



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*“Προσδιορισμός ορυκτολογικής σύστασης δειγμάτων ιπτάμενων
τεφρών από τις μονάδες 1 & 2 του ΑΗΣ-Αγίου Δημητρίου»*

ΑΝΤΩΝΗΣ ΖΑΧΑΡΟΠΟΥΛΟΣ

Εξεταστική Επιτροπή

Αλεβίζος Γεώργιος, Επίκουρος Καθηγητής (επιβλέπων)

Γαλετάκης Μιχάλης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Στρατάκης Αντώνιος, Δρ. Μηχανικός Ορυκτών Πόρων

Χανιά, Νοέμβριος 2016

Αφιερώνεται στην οικογένεια μου και στους φίλους μου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να συμβάλει στη μελέτη των ιπτάμενων τεφρών που παράγονται από την καύση του λιγνίτη στον ατμοηλεκτρικό σταθμό (ΑΗΣ) της ΔΕΗ στον Άγιο Δημήτριο (Κοζάνη) καθώς και στον προσδιορισμό και την αξιοποίηση των χαρακτηριστικών (σύσταση και ιδιότητες) των ιπταμένων τεφρών.

Έτσι, στην παρούσα εργασία μελετώνται η ορυκτολογική και χημική σύσταση των ιπταμένων τεφρών των μονάδων 1 και 2 του ΑΗΣ του Αγίου Δημητρίου.

Για την επίτευξη των στόχων της παρούσας εργασίας, συνέβαλαν πολλοί άνθρωποι τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω. Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Αλεβίζο, για την επιλογή του θέματος και την καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Ευχαριστώ επίσης τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Μιχαήλ Γαλετάκη για την αξιολόγηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Κατόπιν, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Δρ. Διπλωματούχο Μηχανικό Ορυκτών Πόρων κ. Αντώνιο Στρατάκη, για το χρόνο που διέθεσε, την υπομονή που επέδειξε και κυρίως την πολύτιμη βοήθεια του στην αξιολόγηση της παρούσας διπλωματικής. Ακόμα, ευχαριστώ τα μέλη ΔΕΠ και το προσωπικό των Εργαστηρίων Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας για την παραχώρηση και χρήση του εξοπλισμού τους κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Ειδικότερα, ευχαριστώ τη Διπλ. Μηχ. Ορυκτών Πόρων κα. Παυλίνα Ροτόντο για τη βοήθεια στην πραγματοποίηση των χημικών αναλύσεων με τη χρήση του φασματοσκοπίου ακτίνων-X φθορισμού (XRF), τον κ. Γεώργιο Αποστολάκη για την κατασκευή των δισκίων καθώς και όλους τους συναδέλφους που με το δικό τους τρόπο με βοήθησαν στην υλοποίηση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη συνεχή και αμέριστη ηθική υποστήριξη και υπομονή που έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου αυτά τα πέντε χρόνια στα Χανιά.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό να συμβάλει στη μελέτη δειγμάτων ιπτάμενων τεφρών (I.T.) που παράγονται κατά την καύση του λιγνίτη στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της ΔΕΗ, και συγκεκριμένα στον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν ημερήσια και εβδομαδιαία δείγματα, διάρκειας ενός μήνα, από τις μονάδες 1 και 2 του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και προσδιορίστηκαν:

- α) Η ποιοτική και η ποσοτική ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων
- β) Η χημική σύσταση των δειγμάτων

Αρχικά, παρουσιάστηκαν οι ιδιότητες των ιπταμένων τεφρών και αναφέρθηκαν οι σημαντικότερες χρήσεις τους. Στη συνέχεια, προσδιορίστηκε η ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD). Τέλος, ο προσδιορισμός της χημικής σύστασης των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο φασματοσκοπίας ακτίνων-Χ φθορισμού (XRF), αφού ετοιμάστηκαν πρώτα τα κατάλληλα κυλινδρικά πεπιεσμένα δισκία.

Με βάση τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης βρέθηκε ότι οι κυριότερες φάσεις είναι ο ασβεστίτης, ο γκελενίτης, οι άστριοι, ο ανυδρίτης, ο χαλαζίας, ο μπραουνμυλλερίτης, η άσβεστος και το πυριτικό διασβέστιο, ενώ σε μικρότερα ποσοστά ανιχνεύθηκαν πορτλανδίτης, περίκλαστο, αιματίτης, μοσχοβίτης και μερβινίτης. Κατόπιν, τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης έδειξαν την ύπαρξη οξειδίων με τα σημαντικότερα από αυτά να είναι το οξείδιο του ασβεστίου (CaO), το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), το οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3), το οξείδιο του σιδήρου (Fe_2O_3) και το τριοξείδιο του θείου (SO_3).

Στην συνέχεια, υπολογίστηκαν τα βασικά στατιστικά μεγέθη (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, ελάχιστο-μέγιστο) για την ορυκτολογική και για τη χημική σύσταση των δειγμάτων.

Με βάση τα αποτελέσματα των προσδιορισμών της ορυκτολογικής σύστασης, της χημικής σύστασης, και τα στατιστικά μεγέθη, εξήχθησαν συμπεράσματα αναφορικά με τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των τεφρών καθώς επίσης και ομοιότητες και διαφορές μεταξύ των μονάδων 1 & 2 του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου. Πιο συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι τα κυριότερα συστατικά της I.T. είναι ο ασβεστίτης, ο γκελενίτης και οι άστριοι, ενώ το ποσοστό των αμόρφων είναι κοντά στο 30%. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι οι διαφορές στα ποσοστά των ορυκτολογικών συστατικών μεταξύ των δύο μονάδων

είναι αμελητέες. Εξίσου σημαντικές ήταν και οι ομοιότητες στη χημική σύσταση μεταξύ των βασικών οξειδίων των δειγμάτων που αναλύθηκαν.

Τέλος, χαρακτηρίστηκε το είδος των συγκεκριμένων (I.T.) ως ασβεστούχες τύπου C (κατά ASTM) ή W (κατά EN).

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γένεση και ταξινόμηση γαιανθράκων.....	1
1.2 Ελληνικοί λιγνίτες.....	2
1.2.1 Πλεονεκτήματα του λιγνίτη	5
1.3 Τεχνολογία καύσης λιγνίτη και δημιουργία τέφρας	6
1.4 Ιπτάμενη τέφρα	8
1.4.1 Γενικά	8
1.4.2 Ορυκτολογική και χημική σύσταση ιπταμένων τεφρών	9
1.4.3 Κατηγορίες ιπταμένων τεφρών	12
1.4.4 Ιδιότητες ιπταμένων τεφρών	13
1.4.4.1 Υδραυλικές-Ποζολανικές Ιδιότητες.....	14
1.4.5 Χρήσεις των Ιπταμένων Τεφρών	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	19
2.1 Δειγματοληψία και προετοιμασία των δειγμάτων Ι.Τ.	19
2.2 Ορυκτολογικές αναλύσεις	20
2.3 Χημικές αναλύσεις.....	27
2.4 Κοκκομετρική κατανομή.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	32
3.1 Ορυκτολογική σύσταση.....	32
3.2 Χημική σύσταση.....	40
3.3 Κοκκομετρική κατανομή.....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	52
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο λιγνίτης συγκαταλέγεται στην ομάδα των ορυκτών ανθράκων ή γαιανθράκων, που σχηματίζονται από υπολείμματα φυτικών οργανισμών, τα οποία έχουν υποστεί αλλοίωση μέσω μιας σειράς διεργασιών ενανθράκωσης. Η ιπτάμενη τέφρα παράγεται από την καύση του λιγνίτη στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ) της ΔΕΗ.

Στην Ελλάδα το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από μια σειρά ατμοηλεκτρικών σταθμών (ΑΗΣ) της ΔΕΗ. Συγκεκριμένα, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των 45 συνολικά ΑΗΣ της ΔΕΗ ανέρχεται σήμερα στα 9.660 MW και η παραγωγή ξεπέρασε τις 50 TWh (ΔΕΗ, 2016). Το γεγονός ότι, ο λιγνίτης ως καύσιμο, υπάρχει σε πολύ μεγάλες ποσότητες και η εξόρυξή του γίνεται σχετικά εύκολα σε υπαίθριες εκμεταλλεύσεις, προσδίδει στα λιγνιτικά κοιτάσματα τεράστια οικονομικοπολιτική σημασία. Επίσης, η δυνατότητα μακροπρόθεσμης πρόβλεψης της τιμής του και η συμμετοχή του στην περιφερειακή ανάπτυξη της χώρας μας αυξάνουν επιπρόσθετα τη σημασία του, καθιστώντας τον πρωτεύοντα ενεργειακό φυσικό πόρο. Σύμφωνα με τη ΔΕΗ με τους σημερινούς ρυθμούς εκμετάλλευσης τα λιγνιτικά αποθέματα της Ελλάδας επαρκούν για τα επόμενα 40 χρόνια (ΔΕΗ, 2016).

1.1 Γένεση και ταξινόμηση γαιανθράκων

Οι λιγνίτες αποτελούν μια ειδική περίπτωση ιζηματογενών αποθέσεων που προήλθαν από φυτικά υπολείμματα μέσω μιας σειράς διεργασιών ενανθράκωσης. Οι διεργασίες αυτές οδήγησαν στον εμπλουτισμό των φυτικών υπολειμμάτων σε άνθρακα. Η μετατροπή των φυτών σε τύρφη και η μετάβαση από την τύρφη (αρχικό στάδιο ενανθράκωσης) στον ανθρακίτη (τελικό στάδιο ενανθράκωσης) είναι συνάρτηση της επίδρασης του χρόνου, της θερμοκρασίας και της πίεσης (Γαλετάκης, 1996). Η αύξηση του βαθμού ενανθράκωσης επηρεάζει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των γαιανθράκων, όπως είναι η μείωση της περιεκτικότητας σε οξυγόνο και υδρογόνο, η αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα και η μείωση του ποσοστού των πτητικών συστατικών. Ο σχηματισμός γαιάνθρακα αντιπροσωπεύει το τελικό αποτέλεσμα του συνδυασμού διεργασιών οργανισμών, της διάβρωσης, της απόθεσης ιζημάτων και άλλων παραγόντων (Στρατάκης, 2014).

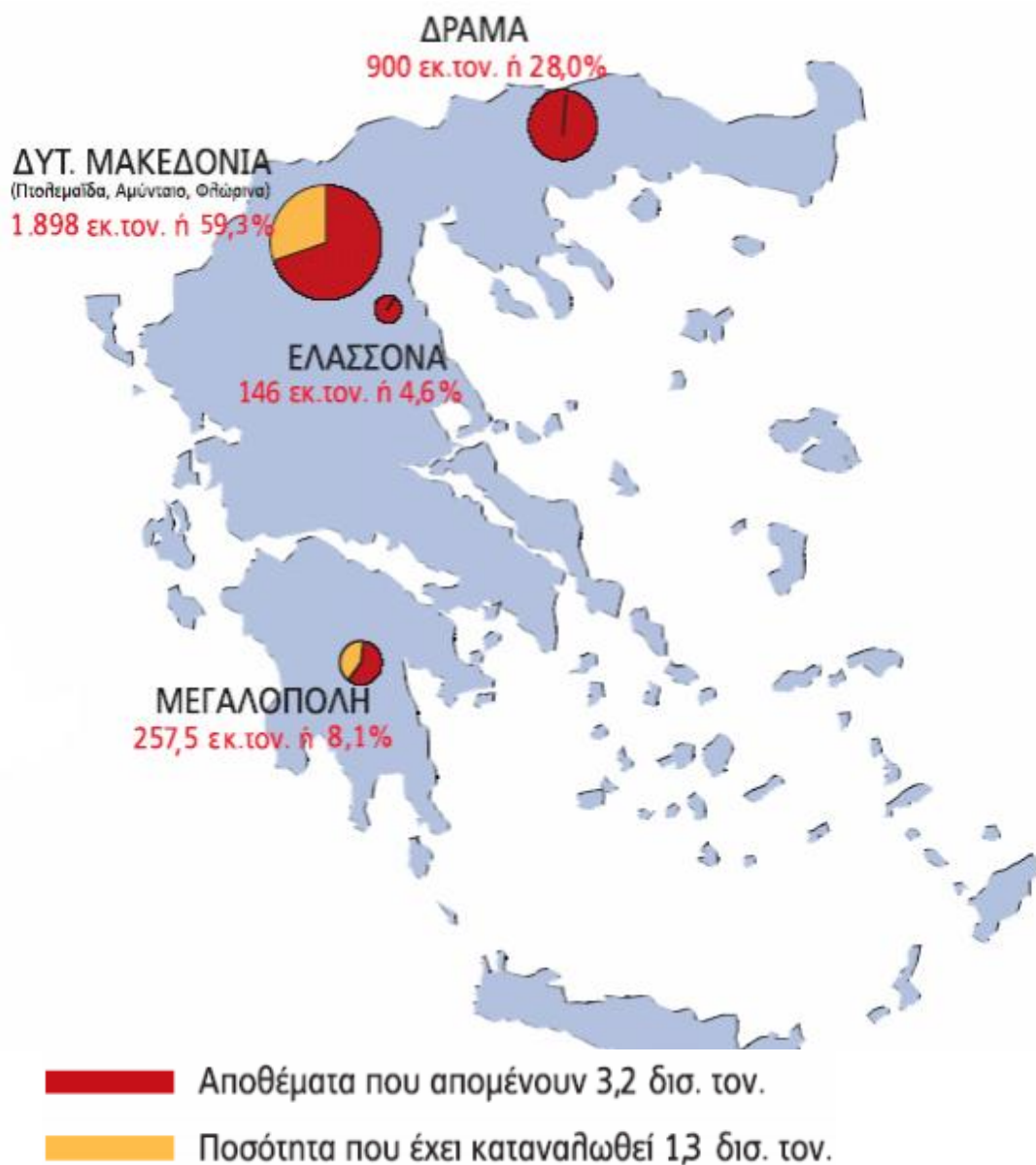
Η κατάταξη των γαιανθράκων «κατά βαθμό ενανθράκωσης» (by rank), σύμφωνα με το Αμερικάνικο πρότυπο (ASTM D-388), είναι:

- Ανθρακίτης,
- Βιτουμενιούχοι ή ασφαλούχοι γαιάνθρακες,
- Υπο-βιτουμενιούχοι ή υπο-ασφαλούχοι γαιάνθρακες,
- Λιγνίτες

Εξαιτίας της προοδευτικής αλλαγής από το λιγνίτη προς τον ανθρακίτη , δημιουργούνται κάποιες διαφορές στο γαιάνθρακα. Για να αναδειχθούν αυτές οι αλλαγές χρησιμοποιείται η λέξη «βαθμός». Μια αλλαγή σαν κι αυτή συνεπάγεται αύξηση στον περιεχόμενο μόνιμο άνθρακα, το θείο και πιθανώς την τέφρα, αύξηση της πυκνότητας καθώς επίσης και μείωση του πορώδους και της υγρασίας. Ο βαθμός ενανθράκωσης δείχνει την «ωριμότητα» ενός γαιάνθρακα. Για να διαχωρίσουμε τους λιγνίτες και τους υπο-βιτουμενιούχους (υπο-ασφαλούχους) γαιάνθρακες χρησιμοποιείται κυρίως η υγρασία και η θερμογόνος δύναμη, ενώ για τους βιτουμενιούχους (ασφαλούχους) γαιάνθρακες και τους ανθρακίτες χρησιμοποιείται κυρίως η περιεκτικότητα σε μόνιμο άνθρακα, πηλικά ή υδρογόνο (Κολοβός, 2004).

1.2 Ελληνικοί λιγνίτες

Τα αποθέματα του λιγνίτη είναι τεράστια στο υπέδαφος της Ελλάδας. Το κοιτάσμα του Νότιου Πεδίου, ένα από τα μεγαλύτερα «ενιαία» κοιτάσματα απολήψιμου λιγνίτη στην Ελλάδα, το οποίο βρίσκεται στην Πτολεμαΐδα αποτελεί ταυτόχρονα ένα από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα στην Ευρώπη. Σύμφωνα με τα επίσημα στατιστικά της ΔΕΗ, τα μέχρι πρότινος επιβεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη κυμαίνονται σε 5 δισεκατομμύρια τόνους παρουσιάζοντας αξιοσημείωτη γεωγραφική εξάπλωση στον ελληνικό χώρο. Με τα σημερινά τεχνικο-οικονομικά δεδομένα τα κοιτάσματα που είναι κατάλληλα για ενεργειακή εκμετάλλευση, ανέρχονται σε περίπου 3,2 δις τόνους, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1 και ισοδυναμούν με 450 εκ. τόνους πετρελαίου (ΔΕΗ,2016; Στρατάκης, 2014).



Εικόνα 1.1 Αποθέματα λιγνίτη, (ΔΕΗ, 2016)

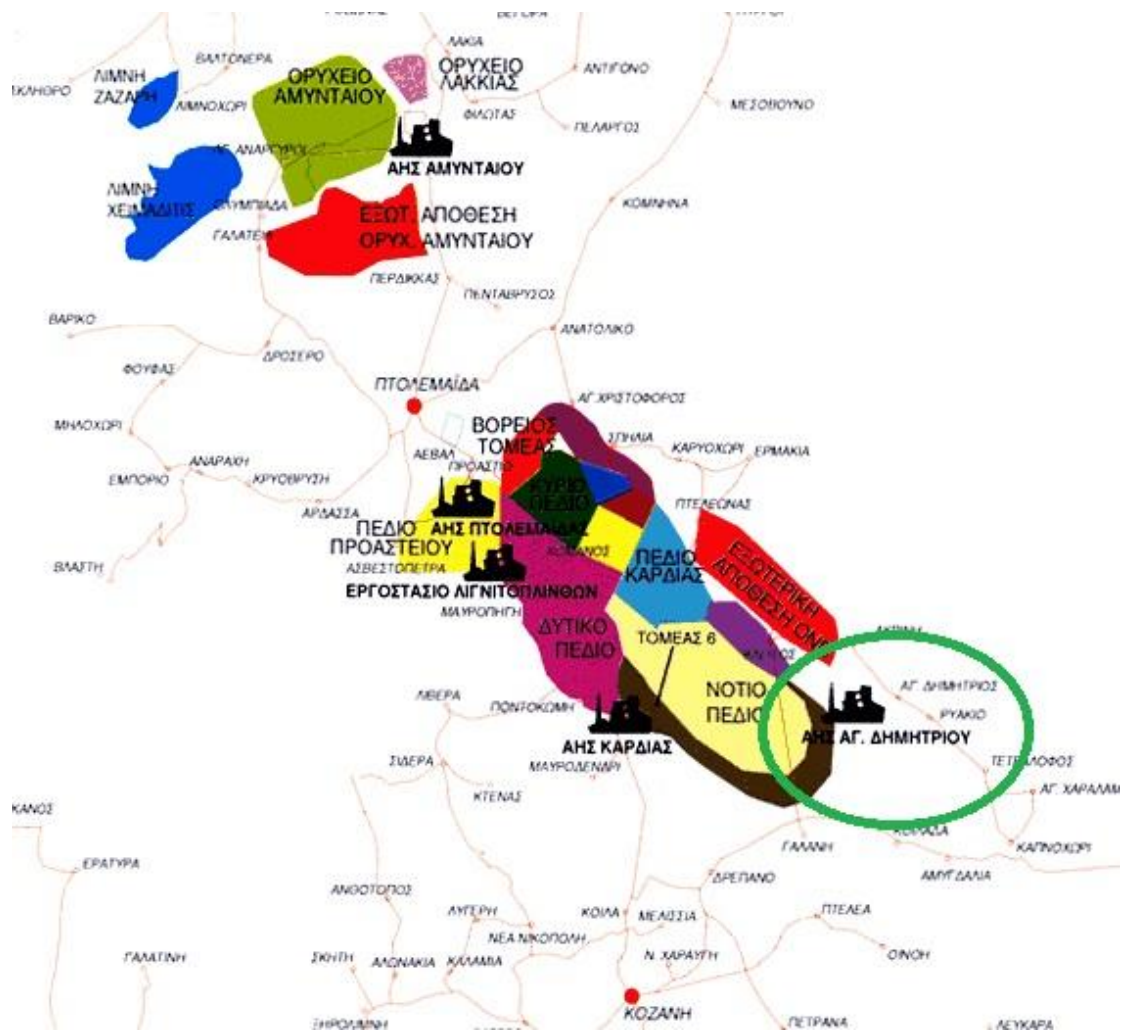
Μέχρι σήμερα οι εξορυχθείσες ποσότητες λιγνίτη φτάνουν περίπου στο 29% των συνολικών αποθεμάτων. Εκτός από λιγνίτη η Ελλάδα διαθέτει και ένα μεγάλο κοιτάσμα Τύρφης στην περιοχή των Φιλιππων (Ανατολική Μακεδονία). Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα στο κοιτάσμα αυτό εκτιμώνται σε 4 δισ κυβικά μέτρα και ισοδυναμούν περίπου με 125 εκατ. τόνους πετρελαίου (ΔΕΗ, 2016). Γενικά η ποιότητα των ελληνικών λιγνιτών είναι χαμηλή. Η θερμογόνος δύναμη κυμαίνεται από 975 - 1380 kcal/kg στις περιοχές Μεγαλόπολης, Αμυνταίου και Δράμας, από 1261 - 1615 kcal/kg στην περιοχή Πτολεμαΐδας και 1927 - 2257 kcal/kg στις περιοχές Φλώρινας και Ελασσόνας. Σημαντικό συγκριτικό

πλεονέκτημα των λιγνιτών της χώρας μας είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε καύσιμο θείο (ΔΕΗ, 2016).

Οι λιγνίτες, που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, έχουν προέλθει από τον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου στην Κοζάνη, ο οποίος τροφοδοτείται κυρίως από το κοιτάσμα του Νότιου Πεδίου. Τα κοιτάσματα αυτά αποτελούν τμήμα της μεγάλης τεκτονικής τάφρου της Δυτικής Μακεδονίας, μήκους μεγαλύτερου των 120 km, που εκτείνεται από το Μοναστήρι (πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας) μέχρι την Ελασσόνα. Οι λιγνίτες της Δυτικής Μακεδονίας εντοπίζονται μέσα σε τριτογενή κυρίως λιμναία ή ποτάμια ιζήματα, όπου στο μεγαλύτερο ποσοστό τους αποτελούνται από μάργες και αργίλους, με κύριο χαρακτηριστικό τον έντονο τεκτονισμό (Γαλετάκης, 1996; Στρατάκης, 2014).

Στην περιοχή της Πτολεμαΐδας τα κοιτάσματα παρουσιάζουν έντονη εναλλαγή των στρωμάτων λιγνίτη με λεπτά στρώματα από γαιώδη υλικά και γι' αυτό τους έχει αποδοθεί ο χαρακτηρισμός Zebra. Πάνω από τα νεότερα στρώματα λιγνίτη επικάθησαν άλλα γαιώδη υλικά που αποτελούνται συνήθως από άμμο, αμμοχάλικα, μαλακό ασβεστόλιθο και άργιλο, το πάχος τους κυμαίνεται από 12 έως 230 μέτρα και δημιουργούν τα «υπερκείμενα υλικά των λιγνιτωρυχείων. Το μέσο πάχος των απολήψιμων στρωμάτων λιγνίτη ανέρχεται σε 2 μέτρα περίπου, και ο αριθμός τους είναι από 20 έως 30 (Στρατάκης, 2014; ΔΕΗ, 2016).

Σταδιακά στην περιοχή Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου δημιουργήθηκε ένα από τα μεγαλύτερα Λιγνιτικά Κέντρα στον κόσμο, όπου λειτουργούν σήμερα τέσσερα λιγνιτωρυχεία: Το Ορυχείο Νοτίου Πεδίου, το Ορυχείο Καρδιάς, το Ορυχείο Κυρίου Πεδίου και το Ορυχείο Αμυνταίου. Στο Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (ΛΚΠ-Α) βρίσκονται εγκατεστημένοι 6 λιγνιτικοί Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί (ΑΗΣ) (Αγ. Δημητρίου, Καρδιάς, ΛΙΠΤΟΛ, Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου και Μελίτης-Αχλάδας), όπως φαίνεται στην εικόνα 1.2 συνολικής ισχύος 4.438 MW. Στο σταθμό του Αγ. Δημητρίου, απ' όπου και προήλθαν τα δείγματα της παρούσης εργασίας υπάρχουν 5 μονάδες συνολικής χωρητικότητας 1595 MW. Για την επίτευξη του έργου αυτού χρησιμοποιούνται 42 καδοφόροι εκσκαφείς, 16 αποθέτες, 225 km περίπου ταινιόδρομοι (με πλάτος 1,0 - 2,4 μέτρα) και 1.000 περίπου ντιζελοκίνητα μηχανήματα (Στρατάκης, 2014; ΔΕΗ, 2016).



Εικόνα 1.2 Χάρτης με τα λιγνιτωρυχεία και τους ΑΗΣ του ΛΚΠ-Α (ΔΕΗ, 2012)

1.2.1 Πλεονεκτήματα του λιγνίτη

Η ΔΕΗ στηρίζοντας τις τελευταίες δεκαετίες την ηλεκτροπαραγωγή στο λιγνίτη εξασφάλισε τις χαμηλότερες τιμές ρεύματος στην Ευρώπη. Το μέσο κόστος της λιγνιτικής kWh τα τελευταία πέντε χρόνια διαμορφώθηκε σε <0,03 €/kWh, το οποίο είναι το χαμηλότερο σε σύγκριση με το κόστος όλων των άλλων ανταγωνιστικών καυσίμων.

Επιπλέον, η χρησιμοποίηση του λιγνίτη υποκαθιστά εισαγόμενα καύσιμα ή ηλεκτρική ενέργεια αξίας 1δισ €/έτος. Έχει ξεχωριστή σημασία για τις περιοχές που λειτουργούν τα ορυχεία και οι θερμοηλεκτρικές μονάδες, καθώς στις τοπικές κοινωνίες που αναπτύσσεται η λιγνιτική δραστηριότητα αποδίδονται σε ετήσια βάση περισσότερα από 380εκ € με τη μορφή μισθών, έργων και τοπικών προμηθειών.

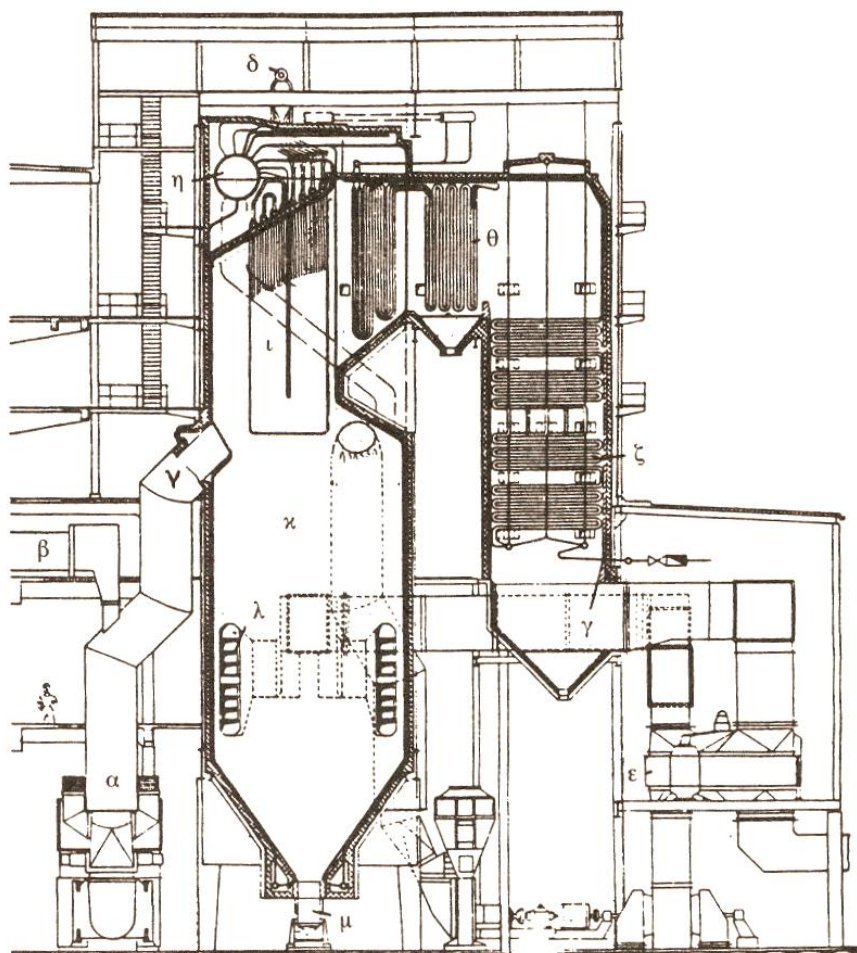
Τέλος, αξιοσημείωτο είναι ότι στην Πτολεμαΐδα τα λιγνιτωρυχεία και οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί διασφαλίζουν την συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, προσφέροντας έτσι, αρκετά φθηνή οικιακή θέρμανση με οικολογικό τρόπο.

1.3 Τεχνολογία καύσης λιγνίτη και δημιουργία τέφρας

Η καύση του γαιάνθρακα στους ΑΗΣ πραγματοποιείται σε μία σειρά από στάδια, τα οποία συμπεριλαμβάνουν: α) έκλυση της πτητικής ύλης, η οποία αποτελείται κυρίως από αέρια και ελαφρείς υδρογονάνθρακες, καθώς και ατμούς πίσσας, β) οξείδωση της πτητικής ύλης στην αέρια φάση και γ) καύση του ανθρακούχου υπολείμματος ή εξανθρακώματος. Τα παραπάνω στάδια παρόλο που είναι ξεχωριστά μεταξύ τους, εξελίσσονται σε ορισμένο βαθμό παράλληλα, ανάλογα με τις συνθήκες της αντίδρασης. Η έκλυση των πτητικών συστατικών επιτελείται μέσω θερμικής διάσπασης της δομής του γαιάνθρακα, μεταφοράς των πτητικών ουσιών που απελευθερώνονται, καθώς και δευτερογενών αντιδράσεων, ενώ η οξείδωση των πτητικών επιτελείται μέσω απλών αντιδράσεων, οι οποίες επηρεάζουν μόνο τη θερμοκρασία ανάφλεξης του εξανθρακώματος και τη σταθερότητα της φλόγας. Όμως, η καύση του εξανθρακώματος επιτελείται μέσω σύνθετων μηχανισμών αντίδρασης, οι οποίοι εξαρτώνται από το πόσο γρήγορα και αποτελεσματικά προχωρά η διαδικασία της καύσης (Βάμβουκα, 2002).

Η τεχνολογία καύσης του λιγνίτη που χρησιμοποιείται στους ΑΗΣ της Δυτικής Μακεδονίας είναι τύπου αιώρησης και ειδικότερα εξαναγκασμένης ροής, συνεχούς ανακυκλοφορίας με εφαιπτομενική καύση του κονιοποιημένου καυσίμου. Το καύσιμο (γαιάνθρακας - λιγνίτης), οδηγείται με ταινιοδρόμους στο σιλό των μύλων, και στη συνέχεια με τροφοδότες (coal feeder) καταλήγει στους μύλους όπου αλέθεται, έτσι ώστε να μειωθεί στο επιθυμητό για την καύση μέγεθος τεμαχιδίων ($<75\mu\text{m}$). Στη συνέχεια ο λιγνίτης αναμιγνύεται με ρεύμα αέρα ή και απαερίων καύσης και εισάγεται μέσω ειδικών καυστήρων στο θάλαμο καύσης με μεγάλη ταχύτητα, ώστε να δημιουργηθεί τυρβώδης ροή για την όσο το δυνατόν ταχύτερη και πληρέστερη καύση των κόκκων. Μέσα στο θάλαμο καύσης (Εικόνα 1.3), ένας κόκκος λιγνίτη διέρχεται από τα στάδια της θέρμανσης, της έκλυσης πτητικών ενώσεων, της καύσης των πτητικών ενώσεων και τέλος της καύσης του στερεού υπολείμματος (κωκ) (Γαλετάκης, 1996; Στρατάκης, 2014).

Κατά τη διάρκεια της καύσης τα ανόργανα συστατικά του λιγνιτικού καυσίμου υπόκεινται σε διάφορες φυσικοχημικές διεργασίες, έτσι ώστε στο τέλος της καύσης να παραμένουν μαζί με τα τυχόν άκαυστα οργανικά τμήματα (άκαυστος άνθρακας) και να αποτελούν τα στερεά κατάλοιπα της καύσης, δηλαδή τις λιγνιτικές τέφρες που παράγονται από τους ΑΗΣ (Στρατάκης, 2014).



α. Μύλος κονιοποίησης καυσίμου	η. Τύμπανο
β. Σύστημα προσαγωγής καυσίμου	θ. Υπερθερμαντήρας ατμού (επαφής μεταφοράς)
γ. Οχετός θερμών καυσαερίων	ι. Υπερθερμαντήρας ατμού (ακτινοβολίας)
δ. Έξοδος υπέρθερμου ατμού	κ. Θάλαμος καύσης
ε. Προθερμαντήρας αέρα	λ. Καυστήρες
ζ. Προθερμαντήρας νερού	μ. Σύστημα απαγωγής καταλοίπων καύσης

Εικόνα 1.3: Σχηματική διάταξη Ατμοπαραγωγού (Παπαγεωργίου, 1991)

Η καύση του λιγνίτη επηρεάζεται από ένα πλήθος παραμέτρων που σχετίζονται με τη θερμοδυναμική και την κινητική της αντίδρασης, τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας, κλπ. Οι παράμετροι αυτοί είναι σε άμεση συνάρτηση με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και την κοκκομετρία του λιγνίτη τροφοδοσίας. Το μέγεθος της κοκκομετρίας του λιγνίτη τροφοδοσίας θα πρέπει να είναι το 70-80% διερχόμενο των 75 μ m. Έχει προσδιοριστεί πειραματικά ότι ο χρόνος καύσης ενός κόκκου διαμέτρου 76 μ m που περιέχει 30-40% πτητικά είναι περίπου 0.3sec (Ward, 1983; Στρατάκης, 2014).

1.4 Ιπτάμενη τέφρα

1.4.1 Γενικά

Τα στερεά κατάλοιπα τα οποία παράγονται από την καύση των λιγνιτών στους λιγνιτικούς ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ), ονομάζονται λιγνιτικές τέφρες και διακρίνονται στην ιπτάμενη τέφρα (Ι.Τ.) και στην υγρή τέφρα ή τέφρα δαπέδου (Τ.Δ.). Η Ι.Τ. είναι ένα πολύ λεπτόκοκκο, χαλαρό υλικό και αποτελεί το στερεό υπόλειμμα που κατακρατείται στους αποκονιστές των απαερίων του λιγνιτικού καυσίμου των μονάδων καύσης των ΑΗΣ (ΔΕΗ, 2016; Στρατάκης, 2014; Τσέλιου, 2009; Μαράκης, 2012).

Επιπλέον, η Ι.Τ. αποτελείται από ανόργανα συστατικά και οργανικές ενώσεις που προέρχονται από την καύση κονιοποιημένου γαιάνθρακα στους κλιβάνους των ατμοηλεκτρικών σταθμών, η οποία παρασύρεται από το μηχανικό ελκυσμό των καυσαερίων και συλλέγεται (σε ηλεκτροστατικά φίλτρα, σε σακκόφιλτρα ή σε κυκλώνες) πριν τη διοχέτευση των καυσαερίων στις καπνοδόχους και στη συνέχεια αποθηκεύεται σε ειδικά σιλό, διαβρέχεται και τέλος απορρίπτεται. Τα σωματίδια της Ι.Τ. αποτελούνται από ορυκτά του λιγνίτη (πρωτογενείς - αναλλοίωτες κρυσταλλικές φάσεις), νεοσχηματισθείσες κρυσταλλικές φάσεις, υαλώδεις φάσεις και άκαυστο λιγνίτη. Το μέγεθος των σωματιδίων της Ι.Τ. κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 200 μ m, με το μεγαλύτερο ποσοστό να βρίσκεται μεταξύ 40 μ m και 125 μ m, και εξαρτάται από τον τύπο του συστήματος περισυλλογής και το βαθμό απόδοσης του ΑΗΣ. Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα συγκεντρώνουν τέφρα στο μεγαλύτερο ποσοστό λεπτών κλασμάτων σε σχέση με τους κυκλώνες. Τα σακκόφιλτρα συγκεντρώνουν τέφρα περισσότερο ομογενή από εκείνη των ηλεκτροστατικών φίλτρων (Στρατάκης, 2014).

Το άκαυστο μέρος του λιγνίτη που δε συλλέγεται και δεν παρασύρεται από τα αέρια σωληνώσεων ως Ι.Τ., κατακρημνίζεται στη σχάρα της εστίας καύσης του λέβητα και είναι γνωστό ως Τ.Δ. Η Τ.Δ. αποτελείται από χονδρόκοκκα ορυκτά που συνυπάρχουν στο λιγνιτικό καύσιμο, από τετηγμένες φάσεις που σχηματίζονται κατά την καύση, καθώς και από άκαυστους κόκκους λιγνίτη (Κωστάκης, 1996; Στρατάκης, 2014).

Επίσης, τέφρα παράγεται και εργαστηριακά. Η τέφρα που παράγεται στο εργαστήριο, ανάλογα με τη θερμοκρασία καύσης, χαρακτηρίζεται ως εργαστηριακή τέφρα (Ε.Τ.) υψηλής ή χαμηλής θερμοκρασίας. Η εργαστηριακή τέφρα υψηλής θερμοκρασίας προκύπτει από την καύση γαιάνθρακα σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 700 έως 850°C (Tsai, 1982) και παράγεται σε συνθήκες που καθορίζονται από πρότυπα ανάλογα τον τύπο του γαιάνθρακα. Η εργαστηριακή τέφρα χαμηλής θερμοκρασίας παράγεται με τη μέθοδο της οξείδωσης του γαιάνθρακα σε χαμηλή θερμοκρασία (Low Temperature Ashing). Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην απομάκρυνση του οργανικού μέρους του λιγνίτη μέσω πλάσματος οξυγόνου το οποίο δημιουργείται με τη μετατροπή του οξυγόνου σε όζον, ενώ η οξείδωση πραγματοποιείται συνήθως σε θερμοκρασίες 120°C έως 200°C (Ward, 1983; Στρατάκης, 2014)).

1.4.2 Ορυκτολογική και χημική σύσταση ιπταμένων τεφρών

Καθοριστική για τις ιδιότητες των λιγνιτικών τεφρών είναι η χημική και ορυκτολογική τους σύσταση.

Η χημική σύσταση των λιγνιτικών τεφρών εξαρτάται ουσιαστικά μόνο από τη σύσταση του λιγνίτη, ενώ η ορυκτολογική σύσταση εξαρτάται τόσο από τη σύσταση, την ποιότητα του λιγνίτη και το μέγεθος λειοτριβήσεώς του, όσο και από την τεχνολογία καύσης.

Οι Ι.Τ. διακρίνονται, σε εκείνες που περιέχουν κυρίως SiO_2 , Al_2O_3 και λίγο CaO (πυριτικές) και σε εκείνες με λιγότερο SiO_2 , Al_2O_3 και περισσότερο CaO (ασβεστούχες). Στην περίπτωση των γαιανθράκων χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης, η θερμαντική αξία, η περιεκτικότητα σε υγρασία και η τέφρα αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες. Η χημική σύσταση της τέφρας επηρεάζει όλες τις φάσεις της διεργασίας της καύσης του λιγνίτη, από το στάδιο της άλεσης μέχρι το σχεδιασμό και την απόδοση των καυστήρων και των

συστημάτων περιβαλλοντικού ελέγχου, λαμβάνοντας υπόψη την τάση για επισκωριώσεις και επικαθήσεις στην εστία του λέβητα (Στρατάκης, 2014)

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η χημική σύσταση της Ι.Τ., έχει προσδιοριστεί από πλήθος αναλύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς. Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι διακυμάνσεις της χημικής σύστασης Ι.Τ. από τους ελληνικούς ΑΗΣ και τους ΑΗΣ διαφόρων χωρών (Κωστάκης, 1996; Στρατάκης, 2014).

Πίνακας 1.1 Διακυμάνσεις της χημικής σύστασης Ι.Τ. των ελληνικών ΑΗΣ και ΑΗΣ διαφόρων χωρών

	Ελληνικοί ΑΗΣ	ΑΗΣ Διαφόρων χωρών
SiO ₂ (%)	22.98-44.50	40.1-82.3
Al ₂ O ₃ (%)	7.88-18.95	14.3-37.6
Fe ₂ O ₃ (%)	4.07-7.97	1.7-21.5
CaO(%)	21.70-45.30	0.2-9.0
MgO(%)	2.39-6.00	0.1-3.3
SO ₃ (%)	3.55-8.01	0.1-0.7
Na ₂ O(%)	0.26-1.37	0.2-1.8
K ₂ O(%)	0.67-1.80	0.6-4.3
TiO ₂ (%)	0.24-0.98	0.7-2.2
P ₂ O ₅ (%)	0.19-0.68	0.1-0.7
A.Π. (%)	2.08-6.83	0.5-2.0

Η γνώση της ορυκτολογικής σύστασης της τέφρας, κυρίως η ποσοτική, είναι χρήσιμη για τη βελτιστοποίηση της διάθεσης της τέφρας. Επίσης, με βάση αποτελέσματα ποσοτικών ορυκτολογικών αναλύσεων μπορεί να γίνει, με τη βοήθεια τριγωνικών διαγραμμάτων, χαρακτηρισμός των υπαμένων τεφρών αναφορικά με τις υδραυλικές-ποζολανικές τους ιδιότητες (Kostakis, 2009).

Εξαιτίας της σημασίας της γνώσης της ορυκτολογικής σύστασης των λιγνιτικών τεφρών των ΑΗΣ, τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί εργασίες σχετικά με την παρουσία των κρυσταλλικών φάσεων στις τέφρες. Από τις εργασίες αυτές, προέκυψε η παρουσία παρόμοιων κρυσταλλικών φάσεων

στην πλειονότητα των ΑΗΣ που έχουν αντίστοιχη καύσιμη ύλη, εμφανίζοντας όμως διακυμάνσεις στο ποσοστό εμφάνισης των κρυσταλλικών φάσεων. Από τις έως τώρα μελέτες της ορυκτολογικής σύστασης των λιγνιτικών τεφρών των ΑΗΣ των Λιγνιτικών Κέντρων Δυτικής Μακεδονίας που έγιναν στο πλαίσιο διαφόρων εργασιών στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης (Κωστάκης, 1996; Κωστάκης, 2004; Kostakis and Stratakis, 2005; Δασκαλάκη, 2005; Kostakis, 2009; Στρατάκης, 2014), προέκυψε η παρουσία κυρίως των φάσεων χαλαζία, ανυδρίτη, άσβεστου, αιματίτη, γκελενίτη, πυριτικού διασβεστίου, μπραουνμυλλερίτη, αστρίων (πλαγιόκλαστα, καλιούχοι άστριοι) και κρυσταλλογραφικά άμορφης-υαλώδους φάσης, ενώ σε μικρότερη ποσότητα ή ίχνη περίκλαστο, πορτλανδίτης, μοσχοβίτης, μερβινίτης και ασβεστίτης.

Πρέπει να επισημανθεί ότι η παρουσία του πορτλανδίτη αντί της ασβέστου μπορεί να οφείλεται στην υγρασία που προσέλαβαν τα δείγματα πριν την ακτινογράφιση (όταν η δειγματοληψία έχει γίνει πριν τη διαβροχή στα σιλό απόθεσης) ή κατά τη διαβροχή της Ι.Τ. στα σιλό απόθεσης (αν η δειγματοληψία πραγματοποιηθεί μετά), παρουσιάζοντας έτσι μια μικρή αλλοίωση ως προς την αρχική ορυκτολογική σύσταση. Τα ορυκτά που αντιπροσωπεύουν τα αρχικά συστατικά του λιγνίτη είναι ασβεστίτης, χαλαζίας, καλιούχος άστριος, πλαγιόκλαστα, μοσχοβίτης και πιθανόν αιματίτης. Η παρουσία ανυδρίτη, γκελενίτη ή ακερμανίτη, άσβεστου (ελεύθερο CaO), χατρουρίτη, μπραουνμυλλερίτη, περίκλαστου, μερβινίτη και μαγνησιοφερρίτη οφείλεται στη διαδικασία της καύσης του λιγνίτη (Κωστάκης, 1996; Στρατάκης, 2014).

Η άσβεστος προέρχεται από τη διάσπαση του ασβεστίτη ή του δολομίτη που υπάρχει στο λιγνίτη. Όσον αφορά στον ανυδρίτη, μπορεί να προκύψει από δύο περιπτώσεις: είτε από την αφυδάτωση της γύψου, είτε από την αντίδραση της ασβέστου (ελεύθερο CaO) με τριοξείδιο του θείου, το οποίο προέκυψε από τη διάσπαση των σουλφιδίων που υπάρχουν στην καύσιμη ύλη. Κατόπιν, ο χαλαζίας αποτελεί συστατικό του ανόργανου μέρους του λιγνίτη, ενώ οι άστριοι μπορεί να αποτελούν συστατικά του λιγνίτη, αλλά ταυτόχρονα είναι δυνατόν να δημιουργηθούν κατά την καύση, ως προϊόντα διάσπασης και αντιδράσεων των αργιλοπυριτικών φάσεων (καολινίτη, ιλλίτη, κ.α.) του λιγνίτη. Ο μοσχοβίτης είναι φάση του αρχικού λιγνίτη, ο οποίος δεν έχει επίσης απομακρυνθεί κατά την καύση. Ο ασβεστίτης είναι είτε πρωτογενής φάση του λιγνίτη που δεν έχει διασπαστεί πλήρως, είτε έχει δημιουργηθεί δευτερογενώς από τη μετατροπή της

ασβέστου σε πορτλανδίτη και στη συνέχεια υπό την επίδραση του CO₂ της ατμόσφαιρας σε ασβεσίτη. Οι φάσεις του γκελενίτη, του μπραουνμυλλερίτη, του μερβινίτη και του περίκλαστου αποτελούν φάσεις οι οποίες δημιουργούνται κατά την καύση του λιγνίτη, είτε στους ΑΗΣ, είτε σε εργαστηριακό κλίβανο (Στρατάκης, 2014).

Στον πίνακα 1.2 παρουσιάζεται ενδεικτικά η ορυκτολογική σύσταση Ι.Τ. των ΑΗΣ του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, καθώς και λιγνιτικών Ι.Τ. από ΑΗΣ άλλων χωρών (Ισπανία, Ολλανδία, Ιταλία, Βουλγαρία, Τουρκία), (Στρατάκης, 2014).

Πίνακας 1.2 Ορυκτολογική σύσταση Ι.Τ. και Ε.Τ. των ΑΗΣ του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου

	Ιπτάμενη τέφρα ΑΗΣ ΛΚΠ-Α	Λιγνιτικές Ι.Τ άλλων χωρών
Ανυδρίτης	4-11	0,2-10
Ασβεστος(+Πορτλανδίτης)	5-13	0-17
Περίκλαστο	1-3	-
Αιματίτης	1-2	0,4-7
Γκελενίτης	3-9	3-7
Πυριτικό διασβέστιο	2-5	1-2
Μπραουνμυλλερίτης	3-11	-
Μερβινίτης	1-2	-
Ασβεσίτης	1-10	0,5-23
Χαλαζίας	4-12	3-16
Άστριοι	6-14	2,5-11
Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	1-3	1-4
Πυρόξενοι	4-7	-
Μουλλίτης	-	0-28
Άμορφα	33-44	38-71

1.4.3 Κατηγορίες ιπταμένων τεφρών

Οι τέφρες κατατάσσονται σε κατηγορίες αναλόγως με τις ιδιότητες που εμφανίζουν καθώς και λαμβάνοντας υπόψη τη χημική τους σύσταση, την προέλευση τους και την παρουσία οξειδίων. Έτσι, σαν αποτέλεσμα των παραπάνω έχουν προκύψει συγκεκριμένα διεθνή πρότυπα κατάταξης των τεφρών.

Οι δύο μεγάλες κατηγορίες στις οποίες διαχωρίζονται οι Ι.Τ. σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN197-1 είναι οι πυριτικές και οι ασβεστούχες. Οι

πυριτικές τέφρες (τύπος V) περιέχουν λιγότερο από 10% CaO, ενώ οι ασβεστούχες τέφρες (τύπος W) περιέχουν 10-35% CaO. Οι τέφρες της πρώτης κατηγορίας παρουσιάζουν ποζολανικές ιδιότητες, ενώ της δεύτερης κατηγορίας έχουν υδραυλικές και/ή ποζολανικές ιδιότητες. (Θωμαΐδης, 2007; Στρατάκης, 2014).

Σύμφωνα με το αμερικάνικο πρότυπο ASTM C618, οι τέφρες διαχωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τις τέφρες τύπου F που παράγονται από την καύση ανθρακίτη ή βιτουμενιούχου γαιάνθρακα με τουλάχιστον 70% SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ και εμφανίζουν ποζολανικές ιδιότητες και τις τέφρες τύπου C, που είναι εκείνες που παράγονται από την καύση λιγνίτη και υπό-βιτουμενιούχου γαιάνθρακα και περιέχουν τουλάχιστον 50%, αλλά λιγότερο από 70% SiO₂, Al₂O₃ και Fe₂O₃, ενώ εμφανίζουν πέρα από ποζολανικές και υδραυλικές ιδιότητες. Οι τέφρες τύπου F περιέχουν συνήθως λιγότερο από 5% CaO, ενώ οι τέφρες τύπου C περιέχουν μεγάλη ποσότητα CaO (10-35%). Μια επιπλέον διαφοροποίηση είναι ότι η περιεκτικότητα σε αλκάλια και θειικά είναι γενικά μεγαλύτερη στις τέφρες τύπου C, από ότι στις τέφρες τύπου F (Θωμαΐδης, 2007; Στρατάκης 2014).

Οι ελληνικές Ι.Τ. της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου ανήκουν στην κατηγορία των ασβεστούχων τεφρών (τύπου W) σύμφωνα με το EN197-1 και στην κατηγορία C σύμφωνα με το ASTM C618, λόγω των υψηλών ποσοστών CaO που περιέχουν (Στρατάκης, 2014; Θωμαΐδης, 2007; Φαλέγκας, 2014).

1.4.4 Ιδιότητες ιπταμένων τεφρών

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των Ι.Τ. εξαρτώνται από τη σύσταση τους, τόσο τη χημική όσο και την ορυκτολογική, το ποσοστό της υαλώδους φάσης το οποίο καθορίζει σε ένα βαθμό τις υδραυλικές ιδιότητες των Ι.Τ., καθώς επίσης και από παράγοντες όπως είναι η κοκκομετρική κατανομή, το μέγεθος, το σχήμα και η επιφάνεια των κόκκων. Αν η ειδική επιφάνεια είναι μικρή, δηλαδή το μέγεθος των κόκκων μεγάλο, τότε αναπτύσσονται μεταξύ τους θλιπτικές δυνάμεις και δυνάμεις τριβής, ενώ σε αντίθετη περίπτωση αναπτύσσονται συνεκτικές δυνάμεις. Οι παραπάνω ιδιότητες χαρακτηρίζουν σε σημαντικό βαθμό την ποιότητα των Ι.Τ.

Οι ελληνικές Ι.Τ. έχουν μια κατανομή κόκκων που βρίσκονται συνήθως ανάμεσα στην περιοχή 0,2 έως 200 μm (Θωμαΐδης, 2007).

1.4.4.1 Υδραυλικές-Ποζολανικές Ιδιότητες

Οι υδραυλικές ιδιότητες ενός υλικού, οφείλονται στο σχηματισμό, υπό την επίδραση του νερού, ελάχιστα υδατοδιαλυτών ένυδρων ενώσεων με μεγάλη μεταξύ αυτών και των αδρανών συνάφεια, οι ενώσεις αυτές με την πάροδο του χρόνου αυξάνουν, τη συνοχή των πολτών και κονιαμάτων που παράγονται από το υλικό. Ως ποζολάνη ορίζεται, κατά ASTM, ένα πυριτικό ή αργιλικό υλικό που αυτό καθ' αυτό δεν έχει υδραυλικές ιδιότητες, όμως με λεπτό καταμερισμό και παρουσία νερού αντιδρά με την υδράσβεστο, σε συνήθη θερμοκρασία, σχηματίζοντας ενώσεις με υδραυλικές ιδιότητες (Κωστάκης, 1996).

1.4.5 Χρήσεις των Ιπταμένων Τεφρών

Η δημιουργία της Ι.Τ. μπορεί να προκαλέσει περιβαλλοντικές επιπτώσεις, λόγω της διασποράς και απόθεσης Ι.Τ. . Η γνώση της σύστασης της τέφρας πέρα από τη σημασία που έχει για τη λειτουργία των ΑΗΣ, είναι σημαντική και για την απόθεση στο περιβάλλον, καθώς και για τη διάθεσή της. Το απόβλητο-παραπροϊόν της καύσης στους ΑΗΣ, δηλαδή η Ι.Τ., μέσω της γνώσης της σύστασής της και των ιδιοτήτων μπορεί πέρα από την απλή απόθεση στο περιβάλλον, να οδηγηθεί σε βιομηχανικές και άλλες εφαρμογές, μειώνοντας την ποσότητα που θα αποτεθεί στο περιβάλλον και κατ' επέκταση τις αντίστοιχες περιβαλλοντικές συνέπειες-επιπτώσεις (Στρατάκης, 2014).

Τα παραπροϊόντα των βιομηχανικών δραστηριοτήτων όπως είναι η Ι.Τ., αποτέλεσαν αντικείμενο μελέτης για τη δυνατότητα αξιοποίησής τους, λόγω κυρίως των σοβαρών προβλημάτων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που δημιουργούνται από την απόρριψή τους. Οι προσπάθειες για την αξιοποίηση της Ι.Τ. άρχισαν κατά τη δεκαετία του 1950 και οδήγησαν σε ένα μεγάλο αριθμό προτάσεων για χρήσεις της, πολλές από τις οποίες ήταν οικονομικά ασύμφορες (λόγω κόστους μεταφοράς, επεξεργασίας, κ.α.) ή περιορισμένου ενδιαφέροντος, καθώς μπορούσαν να αφομοιώσουν μόνο ένα μικρό μέρος της παραγόμενης ποσότητας Ι.Τ.. Με βάση την εμπειρία που αποκτήθηκε από τις μελέτες, λόγω των φυσικών ιδιοτήτων που παρουσιάζει η Ι.Τ., ως καλύτερη δυνατότητα αξιοποίησης της Ι.Τ. είναι η χρησιμοποίηση στον τομέα της οικοδομικής και της βιομηχανίας των δομικών υλικών (εν μέρει υποκατάστατα του τσιμέντου σε κατασκευές σκυροδέματος, οδοποιία, σκληρυγμένα σε ατμό

ασβεστοπυριτικά δομικά υλικά, οπτόπλινθοι με Ι.Τ., αφροποιημένα κονιάματα, σκληρά αδρανή). Στην Ελλάδα, οι προσπάθειες επικεντρώθηκαν στη χρήση στη τοιμεντοβιομηχανία ως ποζολανικό υλικό. Το 1966 η ΔΕΗ, έκανε την πρώτη προσπάθεια με προσθήκη αυτούσιας Ι.Τ. ως αντικαταστάτη μέρους του τσιμέντου στον αναμικτήρα σκυροδέματος (Κωστάκης, 1996).

Η συνολική παραγωγή της Ι.Τ. στην Ευρώπη το 2010, ήταν 48 εκατ. τόνοι, ενώ στην Αμερική για το 2014, ήταν 50 εκατ. τόνοι, από τα οποία αξιοποιήθηκαν στην Ευρώπη το 52% αυτών και στην Αμερική το 48%, δηλαδή μόλις 23 εκατ. (πηγή: ECOBA - European Coal Combustion Products Association και ACAA - American Coal Ash Association). Στην Ελλάδα, η παραγωγή της Ι.Τ. από το σύνολο των ΑΗΣ της χώρας αγγίζει τα 10 εκατ. τόνους ετησίως (ΔΕΗ, 2016).

Συγκρίνοντας κανείς το ποσοστό αξιοποίησης της χώρας με τον αντίστοιχο μέσο όρο της Ευρώπης, αντιλαμβάνεται ότι υπάρχει σημαντική υστέρηση. Η απάντηση στο γιατί οι ελληνικές Ι.Τ. αξιοποιούνται λιγότερο συγκριτικά με την Ευρώπη, δεν είναι μονοδιάστατη. Η ποιότητα της ελληνικής τέφρας την καθιστά λόγω ανομοιογένειας, λεπτότητας και άλλων χαρακτηριστικών, λιγότερο αξιοποιήσιμη σε σχέση με τις ευρωπαϊκές Ι.Τ. Επιπλέον, η μη ύπαρξη προδιαγραφών - μέχρι πρόσφατα - για την ποιότητα των ελληνικών τεφρών και για τη χρήση τους καθιστούσε εξίσου δύσκολο το όλο εγχείρημα. Συν τοις άλλοις, τα τελευταία οχτώ χρόνια λόγω οικονομικής κρίσης έχει μειωθεί η παραγωγή. Παρά τα παραπάνω, υπάρχει έντονο ενδιαφέρον στην αγορά από χρήστες και κατασκευαστές δομικών έργων για την αξιοποίηση της τέφρας στο εγγύς μέλλον. Πρόκειται για μια διαμορφούμενη αγορά που χρειάζεται ωστόσο την ανάλογη παρακολούθηση από τους αρμόδιους φορείς διότι αφενός η τέφρα δεν μπορεί να αντικαταστήσει εξολοκλήρου το τσιμέντο παρά μόνο να συμμετέχει στο μείγμα του και αφετέρου η ελληνική εμπειρία έχει δυστυχώς δείξει ότι τα φτηνά υλικά προτιμώνται συχνά εις βάρος της κατασκευαστικής ποιότητας. Επίσης, πολύ σημαντικό είναι ότι με την αξιοποίηση της τέφρας και τη μη επανατοποθέτηση της στα λιγνιτωρυχεία μειώνεται κατ' αρχήν ο όγκος των απορριπτόμενων στερεών στο έδαφος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα απευθείας χρήσης της Ι.Τ. είναι η κατασκευή του φράγματος του Υδροηλεκτρικού Σταθμού Πλατανόβρυσης στη Δράμα. Το υδροηλεκτρικό αυτό φράγμα είναι το πρώτο τέτοιου τύπου στην Ελλάδα (RCC, Roller Compacted Concrete) και το δεύτερο σε ύψος στη Ευρώπη (95 μέτρα).

Για την πραγματοποίησή του χρησιμοποιήθηκαν 135.000 τόνοι I.T. σε ποσοστό 80% στο μίγμα της κονίας. (Αντίοχος και Τσίμας, 2008).

Οι κυριότεροι τομείς αξιοποίησης της I.T. στην Αμερική για το 2014 παρουσιάζονται στον πίνακα 1.3. Οι κυριότεροι τομείς διάθεσης της τέφρας, όπως προκύπτει και από τον πίνακα 1.3, είναι στην παραγωγή τσιμέντου και σκυροδέματος, στη σταθεροποίηση και πλήρωση κενών, καθώς και στις εφαρμογές εξόρυξης.

Μια έμμεση εφαρμογή και μια πρώτη αξιοποίηση της I.T. λαμβάνει χώρα κατά την παραγωγή της μέσα στο λέβητα καύσης και αφορά στη διεργασία απορρύπανσης, δηλαδή στη διεργασία φυσικής αποθείωσης των καυσαερίων, όταν βέβαια η σύσταση της τέφρας είναι τέτοια που να βοηθάει προς αυτή την κατεύθυνση. Άλλες χρήσεις της I.T. μέσα στους χώρους παραγωγής της, αφορούν ενδεικτικά, στην πλήρωση των ορυγμάτων και στην οδοποιία μέσα στα ορυχεία, συμβάλλοντας έτσι στην προστασία και αποκατάσταση του περιβάλλοντος, καθώς και στην οικονομία της παραγωγικής διαδικασίας (Στρατάκης, 2014).

Πίνακας 1.3 Αξιοποίηση της τέφρας στην Αμερική

Αξιοποίηση της τέφρας στην Αμερική	Αμερική
Παραγωγή τέφρας (χιλ. τόνοι)	50.422
Αξιοποίηση τέφρας (χιλ. τόνοι):	23.181
1. Παραγωγή τσιμέντου	13.126
2. Βάση & υπόβαση	365
3. Εφαρμογές Εξόρυξης	1392
4. Σταθεροποίηση, στεγανοποίηση και πλήρωση κενών χώρων	2805
5. Στερεοποίηση αποβλήτων- Στερεοποίηση	279
6. Υπηρεσίες πετρελαίου-φυσικού αερίου	512
7. Λοιπές χρήσεις	978
Βαθμός αξιοποίησης (%)	46

Η αξιοποίηση της I.T. σε διάφορες εφαρμογές είτε σε βιομηχανικό επίπεδο είτε σε πειραματικό και ερευνητικό επίπεδο είναι: (Στρατάκης, 2014)

1. Στην τσιμεντοβιομηχανία ως πρόσθετο του τσιμέντου σε ποσοστό μέχρι 15-20% και σαν πρώτη ύλη στην φαρίνα του κλίνκερ σε ποσοστό 5%.

2. Σε έργα οδοποιίας, όπως είναι οι επικωματώσεις και σταθεροποιήσεις οδών, στις διαστρώσεις των οδοστρωμάτων, στο σκυρόδεμα που χρησιμοποιούνται σε έργα οδοποιίας, στην κατασκευή βάσεων και υποβάσεων οδοστρωμάτων, κ.α.
3. Στην πύκνωση των ασφαλικών και πισσούχων προϊόντων, που χρησιμοποιούνται για στεγανοποιήσεις.
4. Ως αδρανές φορτίσεως σε γυψοκατασκευές, λιπάσματα, χρώματα, στόκο, κλπ.
5. Στην κατασκευή τεχνητών πλακών αντοχής (μαζί με τσιμέντο, γύψο, σκόνη οξειδίων αργιλίου και ασβεστίου).
6. Στην κατασκευή ελαφροβαρών τσιμεντολίθων και αδρανών, με πολύ καλές θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες.
7. Στην κατασκευή δομικών υλικών από αφρομιπετόν, με εξαιρετική ελαφρότητα και καλή θερμομόνωση.
8. Στην παρασκευή ασφαλτομιπετόν.
9. Ως άμμος χυτηρίων για τους πυρήνες των εκτύπων (κενά).
10. Στην κατασκευή φίλτρων για τη διήθηση ακαθάρτων νερών και άλλων υγρών.
11. Ως υλικό πληρώσεως κενών σε διάφορα έργα.
12. Στη σταθεροποίηση, στεγανοποίηση και πλήρωση κενών χώρων (τσιμεντενέσεις).
13. Στην εξυγίανση βιομηχανικών αποβλήτων, για την επίλυση πολλών προβλημάτων προστασίας του περιβάλλοντος, καθώς και στην αποκατάσταση εδαφών και κατασκευή χώρων υγειονομικής ταφής.
14. Στη γεωργία για την εξουδετέρωση όξινων εδαφών, για τη μείωση της αντιστάσεως στο όργωμα, για τη βελτίωση γενικά της καλλιέργειας, της υδατοχωρητικότητας και καλύτερης απόδοσης του εδάφους.
15. Στην κατασκευή κεραμικών (τούβλων, πλακιδίων, κ.α.), ως ισχναντικό της χρησιμοποιούμενης αργίλου.
16. Στην παρασκευή καταλυτικών φορέων ή προσροφητικών μέσων, όπως π.χ. σε μίγμα με CaO , που δεσμεύει το SO_2 .
17. Στη μεταλλουργία για ανάκτηση μετάλλων.

18. Στην κατασκευή γυαλιού και ορυκτοβάμβακα.
19. Σαν υλικό αμμοβολής χυτοσιδηρών και χυτοχαλύβδινων αντικειμένων.
20. Στην παραγωγή συνθετικών ζεολιθών.
21. Στην παραγωγή υλικών γεωπολυμερισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία για την επίτευξη των στόχων που τέθηκαν, περιλαμβάνει τα στάδια της διεξαγωγής των ορυκτολογικών αναλύσεων με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ καθώς και των χημικών αναλύσεων με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ακτίνων-Χ φθορισμού.

2.1 Δειγματοληψία και προετοιμασία των δειγμάτων Ι.Τ.

Για να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια και προσδιορισμός των χημικών και ορυκτολογικών αναλύσεων ώστε να αξιολογηθούν σωστά τα δείγματα της Ι.Τ. οφείλουμε να κάνουμε σωστή δειγματοληψία.

Η δυσκολία σε αυτό έγκειται στο γεγονός ότι τα δείγματα μας πρέπει να αντιπροσωπεύουν στο σύνολο τους ολόκληρη τη μάζα στην οποία γίνεται η δειγματοληψία, παρόλο που η μάζα τους είναι πολύ μικρότερη από τη μάζα του συνόλου.

Τα δείγματα της Ι.Τ. συλλέχτηκαν μετά την έξοδο από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα και πριν οδηγηθεί στους ταινιόδρομους μεταφοράς στα σιλό απόθεσης. Λόγω της επίδρασης του βάρους της, η Ι.Τ. κινείται προς τις ταινίες μεταφοράς και παρεμβάλλεται ένα βάζο στο οποίο εισάγεται μία μικρή ποσότητα.

Τα δείγματα μας χωρίζονταν στις εξής τρεις κατηγορίες:

-Ημερήσια δείγματα: Προκύπτουν με την ισοβαρή ανάμειξη και ομογενοποίηση των δειγμάτων που λαμβάνονται σε κάθε βάρδια

-Εβδομαδιαία δείγματα: Προέκυψαν από την ανάμειξη όλων των μέσων ημερησίων δειγμάτων μιας εβδομάδας.

-Μηνιαία δείγματα: Προέκυψαν από την ανάμειξη όλων των ημερησίων δειγμάτων ενός μήνα.

Τα δείγματα των ιπταμένων τεφρών συλλέχθηκαν κατά το παρελθόν στο πλαίσιο συνεργασίας του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας με τη ΔΕΗ, μετά από συστηματική δειγματοληψία στους ΑΗΣ του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (ΛΚΠ-Α). Πρόκειται περί δειγμάτων ιπταμένων τεφρών που καλύπτουν χρονικό διάστημα ενός μήνα από τις μονάδες 1 και 2 του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

2.2 Ορυκτολογικές αναλύσεις

Ο προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης των τεφρών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD). Για την εφαρμογή της μεθόδου, χρησιμοποιήθηκε το περιθλασίμετρο ακτίνων-X τύπου D8 Advance της εταιρείας BrukerAXS, που βρίσκεται εγκατεστημένο στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1 Περιθλασίμετρο ακτίνων-X τύπου D8 Advance του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας

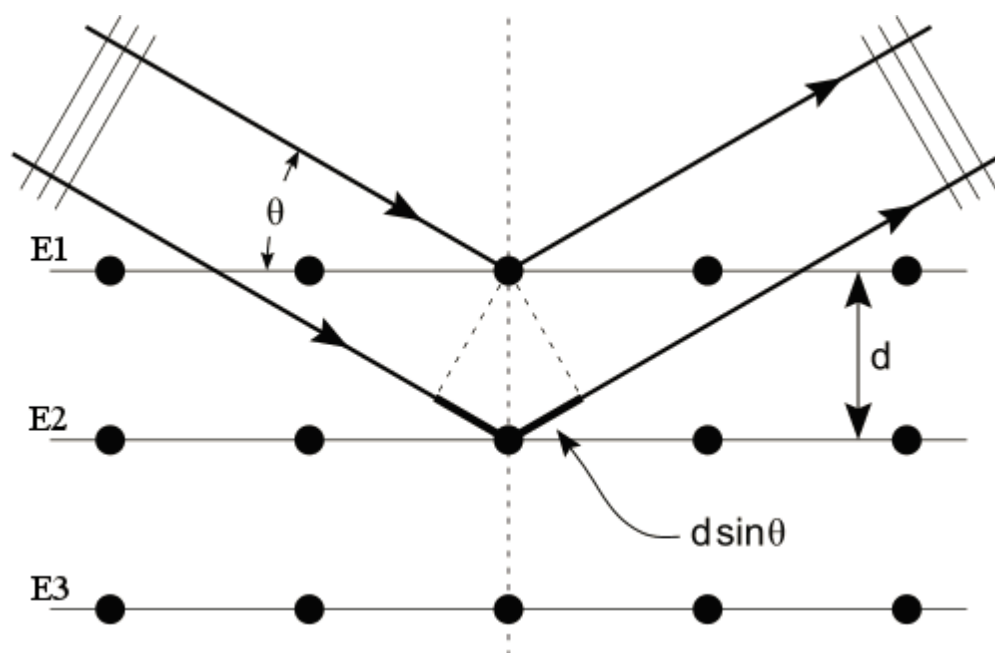
Η μέθοδος της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X, χρησιμοποιείται για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό της σύστασης υλικών τα οποία απαρτίζονται από κρυσταλλικές ουσίες, όπως είναι ορυκτά, πετρώματα, ιζήματα, κ.α., το βαθμό κρυσταλλικότητας, καθώς και έμμεσα την παρουσία άμορφης κρυσταλλογραφικά φάσης.

Το φαινόμενο της περίθλασης των ακτίνων-X πάνω στους κρυστάλλους οφείλεται στην αλληλεπίδρασή τους με τα ηλεκτρόνια των ατόμων των κρυστάλλων και έχει ως αποτέλεσμα τη σκέδαση των ακτίνων-X. Η περίθλαση των ακτίνων-X σε ένα κρύσταλλο, εμφανίζεται όταν ισχύει η εξίσωση του Bragg και ερμηνεύεται ως ανάκλαση των ακτίνων-X, οι οποίες προσπίπτουν υπό γωνία στα πλεγματικά επίπεδα του κρυστάλλου (Εικόνα 2.2), (Κωστάκης, 2005).

Συμφώνα με την εξίσωση του Bragg, αν θεωρηθεί ότι το πλέγμα ενός κρυστάλλου αποτελείται από ομάδες πλεγματικών επιπέδων (E1, E2, E3) τα οποία σε κάθε ομάδα είναι παράλληλα και διαδέχεται το ένα το άλλο πάντα στην ίδια απόσταση d, πάνω στα οποία προσπίπτουν οι ακτίνες-X με μήκος κύματος λ και γωνία πρόσπτωσης θ, τότε ισχύει:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

όπου n: ένας ακέραιος αριθμός ο οποίος χαρακτηρίζει την τάξη της ανάκλασης στην οποία προκύπτει θετική συμβολή.



Εικόνα 2.2 Περίθλαση των ακτίνων-X στα πλεγματικά επίπεδα ενός κρυστάλλου, σύμφωνα με την εξίσωση του Bragg

Με τη μέθοδο του περιθλασιμέτρου ακτίνων-X, είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων-X που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως (Κωστάκης, 2005).

Ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτίνων- X αποτελείται από τη *μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης*, δηλαδή μια γεννήτρια δημιουργίας υψηλής τάσης μεταξύ του νήματος του σωλήνα παραγωγής ακτίνων- X και του μεταλλικού τεμαχιδίου (χαλκού, σιδήρου, κοβαλτίου, κ.τ.λ) που χαρακτηρίζει την ακτινοβολία που εκπέμπεται, τη *luxνία ακτίνων- X* , το *γωνιόμετρο*, τον *απαριθμητή των ακτίνων- X* με την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων και τη *μονάδα του υπολογιστή* όπου χρησιμοποιείται στον έλεγχο, την καταγραφή και αξιολόγηση των δεδομένων που προκύπτουν από την εξέταση των δειγμάτων.

Το παρασκεύασμα με το δείγμα υπό μορφή σκόνης, τοποθετείται στο δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασιμέτρου, ο οποίος είναι τοποθετημένος στο κέντρο ενός κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων- X , έτσι ώστε, το επίπεδο του παρασκευάσματος να είναι πάντα στο κέντρο του κύκλου και κάθετο προς το επίπεδο του κύκλου. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, ο απαριθμητής κινείται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα $2\theta/\text{min}$ και το επίπεδο του δείγματος με γωνιακή ταχύτητα θ/min ίση προς το ήμισυ εκείνης του απαριθμητή, έτσι ώστε με τη σύγχρονη αυτή μετατόπιση απαριθμητή και δείγματος, η γωνία που σχηματίζει το επίπεδο του δείγματος με την έξοδο των ακτίνων- X στη luxνία και με τον απαριθμητή να είναι ίδια και ίση με το μισό της συνολικής γωνίας περιθλασης.

Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατή η καταγραφή της ακτινοβολίας που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους του δείγματος που βρίσκονται σε τέτοια γωνία ως προς την κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων- X , ώστε να πληρείται για κάποια ομάδα πλεγματικών επιπέδων hkl η εξίσωση του Bragg. Κατά την περιφορά του απαριθμητή των ακτίνων- X με σταθερή ταχύτητα είναι δυνατό να καταγραφούν οι ανακλάσεις και οι εντάσεις που προέρχονται από πλεγματικά επίπεδα διαφόρων d .

Ως πλεονεκτήματα της μεθόδου της περιθλασιμετρίας ακτίνων- X είναι η μικρή ποσότητα υλικού που χρειάζεται, η επανάκτηση του υλικού χωρίς να έχει καταστραφεί, ενώ υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού του κρυσταλλικού τύπου ενός υλικού όταν αυτό παρουσιάζει το φαινόμενο του πολυμορφισμού. Παράλληλα, όπως όλες οι μέθοδοι ανάλυσης, έτσι και η περιθλασιμετρία ακτίνων- X έχει κάποιους περιορισμούς κατά την εφαρμογή της. Για παράδειγμα, δεν είναι δυνατό να γίνει ταυτοποίηση υλικών στις περιπτώσεις όπου πρόκειται για κρυσταλλογραφικά άμορφα συστατικά ή φάσεις που

βρίσκονται μέσα σε ένα μείγμα σε πολύ μικρή περιεκτικότητα, καθώς και φάσεις για τις οποίες δεν είναι γνωστή η δομή και δεν περιλαμβάνονται στις βάσεις δεδομένων. Επίσης ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται κατά την ταυτοποίηση όταν πρόκειται για πολυφασικά μείγματα, λόγω της αλληλοεπικάλυψης των ανακλάσεων, καθώς και της παρουσίας φάσεων που παρουσιάζουν εκλεκτικό προσανατολισμό, ατέλειες δομής ή εμφανίζουν ανακλάσεις σε πολύ μικρές γωνίες (Κωστάκης, 2005).

Ο αριθμός των κρυσταλλικών φάσεων που περιέχονται στα δείγματα των Ι.Τ. είναι εντούτοις πολύ μεγάλος, ενώ οι περισσότερες κρυσταλλικές φάσεις δίδουν, η κάθε μία από μόνη της, ένα μεγάλο αριθμό ανακλάσεων των ακτίνων-Χ. Έτσι, η αλληλοεπικάλυψη μέρους των ανακλάσεων μιας κρυσταλλικής φάσης με ανακλάσεις άλλων φάσεων ήταν αναπόφευκτη. Αυτό σε συνδυασμό και με άλλους παράγοντες δυσχεραίνει τόσο στην ανιχνευσιμότητα των φάσεων, όσο και στην ακρίβεια του ποσοτικού προσδιορισμού.

Η παρουσία υψηλού, ποσοστού ακτινογραφικά άμορφων συστατικών στα δείγματα της Ι.Τ. των ΑΗΣ της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, σε συνδυασμό με το μεγάλο αριθμό των κρυσταλλικών φάσεων καθιστά πρακτικά ως μόνη μέθοδο ποσοτικής αξιολόγησης των ακτινογραφημάτων του περιθλασιμέτρου ακτίνων-Χ τη χρησιμοποίηση εσωτερικού προτύπου και λογισμικού H/Y βασιζόμενου στη μέθοδο Rietveld.

Η εφαρμογή της μεθόδου Rietveld προϋποθέτει πρωταρχικά το μονοσήμαντο προσδιορισμό όλων των εμπεριεχομένων σε ένα δείγμα κρυσταλλικών φάσεων. Η βασική αρχή της μεθόδου Rietveld είναι ότι κάθε σημείο μέτρησης αποτελεί μια ανεξάρτητη παρατήρηση. Με βάση αυτήν την αρχή, επιλύεται το πρόβλημα της αλληλοεπικάλυψης ανακλάσεων στην ίδια θέση γωνίας 2θ στο ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας. Με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, για κάθε σημείο 2θ , υπολογίζεται μια ένταση μέσω της εκλέπτυνσης των παραμέτρων της κρυσταλλικής δομής, του θορύβου και των παραμέτρων της μορφής των ανακλάσεων, έως ότου το υπολογισμένο ακτινοδιάγραμμα, με βάση ένα μοντέλο δομής, ταυτιστεί πλήρως με το πειραματικά μετρούμενο ακτινοδιάγραμμα. (Στεργίου, 2003).

Η μετρούμενη ένταση μιας ανάκλασης ισούται με το άθροισμα των τμημάτων των εντάσεων όλων των αλληλεπικαλυπτόμενων ανακλάσεων συν την ένταση του υποβάθρου. Η συνιστώσα της έντασης σε ένα σημείο που προέρχεται από μια ανάκλαση, εξαρτάται από διάφορους συντελεστές, όπως

είναι ο παράγοντας δομής, το ποσοστό της φάσης και η συνάρτηση μορφής της ανάκλασης, ενώ λαμβάνει υπόψη παραμέτρους του συστήματος του περιθλασιμέτρου, όπως είναι η γεωμετρία της πηγής και η απόκλιση των ακτίνων-X. Επίσης, η μη ορθή ευθυγράμμιση του περιθλασιμέτρου μπορεί να επηρεάσει τη θέση και την ένταση της ανάκλασης, καθώς και ιδιαιτερότητες του εξεταζόμενου δείγματος, όπως είναι γεωμετρικοί παράγοντες, η επίπεδη επιφάνεια και η διαπερατότητα του δείγματος.

Για την περιγραφή των αιχμών των ανακλάσεων χρησιμοποιούνται διάφορες συναρτήσεις (Gauss (G), Lorentz (L), pseudo-Voigt (pV), και Pearson-VII), οι οποίες τροποποιούν τις ανακλάσεις, ώστε να ανταποκρίνονται με αξιοπιστία στην περιγραφή του πειραματικού ακτινοδιαγράμματος.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων είναι το βήμα και ο χρόνος μέτρησης των γωνιών και εντάσεων.

Η εκλέπτυνση της δομής γίνεται με βάση το αρχικό μοντέλο (περιλαμβάνει τις θέσεις των ατόμων στο κρυσταλλικό πλέγμα και το ποσοστό κάλυψής τους, τις σταθερές της κυψελίδας κ.ά.) και τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, ώστε το θεωρητικό μοντέλο της κρυσταλλικής δομής κάθε φάσης του δείγματος να προσαρμόζεται στο ακτινογράφημα του περιθλασιμέτρου (Young, 1993; Στρατάκης, 2014).

Ο υπολογισμός του ποσοστού κάθε κρυσταλλικής φάσης γίνεται από την σχέση (Hill and Howard, 1987):

$$W_p = S_p(ZMV)_p / \sum_{i=1} S_i(ZMV)_i$$

όπου:

W_p : η περιεκτικότητα της φάσης p στο δείγμα

S_p : συντελεστής προσαρμογής (scale factor)

Z: ο αριθμός των χημικών μονάδων της φάσης ανά κυψελίδα

M: το μοριακό βάρος

V: ο όγκος της κυψελίδας της φάσης

p: η τιμή του i που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη φάση σε ένα σύνολο φάσεων

Εφόσον προστεθεί στο δείγμα ένα εσωτερικό πρότυπο μπορεί να υπολογιστεί το ποσοστό των άμορφων (A) σύμφωνα με τη σχέση (De La Torre et al., 2001):

$$A(\%)=[1-(W_s/R_s)]/(100-W_s) * 10^4$$

όπου W_s : το ποσοστό του εσωτερικού προτύπου που προστέθηκε,

R_s : το ποσοστό του εσωτερικού προτύπου υπολογισμένο με τη μέθοδο Rietveld.

Τα πλεονεκτήματα της ποσοτικής ανάλυσης με τη μέθοδο Rietveld είναι τα ακόλουθα:

- Η εκλέπτυνση και κατ' επέκταση η ποσοτική ανάλυση γίνεται με μοντέλο που ανταποκρίνεται στον πραγματικό χημισμό, τις σταθερές πλέγματος, το εύρος των ανακλάσεων και άλλων σταθερών κάθε κρυσταλλικής φάσης.
- Στο μοντέλο επίλυσης συμμετέχουν όλες οι ανακλάσεις, ανεξάρτητα από αλληλοεπικαλύψεις ή όχι.
- Οι επιδράσεις από επιλεκτικό προσανατολισμό και απορρόφηση επιλύονται, αφού συνυπολογίζονται όλα τα είδη των ανακλάσεων.

Για την πραγματοποίηση των ποσοτικών αναλύσεων σε κάθε παρασκεύασμα κόνεως προσετέθη έτσι ως εσωτερικό standard κορούνδιο σε ποσοστό περίπου 16% κατά βάρος, το οποίο αναμείχθηκε προσεκτικά με το προς ανάλυση δείγμα, έτσι ώστε να παραχθεί μία ομογενής σκόνη.

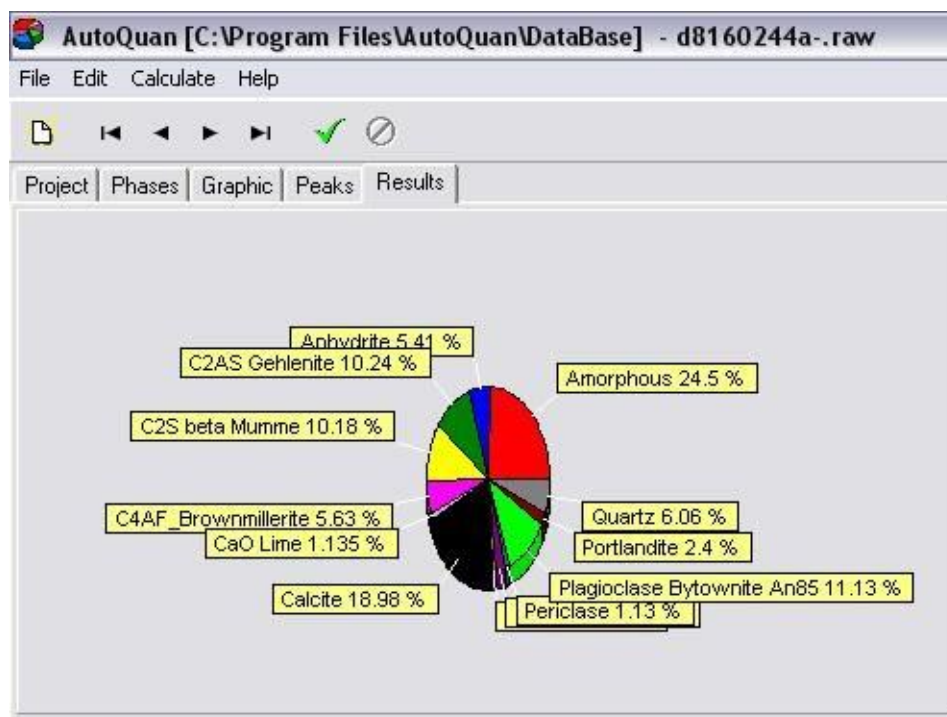
Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με το σύστημα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X D8 Advance που διαθέτει το Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας. Για το σύστημα περιθλασιμετρίας D8 Advance η ακτινοσκόπηση έγινε με λυχνία Cu, με καταμετρητή LyχνEye και φίλτρο Ni, τάση $U=35\text{kV}$ και ένταση $I=35\text{mA}$ και συνθήκες μέτρησης από $4-70^\circ$, βήμα (step) $0,02^\circ$ και χρόνο/βήμα (time/step) 0.4sec.

Η ποιοτική αξιολόγηση των ακτινοδιαγραμμάτων που προέκυψαν από τη μέτρηση με το περιθλασίμετρο, ώστε να υπάρξει μια πλήρη διερεύνηση των φάσεων που απαρτίζουν τα δείγματα των ιπταμένων τεφρών, πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού ποιοτικής αξιολόγησης EVA Diffrac plus της εταιρείας Socabim - BrukerAXS, χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων JCPDS. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των φάσεων που απαρτίζουν τα δείγματα των τεφρών πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού Rayflex Autoquan έκδοση 2.6 της εταιρείας Seifert.

Θα πρέπει να τονιστεί η δυσκολία του προσδιορισμού της ορυκτολογικής σύστασης των Ι.Τ., αφού όπως έχει αποδειχθεί από τις μέχρι τώρα εργασίες,

αποτελείται από έναν αρκετά μεγάλο αριθμό κρυσταλλικών φάσεων (περίπου 14-16 φάσεις), πέρα από την άμορφη-υαλώδη φάση. Εξαιτίας του πλήθους των κρυσταλλικών φάσεων που συνυπάρχουν, καθίσταται δύσκολος ο μονοσήμαντος ποιοτικός προσδιορισμός των φάσεων, ιδιαίτερα όταν βρίσκονται σε μικρή περιεκτικότητα στο δείγμα και υπάρχουν πιθανές αλληλεπικαλύψεις. Εξάλλου ο επιλεκτικός προσανατολισμός, μπορεί να δώσει την εσφαλμένη εντύπωση υψηλότερης περιεκτικότητας της φάσης ή ακόμα και ψευδή εντύπωση παρουσίας πρόσθετης φάσης, όταν υπάρχει αλληλοεπικάλυψη με άλλη φάση.

Οι δυσκολίες αυτές κατά τον ποιοτικό προσδιορισμό των φάσεων, είναι δυνατόν να επιβαρύνουν επιπρόσθετα τον ποσοτικό προσδιορισμό. Επιπλέον, για τον ποσοτικό προσδιορισμό, θα πρέπει να γίνεται η προσθήκη του προτύπου με τέτοιο τρόπο, ώστε να υπάρχει ομοιογένεια στο τελικό παρασκεύασμα που θα τοποθετηθεί στο δειγματοφόρέα του περιθλασιμέτρου. Η ομοιογένεια του δείγματος είναι σημαντική, καθώς κατά τον ποσοτικό προσδιορισμό των φάσεων, λαμβάνεται υπόψη η περιεκτικότητα του προτύπου που έχει προστεθεί στο δείγμα, και κατ' επέκταση δύναται να επηρεάζει το αποτέλεσμα στην περιεκτικότητα των φάσεων. Έτσι, τα αποτελέσματα του ποσοτικού προσδιορισμού που προκύπτουν είναι πολλές φορές δύσκολο να έχουν μεγάλη ακρίβεια.



Εικόνα 2.3 Ποσοτική ανάλυση με το πρόγραμμα AutoQuan

2.3 Χημικές αναλύσεις

Η χημική ανάλυση των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο φασματοσκοπίας ακτίνων-X φθορισμού (XRF). Για να επιτευχθεί ο προσδιορισμός, χρησιμοποιήθηκε το φασματοσκόπιο τύπου διασποράς ενέργειας ED-XRF, S2 Ranger της εταιρείας BrukerAXS, του Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.



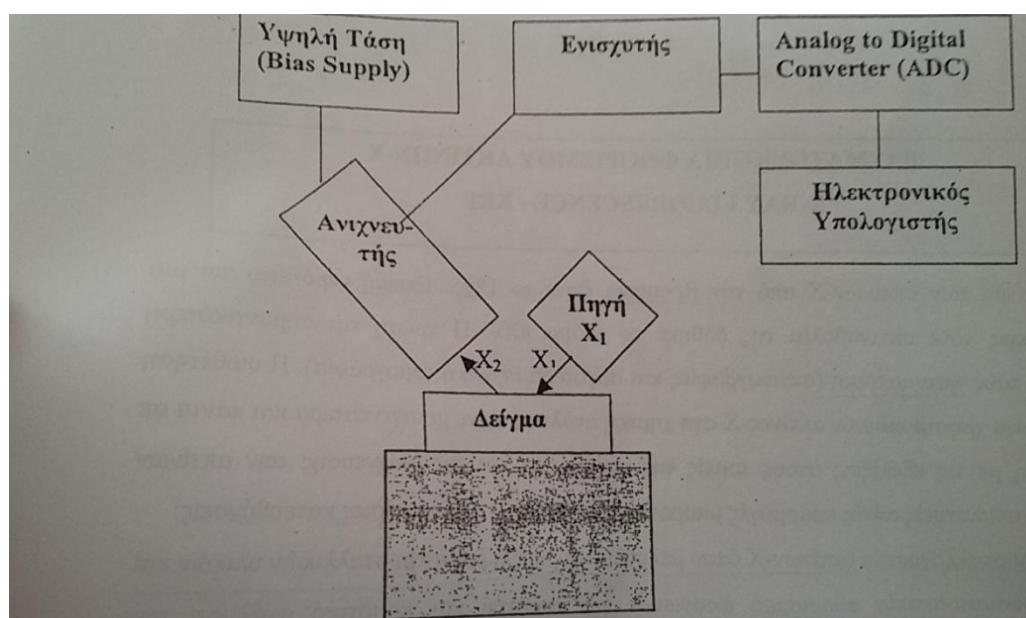
Εικόνα 2.4 Φασματοσκόπιο ακτίνων-X φθορισμού τύπου S2 Ranger του Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας.

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου φασματοσκοπίας ακτίνων-X φθορισμού βασίζεται στην εκπομπή της ακτίνων-X που προκύπτουν από τη διέγερση ενός ατόμου (Εικόνα 2.5). Συγκεκριμένα, όταν ένα στοιχειώδες σωματίδιο (ηλεκτρόνιο ή φωτόνιο ακτίνων-X) που έχει μεγαλύτερη ενέργεια προσκρούσει σε ένα ηλεκτρόνιο μιας εσωτερικής στοιβάδας του ατόμου, το εξοστρακίζει από τη θέση του δημιουργώντας κενές θέσεις ηλεκτρονίων. Οι κενές θέσεις αυτές καλύπτονται από ηλεκτρόνια που μεταπίπτουν στις θέσεις αυτές από τις εξωτερικές στοιβάδες, ενώ παράλληλα υπάρχει εκπομπή χαρακτηριστικών ακτίνων-X (φθορισμός). Η διέγερση του δείγματος για εκπομπή ακτίνων-X γίνεται με ειδικές λυχνίες ακτίνων-X, ενέργειας πολλαπλάσιας της επιθυμητής για διέγερση. Η δέσμη των εκπεμπόμενων ακτίνων-X φθορισμού από το δείγμα καταγράφεται από τον ανιχνευτή. Ανάλογα με τον τρόπο μέτρησης των εκπεμπόμενων ακτίνων-X φθορισμού, οι διατάξεις φασματομετρίας διακρίνονται σε διατάξεις διασποράς μήκους κύματος ή WD-XRF (ο

διαχωρισμός των ακτίνων-X γίνεται με βάση το μήκος κύματος), και διατάξεις διασποράς ενέργειας ή ED-XRF (ο διαχωρισμός των ακτίνων-X γίνεται με βάση την ενέργειά τους), (Καλλιθρακας-Κόντος,2011).

Ένα φασματοσκόπιο ED-XRF, αποτελείται από (Εικόνα 2.5):

- τη λυχνία παραγωγής της πρωτογενούς ακτινοβολίας X (πηγή ακτίνων-X),
- το δειγματοφορέα,
- τον ανιχνευτή (κυρίως ημιαγωγοί Si(Li), οι οποίοι λειτουργούν σε θερμοκρασία υγρού αζώτου και παρουσιάζουν υψηλή διακριτική ικανότητα) και
- το ηλεκτρονικό σύστημα μέτρησης και καταγραφής των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 2.5 Αρχή λειτουργίας ενός φασματοφωτόμετρου XRF

Από το μήκος κύματος των ακτίνων-X προσδιορίζεται το είδος των στοιχείων του δείγματος (ποιοτική ανάλυση), ενώ από την έντασή τους η σύσταση (ποσοτική ανάλυση). Για την ποσοτική ανάλυση με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ακτίνων-X φθορισμού, απαιτείται η βαθμονόμηση του συστήματος με πρότυπα δείγματα, γνωστής περιεκτικότητας, καλύπτοντας το εύρος συγκεντρώσεων του υπό εξέταση δείγματος. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται από την επίδραση της μήτρας του δείγματος (matrix effect), από τη στοιχειακή σύσταση του δείγματος, η οποία πρέπει να συμπίπτει κατά το δυνατόν με εκείνη του προτύπου βαθμονόμησης, από την απορρόφηση των ακτίνων-X λόγω δευτερογενούς δημιουργίας ακτινοβολίας φθορισμού,

καθώς και από την αλληλοεπικάλυψη χαρακτηριστικών μηκών κυμάτων των στοιχείων που περιλαμβάνονται στο δείγμα.

Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων των τεφρών πραγματοποιήθηκε με χρήση λυχνίας Pd. Οι συνθήκες μέτρησης των δειγμάτων, ήταν για τα βαριά στοιχεία (Fe, Mn, Ti, Ca, K) τάση 40 kV με φίλτρο Al (500μm) και ένταση 250μΑ, ενώ για τα ελαφριά στοιχεία (P, Si, Al, Mg, Na, S) τάση 20 kV και ένταση 250μΑ. Τέλος, για τα ικνοστοιχεία που μετρήθηκαν (Sr, Cr, Ni) η τάση ήταν 40 kV με φίλτρο Al (500μm) και ένταση 250μΑ.

Τα δείγματα ξηράθηκαν στους 105 °C για 2 ώρες ώστε να απομακρυνθεί η υπάρχουσα υγρασία. Κατόπιν, τοποθετήθηκαν σε κλίβανο στους 1050 °C για δύο ώρες, ώστε να προσδιοριστεί η απώλεια πύρωσης. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η απώλεια πύρωσης, ενώ παράλληλα προετοιμάστηκαν τα δείγματα, ώστε να παρασκευαστούν τα πεπιεσμένα κυλινδρικά δισκία για να μετρηθούν στο φασματοσκόπιο ακτίνων-X. Αφού αναμείχθηκαν με συνδετικό υλικό(WAX-C), τα μείγματα δείγματος - συνδετικού υλικού, τοποθετήθηκαν στην ειδική μήτρα, περιβλήθηκαν από βορικό οξύ για τη δημιουργία ανθεκτικών δισκίων και μορφοποιήθηκαν σε δισκία σε υδραυλική πρέσα με πίεση 150 atm., όπως φαίνεται στις εικόνες 2.6 και 2.7



Εικόνα 2.6 Υδραυλική πρέσα του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας



Εικόνα 2.7 Πεπιεσμένο κυλινδρικό δισκίο (pressed pellet)

2.4 Κοκκομετρική κατανομή

Για να προσδιοριστεί η κοκκομετρική κατανομή των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε ο κοκκομετρικός αναλυτής Laser του εργαστηρίου Εμπλουτισμού του Πολυτεχνείου Κρήτης (Εικόνα 2.8).

Η αρχή λειτουργίας του οργάνου στηρίζεται στην εκτροπή των ακτίνων Laser από την ευθεία πορεία τους, όταν αυτές προσπίπτουν σε κόκκους. Πιο αναλυτικά η γωνία εκτροπής εξαρτάται από το μέγεθος του κόκκου και συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος, τόσο πιο μικρή είναι η γωνία εκτροπής και αντιστρόφως (Σταμπολιάδης, 2008; Στρατάκης, 2014; Θωμαΐδης, 2007).

Ο αναλυτής αυτός αποτελείται από τις κάτωθι βασικές μονάδες:

α) Οπτική μονάδα μέτρησης (optical measurement unit)

Η συγκεκριμένη μονάδα περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη:

- Πομπό (transmitter), που περιλαμβάνει τη μονάδα Laser.

- Δέκτη (receiver), που περιλαμβάνει τη μονάδα του ανιχνευτή.

-Το κελί μέτρησης.

-Φακό(range lens). Το μέγεθος των κόκκων που αναλύει ο φακός κυμαίνεται από 0,5 έως 880 μm .

β) Μονάδα αιώρησης του δείγματος (sample suspension unit)

Σε αυτή τη μονάδα διασπείρεται το προς εξέταση υλικό μέσα σε αλκοόλη. Η συγκεκριμένη μονάδα περιλαμβάνει επιπλέον ένα σύστημα υπερήχων και ανάδευσης για τη διασπορά των συνεκτικών υλικών και για την αποφυγή της κροκίδωσης των κόκκων. Κατά τη διαδικασία της μέτρησης το αιώρημα με τη βοήθεια μιας αντλίας, κυκλοφορεί συνεχώς μεταξύ του κελιού μέτρησης και της δεξαμενής.

γ) Σύστημα υπολογιστή

Ο αναλυτής Laser περιλαμβάνει, ένα σύστημα υπολογιστή ο οποίος είναι συμβατός με το λειτουργικό πρόγραμμα της Malvern, και έναν εκτυπωτή ο οποίος χρησιμοποιείται για να εκτυπώνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης.



Εικόνα 2.8 Κοκκομετρικός αναλυτής Laser

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Ορυκτολογική σύσταση

Στα δείγματα των Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου προσδιορίστηκε, όπως αναφέρθηκε, η ορυκτολογική και χημική σύσταση των τεφρών. Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αυτών αναλύσεων παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Όπως προέκυψε από τη μελέτη των ακτινοδιαγραμμάτων, οι φάσεις που αναγνωρίζονται είναι: άσβεστος (CaO), χαλαζίας (SiO_2), ανυδρίτης (CaSO_4), γκελενίτης ($((\text{Ca,Na})_2(\text{Al,Fe,Mg})(\text{AlSiO}_7))$), πυριτικό διασβέστιο (Ca_2SiO_4), μπραουνμυλλερίτης ($\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_2\text{O}_5$), άστριοι (πλαγιόκλαστα $(\text{Ca,Na})[(\text{Si,Al})_4\text{O}_8]$), και καλιούχοι άστριοι (KAlSi_3O_8), μερβινίτης ($\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$), ασβεστίτης (CaCO_3), πορτλανδίτης ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), αιματίτης (Fe_2O_3), περίκλαστο (MgO) και μοσχοβίτης ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH,F})_2$). Στην συγκεκριμένη εργασία υπολογίστηκε η ορυκτολογική σύσταση 73 δειγμάτων. Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α, παρουσιάζονται, ενδεικτικά, 20 από τα ακτινοδιαγράμματα ορυκτολογικής ανάλυσης των δειγμάτων των ιπταμένων τεφρών των μονάδων 1 και 2 του ΑΗΣ Αγίου-Δημητρίου.

Τα αποτελέσματα του ποσοτικού προσδιορισμού των φάσεων των δειγμάτων των Ι.Τ., παρουσιάζονται στους πίνακες 3.1 έως 3.4, όπου κατά σειρά εμφανίζονται τα αποτελέσματα για τα ημερήσια δείγματα της μονάδας 1 (πίνακας 3.1), τα ημερήσια δείγματα της μονάδας 2 (πίνακας 3.2) καθώς επίσης και τα εβδομαδιαία δείγματα και τα μηνιαία δείγματα της μονάδας 1 (πίνακας 3.3) και της μονάδας 2 (πίνακας 3.4). Τέλος, στον πίνακα 3.5 παρουσιάζονται τα στατιστικά μεγέθη που προέκυψαν από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Στους πίνακες παρουσιάζεται το άθροισμα της άσβεστου και του πορτλανδίτη, καθώς σχετίζονται μεταξύ τους, όπως και στους αστρίους που είναι το άθροισμα των πλαγιόκλάστων με τους Κ-ούχους αστρίους που υπολογίστηκαν.

Πίνακας 3.1 Ορυκτολογική σύσταση I.T. των ημερήσιων δειγμάτων της 1ης μονάδας

Δείγμα	Άμορφα (%)	Ανυδρίτης (%)	Γκελενίτης (%)	Πυριτικό Διασβέστιο (%)	Μπραουν-μυλλερίτης (%)	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης) (%)	Ασβεσίτης (%)	Αιματίτης (%)	Μερβινίτης (%)	Μοσχοβίτης (%)	Περίκλαστο (%)	Άστριοι (%)	Χαλαζίας (%)
FAO101	34,0	7,0	9,0	6,0	5,5	7,0	11,5	1,0	3,0	3,5	1,0	7,0	4,5
FAO102	37,0	5,0	9,0	5,0	5,5	7,5	12,5	1,0	2,5	2,5	1,5	6,0	5,0
FAO103	37,5	6,0	7,5	6,0	3,5	6,0	11,0	1,0	2,5	3,0	1,5	9,0	5,5
FAO104	30,5	8,0	8,5	3,5	5,0	5,5	11,0	1,0	2,0	3,5	1,5	12,0	8,0
FAO105	24,0	7,5	10,0	7,0	5,5	7,0	13,0	1,5	2,5	3,5	1,5	10,5	6,5
FAO106	44,5	5,5	7,0	4,5	4,5	5,5	10,5	1,0	2,0	2,0	1,0	7,0	5,0
FAO107	32,0	6,5	8,5	6,5	5,5	6,0	13,0	1,0	1,5	3,0	1,0	9,0	6,5
FAO108	30,5	6,0	9,0	3,5	4,5	7,5	15,0	1,0	1,0	4,0	1,0	11,0	6,0
FAO109	36,0	7,0	8,0	3,5	6,0	6,5	13,0	1,0	1,0	2,5	1,0	9,0	5,5
FAO110	32,0	8,5	8,0	4,0	6,0	6,0	12,5	1,0	0,5	2,0	1,0	10,0	8,5
FAO111	36,0	7,5	7,5	3,0	4,5	6,0	12,0	1,0	3,0	2,0	2,0	8,5	7,0
FAO112	28,5	6,5	8,5	3,5	5,5	8,5	18,0	1,0	2,5	2,0	1,5	8,0	6,0
FAO113	19,5	7,0	9,0	6,0	7,5	10,5	24,0	1,0	2,0	2,5	2,0	6,0	3,0
FAO114	22,0	7,5	8,5	5,5	6,0	9,5	22,5	1,0	2,5	2,5	1,5	6,5	4,5
FAO115	24,5	6,5	10,0	5,5	5,0	10,5	13,5	1,5	3,0	3,5	1,5	9,0	6,0
FAO116	26,5	7,0	8,5	5,0	4,5	9,5	17,5	1,0	2,5	2,5	2,0	7,5	6,0
FAO117	36,0	7,0	7,5	6,0	4,0	7,0	13,0	1,0	1,5	2,5	1,5	7,0	6,0
FAO118	24,0	8,0	8,0	5,5	5,5	8,0	17,0	1,0	2,0	3,5	1,5	8,5	7,5
FAO119	29,5	7,0	9,0	5,5	6,0	8,0	14,0	1,0	2,5	2,5	1,5	8,5	5,0
FAO120	32,5	6,0	9,0	4,5	5,0	7,0	12,5	1,0	2,5	3,0	1,0	10,5	5,5
FAO121	33,5	6,5	10,0	4,5	5,0	6,0	11,0	1,0	1,5	3,5	1,0	10,0	6,5
FAO122	36,5	4,0	9,5	6,5	3,0	6,0	10,0	1,0	2,5	3,0	1,0	13,5	3,5
FAO123	37,0	5,0	9,5	4,0	5,0	5,5	9,5	1,0	1,0	3,0	1,0	14,0	4,5
FAO124	42,5	3,5	9,0	5,0	2,5	5,5	8,0	1,0	3,0	3,0	1,5	10,5	5,0
FAO125	38,5	6,0	8,5	5,5	3,0	5,5	9,0	1,0	3,0	4,0	1,0	11,0	4,0
FAO126	40,5	6,0	9,5	5,0	5,0	6,0	9,5	1,0	1,0	3,0	1,0	9,5	3,0
FAO127	25,5	7,0	11,0	7,0	8,0	8,5	16,5	1,0	1,5	2,0	1,5	6,5	4,0
FAO128	28,5	6,5	11,0	6,0	6,5	7,5	15,0	1,0	3,0	3,5	1,0	7,0	3,5
FAO129	40,5	5,0	9,0	6,0	4,0	5,5	7,0	1,5	2,0	4,5	1,0	10,0	4,0
FAO130	40,5	6,5	10,5	5,0	5,5	4,5	7,0	1,5	1,0	3,5	1,0	8,5	5,0
FAO131	37,0	6,5	9,5	6,5	3,0	5,5	8,5	1,5	3,0	3,0	1,5	10,5	4,0

Πίνακας 3.2 Ορυκτολογική σύσταση Ι.Τ. των ημερήσιων δειγμάτων της 2ης μονάδας

Δείγμα	Άμορφα (%)	Ανυδρίτης (%)	Γκελενίτης (%)	Πυριτικό Διασβέστιο (%)	Μπραουν-μλλερίτης (%)	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης) (%)	Ασβεσίτης (%)	Αιματίτης (%)	Μερβινίτης (%)	Μοσχοβίτης (%)	Περίκλαστο (%)	Άστριοι (%)	Χαλαζίας (%)
FAO201	27,5	8,0	9,0	6,5	6,0	8,0	14,0	1,5	3,0	3,5	1,5	6,0	5,5
FAO202	21,5	11,0	10,0	4,5	7,0	8,0	17,5	1,5	3,0	2,5	1,5	7,5	4,5
FAO203	20,5	11,0	11,0	5,5	7,5	7,5	17,0	1,5	2,5	3,0	1,5	7,5	4,0
FAO204	30,0	7,0	8,5	3,0	5,0	7,5	14,0	1,0	2,5	3,5	1,5	9,5	7,0
FAO205	24,0	8,0	9,5	5,0	5,5	7,5	14,5	1,0	2,0	4,0	1,5	10,5	7,0
FAO206	23,5	9,0	9,5	3,0	5,5	7,5	15,5	1,5	1,5	3,0	1,5	10,5	8,5
FAO207	27,5	9,5	9,0	5,5	5,5	7,0	14,0	1,5	2,0	3,0	1,5	8,0	6,0
FAO208	20,5	7,5	8,0	3,5	5,0	9,0	17,5	1,0	2,5	3,0	1,0	15,0	6,5
FAO209	35,5	6,0	7,5	5,0	2,0	5,5	11,0	1,0	1,5	2,0	1,0	13,5	8,5
FAO210	16,0	9,0	11,0	6,0	6,0	8,0	16,5	1,5	1,0	2,0	1,0	13,0	9,0
FAO211	24,5	8,0	8,5	3,5	4,5	6,5	13,0	1,0	2,0	3,0	1,5	15,0	9,0
FAO212	18,0	9,0	9,5	5,5	6,0	8,5	18,0	1,0	1,5	3,0	1,5	12,0	6,5
FAO213	19,5	8,5	8,5	5,0	7,0	9,0	20,0	1,5	2,5	3,5	1,5	8,0	5,5
FAO214	25,5	8,5	8,0	4,5	6,5	8,0	17,0	1,0	2,0	2,5	1,0	9,5	6,0
FAO215	36,0	7,0	10,0	5,0	5,0	6,0	11,0	1,0	1,5	3,5	1,0	8,0	5,0
FAO216	21,0	8,5	9,5	5,5	5,5	7,0	17,0	1,0	1,0	3,0	1,5	10,5	9,0
FAO217	29,0	6,0	9,0	4,0	4,5	6,0	13,0	1,0	2,5	3,0	1,5	12,0	8,5
FAO218	28,5	7,0	8,0	4,0	4,5	6,5	14,0	1,0	2,5	3,0	1,5	11,5	8,0
FAO219	44,0	5,5	10,0	2,5	5,0	4,5	9,0	1,0	0,5	3,0	1,0	9,0	5,0
FAO220	43,5	5,5	7,0	3,0	3,5	5,0	10,0	1,0	1,5	3,0	1,0	10,0	6,0
FAO222	27,5	6,0	9,5	5,0	5,0	7,0	15,0	1,0	2,0	3,0	1,0	13,0	5,0
FAO223	43,5	4,0	8,0	3,5	4,0	6,0	10,0	1,0	1,5	3,0	1,0	9,5	5,0
FAO224	35,5	4,5	9,0	6,5	2,5	6,0	9,5	1,0	3,0	4,0	1,5	12,5	4,5
FAO225	48,5	5,0	6,5	3,5	3,0	5,0	9,5	1,0	1,5	2,5	1,0	9,0	4,0
FAO226	32,5	6,0	10,0	4,5	5,5	7,0	13,0	1,0	2,0	3,0	1,0	11,0	3,5
FAO227	27,5	6,0	9,0	6,5	6,0	8,0	15,0	1,0	3,0	3,5	1,5	9,0	4,0
FAO228	34,5	6,5	9,0	7,5	5,5	6,5	13,0	1,0	1,0	2,5	1,0	8,5	3,5
FAO229	39,0	5,5	9,0	4,5	4,5	4,5	9,0	1,5	0,5	4,0	1,0	12,0	5,0
FAO230	39,5	7,0	10,0	3,5	6,0	4,5	7,0	1,5	1,0	3,0	1,0	11,0	5,0
FAO231	50,5	4,0	9,0	3,5	3,0	3,5	5,5	1,0	1,0	4,0	1,0	10,5	3,5

Πίνακας 3.3 Ορυκτολογική σύσταση Ι.Τ. των εβδομαδιαίων δειγμάτων και του μηνιαίου δείγματος για τη μονάδα 1

Δείγμα	Άμορφα (%)	Ανυδρίτης (%)	Γκελενίτης (%)	Πυριτικό Διασβέστιο (%)	Μπραουν-μλλερίτης (%)	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης) (%)	Ασβεσίτης (%)	Αιματίτης (%)	Μερβινίτης (%)	Μοσχοβίτης (%)	Περίκλαστο (%)	Άστριοι (%)	Χαλαζίας (%)
FAOW11	32,0	7,5	9,5	4,0	6,0	6,5	12,0	1,0	1,0	3,5	1,5	9,5	6,0
FAOW12	25,0	7,5	10,0	5,0	6,0	7,5	15,0	1,0	1,0	2,5	1,5	10,0	7,5
FAOW13	21,0	7,0	10,0	4,0	5,5	9,5	19,5	1,0	3,0	3,0	1,5	9,0	6,0
FAOW14	36,0	5,5	9,0	5,5	3,5	6,5	11,0	1,0	2,5	2,5	1,0	11,5	4,5
FAOW15	27,5	6,5	10,5	8,0	6,0	7,0	11,5	1,0	2,5	3,5	1,5	10,0	4,5
FAOM1	30,0	6,5	9,5	4,5	6,0	7,0	13,0	1,0	2,0	3,5	1,0	10,5	5,5

Πίνακας 3.4 Ορυκτολογική σύσταση Ι.Τ. των εβδομαδιαίων δειγμάτων και του μηνιαίου δείγματος για τη μονάδα 2

Δείγμα	Άμορφα (%)	Ανυδρίτης (%)	Γκελενίτης (%)	Πυριτικό Διασβέστιο (%)	Μπραουν-μλλερίτης (%)	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης) (%)	Ασβεσίτης (%)	Αιματίτης (%)	Μερβινίτης (%)	Μοσχοβίτης (%)	Περίκλαστο (%)	Άστριοι (%)	Χαλαζίας (%)
FAOW21	19,5	10,5	9,5	7,5	7,0	8,0	17,0	1,5	2,0	4,5	1,5	6,5	5,0
FAOW22	24,0	8,0	9,5	5,5	5,0	7,5	15,5	1,0	1,5	2,0	1,5	11,0	7,5
FAOW23	26,0	9,0	9,0	4,0	5,0	7,5	16,5	1,0	1,5	2,5	1,5	10,0	6,0
FAOW24	30,0	7,5	9,5	4,0	5,0	7,0	13,0	1,0	2,0	4,0	1,5	10,0	5,0
FAOW25	31,5	7,0	9,5	4,5	6,5	7,0	13,5	1,0	2,5	3,0	1,0	9,0	4,0
FAOM2	32,0	6,5	10,0	2,5	5,5	6,5	13,0	1,0	2,0	2,0	1,5	10,5	7,0

Πίνακας 3.5 Στατιστικές παράμετροι της ορυκτολογικής σύστασης των δειγμάτων

	Άμορφα (%)	Ανυδρίτης (%)	Γκελενίτης (%)	Πυριτικό Διασβέστιο (%)	Μπραουν-μυλλερίτης (%)	Άσβεστος (+Πορτλανδίτης) (%)	Ασβεσίτης (%)	Αιματίτης (%)	Μερβινίτης (%)	Μοσχοβίτης (%)	Περίκλαστο (%)	Άστριοι (%)	Χαλαζίας (%)
Μονάδα 1(Ημερήσια)													
Μέση Τιμή	32,8	6,4	8,9	5,2	5	6,9	12,8	1,1	2,1	3	1,3	9,1	5,3
Τυπική απόκλιση	6,4	1,1	1	1,1	1,3	1,6	4	0,2	0,8	0,7	0,3	2	1,4
Ελάχιστο	19,5	3,5	7	3	2,5	4,5	7	1	0,5	2	1	6	3
Μέγιστο	44,5	8,5	11	7	8	10,5	24	1,5	3	4,5	2	14	8,5
Εύρος	25	5	4	4	5,5	6	17	0,5	2,5	2,5	1	8	5,5
Μονάδα 1(Εβδομαδιαία)													
Μέση Τιμή	28,4	6,8	9,8	5,3	5,4	7,4	13,8	1	2	3	1,4	10	5,7
Τυπική απόκλιση	5,8	0,8	0,6	1,6	1,1	1,2	3,6	0	0,9	0,5	0,2	0,9	1,3
Ελάχιστο	21	5,5	9	4	3,5	6,5	11	1	1	2,5	1	9	4,5
Μέγιστο	36	7,5	10,5	8	6	9,5	19,5	1	3	3,5	1,5	11,5	7,5
Εύρος	15	2	1,5	4	2,5	3	8,5	0	2	1	0,5	2,5	3
Μονάδα 1(Μηνιαίο)													
Μέση Τιμή	30	6,5	9,5	4,5	6	7	13	1	2	3,5	1	10,5	5,5
Μονάδα 2(Ημερήσια)													
Μέση Τιμή	30,5	7,1	9	4,6	5,1	6,7	13,3	1,2	1,9	3,1	1,3	10,4	5,9
Τυπική απόκλιση	9,4	1,9	1	1,3	1,3	1,4	3,6	0,2	0,7	0,5	0,3	2,2	1,8
Ελάχιστο	16	4	6,5	2,5	2	3,5	5,5	1	0,5	2	1	6	3,5
Μέγιστο	50,5	11	11	7,5	7,5	9	20	1,5	3	4	1,5	15	9
Εύρος	34,5	7	4,5	5	5,5	5,5	14,5	0,5	2,5	2	0,5	9	5,5
Μονάδα 2(Εβδομαδιαία)													
Μέση Τιμή	26,2	8,4	9,4	5,1	6	7,4	15,1	1,1	1,9	3,2	1,4	9,3	5,5
Τυπική απόκλιση	4,8	1,4	0,2	1,5	0,7	0,4	1,8	0,2	0,4	1	0,2	1,7	1,3
Ελάχιστο	19,5	7	9	4	5,5	7	13	1	1,5	2	1	6,5	4
Μέγιστο	31,5	10,5	9,5	7,5	7	8	17	1,5	2,5	4,5	1,5	11	7,5
Εύρος	12	3,5	0,5	3,5	1,5	1	4	0,5	1	2,5	0,5	4,5	3,5
Μονάδα 2(Μηνιαίο)													
Μέση Τιμή	32	6,5	10	2,5	5,5	6,5	13	1	2	2	1,5	10,5	7

Για τη μονάδα 1, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.1, τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά της Ι.Τ. είναι ο ασβεστίτης, ο γκελενίτης, η άσβεστος (+πορτλανδίτης), οι άστριοι και ο ανυδρίτης, ενώ επίσης σημαντικά υψηλά ποσοστά παρουσιάζουν και ο χαλαζίας, ο μπραουνμιλλερίτης και το πυριτικό διασβέστιο. Το ποσοστό του άμορφου υλικού κυμαίνεται σε ένα εύρος από 19,5% έως 44,5% με μέση τιμή κοντά στο 33%, ενώ στο μέσο μηνιαίο δείγμα είναι λίγο χαμηλότερα στο 30%. Όσον αφορά στον ασβεστίτη, το κυριότερο όπως προέκυψε ορυκτολογικό συστατικό, στα πρώτα 10 ημερήσια δείγματα παρουσιάζει σταθερές τιμές 11-13%, ενώ στα επόμενα 10 δείγματα οι τιμές παρουσιάζουν μικρή αύξηση και αγγίζουν το μέγιστο 24%. Στο τέλος του μήνα, υπάρχει πτώση στην περιεκτικότητα του ασβεστίτη με τις τιμές να κυμαίνονται μεταξύ 7% και 10%. Η μέση τιμή του ασβεστίτη ταυτίζεται με το μέσο μηνιαίο δείγμα (περίπου 13%). Αντίθετα, με τον ασβεστίτη, ο γκελενίτης έχει περιορισμένο εύρος (4%) και οι τιμές του βρίσκονται στο 9% σε όλη τη διάρκεια του μήνα. Οι άστριοι παρουσιάζουν τιμές μεταξύ 6% και 12% καθ' όλη τη διάρκεια του μήνα, με εξαίρεση 3-4 δείγματα, τα οποία αγγίζουν μέχρι και το 14%. Τέλος, μικρές είναι οι διακυμάνσεις στα ποσοστά του μπραουνμιλλερίτη (3%-7% με μέση τιμή 5%), του χαλαζία (3%-8,5% με μέση τιμή 5%), του αιματίτη (1%), του μερβινίτη (2%), του μοσχοβίτη (3%), και του περίκλαστου (1%) καθ' όλη τη διάρκεια του μήνα.

Για τη μονάδα 2, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.2, τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά είναι ο ασβεστίτης, ο γκελενίτης, οι άστριοι και ο ανυδρίτης. Στη συνέχεια ακολουθούν με σημαντικά ποσοστά ο χαλαζίας, ο μπραουνμιλλερίτης, το πυριτικό διασβέστιο και η άσβεστος(+πορτλανδίτης). Χαμηλά ποσοστά παρουσιάζουν ο μερβινίτης, ο μοσχοβίτης, ο αιματίτης και το περίκλαστο. Το ποσοστό της άμορφης-υαλώδους μάζας γενικά κυμαίνεται χαμηλότερα σε σχέση με τη μονάδα 1, έχοντας μέση τιμή 30,5%. Ο ασβεστίτης στις αρχές του μήνα παρουσιάζει υψηλότερες τιμές, της τάξης του 15%, οι οποίες στη συνέχεια μειώνονται, όπου στο τέλος του μήνα καταλήγουν κάτω από 10%. Ο γκελενίτης, ακριβώς όπως και στη μονάδα 1, δεν παρουσιάζει αυξομειώσεις και κυμαίνεται κοντά στο 9%. Οι άστριοι παρουσιάζουν ελάχιστο 6% και μέγιστο 15% με τη μέση τιμή να είναι 10,4%, ελάχιστα αυξημένη σε σχέση με τη μέση τιμή για την μονάδα 1, ενώ είναι αντίστοιχη προς το μέσο μηνιαίο δείγμα (10,5%). Τέλος, όπως συμβαίνει και στην μονάδα 1, μικρές είναι οι διακυμάνσεις στα ποσοστά του μπραουνμιλλερίτη (2%-7,5% με μέση τιμή 5,1%), του χαλαζία (3,5%-9% με μέση τιμή 5,9%), του αιματίτη (1%-1,5% με μέση τιμή 1,2%), του μερβινίτη

(0,5%-3% με μέση τιμή 1,9%), του μοσχοβίτη (2%-4% με μέση τιμή 3,1%), και του περικόλαστου (1%-1,5% με μέση τιμή 1,3%) σε όλη τη διάρκεια του μήνα.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι ορισμένες μικρές διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται σε κάποιες φάσεις μεταξύ της μέσης τιμής και του μηνιαίου δείγματος μπορεί να οφείλονται σε τυχαία σφάλματα ή στην ομογενοποίηση του μέσου δείγματος

Στα εβδομαδιαία δείγματα για την 1^η μονάδα, η μέση τιμή του ασβεστίτη είναι 13,8%, δηλαδή 1% παραπάνω από τα ημερήσια δείγματα. Το ίδιο ισχύει και για τη 2^η μονάδα καθώς η μέση τιμή του ασβεστίτη στα εβδομαδιαία δείγματα είναι 15,1%, ενώ στα ημερήσια, μόλις 13,3%. Μεγάλες διαφορές παρατηρούνται στο εύρος, για τα δείγματα του ασβεστίτη, καθώς στα ημερήσια δείγματα η τιμή αυτή είναι 17%, ενώ στα εβδομαδιαία, μόλις 8,5%. Ο γκελενίτης, στη 1^η μονάδα, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.3, παρουσιάζει μέση τιμή 9,8% και εύρος μόλις 1,5%, σε αντίθεση με τα ημερήσια δείγματα όπου η μέση τιμή είναι 8,9% και το εύρος 4%. Στη 2^η μονάδα, η διαφορά στο εύρος είναι μόλις 0,5% για τα εβδομαδιαία δείγματα του γκελενίτη σε σχέση με τα ημερήσια δείγματα, και η μέση τιμή 9,4% έναντι 9% των ημερησίων. Από τα κύρια συστατικά της Ι.Τ είναι το μόνο που παρουσιάζει τέτοια ομοιομορφία στις τιμές στις μονάδες 1 & 2 στα εβδομαδιαία δείγματα. Η μέση τιμή του άμορφου υλικού για τα εβδομαδιαία δείγματα της 1^η μονάδας είναι 28,4% ενώ η αντίστοιχη για τα ημερήσια είναι 32,8%. Δηλαδή, υπάρχει απόκλιση της τάξης του 4%. Το ίδιο ισχύει και για τη δεύτερη μονάδα όπως φαίνεται στον πίνακα 3.5 με τα αντίστοιχα ποσοστά να είναι 26,2% και 30,5%. Οι τιμές του πυριτικού διασβεστίου είναι της τάξης του 5% τόσο στα ημερήσια όσο και στα εβδομαδιαία δείγματα και για τις δύο μονάδες. Η τυπική απόκλιση είναι περίπου στο 1,5% και το εύρος γύρω στο 4%, κάτι που σημαίνει ότι δεν υπάρχουν μεγάλες αυξομειώσεις στα δείγματα και οι τιμές βρίσκονται κοντά στη μέση τιμή. Όσον αφορά στον αιματίτη, παρατηρείται ότι δεν υπάρχει καμία διαφορά ανάμεσα στα εβδομαδιαία δείγματα των δύο μονάδων με τα αντίστοιχα ημερήσια με την τιμή τους να βρίσκεται στο 1% και το εύρος 0,5%. Αυτό μας δείχνει ότι τα συγκεκριμένα εβδομαδιαία δείγματα αντιπροσωπεύουν πλήρως τα ημερήσια. Όσον αφορά στους αστρίους, για τα εβδομαδιαία δείγματα, στην 1^η μονάδα η μέση τιμή είναι 10% και η αντίστοιχη για τα ημερήσια είναι 9,1%, αλλά το εύρος των εβδομαδιαίων είναι μόλις 2,5%, σε αντίθεση με το εύρος των αστρίων για τα ημερήσια δείγματα όπου είναι 8%. Στη 2^η μονάδα η μέση τιμή

των αστρίων για τα εβδομαδιαία δείγματα είναι 9,3%, δηλαδή 1,1% χαμηλότερη από αυτή των ημερησίων δειγμάτων. Η μέση τιμή του χαλαζία για τα εβδομαδιαία δείγματα της 1^{ης} μονάδας είναι 5,7%, ελάχιστα αυξημένη από αυτή των ημερησίων δειγμάτων (5,7%). Για τη 2^η μονάδα τα αντίστοιχα ποσοστά είναι 5,5% και 5,9%. Τα υπόλοιπα συστατικά όπως ο μερβινίτης, ο μοσχοβίτης και το περικόλαστο δεν παρουσιάζουν καμιά διαφοροποίηση στις τιμές τόσο για την 1^η όσο και για την 2^η μονάδα.

Όπως προκύπτει παραπάνω, τα εβδομαδιαία δείγματα στην πλειονότητα των συστατικών παρουσιάζουν ελάχιστες διαφορές στα ποσοστά σε σχέση με τα ημερήσια. Αυτό μας επιτρέπει να συμπεράνουμε ότι αποτελούν αντιπροσωπευτικά δείγματα των ημερησίων δειγμάτων και μπορούμε από εδώ και στο εξής να χρησιμοποιούμε τα εβδομαδιαία δείγματα για εξαγωγή συμπερασμάτων. Με βάση τον πίνακα 3.5, το ίδιο ισχύει και για τα μηνιαία δείγματα όπου και σε αυτή την περίπτωση τα ποσοστά αντιπροσωπεύουν πλήρως τα ημερήσια δείγματα.

Συνοψίζοντας, τα ποσοστά των κύριων συστατικών των δύο μονάδων για τα ημερήσια δείγματα είναι παραπλήσια και οι διαφορές δεν ξεπερνάνε το 1% μεταξύ των δύο μονάδων εκτός από την περίπτωση του άμορφου υλικού. Επιπλέον, τόσο τα μηνιαία δείγματα όσο και τα εβδομαδιαία αντιπροσωπεύουν πλήρως τα ημερήσια δείγματα και στις 2 μονάδες.

3.2 Χημική σύσταση

Με τη βοήθεια του φασματοσκοπίου ακτίνων-X φθορισμού και τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στην παράγραφο 2.3, προσδιορίστηκαν τα κύρια στοιχεία (υπό μορφή οξειδίων) SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , SO_3 , Na_2O , K_2O , MnO , P_2O_5 , TiO_2 , όπως και τα ικνοστοιχεία (υπό μορφή οξειδίων) Cr_2O_3 , SrO , NiO . Τα αποτελέσματα και τα στατιστικά μεγέθη της επεξεργασίας των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων των Ι.Τ. του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου παρουσιάζονται αναλυτικά στους Πίνακες 3.6 έως και 3.10.

Όπως προκύπτει από τους παρακάτω πίνακες, το εύρος που κυμαίνονται τα οξείδια είναι σημαντικό. Για το οξείδιο του ασβεστίου (CaO) είναι από 35,89% έως 45,69% για την 1^η μονάδα και 34,51% έως 45,02% για τη 2^η μονάδα. Για το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) είναι από 14,77% έως 23,91% για τη μονάδα 1 και 17,11% έως 24,83% για τη μονάδα 2. Όσον αφορά στο τριοξείδιο του θείου (SO_3) τα ποσοστά κυμαίνονται από 4,90% έως 7,21% στην 1^η μονάδα και 5,17% έως 8,27% στη 2^η. Στη μονάδα 1 η μέση τιμή του οξειδίου του ασβεστίου (CaO) είναι 40,48%, ενώ στη 2^η 39,51%. Κατόπιν, το διοξείδιο του πυριτίου είναι 20,4% και στις δύο μονάδες. Το τριοξείδιο του θείου είναι κατά μισή μονάδα μεγαλύτερο στη δεύτερη μονάδα και ξεπερνάει το 6,60%.

Για τη μονάδα 1, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.6, τα κύρια οξείδια που προσδιορίστηκαν είναι το οξείδιο του ασβεστίου (CaO) και το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), ενώ ακολουθούν το οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3), το οξείδιο του σιδήρου (Fe_2O_3), το τριοξείδιο του θείου (SO_3) και το οξείδιο του μαγνησίου (MgO).

Τα ποσοστά του CaO για τα ημερήσια δείγματα παρουσιάζουν απότομες μεταβολές. Ξεκινάνε από 43-44% πέφτουν έως και 35%, αλλά στη συνέχεια ανεβαίνουν πάλι πάνω από 40%, για να καταλήξουν στο τέλος στο 38%. Η μέση τιμή για τα ημερήσια δείγματα είναι 40,48%, δηλαδή πολύ κοντά και στη μέση τιμή των εβδομαδιαίων για την 1^η μονάδα. Ωστόσο, είναι λίγο χαμηλότερη από τη μέση τιμή του μηνιαίου δείγματος η οποία είναι 42,71%. Όσον αφορά στο SiO_2 , στα πρώτα δέκα δείγματα παρουσιάζει σταθερές τιμές μεταξύ 18-23%, ενώ στα επόμενα δέκα δείγματα παρατηρούνται μεγαλύτερες μεταβολές καθώς οι τιμές κυμαίνονται από 14,77% έως 22,38%. Στα τελευταία δείγματα του μήνα με εξαίρεση ένα δείγμα οι τιμές είναι μεταξύ 20% και 23%. Η μέση τιμή του δείγματος είναι 20,42%, πολύ κοντά τόσο στη μέση τιμή των εβδομαδιαίων

δειγμάτων (20,52%), όσο και σε αυτή του μέσου μηνιαίου δείγματος (20,80%). Οι τιμές του οξειδίου του αργιλίου (Al_2O_3) παραμένουν σταθερές σε όλο το μήνα κοντά στο 7-10 % και δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες μεταβολές, γι' αυτό και το εύρος κυμαίνεται κοντά στο 4%. Όπως και στην περίπτωση του SiO_2 , έτσι και εδώ η μέση τιμή των ημερήσιων δειγμάτων (9,18%) είναι σχεδόν ίδια με αυτή των εβδομαδιαίων δειγμάτων (9,20%) και με τη μέση τιμή του μέσου μηνιαίου δείγματος (9,28%). Τα ποσοστά του Fe_2O_3 κυμαίνονται μεταξύ 6% και 9% καθ' όλη τη διάρκεια του μήνα και η μέση τιμή των ημερήσιων δειγμάτων (7,63%), διαφέρει ελάχιστα με αυτή των εβδομαδιαίων δειγμάτων (7,80%) καθώς και με τη μέση τιμή του μέσου μηνιαίου δείγματος (7,95%). Παρόμοια κατάσταση με τις προηγούμενες δύο περιπτώσεις συμβαίνει και στο MgO . Η πλειονότητα των δειγμάτων κυμαίνεται στο 4 με 5 %. Η μέση τιμή των ημερήσιων δειγμάτων είναι 4,86%, ενώ αυτή των εβδομαδιαίων 4,74% και του μέσου μηνιαίου δείγματος 4,84%. Τέλος, στο τριοξείδιο του θείου το ελάχιστο είναι 4,90% και το μέγιστο 7,21% με τη μέση τιμή για τα ημερήσια να είναι 6,14% , ενώ για τα εβδομαδιαία και το μέσο μηνιαίο είναι 6,50%.

Στη 2^η μονάδα, δεν παρατηρούνται πολλές διαφορές σε σχέση με την 1^η. Πιο αναλυτικά, τα ποσοστά του CaO παρουσιάζουν πάλι απότομες αυξομειώσεις και το εύρος είναι από 34,51% έως 45,02% με τη μέση τιμή για τα ημερήσια να είναι 39,51%, αυτή των εβδομαδιαίων 39,12% και η αντίστοιχη του μέσου μηνιαίου δείγματος 39,37%. Το SiO_2 έχει τιμές μεταξύ 17% και 24% με τη μέση τιμή για τα ημερήσια να είναι 20,46%, για τα εβδομαδιαία 21,21% και για το μέσο μηνιαίο δείγμα 20,97%. Οι τιμές του οξειδίου του αργιλίου (Al_2O_3) παραμένουν σταθερές σε όλο το μήνα, όπως και στην 1^η μονάδα, μόνο που αυτή τη φορά οι τιμές βρίσκονται κοντά στο 8-11 % και το εύρος κοντά στο 3,5%. Τα ποσοστά του Fe_2O_3 κυμαίνονται μεταξύ 6% και 9,5%, ακριβώς όπως και στην 1^η μονάδα, με τη μέση τιμή των ημερησίων δειγμάτων να είναι 7,75%, των εβδομαδιαίων 7,85% και του μηνιαίου 7,90%. Τα ποσοστά του MgO είναι μεταξύ 4% και 6,5%, η μέση τιμή για τα ημερήσια 4,95%, για τα εβδομαδιαία 5,18% και για το μηνιαίο 4,65%. Τέλος, το SO_3 παρουσιάζει ελάχιστο 5,17% και μέγιστο 8,27% με μέση τιμή 6,64% για τα ημερήσια, 6,39% για τα εβδομαδιαία και 6,11% για το μηνιαίο.

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι δεν αλλάζει κάτι στα υπόλοιπα οξείδια, με τις διαφοροποιήσεις μεταξύ των δειγμάτων να είναι αμελητέες.

Κλείνοντας, ένα συμπέρασμα που προκύπτει από τους πίνακες είναι οι σχετικά υψηλές τιμές της απώλειας πύρωσης σε πολλά δείγματα, οι οποίες οφείλονται στην ενυδάτωση του ελεύθερου CaO , που έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια της παρασκευής και εξέτασης των δοκιμίων των χημικών αναλύσεων.

Πίνακας 3.6 Χημική σύσταση Ι.Τ. των ημερήσιων δειγμάτων της 1ης μονάδας

Δείγμα	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	SO ₃ (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	SrO (%)	NiO (%)	LOI (%)	SUM (%)
FAO101	43,97	18,30	8,04	8,09	4,48	0,62	0,32	6,51	0,57	0,16	0,09	0,07	0,06	0,06	8,54	99,89
FAO102	44,51	17,76	8,07	7,90	4,48	0,58	0,60	6,37	0,57	0,15	0,09	0,07	0,06	0,06	8,76	100,04
FAO103	37,67	22,22	10,24	8,55	4,91	0,75	0,15	6,33	0,69	0,19	0,09	0,09	0,06	0,08	7,50	99,53
FAO104	35,89	23,22	10,58	7,67	6,05	0,76	0,44	7,21	0,64	0,19	0,09	0,06	0,06	0,06	7,24	100,17
FAO105	38,15	22,28	9,83	7,81	4,70	0,73	0,20	6,84	0,62	0,19	0,09	0,08	0,06	0,07	8,17	99,83
FAO106	39,41	21,27	9,60	7,86	5,07	0,69	0,51	5,65	0,64	0,16	0,09	0,07	0,06	0,07	8,74	99,90
FAO107	38,96	21,43	9,78	8,08	4,86	0,69	0,41	5,80	0,65	0,17	0,09	0,08	0,06	0,07	8,64	99,78
FAO108	40,02	21,21	9,26	6,82	4,18	0,70	0,37	6,22	0,63	0,19	0,08	0,06	0,07	0,05	10,10	99,97
FAO109	40,33	19,66	9,04	7,22	4,81	0,62	0,48	6,78	0,59	0,17	0,08	0,06	0,06	0,06	10,21	100,19
FAO110	37,89	22,44	9,93	6,75	5,07	0,72	0,41	6,91	0,63	0,19	0,09	0,06	0,06	0,05	8,73	99,92
FAO111	38,26	22,38	9,85	6,82	5,13	0,75	0,36	7,18	0,64	0,20	0,08	0,06	0,06	0,05	8,46	100,28
FAO112	42,66	17,89	8,08	7,01	4,09	0,58	0,58	5,97	0,54	0,18	0,09	0,07	0,06	0,06	12,56	100,43
FAO113	45,29	14,77	6,83	6,95	3,56	0,47	0,61	5,65	0,46	0,18	0,09	0,06	0,06	0,05	14,61	99,63
FAO114	44,28	15,53	7,22	7,20	3,80	0,46	0,64	5,92	0,47	0,17	0,09	0,06	0,06	0,06	13,61	99,57
FAO115	39,62	20,56	9,09	7,38	6,14	0,67	0,64	5,99	0,62	0,20	0,09	0,06	0,06	0,05	8,47	99,64
FAO116	44,61	16,64	7,46	6,13	4,71	0,59	0,80	5,97	0,54	0,17	0,08	0,06	0,06	0,04	12,08	99,94
FAO117	38,94	20,86	9,64	7,07	5,02	0,75	0,28	6,47	0,59	0,21	0,09	0,08	0,06	0,06	9,68	99,81
FAO118	40,69	20,20	9,02	6,93	5,02	0,66	0,47	6,37	0,60	0,19	0,08	0,05	0,06	0,05	9,75	100,12
FAO119	43,86	19,09	8,91	7,33	4,75	0,64	0,70	6,46	0,55	0,21	0,09	0,05	0,07	0,05	7,52	100,28
FAO120	42,72	18,48	8,48	7,10	4,60	0,64	0,53	6,37	0,56	0,20	0,08	0,06	0,07	0,05	9,71	99,65
FAO121	40,22	20,41	9,30	8,19	4,70	0,68	0,30	6,62	0,62	0,20	0,09	0,08	0,06	0,07	8,93	100,47
FAO122	43,25	20,43	9,29	8,20	4,53	0,74	0,51	4,90	0,61	0,18	0,09	0,06	0,07	0,07	7,42	100,36
FAO123	38,45	23,91	10,17	6,96	4,70	0,99	0,13	5,50	0,59	0,23	0,09	0,06	0,08	0,05	7,73	99,65
FAO124	39,35	22,50	9,68	7,30	5,56	0,84	0,52	5,21	0,63	0,20	0,08	0,06	0,07	0,06	7,61	99,67
FAO125	36,29	23,53	10,55	8,54	5,61	0,84	0,33	5,92	0,58	0,21	0,09	0,07	0,07	0,08	7,15	99,84
FAO126	38,80	21,45	9,78	8,52	5,13	0,76	0,47	5,66	0,55	0,19	0,09	0,07	0,07	0,08	7,94	99,56
FAO127	45,69	16,16	7,30	7,01	4,34	0,55	0,67	6,09	0,48	0,16	0,08	0,05	0,06	0,05	11,44	100,15
FAO128	42,88	18,99	8,46	8,05	4,01	0,68	0,27	6,02	0,53	0,17	0,10	0,07	0,07	0,07	9,51	99,89
FAO129	36,81	23,41	10,91	9,40	5,18	0,74	0,21	5,52	0,60	0,23	0,10	0,09	0,06	0,10	6,70	100,07
FAO130	36,64	23,78	10,37	8,63	5,89	0,79	0,40	6,02	0,58	0,21	0,09	0,07	0,06	0,08	6,35	99,96
FAO131	38,71	22,12	9,67	9,05	5,67	0,78	0,20	6,02	0,59	0,18	0,10	0,09	0,07	0,09	6,42	99,78

Πίνακας 3.7 Χημική σύσταση των Ι.Τ των ημερήσιων δειγμάτων της 2ης μονάδας

Δείγμα	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	SO ₃ (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	SrO (%)	NiO (%)	LOI (%)	SUM (%)
FAO201	42,88	18,28	8,41	7,68	4,70	0,59	0,56	7,19	0,54	0,18	0,09	0,05	0,06	0,06	8,56	99,83
FAO202	41,21	17,45	8,38	7,83	5,34	0,53	0,77	8,27	0,50	0,18	0,09	0,05	0,06	0,06	9,73	100,46
FAO203	39,44	17,11	8,08	7,87	4,50	0,56	0,46	7,72	0,54	0,16	0,09	0,07	0,06	0,07	13,33	100,05
FAO204	39,40	20,06	8,98	7,55	4,60	0,69	0,22	6,98	0,60	0,17	0,09	0,07	0,06	0,06	10,34	99,86
FAO205	39,98	20,33	8,98	7,65	4,65	0,68	0,10	7,25	0,62	0,19	0,09	0,07	0,06	0,06	8,82	99,53
FAO206	38,67	21,07	9,56	7,48	4,86	0,69	0,45	6,76	0,60	0,19	0,09	0,07	0,06	0,06	9,10	99,71
FAO207	40,41	19,56	8,82	8,07	4,48	0,65	0,16	7,85	0,57	0,19	0,10	0,09	0,06	0,07	9,22	100,30
FAO208	42,52	19,85	8,97	6,48	4,48	0,69	0,65	6,94	0,54	0,19	0,09	0,05	0,07	0,05	8,84	100,39
FAO209	35,19	22,51	9,84	7,31	5,17	0,72	0,33	6,62	0,63	0,20	0,08	0,07	0,06	0,07	11,26	100,08
FAO210	39,86	21,81	9,83	6,08	4,91	0,75	0,58	7,09	0,59	0,23	0,08	0,05	0,07	0,04	8,08	100,07
FAO211	39,47	21,17	9,58	6,09	5,07	0,69	0,67	7,29	0,57	0,21	0,08	0,05	0,07	0,05	8,57	99,61
FAO212	41,01	19,63	8,96	6,81	4,65	0,65	0,56	7,26	0,55	0,20	0,09	0,06	0,07	0,05	9,37	99,93
FAO213	42,37	17,59	8,17	7,97	4,22	0,57	0,53	7,30	0,54	0,19	0,09	0,07	0,06	0,06	10,14	99,87
FAO214	41,61	17,70	8,25	7,85	4,39	0,55	0,55	7,17	0,53	0,17	0,09	0,06	0,07	0,06	11,14	100,19
FAO215	38,75	18,65	8,89	8,16	4,76	0,57	0,39	7,26	0,59	0,18	0,09	0,07	0,06	0,07	11,08	99,58
FAO216	41,74	18,87	9,25	7,22	4,44	0,63	0,06	7,90	0,62	0,24	0,09	0,07	0,06	0,05	8,94	100,17
FAO217	39,02	21,09	9,24	6,74	4,97	0,70	0,39	6,16	0,63	0,20	0,08	0,07	0,06	0,05	10,13	99,53
FAO218	39,37	21,73	9,69	7,20	5,07	0,72	0,39	6,09	0,66	0,19	0,09	0,07	0,07	0,06	8,75	100,14
FAO219	38,04	21,06	9,73	8,47	5,07	0,71	0,38	6,11	0,63	0,20	0,10	0,08	0,06	0,08	9,12	99,85
FAO220	39,49	21,16	9,74	7,80	5,83	0,71	0,66	6,37	0,63	0,22	0,08	0,06	0,06	0,05	7,56	100,43
FAO222	42,01	20,44	9,00	7,18	4,22	0,76	0,29	5,90	0,56	0,19	0,09	0,06	0,07	0,06	8,83	99,66
FAO223	39,54	21,72	9,22	6,63	5,44	0,84	0,54	5,17	0,59	0,20	0,08	0,05	0,07	0,05	9,65	99,77
FAO224	37,06	23,36	10,44	8,85	5,13	0,81	0,12	5,28	0,61	0,22	0,10	0,08	0,07	0,08	8,12	100,32
FAO225	35,03	23,58	11,10	9,27	5,61	0,78	0,41	5,93	0,59	0,21	0,10	0,08	0,06	0,09	7,46	100,29
FAO226	41,59	19,75	9,22	8,26	4,75	0,70	0,59	6,28	0,59	0,22	0,09	0,07	0,07	0,08	7,76	100,02
FAO227	45,02	17,84	7,96	7,53	4,01	0,62	0,62	5,84	0,53	0,16	0,09	0,05	0,07	0,05	9,28	99,67
FAO228	40,55	18,63	8,64	8,00	5,23	0,66	0,64	6,09	0,53	0,19	0,08	0,05	0,07	0,07	10,67	100,11
FAO229	34,83	22,49	10,44	9,51	5,71	0,72	0,13	6,06	0,63	0,23	0,10	0,10	0,06	0,10	9,13	100,23
FAO230	34,73	24,55	11,23	9,50	5,61	0,75	0,16	5,62	0,65	0,26	0,10	0,10	0,06	0,10	6,88	100,29
FAO231	34,51	24,83	11,39	9,37	6,55	0,76	0,39	5,56	0,64	0,22	0,09	0,09	0,06	0,09	5,57	100,12

Πίνακας 3.8 Χημική σύσταση εβδομαδιαίων δειγμάτων και του μηνιαίου δείγματος για την 1^η μονάδα

Δείγμα	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	SO ₃ (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	SrO (%)	NiO (%)	LOI (%)	SUM (%)
FAOW11	40,53	21,39	9,60	8,24	4,79	0,72	0,18	6,96	0,67	0,19	0,09	0,09	0,06	0,07	6,24	99,83
FAOW12	39,90	20,79	9,46	7,41	4,91	0,73	0,36	6,82	0,63	0,20	0,09	0,08	0,06	0,06	8,38	99,89
FAOW13	42,85	17,90	8,07	7,05	4,55	0,59	0,53	6,32	0,56	0,18	0,09	0,07	0,06	0,06	11,47	100,35
FAOW14	40,69	21,00	9,22	7,72	4,70	0,77	0,25	6,18	0,60	0,20	0,09	0,06	0,07	0,07	8,73	100,35
FAOW15	39,70	21,50	9,67	8,60	4,75	0,73	0,22	6,21	0,59	0,21	0,10	0,08	0,06	0,09	7,25	99,76
FAOM1	42,71	20,80	9,28	7,95	4,84	0,74	0,42	6,50	0,61	0,21	0,09	0,07	0,07	0,07	5,67	100,04

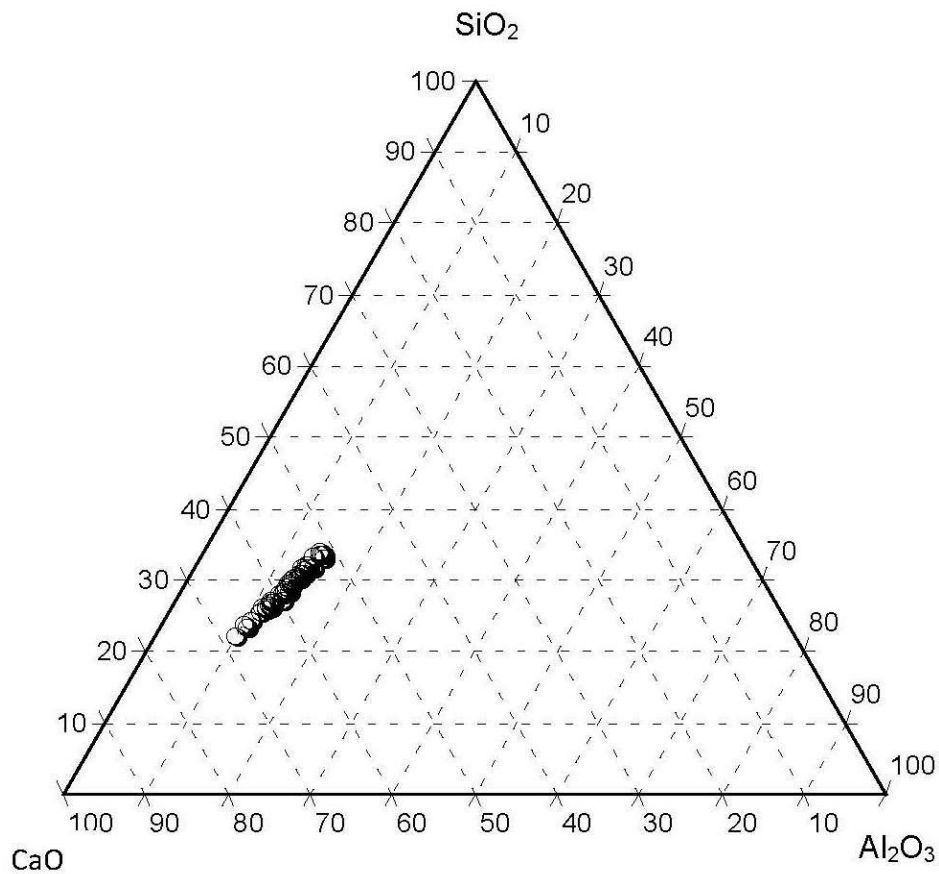
Πίνακας 3.9 Χημική σύσταση εβδομαδιαίων δειγμάτων και του μηνιαίου δείγματος για τη 2^η μονάδα

Δείγμα	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	SO ₃ (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	SrO (%)	NiO (%)	LOI (%)	SUM (%)
FAOW21	42,19	18,10	8,31	7,79	4,81	0,58	0,06	7,40	0,53	0,19	0,09	0,06	0,06	0,07	9,93	100,17
FAOW22	36,28	23,23	10,58	6,83	4,76	0,76	0,35	5,93	0,67	0,17	0,08	0,07	0,06	0,06	10,49	100,31
FAOW23	41,80	19,70	8,91	7,70	4,75	0,66	0,38	7,25	0,63	0,22	0,09	0,07	0,06	0,06	7,70	99,99
FAOW24	38,96	22,00	9,91	7,99	5,34	0,80	0,28	5,77	0,68	0,20	0,09	0,07	0,07	0,07	7,73	99,96
FAOW25	36,37	23,02	10,64	8,96	6,27	0,75	0,49	5,60	0,60	0,22	0,09	0,09	0,06	0,08	6,67	99,91
FAOM2	39,37	20,97	9,77	7,90	4,65	0,68	0,43	6,11	0,59	0,19	0,09	0,08	0,06	0,07	9,00	99,97

Πίνακας 3.10 Στατιστικές παράμετροι της χημικής σύστασης των δειγμάτων

	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	SO ₃ (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	SrO (%)	NiO (%)	LOI (%)
Μονάδα 1(Ημερήσια)															
Μέση Τιμή	40,48	20,42	9,18	7,63	4,86	0,69	0,44	6,14	0,59	0,19	0,09	0,07	0,06	0,06	9,04
Τυπική απόκλιση	2,92	2,51	1,07	0,77	0,62	0,11	0,17	0,54	0,05	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	2,03
Ελάχιστο	35,89	14,77	6,83	6,13	3,56	0,46	0,13	4,90	0,46	0,15	0,08	0,05	0,06	0,04	6,35
Μέγιστο	45,69	23,91	10,91	9,40	6,14	0,99	0,80	7,21	0,69	0,23	0,10	0,09	0,08	0,10	14,61
Εύρος	9,80	9,14	4,09	3,27	2,58	0,52	0,67	2,31	0,23	0,08	0,03	0,04	0,02	0,06	8,26
Μονάδα 1(Εβδομαδιαία)															
Μέση Τιμή	40,74	20,52	9,2	7,8	4,74	0,71	0,31	6,5	0,61	0,20	0,09	0,07	0,06	0,07	8,42
Τυπική απόκλιση	1,25	1,49	0,66	0,63	0,13	0,07	0,14	0,36	0,04	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	1,97
Ελάχιστο	39,70	17,90	8,07	7,05	4,55	0,59	0,18	6,18	0,56	0,18	0,09	0,06	0,06	0,06	6,24
Μέγιστο	42,85	21,50	9,67	8,60	4,91	0,77	0,53	6,96	0,67	0,21	0,10	0,09	0,07	0,09	11,47
Εύρος	3,15	3,61	1,6	1,55	0,36	0,19	0,35	0,78	0,11	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	5,23
Μονάδα 1(Μηνιαίο)															
Μέση Τιμή	42,71	20,80	9,28	7,95	4,84	0,74	0,42	6,50	0,61	0,21	0,09	0,07	0,07	0,07	5,67
Μονάδα 2(Ημερήσια)															
Μέση Τιμή	39,51	20,46	9,33	7,75	4,95	0,68	0,42	6,64	0,59	0,20	0,09	0,07	0,06	0,07	9,18
Τυπική απόκλιση	2,65	2,11	0,91	0,93	0,56	0,08	0,20	0,82	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	1,49
Ελάχιστο	34,51	17,11	7,96	6,08	4,01	0,53	0,06	5,17	0,50	0,16	0,08	0,05	0,06	0,04	5,57
Μέγιστο	45,02	24,83	11,39	9,51	6,55	0,84	0,77	8,27	0,66	0,26	0,10	0,10	0,07	0,10	13,33
Εύρος	10,51	7,72	3,43	3,43	2,54	0,31	0,71	3,1	0,16	0,11	0,02	0,06	0,01	0,06	7,76
Μονάδα 2(Εβδομαδιαία)															
Μέση Τιμή	39,12	21,21	9,67	7,85	5,18	0,71	0,31	6,39	0,62	0,20	0,09	0,07	0,06	0,07	8,50
Τυπική απόκλιση	2,84	2,23	1,03	0,76	0,65	0,09	0,16	0,87	0,06	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	1,63
Ελάχιστο	36,28	18,10	8,31	6,83	4,75	0,58	0,06	5,60	0,53	0,17	0,08	0,06	0,06	0,06	6,67
Μέγιστο	42,19	23,23	10,64	8,96	6,27	0,80	0,49	7,40	0,68	0,22	0,09	0,09	0,07	0,08	10,49
Εύρος	5,91	5,13	2,33	2,13	1,52	0,22	0,43	1,8	0,15	0,05	0,01	0,03	0,01	0,02	3,82
Μονάδα 2(Μηνιαίο)															
Μέση Τιμή	39,37	20,97	9,77	7,90	4,65	0,68	0,43	6,11	0,59	0,19	0,09	0,08	0,06	0,07	9,00

Από την αξιολόγηση των χημικών αναλύσεων των μονάδων 1 και 2 μέσω του τριγωνικού διαγράμματος (Εικόνα 3.1) προκύπτει ότι τα δείγματα μας είναι πλησίον της περιοχής του ασβεστίου, συνεπώς οι τέφρες χαρακτηρίζονται ως ασβεστούχες.

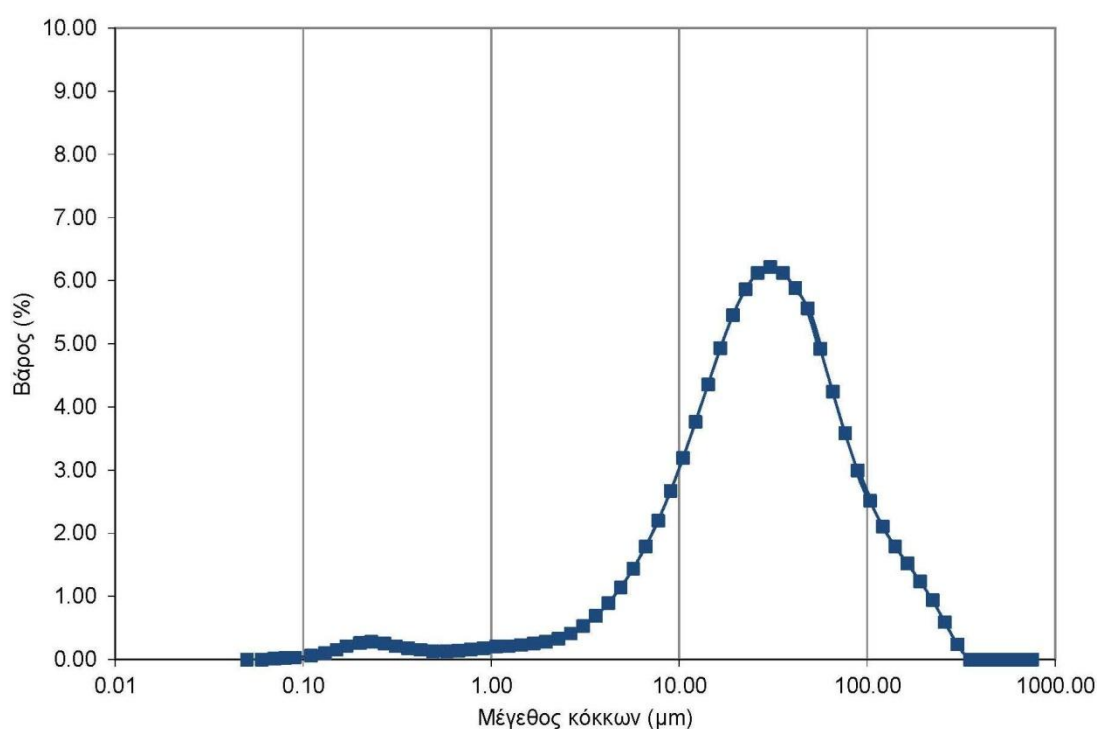


Εικόνα 3.1 Τριγωνικό διάγραμμα

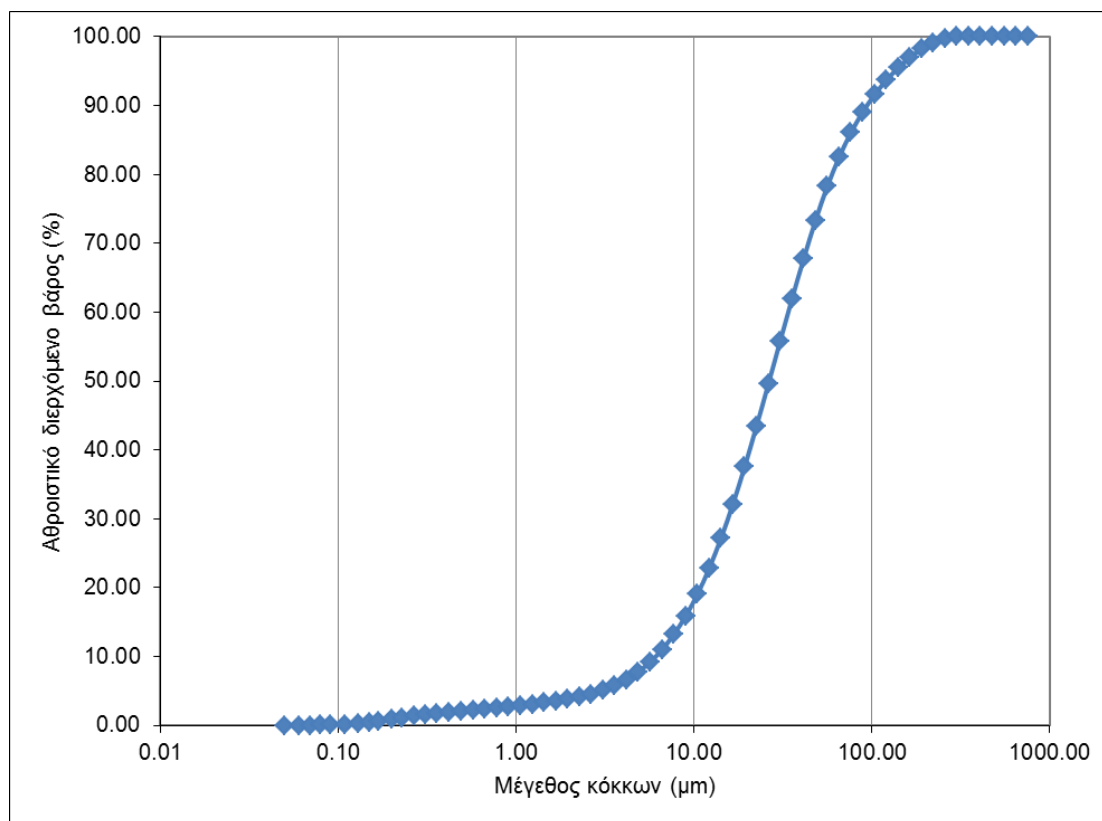
3.3 Κοκκομετρική κατανομή

Η κοκκομετρική κατανομή μελετήθηκε σε ένα τυχαίο δείγμα από τη δεύτερη μονάδα του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το διάγραμμα της κοκκομετρικής κατανομής του δείγματος FAO210. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, το 90% περίπου του δείγματος των κόκκων είναι μέχρι και 100μm, ενώ η μέση τιμή βρίσκεται κοντά στα 30μm. Με βάση τη βιβλιογραφία (Στρατάκης, 2014) για τα δείγματα του ΑΗΣ του Αγ. Δημητρίου συμπεραίνουμε ότι το συγκεκριμένο δείγμα είναι παρόμοιο έως ελαφρώς πιο χονδρόκοκκο από τα υπόλοιπα δείγματα του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου που έχουν μετρηθεί στο παρελθόν, κατά περίπου 10μm.



Εικόνα 3.2 Κοκκομετρική κατανομή του δείγματος FAO210



Εικόνα 3.3 Αθροιστικά διερχόμενο βάρος του δείγματος FAO210

Στη συνέχεια, προσπαθώντας να κάνουμε μια συσχέτιση της χημικής με την ορυκτολογική σύσταση, προέκυψαν οι παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 3.11: Συντελεστές συσχέτισης των κρυσταλλικών ορυκτολογικών φάσεων με τα αντίστοιχα οξείδια για τα δείγματα της μονάδας 1 του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου.

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	LOI
Ανυδρίτης	0.01	-0.20	-0.19	-0.35	-0.04	-0.38	0.09	0.75	0.33
Γκελενίτης	0.22	-0.11	-0.17	0.24	-0.07	0.01	0.00	-0.23	-0.09
Πυριτικό Διασβέστιο	0.23	-0.19	-0.16	0.41	-0.10	-0.14	-0.08	-0.36	-0.06
Μπραουνμυλλερίτης	0.51	-0.59	-0.59	-0.37	-0.51	-0.63	0.36	0.28	0.57
Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	0.71	-0.81	-0.81	-0.56	-0.50	-0.76	0.64	-0.02	0.78
Άσβεσίτης	0.68	-0.83	-0.82	-0.63	-0.70	-0.81	0.54	0.09	0.93
Αιματίτης	-0.38	0.36	0.33	0.48	0.47	0.21	-0.27	-0.05	-0.40
Μερβινίτης	0.23	-0.19	-0.20	0.14	0.04	-0.13	0.10	-0.09	-0.04
Μοσοβοίτης	-0.41	0.44	0.44	0.54	0.30	0.37	-0.48	-0.12	-0.46
Περίκλαστο	0.30	-0.40	-0.41	-0.45	-0.09	-0.36	0.39	0.20	0.42
Άστριοι	-0.53	0.67	0.64	0.18	0.38	0.74	-0.42	-0.14	-0.57
Χαλαζίας	-0.34	0.26	0.25	-0.42	0.30	0.06	-0.03	0.68	-0.05

Πίνακας 3.12: Συντελεστές συσχέτισης των κρυσταλλικών ορυκτολογικών φάσεων με τα αντίστοιχα οξείδια για τα δείγματα της μονάδας 2 του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου.

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	LOI
Ανυδρίτης	0.42	-0.63	-0.56	-0.33	-0.49	-0.72	0.18	0.89	0.44
Γκελενίτης	0.14	-0.25	-0.19	-0.01	-0.24	-0.27	-0.10	0.28	0.14
Πυριτικό Διασβέστιο	0.39	-0.42	-0.42	-0.07	-0.39	-0.32	0.00	0.17	0.27
Μπραουνμυλερίτης	0.61	-0.74	-0.67	-0.17	-0.57	-0.72	0.26	0.59	0.38
Άσβεστος (+Πορτλανδίτης)	0.82	-0.74	-0.79	-0.59	-0.80	-0.56	0.36	0.60	0.40
Ασβεσίτης	0.77	-0.77	-0.78	-0.59	-0.78	-0.63	0.32	0.70	0.48
Αιμαίτης	-0.03	-0.15	-0.09	0.18	-0.02	-0.31	-0.01	0.37	0.08
Μερβινίτης	0.53	-0.45	-0.54	-0.26	-0.48	-0.35	0.24	0.22	0.23
Μοσχοβίτης	-0.06	0.09	0.09	0.39	0.05	0.04	-0.42	-0.21	-0.24
Περίκλαστο	0.37	-0.38	-0.41	-0.27	-0.43	-0.38	-0.11	0.45	0.21
Άστριοι	-0.21	0.50	0.40	-0.37	0.08	0.54	-0.09	-0.25	-0.27
Χαλαζίας	0.04	0.08	0.00	-0.66	-0.20	0.05	-0.14	0.35	0.08

Όσον αφορά στην μονάδα 1, η άσβεστος(+πορτλανδίτης) με τον ασβεστίτη εμφανίζουν ισχυρή συσχέτιση με το οξείδιο του ασβεστίου και την απώλεια πύρωσης, ενώ εμφανίζουν αρνητική συσχέτιση με το Si, Al και το K. Επίσης, ισχυρή συσχέτιση εμφανίζουν ο ανυδρίτης με το SO₃ και οι άστριοι με το K.

Στην μονάδα 2, όπως ακριβώς συμβαίνει στην μονάδα 1, η άσβεστος(+πορτλανδίτης) και ο ασβεστίτης εμφανίζουν ισχυρή συσχέτιση με το CaO ενώ εμφανίζουν αρνητική συσχέτιση με Si, Al και Mg. Τέλος, ο ανυδρίτης παρουσιάζει πολύ ισχυρή συσχέτιση (0.89) το SO₃.

Για τα υπόλοιπα στοιχεία, υπάρχει μέτρια έως χαμηλή συσχέτιση μεταξύ αυτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των τεφρών που παρήχθησαν στις μονάδες 1 και 2 του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

Τα κυριότερα ορυκτολογικά συστατικά τους είναι ο ασβεστίτης μαζί με το γκελενίτη και ακολουθούν οι άστριοι, η άσβεστος (+πορτλανδίτης), το πυριτικό διασβέστιο, ο μπραουνμιλλερίτης, ο ανυδρίτης και ο χαλαζίας. Σε χαμηλότερα ποσοστά εμφανίζονται ο αιματίτης, ο μερβινίτης, ο μσοχοβίτης, το περίκλαστο. Τα ποσοστά του άμορφου υλικού κυμαίνονται, στο μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων, κοντά στο 30%. Μεταξύ των τεφρών των δύο μονάδων δεν παρατηρήθηκαν πολύ μεγάλες διαφορές στα ποσοστά των ορυκτολογικών τους συστατικών, με πολλά από τα συστατικά να έχουν ίδιες περίπου τιμές.

Αναφορικά με τη χημική σύσταση, στα δείγματα που μελετήθηκαν παρατηρήθηκε η ύπαρξη αρκετών οξειδίων με τα κυριότερα από αυτά να είναι το οξείδιο του ασβεστίου (CaO), το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), το οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3), το οξείδιο του σιδήρου (Fe_2O_3) και το τριοξείδιο του θείου (SO_3). Στα περισσότερα από αυτά τα οξείδια παρατηρήθηκε ότι η μέση τιμή των ημερήσιων δειγμάτων είναι πολύ κοντά με τις αντίστοιχες των εβδομαδιαίων δειγμάτων και του μέσου μηνιαίου δείγματος.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων της παρούσας εργασίας, καθώς και πλήθος χημικών αναλύσεων των εργαστηρίων της ΔΕΗ και άλλες βιβλιογραφικές αναφορές, οι τέφρες χαρακτηρίζονται ως ασβεστούχες, τύπου C (κατά ASTM) ή W (κατά EN).

Τέλος, από τη μελέτη της χημικής και της ορυκτολογικής σύστασης προέκυψε η συσχέτιση της ασβέστου(+πορτλανδίτη) και του ασβεστίτη με το οξείδιο του ασβεστίου και του ανυδρίτη με το τριοξείδιο του θείου.

Για προτάσεις περαιτέρω μελέτης συνιστάται η μελέτη της ορυκτολογικής και χημικής σύστασης των μονάδων 3 & 4 και συσχέτιση των αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα των μονάδων 1 & 2, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα συνολικά για τον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου. Επιπλέον, χρήσιμα συμπεράσματα θα έδινε ο προσδιορισμός της κοκκομετρίας και της ειδικής επιφάνειας των δειγμάτων με βάση την ορυκτολογική και τη χημική τους σύσταση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αντίοχος Σ.Κ., Τσίμας Σ. (2008): “Ανθεκτικότητα σκυροδέματος με ελληνικές ιπτάμενες τέφρες διαφορετικής δραστικότητας στην επίθεση χλωριόντων”, 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων (ΤΕΕ, Αθήνα).
- Βάμβουκα Δ. (2002): “Εξευγενισμός Γαιανθράκων”, www.eclass.tuc.gr , διαφάνειες μαθήματος.
- Βάμβουκα Δ. (2002): “Αντιρυπογόνος χρήσις γαιανθράκων.Τεχνολογίες αξιοποίησης γαιανθράκων χαμηλής τάξης”, Εκδόσεις ΙΩΝ.
- Γαλιτάκης Μ. (1996): “Προσδιορισμός ποιότητας λιγνίτη που εξορύσσεται με τη συνεχή μέθοδο εκμετάλλευσης από πολυστρωματικά κοιτάσματα”, Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης - Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- Δασκαλάκη Μ. (2005): “Διακύμανση της σύστασης και των θερμοκρασιών ευτηξίας της λιγνιτικής τέφρας του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου κατά την περίοδο Σεπτέμβριος 1998 - Σεπτέμβριος 1999”, Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης, Πολυτεχνείο Κρήτης - Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- Θωμαΐδης Ε. (2007): “Διαφοροποίηση της σύστασης στα κοκκομετρικά κλάσματα Ι.Τ. των ΑΗΣ Πτολεμαΐδας, Αγίου Δημητρίου, Καρδιάς, Αμυνταίου”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης - Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- Καλλιθρακας-Κόντος Ν.(2011): “Φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων-Χ”, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Κολοβός Χ. (2004): “Τεχνολογία εκμετάλλευσης γαιανθράκων”, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.
- Κωστάκης Γ. (1996): “Σύσταση και τεχνολογικές χρήσεις των λιγνιτικών τεφρών των ΑΗΣ της Δ.Ε.Η. της περιοχής Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου”, Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Χανιά.
- Κωστάκης Γ. (2004): “Μελέτη της σύστασης της τέφρας λιγνιτικών ΑΗΣ της Δ.Ε.Η. ”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Κωστάκης Γ. (2005): “Τενική Ορυκτολογία”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

- Κωστάκης Γ. (2005): “Φυσικές ιδιότητες ορυκτών”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Μαράκης Ι. (2012): “Διερεύνηση δυνατοτήτων παρασκευής κεραμικών μαζών από ιπτάμενη τέφρα του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ για την παραγωγή φίλτρων”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης - Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- Παπαγεωργίου Ν. (1991): “Ατμοπαραγωγοί Ι - Γενικές Αρχές”, Εκδόσεις Συμικών, Αθήνα.
- Σταμπολιάδης Η. (2008): “Μηχανική των Τεμαχιδίων”.
- Σταμπολιάδης Η. (2008): “Εμπλουτισμός των μεταλλευμάτων”.
- Στεργίου Α.Χ. (2003): “Μέθοδοι Κρυσταλλοδομής - Από τον Laue στον Rietveld”
- Στρατάκης Α. (2014): “Εκτίμηση της συμπεριφοράς τήξης των τεφρών των λιγνιτικών ατμοηλεκτρικών σταθμών της Βόρειας Ελλάδας με βάση την ορυκτολογική τους σύσταση”, Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης - Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- Τσέλιου Μ. (2009): “Διερεύνηση δυνατοτήτων παρασκευής κεραμικών μαζών από ιπτάμενη τέφρα (Ι.Τ.) του ΑΗΣ Αχλάδας-Μελίτης για την παραγωγή φίλτρων”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης - Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- Φαλέγκας Σ. (2014): “Διερεύνηση παραμέτρων που επιδρούν στη σύνθεση γεωπολυμερών από ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης - Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- Hill R.J., Howard C.J. (1987): “Quantitative phase analysis from neutron powder diffraction data using the Rietveld method”, Journal of Applied Crystallography.
- Kostakis G. And Stratakis A. (2005): “Minerologische Untersuchung von Lignitaschen der Kraftwerke von Ag. Dimitrios und Achlada-Meliti”. DMG Beih Eur. J. Mineral vol. 17, No.1, 2005 §73.
- Kostakis G. (2009): “Characterization of the fly ashes from the lignite burning power plants of northern Greece based on their quantitative

mineralogical composition”, Journal of Hazardous Materials, doi:10.1016/j.jhazmat.2008.12.007.

- Tsai Ch.Sh. (1982): “Fundamentals of coal beneficiation and utilization”, Coal science and technology 2, Elsevier scientific publishing company, Amsterdam, Oxford, New York.

- Ward R.C. (1983): “Coal geology and coal technology”, Blackwall scientific publications, Melbourne, Oxford, London.

- Young R.A. (1993): “The Rietveld Method”, IUCr Monographs on Crystallography 5, Oxford University Press.

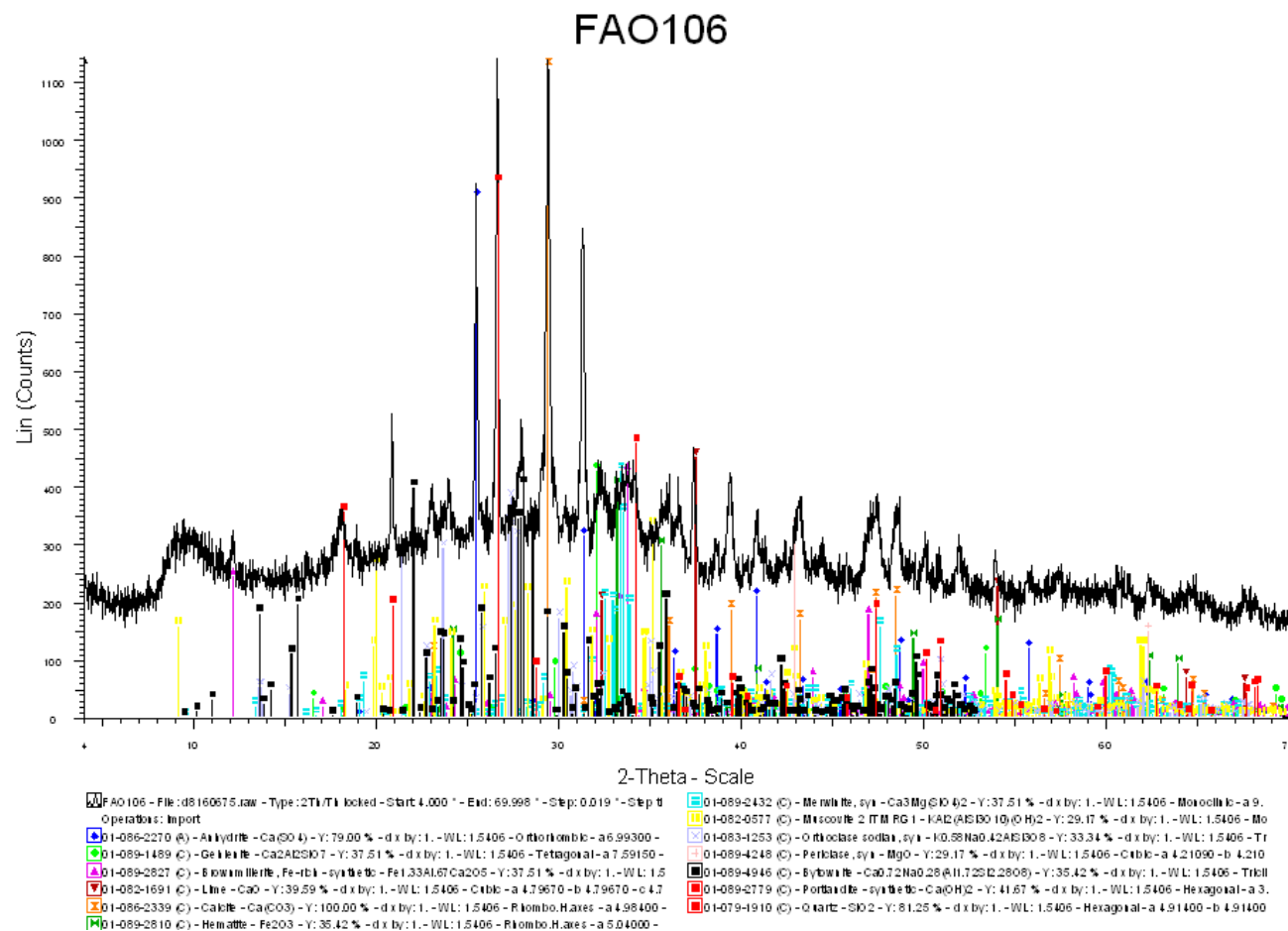
-www.flyash.gr (10/3/2016)

-www.dei.gr (15/5/2016)

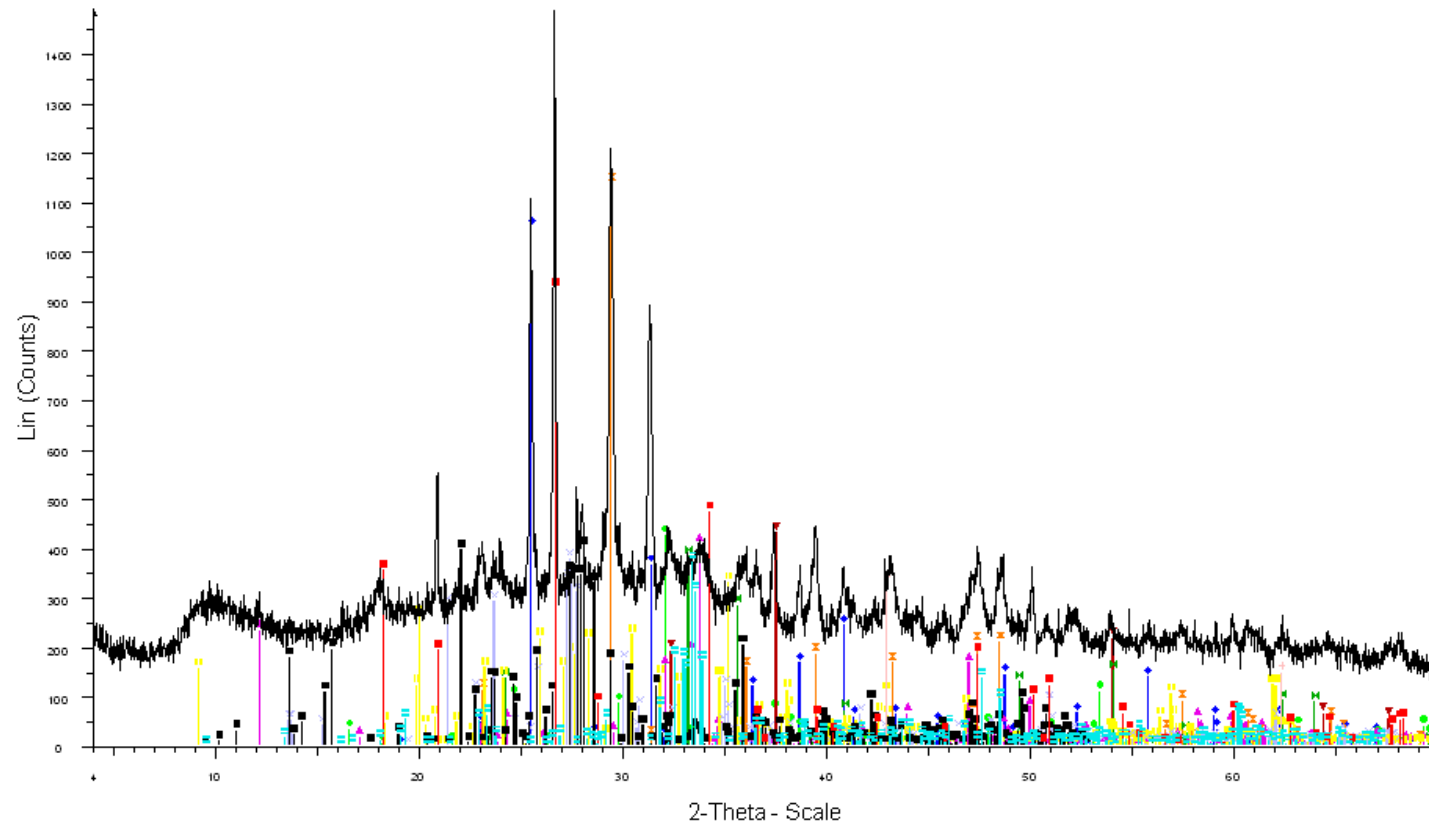
-www.aaaa-usa.org(20/8/2016)

-www.ecoba.com(20/8/2016)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



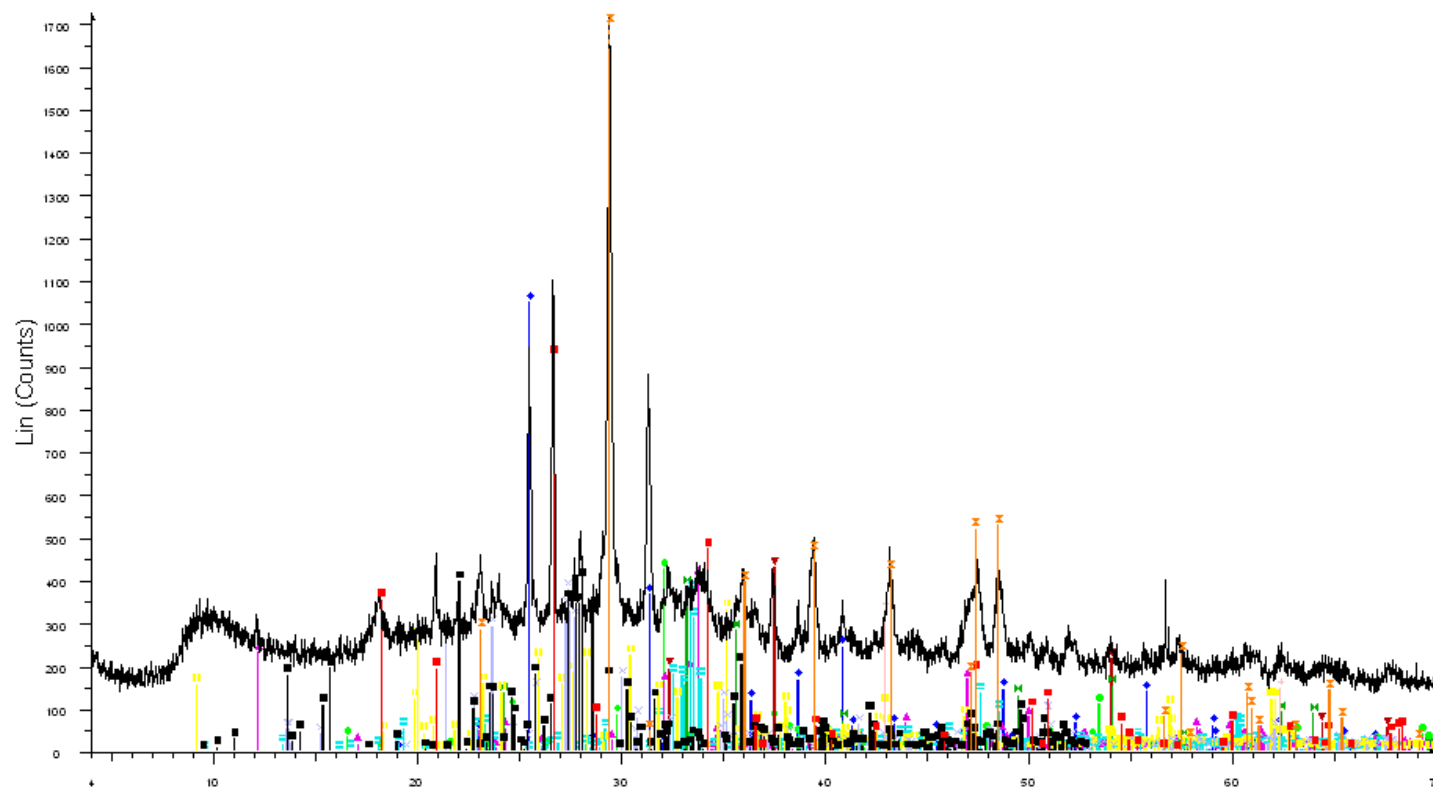
FAO111



FAO111 - File: d8160676.raw - Type: 2TH/TK looked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step ti
 Operations: Import

01-086-2270 (A) - Anhydrite - CaSO_4 - Y: 70.66 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 -	01-089-2432 (C) - Merwinite, syn - $\text{Ca}_3\text{MgSi}_2\text{O}_{12}$ - Y: 25.17 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9. -
01-089-1489 (C) - Gekkoite - $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ - Y: 28.77 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 -	01-082-0577 (C) - Muscovite 2 ITM PG 1 - $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ - Y: 22.37 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo -
01-089-2827 (C) - Bismuthite, Fe-(Bi) - synthetic - $\text{Fe}_{1.33}\text{As}_{0.67}\text{Sb}_{2.05}$ - Y: 27.57 % - d x by: 1. - WL: 1.5 -	01-083-1253 (C) - Orthoclase sodian, syn - $\text{K}_{0.58}\text{Na}_{0.42}\text{AlSi}_3\text{O}_8$ - Y: 25.56 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tr -
01-082-1691 (C) - Lime - CaO - Y: 29.10 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.79670 - b 4.79670 - c 4.7 -	01-089-4248 (C) - Periclase, syn - MgO - Y: 22.37 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.210 -
01-086-2339 (C) - Calcite - CaCO_3 - Y: 176.68 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98400 -	01-089-4946 (C) - Bytownite - $\text{Ca}_{0.72}\text{Na}_{0.28}(\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_7\text{Si}_2\text{O}_8)$ - Y: 27.16 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tricli -
01-089-2810 (C) - Hematite - Fe_2O_3 - Y: 25.03 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.04000 -	01-089-2779 (C) - Portlandite - synthetic - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - Y: 31.95 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3. -
	01-079-1910 (C) - Quartz - SiO_2 - Y: 62.30 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400 -

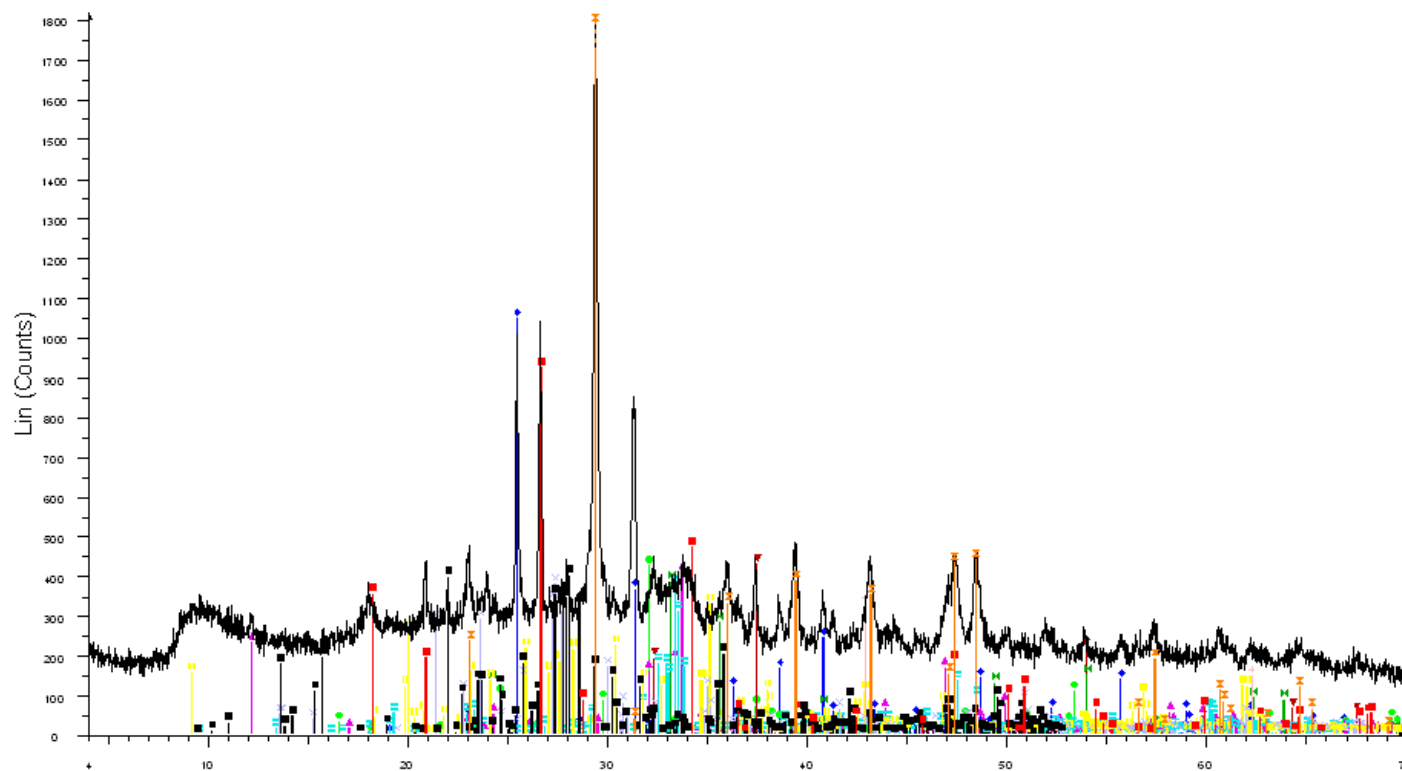
FAO112



FAO112 - File: d8160677.raw - Type: 2 θ / θ locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step 0
 Operations: Import

01-086-2270 (A) - Anhydrite - Ca(SO ₄) - Y: 61.04 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 -	01-089-2432 (C) - Merwinite, syn - Ca ₃ MgSiO ₆ - Y: 21.75 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9. -
01-089-1489 (C) - Gehlenite - Ca ₂ Al ₂ SiO ₇ - Y: 24.86 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 -	01-082-0577 (C) - Microcline 2 ITM RG 1 - KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂ - Y: 19.32 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo -
01-089-2827 (C) - Bismutiferite, Fe-rich - synthetic - Fe _{1.33} Al _{0.67} Ca ₂ O ₅ - Y: 23.82 % - d x by: 1. - WL: 1.5 -	01-083-1253 (C) - Orthoclase sodial, syn - K _{0.98} Na _{0.02} AlSi ₃ O ₈ - Y: 22.09 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tr -
01-082-1691 (C) - Lime - CaO - Y: 25.14 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.79670 - b 4.79670 - c 4.7 -	01-089-4248 (C) - Periclase, syn - MgO - Y: 19.32 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.210 -
01-086-2339 (C) - Calcite - Ca(CO ₃) - Y: 165.63 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo. Haxes - a 4.98400 -	01-089-4946 (C) - Bytownite - Ca _{0.72} Na _{0.28} (Al _{0.72} Si _{0.28} O ₆) - Y: 23.46 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclin -
01-089-2810 (C) - Hematite - Fe ₂ O ₃ - Y: 22.49 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo. Haxes - a 5.04000 -	01-089-2779 (C) - Portlandite - synthetic - Ca(OH) ₂ - Y: 27.60 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3. -
	01-079-1910 (C) - Quartz - SiO ₂ - Y: 53.82 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400 -

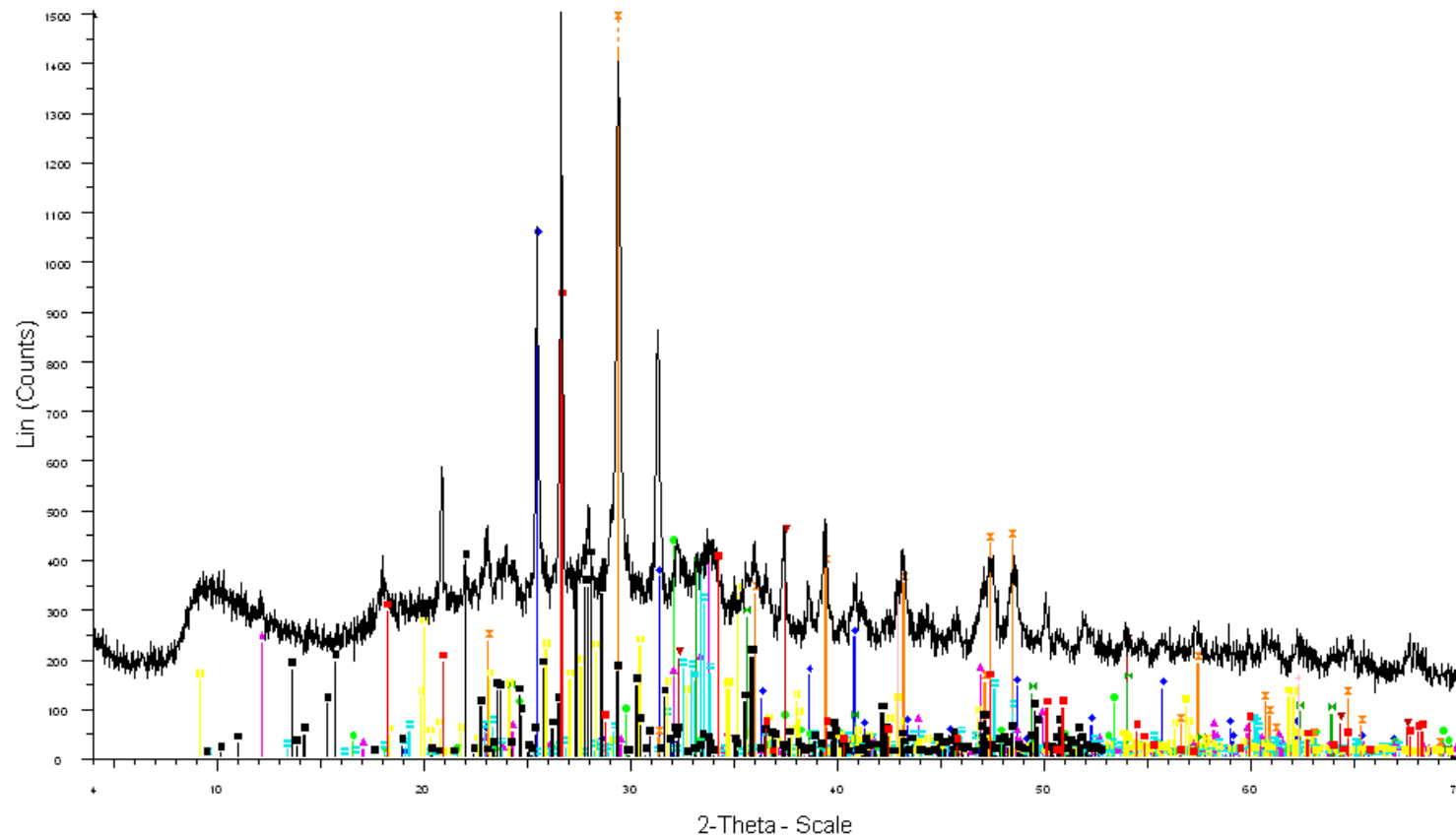
FAO114



FAO114 - File: d8160678.raw - Type: 2 θ / θ locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step ti
 Operations: Import

01-086-2270 (A) - Arkydrite - Ca(SO ₄) - Y: 57.96 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 -	01-089-2432 (C) - Merwinite, syn - Ca ₃ Mg(SiO ₄) ₂ - Y: 20.65 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.
01-089-1489 (C) - Gerkite - Ca ₂ Al ₂ SiO ₇ - Y: 23.60 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 -	01-082-0571 (C) - Mesovite 2 ITM PG 1 - KAl ₂ (Al ₂ SiO ₁₀) ₂ (OH) ₂ - Y: 18.35 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo
01-089-2827 (C) - Brownillerite, Fe-rich - synthetic - Fe _{1.33} Al _{0.67} Ca ₂ O ₅ - Y: 22.61 % - d x by: 1. - WL: 1.5	01-083-1253 (C) - Orthoclase sodian, syn - K _{0.58} Na _{0.42} AlSi ₃ O ₈ - Y: 20.97 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tr
01-082-1691 (C) - Lime - CaO - Y: 23.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.71090 - b 4.210	01-089-4248 (C) - Periclase, syn - MgO - Y: 18.35 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.210
01-086-2339 (C) - Calcite - Ca(CO ₃) - Y: 13.13 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo. Haxes - a 4.98400 -	01-089-4946 (C) - Bytownite - Ca _{0.72} Na _{0.28} (Al _{1.72} Si _{2.28} O ₈) - Y: 22.28 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tricli
01-089-2810 (C) - Hematite - Fe ₂ O ₃ - Y: 21.35 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo. Haxes - a 5.04000 -	01-089-2779 (C) - Portlandite - synthetic - Ca(OH) ₂ - Y: 25.21 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3.
	01-079-1910 (C) - Quartz - SiO ₂ - Y: 51.10 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400

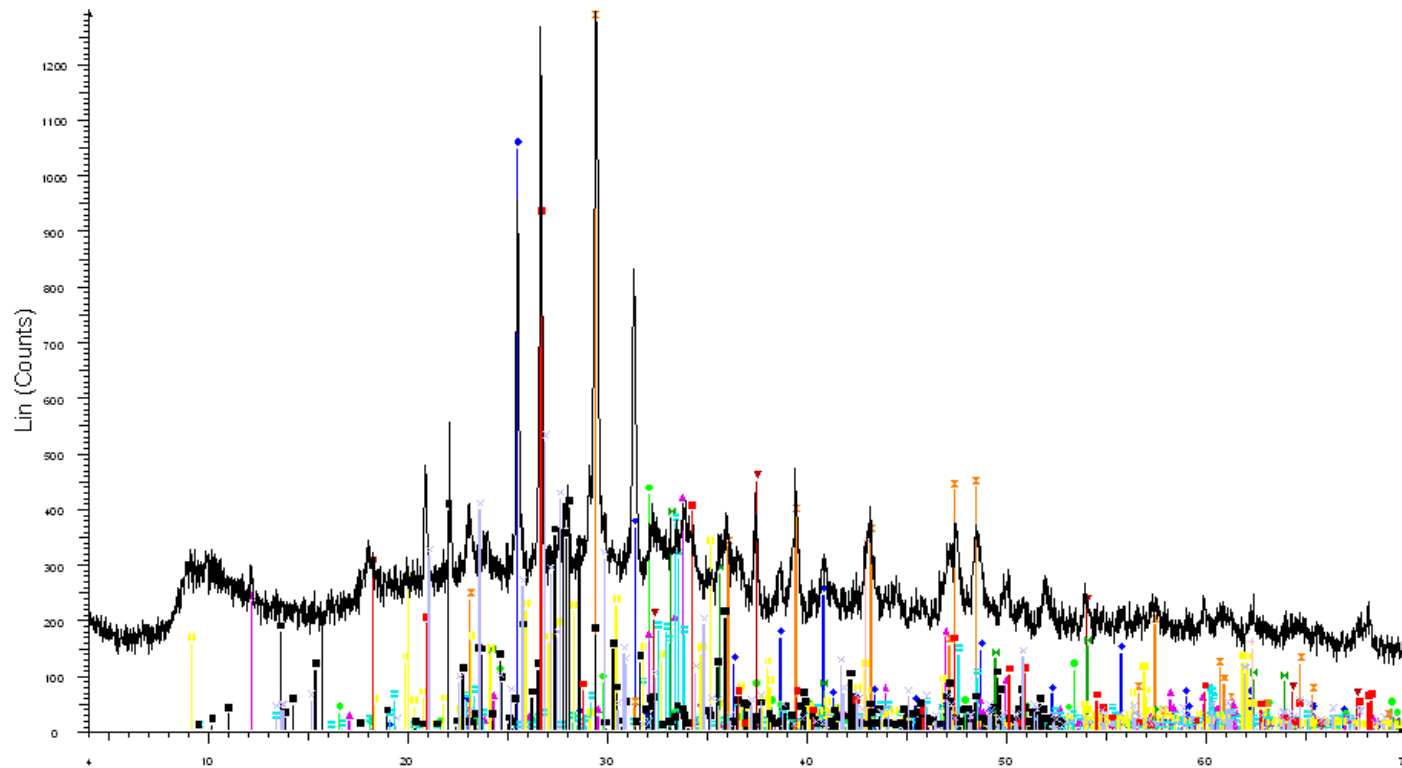
FAO117



FAO117 - File: d8160619.raw - Type: 2Th/Intensity - Locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step 1
 Operations: Import

01-086-2270 (A) - Anhydrite - CaSO_4 - Y: 69.96 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 -	01-089-2432 (C) - Merwinite, syn - $\text{Ca}_3\text{MgSiO}_4$ - Y: 24.93 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9. -
01-089-1489 (C) - Gekkoite - $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ - Y: 28.48 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 -	01-082-0577 (C) - Muscovite 2 ITM RG 1 - $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ - Y: 22.14 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo -
01-089-2827 (C) - Bismutite, Fe-rich - synthetic - $\text{Fe}_{1.33}\text{Al}_{0.67}\text{Ca}_2\text{O}_6$ - Y: 27.30 % - d x by: 1. - WL: 1.5 -	01-089-4248 (C) - Periclase, syn - MgO - Y: 22.14 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.210 -
01-082-1691 (C) - Lime - CaO - Y: 30.02 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.79670 - b 4.79670 - c 4.7 -	01-089-4946 (C) - Bytownite - $\text{Ca}_0.72\text{Na}_{0.28}(\text{Al}_{11.72}\text{Si}_{2.28}\text{O}_{38})$ - Y: 26.89 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic -
01-086-2339 (C) - Calcite - CaCO_3 - Y: 158.28 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo. Haxes - a 4.98400 -	01-089-2779 (C) - Portlandite - synthetic - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - Y: 25.36 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3. -
01-089-2810 (C) - Hematite - Fe_2O_3 - Y: 25.77 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo. Haxes - a 5.04000 -	01-079-1910 (C) - Quartz - SiO_2 - Y: 61.68 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400 -

FAO118

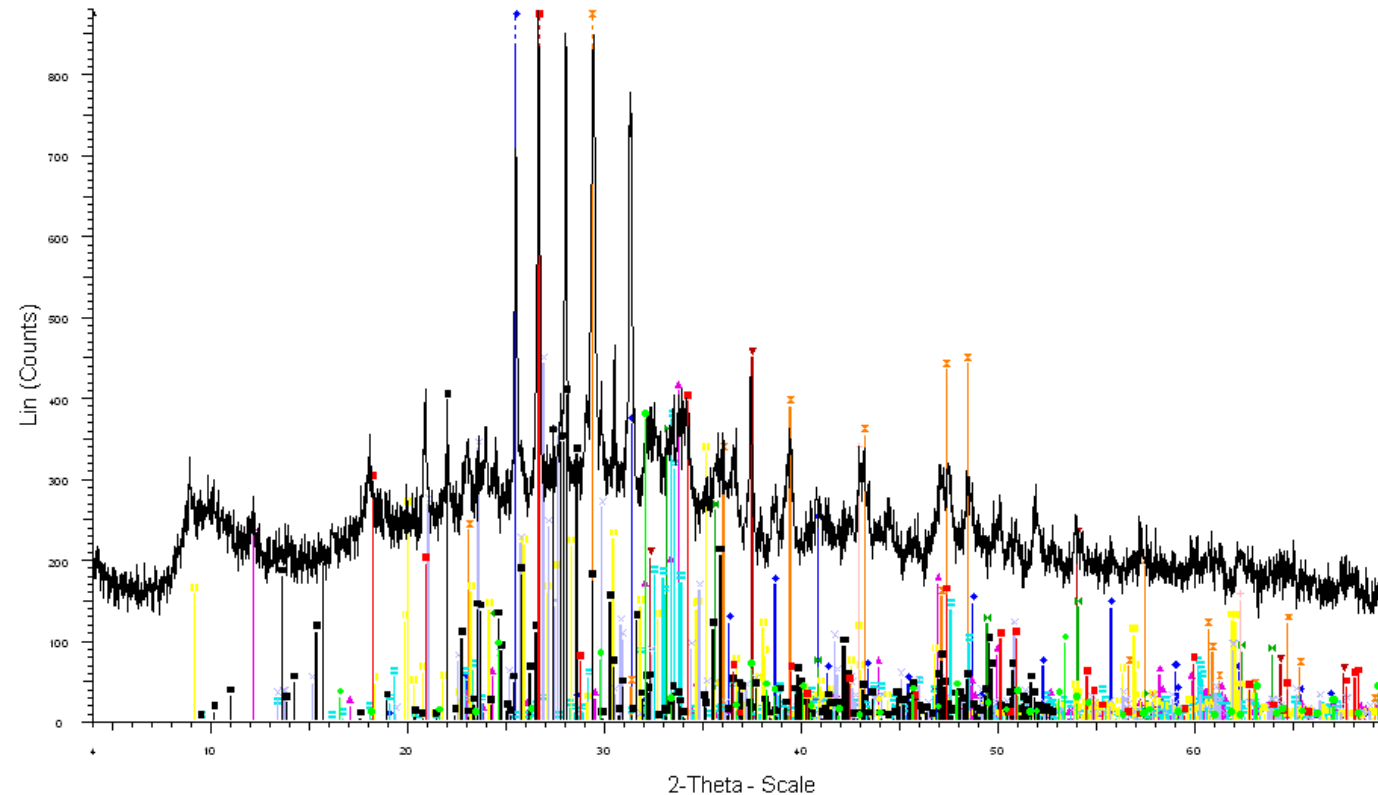


FAO118 - File:d8160680.raw - Type:2 θ / θ locked - Start:4.000 ° - End:69.998 ° - Step:0.019 ° - Step ti
Operations: Import

01-086-2270 (A) - Arkydrite - $\text{Ca}(\text{SO}_4)$ - Y: 81.16 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 -
01-089-1489 (C) - Gerkite - $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ - Y: 33.04 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 -
01-089-2827 (C) - Selenite - $\text{Fe}(\text{OH})_2$ - Y: 31.67 % - d x by: 1. - WL: 1.5
01-082-1691 (C) - Lime - CaO - Y: 34.83 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.79670 - b 4.79670 - c 4.7
01-086-2339 (C) - Calcite - $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ - Y: 183.62 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.Haxes - a 4.98400 -
01-089-2810 (C) - Hematite - Fe_2O_3 - Y: 29.90 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.Haxes - a 5.04000 -

01-089-2432 (C) - Mercurite, syn - $\text{Ca}_3\text{MgSi}_2\text{O}_{12}$ - Y: 28.92 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.
01-082-0577 (C) - Muscovite 2 ITM RG 1 - $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ - Y: 25.69 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo
01-086-0439 (C) - Orthoclase - $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ - Y: 40.37 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 8.59046 -
01-089-4248 (C) - Periclase, syn - MgO - Y: 25.69 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.210
01-089-4946 (C) - Bytownite - $\text{Ca}_0.72\text{Na}_0.28(\text{Al}_{1.72}\text{Si}_{2.28}\text{O}_8)$ - Y: 31.19 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclin
01-089-2779 (C) - Portlandite - $\text{synthetic-Ca}(\text{OH})_2$ - Y: 30.58 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3.
01-079-1910 (C) - Quartz - SiO_2 - Y: 71.56 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400

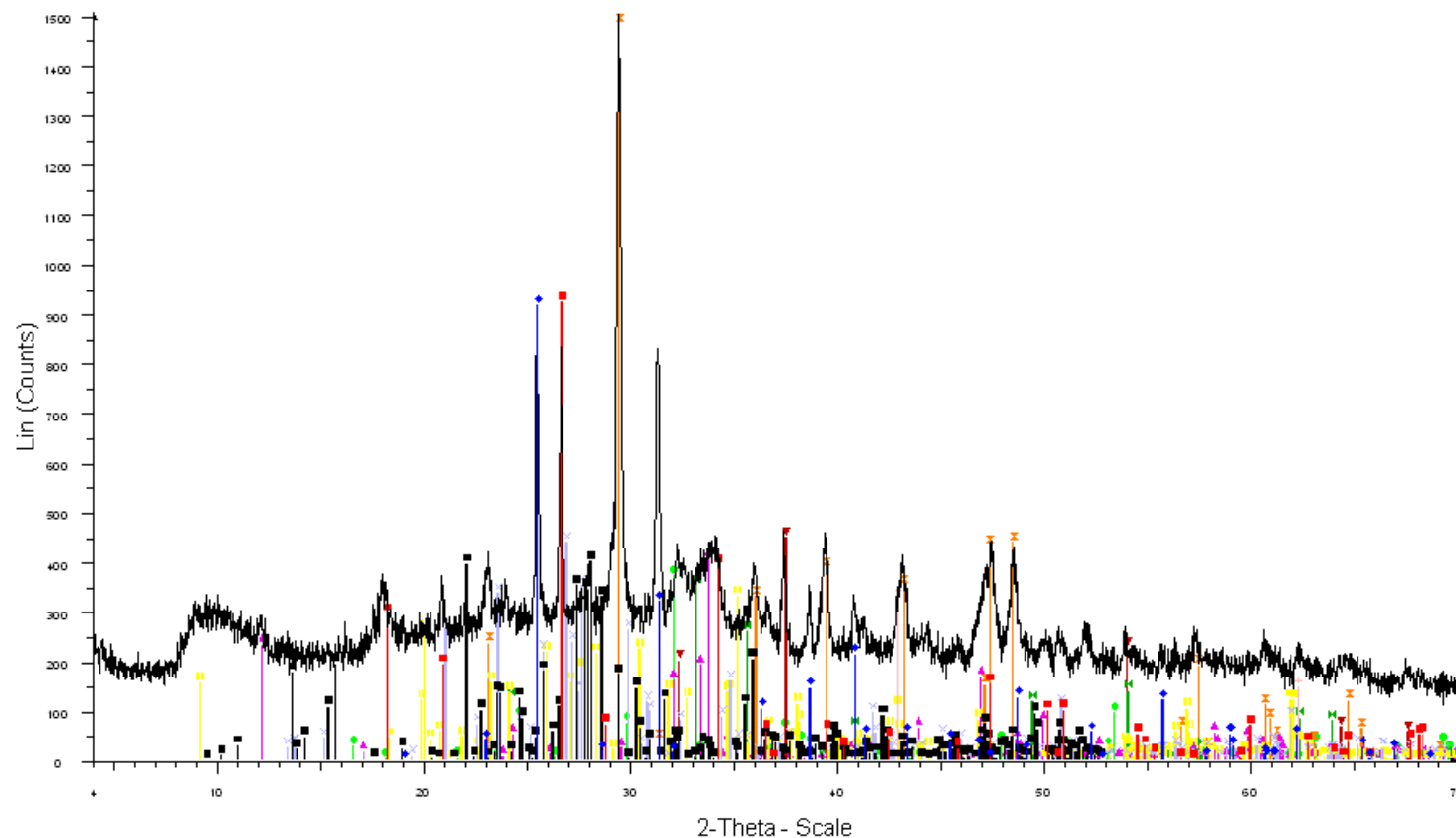
FAO124



FAO124 - File: d8160681.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step 0
 Operations: Import

01-086-2270 (A) - Anhydrite - CaSO_4 - Y: 119.66 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 -	01-089-2432 (C) - Merwinite, syn - $\text{Ca}_3\text{MgSi}_2\text{O}_{12}$ - Y: 42.64 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.10000 -
01-086-0439 (C) - Orthoclase - KAlSi_3O_8 - Y: 50.47 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 6.59046 -	01-082-0577 (C) - Muscovite 2H/M RG 1 - $\text{KAl}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)_2(\text{OH})_2$ - Y: 37.88 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo
01-089-1489 (C) - Gelscheite - $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ - Y: 42.64 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 -	01-086-0439 (C) - Orthoclase - KAlSi_3O_8 - Y: 50.47 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 6.59046 -
01-089-2827 (C) - Bismuthinite, Fe-tb1 - synthetic - $\text{Fe}_{1.33}\text{As}_{1.67}\text{Sb}_{0.67}\text{Sb}_{0.33}$ - Y: 16.69 % - d x by: 1. - WL: 1.5	01-089-4248 (C) - Periclase, syn - MgO - Y: 37.88 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.210
01-082-1691 (C) - Lime - CaO - Y: 51.35 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.19670 - b 4.19670 - c 4.1	01-089-4946 (C) - Bytownite - $\text{Ca}_0.72\text{Na}_{0.28}(\text{Al}_{1.72}\text{Si}_{2.28}\text{O}_8)$ - Y: 45.99 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclin
01-086-2339 (C) - Calcite - CaCO_3 - Y: 270.75 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.Haxes - a 4.98400 -	01-089-2779 (C) - Portlandite - synthetic - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - Y: 45.09 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3.7
01-089-2810 (C) - Hematite - Fe_2O_3 - Y: 40.41 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.Haxes - a 5.04000 -	01-079-1910 (C) - Quartz - SiO_2 - Y: 105.51 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.9140

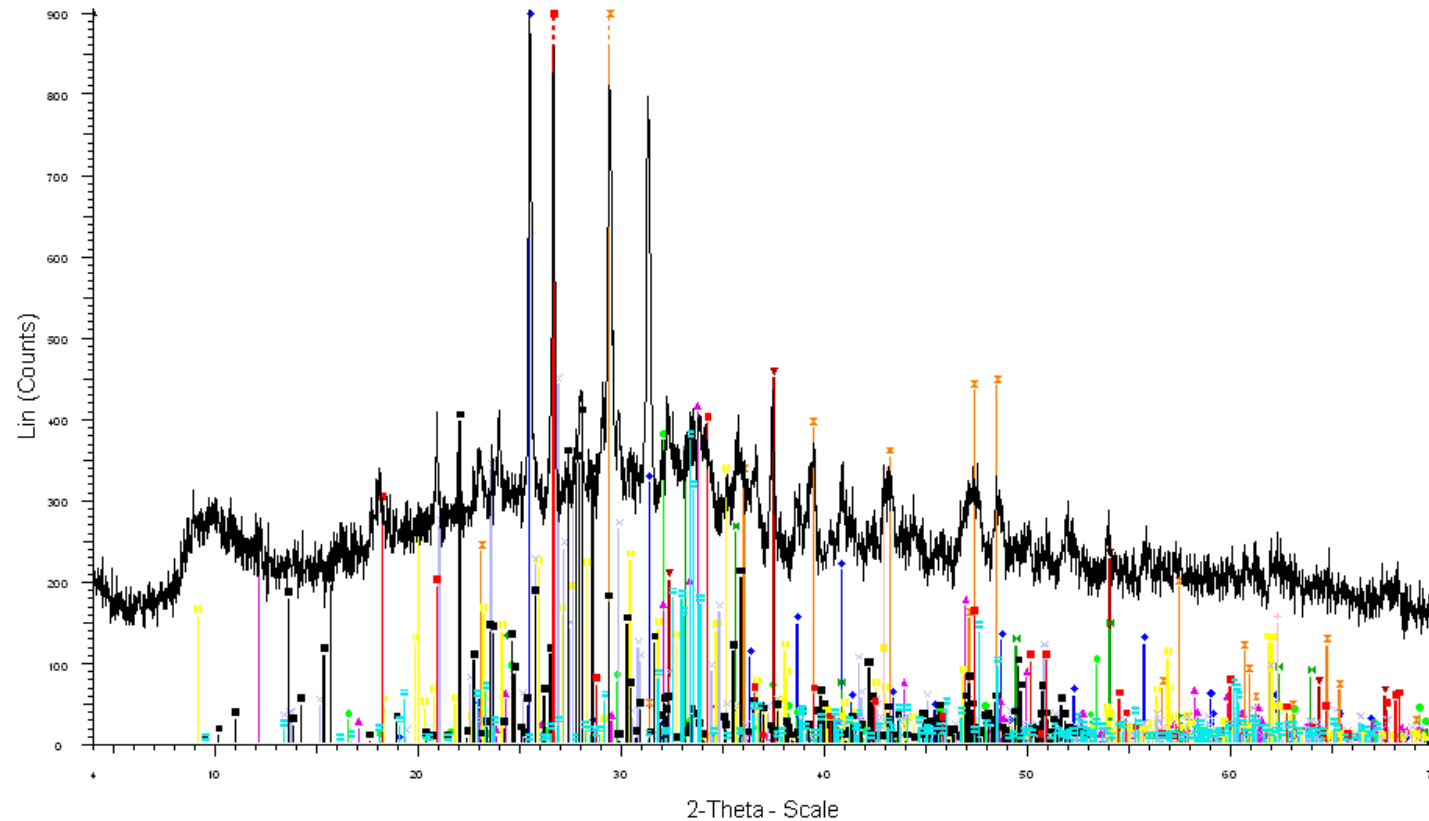
FAO127



FAO127 - File: d8160682.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step d
 Operations: Import

01-086-2270 (s) - Anhydrite - CaSO_4 - Y: 61.13 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 -	01-082-0577 (c) - Microcline 2 ITM RG 1 - $\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{OH})_2$ - Y: 22.11 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo
01-089-1489 (c) - Gekkoite - $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ - Y: 24.89 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 -	01-086-0439 (c) - Orthoclase - KAlSi_3O_8 - Y: 29.47 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 8.59046 -
01-089-2827 (c) - Bismutite - $\text{Fe-tribi-synthetic}$ - $\text{Fe}_1.33\text{Al}_0.67\text{Ca}_2\text{O}_6$ - Y: 27.26 % - d x by: 1. - WL: 1.5	01-089-4248 (c) - Periclase, syn - MgO - Y: 22.11 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.210
01-082-1691 (c) - Lime - CaO - Y: 29.98 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.79670 - b 4.79670 - c 4.7	01-089-4946 (c) - Bytownite - $\text{Ca}_0.72\text{Na}_0.28(\text{Al}_{11.72}\text{Si}_{2.28}\text{O}_{38})$ - Y: 26.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclin
01-086-2339 (c) - Calcite - CaCO_3 - Y: 158.07 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.Haxes - a 4.98400 -	01-089-2779 (c) - Portlandite - $\text{synthetic-Ca(OH)}_2$ - Y: 25.32 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3.
01-089-2810 (c) - Hematite - Fe_2O_3 - Y: 23.59 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.Haxes - a 5.04000 -	01-079-1910 (c) - Quartz - SiO_2 - Y: 61.60 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400

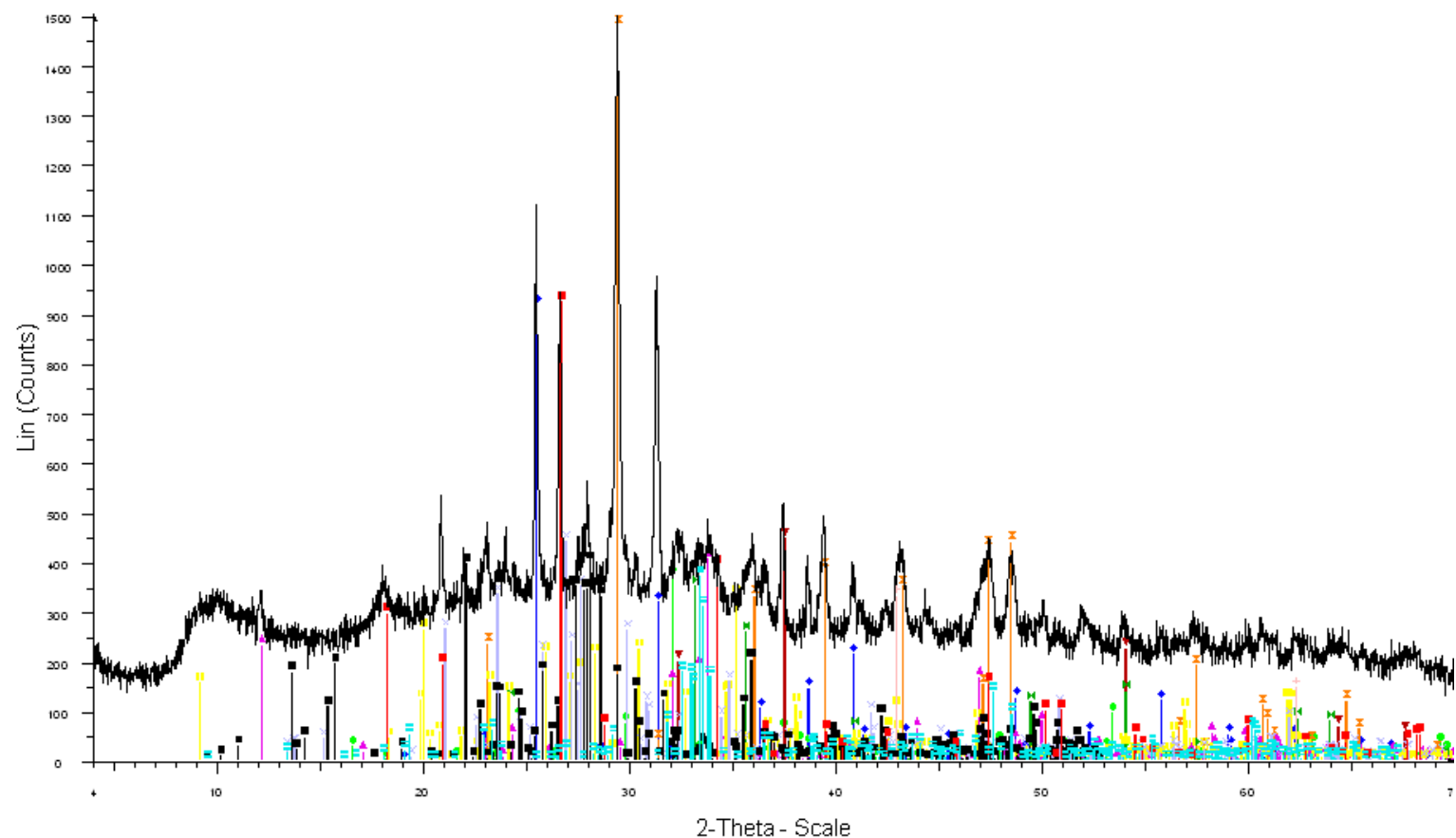
FAO131



FAO131 - File : d8160683.raw - Type : 2TH/TH locked - Start : 4.000 ° - End : 69.998 ° - Step : 0.019 ° - Step 0
 Operations : Import

01-086-2270 (A) - Anhydrite - CaSO_4 - Y: 101.93 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 -	01-089-2432 (C) - Merwinite, syn - $\text{Ca}_3\text{MgSi}_2\text{O}_{12}$ - Y: 41.50 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.1082 - b 9.1082 - c 9.1082 -
01-089-1489 (C) - Gekkoite - $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ - Y: 41.50 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 -	01-082-0577 (C) - Mesoscutite 2 ITM RG 1 - $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ - Y: 36.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo
01-089-2827 (C) - Bismuthite, Fe-rich - synthetic - $\text{Fe}_{1.33}\text{Al}_6\text{Ca}_{20}\text{S}_{15}$ - Y: 45.45 % - d x by: 1. - WL: 1.5	01-086-0439 (C) - Orthoclase - KAlSi_3O_8 - Y: 49.13 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 8.59046 -
01-082-1691 (C) - Lime - CaO - Y: 49.99 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.79670 - b 4.79670 - c 4.7	01-089-4248 (C) - Periclase, syn - MgO - Y: 36.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.210
01-086-2339 (C) - Calcite - CaCO_3 - Y: 263.57 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo. Haxes - a 4.98400 -	01-089-4946 (C) - Bytownite - $\text{Ca}_0.72\text{Na}_{0.28}\text{Al}_7\text{Si}_2\text{O}_{28}$ - Y: 44.77 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclin
01-089-2810 (C) - Hematite - Fe_2O_3 - Y: 39.34 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo. Haxes - a 5.04000 -	01-089-2779 (C) - Portlandite - synthetic - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - Y: 43.89 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3.5
	01-079-1910 (C) - Quartz - SiO_2 - Y: 102.71 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.9140

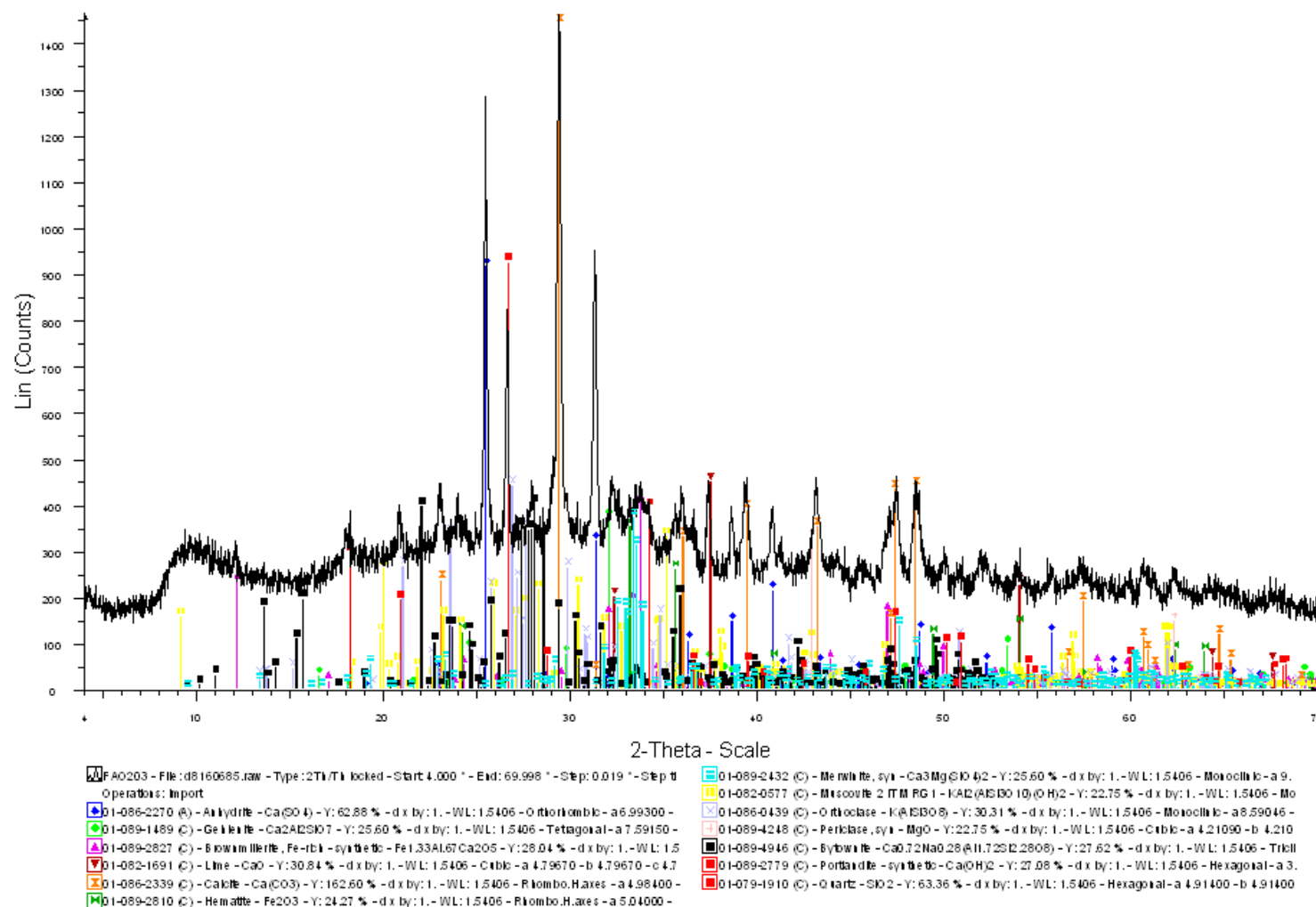
FAOM1



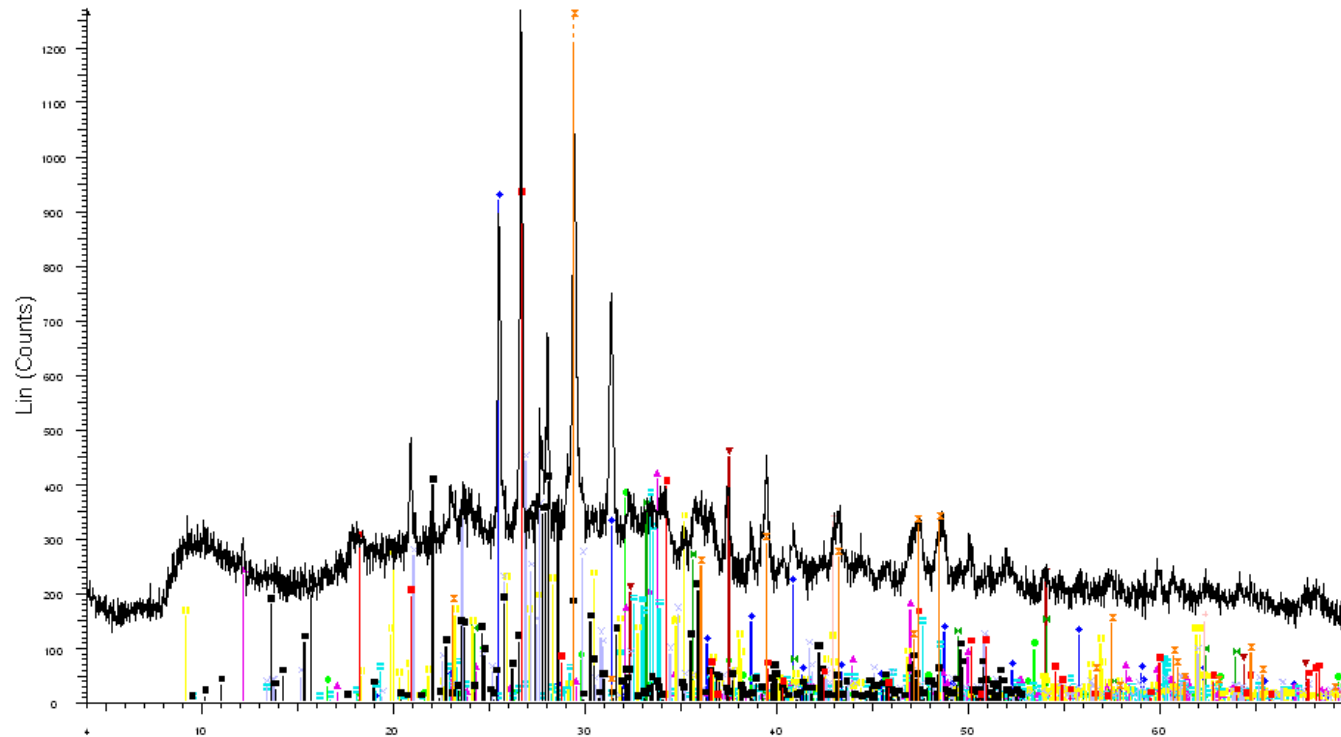
FAOM1 - File: d8160681.raw - Type: 2 θ / λ locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step ti
 Operations: Import

01-086-2270 (A) - Anhydrite - CaSO ₄ - Y: 61.25 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 -	01-089-2432 (C) - Merwinite, syn - Ca ₃ MgSiO ₄ SiO ₂ - Y: 24.94 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.1400 - b 9.1400 - c 10.1400 -
01-089-1489 (C) - Gerkite - Ca ₂ Al ₂ SiO ₇ - Y: 24.94 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 -	01-082-0577 (C) - Mesosulite 2 ITM RG 1 - KAl(AlSi ₃ O ₁₀) ₂ (OH) ₂ - Y: 22.16 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo
01-089-2827 (C) - Brownillerite, Fe-rich - synthetic - Fe _{1.33} Al _{0.67} Ca ₂ OS - Y: 27.31 % - d x by: 1. - WL: 1.5	01-086-0439 (C) - Orthoclase - K(AlSi ₃ O ₈) - Y: 29.52 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 8.59046 -
01-082-1691 (C) - Lime - CaO - Y: 30.04 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.79670 - b 4.79670 - c 4.7	01-089-4248 (C) - Periclase, syn - MgO - Y: 22.16 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.210
01-086-2339 (C) - Calcite - CaCO ₃ - Y: 158.39 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98400 -	01-089-4946 (C) - Bytownite - Ca _{0.72} Na _{0.28} (Al _{1.72} Si _{2.28} O ₈) - Y: 26.91 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclin
01-089-2810 (C) - Hematite - Fe ₂ O ₃ - Y: 23.64 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.04000 -	01-089-2779 (C) - Portlandite - synthetic - Ca(OH) ₂ - Y: 26.38 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3.5
	01-079-1910 (C) - Quartz - SiO ₂ - Y: 61.72 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400

FAO203



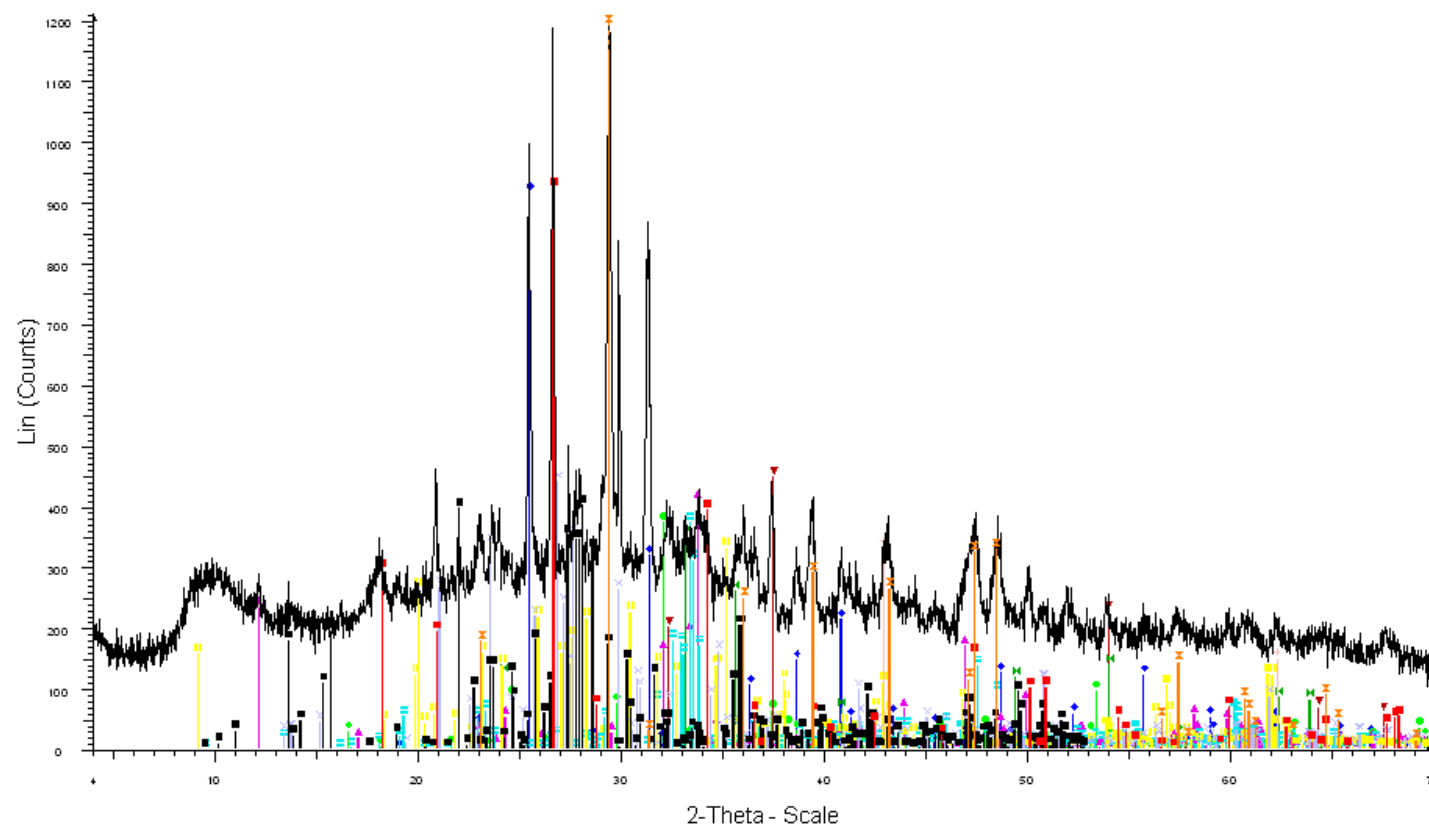
FAO209



FAO209 - File: d8160686.raw - Type: 2TH/Theta locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step fit
 Operations: Import

01-086-2270 (A) - Anhydrite - CaSO_4 - Y: 72.52 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 -	01-089-2432 (C) - Merwinite, syn - $\text{Ca}_3\text{MgSiO}_4$ - Y: 29.53 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9. -
01-089-1489 (C) - Gehlenite - $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ - Y: 29.53 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 -	01-082-0577 (C) - Muscovite 2 ITM RG 1 - $\text{KAl}_2(\text{BSiO}_3)_2(\text{OH})_2$ - Y: 26.23 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo -
01-089-2827 (C) - Bismutite, Fe-rich - synthet - $\text{Fe}_{1.33}\text{Al}_{0.67}\text{Ca}_{2.05}$ - Y: 32.34 % - d x by: 1. - WL: 1.5 -	01-086-0439 (C) - Orthoclase - $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ - Y: 34.96 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 8.59046 -
01-082-1691 (C) - Lime - CaO - Y: 35.57 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.79670 - b 4.79670 - c 4.7 -	01-089-4248 (C) - Periclase, syn - MgO - Y: 26.23 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.210 -
01-086-2339 (C) - Calcite - CaCO_3 - Y: 140.65 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo. Haxes - a 4.98400 -	01-089-4946 (C) - Bytownite - $\text{Ca}_0.72\text{Na}_0.28(\text{Al}_{11.72}\text{Si}_{2.28}\text{O}_{38})$ - Y: 31.86 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclin -
01-089-2810 (C) - Hematite - Fe_2O_3 - Y: 27.99 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo. Haxes - a 5.04000 -	01-089-2779 (C) - Portlandite - synthet - Ca_3OH_2 - Y: 31.23 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3. -
	01-079-1910 (C) - Quartz - SiO_2 - Y: 73.08 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400 -

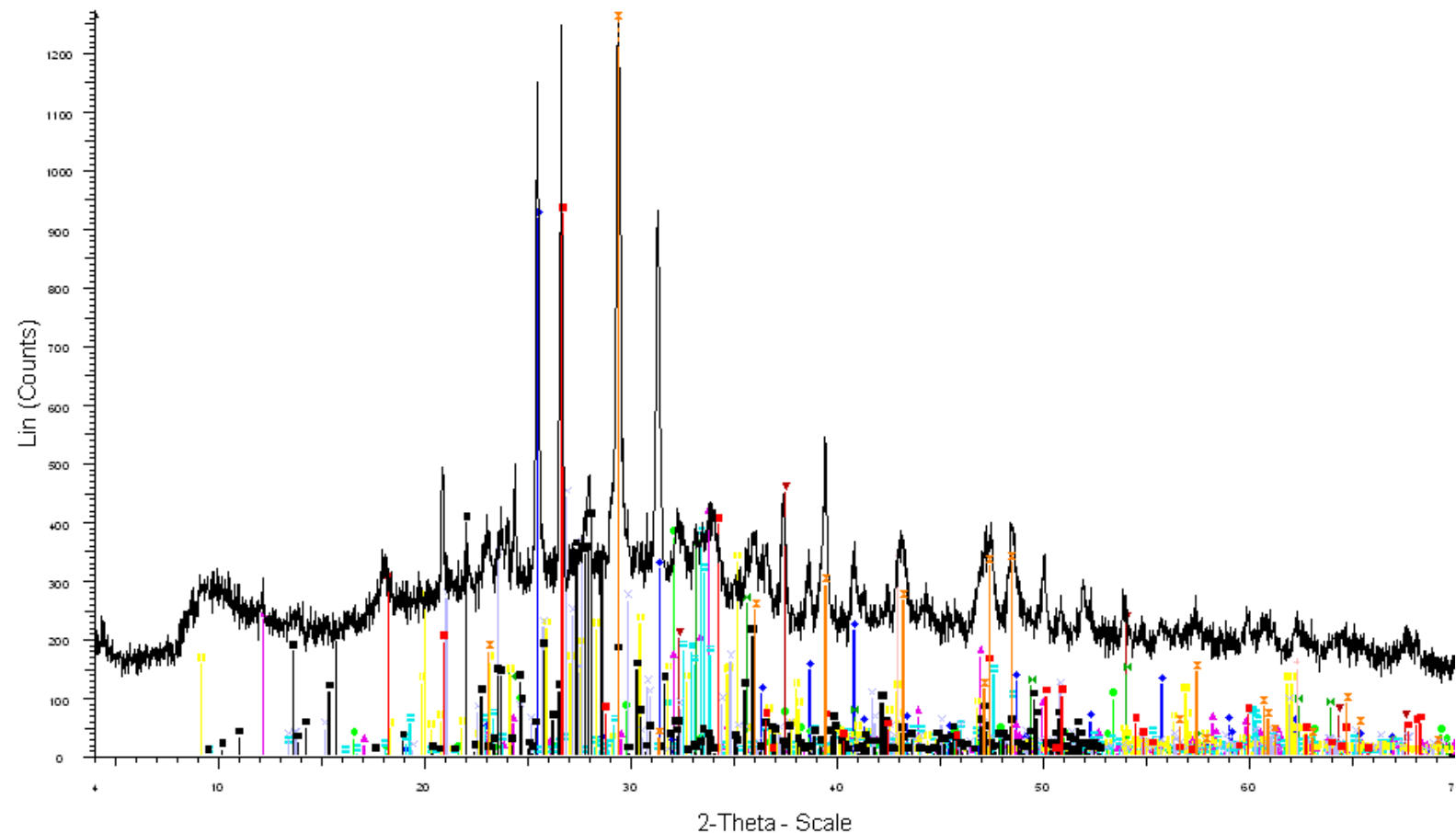
FAO210



FAO210 - File: d8160687.raw - Type: 2 θ / θ locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step fit
 Operations: Import

01-086-2270 (s) - Anhydrite - Ca(SO ₄) - Y: 76.11 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 -	01-089-2432 (c) - Mercurite, syn - Ca ₃ Mg(SiO ₄) ₂ - Y: 30.99 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.1
01-089-1489 (c) - Gekkieite - Ca ₂ Al ₂ SiO ₇ - Y: 30.99 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 -	01-082-0577 (c) - Mesoselite 2 TTH PG 1 - KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂ - Y: 27.53 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo
01-089-2827 (c) - Bismuthite, Fe-Rb - synthetic - Fe _{1.33} Al _{0.67} Ca ₂ O ₅ - Y: 33.94 % - d x by: 1. - WL: 1.5	01-086-0439 (c) - Orthoclase - K(AlSi ₃ O ₈) - Y: 36.69 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 8.59046 -
01-082-1691 (c) - Lime - CaO - Y: 37.33 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.79670 - b 4.79670 - c 4.7	01-089-4248 (c) - Periclase, syn - MgO - Y: 27.53 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.210
01-086-2339 (c) - Calcite - Ca(CO ₃) - Y: 147.61 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98400 -	01-089-4946 (c) - Bytownite - Ca _{0.72} Na _{0.28} (Al _{11.72} Si _{2.28} O ₃₈) - Y: 33.43 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclin
01-089-2810 (c) - Hematite - Fe ₂ O ₃ - Y: 29.37 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.04000 -	01-089-2779 (c) - Portlandite - synthetic - Ca(OH) ₂ - Y: 32.78 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3.
	01-079-1910 (c) - Quartz - SiO ₂ - Y: 76.69 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400

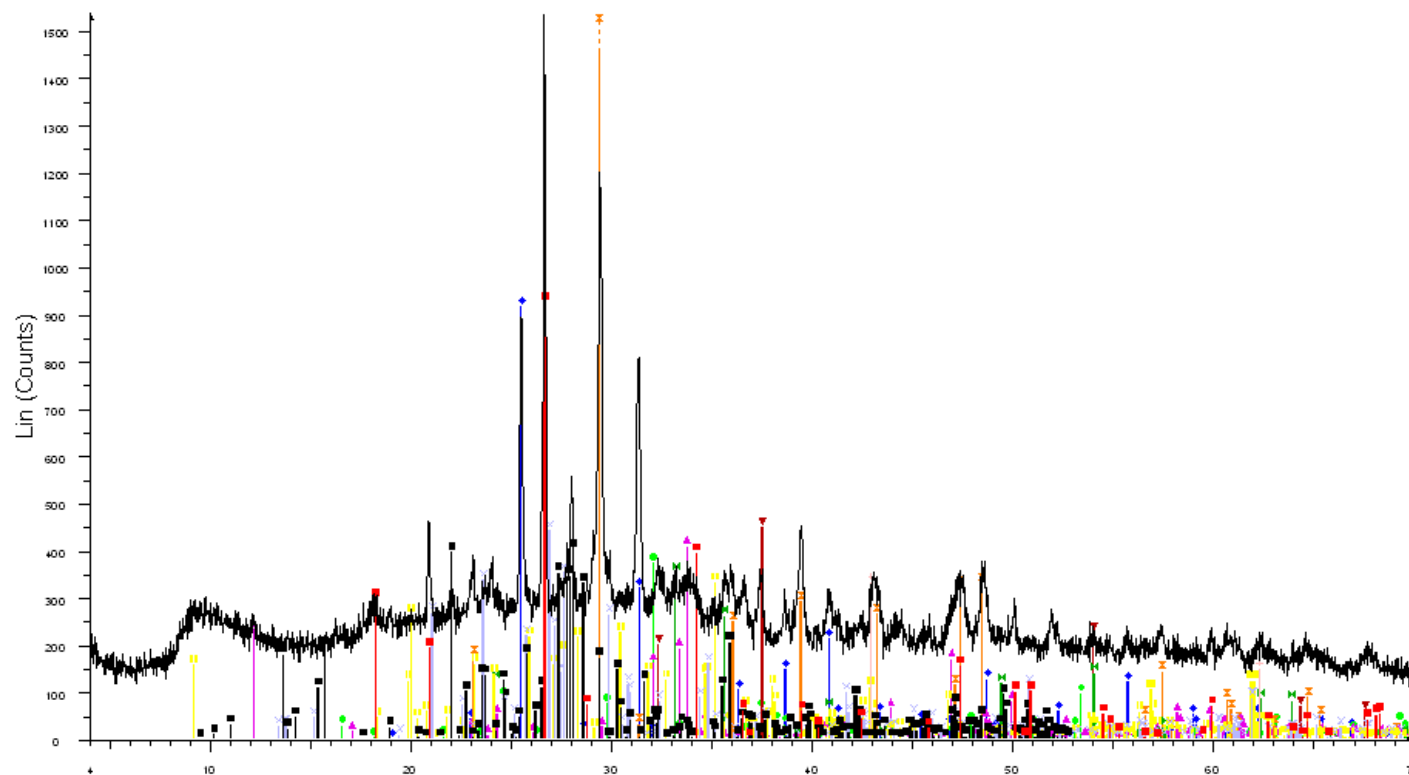
FAO211



FAO211 - File:d8160688.raw - Type:2Th/Intensity locked - Start:4.000 ° - End:69.998 ° - Step:0.019 ° - Step time:0.100 s
 Operations: Import

01-086-2270 (A) - Anhydrite - CaSO_4 - Y:72.46 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 - b 6.99300 - c 6.99300	01-089-2432 (C) - Merwinite, syn - $\text{Ca}_3\text{MgSiO}_4\text{O}_2$ - Y:29.51 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.1400 - b 9.1400 - c 9.1400
01-089-1489 (C) - Gelsierite - $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ - Y:29.50 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 - c 7.59150	01-082-0577 (C) - Muscovite 2 ITM RG 1 - $\text{KAl}(\text{Si}_3\text{O}_{10})\text{OH}_2$ - Y:26.21 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 8.59046 - b 8.59046 - c 8.59046
01-089-2827 (C) - Brownillerite, Fe-rich - synthetic - $\text{Fe}_{1.33}\text{Al}_{0.67}\text{CaO}_5$ - Y:32.31 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.1400 - b 9.1400 - c 9.1400	01-086-0439 (C) - Orthoclase - $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ - Y:34.93 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 8.59046 - b 8.59046 - c 8.59046
01-082-1691 (C) - Lime - CaO - Y:35.54 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.79670 - b 4.79670 - c 4.79670	01-089-4248 (C) - Periclase, syn - MgO - Y:26.21 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.21090 - c 4.21090
01-086-2339 (C) - Calcite - CaCO_3 - Y:140.54 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98400 - b 4.98400 - c 4.98400	01-089-4946 (C) - Bytownite - $\text{Ca}_0.72\text{Na}_0.28(\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_7\text{O}_8)$ - Y:31.83 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 9.1400 - b 9.1400 - c 9.1400
01-089-2810 (C) - Hematite - Fe_2O_3 - Y:27.97 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.04000 - b 5.04000 - c 5.04000	01-089-2779 (C) - Portlandite - synthetic - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - Y:31.20 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400 - c 4.91400
	01-079-1910 (C) - Quartz - SiO_2 - Y:73.02 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400 - c 4.91400

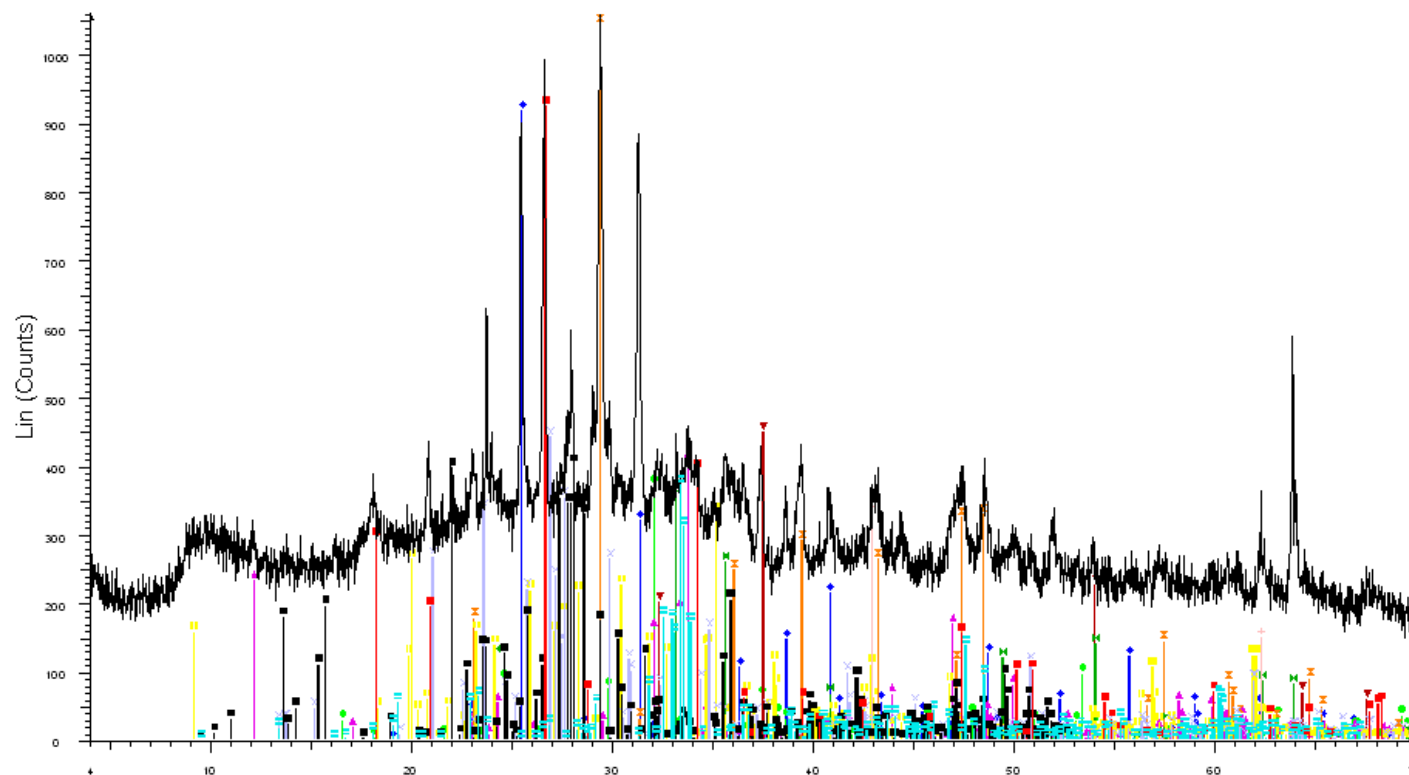
FAO216



2-Theta - Scale

- FAO216 - File:d8160689.raw - Type:2TH/TL - locked - Start:4.000 ° - End:69.998 ° - Step:0.019 ° - Step ti
 Operations: Import
- | | |
|---|---|
| 01-086-2270 (F) - Anhydrite - CaSO_4 - Y: 59.94 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 - | 01-082-0577 (C) - Muscovite 2 ITM PG 1 - $\text{KAl}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)_2(\text{OH})_2$ - Y: 21.68 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo |
| 01-089-1489 (C) - Gelsiteite - $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ - Y: 24.40 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 - | 01-086-0439 (C) - Orthoclase - $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ - Y: 28.89 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 8.59046 - |
| 01-089-2827 (C) - Ironiumillerite, Fe-rich - synthetic - $\text{Fe}_{1.33}\text{Al}_{0.67}\text{Ca}_{20}\text{S}$ - Y: 26.73 % - d x by: 1. - WL: 1.5 | 01-089-4248 (C) - Periclase, syn - MgO - Y: 21.68 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.210 |
| 01-082-1691 (C) - Lime - CaO - Y: 29.40 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.79670 - b 4.79670 - c 4.7 | 01-089-4946 (C) - Bytownite - $\text{Ca}_0.72\text{Na}_{0.28}(\text{Al}_{11.72}\text{Si}_{2.28}\text{O}_{38})$ - Y: 26.33 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclin |
| 01-086-2339 (C) - Calcite - CaCO_3 - Y: 116.25 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98400 - | 01-089-2779 (C) - Portlandite - synthetic - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - Y: 25.81 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3. |
| 01-089-2810 (C) - Hematite - Fe_2O_3 - Y: 23.13 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.04000 - | 01-079-1910 (C) - Quartz - SiO_2 - Y: 60.40 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400 |

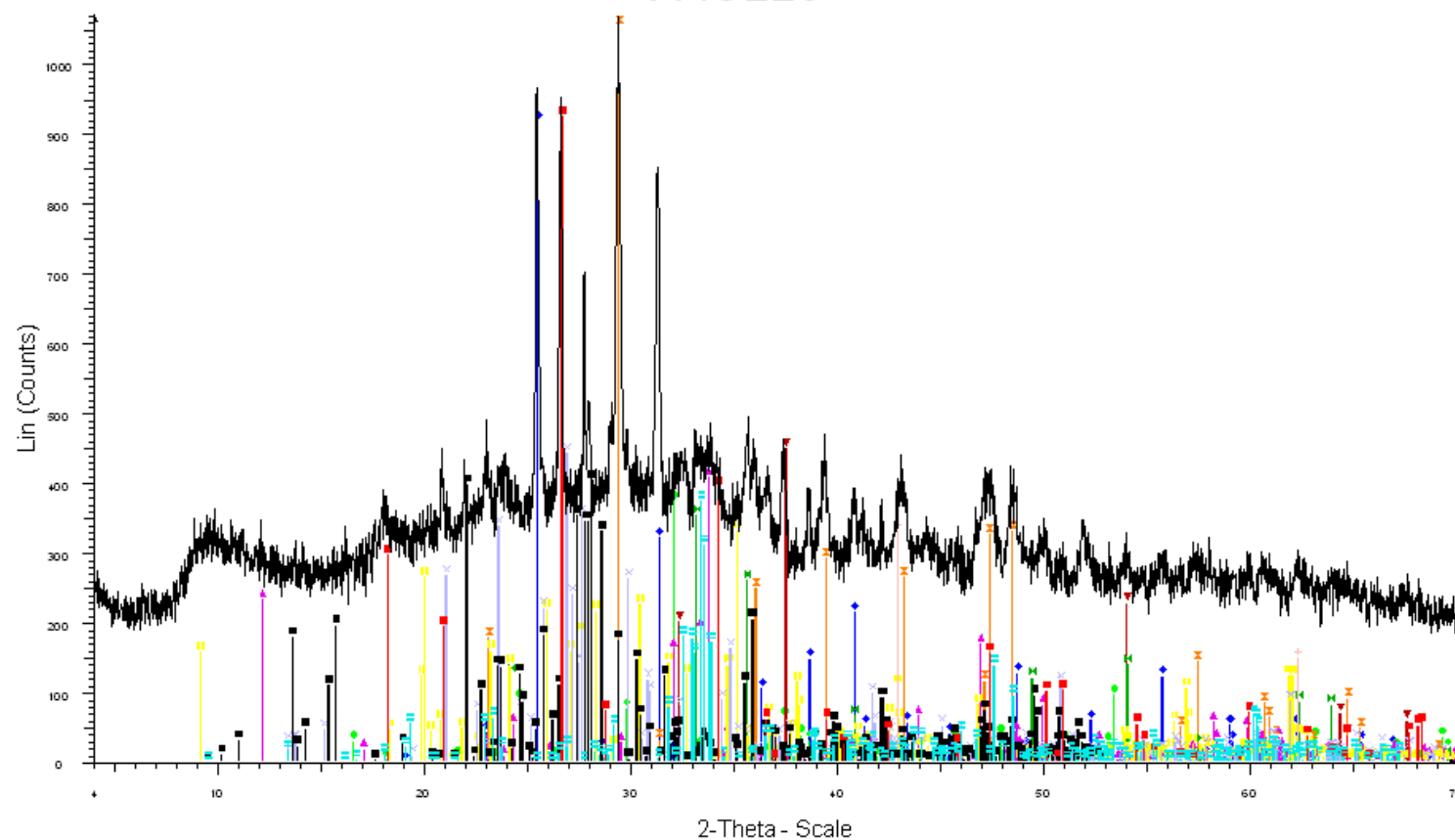
FAO219



FAO219 - File: d8160690.raw - Type: 2 θ / λ locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step ti
 Operations: Import

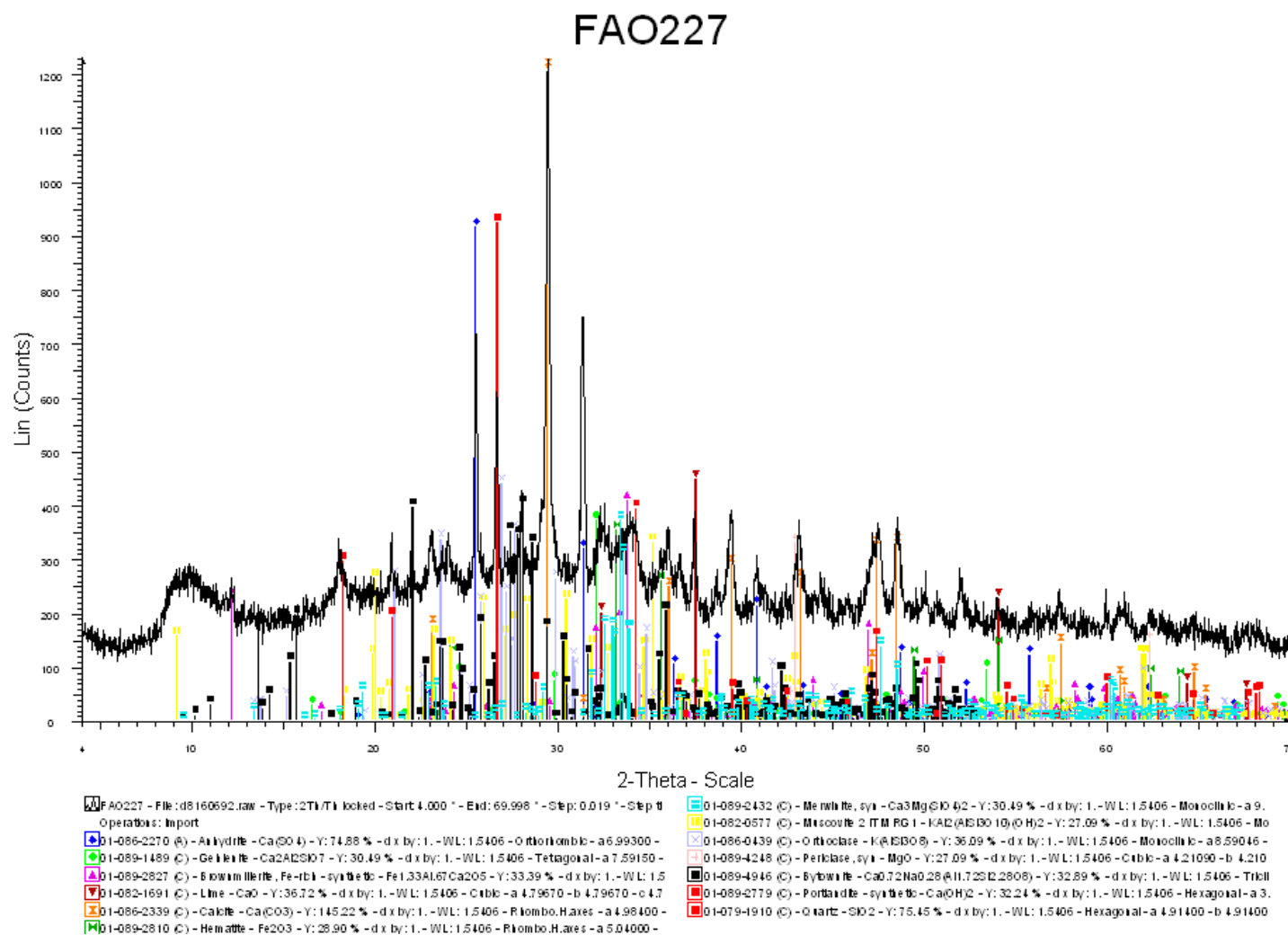
01-086-2270 (C) - Anhydrite - Ca(SO ₄) - Y: 86.86 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 -	01-089-2432 (C) - Merwinite, syn - Ca ₃ Mg(SiO ₄) ₂ - Y: 35.37 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.
01-089-1489 (C) - Gahnite - Ca ₂ Al ₂ SiO ₇ - Y: 35.37 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 -	01-082-0577 (C) - Muscovite 2 T T M PG 1 - KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂ - Y: 31.42 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo
01-089-2827 (C) - Sideromillite, Fe-rich - synthetic - Fe _{1.33} Al _{0.67} Ca ₂ O ₅ - Y: 38.73 % - d x by: 1. - WL: 1.5	01-086-0439 (C) - Orthoclase - K(AlSi ₃ O ₈) - Y: 41.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 8.59046 -
01-082-1691 (C) - Lime - CaO - Y: 42.60 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.79670 - b 4.79670 - c 4.7	01-089-4248 (C) - Periclase, syn - MgO - Y: 31.42 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.210
01-086-2339 (C) - Calcite - Ca(CO ₃) - Y: 168.46 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.Haxes - a 4.98400 -	01-089-4946 (C) - Strydomite - Ca _{0.72} Na _{0.28} (Al ₁₁ Si ₂ O ₂₈) - Y: 38.15 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclin
01-089-2810 (C) - Hematite - Fe ₂ O ₃ - Y: 33.52 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.Haxes - a 5.04000 -	01-089-2779 (C) - Portlandite - synthetic - Ca(OH) ₂ - Y: 37.40 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3.
	01-079-1910 (C) - Quartz - SiO ₂ - Y: 87.53 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400

FAO225

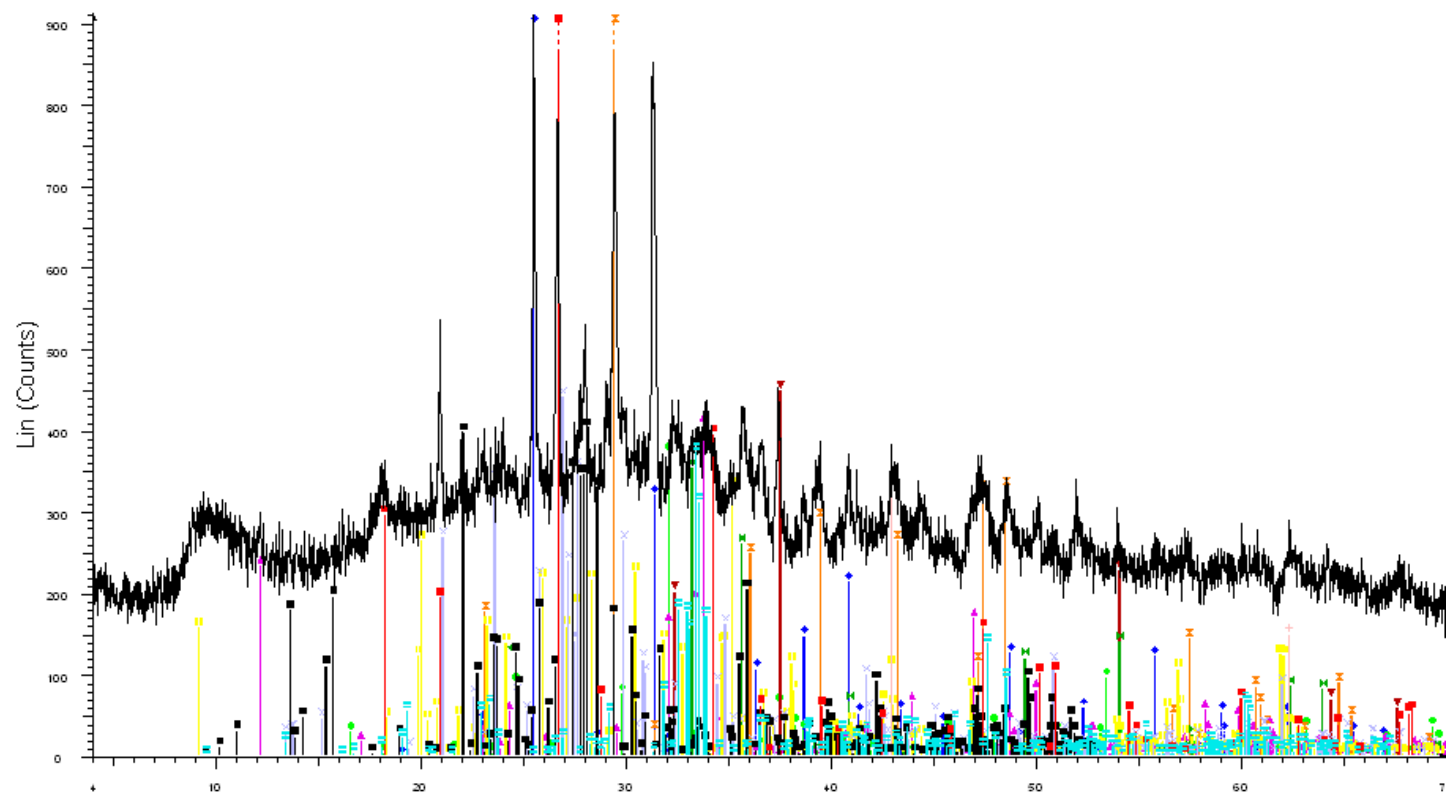


FAO225 - File: d8160691.raw - Type: 2 θ / λ locked - Start: 4.000 ° - End: 69.996 ° - Step: 0.019 ° - Step 0
 Operations: Import

01-086-2270 (A) - Anhydrite - Ca(SO ₄) - Y: 86.05 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 -	01-089-2432 (C) - Merwinite, syn - Ca ₃ MgSiO ₄ - Y: 35.04 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.1
01-089-1489 (C) - Gelsiteite - Ca ₂ Al ₂ SiO ₇ - Y: 35.04 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 -	01-082-0577 (C) - Mesovite 2 ITM PG 1 - KAl ₂ (AlSiO ₃) ₂ (OH) ₂ - Y: 31.13 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo
01-089-2827 (C) - Bismutite, Fe-Fe - synthetic - Fe _{1.33} Al _{0.67} Ca ₂ O ₅ - Y: 38.37 % - d x by: 1. - WL: 1.5	01-086-0439 (C) - Orthoclase - K(AlSi ₃ O ₈) - Y: 41.48 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 8.59046 -
01-082-1691 (C) - Lime - CaO - Y: 42.20 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.79670 - b 4.79670 - c 4.7	01-089-4248 (C) - Periclase, syn - MgO - Y: 31.13 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.210
01-086-2339 (C) - Calcite - Ca(CO ₃) - Y: 166.89 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo. Haxes - a 4.98400 -	01-089-4946 (C) - Sybowite - Ca _{0.72} Na _{0.28} (Al ₁₁ Si ₂ O ₂₈) - Y: 37.80 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclin
01-089-2810 (C) - Hematite - Fe ₂ O ₃ - Y: 33.21 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo. Haxes - a 5.04000 -	01-089-2779 (C) - Portlandite - synthetic - Ca(OH) ₂ - Y: 37.06 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3.
	01-079-1910 (C) - Quartz - SiO ₂ - Y: 86.71 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400



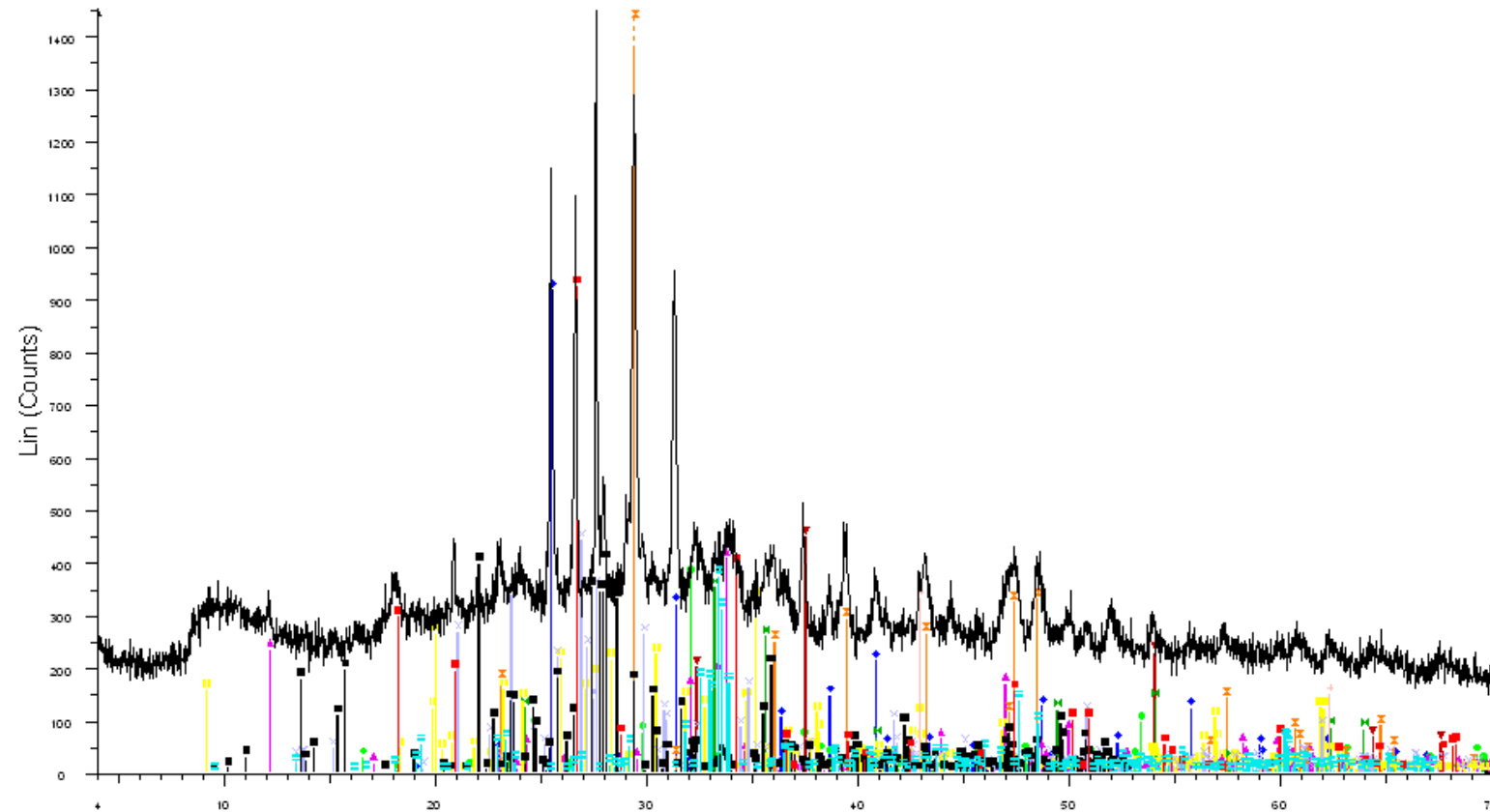
FAO231



2-Theta - Scale

- FAO231 - File: d8160693.raw - Type: 2 θ / λ locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step 0
 Operations: Import
- | | |
|---|--|
| 01-086-2270 (A) - Anhydrite - CaSO ₄ - Y: 101.04 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 - | 01-089-2432 (C) - Merwinite, syn - Ca ₃ MgSiO ₆ - Y: 41.14 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9. - |
| 01-086-1489 (C) - Gellite - Ca ₂ Al ₂ SiO ₇ - Y: 41.14 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 - | 01-082-0577 (C) - Muscovite 2 ITM PG 1 - KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀) ₂ (OH) ₂ - Y: 36.55 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo - |
| 01-089-2827 (C) - Bismutite, Fe-rich - synthetic - Fe _{1.33} Al _{0.67} Ca ₂ O ₅ - Y: 45.05 % - d x by: 1. - WL: 1.5 - | 01-086-0439 (C) - Orthoclase - K ₂ (AlSi ₃ O ₈) - Y: 48.70 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 8.59046 - |
| 01-082-1691 (C) - Lime - CaO - Y: 49.55 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.79670 - b 4.79670 - c 4.7 - | 01-089-4248 (C) - Periclase, syn - MgO - Y: 36.55 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.210 - |
| 01-086-2339 (C) - Calcite - Ca(CO ₃) - Y: 195.96 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo. H. axes - a 4.98400 - | 01-089-4946 (C) - Bytownite - Ca _{0.72} Na _{0.28} (Al _{1.72} Si _{0.28} O ₆) - Y: 44.38 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclin - |
| 01-089-2810 (C) - Hematite - Fe ₂ O ₃ - Y: 38.99 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo. H. axes - a 5.04000 - | 01-089-2779 (C) - Portlandite - synthetic - Ca(OH) ₂ - Y: 43.51 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3. - |
| | 01-079-1910 (C) - Quartz - SiO ₂ - Y: 101.81 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.9140 - |

FAOM2



FAOM2 - File: d8160694.raw - Type: 2 θ / λ locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step ti
 Operations: Import

01-086-2270 (A) - Anhydrite - CaSO ₄ - Y: 63.49 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 6.99300 -	01-089-2432 (C) - Merwinite, syn - Ca ₃ Mg ₂ SiO ₆ - Y: 25.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9. -
01-089-1489 (C) - Gellite - Ca ₂ Al ₂ SiO ₇ - Y: 25.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.59150 -	01-082-0577 (C) - Muscovite 2 ITM RG 1 - KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂ - Y: 22.97 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo -
01-089-2827 (C) - Brownmillerite, Fe-rtb - synthetic - Fe _{1.33} Al _{0.67} Ca ₂ O ₅ - Y: 28.31 % - d x by: 1. - WL: 1.5 -	01-086-0439 (C) - Orthoclase - K(AlSi ₃ O ₈) - Y: 30.60 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 8.59046 -
01-082-1691 (C) - Lime - CaO - Y: 31.14 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.79670 - b 4.79670 - c 4.7 -	01-089-4248 (C) - Periclase, syn - MgO - Y: 22.97 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 4.21090 - b 4.210 -
01-086-2339 (C) - Calcite - Ca(CO ₃) - Y: 123.13 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98400 -	01-089-4946 (C) - Bytownite - Ca _{0.72} Na _{0.28} (Al _{1.72} Si _{2.28} O ₈) - Y: 27.89 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclin -
01-089-2810 (C) - Hematite - Fe ₂ O ₃ - Y: 24.50 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.04000 -	01-089-2779 (C) - Portlandite - synthetic - Ca(OH) ₂ - Y: 27.34 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3. -
	01-079-1910 (C) - Quartz - SiO ₂ - Y: 63.97 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91400 - b 4.91400 -