



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Εθνικόν και Καποδιστριακόν Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Θέμα: Μελέτη εμφάνισης σιδηρονικελιούχου
μεταλλοφορίας στην περιοχή
Ασπροπύργου Αττικής.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΗΤΣΗΣ

ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΚΠΑ

ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ ΖΑΜΠΕΤΑΚΗ

ΟΜΟΤΙΜΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΕΚΠΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΗΤΣΗΣ ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΚΠΑ

ΜΙΧΑΗΛ ΣΤΑΜΑΤΑΚΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΚΠΑ

ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ ΛΟΖΙΟΣ ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΚΠΑ

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΚΟΝΤΕΚΑΚΗΣ

ΓΕΩΛΟΓΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	i
ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΣΚΟΠΟΣ	vi
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	vii

ΜΕΡΟΣ Α΄

A.1. Η ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	1
A.2. ΖΩΝΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	6
A.2.1 Υποπελαγονική ζώνη - Λιθοστρωματογραφική εξέλιξη και δομή	6
A.2.2 Στρωματογραφία – Γεωδυναμική εξέλιξη Ζώνης Ανατολικής Ελλάδας	9
A.2.2.1 Ανώτερο Παλαιοζωικό – Κατώτερο Τριαδικό	9
A.2.2.2 Μέσο Τριαδικό – Μέσο Ιουρασικό	10
A.2.2.3 Μέσο Ιουρασικό – Κατώτερο Κρητιδικό	11
A.2.2.4 Μέσο έως Ανώτερο Κρητιδικό – Παλαιόκαινο	11

ΜΕΡΟΣ Β΄

B. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ	14
B.1 Νικέλιο σε πετρώματα	14
B.2 Τα Fe-Ni κοιτάσματα στον Ελλαδικό χώρο	16
B.3 Συνθήκες σχηματισμού των σιδηρονικελιούχων κοιτασμάτων	18
B.4 Ορυκτολογική σύσταση και ιστός των νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων	22
B.5 Μορφή και θέση των κοιτασμάτων	24
B.6 Συνθήκες γένεσης ιζηματογενών σιδηρονικελιούχων κοιτασμάτων στην Ελλάδα	25
B.7 Ορυκτολογική σύσταση των ιζηματογενών λατεριτικών κοιτασμάτων	28
B.8 Μεγάλα κοιτάσματα σιδηρονικελιούχων λατεριτών υπό αξιοποίηση στην Ελλάδα	30

ΜΕΡΟΣ Γ΄

Γ. ΣΠΑΝΙΕΣ ΓΑΙΕΣ	33
Γ.1 Γενικά	33

ΜΕΡΟΣ Δ΄

Δ.1 Γεωγραφική τοποθέτηση της Περιοχής Μελέτης – Μορφολογία	35
Δ.2 Γεωλογικό - Στρωματογραφικό πλαίσιο	37
Δ.3 Σύντομη κοιτασματολογική περιγραφή	39
Δ.4 Υλικά και μέθοδοι	40
Δ.5 Αναλυτικές μέθοδοι και τεχνικές	42

ΜΕΡΟΣ Ε΄

Ε. ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	45
Ε.1 Στρωματογραφία – Παλαιοντολογία	45
Ε.1.1 Περιγραφή & συστηματική ταξινόμηση των κυριοτέρων μικροαπολιθωμάτων	49
Ε.1.1.1 ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ	49
Γένος <i>Chrysalidina</i>	49
Γένος <i>Cuneolina</i>	50
Γένος <i>Dicyclina</i>	52
Γένος <i>Pseudolituonella</i>	52
Γένος <i>Orbitolina</i>	53
Γένος <i>Spiroloculina</i> sp.	54
Γένος <i>Quinqueloculina</i>	55
Γένος <i>Ophthalmidium</i>	55
Γένος <i>Pseudonummoloculina</i>	56
Γένος <i>Nezzazata</i>	57
Γένος <i>Praealveolina</i>	57
Γένος <i>Ovalveolina</i>	59
Γένος <i>Bolivinopsis</i> s.p.	61

Γένος <i>Glomospira</i>	61
Ε.1.1.2 ΑΡΘΡΟΠΟΔΑ	62
Οστρακώδη	62
Ε.1.1.3 ΑΛΓΗ	63
Χαρόφυτα	63
Ε.2 Κοιτασματολογία	64
Ε.2.1 Μακροσκοπική - Μικροσκοπική εξέταση	64
Ε.2.1.1 ΥΠΟ-1 (M6)	64
Ε.2.2.2 ΥΠΟ-2 (M14)	67
Ε.2.3.3 ΥΠΟ-3 (M21)	71
Ε.2.2 Χημική ανάλυση με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων Χ (XRF)	76
Ε.2.3 Ακτινογραφική ανάλυση με τη μέθοδο XRD	90
Ε.2.4 Ηλεκτρονικές μικροαναλύσεις (SEM)	94
Ε.2.5 Σπάνιες Γαίες	100
Ε.2.5.1 Αναλυτικά δεδομένα	100
Ε.2.5.1.1 Χημική ανάλυση με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων Χ (XRF)	100
Ε.2.5.1.2 Ηλεκτρονικές μικροαναλύσεις (SEM)	103
Ε.2.6 Υπολογισμός αποθεμάτων	105
Ε.2.6.1 Υπολογισμός αποθεμάτων σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος	108
Ε.2.6.2 Υπολογισμός αποθεμάτων σιδηρούχου μεταλλεύματος	112
ΜΕΡΟΣ ΣΤ΄	
ΣΤ΄. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	117
ΣΤ΄1. Στρωματογραφία – Γεωλογία	117
ΣΤ΄2. Κοιτασματολογία	119
Ζ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	121
Η. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	122
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	124

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ υπό την επίβλεψη του Επικ. Καθηγητή κ. Ι. Μήτση. Το αντικείμενο της παρούσης περιλαμβάνει εργασία υπαίθρου (χαρτογράφηση, δειγματοληψία) εργαστηριακή και αναλυτική εργασία.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω κατ'αρχήν να απευθύνω στον Επικ. Καθηγητή κ. Ι. Μήτση, ως επιβλέποντα, για την καθοδήγησή του καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Οι γνώσεις που αποκόμισα κατά τη συνεργασίας μας αποτελούν ουσιαστική παρακαταθήκη για το μέλλον.

Ανεκτίμητη χαρακτηρίζεται η προσφορά τόσο σε γνώση όσο και σε εμπειρία της Ομότιμης Καθηγήτριας Α. Ζαμπετάκη. Συνεπιβλέπουσα της παρούσης εργασίας, με εξειδίκευση σε θέματα Μικροπαλαιοντολογίας και Στρωματογραφίας συνέδραμε καθοριστικά στην επιτυχή ολοκλήρωσή της.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην εξεταστική επιτροπή η οποία απαρτίζεται, εκτός από τον κ. Ι. Μήτση, από τον Καθηγητή κ. Μ. Σταματάκη και τον Επικ. Καθηγητή κ. Στ. Λόζιο για τις καίριες επισημάνσεις, τις προτάσεις και τα σχόλια τους στη διαμόρφωση της τελικής μορφής της εν λόγω εργασίας.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω από καρδιάς την συνάδελφο και φίλη κα Στ. Καραντάση, Ορυκτολόγο – Πετρογράφο του Ι.Γ.Μ.Ε.. Η συμβολή της στην μακροσκοπική και μικροσκοπική εξέταση των συλλεχθέντων δειγμάτων μεταλλεύματος ήταν πολύτιμη.

Δε θα μπορούσα να μην αναφέρω τον κ. Β. Σκουνάκη, παρασκευαστή στο Τμήμα Γεωλογίας, για την κατασκευή των λεπτών τομών και των μεταλλογραφικών παρασκευασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την μικροπαλαιοντολογική αξιολόγηση των δειγμάτων και στις ηλεκτρονικές μικροαναλύσεις (SEM) που εκτελέστηκαν .

Θέλω επίσης να αναφέρω την εκτίμηση στους γεωλόγους κ. Δ. Βελιτζέλο, κα Ο. Κουμουτσάκου και Δρ. Ελ. Σταθοπούλου, συναδέλφων και παλιών συμφοιτητών μου. Εκτός της αμέριστης βοήθειας που παρείχαν στην τελική διαμόρφωση των λεπτών τομών που χρησιμοποιήθηκαν στον παλαιοντολογικό προσδιορισμό των δειγμάτων, συνέβαλαν με την κριτική και τις γνώσεις τους στην αντιμετώπιση των όποιων δυσκολιών προέκυψαν κατά την παρασκευή τους.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να εκφράσω προς τους συναδέλφους μου κ. Φραγκούλη Δ. και κα Ξυνού Κ. για την βοήθεια και τη στήριξη που μου προσέφεραν όλο το χρονικό διάστημα εκπόνησης της παρούσης εργασίας.

Ολοκληρώνοντας, δεν ξεχνώ την αμέριστη συμπαράσταση και καθοδήγησή του συνεργάτη και φίλου Ερ. Λυμπερόπουλο σε θέματα ειδικότητάς του.

Στην γυναίκα μου Παναγιώτα
και στα παιδιά μου Μιχάλη & Εύη

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσης είναι να μελετηθούν τα χαρακτηριστικά του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος που εμφανίζεται στη θέση «Κακιά Ράχη» του Δήμου Ασπροπύργου, καθώς και να διερευνηθεί το παλαιοπεριβάλλον απόθεσης της επικλυσιγενούς σειράς των ασβεστολίθων στην περιοχή αυτή.

Για τη μελέτη της ορυκτολογίας και του χημισμού του κοιτάσματος πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις με την βοήθεια φασματομετρίας ακτίνων-Χ φθορισμού, η ορυκτολογική σύσταση του κοιτάσματος μελετήθηκε με πολωτικό μικροσκόπιο και περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ (XRD) ενώ έγιναν μικροαναλύσεις με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). Έμφαση δόθηκε στον προσδιορισμό του περιεχόμενου σε αυτό Ni και την κατανομή τους στις ορυκτολογικές φάσεις των Fe-Ni-ούχων λατεριτών καθώς και στην διερεύνηση της ύπαρξης σπάνιων γαιών στο μετάλλευμα.

Επιπλέον πραγματοποιήθηκε γεωλογική χαρτογράφηση της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος και διερευνήθηκε το παλαιοντολογικό περιεχόμενο τόσο των επικλυσιγενών ασβεστολίθων όσο και αυτών της υποκείμενης σειράς προκειμένου να αναγνωριστούν τα μικροαπολιθώματα και να προσδιορισθούν οι βιοφάσεις για να αντλήσουμε πληροφορίες για την ηλικία και την φάση απόθεσης των ανθρακικών ιζημάτων.

Τέλος με τρισδιάστατη προσομείωση των σχηματισμών που σχετίζονται με τη μεταλλοφορία, με την βοήθεια κατάλληλου λογισμικού, προσδιορίστηκαν τα βέβαια αποθέματα λατερίτη σε έκταση που ορίστηκε στα 100 στρέμματα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο Δήμο Ασπροπύργου, στη θέση «Κακή Ράχη» απαντάται σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα, υπερκείμενο ασύμφωνα Τριαδικής σειράς ασβεστολίθων και δολομιτών και υποκείμενο επικλυσιγενούς σειράς Κρητιδικών ασβεστολίθων της πλατφόρμας Ανατολικής Ελλάδος. Πρόκειται για λατεριτικό ιζηματογενές μετάλλευμα το οποίο προέρχεται από εξαλλοίωση οφιολίθων και πληρεί καρστικά έγκοιλα των τριαδιοϊουρασικών ασβεστολίθων. Μικροπαλαιοντολογικά δεδομένα προσδίδουν στην επικλυσιγενή ακολουθία ηλικία Ανώτερου Κενομανίου.

Ο προσδιορισμός της ηλικίας των επικλυσιγενών ασβεστολίθων σε Άνω Κενομάνιο στηρίχθηκε στην παρουσία χαρακτηριστικών βενθονικών τρηματοφόρων σε λεπτές τομές επί δειγμάτων προερχόμενα από πυρήνες δειγματοληπτικής γεώτρησης που έχουν ανορυχθεί στην εν λόγω θέση. Μελέτη των φάσεων αποδεικνύει νηριτική ιζηματογένεση με το περιβάλλον απόθεσης τους να είναι αβαθής εσωτερική πλατφόρμα.

Για τη μικροπαλαιοντολογική μελέτη και τη φωτογράφιση των λεπτοτομών χρησιμοποιήθηκε οπτικό μικροσκόπιο και ψηφιακή φωτογραφική μηχανή του Τομέα Ιστορικής Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας του ΕΚΠΑ.

Για τη μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης του μεταλλεύματος καθώς και των ορυκτών αυτού χρησιμοποιήθηκε πολωτικό μικροσκόπιο καθώς και μέθοδοι όπως χημικές αναλύσεις με XRF, PXRD ορυκτολογικές αναλύσεις, παρατηρήσεις και μικροαναλύσεις με χρήση SEM και SEM-EDS. Για την εκτίμηση της ορυκτολογικής ημιποσοτικής σύστασης των δειγμάτων ελήφθησαν υπόψη τα αποτελέσματα του λογισμικού TOPAS, v. 3.0.

Τα μελετηθέντα υλικά περιέλαβαν δείγματα τόσο από ερευνητικά σκάμματα όσο και από πέντε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που είχαν ανορυχθεί στην περιοχή μελέτης από την εταιρεία Α.Ε. ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΤΙΤΑΝ.

Η μελετηθείσα μεταλλοφορία μπορεί να χαρακτηριστεί ως ιζηματογενές Fe-Ni-ούχο μετάλλευμα πισσολιθικού και συμπαγούς τύπου. Το μετάλλευμα συνίσταται κυρίως από χαλαζία, με ενδεικτική μέση τιμή στα εξεταζόμενα δείγματα της τάξεως του 55% και από ορυκτά του σιδήρου τα οποία έχουν αντίστοιχα μια ενδεικτική μέση συμμετοχή 30% περίπου. Εξ' αυτών των ορυκτών, στα κύρια ορυκτά συστατικά κατατάσσεται ο αιματίτης που συναντάται είτε με τη μορφή πισσολίθου είτε με τη μορφή συνδεδετικής ύλης και ο γκαιτίτης που συγκεντρώνεται κατά βάση στην κύρια μάζα. Ο μαγνητίτης αντίθετα εμφανίζει μικρότερα ποσοστά συμμετοχής όπως και τα φυλλοπυριτικά ορυκτά κυρίως του χλωρίτη, ιλλίτη, καολινίτη, σερπεντίνη και μοντμοριλλονίτη τα οποία συγκεντρώνονται κυρίως στη συνδεδετική ύλη του μεταλλεύματος. Εμφανής και η παρουσία χρωμίτη ή χρωμιούχου σπινέλιου κυρίως με τη μορφή κλαστικών κόκκων.

Χημικές αναλύσεις του μεταλλεύματος έδωσαν μέση περιεκτικότητα σε Ni 0,71% κυμαινόμενη από 0,28% έως 1,45%. Ο κύριος φορέας του Ni είναι ο νικελιούχος χλωρίτης και δευτερευόντως ο αιματίτης και ο γκαιτίτης, όπως προκύπτει από τις μικροαναλύσεις με τη χρήση του SEM-EDS. Παρόλο που τα ορυκτά του σιδήρου δεν εμφανίζουν μεγάλη

περιεκτικότητα σε Ni, λόγω της μεγάλης τους συμμετοχής στο μέταλλευμα όπως προέκυψε από το λογισμικό TOPAS, η συμβολή τους στη συνολική περιεκτικότητα του Ni στο μέταλλευμα δεν είναι αμελητέα.

Για την τρισδιάστατη απεικόνιση των σχηματισμών που σχετίζονται με τη μεταλλοφορία και τον προσδιορισμό των αποθεμάτων του λατερίτη στην περιοχή μελέτης έγινε χρήση των ακόλουθων προγραμμάτων: Cad Microstation Descartes V8.2.1, Autocad Map ver 13.25.1, ArcGIS 10.1 και GIS ArcInfo Esri 13.51. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους έγινε με τη φωτογραμμετρική μέθοδο σε ψηφιακό φωτογραμμετρικό σταθμό.

Ορίστηκαν ζώνες επιρροής των γεωτρήσεων, καθορίστηκε ο κανόνας της κατηγοριοποίησης του μεταλλεύματος σε ποιότητες σε σχέση με την περιεκτικότητα του στοιχείου που μελετάται και καθορίστηκαν οριζόντες μεταλλοφορίας με βάση τις χημικές αναλύσεις των δειγμάτων που συλλέχθηκαν από τους πυρήνες πέντε δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Με οδηγό την περιεκτικότητα σε Ni καταρχήν και του Fe κατά δεύτερον υπολογίστηκαν τα βέβαια αποθέματα του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος σε περιοχή έκτασης 100 στρεμμάτων. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει τις εν λόγω δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και ένα ερευνητικό σκάμμα. Με τη χρήση των προαναφερθέντων λογισμικών και σύμφωνα με τα παραπάνω κατασκευάστηκαν στερεομετρικές όψεις των μεταλλοφόρων και μη οριζόντων και υπολογίστηκαν τα βέβαια αποθέματα που ανέρχονται σε $1.425.060\text{m}^3$. Από αυτά τα 66.887m^3 αφορούν αποθέματα μεταλλεύματος με περιεκτικότητα σε $\text{Ni} \geq 0.9\%$ κ.β. και τα υπόλοιπα $1.358.173\text{m}^3$ αφορούν κυμαινόμενης περιεκτικότητας σε Ni μέταλλευμα με κάτω όριο το 0.5% και άνω όριο το 0,9% κ.β. σε Ni.

Τέλος δόθηκε έμφαση στον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του μεταλλεύματος σε σπάνιες γαίες, χωρίς ωστόσο να διαπιστωθούν αξιόλογες συγκεντρώσεις στις θέσεις δειγματοληψίας που επιλέχθηκαν και για τα συγκεκριμένα δείγματα που αναλύθηκαν.

Θεματική περιοχή: Σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα, Ασπρόπυργος

Λέξεις κλειδιά: Λατερίτης, παλαιοπεριβάλλον, αποθέματα

A.1 Η ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

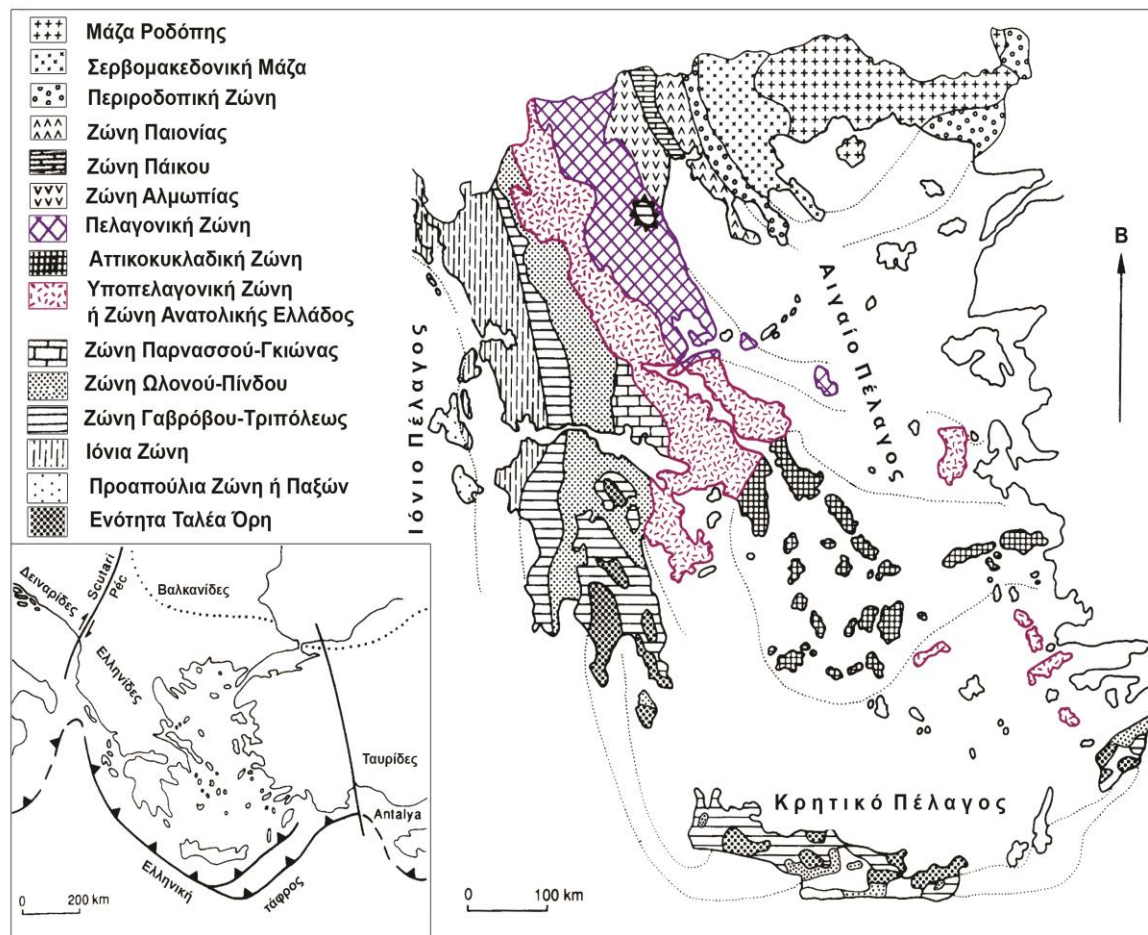
Στη διαμόρφωση της γεωλογικής δομής της Ελλάδας συνέβαλε η δράση πολλών τεκτοορογενετικών διεργασιών που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια της γεωλογικής της ιστορίας. Το σύνολο των διεργασιών αυτών συνιστά τη γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας, η οποία βέβαια καθορίστηκε από τη θέση της Ελλάδας στο Παγκόσμιο γεωτεκτονικό σύστημα.

Η γεωτεκτονική θέση της Ελλάδας στο γεωλογικό παρελθόν, όπως άλλωστε και σήμερα, βρίσκονταν στον ευρύτερο χώρο, όπου γινόταν οι τεκτονικές διεργασίες στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών Λαυρασίας και Γκοντβάνας. Η γεωτεκτονική επομένως εξέλιξη της Ελλάδας συνδέεται στενά με τη γεωτεκτονική εξέλιξη του ευρύτερου αυτού χώρου του ορίου των δύο λιθοσφαιρικών πλακών.

Οι Ελληνικές οροσειρές ή αλλιώς Ελληνίδες όρος που καθιερώθηκε από τον KOBER (1928), ανήκουν στο Δειναρικό κλάδο της Αλπικής ορογενετικής αλυσίδας και περιλαμβάνουν το τμήμα του νότιου κλάδου που σχηματίζει το Ελληνικό τόξο εκτεινόμενο από την εγκάρσια τεκτονική μετάπτωση του Scutari-Pec προς Βορρά εκατέρωθεν της οποίας συναντώνται διαφορετικές τεκτονικές ενότητες μέχρι το κόλπο της Αττάλειας στην Νοτιοδυτική Μικρασία προς Νότο όπου δημιουργείται μία ακμή και στην συνέχεια αλλάζει η διεύθυνση της ορογενετικής αλυσίδας δημιουργώντας το τόξο του Ταύρου (Ραρανικόλαου 1986). Έχουν διαρθρωθεί δε σε γεωτεκτονικές ζώνες η κάθε μία από τις οποίες συνίσταται από ορισμένη στρωματογραφική διαδοχή των ιζημάτων της, από τους ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες της και από την ιδιαίτερη τεκτονική της συμπεριφορά, στοιχεία γενικά που εξαρτώνται από την παλαιογεωγραφική της θέση κατά την διάρκεια του αλπικού ιζηματοορογενετικού κύκλου (Katsikatsos, 1992).

Παρακάτω δίνονται από Ανατολικά προς τα Δυτικά οι κύριες γεωτεκτονικές ενότητες (Mountrakis, 1985) η γεωγραφική κατανομή των οποίων αποτυπώνεται στην Εικ.1.

- 1) Η μάζα της Ροδόπης
- 2) Η Σερβομακεδονική μάζα
- 3) Η Περιροδοπική ζώνη
- 4) Η ζώνη Παιονίας
- 5) Η ζώνη Πάικου *(Οι τρεις αυτές ζώνες είναι περισσότερο γνωστές με το κοινό όνομα ζώνη Αξιού)*
- 6) Η ζώνη Αλμωπίας
- 7) Η Πελαγονική ζώνη
- 8) Η Αττικοκυκλαδική ζώνη
- 9) Η Υποπελαγονική ζώνη ή ζώνη Ανατολικής Ελλάδας
- 10) Η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας
- 11) Η ζώνη Ωλονού-Πίνδου
- 12) Η ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης
- 13) Η Αδριατικοϊόνιος ζώνη
- 14) Η ζώνη Παξών ή Προαπουλία



Εικ.1 Γεωγραφική κατανομή των γεωτεκτονικών ζωνών των Ελληνίδων
(Mountrakis, 1985)

Η παλαιογεωγραφική οργάνωση των Ελληνίδων και η πιθανή σχέση μεταξύ του προαλπικού υποβάθρου και των αλπικών καλυμμάτων επέτρεψε την ανάλυση των Ελληνίδων σε τεκτονοστρωματογραφικά πεδία (Papanikolaou 1989a, 1997, 2015). Σύμφωνα με τον Papanikolaou (1997, 2015) τα τ. πεδία με κωδική ονομασία H2, H4, H6, H8 αντιστοιχούν σε τμήματα του ωκεανού της Τιθύος, ενώ τα H1, H3, H5, H, H9 αντίστοιχα, αντιπροσωπεύουν ηπειρωτικά θραύσματα Γκοντβανικής προέλευσης εκτός του H9 του οποίου η προέλευση είναι αβέβαιη (Εικ. 2).

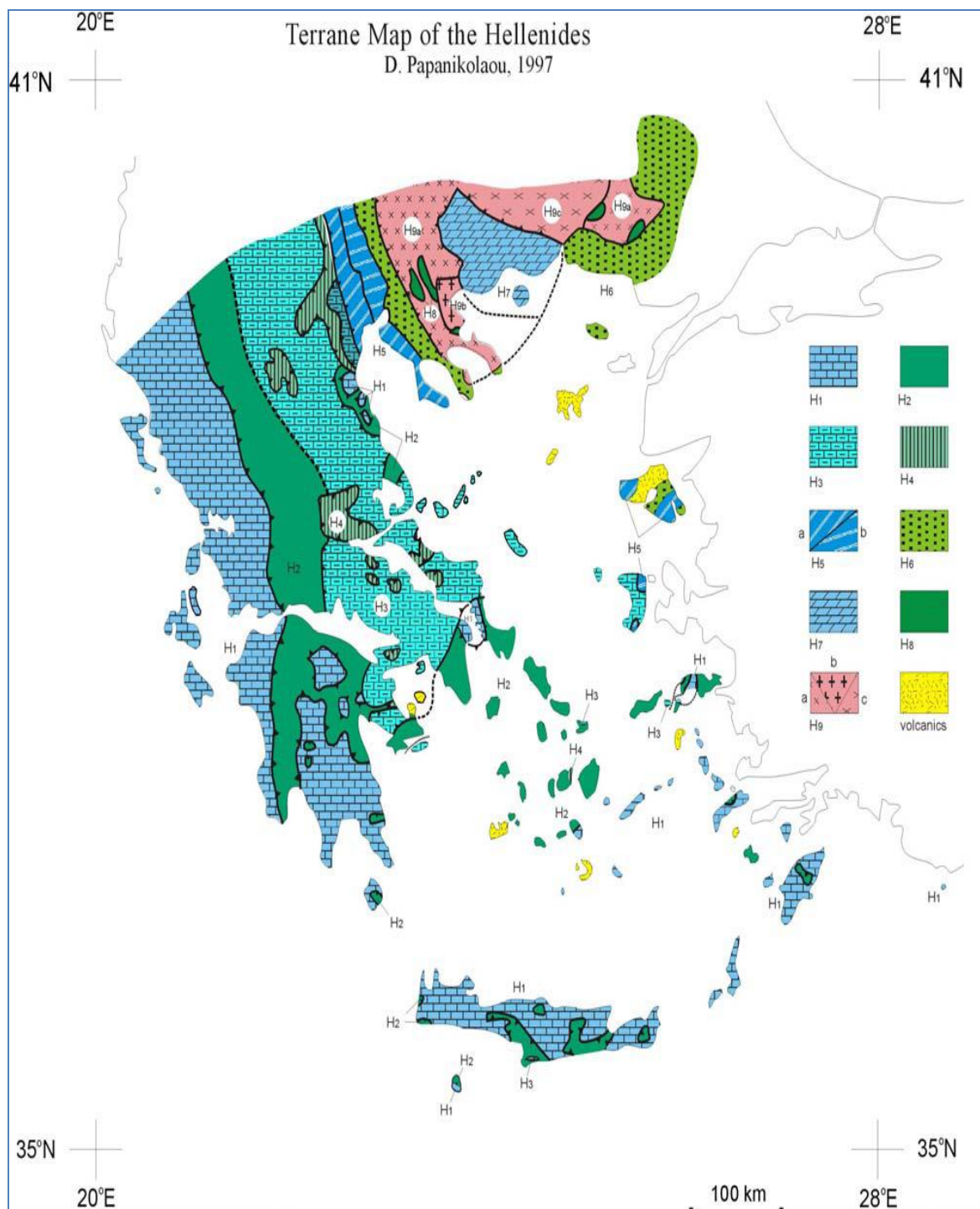
Οι σχηματικές λιθοστρωματογραφικές στήλες για κάθε πεδίο δίνονται στην Εικ. 3 όπου περιλαμβάνονται και οι ονομασίες των τεκτονικών ενοτήτων των Ελληνίδων που εντάσσονται σε κάθε τεκτονικό πεδίο. Ειδικότερα όσον αφορά το τ. πεδίο H3 (Πλατφόρμα Εσωτερικών Ελληνίδων), αυτό αποτελείται από τις μεταμορφωμένες ενότητες της Αλμωπίας, Αττικής και Λαυρίου όσο και από αμεταμόρφωτες ενότητες (Παρνασσού, Βοιωτική, Υποπελαγονική) καθώς και από πιθανά προαλπικά κρυσταλλικά πετρώματα (Αστερούσια, Φλάμπουρο και Καστοριά) (Papanikolaou, 1997).

Το κύριο χαρακτηριστικό του πεδίου είναι η έναρξη και επικράτηση ρηγής ανθρακικής πλατφόρμας από το Κάτω-Μέσο Τριαδικό Τριαδικό (Brunn 1956, Mercier 1968, Papanikolaou & Zambetakis-Lekkas, 1980) έως το Ανώτερο Ιουραϊκό (Celet 1962,

Celet and Ferriere 1978, Papanikolaou 1988c) και μέχρι το Ανώτερο Κρητιδικό δεδομένου ότι έχουμε δύο κύριες φάσεις τεκτονισμού. Μία στο εσωτερικό τμήμα της τράπεζας που έλαβε χώρα το Ανώτερο Ιουρασικό έως το Κατώτερο Κρητιδικό με την τεκτονική τοποθέτηση ενός σχηματισμού τύπου *mélange* με οφιολίθους πάνω στα νηριτικά ανθρακικά (ανωκρητιδική ασυμφωνία συνήθως Κενομάνιο) ενώ το πιο εξωτερικό τμήμα της τράπεζας (Ενότητα Παρνασσού) δεν συμμετείχε στο ορογενετικό αυτό επεισόδιο με την νηριτική ιζηματογένεση εκεί να συνεχίζει μέχρι και το Μαιστρίχτιο.

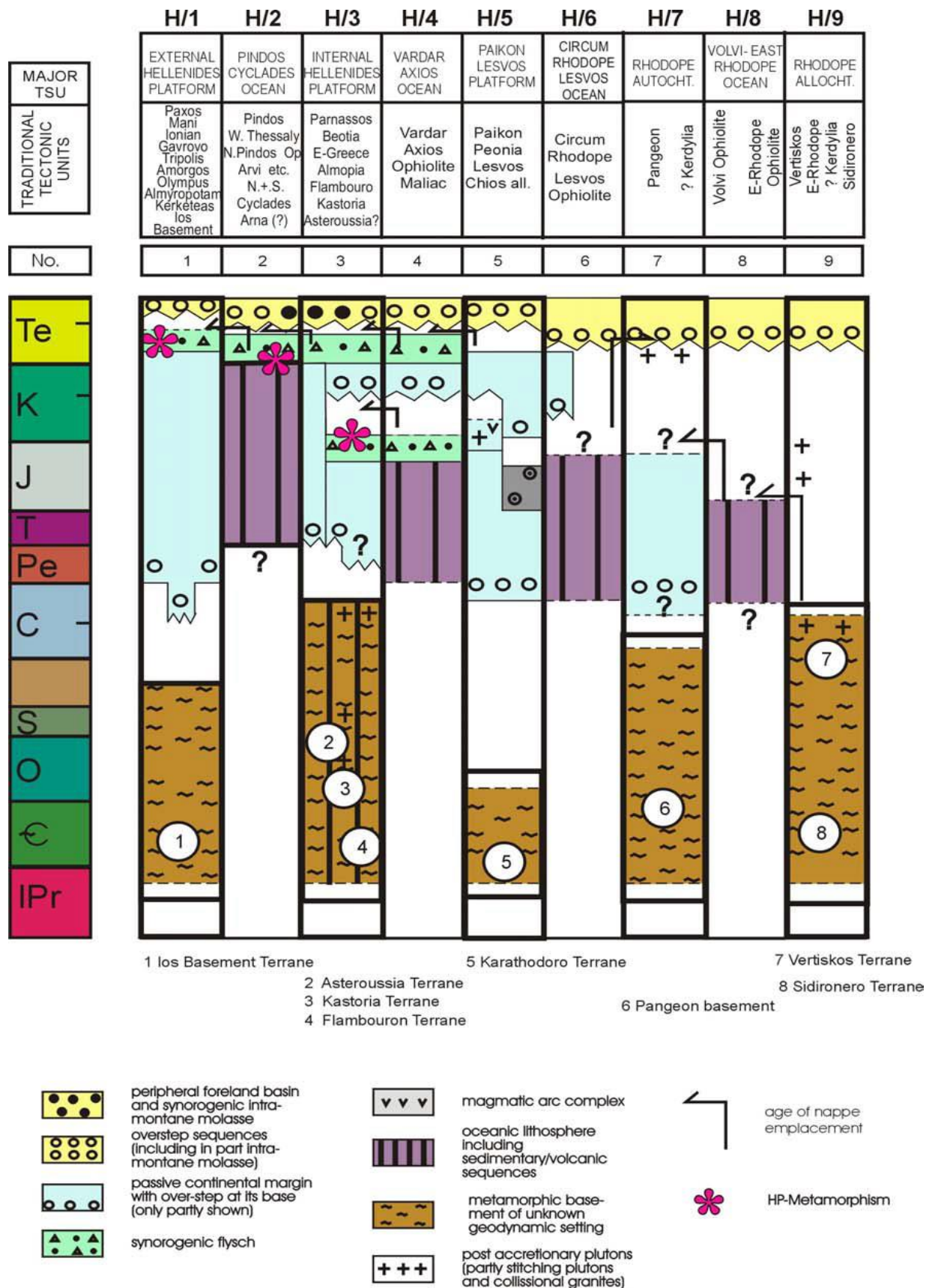
Τα νηριτικά ανθρακικά της Υποπελαγονικής παρουσιάζουν και την μεγαλύτερη εξάπλωση από όλες τις παλαιοτεκτονισμένες ενότητες που υπόκεινται της ενότητας Ανατολικής Ελλάδος.

Στην πλατφόρμα αυτή του τ. πεδίου H3 επωθήθηκαν οι οφιολίθοι Αξιού (τ. πεδίο H4) κατά το ανώτερο Ιουρασικό – Κατώτερο Κρητιδικό κατά την παλαιο-αλπική ή (ηω-αλπική) ορογενετική φάση (Mercier 1968, Mercier and Vargely 1972, Jacobshagen 1979, 1986.



Εικ. 2 Χάρτης των τεκτονικών πεδίων των Ελληνίδων (Papanikolaou, 1997)

H1: Πλατφόρμα Εξωτερικών Ελληνίδων, **H2:** Ωκεανός Πίνδου – Κυκλάδων, **H3:** Πλατφόρμα Εσωτερικών Ελληνίδων, **H4:** Ωκεανός Αξιού, **H5:** Πάικο, **H5a:** Ενότητα Πάικου, Αυτόχθονο Λέσβου και Αλλόχθονο Χίου, **H5b:** Εν. Παιονίας, **H6:** Περιροδοπική Ζώνη και Οφιόλιθοι Λέσβου, **H7:** Αυτόχθονο Ροδόπης (Εν. Παγγαίου), **H8:** Οφιόλιθοι Βόλβης – Αν. Ροδόπης, **H9:** Αλλόχθονο Ροδόπης (+Σερβο-Μακεδονική). **H9a:** Εν. Βερτίσκου και Εν. Ανατολικής Ροδόπης, **H9b:** Εν. Κερδυλίων, **H9c:** Εν. Σιδηρόνερου.



Εικ.3 Λιθοστρωματογραφικές στήλες των τ.πεδίων των Ελληνίδων (Ραρανικολαου, 1997)

A.2 ΖΩΝΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Η περιοχή στην οποία πραγματοποιήθηκε η εν λόγω μελέτη ανήκει γεωλογικά στην ζώνη Ανατολικής Ελλάδας. Ο Renz (1940) ήταν ο πρώτος ερευνητής που διατύπωσε την άποψη περί τον όρο της «Ζώνη ή Σειρά της Ανατολικής Ελλάδας» για τους σχηματισμούς που βρίσκονταν νότια και δυτικά της "Πελαγονικής μάζας" (Kossmat, 1924) στην οποία περιέλαβε το σύνολο των μεταμορφωμένων πετρωμάτων που εμφανίζονται στον χώρο της Δυτικής Μακεδονίας, Ανατολικής Θεσσαλίας, Βόρειας Εύβοιας και των Βόρειων Σποράδων.

Σύμφωνα με τον Παπανικόλαου (1983, 1984, 2015) εσωτερικότερα των ενοτήτων Δυτικής Θεσσαλίας–Βοιωτίας υπάρχει ένας χώρος αποτελούμενος από πλήθος παλαιο-τεκτονισμένων ενοτήτων τις οποίες ομογενοποίησε η επίκλυση που ακολούθησε στο Ανώτερο Κρητιδικό (γενική ηλικία επίκλυσης το Κενομάνιο). Το σύνολο των παλαιοτεκτονισμένων αυτών ενοτήτων με τους τεκτονικά υπερκείμενους οφιολίθους του Αξιού και το ανωκρητιδικό – ηωκαινικό ιζηματογενές κάλυμμα αποτελούν σύμφωνα με τον Παπανικόλαου (1989) τη σύνθετη τεκτονική ενότητα της Ανατολικής Ελλάδας

Το χρονικό διάστημα για το οποίο υπάρχει ο παραπάνω χώρος είναι μεταξύ Κενομανίου – Ηωκαίνου και περιλαμβάνει πολλές παλαιοτεκτονισμένες ενότητες που καλύφθηκαν κάποια στιγμή κατά το διάστημα Αλβίου – Μαιστριχτίου από θάλασσα. Περιλαμβάνει τόσο μεταμορφωμένες ενότητες (Αλμωπία, (?) Αττική, (?) Λαύριο) όσο και αμεταμόρφωτες ενότητες (Παρνασσός, Βοιωτική, Υποπελαγονική), καθώς και από πιθανά προαλπικά κρυσταλλικά πετρώματα (Αστερούσια, Φλάμπουρο, Καστοριά).

A.2.1 Υποπελαγονική ζώνη

Λιθοστρωματογραφική εξέλιξη και δομή

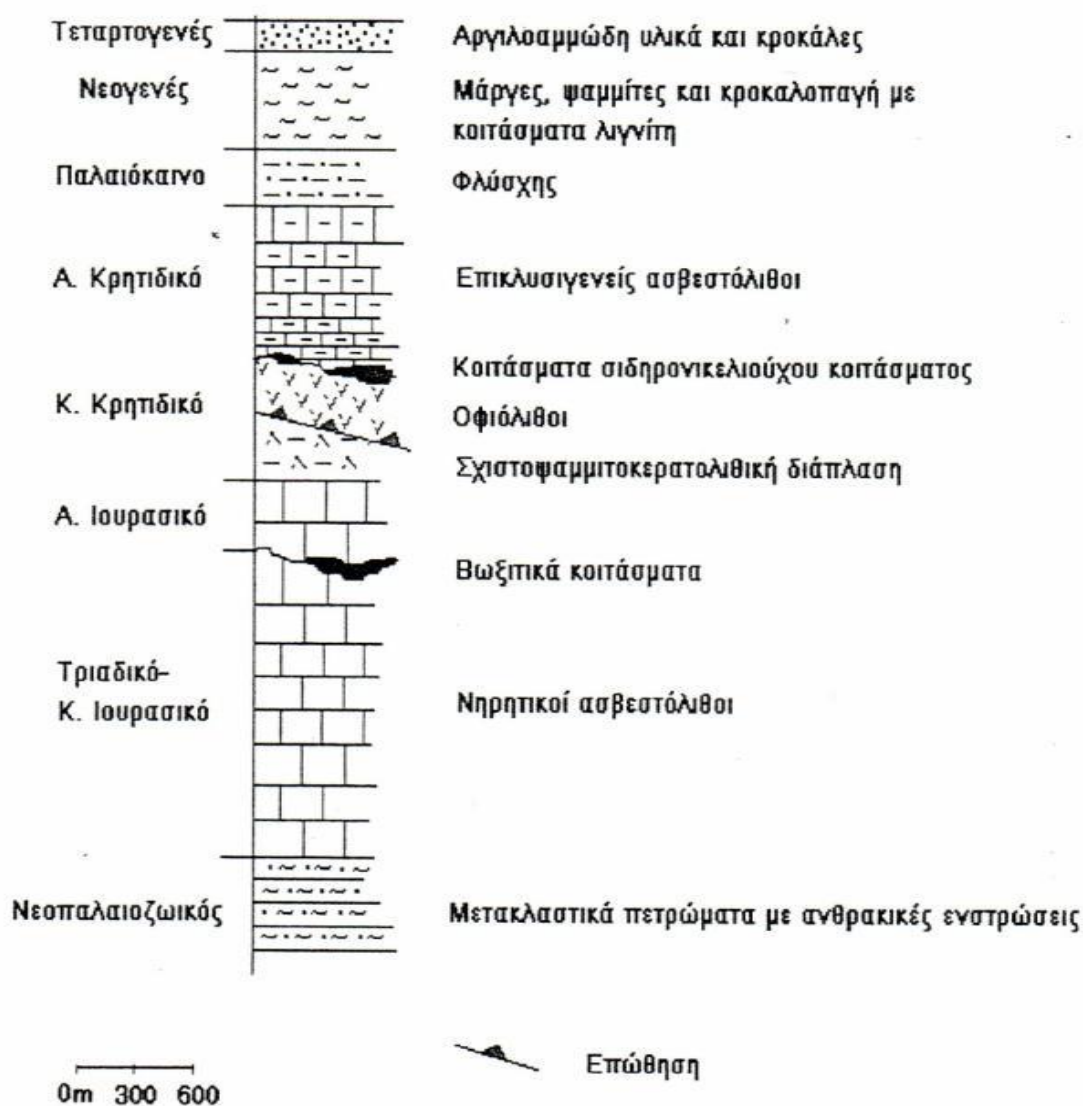
Καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της ενότητας Ανατολικής Ελλάδας όπως αρχικά καθορίστηκε από τον RENZ (1940, 1955) ενώ σύμφωνα με τον Mountraki (1983) η ζώνη αυτή κατέχει, γενικά, το δυτικό περιθώριο του Πελαγονικού υβώματος. Εμφανίζεται στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα (ανατολικά των ζωνών Βοιωτίας και Παρνασσού), Βόρεια Αττική, Αργολίδα, Εύβοια (Κεντρική και Βόρεια), Όθρυ, στον ορεινό όγκο της Πίνδου και σε μερικά νησιά των Κυκλάδων, όπου αυτή αποτελεί την Ανώτερη τεκτονική Ενότητα του κυκλαδικού χώρου. Επίσης, η ζώνη αυτή προς τα νότια, στις περιοχές της Αττικής και της νότιας Εύβοιας, είναι επωθημένη πάνω στις μεταμορφωμένες Ενότητες των περιοχών αυτών.

Σύμφωνα με τον Παπανικόλαου (1986, 2015) η ζώνη αυτή (Εικ.4) περιλαμβάνει νηριτικού τύπου πετρώματα (νηριτικοί ασβεστόλιθοι στο Ανωτριάδικό και εν μέρει στο Ιουρασικό) μιας ασβεστολιθικής πλατφόρμας που διακόπτεται κατά ορισμένες περιόδους (όχι παντού) από τις γνωστές σχιστοκερατολιθικές διαπλάσεις. Ιδιαίτερα στην οροφή η ανώτερη σχιστοκερατολιθική διάπλαση παίρνει τη μορφή τεκτονικού μίγματος που υπόκειται του καλύμματος των οφιολίθων.

Σε πολλές θέσεις της ενότητας αυτής παρατηρούνται ένας ή δύο βωξιτοφόροι ορίζοντες κυρίως στο Κιμμερίδιο κάτω από ασβεστόλιθους με *Cladocoropsis mirabilis*. Στο ανώτερο Παλαιοζωϊκό – Κάτω Τριαδικό παρατηρούνται πολλοί κλαστικοί σχηματισμοί, λιθοοψικά μοιάζουν με φλύσχη ολισθολίθους ασβεστολίθων Παλαιοζωϊκής ηλικίας (Αττική, Εύβοια, Χίος) ενώ σε ορισμένες θέσεις παρατηρείται νηρητική ανθρακική ιζηματογένεση (Υδρα, αλλόχθονο Χίου).

Στο Μέσο Τριαδικό παρατηρούνται συχνά ερυθροϊώδεις ή πρασινωποί κονδυλώδεις μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι φάσεως *ammonitico rosso* που συνδέονται με υποθαλάσσια δραστηριότητα .

Στο Ανώτερο Τριαδικό – Κατώτερο Ιουρασικό επικρατεί νηρητική ιζηματογένεση μεγάλου πάχους με απολιθώματα *Megalodon*, *Gyrporella*, *Diploporella*, *Paleodasycladus* κ.α. (Ραpanikolaou 1986, 2015).



Εικ. 4 Σχηματική λιθοστρωματογραφική στήλη της Υποπελαγονικής (Ραpanikolaou et al., 1988)

Σύμφωνα με Mountrakis (1985) η Υποπελαγονική ζώνη, από κάτω προς επάνω, αποτελείται από:

- Ένα Παλαιοζωϊκό κρυσταλλικό υπόβαθρο,
- ΝεοΠαλαιοζωϊκούς ημιμεταμορφωμένους, κυρίως κλαστικούς, σχηματισμούς,
- Σχηματισμούς του Κατώτερου - Μέσου Τριαδικού (κλαστικούς σχηματισμούς, εκρηξιγενή πετρώματα και ασβεστόλιθους),
- Μη μεταμορφωμένους ανθρακικούς σχηματισμούς του Μέσου-Ανώτερου Τριαδικού-Ανώτερου Ιουρασικού,
- Επωθημένες μεγάλες μάζες οφιολιθικών πετρωμάτων, πάνω στους προηγούμενους σχηματισμούς, που συνοδεύονται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας
- Επικλυσιγενείς ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους, και
- Ιζήματα φλύσχη.

Ο πιο βασικός σχηματισμός της Υποπελαγονικής ζώνης κατά τον Mountrakis (1985) είναι η λεγόμενη «σχιστοκερατολιθική διάπλαση», της οποίας η απόθεση κράτησε όλο το Ιουρασικό και στις περιοχές που δεν παρατηρείται η ασβεστολιθική σειρά που περιγράφηκε προηγουμένως, η απόθεση της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης άρχισε από το Άνω Τριαδικό.

Κατά τον ίδιο μελετητή η σχιστοκερατολιθική διάπλαση συνίσταται από λεπτόκοκκα ιζήματα δηλαδή κόκκινους, πράσινους, μαύρους αργλικούς σχιστόλιθους, ραδιολαριτικούς κερατόλιθους, μάργες, λεπτόκοκκους ψαμμίτες, πηλίτες, αργιλοπηλίτες, παρεμβολές λεπτόκοκκων πελαγικών ασβεστολίθων. Τα ιζήματα αυτά βρίσκονται σε συνεχείς εναλλαγές και συγκροτούν μια σειρά αρκετού πάχους που αντιπροσωπεύει ιζηματογένεση πελαγική - ωκεάνια.

Με την ορογένεση που εκδηλώθηκε στο χώρο των Εσωτερικών Ελληνίδων στην περίοδο Ανωτέρου Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού, αναδύθηκε και η Υποπελαγονική. Ακολούθησε περίοδος χέρσευσης κατά την οποία σχηματίστηκαν τα αξιόλογα σιδηρονικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα, στη Λάρυμνα, Λοκρίδα, Κεντρική Εύβοια, από την λατεριτική αποσάθρωση των οφιολίθων. Τα κοιτάσματα αυτά στη συνέχεια καλύφθηκαν και προστατεύθηκαν από τη διάβρωση χάρη στην απόθεση των Μέσο-Άνω Κρητιδικών επικλυσιγενών ιζημάτων.

Η Υποπελαγονική ζώνη παρουσιάζει (Mountrakis, 1985) τρεις διαφορετικές στρωματογραφικές - τεκτονικές διαδοχές των πετρωμάτων της.

- Αυτή που περιλαμβάνει μόνο την οφιολιθική ακολουθία και τα συνοδά ιζήματα βαθιάς θάλασσας χωρίς να παρατηρείται κανένα τεκτονικό υπόβαθρο αυτών.
- Αυτή στην οποία οι οφιολίθοι με τα συνοδά ιζήματα βρίσκονται τοποθετημένοι πάνω σε πελαγικά ανθρακικά πετρώματα.
- Εκείνη που οι οφιολίθοι με τα συνοδά ιζήματα βρίσκονται επωθημένοι πάνω σε νηριτικά ανθρακικά πετρώματα τυπικά ηπειρωτικού περιθωρίου.

Οι τρεις παραπάνω διαδοχές πετρωμάτων δεν έχουν την έννοια τριών διαφορετικών ενοτήτων που αναπτύσσονται σε ξεχωριστούς χώρους αλλά ουσιαστικά

αντιπροσωπεύουν την εξέλιξη από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά των βαθιών ωκεάνιων συνθηκών ιζηματογένεσης προς τις νηρητικές του ηπειρωτικού περιθωρίου.

A.2.2 Στρωματογραφία – Γεωδυναμική εξέλιξη Ζώνης Ανατολικής Ελλάδας

A.2.2.1 Ανώτερο Παλαιοζωικό – Κατώτερο Τριαδικό

Αφορά το διάστημα που αντιστοιχεί στο πέρασμα από την προαλπική φάση στο καθαρά αλπικό καθεστώς που επιβλήθηκε με την επικράτηση ρηχής ανθρακικής ιζηματογένεσης, η έναρξη της οποίας τοποθετείται, ανάλογα με την γεωγραφική θέση, στο Κατώτερο (Σίδερης, 1986) Μέσο (Brunn 1956, Mercier 1968, Bassoulet & Guernet 1970, Papanikolaou & Zambetakis-Lekkas 1980) ή και Ανώτερο Τριαδικό (Clement 1983, Σίδερης 1986).

Κατά τον Σίδηρη (1986) η εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με το γεωδυναμικό καθεστώς που επικρατούσε κατά το Ανώτερο Παλαιοζωικό – Κατώτερο Τριαδικό (Περμοτριαδικό) στην Ζώνη Ανατολικής Ελλάδας είναι δύσκολη λόγω του γεγονότος ότι τόσο η μικρή και σποραδική εμφάνιση των προ-ανωτριάδικων εμφανίσεων στον χώρο της Ανατολικής Ελλάδας με μεταβλητή και ποικίλη λιθολογική σύσταση όσο και η εμπλοκή τους σε δύο ορογενετικές φάσεις στο άνω Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό καταρχήν και στο Ηώκαινο ύστερα που επικάλυψαν τους παλαιότερους χαρακτήρες δεν αφήνουν μεγάλα περιθώρια ακριβούς ερμηνείας των δεδομένων.

Φαίνεται πάντως, σύμφωνα με τον συγγραφέα, πιθανότερη η εκδοχή κατά την περίοδο Περμίου-Καρνίου να είχαν διαμορφωθεί σε ένα προ-λιθανθρακοφόρο υπόβαθρο κάποιες υποθαλάσσιες λεκάνες οι οποίες τροφοδοτούνταν με κλαστικό υλικό που αποθέτονταν εκεί ενώ ταυτόχρονα λειτουργούσαν ήδη από το Πέρμιο και νηριτικές πλατφόρμες. Εκτιμά δε ότι οι περμοτριάδικές ακολουθίες της Ανατολικής Ελλάδας σχετίζονται πιθανότερα με το κλείσιμο του ωκεανού της Παλαιοιηθύος και την Κιμμέρια ορογένεση, ενώ τοποθετεί τις εμφανίσεις σε Β. Αττική, Σαλαμίνα και Κεντρική Εύβοια στην τάφρο/τάφρους στο εξωτερικότερο δυτικό άκρο του ορογενετικού τόξου των Κιμμερίδων όπου τα γεωδυναμικά φαινόμενα βάθους και επιφανείας είναι λιγότερο έντονα.

Ενισχυτικά στην θεωρία ότι ο ελληνικός χώρος θα μπορούσε να τοποθετηθεί γεωτεκτονικά στην περιοχή όπου συγκλίνουν η ζώνη υποβύθισης των Κιμμερίδων και η διανοιγόμενη μεσο-ωκεάνια ράχη της Νεοιηθύος, κατά τον Σίδηρη (1986) είναι ο αντιφατικός χημισμός των ηφαιστειακών πετρωμάτων του Τριαδικού.

Ο Papanikolaou (1989) υποστηρίζει ότι οι περμοτριάδικές ακολουθίες με ανωπαλαιοζωικούς ασβεστολίθους που εντοπίζονται στις Εσωτερικές Ελληνίδες αποτελούν φάσεις ταφροποίησης του βόρειου παθητικού περιθωρίου της Γκοντβάνα και σηματοδοτούν την έναρξη της μετατόπισης προς βορρά μεγάλων τεκτονοστρωματογραφικών πεδίων.

A.2.2.2 Μέσο Τριαδικό – Μέσο Ιουρασικό

Η ανθρακική ιζηματογένεση η οποία επικρατεί καθολικά στο χώρο των Εσωτερικών Ελληνίδων στο Ιουρασικό και θα διαρκέσει μέχρι το Ανώτερο Ιουρασικό (Celet & Ferriere 1978, Papanikolaou 1988) ομογενοποιεί την πολυποικιλότητα των γεωτεκτονικών και γεωδυναμικών καταστάσεων που διαμορφώθηκε κατά την μετάβαση από τον Παλαιοζωικό στο Μεσοζωικό αιώνα στο χώρο της Ζώνης Ανατολικής Ελλάδος.

Έτσι κατά το Ανωτριαδικό-Λιάσιο έχουμε αποθέσεις ασβεστολίθων και δολομιτών οι οποίοι περιέχουν συγκεκριμένη μικρο- και μακροπανίδα με συνηθέστερα το Ανώτερο Τριαδικό μεγάλα *Megalodon*, τα τρηματοφόρα *Glomospira*, *Glomospirella*, *Triasina* και κυρίως *Involutinidae* καθώς και τα φύκη *Dasycladales* (*Gyroporella* και *Diploporella*) καθώς και κωνόδοντα (π.χ. Brunn 1959, Κουμαντάκης 1969, Celet & Ferriere 1978, Ferriere 1978, Pomoni & Papaioannou 1986, Σίδερης 1986).

Στο Λιάσιο αναφέρονται ομοίως τα δίθυρα *Megalodon* και *Lithiotis* από τα τρηματοφόρα *Orbitopsella praecursor*, και το *Dasycladal* φύκος *Paleodasycladus mediterraneus* (π.χ. Brunn 1959, Κουμαντάκης 1969, Celet & Ferriere 1978, Ferriere 1978, Pomoni & Papaioannou 1986, Σίδερης 1986).

Κατά το διάστημα Ανώτερου Τριαδικού –Ανώτερου Λιασίου έχουμε την διαφοροποίηση των πρώτων αυλάκων Παιονίας και Πίνδου, την δημιουργία των λεκανών της Αλμωπίας και του Ιονίου και την παρεμβολή ανάμεσα τους των πλατφορμών του Γαβρόβου-Τριπόλεως, Παρνασσού, Πελαγονικής και Πάικου. Κάθε μία από αυτές αποτελεί ξεχωριστή ισοπική ζώνη με την ιδιαίτερα παλαιογεωγραφική ιστορία της, αποτέλεσμα των παλαιογεωγραφικών συνθηκών που επικρατούσαν κατά την φάση της απόθεσης των ιζημάτων στην προορογενετική ιστορία της.

Στο Ανώτερο Λιάσιο – Δογγέριο έχουμε την ταφροποίηση των περιθωρίων της πλατφόρμας των Εσωτερικών Ελληνίδων λόγω συνιζηματογενούς ρηγματογόνου τεκτονισμού εφελκυστικού χαρακτήρα, με αποτέλεσμα την μετάπτωση της νηρητικής φάσεως ανθρακικής ιζηματογένεσης σε πελαγική μέσω μεταβατικών φάσεων κονδυλωδών μαργαϊκών ασβεστολίθων φάσεως *ammonitico rosso* (Papanikolaou 1990, Baumgartner, 1993), κατά το Δογγέριο ξεκινά η απόθεση αργιλικών σχιστών και κερατολίθων (σχιστοκερατόλιθοι).

Στο ανώτερο Δογγέριο – Κατώτερο Μάλμιο έχουμε βωξιτογένεση (π.χ. Tataris 1975, Papanikolaou 1990) του πρώτου βωξιτικού ορίζοντα (b1) (Tataris 1975, Celet et al. 1988, Καρράς 1995) τόσο σε περιοχές που αντιστοιχούν στον χώρο του Παρνασσού όσο και σε αυτόν της Υποπελαγονικής.

A.2.2.3. Μέσο Ιουρασικό – Κατώτερο Κρητιδικό

Περιλαμβάνει την περίοδο Μέσου Ιουρασικού – Ανώτερο Ιουρασικό όπου ο χώρος των Εσωτερικών Ελληνίδων καταλαμβάνονταν από θαλάσσια υβώματα εναλλασσόμενα με θαλάσσιες λεκάνες με ωκεάνιο ή ηπειρωτικό φλοιό. Από τις θαλάσσιες λεκάνες δύο είχαν χαρακτηριστικά ωκεανού. Πρόκειται για τον ωκεανό της Αλμωπίας ανατολικά και το Μαλιακό ωκεανό δυτικά του πελαγονικού υβώματος ηπειρωτικού φλοιού που πλαισίωναν.

Στο Ανώτερο Ιουρασικό – Κατώτερο Κρητιδικό εκδηλώθηκε στον εσωτερικό χώρο η πρώτη έντονη αλπική ορογενετική δραστηριότητα σε δύο φάσεις. Η πρώτη εξ' αυτών έλαβε χώρα κατά το Ανώτερο Ιουρασικό και πριν το Τιθώνιο (φάση JE1) και η δεύτερη κατά το τέλος του Ιουρασικού – Κατώτερο Κρητιδικό (φάση JE2). Αποτέλεσμα της πρώτης ήταν το κλείσιμο του ωκεανού της Αλμωπίας, την πτύχωση και ανάδυση (χέρσευση) μεγάλου τμήματος των Εσωτερικών Ζωνών καθώς και την τεκτονική τοποθέτηση μεγάλων οφιολιθικών μαζών πάνω στην πελαγονική πλατφόρμα. Αποτέλεσμα της δεύτερης ήταν το κλείσιμο του Μαλιακού ωκεανού. Σύμφωνα με το μοντέλο του Vergely (1984) δυτικά της περιοχής που τεκτονίστηκε κατά την δεύτερη ορογενετική φάση JE2 δημιουργήθηκε η Βοιωτική αύλακα που δέχθηκε υλικό από την διάβρωση των Εσωτερικών ζωνών.

A.2.2.4. Μέσο-Ανώτερο Κρητιδικό – Παλαιόκαινο

Στην συνέχεια ο χώρος των Εσωτερικών Ζωνών μετά την τεκτονική φάση JE2 θα επικλυστεί από τη θάλασσα κατά το Μέσο-Ανώτερο Κρητιδικό, πρώτα στην περιοχή της αύλακας της Αλμωπίας Άλβιο-Άπτιο (Brunn 1956, Mercier 1968, Clement 1970, Ferriere 1982) και στην συνέχεια δυτικότερα του πελαγονικού υβώματος και συνεχίστηκε στις ανατολικές Εσωτερικές ζώνες του Πάικου και της Παιονίας (Άλβιο-Κενομάνιο) για να γενικευτεί το Τουρώνιο-Σενώνιο με την πλήρη κάλυψη του υβώματος από την θάλασσα, συμπεριλαμβανομένου του τμήματος των Εσωτερικών ζωνών που είχε αναδυθεί μετά την χέρσευσή του στο Ανώτερο Ιουρασικό, ομογενοποιώντας το σύνολο των τεκτονισμένων ενοτήτων δημιουργώντας τον ενιαίο παλαιογεωγραφικό χώρο της Ανατολικής Ελλάδος (Renz 1940, Papanikolaou 1989, Παπανικολάου 1990, Papanikolaou et al. 2004).

Οι Clement & Ferriere (1973) προσδιορίζουν Άλβιο – Άπτιο στη βάση της επικλυσιογενούς σειράς επί ανωιουρασικών ασβεστολίθων στην περιοχή της Αλιάρτου, ενώ την ίδια χρονιά οι Fleury & Guernet (1973) για την περιοχή της Κεντρικής Εύβοιας χρονολογούν την βάση της αντίστοιχης σειράς σε Κενομάνιο όπως και για την περιοχή της Ελευσίνας πάνω σε ανωτριάδικους ασβεστολίθους (Clement & Ferriere, 1973). Για την περιοχή της βόρειας Πάρνηθας οι ίδιοι συγγραφείς προσδιόρισαν την ηλικία της επικλυσιογενούς σειράς πάνω από τους μεσοτριάδικους ασβεστολίθους και σχιστολίθους σε Κενομάνιο.

Σε εργασία των Mermigis et al. (2001) μελετήθηκε μια επικλυσιογενής σειρά πάνω σε ανωιουρασικούς ωολιθικούς ασβεστολίθους της υποπελαγονικής ζώνης καθώς και λατεριτικές αποθέσεις προερχόμενες από εξαλλοίωση οφιολίθων που πληρούν καρστικά έγκοιλα των εν λόγω ασβεστολίθων στην ΒΑ Βοιωτία (στην περιοχή Μαρμέικο βόρεια των λιμνών Υλίκης και Παραλίμνης 5km ΒΑ του χωριού Κόκκινο). Σύμφωνα με αυτή προσδιορίστηκε ότι η περιεχόμενη σε αυτή πανίδα η οποία συνίσταντο από Ρουδιστές, Σκληρακτίνια, Ποροφόρα και Τρηματοφόρα προσδίδουν στην επικλυσιογενή ακολουθία ηλικία Σαντονίου, επιβεβαιώνοντας την διαχρονικότητα του φαινομένου της ανωκρητιδικής επίκλυσης στην πελαγονική πλατφόρμα s.l. Στην ίδια περιοχή ο Noeth, 1931 προσδιόρισε βάσει Ρουδιστών ότι η ηλικία της επικλυσιογενούς σειράς είναι το ανώτερο Τουρώνιο, ενώ στο ανώτερο τμήμα της σειράς είναι ηλικίας ανώτερου Σαντονίου – κατώτερου Καμπανίου. Οι Bignot & Guernet (1968) βάσει μικροπαλαιοντολογικών δεδομένων προσδιορίζουν ηλικία ανώτερου Σενωνίου, ενώ ο Steuber (1993, 1995) την επεκτείνει μέχρι το Κονιάσιο.

Σε ερευνες εξάλλου των Zambetakis-Lekkas & Kemeridou (2004, 2006) στην περιοχή μεταξύ του Ακραιφνίου και του χωριού Κόκκινου (Βοιωτία) σε αδιατάρακτη σειρά ανωκρητιδικών ασβεστολίθων της πλατφόρμας Ανατολικής Ελλάδος προσδιορίστηκε ορίζοντας εντός αυτών, πλούσιος σε *Loftusia cf. anatolica*. Πρόκειται για βενθονικό τρηματοφόρο του ανώτερου Μαιστρίχιου, γνωστό είδος από την εξωτερική πλατφόρμα του ωκεανού της Τηθύος, το οποίο βρέθηκε συνυπάρχει με θραυσματά ρουδιστών, *Orbitoides media*, *O. apiculata*, *O. Gensacicus*, *Siderolites calcitrapoides*, *Omphalocyclus macroporus*, *Hellenocyclina beotica*, *Miliolidae*, *Dasycladaceae* και εχινόδερμα.

Η επίκλυση κατά τον τρόπο αυτό παρουσιάζει μια διαχρονικότητα (Aubouin et al. 1960, Μερμίγκης et al. 2001) με τα παλαιότερα επικλυσιογενή ιζήματα να έχουν χρονολογηθεί στο Άπτιο στην περιοχή Αλιάρτου και Ευαγγελιστριάς στην Βοιωτία (Clement 1970, Konetz 1987) και διαδοχικά χρονικά έως στο Ανώτερο Μαιστρίχτιο όπου η θαλάσσια επίκλυση φθάνει και στο τελευταίο τμήμα της πελαγονικής κορδιλιέρας που παρέμενε μέχρι τότε αναδυμένο στο όγκο του Καϊμακταλάν (Βόρας Mercier, 1968).

Η έναρξη απόθεσης του φλύσχη αρχίζει από το Μαιστρίχτιο για την κεντρική και ανατολική Όθρυ (Μιγγίρος, 1990) ενώ δυτικά αυτής αποτίθεται αργότερα στο Παλαιόκαινο. Στην Αττική οι αποθέσεις του Μαιστριχτίου αντιστοιχούν στους αθηναϊκούς σχιστολίθους με πλαγκτονικά και βενθονικά τρηματοφόρα (Κατσικάτσος et al. 1986, Λατσούδας et al. 2003) καθώς και ασβεστόλιθοι που περιέχουν ανωσενώνια - μαιστρίχτια μικροπανίδα με παρεμβολές ασβεστολιθικών κροκαλοπαγών (Katsikatsos et al. 2000).

Συμπερασματικά κατά το Ανώτερο Κρητιδικό στο χώρο της Ανατολικής Ελλάδος λαμβάνει χώρα κατά θέσεις τόσο νηρητική όσο και πελαγική ιζηματογένεση, ενώ στο τέλος του Μαιστριχτίου αρχίζει η τελική φάση της αλπικής ορογένεσης όπως προκύπτει από την έναρξη της φλυσχογένεσης στον χώρο της Ανατολικής Ελλάδος (Aubouin et al. 1960, Papanikolaou 1986, Papanikolaou et al. 2002). Ο τελικός τεκτονισμός λαμβάνει

χώρα κατά το Ηώκαινο οπότε η εσωτερική πλατφόρμα επωθείται στο ωκεάνιο τεκτονοστρωματογραφικό πεδίο Πίνδου-Κυκλάδων και στην πλατφόρμα των εξωτερικών Ελληνίδων (Paranikolaou 1997, Paranikolaou et al. 2004, Paranikolaou 2015).

B. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ

B.1 Νικέλιο σε πετρώματα

Το νικέλιο εμπεριέχεται σε σημαντικό βαθμό σε υπερβασικά πετρώματα και εμφανίζεται σε δύο κατηγορίες ορυκτών. Νικέλιο που βρίσκεται στο πλέγμα πυριτικών ορυκτών, κυρίως στον ολιβίνη, και νικέλιο σε μαγματικά θειούχα ορυκτά. Εντοπίζεται επίσης και στα αντίστοιχα μεταμορφωμένα πετρώματα.

Τα κοιτάσματα Ni με βάση τον τρόπο γένεσης τους ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες:

• Θειούχα

Τα μαγματικά θειούχα κοιτάσματα είναι συγκεντρώσεις θειούχων ορυκτών συνδεδεμένων με συμπλέγματα βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων τα οποία σχηματίσθηκαν κατά την κρυστάλλωση μάγματος βασικής σύστασης. Το σχηματιζόμενο μη αναμίξιμο θειούχο τήγμα λειτουργεί ως συλλέκτης για το νικέλιο, κοβάλτιο, χαλκό και πλατνοειδή (PGE), ενώ ο σίδηρος συμμετέχει σε πολύ μικρότερο βαθμό αλλά λόγω του ότι αποτελεί κύριο στοιχείο του μάγματος τα περισσότερα θειούχα τήγματα είναι πλούσια σε σίδηρο (Naldrett 1981, 2004, 2010).

Ανάλογα με τις κατηγορίες των πετρωμάτων με τις οποίες συνδέονται διακρίνονται σε:

- Κοιτάσματα σε νοριτικά πετρώματα
- Κοιτάσματα διεισδύσεων τα οποία συνδέονται με ρεύματα βασαλτών σε ενδοηπειρωτικές ρηξιγενείς ζώνες
- Κοιτάσματα Προκαμβρίων ζωνών πρασινοπετρωμάτων
- Κοιτάσματα θολεϊτικών διεισδύσεων και σε
- Κοιτάσματα συνδεόμενα με κοματιίτες

Το κυριότερο μαγματικό θειούχο ορυκτό του νικελίου είναι ο πετλανδίτης με τυπική σύσταση: $(\text{Ni,Fe})_9\text{S}_8$, ο οποίος κατά κανόνα συνυπάρχει με πυρροτίνη και χαλκοπυρίτη.

• Λατεριτικά

Ο σχηματισμός των Ni-λατεριτικών κοιτασμάτων θεωρείται ως το αποτέλεσμα της λατεριτικής αποσάθρωσης περιδοτιτών (Golightly 1981, Elias 2002, Freyssinet et al. 2005). Ένα τυπικό λατεριτικό profile (Ni-λατερίτης) αναπτύσσεται σε τέσσερις ζώνες (ορίζοντες) από κάτω προς τα πάνω:

- ✓ μητρικό πέτρωμα (περιδοτίτης):
- ✓ σαπρόλιθος (saprolite),
- ✓ άργιλος (clay-nontronite) και
- ✓ οξειδία-υδροξείδια σιδήρου (goethitic) ή ορίζοντας κροκαλοπαγούς ή πisolιθικός.

Η ανάπτυξη κάθε ζώνης, καθώς και η ακριβής σύσταση της εξαρτάται κυρίως από το είδος και την κατάσταση του μητρικού πετρώματος (πχ δουνίτης είτε χαρτζβουργίτης, σερπντινιωμένοι είτε όχι), το κλίμα, καθώς και το ανάγλυφο. Εάν ένας φλοιός

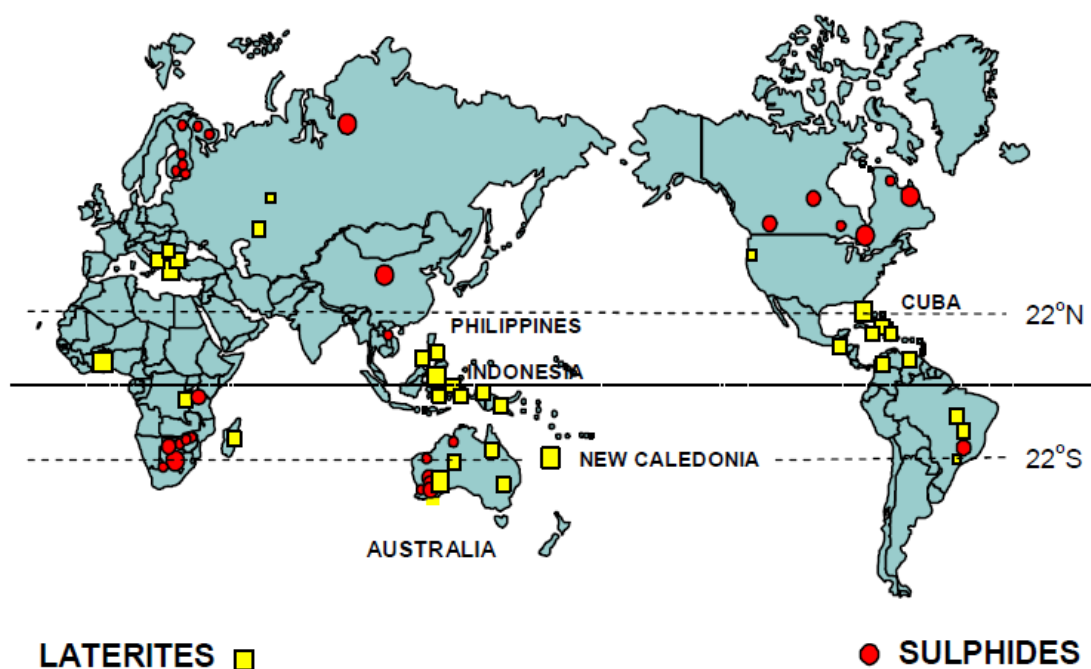
λατεριτικής αποσάθρωσης (Ni-λατερίτης) διαβρωθεί, τότε τα συστατικά του μπορεί να μεταφερθούν και να αποτεθούν ιζηματογενώς σε χαμηλότερα υψόμετρα: είτε επί των ίδιων των μητρικών πετρωμάτων (δευτερογενείς Ni-λατερίτες) είτε παγιδεύονται σε καρστικά έγκοιλα (καρστικοί Ni-λατερίτες). Έτσι τα σιδηρονικελιούχα ιζηματογενή μεταλλεύματα διακρίνονται σε δύο τύπους, ανάλογα με τις συνθήκες δημιουργίας τους:

- ✓ Επί των υπερβασικών μητρικών πετρωμάτων (δευτερογενή)
- ✓ Τύπου καρστικού νικελίου (karstic nickel, μεταφερμένα και παγιδευμένα σε καρστικά έγκοιλα).

Για τα λατεριτικά κοιτάσματα νικελίου ή σιδηρονικελίου ο ρόλος της αποσάθρωσης κατάλληλων πετρωμάτων, του κλίματος και του αναγλύφου αποτελούν κρίσιμους παράγοντες. Τα ορυκτά ολιβίνης και σερπεντίνης, που είναι σχετικά πλούσια σε νικέλιο, αποτελούν τα τυπικά ορυκτά των υπερβασικών πετρωμάτων τα οποία με την σειρά τους συνιστούν τα «μητρικά πετρώματα» των νικελιούχων φλοιών λατεριτικής αποσάθρωσης. Το νικέλιο στα πετρώματα αυτά είναι ενδομημένο στο πλέγμα του ολιβίνη υποκαθιστώντας το μαγνήσιο με αποτέλεσμα η περιεκτικότητα των περιδοτιτών σε νικέλιο να είναι της τάξης 0,2 έως 0.3%. Η αποσάθρωση των παραπάνω πετρωμάτων έχει ως αποτέλεσμα την ανακατανομή του πυριτίου, του μαγνησίου, του σιδήρου και του νικελίου, και τελικά το σχηματισμό εμπλουτισμένων σε νικέλιο λατεριτών με ποικίλα ένυδρα νικελιοπυριτικά ορυκτά, συνήθως υπό λεπτομερή ανάμιξη περιγραφόμενα ως «γαρνιερίτης». Τα δυο κύρια ορυκτά είναι ο λιζαρδίτης [lizardite (serpentine)] και ο κερολίτης [kerolite ($10\text{\AA}$ talc)], τα νικελιούχα ακραία μέλη των οποίων είναι ο νεπουίτης [nepouite] και ο πιμελίτης [pimelite] αντίστοιχα. Συμμετέχουν επίσης ορυκτά της ομάδας των σμεκτιτών [smectites], καθώς και χλωρίτες [chlorites] και ο σηπιόλιθος [sepiolites] (Bailey 1980, Manceau and Calas 1985, Wells et al. 2009).

Τα μεταλλεύματα των υποκατηγοριών λατεριτικών κοιτασμάτων διαφέρουν μεν γενετικά μεταξύ τους, δεν υπάρχει όμως ουσιαστική ποιοτική διαφορά στη χημική σύσταση μεταξύ τους.

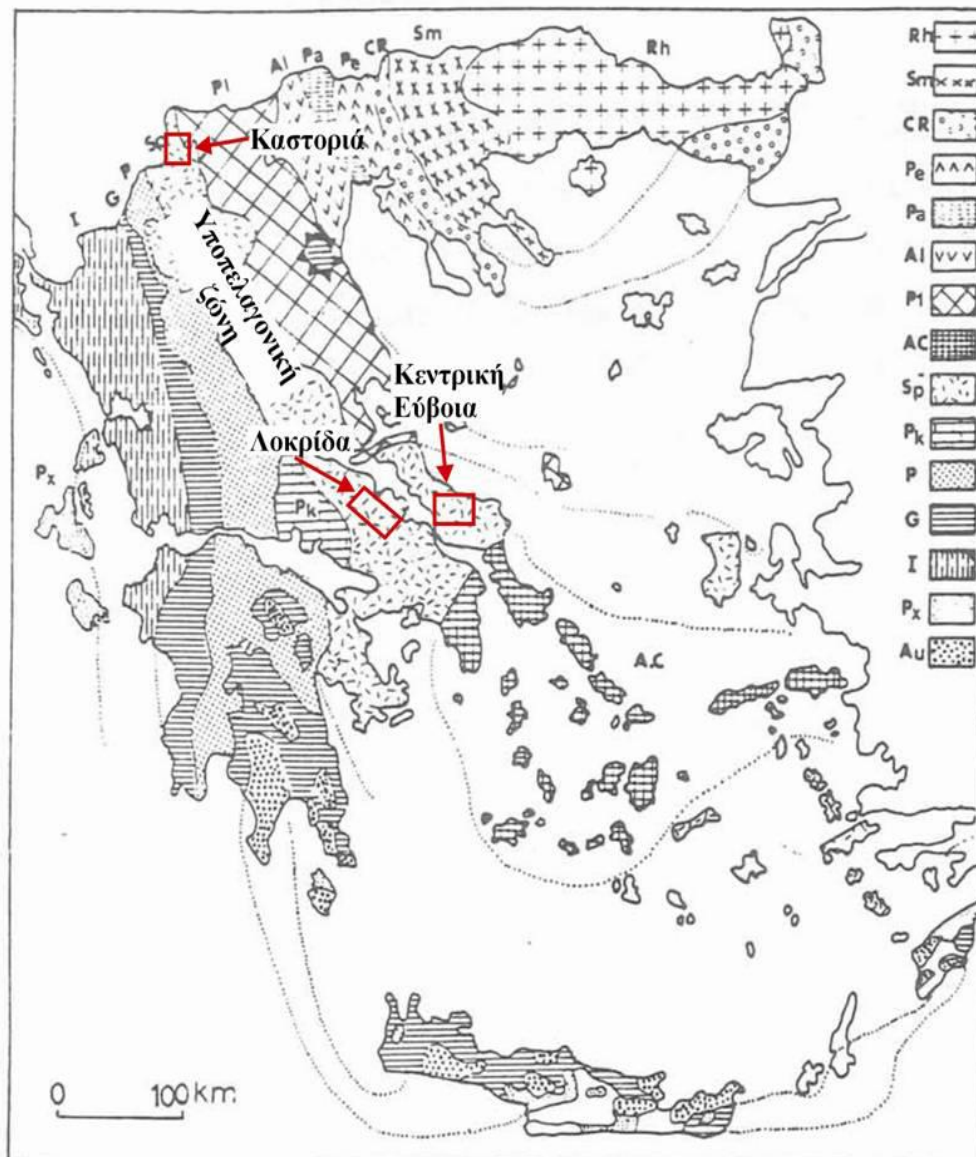
Στην Εικ.5 που ακολουθεί φαίνεται η γεωγραφική κατανομή των κοιτασμάτων Ni σε σχέση με τον τρόπο γένεσής τους.



Εικ.5 Παγκόσμια εξάπλωση νικελιούχων κοιτασμάτων (Elias, 2002)

Β.2 Τα Fe-Ni κοιτάσματα στον Ελλαδικό χώρο

Τα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα της ζώνης Ανατολικής Ελλάδας αποτέλεσαν αντικείμενο έρευνας και εκμετάλλευσης από την αρχή του αιώνα, με τις πλέον αξιόλογες εμφανίσεις εντός του ελληνικού χώρου να απαντούν κυρίως σε Λοκρίδα (Τσούκα, Λούτσι, Αγ.Ιωάννης, Παύλο, Μαρμέικο κ.α.), Εύβοια (Κατσικίζα, Ίσωμα-Αγ.Τριάδα), Σκύρο, Πάρνηθα, Δαφνί (Αθηνών), Έδεσσα (Βέρμιο, Προφήτης Ηλίας κ.α.), Γρεβενά, Καστοριά (Ιεροπηγή). Συνολικά στην Ελλάδα έχουν καταγραφεί 110 εμφανίσεις σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων. Τα κοιτάσματα στην Λοκρίδα, στην Εύβοια και στην Καστοριά όπως φαίνεται στον χάρτη της Εικ.6 τροφοδοτούν την παραγωγή σιδηρονικελίου του εργοστασίου της ΛΑΡΚΟ στην Λάρυμνα η έναρξη λειτουργίας του οποίου χρονολογείται το 1966. Αντίστοιχα η ανάπτυξη και επιχειρησιακή λειτουργία των Μεταλλείων Εύβοιας και Καστοριάς ξεκινά το 1969 και 1992 αντίστοιχα (www.larco.gr/el.ourhistory.php).

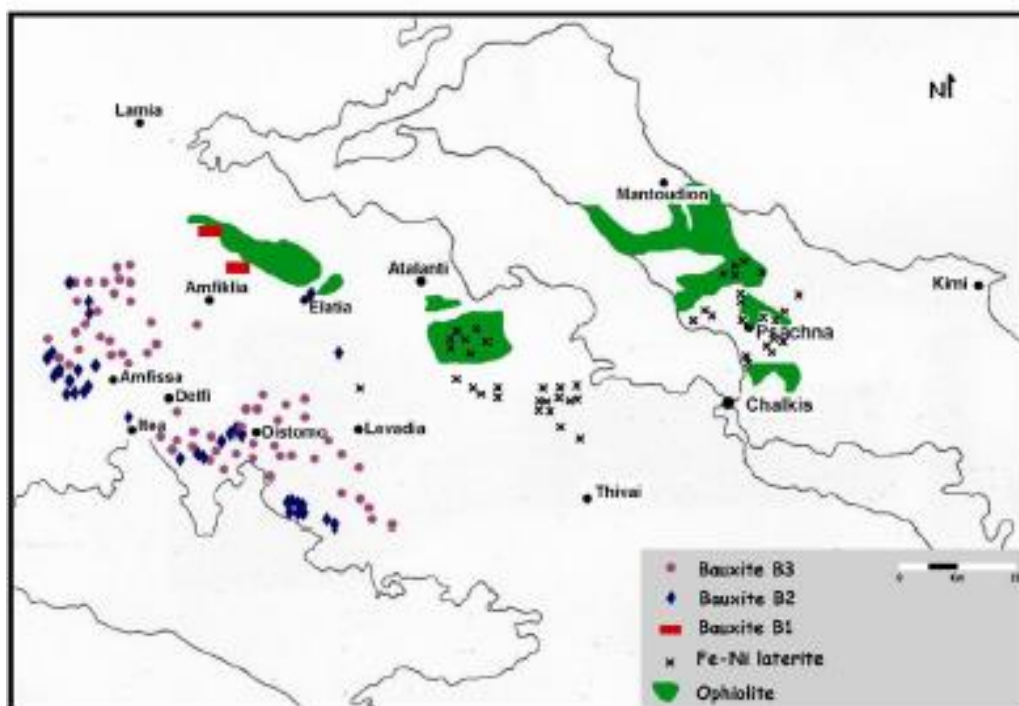


Εικ.6 Τα FeNi-ούχα λατεριτικά μεταλλεύματα της Ελλάδας (Μπόσκος, 2007)

Τα κοιτάσματα στην περιοχή της Καστοριάς, Προφήτη Ηλία (Βέρμιο) και Τσούκας εδράζονται σε περιδοτίτες (D.G. Eliopoulos et al 2000). Το ίδιο ισχύει και για το κοιτάσμα στο Παύλο, ενώ στα Γρεβενά (Παλαιοχώρι) σύμφωνα με Ορφανουδάκη (2007) ο υποκείμενος σχηματισμός αποτελείται από χαρτζβουργίτες, των οποίων η λατεριτική αποσάθρωση οδήγησε στο σχηματισμό του κοιτάσματος της εν λόγω περιοχής. Το κοιτάσμα Ισώματος-Τριάδος στην Εύβοια έχει ως υποκείμενο σχηματισμό σερπεντινωμένο λερζόλιθο σύμφωνα με Boskos et al (1996), ενώ της Κατσικίζας αντίστοιχα έχει Ιουρασικό ασβεστόλιθο. Το κοιτάσμα στον Αγ. Ιωάννη Λάρυμνας (Δυτικό πρηνές Μάλis Ντάρδας, υψομ 470) σύμφωνα με Albantakis (1974), Petraschek (1982) έχει ως βάση ωλιθικούς ασβεστόλιθους μέσου Ιουρασικού.

Στην Εικ.7 αποτυπώνεται η κατανομή τόσο των Fe-Ni λατεριτών όσο και βωξιτών στην Κεντρική Ελλάδα. Κατάλληλα μητρικά πετρώματα για τη δημιουργία βωξιτικών κοιτασμάτων είναι τα πλούσια σε Al_2O_3 όπως οι βασάλτες, γάββροι, διαβάσες, οι

ανδεσίτες, οι συηνίτες και οι αργιλικοί σχιστόλιθοι, ενώ όπως έχει ήδη προαναφερθεί πετρώματα κατάλληλα για τη δημιουργία Fe-Ni λατεριτών είναι κυρίως οι περιδοτίτες.



Εικ. 7 Κατανομή Fe-Ni λατεριτών και Βωξιτών στην Κεντρική Ελλάδα (Μπόσκος, 2007)

Όπως φαίνεται στον παραπάνω χάρτη, στην Λοκρίδα και την Κεντρική Εύβοια επικρατούν τα Fe-Ni-ούχα κοιτάσματα ενώ στον Παρνασσό και στον Ελικώνα τα αντίστοιχα βωξιτικά.

Β.3 Συνθήκες σχηματισμού των σιδηρονικελιούχων κοιτασμάτων

Η ακριβής μελέτη των συνθηκών μεταλλογένεσης των νικελιούχων μεταλλευμάτων είναι δυσχερής λόγω της πολύπλοκης τεκτονικής ολόκληρης της ζώνης Ανατολικής Ελλάδας εντός της οποίας απαντούν τα εν λόγω κοιτάσματα. Φαινόμενα επωθήσεων, λεπιώσεων και τοπικών δυναμομεταμορφώσεων έχουν επιφέρει πολλές μετατοπίσεις του κοιτάσματος σε σχέση με τα πετρώματα που το περιβάλλουν, ανάμιξη του μεταλλεύματος ή του οφιολίθου με τον υπερκείμενο κρητιδικό ασβεστόλιθο και μεταμόρφωση τόσο των περιβαλλόντων του κοιτάσματος πετρωμάτων, όσο και αυτού του μεταλλεύματος. Πάντως τα κοιτάσματα της Λοκρίδας, Εύβοιας, Πάρνηθας, Βοιωτίας αλλά και πολλά άλλα της ζώνης Ανατολικής Ελλάδας παρουσιάζουν ένα σχετικά ομοιόμορφο πάχος που κυμαίνεται από 6 – 12 μέτρα.

Αναφορικά με την γένεση των νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων στην ζώνη Ανατολικής Ελλάδας η θεωρία που αρχικά επικράτησε ήταν ότι εντός της άνω κρητιδικής θάλασσας και πριν την ιζηματογένεση των επικλυσιγενών ασβεστολίθων έλαβε χώρα η απόθεση των σιδηρομεταλλευμάτων υπό μορφή χημικού ιζήματος. Ως χώρος

προέλευσης του σιδήρου θα μπορούσε να θεωρηθεί η περιοχή των οφιολίθων της ζώνης Ανατολικής Ελλάδας εκεί όπου δεν είχαν ούτε εκείνοι καλυφθεί από θάλασσα. Ο σίδηρος ο οποίος προήλθε από τα λατεριτικά υλικά που συγκεντρώθηκαν από την λατεριτική επεξεργασία των οφιολίθων κατά την διάρκεια της αναδύσεως, μεταφέρθηκαν εν διαλύσει και κολλοειδή κατάσταση από τα όμβρια νερά και αποτέθηκαν λόγω ευνοϊκών φυσικοχημικών συνθηκών επί του πυθμένα της ανωκρητιδικής θάλασσας. Παρόλα αυτά, μέρος του σιδηρομεταλλεύματος μεταφέρθηκε με κλαστική μορφή από τα λατεριτικά προϊόντα της χέρσου.

Σε πολλές θέσεις εντός του ιδίου κάθε φορά κοιτάσματος παρατηρείται εναλλαγή χονδροπισσολιθικού και μικροπισσολιθικού σιδηρομεταλλεύματος. Εντός του χονδροπισσολιθικού μεταλλεύματος παρατηρούνται οι προαναφερθείσες σφαιροειδείς μάζες πυριτιολίθων. Η εναλλαγή λεπτομερούς με αδρομερές υλικό και ο εγκλωβισμός φυτικών οργανισμών δεικνύουν ότι ο ρυθμός αποθέσεως του νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος υπήρξε ταχύτερος ή βραδύτερος και υποδηλώνει περιβάλλον ιζηματογένεσης που θα μπορούσε να αντιπροσωπεύεται από αβαθή θάλασσα, κλειστή κατά διαστήματα με μικρή κινητικότητα των νερών, τύπου επιηπειρωτικής τράπεζας, εντός της οποίας εξέβαλαν χείμαρροι που μετέφεραν με κλαστική μορφή οφιολιθικές κροκάλες, φυτικοί οργανισμοί, κλαστικοί κόκκοι χρωμίτη, πιθανώς και μέρος του σιδηρομεταλλεύματος.

Τόσο το SiO_2 το οποίο μεταφέρονταν εν διαλύσει από το βρόχινο νερό όσο και ο σίδηρος ο οποίος σχημάτιζε κατά την καθίζησή του πISSOΛΙΘΟΥΣ μέσω της εξάσκησης επιφανειακών τάσεων, αποτίθεντο υπό κολλοειδή μορφή. Λαμβάνοντας υπόψη ότι κατά την περίοδο της ανωκρητιδικής επίκλυσης επικρατούσαν ευνοϊκές συνθήκες για τον σχηματισμό του πISSOΛΙΘΙΚΟΥ ΙΣΤΟΥ είναι προφανές ότι αυτός έχει σχηματιστεί διαρκούσης της αποθέσεως του μεταλλεύματος εντός της επικλυσιγενούς ανωκρητιδικής θάλασσας (Albandakis, 1974).

Η θεωρία ότι μέρος του σιδηρομεταλλεύματος προήλθε από αποσάθρωση και μεταφορά από την χέρσο λατεριτικού υλικού βασίστηκε κυρίως στο γεγονός ότι το υποκείμενο του νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος στρώμα πυριτολίθων στο οποίο έχει βρεθεί πανίδα (Miliolidae, Cuneolina, Nezzata) χαρακτηρίζει περιβάλλον απόθεσης αβαθούς θάλασσας. Εφόσον οι πυριτόλιθοι υπόκεινται του νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος και έχουν αποτεθεί εντός θαλασσίου περιβάλλοντος, ενώ τα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα ως υπερκείμενα των πυριτολίθων, αποτέθησαν ιζηματογενώς εντός της ανωκρητιδικής θάλασσα, ενώ οι κόνδυλοι πυριτολίθων που παρατηρούνται επίσης στο αμέσως υπερκείμενο των σιδηρονικελιούχων κοιτασμάτων στρώμα των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων αποδίδονται στις φυσικοχημικές συνθήκες που επικρατούσαν την περίοδο της ανωκρητιδικής επίκλυσης οι οποίες ευνόησαν την απόθεση του SiO_2 (Albantakis, 1974).

Τους πυριτολίθους αυτούς οι W. Petrascheck (1954), Anastopoulos (1960), Skounakis (1972), Garagounis (1972) τους θεωρούν προϊόντα της λατεριτικής αποσάθρωσης των οφιολίθων. Είναι συμπαγείς μάζες αποτελούμενες από οπάλιο, χαλκηδόνιο και μικροκρυσταλλικό χαλαζία. Σύμφωνα με την θεωρία εκείνη, οι

πυριτόλιθοι αυτοί έχουν αποτεθεί στο μεγαλύτερο μέρος τους τουλάχιστον υπό μορφή χημικού ιζήματος όσο διάστημα αποτίθετο το σιδηρομετάλλευμα.

Ο Γ. Αρώνης (1954) παρατηρεί ότι σε νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα κοντά στο χωριό Κάστρο Βοιωτίας στη θέση Μεγαλάγκωνα εμφανίζονται με παρεμβολές εντός της μάζας αυτών, σφαιροειδή τεμάχια από λευκό χαλαζία που έχουν αποτεθεί σε υγρό περιβάλλον. Έχοντας υπόψη ο τελευταίος τα πειράματα των N.K.Huber & Garrels (1953) υποθέτει ότι στην παραπάνω θέση οι φυσικοχημικοί παράγοντες της κρητιδικής θάλασσας μεταβάλλονταν συνεχώς. Εφ' όσον η τιμή του pH ήταν υψηλή και υπήρχε και οξυγόνο αποτίθετο σιδηρομετάλλευμα και όταν η τιμή του pH μειώθηκε αποτέθηκαν σφαιροειδείς μάζες SiO_2 επί του ήδη σχηματισθέντος σιδηρομεταλλεύματος. Παρόμοιες σφαιροειδείς μάζες παρατηρούνται και εντός του κοιτάσματος του Αγ. Ιωάννη Λάρυμνας οι οποίες έχουν συναποτεθεί με το πισσολιθικό σιδηρομετάλλευμα.

Κατά τον Katsikatsos (1969) οι πυριτόλιθοι αυτοί προέρχονται από την σχιστοκερατολιθική διάπλαση και τροφοδοτήθηκαν ως κλαστικό υλικό στην λεκάνη ιζηματογένεσης. Οι Valetton et al. (1987) υποστηρίζουν ότι οι ενδιαστρώσεις πυριτιολίθων οφείλονται σε πλευρική ως προς τις θέσεις λατεριτίωσης μετακίνηση και απόθεση πυριτίου με πιθανό περιβάλλον απόθεσης αυτό της αβαθούς λίμνης.

Στρωματογραφική μελέτη την οποία εκπόνησε ο Steuber (1993,1995) στην Βοιωτία σε σχέση με τους υπερκείμενους επικλυσιγενείς σχηματισμούς του άνω Κρητιδικού απέδειξε ότι η κρητιδική θάλασσα κάλυψε επικλυσιγενώς την τότε χέρσο σε ορισμένες θέσεις κατά το Άπτιο και σε άλλες αργότερα κατά το Τουρώνιο (Άπτιο – Κενομάνιο στη Νότια Βοιωτία, Τουρώνιο στην περιοχή του Πτώου). Η δε λατεριτίωση των υπερβασικών, βασικών και άλλων πετρωμάτων ξεκίνησε κατά το Άλβιο-Άπτιο, όπως έχει προσδιοριστεί για την Βόρεια Αλβανία (Kukes) (Noka, 1986) και την περιοχή Κοσσονο της πρ. Γιουγκοσλαβίας (Maksimovic, pers comm. to N.S.) και συνεχίστηκε μέχρι το Τουρώνιο, ανάλογα με τις τοπικές γεωμορφολογικές συνθήκες της κάθε περιοχής, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι διαρκούσε όλο το εν λόγω χρονικό διάστημα. Πάντως η χρονική διάρκεια δεν μπορεί να υπολογιστεί επακριβώς.

Σύμφωνα με τον Skarpelis (1996) οι πισσολίθοι που εμφανίζονται ακόμα και εντός των στρωμάτων πυριτιολίθων σχηματίστηκαν σε ζώνες λατεριτίωσης και μεταφέρθηκαν και αποτέθηκαν σε υποθαλάσσιο περιβάλλον ως κλαστικοί κόκκοι, μαζί με το λεπτομερές αργιλικό και σιδηρούχο κλάσμα των διάφορων ζωνών του λατερίτη, ενώ σε νεώτερη εργασία (Skarpelis et al., 1998) δίδεται μια νέα ερμηνεία προέλευσης των πυριτιολίθων.

Οι πυριτιούχοι σχηματισμοί (SiO_2) που συναντώνται μέσα σε ιζηματογενή νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα σύμφωνα με πετρογραφικά και στρωματογραφικά δεδομένα ανήκουν σε δύο διαφορετικά είδη.

Κλαστικής προέλευσης πυριτιόλιθοι οι οποίοι απαντώνται είτε ως ορίζοντες λατυποπαγών (αποτελούμενοι από γωνιώδη έως αποστρογγυλεμένα τεμάχια χαλαζιακής σύστασης που έχουν συγκολληθεί με ψαμμιτικό υλικό με κόκκους πυριτικούς και θραύσματα πισσολίθων ή πισσολίθους) είτε ως λατύπες διάσπαρτες μέσα στο μετάλλευμα.

Τα κλαστικά αυτά τεμάχια πυριτιολίθων εντός των ιζηματογενών κοιτασμάτων νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος προέρχονται από τα πυριτιωμένα τμήματα των λατεριτικών φλοιών αποσάθρωσης υπερβασικών πετρωμάτων. Τα τεμάχια αυτά μεταφέρθηκαν κατά τους συγγραφείς από την χέρσο κατά την καταστροφή των λατεριτικών οριζόντων πριν ή κατά την επίκλυση της θάλασσας και αποτέθηκαν στο θαλάσσιο πυθμένα σε ανάμιξη με κλαστικό υλικό από αργιλικά και σιδηρούχα ορυκτά και πisolίθους. Διαγνωστικό στοιχείο για την προέλευση των λατυπών αυτών είναι τα υπολείμματα λατεριτιωμένου υπερβασικού πετρώματος και η ύπαρξη υπολειμματικών κόκκων σπινελίων μέσα στην πυριτιωμένη μάζα. Τα υπολείμματα λατεριτιωμένου υπερβασικού εμφανίζονται με μορφή νησίδων από εξαλλοιωμένο σερπεντίνη, συσσωματώματα χλωρίτη και τάλκη και διάσπαρτους κόκκους σπινελίων.

Στρώματα πυριτιολίθων εντός του μεταλλεύματος περιέχουν απολιθώματα Ανώτερου Κενομάνιου – Κατώτερου Τουρώνιου ηλικίας και αποτελούν βιογενή ιζήματα με μικρό ποσοστό προσμίξεων κλαστικού υλικού λατεριτικής προέλευσης. Η μικροσκοπική μελέτη έδειξε ότι οι απολιθωματοφόροι πυριτιόλιθοι αποτελούνται κυρίως από χαλαζία με διάφορα ποσοστά συμμετοχής αιματίτη, ασβεσίτη και κλαστικών κόκκων σπινελίων. Η απόθεσή τους πρέπει να έγινε σε περιβάλλον αβαθούς εσωτερικής πλατφόρμας, η οποία στην συνέχεια υπέστη την ανωκρητιδική επίκλυση.

Το γεγονός ότι στα στρώματα αυτά συνυπάρχουν στο ίδιο παρασκεύασμα κατά περιοχές και δύο τύποι πανίδων, με τα πλαγκτονικά απολιθώματα να περιβάλλουν τις περιοχές νηριτικής φάσεως που σε συνδυασμό με την στρωματογραφική εξάπλωση των χαρακτηριστικότερων τρηματοφόρων και του διαφορετικού περιβάλλοντος στο οποίο αποτίθενται οδηγεί τους μελετητές στο συμπέρασμα ότι αρχικά υπήρξε μία απόθεση σε περιβάλλον αβαθούς εσωτερικής πλατφόρμας κατά το ανώτερο Κενομάνιο ή το όριο Κενομάνιου – Τουρώνιου, οπότε υπέστη η περιοχή την ανωκρητιδική επίκλυση. Οι πρώτες πλαγκτονικές μορφές αποτίθενται στο μη στερεοποιημένο ακόμη ίζημα σχηματίζοντας ενιαίο στρώμα. Καθώς η θάλασσα βαθαίνει με την προέλαση της επίκλυσης, η πελαγική πανίδα γίνεται αφθονότερη και οι ορίζοντες με ακτινόζωα κυριαρχούν. Η απόθεση του μεταλλεύματος πραγματοποιήθηκε κατά την ανωκρητιδική επίκλυση της θάλασσας.

Σύμφωνα με Skarpelis et al. (2014) για τον σχηματισμό του λατεριτικού μεταλλεύματος νικελίου, ο ρόλος της αποσάθρωσης κατάλληλων πετρωμάτων είναι κρίσιμος. Τυπικά παραδείγματα ορυκτών με κρίσιμο ρόλο για το σχηματισμό λατεριτικού «σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος» ή «νικελιούχου λατερίτη» είναι κυρίως ο ολιβίνης και ο σερπεντίνης. Τα ορυκτά αυτά αποτελούν τυπικά συστατικά υπερβασικών πετρωμάτων, τα οποία συνιστούν συνήθως τα «μητρικά πετρώματα» των νικελιούχων φλοιών λατεριτικής αποσάθρωσης από αποσάθρωση ολιβίνη.

Ο ολιβίνης $[(Mg,Fe)_2SiO_4]$ είναι ένα στερεό διάλυμα μεταξύ Mg_2SiO_4 (φορστερίτη) και Fe_2SiO_4 (φαυαλίτη). Νικέλιο μετέχει στη σύσταση του ολιβίνης αντικαθιστώντας το στοιχείο Mg. Αυτή η δυνατότητα του ολιβίνη να φιλοξενεί - μικρή έστω - ποσότητα νικελίου τον καθιστά κρίσιμο ορυκτό για τη δημιουργία μεταλλευμάτων

νικελίου μέσα από διεργασίες αποσάθρωσής του. Σε ατμοσφαιρικές συνθήκες ο ολιβίνης είναι εξαιρετικά επιδεκτικός αποσάθρωσης. Η αποσάθρωσή του οδηγεί στο σχηματισμό αργλικών ορυκτών, γκαιτίτη (FeOOH) και οξειδίου του πυριτίου (συνήθως χαλαζία). Το νικέλιο που μετέχει σαν ιχνοστοιχείο στη σύσταση του ολιβίνη κατά την αποσάθρωση του αποδεσμεύεται και ενδομείται στο πλέγμα των νεοσχηματιζομένων ορυκτών. Μπορεί όμως να υπάρξει ιοντική ανταλλαγή με συνέπεια τη δημιουργία πλούσιων σε νικέλιο ποικιλιών του αρχικού ορυκτού (π.χ. δημιουργία πλούσιου σε νικέλιο σερπεντίνη από προϋπάρχοντα σερπεντίνη, όταν στο υδατικό διάλυμα υπάρχει Ni^{2+})

Ένας φλοιός λατεριτικής αποσάθρωσης αναπτυσσόμενος σε βάρος πετρωμάτων που περιέχουν ολιβίνη ή σερπεντίνη, εμφανίζει ορυκτολογική και γεωχημική ανομοιογένεια από το ανώτερο τμήμα του έως την βάση του, που είναι το μητρικό πέτρωμα. Αυτό οφείλεται στην διαφορική κινητικότητα των στοιχείων στο υπεργενετικό περιβάλλον. Η κινητικότητα στοιχείων όπως π.χ. το νάτριο, νικέλιο, μαγνήσιο και ασβέστιο είναι πολλαπλάσια στοιχείων όπως ο σίδηρος και το αργίλιο. Αυτό σημαίνει ότι με την κυκλοφορία νερού στο έδαφος τα ευκίνητα στοιχεία διαλυτοποιούνται και μεταναστεύουν από τον ενεργό χώρο αποσάθρωσης, αφήνοντας προς εμπλουτισμό τα – πρακτικά – αδιάλυτα, όπως π.χ. ο σίδηρος και το αργίλιο, τα οποία και σχηματίζουν στον φλοιό αποσάθρωσης σταθερά υπολειμματικά ορυκτά στη θέση του αρχικού πετρώματος. Τα ευκίνητα στοιχεία μπορούν να απομακρυνθούν με τα απορρέοντα νερά μακριά από το χώρο αποσάθρωσης εμπλουτίζοντας υδάτινα ρέματα ή να μετακινηθούν χαμηλότερα και να εμπλουτίσουν τον υδροφόρο ορίζοντα προκαλώντας μέχρι και σχηματισμό νέων ορυκτών. Το πυρίτιο π.χ. που αποδεσμεύεται από την αποσάθρωση ολιβίνης στον υπεδαφικό ορίζοντα προκαλεί πυριτίωση και με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται συμπαγείς ψευδοστρώσεις από silcrete ή ακόμη και πλέγμα φλεβιδίων (stockwork) χαλαζία. Το νικέλιο μετακινείται σε χαμηλότερα επίπεδα στο φλοιό αποσάθρωσης και με ιοντική ανταλλαγή εμπλουτίζει προϋπάρχοντα πυριτικά ορυκτά δημιουργώντας συσσωματώματα νικελιο-πυριτικών ορυκτών, όπως ο νικελιούχος σερπεντίνης, νικελιούχος τάλκης, νικελιούχος σμεκτίτης. Τα συσσωματώματα αυτών των νικελιούχων ορυκτών αναφέρονται ως γαρνιερίτης. Αναγνωρίζεται στα κοιτάσματα νικελίου από το χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα.

B.4 Ορυκτολογική σύσταση και ιστός των νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων

Είναι γνωστό από τις εργασίες των Petrascheck (1954), Siegl (1954), Αυγουστίδη (1962) και Kurzweil (1967) ότι στα σιδηρομεταλλεύματα Λοκρίδας, Ευβοίας και Σκύρου συναντάται σε αφθονία ο αιματίτης και ένυδρα οξείδια του σιδήρου ως λειμονίτης και γκαιτίτης, ενώ συνυπάρχει μαγνητίτης, τιτανομαγνητίτης, λεπιδοκροκίτης, μαρτίτης, κοβελλίνης, μαλαχίτης, μαρκασίτης και σε μικρότερη αναλογία κλαστικοί κόκκοι χρωμίτη.

Σύμφωνα με την νέα προσέγγιση για την δημιουργία των εν λόγω κοιτασμάτων από τον Skarpelis (2005) και ανεξάρτητα από το είδος του μητρικού πετρώματος, σε ένα

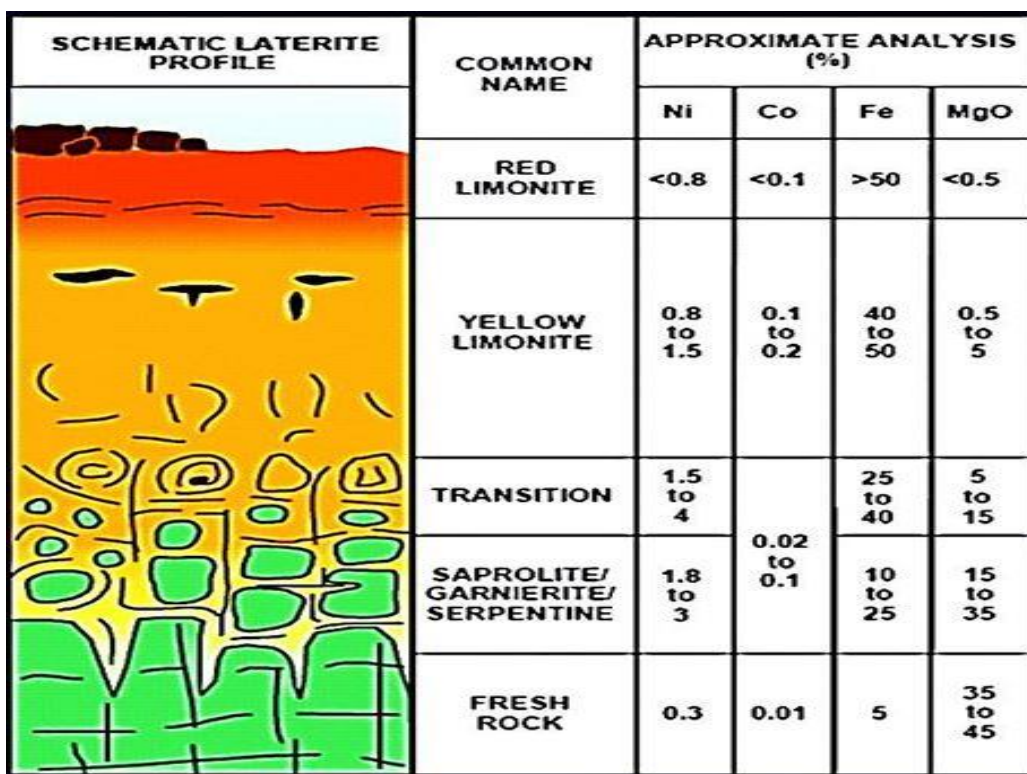
φλοιό λατεριτικής αποσάθρωσης διακρίνονται οι ακόλουθοι ορίζοντες από κάτω προς τα επάνω των οποίων το πάχος, τα ιδιαίτερα ιστολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά και η κατανομή των στοιχείων με το βάθος κυμαίνονται από θέση σε θέση ανάλογα με το είδος του μητρικού πετρώματος, το ανάγλυφο της περιοχής, την απορροή του νερού, τις κλιματικές μεταβολές σε κλίμακα γεωλογικού χρόνου και τη βλάστηση. Οι ορίζοντες αυτοί εκτός του μητρικού πετρώματος που κυρίως είναι σερπεντινιωμένος χαρζβουργίτης για τις περιοχές της Κεντρικής Ελλάδας και της Εύβοιας (N. Skarpelis, 2005) είναι:

1. Ορίζοντας σαπρόλιτη: Αναπτύσσεται σταδιακά και αντικαθιστά το μητρικό πέτρωμα, του οποίου η αρχική δομή και ο όγκος διατηρούνται. Αποτελείται κυρίως από σερπεντίνη (κατά βάση λιζαρδίτη), τάλκη, χλωρίτη, γκαιτίτη και μικρής συγκέντρωσης χαλαζία. Υπολείμματα του μητρικού πετρώματος εμφανίζονται με μορφή αποστρωγγυλεμένων τεμαχίων του. Τα περισσότερα από τα διαλυτά χημικά στοιχεία έχουν αποπλυθεί, ενώ τα oligότερο ευκίνητα αργίλιο και σίδηρος σχηματίζουν νέα ορυκτά *in situ*.

2. Αργιλικός ορίζοντας: Αποτελείται κυρίως από αργιλικά ορυκτά (ιδιαίτερα νοντρονίτη). Τα οξείδια διαφοροποιούνται με τη μορφή κονδύλων ή πηλολιθικών δομών. Τα πελοειδή με κυμαινόμενες διαστάσεις μεταξύ 0,3 έως 2mm βρίσκονται διασκορπισμένα μέσα στην πηλιτική ζώνη. Αποτελούνται κυρίως από μαγνητίτη και χλωρίτη.

3. Ορίζοντας σιδηρούχος (ferricrete, cuirasse) με ιστολογικά χαρακτηριστικά αθροίσματος κονδύλων ή ψευδοκροκαλοπαγούς ή πηλολιθικός : Αναπτύσσεται *in situ* σταδιακά σε βάρος του υποκείμενου ορίζοντα. Δεν διακρίνονται πλέον ιστολογικά χαρακτηριστικά του μητρικού πετρώματος. Αποτελούνται από οξείδια και υδροξείδια. Τυπικός ιστός του πετρώματος είναι ο πηλολιθικός. Στους πηλολίθους επικρατούν ωοειδή, πελοειδή και πηλοειδή σωματίδια αποτελούμενα από οξείδια ή υδροξείδια αργιλίου ή / και σιδήρου.

Εφόσον ο φλοιός λατεριτικής αποσάθρωσης αναπτύσσεται σε βάρος πετρωμάτων πλούσιων κυρίως σε ολιβίνη τότε η δομή του νικελιούχου λατερίτη σχηματικά φαίνεται στην Εικ.8 όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των διαφόρων οριζόντων και η κατανομή κύριων στοιχείων συναρτήσει του βάθους (CSA Global). Στην κορυφή παρατηρείται εμπλουτισμός σε σιδηρούχα ορυκτά (αιματίτης και γκαιτίτης) ενώ η συγκέντρωση νικελίου είναι χαμηλή. Αντίθετα παρατηρείται αύξηση στη συγκέντρωση νικελίου στον ορίζοντα του σαπρόλιτη και η μείωση μαγνησίου στην οροφή του λατερίτη. Το νικέλιο ενδομεύει είτε σε πυριτικά ορυκτά (νικελιούχος τάλκης, νικελιούχος χλωρίτης, νικελιούχος μοντμοριλονίτης, νικελιούχος σερπεντίνης) είτε στον γκαιτίτη (καθώς και αιματίτη).



Εικ. 8 Σχηματική απεικόνιση νικελιούχου λατερίτη. Φαίνεται η διαδοχή των διαφόρων οριζόντων και η κατανομή κύριων στοιχείων συναρτήσει του βάθους (CSA Global)

Για τα ελληνικά λατεριτικά κοιτάσματα Κρητιδικής ηλικίας κρίσιμη είναι η παρουσία των πυριτικών πετρωμάτων silcrete, που αναπτύσσονται με μορφή ψευδοστρώσεων κυρίως μέσα στη ζώνη των αργλικών. Ο σχηματισμός τους ελέγχεται από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (Skarpelis 2005, 2014)

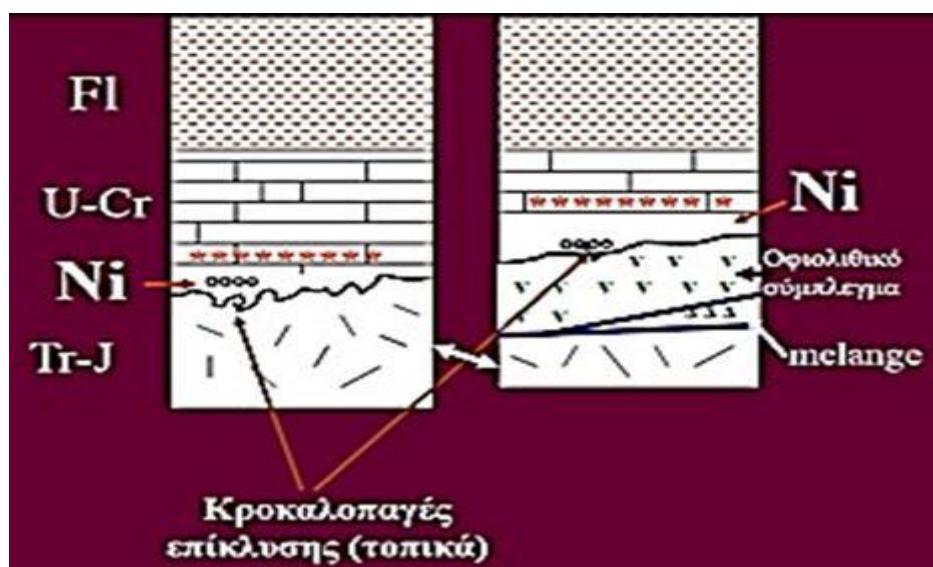
B.5 Μορφή και θέση των κοιτασμάτων

Τα κοιτάσματα που αναπτύσσονται ασύμφωνα επί των προανωκρητιδικών καρστικοποιημένων ασβεστολίθων ή ασύμφωνα σε παρακείμενα πετρώματα (π.χ. οφιολίθους, υπερβασικά) έχουν μορφή στρώματος με ακανόνιστο δάπεδο έχοντας φακοειδές σχήμα ή στρωματοειδή μορφή. Η οροφή σε όλα τα κοιτάσματα είναι πλέον κανονική και υπάρχει συμφωνία στρώσεως μεταξύ του μεταλλεύματος και των υπερκειμένων κρητιδικών στρωμάτων. Αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού είναι η εκδήλωση παραλληλίας μεταξύ της στρώσεως των κρητιδικών στρωμάτων και της άνω επιφάνειας του κοιτάσματος ή της στρώσεως αυτού όπου αυτή εμφανίζεται. Βαθμιαία είναι η μετάβαση του μεταλλεύματος προς το στρώμα του κροκαλοπαγούς όπου αυτό εμφανίζεται, ενώ το ίδιο συμβαίνει και στις θέσεις όπου πάνω από το σιδηρομετάλλευμα έχουμε ανάπτυξη μαργαϊκού ασβεστολίθου. Βαθμιαία είναι επίσης και η μετάβαση προς τον υπερκείμενο οργανογενή κονδυλώδη κρητιδικό ασβεστόλιθο ο οποίος κοντά στην επαφή με το σιδηρομετάλλευμα εμφανίζει καστανοκόκκινο χρώμα λόγω οξειδώσεων σε μία ζώνη πάχους 0,1 – 1m συνήθως. Τα απολιθώματα όσο

ανεβαίνουμε στρωματογραφικώς, γίνονται αφθονότερα μέχρι πλήρους μετάβασης από το μέταλλευμα προς τον οργανογενή ανωκρητιδικό ασβεστόλιθο.

B.6 Συνθήκες γένεσης ιζηματογενών σιδηρονικελιούχων κοιτάσμων στην Ελλάδα

Οι ιζηματογενείς λεκάνες είναι περιοχές υψηλής ενέργειας όπου η συσσώρευση υλικού σε συνδυασμό με αλλαγή συνθηκών καθορίζουν και το είδος του ιζήματος. Οι αλλαγές αυτές αντικατοπτρίζονται στην εξέλιξη του μεταλλοφόρου σώματος με την εναλλαγή διαφόρων πετρογραφικών οριζόντων που προϋποθέτουν διαφορετικές συνθήκες σχηματισμού στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η χαρακτηριστικότερη μορφή σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος στα ιζηματογενή κοιτάσματα της Βαλκανικής και ειδικότερα της Ελλάδας εμφανίζει πηλολιθικό ιστό με τα ωλιθικά σιδηρομεταλλεύματα να θεωρούνται συνδεδεμένα με λεκάνες αβαθών θαλασσών σχηματιζόμενα από μηχανική εναπόθεση ένυδρων οξειδίων σιδήρου και κλαστικών κολλοειδών καολινίτη γύρω από πυρήνες σε περιβάλλον κινούμενων νερών (Bhattacharya et al., 1982). Οι Steuber (1995), Mermigkis et al. (2001) θεωρούν ότι το παλαιοπεριβάλλον απόθεσης των ιζηματογενών λατεριτικών κοιτασμάτων (Εικ.9) είναι νερά ρηχά, διαυγή και φωτόλουστα, με θερμοκρασία που κυμαίνεται μεταξύ 22 και 26° C, τροπικού – υποτροπικού κλίματος.



Εικ. 9 Λιθοστρωματογραφικές στήλες καρστικού νικελίου (αριστερά) και ιζηματογενούς σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος επί υπερβασικού πετρώματος (δεξιά). Το μέταλλευμα καλύπτεται από αργιλικά-μαργαϊκά ιζήματα με φύκη και σκληρακτίνια, που είναι δείκτες θαλάσσιου παλαιοπεριβάλλοντος με νερά ρηχά, διαυγή και φωτόλουστα, T 22-26oC, τροπικού – υποτροπικού κλίματος (Steuber 1995, Mermigkis et al. 2001). [FI:φλύσχης, U-Cr: Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι, Tr-J: Τριαδικο-Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι

Ο ρόλος των υπερβασικών πετρωμάτων στον σχηματισμό των εν λόγω κοιτασμάτων αντικατοπτρίζεται στη χημική τους σύσταση. Οι γεωχημικές αναλύσεις των στοιχείων Fe, Ni, Cr, Co παραπέμπουν σε υπερβασικά πετρώματα με τις συγκεντρώσεις

των στοιχείων αυτών στα λατεριτικά κοιτάσματα να διαφέρουν από αυτές στα μητρικά πετρώματα.

Οι συγκεντρώσεις σιδήρου σε σχέση με τις χαμηλές περιεκτικότητες αργιλίου και ο σημαντικός εμπλουτισμός κυρίως σε νικέλιο, χρώμιο και δευτερευόντως σε κοβάλτιο είναι χαρακτηριστικά χημικά στοιχεία των μεταλλευμάτων αυτών. Τα στοιχεία αυτά που είναι καθοριστικά για τα σιδηρονικελιούχα δείχνουν μια σαφή προτίμηση συγκέντρωσης και σε λατεριτικούς φλοιούς αποσάθρωσης. Τα λατεριτικά κοιτάσματα που είναι συνδεδεμένα με υπερβασικά δίνουν τις υψηλότερες περιεκτικότητες νικελίου και σιδήρου από όλους τους λατερίτες ενώ τα φυλλοπυριτικά ορυκτά χλωρίτης και τάλκης με τα οποία είναι συνδεδεμένο ένα σημαντικό μέρος του νικελίου πιθανόν να προέρχονται από περιοχές που βρίσκονται κάτω από συνθήκες λατεριτικής αποσάθρωσης.

Στην εργασία του ο Κ. Κτενάς (1930) σχετικά με τα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα της Ελλάδας, θεωρεί ότι τα κοιτάσματα της Αττικοβοιωτίας, της Λοκρίδας της Ευβοίας και Σκύρου είναι αποτέλεσμα αποσαθρώσεως και μερικής μεταφοράς αρχικών μαγματικών συγκεντρώσεων εντός των περιδοτιτών ως μαγνητίτη καθώς και χρωμιόφορου και νικελιοφόρου αιματίτου. Η αποσάθρωση αυτή έλαβε χώρα κατά την μακρά περίοδο της Άνω-Ιουρασικής περιόδου χέρσευσης των περιδοτιτών. Ο υπερκείμενος των σιδηρομεταλλευμάτων Άνω-Κρητιδικός ασβεστόλιθος είναι σε συμφωνία στρώσεως με τα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα και παράλληλα προς την παλαιογεωγραφική επιφάνεια πάνω στην οποία βρίσκεται. Παρατηρεί την ύπαρξη ψευδωλιθικού ιστού (κοκκώδη σιδηρομεταλλεύματα) τον οποίο θεωρεί αποτέλεσμα της αρχικής αποσάθρωσης, αποτέλεσμα της οποίας είναι και ο σχηματισμός πυριτικών ορυκτών του νικελίου (γαρνιερίτου εντός του σιδηρομεταλλεύματος).

Κατά τον W.PETRASCHECK (1954) τα νικελιούχα της Λοκρίδας προήλθαν από την λατεριτική αποσάθρωση των οφιολίθων κατά την μεσοκρητιδική ανάδυση της ζώνης Ανατολικής Ελλάδας τα οποία ξεχωρίζει σε ιζηματογενή και αυτά που έχουν προκύψει από αποσάθρωση. Τα τελευταία βρίσκονται επί του μητρικού πετρώματος των οφιολίθων, ενώ τα πρώτα πάνω από ιουρασικούς και τριαδικούς ασβεστολίθους.

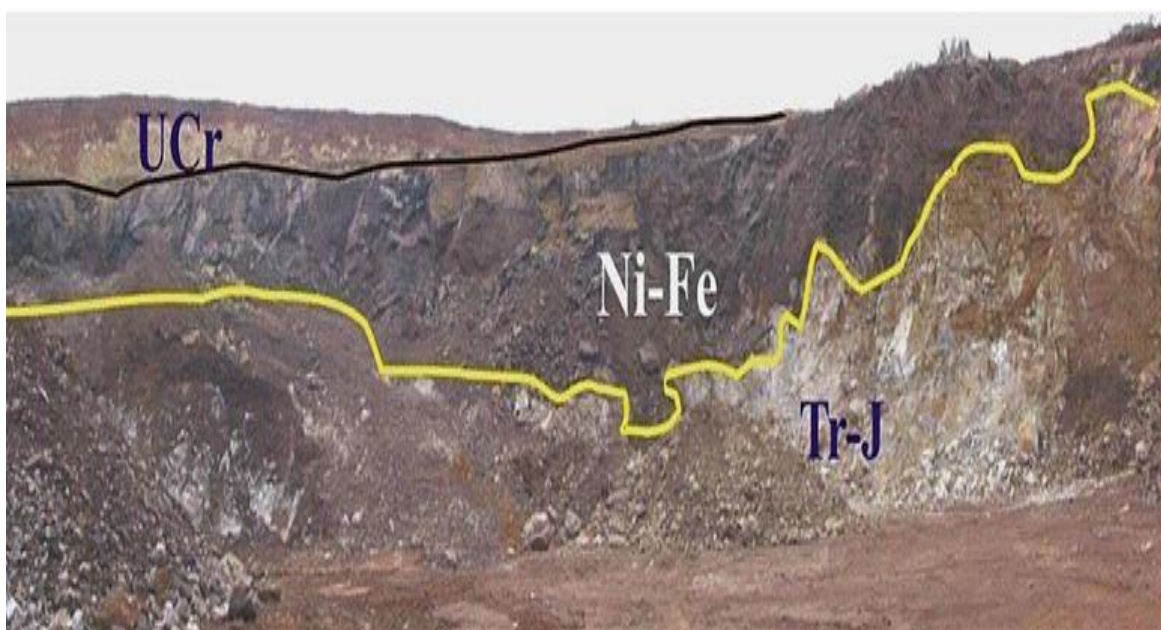
Ο Γ. Μαράτος (1960) διαχωρίζει τα νικελιούχα κοιτάσματα Λοκρίδας σε αυτόχθονα και ετερόχθονα. Δηλαδή σε αυτά που βρίσκονται πάνω στους οφιολίθους, δηλαδή πάνω στο μητρικό πέτρωμα και τα οποία δεν έχουν υποστεί μεταφορά και σε εκείνα που βρίσκονται πάνω σε ασβεστολίθους και τα οποία έχουν μεταφερθεί σε μεγάλη απόσταση από τον χώρο σχηματισμού τους λόγω λατεριτικής αποσάθρωσης των οφιολίθων.

Ο Σ. Αυγουστίδης (1962) διαπίστωσε ότι εντός του κοιτάσματος του Αγ. Ιωάννη Λάρυμνας υπάρχουν λειμονιτικοί πισσόλιθοι που σχηματίσθηκαν κατά το στάδιο της ιζηματογένεσης του κοιτάσματος εντός αβαθών κινούμενων υδάτων, ενώ παρατηρεί σε μικρή αναλογία κλαστικούς κόκκους χρωμίτη, μαγνητίτη και τιτανομαγνητίτη. Κατά το διαγενετικό και μεταδιαγενετικό στάδιο έγινε σημαντική μετατροπή της ορυκτολογικής και ιστολογικής σύστασης του μεταλλεύματος και ο σχηματισμός σφαιροειδών κόκκων

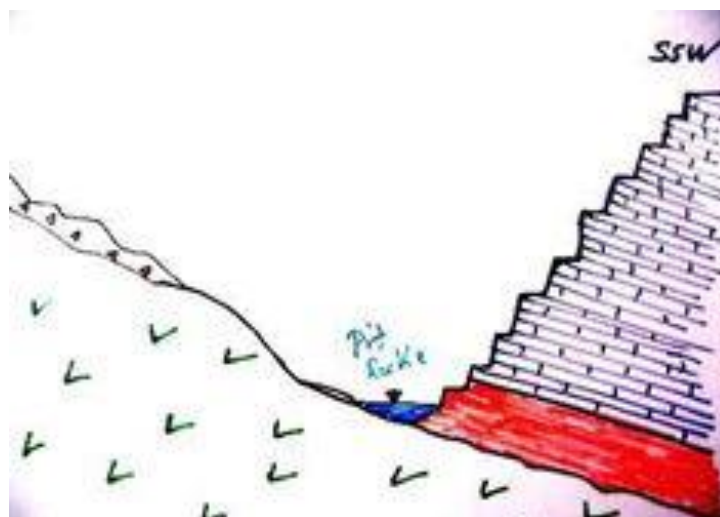
(ψευδωλίθων) συνδετικής υλής λειμονιτικής και ο σχηματισμός εκ νέου αιματίτη, λειμονίτη, μαρτίτου, μαλαχίτη, λεπιδοκροκίτου κ.α.

Κατά τους Boskos et al. (1996) οι Fe-Ni-ούχοι λατερίτες της Κεντρικής Εύβοιας (π.χ. Τριάδα) προέκυψαν από την λατεριτική αποσάθρωση υπερμαφικών πετρωμάτων κατά τη διάρκεια του Κατώτερου Κρητιδικού. Κατά την κενόμανια επίκλυση αποτέθηκαν εκ νέου σε καρστικά έγκοιλα του παλαιού αναγλύφου σχηματίζοντας τα γνωστά Fe-Ni-ούχα κοιτάσματα. Έχουν ως υποκείμενους σχηματισμούς τους σερπεντινωμένους περιδοίτες από την αποσάθρωση των οποίων προήλθαν, είτε ιουρασικούς ασβεστολίθους και ως υπερκείμενους ασβεστολίθους του Ανώτερου Κρητιδικού.

Νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα που αναπτύσσονται ασύμφωνα πάνω στους ιουρασικούς ασβεστολίθους έχουμε στο κοίτασμα του Αγ. Ιωάννη Λάρυμνας, στο Κόκκινο Βοιωτίας, στο Μαρμέϊκο και χαρακτηρίζονται ως καρστικά ιζηματογενή λατεριτικά κοιτάσματα (Apostolikas, 2010), ή επί των οφιολίθων (Παύλον, Λούτσι, Τσούκα Ακραίφνιο), σπάνια δε επί των σχιστοκερατολίθων, ενώ υπέρκεινται αυτών ρουδιστοφόροι ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι (Παύλον, Λούτσι, Ακραίφνιο, τα περισσότερα κοιτάσματα στην Κεντρική Εύβοια, Βοιωτία, Πάρνηθα) και μόνο τοπικά μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και μάργες (Αλμπαντάκης, 1974).



Εικ. 10 Κοίτασμα καρστικού νικελίου (Μαγούλα Βοιωτίας, ΓΜΜΑΕ ΛΑΡΚΟ). Το σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα αποτέθηκε εντός καρστικού εγκοίλου Τριαδικο-ιουρασικών ασβεστολίθων της Υποελαγονικής και καλύπτεται από ασβεστολίθους Ανωκρητιδικής ηλικίας. (Skarpelis, 2014)



Εικ. 11 Το σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα αποτέθηκε επί αποσαθρωμένου υπερβασικού πετρώματος και καλύπτεται από ασβεστολίθους Ανωκρητιδικής ηλικίας (Skarpelis, 2014)

Συνοψίζοντας, τα ιζηματογενή σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα δημιουργούν κοιτάσματα καρστικού τύπου (Εικ. 10) ή έχουν αποτεθεί επί υπερβασικών (Εικ. 11) ή βασικών πετρωμάτων ή ακόμη και επί τμημάτων λατεριτιωμένων υπερβασικών.

B.7 Ορυκτολογική σύσταση των ιζηματογενών λατεριτικών κοιτασμάτων

Το πισολιθικό σιδηρομετάλλευμα συνίσταται κυρίως από αιματίτη και δευτερευόντως εξ υδροξειδίων του σιδήρου ενώ το συμπαγές αποτελείται κυρίως από γκαιτίτη και λειμονίτη. Επίσης σημαντική συμμετοχή στην δομή του μεταλλεύματος έχουν ο χαλαζίας, ο χρωμίτης και ο ασβεστίτης ενώ εκ των φυλλοπυριτικών ο χλωρίτης και ο τάλκης. Ο χαλαζίας βρίσκεται κατά βάση υπό μορφή κλαστικών τεμαχίων κατά προτίμηση στην κύρια μάζα και λιγότερο στα πισοειδή, ενώ ο χρωμίτης λόγω ανθεκτικότητάς του στην αποσάθρωση εμφανίζεται υπό μορφή κλαστικών κόκκων, βρίσκεται διάσπαρτος στην κύρια μάζα ή αποτελεί τον πυρήνα των πισολιθικών δομών του μεταλλεύματος.

Τα φυλλοπυριτικά ορυκτά είναι κατά βάση διάσπαρτα στην κυρίως μάζα και λιγότερο σε πισολιθικές δομές. Δευτερευόντως, μια σειρά άλλων ορυκτών συμπληρώνουν την ορυκτολογική σύσταση του μεταλλεύματος όπως είναι ο μαγνητίτης, ο ιλλίτης, ο καολινίτης. Το νικέλιο στα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα είναι κυρίως συνδεδεμένο με τα φυλλοπυριτικά ορυκτά του χλωρίτη και του τάλκη. Δευτερευόντως τα σιδηρούχα αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα δέσμευσης του νικελίου με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις να εμφανίζονται στον γκαιτίτη (Αποστολίκας, 2010).

Σύμφωνα με τον Skarpelis (2005, 2014) η ορυκτολογική και ιστολογική μελέτη των μεταλλευμάτων δείχνει ότι αποτελούνται από σιδηρούχα σφαιροειδή σωματίδια, θραύσματα silcrete και σαπρολίτη καθώς και κλαστικούς κόκκους χλωρίτη, νικελιούχου χλωρίτη, γκαιτίτη, αιματίτη, χρωμίτη, ιλμενίτη, οξειδίων Ti, μαγνητίτη, μαγκαιμίτη,

μαρτίτη, χαλαζία. Τα σιδηρούχα σφαιροειδή σωματίδια είναι κυρίως πελοειδή, σε μικρό βαθμό πισοειδή, ενώ τα ωοειδή σπανίζουν. Πολύ διαδεδομένα είναι τα σύνθετα σφαιροειδή, που αποτελούνται από πλήθος πελοειδών και πισοειδών. Αυτού του είδους τα σφαιροειδή προέρχονται από το ανώτερο τμήμα της σιδηρούχου ζώνης των φλοιών λατεριτικής αποσάθρωσης. Μακροσκοπικά η επιφάνεια των περισσότερων σιδηρούχων σφαιροειδών εμφανίζεται λειασμένη, ένα χαρακτηριστικό που αποτελεί ένδειξη διαδικασίας απότριψης (abrasion), πιθανόν κατά τη διαδικασία της μεταφοράς.

Σε κοιτάσματα καρστικού τύπου, κοντά στην επαφή του μεταλλεύματος με τον υποκείμενο ασβεστόλιθο, παρατηρούνται μάζες σιδηροπυρίτη – μαρκασίτη, ασβολάνη και συγκεντρώσεις αυθιγενών ορυκτών των σπανίων γαιών.

Η ιστολογική περιγραφή του μεταλλεύματος διευκολύνεται αν λάβουμε υπ' όψη μας ότι κάθε δείγμα είναι άθροισμα τριών κλασμάτων σε διάφορες αναλογίες:

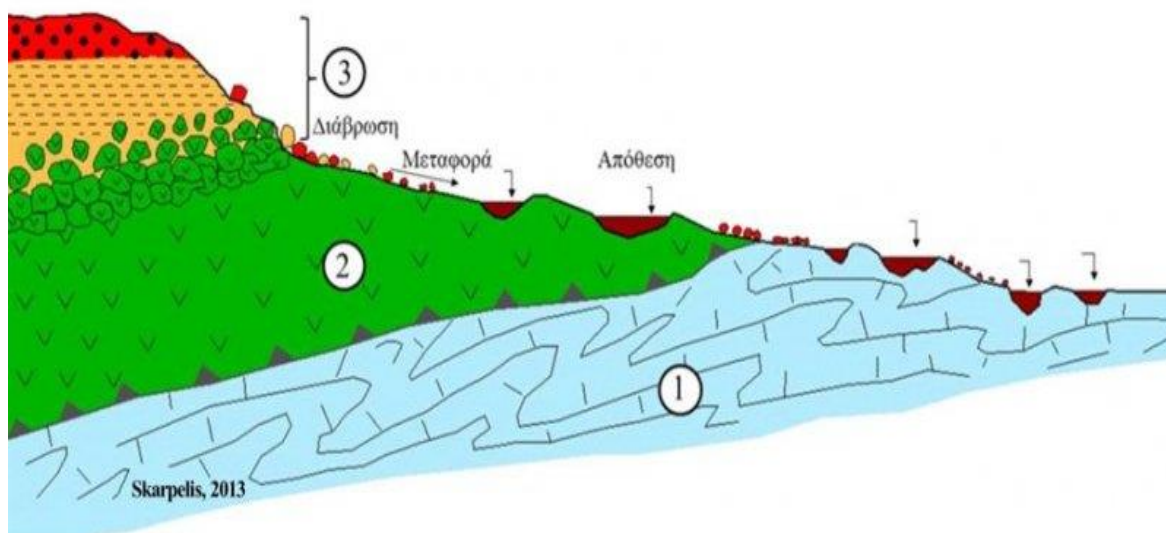
- σιδηρούχων σφαιροειδών σωματιδίων
- λεπτομερών θραυσμάτων ορυκτών σιδήρου και
- αργλικών ορυκτών

Έτσι προκύπτουν τρεις ακραίοι τύποι μεταλλεύματος:

- Πισολιθικό μετάλλευμα, του οποίου τη σύσταση κυριαρχούν πελοειδή, πισοειδή και σύνθετα σφαιροειδή,
- Συμπαγές σιδηρούχο μετάλλευμα, το οποίο περιέχει λεπτομερή τεμάχια σιδηρούχων ορυκτών και
- Πηλτικό μετάλλευμα, το οποίο αποτελείται κυρίως από αργλικά ορυκτά.

Στο ίδιο δείγμα μεταλλεύματος μπορεί κανείς να διακρίνει ορυκτολογικά - ιστολογικά συστατικά που συναντώνται σε διαφορετικές ζώνες λατεριτίωσης π.χ. θραύσματα μαγνητίτη-μαρτίτη από την αργλική ζώνη συνυπάρχουν με θραύσματα σμηκτιτιωμένου σερπεντίνη από τη ζώνη σαπρολίτη και πελοειδή ή πισοειδή από τη γκαιτιτική και πισολιθική ζώνη. Μεμονωμένες πυριτικές (silcrete) λατύπες ή πυριτικά λατυποπαγή και σπανιότερα λατυποκροκαλοπαγή απαντούν σε πλήθος κοιτασμάτων και εμφανίσεων (Skarpelis, 2005).

Τα ορυκτολογικά και ιστολογικά δεδομένα σε συνδυασμό με τις παρατηρήσεις υπαίθρου, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα ιζηματογενή σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα είναι εξ' ολοκλήρου μηχανικά ιζήματα (Skarpelis, 1999). Η διαδικασία δημιουργίας τους παριστάνεται σχηματικά στο σκίτσο της Εικ.12.



Εικ. 12 Απλοποιημένο σκίτσο στο οποίο παριστάνεται η διαδικασία δημιουργίας των ιζηματογενών σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων. 1.Τριαδικό - ιουρασικοί ασβεστόλιθοι, 2.Υπερβασικά πετρώματα, 3. Νικελιούχος λατερίτης. Η διάβρωση του λατερίτη αρχίζει σε χερσαίο περιβάλλον, η μεταφορά του υλικού της διάβρωσης γίνεται μηχανικά εν μέρει με τη βοήθεια υδάτινων ρεμάτων, ενώ η απόθεση γίνεται σε θαλάσσιο περιβάλλον μικρού βάθους (Σκαρπέλης, αδημοσίευτο).

B.8 Κοιτάσματα σιδηρονικελιούχων λατεριτών υπό αξιοποίηση στην Ελλάδα

Σημαντικά κοιτάσματα σιδηρονικελιούχων λατεριτών βρίσκονται σήμερα σε εκμετάλλευση στην Εύβοια, στη Λοκρίδα και στην Καστοριά με περιεκτικότητες σε νικέλιο, που κυμαίνονται από 0,8% έως 1,5%. Κοινό χαρακτηριστικό τους είναι η παρουσία Ni, Fe και Cr. Η περιεκτικότητα σε Ni κυμαίνεται και είναι σχετικά χαμηλή και κυμαίνεται γύρω στο 1% για ιζηματογενή λατεριτικά κοιτάσματα όπως αυτά των Νομών Βοιωτίας και Εύβοιας, ενώ για κοιτάσματα όπως της Καστοριάς που βρίσκονται επί των υπερβασικών πετρωμάτων από τα οποία σχηματίστηκαν με χημική αποσάθρωση, η περιεκτικότητα σε Ni αυξάνεται (<http://www.larco.gr/el.nickel.php>). Ο σίδηρος κυμαίνεται στα ιζηματογενή λατεριτικά κοιτάσματα μεταξύ 20 και 79%. Τα υπόλοιπα συστατικά είναι κυρίως οξείδια του Al, Si, Mn και Cr.

Επιγραμματικά όσον αφορά την ορυκτολογική σύσταση των προαναφερθέντων κοιτασμάτων ακολουθούν τα παρακάτω:

Λοκρίδα – Εύβοια

Κατά τον Albantakis 1974 τα κοιτάσματα της Λοκρίδας και της Εύβοιας περιέχουν αιματίτη, λειμωνίτη (γκαιίτη, λεπιδοκροκίτη), χλωρίτη, χαλαζία, χρωμίτη ± μαγνητίτη και ίχνη μαλαχίτη, μαρκασίτη. Βασικότερο ορυκτό συστατικό είναι ο αιματίτης που συναντάται με τη μορφή πisolίθου ή με τη μορφή συνδετικής ύλης.

Επίσης, βασικό ορυκτό συστατικό θεωρείται στα κοιτάσματα Εύβοιας και Πάρνηθας, ο χαλαζίας, ο οποίος παρεμβάλλεται υπό μορφή φακών, κονδύλων ή τεμαχίων μικροσκοπικού έως μακροσκοπικού μεγέθους.

Κύριος φορέας του νικελίου είναι ο νικελιούχος χλωρίτης ο οποίος συμμετέχει στην συνδετική κυρίως ύλη του μεταλλεύματος με περιεχόμενο νικέλιο 5%. Το κυριότερο νικελιούχο ορυκτό Στον Αγ. Ιωάννη Λάρυμνας είναι ο χλωρίτης ο οποίος έχει συμμετοχή 15-30%.

Στο ίδιο κοίτασμα εμφανίζονται σημαντικές συγκεντρώσεις αιματίτη (40-45%), γκαιτίτη (1-3%) και χαλαζία (25-28%), ενώ οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις χρωμίτη και ασβεστίτη κυμαίνονται μεταξύ 2,5-3,5% και 1-4% αντίστοιχα. Τέλος ελάχιστες είναι οι συγκεντρώσεις ιλλίτη, τάλκη και μαρκασίτη.

Σύμφωνα με εργασία των Μπόσκου, Περράκη και Κολοκοτρώνη (1996) το Fe-Ni-ούχο λατεριτικό μετάλλευμα των κοιτασμάτων Ισώματος - Τριάδας και Κατσίκιζας στην κεντρική Εύβοια αποτελείται ορυκτολογικά, κυρίως από αιματίτη (25-60%), χαλαζία (5-40%) και χλωρίτη (<10-30%) με μικρότερη την συμμετοχή ιλλίτη (0,3-18%), χρωμίτη (<5%) και ασβεστίτη. Στο κοίτασμα Ισώματος – Τριάδας η μέση περιεκτικότητα σε νικέλιο είναι 0,91% Ni και σε Cr₂O₃ 2.98%. Στο κοίτασμα της Κατσίκιζας οι αντίστοιχες περιεκτικότητες είναι 0,85% Ni και 2,74% Cr₂O₃. Το κυριότερο Ni-ούχο ορυκτό του μεταλλεύματος είναι ο χλωρίτης με μέση περιεκτικότητα σε NiO 5,15% στο κοίτασμα Ισώματος Τριάδας και 4,25% στο κοίτασμα Κατσίκιζας. Αποτελεί δε, τον σημαντικότερο φορέα του νικελίου και συμμετέχει με ποσοστό περίπου 78% στο περιεχόμενο συνολικού Ni του μεταλλεύματος. Ο ιλλίτης και ο αιματίτης με μέση περιεκτικότητα σε NiO 0.63% και 0,42%, συμμετέχουν με ποσοστό 5% και 17% του Ni αντίστοιχα.

Καστοριά

Περιέχει κυρίως σιδηροξείδια, υδροξείδια, χαλαζία (29%), σερπεντίνη (35%), σμεκτίτη (7%), χρωμίτη (1,5%), ασβεστίτη (8,5%), τάλκη, αιματίτη και χλωρίτη.

Ο γκαιτίτης είναι το βασικότερο σιδηρούχο ορυκτό και συμμετέχει τόσος στο συνδετικό υλικό όσο και στους πisolίθους του κοιτάσματος. Η συνολική του συμμετοχή ανέρχεται σε 19% .

Skarpelis et al., 1998

Σε σχέση με την χημική σύσταση των κοιτασμάτων αυτών, συνοπτικά αναφέρονται τα παρακάτω.

Λοκρίδα – Εύβοια

Το μετάλλευμα αποτελείται κυρίως από σίδηρο, πυρίτιο, αργίλιο και μαγνήσιο. Χαμηλή περιεκτικότητα σε μαγγάνιο, ασβέστιο, θείο, χαλκό, κοβάλτιο και αρσενικό. Το ίδιο ισχύει και για το χρώμιο γενικά. Ειδικότερα στον Αγ. Ιωάννη Λάρυμνας εμφανίζονται υψηλότερα ποσοστά συμμετοχής των οξειδίων Al₂O₃ και Cr₂O₃ στο κοίτασμα και υπολογίζονται σε 6% και 4% αντίστοιχα

Η περιεκτικότητα του νικελίου και του χρωμίου αυξάνεται από το δάπεδο προς την οροφή του κοιτάσματος.

Ni	Fe	SiO ₂	MgO	CaO	Mn	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
1%	33%	31%	4%	1%	0,4%	5%	0,2%

Albantakis 1974

Καστοριά

Σχετικά υψηλές περιεκτικότητες σε νικέλιο και σίδηρο. Χαμηλή περιεκτικότητα παρατηρείται σε αργίλιο και πυρίτιο. Επειδή το μαγνήσιο βρίσκεται σε χαμηλό ποσοστό, αντίστοιχα ο σερπεντίνης, ο χλωρίτης και ο σπινέλιος βρίσκονται στα ίδια χαμηλά ποσοστά μέσα στο κοίτασμα.

Ni	Fe	SiO ₂	MgO	CaO	Mn	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
1,38%	20,1%	31,3%	14,8%	4,5%	0,5%	1,8%	1,4%

Skarpelis et al. 1998

Σύμφωνα με την ιστοσελίδα της εταιρείας ΛΑΡΚΟ ΓΜΜ. Α.Ε. (http://www.larco.gr/el.smelting_plant.php), στις μεταλλουργικές εγκαταστάσεις της οποίας γίνεται πυρομεταλλουργική επεξεργασία των Ελληνικών σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων (λατεριτών) προερχόμενα από τα Μεταλλεία Καστοριάς, Αγίου Ιωάννη και Εύβοιας, το μέταλλευμα τροφοδοσίας ανάλογα με την προέλευσή του έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τις παρατηρήσεις και μετρήσεις που έχει πραγματοποιήσει, έχουμε την εξής κατηγοριοποίηση σε σχέση με την περιεκτικότητά του μεταλλεύματος σε οξείδια του σιδήρου και πυριτίου ανάλογα της προέλευσης.

- Το μέταλλευμα της Εύβοιας έχει υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο και οξείδιο του πυριτίου
- Το μέταλλευμα της Καστοριάς έχει υψηλή περιεκτικότητα σε οξείδιο του πυριτίου αλλά μικρή σε οξείδιο του σιδήρου και
- Το μέταλλευμα του Αγίου Ιωάννη έχει υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο αλλά μικρή σε οξείδιο του πυριτίου.

Γ. ΣΠΑΝΙΕΣ ΓΑΙΕΣ

Γ1. Γενικά

Στη Χημεία σπάνιες γαίες καλούνται τα μέταλλα (χημικά στοιχεία) τα οξείδια των οποίων είναι γαιώδους μορφής και ονομάστηκαν έτσι λόγω της εξαιρετικής σπανιότητάς τους υπό μορφή κοιτασμάτων. Αυτά τα μέταλλα λέγονται και λανθανίδες εκ του ονόματος του πρώτου στοιχείου της κατηγορίας αυτών στον Περιοδικό πίνακα (Εικ.13), ενώ παρουσιάζουν σχεδόν τις ίδιες φυσικές και χημικές ιδιότητες (Wikipedia).

Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα ακόλουθα χημικά στοιχεία που μόνο για λόγους ευκολίας υποδιαιρούνται σε τρεις υποομάδες:

1η Υποομάδα: Λανθάνιο, Δημήτριο, Πρασεοδύμιο, Νεοδύμιο, Προμήθειο και Σαμάριο. Κύριες πηγές των στοιχείων αυτής της υποομάδας είναι τα ορυκτά μοναζίτης, μπαστνεσίτης, τσερίτης και αλλανίτης.

2η Υποομάδα: Ευρώπιο, Γαδολίνιο και Τέρβιο. Κύριες πηγές των στοιχείων αυτής της υποομάδας είναι τα ορυκτά σμαρσκήτης και μερικά είδη ξενότιμου.

3η Υποομάδα: Δυσπρόσιο, Όλμιο, Ύτριο, Έρβιο, Θούλιο, Υτέρβιο και Λουτέτιο. Κύριες πηγές των στοιχείων αυτής της υποομάδας είναι τα ορυκτά γαδολινίτης, ξενότιμο, ευξενίτης και φεργκιουσονίτης.

Εκ των παραπάνω μετάλλων: το λανθάνιο, το δημήτριο και το νεοδύμιο δεν είναι τόσο σπάνια σε αντίθεση με το ευρώπιο, το τέρβιο και το θούλιο που είναι εξαιρετικά σπάνια.

Periodic Table of the Elements																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
IA																		0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1	H																IIA										2										He																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
2	Li																Be										5										B										6										7										8										9										10										Ne																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
3	Na																Mg										III B										IV B										V B										VI B										VII B										— VII —										IB										IB										13										14										15										16										17										18										Ar																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
4	K																Ca										Sc										Ti										V										Cr										Mn										Fe										Co										Ni										Cu										Zn										31										32										33										34										35										36										Kr																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
5	Rb																Sr										Y										Zr										Nb										Mo										Tc										Ru										Rh										Pd										Ag										Cd										49										50										51										52										53										54										Xe																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
6	Cs																Ba										*La										Hf										Ta										W										Re										Os										Ir										Pt										Au										80										Hg										81										82										83										84										85										86										Rn																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
7	Fr																Ra										+Ac										Rf										Ha										106										107										108										109										110																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

Εικ. 13 Περιοδικός πίνακας στοιχείων

Τα ορυκτά στα οποία απαντώνται οι σπάνιες γαίες ή λανθανίδες εντοπίζονται κυρίως στην Κίνα, την Νορβηγία, τις ΗΠΑ, τη Βραζιλία, την Ινδία και την Αυστραλία.

Στην Ελλάδα αποθέματα σπάνιων γαιών (REE) έχουν εντοπιστεί σε προσχωσιγενείς αποθέσεις που απαντώνται κυρίως στο παράκτιο και υποθαλάσσιο περιβάλλον μεταξύ Χαλκιδικής και Αλεξανδρούπολης και ιδιαίτερα στον Στρυμωνικό Κόλπο. Συγκεκριμένα, κοιτασματολογικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν από το ΙΓΜΕ (2001) υπολογίζουν τα αποθέματα σε 485 εκατ. τόνων, με μέση περιεκτικότητα σπάνιων γαιών 1,17% (κυρίως Ce, La και Nd) και αρκετή περιεκτικότητα σε θόριο.

Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζουν οι βωξίτες και οι βωξιτικοί λατερίτες στη Στερεά Ελλάδα με αντιπροσωπευτικές περιεκτικότητες που κυμαίνονται συνολικά από 3,3-6,4 Kg/t REE. (http://www.oryktosploutos.net/2014/08/blog-post_8.html#.Vo5Oyk2TvIW)

Το διαφαινόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον περιλαμβάνει ακόμη και την ερυθρά ιλύ (ή σιδηραλούμινα) (Εικ. 14) από τη μεταλλουργία αλουμινίου. Πρόκειται για το παραμένον αδιάλυτο μίγμα που προκύπτει κατά την παρασκευή καθαρής αλουμίνας από βωξίτες. Είναι ένα πηχτό και καυστικό μίγμα διαλύματος NaOH και κυρίως ένυδρου Fe_2O_3 στο οποίο οφείλει το χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα του. Απομακρύνεται ως κύριο παραπροϊόν της εν λόγω διαδικασίας. Η περιεκτικότητα της ερυθράς ιλύς σε στερεά ποικίλει από 25% έως και 50%, ενώ το pH της φθάνει το 13.

(www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_Al2O3.htm).

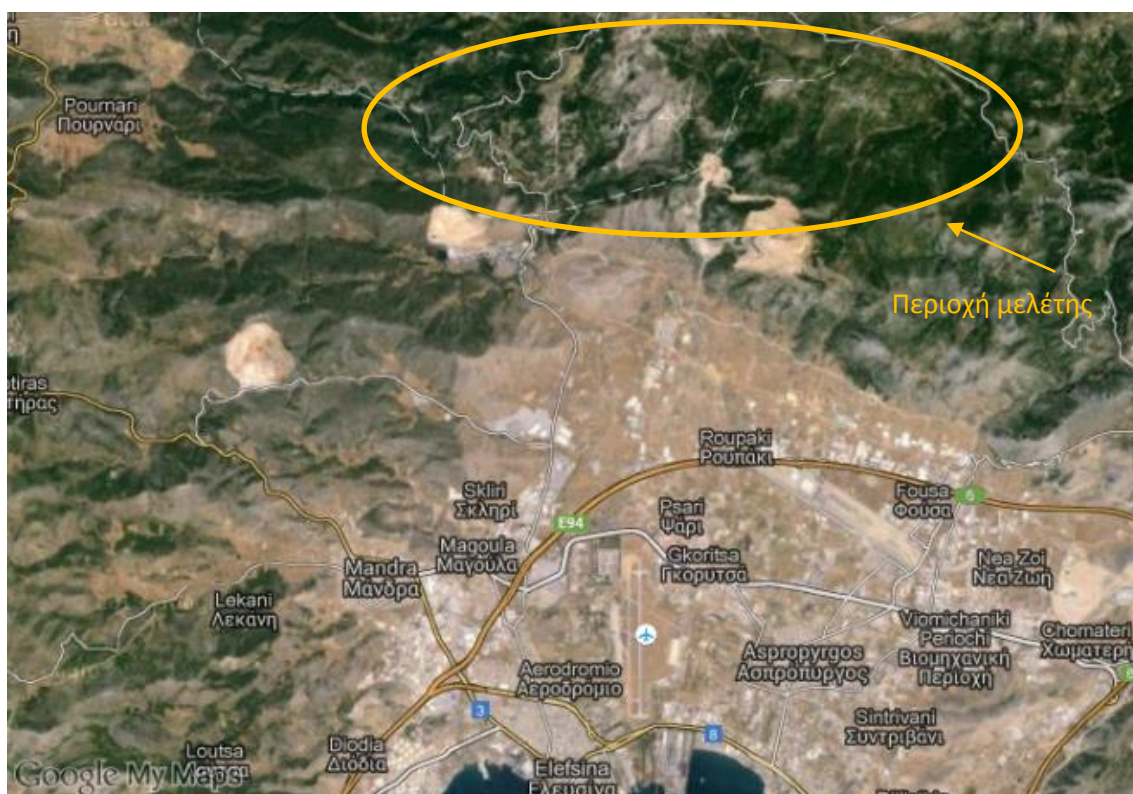


Εικ. 14 Σιδηραλούμινα πάνω σε μεταφορική ταινία

Δ. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Δ.1 Γεωγραφική τοποθέτηση της Περιοχής Μελέτης - Μορφολογία

Η περιοχή Κακή Ράχη-Κατσουλιέρης, ανήκει διοικητικά στα όρια του Δήμου Ασπροπύργου Αττικής ενώ το κέντρο της βρίσκεται περί τα 6 χιλιόμετρα σε ευθεία γραμμή βορείως της πόλης του Ασπροπύργου (Εικ.15). Εντός της προς μελέτη περιοχής εντάσσεται και η ενεργή λατομική περιοχή αδρανών υλικών Ξηρορέματος Ασπροπύργου, όπου αναπτύσσονται λατομικές δραστηριότητες της εταιρείας Α.Ε. Τσιμέντων Τιτάν και της Ιντερμπετόν Δομικά Υλικά Α.Ε. (Λατομείο Ξηρορέματος) και του λατομείου Αραγωνίτη καθώς και δίκτυο λατομικών, αγροτικών και δημοτικών οδών. Το Λατομείο Φράγκου βρίσκεται σε όμορη θέση με τη περιοχή μελέτης από τα δυτικά της.



Εικ. 15 Απόσπασμα από χάρτη Google Earth

(www.google.com/maps/d/viewer?mid=zmlXNyF52Res.krx1BHxqhus4&hl=en_US)

Πρόκειται για ορεινή βραχώδη έκταση που περικλείεται από μορφολογικές εξάρσεις όπως οι κορυφές Μαύρη Πέτρα 880 μέτρα περίπου και Βελανιδιές ενώ το υψόμετρο στο νότιο άκρο φθάνει τα 300 μέτρα περίπου. Στο Βόρειο τμήμα του χώρου διέρχεται υδατόρεμα περιοδικής ροής με την ονομασία «Βελανιδιά». Η μορφολογία της περιοχής είναι σχετικά ήπια στον κεντρικό τομέα και απότομη έως πολύ απότομη στο βόρειο και νότιο τομέα αντίστοιχα. Στον κεντρικό τομέα του χώρου διαμορφώνεται ένα μορφολογικό ύβωμα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, το δυτικό άκρο του οποίου καταλαμβάνει η κορυφή «Κακή Ράχη» με υψόμετρο 739 μέτρα και το ανατολικό άκρο η κορυφή «Κατσουλιέρης» με υψόμετρο 762 μέτρα.

Στην ευρύτερη περιοχή (Εικ. 16) της «Κακής Ράχης» του Δήμου Ασπροπύργου είναι γνωστή από παλιά η ύπαρξη σιδηρούχου μεταλλοφορίας. Οδηγός της μεταλλοφορίας αυτής είναι η ασύμφωνη επαφή μεταξύ υπερκείμενων κρητιδικών ασβεστολίθων και υποκείμενων τριαδικοϊουρασικών ασβεστολίθων και δολομιτών. Ως μεταλλοφοροπιθανή έκταση είναι όλη αυτή που καλύπτεται από κρητιδικούς ασβεστολίθους. Στα πλαίσια της παραπάνω εργασίας, έγινε γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:5.000 και μικροπαλιοντολογική μελέτη των ανθρακικών πετρωμάτων προκειμένου να προσδιοριστεί η ηλικία και το περιβάλλον απόθεσης της επικλυσιγενούς σειράς των ασβεστολίθων.

Επιπλέον πραγματοποιήθηκε κοιτασματολογική αναγνώριση και ελήφθησαν δείγματα από τις πυρηνοληπτικές γεωτρήσεις στα οποία διενεργήθηκαν γεωχημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις να αξιολογηθεί το σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα.



Εικ. 16 Αεροφωτογραφία ευρύτερης περιοχής μελέτης

Δ.2 Γεωλογικό - Στρωματογραφικό πλαίσιο

Στον εν λόγω χώρο αλλά και στην ευρύτερη περιοχή αναπτύσσονται ιζηματογενείς σχηματισμοί της Πελαγονικής Ζώνης Ανατολικής Ελλάδας όπως αποτυπώνεται στο Χάρτη του ΙΓΜΕ Φύλλο Ελευσίνας (Χαρ.1) .

Από καθαρά γεωλογική-στρωματογραφική σύμφωνα με τον χάρτη του ΙΓΜΕ στην ευρύτερη περιοχή απαντούν δύο διακριτοί γεωλογικοί σχηματισμοί:

- Τα Άνω-Κρητιδικά ανθρακικά πετρώματα και
- Οι Άνω-Τριαδικοί έως Κάτω Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες.

Τα πρώτα υπέρκεινται ασύμφωνα των δεύτερων, ενώ μεταξύ τους παρεμβάλλεται μια επιφάνεια ασυνέχειας που φιλοξενεί κατά την έκτασή της και κατά θέσεις, φακοειδούς ή ακανόνιστης μορφής σιδηρονικελιούχα σώματα.

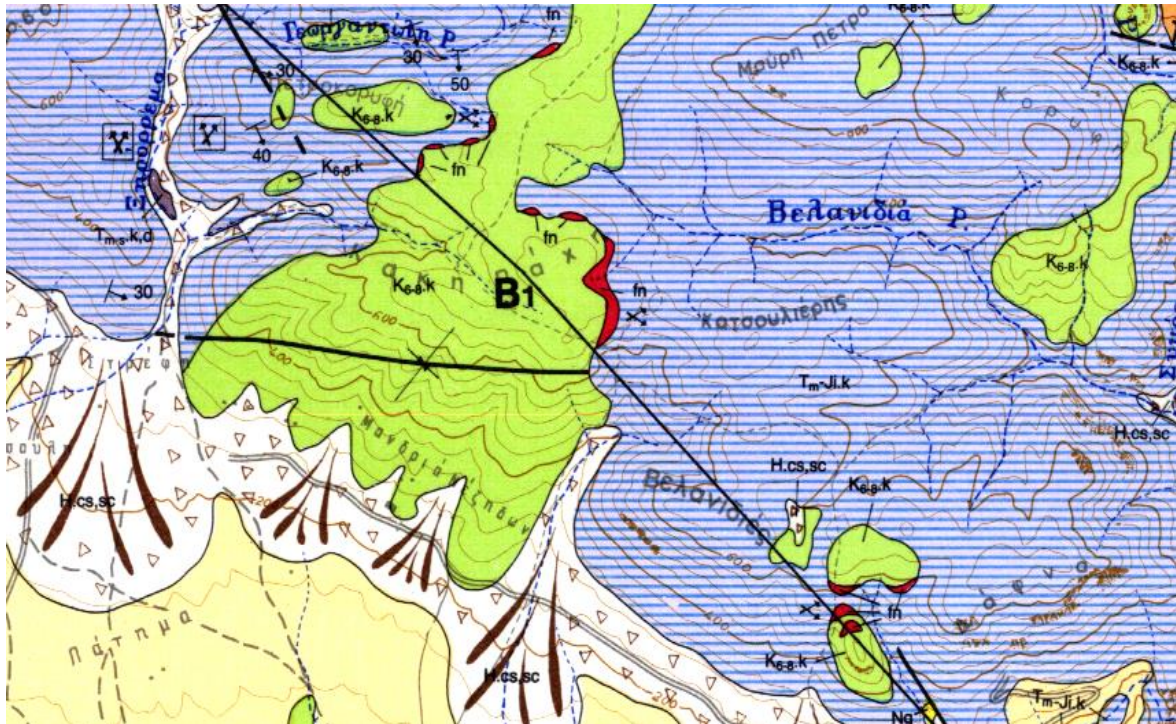
Τα Άνω-κρητιδικά ανθρακικά πετρώματα αποτελούνται από μεσοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις ασβεστολίθους, στιφρούς, συμπαγείς, ανοικτοτεφρόχρους. Στα κατώτερα τμήματα μεταπίπτουν σε λεπτοπλακώδεις ενίοτε μαργαϊκούς ασβεστολίθους, λευκοκίτρινου χρώματος. Καλύπτουν κατά θέσεις σιδηρονικελιούχα σώματα.

Τα Ανωτριάδικα έως Κάτω Ιουρασικά ανθρακικά πετρώματα αποτελούνται από ασβεστολίθους κυρίως και δολομίτες με όλους τους ενδιάμεσους τύπους. Έχουν χρώμα ανοικτότεφρο και είναι κατά θέσεις παχυστρωματώδεις έως κατά θέση αστρωμάτιστοι.

Παρουσιάζονται έως έντονα κατακερματισμένοι και η υφή τους είναι συνήθως μικροκρυσταλλική. Εντοπίζονται αμέσως κάτω από την ασυμφωνία της κενομάνιας επίκλυσης και σε έγκοιλά τους έχει αποτεθεί το σιδηρομετάλλευμα της ευρύτερης περιοχής.

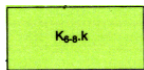
Από τεκτονικής πλευράς και τα δύο ανθρακικά συστήματα είναι έντονα ρηγματωμένα με εμφανή την επίδραση ζώνης έντονου τεκτονισμού. Οι ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι κλίνουν προς ΝΔ με βαθμό κλίσης που ποικίλει από θέση σε θέση.

Προκειμένου να προσδιοριστεί η ηλικία και το περιβάλλον απόθεσης της υποκείμενης του μεταλλεύματος και της επικλυσιγενούς ανθρακικής σειράς, κατασκευάστηκαν λεπτοτομές και έγινε μελέτη των περιεχόμενων μικροαπολιθωμάτων.



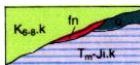
ΚΕΝΟΜΑΝΙΟ-ΣΕΝΩΝΙΟ

Ασβεστόλιθοι επικλυσιογενείς: στη βάση τους είναι λεπτοστρωματώδεις, τοπικά μαργαίκοι, χρώματος κιτρινόλευκου και καλύπτουν κατά θέσεις με συμφωνία στρώσεως σιδηρονικελιούχα και βωξιτικά κοιτάσματα. Στρωματογραφικά ψηλότερα γίνονται μεσοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις, χρώματος τεφρού και εγκλείουν απολιθώματα του Κενομάνιου-Τουρώνιου που αποτελείται από:



Nummuloculina heimi BONET, *Valvulammina picardi* HENSON, *Chrysalidin gradata* D' ORBIGNY, *Pseudolituonella* sp., *Cuneolina* sp., *Gavelinella* sp., *Nezzazati* sp., *Orbitolinidae*, *Miliolidae*, *Thaumatoporella parvovesiculifera* (RAINERI), *Bacinella irregularis* RADOICIC, Rudistae.

Σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα: φακοειδούς-στρωματοειδούς μορφής που υπερκείνται ασύμφωνα των προανωκρητιδικών ασβεστόλιθων και υπόκεινται σύμφωνα των ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων. Το μέταλλευμα είναι πισσολιθικό ή συμπαγές με μεγάλο ποσοστό αιματίτη-λειμωνίτη και κατά κανόνα με πολλές πυριτικές λατύπες. Η περιεκτικότητά τους σε Νικέλιο είναι γενικά χαμηλή.



ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ-ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ (;)

Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες: τεφροί μέχρι μελανότεφροι, λεπτο-μεσοστρωματώδεις, στολιδωμένοι, περικλείουν ενστρώσεις και κονδύλους πυριτόλιθων. Τοπικά περιέχουν λεπτά στοώματα αονιλικού σχιστόλιθου.



Involutina cf. *communis* (KRISTAN), *Halobia* sp., *Conodontes*, *Ammonites*, *Gastropods*.

Χαρ.1 Περιοχή μελέτης περίξ «Κακής Ράχης» (Γεωλογικός Χάρτης ΙΓΜΕ: Φύλλο Ελευσίνα 1:50.000 από Γ. ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟ, Α. ΜΕΤΤΟ, Μ. ΒΙΔΑΛΗ, Γ. ΔΟΥΝΑ, Φ. ΠΟΜΟΝΗ, ΣΤ. ΤΣΑΪΛΑ ΜΟΝΟΠΩΛΗ & Β. ΣΚΟΥΡΤΣΗ-ΚΟΡΩΝΑΙΟΥ, 1969-1980)

Δ.3 Σύντομη κοιτασματολογική περιγραφή

Εμφανής μεταλλοφορία σημειώνεται κατά μήκος της γραμμής επαφής που διέρχεται βόρεια και ανατολικά της κορυφής «Κακή Ράχη» και για ένα μήκος περίπου ένα χιλιόμετρο καθώς και από την άλλη πλευρά της «Κακής Ράχης» προς τα δυτικά. Τα μεταλλεύματα του χώρου είναι σιδηρονικελιούχα και ανήκουν στην κατηγορία των ιζηματογενών λατεριτικών μεταλλευμάτων τα οποία μετά από μετακίνηση λατεριτικού υλικού έχουν αποτεθεί επί των τριαδικο-ιουρασικών ασβεστολίθων και καλύφθηκαν από κρητιδικούς ασβεστολίθους, ενώ από κοιτασματολογικής - μεταλλευτικής πλευράς το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην ασύμφωνη επαφή μεταξύ των δύο ως άνω ανθρακικών σειρών, κατά την έκταση της οποίας συναντώνται τα μεταλλοφόρα σώματα (Φωτ.1), ανόμοια σε μέγεθος και μορφή και με συχνότητα ακανόνιστη. Το μέταλλευμα είναι πισσολιθικό (Φωτ. 2) ή/και συμπαγές με εμφανή τα ορυκτά του σιδήρου αιματίτη και γκαιτίτη.



Φωτ.1 Στρώματα πλούσια σε σιδηροξείδια.



Φωτ.2 Πισσολιθικό μέταλλευμα στην περιοχή μελέτης

Δ.4 Υλικά και μέθοδοι

Το πρώτο στάδιο της έρευνας περιέλαβε γεωλογική χαρτογράφηση, προσδιορισμό λιθολογίας, συλλογή δειγμάτων και καταγραφή με γεωλογική πυξίδα τεκτονικών ασυνεχειών και δομών όπου αυτές εμφανίζονται. Η αποτύπωση των θέσεων δειγματοληψίας επιτεύχθηκε με τη χρήση ενός συστήματος G.P.S. (Global Positioning System). Στη συσκευή αυτή αποτυπώνονταν τα στίγματα των θέσεων δειγματοληψίας, των υφιστάμενων δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και οι επαφές μεταξύ διαφορετικών σχηματισμών, οπότε προέκυψε μία βάση δεδομένων (RIS Oracle rdbms). Η εισαγωγή των δεδομένων έγινε σε cad Microstation Descartes V8.2.1, ενώ έγινε χρήση των προγραμμάτων Autocad Map ver 13.25.1, ArcGIS 10.1 και GIS ArcInfo Esri 13.51 για να αποτυπωθούν οι γεωλογικοί χάρτες της υπό έρευνας περιοχής. Το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου έγινε με τη φωτογραμμετρική μέθοδο σε ψηφιακό φωτογραμμετρικό σταθμό. Πραγματοποιήθηκε γεωαναφορά δεδομένων ορθοφωτοχαρτών με το λογισμικό Microstation v8i και χρήση ορθοφωτοχαρτών της ΕΚΧΑ Α.Ε. (πρώην Κτηματολόγιο Α.Ε.) με χρόνο λήψης αεροφωτογραφιών 2009. Η κλίμακα λήψης των αεροφωτογραφιών είναι 1:10.000 με ακρίβεια παραγόμενου ψηφιακού μοντέλου της κλίμακας 1:1.000 (Χαρ.3, Χαρ.4). Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε το ίδιο λογισμικό με ίδια μεθοδολογία για λήψη στοιχείων γεωλογικών χαρτών, 1:5.000 ΓΥΣ και 1:50.000 ΙΓΜΕ και γεωαναφορά με αφινικό μετασχηματισμό πολλών σημείων (affine transformation matrix) με μέγιστο rms = $\pm 0.75\text{m}$.

Επιπλέον κατά την διάρκεια της γεωλογικής χαρτογράφησης και στα πλαίσια του προσδιορισμού της ηλικίας και του περιβάλλοντος απόθεσης των υποκείμενων και των υπερκείμενων του μεταλλεύματος ανθρακικών πετρωμάτων, συλλέχθηκαν τεμάχια πετρωμάτων και κατασκευάστηκαν λεπτές τομές για το προσδιορισμό του παλαιοντολογικού τους περιεχομένου. Εδώ, πρέπει να αναφερθεί ότι για τη συλλογή των μακροσκοπικών δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε γεωλογικό σφυρί και τα δείγματα αποθηκεύτηκαν σε σακουλάκια δειγματοληψίας, ενώ οι θέσεις δειγματοληψίας σημειώθηκαν με την βοήθεια G.P.S. στον γεωλογικό χάρτη που συνοδεύει την παρούσα εργασία.

Σημειώνεται εδώ ότι όλα τα δείγματα των ασβεστολίθων της βάσης του μεταλλεύματος συλλέχθηκαν από το πεδίο. Αντιθέτως, από την υπερκείμενη σειρά εκτός κάποιων δειγμάτων που συλλέχτηκαν από το πεδίο όταν διαπιστώθηκε η ύπαρξη μικροπολιθωμάτων ύστερα από επιτόπια εξέταση με λούπα, κρίθηκε απαραίτητη η λεπτομερής μικροπαλαιοντολογική μελέτη και έγινε συστηματική δειγματοληψία ανά 1μ περίπου, από πυρήνες της γεώτρησης Γ5

Το μήκος της στήλης ανέρχεται σε 120μ με τα τελευταία 14μ να αφορούν το μεταλλοφόρο σώμα και τα υπόλοιπα τον ασβεστόλιθο ο οποίος από τα 74μ και κάτω εμπλουτίζεται σε σιδηροξείδια σταδιακά μέχρι την επιφάνεια του μεταλλεύματος. Προσπάθεια κατεβλήθη ώστε στην επιλογή να συνυπολογιστεί και η μακροσκοπική εικόνα του υλικού (λιθολογία, υφή, ύπαρξη ή μη καρστικών εγκοίλων και μικρορηγματώσεων). Συνολικά συλλέχθηκαν 73 δείγματα (με κωδικές ονομασίες AZ1315

έως AZ1388) από τα οποία κατασκευάστηκαν λεπτές τομές. Επειδή σε κάποια δείγματα λόγω ιδιομορφίας και αυξημένου ενδιαφέροντος παρασκευάστηκαν παραπάνω λεπτές τομές (από 2 έως και 5), συνολικά παρήχθησαν 101 λεπτές τομές από το υπερκείμενο ανωκρητιδικό στρώμα ασβεστολίθων. Όσον αφορά το υποκείμενο στρώμα συνολικά συλλέχθηκαν 7 δείγματα υπαίθρου και παρασκευάστηκαν 17 λεπτές τομές.

Για τη μελέτη των λεπτών τομών χρησιμοποιήθηκε οπτικό μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός Leica DMEP. Οι φακοί που χρησιμοποιήθηκαν για την παρατήρηση των τομών ήταν προσοφθάλμιος φακός 10x και αντικειμενοφόροι των 2,5x, 5x, 10x και συνεπώς η δυνατότητα μεγέθυνσης που είχαμε κυμαινόταν από 25x ως 100x.

Όσον αφορά τα δείγματα μεταλλεύματος, αυτά ελήφθησαν τόσο από το πεδίο όσο και από δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που έχουν γίνει στην περιοχή (Γ1, Γ2, Γ3, Γ4 & Γ5). Αναλυτικότερα τα δείγματα πεδίου ελήφθησαν in situ με την βοήθεια γεωλογικού σφυριού απευθείας από το μεταλλοφόρο σώμα όπως αυτό αποκαλύπτεται τοπικά όπως τα δείγματα μεταλλεύματος που απεικονίζονται στην Φωτ.1 που ακολουθεί.



Φωτ.3 Δείγματα μεταλλεύματος

Η κωδική ονομασία των αντιπροσωπευτικών δειγμάτων είναι M1 έως M13 και ελήφθησαν από τις περισσότερες θέσεις επιφανειακής εμφάνισης του μεταλλεύματος στην περιοχή. Τα υπόλοιπα δείγματα M14 έως M82 ελήφθησαν απευθείας από τους υποδοχείς (κασάκια) των πυρήνων των ερευνητικών γεωτρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί (Γ1, Γ2, Γ4, Γ5) συναρτήσει του βάθους, όπως αυτό καταγράφεται κατά την διάρκεια της γεώτρησης στους υποδοχείς των πυρήνων των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. (Φωτ.2). Στα δείγματα M6, M14 και M21 με επιπλέον κωδική ονομασία ΥΠΟ-1, ΥΠΟ-2 και ΥΠΟ-3 πραγματοποιήθηκε μακροσκοπική και μικροσκοπική εξέταση.



Φωτ.4 Γεώτρηση Γ2 – Βάθος στήλης από 38 m έως 44,8 m
(εμφανής παρουσία λατερίτη A και B ποιότητας)

Δ.5 Αναλυτικές μέθοδοι και τεχνικές

Για την ποιοτική και ποσοτική στοιχειακή ανάλυση του μεταλλεύματος καθώς και για τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης των δειγμάτων μεταλλεύματος που προσκομίσθηκαν, χρησιμοποιήθηκε τόσο η μέθοδος φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων X (XRF) όσο και η της περίθλασης ακτίνων X (XRay Diffraction).

Αναλυτικότερα η αναλυτική τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των κύριων στοιχείων καθώς και επιλεγμένων ιχνοστοιχείων των δειγμάτων του μεταλλεύματος που προσκομίσθηκαν είναι η φασματοσκοπική με διασπορά ενέργειας (EDXRF). Πρόκειται για τεχνική η οποία στηρίζεται στην χρήση του φυσικού φαινομένου του φθορισμού των ακτίνων X των στοιχείων που περιέχονται στα προσκομισθέντα για ανάλυση δείγματα. Βασικό πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι η δυνατότητα ανάλυσης στερεών δειγμάτων αποφεύγοντας το στάδιο της διαλυτοποίησης.

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε ήταν τύπου Bruker type: Energy Dispersive, model SRS3400 και βρίσκεται στο Αναλυτικό Εργαστήριο Χημείας της Α.Ε. Τσιμέντων Τιτάν στο εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου στο Καμάρι. Ως δείγματα αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν διεθνή πρότυπα πετρωμάτων και δείγματα λατεριτών γνωστής χημικής σύστασης (NIST & FLUXANA).

Τα δείγματα που εισήχθησαν στο εργαστήριο σε πρωτογενή είτε σε θραυσμένη μορφή ξηράθηκαν σε κλίβανο στους 100 °C για ένα 24ωρο. Κατόπιν ακολούθησε θραύση τους για να ελαττωθεί περεταίρω ο μέγιστος κόκκος. Στην συνέχεια το δείγμα

τρίβεται στον μύλο άλεσης ο οποίος δέχεται υλικό με μέγεθος κόκκων το πολύ 5mm. Κατά την άλεση προστίθεται σε αυτό χάπια παραφίνης (βοηθητικό άλεσης και συγκόλλησης) ενώ μετά το τριμμένο δείγμα πρεσσάρεται σε μεταλλικό δακτυλίδι για να κατασκευαστεί η ταμπλέτα. Το λειοτριβημένο σε μορφή πούδρας δείγμα μεταφέρεται για ανάλυση στο XRF. Η ανάλυση των στοιχείων γίνεται σειριακά, δηλαδή πρώτα μετράται το πυρίτιο (Si), μετά ο σίδηρος (Fe), κλπ.

Η περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (XRD) αποτελεί και αυτή με την σειρά της μια τεχνική η χρήση της οποίας που σκοπό έχει να προσδιορίσει την ορυκτολογική σύσταση του δείγματος. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος XRD είναι σε κρυσταλλική σκόνη που έχει προέλθει από λειοτρίβιση του δείγματος σε πολύ μικρούς κόκκους και τυχαίους προσανατολισμούς (PXRD). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των εν λόγω δειγμάτων στα πλαίσια της εργασίας αυτής.

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε είναι Bruker Model 5000 X-Ray Diffractometer και βρίσκεται στην Διεύθυνση Έρευνας & Ποιότητας της Α.Ε. Τσιμέντων Τιτάν στο εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου στο Καμάρι. Τα δείγματα που προετοιμάστηκαν για να μετρηθούν στο XRD εισήχθησαν στο δειγματοφορέα. Το περιθλασίμετρο λειτουργούσε με ακτινοβολία Cu-Kα στα 40KV και 35mA, με μονοχρωμάτορα γραφίτη. Ο ρυθμός σάρωσης περίθλασης της μονοχρωματικής ακτινοβολίας ήταν $0.04^\circ/5.0\text{sec}$ από 5° έως 75° . Η ανάλυση βασίζεται στη σύγκριση των κορυφών του διαγράμματος με αντίστοιχες πρότυπες κορυφές που είναι αρχειοθετημένες στο λογισμικό του οργάνου (Joint Committee on Powder Diffraction Standards, JCPDS). Στην προκειμένη περίπτωση τα ανεπεξέργαστα μητρικά αρχεία εκτιμήθηκαν ως προς την ορυκτολογική τους ταυτοποίηση με την βοήθεια του προγράμματος EVA 11.0 (Bruker DIFFRACplus software package). Η θέση των χαρακτηριστικών κορυφών που εμφανίζονται, οδηγεί στην ταυτοποίηση των στοιχείων που περιέχονται στο δείγμα (ποιοτική ανάλυση), ενώ από την έντασή τους προκύπτουν οι σχετικές συγκεντρώσεις των στοιχείων του δείγματος (ημι-ποσοτική ανάλυση).

Επιπλέον έγινε χρήση του λογισμικού προγράμματος TOPAS v.3 σε δείγματα μετρημένα με ρυθμό σάρωσης 0.02s.s. και 10sec s.t. σε ένα εύρος μοιρών 5° έως 60° από το οποίο προέκυψαν τα ποσοστά συμμετοχής της κάθε ορυκτής φάσης στο δείγμα, βοηθώντας να προσδιορίσουμε τις κύριες και δευτερεύουσες ορυκτές φάσεις στα πέντε αυτά αντιπροσωπευτικά δείγματα.

Οι ηλεκτρονικές μικροαναλύσεις και οι παρατηρήσεις SEM πραγματοποιήθηκαν στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, στον Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας – Γεωχημείας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος καθώς και στο ΕΚΒΑΑ (πρ. ΙΓΜΕ). Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε σύστημα αναλυτικού ηλεκτρονικού μικροσκοπίου τύπου JEOL JSM-5600 που περιλαμβάνει ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης για μορφολογική παρατήρηση δειγμάτων και λήψη εικόνων μεγάλης ευκρίνειας δευτερογενών και οπισθοσκεδαζόμενων ηλεκτρονίων καθώς και σύστημα για στοιχειακή ηλεκτρονική μικροανάλυση (EPMA) με φασματόμετρο ακτίνων Χ διασποράς ενέργειας (EDS) τύπου OXFORD LINK ISIS 300. Διορθώσεις ZAF έγιναν με ειδικό πρόγραμμα της

JEOL. Οι συνθήκες λειτουργίας του οργάνου ήταν: Τάση δέσμης ηλεκτρονίων 20kV, ένταση 0.5nA και 50s νεκρό χρόνο. Για το IGMEM αντίστοιχα το σύστημα στοιχειακής μικροανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν τύπου OXFORD PENTAFET (με λογισμικό της INCA και δυνατότητα χαρτογράφησης της κατανομής των στοιχείων). Το σύστημα λειτουργούσε με τάση δέσμης 20kV, 1.5 nA, χρόνο ανάλυσης (dead time) από 20-100s και μεγέθυνση από x35 έως x4.500.

Τα μεταλλογραφικά δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν παρασκευάστηκαν στον Τομέα Γεωχημείας του Τμήματος Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος του Ε.Κ.Π.Α.

Η προετοιμασία και μελέτη δειγμάτων, ως προς τον ορυκτολογικό και πετρογραφικό προσδιορισμό τους που αφορούσε την μακροσκοπική και μικροσκοπική εξέταση 3 αντιπροσωπευτικών δειγμάτων, πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με το IΓΜΕ και συγκεκριμένα με την ορυκτολόγο-πετρογράφο κ. Καραντάση και περιελάμβανε:

- εξέταση αυτών σε στερεοσκοπικό μικροσκόπιο τύπου LEICA MZ 125
- κατασκευή ισάριθμων λεπτών-στιλπνών τομών και μελέτη αυτών στο πολωτικό μικροσκόπιο διερχομένου και ανακλωμένου φωτός (τύπος μικροσκοπίου Leitz ORTHOLUX II POL-BK).
- μικροφωτογράφιση υλικού των τομών με έγχρωμη video-camera (JVC TK-C1381)

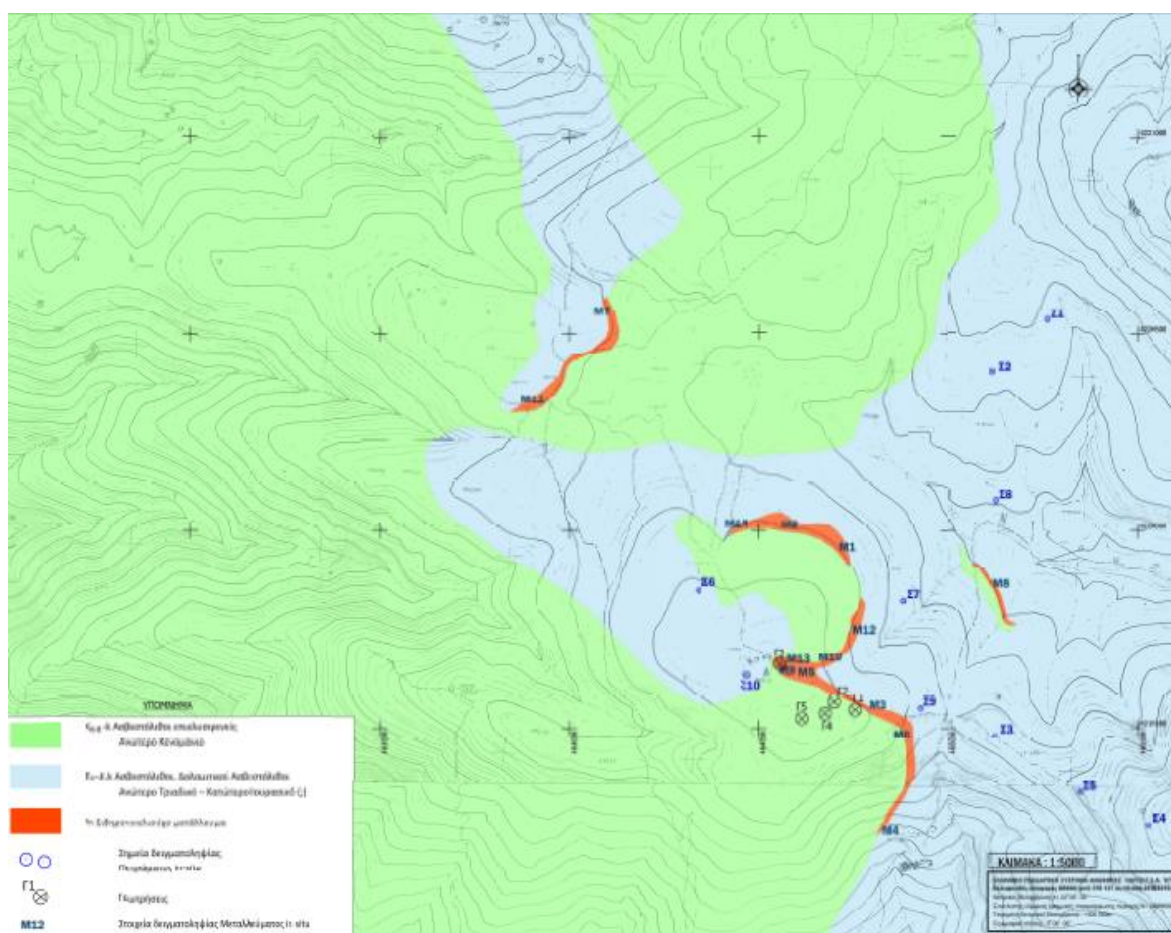
Τέλος η προετοιμασία των δειγμάτων υπαίθρου και η κατασκευή των λεπτών τομών που χρησιμοποιήθηκαν για τη μικροπαλαιοντολογική μελέτη έγινε στο Τμήμα Γεωλογίας & Παλαιοπεριβάλλοντος του Ε.Κ.Π.Α, σε συνεργασία των Τομέων Ιστορικής Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας και Γεωχημείας – Οικονομικής Γεωλογίας.

Για τη μικροπαλαιοντολογική μελέτη και τη φωτογράφιση των λεπτοτομών χρησιμοποιήθηκε οπτικό μικροσκόπιο Leica DM EP και ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Olympus UC30 του Τομέα Ιστορικής Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας του ΕΚΠΑ.

Ε. Αναλυτικά δεδομένα

Ε.1 Στρωματογραφία - Παλαιοντολογία

Έχοντας μελετήσει το συλλεχθέν υλικό από την πυρηνοληπτική γεώτρηση Γ5 (όπως φαίνεται στον συνταχθέντα γεωλογικό χάρτη της περιοχής – Χαρ.2) στην περιοχή «Κακή Ράχη» του Δήμου Ασπροπύργου τόσο ως προς το μικροπαλαιοντολογικό περιεχόμενο όσο και ως προς τις μικροφάσεις που περιέχονται σε αυτό καταλήγουμε σε μια σειρά από συμπεράσματα σε σχέση με την στρωματογραφία της μελετηθείσας περιοχής και το παλαιοπεριβάλλον απόθεσης των ιζημάτων.



Χαρ.2 Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης στον οποίο εμφανίζονται οι μελετηθείσες εμφανίσεις. (Κλίμακα 1:5.000). Διακρίνεται η Γεώτρηση Γ5.

Από τις παρατηρήσεις υπαίθρου των ασβεστολίθων της επικλυσιογενούς σειράς, προκύπτει ότι πρόκειται για γκρι μεσοπλακώδεις λατυποπαγείς ασβεστολίθους έντονα καρστικοποιημένους και τεκτονισμένους (ρήγματα, διακλάσεις). Σε παρατήρηση με τη λούπα διακρίνονται άφθονα πορσελανώδη (Miliolidae, Alveolinidae) και συμφυρματοπαγή (Chrysalidina, Cuneolina, Orbitolina) τρηματοφόρα καθώς και θραύσματα ρουδιστών. Τα όρια των λατυπών σε πολλές περιπτώσεις διαγράφονται από οξείδια σιδήρου.

Την ίδια εικόνα δίνει και η μακροσκοπική παρατήρηση της γεώτρησης Γ5. Διακρίνονται λατυποπαγείς ορίζοντες με διαφόρου μεγέθους και χρώματος λατύπες (Φωτ. 5). Παρεμβάλλονται ορίζοντες κρυσταλλικών δολομιτών. Το σύνολο είναι έντονα τεκτονισμένο με σύστημα ρηγμάτων και διακλάσεων, το οποίο δυσχεραίνει την παρακολούθηση συνεχούς σειράς, λόγω των επαναλήψεων των στρωματογραφικών οριζόντων.



Φωτ.5: Τεμάχιο πυρήνα δειγματοληπτικής γεώτρησης Γ5 όπου διακρίνεται η λατυποπαγής φύση των ασβεστολίθων, καθώς και η πληθώρα διακλάσεων και ρηγμάτων η παρουσία των οποίων υπογραμίζεται από ασβεσίτη και οξειδία σιδήρου

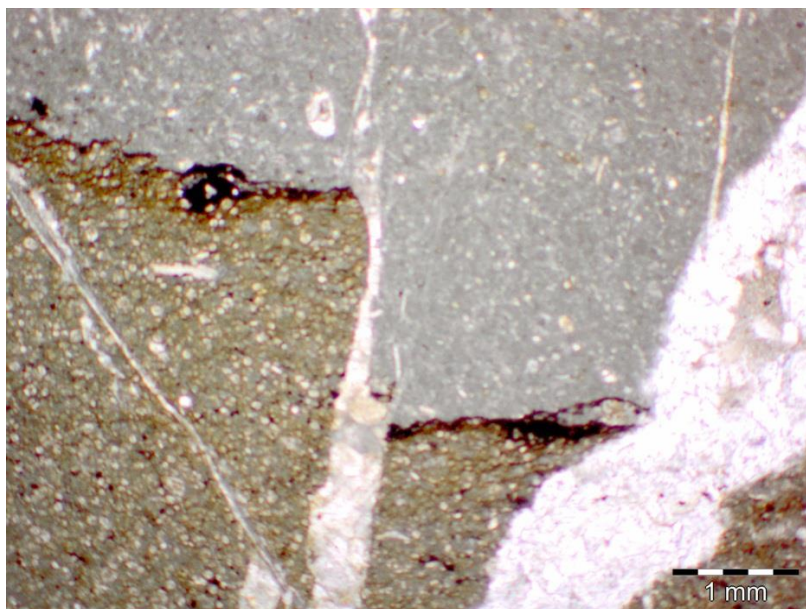
Οι διακλάσεις, τα ρήγματα, τα όρια, αλλά και το εσωτερικό των λατυπών καθώς και τα μικροαπολιθώματα φαίνονται εμποτισμένα με οξειδία (Φωτ.6).



Φωτ.6 Τεμάχια πυρήνων κατώτερων οριζόντων των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων της γεώτρησης Γ5 όπου παρουσιάζεται αυξημένη συμμετοχή των οξειδίων σιδήρου σε αυτά

Μικροσκοπική μελέτη των δειγμάτων της υπερκείμενης του μεταλλεύματος σειράς, της γεώτρησης Γ5, έδειξε ότι ολόκληρη η σειρά εντάσσεται στον ίδιο στρωματογραφικό ορίζοντα. Αυτό οφείλεται προφανώς στην επίδραση των αλληπάλληλων τεκτονικών επαφών που έχουν ως αποτέλεσμα την επανάληψη του ίδιου

στρωματογραφικού ορίζοντα. Στη Φωτ. 7 απεικονίζεται μικρορηγμάτωση με μετατόπιση οριζόντων, όπως παρατηρείται σε λεπτοτομή. Διακρίνονται δύο ορίζοντες από τους οποίους ο ένας είναι εμποτισμένος με οξείδια. Ο εμποτισμός είναι εντονότερος στην επαφή των οριζόντων. Το μικρορήγμα και οι διακλάσεις έχουν πληρωθεί με κρυσταλικό ασβεστίτη.



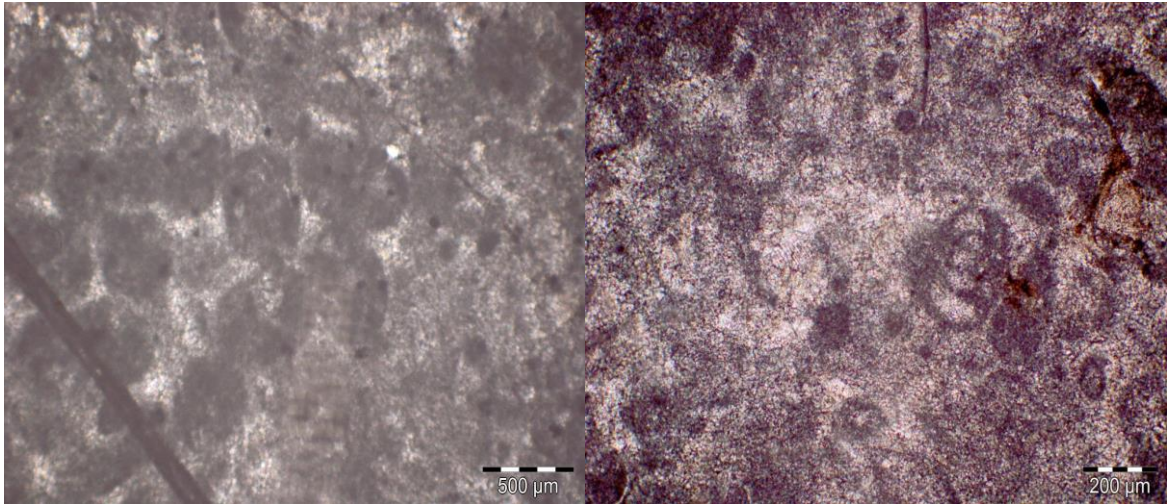
Φωτ.7 Μικρορηγμάτωση με μετατόπιση

Πρόκειται για εναλλαγές μικροκρυσταλικών δολομιτών και μικρολατυποπαγών και λατυποπαγών ασβεστολίθων. Το μέγεθος των λατυπών κυμαίνεται από 1mm έως μερικά εκατοστά. Τα ίδια μικροαπολιθώματα απαντούν τόσο στο εσωτερικό των λατυπών όσο και στο συνδετικό υλικό. Τα κελύφη των μικροαπολιθωμάτων είναι συχνά σπασμένα (Φωτ. 18, 21). Οξείδια σιδήρου εμποτίζουν το περίγραμμα (Φωτ. 15, 19) ή και το εσωτερικό των λατυπών, το κέλυφος (Φωτ. 17, 22, 23, 24, 25-26, 31, 32,33) ή το εσωτερικό των θαλάμων των απολιθωμάτων (Φωτ. 12). Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται πιο έντονο προς τη βάση της ανθρακικής σειράς, στην επαφή της προς το μετάλλευμα (Φωτ. 6). Η όλη εικόνα πιστοποιεί μια επικλυσιογενή σειρά πάνω στο μετάλλευμα.

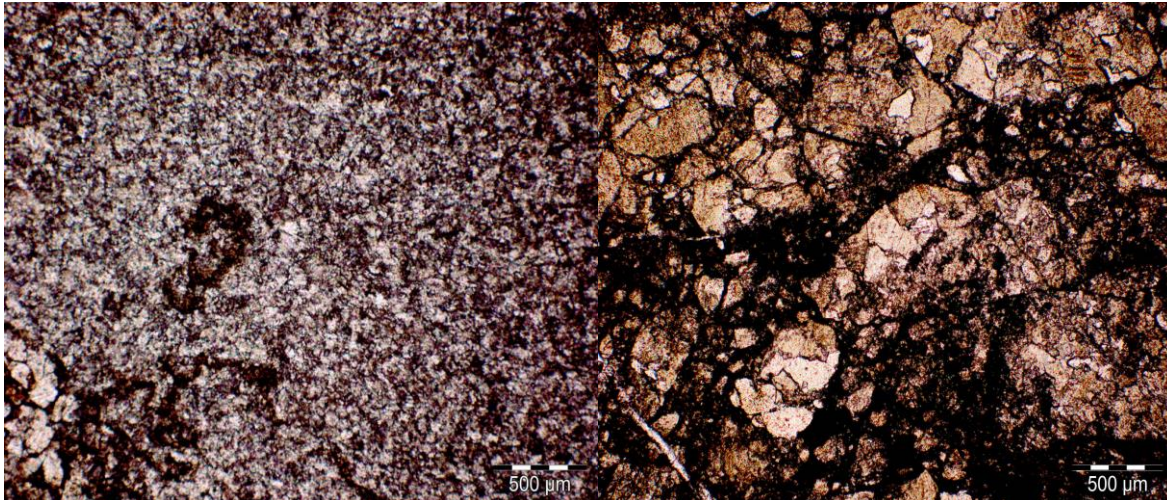
Μεταξύ των μικροαπολιθωμάτων, αναγνωρίστηκαν τα τρηματοφόρα *Chrysalidina gradata*, *Pseudolituonella reicheli*, *Nezzazata simplex*, *Orbitolina convexa*, *Pseudonummoloculina heimi*, *Spiroloculina* sp., *Praealveolina cretacea*, *Ovalveolina* sp., τα οποία χρονολογούν ανώτερο Κενομάνιο. Απαντούν επίσης τα τρηματοφόρα *Bolivinopsis* sp., *Cuneolina ravnolia*, *Dicyclina schlumbergeri*, *Glomospira* sp., Miliolidae, Ophthalmitidae, καθώς και θραύσματα ρουδιστών, χαρόφυτα και οστρακώδη (προσδιορισμός από ΖΑΜΠΕΤΑΚΗ-ΛΕΚΚΑ) (Φωτ. 12-36).

Συνεπώς επικρατεί νηριτική ιζηματογένεση και το περιβάλλον απόθεσης προσδιορίζεται υποπαλιρροιακό, εσωτερική πλατφόρμα.

Όσον αφορά την υποκείμενη του μεταλλεύματος ανθρακική σειρά κατά τη χαρτογράφηση στο ύπαιθρο συλλέχθηκαν και μελετήθηκαν 7 δείγματα (AZ131-7). Πρόκειται για δολομίτες, λατυποπαγή, δολομιτικά λατυποπαγή και ασβεστολίθους *pelsparite*, *pelmicrite*, *wackestone-rackstone* με σπάνια τρηματοφόρα (Φωτ.8 – Φωτ.11), μεταξύ των οποίων πιθανή παρουσία *Meandrospira* sp. και φύκη. Τα δεδομένα αυτά μας οδηγούν να συμφωνήσουμε με τους συντάκτες του χάρτη του ΙΓΜΕ Φύλλο Ελευσίνα (1:50000), θεωρώντας πιθανή ηλικία απόθεσης το ανώτερο Τριαδικό.



Φωτ.8, Φωτ.9 Δολομιτωμένος ασβεστόλιθος *pelsparite*, *rackstone* - *grainstone* με πολύ σπάνια τρηματοφόρα



Φωτ.10 Κρυσταλλικός Δολομίτης

Φωτ.11 Λατυποπαγής Δολομίτης

Ε.1.1 Περιγραφή & συστηματική ταξινόμηση των κυριότερων μικροαπολιθωμάτων
(ΖΑΜΠΕΤΑΚΗ-ΛΕΚΚΑ 1999, LOEBLICH & TAPPAN 1988, 1992)

Ε.1.1.1 ΤΡΗΜΑΤΟΦΟΡΑ

Τάξη: **FORAMINIFERIDA**

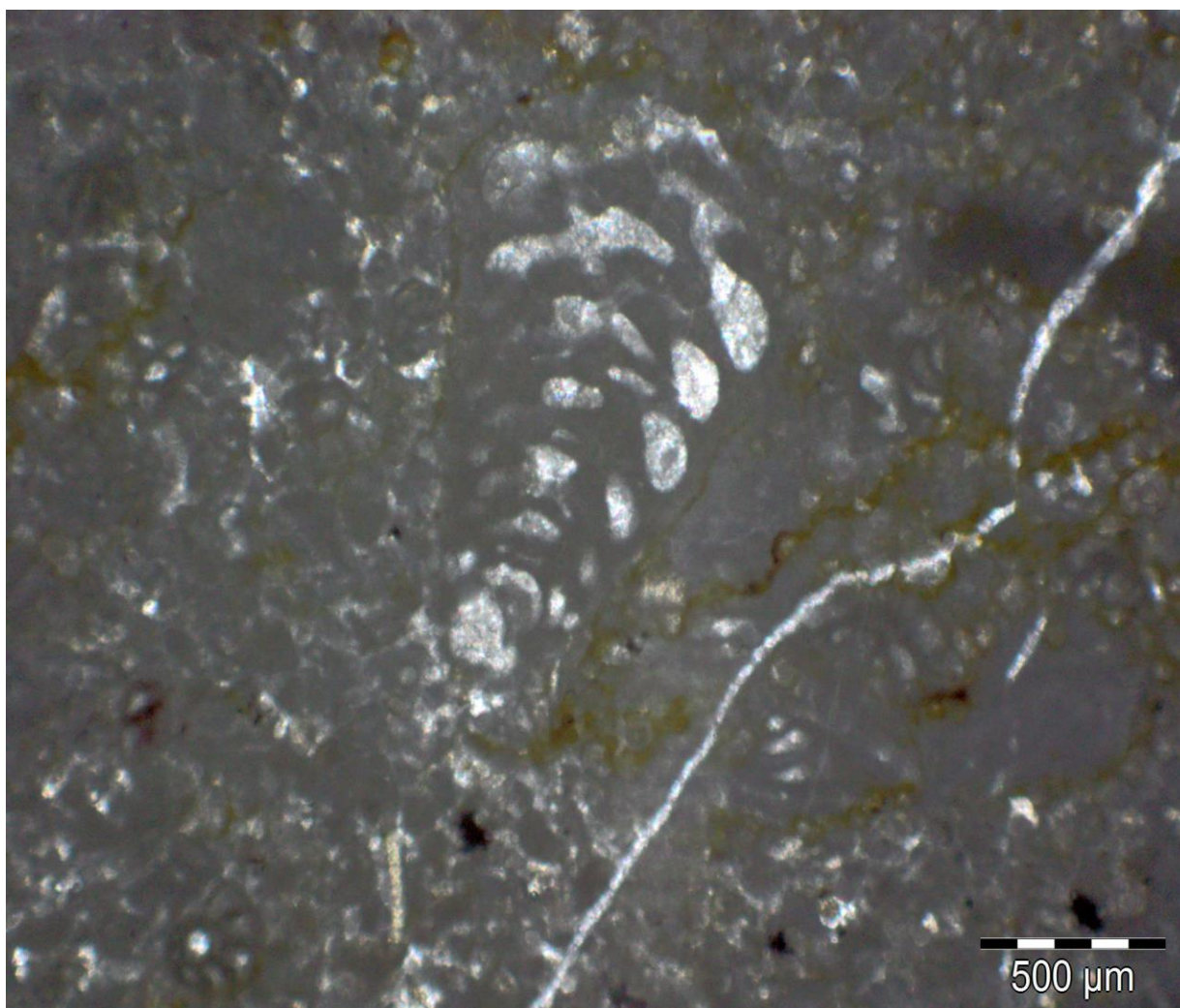
Υποτάξη: **TEXTULARIINA**

Υπεροικογένεια: **TEXTULARIACEA**

Οικογένεια: **CHRYSALIDINIDAE**

Γένος ***Chrysalidina***

Κέλυφος κωνικό αποκλειστικά τρίσειρο με ηθμοειδές στοματικό άνοιγμα στο μέσον της μετωπικής επιφάνειας. Το τοίχωμα συμφυρματοπαγές παρουσιάζει χαρακτηριστικές προεκτάσεις προς το εσωτερικό των θαλάμων στο ύψος των στοματικών οπών. Χαρακτηρίζει το μέσο-ανώτερο Κενομάνιο.



Φωτ.12 *Chrysalidina gradata*

Τάξη: **FORAMINIFERIDA**

Υποτάξη: **TEXTULARIINA**

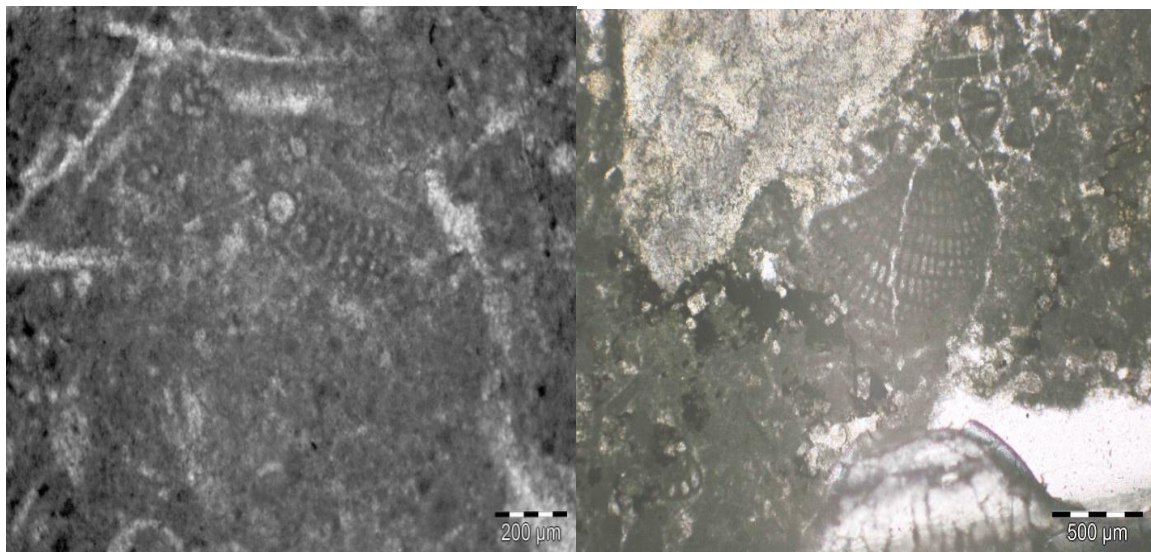
Υπεροικογένεια: **ATAXOPHRAGMIACEA**

Οικογένεια: **CUNEOLINIDAE**

Υποοικογένεια: **CUNEOLININAE**

Γένος *Cuneolina*

Το γένος αυτό θεωρείται εξέλιξη των γενών *Pseudotextulariella* και *Sabaudia*. Το κέλυφος συμφυρματοπαγές, είναι κωνικό έως ριπιδοειδές. Το νεαρό τροχοσπειροειδές στάδιο περιλαμβάνει μέχρι 5 θαλάμους και σύντομα γίνεται δίσειρο. Οι θάλαμοι εσωτερικά φέρουν δευτερεύοντα οριζόντια και κάθετα διαφράγματα διαφορετικού μήκους που χωρίζουν το θάλαμο σε ορθογώνιους θαλαμίσκους. Περιφερειακά τα δευτερεύοντα αυτά διαφράγματα σχηματίζουν ένα ακανόνιστο δίκτυο το οποίο είναι εμφανές σε εφαπτομενικές τομές ή στο διαβρωμένο κέλυφος του τρηματοφόρου. Το στοματικό άνοιγμα είναι σειρά πόρων στη βάση των θαλάμων. Η στρωματογραφική του εξάπλωση είναι στο ανώτερο Κρητιδικό.



Φωτ.13, 14 *Cuneolina pannonia*



Φωτ.15 Λατυποπαγής ασβεστόλιθος με *Cuneolina* και θραύσμα Ρουδιστή



Φωτ.16 *Cuneolina* εμποτισμένη με οξείδια του Fe, Από τους χαμηλότερους ορίζοντες της επικλυσίγενούς σειράς προς το μετάλλευμα (δείγμα AZ 1381). Πλάγια τομή

Τάξη: **FORAMINIFERIDA**

Υποτάξη: **TEXTULARIINA**

Υπεροικογένεια: **ATAXOPHRAGMIACEA**

Οικογένεια: **DICYCLINIDAE**

Γένος *Dicyclina*

Το γένος αυτό θεωρείται εξέλιξη του γένους *Cuneolina* από την κωνική σε δακτυλιοειδή μορφή. Υπάρχουν όλες οι ενδιάμεσες μορφές του γένους *Cuneolina* από την κωνική μέχρι την πολύ ανοικτά ριπιδοειδή μέχρι να καταλήξει στην δακτυλιοειδή της *Dicyclina* η οποία διατηρεί την ίδια εσωτερική δομή με την *Cuneolina*. Η στρωματογραφική εξάπλωση είναι επίσης ανώτερο Κρητιδικό. Το είδος που απαντάται είναι το *schlumbergeri*.

Τάξη: **FORAMINIFERIDA**

Υποτάξη: **TEXTULARIINA**

Υπεροικογένεια: **ATAXOPHRAGMIACEA**

Οικογένεια: **COSKINOLINIDAE**

Γένος *Pseudolituonella*

Κωνικό συμφυρματοπαγές κέλυφος με τροχοσπειροειδές αρχικό στάδιο που γίνεται στη συνέχεια μονόσειρο με φαρδείς χαμηλούς κυλινδρικούς θαλάμους. Το εσωτερικό των θαλάμων είναι αδαίρετο. Το στοματικό άνοιγμα ηθμοειδές στην κεντρική περιοχή των θαλάμων. Χαρακτηρίζεται με προεκτάσεις του τοιχώματος της περιφέρειας των σπιν προς τον επόμενο θάλαμο. Είδη του γένους αυτού έχουν περιγραφεί σε διάφορες βαθμίδες του Κρητιδικού, από το Βαλανζίνιο μέχρι το Σαντόνιο καθώς και στο Λουτήσιο.



Φωτ.17 *Pseudolituonella reicheli*

Τάξη: **FORAMINIFERIDA**

Υποτάξη: **TEXTULARIINA**

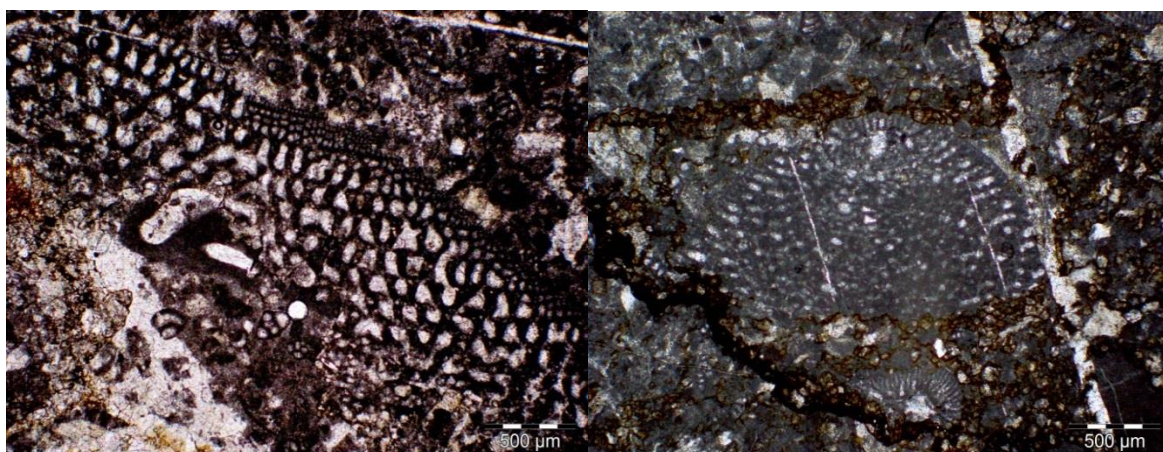
Υπεροικογένεια: **ORBITOLINACEA**

Οικογένεια: **ORBITOLINIDAE**

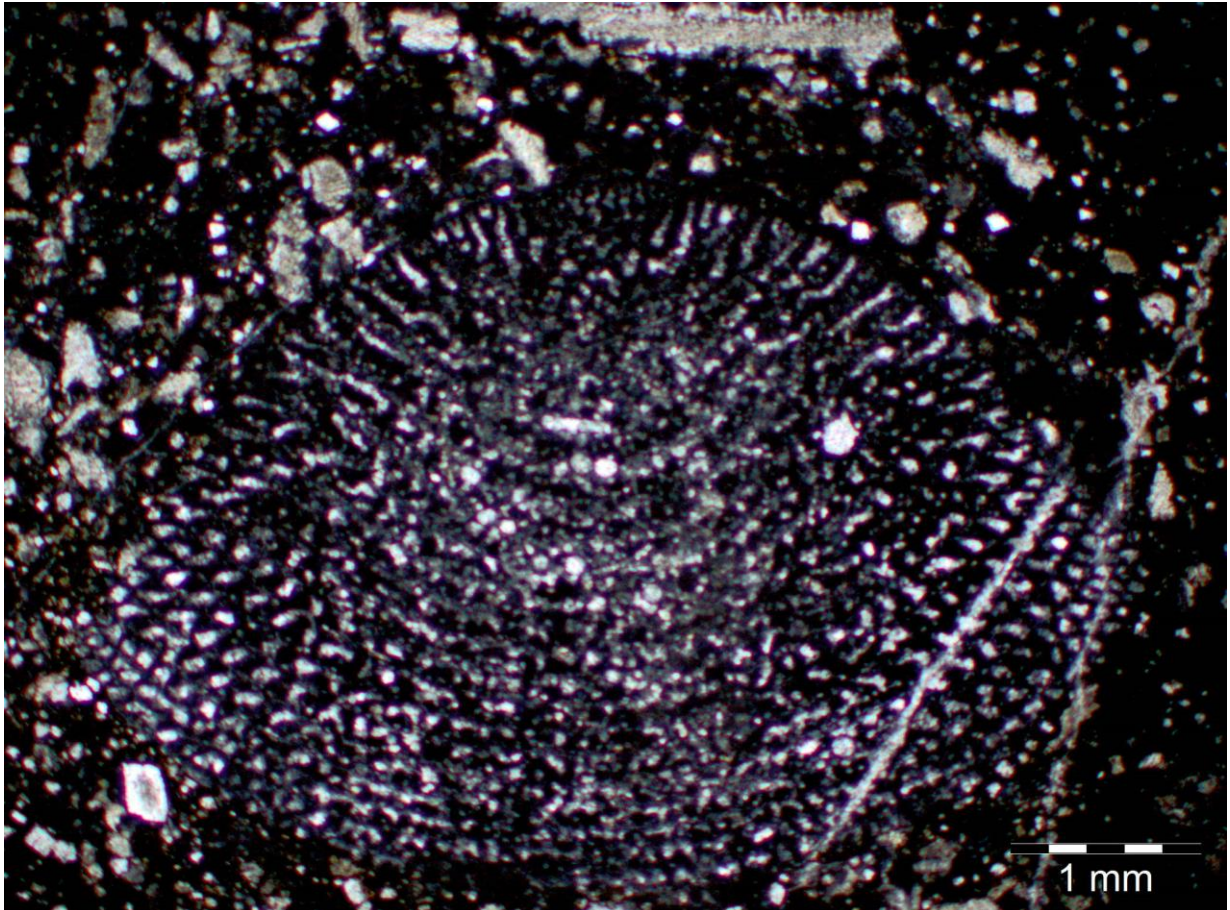
Υποοικογένεια: **ORBITOLININAE**

Γένος *Orbitolina*

Κέλυφος συμφυρματοπαγές κωνικό μπορεί να φθάσει διάμετρο βάσης τα 3cm. Η εμβρυακή συσκευή των μακροσφαιρικών μορφών είναι σύνθετη αποτελούμενη εκτός της πρωτοκόγχης και δευτεροκόγχης, από σύστημα περιεμβρακών θαλάμων από τη μορφή και τη διάταξη των οποίων διακρίνονται διάφορα υπογένη. Κατόπιν οι θάλαμοι διατάσσονται για μικρό διάστημα τροχοσπειροειδώς και στη συνέχεια σε μια σειρά. Η βάση του κελύφους μπορεί να είναι κυρτή, ή κοίλη σε βαθμό που οι θάλαμοι να εμφανίζονται δακτυλιοειδείς. Εσωτερικά οι θάλαμοι υποδιαιρούνται από σύστημα παράλληλων και κάθετων στο κύριο διάφραγμα δευτερευόντων διαφραγμάτων, διαφόρου μήκους. Αποτέλεσμα αυτού είναι εφαπτομενικές τομές να εμφανίζουν δίκτυο διαφραγμάτων περισσότερο ή λιγότερο κανονικό. Ορισμένα από τα κάθετα δευτερεύοντα διαφράγματα συνεχίζουν στην ενδοπεριφερειακή περιοχή πτυχούμενα σε σχήμα zig-zag ενώ συγχρόνως η βάση γίνεται λεπτότερη. Τομές παράλληλες στην αξονική, που διέρχονται από την ενδοπεριφερειακή αυτή περιοχή εμφανίζουν τα κάθετα αυτά διαφράγματα σαν στυλίδια σχήματος ανεστραμμένου κώνου. Στην κεντρική περιοχή τα διαφράγματα σχηματίζουν συμπαγές δίκτυο που πολλές φορές καλύπτεται από πλήθος συμφυρμάτων με ιδιαίτερη συγκέντρωση στην περιοχή αυτή. Στρωματογραφική εξάπλωση ανώτερο Βαρρέμιο - μέσο Κενομάνιο, με πολλά χαρακτηριστικά υπογένη και είδη.



Φωτ.18, 19 *Orbitolina convexa* (AZ 1328, AZ 1330)



Φωτ.20 *Orbitolina convexa* (AZ 1332)

Τάξη: **FORAMINIFERIDA**

Υποτάξη: **MILIOLINA**

Υπεροικογένεια: **MILIOLACEA**

Οικογένεια: **SPIROLOCULINIDAE**

Γένος ***Spiroloculina*** sp.

Κέλυφος με τοίχωμα πορσελανώδες, ελεύθερο, λογχοειδές ή ατρακτοειδές, πεπιεσμένο με επιτεδοσπειροειδώς περιελιγμένους θαλάμους. Ο εμβρυακός θάλαμος ακολουθείται από ένα θάλαμο που περιβάλλει κυκλικά τον εμβρυακό, ενώ οι επόμενοι θάλαμοι, ημίσιος περιέλιξης, διατάσσονται σε ένα επίπεδο, αντικρυστά δύο σε κάθε περιέλιξη. Το στοματικό άνοιγμα στο τέλος κάθε θαλάμου με απλό ή διφυή οδόντα. Στρωματογραφική εξάπλωση ανώτερο Κρητιδικό - σήμερα.

Τάξη: **FORAMINIFERIDA**
Υποτάξη: **MILIOLINA**
Υπεροικογένεια: **MILIOLACEA**
Οικογένεια: **HAUERINIDAE**
Υποοικογένεια: **HAUERININAE**

Γένος *Quinqueloculina*

Κέλυφος με τοίχωμα πορσελανώδες, ελεύθερο. Οι θάλαμοι μήκους ημίσιος περιέλιξης διατάσσονται σε 5 διαφορετικά επίπεδα που σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία 140° . Η διάταξη αυτή έχει σαν αποτέλεσμα εξωτερικά να διακρίνονται 3 θάλαμοι από τη μία πλευρά και 4 θάλαμοι από την άλλη οι οποίοι μεταξύ τους σχηματίζουν γωνία 72° . Στρωματογραφική εξάπλωση Ιουρασικό – σήμερα.



Φωτ.21 *Quinqueloculina*

Τάξη: **FORAMINIFERIDA**
Υποτάξη: **MILIOLINA**
Υπεροικογένεια: **CORNUSPIRACEA**
Οικογένεια: **OPHTHALMIDIIDAE**

Γένος *Ophthalmidium*

Κέλυφος πορσελανώδες, ελεύθερο, ωοειδές έως ατρακτοειδές, πεπιεσμένο, επιτεδοσπειροειδώς περιελειγμένο, με θαλάμους ημίσιος περιέλιξης, δυνατόν να αφήνουν κενό μεταξύ των περιελίξεων που καλύπτεται από λεπτή ασβεστολιθική πλάκα. Στοματικό άνοιγμα οπή στο τέλος κάθε θαλάμου. Στρωματογραφική εξάπλωση Τριαδικό έως σήμερα.

Τάξη: **FORAMINIFERIDA**

Υποτάξη: **MILIOLINA**

Υπεροικογένεια: **MILIOLACEA**

Οικογένεια: **HAUERINIDAE**

Υποοικογένεια: **SIGMOILINITINAE**

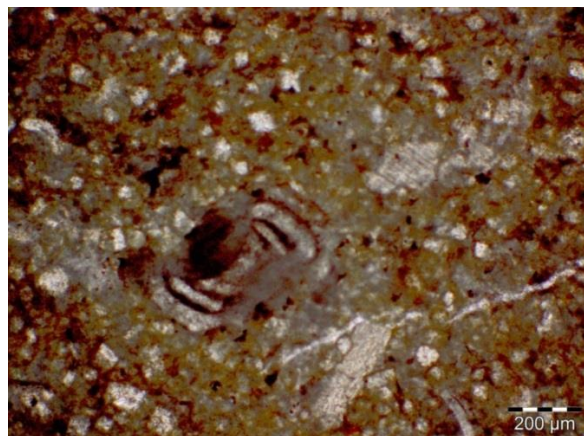
Γένος ***Pseudonummoloculina***

Κέλυφος πορσελανώδες, ελεύθερο, δισκοειδές έως αμφίκυρτο, με τοίχωμα διάτρητο με αλλεπάλληλα ελάσματα που επικαλύπτουν τους προηγούμενους θαλάμους. Η διάταξη των θαλάμων αρχίζει αγαθιστεγώς με 2 θαλάμους ανά περιέλιξη, αργότερα γίνεται επιπεδοσπειροειδής με 3 θαλάμους ανά περιέλιξη και στη συνέχεια 5 ή 6 θαλάμοι ανά περιέλιξη. Το στοματικό άνοιγμα είναι φαρδύ, ημικυκλικό, με πλατύ σπατουλοειδή οδόντα, στο άκρο του τελευταίου θαλάμου. Στρωματογραφική εξάπλωση Άλβιο - Κενομάνιο. Στα δείγματα αναγνωρίστηκαν τα είδη *heimi* και *regularis* με το τελευταίο να είναι ηλικίας ανώτερου Κενομάνιου.



Φωτ.22, 23 *Pseudonummoloculina heimi*

Pseudonummoloculina heimi



Φωτ.24 *Pseudonummoloculina regularis*

Τάξη: **FORAMINIFERIDA**

Υποτάξη: **TEXTULARIINA**

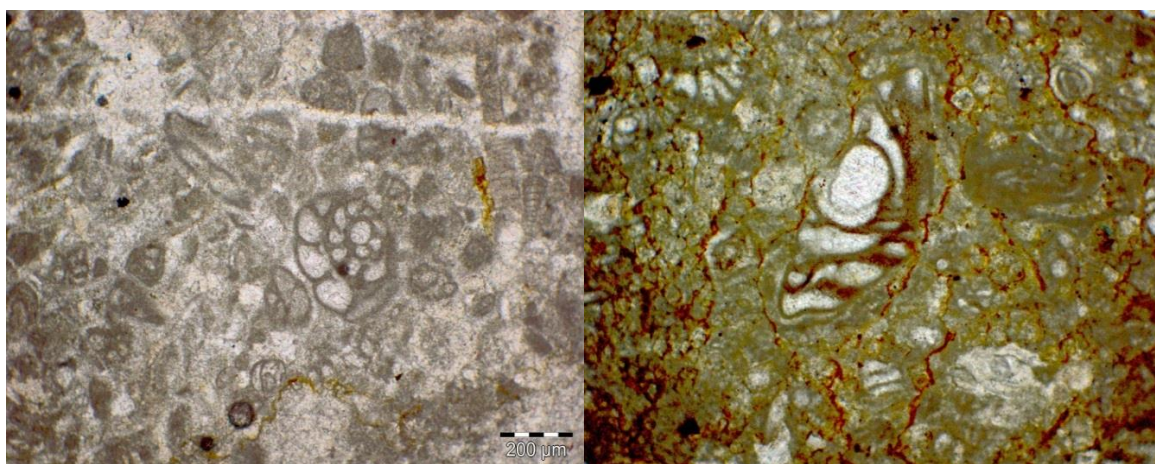
Υπεροικογένεια: **HAPLOPHRAGMIACEA**

Οικογένεια: **NEZZAZATIDAE**

Υποοικογένεια: **NEZZAZATINAE**

Γένος ***Nezzazata***

Τροχοσπειροειδές, συμφυρματοπαγές κέλυφος επιπεδόκυρτο ή ανομοιόμορφα αμφίκυρτο. Οι θάλαμοι φέρουν περιφερειακή προέκταση. Στοματικό άνοιγμα στενή ενδοπεριφερειακή σχισμή που εκτείνεται από τον ομφαλό της κοιλιακής πλευράς μέχρι την περιφέρεια όπου και κάμπτεται. Υπάρχει χαρακτηριστική οδοντική πλάκα. Στρωματογραφική εξάπλωση Άλβιο – Τουρώνιο.



Φωτ.25-26 *Nezzazata simplex*

Τάξη: **FORAMINIFERIDA**

Υποτάξη: **MILIOLINA**

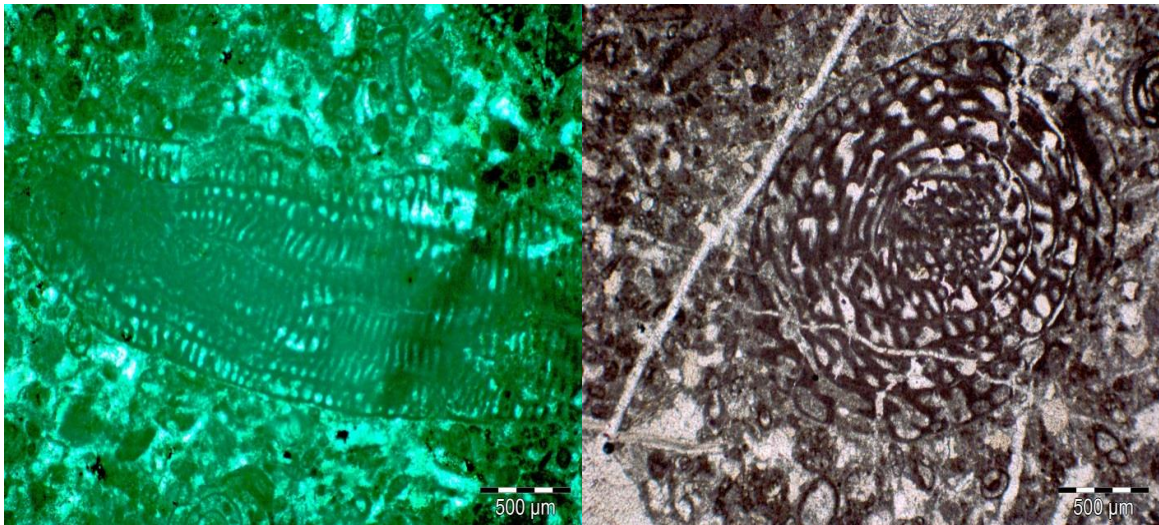
Υπεροικογένεια: **ALVEOLINACEA**

Οικογένεια: **ALVEOLINIDAE**

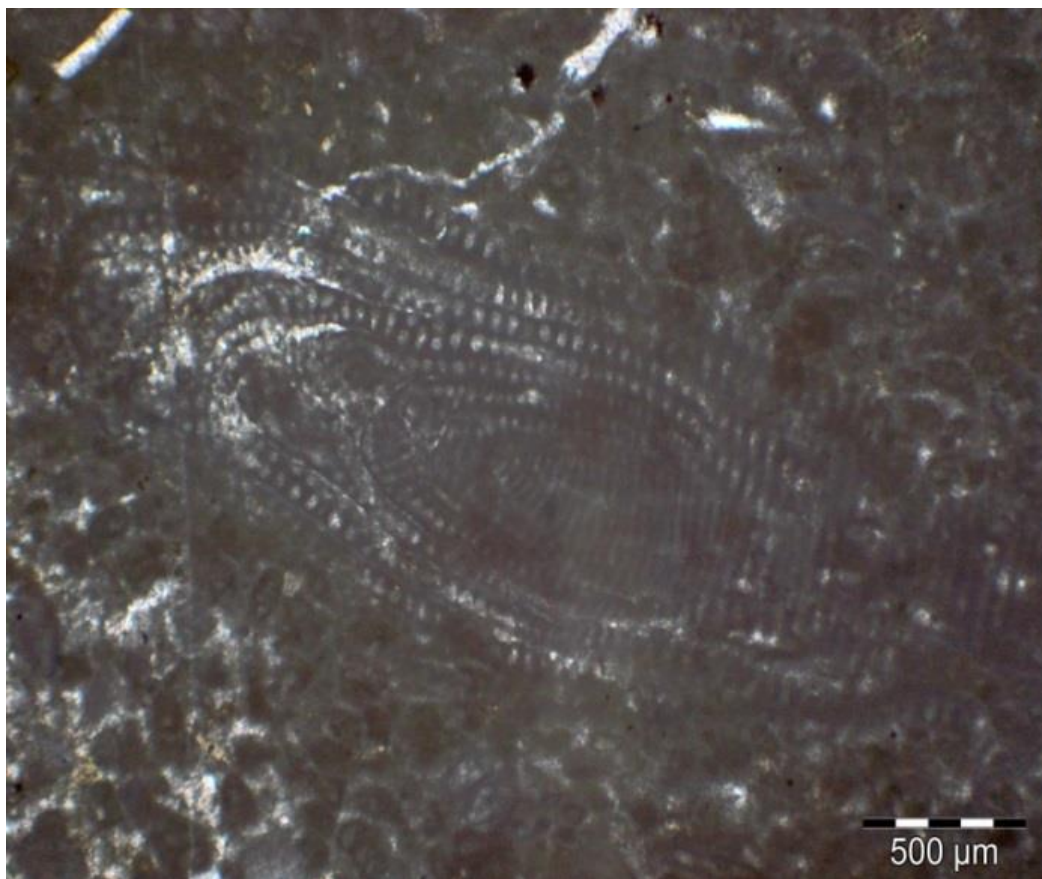
Γένος ***Praealveolina***

Κέλυφος επιπεδοσπειροειδές, με πορσελανώδες τοίχωμα. Επιμήκεις υποκυλινδρικές μορφές μήκους 4-5mm μπορούν να φθάσουν 10mm. Το στοματικό άνοιγμα είναι σειρά κύριων στοματικών πόρων με κάθετες σειρές δευτερευόντων στοματικών πόρων που μπορεί να βρίσκονται κάτω από όλους τους κύριους στοματικούς πόρους ή να περιορίζονται ή να είναι αφθονότεροι στους πόλους. Η ύπαρξη αυτών των δευτερευόντων στοματικών πόρων αντιστοιχεί στην ύπαρξη παράλληλων “δαπέδων” που χωρίζουν τον κύριο

θάλαμο. Τα δευτερεύοντα διαφράγματα διατάσσονται από τον ένα θάλαμο στον επόμενο κατά τρόπο συνεχή. Στρωματογραφική εξάπλωση Κενομάνιο.



Φωτ.27-28 *Praealveolina cretacea*



Φωτ.29 *Praealveolina cretacea* (AZ 1326)

Τάξη: **FORAMINIFERIDA**

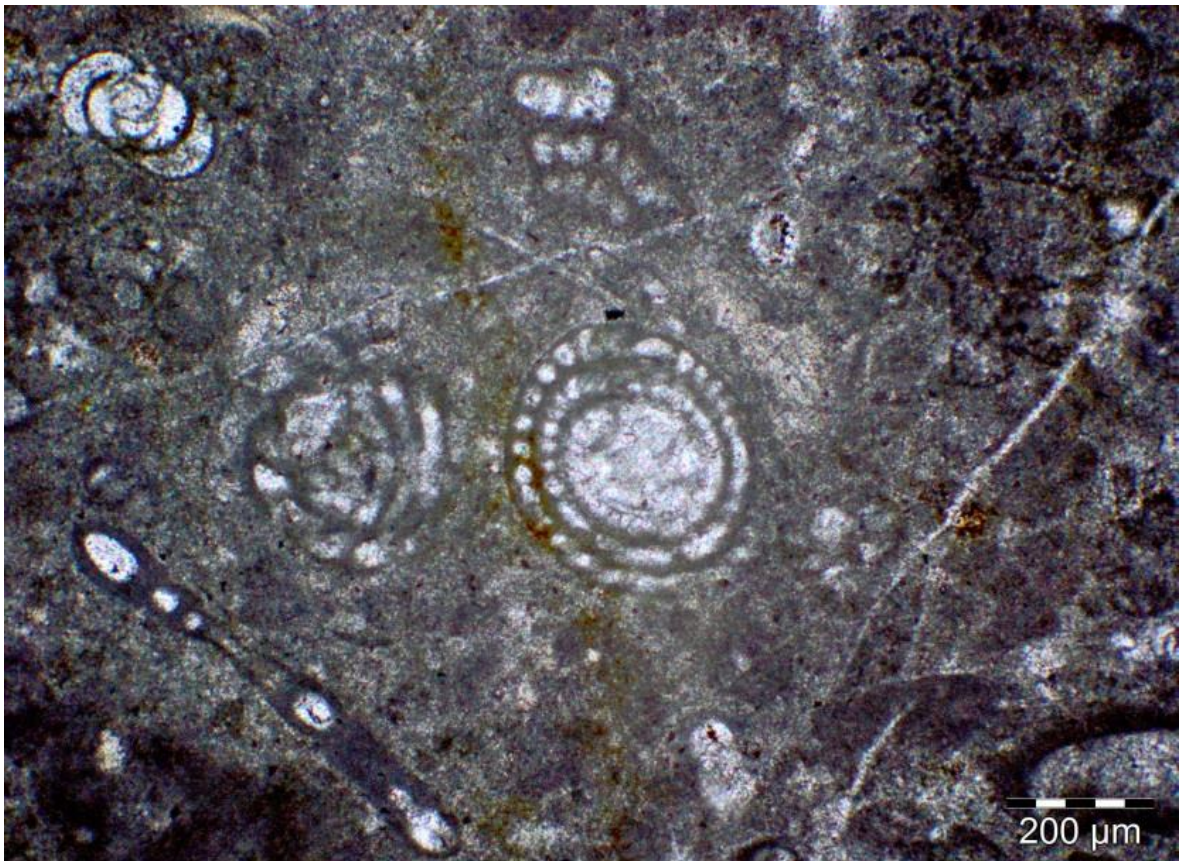
Υποτάξη: **MILIOLINA**

Υπεροικογένεια: **ALVEOLINACEA**

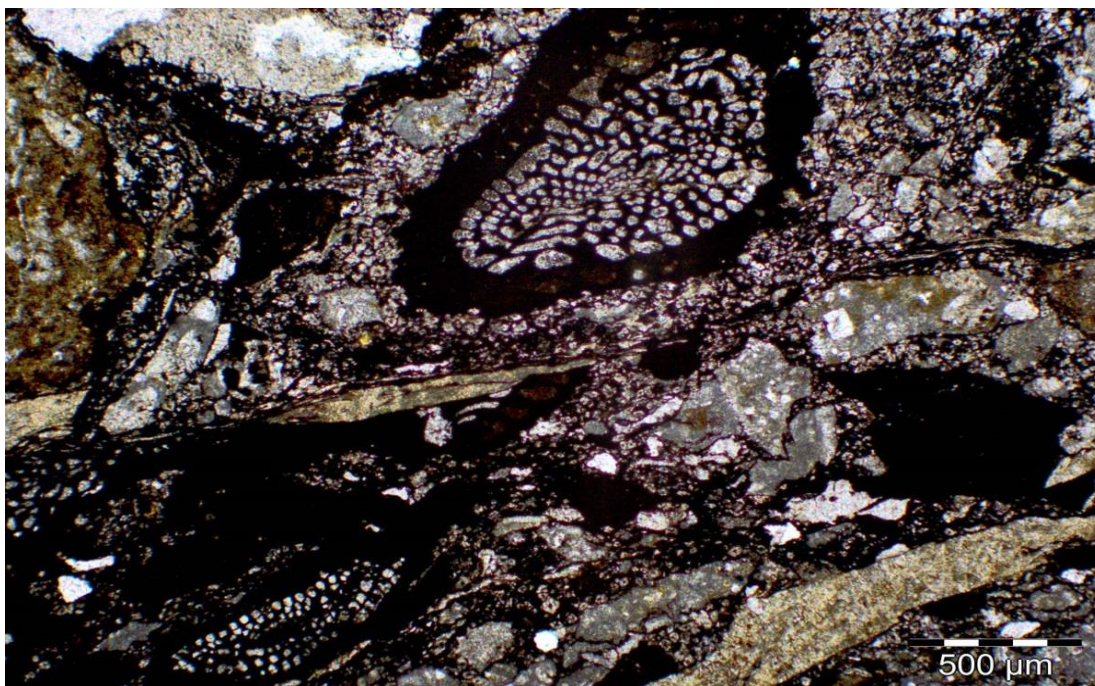
Οικογένεια: **ALVEOLINIDAE**

Γένος ***Ovalveolina***

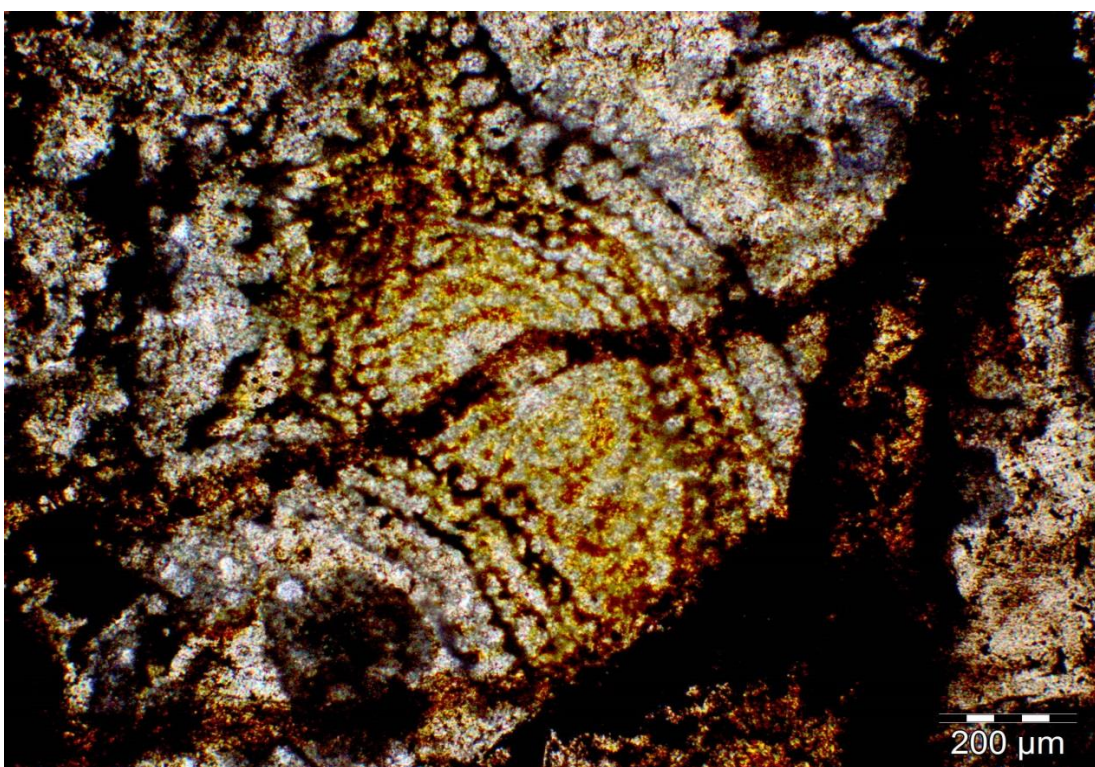
Κέλυφος επιπεδοσπειροειδές, με πορσελανώδες τοίχωμα. Σφαιρικές έως ωοειδείς μορφές διαμέτρου 1-2mm. Το στοματικό άνοιγμα είναι σειρά μεγάλων στοματικών πόρων που περιβάλλονται από χείλος. Τα δευτερεύοντα διαφράγματα είναι φαρδιά, κοντά σε σχετικά μεγάλη απόσταση μεταξύ τους και διατάσσονται κατά τρόπο συνεχή στους διαδοχικούς θαλάμους. Στρωματογραφική εξάπλωση Κενομάνιο – Τουρώνιο.



Φωτ.30 *Ovalveolina*



Φωτ. 31 *Alveolinid* εμποτισμένο με οξείδια Fe (AZ 1381) στους χαμηλότερους ορίζοντες της επικλυσιογενούς σειράς προς το μετάλλευμα



Φωτ.32 *Alveolinid* εμποτισμένο με οξείδια Fe (AZ 1382) στους χαμηλότερους ορίζοντες της επικλυσιογενούς σειράς προς το μετάλλευμα. Εμφανής η ρηγμάτωση του τρηματοφόρου και η πλήρωσή της με οξείδια του σιδήρου

Τάξη: **FORAMINIFERIDA**

Υποτάξη: **TEXTULARIINA**

Υπεροικογένεια: **SPIROPLECTAMMINACEA**

Οικογένεια: **SPIROPLECTAMMINIDAE**

Υποοικογένεια: **SPIROPLECTAMMININAE**

Γένος ***Bolivinopsis* s.p.**

Κέλυφος συμφυρματοπαγές. Το τρηματοφόρο αυτό χαρακτηρίζεται από σημαντικό επιπεδοσπειροειδές πρώτο στάδιο στις μικροσφαιρικές όσο και τις μακροσφαιρικές μορφές, που ακολουθείται από το δίσειρο στάδιο. Είναι γνωστό στο ανώτερο Κρητιδικό.

Τάξη: **FORAMINIFERIDA**

Υποτάξη: **TEXTULARIINA**

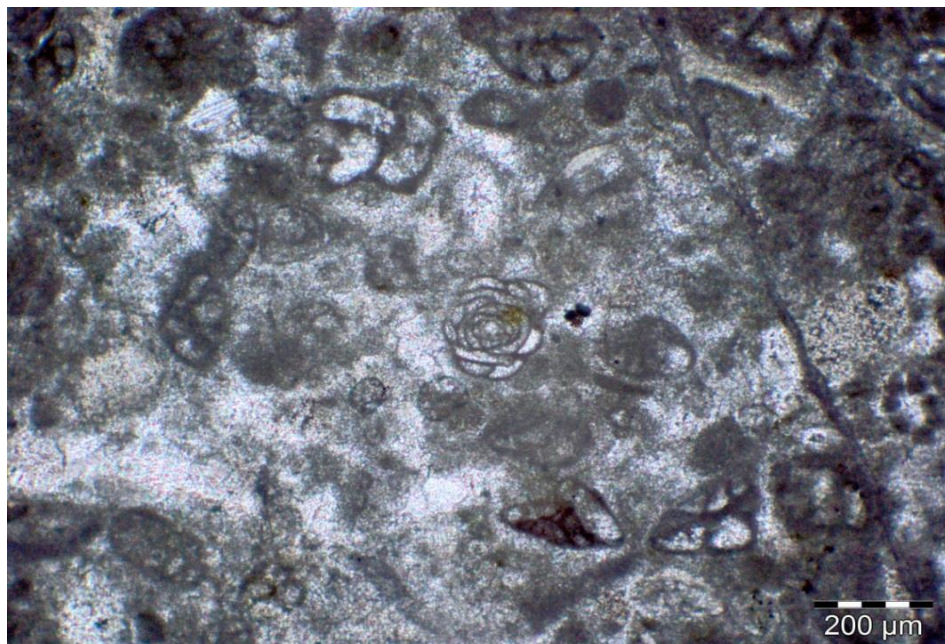
Υπεροικογένεια: **AMMODISCACEA**

Οικογένεια: **AMMODISCIDAE**

Υποοικογένεια: **AMMOVERTELLININAE**

Γένος ***Glomospira***

Κέλυφος με τοίχωμα λεπτόκοκκο συμφυρματοπαγές. Την πρωτοκόγχη ακολουθεί σωληνοειδής θάλαμος στρεπτοσπειροειδώς περιελιγμένος. Στοματικό άνοιγμα τελικό. Είναι γνωστό από το Λιθανθρακοφόρο έως σήμερα.

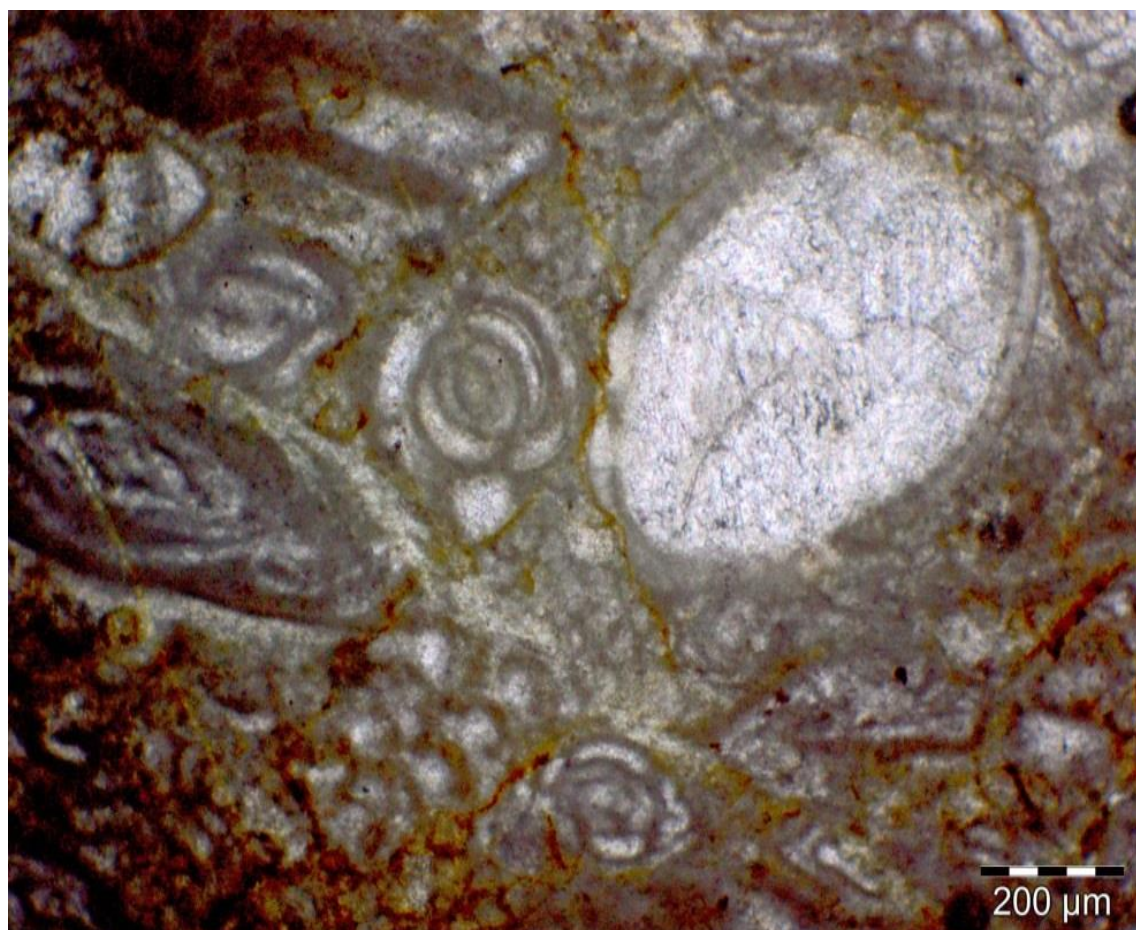


Φωτ.33 *Glomospira*

Ε. 1.1.2 ΑΡΘΡΟΠΟΔΑ ΟΣΤΡΑΚΩΔΗ

Οστρακώδη είναι μικροσκοπικά σε μέγεθος Αρθρόποδα (μικροαπολιθώματα) με πεπιεσμένο δίθυρο όστρακο ασβεστολιθικό ή κερατινώδες. Συνηθέστερα το όστρακο των απολιθωμένων μορφών είναι ασβεστολιθικό. Φέρουν αρθρωτά άκρα. Είναι υδρόβια ζώα, κυρίως θαλάσσια και ζούν σε διάφορα βάθη και σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη, ως πλαγκτονικά αλλά και βενθονικά ζώα. Το δίθυρο όστρακο είναι συνήθως συμμετρικό και σπανιότερα ασύμμετρο, απλό ή με χαρακτηριστικές ποικίλσεις (προεξοχές, αυλακές, πόροι κ.λ.π.).

Τα Οστρακώδη είναι γνωστά από το Ανώτερο Κάμβριο και έχουν σημαντικό στρωματογραφικό ενδιαφέρον. Στις μεσοζωικές αποθέσεις καθίστανται σπανιότερα, ενώ κατά το τριτογενές παρουσιάζουν εκ νέου αφθονία. Αποτελούν σημαντικούς παλαιοπεριβαλλοντικούς δείκτες.

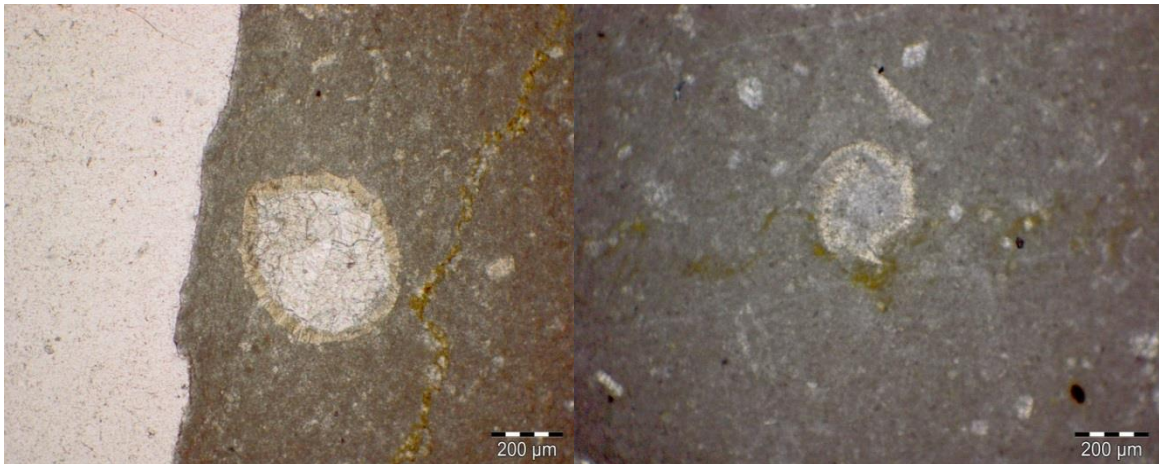


Φωτ.34 Οστρακώδη

Ε.1.1.3 ΑΛΓΗ

Χαρόφυτα

Είναι ομάδα Πρασινοφυκών και αποτελεί την τάξη Charales. Τα αναπαραγωγικά όργανα της τάξης αυτής δηλώνουν υψηλό βαθμό εξειδίκευσης/διαφοροποίησης. Το αναπαραγωγικό όργανο του θηλυκού χαρόφυτου είναι ένας μεγάλος οβαλ φάκελος από σπειροειδώς διατεταγμένα εντόνου πράσινου χρώματος νήματα κυττάρων τα οποία ονομάζονται ωογόνια



Φωτ.35, 36 Ωογόνια Χαροφύτων

Ε.2 Κοιτασματολογία

Ε.2.1 Μακροσκοπική - Μικροσκοπική εξέταση

Κωδικοί δειγμάτων: ΥΠΟ-1 , ΥΠΟ-2. ΥΠΟ-3

Αναλυτικότερα τα κύρια πετρογραφικά χαρακτηριστικά κάθε δείγματος είναι τα παρακάτω:

Ε.2.1.1 ΥΠΟ-1 (Μ6)



Φωτ.37 Δείγμα ΥΠΟ-1 (Μ6). Σιδηρούχο ψαμμιτο-μικροκροκαλοπαγές

χρώμα: καστανό σκούρο

θραυσμός: γωνιώδης

υφή: συμπαγής-ψευδοστρωσιγενής

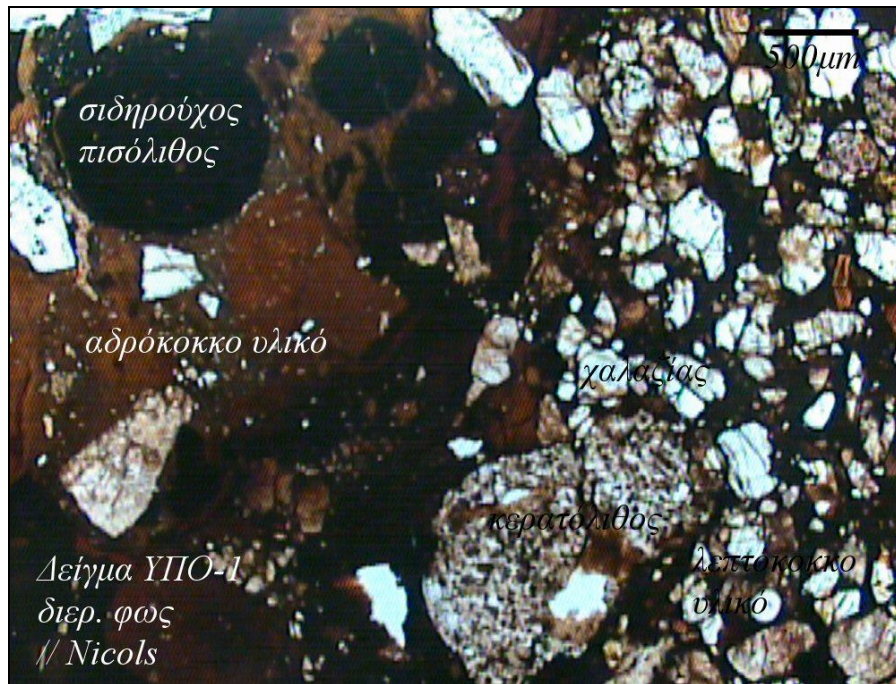
πετρογραφικός τύπος: λατεριτικό ψαμμιτο-μικροκροκαλοπαγές.

ορυκτολογική σύσταση:

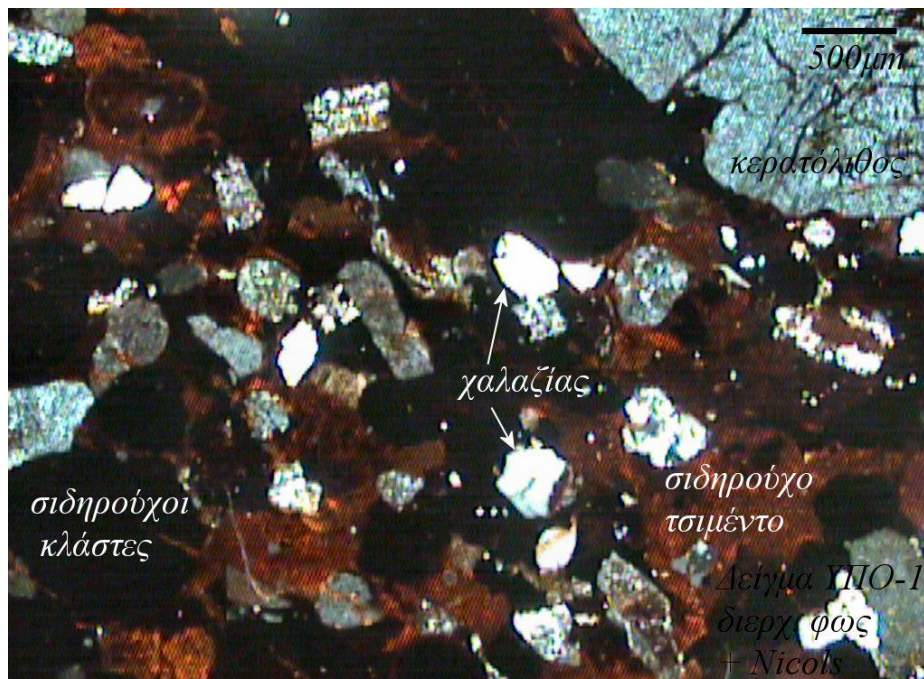
Η μάζα του δείγματος περιλαμβάνει:

- κλάστες σιδηρονικελιούχου λατερίτη με ορυκτά σιδήρου μαγνητίτη, αιματίτη, γκαιτίτη, συμπαγούς ή πisolιθικής μορφής (Φωτ. 38, 39)
- κατακερματισμένους κόκκους χρωμίτη και κόκκους χλωριτωμένου και τεκτονικά παραμορφωμένου σερπεντινίτη (Φωτ. 40, 41)

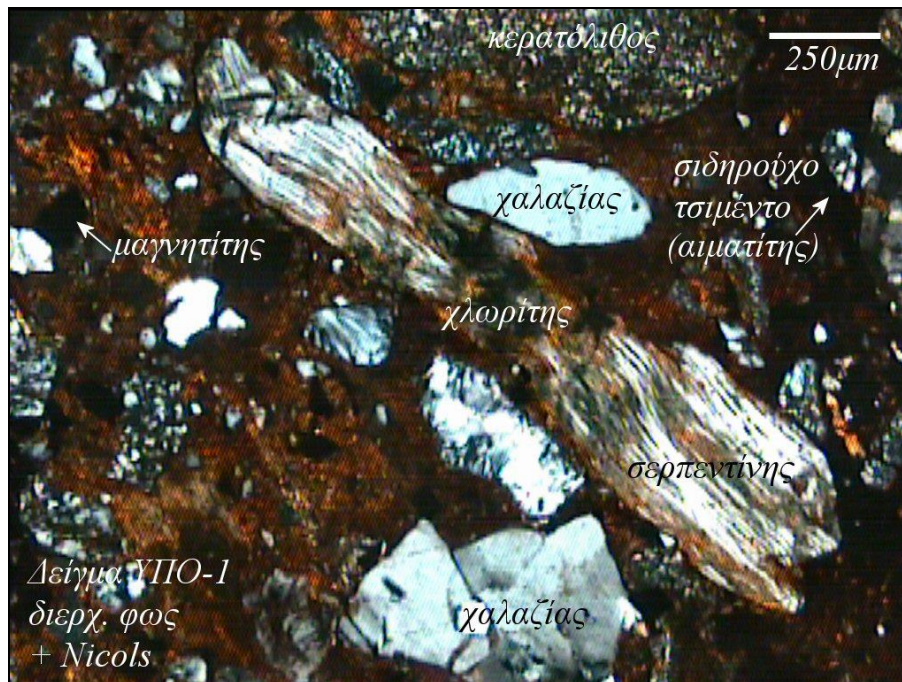
- άφθονα θραύσματα κυρίως πυριτικής αλλά και αργιλικής σύστασης, με κύρια ορυκτά χαλκηδόνιο, μικροκρυσταλλικό - αδροκρυσταλλικό χαλαζία, αργιλικά ορυκτά και σιδηροξείδια.
- συγκολλητική ύλη σιδηρούχου σύστασης από αιματίτη, μαγνητίτη, γκαιτίτη, με μικρή συμμετοχή κατά θέσεις και αργιλικών ορυκτών (Φωτ. 40, 41).



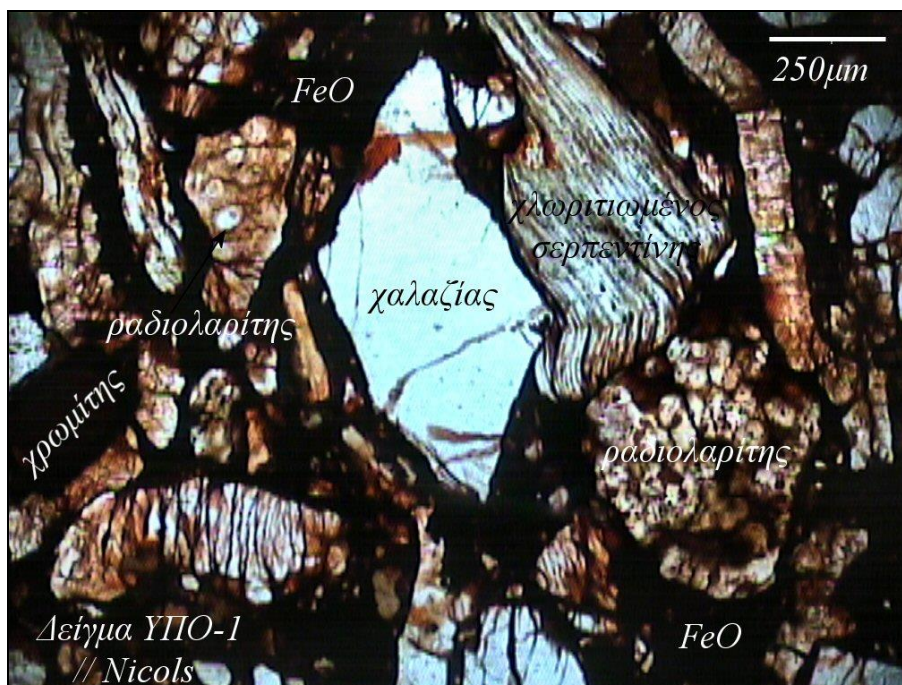
Φωτ.38 Επαφή αδρόκοκκου και λεπτο-μεσόκοκκου υλικού, λατεριτικού



Φωτ.39 Κλαστικό υλικό από σιδηρονικελιούχο λατερίτη και σχιστοκερατόλιθο, συγκολλημένο με συνδετικό υλικό (τσιμέντο) σιδηρούχου σύστασης



Φωτ.40 Κλάστες κερατολίθου, χαλαζίτη, μαγνητίτη και χλωριτωμένου σερπεντίνιτη, με συνδετικό υλικό οξείδια-υδροξείδια σιδήρου



Φωτ.41 Θραύσματα απολιθωματοφόρου κερατολίθου (ραδιολαρίτης), χαλαζία, χρωμίτη, σιδηροξειδίων, συγκολλημένα με σιδηρούχο υλικό

Ε.2.1.2. ΥΠΟ-2 (M14)

Το εν λόγω δείγμα είναι συγγενές με το προηγούμενο και ως εκ τούτου διαθέτει ανάλογα πετρογραφικά χαρακτηριστικά



Φωτ.42 Δείγμα ΥΠΟ-2 (M14). Σιδηρονικελιούχο λατεριτικό ψαμμιτοκροκαλοπαγές, με σημαντική παρουσία πυριτικού υλικού.

Κύρια πετρογραφικά χαρακτηριστικά:

χρώμα: καστανο-κόκκινο

θραυσμός: γωνιώδης

υφή: συμπαγής-ψευδοστρωσιγενής

πετρογραφικός τύπος: λατεριτικό ψαμμιτομικροκροκαλοπαγές

ορυκτολογική σύσταση:

Στη σύσταση του δείγματος συμμετέχει:

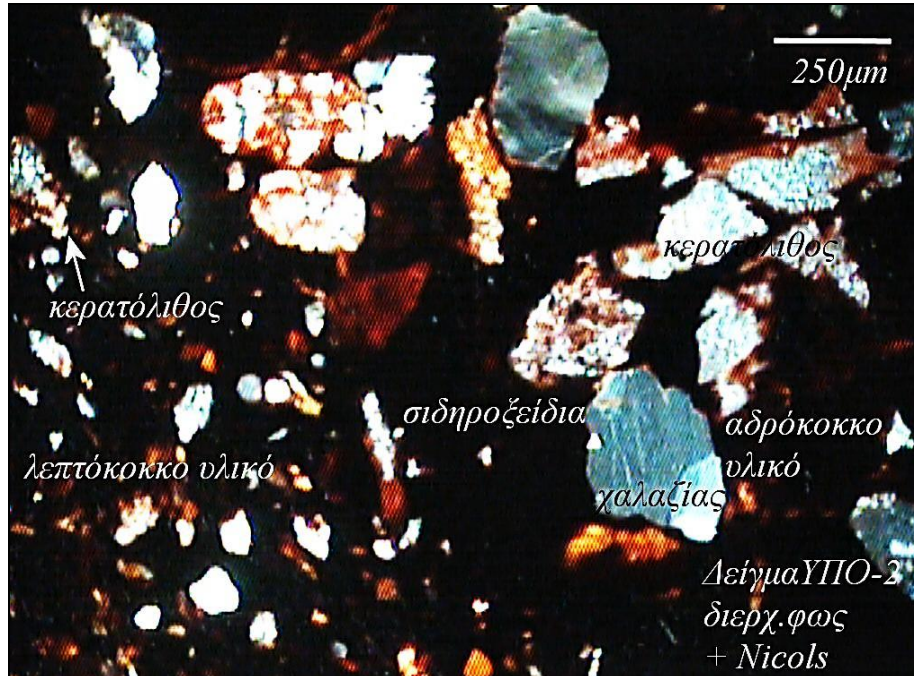
α) σιδηρούχο και πυριτικό υλικό σε κλαστική μορφή, με δύο κύριες κοκκομετρίες: μία αδρόκοκκη (μέγεθος κόκκων μέχρι και 8 mm) και μία λεπτο-μεσόκοκκη (από 0,05 έως 1mm), σε επαφή (Φωτ. 43), καθώς και αρκετός χρωμίτης σε κατακλαστικούς κόκκους (Φωτ. 47).

Το σιδηρούχο κλαστικό υλικό είναι μαγνητίτης-αιματίτης-γκαιτίτης (Φωτ. 47), ενώ οι πυριτικής σύστασης κλάστες (Φωτ. 45, 46) αποτελούνται από χαλκηδόνιο και χαλαζία, ποικίλης κοκκομετρίας και οξείδια-υδροξείδια σιδήρου.

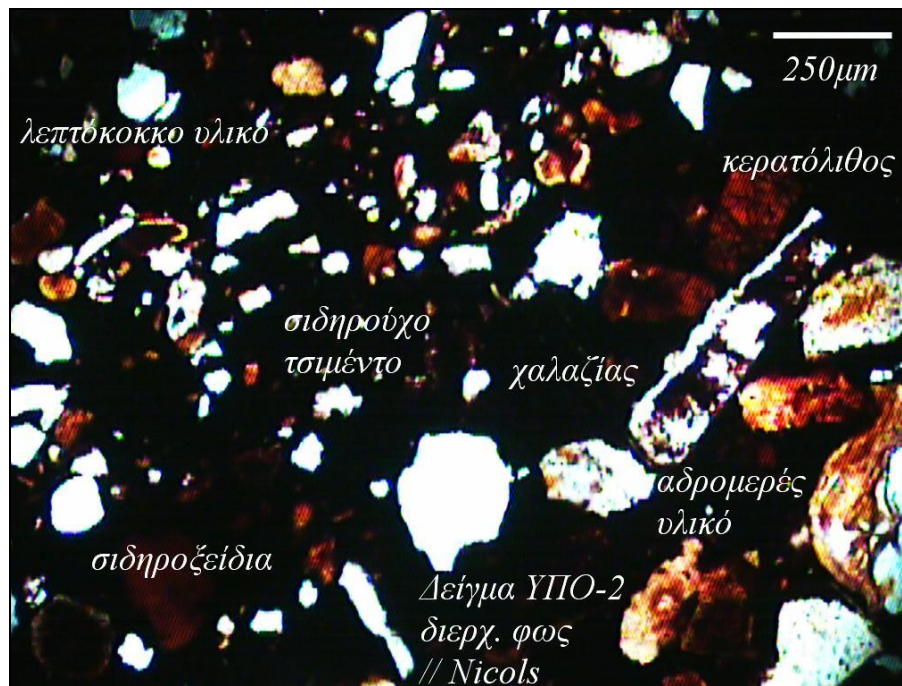
Επί πλέον και συνήθως στο ψαμμιτικής κοκκομετρίας υλικό του δείγματος εντοπίστηκαν κόκκοι αργιλικού υλικού, κόκκοι σιδηρομιγούς αργιλικού σχιστολίθου με ιλλίτη-μοντμοριλλονίτη και σιδηροξείδια, καθώς και κόκκοι με σερπεντίνη, χλωρίτη και αμφίβολο (Φωτ. 46, 47).

β) συγκολλητική ύλη με σύσταση κυρίως σιδηρούχο (μαγνητίτης-αιματίτης-γκαιτίτης) και εν μέρει αργιλική (ιλλίτης, μοντμοριλλονίτης).

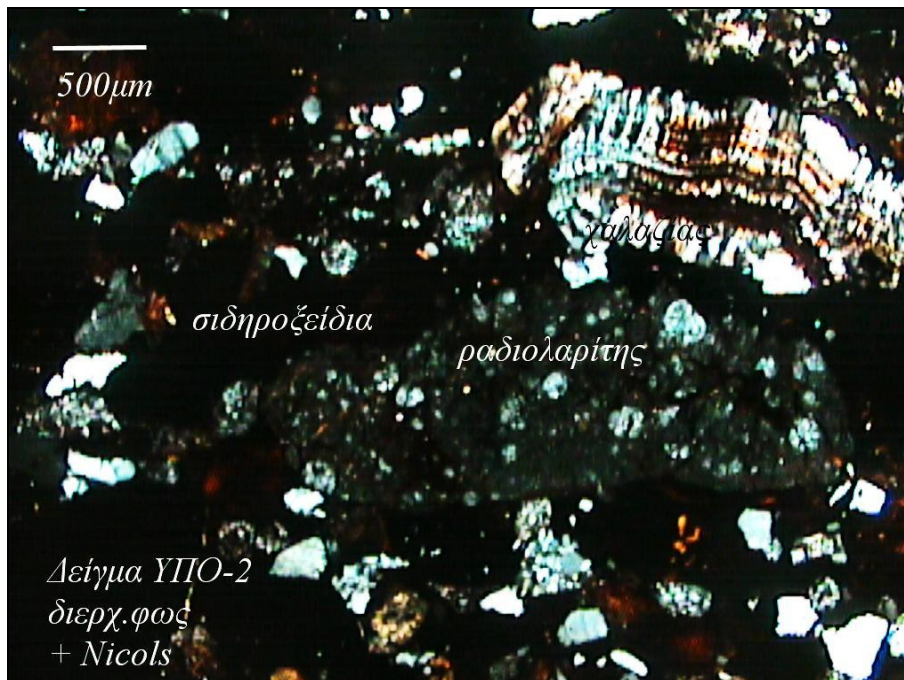
Στις μικροφωτογραφίες που ακολουθούν απεικονίζεται η δομή και η ορυκτολογική σύσταση του δείγματος.



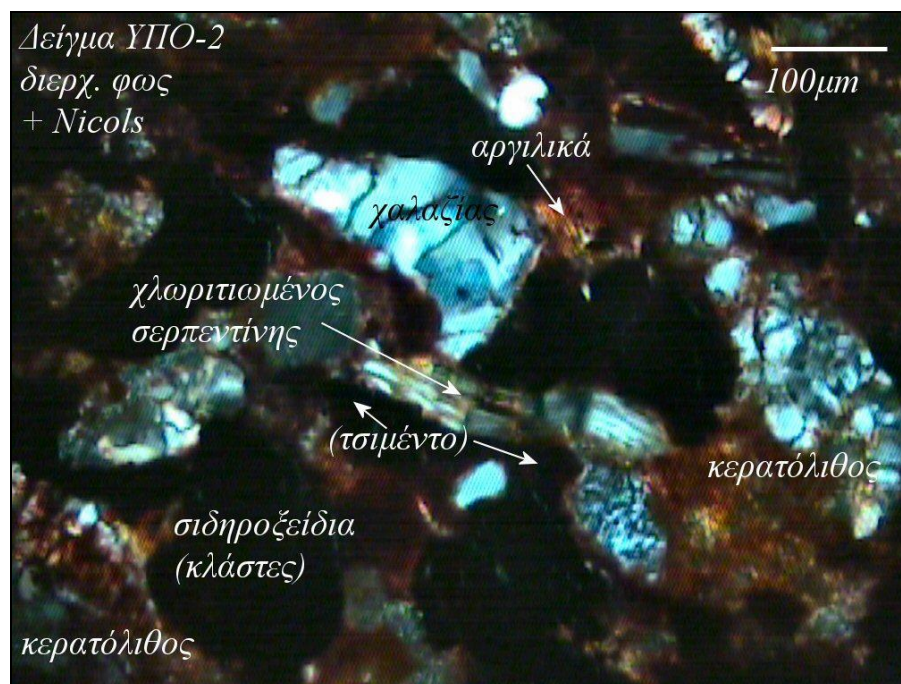
Φωτ.43 Επαφή λεπτόκοκκου και αδρόκοκκου λατεριτικού υλικού, με κλάστες σιδηρούχου και πυριτικής σύστασης και συνδετικό υλικό σιδηρούχο



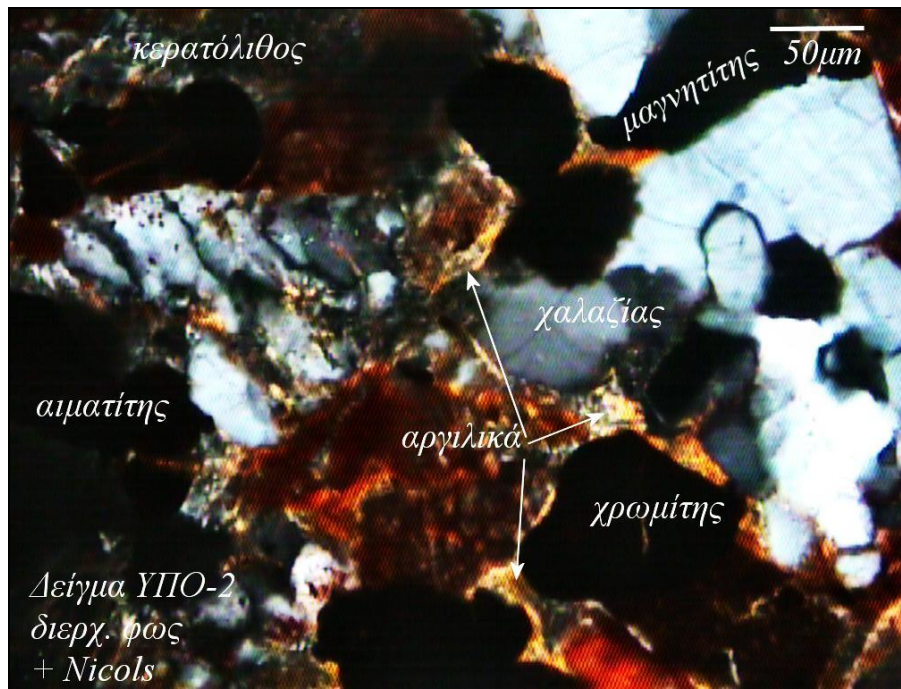
Φωτ.44 Λεπτόκοκκο και αδρόκοκκο υλικό της ίδια σύστασης (σιδηρούχος και πυριτική)



Φωτ.45 Κλάστες απολιθωματοφόρου κερατόλιθου (ραδιολαρίτης), χαλαζία και σιδηρο ξειδίων με συνδετική ύλη επίσης οξείδια-υδροξείδια σιδήρου



Φωτ.46 Κλαστικό υλικό από σιδηροξείδια, κερατόλιθο, χαλαζία, σερπεντινίτη μερικώς χλωριτωμένο και συγκολλητική ύλη οξείδια-υδροξείδια σιδήρου, σε ανάμιξη με αργιλικά ορυκτά.



Φωτ.47 Κόκκοι κερατολίθου, χαλαζία, χρωμίτη, μαγνητίτη, αιματίτη, συγκολλημένοι με συνδετικό υλικό σιδηρούχου και αργιλικής σύστασης

Ε.2.1.3 ΥΠΟ-3 (M21)



Δείγμα: ΥΠΟ-3

Φωτ.48 Δείγμα ΥΠΟ-3 (M21). Μικροκρακαλοπαγές από σιδηρονικελιούχο λατεριτικό και σχιστοκερατολιθικό υλικό

Με βάση τόσο τα μακροσκοπικά, όσο και τα μικροσκοπικά στοιχεία του δείγματος, αυτό αντιπροσωπεύει ένα επίσης κλαστικό ίζημα, αδρόκοκκο, με σύσταση όμοια με εκείνη των δύο προηγούμενων δειγμάτων.

Τα ουσιώδη πετρογραφικά χαρακτηριστικά του είναι:

χρώμα: καστανο-κόκκινο

θραυσμός: γωνιώδης

υφή: συμπαγής

πετρογραφικός τύπος: μικροκρακαλοπαγές από υλικό σιδηρονικελιούχου λατερίτη και σχιστοκερατολίθου.

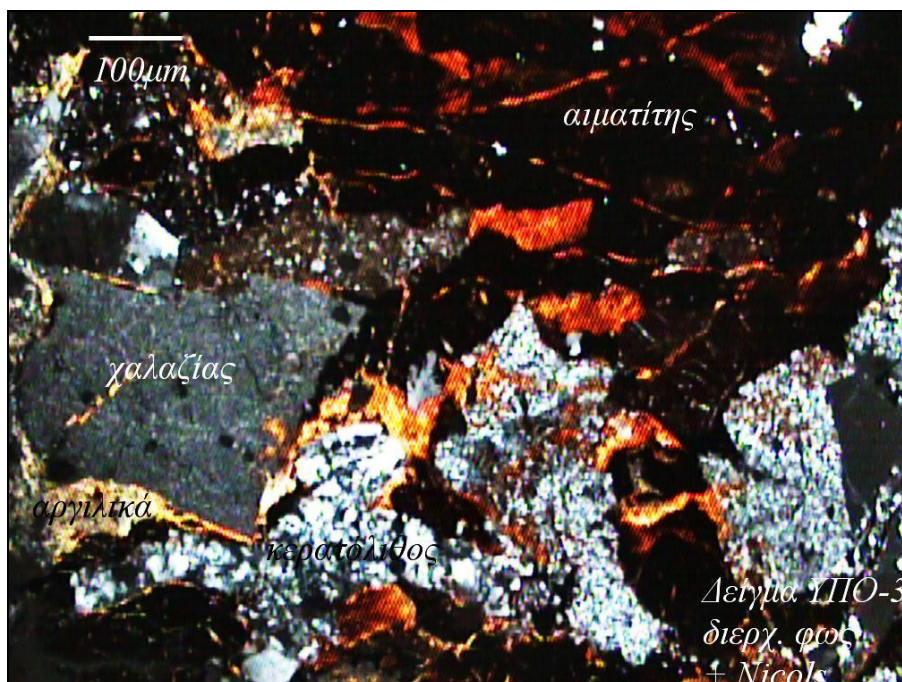
ορυκτολογική σύσταση:

Το σιδηρούχο μέρος του κλαστικού υλικού και η συνδετική ύλη αποτελούνται από μαγνητίτη-αιματίτη-γκαιτίτη (Φωτ. 44, 45, 48), ενώ το σχιστοψαμμιτοκερατολιθικό υλικό αποτελείται από χαλκηδόνιο, χαλαζία ποικίλης κοκκομετρίας, σιδηροξείδια (αιματίτης, γκαϊτίτης) και αργιλικά ορυκτά (ιλλίτης, μοντμοριλλονίτης) με επί πλέον συστατικά τον χλωρίτη, τον σερπεντίνη, και τον χρωμίτη.

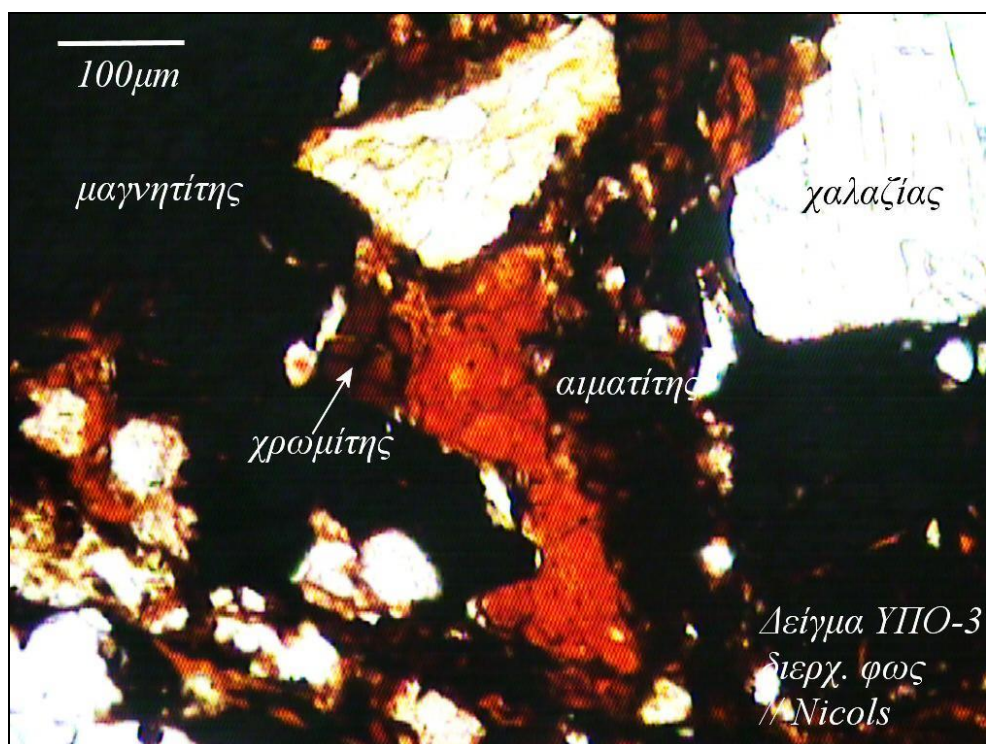
Στις επόμενες φωτογραφίες που ελήφθησαν από το μικροσκόπιο εμφανίζονται μερικά από τα πετρογραφικά χαρακτηριστικά του δείγματος, όπως η κοκκομετρία, η δομή και η σύσταση του.



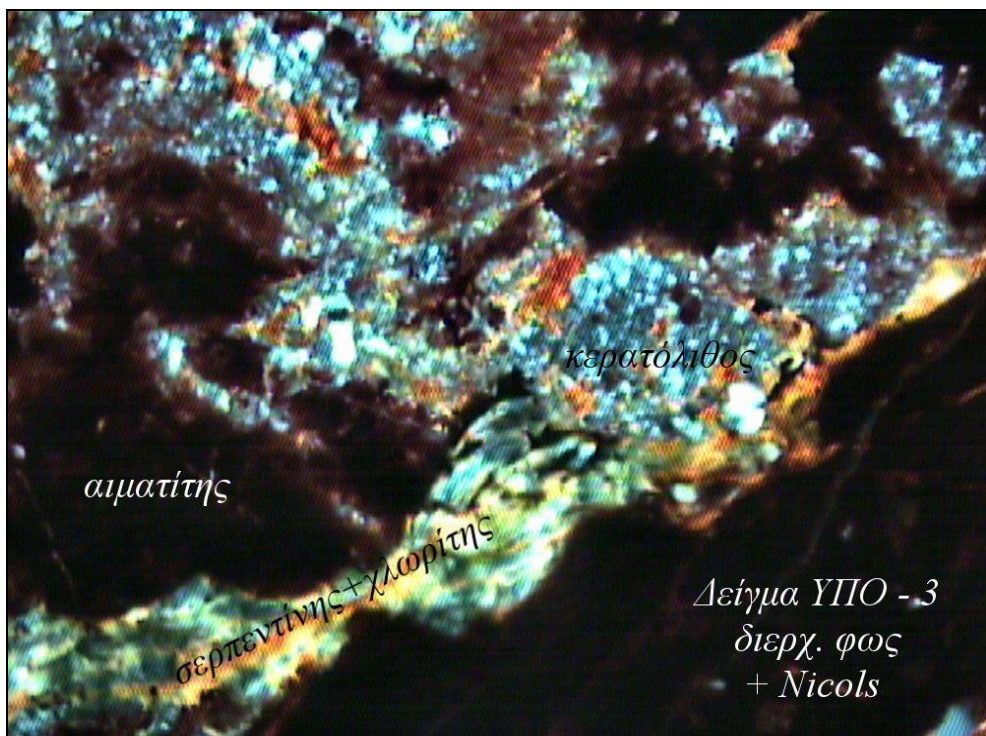
Φωτ.49 Σιδηρούχο και πυριτικό κλαστικό υλικό, με συνδετικό υλικό
Αποτελούμενο από οξείδια-υδροξείδια σιδήρου



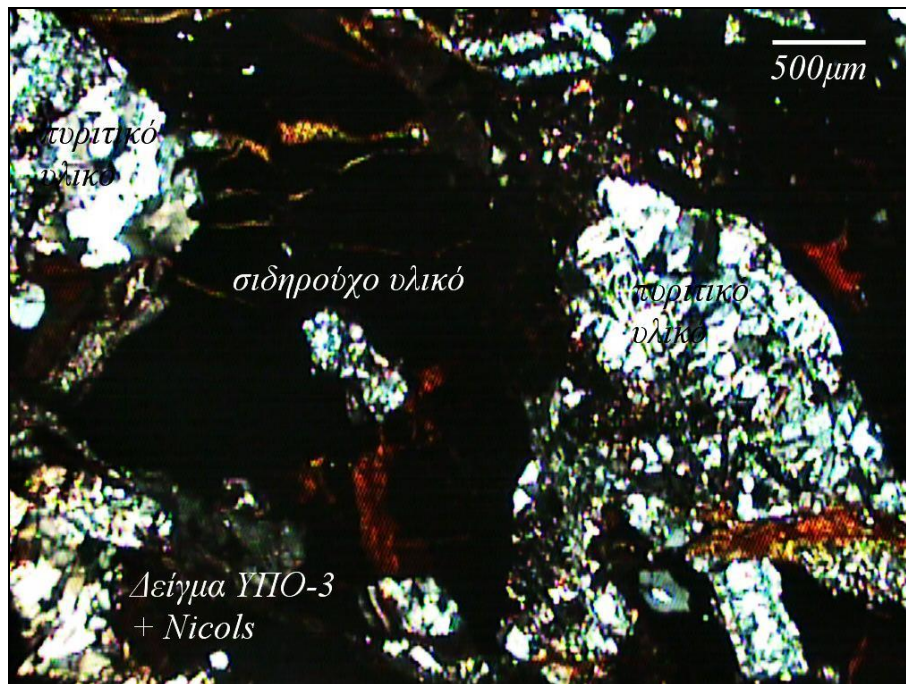
Φωτ.50 Κόκκοι κερατολίθου, χαλαζία, αιματίτη, συγκολλημένοι με
συνδετικό υλικό σιδηρούχου και αργλικής σύστασης



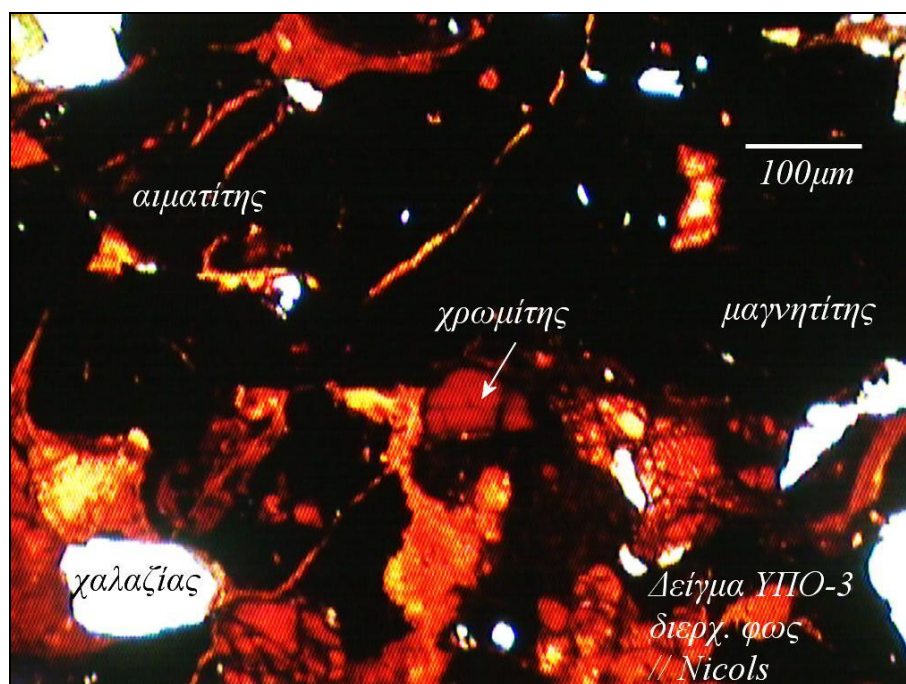
Φωτ.51 Κόκκοι χαλαζία, χρωμίτη, μαγνητίτη, αιματίτη, συγκολλημένοι με σιδηρούχο συνδετικό υλικό



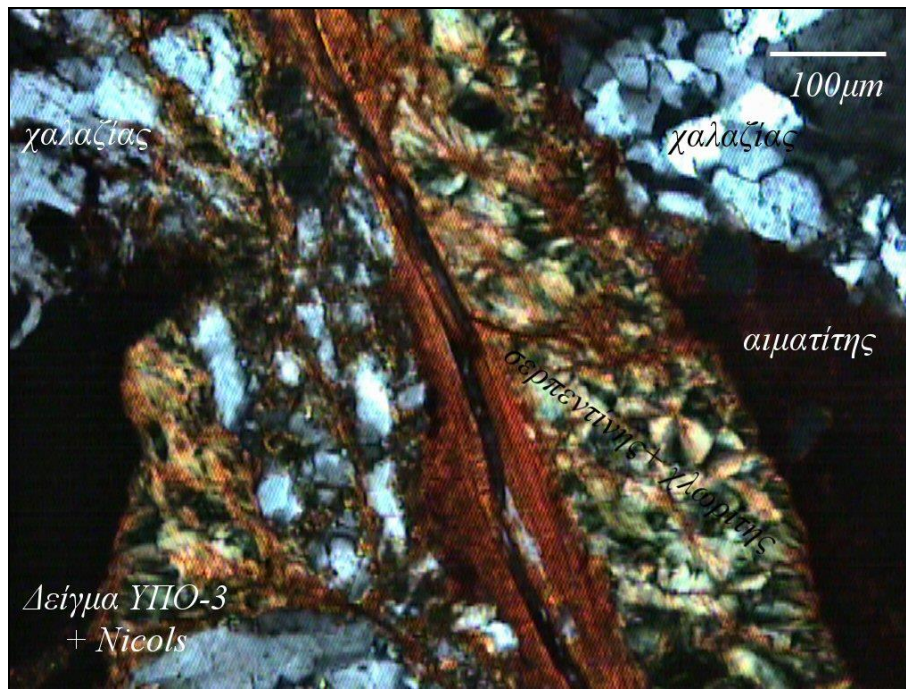
Φωτ.52 Κόκκοι σιδηρομιγούς κερατολίθου, χλωριτωμένου σερπεντινίτη και οξειδίων-υδροξειδίων του σιδήρου, συγκολλημένοι με τσιμέντο ομοίως σιδηρούχο



Φωτ.53 Πυριτικοί και σιδηρούχοι κλάστες, συγκολλημένοι με τσιμέντο σιδηρούχου και αργλικής σύστασης



Φωτ.54 Κόκκοι χρωμίτη, μαγνητίτη, αιματίτη, σε ανάμιξη με πυριτικό υλικό και με συνδετική ύλη σιδηροξείδια



Φωτ.55 Κόκκοι κερατολίθου, χαλαζία και χλωριτωμένου σερπεντίνη, με συνδετική ύλη οξειδία – υδροξείδια σιδήρου

Ε.2.2 Χημική ανάλυση με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων Χ (EDXRF)

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 78 αναλύσεις με τη συγκεκριμένη μέθοδο. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων των δειγμάτων συναρτήσει της θέσης δειγματοληψίας τους (πεδίο ή γεώτρηση με καταγραφή του αντίστοιχου βάθους ή εύρους βαθών) παρατίθενται στους πίνακες 1 έως 6 που ακολουθούν. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι το Cr, το Co, ο Zn και το Ni υπολογίζονται στοιχειακά.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των δειγμάτων πεδίου που εξετάστηκαν

Κωδικός	Δείγμα	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Cr	Co	Zn	Ni
M13	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	84,63	1,07	8,05	4,2	0	0,49	0,25	0,04	3525	153	85	3100
M22	ΥΠΟ-4	66,90	11,58	10,95	1,08	0,80	1,73	0,88	0,04	7166	301	203	4844
M21	ΥΠΟ-3	57,53	14,20	14,59	1,21	1,08	3,25	0,98	0,08	2795	212	133	6022
M9(1)	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	57,51	8,76	24,35	0,92	1,58	0,79	0,55	0,01	12493	1788	294	7845
M12	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	60,57	6,78	25,62	0,64	1,44	0,17	0,19	0,09	7138	413	129	6386
M9(2)	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	55,57	8,69	26,48	0,72	1,59	0,77	0,47	0,01	13174	561	324	7287
M5	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	48,07	16,96	28,56	1,99	0,81	0,3	0,23	0,03	10223	1615	456	7327
M11	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	56,36	7,07	28,86	1,00	0,79	0,11	0,22	0,02	8716	458	796	9312
M10	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	49,81	10,73	31,49	2,02	0,75	0,11	0,18	0,08	7599	668	919	7678
M6	ΥΠΟ-1	45,3	17,07	32,95	0,88	0,71	0,34	0,24	0,07	8792	1481	689	8013
M8	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	39,37	16,93	35,06	1,81	1,2	0,14	0,41	0,05	11903	1252	543	12030
M7	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	39,4	16,93	35,11	1,77	1,21	0,14	0,32	0,02	8611	772	1394	7809
M14	ΥΠΟ-2	44,75	5,66	41,18	0,70	1,27	0,13	0,14	0,06	8633	512	183	7090
M1	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	11,23	7,89	66,26	8,23	1,14	0,12	0,01	0,01	8400	985	365	7500
M4	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	12,23	6,68	73,09	2,77	0,86	0,15	0,01	0,04	10900	1352	392	8600
M2	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	11,02	5,98	73,38	2,67	0,89	0,22	0,01	0,04	10700	1012	416	9100
M3	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	10,98	4,63	78,43	1,41	0,85	0,31	0,01	0,05	10850	888	348	8900
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	44,19	9,86	37,32	2,00	1,00	0,55	0,30	0,08	8919	848	548	7579

Fe_(total) ως Fe₂O₃

Οι συγκεντρώσεις των οξειδίων εκφράζονται σε % κ.β. και των (ίχνο)στοιχείων σε gr/t

Πίνακας 2. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των δειγμάτων της Γ1 που εξετάστηκαν

Κωδικός	Δείγμα	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Cr	Co	Zn	Ni
M27	Γ1 13,5 - 14,5	58,23	13,46	16,55	0,81	0,86	2,75	1,09	0,01	4454	99	149	5544
M52	Γ1 28 - 29,2	62,00	11,70	19,50	0,91	1,41	1,44	0,75	0,04	10800	337	221	4921
M49	Γ1 27 - 28	48,80	11,40	20,60	4,62	1,45	1,57	0,75	0,07	15300	330	270	3600
M51	Γ1 40 - 40,5	57,00	13,20	21,10	1,09	2,24	2,73	0,82	0,05	7200	312	180	5000
M50	Γ1 38,7 - 40	56,80	9,81	24,70	0,87	2,47	1,00	0,54	0,10	24700	652	270	7400
M54	Γ1 37,5 - 38,7	55,00	10,60	24,90	1,56	2,05	1,72	0,69	0,10	13100	449	244	5200
M70	Γ1 41,0	55,11	10,52	25,76	1,18	1,30	2,08	0,54	0,01	8081	503	235	5296
M69	Γ1 40,8	52,08	9,35	26,08	2,23	0,96	1,93	0,57	0,02	5782	401	175	6252
M53	Γ1 30 - 37,5	48,50	9,92	26,10	6,40	2,61	0,14	0,65	0,21	25800	525	453	6600
M73	Γ1 43,1	57,61	7,41	26,87	0,96	0,96	0,31	0,16	0,05	8825	652	202	7330
M66	Γ1 14,5 - 15,5	49,57	8,66	29,43	1,81	0,98	1,28	0,45	0,25	5790	189	190	8551
M71	Γ1 41,3	50,30	9,54	29,43	1,03	1,31	1,60	0,48	0,01	7313	603	210	6740
M25	Γ1 16,7	47,56	10,37	30,01	1,77	1,29	1,40	0,63	0,00	8144	844	279	8701
M26	Γ1 17,0	48,23	10,60	30,29	1,07	1,30	1,44	0,60	0,01	8766	819	297	8441
M68	Γ1 39,1	41,11	16,23	33,47	1,37	1,21	0,23	0,18	0,15	8420	401	252	8134
M67	Γ1 10 - 12,5	48,24	5,50	35,30	1,58	1,24	0,16	0,16	0,17	11537	333	258	7556
M55	Γ1 17,8	45,20	11,60	35,70	0,84	2,04	1,28	0,69	0,60	14600	440	253	7600
M28	Γ1 29,2 - 30	53,20	5,49	36,20	0,80	0,75	0,19	0,21	0,00	2650	122	80	8935
M72	Γ1 42,0	45,57	6,77	38,33	1,89	1,75	0,34	0,16	0,03	9096	777	205	8645
M56	Γ1 15,5 - 16,5	33,30	5,33	49,30	7,28	1,19	0,09	0,27	1,11	11600	628	187	10600
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	50,67	9,87	28,98	2,00	1,47	1,18	0,52	0,15	10598	471	231	7052

Fe_(total) ως Fe₂O₃

Οι συγκεντρώσεις των οξειδίων εκφράζονται σε % κ.β. και των (ίχνο)στοιχείων σε gr/t

Πίνακας 3. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των δειγμάτων της Γ2 που εξετάστηκαν

Κωδικός	Δείγμα	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Cr	Co	Zn	Ni
M46	Γ2 18 - 20	68,53	5,02	9,61	1,78	2,01	1,07	0,26	0,23	4940	276	154	2552
M29	Γ2 46,5 - 47,2	43,64	8,99	16,05	13,00	0,92	2,04	0,57	0,01	2797	198	110	4898
M76	Γ2 45,2 - 46,5	66,73	9,57	16,49	1,44	0,78	0,23	0,20	0,04	16116	396	226	5846
M61	Γ2 43,5 - 44,2	61,90	11,10	19,30	0,53	2,18	1,35	0,68	0,06	28800	546	494	5900
M77	Γ2 22 - 29	59,94	8,52	20,30	1,20	1,17	0,74	0,31	0,02	36398	484	746	4183
M74	Γ2 3 - 8	58,28	10,74	22,02	0,99	0,96	0,77	0,39	0,04	11368	852	290	8454
M59	Γ2 39,7 - 40,5	53,90	13,00	25,30	0,60	2,33	2,65	0,76	0,05	5600	418	199	5600
M57	Γ2 34 - 38	37,70	7,52	26,20	23,50	1,36	0,65	0,56	0,18	13200	511	223	6500
M63	Γ2 41,5 - 42,5	51,40	11,60	28,50	1,03	2,44	2,05	0,65	0,04	12100	521	254	6200
M58	Γ2 38 - 39,7	49,50	12,00	30,50	0,98	2,39	2,16	0,64	0,04	4600	647	168	8900
M60	Γ2 40,5 - 41,5	49,00	11,80	31,30	0,78	2,40	1,99	0,61	0,06	9900	500	202	6400
M62	Γ2 42,5 - 43,5	46,10	10,70	36,00	0,56	2,33	1,63	0,64	0,04	8800	600	188	6600
M78	Γ2 44,7	31,63	7,25	53,10	0,73	0,95	0,16	0,07	0,00	3960	902	888	14502
M80	Γ2 45,1	28,18	7,27	58,43	0,40	0,93	0,15	0,15	0,00	8700	681	306	7909
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	50,46	9,65	28,08	3,39	1,65	1,26	0,46	0	11949	1255	318	6746

Fe_(total) ως Fe₂O₃

Οι συγκεντρώσεις των οξειδίων εκφράζονται σε % κ.β. και των (ίχνο)στοιχείων σε gr/t

Πίνακας 4. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των δειγμάτων της Γ3 που εξετάστηκαν

Κωδικός	Δείγμα	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Cr	Co	Zn	Ni
M81	Γ3 0 - 4	63,90	7,95	11,58	1,25	1,20	1,01	0,54	0,12	4451	185	180	5199
M82	Γ3 4 - 8	53,80	10,12	24,31	2,54	0,91	1,95	0,55	0,11	4122	433	116	7111

Fe_(total) ως Fe₂O₃

Οι συγκεντρώσεις των οξειδίων εκφράζονται σε % κ.β. και των (ίχνο)στοιχείων σε gr/t

Πίνακας 5. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των δειγμάτων της Γ4 που εξετάστηκαν

Κωδικός	Δείγμα	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Cr	Co	Zn	Ni
M43	Γ4 59 - 66,5	62,22	2,79	5,55	23,85	0,47	0,10	0,06	0,24	5509	159	53	3770
M48	Γ4 50 - 59	63,29	3,70	7,61	21,12	0,59	0,06	0,06	0,15	2400	184	148	4920
M39	Γ4 81 - 88	67,10	9,77	16,60	0,33	1,20	1,37	0,60	0,02	18000	581	227	4180
M34	Γ4 66,5 - 70	55,70	11,80	21,40	4,44	2,01	1,65	0,83	0,30	9700	456	219	6522
M32	Γ4 72 - 77	58,00	10,30	22,00	4,32	1,05	1,17	0,69	0,03	15500	515	272	6125
M36	Γ4 77 - 81	52,40	5,63	37,50	0,49	1,34	0,05	0,21	0,07	13900	688	177	8552
M42	Γ4 88 - 90	44,30	7,87	41,20	0,47	2,45	0,33	0,29	0,06	19100	629	262	9011
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	57,57	7,41	21,69	7,86	1,30	0,68	0,39	0,12	12016	459	194	6154

Fe_(total) ως Fe₂O₃

Οι συγκεντρώσεις των οξειδίων εκφράζονται σε % κ.β. και των (ίχνο)στοιχείων σε gr/t

Πίνακας 6. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των δειγμάτων της Γ5 που εξετάστηκαν

Κωδικός	Δείγμα	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Cr	Co	Zn	Ni
M41	Γ5 90-85	42,16	3,21	3,17	42,20	1,60	0,53	0,03	0,05	350	80	0	2762
M47	Γ5 102-100	32,80	5,68	8,38	45,47	0,77	0,09	0,05	0,32	605	153	64	3458
M19	Γ5 106-102	70,06	10,95	10,84	0,59	0,94	1,92	0,66	0,02	12770	312	239	4140
M33	Γ5 100-95	11,10	3,26	17,00	54,60	1,76	0,90	0,29	0,25	9300	400	187	5010
M30	Γ5 97,5	59,05	13,72	17,03	0,89	0,92	2,83	1,02	0,00	4475	309	157	5685
M17	Γ5 117,2	63,94	6,44	21,43	1,32	1,33	0,20	0,20	0,19	7409	489	118	6209
M65	Γ5 107,5	55,60	10,17	24,06	1,09	0,97	2,19	0,63	0,16	5410	212	130	6521
M37	Γ5 108-106	62,50	7,21	24,70	1,19	0,95	0,49	0,43	0,22	14400	524	236	6940
M31	Γ5 110-108	53,50	12,60	26,70	0,47	1,59	1,84	0,71	0,02	15900	398	270	7196
M38	Γ5 118-117	53,90	11,00	26,70	1,06	2,16	1,34	0,73	0,07	17800	728	351	6230
M18	Γ5 117,9	52,55	9,07	26,72	0,98	1,30	1,41	0,41	0,01	6746	385	181	8222
M23	Γ5 117	55,02	8,29	28,65	0,72	1,61	0,65	0,49	0,04	11926	789	317	8369
M44	Γ5 120-118	50,70	11,30	29,40	0,47	2,62	1,85	0,64	0,07	7800	613	173	7980
M20	Γ5 116,8	49,92	9,68	30,90	1,14	1,31	1,60	0,41	0,01	7040	444	189	8011
M24	Γ5 116,6	55,43	6,41	31,80	0,70	1,61	0,26	0,17	0,04	7594	801	149	7297
M16	Γ5 113,7	52,58	7,03	32,45	0,95	1,43	0,15	0,25	0,12	8332	432	198	7382
M15	Γ5 113	47,10	7,07	38,23	0,62	1,25	0,19	0,22	0,23	7862	601	188	9500
M45	Γ5 111,3	44,30	7,69	41,50	0,47	2,20	0,32	0,27	0,18	17200	710	231	10155
M64	Γ5 110,2	39,06	7,75	44,34	0,79	1,35	0,16	0,19	0,02	11167	398	298	12556
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	50,07	8,34	25,47	8,20	1,46	1,00	0,41	0	9162	462	193	7033

Fe_(total) ως Fe₂O₃

Οι συγκεντρώσεις των οξειδίων εκφράζονται σε % κ.β. και των (ίχνο)στοιχείων σε gr/t

Πίν. 7 Συγκεντρωτικός πίνακας δειγμάτων **Πεδίου**
Περιεκτικότητες **Fe₂O₃ – Ni**

Κωδικός	Δείγμα	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Ni
		% κ.β.	% κ.β.	gr/t
M13	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	8,05	84,63	3100
M22	ΥΠΟ-4	10,95	66,90	4844
M21	ΥΠΟ-3	14,59	57,53	6022
M9(1)	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	24,35	57,51	7845
M12	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	25,62	60,57	6386
M9(2)	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	26,48	55,57	7287
M5	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	28,56	48,07	7327
M11	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	28,86	56,36	9312
M10	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	31,49	49,81	7678
M6	ΥΠΟ-1	32,95	45,3	8013
M8	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	35,06	39,37	12030
M7	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	35,11	39,4	7809
M14	ΥΠΟ-2	41,18	44,75	7090
M1	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	66,26	11,23	7500
M4	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	73,09	12,23	8600
M2	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	73,38	11,02	9100
M3	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	78,43	10,98	8900
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	37,32	44,19	7579

Fe_(total) ως Fe₂O₃

Πίν. 8 Συγκεντρωτικός πίνακας δειγματοληπτικής γεώτρησης **Γ1**
Περιεκτικότητες **Fe₂O₃ – Ni**

Κωδικός	Δείγμα	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Ni
		% κ.β.	% κ.β.	gr/t
M27	Γ1 13,5 - 14,5	16,55	58,23	5544
M52	Γ1 28 - 29,2	19,50	62,00	4921
M49	Γ1 27 - 28	20,60	48,80	3600
M51	Γ1 40 - 40,5	21,10	57,00	5000
M50	Γ1 38,7 - 40	24,70	56,80	7400
M54	Γ1 37,5 - 38,7	24,90	55,00	5200
M70	Γ1 41,0	25,76	55,11	5296
M69	Γ1 40,8	26,08	52,08	6252
M53	Γ1 30 - 37,5	26,10	48,50	6600
M73	Γ1 43,1	26,87	57,61	7330
M66	Γ1 14,5 - 15,5	29,43	49,57	8551
M71	Γ1 41,3	29,43	50,30	6740
M25	Γ1 16,7	30,01	47,56	8701
M26	Γ1 17,0	30,29	48,23	8441
M68	Γ1 39,1	33,47	41,11	8134
M67	Γ1 10 - 12,5	35,30	48,24	7556
M55	Γ1 17,8	35,70	45,20	7600
M28	Γ1 29,2 - 30	36,20	53,20	8935
M72	Γ1 42,0	38,33	45,57	8645
M56	Γ1 15,5 - 16,5	49,30	33,30	10600
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	28,98	50,67	7052

Fe_(total) ως Fe₂O₃

Πίν. 9 Συγκεντρωτικός πίνακας δειγματοληπτικής γεώτρησης Γ2
Περιεκτικότητες Fe_2O_3 – Ni

Κωδικός	Δείγμα	Fe_2O_3	SiO_2	Ni
		% κ.β.	% κ.β.	gr/t
M46	Γ2 18 - 20	9,61	68,53	2552
M29	Γ2 46,5 - 47,2	16,05	43,64	4898
M76	Γ2 45,2 - 46,5	16,49	66,73	5846
M61	Γ2 43,5 - 44,2	19,30	61,90	5900
M77	Γ2 22 - 29	20,30	59,94	4183
M74	Γ2 3 - 8	22,02	58,28	8454
M59	Γ2 39,7 - 40,5	25,30	53,90	5600
M57	Γ2 34 - 38	26,20	37,70	6500
M63	Γ2 41,5 - 42,5	28,50	51,40	6200
M58	Γ2 38 - 39,7	30,50	49,50	8900
M60	Γ2 40,5 - 41,5	31,30	49,00	6400
M62	Γ2 42,5 - 43,5	36,00	46,10	6600
M78	Γ2 44,7	53,10	31,63	14502
M80	Γ2 45,1	58,43	28,18	7909
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	28,08	50,46	6746

$\text{Fe}_{(\text{total})}$ ως Fe_2O_3

Πίν. 10 Συγκεντρωτικός πίνακας δειγματοληπτικής γεώτρησης Γ3
Περιεκτικότητες Fe_2O_3 – Ni

Κωδικός	Δείγμα	Fe_2O_3	SiO_2	Ni
		% κ.β.	% κ.β.	gr/t
M81	Γ3 0 - 4	11,58	63,90	5199
M82	Γ3 4 - 8	24,31	53,80	7111

$\text{Fe}_{(\text{total})}$ ως Fe_2O_3

Πίν. 11 Συγκεντρωτικός πίνακας δειγματοληπτικής γεώτρησης Γ4
Περιεκτικότητες Fe_2O_3 – Ni

Κωδικός	Δείγμα	Fe_2O_3	SiO_2	Ni
		% κ.β.	% κ.β.	gr/t
M43	Γ4 59 - 66,5	5,55	62,22	3770
M48	Γ4 50 - 59	7,61	63,29	4920
M39	Γ4 81 - 88	16,60	67,10	4180
M34	Γ4 66,5 - 70	21,40	55,70	6522
M32	Γ4 72 - 77	22,00	58,00	6125
M36	Γ4 77 - 81	37,50	52,40	8552
M42	Γ4 88 - 90	41,20	44,30	9011
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	21,69	57,57	6154

$\text{Fe}_{(\text{total})}$ ως Fe_2O_3

Πίν. 12 Συγκεντρωτικός πίνακας δειγματοληπτικής γεώτρησης Γ5
Περιεκτικότητες Fe_2O_3 - Ni

Κωδικός	Δείγμα	Fe_2O_3	SiO_2	Ni
		% κ.β.	% κ.β.	gr/tn
M41	Γ5 90-85	3,17	42,16	2762
M47	Γ5 102-100	8,38	32,80	3458
M19	Γ5 106-102	10,84	70,06	4140
M33	Γ5 100-95	17,00	11,10	5010
M30	Γ5 97,5	17,03	59,05	5685
M17	Γ5 117,2	21,43	63,94	6209
M65	Γ5 107,5	24,06	55,60	6521
M37	Γ5 108-106	24,70	62,50	6940
M31	Γ5 110-108	26,70	53,50	7196
M38	Γ5 118-117	26,70	53,90	6230
M18	Γ5 118	26,72	52,55	8222
M23	Γ5 117	28,65	55,02	8369
M44	Γ5 120-118	29,40	50,70	7980
M20	Γ5 116,8	30,90	49,92	8011
M24	Γ5 116,6	31,80	55,43	7297
M16	Γ5 113,7	32,45	52,58	7382
M15	Γ5 113	38,23	47,10	9500
M45	Γ5 111,3	41,50	44,30	10155
M64	Γ5 110,2	44,34	39,06	12556
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		25,47	50,07	7033

$\text{Fe}_{(\text{total})}$ ως Fe_2O_3

Προκειμένου να κατηγοριοποιηθεί ποιοτικά το μέταλλευμα σε σχέση με την περιεκτικότητα σε νικέλιο εφαρμόστηκε ο παρακάτω κανόνας, όπως φαίνεται στον πίνακα 13 (Πιν.13).

Πίν.13 Κατηγοριοποίηση του λατερίτη σε ποιότητες σε σχέση με την περιεκτικότητα του σε Ni (% κ.β.)

Σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα υψηλής περιεκτικότητας σε Ni	$\text{Ni} \geq 0.9 \%$
Σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα μέτριας περιεκτικότητας σε Ni	$0.5 \% < \text{Ni} < 0.9 \%$
Στείρος	$\text{Ni} \leq 0.5 \%$

Εκτός του νικελίου το μέταλλευμα εκτιμήθηκε επιπλέον ποιοτικά και σε σχέση με την περιεκτικότητά του σε οξείδια του σιδήρου, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί (Πιν.14).

Πίν.14 Κατηγοριοποίηση του λατερίτη σε ποιότητες σε σχέση με την περιεκτικότητά του σε οξείδια σιδήρου (% κ.β.)

Λατερίτης ποιότητας Α	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 25 \% \text{ κ.β.}$
Λατερίτης ποιότητας Β	$10 \% \text{ κ.β.} \leq \text{Fe}_2\text{O}_3 < 25 \%$
Στείρος	$\text{Fe}_2\text{O}_3 < 10\%$

Οι πίνακες Πιν.15 έως Πιν.19 έχουν προκύψει από επεξεργασία των δεδομένων που δίδονται στους πίνακες Πιν.1 έως Πιν. 5 με την εφαρμογή των κανόνων των πινάκων Πιν.13 και Πιν.14 στους οποίους παρουσιάζεται η αξιολόγηση της κάθε γεώτρησης ξεχωριστά τόσο για το Ni όσο και για τα οξείδια του σιδήρου.

Πιν. 15 Κατηγοριοποίηση σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος γεώτρησης Γ1

ΓΕΩΤΡΗΣΗ Γ1					
<i>Βάθος στήλης ΑΠΟ</i>	<i>Βάθος στήλης ΜΕΧΡΙ</i>	<i>Fe₂O₃ (% κ.β.)</i>	<i>Ni (% κ.β.)</i>	<i>Κατάταξη</i>	
				<i>Ως προς τα οξείδια Fe</i>	<i>Ως προς το Ni</i>
0	10	<10	0,08	Στείρος	Στείρο
10	12,5	35,3	0,76	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
12,5	13,5	12,1	0,47	Λατερίτης ποιότητας Β	Στείρο
13,5	14,5	16,6	0,55	Λατερίτης ποιότητας Β	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
14,5	15,5	29,4	0,86	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
15,5	16,5	49,3	1,06	Λατερίτης ποιότητας Α	Ni ≥ 0.9 %
16,5	17,8	32	0,83	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
17,8	27	<10	0,05	Στείρος	Στείρο
27	28	20,6	0,36	Λατερίτης ποιότητας Β	Στείρο
28	29,2	19,5	0,49	Λατερίτης ποιότητας Β	Στείρο
29,2	30	36,2	0,89	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
30	37,5	26,1	0,66	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
37,5	38,7	24,9	0,52	Λατερίτης ποιότητας Β	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
38,7	40	24,7	0,74	Λατερίτης ποιότητας Β	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
40	40,5	21,1	0,50	Λατερίτης ποιότητας Β	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
40,5	41,5	27,1	0,61	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
41,5	43,4	33,9	0,87	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
43,4	45,6	18,2	0,73	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
45,6	46,5	<10	0,08	Στείρος	Στείρο
46,5	65	<10	0,07	Στείρος	Στείρο

Πιν. 16 Κατηγοριοποίηση σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος γεώτρησης Γ2

ΓΕΩΤΡΗΣΗ Γ2					
<i>Βάθος στήλης ΑΠΟ</i>	<i>Βάθος στήλης ΜΕΧΡΙ</i>	<i>Fe₂O₃ (%κ.β.)</i>	<i>Ni (% κ.β.)</i>	<i>Κατάταξη</i>	
				<i>Ως προς τα οξείδια Fe</i>	<i>Ως προς το Ni</i>
0	3	<10	0,09	Στείρος	Στείρο
3	8	22	0,85	Λατερίτης ποιότητας Β	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
8	10	<10	0,19	Στείρος	Στείρο
10	18	<10	0,18	Στείρος	Στείρο
18	20	<10	0.10	Στείρος	Στείρο
20	22	<10	0.22	Στείρος	Στείρο
22	29	20	0.42	Λατερίτης ποιότητας Β	Στείρο
29	30	<10	0.31	Στείρος	Στείρο
30	34	<10	0.28	Στείρος	Στείρο
34	38	26,2	0.65	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
38	39,7	30,5	0.89	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
39,7	40,5	25,3	0.57	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
40,5	41,5	31,3	0.64	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
41,5	42,5	28,5	0.62	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
42,5	43,5	36	0.66	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
43,5	44,2	18,3	0.59	Λατερίτης ποιότητας Β	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
44,2	45,2	55.8	1.12	Λατερίτης ποιότητας Α	Ni ≥ 0.9 %
45,2	46.5	16.5	0.59	Λατερίτης ποιότητας Β	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
46.5	47.2	16.1	0.49	Λατερίτης ποιότητας Β	Στείρο

Πιν. 17 Κατηγοριοποίηση σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος γεώτρησης Γ3

ΓΕΩΤΡΗΣΗ Γ3					
Βάθος στήλης ΑΠΟ	Βάθος στήλης ΜΕΧΡΙ	Fe ₂ O ₃ (% κ.β.)	Ni (% κ.β.)	Κατάταξη	
				Ως προς τα οξείδια Fe	Ως προς το Ni
0	4	12	0.52	Λατερίτης ποιότητας Β	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
4	8	24	0.71	Λατερίτης ποιότητας Β	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
8	28	<10	0.31	Στείρος	Στείρο

Πιν. 18 Κατηγοριοποίηση σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος γεώτρησης Γ4

ΓΕΩΤΡΗΣΗ Γ4					
Βάθος στήλης ΑΠΟ	Βάθος στήλης ΜΕΧΡΙ	Fe ₂ O ₃ (%κ.β.)	Ni (% κ.β.)	Κατάταξη	
				Ως προς τα οξείδια Fe	Ως προς το Ni
0	10	<10	0,07	Στείρος	Στείρο
10	50	<10	0,09	Στείρος	Στείρο
50	59	<10	0,49	Στείρος	Στείρο
59	66,5	<10	0,38	Στείρος	Στείρο
66,5	70	21,4	0,65	Λατερίτης ποιότητας Β	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
70	77	22	0,61	Λατερίτης ποιότητας Β	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
77	81	37,5	0,86	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
81	88	16,6	0,42	Λατερίτης ποιότητας Β	Στείρο
88	90	41,2	0,9	Λατερίτης ποιότητας Α	Ni ≥ 0.9 %
90	95	<10	0,28	Στείρος	Στείρο
95	97	<10	0,21	Στείρος	Στείρο
97	98	<10	0,17	Στείρος	Στείρο

Πιν. 19 Κατηγοριοποίηση σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος γεώτρησης Γ5

ΓΕΩΤΡΗΣΗ Γ5					
Βάθος στήλης ΑΠΟ	Βάθος στήλης ΜΕΧΡΙ	Fe ₂ O ₃ (%κ.β.)	Ni (% κ.β.)	Κατάταξη	
				Ως προς τα οξείδια Fe	Ως προς το Ni
0	20	<10	0,12	Στείρος	Στείρο
20	30	<10	0,18	Στείρος	Στείρο
30	50	<10	0,14	Στείρος	Στείρο
50	74	<10	0,31	Στείρος	Στείρο
74	90	<10	0,28	Στείρος	Στείρο
90	95	<10	0,33	Στείρος	Στείρο
95	100	17	0,50	Λατερίτης ποιότητας Β	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
100	102	<10	0,35	Στείρος	Στείρο
102	106	10,4	0,41	Λατερίτης ποιότητας Β	Στείρο
106	108	24,7	0,69	Λατερίτης ποιότητας Β	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
108	110	26,7	0,72	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
110	111	44,3	1,07	Λατερίτης ποιότητας Α	Ni ≥ 0.9 %
111	114	37,4	0,73	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
114	117	30,5	0,77	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
117	118	24,1	0,72	Λατερίτης ποιότητας Β	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %
118	120	29,4	0,80	Λατερίτης ποιότητας Α	0.5 % ≤ Ni < 0.9 %

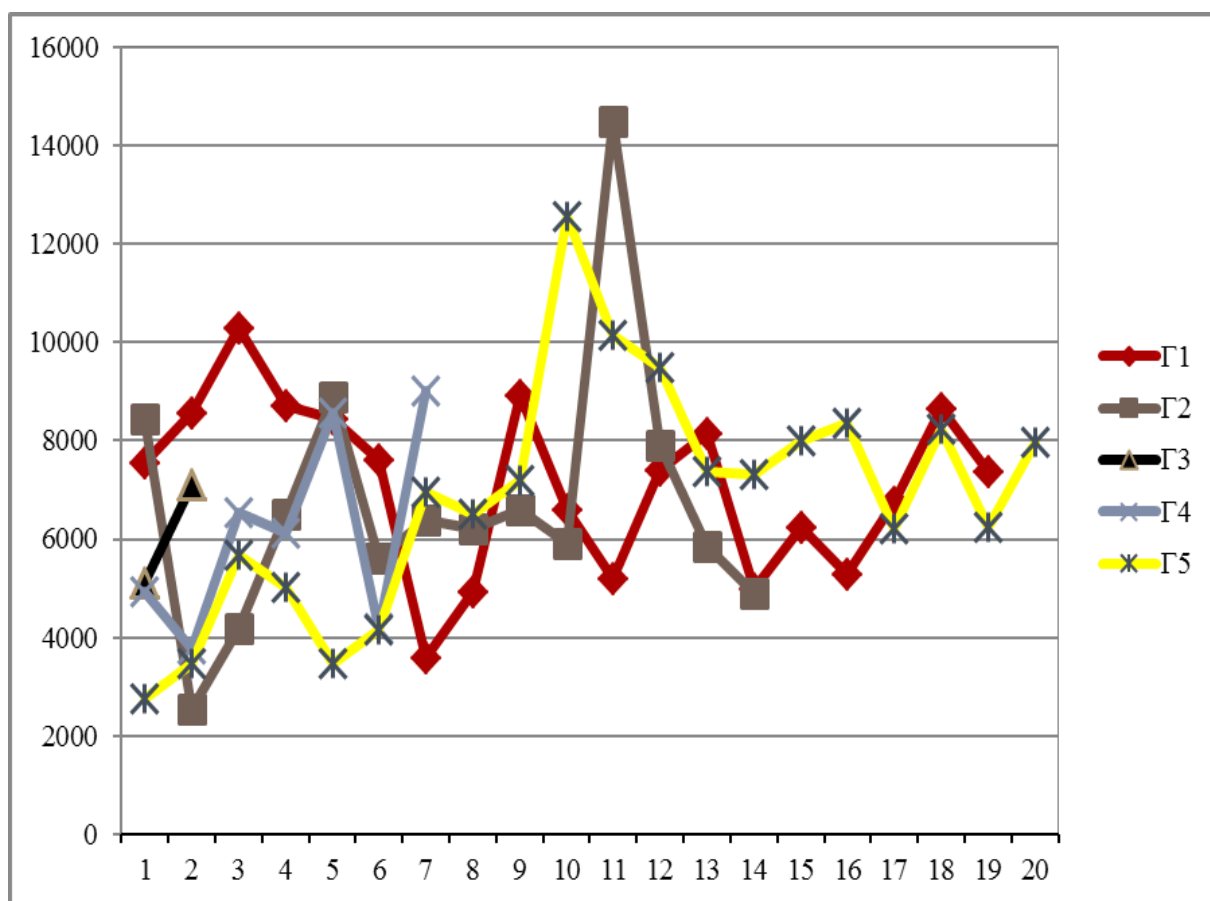
Ως προς το Ni, αξιολογώντας τις τιμές των παραπάνω πινάκων σε σχέση με τα βάθη εμφάνισης υψηλής ή μέτριας περιεκτικότητας του σιδηρομεταλλεύματος σε Ni, συμπεραίνουμε ότι εμφανίζεται σε οριζόντες μεταβαλλόμενης περιεκτικότητας. Τα βάθη εμφάνισης όπως και το πάχος των οριζόντων αυτών ποικίλουν ακολουθώντας σε γενικές γραμμές τα βάθη στα οποία το μέταλλευμα εμφανίζει μεγαλύτερη ή μικρότερη περιεκτικότητα σε οξείδια του Fe.

Αναλυτικότερα:

- Γ1: αυξημένη περιεκτικότητα σε Ni σε βάθος από 10m – 12.5m, 13.5 – 17.8m και από 29.2 - 45,6m με παρεμβολή λεπτών στειρών οριζόντων μεταλλεύματος πάχους 1m

- Γ2: αυξημένη περιεκτικότητα σε Ni μεταξύ 34 – 45,2m βάθους αντίστοιχα
- Γ3: αυξημένη περιεκτικότητα σε Ni από 0 - 8m
- Γ4. αυξημένη περιεκτικότητα σε Ni από 66,5 – 81m και 88 - 90m βάθους αντίστοιχα
- Γ5. αυξημένη περιεκτικότητα σε Ni από 95 - 100m και 106 – 120m βάθους όπου τερμάτισε η γεώτρηση

Με βάση τα δεδομένα των πινάκων (Πιν.2 – Πιν.6 και Πιν.15 – Πιν.19) κατασκευάστηκε διάγραμμα κατανομής του νικελίου στους μεταλλοφόρους ορίζοντες της κάθε γεώτρησης, όπου παρατηρείται αλληλοδιαδοχή οριζόντων πλουσιότερων σε νικέλιο με άλλους φτωχότερους στο στοιχείο αυτό. Είναι γνωστό ότι το νικέλιο συχνά κινητοποιείται δευτερογενώς σε βαθύτερους ορίζοντες, με αποτέλεσμα το μέταλλο να είναι πιο εμπλουτισμένο.



Διαγρ.1 Κατανομή νικελίου (gr/t) στους μεταλλοφόρους ορίζοντες της κάθε γεώτρησης συναρτήσει του βάθους

Όσον αφορά τα οξείδια του σιδήρου των αποτελεσμάτων της πυρηνοληψίας των γεωτρήσεων Γ1 - Γ5, προκύπτει ότι το βάθος που παρουσιάζεται αυξημένη περιεκτικότητα σε σιδηροξείδια ποικίλει.

Αναλυτικότερα:

Γ1: αυξημένη συγκέντρωση σιδηροξειδίων σε βάθος από 10m έως 17,8 και από 27 έως 45,6m

Γ2: αυξημένη συγκέντρωση σιδηροξειδίων από 3 – 8m, 22 – 29m και από 34 – 47,2m

Γ3: αυξημένη συγκέντρωση σιδηροξειδίων από 0 - 8m

Γ4: αυξημένη συγκέντρωση σιδηροξειδίων από 66,5 - 90m

Γ5: αυξημένη συγκέντρωση σιδηροξειδίων από 95 – 100m και 102 - 120m όπου τερμάτισε η γεώτρηση χωρίς να αποκλείεται η πιθανότητα να συνεχίζει η μεταλλοφορία και σε μεγαλύτερα βάθη.

Η φαινόμενη κλίση που ακολουθεί το μέταλλευμα, έχει κατεύθυνση προς ΝΔ, με κλίση που ποικίλλει από θέση σε θέση (20° - 40°).

Δεδομένου ότι το Ni έχει θετικό συντελεστή συσχέτισης με τον Fe, όπως υπολογίστηκε για το σύνολο των δειγμάτων (ολικές χημικές αναλύσεις – bulk analyses) και συγκεντρωτικά παρουσιάζεται μαζί με άλλους αντίστοιχους συντελεστές στον πίνακα που παρατίθεται (Πίν.20), αυξημένη συγκέντρωση σε οξείδια του Fe συνοδεύεται από αντίστοιχη αυξημένη περιεκτικότητα σε Ni για τα ίδια βάθη. Εξάλλου αυτό αποτυπώνεται στον Πίν. 21 που ακολουθεί, όπου η περιεκτικότητα σε Ni είναι μεγαλύτερη για Λατερίτη Α' από τον αντίστοιχο Β' ακολουθώντας την αυξημένη περιεκτικότητα οξειδίων του Fe, σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας.

Πίν. 20 Συντελεστής συσχέτισης στοιχείων

Δείκτες συσχέτισης (78 δείγματα)		
Fe/Ni = 0,70	Fe/Si = - 0,75	Si/Al = 0,12
Si/Ni = - 0,40		Fe/Cr = 0,10

Πίν. 21 Συγκεντρωτικός πίνακας περιεκτικότητας $Fe_2O_3 - Ni$ ανά θέση δειγματοληψίας (Μ.Τ.: το πλήθος των χημ. αναλύσεων δίδεται σε παρένθεση)

Δείγμα	Μ.Τ.	
	Fe_2O_3	Ni
	% κ.β.	gr/tn
ΠΕΔΙΟ		
ΛΑΤΕΡΙΤΗΣ Α' (13)	44,34	8233
ΛΑΤΕΡΙΤΗΣ Β' (4)	14,49	5453
Γ1		
ΛΑΤΕΡΙΤΗΣ Α' (14)	32,30	7888
ΛΑΤΕΡΙΤΗΣ Β' (6)	21,20	5294
Γ2		
ΛΑΤΕΡΙΤΗΣ Α' (6)	36,17	7826
ΛΑΤΕΡΙΤΗΣ Β' (8)	17,30	5306
Γ3		
ΛΑΤΕΡΙΤΗΣ Β (2)	17,95	6155
Γ4		
ΛΑΤΕΡΙΤΗΣ Α' (5)	39,35	8782
ΛΑΤΕΡΙΤΗΣ Β' (2)	14,63	5103
Γ5		
ΛΑΤΕΡΙΤΗΣ Α' (11)	32,49	8445
ΛΑΤΕΡΙΤΗΣ Β' (7)	15,83	5091

$Fe_{(total)}$ ως Fe_2O_3

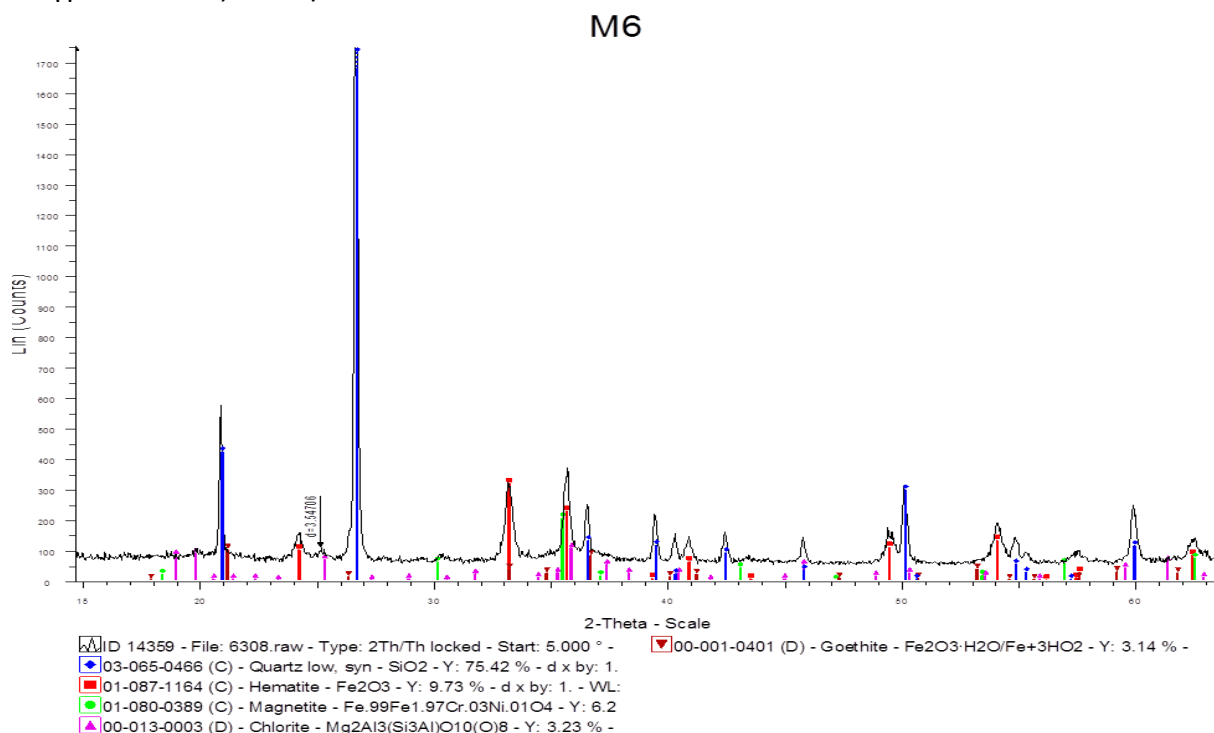
Στο εξετασθέν μετάλλευμα, για όλες τις θέσεις δειγματοληψίας, η μέση περιεκτικότητα οξειδίων σιδήρου είναι 29,3% και η περιεκτικότητα του σε Ni είναι 0,71%. Στον υπολογισμό των μεγεθών αυτών έχουν συμπεριληφθεί και μετρήσεις στείρου λατερίτη (με κυμαινόμενες περιεκτικότητες σε οξείδια σιδήρου από 3,2% κ.β. έως 9,6% κ.β.) Σημειώνεται ότι αν οι συγκεκριμένες μετρήσεις του στείρου λατερίτη παραλειφθούν τότε η περιεκτικότητα του μεταλλεύματος σε οξείδια του σιδήρου και σε νικέλιο είναι 31,2% κ.β. και 0,74% κ.β. αντίστοιχα.

Όσον αφορά τον Λατερίτη ποιότητας Α', η περιεκτικότητα σε οξείδια του Fe είναι 36,55% κ.β. και σε Ni 0,81% κ.β. αντίστοιχα. Για τον Λατερίτη ποιότητας Β' οι αντίστοιχες τιμές διαμορφώνονται σε 19,41% κ.β. για τα οξείδια του Fe και 0,57% κ.β. για την περιεκτικότητα του σε Ni. Κρίνεται αναγκαίο στο σημείο αυτό να διευκρινιστεί ότι τα οξείδια του Fe και τα αντίστοιχα ορυκτά αυτού, αποτελούν τον δείκτη μεταλλοφορίας του μεταλλεύματος που εξετάζεται. Το Ni δεν είναι στενά συνδεδεμένο στο ίδιο ορυκτό με τον Fe. Παρόλα αυτά συσχετίζεται με αυτόν, περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο από τα εξεταζόμενα στοιχεία (Πίν.20). Για το λόγο αυτό και επιλέγεται να διερευνηθεί με την βοήθεια των δύο αυτών στοιχείων, η ανάπτυξη της μεταλλοφορίας στην συγκεκριμένη θέση.

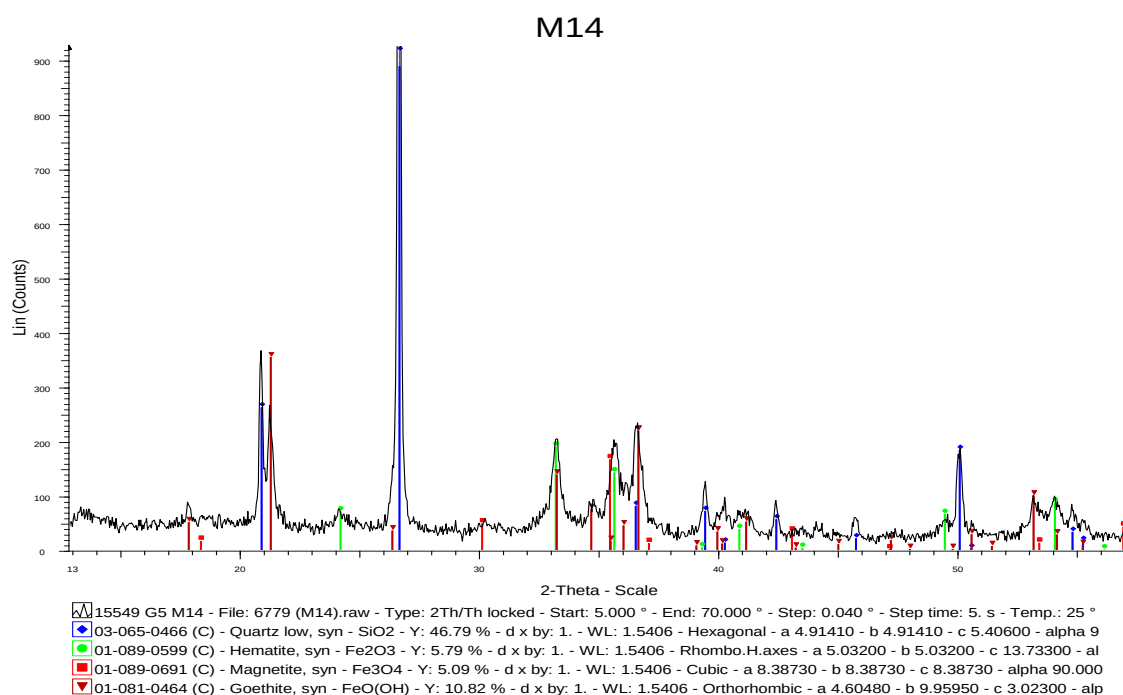
Ε.2.3 Ακτινογραφική ορυκτολογική ανάλυση με τη μέθοδο PXRD

Επιλέχθηκαν 5 αντιπροσωπευτικά δείγματα από 12 ακτινοδιαγράμματα συνολικά προκειμένου να παρουσιαστεί η ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων αυτών.

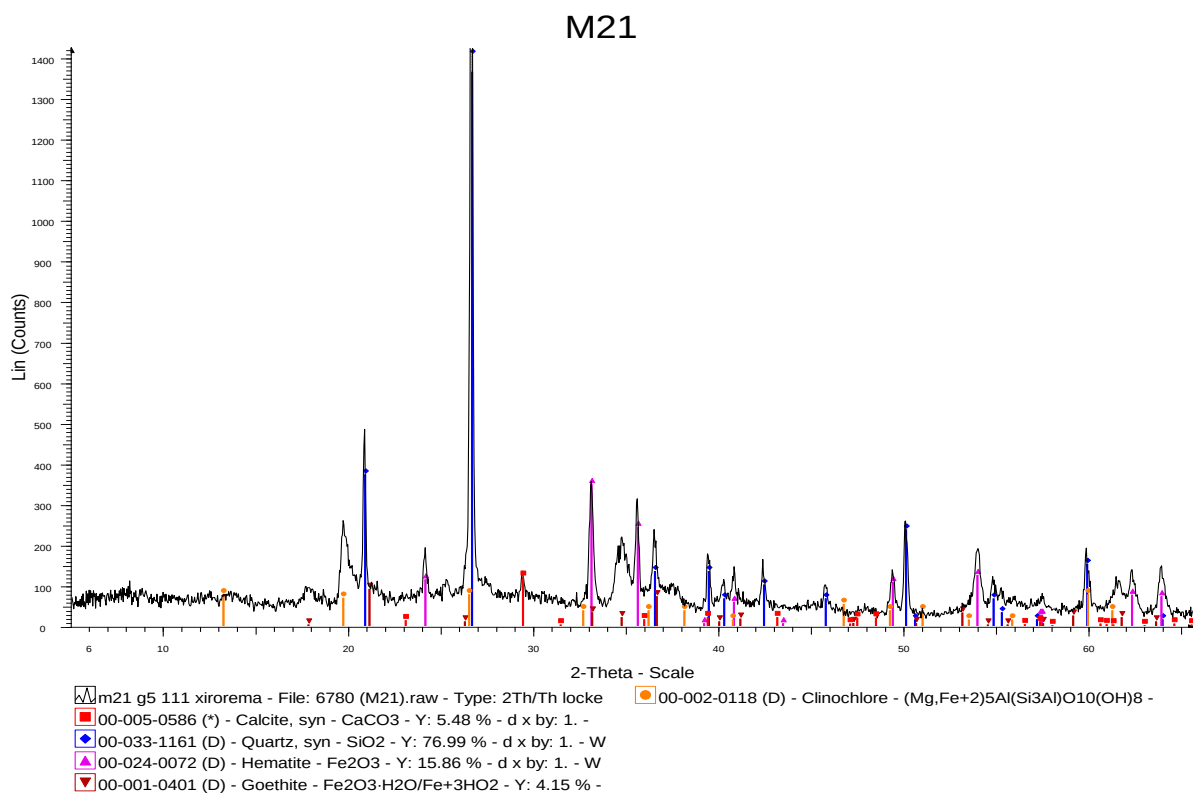
Στα παρακάτω διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ και στο υπόμνημα που το συνοδεύει παρουσιάζονται τα ορυκτολογικά συστατικά που ταυτοποιήθηκαν για τα δείγματα που εξετάστηκαν.



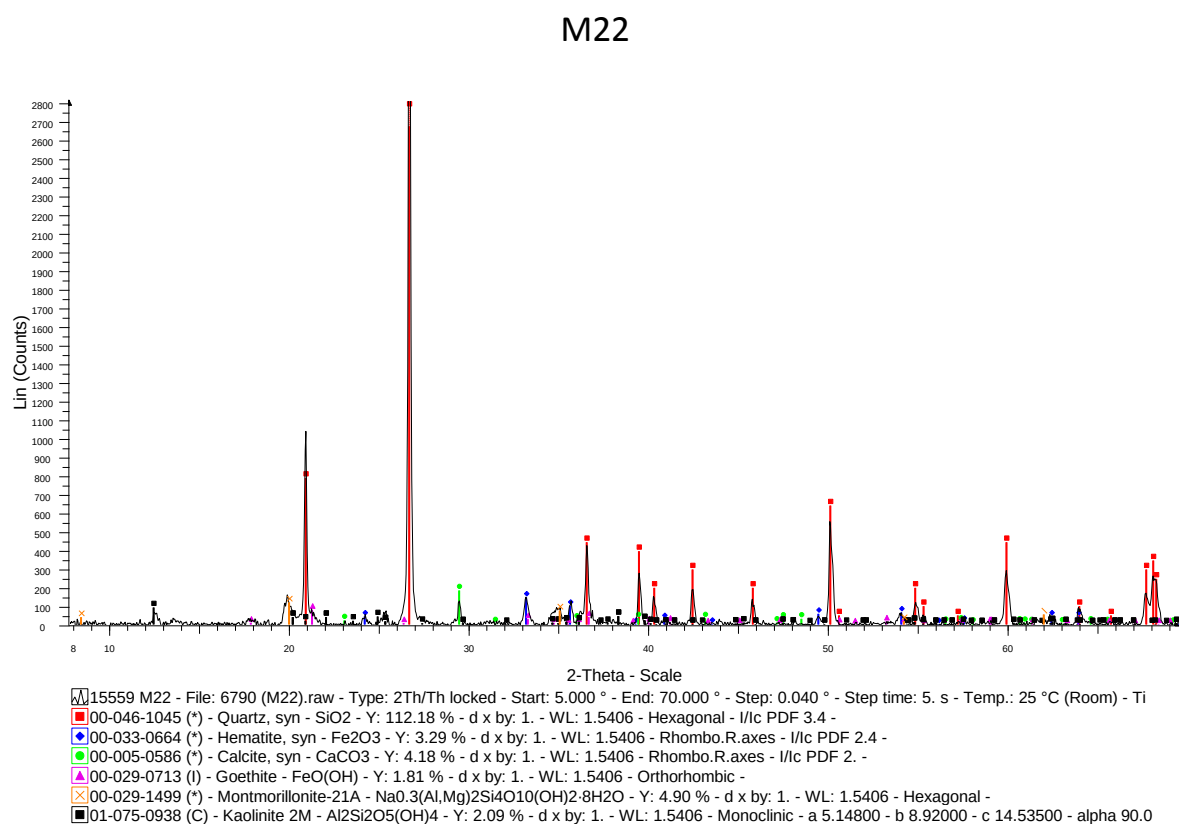
Διαγρ.2 Ανάλυση περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ δείγματος M6



Διαγρ.3 Ανάλυση περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ δείγματος M14

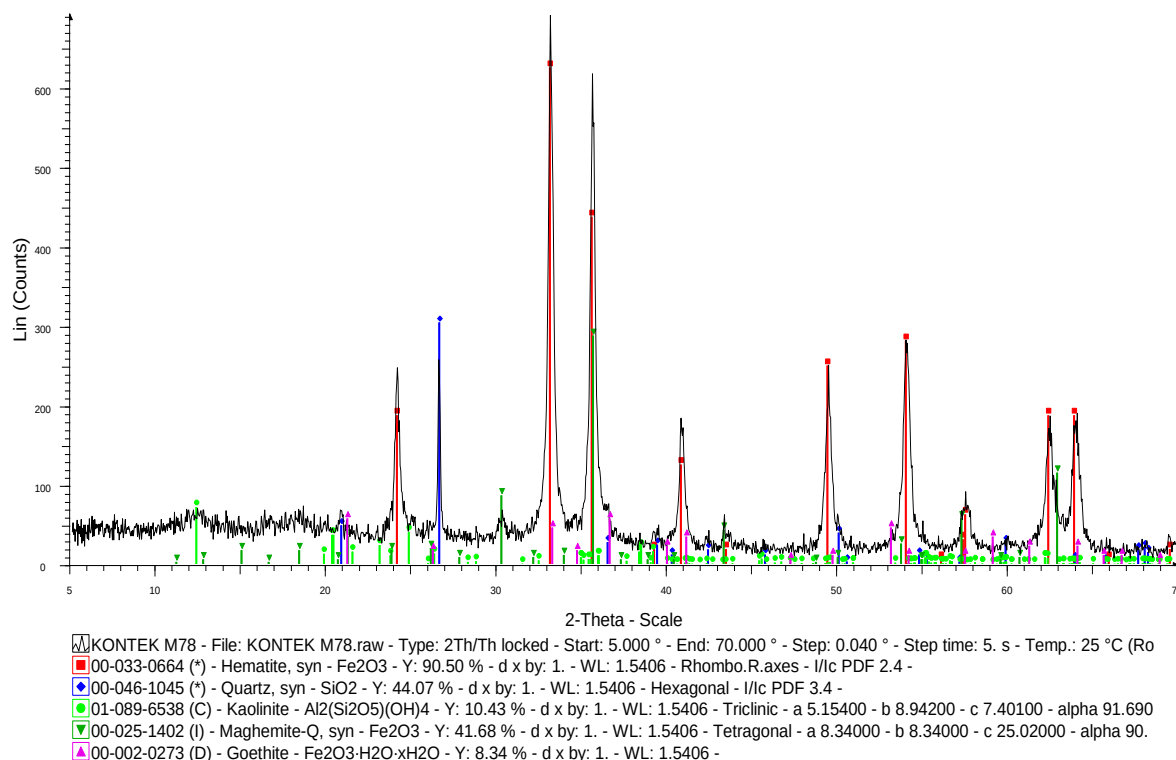


Διαγρ.4 Ανάλυση περιθλασιμετρίας ακτίνων X δείγματος M21



Διαγρ.5 Ανάλυση περιθλασιμετρίας ακτίνων X δείγματος M22

M78



Διαγρ.6 Ανάλυση περιθλασιμετρίας ακτίνων X δείγματος M78

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δειγμάτων με PXRD παρατίθενται στον πίνακα 18 όπου απεικονίζονται οι ορυκτολογικές συστάσεις των πέντε δειγμάτων που εξετάστηκαν. Με τη χρήση του προγράμματος TOPAS (v. 3.0) πραγματοποιήθηκε ημιοσοτικός ορυκτολογικός προσδιορισμός των φάσεων του Πίνακα 18 με τις ορυκτολογικές αναλύσεις των πέντε δειγμάτων να δίδονται στον Πίνακα 19.

Πίν.18 PXRD Ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων

Δείγμα	Ορυκτό								
	Gth	Cal	Hem	Mag	Chl	Qz	Mgh	Mnt	Kln
M6	+	-	+	+	+	+	-	-	-
M14	+	-	+	+	-	+	-	-	-
M21	+	+	+	+	+	+	-	-	-
M22	+	+	+	+	-	+	-	+	+
M78	-	-	+	-	-	+	+	-	+

Επεξήγηση - Gth: Γκαϊτίτης, Hem: Αιματίτης, Chl: Χλωρίτης, Qz: Χαλαζίας, Mgh: Μαγκεμίτης
Mag: Μαγνητίτης, Cal: Ασβεστίτης, Kln : Καολινίτης, Mnt: Μοντμοριλλονίτης

Πίν. 19 Ημιοσοτική ορυκτολογική ανάλυση (%) με χρήση TOPAS

Δείγμα	Ορυκτό								
	Gth	Cal	Hem	Mag	Chl	Qz	Mgh	Mnt	Kln
M6	4,4	-	22,6	3,2	11,1	58,7	-	-	-
M14	27,8	-	14	5,4	-	52,8	-	-	-
M21	9	1,1	13,7	6	19,1	51,1	-	-	-
M22	12,9	1,2	3,3	2,3	-	68,7	-	0,7	13,3
M78	2,7	-	81,3	-	-	7,4	8,3	-	0,4

Επεξήγηση - Gth: Γκαϊτίτης, Hem: Αιματίτης, Chl: Χλωρίτης, Qz: Χαλαζίας, Mgh: Μαγκεμίτης
Mag: Μαγνητίτης, Cal: Ασβεστίτης, Kln : Καολινίτης, Mnt: Μοντμοριλλονίτης

Από τον παραπάνω πίνακα εξάγεται το συμπέρασμα ότι ορυκτά των οξειδίων του σιδήρου και ο χαλαζίας αποτελούν τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά των αναλυθέντων δειγμάτων, ενώ σημαντική μπορεί να είναι και η συμμετοχή του χλωρίτη.

E.2.4 Ηλεκτρονικές μικροαναλύσεις (SEM)

Οι ηλεκτρονικές μικροαναλύσεις και οι παρατηρήσεις SEM πραγματοποιήθηκαν στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, στο Τμήμα Γεωλογίας, στον Τομέα Γεωχημείας-Κοιτασματολογίας, καθώς και στο ΕΚΒΑΑ (πρ. ΙΓΜΕ). Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε σύστημα αναλυτικού ηλεκτρονικού μικροσκοπίου τύπου JEOL JSM-5600 που περιλαμβάνει ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης για μορφολογική παρατήρηση μεταλλογραφικών δειγμάτων και λήψη εικόνων μεγάλης ευκρίνειας δευτερογενών και οπισθοσκεδαζόμενων ηλεκτρονίων καθώς και σύστημα για στοιχειακή ηλεκτρονική μικροανάλυση (EPMA) με φασματομέτρο ακτίνων Χ διασποράς ενέργειας (EDS) τύπου OXFORD LINK ISIS 300. Διορθώσεις ZAF έγιναν με ειδικό πρόγραμμα της JEOL. Οι συνθήκες λειτουργίας του οργάνου ήταν: Τάση δέσμης ηλεκτρονίων 20kV, ένταση 0.5nA και 50s νεκρό χρόνο. Για το ΙΓΜΕΜ αντίστοιχα το σύστημα στοιχειακής μικροανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν τύπου OXFORD PENTAFET (με λογισμικό της INCA και δυνατότητα χαρτογράφησης της κατανομής των στοιχείων). Το σύστημα λειτουργούσε με τάση δέσμης 20kV, 1.5 nA, χρόνο ανάλυσης (dead time) από 20-100s και μεγέθυνση από x35 έως x4500.

Η ανάλυση των δεδομένων που προκύπτουν από αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μικροαναλύσεων και από την παρατήρηση των ιστών και υφών των δειγμάτων που ελήφθησαν μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το μετάλλευμα αποτελεί έναν συνδυασμό πηλολιθικού, αλλά και συμπαγούς κατά θέσεις, κλαστικού ιζηματογενούς λατεριτικού πετρώματος, αποτελούμενο από ορυκτά σε λεπτομερή καταμερισμό (Φωτ.56).

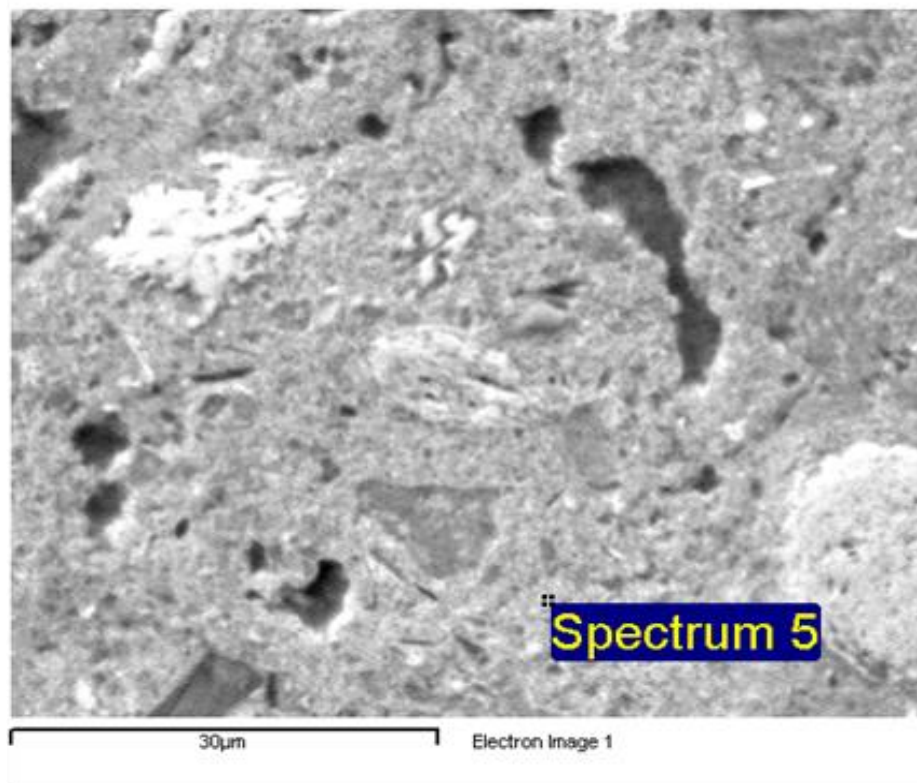
Παρατηρώντας την Φωτ.57 όπου αποτυπώνεται το εύρος της δέσμης των ηλεκτρονίων, φαίνεται ότι το μετάλλευμα αποτελείται από συνονθύλευμα κόκκων πολύ μικρότερων διαστάσεων. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι ακόμα και αν γίνει μεγαλύτερη μεγέθυνση για να αναλύσουμε έναν κόκκο, τελικά στην ουσία η χημική ανάλυση που προκύπτει αφορά όχι μόνο τον μεμονωμένο κόκκο που εξετάζουμε αλλά και την συγκολλητική ύλη πέριξ αυτού, εκτός βεβαίως και από περιπτώσεις όπως αυτή που αποτυπώνεται στην Φωτ.58, όπου και πάλι σε μεγαλύτερη μεγέθυνση ειδικά στον χρωμίτη φαίνεται η ανομοιογένεια της επιφάνειας του με παρουσία ασυνεχειών - κενών.

Κατά τη μικροαναλυτική εργασία των διαφόρων ορυκτών φάσεων στη ζώνη του μεταλλεύματος που διερευνήθηκε, προέκυψε ότι οι αναλύσιμες καθαρές ορυκτές φάσεις σπανίζουν με την συνδετική ύλη να αποτελείται κυρίως από χαλαζία, ορυκτά του Fe (αιματίτη, γκαιτίτη, μαγνητίτη σε κυμαινόμενες μεταξύ τους αναλογίες συμμετοχής) και χλωρίτη. Αργιλικά ορυκτά απαντώνται επίσης σε σχετικά μικρές συγκεντρώσεις, συνήθως ιλλίτης, καολινίτης και μοντμοριλλονίτης, ενώ εμφανής είναι η παρουσία κλαστικών κόκκων χρωμίτη. Πιο αναλυτικά έχουμε:

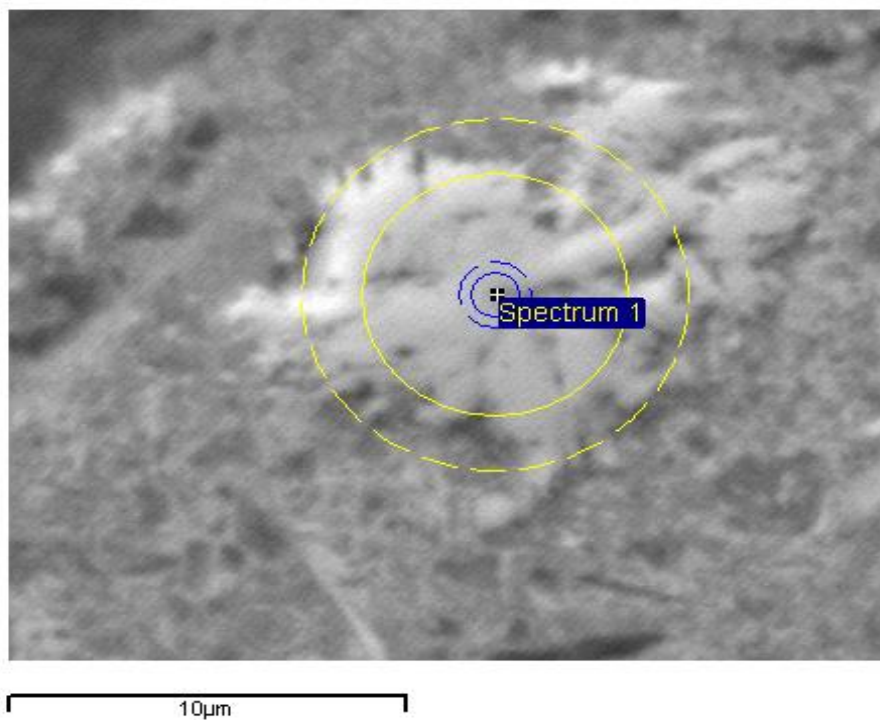
- ορυκτά του σιδήρου όπως αιματίτη, γκαιτίτη, μαγνητίτη σε κυμαινόμενες μεταξύ τους αναλογίες, που σχηματίζουν μετάλλευμα άλλοτε συμπαγούς και άλλοτε πηλολιθικού ιστού (Φωτ.38, 59, 61α)
- κατακερματισμένους κόκκους χρωμίτη (Φωτ.58)

- άφθονα θραύσματα κυρίως πυριτικής και αργλικής σύστασης με κύρια ορυκτά χαλαζία, χλωρίτη, ιλλίτη και καολινίτη, αλλά και σιδηροξείδια σε λεπτομερή καταμερισμό (Φωτ.56, 58)
- συγκολλητική ύλη αποτελούμενη από θραύσματα σιδηρούχου σύστασης (κυρίως αιματίτη, γκαιτίτη) και αργλικής σύστασης με κύριο νικελιούχο ορυκτό κατά θέσεις τον χλωρίτη (Φωτ.58, 60α, 60β, 61β).

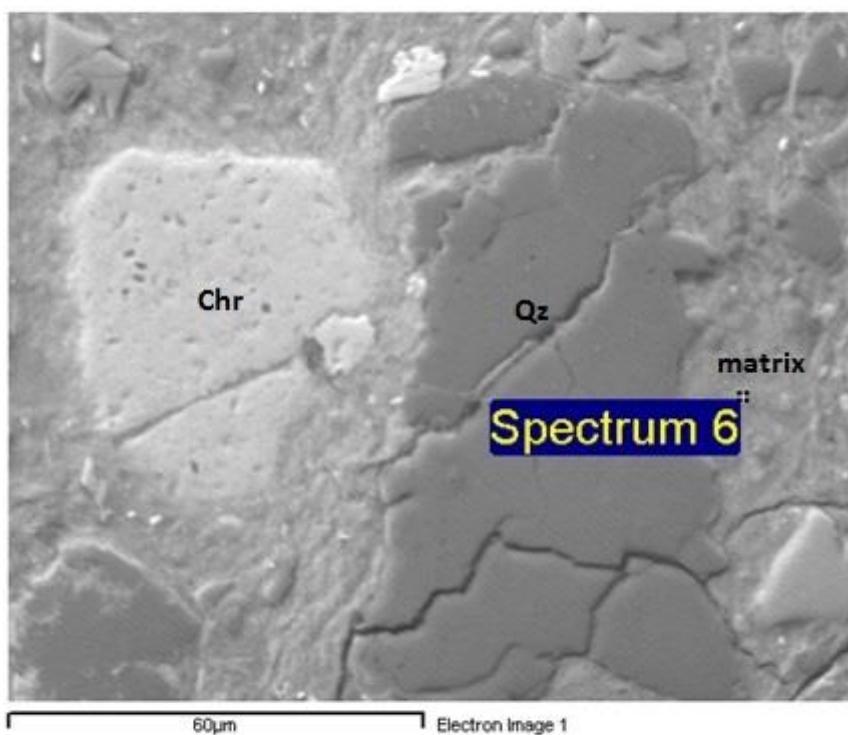
Μέσα στη μάζα του μεταλλεύματος εμφανίζονται κατακλαστικοί κόκκοι σπινελλίων των οποίων οι κρύσταλλοι αποτελούνται από σκουρόχρωμο, πλούσιο σε Cr πυρήνα χρωμίτη, που εξαλλοιώνεται σταδιακά προς ένα φωτεινό, ασυνεχή τις περισσότερες φορές, δακτύλιο μαγνητίτη πλούσιο σε Cr ενώ ενδιάμεσα μπορεί να παρατηρούνται ασυνεχείς ζώνες σιδηροχρωμίτη ενδιάμεσης φωτεινότητας και ανομοιογενούς σύστασης. Στην προκειμένη περίπτωση, στην Φωτ.61α, παρατηρείται μαγνητίτης ακανόνιστου σχήματος που έχει προκύψει από προχωρημένη φάση μετατροπής, χρωμιτικού πυρήνα και εξαλλοίωση αυτού σε μαγνητίτη με περιεκτικότητα σε NiO 0,6%, Στην Φωτ.61β. παρατηρείται σπινέλλιος που περιέχει NiO σε ποσοστό περίπου 1% (Πίνακας 20).



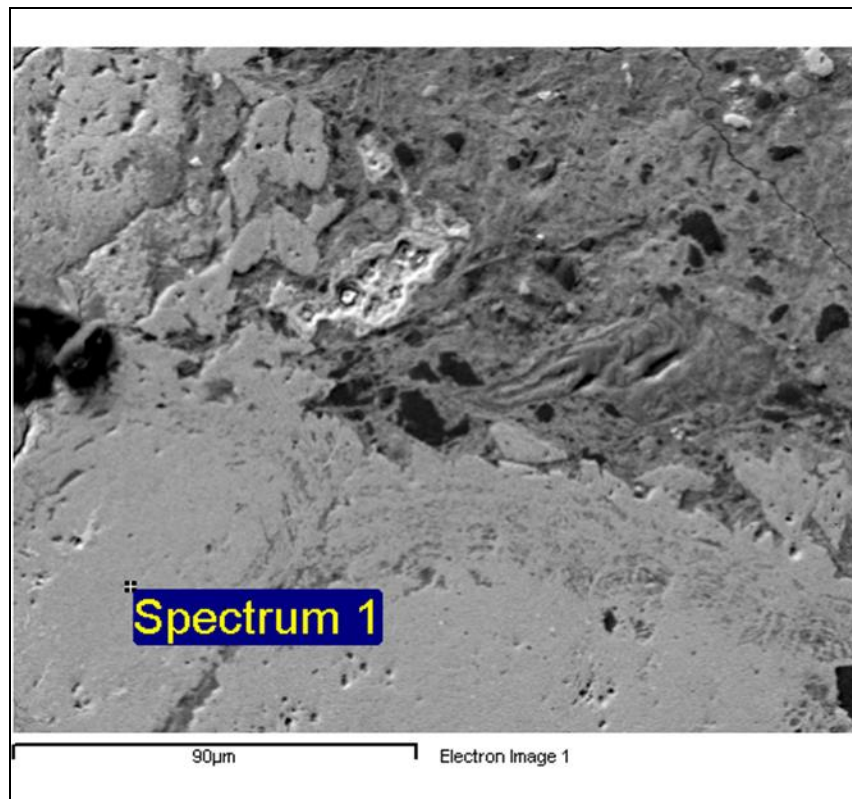
Φωτ.56 Μικροανάλυση SEM του δείγματος



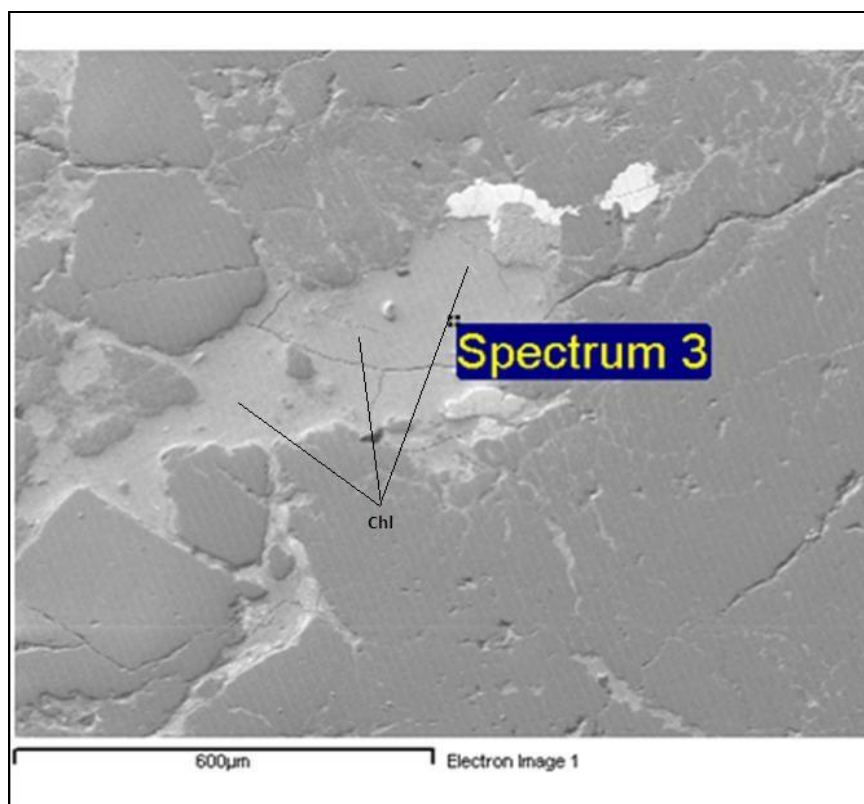
Φωτ.57 Ζώνη επιρροής της δέσμης κατά τον προσδιορισμό της ημιποσοτικής χημικής ανάλυσης



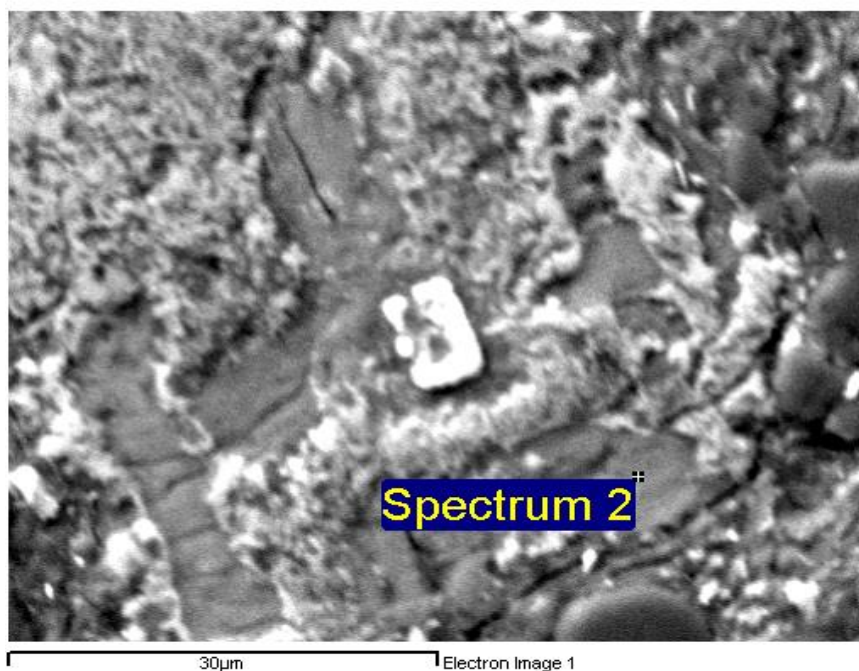
Φωτ.58 Κλαστικοί κόκκοι χρωμίτη, χαλαζία σε συγκολλητική ύλη(matrix) όπου το Ni φιλοξενείται κυρίως στον χλωρίτη



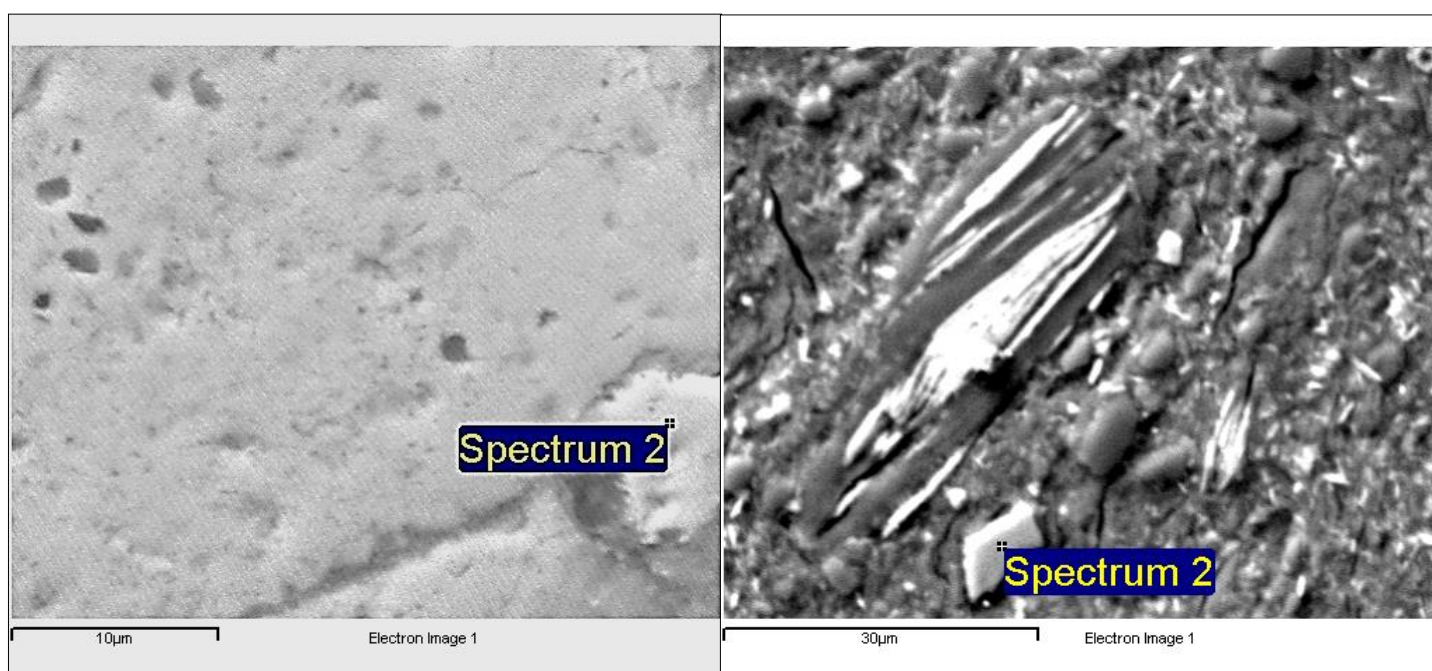
Φωτ.59 Μικροανάλυση μαγνητίτη



Φωτ.60α Μικροανάλυση χλωρίτη



Φωτ.60β Μικροανάλυση χλωρίτη (εμφανίζεται στο χαμηλότερο ανάγλυφο)



Φωτ.61α & 61β Σιδηρούχα και σιδηροχρωμιτούχα φάση εμπλουτισμένη σε Ni.
α.M14 β.M21

Κατά τη μικροαναλυτική εργασία των διαφόρων ορυκτών φάσεων στη ζώνη του μεταλλεύματος που διερευνήθηκε, προέκυψε ότι σε σχέση με την κατανομή του Ni σε αυτές έχουμε αυτό να φιλοξενείται κυρίως στο χλωρίτη (Φωτ.60α & Φωτ.60β) και δευτερευόντως στα ορυκτά του Fe (Φωτ. 59 & Φωτ.61α & Φωτ.61β), όπως φαίνεται και στα ποσοστά του NiO στον Πίνακα 20 που ακολουθεί.

Πίν.20 EPMA αναλύσεις (%)

Δείγμα	M14		M6		M21	
Φωτ.	59	61α	60α	58	60β	61β
Ορυκτό	Gth/Hem	Mag	Chl	matrix	Chl	Chr-spinel
Si ₂ O	3,29	bdl	26,84	27.11	30,30	bdl
Al ₂ O ₃	bdl	bdl	20,97	11.34	16,01	43,77
Fe ₂ O ₃	95,31	96,47	29,78	33.03	21,86	13.63
MgO	bdl	bdl	3,50	3.67	10,49	13,26
CaO	bdl	bdl	bdl	0.98	bdl	bdl
Cr ₂ O ₃	bdl	3,16	2,76	3.40	bdl	28,32
NiO	1,88	0,59	3,16	1,81	8,63	1,03
Total	100,48	100,28	87,01	100,94	87,28	100,01

E.2.5 Σπάνιες Γαίες

Έχοντας υπόψη ότι σε κοιτάσματα καρστικού τύπου κοντά στην επαφή του μεταλλεύματος με τον υποκείμενο ασβεστόλιθο, παρατηρούνται ενίοτε συγκεντρώσεις αυθιγενών ορυκτών των σπανίων γαιών (Skarpelis, 2005) διερευνήθηκε η περίπτωση στους χαμηλότερους ορίζοντες του μεταλλεύματος στις θέσεις των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων Γ1 - Γ5 και προς την ασύμφωνη επαφή τους με τον υποκείμενο ανθρακικό σχηματισμό, να υπάρχει μία ζώνη συγκέντρωσης ορυκτών των σπανίων γαιών όπως για παράδειγμα στην Λοκρίδα (D.G.Eliopoulos, M.Economou-Eliopoulos, 2000). Για το σκοπό αυτό δείγματα ελήφθησαν από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις καθόλο το μήκος της πυρηνοληψίας τους εντός του μεταλλεύματος, ιδιαίτερα στα μεγαλύτερα βάθη διάτρησης και πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων Χ (XRF) προκειμένου να προσδιοριστεί η περιεκτικότητά τους σε σπάνιες γαίες. Συνολικά έγιναν μετρήσεις XRF σε 78 δείγματα ενώ επιλέχθηκαν 8 δείγματα στα οποία πραγματοποιήθηκαν ηλεκτρονικές μικροαναλύσεις.

Παρακάτω παρατίθενται μικροαναλύσεις κόκκων σπανίων γαιών στα δείγματα M2 και M4 (Φωτ.62 & Φωτ.63).

E.2.5.1. Αναλυτικά δεδομένα

E.2.5.1.1 Χημικές ανάλυση με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων Χ (XRF)

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων των δειγμάτων με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων Χ (XRF) αναλόγως της προέλευσης τους παρατίθενται στους πίνακες (Πίν.21 έως Πίν.25) που ακολουθούν.

Πίν.21 Συγκεντρωτικός πίνακας δειγμάτων Πεδίου
Περιεκτικότητες Fe_2O_3 - REE

Κωδικός	Δείγμα	Fe_2O_3	Y	La	Sm	Ce	Nd
		% κ.β.	gr/t	gr/t	gr/t	gr/t	gr/t
M13	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	8,05	12	18	7	25	11
M22	ΥΠΟ-4	10,95	30	49	10	88	38
M21	ΥΠΟ-3	14,59	37	95	14	189	93
M9(1)	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	24,35	13	21	8	41	21
M12	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	25,62	19	26	9	46	19
M9(2)	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	26,48	18	18	10	31	19
M5	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	28,56	13	24	9	53	25
M11	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	28,86	18	25	8	54	27
M10	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	31,49	14	27	13	51	25
M6	ΥΠΟ-1	32,95	15	22	9	45	22
M8	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	35,06	37	218	10	36	20
M7	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	35,11	16	262	11	53	26
M14	ΥΠΟ-2	41,18	14	20	9	44	17
M1	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	66,26	124	12	10	35	0
M4	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	73,09	0	11	8	85	136
M2	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	73,38	97	51	9	65	223
M3	ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΔΙΟΥ	78,43	0	78	15	48	187
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	37,32	37	57	13	76	70

$\text{Fe}_{(\text{total})}$ ως Fe_2O_3

Πίν.22 Συγκεντρωτικός πίνακας δειγματοληπτικής γεώτρησης Γ1
Περιεκτικότητες Fe₂O₃ – REE

Κωδικός	Δείγμα	Fe ₂ O ₃	Y	La	Sm	Ce	Nd
		% κ.β.	gr/tn	gr/t	gr/t	gr/t	gr/t
M27	Γ1 28,0	16,55	28	34	9	71	29
M52	Γ1 28-29,2	19,50	15	125	12	65	35
M49	Γ1 27-28	20,60	31	111	15	48	74
M51	Γ1 40-40,5	21,10	12	0	14	98	44
M50	Γ1 38,7-40	24,70	14	0	18	67	31
M54	Γ1 37,5-38,7	24,90	22	0	3	22	12
M70	Γ1 41,0	25,76	17	14	5	27	13
M69	Γ1 40,8	26,08	19	31	12	76	38
M53	Γ1 37,0	26,10	18	169	7	42	5
M73	Γ1 43,1	26,87	19	23	13	67	37
M66	Γ1 14,8	29,43	19	20	11	40	20
M71	Γ1 41,3	29,43	16	14	7	26	11
M25	Γ1 16,7	30,01	21	45	15	238	64
M26	Γ1 17,0	30,29	19	17	9	45	18
M68	Γ1 39,1	33,47	14	26	7	50	19
M67	Γ1 29,4	35,30	13	22	7	38	18
M55	Γ1 16,5-17,8	35,70	57	0	11	101	63
M28	Γ1 29,3	36,20	20	16	8	36	14
M72	Γ1 42,0	38,33	15	24	11	58	34
M56	Γ1 15-16,5	49,30	47	152	14	67	41
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	28,98	22	42	10	64	31

Fe_(total) ως Fe₂O₃

Πίν.23 Συγκεντρωτικός πίνακας δειγματοληπτικής γεώτρησης Γ2
Περιεκτικότητες Fe₂O₃ – REE

Κωδικός	Δείγμα	Fe ₂ O ₃	Y	La	Sm	Ce	Nd
		% κ.β.	gr/t	gr/t	gr/t	gr/t	gr/t
M46	Γ2 18-20	9,61	14	266	35	60	32
M29	Γ2 46,5	16,05	16	21	9	12	21
M76	Γ2 45,3	16,49	19	17	11	2	18
M61	Γ2 43,5-44,2	19,30	12	0	8	22	10
M77	Γ2 22-29	20,30	12	8	11	5	11
M74	Γ2 3-8	22,02	18	19	11	48	25
M59	Γ2 39,7-40,5	25,30	10	131	8	35	51
M57	Γ2 34-38	26,20	8	207	9	51	48
M63	Γ2 41,5-42,5	28,50	7	145	15	44	39
M58	Γ2 38-39,7	30,50	12	150	14	51	61
M60	Γ2 40,5-41,5	31,30	20	160	13	61	55
M62	Γ2 42,5-43,5	36,00	4	4	12	5	12
M78	Γ2 43,8	53,10	4	4	3	8	5
M80	Γ2 44,1	58,43	22	18	10	38	27
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	28,08	13	82	12	32	30

Fe_(total) ως Fe₂O₃

Πίν.24 Συγκεντρωτικός πίνακας δειγματοληπτικής γεώτρησης Γ4
Περιεκτικότητες Fe₂O₃ – REE

Κωδικός	Δείγμα	Fe ₂ O ₃	Y	La	Sm	Ce	Nd
		% κ.β.	gr/t	gr/t	gr/t	gr/t	gr/t
M43	Γ4 66,5	5,55	12	213	7	55	111
M48	Γ4 59	7,61	8	288	7	74	95
M39	Γ4 81-84	16,60	12	133	5	68	54
M34	Γ4 68-70	21,40	9	0	12	61	49
M32	Γ4 72-77	22,00	11	139	15	54	61
M36	Γ4 77-81	37,50	10	192	11	45	25
M42	Γ4 88-90	41,20	7	185	4	98	45
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	21,69	10	164	9	65	63

Fe_(total) ως Fe₂O₃

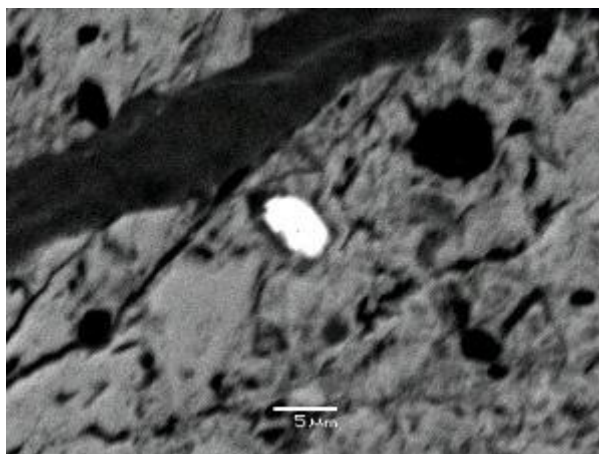
Πίν.25 Συγκεντρωτικός πίνακας δειγματοληπτικής γεώτρησης Γ5
Περιεκτικότητες Fe₂O₃ – REE

Κωδικός	Δείγμα	Fe ₂ O ₃	Y	La	Sm	Ce	Nd
		% κ.β.	gr/t	gr/t	gr/t	gr/t	gr/t
M41	Γ5 90-85	3,17	10	33	4	44	7
M47	Γ5 102-100	8,38	12	280	10	51	19
M19	Γ5 106-102	10,84	16	27	9	56	22
M33	Γ5 100-95	17,00	15	398	6	62	15
M30	Γ5 97,5	17,03	22	17	7	31	14
M17	Γ5 117,2	21,43	20	19	9	34	14
M65	Γ5 107,5	24,06	14	40	11	87	39
M37	Γ5 108-106	24,70	18	193	12	77	24
M31	Γ5 110-108	26,70	19	134	14	44	14
M38	Γ5 118-117	26,70	15	109	12	32	8
M18	Γ5 118	26,72	12	9	8	26	14
M23	Γ5 117	28,65	18	17	12	37	23
M44	Γ5 120-118	29,40	13	121	10	24	10
M20	Γ5 116,8	30,90	14	12	8	25	11
M24	Γ5 116,6	31,80	17	21	10	50	28
M16	Γ5 113,7	32,45	15	32	11	52	20
M15	Γ5 113	38,23	12	25	12	49	22
M45	Γ5 111,3	41,50	20	213	11	101	29
M64	Γ5 110,2	44,34	25	37	11	75	36
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	25,47	16	91	10	50	19

Fe_(total) ως Fe₂O₃

Ε.2.5.1.2 Ηλεκτρονικές μικροαναλύσεις (SEM)

Οι ηλεκτρονικές μικροαναλύσεις και οι παρατηρήσεις SEM πραγματοποιήθηκαν στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, στο Τμήμα Γεωλογίας, στον Τομέα Γεωχημείας - Κοιτασματολογίας σε πέντε δείγματα από τα οποία παρατίθενται δυο μικροαναλύσεις (Πιν.26 & Πιν.27)

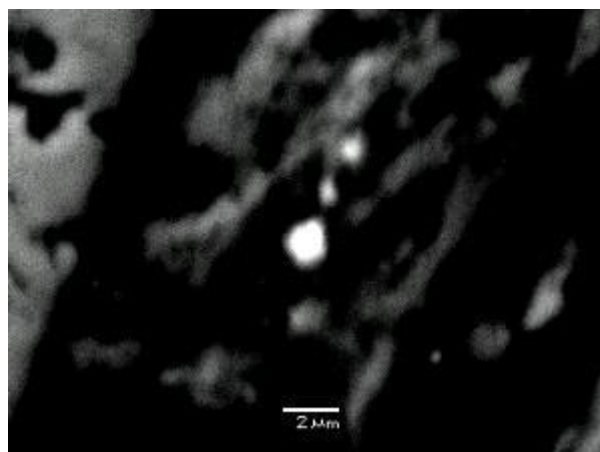


Φωτ.62 Μικροανάλυση δείγματος M2

Πίν.26 EPMA αναλύσεις (%)δείγματος M2

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %		Compound %	Nos. of ions
Si K	ED	0.86	1.17	SiO2	1.83	0.42
P K	ED	12.43	15.44	P2O5	28.49	5.53
Ca K	ED	0.83	0.80	CaO	1.16	0.29
Fe K	ED	4.22	2.91	FeO	5.43	1.04
La L	ED	12.45	3.45	La2O3	14.61	1.23
Ce L	ED	22.74	6.24	CeO2	27.93	2.23
Nd L	ED	8.11	2.16	Nd2O3	9.46	0.77
Th M	ED	4.55	0.75	ThO2	5.17	0.27
O		27.89	67.07			24.00
Total		94.08	100.00		94.08	
					Cation sum	11.78

*=<2 Sigma



Φωτ. 63 Μικροανάλυση δείγματος M4

Πίν.27 EPMA αναλύσεις (%)δείγματος M4

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %		Compound %	Nos. of ions
Al K	ED	2.12	3.01	Al ₂ O ₃	4.00	0.42
Si K	ED	0.72*	0.99*	SiO ₂	1.54*	0.38*
P K	ED	8.53	10.58	P ₂ O ₅	19.55	4.09
Ca K	ED	0.78*	0.75*	CaO	1.09*	0.29*
Fe K	ED	21.46	14.76	FeO	27.61	5.70
La L	ED	8.16	2.25	La ₂ O ₃	9.56	0.87
Ce L	ED	15.01	4.11	CeO ₂	18.43	1.59
Nd L	ED	5.26*	1.40*	Nd ₂ O ₃	6.13*	0.54*
O		25.89	62.15			24.00
Total		87.92	100.00		87.92	
					Cation sum	14.62
*=<2 Sigma						

Δεν κατέστη δυνατό να εντοπιστούν και αναλυθούν άλλοι κόκκοι ορυκτών της ομάδας των Σπανίων γαιών στα πέντε δείγματα που εξετάστηκαν, εκτός των δύο παραπάνω. Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των ολικών αναλύσεων με XRF (XR Fluorescence), με την χρήση ταμπλέτας, αλλά και από την μελέτη των δειγμάτων με την χρήση του SEM και τη σχετική μικροαναλυτική εργασία όσον αφορά στα στοιχεία της ομάδας των Σπάνιων Γαιών, συμπεραίνεται ότι δεν υπάρχουν ενδιαφέρουσες συγκεντρώσεις στις μελετηθείσες θέσεις.

Ε.2.6 Υπολογισμός αποθεμάτων

Στην υπό μελέτη περιοχή παρατηρείται επιφανειακά σιδηρομετάλλευμα σε διάφορες θέσεις της συνολικής έκτασης. Συνολικά έχουν πραγματοποιηθεί 5 γεωτρήσεις, συνολικού μήκους γεώτρησης 369 m, και μία ερευνητική εκσκαφή.

Με βάση τη μελέτη του υλικού των γεωτρήσεων και της ερευνητικής εκσκαφής καθώς και με την βοήθεια των μακροσκοπικών παρατηρήσεων των γεωλογικών σχηματισμών στη θέση «Κακή Ράχη» κατασκευάστηκε το γεωλογικό μοντέλο της περιοχής περιμετρικά των γεωτρήσεων όπως αυτή αποτυπώνεται στην σχετική παρακάτω αεροφωτογραφία (Φωτ.64) και την οριζοντιογραφία που ακολουθεί (Χαρ.3). Η συνολική έκταση αυτής ορίστηκε σε 100 στρέμματα.

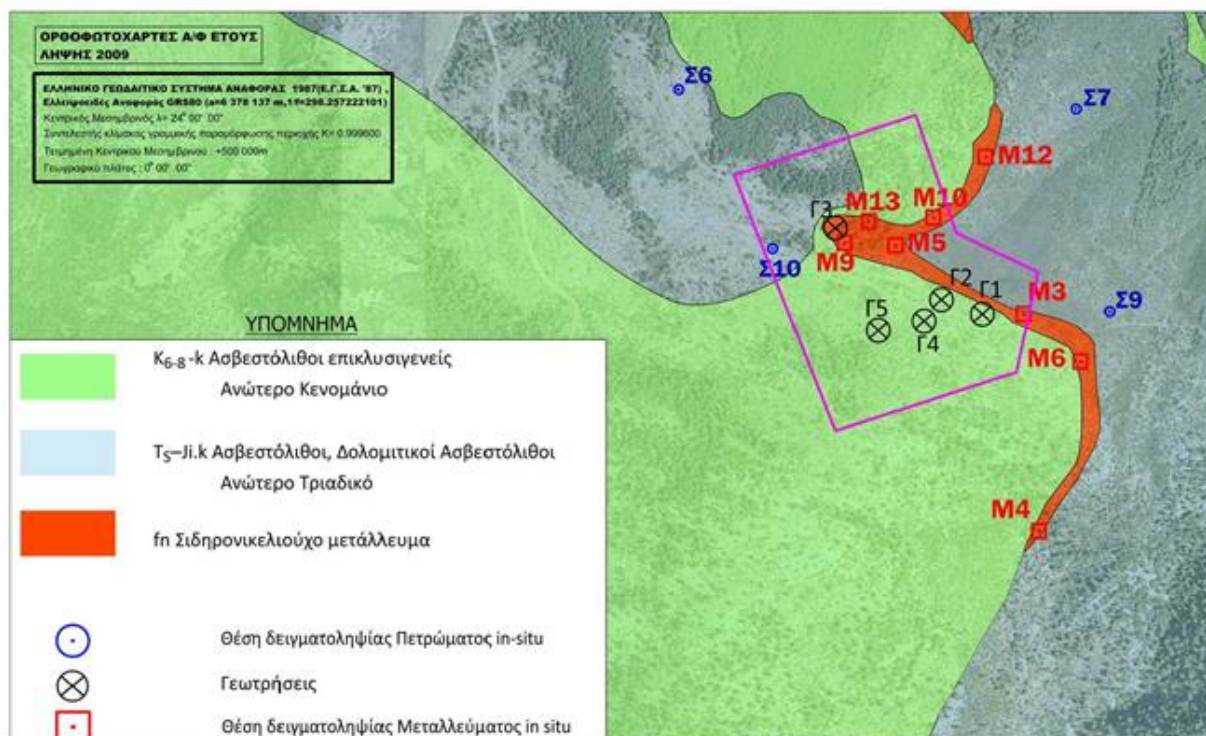
Θεωρώντας ως κρίσιμο και ρυθμιστικό παράγοντα την περιεκτικότητα του μεταλλεύματος σε Ni (% κ.β.) και κατηγοριοποιώντας το αντίστοιχα βάσει αυτής, υπολογίστηκαν τα ενδεικτικά αποθέματα του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος για την περιοχή αυτή, έκτασης 100 στρεμμάτων.

Συμπληρωματικά με χρήση του ίδιου μοντέλου και θεωρώντας την περιεκτικότητα σε οξείδια του σιδήρου Fe_{total} (% κ.β.) ως το κριτήριο της κατηγοριοποίησης του ίδιου μεταλλεύματος υπολογίζονται τα αντίστοιχα ενδεικτικά αποθέματα σιδηρούχου μεταλλεύματος.



Φωτ.64 Αεροφωτογραφία περιοχής μελέτης όπου σημειώνεται η έκταση για τον υπολογισμό των αποθεμάτων

Το γεωλογικό μοντέλο σχεδιάστηκε με βάση την χημική σύσταση των δειγμάτων, το αντίστοιχο βάθος δειγματοληψίας τους για κάθε μία από τις πέντε γεωτρήσεις, την επιφανειακή εμφάνιση του λατερίτη και τέλος την ζώνη επιρροής γύρω από κάθε γεώτρηση (ακτίνα σάρωσης γεωλογικού μοντέλου).



Χαρ.3 Οριζοντιογραφία εφαρμογής γεωλογικού μοντέλου (μωβ πολύγωνο) κλίμακας 1:5.000

Όσον αφορά τον υπολογισμό των αποθεμάτων ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:
 Η όλη εργασία σε επίπεδο διαχείρισης χωρικών και περιγραφικών δεδομένων, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε σε cad περιβάλλον, σε 3d analysis και σε περιβάλλον GIS, στα εξής λογισμικά:

1. Η εισαγωγή των δεδομένων και η επεξεργασία της χωρικής πληροφορίας (δηλαδή τόσο τα όρια της περιοχής μελέτης, όσο και το ανάγλυφο της περιοχής σε cad Microstaion V8i).
2. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε σε περιβάλλον gis ArcInfo Esri 13.51 και πίσω από αυτά
3. Βάση δεδομένων RIS Oracle rdbms

Η γεωαναφορά όσων δεδομένων δεν είναι γεωαναφερόμενα έγινε με αφινικό μετασχηματισμό πολλών σημείων (affine transformation matrix) με μέγιστο rms=+-0.75m. Παράλληλα, για την επεξεργασία των γεωτρήσεων, δημιουργήθηκε πρωτίστως το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου για την περιοχή μελέτης, το οποίο προέκυψε από σχετικό και απόλυτο προσανατολισμό ζεύγους αεροφωτογραφιών έτους λήψης 2009, με σκοπό τη δημιουργία dtm με Grid 0.50m Από τα στοιχεία των γεωτρήσεων θεωρήθηκαν και δομήθηκαν επιφάνειες αναφοράς ιδίου υλικού, κάνοντας παραδοχές σε ότι αφορά στην

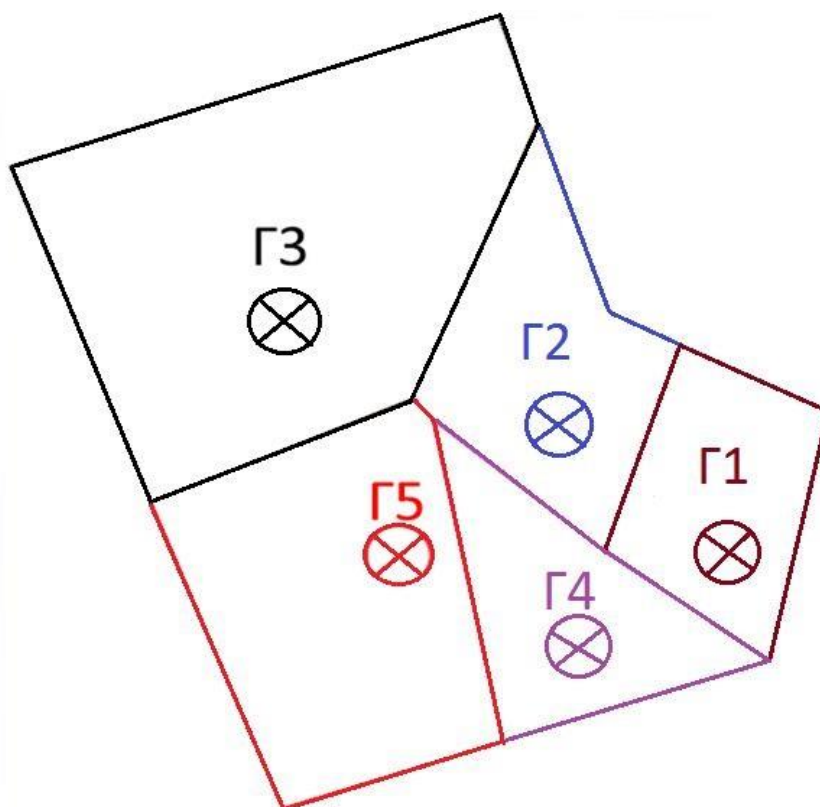
κατανομή του υλικού τόσο μεταξύ των γεωτρήσεων όσο και στην περιβάλλουσα του πολυγώνου αναφοράς και έγιναν υπολογισμοί. Στη συνέχεια έγινε ανάλυση όλων αυτών των στοιχείων, χτίσιμο επιφανειών και εξαγωγή συμπερασμάτων κυρίως με τη χρήση του 3d της Autodesk δηλαδή του Autocad Map v13.25.1.

Από τα στοιχεία των πινάκων Πιν.12 έως Πίν.16, σύμφωνα με τα παραπάνω αναφερθέντα, υπολογίστηκε ανά γεώτρηση στην ζώνη επιρροής της όπως αυτή έχει καθοριστεί (Εικ.17) ο όγκος σε m^3 και τα αποθέματα σε τόνους, σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος των τριών κατηγοριών αντίστοιχα ($Ni \geq 0.9\%$ κ.β, $0,5\% \leq Ni < 0,9\%$ κ.β. και στείρα).

Συμπληρωματικά υπολογίστηκαν τα αποθέματα σε m^3 και σε τόνους με βάση την περιεκτικότητα του μεταλλεύματος σε $Fe_{total} \%$ κ.β. (Πιν.12 έως Πίν.16), όπως αυτά έχουν διαχωριστεί σε Λατερίτη Α' και Β' ποιότητας καθώς και στείρα.

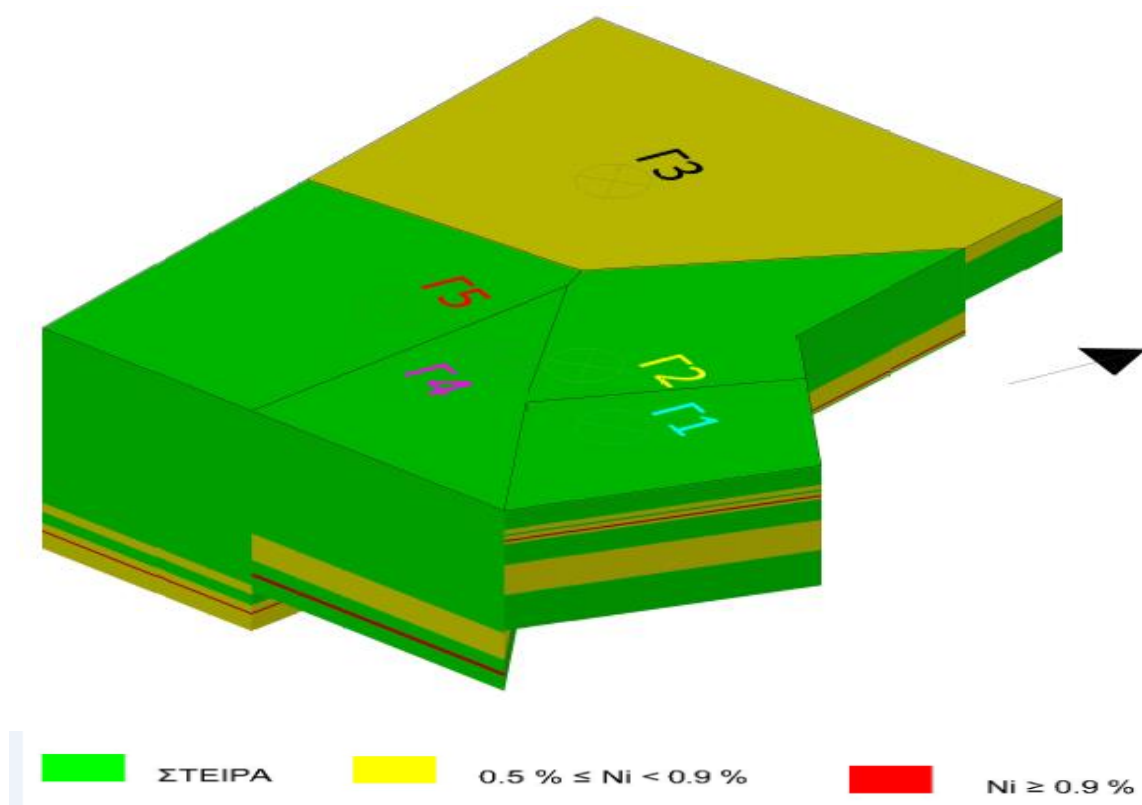
Σε ότι αφορά τις στερεομετρικές όψεις που ακολουθούν με κόκκινο χρώμα σχεδιάστηκε το μετάλλευμα που είναι πλούσιο στο στοιχείο που μελετάται, Ni ή Fe αντίστοιχα, με κίτρινο χρώμα η ενδιάμεση ποιότητα οριζόντων σε σχέση με τα στοιχεία αυτά και με πράσινο χρώμα τα στείρα.

Για να μπορέσουμε να προσεγγίσουμε σε τρισδιάστατη απεικόνιση το μετάλλευμα, με γωνία κάλυψης τις 360° , χρειάστηκαν οι παρακάτω έξι διαφορετικές στερομετρικές όψεις για κάθε έναν από τους προαναφερθέντες υπολογισμούς αποθεμάτων (Ni και Fe_{total} αντίστοιχα).

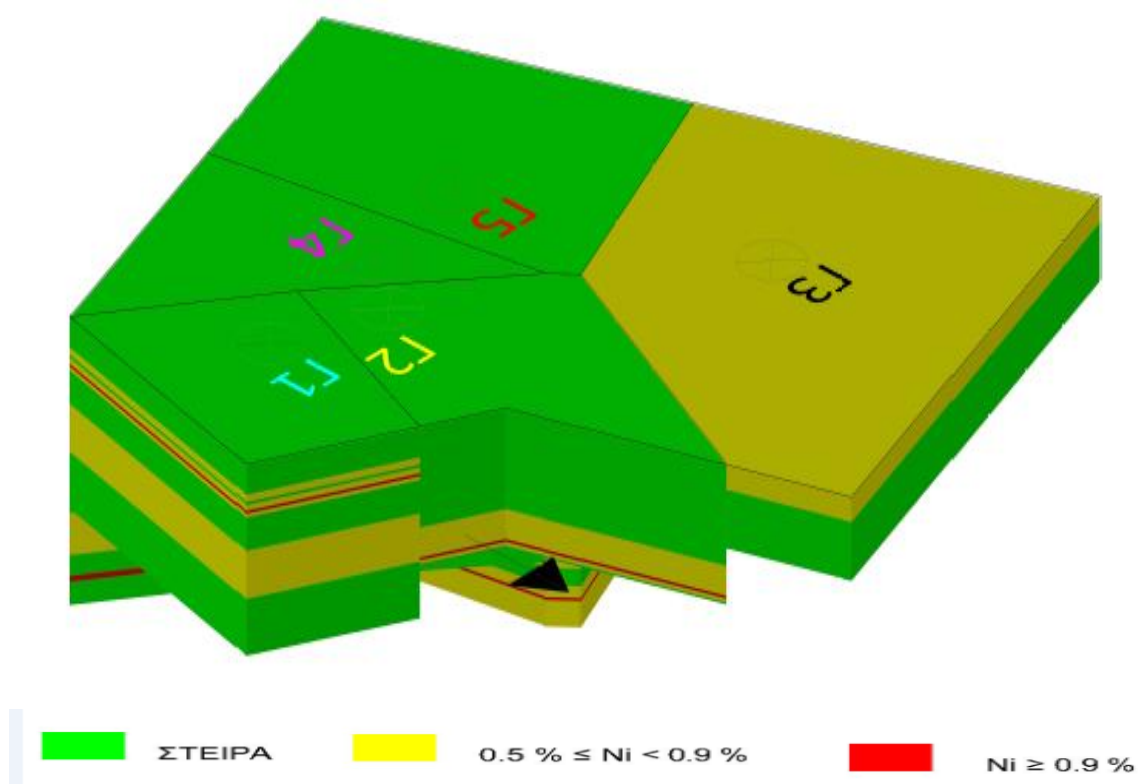


Εικ.17 Ζώνες επιρροής των γεωτρήσεων στην τελική γεωλογική απεικόνιση

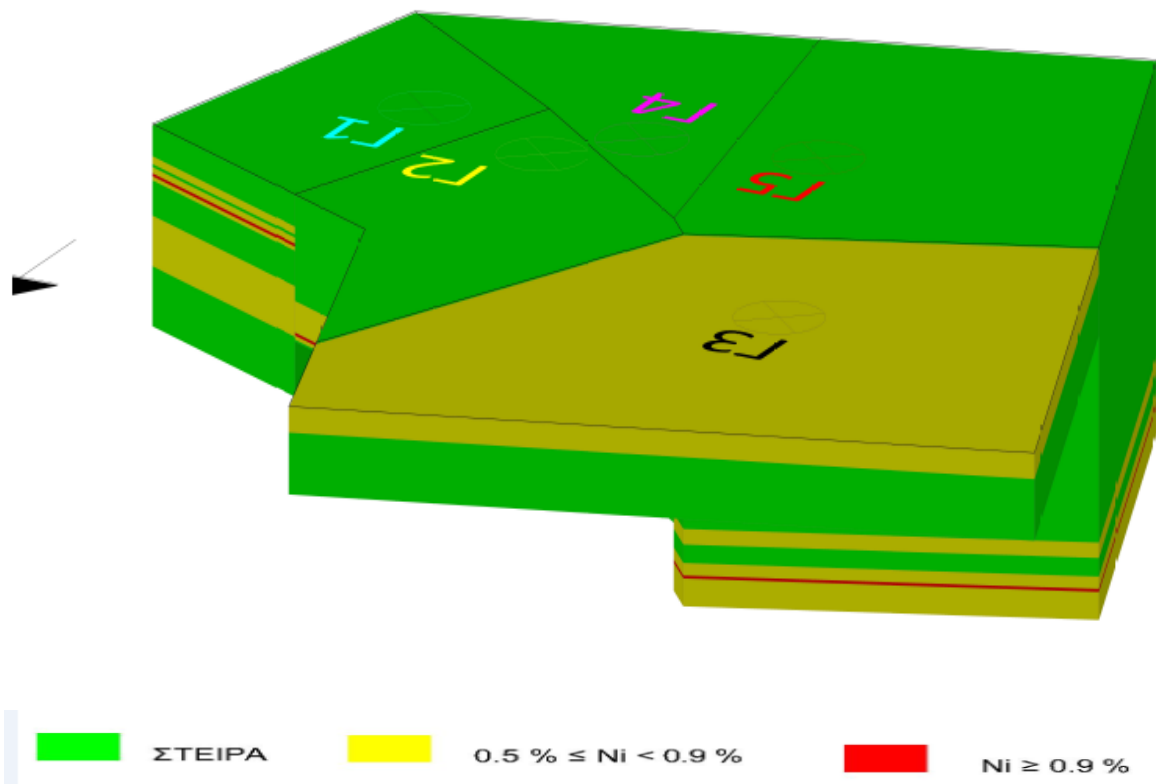
Ε.2.6.1 Υπολογισμός αποθεμάτων σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος



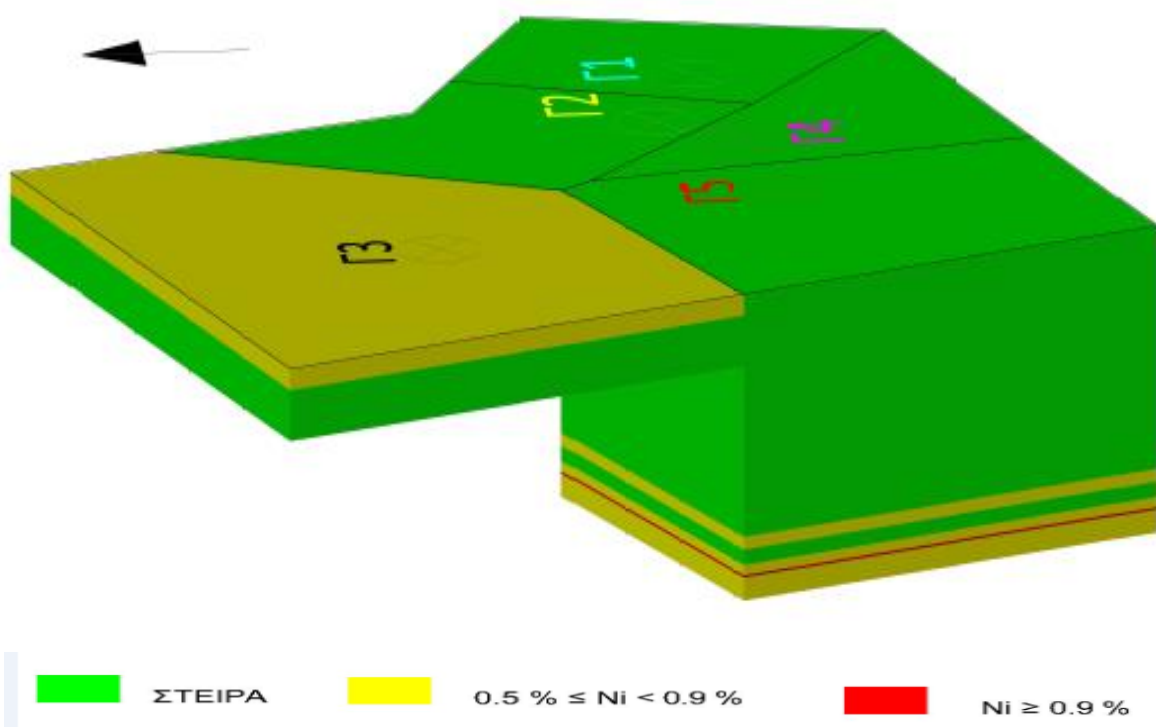
Εικ.18 1^η Στερεομετρική όψη σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος



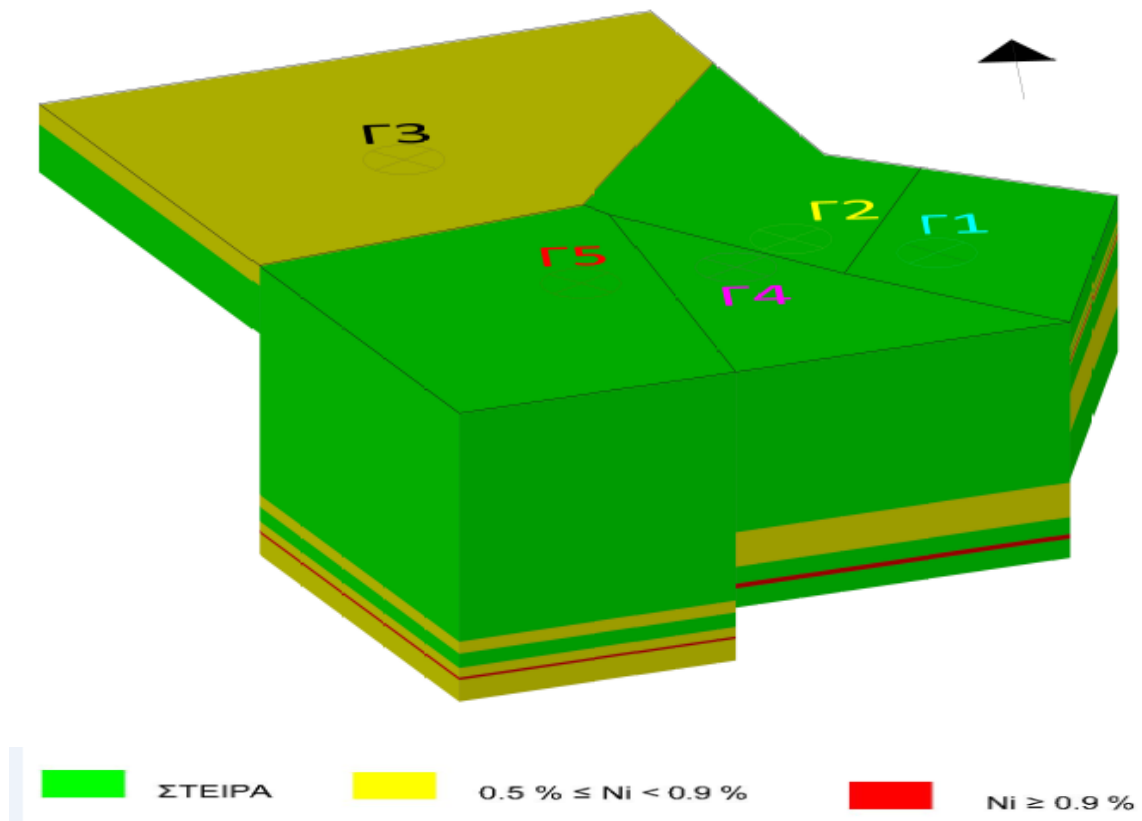
Εικ.19 2^η Στερεομετρική όψη σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος



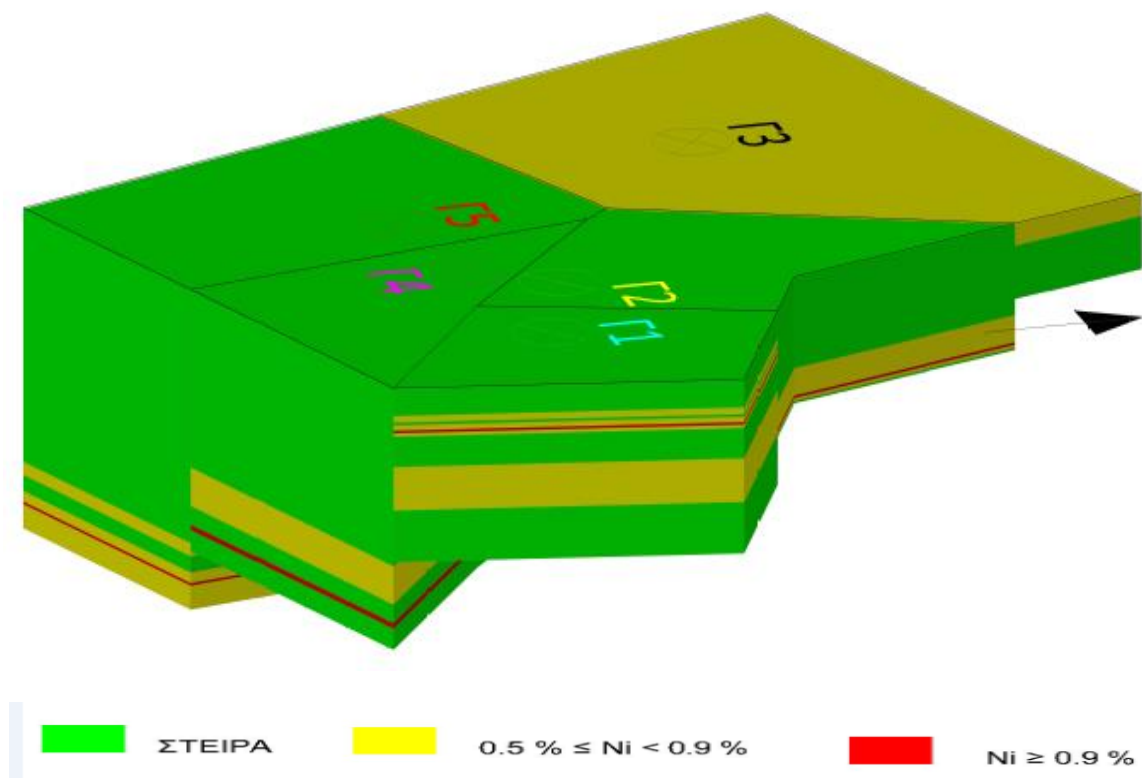
Εικ.20 3^η Στερεομετρική όψη σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος



Εικ.21 4^η Στερεομετρική όψη σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος



Εικ.22 5^η Στερεομετρική όψη σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος



Εικ.23 6^η Στερεομετρική όψη σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος

Με βάση τα αποτελέσματα του γεωλογικού μοντέλου, στην περιοχή περίξ των γεωτρήσεων και σε συνολική επιφάνεια 100 στρεμμάτων, τα συνολικά ενδεικτικά αποθέματα σε σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα υπολογίζονται σε 1.425.060 m³, από τα οποία τα 66.887m³ είναι υψηλής περιεκτικότητας σε Ni (Ni ≥ 0.9% κ.β.) μετάλλευμα και τα 1.358.174 m³ είναι κυμαινόμενης περιεκτικότητας σε Ni μετάλλευμα με κάτω όριο το 0,5% κ.β. Ni και άνω όριο το 0,9% κ.β. Ni αντίστοιχα (0,5% ≤ Ni <0,9 % κ.β.). Τα στείρα για την εν λόγω περιοχή υπολογίζονται σε 4.832.615 m³. Αναλυτικά τα αποθέματα, σε όγκο και βάρος, που προέκυψαν παρατίθενται στον πίνακα 28.

Για τον υπολογισμό των αποθεμάτων σε τόνους ελήφθησαν υπόψη τα ακόλουθα:

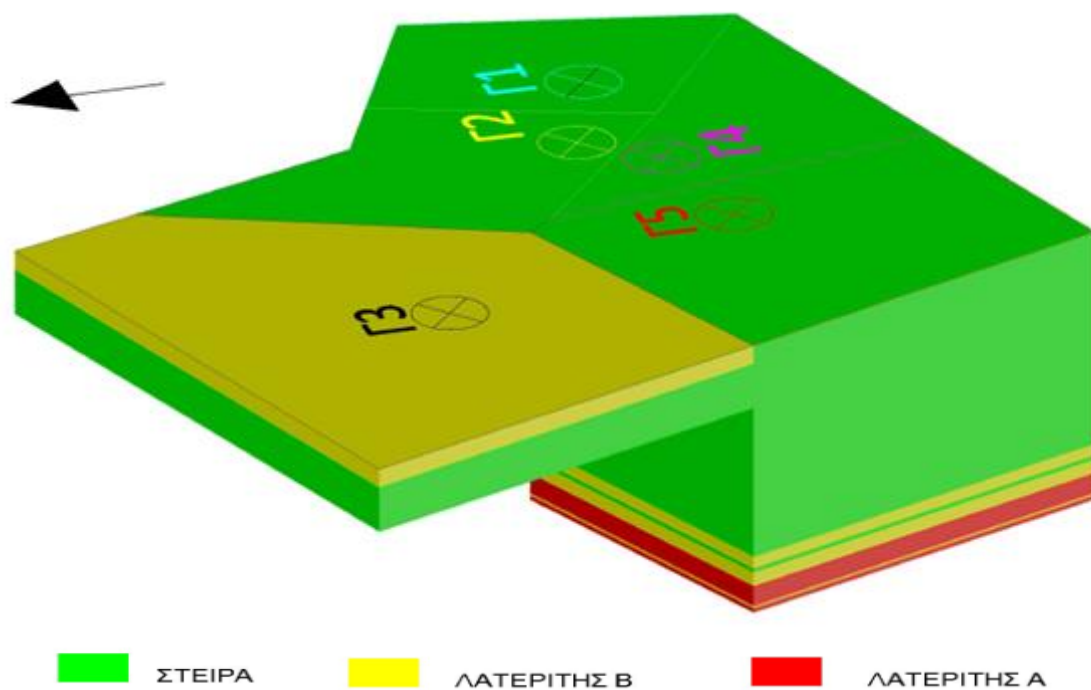
- Για το σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα με υψηλή περιεκτικότητα σε Ni (% κ.β.) η ξηρή πυκνότητα (ρ_d) αυτού υπολογίστηκε 3,7 t / m³ και το πορώδες (η) 0,44%.
- Για το σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα με περιεκτικότητα σε Ni από 0,5% κ.β. έως 0,9% κ.β. υπολογίστηκε 3,14 t / m³ και πορώδες (η) 0,49% αντίστοιχα.
- Τέλος, όσον αφορά τα στείρα που στην ουσία πρόκειται είτε για πτωχό σε Ni μετάλλευμα (Ni < 0.5% κ.β.) είτε για ανωκρητιδικό ασβεστόλιθο η αντίστοιχη ξηρή μέση πυκνότητα και το πορώδες αυτών υπολογίστηκε σε 2,84 t / m³ και 0,74% αντίστοιχα.

Τα παραπάνω αποτελέσματα προσδιορισμού του πορώδους και της πυκνότητας δειγμάτων μεταλλεύματος με τη μέθοδο της άνωσης και τη χρήση συσκευής κενού πραγματοποιήθηκαν σε αναγνωρισμένο από το ΥΠΕΧΩΔΕ εξωτερικό εργαστήριο, σύμφωνα με την ισχύουσα ελληνική προδιαγραφή βραχομηχανικής Ε103-84 παράγραφο 2 του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. και τις αντίστοιχες οδηγίες και προδιαγραφές της Α.Σ.Τ.Μ. (American Society for testing and Materials) και της Ι.Σ.Ρ.Μ. (Διεθνής Ένωση Βραχομηχανικής), 1981 αντίστοιχα. Τα παραπάνω αποτελέσματα αφορούν μέσο όρο τριών δειγμάτων.

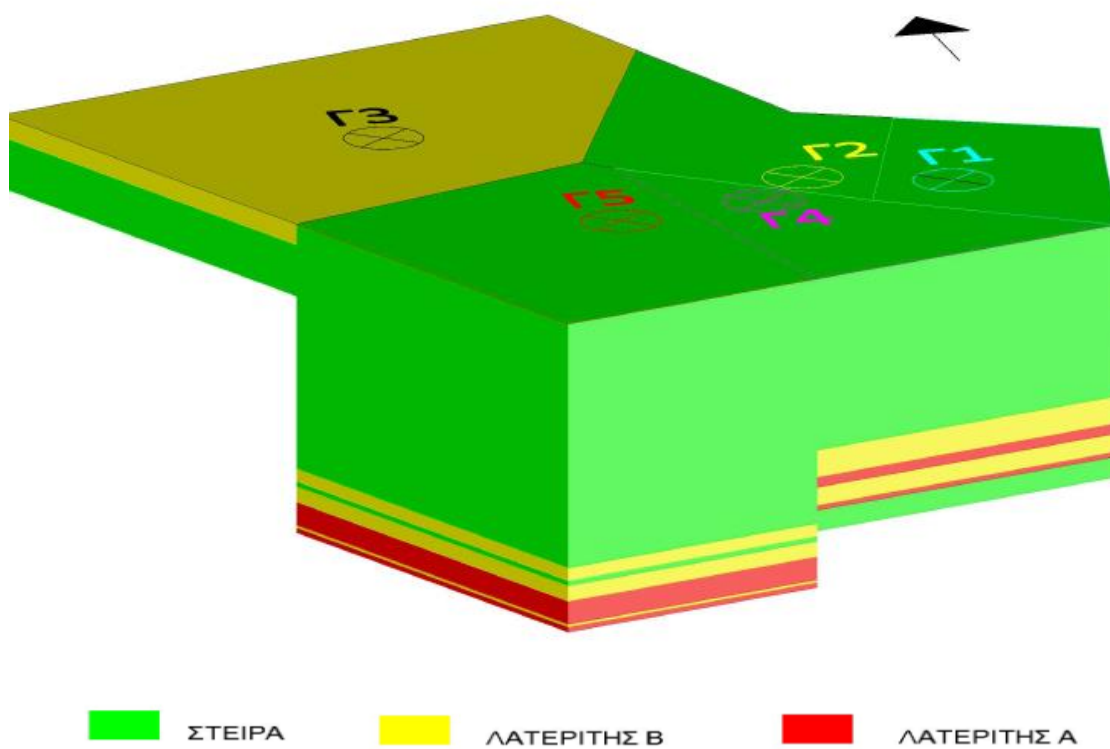
Πιν.28 Ενδεικτικά Αποθέματα Σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος σε επιφάνεια 100στρ.

ΠΟΙΟΤΗΤΕΣ ΣΙΔΗΡΟΝΙΚΕΛΙΟΥΧΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΟΣ	ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ					ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ (m ³)	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ (t)
	Γ1	Γ2	Γ3	Γ4	Γ5		
Ni ≥ 0,9 % κ.β.	4.647	13.917	-	23.940	24.356	66.887	247.482
0,5% ≤ Ni < 0,9 % κ.β.	252.060	168.474	325.671	173.562	438.406	1.358.173	4.264.663
ΣΤΕΙΡΑ	474.601	508.353	814.178	875.536	2.159.947	4.832.615	13.724.626

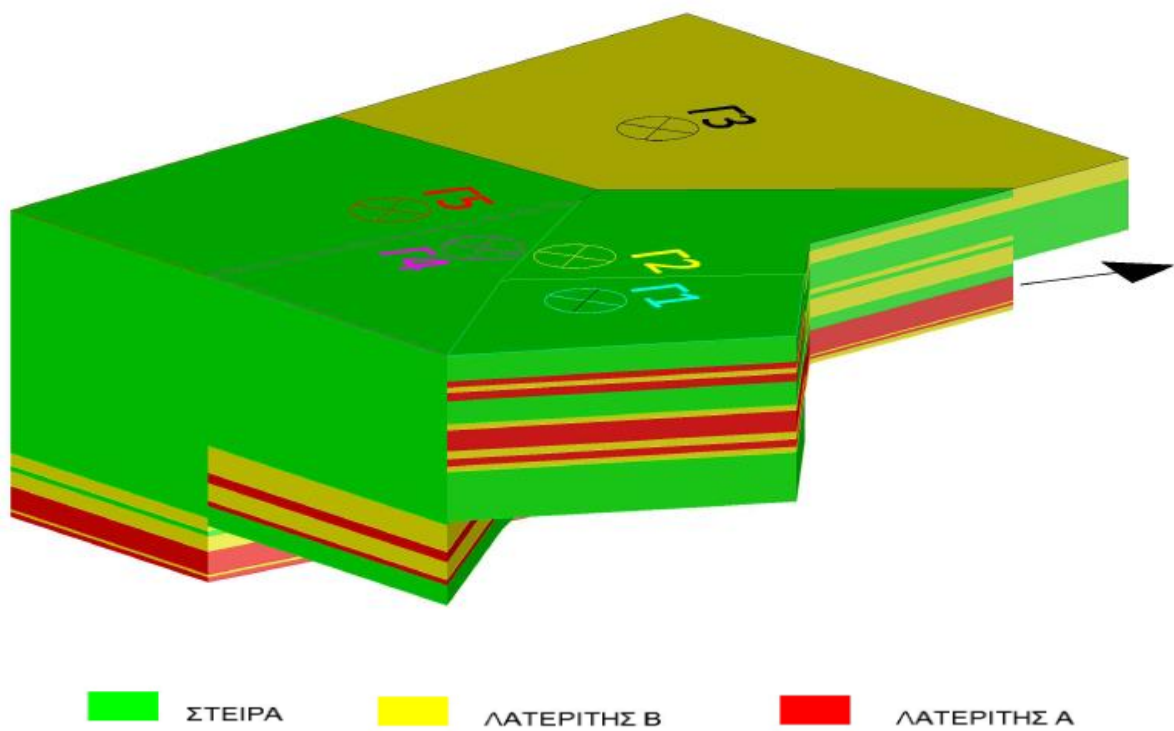
Ε.2.6.2 Υπολογισμός αποθεμάτων σιδηρούχου μεταλλεύματος



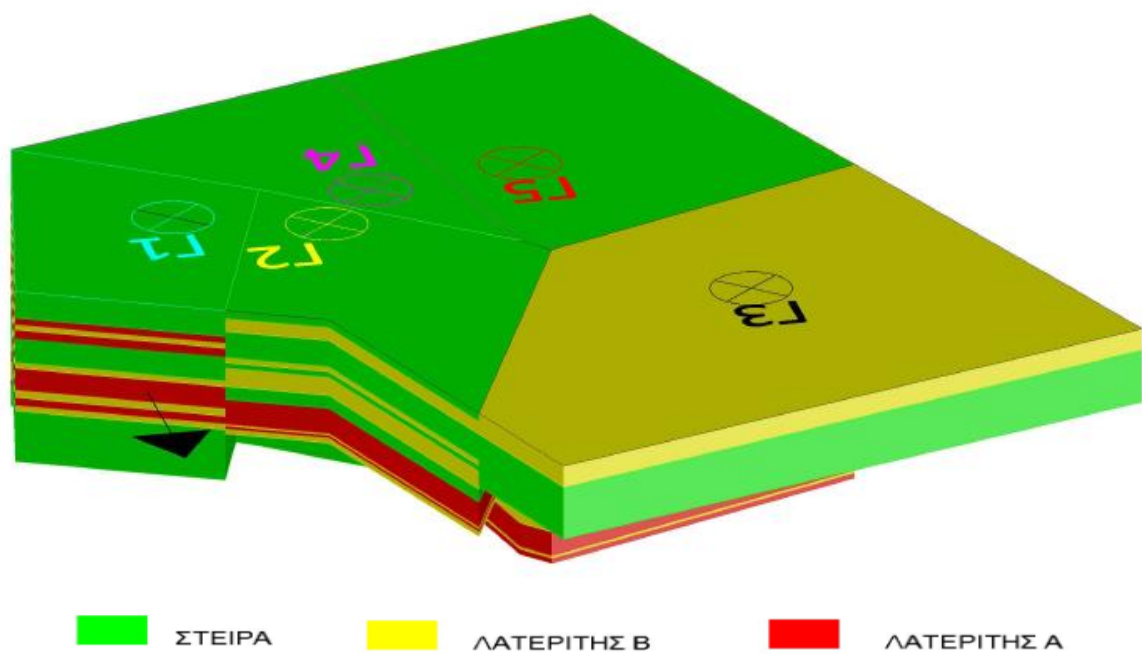
Εικ.24 1^η Στερεομετρική όψη σιδηρούχου μεταλλεύματος



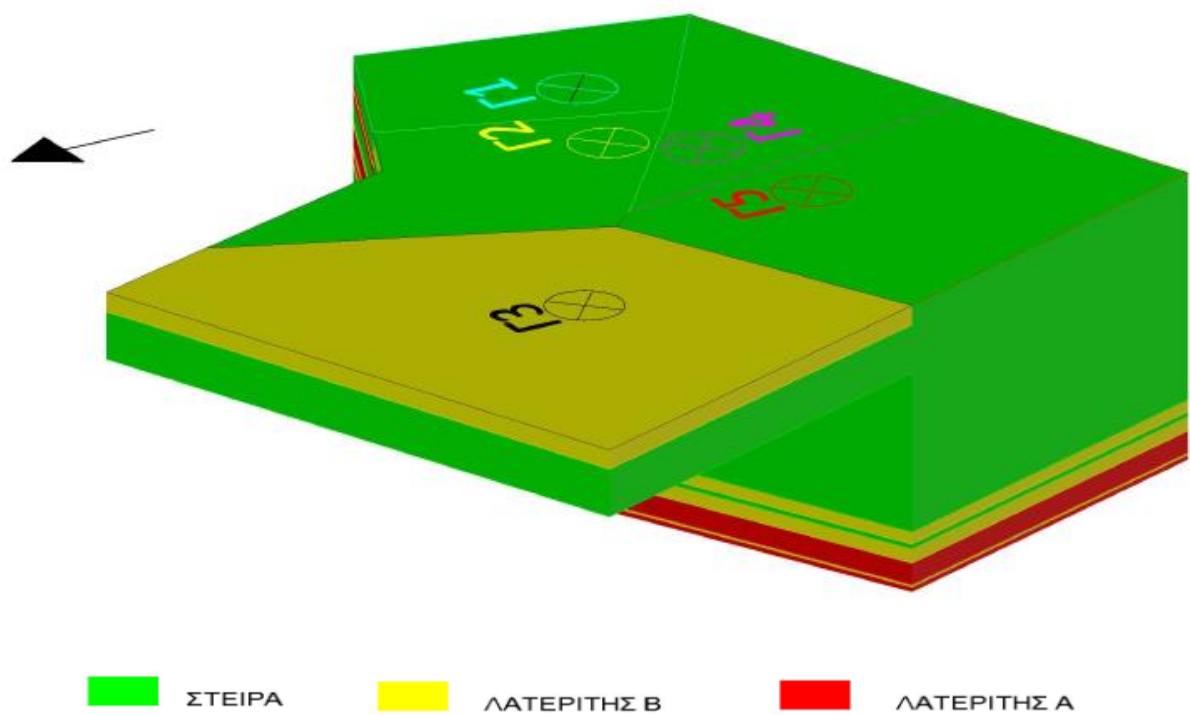
Εικ.25 2^η Στερεομετρική όψη σιδηρούχου μεταλλεύματος



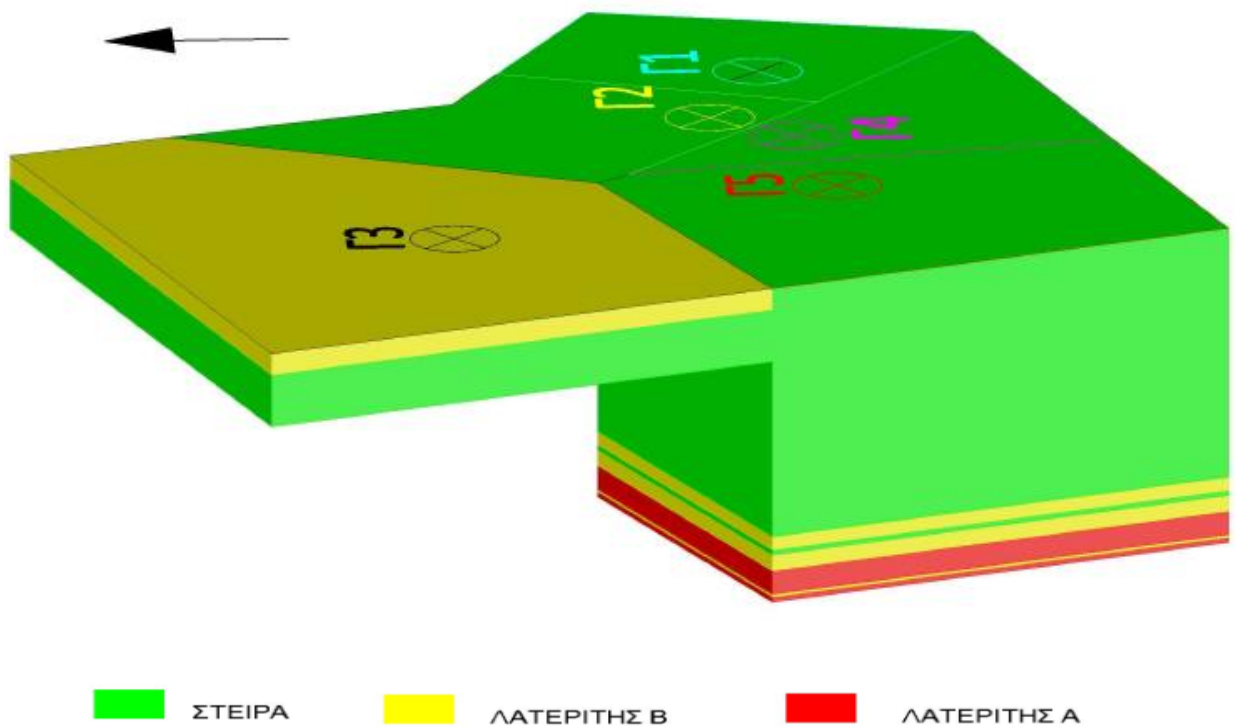
Εικ.26 3^η Στερεομετρική όψη σιδηρούχου μεταλλεύματος



Εικ.27 4^η Στερεομετρική όψη σιδηρούχου μεταλλεύματος



Εικ.28 5^η Στερεομετρική όψη σιδηρούχου μεταλλεύματος



Εικ.29 6^η Στερεομετρική όψη σιδηρούχου μεταλλεύματος

Με βάση τα αποτελέσματα του γεωλογικού μοντέλου, στην περιοχή περίξ των γεωτρήσεων και σε συνολική επιφάνεια 100 στρεμμάτων, τα συνολικά ενδεικτικά αποθέματα σε λατερίτη υπολογίζονται σε 1.865.373 m³, από τα οποία τα 1.179.363 m³ είναι λατερίτης ποιότητας Β (10 % ≤ Fe₂O₃ < 25 %) και τα 686.010 m³ είναι λατερίτης ποιότητας Α (Fe₂O₃ ≥ 25%). Τα στείρα για την ίδια περιοχή υπολογίζονται σε 4.799.716 m³ και αφορούν είτε πτωχό σε οξείδια του σιδήρου μετάλλευμα Fe₂O₃ < 10% κ.β.) είτε για ανωκρητιδικό ασβεστόλιθο. Αναλυτικά τα αποθέματα, σε όγκο και βάρος, που προέκυψαν παρατίθενται στον πίνακα 29 που ακολουθεί. Στους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες τιμές ξηρών πυκνοτήτων όπως στο Ni αντίστοιχα.

Πιν.29 Ενδεικτικά Αποθέματα Λατερίτη σε επιφάνεια 100 στρ.

ΠΟΙΟΤΗΤΕΣ ΛΑΤΕΡΙΤΗ	ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ					ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ (m ³)	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ (t)
	Γ1	Γ2	Γ3	Γ4	Γ5		
ΛΑΤΕΡΙΤΗΣ Α'	192.451	153.824	-	71.818	267.915	686.010	2.538.237
ΛΑΤΕΡΙΤΗΣ Β'	107.296	244.654	325.671	209.471	292.270	1.179.363	3.703.200
ΣΤΕΙΡΑ	438.267	292.998	714.177	891.747	2.062.523	4.399.716	12.495.193

Εδώ πρέπει να αναφέρουμε ότι όλες οι στερεομετρικές όψεις για τον υπολογισμό των αποθεμάτων, Ni και Fe_{total} αντίστοιχα, σχεδιάστηκαν έχοντας ως δεδομένο τα βάθη διάτρησης των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και των οριζόντων που καθορίστηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν σε ποιότητας σε σχέση με την περιεκτικότητα σε Ni και ολικό σίδηρο αντίστοιχα. Ο ακριβέστερος προσδιορισμός των αποθεμάτων προϋποθέτει να είναι γνωστό για κάθε ορίζοντα ξεχωριστά του μεταλλεύματος το παλαιοανάγλυφο της οροφής του και του δαπέδου του, της τοπογραφίας δηλαδή των επιφανειών αυτών.

Η κάθε μία από τις πέντε γεωτρήσεις που έχουν ανορυχθεί στην περιοχή αντιπροσωπεύει γύρω της ένα χώρο του οποίου η στρωματογραφία συνολικά θεωρήθηκε ότι είναι ίδια με αυτή που προσδιορίζεται από τους πυρήνες της αντίστοιχης γεώτρησης. Κατά το καθορισμό των ζωνών επιρροής της κάθε γεώτρησης ορίστηκαν πολύγωνα και υπολογίστηκαν οι αντίστοιχοι όγκοι με βάση την παραπάνω παραδοχή ακόμη και αν υπάρχουν διαφοροποιήσεις σε κάθε περιοχή. Ακριβέστερα θα έπρεπε να υπάρχει αντιστοίχιση των οριζόντων που καθορίζονται από κάθε μια γεώτρηση με τους αντίστοιχους ορίζοντες των γειτονικών της γεωτρήσεων ώστε να δημιουργούνται ενιαία στρώματα των οποίων ο όγκος θα υπολογίζονταν όπως προαναφέρθηκε. Συνεπώς οι σαφείς κατακόρυφες γραμμές που αποτυπώνονται στις στερεομετρικές όψεις στην

επαφή των πολυγώνων μεταξύ τους οφείλονται περισσότερο στον τρόπο που αυτές σχεδιάστηκαν και λιγότερο στην τεκτονική της περιοχής.

Τέλος υπάρχουν γεωτρήσεις οι οποίες δεν διατρύχουν το σύνολο του μεταλλοφόρου σώματος που συναντούν, όπως στην περίπτωση της δειγματοληπτικής γεώτρησης Γ5 ή δεν είμαστε σίγουροι αν πραγματικά διέτρησαν το σύνολό των μεταλλοφόρων οριζόντων, όπως στην αντίστοιχη περίπτωση της Γ4. Συνεπώς οι υπολογισθέντες όγκοι των αποθεμάτων που δίδονται ως προς τα αποθέματα πιθανόν να είναι μικρότεροι των πραγματικών.

Από την άλλη για να ξεπεραστούν τα παραπάνω τεχνικά θέματα, έγινε λεπτομερειακή καταγραφή όλων των οριζόντων και για τις πέντε γεωτρήσεις, με το πάχος πολλές φορές να εκτιμάται έως και 0,7m σε μήκος γεώτρησης πολλών δεκάδων μέτρων. Επιπλέον λόγω της επιφανειακής εμφάνισης της μεταλλοφορίας σε εκτεταμένη επιφάνεια κατέστη εφικτό να γίνει ο επιμερισμός της ζώνης επιρροής των γεωτρήσεων με τέτοιο τρόπο ώστε τελικά η στρωματογραφία όπως αποτυπώνεται στην κάθε γεώτρηση να είναι αντιπροσωπευτική.

Τέλος η συνολική επιφάνεια των 100 στρεμμάτων όπως καθορίστηκε θεωρείται ικανή να δώσει ασφαλή συμπεράσματα ως προς την εκτίμηση των αποθεμάτων, ενώ από την άλλη δεν είναι τόσο μεγάλη ώστε με τις υφιστάμενες πέντε γεωτρήσεις και τα δύο ερευνητικά σκάμματα να χρειαστεί να γίνουν πολλές ή περισσότερες ακόμα παραδοχές για να δομηθεί το γεωλογικό μοντέλο εφαρμογής.

ΣΤ'. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

ΣΤ'.1 Στρωματογραφία - Γεωλογία

Από τις παρατηρήσεις υπαίθρου, τα υπερκείμενα του μεταλλεύματος ανθρακικά πετρώματα αποτελούνται γκρι μεσοπλακώδεις λατυποπαγείς ασβεστολίθους έντονα καρστικοποιημένους και τεκτονισμένους. Η ηλικία τους προσδιορίστηκε ανωτέρου Κενομανίου.

Από την μικροσκοπική εξέταση του συλλεχθέντος υλικού από τη δειγματοληπτική γεωτρήση Γ5 διαπιστώθηκε ότι περιλαμβάνει ορίζοντες του ανώτερου Κενομανίου οι οποίοι επαναλαμβάνονται λόγω της επίδρασης ρηγματογόνου τεκτονισμού στην ευρύτερη περιοχή μελέτης. Η Γ5 είναι η μεγαλύτερη σε μήκος από τις πέντε συνολικά δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και επιλέχθηκε προκειμένου να έχουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο δείγμα ασβεστολίθου προς μελέτη. Συγκεκριμένα διέτρησε το σύνολο της επικλυσιγενούς σειράς στο συγκεκριμένο σημείο, συνολικού μήκους στήλης 90 μέτρα έως ότου συναντήσει το μετάλλευμα και περατώθηκε στα 120μ βάθους από την επιφάνεια εντός του μεταλλοφόρου σώματος.

Οι υπερκείμενοι του μεταλλεύματος ασβεστόλιθοι ενίοτε δολομιτικοί, εμφανίζονται λατυποπαγείς - μικρολατυποπαγείς ενώ στους χαμηλότερους ορίζοντες χαρακτηριστική είναι η αλλαγή του χρώματος σε καστανέρυθρο λόγω εμποτισμού τους από διαλύματα οξειδίων κυρίως του σιδήρου προερχόμενα από το υποκείμενο μέταλλευμα.

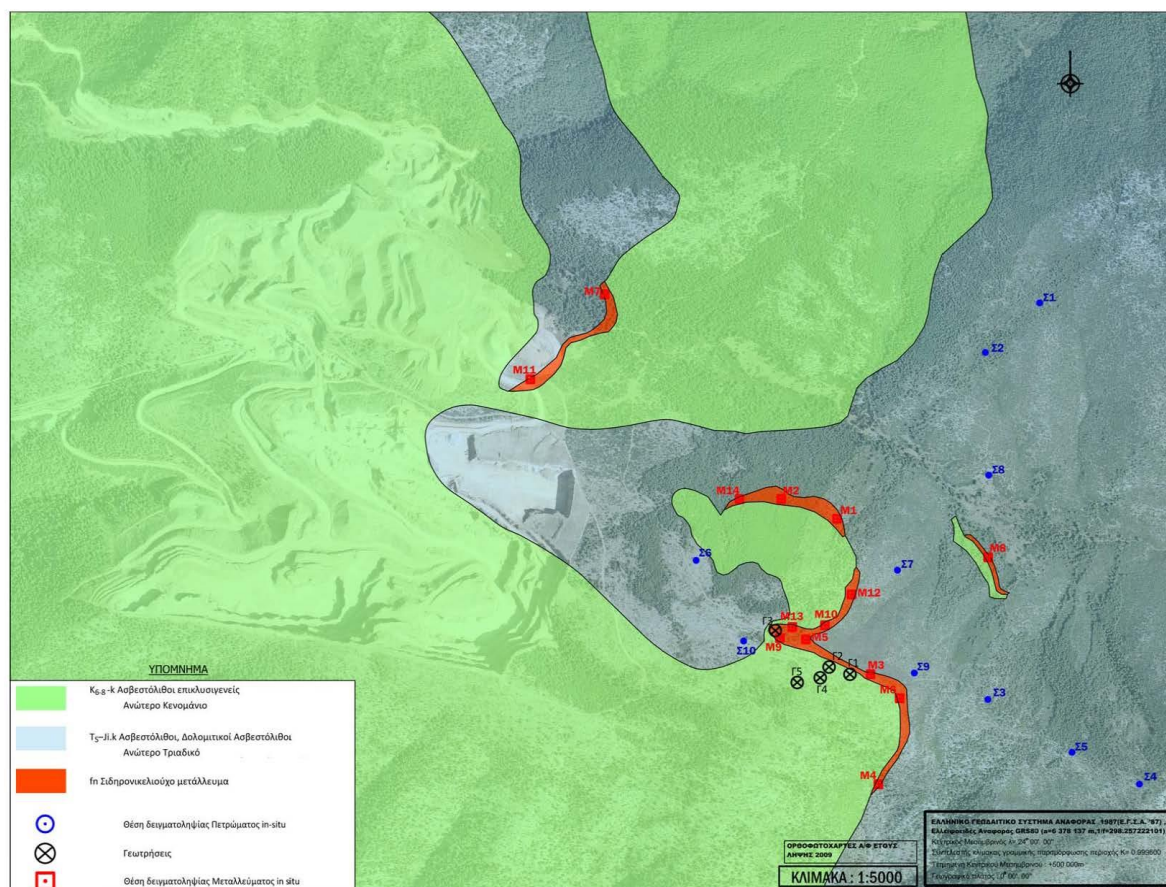
Ο προσδιορισμός της ηλικίας των επικλυσιγενών ασβεστολίθων σε άνω Κενομάνιο στηρίχθηκε στην παρουσία χαρακτηριστικών βενθονικών τρηματοφόρων και ιδιαίτερα στα: *Chrysalidina gradata*, *Praealveolina cretacea*, *Ovalveolina sp.*, *Pseudolituonella reicheli*, *Nezzazata simplex*, *Pseudonummoloculina heimi*, *Spiroloculina sp.* και *Orbitolina convexa*.

Από την μελέτη των φάσεων της ερευνητικής γεώτρησης Γ5 προκύπτει ότι στο διάστημα του Ανώτερου Κενομάνιου στην εν λόγω περιοχή είχαμε νηριτική ιζηματογένεση με το περιβάλλον απόθεσης της επικλυσιγενούς αυτής σειράς να είναι αβαθής εσωτερική πλατφόρμα.

Τα υποκείμενα του μεταλλεύματος ανθρακικά πετρώματα, δολομίτες, λατυποπαγή και ασβεστόλιθοι με σπάνια απολιθώματα, θεωρούνται ανωτριάδικης ηλικίας, λόγω της πιθανής παρουσίας του τρηματοφόρου *Meandrospira*. Η συγκριτική μελέτη της φάσης και των μικροφάσεων των υποκείμενων του μεταλλεύματος ανθρακικών πετρωμάτων στην περιοχή μελέτης είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα στα οποία καταλήγουν για την ευρύτερη περιοχή οι μελετητές Στ. Τσαΐλα - Μονόπωλη & Β. Σκούρτση – Κορωναίου στα πλαίσια της σύνταξης του χάρτη του ΙΓΜΕ, Φύλλο «ΑΘΗΝΑΙ-ΕΛΕΥΣΙΣ».

Εξάλλου μελέτη των Clement & Ferriere (1973) για την περιοχή της Ελευσίνας, προσδιορίζει σε Κενομάνιο την ηλικία των επικλυσιγενών ασβεστολίθων και σε Άνω Τριαδικό αντίστοιχα την ηλικία της υποκείμενης ανθρακικής σειράς.

Στον χάρτη που ακολουθεί αποτυπώνεται το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου με υπέρθεση των γεωλογικών σχηματισμών σε αυτό.



Χαρ.4 Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου περιοχής μελέτης (κλίμακας 1:5.000)

ΣΤ'.2 Κοιτασματολογία

Από την εργασία υπαίθρου και από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των αναλυτικών μεθόδων και τεχνικών που εφαρμόστηκαν στα συλλεχθέντα αντιπροσωπευτικά δείγματα, συμπεραίνεται ότι το εμφανιζόμενο μέταλλευμα στην θέση «Κακή Ράχη» του Δήμου Ασπροπύργου μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα λατεριτικό ιζηματογενές σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα.

Το εν λόγω μέταλλευμα έχει καστανέρυθρο χρώμα, συμπαγή και κατά θέσεις άτυπη στρωσιγενή υφή και δύο κύριες κοκκομετρίες: μία αδρόκοκκη με μέγεθος κόκκων μέχρι και 8 mm (κοκκομετρία μικρο-κροκαλαπαγούς) και μία λεπτο-μεσόκοκκη (από 0,05 έως 1mm).

Τα μελετηθέν σιδηρομέταλλευμα είναι άλλοτε πisolιθικού τύπου καθότι στην μάζα του εμφανίζονται πisolειδή και σύνθετα σφαιροειδή (Φωτ.38, 39, 44, 45, 53 & Φωτ.56) και άλλοτε συμπαγές σιδηρούχο περιέχοντας λεπτομερή τεμάχια σιδηρούχων ορυκτών (Φωτ.40, 41, 43, 51, 52 & Φωτ.56, 59, 61α & 62β). Οι φάσεις του μεταλλεύματος είναι κυρίως μικροκρυσταλλικές ευρισκόμενες σε στενή σύμφυση μεταξύ τους.

Κύρια ορυκτά συστατικά του μεταλλεύματος (Πιν.2 XRD) είναι ο αιματίτης που συναντάται με τη μορφή πisolιθου ή με τη μορφή συνδετικής ύλης, ο γκαιτίτης που συγκεντρώνεται κατά προτίμηση στην κύρια μάζα και ο χαλαζίας ο οποίος παρεμβάλλεται υπό μορφή φακών, κονδύλων ή τεμαχίων μικροσκοπικού έως μακροσκοπικού μεγέθους λιγότερο στα πisolειδή και περισσότερο στην κύρια μάζα.

Δευτερευόντως από τα ορυκτά του σιδήρου συμμετέχει ο μαγνητίτης και ο μαγκαιμίτης, ενώ από τα φυλλοπυριτικά ορυκτά κυρίως απαντάται ο νικελιούχος χλωρίτης, ο σερπεντίνης, ο καολινίτης, ο ιλλίτης, και ο μοντμοριλλονίτης.

Η περιεκτικότητα του συνόλου των μελετηθέντων δειγμάτων μεταλλεύματος σε νικέλιο αυτή προσδιορίστηκε σε 0,71% Ni με ελάχιστη τιμή 0,28% Ni και μέγιστη 1,45% Ni αντίστοιχα. Κύριος φορέας του νικελίου είναι ο νικελιούχος χλωρίτης ο οποίος συμμετέχει στην συνδετική κυρίως ύλη του μεταλλεύματος (Φωτ.58, Φωτ.60α & Φωτ.60β) αποτελώντας το 11% έως και 19% του λατερίτη στα δείγματα που αυτός προσδιορίστηκε (Πιν.19).

Η περιεκτικότητα σε νικέλιο του νικελιούχου χλωρίτη παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις τόσο εντός του ίδιου δείγματος όσο και μεταξύ διαφορετικών δειγμάτων και κυμαίνεται μεταξύ 3.16% και 8.63% NiO (Πιν.20). Αντίστοιχα η περιεκτικότητα σε νικέλιο των ορυκτών του σιδήρου είναι μεταξύ 0,59% και 1.88% NiO. Λόγω της μεγάλης συμμετοχής των ορυκτών του σιδήρου στο μέταλλευμα, η συμβολή τους στο περιεχόμενο σε αυτό νικέλιο, δεν είναι αμελητέα. Συγκεκριμένα από την ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε σε 5 δείγματα μεταλλεύματος με τη χρήση του προγράμματος TOPAS, τα ορυκτά του σιδήρου συμμετέχουν στο μέταλλευμα σε σχετικά μεγάλα ποσοστά (Πιν.19).

Σύμφωνα με Αλμπαντάκη (1974), Boskos et al. (1996), D.G. Eliopoulos, M. Oikonomou (1999), προκύπτει ότι η μέση περιεκτικότητα σε νικέλιο των

σιδηρομεταλλευμάτων σε Λοκρίδα (Νησί-2), Λούτσι Βοιωτίας (εκμετάλλευση Κοκορέτσα), Αγ. Ιωάννη Λάρυμνας και αντίστοιχα των σιδηρομεταλλευμάτων Παγώνδας Εύβοιας, Ισώματος-Τριάδας και Κατσίκιζας Κεντρικής Εύβοιας κυμαίνεται από 0,75% - 0,9% στην Λοκρίδα, 0,80% Ni (πισσολιθικό σιδηρομετάλλευμα από το μεταλλείο του Αγ. Ιωάννη Λάρυμνας) έως 1,17% Ni (από την εξόρυξη του μεταλλείου της Παγώνδας στην Εύβοια) με τη μέση περιεκτικότητα των κοιτασμάτων σε νικέλιο να θεωρείται το 1% περίπου. Αντίστοιχα σύμφωνα με τον Rosenberg (1984) σε πλήθος 40 δειγμάτων από σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα καρστικού τύπου η μέση περιεκτικότητα σε νικέλιο μετρήθηκε 1.12% Ni με ελάχιστη τιμή 0,25% NiO και μέγιστη 3,18% NiO αντίστοιχα. Το σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα στη θέση «Κακή Ράχη» εμφανίζεται στο κάτω όριο της διακύμανσης των παραπάνω τιμών νικελίου, με μέση περιεκτικότητα σε νικέλιο του μεταλλεύματος 0,90% NiO.

Δεδομένου ότι διαπιστώθηκε ευρεία διακύμανση ποσοστών συμμετοχής των ορυκτολογικών φάσεων στους διάφορους ορίζοντες του μεταλλεύματος καθώς και διακυμάνσεις του νικελίου στο Ni-ούχο χλωρίτη και στα ορυκτά του σιδήρου μεταξύ των δειγμάτων λατερίτη αλλά και μεταξύ των παραπάνω ορυκτών του ιδίου δείγματος, απαιτείται μεγάλος αριθμός σημειακών αναλύσεων τόσο χλωριτών όσο και σιδηρούχων ορυκτών του μεταλλεύματος, προκειμένου να εξαχθούν ασφαλέστερα συμπεράσματα.

Η μέση περιεκτικότητα του μεταλλεύματος σε Co είναι 598gr/t εξαιρώντας τους λεπτούς ορίζοντες στείρων εμφανίσεων που παρεμβάλλονται μεταξύ των λατεριτών. Διαφορετικά συνυπολογίζοντας και αυτούς τους ορίζοντες η μέση περιεκτικότητα σε Co κατέρχεται σε Η περιεκτικότητα του αντίστοιχα σε χρώμιο ενίοτε είναι αυξημένη και από τις χημικές αναλύσεις (XRF) 71 δειγμάτων βρέθηκε να είναι 1,09%. Αποδίδεται δε σε κόκκους κλαστικού χρωμίτη (Φωτ.59) ή χρωμιούχου σπινέλιου, υπολείμματα του μητρικού πετρώματος (D.G.Eliopoulos, M.Economou-Eliopoulos, 2000). Οι παραπάνω τιμές των στοιχείων Co και Cr αφορούν όλους τους ορίζοντες του μεταλλεύματος, που εμφανίζουν περιεκτικότητα σε σίδηρο μεγαλύτερη του 10% κ.β..

Τέλος δεν διαπιστώθηκαν αξιόλογες περιεκτικότητες στα στοιχεία των σπανίων γαιών στα δείγματα πεδίου ή στα δείγματα των γεωτρήσεων επιφανειακά ή από βαθύτερους ορίζοντες του μεταλλεύματος στις συγκεκριμένες θέσεις. Συγκεκριμένα για το σύνολο των δειγμάτων που αναλύθηκαν οι τιμές της περιεκτικότητας σε La κυμαίνονταν μεταξύ 4 έως 398ppm, με μέση τιμή τα 77gr/t. Η μέση περιεκτικότητα του μεταλλεύματος σε Y, Ce, Nd και Sm διαμορφώνεται χαμηλότερα των 51gr/t.

Ζ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι μελετηθέντες σχηματισμοί της ενότητας Ανατολικής Ελλάδος συνιστούν μηχανικό ίζημα το οποίο κάλυψε ασύμφωνα τα καρστικά έγκοιλα του παλαιοαναγλύφου. Στην μελετηθείσα περιοχή η επίκλυση έλαβε χώρα το Ανώτερο Κενομάνιο όπως μαρτυρούν τα ευρεθέντα εντός των υπερκείμενων ασβεστολίθων απολιθώματα. Τα υποκείμενα του μεταλλεύματος ανθρακικά πετρώματα θεωρούνται ανωτριάδικης ηλικίας. Η μελέτη των φάσεων, μικροφάσεων και ο προσδιορισμός της ηλικίας τους εμπίπτει στα αποτελέσματα των συντακτών του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ Φύλλο Ελευσίνα (1:50000).

Η μελετηθείσα μεταλλοφορία στην ίδια θέση, εντάσσεται στην κατηγορία των ιζηματογενών σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων και είναι πλούσια σε οξειδία ή και υδροξειδία του σιδήρου καθώς και σε ορυκτά του πυριτίου (π.χ. χαλαζίας, χαλκηδόνιος), ενώ εμφανίζει αξιόλογες συγκεντρώσεις φυλλοπυριτικών ορυκτών όπως, χλωρίτη, ιλλίτη και καολινίτη. Περιέχει δε άφθονους κλαστικούς κόκκους χρωμίτη.

Η μέση περιεκτικότητα σε νικέλιο του μεταλλεύματος είναι 0.71% Ni ή 0,90% NiO, κάτω από το όριο των υπό εκμετάλλευση των σιδηρονικελιούχων κοιτασμάτων του Ελλαδικού χώρου.

Το κυριότερο Ni-ούχο ορυκτό του μεταλλεύματος είναι ο Ni-χλωρίτης. Η περιεκτικότητά του σε νικέλιο κυμαίνεται για τα μελετηθέντα δείγματα (στα πλαίσια της μικροαναλυτικής εργασίας) από 3.16 – 8.63% NiO.

Τα ενδεικτικά αποθέματα πέριξ των πέντε γεωτρήσεων και του ερευνητικού σκάμματος που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή «Κακή Ράχη» του Δήμου Ασπροπύργου και σε επιφάνεια συνολικού εμβαδού 100 στρεμμάτων ανέρχονται σε 66.887m^3 (247.482 τόνοι) είναι σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα υψηλής περιεκτικότητας σε Ni ($\text{Ni} \geq 0,9\%$) και τα $1.358.173\text{ m}^3$ (4.264.663 τόνοι) είναι σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα μέτριας περιεκτικότητας σε Ni ($0,5\% \leq \text{Ni} < 0,9\%$).

Τέλος από την επεξεργασία των αναλυτικών δεδομένων προκύπτει ότι το εν λόγω μετάλλευμα για τις συγκεκριμένες θέσεις που ερευνήθηκαν και για τους συγκεκριμένους μεταλλοφόρους ορίζοντες δεν εμφανίζει αξιόλογη περιεκτικότητα σε στοιχεία της ομάδας των Σπάνιων Γαιών.

Η. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι προκειμένου να διερευνηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η δυνατότητα εκμετάλλευσης της συγκεκριμένης μεταλλοφόρου εμφάνισης σε διάφορες χρήσεις προτείνονται τα εξής:

- Διενέργεια επιπλέον δειγματοληπτικών γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή διατεταγμένων στον χώρο με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχουν την μεγαλύτερη δυνατή κάλυψη της υπό εξέταση περιοχής, συμβάλλοντας στην βέλτιστη αποτύπωση των προς διερεύνηση οριζόντων
- Διάνοιξη επιπλέον ερευνητικών φρεατίων
- Εκτέλεση περισσότερων αναλύσεων (XRF, XRD, SEM)
- Προσπάθεια διαχωρισμού του πυριτικού από το σιδηρούχο κλάσμα του μεταλλεύματος, με την βοήθεια ξηρών μεθόδων (θραύση του μεταλλεύματος σε διάφορες κοκκομετρικές διαβαθμίσεις και μαγνητικό διαχωρισμό αυτών ώστε να βρεθεί το βέλτιστο κλάσμα θραύσης του μεταλλεύματος προκειμένου να μετά τον διαχωρισμό να εμπλουτιστεί η σιδηρούχα φάση
- Χρήση εξειδικευμένων προγραμμάτων 3D αναλύσεων για ακριβέστερο υπολογισμό των αποθεμάτων

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Aubouin J. & Guernet C. (1963) Sur la stratigraphie et la tectonique de l' Eubee moyenne (Grece). Bull. Soc. Geol de France, (7), V, p. 821-827.
- Aubouin J. (1959) Contribution a l'etude geologique de la Grece septentrionale: Les confins de l' Epire et de la Thessalie. Ann. Geol.Pays Hellen., vol. 10, p. 1-483.
- Aubouin J., Brunn J. Celet P., Dercourt J., Godfriaux I., Mercier J., Lys M., Marie P., Neumann M., Sgal j. & Sornay j. (1960) Le Cretace superieur en Grece Bull. Soc. Geol de France, (7), II, p. 452-469.
- Augustithis SS. (1962) Mineralogical and geochemical changes in the diagenetic and post-diagenetic phases of the Ni-Cr-Iron oolitic deposits of Larymna/Lokris, Greece. Chem. Erde, 22, 5 – 17.
- Augustithis SS. and Mposkos (1981) Differential leaching of Fe and Cr from chromite grains in laterites and birbrites. UNESCO, IGCP No 169, Intern. Symp. Metallog. Maf. Nad Ultrtamaf. Compl., N.T.U. Athens, V.1, 214 – 226, Athens, 1980.
- Bailey, S.W. (1980) Structure of layer silicates. Pp.1_123 in: 'Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray identification' (G.W. Brindley and G.Brown, editors). Monograph, 5. Mineralogical Society, London.
- Baziotis I., Boskos E., Palikari S. and Perraki M. (2007) : Geochemistry of ultramafic rocks from the ultrahigh-pressure metamorphic Kimi complex in East Rhodope (NE Greece). Bull.Geol.Soc. Greece. V. XXXX, p. 653-665.
- *Benthic Foraminifera*, Sendai, 1990 (Benthos '90), 93-102p., Tokai Maria Economou-Eliopoulos, Apatite and Mn, Zn, Co-enriched chromite in Ni-laterites of northern Greece and their genetic significance, Journal of Geochemical Exploration 80 (2003) 41–54.
- Bignot G. & Guernet C. (1968) L' age de la transgression du Cretace superieur dans la region de Larymna, au nord des lacs thebains (Grece). Rev de Micropal., vol. 10, n° 4, pp. 261-270.
- Bignot G. & Neumann M. (1991) Les "grands" Foraminiferes du Cretace terminal et du Paleogene du Nord-Ouest europeen. Recensement et extensions chronologiques. Bull. Inf. Geol. Bassin de Paris, Paris, vol. 28 n° 2, p. 13 – 29.
- Bignot G., Fleury J.J. & Guernet C. (1971) Sur la stratigraphie du Cretace superieur et du flysh en Eubee moyenne (zone pelagonienne, Grece), Bull. Soc. Geol de France, (7), XIII, n° 5-6, p. 484 - 489.
- Celet P. & Ferriere J. (1978) Les Hellenides internes: La Pelagonien. Eclogae Geol. Helv., vol. 71/3, p. 467-495, Bale.
- Celet P. Clement B. & Ferriere J. (1976) La zone beotienne en GreceQ implications paleogeographiques et structurales. Eclogae Geol. Helv., vol. 69, p. 577-599, Bale.
- Celet P. Clement B. & Ferriere J. (1988) Evolution geodynamique de la plate-forme pelagonienne au Mesozoique. Bull. Geol. Soc. Greece, 20, 1, 215 – 222.

- Clement B (1976) Essai d' interpretation structural d' un secteur des zones internes helleniques: l' Attique-Beotie. Bull. Geol. Soc. de France, (7), XVIII, n° 2, p. 309-316.
- Clement B. & Ferriere J. (1973) La phase tectonique Ante-Cretace superieur en Grece continentale. C. R. Acad. Sc. Paris, t. 276, p. 481 – 484.
- Clement B. (1977) Relations structurales entre la la Zone du Parnasse et la Zone Pelagonienne en Boetie (Grece continentale). Proceedings of VI Coll. on the Geology of the Aegean Region, 1, 237-251, Athens 1977.
- Clement B. (1983) Evolution geodynamique d' un secteur des Hellenides internes: l' Attique-Beotie. These. Publ. Spec. Soc. geol. Nord. 1-521.
- Eliopoulos D.G., Economou-Eliopoulos M., Apostolikas A., Golightly J.P. (2012) Geochemical features of nickel-laterite deposits from the Balkan Peninsula and Gordes, Turkey: The genetic and environmental significance of arsenic, Ore Geology Reviews (2012), OREGEO-00950; No of Pages 15.
- Eliopoulos D.G., Economou-Eliopoulos M. Geochemical and mineralogical characteristics of Fe–Ni- and bauxitic-laterite deposits of Greece, Ore Geology Reviews 16 _2000. 41–58.
- Deer W.A. Howie, R.A. and Zussman J. (1965) Rock-forming minerals, V.3, Sheet Silicates. Longmans, London, 131 – 163.
- Dermitzakis M. & Papanikolaou D (1979) Paleogeography and geodynamics of the Aegean region during the Neogene. Ann. Geol. Pays Hell., Proceedings, IV-VII Int. Congress Med Neogene, 1981, pp.245-289.
- Elias M. (2002) Nickel laterite deposits: a geological overview, resources and exploitation: Hobart, University of Tasmania, Centre for Ore Deposit Research Special Publication, 4, 205-220.
- Evans B.W. & Frost B.R. (1975) Chrome-spinel in progressive metamorphism – a preliminary analysis. Geoch. Cosm. Acta, 39, 959 – 972
- Ferriere J. (1974) Etude geologique d' un secteur des zones helleniques internes subpelagonienne et pelagonienne (massif de l' Othrys, Grece continentale). Importance et signification de la periode orogenique ante-Cretace superieur. Bull. Soc. geol. France, (7), XVI, P. 543 – 562.
- Ferriere J. (1976) Sur la signification de series du massif d' Othrys (Grece continentale centrale): la zone isopique maliaque. Ann. Soc. Geol. Nord, 96/2, 121 – 134.
- Ferriere J. (1982) Paleogeographie et tectoniques superposes dans les Hellenides internes: le massifs de l' Orthys et du Pelion (Grece continentale et Peloponnese du Nord). Evolution d' une plateforme et d' un bassin dans leur cadre alpin. Soc. geol. Du Nord, Publ. No 4, 651p, Lille.
- Freyssinet, Ph., Butt, C.R.M. and Morris, R.C. (2005) Ore forming processes related to lateritic weathering. Economic Geology, 100th Anniversary Volume, 681-722.
- Golightly, J.P. (1981) Nickeliferous laterite deposits. Economic Geology.
- Golightly, J.P. (1981) Nickeliferous laterite deposits. Economic Geology, 75th Anniversary Volume, 710-735.

- Hey M.H. (1954) A new review of the chlorites, *Minerl. Mag.*, 30, 277 – 292.
- Katsikatsos G., Migiros G., Triantaphyllis M & Mettos A. (1986) Geological structure of internal Hellenides (E Thessaly – SW Macedonia –Euboea – Attica – northern Cyclades Islands and Lesvos). *Geol & Geoph. Res., Sp. Vol.*, 191 – 212.
- Ktenas C. (1924) Formations primaires semimetamorphiques au Peloponnese centrale. *C.R. Soc. Geol. France*, 61 – 63.
- Loeblich A. & Tappan H. (1987) *Foraminiferal genera and their classification*. Van Nostrand Reinhold, New York, vol. 1: 970 p.; vol. 2: 212 p., 847 pls.
- Loeblich A. & Tappan H. (1992). Present status of foraminiferal classification. In: Takayanagi, Y. & Saito, T.(Eds) *Studies in Benthic Foraminifera*. Proceedings of the Fourth International Symposium on Benthic Foraminifera, Sendai, 1990 (Benthos '90), 93-102p., Tokai
- Manceau A. and Calas G. (1985) Heterogeneous distribution of nickel in hydrous silicates from New Caledonia ore deposits. *American Mineralogist*, 70, 549-558.
- Mariolakos I. & Papanikolaou D. (1982) Cretaceous emplacement of the ophiolites in Northern Greece and related tectonosedimentary environments. *Geol. Evol. East. Medit.*, Edinburg, Abstracts, p.71.
- Mariolakos I., I. Fountoulis, CH. Sideris, Th. Chatoupis (2001) Μορφονεοτεκτονική δομή του όρους Πάρνηθα Αττικής, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXIV/1, 183-190, Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001.
- Mercier J., Vergely P. & Bebien J. (1975) Les ophiolites helleniques “obductees” au Jurassique superieur sont-elles les ventiges d’un Ocean tethysien ou d’une mer marginale peri-europeenne? *C.R.Somm. Soc. Geol. France*, 4, p. 108-112
- Michalidis K. (1991) Fe – Cr spinel and ilmenite massive mineralization in metamorphic ultramafics from the Askos area, Northern Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXV (2), 203 – 224.
- Mountrakis D., Sapountzis E., Kiliass A., Eleftheriadis G. & Christofidis G. (1983) Paleogeographic conditions in the Western Pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area. *Can. J. Earth Sci.*, 21, 1673 – 1681.
- Naldrett, A. J. (1981) Nickel sulfide deposits: classification, composition and genesis. *Economic Geology*, 75th Anniversary Volume, 628-685.
- Naldrett, A.J. (2004) *Magmatic sulfide deposits: Geology, Geochemistry and Exploration*. Heidelberg, Springer Verlag, 728 p.
- Naldrett, A.J. (2010) Secular variation of magmatic sulfide deposits and their source magmas. *Econ Geol* 105, 669-688.
- Papanikolaou D. (1980) Nouvelles observations et datations de la base de la serie pelagonienne (s.s.) dans la region de Kastoria, Grece. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 291, 155 – 158.
- Papanikolaou D. (1984a) The three metamorphic belts of the Hellenides: a review and a kinematic interpretation. *Spec. Publ. Geol. Soc. London*, 17, 551-561.

- Papanikolaou D. (1984b) Tectonic evolution of the Hellenides. 27th Intern. Geol. Cong., Moscow 1984, Abstracts, v.3, p. 551 – 561.
- Papanikolaou D. (1984c) Introduction to the Geology of Greece. The pre-Alpine units. In IGCP No 5, 1984, Fieldmeeting in Greece, Fieldguide, pt. I, p.3-35.
- Papanikolaou D. (1986) Late Cretaceous Paleogeography of the Metamorphic Hellenides. Geol. Geoph. Res. IGME, Special issue, 315-328.
- Papanikolaou D. (1988) Triassic in Hellenides. Atti del 74o Congresso della soc. Ged. It., A, 529-530.
- Papanikolaou D. (1989) Are the Medial Crystalline Massifs of the Eastern Mediterranean drifted Gondwanan fragments? Geol. Soc. Greece, Spec. Publ., I, 63-90.
- Papanikolaou D. (1997) The tectonostratigraphic terranes of the Hellenides. Ann. Geol. Pays Hellen., vol. 37, p. 495 – 514.
- Renz C (1955) Die vorneogene Stratigraphie der normalsedimentären formationen Griechenlands, I.G.S.R. p. 637, Athens
- Renz C. (1908) Sur les preuves de l'existence du Carbonifère et du Trias dans l'Attique. Bull. Soc. géol. De France, (4), VII, p. 519 – 523.
- Renz C. (1909) Neue Carbonvorkommen in Griechenland. Centralbl für Min. Geol. Paläont., No 755 - 759.
- Renz C. (1913) La découverte du Trias et du Jurassique dans les montagnes de Kopais. C.R. Acad. Sc., 156.
- Roumbanis B. (1961) Geological research on the Parnes Mountain range. Ann. Geol. P. Hell. XII, Athen
- Skarpelis N. (2005) Lateritization processes of ultramafic rocks in Cretaceous times: The fossil weathering crusts of mainland Greece., Journal of Geochemical Exploration 88 (2006) 325–328.
- Skarpelis, N., Laskou and Alvisos G. (1993) Mineralogy and geochemistry of the nickeliferous lateritic iron-ores of Kastoria, N.W. Greece. M. Erde. 53, 331 – 339.
- Skounakis St. (1993) Economic geology, University of Athens, Athens.
- Stamatakis M.G. & Mitsis I. (2010) The occurrences of Mg-Hydroxycarbonates in serpentinites of the western section of the South Aegean Volcanic Arc (West Attica Peninsula – Northeastern Argolis Peninsula), Greece, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Τομ. XLVII, Πρακτικά 13ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος.
- Valetton I., M. Biermann, R. Reche and F. ROSENBERG (1987) Genesis of Nickel Laterites and Bauxites in Greece during the Jurassic and Cretaceous, and their relation to ultrabasic parent rocks, Ore Geology Reviews, 2 359-404.
- Wells, M.A., Ramanaidou, E.R., Verrall, M. and Tessarolo, C. (2009) Mineralogy and crystal chemistry of 'garnierites' in the Goro lateritic nickel deposits, New Caledonia. European Journal of Mineralogy, 21, 467-483.

- Zambetakis - Lekkas A., Kemeridou A., New data on the palaeobiogeography of Loftusia genus (Foraminiferida). An in situ presence of the genus in eastern Greece (Boeotia), C. R. Geoscience 338 (2006) 632–640.
- Zambetakis - Lekkas A. and Kemeridou A. *Loftusia* CF. *Anatolica* horizon in upper Maastrichtian limestones of the Eastern Greece platform (Mount Ptoon, Boeotia, Greece): Palaeobiogeographical remarks, Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXVI, 2004, Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki, April 2004.
- Αλμπαντάκης Ν.Δ. (1974) Τα Νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα Λοκρίδος και Εύβοιας, Διατριβή επί διδακτορία Πανεπιστημίου Αθηνών.
- Αποστολίκας Αθ., Κοιτασματολογία Νικελίου, Εκδόσεις ΕΦΥΡΑ, Καστοριά, 2010.
- Βορεάδης Γ. (1937) Νεοκιμμερική πτύχωσης εις Ανατολικήν Ελλάδα και αι φάσεις της Αλπικής εν Ελλάδι ορογενέσεως. Διατριβή Υψηγείας.
- Δημακη Δ. (1994) Εξομείωση της εκχύλισης σε σωρούς οξειδων'ένων μεταλλευμάτων νικελίου. Διδ. Διατριβή ΕΜΠ, 374 σελίδες.
- Δημακος Γ. (1991) Κατανομή ιχνοστοιχείων σε υπερβασικά πετρώματα της Εύβοιας. Διδ. Διατριβή Ε.Μ.Π..
- Ζαμπετάκη Α., Τσούρου Θ., Κεφάλαια στρωματογραφίας – Στρωματογραφία Εξωτερικών Ελληνίδων, Τομέας Ιστορικής Γεωλογίας – Παλαιοντολογίας, ΕΚΠΑ, Αθήνα, 2011.
- Κατσικάτσος Γ. (1992) Η Γεωλογία της Ελλάδας, Αθήνα.
- Κατσικάτσος Γ., Βιδακης Μ., Δουνας Α., Πομονη Φ., Τσαϊλα-Μονοπωλη Σ. & Σκουρτση-Κορωναιου Β. (1986) Φύλλο Αθήναι-Ελευσίς, Γεωλ. Χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1/50.000 ΙΓΜΕ.
- Κουμαντακης Ι. (1967) Γεωλογία της περιοχής των Βοιωτικών λιμνών Υλίκης – Παραλίμνης. Συμβολή εις την γνώση του φλύσχου. Ann. Geol. Pays Hellen. vol. 18, p.527 – 533.
- Κουμαντακης Ι.Ε. (1969^α) Συμβολή εις την γνώσιν της γεωλογίας της επαρχίας Θηβών. Ann. Geol. Pays Hellen., vol. XXI, p.35 - 106.
- Κουμαντακης Ι.Ε. (1969^β) Νέα στρωματογραφικά στοιχεία εκ της περιοχής των λιμνών Υλίκης και Παραλίμνης. Ann. Geol. Pays Hellen., vol. XXI, p. 14 – 20.
- Μερμγκη Α., Α. Μαρκοπουλου – Διακαντωνη, Α. Ζαμπετακη – Λεκκα, Νέα παλαιοντολογικά και στρωματογραφικά δεδομένα επί της Ανωκρητιδικής επίκλυσης στην ζώνη Ανατολικής Ελλάδας (Μαρμέικο, Πτώον όρος, Βορειοανατολική Βοιωτία), Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/2, 585-591, 2001, Πρακτικά 9^{ου} Διεθνούς Συνέδριου, Αθήνα, Σεπτεμβρίου 2001.
- Μιχαηλίδης Κ., Νυμφόπουλος Μ., Nicholson Κ. και Τρώντσιοις Γ., Γεωχημεία και προέλευση των μαγγανιούχων μεταλλευμάτων στην περιοχή Γρεβενών (οφειόλιθοι Πίνδου), Δ. Μακεδονία, 2ο Συνέδριο της επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας, Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2005, σελ. 249-257.
- Μουντρακης Δ. (1985) Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press.

- Μπόσκος Ε. (2007) Τα FeNi-ούχα λατεριτικά μεταλλεύματα της Ελλάδας. Συμβολή της Ορυκτολογίας – Πετρολογίας στην αξιοποίησή τους. Εορτασμός των 170 χρόνων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, “Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας”, σελ. 659 – 664.
- Μπόσκος Ε., Ορφανουδάκη Α., Περράκη Θ. (2000) Κατανομή του νικελίου στις ορυκτολογικές φάσεις Fe-Ni-ούχων λατεριτών του Ελλαδικού χώρου. 3ο Συνέδριο Ορυκτού Πλούτου Τ.Ε.Ε. 22-24/11/2000, Αθήνα.
- Μπόσκος Ε.Δ. (1996) Κατανομή του Ni και του Cr στις ορυκτολογικές φάσεις Fe-Ni-ούχων λατεριτών της Κεντρικής Εύβοιας, Ορυκτός Πλούτος, Τεύχος 101.
- Μπόσκος, Ε., Περράκη, Θ. και Κολοκοτρώνη, Κ., (1996) Κατανομή του Ni και του Cr στις ορυκτολογικές φάσεις FeNi-ούχων λατεριτών της Κεντρικής Εύβοιας. Ορυκτός Πλούτος, 101, 9-26.
- Παπανικολάου Δ. (1990) Πιθανά γεωδυναμικά πλαίσια των σχιστοψαμμιτοκερατολιθικών διαπλάσεων στις Ελληνίδες. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., τομ. XXIV, σελ.135 – 148.
- Παπανικολάου Δ. (2015) Γεωλογία της Ελλάδος, Εκδόσεις Πατάκη.
- Σκαρπέλης Ν. & Ζαμπετάκη-Λέκκα Α. (1998) Τα πυριτικά πετρώματα εντός των Κρητιδικών κοιτασμάτων ιζηματογενών νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων Εύβοιας και Βοιωτίας: Πετρογραφικά – Στρωματογραφικά δεδομένα και μία νέα ερμηνεία προέλευσης, Αθήνα, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXII/3, 115-124, Πρακτικά 8ου Διεθνούς Συνεδρίου, Πάτρα.
- Τάταρης ΑΘ. (1967) Παρατηρήσεις επί της δομής της περιοχής Σκαρμαγκά – όρους Αιγάλαιω – Πειραιώς – Αθηνών (Αττική) Δ.Ε.Γ.Ε VII/I, σελ. 52- 88, Αθήναι.
- Ταταρης, Α. (1972): Νεώτερα πορίσματα επί της Γεωλογίας της νήσου Σαλαμίνας και της περιοχής Αττικής. Δελτίο Ε.Γ.Ε., 7/1, 52-58.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. Ε103-84 Συνοπτική περιγραφή των συνηθέστερων εργαστηριακών δοκιμών Βραχομηχανικής – Εδαφομηχανικής, 1984
- Χαραλαμπάκης, Σ. (1951): Συμβολή στη γνώση του Νεογενούς της Αττικής. Ειδ. Μελ. Γεωλ. Ελλάδος, Υ.Ε.Υ. Υπουργείο Συντονισμού, Αθήνα.