόμηση των παραμέτρων του αναλυτή σε σχέση με την ποιότητα του λιγνίτη που εξορύσσεται. Έχοντας υπόψη την ομαδοποίηση που έχει λάβει χώρα κατά την εξαγωγή της εξίσωσης υπολογισμού της τέφρας, είναι δυνατή η διόρθωση των τιμών της τέφρας που υπολογίζει ο αναλυτής με βάση τη μέση ποιότητα του λιγνίτη που εξορύσσεται από κάθε τομή. Κατά συνέπεια είναι δυνατή η βελτίωση της ακρίβειας του αναλυτή με βάση την ποιότητα του διερχόμενου, από τον αναλυτή λιγνίτη. Επίσης αυξάνεται το εύρος των τιμών των ποιοτικών χαρακτηριστικών του λιγνίτη όπου ο αναλυτής έχει αποδεκτή ακρίβεια.

### **5.1. Στατιστική ανάλυση και βασικές στατιστικές παράμετροι των συστατικών που αποτελούν την τέφρα.**

Οι περιεκτικότητες των συστατικών της τέφρας παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1 και οι βασικές στατιστικές τους παράμετροι στον πίνακα 5.2. Στον τελευταίο πίνακα φαίνεται ότι τα στοιχεία που παρουσιάζουν υψηλή διακύμανση είναι το Si και το Ca. Επίσης διακύμανση άξια αναφοράς παρουσιάζουν σε μικρότερη κλίμακα όμως παρουσιάζουν τα S, Al και Fe. Η τιμή  $< 0.4$  που εμφανίζεται στο στοιχείο Na σημαίνει ότι η περιεκτικότητά του είναι τόσο μικρή που είναι κάτω του κατώτατου ορίου ανίχνευσης του συστήματος EDXRF που χρησιμοποιήθηκε για τη χημική ανάλυση της τέφρας.

*Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εξίσωσης υπολογισμού τέφρας και  
συσχέτιση του σφάλματος της με τη σύσταση της τέφρας*

**Πίνακας 5.1 :** Ποσοστά συμμετοχής των 10 κύριων στοιχείων που αποτελούν την τέφρα

Κωδικός Δείγματος	Na <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
E14/1/1	<0,4	4,53	14,32	36,77	3,27	0,29	31,74	0,24	0,04	6,39
E14/1/2	0,41	2,70	11,86	30,47	7,78	0,23	34,95	0,24	0,05	5,57
E16/1/1	<0,4	2,71	16,45	42,24	3,37	0,30	21,90	0,35	0,04	8,73
E16/1/2	<0,4	2,62	17,15	44,02	1,32	0,36	16,44	0,43	0,05	11,82
E13/1/1	<0,4	3,33	18,81	48,28	0,75	0,41	18,50	0,33	0,04	7,99
E13/1/2	<0,4	2,54	20,27	52,04	0,52	0,54	11,68	0,42	0,04	9,29
E14/3/1	<0,4	3,71	21,48	55,12	0,46	0,46	10,99	0,29	0,04	7,42
E14/3/2	<0,4	3,52	22,33	57,30	0,44	0,46	7,93	0,30	0,04	7,50
E13/2/1	<0,4	4,44	18,15	46,57	1,46	0,31	20,84	0,32	0,03	6,25
E13/2/2	<0,4	2,96	17,49	44,90	2,64	0,27	23,65	0,29	0,03	5,13
E13/3/1	<0,4	2,40	18,45	47,35	0,60	0,36	16,40	0,31	0,05	11,72
E13/3/2	<0,4	4,68	18,73	48,08	0,56	0,46	14,03	0,38	0,05	12,34
E16/2/1	<0,4	2,64	17,73	45,51	0,81	0,38	19,72	0,36	0,06	9,65
E16/2/2	<0,4	3,51	16,62	42,66	2,15	0,40	22,46	0,34	0,06	9,06
E16/3/1	<0,4	2,98	19,60	50,31	0,48	0,43	9,42	0,39	0,05	13,64
E16/3/2	<0,4	2,28	20,60	52,88	0,48	0,36	10,01	0,33	0,05	10,67
E14/2/2	<0,4	3,08	9,41	24,22	17,47	0,14	42,13	0,13	0,03	2,10

**Πίνακας 5.2 :** Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τα συστατικά της τέφρα των δειγμάτων

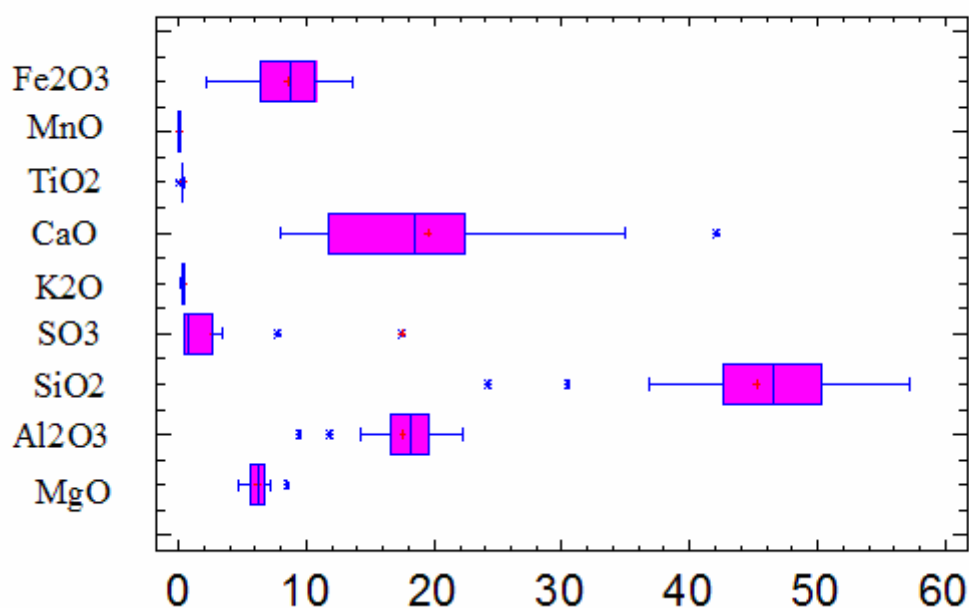
	MgO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
Τυπική απόκλιση	1,08	3,30	8,46	4,25	0,10	9,50	0,07	0,01	2,98
Μέση τιμή	6,29	17,61	45,22	2,62	0,36	19,58	0,32	0,05	8,55
Διάμεσος	6,20	18,15	46,57	0,81	0,36	18,50	0,33	0,04	8,73
Διακύμανση	1,16	10,91	71,64	18,09	0,01	90,19	0,01	0,00	8,90
Κύρτωση	0,37	1,40	1,39	10,11	0,40	0,65	1,95	-0,75	-0,08
Ασυμμετρία	0,68	-1,10	-1,10	3,06	-0,45	1,01	-0,99	-0,39	-0,25
Εύρος	3,79	12,91	33,08	17,03	0,41	34,20	0,30	0,03	11,54
Ελάχιστο	4,69	9,41	24,22	0,44	0,14	7,93	0,13	0,03	2,10
Μέγιστο	8,48	22,33	57,30	17,47	0,54	42,13	0,43	0,06	13,64
Συντελεστής μεταβλητότητας %	17,09	18,75	18,72	162,33	27,55	48,51	22,81	20,00	34,91

Η ακόλουθη εικόνα ( 5.1 ) περιέχει το διάγραμμα Box & Wisker στο οποίο παριστάνεται η κατανομή των τιμών της περιεκτικότητας του κάθε στοιχείου. Στο



*Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εξίσωσης υπολογισμού τέφρας και συσχέτιση του σφάλματος της με τη σύσταση της τέφρας*

ορθογώνιο που φαίνεται για κάθε στοιχείο βρίσκεται το 50 % των τιμών των περιεκτικότητων του. Στα δύο άκρα εκτείνεται μια γραμμή η οποία έχει μήκος 1,5 φορές το ενδομοριακό εύρος και συμβολίζει τα όρια πέραν των οποίων οι τιμές που συναντώνται θεωρούνται ακραίες. Επίσης στο διάγραμμα αυτό παριστάνονται και η μέση τιμή και ο διάμεσος με έναν αστερίσκο και μία κάθετο αντίστοιχα. Ακραίες τιμές εμφανίζονται στα στοιχεία S, Ca, Al και Si.

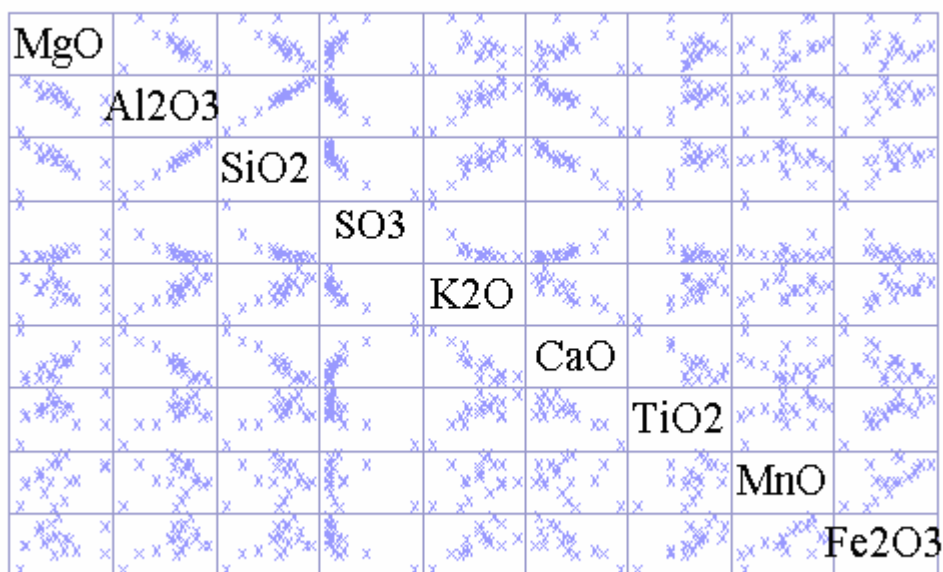


**Εικόνα 5.1 :** Διάγραμμα Box & Wisker για τις περιεκτικότητες των 10 κύριων στοιχείων της τέφρας

**Πίνακας 5.3 :** Συντελεστές συσχέτισης των συστατικών της τέφρας

	MgO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
MgO (%)	1								
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	-0,35	1							
SiO <sub>2</sub> (%)	-0,35	1	1						
SO <sub>3</sub> (%)	-0,06	-0,87	-0,87	1					
K <sub>2</sub> O (%)	-0,22	0,86	0,86	-0,79	1				
CaO (%)	0,27	-0,97	-0,97	0,85	-0,87	1			
TiO <sub>2</sub> (%)	0,29	0,65	0,65	-0,79	0,74	-0,75	1		
MnO (%)	0,42	0,11	0,11	-0,35	0,37	-0,26	0,49	1	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,15	0,57	0,57	-0,70	0,65	-0,73	0,83	0,68	1

Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εξίσωσης υπολογισμού τέφρας και συσχέτιση του σφάλματος της με τη σύσταση της τέφρας

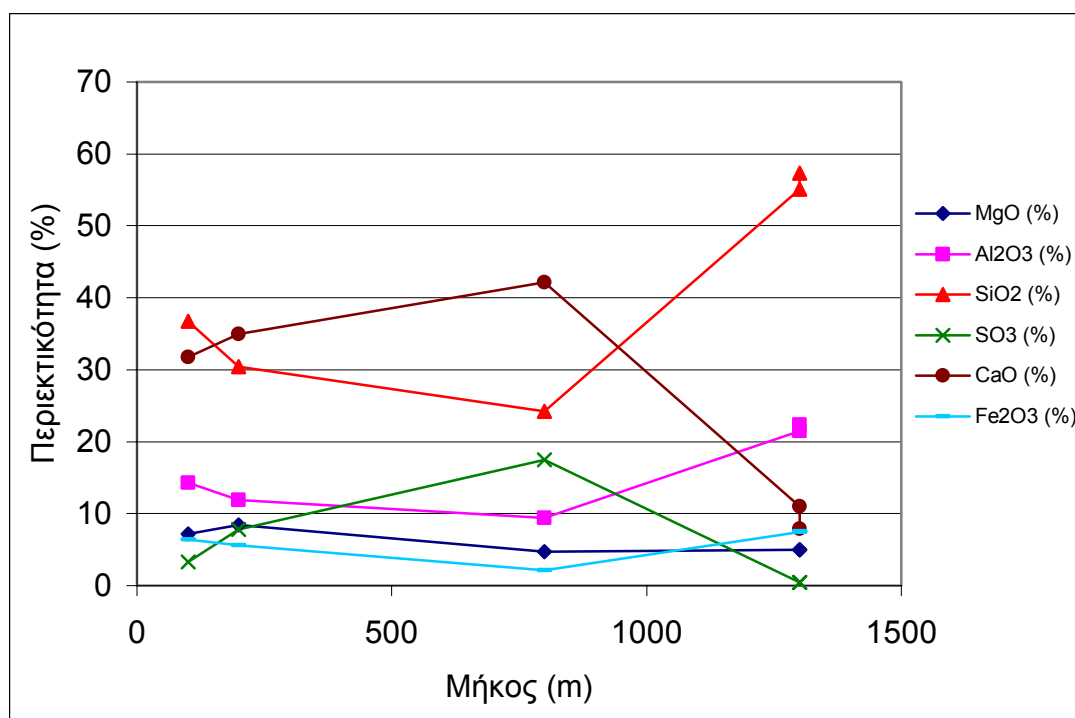


**Εικόνα 5.2 :** Διάγραμμα συσχέτισης των 10 κύριων στοιχείων της τέφρας

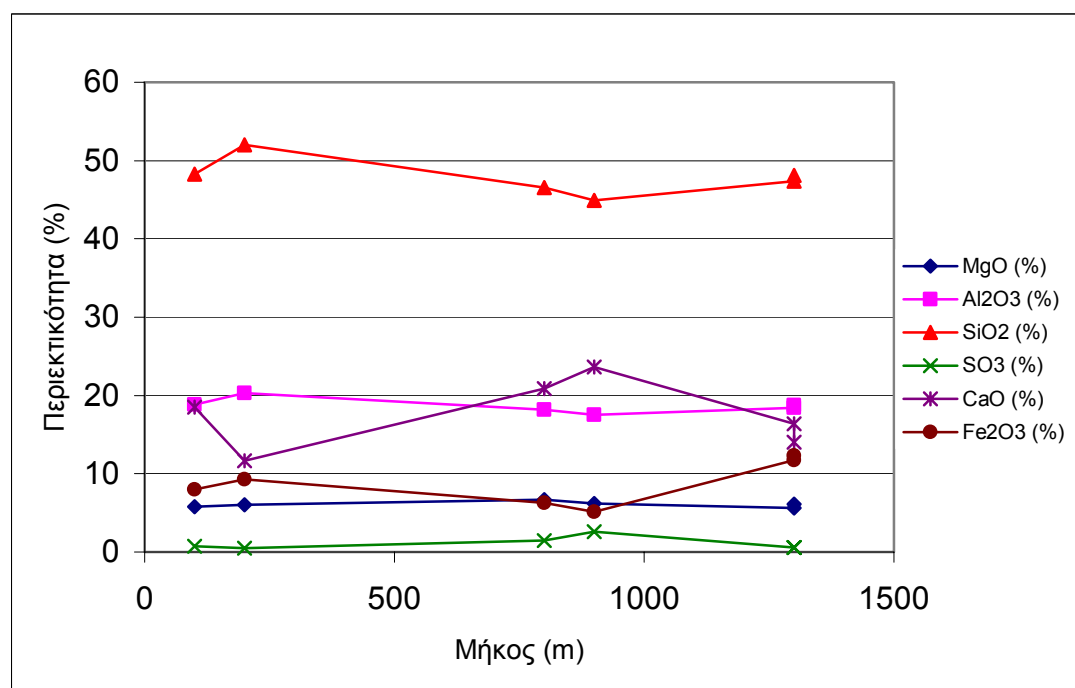
Στον πίνακα 5.3 φαίνεται η συσχέτιση μεταξύ των συστατικών κάθε δείγματος τέφρας. Τα περισσότερα στοιχεία σχετίζονται ισχυρά μεταξύ τους πράγμα που αποτυπώνεται στην εικόνα 5.2. Τα στοιχεία που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη διακύμανση σχετίζονται επίσης ισχυρά μεταξύ τους. Το CaO σχετίζεται αρνητικά με τα SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO και Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ενώ θετικά με το SO<sub>3</sub>. Επίσης το SiO<sub>2</sub> σχετίζεται αρνητικά με CaO, MgO και SO<sub>3</sub> και θετικά με τα Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Τέλος το Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> σχετίζεται θετικά με τα SiO<sub>2</sub> και Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και αρνητικά με τα CaO και SO<sub>3</sub>.

Τα άγωνα υλικά που συναντώνται όπως ήδη έχει περιγραφεί στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο είναι αργιλικής σύστασης και ασβεστιτικής ως επί το πλείστον. Επίσης συναντώνται και κάποια στρώματα σαπροπηλών στην 6<sup>η</sup> τομή. Η συσχετίσεις μεταξύ των συστατικών της τέφρας επιβεβαιώνουν την ύπαρξη των παραπάνω αγόνων υλικών. Επίσης οι ακτινοσκοπήσεις με τη μέθοδο της περίθλασης των ακτινών X σε πέντε δείγματα αγόνων υλικών που πάρθηκαν κατά τη δειγματοληψία συμφωνούν με τα παραπάνω συμπεράσματα. Στα σχήματα 5.3 έως 5.4 δίνεται η μεταβολή της περιεκτικότητας των στοιχείων που παρουσιάζουν τη σημαντικότερη διακύμανση σε σχέση με το μήκος κάθε τομής.

Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εξίσωσης υπολογισμού τέφρας και συσχέτιση του σφάλματος της με τη σύσταση της τέφρας

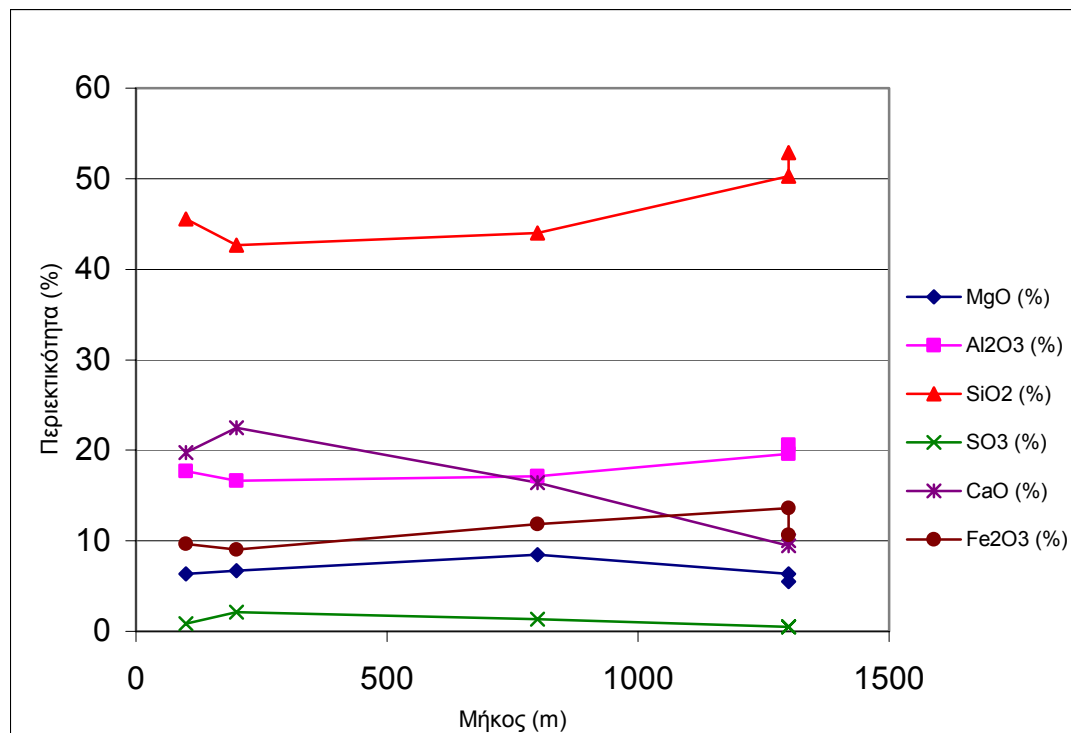


Εικόνα 5.3 : Μεταβολή της σύστασης της τέφρας των δειγμάτων κατά μήκος της 3<sup>ης</sup> τομής



Εικόνα 5.4 : Μεταβολή της σύστασης της τέφρας των δειγμάτων κατά μήκος της 4<sup>ης</sup> τομής

Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εξίσωσης υπολογισμού τέφρας και συσχέτιση του σφάλματος της με τη σύσταση της τέφρας



Εικόνα 5.5 : Μεταβολή της σύστασης της τέφρας των δειγμάτων κατά μήκος της 6<sup>ης</sup> τομής

Όπως φαίνεται στο γράφημα της εικόνας 5.3 για την 3<sup>η</sup> τομή παρατηρείται σημαντική διακύμανση της σύστασης της τέφρας των δειγμάτων κατά το μήκος της τομής. Ιδιαίτερα τα SiO<sub>2</sub> και CaO. Έτσι ενώ στην αρχή της τομής το άγονο που συναντάται έχει περίπου ίσα ποσοστά των δύο οξειδίων, στο μέσο της τομής παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά με το CaO να υπερσχύει κατά 20% περίπου. Στο τέλος της τομής οι αναλογίες αντιστρέφονται πλήρως. Το γεγονός αυτό δικαιολογεί και τον αρνητικό συντελεστή συσχέτισης ( $-0,97$ ). Επίσης το SO<sub>3</sub> αυξάνεται με τη μείωση του SiO<sub>2</sub> στο δεύτερο δείγμα της τομής (περίπου στο μέσο της).

Στην επόμενη εικόνα παρατηρείται η διακύμανση της σύστασης στην 4<sup>η</sup> τομή που είναι σαφώς πιο ομαλή από την προηγούμενη. Το μόνο συστατικό που μεταβάλλεται σημαντικά είναι το CaO το οποίο παρουσιάζει μια έξαρση στο μέσο της τομής και στο τέλος της επανέρχεται στα αρχικά του επίπεδα. Στην 6<sup>η</sup> τομή τα συστατικά που μεταβάλλονται σημαντικά είναι τα SiO<sub>2</sub> και CaO.

Οι τρεις παραπάνω εικόνες έχουν σκοπό να επαληθεύσουν την πρόβλεψη που έγινε στην μεθοδολογία της δειγματοληψίας όσον αφορά τη σημαντική διακύμανση στη σύσταση του λιγνίτη κατά μήκος της τομής και όχι μόνο ως προς το ύψος. Με τον τρόπο αυτό είναι κατανοητό το ότι ο αναλυτής παρουσιάζει σημαντικά σφάλματα σε ποσοστά τέφρας που βρίσκονται στην περιοχή τομών κοντά στο 10% και το 30%

*Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εξίσωσης υπολογισμού τέφρας και συσχέτιση του σφάλματος της με τη σύσταση της τέφρας*

ακόμα και σε δείγματα που προέρχονται από την ίδια τομή. Το μικρό εύρος 11 %–28 % περίπου σε ποσοστό τέφρας που δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα πιθανόν να εξηγείται και από το μεγάλο εύρος διακύμανσης της σύστασης της τέφρας.

## 5.2. Αξιολόγηση των μετρήσεων του αναλυτή

Η αξιολόγηση των μετρήσεων του αναλυτή θα πραγματοποιηθεί για το επιλεγμένο συνδυασμό εξισώσεων της θέσης 1 (ομαδοποίηση κατά ποσοστό τέφρας). Όπως έχει αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο, για την εξαγωγή του ιδανικού συνδυασμού εξισώσεων υπολογισμού του ποσοστού της τέφρας αφαιρέθηκαν αρχικά 4 τιμές. Οι τιμές αυτές ανήκουν, ανά δύο, στις περιοχές τιμών κοντά στο 10% και κοντά στο 30%. Στον πίνακα 5.4 φαίνονται τα δείγματα που αφαιρέθηκαν και επίσης το ποσοστό της τέφρας που έχουν, οι εντάσεις των ακτινοβολιών Am και Cs που μετρήθηκαν από τον αναλυτή.

**Πίνακας 5.4 :** Τα δείγματα που αφαιρέθηκαν για την εύρεσης της εξίσωσης υπολογισμού του ποσοστού της περιεχόμενης τέφρας

Κωδικός δείγματος	Τέφρα λιγνίτη %	Ένταση Am	Ένταση Cs
<b>E13/1/3</b>	32,82	272,3	404,3
<b>E13/2/3</b>	28,36	234	407
<b>E14/1/0</b>	10,53	244,4	344,4
<b>E14/1/1</b>	10,54	406,9	451,5

Τα δείγματα αυτά ανήκουν ανά δύο στην ίδια τομή και σε όλες τις θέσεις έδιναν σφάλμα, ειδικά τα δείγματα της τετάρτης τομής δεν ανταποκρίνονταν σε καμία από τις εξισώσεις που επιλέχθηκαν για κάθε θέση. Οι τιμές των εντάσεων των ακτινοβολιών των δειγμάτων της 3<sup>ης</sup> τομής κρίνονται φυσιολογικές οπότε δεν πρόκειται για κάποιο σφάλμα μέτρησης. Οι τιμές των εντάσεων των άλλων δύο δειγμάτων παρουσιάζουν μικρές διαφορές στις τιμές του Am και του Cs πράγμα που

*Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εξίσωσης υπολογισμού τέφρας και συσχέτιση του σφάλματος της με τη σύσταση της τέφρας*

δεν είναι φυσιολογικό και έτσι αφαιρέθηκαν μόνο οι τιμές των δειγμάτων της τέταρτης τομής.

Η σύγκριση των τιμών της τέφρας που μέτρησε ο αναλυτής και της τέφρας που αναλύθηκε στο χημείο υπολογίστηκαν οι παρακάτω παράμετροι :

➤ Σφάλμα αναλυτή :  $e = A_o - A_l$  ( 5.1 )

➤ Σχετικό σφάλμα αναλυτή :  $e_r = \frac{(A_o - A_l)}{A_l} * 100$  ( 5.2 )

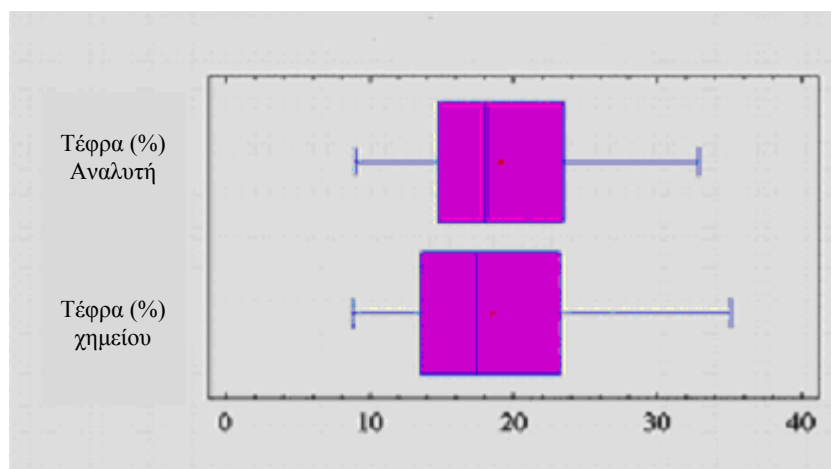
➤ Οι απόλυτες τιμές των σφαλμάτων :  $|e|$  και  $|e_r|$

➤ Τετραγωνικό σφάλμα :  $e^2 = (A_o - A_l)^2$  ( 5.3 )

➤ Μέσο τετραγωνικό σφάλμα :

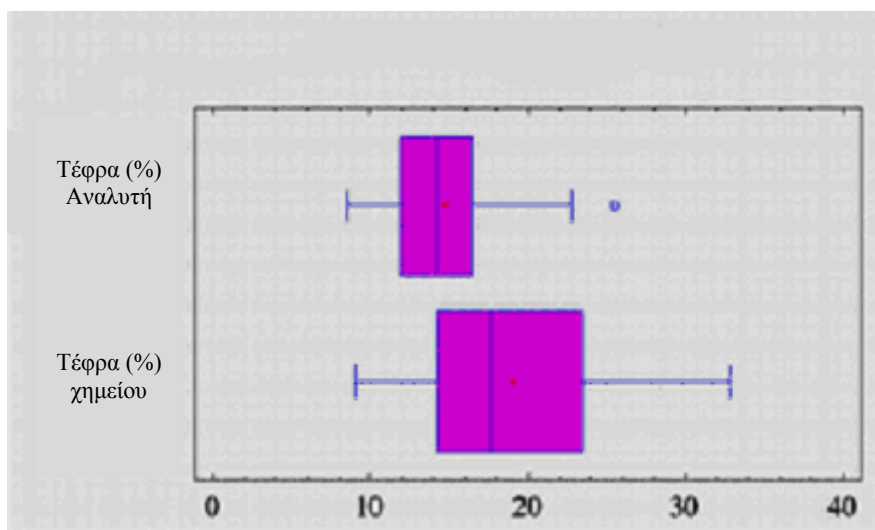
$$e_{rms} = \sqrt{\sum (A_o - A_l)^2 / n}$$
 ( 5.4 )

Όπου τα  $A_o$  και  $A_l$  η τέφρα (%) αναλυτή και χημείου αντίστοιχα και  $n$  ο αριθμός των μετρήσεων.



**Εικόνα 5.6 :** Εύρος τιμών τέφρας (%) στις οποίες ο αναλυτής έχει ικανοποιητική ακρίβεια χρησιμοποιώντας δύο εξισώσεις για τον υπολογισμό της

*Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εξίσωσης υπολογισμού τέφρας και συσχέτιση του σφάλματος της με τη σύσταση της τέφρας*



**Εικόνα 5.7 :** Εύρος τιμών τέφρας (%) στις οποίες ο αναλυτής έχει ικανοποιητική ακρίβεια χρησιμοποιώντας μια εξίσωση για τον υπολογισμό της

Οι εικόνες 5.6 και 5.7 δείχνουν παραστατικά τη διεύρυνση του πεδίου τιμών στις οποίες ο αναλυτής είναι ακριβής στη μέτρηση του ποσοστού της τέφρας με τη χρήση δύο εξισώσεων. Οι τιμές των σφαλμάτων υπολογίζονται στον πίνακα 5.5 καθώς και μερικά στατιστικά τους στοιχεία. Με χρήση του t test διαπιστώνεται ότι οι μέση τιμή της τέφρας του χημείου δεν διαφέρει στατιστικά από αυτή που υπολογίζει ο αναλυτής (  $\Sigma T < \kappa \tau$  ). Το γεγονός αυτό φαίνεται και στην εικόνα 5.6 όπου δίδεται το ιστόγραμμα κατανομής των τιμών της τέφρας (%) του χημείου και του αναλυτή. Παρατηρείται ότι οι περισσότερες τιμές του σφάλματος είναι αρνητικές ( 17 από τις 27 ) και έχουν απόλυτη τιμή κατά πολύ μεγαλύτερη από τις θετικές. Επίσης παρατηρείται ότι η μέση τιμή του σφάλματος είναι 1,26 και είναι μικρότερη από 1,5 που είναι η αναμενόμενη ακρίβεια του αναλυτή ( το 1,5 είναι η μέση τιμή του σφάλματος του αναλυτή που η εταιρία κατασκευής του παραδέχεται μέσω του συμβολαίου αγοράς και εγκατάστασης ). Παρά το γεγονός αυτό όμως η τιμή του σφάλματος παίρνει υψηλές τιμές σε περιοχές ακραίων τιμών τέφρας όπως 30% και 10% .

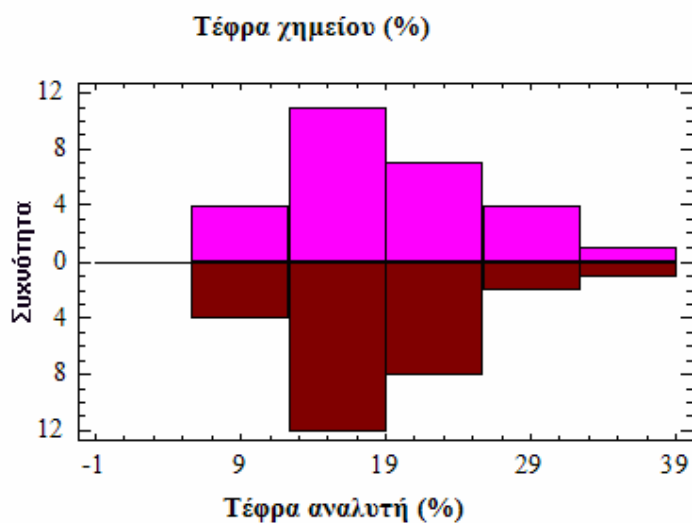
Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εξίσωσης υπολογισμού τέφρας και  
 συσχέτιση του σφάλματος της με τη σύσταση της τέφρας

**Πίνακας 5.5 :** Οι τιμές του σφάλματος της μέτρησης του αναλυτή ως προς τις τιμές του  
 ποσοστού τέφρας που μετρήθηκαν στο χημείο

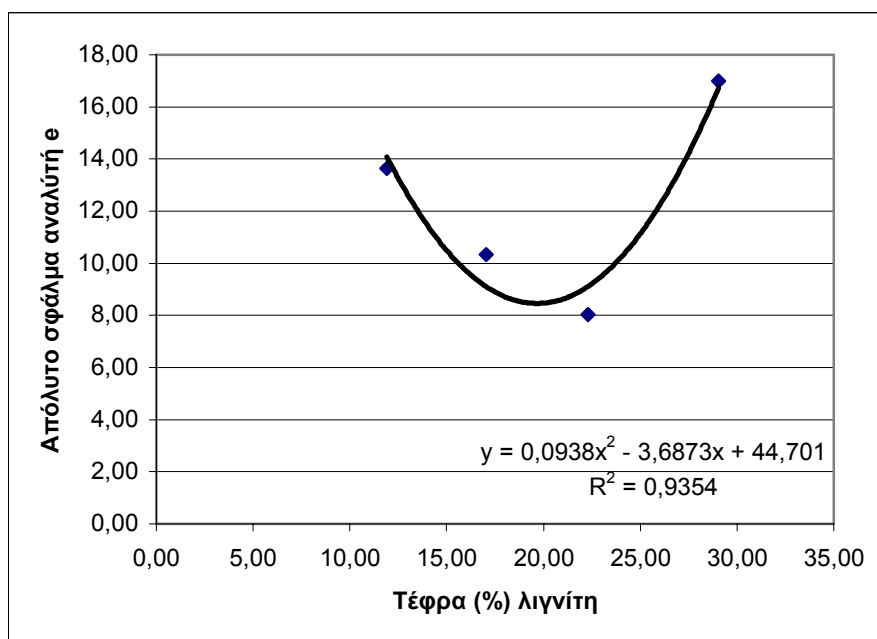
N <sub>ο</sub>	Κωδικός δείγματος	Τέφρα % χημείου	Τέφρα % αναλυτή	Σφάλμα αναλυτή e	Απόλυτη τιμή e	Σχετικό σφάλμα e <sub>r</sub>	Απόλυτη τιμή e <sub>r</sub>	Τετράγωνο σφάλματος e <sup>2</sup>
2	E13	28,38	24,48	-3,90	3,90	-15,94	15,94	15,22
3		32,82	25,89	-6,93	6,93	-26,77	26,77	48,03
1		22,99	23,19	0,20	0,20	0,88	0,88	0,04
2		26,78	27,45	0,67	0,67	2,44	2,44	0,45
3		28,36	35,04	6,68	6,68	19,05	19,05	44,56
2	E14	23,48	18,05	-5,43	5,43	-30,11	30,11	29,53
3		28,87	23,89	-4,98	4,98	-20,83	20,83	24,76
2		15,56	14,96	-0,60	0,60	-3,98	3,98	0,35
3		19,15	18,76	-0,39	0,39	-2,10	2,10	0,16
1		18,05	20,99	2,94	2,94	14,02	14,02	8,66
3		24,08	25,13	1,05	1,05	4,17	4,17	1,10
2	E16	22,10	22,13	0,03	0,03	0,12	0,12	0,00
0	E13	9,05	8,84	-0,21	0,21	-2,39	2,39	0,04
1		15,83	15,24	-0,59	0,59	-3,84	3,84	0,34
0		20,50	19,15	-1,35	1,35	-7,07	7,07	1,83
0		13,41	9,41	-4,00	4,00	-42,57	42,57	16,03
1		17,29	13,53	-3,76	3,76	-27,80	27,80	14,15
1	E14	15,63	13,40	-2,23	2,23	-16,64	16,64	4,97
0		16,37	14,75	-1,62	1,62	-10,96	10,96	2,62
0		9,37	11,17	1,80	1,80	16,10	16,10	3,23
2	E16	18,29	17,36	-0,93	0,93	-5,33	5,33	0,86
3		20,55	21,81	1,26	1,26	5,79	5,79	1,59
0		11,03	11,97	0,94	0,94	7,85	7,85	0,88
1		14,71	17,21	2,50	2,50	14,54	14,54	6,27
0		12,16	12,52	0,36	0,36	2,91	2,91	0,13
1		13,70	15,07	1,37	1,37	9,09	9,09	1,87
2		17,02	15,70	-1,32	1,32	-8,44	8,44	1,75
					Μέσο τετραγωνικό σφάλμα e <sub>rms</sub>			<b>0.56</b>
	Μέση τιμή	19,09	18,41	-0,68	2,15	-4,73	11,92	
	Τυπική απόκλιση	6,29	6,17	2,89	2,01	15,34	10,54	
	Μέγιστο	32,82	35,04	6,68	6,93	19,05	42,57	
	Ελάχιστο	9,05	8,84	-6,93	0,03	-42,57	0,12	



Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εξίσωσης υπολογισμού τέφρας και συσχέτιση του σφάλματος της με τη σύσταση της τέφρας



**Εικόνα 5.8 :** Διάγραμμα συσχέτισης της απόλυτης τιμής του σφάλματος του αναλυτή με τη μέτρηση της τέφρας του χημείου



**Εικόνα 5.9 :** Διάγραμμα συσχέτισης της απόλυτης τιμής του σφάλματος του αναλυτή με τη μέτρηση της τέφρας του χημείου

Το διάγραμμα της εικόνας 5.9 παρατίθενται για την απόδειξη του ότι τα σφάλματα της μέτρησης του αναλυτή βρίσκονται σε συγκεκριμένες περιοχές τιμών ( ακραίες τιμές τέφρας ). Κατά συσχέτιση του σφάλματος του αναλυτή με τη μέτρηση του

*Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εξίσωσης υπολογισμού τέφρας και  
συσχέτιση του σφάλματος της με τη σύσταση της τέφρας*

ποσοστού τέφρας του χημείου φαίνεται ότι στις περιοχές ακραίων τιμών το σφάλμα είναι μεγάλο και στις ενδιάμεσες ( 12 % - 26 % ) είναι κατά πολύ μικρότερο. Η σχέση μπορεί να εκφραστεί με μια πολυωνυμική καμπύλη δευτέρου βαθμού αφού οι τιμές έχουν χωριστεί σε πέντε κλάσεις ( < 10 %, 10 % - 15%, 15 % - 20%, 20% – 25% και 25% - 30% σε ποσοστό τέφρας ).

**5.3. Συσχέτιση των σφαλμάτων του αναλυτή με τη σύσταση της τέφρας**

Η συσχέτιση των σφαλμάτων του αναλυτή με τα συστατικά της τέφρας των δειγμάτων πραγματοποιείται με υπολογισμό των συντελεστών συσχέτισης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα στοιχεία που έχουν μεγάλη διακύμανση ( CaO, SiO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ) καθώς και αυτά που έχουν σχετικά μεγάλο ατομικό αριθμό σε σχέση με το μέσο ατομικό αριθμό που λαμβάνει υπόψη το μοντέλο 6 – 12 ( Fe, Ca, Si, Al, S, Mg ). Είναι εμφανές από τον πίνακα 5.6 ότι υπάρχει σημαντική εξάρτηση αρκετών στοιχείων με το σφάλμα της μέτρησης του αναλυτή. Ιδιαίτερα τα CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> εμφανίζουν σημαντική εξάρτηση με το σφάλμα του αναλυτή αν συνυπολογιστεί και το ποσοστό συμμετοχής του στη σύσταση της τέφρας του λιγνίτη.

**Πίνακας 5.6 :** Συσχέτιση μεταξύ του σφάλματος του αναλυτή και της σύστασης της τέφρας του λιγνίτη

Στοιχείο	MgO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
Σφάλμα ( ε )	-0,289	0,728	0,728	-0,587	0,651	-0,817	0,729	0,240	0,783

Το ποσοστό συμμετοχής του SiO<sub>2</sub> είναι της τάξης του 45 %, του CaO του 19 % ενώ του Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και του Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> στο 17 % και 9 % αντίστοιχα. Τα ποσοστά συμμετοχής αναφέρονται στη μέση τιμή των δειγμάτων. Δεν δίνεται βάρος στην ανάλυση και συσχέτιση των υπολοίπων συστατικών λόγω του μικρού ποσοστού συμμετοχής τους ( <5 % ) καθώς δεν επηρεάζουν το μοντέλο 6 – 12.

*Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εξίσωσης υπολογισμού τέφρας και συσχέτιση του σφάλματος της με τη σύσταση της τέφρας*

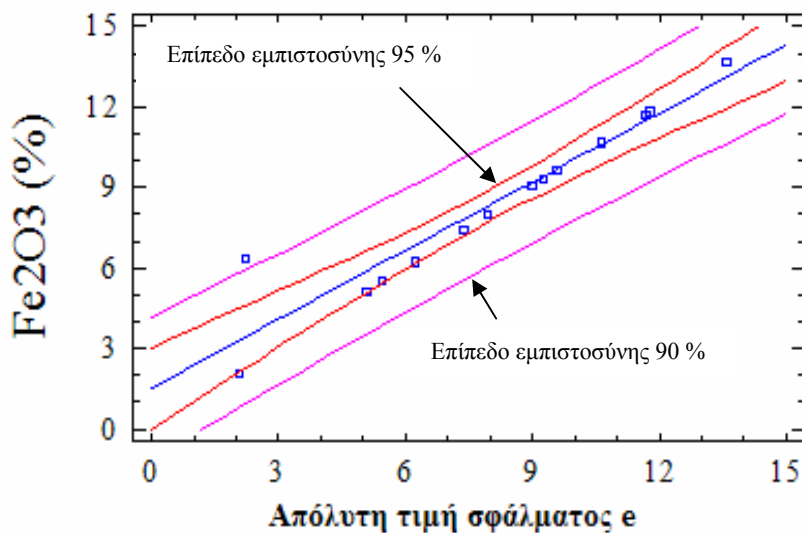
Από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν για το ποια στοιχεία δίνουν την καλύτερη γραμμική σχέση με το σφάλμα μόνο ο σίδηρος φαίνεται να έχει σημαντική εξάρτηση και μάλιστα σε επίπεδο εμπιστοσύνης  $> 95 \%$  με το σφάλμα του αναλυτή. Τα υπόλοιπα στοιχεία εμφανίζουν ασθενή εξάρτηση με το σφάλμα  $e$  ( $0.35 < R^2 < 0.65$ ). Οι παραπάνω διαπιστώσεις φαίνονται στην εικόνα 5.10. Επίσης πραγματοποιήθηκε πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση για τα τέσσερα στοιχεία για την εξακρίβωση της ευθύνης που έχουν για το σφάλμα του αναλυτή. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με αυξανόμενο τον αριθμό των στοιχείων από δύο στην αρχή έως και τα τέσσερα στο τέλος. Η πρώτη δοκιμή δεν απέδωσε αποδεκτή εξάρτηση των στοιχείων με το σφάλμα. Με τρία στοιχεία όμως, χωρίς να περιλαμβάνεται το Fe, παρατηρείται πολύ καλή προσέγγιση ( $R^2 = 0.90$ ). Χρησιμοποιώντας όλα τα στοιχεία για τη συσχέτιση παρατηρείται ότι η προσέγγιση της γραμμικής σχέσης βελτιώνεται και το  $R^2 = 0.94$ . Η σταδιακή πρόσθεση των όρων της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης έχει σκοπό να δείξει δεν ευθύνεται μόνο ο σίδηρος για το σφάλμα της μέτρησης του αναλυτή αλλά συμβάλλουν και τα υπόλοιπα τέσσερα στοιχεία. Οι εξισώσεις της γραμμικής σχέσης του Fe με το σφάλμα και οι σχέσεις της πολλαπλής παλινδρόμησης είναι :

$$\rightarrow e = 1.06 * C_{Fe} - 0.872 \quad (5.5)$$

$$\rightarrow e = 63.64 + 119.74 * C_{Al} - 47.67 * C_{Si} - 0.91 * C_{Ca} \quad (5.6)$$

$$\rightarrow e = 30.72 + 30.38 * C_{Al} - 12.23 * C_{Si} - 0.47 * C_{Ca} - 0.57 C_{Fe} \quad (5.7)$$

Όπου το  $C_i$  είναι η περιεκτικότητα του στοιχείου  $i$



Εικόνα 5.10: Η γραμμική σχέση μεταξύ του σιδήρου και της απόλυτης τιμής του σφάλματος του αναλυτή

#### 5.4. Σύνοψη κεφαλαίου

Με βάση τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο είναι δυνατόν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα.

- Παρατηρείται σημαντική διακύμανση της σύστασης του λιγνίτη κατά μήκος της τομής και ιδιαίτερα στις τομές 3 και 4. Το γεγονός αυτό ενισχύει την άποψη ότι μία εξίσωση υπολογισμού του ποσοστού της τέφρας από τον αναλυτή δεν μπορεί να αντεπεξέλθει στην απαιτούμενη ακρίβεια λόγω της μεγάλης διακύμανσης της σύστασης του λιγνίτη
- Οι μετρήσεις του on line αναλυτή παρουσιάζουν σημαντικό σφάλμα σε ακραίες περιοχές τιμών ποσοστού τέφρας όπως κοντά στην κατώτατη (10 % ) και στην ανώτατη ( 30 % ). Ικανοποιητική ακρίβεια στις

*Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Αξιολόγηση αποτελεσμάτων της εξίσωσης υπολογισμού τέφρας και συσχέτιση του σφάλματος της με τη σύσταση της τέφρας*

μετρήσεις του αναλυτή συναντάται στην μέση περιοχή τιμών της τέφρας από 12 % έως 26 %.

- ✦ Αν και η μέση τιμή του σφάλματος του αναλυτή είναι ικανοποιητική εντούτοις παρουσιάζονται ακραίες τιμές σφάλματος στις περιοχές τιμών ποσοστού τέφρας κοντά στο 10 % και 30 %.
- ✦ Δεν παρατηρείται καμία γραμμική σχέση μεταξύ του σφάλματος και της μέτρησης του on line αναλυτή. Η σχέση προσδιορίζεται από πολυωνυμική εξίσωση δευτέρου βαθμού αφού πρώτα οι τιμές έχουν χωριστεί σε κλάσεις ανά 5%.
- ✦ Τέλος, η συσχέτιση της περιεκτικότητας του Fe με το σφάλμα του αναλυτή εμφανίζει ισχυρή γραμμική σχέση. Τα υπόλοιπα 3 στοιχεία που μελετήθηκαν ( Ca, Si και Al ) δεν παρουσιάζουν το καθένα ξεχωριστά κάποια γραμμική σχέση με το σφάλμα. Όμως και τα τρία ταυτόχρονα εμφανίζουν γραμμική σχέση με το σφάλμα πράγμα που σημαίνει ότι συμβάλλουν κατά ένα μέρος στη δημιουργία σφάλματος κατά τη μέτρηση του ποσοστού τέφρας από τον αναλυτή.

## 6. Συμπεράσματα και προτάσεις

Τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής μπορούν να διακριθούν σε εκείνα που εξήχθησαν κατά τη διαδικασία δειγματοληψίας και ανάλυσης των λιγνιτικών στρωμάτων και σε εκείνα που αναφέρονται στην αξιολόγηση του on line αναλυτή και της συσχέτισης της ακρίβειάς του με τη μεταβολή της χημικής σύστασης της τέφρας του λιγνίτη.

### Δειγματοληψία και ανάλυση λιγνιτικών στρωμάτων

Κατά την περιγραφή των τοποθεσιών δειγματοληψίας παρατηρείται ότι υπάρχει διακύμανση της ποιότητας του λιγνίτη τόσο ως προς το ύψος όσο και ως προς το μήκος της κάθε τομής. Επίσης κατά μήκος της τομής παρατηρήθηκαν μεταβολές της σύστασης του αγόνου υλικού. Διαφορά εμφανίστηκε και στο πάχος στρώματος του αγόνου όπου για παράδειγμα αναφέρεται η τρίτη τομή που η διαφορά είναι της τάξης του ενός μέτρου.

Σύμφωνα με τις αναλύσεις των βασικών ποιοτικών χαρακτηριστικών (υγρασία, τέφρα, θερμογόνος δύναμη ), που πραγματοποιήθηκαν στο χημείο του ΑΗΣ Β', των δειγμάτων προκύπτει ότι είναι αντιπροσωπευτικά του λιγνίτη που εξορύσσεται από το ορυχείο του Χωρεμίου.

Σύμφωνα με τις αναλύσεις ( στοιχειακή και ορυκτολογική ) που πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια Γεωχημείας και Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης οι κύριες ορυκτολογικές φάσεις που αποτελούν την τέφρα των δειγμάτων είναι ο χαλαζίας, ο ανυδρίτης, ο αιματίτης, ο ανορθίτης και οι δευτερεύουσες φάσεις ( συναντώνται σε μικρότερο ποσοστό ) ο γκελενίτης, ο μοσχοβίτης και το οξείδιο του ασβεστίου. Η παραπάνω διαπίστωση επιβεβαιώνεται και από τη στοιχειακή ανάλυση της τέφρας.

### Αξιολόγηση των μετρήσεων του on line αναλυτή

Οι μετρήσεις του αναλυτή πραγματοποιήθηκαν σε τρεις θέσεις για αποφυγή κάποιου σφάλματος ( επαναληψιμότητα μετρήσεων ) και έλεγχο του αναλυτή στο όριο ύψους ανίχνευσης λιγνίτη πάνω στην ταινία ( 4 cm ). Επιπρόσθετος έλεγχος έγινε και με τις αρχικές μετρήσεις των εντάσεων των πηγών που λήφθηκαν κατά τη ρύθμιση των παραμέτρων του αναλυτή όταν εγκαταστάθηκε στο ΛΚΜ. Από τους παραπάνω ελέγχους προέκυψε ότι οι μετρήσεις του αναλυτή είναι αξιόπιστες.

Η αξιολόγηση της ακρίβειας μέτρησης του αναλυτή έγινε τόσο με την χρησιμοποίηση ενός αναλυτικού μοντέλου υπολογισμού της τέφρας όσο και με την χρήση ενός στατιστικού. Η ανάπτυξη του αναλυτικού μοντέλου για τα δείγματα, που πραγματοποιήθηκε με βάση το συντελεστή απορρόφησης μάζας μ των κύριων στοιχείων της τέφρας και των μετρήσεων του αναλυτή, δεν είχε ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Αυτό δε σημαίνει ότι η αρχή λειτουργίας του αναλυτή δεν ισχύει αλλά ότι η ρύθμιση των παραμέτρων του αναλυτή είναι τέτοια που δεν ανταποκρίνεται στην ποιότητα του λιγνίτη που εξορύσσεται σήμερα. Χαρακτηριστικό είναι ότι η εταιρεία κατασκευής του αναλυτή προτείνει έλεγχο της απόδοσης του αναλυτή κάθε 6 με 8 μήνες περίπου.

Η ανάπτυξη του στατιστικού μοντέλου υπολογισμού της τέφρας των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε βάσει των μετρήσεων του αναλυτή και των μετρήσεων του χημείου και δεν απέδωσε την αναμενόμενη ακρίβεια. Έτσι έγινε ομαδοποίηση των δειγμάτων σε δύο κλάσεις, μία υψηλού ποσοστού τέφρας και μία χαμηλού. Η τακτική αυτή έδωσε πολύ καλύτερα αποτελέσματα και διεύρυνε το πεδίο τιμών ακρίβειας μέτρησης του αναλυτή. Συγκεκριμένα η χρήση μίας εξίσωσης απέδιδε μόνο σε δείγματα με μέτρια τιμή τέφρας ( 15% – 20% ). Η χρήση δύο εξισώσεων διεύρυνε το πεδίο τιμών σε 12 % – 25 %. Το στατιστικό μοντέλο υπολογισμού της τέφρας του λιγνίτη εντόπισε την αδυναμία του αναλυτή να υπολογίσει με ακρίβεια την τέφρα σε δείγματα με χαμηλό ποσοστό τέφρας ( περίπου 10 % ) καθώς και σε υψηλό ( 25% - 30%). Επίσης παρατηρείται ασυμφωνία των δύο μοντέλων ( αναλυτικό – στατιστικό ) όσον αφορά την επιλογή της βέλτιστης θέσης μέτρησης. Με βάση το αναλυτικό θεωρείται η θέση 2 ενώ με το στατιστικό η θέση 1. Η διαφορά έχει να κάνει με την ρύθμιση των παραμέτρων του αναλυτή όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, επομένως οι καλύτερες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στη θέση 1.

### Αποτελέσματα συσχέτισης της σύστασης των δειγμάτων με το σφάλμα του αναλυτή

Η μεταβολή της σύστασης του λιγνίτη και του αγόνου υλικού κατά μήκος της τομής δειγματοληψίας είναι σημαντική. Για παράδειγμα στα δείγματα της τρίτης τομής παρατηρείται μεταβολή της περιεκτικότητας του  $\text{SiO}_2$  κατά 20 % από την πρώτη σειρά δειγμάτων ( υψόμετρο +335 m ) στην τρίτη ( υψόμετρο +337 m ). Επίσης το  $\text{Al}_2\text{O}_3$  παρουσιάζει διαφορά στην περιεκτικότητα του κατά 10 % όπως και το  $\text{SO}_3$  από τη

δεύτερη σειρά ( υψόμετρο +335 m ) στην τρίτη. Το CaO παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διαφορά αφού από τη δεύτερη σειρά δειγμάτων στην τρίτη διαφέρει κατά 30%.

Η τέταρτη τομή δεν παρουσιάζει τόσο έντονες διακυμάνσεις όσον αφορά το CaO και το SiO<sub>2</sub>. Το Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> παρουσιάζει διαφορά της τάξης του 5% από την δεύτερη στην τρίτη ( υψόμετρο +323 m ). Τα υπόλοιπα συστατικά δεν παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση.

Στην έκτη τομή σημαντική μεταβολή παρουσιάζουν τα CaO και SiO<sub>2</sub> που διαφέρουν από τη δεύτερη σειρά ( υψόμετρο +282 m ) δειγμάτων στην τρίτη ( υψόμετρο +300 m ) κατά 10%. Επίσης μικρή μεταβολή κατά 5% παρουσιάζει και το Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> από την πρώτη σειρά δειγμάτων (υψόμετρο +281 m ) στην τρίτη. Βάσει των στοιχείων αυτών παρατηρείται ότι η υψηλότερη διακύμανση της σύστασης της τέφρας παρουσιάζεται στην τρίτη τομή. Αυτό συμβάλει στο σφάλμα μέτρησης του αναλυτή και φαίνεται στο ότι η τρίτη τομή προκαλεί το μεγαλύτερο σφάλμα και ακολουθούν οι υπόλοιπες δύο ( η τέταρτη και έπειτα η έκτη ).

Παρατηρείται ακόμη ότι αν και η μέση τιμή του σφάλματος του αναλυτή είναι ικανοποιητική εντούτοις παρουσιάζονται σημαντικές τιμές σφάλματος στα όρια ανίχνευσης του αναλυτή ( χαμηλότερο 10% τέφρα και υψηλότερο 30% ). Οπότε υπάρχει περιθώριο βελτίωσης του αναλυτή στην μέτρηση της τέφρας στις περιοχές αυτές. Η απόλυτη τιμή του σφάλματος μέτρησης του αναλυτή δεν παρουσιάζει γραμμική σχέση με τη τέφρα του λιγνίτη. Η σχέση αυτή προσεγγίζεται με ένα πολυώνυμο δευτέρου βαθμού αφού πρώτα οι μετρήσεις έχουν χωριστεί σε κλάσεις ανά 5%.

Η συσχέτιση του σφάλματος του αναλυτή με καθένα από τα στοιχεία Ca, Si, Fe και Al, που παρουσίασαν υψηλές διακυμάνσεις και αποτελούν τα κύρια στοιχεία της τέφρας, δεν ήταν ικανοποιητική παρά μόνο για το Fe. Έτσι πραγματοποιήθηκε πολλαπλή γραμμική συσχέτιση του σφάλματος με τα στοιχεία αυτά για να ελεγχθεί αν συμβάλλουν και αυτά στο σφάλμα του αναλυτή ή αυτό οφείλεται αποκλειστικά στο Fe. Τα αποτελέσματα της συσχέτισης, που έγινε με τη χρήση τεχνικών πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, έδειξαν ότι η συμβολή τους στο σφάλμα του αναλυτή είναι σχετικά περιορισμένη.



## Προτάσεις

Σύμφωνα με τα παραπάνω είναι δυνατόν να διατυπωθούν ορισμένες προτάσεις που αποσκοπούν στην βελτίωση της απόδοσης του αναλυτή αλλά και στην περαιτέρω μελέτη αυτού του συστήματος ελέγχου ποιότητας. Οι προτάσεις αυτές είναι :

- Η συλλογή περισσότερων δειγμάτων αυτή τη φορά από όλα τα μέτωπα των ορυχείων του Λιγνιτικού Κέντρου Μεγαλόπολης. Αυτό είναι σημαντικό για την εξέταση του κατά πόσο επηρεάζει την ακρίβεια του αναλυτή η διαφορά της ποιότητας του λιγνίτη από μέτωπο σε μέτωπο ( τα άγονα που συναντώνται δεν διαφέρουν πολύ όμως διαφέρει η ποιότητα του λιγνίτη )
- Η κατηγοριοποίηση των ποιοτήτων του λιγνίτη και η προσαρμογή του λογισμικού του αναλυτή πάνω σε αυτό ( χρησιμοποίηση δύο εξισώσεων υπολογισμού τέφρας )
- Συλλογή δειγμάτων σε διαφορετικές εποχές του χρόνου που παρατηρούνται έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές και η συσχέτιση του σφάλματος του αναλυτή με τη θερμοκρασία. Επίσης είναι δυνατόν να μετρηθούν τα δείγματα της παρούσας εργασίας κάτω υπό διαφορετικές θερμοκρασιακές συνθήκες για να εξακριβωθεί ο βαθμός στον οποίο επηρεάζει την ακρίβεια της μέτρησης η θερμοκρασία
- Χρήση δεύτερου αναλυτή , πχ αναλυτή υγρασίας, που οι μετρήσεις του θα συνδυάζονται με εκείνες του αναλυτή τέφρας για καλύτερη εκτίμηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του λιγνίτη

## Βιβλιογραφία

### Διεθνής βιβλιογραφία

- Bachman C., Klein A., Ritter A., “X ray fluorescence based online analysis of coal and coal products”, Thermie-workshop on new technologies for coal quality control and homogenisation, Athens, 30th September and 1st October, 1999.
- Belbot M.D., Vournopoulos G., Womble P. C., Paschal J.,( 2000 ), “Elemental on line coal analysis using pulsed neutrons”, Proceedings of SPIE Conference on Penetrating Radiation Systems and Applications, Vol 3769, pp 168 .
- GoPrny W., Rotko M., Zieliński W., “New Equipment for Coal Quality Control and their Industrial Applications”, Thermie-workshop on new technologies for coal quality control and homogenisation, Athens, 30th September and 1st October, 1999.
- König R., “Concept and Performance of SOLAS-type On-Line Analysers for Sulfur and Ash-Constituents”, Thermie-workshop on new technologies for coal quality control and homogenisation, Athens, 30th September and 1st October, 1999.
- Michaelides X., Ptolemais ( 2001 ),“Successful on line physical and chemical analysis of coal”,Thermie-workshop on new technologies for coal quality control and homogenisation, Athens, 30th September and 1st October, 1999.
- N.van Vugt, Langereis C.G., Hilgen F.J, Utrecht ( 2001 ), “Orbital forcing in Pliocene – Pleistocene Mediterranean lacustrine deposits: dominant expression of eccentricity versus precession”, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, April – March, Vol 172, pp 193 – 205.
- Papanicolaou C., Kotis T., Foskolos A., Goodarzi F. ( 2003 ) “Coals of Greece : a review of properties, uses and future perspectives” , International Journal of Coal Geology, October – January, Vol 58, pp 147 – 169.

- Papanicolaou C., Galetakis M., Foscolos A.E, Chania ( 2004 ), “Quality characteristics of Greek brown coals and their relation to the applied exploration and utilization methods, Energy and Fuels 2005, October ’03 – September ’04, Vol 19, pp 230 – 239.
- Rouni P. K., Petropoulos N. P., Anagnostakis M. J., Hiniš E. P., Athens ( 2001 ), “Radioenvironmental survey of the Megalopolis lignite field basin”, The Science of Total Environment, Vol 272, pp 261 – 272.
- Sakorafa V., Michailidis K., Burrigato F.( 1995 ), “Mineralogy, geochemistry and physical properties of fly ash from the Megalopolis lignite fields”, Fuel, February – September, Vol 75 No 4, pp 419 – 423.
- Sikora T., Czerw B., Kryca M., “The Natural Gamma Technique for On-Line Coal Quality Monitoring – Three Years Experience in Poland”, Thermie-workshop on new technologies for coal quality control and homogenisation, Athens, 30th September and 1st October, 1999.
- Stasinakis A., “Homogenisation in Megalopolis Lignite Center”, Thermie-workshop on new technologies for coal quality control and homogenisation, Athens, 30th September and 1st October, 1999.
- Storer P., Rockomanovic P., Smith K., “On line analysis of lignite using Prompt gamma neutron activation, natural gamma radiation or dual energy gamma ray transmission”, Thermie-workshop on new technologies for coal quality control and homogenisation, Athens, 30th September and 1st October, 1999.
- 
- Wenzhong Liu, Kong li, Qu Tan, Cheng Jingjing, People’s Republic of China ( 2002 ), “An evaluation of measurement uncertainties in the on line measurement of coal ash content by gamma ray transmission”, Applied Radiation and Isotopes, August – November, Vol 57, pp 353 – 358.

- Woodward R. C., Evans M. P, Empey E. R., “A major step forward for on line coal analysis”, Thermo Electron Corporation
- Yazdi M., Esmailnia S.A, Iran ( 2003 ), “Dual energy gamma ray technique for quantitative measurement of coal ash in the Shahroud mine”, International Journal of Coal Geology, Vol 55, October – May, pp 151 – 156.

### **Ελληνική βιβλιογραφία**

- Αγγελόπουλος Γ. – Αθανασίου Α. – Καπερώνη Ν. ( 1974 ), “Γεωλογική και κοιτασματολογική έρευνα πεδίου ‘Μαραθούσα – Βόρει Χωρέμι’ λιγνιτοφόρου λεκάνης Μεγαλόπολης”, Αθήνα.
- Λογοθέτης Ν. (1993 ), *Μανατζμεντ ολικής ποιότητας*, Εκδοτικός Οίκος TQM HELLAS INTERBOOKS, Αθήνα.
- Μπελιγιάννης Σ. , Στασινάκης Α., Δράκος Κ., Τζαβάρας Δ., “Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων στο Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης”, Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης.
- Παπανικολάου Δ.Ι, (1986 ), *Γεωλογία της Ελλάδας*, Εκδόσεις Επτάλοφος, Αθήνα.
- Φ. Παυλιδάκης, Μ. Γαλετάκης, Ζ. Αγιουτάντης, Κ. Καβουρίδης, “Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων δοκιμαστικής λειτουργίας on line αναλυτή τέφρας για τον έλεγχο ποιότητας για τον έλεγχο του λιγνίτη στα ορυχεία του Λ.Κ.Δ Μακεδονίας”