

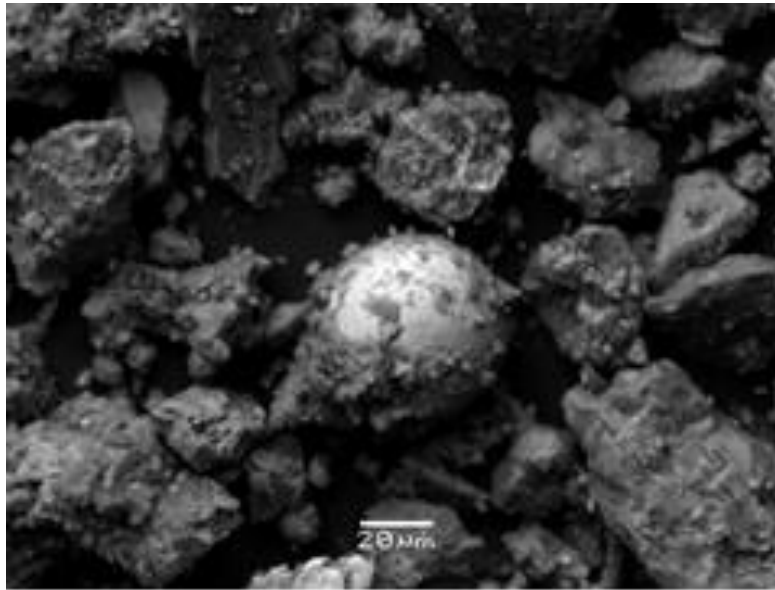


ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών  
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ  
ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΣΜΟΥ ΣΤΕΡΕΩΝ  
ΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΟΛΟΥ ΚΑΙ  
ΑΛΜΥΡΟΥ**



**ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΒΟΥΡΔΕΛΗΣ**

AM 1114201200013

Επιβλέπουσα  
Αριάδνη Αργυράκη  
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

ΑΘΗΝΑ 2019

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσης προκαταρκτικής μελέτης είναι η ανίχνευση ανθρωπογενών και γεωγενών πηγών δυνητικά τοξικών ιχνοστοιχείων στο επιφανειακό περιβάλλον της περιοχής του Βόλου και του Αλμυρού. Στόχος της έρευνας είναι ο ορυκτολογικός χαρακτηρισμός δειγμάτων επιφανειακού εδάφους, σκόνης οδοστρώματος, επιλεγμένων πετρωμάτων και σκωριών χαλυβουργίας από την περιοχή μελέτης. Μετά την επεξεργασία του υλικού με ξήρανση, την δια χειρός απομάκρυνση οργανικής ύλης (φυτικά υπολείμματα) και της χρήσης κόσκινου, πραγματοποιήθηκε ο τετραμερισμός των δειγμάτων και η συλλογή δύο αντιδιαμετρικών τετάρτων. Από τα τελευταία, με την βοήθεια κόσκινου, έγινε λήψη λεπτόκοκκου κλάσματος (<10 μm), το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση XRD (X-Ray Diffraction) και SEM (Scanning electron microscope). Το υπόλοιπο υλικό τοποθετήθηκε σε ειδικό σακουλάκι με την κατάλληλη ονομασία ως δείγμα αρχείου.

**Λέξεις κλειδιά:** περιβαλλοντική γεωχημεία, τοξικά ιχνοστοιχεία, XRD, Βόλος, Αλμυρός

## ABSTRACT

The objective of this preliminary study is the detection of anthropogenic and geogenic sources of potential toxic elements in the surface area of Volos and Almyros. The aim of this research is to define the mineralogical characteristics of samples from steel slags, selected rocks, soil and road surfaces of the regions in question. The samples were processed by drying, manual removal of organic material and the use of a 2 mm sieve. This was followed by quartering for mass reduction and further sieving to -100 µm. The fine fraction was analyzed by X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning electron microscope (SEM). The post processing remaining products were filed for future use.

**Keywords:** Environmental geochemistry, toxic trace elements, XRD, Volos, Almyros

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Εκφράζω την μεγάλη μου ευγνωμοσύνη σε όλους, όσοι συνέβαλαν στο να ολοκληρώσω την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της εργασίας αυτής, κα Αριάδνη Αργυράκη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, για την πολύτιμη, ακούραστη, διαρκή βοήθειά της και την συνεχή υποστήριξη της. Τις θερμές μου ευχαριστίες απευθύνω στον Δρ. Ευστράτιο Κελεπερτζή, ΕΔΙΠ του Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας, και όσους βοήθησαν για την συλλογή των υπαίθριων δειγμάτων, καθώς και την καθοδήγηση κατά την προετοιμασία των δειγμάτων, στην Δρ. Ζαχαρένια Κυπριτίδου κατά την αποτίμηση των αποτελεσμάτων του XRD και στον κ. Βασίλη Σκουνάκη στην χρήση του SEM.

## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ABSTRACT.....	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1. Σκοπιμότητα και στόχοι .....	7
1.2. Περιγραφή της περιοχής μελέτης.....	7
1.2.1. Γεωγραφία και γεωλογία.....	7
1.2.2. Χρήσεις Γης .....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ .....	10
2.1. Εισαγωγή.....	10
2.2. As – Αρσενικό .....	10
2.3. Pb – Μόλυβδος.....	12
2.4. Sb – Αντιμόνιο.....	14
2.5. Th – Θόριο.....	16
2.6. Tl – Θάλλιο.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	23
4.1 Αποτελέσματα Ανάλυσης XRD.....	23
4.2 Αποτελέσματα SEM.....	26
4.2.1 Σκόνη .....	26
4.2.2. ΣΚΩΡΙΕΣ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΑΣ .....	30
4.2.3. Πετρώματα .....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	33
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	34
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	34
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	36

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι..... 37

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Σκοπιμότητα και στόχοι

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Προκαταρκτικός χαρακτηρισμός ορυκτολογίας και χημισμού στερεών γεωχημικών μέσων περιοχής Βόλου και Αλμυρού» εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος Προπτυχιακών σπουδών του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Σκοπός της έρευνας είναι να συμβάλει στη διάκριση ανθρωπογενών και γεωγενών πηγών δυνητικά τοξικών ιχνοστοιχείων στο επιφανειακό περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής του Βόλου. Οι συγκεκριμένοι στόχοι της παρούσας εργασίας είναι οι ακόλουθοι:

- Ορυκτολογικός χαρακτηρισμός δειγμάτων επιφανειακού εδάφους, σκόνης οδοστρώματος, επιλεγμένων πετρωμάτων και σκωριών χαλυβουργίας από την περιοχή μελέτης
- Ταυτοποίηση φορέων δυνητικά τοξικών ιχνοστοιχείων στα υπό εξέταση δείγματα

### 1.2. Περιγραφή της περιοχής μελέτης

#### 1.2.1. Γεωγραφία και γεωλογία

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου και Αλμυρού του Νομού Μαγνησίας. Οριοθετείται βόρεια από τον ορεινό όγκο του όρους «Σαρακηνό» του οποίου το υψηλότερο σημείο στην περιοχή μελέτης, ανέρχεται στα 660 μέτρα, όπως επίσης και στο Βορειοανατολικό άκρο (περιοχή Πορταριάς). Ενώ, στα ανατολικά περιθώρια, επικρατούν ύψη έως 380 μέτρα καταλήγοντας προς νότο στο επίπεδο της θάλασσας. Νοτιοανατολικά, ο λόφος «Γκόριτσα» έχει ύψος μέχρι τα 200 μέτρα. Περιοχές με χαμηλότερο ύψος επικρατούν στο δυτικό τμήμα της περιοχής, οι οποίες δεν υπερβαίνουν τα 250 μέτρα ύψος (Μελισσιάτικα). Την περιοχή διασχίζουν τρεις κύριοι ποταμοχείμαρροι, με κυρίαρχη διεύθυνση Β-Ν. Ο ποταμός Ξεριάς διασχίζει το δυτικό τμήμα της περιοχής με τον Σεσκουλιώτη ποταμό, στα νοτιοδυτικά, να ενώνεται με αυτόν. Ο Σεσκουλιώτης έχει διεύθυνση περίπου Α-Δ, εκβάλλει στον κόλπο του Βόλου και είναι ο μόνος ποταμός, ο οποίος έχει παροχή σε νερό, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Ο ποταμός Κραυσίδωνας διασχίζει το κεντρικό-ανατολικό τμήμα της περιοχής και ο Άναυρος το ανατολικό-νότιο τμήμα. Η πόλη του Βόλου γενικά, περιβάλλεται από χαμηλούς έως μέτρια υψηλούς ορεινούς όγκους (Τασιού, Καμινάρη, 2016).



**Εικόνα 1.1** Χάρτης της Ελλάδας όπου εμφανίζονται οι περιοχές μελέτης

Γεωλογικά, η περιοχή μελέτης αποτελεί τμήμα της Μεταμορφωμένης Πελαγονικής Ζώνης, η οποία περιλαμβάνει σχηματισμούς, από το Παλαιοζωϊκό μέχρι το Ηώκαινο. Η ηπειρωτική σύγκρουση μεταηωκαινικής ηλικίας που επηρέασε και τις Ελληνίδες οροσειρές, κατά το Τριτογενές, επηρέασε και την περιοχή μελέτης Βόλου–Αλμυρού. Πρόκειται για φάση υψηλών πιέσεων–χαμηλών θερμοκρασιών, με ανάδρομη μεταμόρφωση, αμφιβολιτικής μέχρι πρασινοσχιστολιθικής φάσεως (Ανώτερο Μειόκαινο).

Το Παλαιοζωϊκό υπόβαθρο χαρακτηρίζεται από σχιστολίθους, με αμφιβολίτες και ενστρώσεις μαρμάρων, σιπολινών και μεταβασιτών, καθώς και από διάσπαρτη μεταλλοφορία μικτών θειούχων μεταλλευμάτων. Οι προαναφερθέντες σχηματισμοί, του Ανώτερου Παλαιοζωϊκού, βρίσκονται σε τεκτονική επαφή και συγκεκριμένα, σε κατάσταση αποκόλλησης (detachment), από τα υπερκείμενα μάρμαρα του Τριαδικού–Ιουρασικού, η οποία δημιουργήθηκε κατά το Ανώτερο Μειόκαινο. Συχνά παρατηρείται, στη θέση της εν λόγω αποκόλλησης, συγκέντρωση και επανακινητοποίηση μεταλλικών συστατικών και ανακρυστάλλωση διαφόρων ορυκτών. Επιπλέον, οι θραυσιγενείς ζώνες, Πλειοτεταρτογενούς ηλικίας, λειτούργησαν ως δίοδοι μεταφοράς μεταλλοφόρων διαλυμάτων, όπως συμβαίνει στην περιοχή του ρήγματος του Σαρακηνού (Τασιού, Καμινάρη, 2016)



### 1.2.2. Χρήσεις Γης

Ο Βόλος είναι μια από τις πιο βιομηχανοποιημένες επαρχιακές πόλεις της Ελλάδας, λόγω της στρατηγικής της θέσης μεταξύ των μεγαλύτερων πληθυσμιακών κέντρων της χώρας (Αθήνα - Θεσσαλονίκη) και του λιμανιού της. Η βιομηχανία εξειδικεύεται έντονα στην παραγωγή και την κατασκευή χάλυβα. Τρεις μεγάλοι παραγωγοί χάλυβα (METKA, ΣΙΔΕΝΟΡ και Ελληνική Χαλυβουργία) διαθέτουν εγκαταστάσεις παραγωγής στις βιομηχανικές περιοχές του Βόλου και κοντά στον Αλμυρό. Η AGET Heracles, μέλος του ομίλου Lafarge, λειτουργεί μία από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις τσιμέντου στον κόσμο με δικό της ιδιωτικό λιμάνι, δίπλα στην πόλη. Ο Βόλος δραστηριοποιείται επίσης στον τομέα της έρευνας, φιλοξενώντας το Ινστιτούτο Βιοοικονομίας και Αγροτεχνολογίας (iBO), ένα από τα πέντε Ινστιτούτα του Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογίας – Ελλάς.

Οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στο περιβάλλον με την εκβιομηχανοποίηση είναι δυνατόν να οδηγήσει στη ρύπανση του εδάφους με την εξ αυτών αποβολή και στη συνέχεια συσσώρευση βαρέων μετάλλων. Τα εδάφη αποτελούν την κύρια δεξαμενή για την απελευθέρωση ρύπων από ανθρωπογενείς δραστηριότητες στο οικοσύστημα. Τα ρυπογόνα αυτά στοιχεία συνιστούν ανόργανους χημικούς κινδύνους, καθώς δεν μπορούν να αποδομηθούν μικροβιακά ή χημικά, όπως γίνεται με τους οργανικούς ρύπους, που οξειδώνονται μέσω μικροβιακής διεργασίας. Η δε συνολική τους συγκέντρωση παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την εναπόθεσή τους με τις ολέθριες επιπτώσεις στον άνθρωπο και το περιβάλλον (Kelepertsis et al 2006).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### 2.1. Εισαγωγή

Η ανάπτυξη της βιομηχανίας, η αγροτική και ενεργειακή εξέλιξη δημιουργούν παγκοσμίως σοβαρά προβλήματα στον πλανήτη. Η μεταφορά των ρυπαντών στο έδαφος εξαρτάται από τη χημική μορφή και κατανομή τους. Είναι δυνατόν να απορροφηθούν σε λίγα λεπτά ή ώρες. Να ακολουθήσει στη συνέχεια αντίδραση βραδείας προσρόφησης με διάρκεια ημερών ή ετών και μεταγενέστερα γίνεται η εναπόθεσή τους με διαφορετική μορφή, βιοδιαθεσιμότητα και τοξικότητα. Η διαδικασία αυτή θεωρείται ότι ελέγχεται από:

1. Την καθίζηση των ορυκτών και την διάλυσή τους
2. Την ανταλλαγή ιόντων
3. Την προσρόφηση (adsorption) και εκρόφηση (desorption)
4. Υδατικά σύμπλοκα
5. Φυτική πρόσληψη
6. Βιολογική ακινητοποίηση (Biological immobilization) και κινητοποίηση (mobilization).

Τα πιο συχνά βαρέα μέταλλα και μεταλλοειδή με τα οποία είναι δυνατόν να επιβαρυνθεί το περιβάλλον από ανθρωπογενείς πηγές είναι ο μόλυβδος (Pb), το αρσενικό (As), ο ψευδάργυρος (Zn), το κάδμιο (Cd), ο χαλκός (Cu) και ο υδράργυρος (Hg). (Wuana, Okieimen 2011)

### 2.2. As – Αρσενικό

Το αρσενικό (As) κατατάσσεται στην ομάδα 15 του Περιοδικού Πίνακα. Το στοιχείο φέρει ατομικό αριθμό 33, έχει ατομική μάζα 75, τρεις κύριες οξειδωτικές καταστάσεις (-3, +3 και +5), και ένα φυσικό σταθερό ισότοπο (<sup>75</sup>As). Έχουν παρατηρηθεί δύο διαφορετικές χημικές μορφές του αρσενικού: ανόργανες και οργανικές. Σχεδόν όλο το αρσενικό βρίσκεται στην ανόργανη μορφή και είναι αυτό που εντοπίζεται στο έδαφος, τα πετρώματα, τα υπόγεια ύδατα, τα επιφανειακά ύδατα και τα βιομηχανικά απόβλητα. Το οργανικό αρσενικό, από την άλλη πλευρά, μπορεί

να βρεθεί σε φυτοφάρμακα, ζώα, φυτά και ψάρια. (Maier et al, Superfund Research Program, The University of Arizona)

Το αρσενικό είναι έντονα χαλκόφιλο στοιχείο και κατανέμεται σε μία ποικιλία θειούχων και θειοαρσενικούχων ορυκτών (πχ. αρσеноπυρίτη FeAsS, σανδαράχη AsS). Επίσης, παρατηρείται ευρέως, ως επουσιώδες στοιχείο σε άλλα θειούχα ορυκτά (γαληνίτης, σιδηροπυρίτης, σφαλερίτης κα.). Στα πρωτογενή πετρογενετικά πυριτικά ορυκτά, το As ενσωματώνεται σε περιορισμένο βαθμό, μέσω της αντικατάστασης του Fe<sup>3+</sup> ή του Al<sup>3+</sup> από το As<sup>3+</sup>. Η υποκατάσταση του P<sup>5+</sup> από το As<sup>5+</sup> μπορεί, να οδηγήσει σε αυξημένη περιεκτικότητα του As σε φωσφορικά ορυκτά, όπως ο απατίτης, λόγω της ομοιότητας των PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> και AsO<sub>4</sub><sup>3-</sup> ανιόντων. (Τασιού, Καμινάρη, 2016)

Το στοιχείο κατανέμεται ομοιόμορφα στους διάφορους τύπους πυριγενών πετρωμάτων και δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο εμπλουτισμό, με εξαίρεση τα ορυκτά των σουλφιδίων σε περιβάλλοντα όπου παρατηρείται δράση υδροθερμικών ρευστών. Όσον αφορά στα ιζηματογενή πετρώματα, το As συγκεντρώνεται στην άργιλο, τα ένυδρα οξειδία του Fe και του Mn και τις φωσφορικές ενώσεις. (Coburn et al., 1977)

<b>Πίνακας 1:</b> Περιεκτικότητα As των διάφορων πετρωμάτων και του γήινου φλοιού σε ppm (Τασιού, Σ., Καμινάρη, Μ., 2016)	
<b>Πετρώματα</b>	<b>Περιεκτικότητα (ppm)</b>
Γήινος φλοιός	1,0
Ηπειρωτικός φλοιός	1,5-1,8
Υπερμαφικά	1
Βασαλτικά	2
Γρανιτικά	1,5–1,9
Αργίλικοί σχίστες	13
Ψαμμίτες και ασβεστόλιθοι	<5
Φωσφορικά ιζήματα	20

Πολλές μελέτες έχουν διαπιστώσει ότι οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την κινητικότητα, και συνεπώς τον κίνδυνο, του αρσενικού στο περιβάλλον. (Fendorf, 2000)

Γενικώς, τα ορυκτά και οι ενώσεις του As είναι ευδιάλυτα και οι κυριότερες μορφές εν διαλύσει, του τρισθενούς και του πενταθενούς As, ελέγχονται, σε μεγάλο βαθμό, από το pH. Όμως, η μετακίνηση του As είναι πολύ περιορισμένη, λόγω της ισχυρής προσρόφησης αυτού από τις αργίλους, τα υδροξείδια και το οργανικό υλικό, με το τελευταίο να μπορεί, να ασκήσει έντονη επίδραση πάνω στις μετρούμενες περιεκτικότητες του As. Παρά το γεγονός, ότι το προσροφημένο στο έδαφος As, δύσκολα, αποδεσμεύεται, υπάρχει περίπτωση, να ελευθερωθεί, όταν το As συνδυάζεται με οξείδια του Fe και του Al, λόγω της υδρόλυσης που προκαλείται σε αναγωγικές συνθήκες. (Τασιού, Καμινάρη, 2016)

Οι ανθρωπογενείς πηγές του αρσενικού περιλαμβάνουν την καύση γαιάνθρακα και λιγνίτη, τις μονάδες γεωθερμικής ενέργειας, την εξόρυξη και επεξεργασία μεταλλευμάτων και τα απόβλητα των χοιροστασιών και των πτηνοτροφείων. Η ρύπανση του περιβάλλοντος από αρσενικό, ως αποτέλεσμα της μεταλλευτικής και μεταλλουργικής δραστηριότητας είναι σχετικά συνήθης. Άλλες πηγές ρύπανσης των εδαφών αποτελούν τα λιπάσματα, τα ζιζανιοκτόνα, τα εντομοκτόνα και τα μυκητοκτόνα που περιέχουν ενώσεις του αρσενικού.

Η τοξικότητα του αρσενικού μπορεί να επηρεάσει μια μεγάλη ποικιλία οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων. Τα όργανα που επηρεάζονται περισσότερο είναι αυτά που εμπλέκονται με την απορρόφηση, συσσώρευση ή/και απέκκριση του αρσενικού. Αυτά τα όργανα είναι η γαστρεντερική οδός, το κυκλοφορικό σύστημα, το ήπαρ, τα νεφρά, το δέρμα και οι ιστοί πολύ ευαίσθητοι στο αρσενικό. Τα σημάδια χρόνιας τοξικότητας αρσενικού περιλαμβάνουν δερματικές αλλοιώσεις, περιφερική νευροπάθεια, καρκίνος του δέρματος και περιφερική αγγειακή νόσο. (Alfred et al. 2005)

### 2.3. Pb – Μόλυβδος

Ο μόλυβδος ανήκει στην ομάδα 14 του Περιοδικού Πίνακα και παρουσιάζει τα πιο έντονα μεταλλικά χαρακτηριστικά αυτής της ομάδας. Το στοιχείο φέρει ατομικό αριθμό 82, έχει ατομική μάζα 207, δύο καταστάσεις οξειδωσης (+2 και +4) και τέσσερα φυσικά απαντώμενα ισότοπα ( $^{204}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  και  $^{208}\text{Pb}$ ), από τα οποία το πλέον άφθονο είναι ο  $^{208}\text{Pb}$ .

Ο μόλυβδος είναι ένα χαλκόφιλο μεταλλικό στοιχείο που σχηματίζει αρκετά σημαντικά ορυκτά (γαληνίτης  $\text{PbS}$ , αγκλεσίτης  $\text{PbSO}_4$ , κερουσίτης  $\text{PbCO}_3$  και μίνιο

Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Επίσης, είναι ευρέως διαδεδομένος σε ίχνη, σε μία σειρά άλλων ορυκτών, στα οποία συμπεριλαμβάνεται ο καλιούχος άστριος, το πλαγιόκλαστο, ο μαρμαρυγίας, το ζirkόνιο και ο μαγνητίτης. (Τασιού, Καμινάρη, 2016).

Το ιόν Pb<sup>2+</sup> είναι ενδιάμεσο σε μέγεθος μεταξύ του K<sup>+</sup> και του Ca<sup>2+</sup>, με αποτέλεσμα να αντικαθιστά αυτά τα ιόντα στους καλιούχους αστρίους, τους μαρμαρυγίες και σε μικρότερο βαθμό, στα πλαγιόκλαστα και τον απατίτη. Κατά συνέπεια, το στοιχείο εμπλουτίζεται στα φελσικά πυριγενή πετρώματα, σε σύγκριση με τα μαφικά και παρουσιάζει κινητικότητα στα τελευταία στάδια της μαγματικής διαφοροποίησης (MacDonald et al. 1973).

Στα ιζηματογενή πετρώματα, η κατανομή του Pb ελέγχεται από την παρουσία κλαστικών ορυκτών, όπως οι άστριοι, οι μαρμαρυγίες και τα θειούχα ορυκτά, τα αργιλικά ορυκτά, οξειδίων του Fe και Mn και την οργανική ύλη. (Cerqueira, et al. 2011)

<b>Πίνακας 2:</b> Περιεκτικότητα Pb των διάφορων πετρωμάτων και του γήινου φλοιού σε ppm (Τασιού, Σ., Καμινάρη, Μ., 2016)	
Πετρώματα	Περιεκτικότητα (ppm)
Υπερμαφικά	1
Βασαλτικά	6
Γρανιτικά	15–19
Συηνίτες	
Αμιγής ασβεστόλιθος	5
Χαλαζιτικός ψαμμίτης	10
Αργιλικός σχιστόλιθος και γραουββάκης	23
Ασβεστούχος πηλός	13
Γήινος φλοιός	12

Κατά την διάβρωση του γαληνίτη και άλλων θειούχων ορυκτών αυξάνει η κινητικότητα του μολύβδου λόγω των όξινων συνθηκών που δημιουργούνται. Ωστόσο, η προσρόφηση του μολύβδου από την άργιλο, την οργανική ουσία, τα δευτερογενή οξείδια του σιδήρου και του μαγγανίου και από το σχηματισμό δευτερογενών ορυκτών χαμηλής διαλυτότητας περιορίζουν την κινητικότητα του. (Luiza et al. 2014)

Ο μόλυβδος εκτός της φυσικής του προέλευσης από τα μητρικά πετρώματα μπορεί να είναι και ανθρωπογενής. Σημαντικές πηγές περιβαλλοντικής μόλυνσης περιλαμβάνουν τις δραστηριότητες εξόρυξης, τήξης, κατασκευής και ανακύκλωσης και, σε ορισμένες χώρες, τη χρήση προϊόντων που περιέχουν μόλυβδο όπως χρώματα, βενζίνη και άλλα. (WHO 2018)

Ο μόλυβδος δεν έχει κάποιο βιολογικό ρόλο για τους φυτικούς και τους ζωϊκούς οργανισμούς και είναι πολύ τοξικός στα θηλαστικά και την υδρόβια ζωή. Μπορεί, να προκαλέσει διανοητική καθυστέρηση σε νεαρά παιδιά, προκαλώντας νευροπάθεια και υπέρταση στους ενήλικες και ενδέχεται, να αποβεί θανατηφόρος σε υψηλές δόσεις. Ο μόλυβδος είναι ένα ιδιαίτερος επικίνδυνο χημικό στοιχείο, λόγω του ότι μπορεί, να συσσωρευθεί σε επί μέρους οργανισμούς, αλλά ενδέχεται, επίσης, να εισέλθει σε ολόκληρες τροφικές αλυσίδες. (WHO 2018)

#### 2.4. Sb – Αντιμόνιο

Το αντιμόνιο αποτελεί μέλος της ομάδας 15 του Περιοδικού Πίνακα, έχει ατομικό αριθμό 51, ατομική μάζα 122, τρεις καταστάσεις οξειδωσης (-3, +3 και +5) και δύο ισότοπα που απαντούν στη φύση ( $^{121}\text{Sb}$  και  $^{123}\text{Sb}$ ). Τόσο η χημική, όσο και η γεωχημική συμπεριφορά του Sb είναι παρόμοια με αυτήν του αρσενικού (As).

Το αντιμόνιο είναι ένα σχετικά σπάνιο χαλκόφιλο στοιχείο, το οποίο σχηματίζει μάλλον σπάνια ορυκτά (αντιμονίτης  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ , βαλεντινίτης  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ , κερμεσίτης  $\text{Sb}_2\text{S}_2\text{O}$ ). Συνήθως όμως περιέχεται, ως ιχνοστοιχείο, σε ορυκτά όπως ιλμενίτης, μαγνησιούχος ολιβίνης, γαληνίτης, σφαλερίτης και σιδηροπυρίτης. Οι υψηλότερες περιεκτικότητες παρατηρούνται πλησίον υδροθερμικών κοιτασμάτων γαληνίτη και σφαλερίτη. Το αντιμόνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ιχνηλάτης για τον εντοπισμό μεταλλοφορίας χρυσού, ιδιαίτερα, σε συνδυασμό με άλλους ιχνηλάτες, όπως το As και το Bi (Τασσιού, Καμινάρη, 2016)

<b>Πίνακας 3:</b> Περιεκτικότητα Sb των διάφορων πετρωμάτων και του γήινου φλοιού σε ppm (Τασιού, Σ., Καμινάρη, Μ., 2016)	
Πετρώματα	Περιεκτικότητα (ppm)
Μαφικά	<1,0
Φελσικά	7,8
Λεπτόκοκκα αργιλικά και πλούσια σε οργανική ουσία ιζήματα	>1
Αδρόκοκκα χαλαζιο-αστριούχα ιζήματα Χαλαζίτες	0,5
Αργιλικός σχιστολίθος	1,5
Ψαμμίτες	<0,1
Ανθρακικά πετρώματα	0,15

Η χημική και φυσική αποσάθρωση, η φυσική οξείδωση και οι μικροβιακές διεργασίες είναι συχνά υπεύθυνες για τη μετατροπή των πρωτογενών ορυκτολογικών φάσεων Sb, σουλφιδίων και θειούχων αλάτων, σε δευτερεύοντα μέταλλα Sb που είναι διαλυτά στο νερό και περισσότερο κινητά στο περιβάλλον. Η κινητοποίηση του Sb από τις εγγενείς μεταλλικές φάσεις και τα συναφή πετρώματα εξαρτάται από διάφορους μηχανισμούς, όπως διάλυση, μεταφορά σωματιδίων και οξείδωση. (Herath, et al. 2016)

Το Sb παρουσιάζεται εμπλουτισμένο στα εδάφη, λόγω της δημιουργίας χημικών ενώσεων με το οργανικό υλικό, της ισχυρής προσρόφησης και απορρόφησης του Sb από τα ένυδρα οξειδία του Fe, τα ορυκτά της αργίλου και ένα μαλακό σκούρο γεώδες άμορφο υλικό, το οποίο αποτελείται από μίγμα οξειδίων του μαγγανίου και άλλων οξειδίων, με ποικίλη συμμετοχή άλλων ενώσεων (όπως χαλκού, κοβαλτίου, πυριτίου). (Τασιού, Καμινάρη, 2016)

Η παρουσία του αντιμονίου στο περιβάλλον είναι ως αποτέλεσμα των φυσικών διεργασιών (αποσάθρωση, εδαφική απορροή κ.ά.) και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Το ανθρωπογενές Sb συνδέεται με την εξόρυξη μεταλλευμάτων (χρυσός και σουλφίδια μετάλλων) και τη μεταλλουργική επεξεργασία αυτών, την

καύση γαιάνθρακα και λιγνίτη, τα αστικά απόβλητα και τις αέριες εκπομπές των οχημάτων. (Filella, et al. 2000)

Για το αντιμόνιο δεν έχει αναγνωρισθεί μέχρι σήμερα κάποια χρησιμότητα για τους ζώντες οργανισμούς. Η χρόνια έκθεση σε αυτό μπορεί να επιδεινώσει τον ερεθισμό των ματιών, του δέρματος και των πνευμόνων, ενώ η μακροχρόνια εισπνοή αντιμονίου μπορεί να ενισχύσει την πνευμονοκονίωση, πόνο στο στομάχι, διάρροια, έμετο και έλκη στομάχου. Υψηλές συγκεντρώσεις του Sb είναι ιδιαίτερες τοξικές – περισσότερο από όσο του αρσενικού ή του μολύβδου – και πρόκειται για εγνωσμένο καρκινογόνο στοιχείο. (Ross et al 2009)

## 2.5. Th – Θόριο

Το θόριο είναι ένα ασθενώς ραδιενεργό μεταλλικό στοιχείο, μέλος της σειράς των ακτινιδίων. Το στοιχείο έχει ατομικό αριθμό 90, ατομική μάζα 232, μία κύρια κατάσταση οξειδωσης (+4) και ένα απαντώμενο στη φύση ισότοπο (<sup>232</sup>Th). Το θόριο είναι ασημένιο, όμως αποκτά ένα μαύρο χρώμα όταν εκτεθεί στον αέρα σχηματίζοντας διοξείδιο του θορίου.

Πρόκειται για έντονα λιθόφιλο στοιχείο, το οποίο έχει μεγαλύτερη συμμετοχή στα πετρώματα του φλοιού, παρά στους μετεωρίτες και τα μανδουακού τύπου πετρώματα, όπως ο δουνίτης. Το Th σχηματίζει αρκετά ορυκτά (μοναζίτη (Ce,La,Nd,Th)(PO<sub>4</sub>,SiO<sub>4</sub>), θορίτη ThSiO<sub>4</sub>, θοριανίτη ThO<sub>2</sub>), αλλά είναι πιο ευρέως διαδεδομένο ως συνοδευτικό στοιχείο στο ζιρκόνιο, τη σφήνα, το επίδοτο, τον ουρανίτη, τον αλλανίτη και τον απατίτη στα πυριγενή πετρώματα. (Τασιού, Καμινάρη, 2016)

<b>Πίνακας 4:</b> Περιεκτικότητα Th των διάφορων πετρωμάτων και του γήινου φλοιού σε ppm (Τασιού, Σ., Καμινάρη, Μ., 2016)	
Πετρώματα	Περιεκτικότητα (ppm)
Γήινος φλοιός	9,6–12
Ανώτερου ηπειρωτικού φλοιού	10,5
Γρανίτης	10–40
Ανδεσίτης	1–4
Γάββρος	<3,5
Βασάλτης	<1
Ψαμίτες, αρκόζες και γραουββάκες	<10



Αργιλικοί σχιστόλιθοι και ιλυόλιθοι	10–13
Ανθρακικά πετρώματα	1,7
Θαλάσσιοι κόνδυλοι Mn	24–124
Ασβεστούχο πηλό	11,3

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των συγκεντρώσεων θορίου σε πυριγενή πετρώματα έχει μεγάλο ενδιαφέρον και σημασία για τη γεωλογική έρευνα, καθώς δίνει πληροφορίες για τη γένεση του μάγματος. Επιπλέον, παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τον εντοπισμό και την ποσοτικοποίηση των διαδικασιών που εμπλέκονται κατά τη διάρκεια της δημιουργίας και εξέλιξης των μαγμάτων. Επίσης, επιτρέπει στον ερευνητή να καθορίσει τα γεωχημικά χαρακτηριστικά του φλοιού και των πηγών του μανδύα όπου έλαβε χώρα η μερική τήξη. (R.N dos Santos et al. 2003)

Η κινητικότητα του Th στο έδαφος καθορίζεται από το σχηματισμό του ένυδρου κατιόντος του  $Th^{4+}$ , το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διαλυτότητά του σε ένα ευρύ φάσμα εδαφικού pH (Τασιού, Σ., Καμινάρη, Μ., 2016). Το θόριο είναι γενικά υψηλότερο στο γρανίτη από ότι στα μαφικά πυριγενή πετρώματα. Στα μεταμορφωμένα πετρώματα, το περιεχόμενο του Th είναι γενικά ακίνητο, αλλά κατά την ανάτηξη θα έχει ως αποτέλεσμα τη συγκέντρωση αυτού στη πιο κινητή γρανιτική φάση. Τα υψηλά ποσοστά θορίου, ως εκ τούτου, υποδεικνύουν την παρουσία φελσικών πετρωμάτων και ειδικότερα των διεισδύσεων. Το θόριο σε ιζηματογενή πετρώματα παρουσιάζει έντονη αντίσταση στη διάβρωση, καθώς τα κύρια ορυκτά του ξενιστή, όπως ο μοναζίτης και το ζirkόνιο, είναι εξαιρετικά ανθεκτικά τόσο στη χημική όσο και στη φυσική κατάρρευση. Το Th που απελευθερώνεται από την αποσάθρωση έχει μια παροδική ύπαρξη στο διάλυμα καθώς απορροφάται έντονα από τα αργιλικά ορυκτά και την οργανική ύλη. (R. Salminen et al., The Geological Survey of Finland)

Οι ανθρωπογενείς πηγές του θορίου περιλαμβάνουν τα λιπάσματα, την εξόρυξη και τη μεταλλουργική επεξεργασία του ουρανίου και την καύση γαιάνθρακα και λιγνίτη. Το ποσό του θορίου στο περιβάλλον μπορεί, να αυξηθεί, ως αποτέλεσμα της απελευθέρωσης Th από πυρηνικούς αντιδραστήρες, λόγω ατυχήματος. (Τασιού, Καμινάρη, 2016)

Το θόριο δεν έχει καμία γνωστή βιολογική λειτουργία. Είναι εξαιρετικά τοξικό και ραδιενεργό. Μελέτες έχουν δείξει ότι η εισπνοή σκόνης θορίου μπορεί να αυξήσει τις πιθανότητες εμφάνισης ασθενειών του πνεύμονα καθώς και καρκίνου του πνεύμονα ή/και του παγκρέατος. Το Th μπορεί να υποκαθιστά το Ca στα οστά με αποτέλεσμα να αποθηκεύεται για μεγάλο χρονικό διάστημα σε αυτά προκαλώντας καρκίνο των οστών. (ATSDR 1990)

## 2.6. Tl – Θάλλιο

Το θάλλιο αποτελεί μέλος της ομάδας 13 των στοιχείων του Περιοδικού Πίνακα, το στοιχείο έχει ατομικό αριθμό 81, ατομική μάζα 204, δύο κύριες καταστάσεις οξείδωσης (+1 και +3), εκ των οποίων η +3 είναι η πιο κοινή και δύο φυσικά απαντώντα ισότοπα, το <sup>203</sup>Tl και το <sup>205</sup>Tl.

Το θάλλιο παρουσιάζει, τόσο χαλκόφιλες, όσο και λιθόφιλες ιδιότητες. Τα ορυκτά του θαλλίου είναι πολύ σπάνια και δημιουργούνται αποκλειστικά κατά το επιθερμικό στάδιο της υδροθερμικής δραστηριότητας ή κάτω από υπεργενείς συνθήκες (λοραντίτης TlAsS<sub>2</sub>, πικοτπωλίτης TlFe<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, βραΐτης Hg<sub>3</sub>Tl<sub>4</sub>As<sub>8</sub>Sb<sub>2</sub>S<sub>20</sub>). Ορυκτά-ξενιστές που αποτελούν κύρια πηγή του στοιχείου σε πυριγενή και μαγματικά πετρώματα περιλαμβάνουν τα πλαγιόκλαστα, τους καλιούχους αστρίους και τα ορυκτά της ομάδας των μαρμαρυγιών (φλογοπίτης, βιοτίτης, μοσχοβίτης). (Τασιού, Καμινάρη, 2016)

<b>Πίνακας 4:</b> Περιεκτικότητα Tl των διάφορων πετρωμάτων και του γήινου φλοιού σε ppm (Τασιού, Σ., Καμινάρη, Μ., 2016)	
Πετρώματα	Περιεκτικότητα (ppm)
Στερεό φλοιό	0,8
Ανώτερο ηπειρωτικό φλοιό	0,9
Υπερμαφικά	0,07–0,30
Μαφικά	0,05–0,70
Γρανιτικά	0,6–3,5
Ενδιάμεσης σύστασης	0,15–1,4
Ψαμμίτες	1–3
Γαιάνθρακες	2–3
Ανθρακικά πετρώματα	0,01–0,14

Η κατανομή του θαλλίου στο φλοιό της Γης δείχνει ότι η συγκέντρωσή του φαίνεται να αυξάνεται από τα υπερμαφικά προς τα φελικά πετρώματα. Τα υπερμαφικά και μαφικά πετρώματα περιέχουν πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις Tl. Τα ενδιάμεσα πετρώματα εμφανίζουν μία σημαντική αύξηση στη συγκέντρωση Tl, ενώ τα γρανιτικά περιέχουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις θαλλίου από όλα τα μαγματικά πετρώματα. (R. Salminen, et al., The Geological Survey of Finland)

Ο ψαμμίτης και οι θειούχες φάσεις στο κάρβουνο περιέχουν τις μεγαλύτερες τιμές Tl στα ιζηματογενή πετρώματα και τα ανθρακικά τις χαμηλότερες. Οι κυριότερες διεργασίες με τις οποίες το Tl συγκεντρώνεται σε ιζηματογενή πετρώματα πιστεύεται ότι είναι οι χαλκόφιλες τάσεις του Tl και η προσρόφηση του στις επιφάνειες των αργιλικών ορυκτών. (R. Salminen, et al., The Geological Survey of Finland)

Τα θειούχα ορυκτά των κοιτασμάτων συχνά παρουσιάζουν αυξημένες περιεκτικότητες Tl, το οποίο αποδίδεται σε υποκατάσταση μετάλλων που προκλήθηκε από διεργασίες μετασώματωσης κατά το σχηματισμό των μεταλλευμάτων. (R. Salminen, et al., The Geological Survey of Finland)

Το θάλλιο και οι ενώσεις με βάση το θάλλιο παρουσιάζουν υψηλότερη υδατοδιαλυτότητα σε σύγκριση με άλλα βαρέα μέταλλα. Ως εκ τούτου, κατά την αποσάθρωση το Tl κινητοποιείται εύκολα και μεταφέρεται μαζί με τα αλκάλια. Ωστόσο, φαίνεται ότι συγκρατείται από τα οξειδία του Mn και του Fe και το οργανικό υλικό, ιδιαίτερα κάτω από αναγωγικές συνθήκες. Επομένως, το θάλλιο και οι ενώσεις του τείνουν να είναι βιοδιαθέσιμες και να συσσωρεύονται σε ζωντανούς οργανισμούς. (Karbowska 2016)

Η κύρια ανθρωπογενής πηγή του Tl είναι η σκωρία της βιομηχανίας χάλυβα, από τις ψυκαμίνους, τους βασικούς φούρνους οξυγόνου και τις ηλεκτροκαμίνους. Άλλες σημαντικές πηγές του στοιχείου είναι η τσιμεντοβιομηχανία, η εξόρυξη μεταλλευμάτων και οι διεργασίες εξευγενισμού των μετάλλων. Το θάλλιο χρησιμοποιείται, επίσης, στα εντομοκτόνα, στα φωτοκύτταρα και στη βιομηχανία βάλου. (Τασιού, Καμινάρη, 2016)

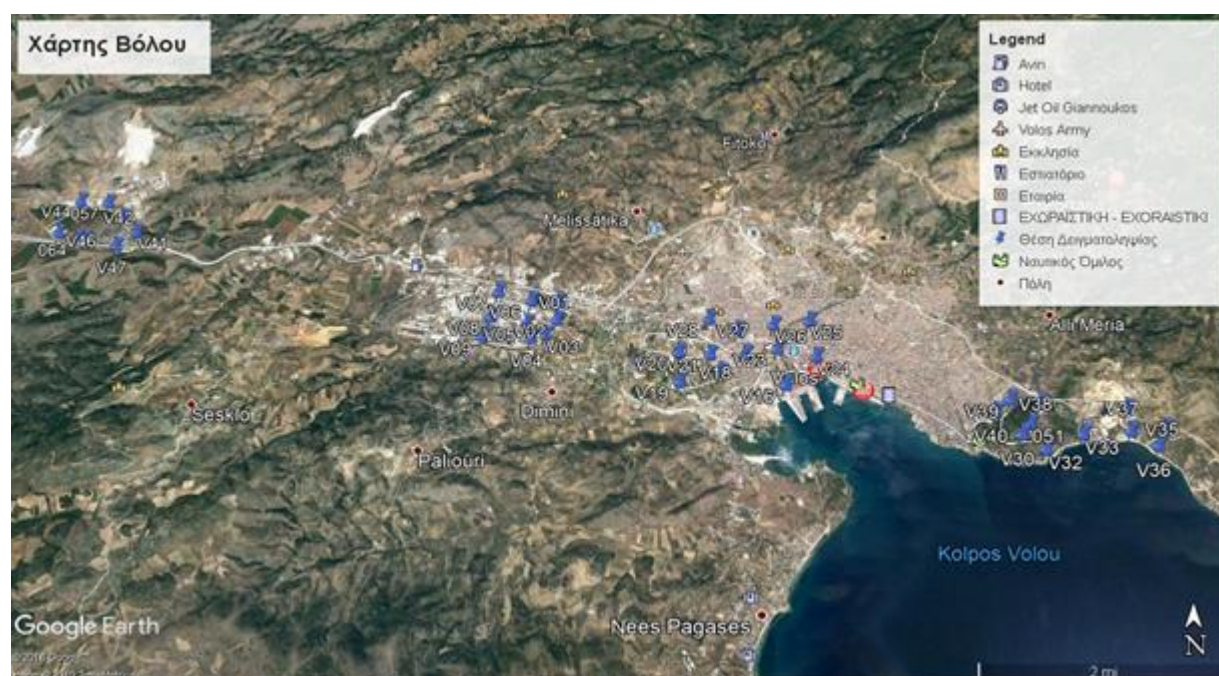
Το θάλλιο είναι εξαιρετικά τοξικό στοιχείο, αλλά λίγο μελετημένο. Μπορεί να προκαλέσει οξεία δηλητηρίαση, η οποία είναι πιθανό να οδηγήσει σε γαστρεντερίτιδα, κατάρρευση, και αργότερα περιφερική νευροπάθεια. Η χρόνια

*ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΣΜΟΥ ΣΤΕΡΕΩΝ  
ΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΟΛΟΥ ΚΑΙ ΑΛΜΥΡΟΥ*

δηλητηρίαση είναι εφικτό να προκαλέσει απώλεια μαλλιών και ζημιές στο νευρικό σύστημα με αποτέλεσμα προσωρινή ή μόνιμη μερική παράλυση. (Robyn, Kazantzis 2014)

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην παρούσα εργασία αναλύθηκαν αρχικά 15 δείγματα, από τα 70, που λήφθηκαν από την περιοχή του Βόλου και του Αλμυρού (Εικόνα 3.1). Η δειγματοληψία έγινε από επιφανειακό έδαφος, σκόνη οδοστρώματος, επιλεγμένα πετρώματα και σκωρίες χαλυβουργίας. Τα δείγματα μετά την μεταφορά τους στο εργαστήριο τοποθετήθηκαν σε ταψάκια και μπήκαν στον φούρνο στους 60°C για είκοσι τέσσερις (24) ώρες με στόχο την απομάκρυνση όλης της υγρασίας, προκειμένου να μειωθούν τυχόν σφάλματα στα αποτελέσματα των μετρήσεων της χημικής ανάλυσης.



**Εικόνα 3.1** Χάρτης της ευρύτερης περιοχής του Βόλου όπου αναπαρίστανται οι θέσεις δειγματοληψίας

Μετά την ξήρανση, με τη χρήση πορσελάνινης ράβδου και γουδιού τα δείγματα αποσβολώθηκαν, ώστε να διαλυθούν οι μάζες του ιζήματος. Κατόπιν έγινε δια χειρός αφαίρεση τυχόν οργανικού υλικού (π.χ. ρίζες, κλαδιά, φύλλα κλπ.).

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν δύο (2) κόσκινα με πλέγμα διαμέτρου 2 mm και 100 μm αντίστοιχα. Αρχικά, το εκάστοτε δείγμα πέρασε από το κόσκινο 2 mm με στόχο την απομάκρυνση του αδρομερούς υλικού, το οποίο απορρίφθηκε και δεν χρησιμοποιήθηκε στην μετέπειτα ανάλυση. Έπειτα πραγματοποιήθηκε ο

τετραμερισμός του δείγματος και η συλλογή δύο αντιδιαμετρικών τετάρτων. Αυτό αποσκοπούσε στη μείωση της μάζας του υλικού, αλλά και στη λήψη όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικού δείγματος. Ύστερα, τα δύο τέταρτα πέρασαν από το κόσκινο των 100 μm προκειμένου να συλλεχθεί ικανοποιητική ποσότητα λεπτόκοκκου κλάσματος, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση XRD (X-Ray Diffraction) και SEM (Scanning electron microscope). Το υπόλοιπο υλικό τοποθετήθηκε σε ειδικό σακουλάκι με την κατάλληλη ονομασία ως δείγμα αρχείου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 4.1 Αποτελέσματα Ανάλυσης XRD

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα XRD, όπως παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες, παρατηρείται εμφάνιση του χαλαζία και του ασβεστίτη σε όλα τα δείγματα. Ο αλβίτης και ο μοσχοβίτης εμφανίζονται στα δείγματα σκόνης, εδάφους και πετρωμάτων. Τα δείγματα σκωριών περιέχουν μία μεγάλη ποικιλία μεταλλικών ορυκτών, τα οποία δεν εμφανίζονται στα υπόλοιπα. Κάποια από αυτά τα ορυκτά (πχ. χαουσμανίτης) χρησιμοποιούνται στις χαλυβουργίες στο σχηματισμό κραμάτων και επεξεργασία μετάλλων. Τα διαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων X για κάθε δείγμα που μελετήθηκε παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.

**Πίνακας 5a:** Αποτελέσματα XRD των δειγμάτων του εδάφους και της σκόνης του Βόλου

ΟΡΥΚΤΑ ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	A05	V05	V22	V33	V41	V44	DA05	DV05	DV22	DV33	DV41	DV44
Quartz SiO <sub>2</sub>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Calcite CaCO <sub>3</sub>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Albite (Na,Ca)AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Chlorite (Mg,Fe) <sub>5</sub> (Al,Si) <sub>5</sub> (OH) <sub>8</sub>	✓	✓	✓				✓		✓			✓
Muscovite H <sub>2</sub> KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓
Kaolinite Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>				✓	✓					✓		
Montmorillonite (Na,Ca) <sub>0,3</sub> (Al,Mg) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O					✓	✓			✓		✓	
Clinostatite MgSiO <sub>3</sub>												✓

**Πίνακας 5b:** Αποτελέσματα XRD των δειγμάτων των πετρωμάτων και των σκωριών του Βόλου

ΟΡΥΚΤΑ ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	AGTAX QSL	AGTAX OX	Lime Quartz	VSLAG1	VSG2	A07 SLAG
Quartz SiO <sub>2</sub>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Calcite CaCO <sub>3</sub>	✓			✓	✓	✓
Albite (Na,Ca)AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	✓		✓			
Muscovite H <sub>2</sub> KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	✓	✓				
Kaolinite Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>		✓				
Dolomite CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		✓				
Potassium Manganese Oxide Hydrate K <sub>0,5</sub> Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> *1.5H <sub>2</sub> O	✓					
Lime CaO				✓		✓
Magnetite FeFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>				✓	✓	✓
Magnesite (Mg,Fe)CO <sub>3</sub>				✓	✓	
Cassiterite SnO <sub>2</sub>				✓	✓	
Rhodochrosite MnCO <sub>3</sub>				✓	✓	
Wuestite FeO				✓	✓	✓
Pyrolusite MnO <sub>2</sub>					✓	✓
Fayalite Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>						✓
Ilmenite FeTiO <sub>3</sub>						✓
Hematite Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					✓	
Hausmannite Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>					✓	
Sodium Calcium Silicate Na <sub>4</sub> CaSi <sub>3</sub> O <sub>4</sub>						✓

Τα πετρώματα που απαντώνται στην περιοχή μελέτης είναι σχιστόλιθοι, αμφιβολίτες και μάρμαρα. Τα κυριότερα ορυκτά που περιέχονται σε αυτούς τους τύπους πετρωμάτων σύμφωνα με τη βιβλιογραφία είναι χαλαζίας, ασβεστίτης, αλβίτης και



μοσχοβίτης. Άλλα ορυκτά που μπορεί να συνοδεύουν τα παραπάνω είναι καολινίτης, χλωρίτης, σιδηροπυρίτης, οξειδία του σιδήρου ή/και του μαγγανίου κá.

Τα δείγματα εδάφους (A05, V05, V22, V33, V41, V44), σκόνης (DA05, DV05, DV22, DV33, DV41, DV44) και των πετρωμάτων (AGTAX QSL, AGTAX OX, Lime Quartz) παρουσιάζουν παρόμοια ορυκτολογία με αυτή της γεωλογίας, όπως φαίνεται στους Πίνακες 5a και 5b.

Τα κοινά ορυκτά που περιέχονται στα δείγματα των σκωριών (VSLAG1, VSG2, A07 SLAG), όπως φαίνεται από τον Πίνακα 5b, είναι ο χαλαζίας, ο ασβεστίτης, ο μαγνητίτης και ο βουσίτης. Ο μαγνητίτης είναι σύνηθες ορυκτό σχεδόν σε όλα τα πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα. Ο βουσίτης σχηματίζεται κατά την αναγωγή του μαγνητίτη, διαδικασία κατά την οποία ο τρισθενής σίδηρος ανάγεται σε τέτοιο βαθμό που δεν επιτρέπει το σχηματισμό αιματίτη. Αυτό το γεγονός συμφωνεί με τα αποτελέσματα των αναλύσεων λόγω της μικρής εμφάνισης του αιματίτη στο δείγμα VSG2 (όπως φαίνεται από το αντίστοιχο διάγραμμα στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι). Ακόμα, συγκρίνοντας την ορυκτολογία του δείγματος VSLAG1 με αυτή των VSG2 και A07 SLAG γίνεται εμφανές ότι η ορυκτολογία των δύο τελευταίων δειγμάτων είναι πιο πολύπλοκη σε σχέση με το πρώτο.

## 4.2 Αποτελέσματα SEM

Σε αυτή την παράγραφο παρατίθενται οι μικροφωτογραφίες και αναλύσεις EDS στο SEM. Οι πίνακες περιέχουν την ονομασία και τον αριθμό της φωτογραφίας καθώς και τις συγκεντρώσεις επί τις εκατό (%) των χημικών ενώσεων οι οποίες συνιστούν τα σημεία μελέτης, όπως αυτά υποδεικνύονται από τα κόκκινα βέλη.

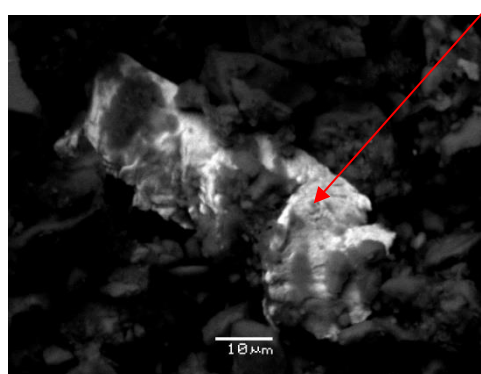
### 4.2.1 Σκόνη

DA05_05						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Al K	ED	0.20	0.51	0.06	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.37
Si K	ED	0.91	2.24	0.26	SiO <sub>2</sub>	1.94
Ca K	ED	8.57	14.82	1.75	CaO	11.99
Fe K	ED	3.91	4.86	0.57	FeO	5.04
Cu K	ED	1.83	2.00	0.24	Cu <sub>2</sub> O	2.06
Zn K	ED	2.46	2.61	0.31	ZnO	3.06
Pb M	ED	66.49	22.24	2.63	PbO	71.63
O		11.72	50.75	6.00		
Total		96.09	100.00	Cation sum 5.82		96.09

Στο δείγμα σκόνης DA05 παρατηρούνται κόκκοι μεγέθους μικρότερο των 10 μm με κογχώδη θραυσμό, τραχειά επιφάνεια, χρώματος λευκού (όπως απεικονίζονται από το SEM) και αποτελούνται κυρίως από PbO σε ποσοστό 71,63% , CaO σε 11,99% και άλλες ενώσεις.

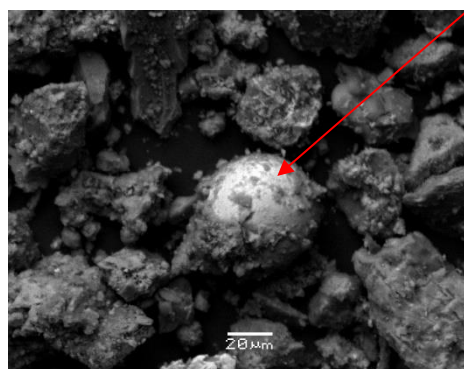
DV05_04						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Si K	ED	2.63	2.96	0.34	SiO <sub>2</sub>	5.64
Ca K	ED	2.35	1.85	0.22	CaO	3.29
Cr K	ED	0.73	0.44	0.05	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.07
Fe K	ED	76.27	43.15	5.02	FeO	98.12
O		26.13	51.59	6.00		
Total		108.11	100.00	Cation sum 5.63		108.11

Δείγμα DV05: οι κόκκοι της κύριας μάζας έχουν μέγεθος >50 μm, παρουσιάζουν ακανόνιστο σχήμα, θραυσμό και αποτελούνται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από FeO με ποσοστό 98,12%.

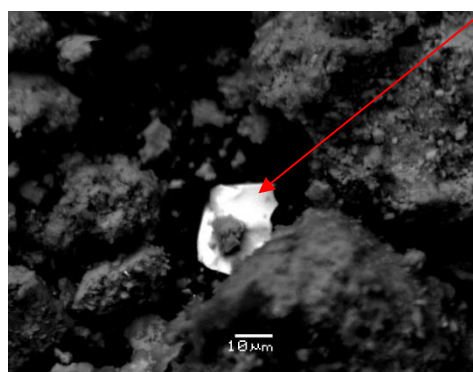


DV22_04						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Al K	ED	0.57	0.93	0.11	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.08
Si K	ED	1.30	2.01	0.23	SiO <sub>2</sub>	2.78
S K	ED	1.23	1.67	0.19	SO <sub>4</sub>	3.68
Ca K	ED	1.72	1.87	0.22	CaO	2.41
Ni K	ED	3.46	2.56	0.30	NiO	4.40
Cu K	ED	42.61	29.20	3.40	Cu <sub>2</sub> O	47.98
Sn L	ED	27.84	10.21	1.19	SnO <sub>2</sub>	35.34
O		18.94	51.55	6.00		
Total		97.67	100.00	Cation sum 5.64		97.67

Δείγμα DV22: οι κόκκοι της κύριας μάζας είναι μεγαλύτεροι των 10 μm, παρατηρείται κογχώδης θραυσμός και η χημική τους σύσταση αποτελείται από αυξημένα ποσοστά μετάλλων με μεγαλύτερα των SnO<sub>2</sub> και Cu<sub>2</sub>O με ποσοστά 35.34% και 47.98% αντίστοιχα.



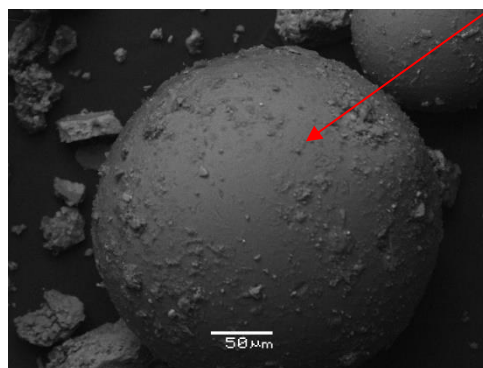
DV33_03						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Mg K	ED	0.41	0.62	0.07	MgO	0.67
Si K	ED	1.77	2.35	0.28	SiO <sub>2</sub>	3.78
Ca K	ED	2.29	2.13	0.25	CaO	3.20
Mn K	ED	0.87	0.59	0.07	MnO	1.12
Fe K	ED	64.50	43.13	5.06	FeO	82.98
O		21.93	51.18	6.00		
Total		91.75	100.00	Cation sum 5.72		91.75



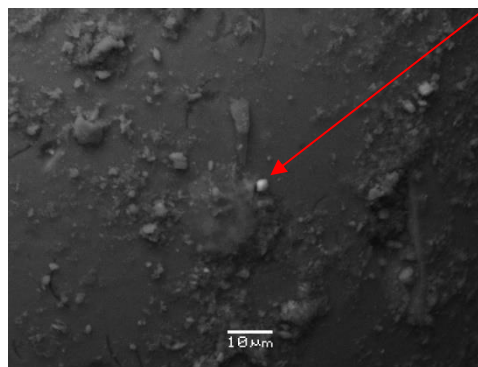
DV33_05						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Al K	ED	0.10	0.12	0.01	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.20
Si K	ED	0.33	0.38	0.05	SiO <sub>2</sub>	0.71
S K	ED	0.13	0.13	0.02	SO <sub>4</sub>	4.44
Ca K	ED	3.18	2.54	0.30	CaO	0.38
Mn K	ED	67.35	39.24	4.69	MnO	86.96
Fe K	ED	10.48	6.01	0.72	FeO	13.48
Cu K	ED	1.46	0.73	0.09	Cu <sub>2</sub> O	1.64
Zn K	ED	1.27	0.62	0.07	ZnO	1.58
O		25.10	50.23	6.00		
Total		109.40	100.00	Cation sum 5.95		109.40

*ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΣΜΟΥ ΣΤΕΡΕΩΝ ΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΜΕΣΣΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΟΛΟΥ ΚΑΙ ΑΛΜΥΡΟΥ*

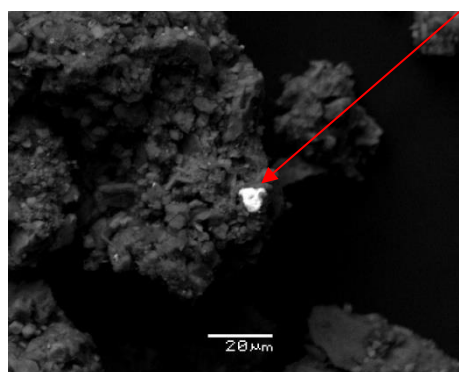
Η κύρια μάζα του δείγματος DV33 αποτελείται από σφαιρικούς κόκκους >20μm σύστασης FeO 82.98%, MnO 1.12% και κόκκους με ακανόνιστο σχήμα <10μm σύστασης FeO 13.48%, MnO 86.96%.



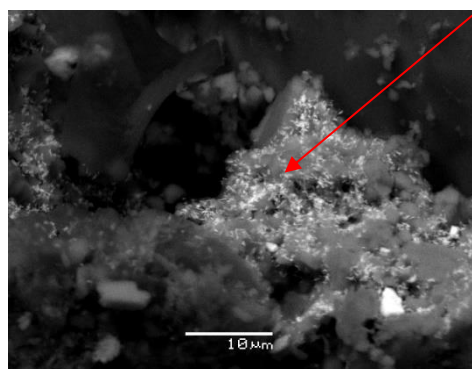
DV26_03						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Na K	ED	8.39	7.51	0.74	Na2O	11.31
Mg K	ED	2.67	2.26	0.22	MgO	4.43
Si K	ED	35.41	25.96	2.55	SiO2	75.75
K K	ED	0.53	0.28	0.03	K2O	0.64
Ca K	ED	5.74	2.95	0.29	CaO	8.04
O	ED	47.42	61.03	6.00		
Total		100.17	100.00	Cation sum 3.83		100.17



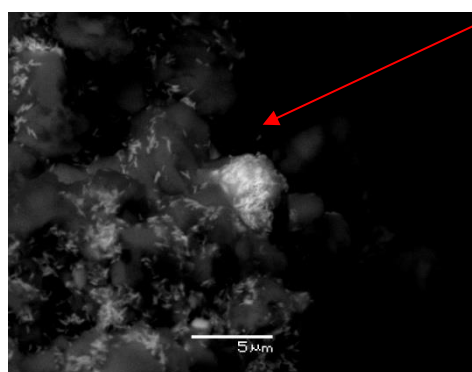
DV26_04						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Mg K	ED	2.17	2.68	0.29	MgO	3.59
Si K	ED	10.76	11.52	1.25	SiO2	23.01
P K	ED	1.65	1.61	0.17	P2O5	3.79
K K	ED	0.45	0.34	0.04	K2O	0.54
Ca K	ED	3.74	2.81	2.06	CaO	5.23
Fe K	ED	35.22	18.97	0.31	FeO	45.30
O	ED	29.33	55.15	6.00		
Total		88.60	100.00	Cation sum 4.88		88.60



DV26_05						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Si K	ED	1.60	2.14	0.19	SiO2	3.43
S K	ED	10.59	12.39	1.07	SO4	31.73
K K	ED	0.36	0.35	0.03	K2O	0.44
Ca K	ED	2.11	1.98	0.17	CaO	2.95
Fe K	ED	0.47	0.31	0.03	FeO	0.60
Cu K	ED	0.84	0.50	0.04	Cu2O	0.95
Ba L	ED	47.24	12.90	1.11	BaO	52.74
O		29.63	69.44	6.00		
Total		92.84	100.00	Cation sum 2.64		92.84



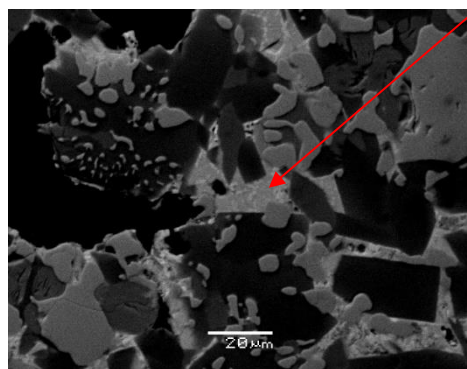
DV26_06 (YELLOW LINE PAINT)						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Al K	ED	1.10	1.94	0.22	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.07
Si K	ED	2.05	3.48	0.39	SiO <sub>2</sub>	4.38
Ca K	ED	26.12	31.09	3.50	CaO	36.54
Cr K	ED	4.97	4.56	0.51	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.26
Pb M	ED	24.19	5.57	0.63	PbO	26.06
O		17.89	53.36	6.00		
Total		76.31	100.00	Cation sum 5.24		76.31



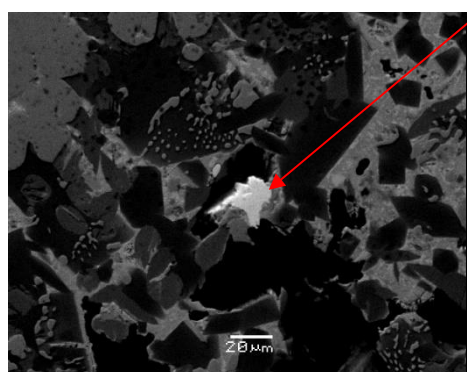
DV26_15						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Al K	ED	1.62	3.75	0.40	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.06
Si K	ED	1.83	4.07	0.44	SiO <sub>2</sub>	3.91
Ca K	ED	6.23	9.73	1.05	CaO	8.72
Cr K	ED	9.43	11.35	1.22	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.78
Pb M	ED	50.64	15.29	1.64	PbO	54.55
O		14.27	55.81	6.00		
Total		84.02	100.00	Cation sum 4.75		84.02

Δείγμα DV26: ποικιλία κόκκων με σχήμα σφαιρικό (>50μm) και ακανόνιστο (<10μm) με κογχώδη θραυσμό. Οι μεγαλύτεροι κόκκοι παρουσιάζουν αυξημένη συγκέντρωση SiO<sub>2</sub> (75.75%) σε σχέση με τους μικρότερους (SiO<sub>2</sub> 3.43%). Ωστόσο, η σύστασή τους σε μεταλλικές ενώσεις είναι μειωμένη συγκριτικά με τους μικρότερους κόκκους. Συγκεκριμένα, FeO 45.30%, PbO 26.06% - 54.55%, BaO 52.74%, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 7.26% - 13.78%.

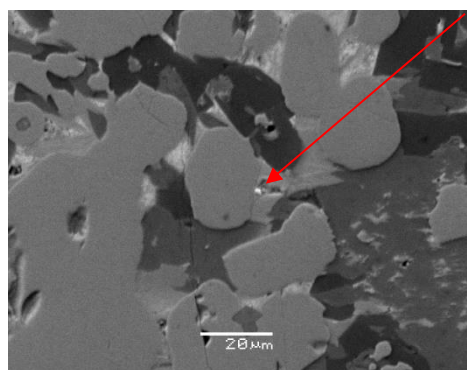
#### 4.2.2. ΣΚΩΡΙΕΣ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΑΣ



VSG2_04						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Si K	ED	10.91	13.52	1.36	SiO <sub>2</sub>	23.34
S K	ED	1.74	1.89	0.19	SO <sub>4</sub>	5.22
Ca K	ED	10.44	9.07	0.91	CaO	14.61
Mn K	ED	2.41	1.53	0.15	MnO	3.11
Fe K	ED	10.24	6.38	0.64	FeO	13.17
Ba L	ED	31.65	8.02	0.81	BaO	35.34
O		27.40	59.60	6.00		
Total		94.78	100.00	Cation sum 4.07		94.78

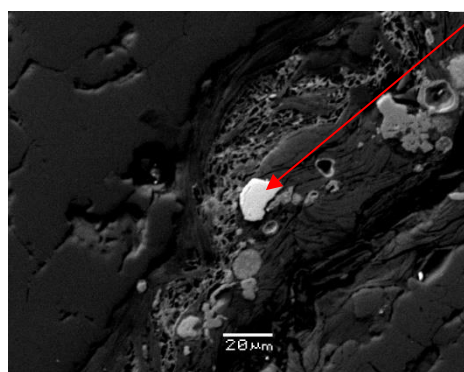


VSG2_05						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Si K	ED	0.23	0.74	0.08	SiO <sub>2</sub>	0.48
S K	ED	0.55	1.58	0.18	SO <sub>4</sub>	1.64
Ca K	ED	1.33	3.06	0.35	CaO	1.86
Fe K	ED	0.55	0.92	0.10	FeO	0.71
Ba L	ED	60.90	40.97	4.66	BaO	68.00
O		9.13	52.74	6.00		
Total		72.69	100.00	Cation sum 5.38		72.69



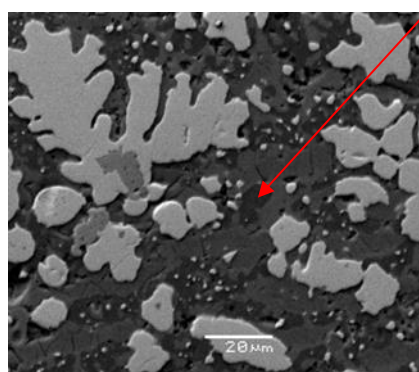
VSG2_08						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Al K	ED	3.59	5.15	0.53	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.78
Si K	ED	6.26	8.64	0.89	SiO <sub>2</sub>	13.39
S K	ED	1.00	1.20	0.12	SO <sub>4</sub>	2.98
Ca K	ED	5.24	5.06	0.52	CaO	7.33
Mn K	ED	1.78	1.26	0.13	MnO	2.30
Fe K	ED	11.55	8.01	0.83	FeO	14.85
Ba L	ED	42.45	11.98	1.24	BaO	47.40
W M	ED	3.05	0.64	0.07	WO <sub>3</sub>	3.85
O		23.97	58.06	6.00		
Total		98.89	100.00	Cation sum 4.33		98.89

Στο δείγμα σκωρίας VSG2 η σύσταση του συνδετικού υλικού των κόκκων αποτελείται κυρίως από SiO<sub>2</sub>, CaO και της κύριας μάζας από BaO 35.34% - 68.00%, FeO 13.17% - 14.85%, WO<sub>3</sub> 3.85%, MnO 2.30% - 3.11%. Οι κόκκοι παρατηρούνται με σχήμα ακανόνιστο και με κογχώδη θραυσμό.

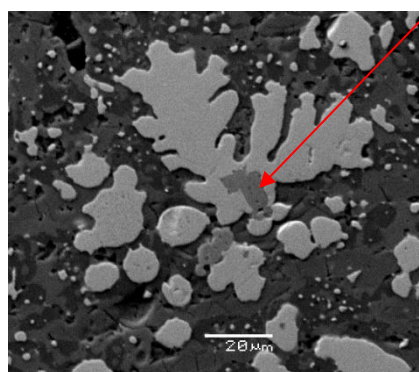


AG7SB_03			
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
Si K	ED	20.12	45.79
Zr L	ED	77.36	54.21
Total		97.48	100.00

Στο δείγμα σκωρίας AG7SB έχουμε κόκκους με ακανόνιστο σχήμα, κογχώδη θραυσμό και σύσταση Zr 77.36%, Si 20.12%.



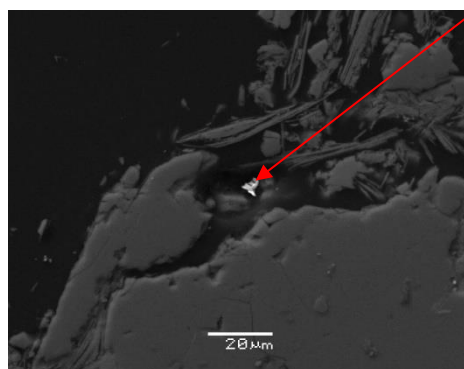
AG7SG_06						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Mg K	ED	1.27	1.22	0.13	MgO	2.11
Al K	ED	10.98	9.45	0.98	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.75
Si K	ED	13.62	11.26	1.16	SiO <sub>2</sub>	29.14
Ca K	ED	30.12	17.45	1.81	CaO	42.15
Mn K	ED	1.14	0.48	0.05	MnO	1.48
Fe K	ED	5.19	2.16	0.22	FeO	6.67
O		39.96	57.99	6.00		
Total		102.29	100.00	Cation sum 4.35		102.29



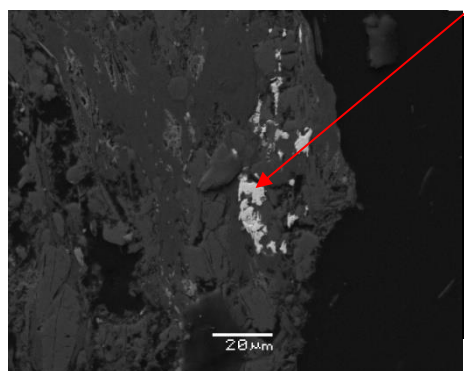
AG7SG_03						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Mg K	ED	2.91	4.27	0.51	MgO	4.82
Ca K	ED	0.32	0.29	0.03	CaO	0.45
Ti K	ED	0.49	0.36	0.04	TiO <sub>2</sub>	0.81
Cr K	ED	1.26	0.86	0.10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.84
Mn K	ED	6.24	4.06	0.48	MnO	8.06
Fe K	ED	62.17	39.76	4.73	FeO	79.99
O		22.58	50.40	6.00		
Total		95.97	100.00	Cation sum 5.91		95.97

Στο δείγμα πετρώματος AG7SG η κύρια μάζα αποτελείται από FeO 79.99%, MnO 4.82%, ενώ το συνδετικό υλικό από CaO 42.15%, SiO<sub>2</sub> 29.14% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 20.75%. Οι κόκκοι παρουσιάζονται με ακανόνιστο σχήμα, μαρμαρυγίες και κογχώδη θραυσμό.

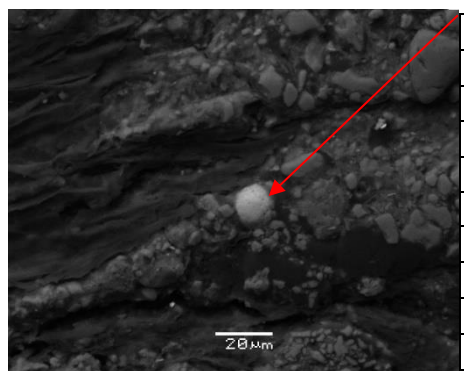
### 4.2.3. Πετρώματα



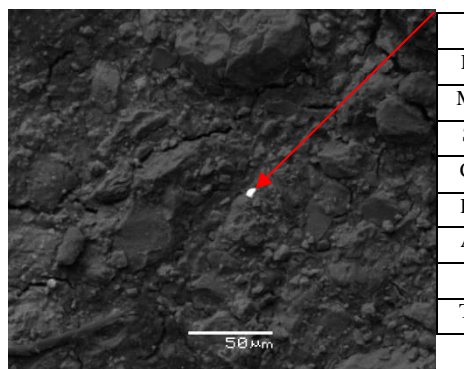
AGTAS_08						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Si K	ED	28.89	25.34	2.30	SiO <sub>2</sub>	61.80
K K	ED	1.23	0.78	0.07	K <sub>2</sub> O	1.48
Fe K	ED	1.13	0.50	0.05	FeO	1.46
Zr L	ED	26.93	7.27	0.66	ZrO <sub>2</sub>	36.37
O		42.93	66.11	6.00		
Total		101.11	100.00	Cation sum 3.08		101.11



AGTAS_10						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Mg K	ED	2.43	5.00	0.58	MgO	4.02
Si K	ED	2.03	3.61	0.42	SiO <sub>2</sub>	4.34
Ca K	ED	1.28	1.60	0.18	CaO	1.79
Fe K	ED	40.49	36.30	4.18	FeO	52.09
As L	ED	2.02	1.35	0.16	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.66
O		16.66	52.14	6.00		
Total		64.90	100.00	Cation sum 5.51		64.90



AGTAS_11						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Mg K	ED	1.08	2.41	0.28	MgO	1.79
Si K	ED	0.76	1.48	0.17	SiO <sub>2</sub>	1.64
Ca K	ED	0.78	1.06	0.12	CaO	1.09
Ti K	ED	1.16	1.31	0.15	TiO <sub>2</sub>	1.93
Fe K	ED	39.18	38.07	4.39	FeO	50.40
Cu K	ED	0.63	0.53	0.06	Cu <sub>2</sub> O	0.70
As L	ED	4.29	3.11	0.36	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.67
O			52.04	6.00		
Total		63.22	100.00	Cation sum 5.53		63.22



AGTAS_12						
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %	Nos. of ions	Compound %	
Mg K	ED	1.56	2.98	0.34	MgO	2.59
Si K	ED	1.69	2.79	0.32	SiO <sub>2</sub>	3.62
Ca K	ED	1.04	1.20	0.14	CaO	1.46
Fe K	ED	44.61	37.04	4.25	FeO	57.40
As L	ED	5.93	3.67	0.42	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.83
O	ED	18.05	52.31	6.00		
Total		72.89	100.00	Cation sum 5.47		72.89



Στο δείγμα AGTAX παρατηρούνται κόκκοι της κυρίας μάζας σφαιρικοί και με ακανόνιστο σχήμα, με κογχώδη θραυσμό καθώς και μαρμαρυγίες. Η σύσταση είναι FeO 52.09% - 57.40%, As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2.66% - 7.83%, ZrO<sub>2</sub> 36.37%, SiO<sub>2</sub> 1.64% - 61.80%.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

Από την ανάλυση και την ορυκτολογική περιγραφή των συλλεγέντων δειγμάτων της ευρύτερης περιοχής μελέτης του Βόλου – Αλμυρού προκύπτει ότι οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων σχετίζονται πιθανά με τη γεωλογία της περιοχής και δευτερευόντως με τις τοπικές χρήσεις γης. Το συμπέρασμα αυτό συμφωνεί με προηγούμενη γεωχημική μελέτη του ΙΓΜΕ (Τασιού και Καμινάρη, 2016).

Περιοχές που εμφανίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις των στοιχείων As, Pb, Sb, Th, Tl, σε σχέση με τις αναμενόμενες τιμές του γεωχημικού τους πλαισίου, είναι πιθανόν να έχουν υποστεί τοπική επίδραση από την ανθρώπινη δραστηριότητα όπως η Βιομηχανική Ζώνη του Βόλου και οι αστικές περιοχές.

Καθώς η μελέτη αυτή αποτελεί έναν προκαταρκτικό χαρακτηρισμό της ορυκτολογίας και του χημισμού των στερεών γεωχημικών μέσων της περιοχής Βόλου και Αλμυρού, και δεδομένου του μικρού αριθμού δειγμάτων και του γεωλογικού ενδιαφέροντος της περιοχής προτείνονται η διεξαγωγή επιπλέον ερευνών και χημικών αναλύσεων μεγαλύτερου αριθμού δειγμάτων για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alfred A. Duker, E.J.M. Carranza, Martin Hale. (2005) Arsenic geochemistry and health. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.
- Argyrazi, A., Kelepertzis, E. (2014) Urban soil geochemistry in Athens, Greece: The importance of local geology in controlling the distribution of potentially harmful trace elements. *Science of The Total Environment*, 482–483, 366–377.
- Argyrazi, A., Kelepertzis, E., Botsou, F., Paraskevopoulou, V., Katsikis, I., Trigoni, M. (2018) Environmental availability of trace elements (Pb, Cd, Zn, Cu) in soil from urban, suburban, rural and mining areas of Attica, Hellas. *Journal of Geochemical Exploration*, 187, 201-213.
- Bermudez GM, Moreno M, Invernizzi R, Plá R, Pignata ML. (2010) Heavy metal pollution in topsoils near a cement plant: the role of organic matter and distance to the source to predict total and hcl-extracted heavy metal concentrations. *Chemosphere*. 2010 Jan;78(4):375-81. doi: 10.1016/j.chemosphere.2009.11.012. Epub 2009 Dec 3.
- Bozena Karbowska, 2016, Presence of thallium in the environment: sources of contaminations, distribution and monitoring methods, *Environmental Monitoring and Assessment*
- CERQUEIRA, B., E. F. COVELO, M. L. ANDRADE and F. A. VEGA, 2011, Retention and Mobility of Copper and Lead in Soils as Influenced by Soil Horizon Properties Department of Plant Biology and Soil Science, University of Vigo, 36310 Vigo (Spain)
- Department of Health and Human Service, 1990, Public Health Service Agency for toxic substances and disease registry (ATSDR)
- Fendorf, Scott. (2000) Processes Influencing the Mobility of Arsenic and Chromium in Reduced Soils and Sediments. Stanford University
- Greenwood, N.N., Earnshaw, A., (1984) *Chemistry of Elements*, Pergamon Press, Oxford (Chapter 13).
- Gupta, V.K., Saini, V.K., Jain, N., (2005) Adsorption of As(III) from aqueous solutions by iron oxide-coated sand, *J. Colloid Interf. Sci.*, 288 (1), 55-60.
- Indika Herath, Meththika Vithanage, Jochen Bundschuh, 2016, Antimony as a global dilemma: Geochemistry, mobility, fate and transport
- Kelepertzis, A., Argyrazi, A., Alexakis D. (2006) Multivariate statistics and spatial interpretation of geochemical data for assessing soil contamination by potentially

- toxic elements in the mining area of Stratoni, north Greece. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, Vol. 6, 2006, pp. 349–355.
- Kelepertzis, E., Argyraki, A., Daftsis E.I., Ballas D. Geochemical background heavy metal concentrations of stream sediments at mineralized areas of NE Chalkidiki. *Hellenic Journal of Geosciences*, vol. 45, 153-162.
- Macdonald, R., Upton, B.G.T. & Thomas, J.E., 1973. Potassium and fluorite-rich hydrous phase co-existing with peralkaline granite in South Greenland. *Earth and Planetary Science Letters*, 18, 217–222.
- Maria Luiza F. M. Kede, Fabio V. Correia, Paulo F. Conceição, Sidney F. Salles Junior, Marcia Marques, Josino C. Moreira and Daniel V. Pérez, 2014, Evaluation of Mobility, Bioavailability and Toxicity of Pb and Cd in Contaminated Soil Using TCLP, BCR and Earthworms *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Montserrat Filella, Nelson Belzile, Yu-Wei Chen, 2000, Antimony in the environment: a review focused on natural waters: I. Occurrence
- Proias T., Nastos P. T., Larissi I. K., Paliatsos A. G. (2010) PM<sub>10</sub> Concentrations Related to Meteorology in Volos, Greece. *AIP Conference Proceedings* 1203, 1091 (2010); <https://doi.org/10.1063/1.3322316> Published Online: 03 February 2010.
- Raina M. Maier, R. Clark Lantz, Janick F. Artiola, Mark D. Barton, Karletta Chief et al. Arsenic: Background, Superfund Research Program, The University of Arizona (<https://superfund.arizona.edu/learning-modules/promotor-modules/arsenic/background>)
- R.N dos Santos, L.S Marques, S.H.A Nicolai, F.B Ribeiro, 2003, Determination of thorium concentrations and activity ratios in silicate rocks by alpha spectrometry
- Robyn Blain, George Kazantzis, 2014, *Handbook on the Toxicology of Metals* (Fourth Edition)
- Ross G. Cooper, Adrian P. Harrison, 2009, *The exposure to and health effects of antimony*
- Ronald F. Coburn, T. Timothy Crocker, Clement A. Finch, Sheldon K. Friedlander, Robert I. Henkin et al. National Research Council (US) Committee on Medical and Biological Effects of Environmental Pollutants. (1977) *Arsenic: Medical and Biologic Effects of Environmental Pollutants*, Washington (DC): National Academies Press (US).
- R. Salminen, W. De Vos, T. Tarvainen, The Geological Survey of Finland ([weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas](http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas))
- Tremearne, T.H. & Jacob, K.D., 1941. Arsenic in natural phosphates and fertilizers. United States Department of Agriculture Technical Bulletin, No. 781. Washington D.C., 39 pp.

Yildirium, I.Z., Prezzi, M. (2011) Chemical, Mineralogical, and Morphological Properties of Steel Slag,” *Advances in Civil Engineering*, vol. 2011, Article ID 463638, 13 pages,

World Health Organization 2018, Lead poisoning and health

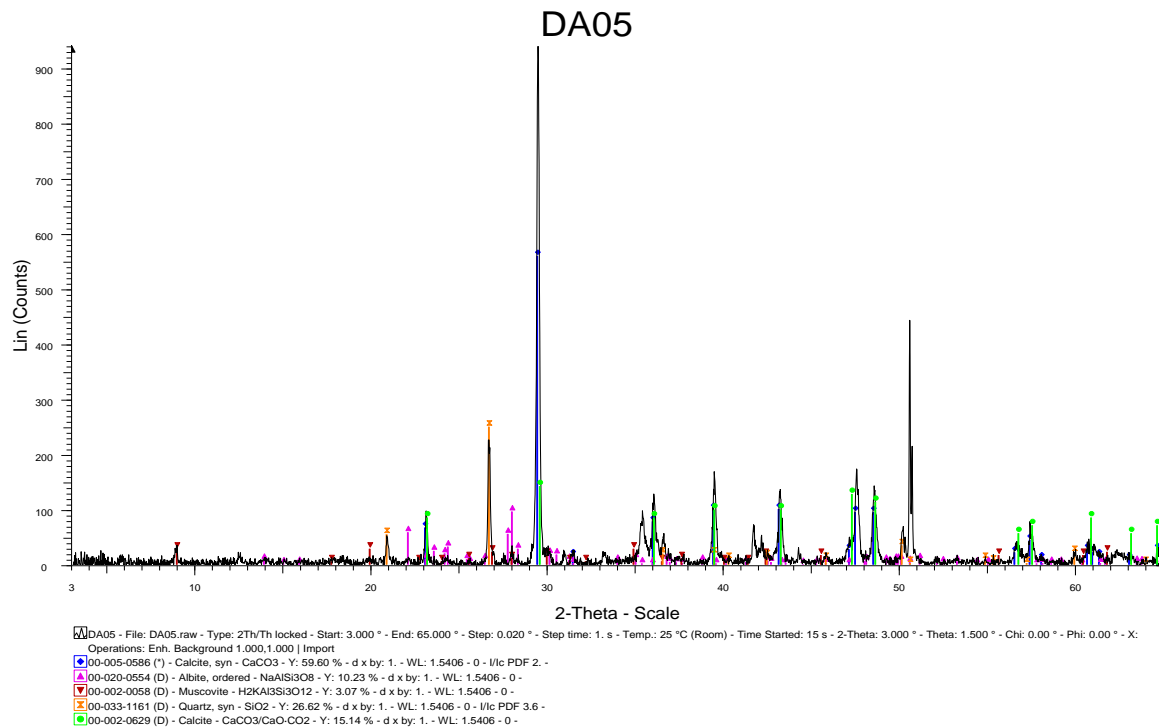
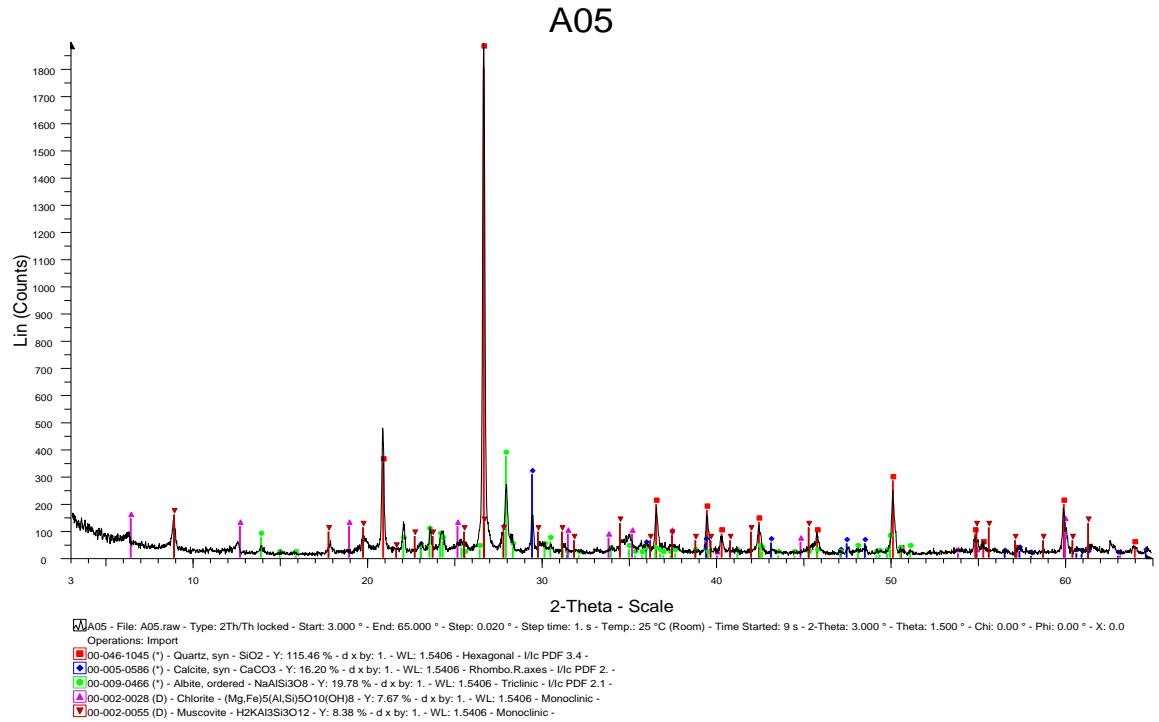
Wuana R.A., Okieimen F.E. (2011) Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecology*, vol. 2011, Article ID 402647, 20 pages, 2011. <https://doi.org/10.5402/2011/402647>.

## **ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

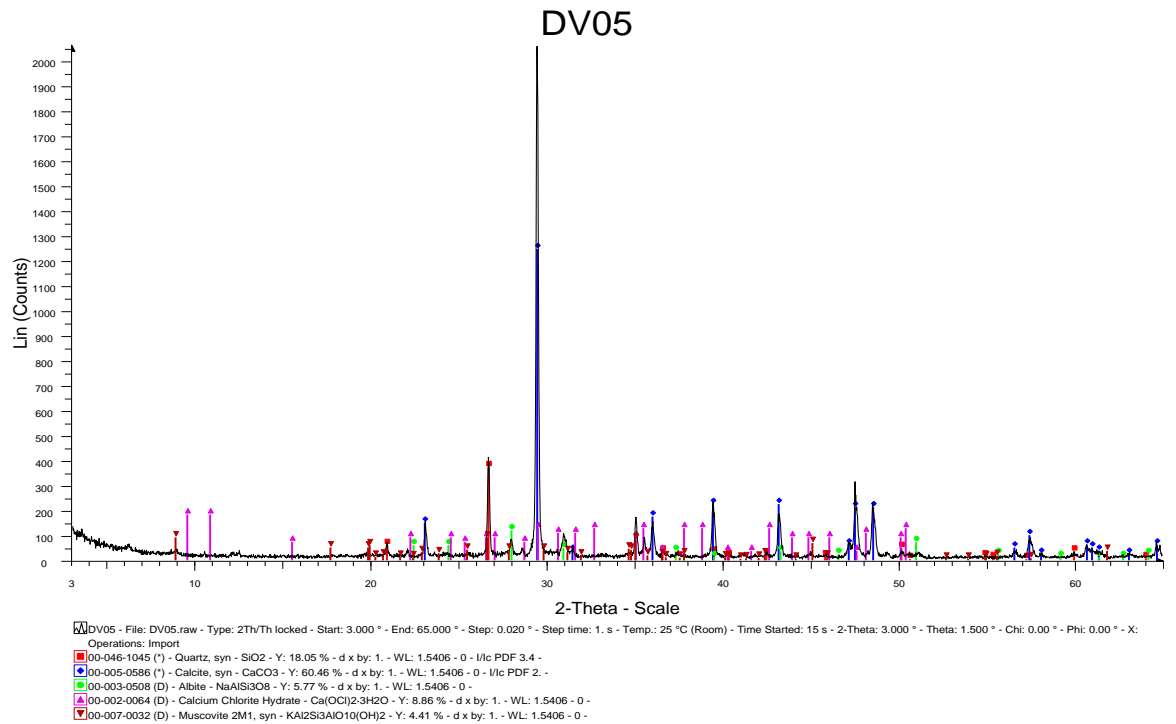
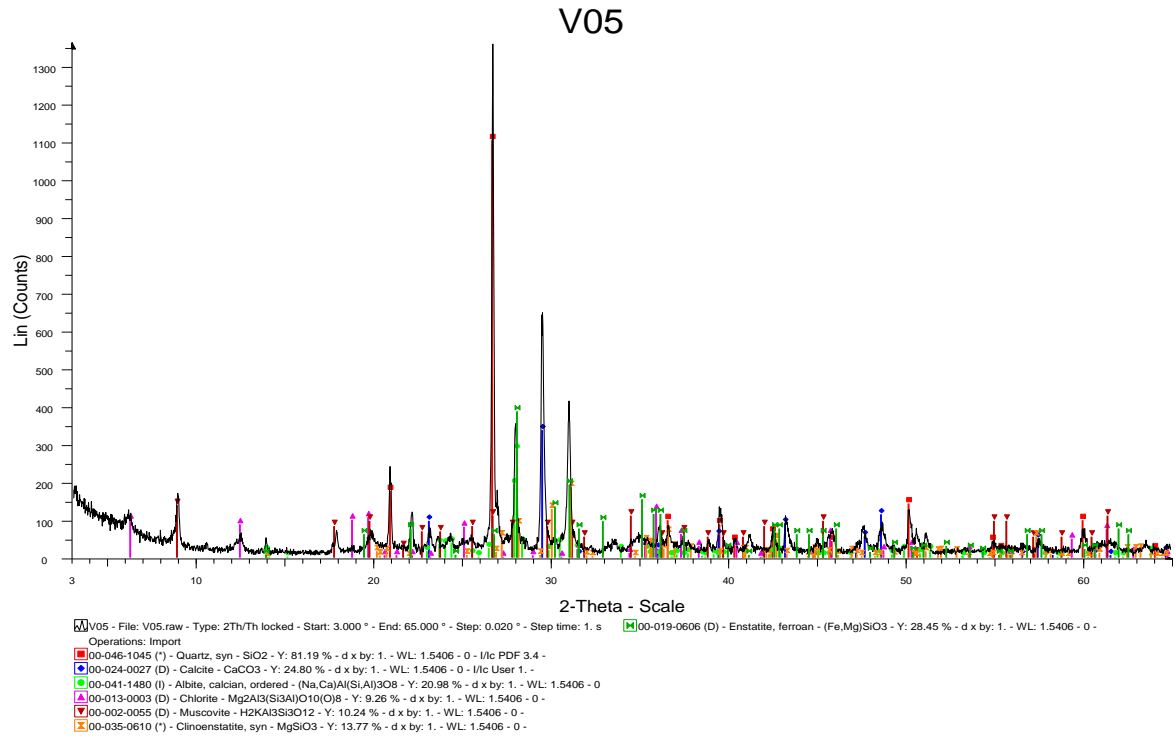
Τασιού, Σ., Καμινάρη, Μ. (2016) Γεωχημική Περιβαλλοντική Μελέτη Αστικής-Περιαστικής περιοχής Βόλου, ΤΟΜΟΣ Α' – Επεξηγηματικό Κείμενο. ΕΣΠΑ 2007-2013/ Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα»/Εργο ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΠΟΛΥΘΕΜΑΤΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΣΕ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΕΣ ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΓΙΑ ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΩΝ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΩΝ. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα, 257 σελ.

Κατρίτσης Δημήτριος- Χρυσοβαλάντης (2016) Κινητικότητα και βιοπροσβασιμότητα δυνητικά τοξικών στοιχείων σε επιφανειακά εδάφη του λεκανοπεδίου Αθηνών. Μεταπτυχιακή εργασία ειδίκευσης στα πλαίσια Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Γεωλογία».

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

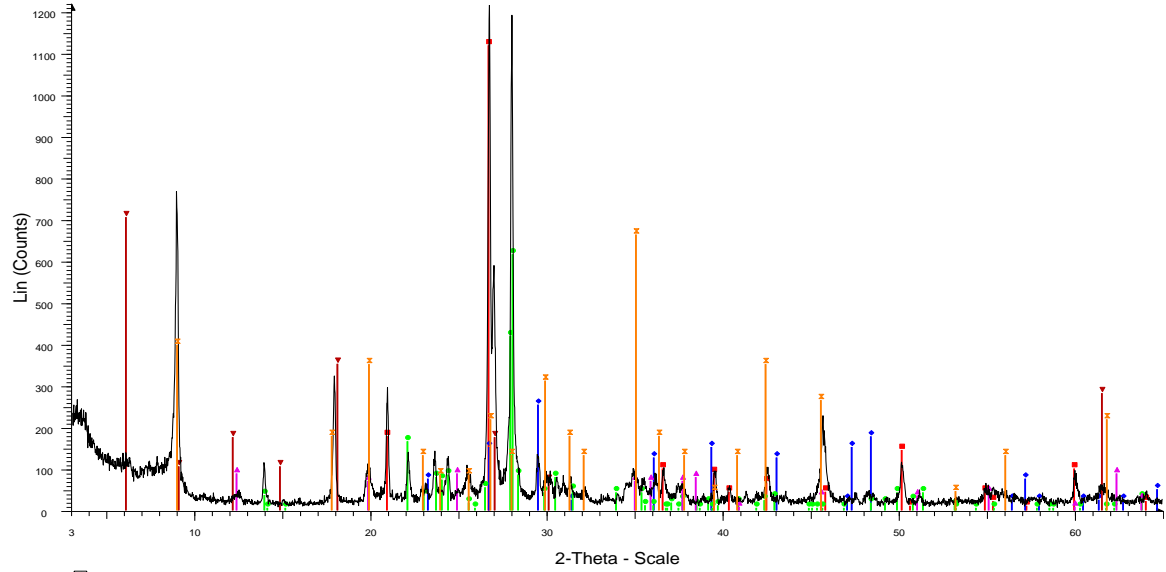


ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΣΜΟΥ ΣΤΕΡΕΩΝ ΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΟΛΟΥ ΚΑΙ ΑΛΜΥΡΟΥ

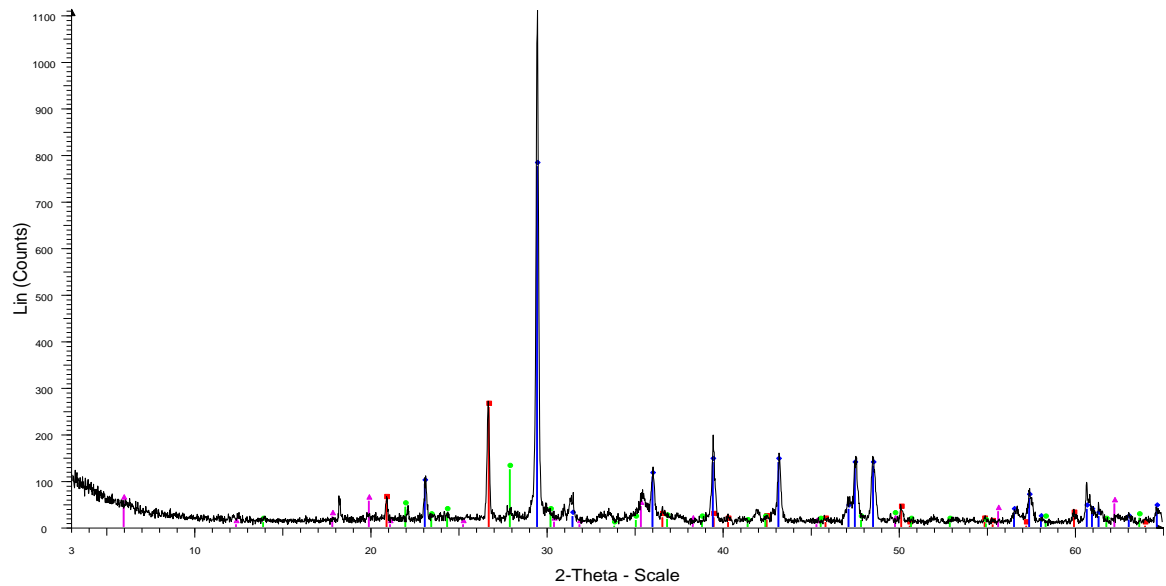


ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΣΜΟΥ ΣΤΕΡΕΩΝ ΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΜΕΣΣΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΟΛΟΥ ΚΑΙ ΑΛΜΥΡΟΥ

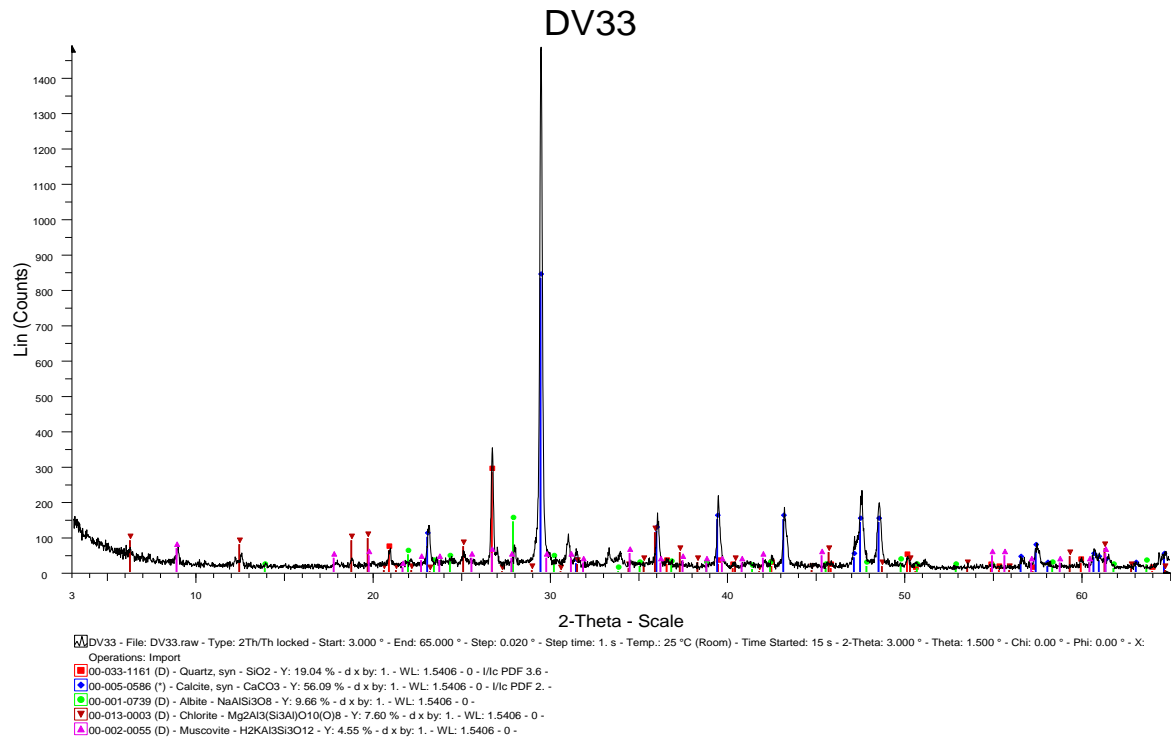
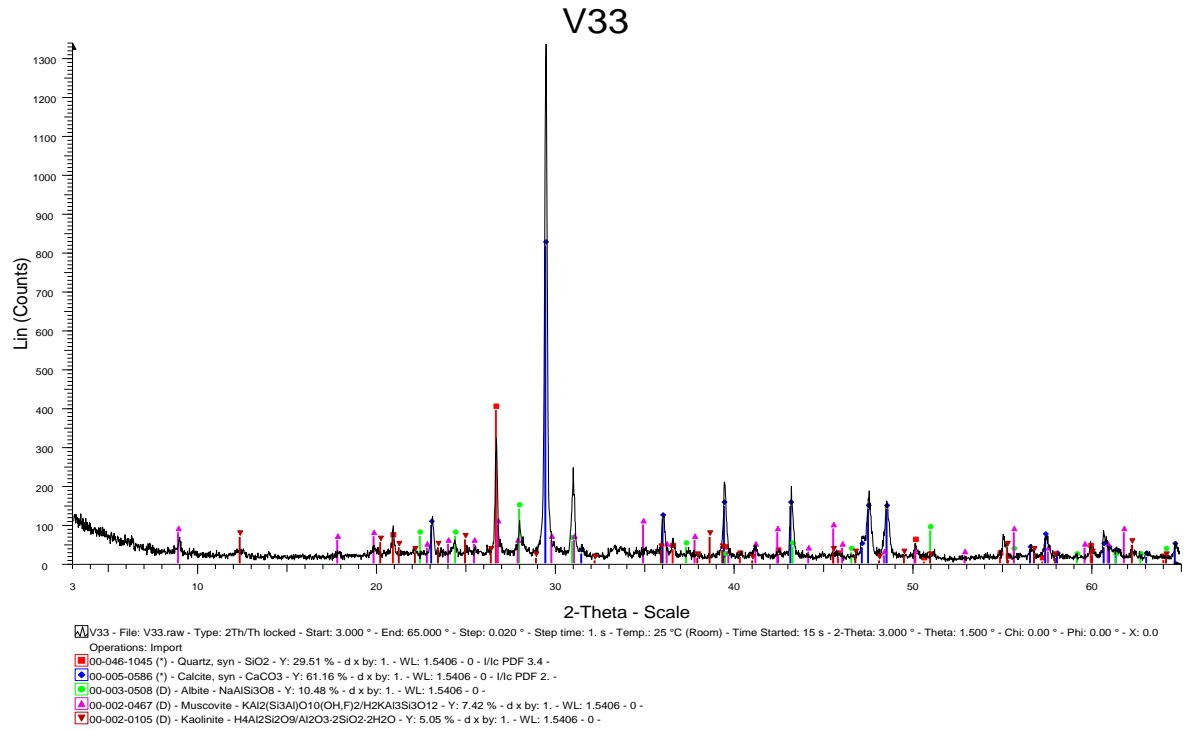
V41



DV41

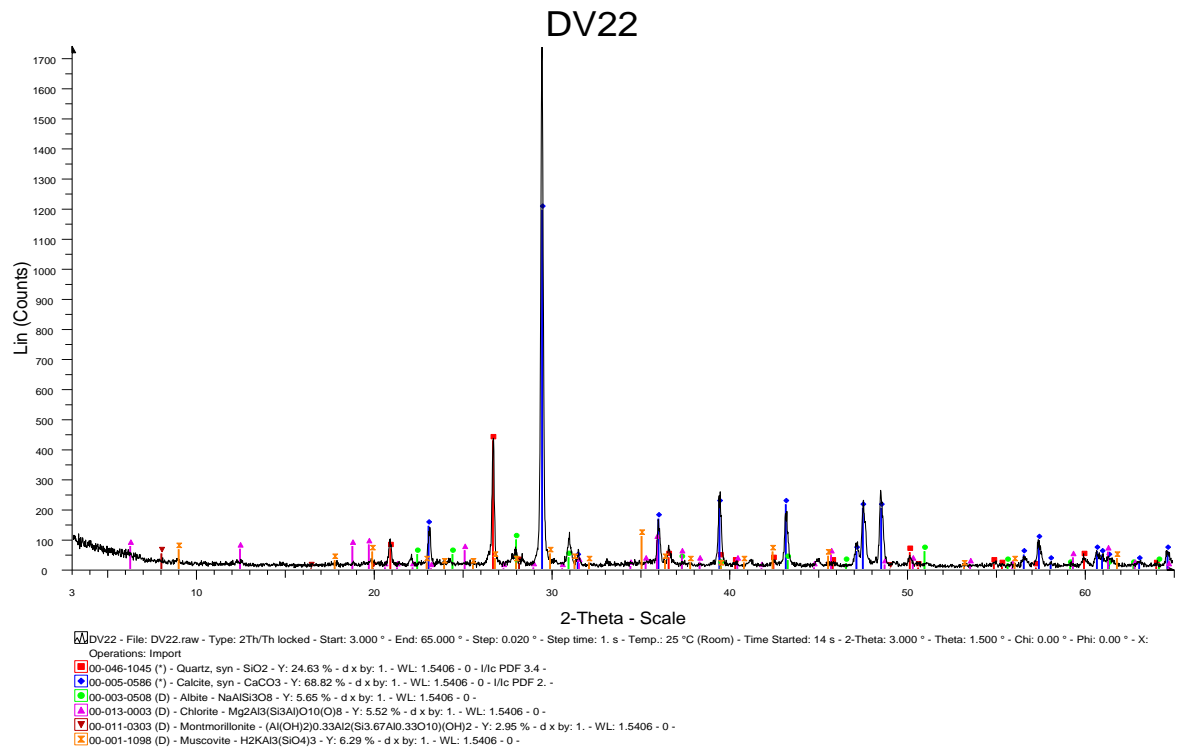
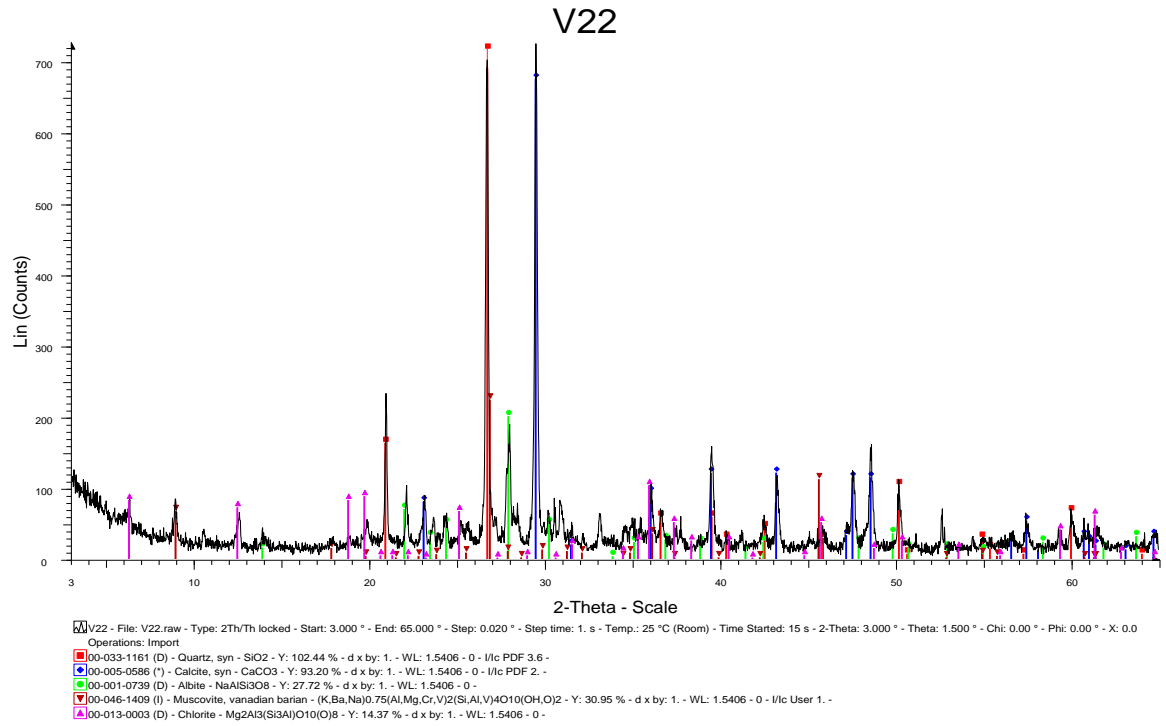


ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΣΜΟΥ ΣΤΕΡΕΩΝ ΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΟΛΟΥ ΚΑΙ ΑΛΜΥΡΟΥ



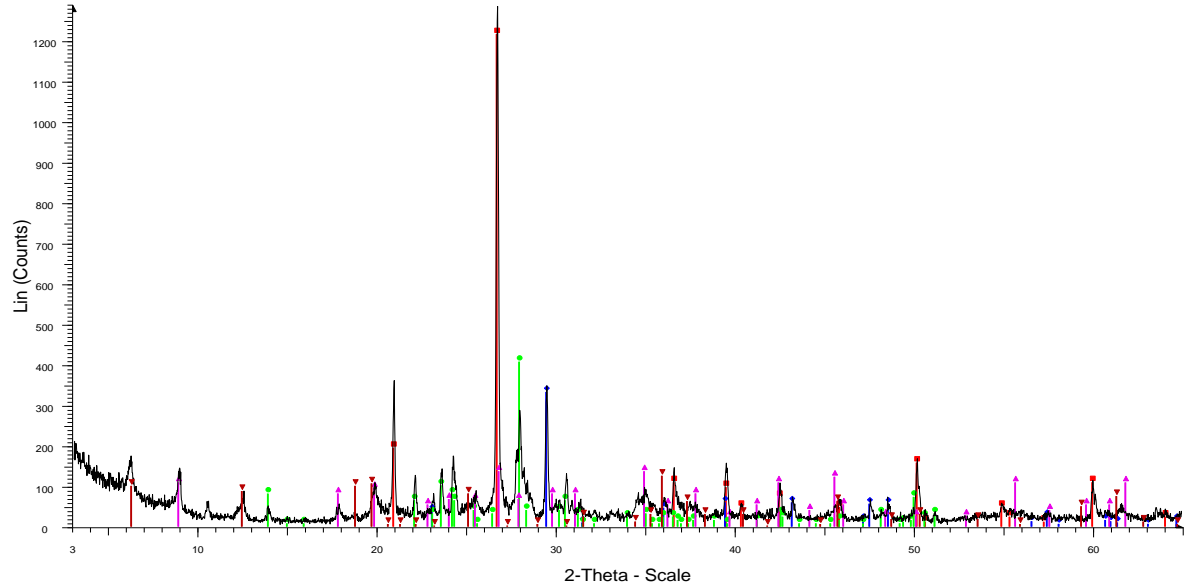


ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΣΜΟΥ ΣΤΕΡΕΩΝ ΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΟΛΟΥ ΚΑΙ ΑΛΜΥΡΟΥ



ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΣΜΟΥ ΣΤΕΡΕΩΝ  
ΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΟΛΟΥ ΚΑΙ ΑΛΜΥΡΟΥ

V44

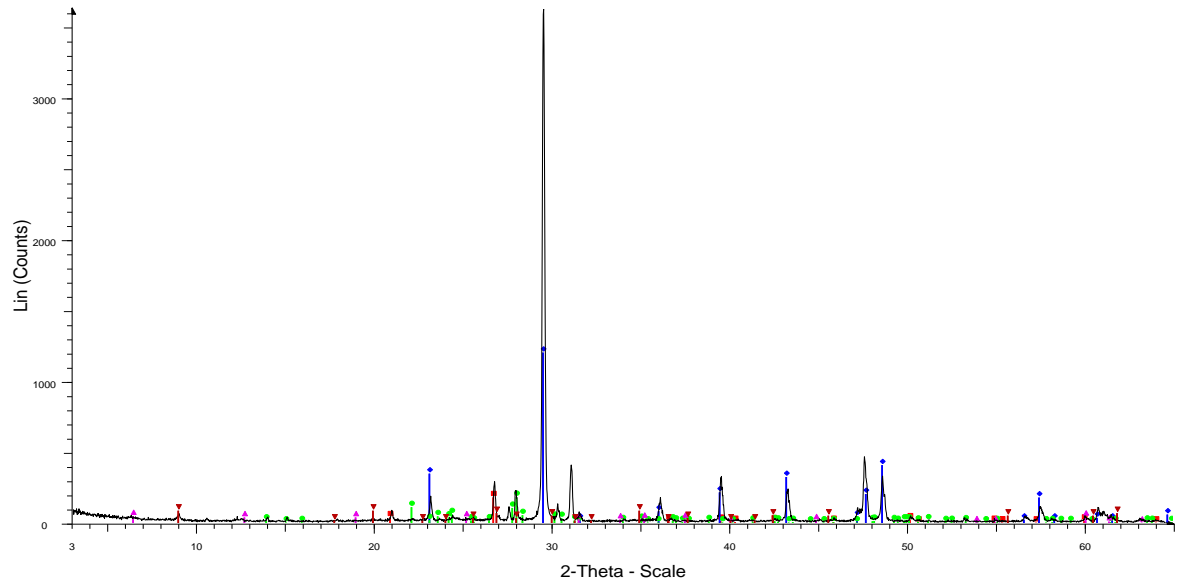


V44 - File: V44.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 65.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 15 s - 2-Theta: 3.000 ° - Theta: 1.500 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° - X: 0.0

Operations: Import

- 00-046-1045 (\*) - Quartz, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 94.70 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/c PDF 3.4 -
- 00-005-0596 (\*) - Calcite, syn - CaCO<sub>3</sub> - Y: 25.90 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/c PDF 2. -
- 00-009-0466 (\*) - Albite, ordered - NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> - Y: 31.71 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/c PDF 2.1 -
- 00-002-0467 (D) - Muscovite - KAl<sub>2</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH,F)<sub>2</sub>H<sub>2</sub>KAl<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub> - Y: 10.64 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -
- 00-013-0003 (D) - Chlorite - Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(O)<sub>8</sub> - Y: 9.79 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -

DV44

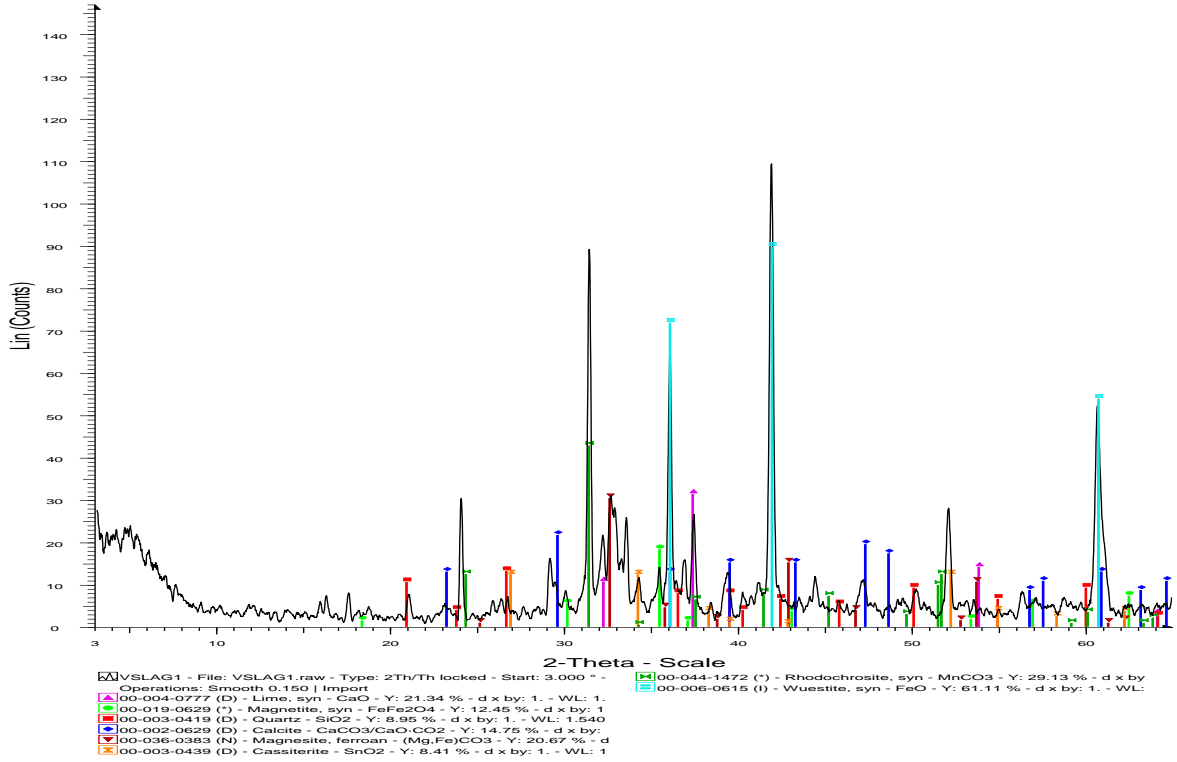


DV44 - File: DV44.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 65.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 14 s - 2-Theta: 3.000 ° - Theta: 1.500 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° - X:

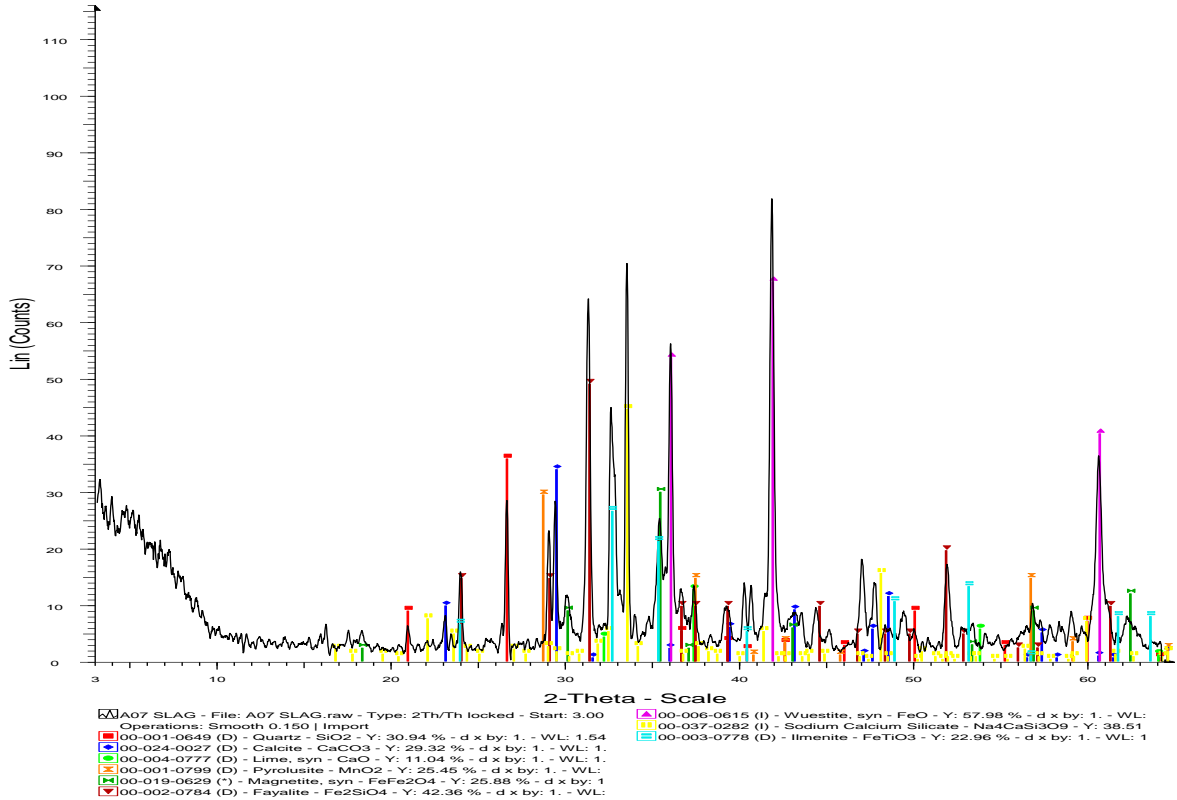
Operations: Import

- 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 5.01 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/c PDF 3.6 -
- 00-024-0027 (D) - Calcite - CaCO<sub>3</sub> - Y: 33.16 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/c User 1. -
- 00-020-0554 (D) - Albite, ordered - NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> - Y: 5.07 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -
- 00-002-0028 (D) - Chlorite - (Mg,Fe)5(Al,Si)5O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub> - Y: 1.35 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -
- 00-002-0058 (D) - Muscovite - H<sub>2</sub>KAl<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub> - Y: 2.42 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -

VSLAG1

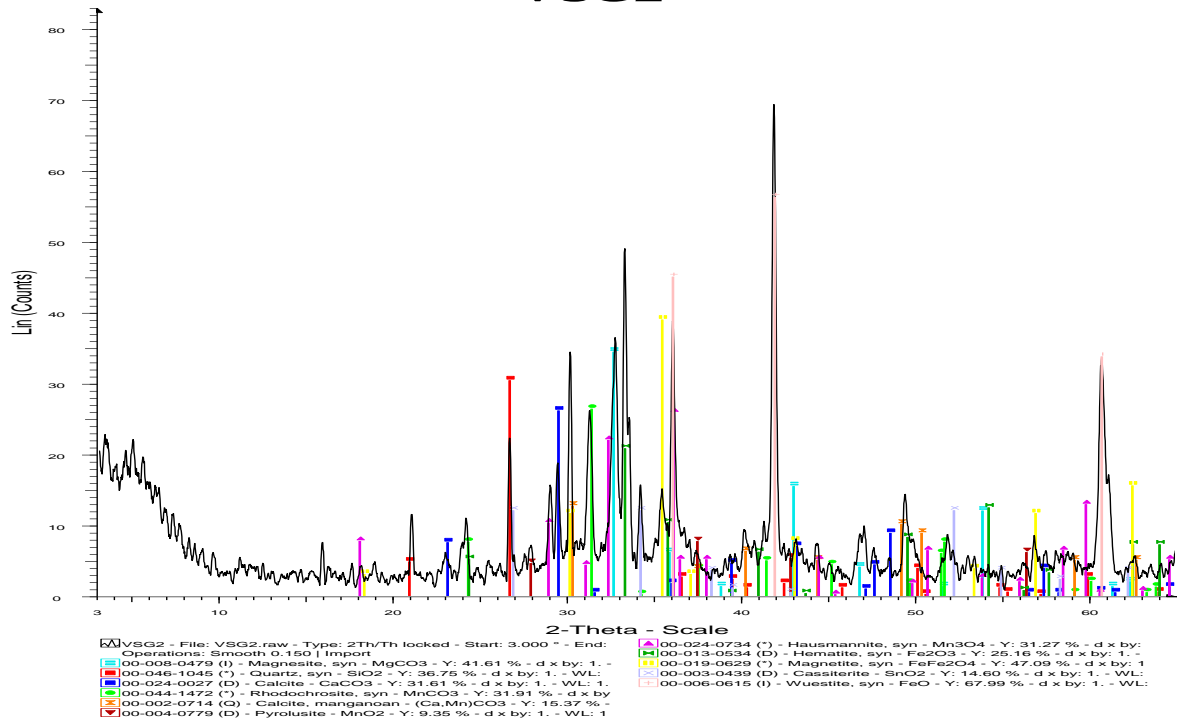


A07 SLAG

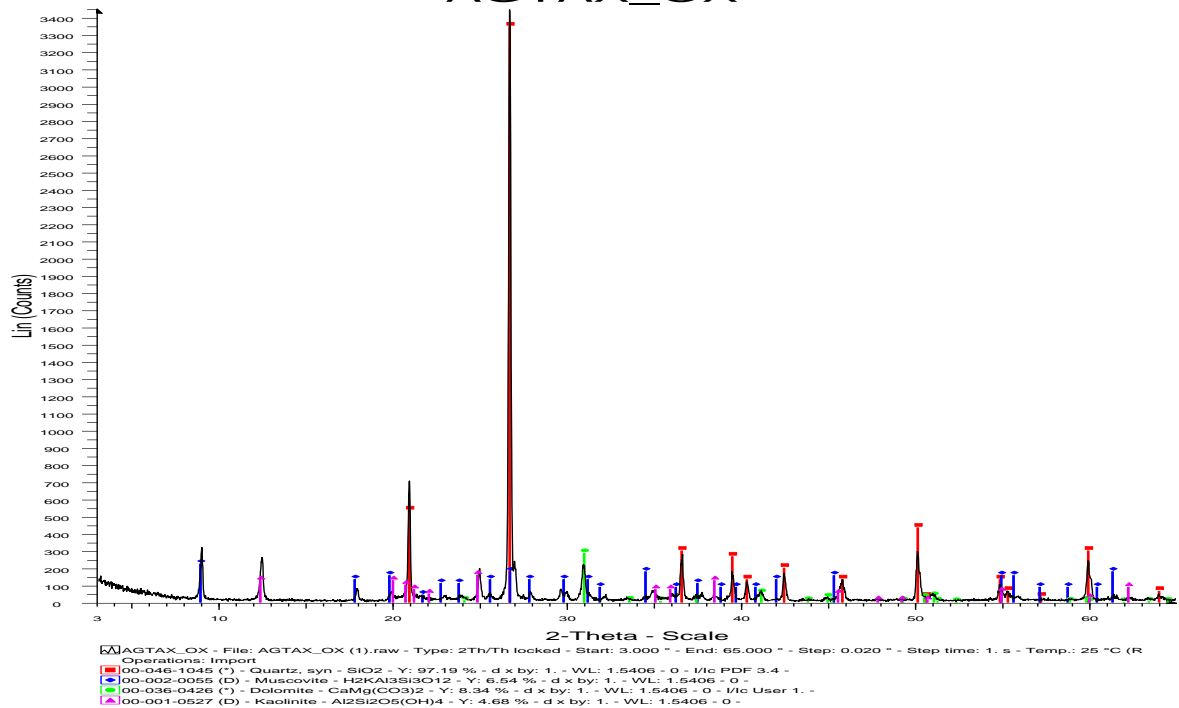


ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΣΜΟΥ ΣΤΕΡΕΩΝ  
ΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΟΛΟΥ ΚΑΙ ΑΛΜΥΡΟΥ

VSG2



AGTAX\_OX



ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΣΜΟΥ ΣΤΕΡΕΩΝ ΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΜΕΣΣΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΟΛΟΥ ΚΑΙ ΑΛΜΥΡΟΥ

