



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΣΤΑΥΡΟΣ Π. ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ
Γεωλόγος

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ
ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΙΝΩΝ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020





ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI
FACULTY OF SCIENCES
SCHOOL OF GEOLOGY

STAVROS P. OIKONOMIDIS
MSc Geologist

STUDY OF ASBESTOS MINERALS AND METHODS OF
TRACING THEIR FIBERS IN NATURAL ENVIRONMENT

DISSERTATION THESIS

THESSALONIKI
2020





ΣΤΑΥΡΟΣ Π. ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ
Γεωλόγος

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΙΝΩΝ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Εκπονήθηκε στον Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματοογίας του Τμήματος
Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. τον Ιανουάριο του 2020

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 22/04/2020

Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής Επετηρίδας Τμήματος Γεωλογίας Ν°: 201

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Ομότ. Καθηγητής Σπυρίδων Σκλαβούνος, Επιβλέπων

Διατ. Καθηγητής Κλεόπας Μιχαηλίδης, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Ομότ. Καθηγητής Θεμιστοκλής Κουϊμπτζής, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Εξεταστική Επιτροπή

Ομότιμος Καθηγητής Σπυρίδων Σκλαβούνος, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Διατελέσας Καθηγητής Κλεόπας Μιχαηλίδης, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

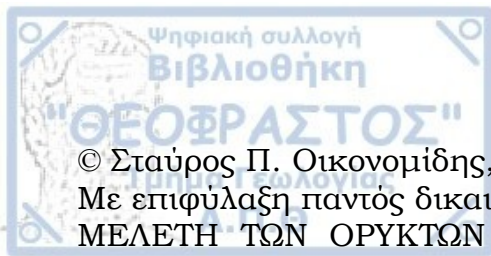
Καθηγητής Μιχαήλ Βαβελίδης, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Καθηγήτρια Ελένη Παυλίδου, Τμήμα Φυσικής ΑΠΘ

Καθηγητής Θωμάς Κεχαγιάς, Τμήμα Φυσικής ΑΠΘ

Αναπλ. Καθηγήτρια Παπαδοπούλου Λαμπρινή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Αναπλ. Καθηγητής Καντηράνης Νικόλαος, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ



© Σταύρος Π. Οικονομίδης, Γεωλόγος, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΙΝΩΝ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ. – *Διδακτορική Διατριβή*

© Stavros P. Oikonomidis, Geologist, 2020

All rightS reserved.

STUDY OF ASBESTOS MINERALS AND METHODS OF TRACING THEIR FIBERS IN NATURAL ENVIRONMENT. – *Ph.D. Thesis*

Citation:

Οικονομίδης Σ.Π., 2020. – Μελέτη των ορυκτών αμιάντου και τρόποι ανίχνευσης των ινών τους στο περιβάλλον. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής Επετηρίδας Τμ. Γεωλογίας Νο 201, 185 σελ.

Oikonomidis S.P., 2018. – Study of Asbestos minerals and methods of tracing their fibers in natural environment. Ph.D. Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, Annex Number of Scientific Annals of the School of Geology No 201, 185pp.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

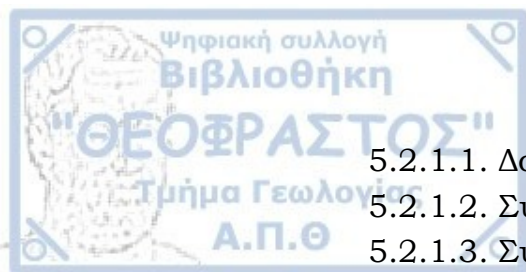


στον Παναγιώτη Οικονομίδα



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 Ο αμιάντος	6
1.2 Προγενέστερες έρευνες	7
2. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ	9
2.1. ΤΑ ΟΡΥΚΤΑ ΤΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ	9
2.1.1. Ορισμοί - Κατηγορίες	9
2.1.2. Ορυκτά αμιάντου εντός κανονιστικού πλαισίου (regulated)	10
2.1.3. Αμιαντόμορφα ορυκτά εκτός κανονιστικού πλαισίου (non-regulated)	12
2.2. ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΚΟΣ ΑΜΙΑΝΤΟΣ	13
2.3. ΑΜΦΙΒΟΛΙΚΟΣ ΑΜΙΑΝΤΟΣ	17
2.4. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ	18
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	23
3.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	23
3.2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	25
3.2.1. Πελαγονική μάζα	25
3.2.2. Οφιόλιθοι	25
3.2.2.1. Βούρινος	26
3.2.2.2. Πίνδος	26
3.2.2.3. Βέρμιο	27
3.2.3. Αλπικοί σχηματισμοί	27
3.2.4. Μεσοελληνική αύλακα	28
3.2.5. Πρόσφατοι σχηματισμοί	28
3.3 ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΑΜΙΑΝΤΟΥ	29
3.3.1. Κοίτασμα Μονής Ζιδανίου	29
4. ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ	31
4.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ – ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ	31
4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ	36
5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	38
5.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	38
5.1.1. Δειγματοληψία	38
5.1.2. Εργαστηριακή Μεθοδολογία	39
5.1.3. Αναλυτικά Όργανα	41
5.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΙΝΩΝ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΣΤΟ ΝΕΡΟ ΣΤΟ SEM	42
5.2.1. Δειγματοληψία	42



5.2.1.1. Δοχεία δειγματοληψίας	42
5.2.1.2. Συλλογή δειγμάτων	42
5.2.1.3. Συντήρηση δειγμάτων	42
5.2.2. Συσκευές	43
5.2.3. Διαδικασία	43
5.2.3.1. Προετοιμασία δείγματος - φιλτράρισμα	43
5.2.3.2. Μέτρηση ινών	46
5.2.3.3 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων	48
6. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΙΝΩΝ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΑ ΝΕΡΑ	49
6.1. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ	49
6.1.1. Τρόπος Δειγματοληψίας	49
6.1.2. Σημεία δειγματοληψίας	51
6.1.3. Περίοδοι Δειγματοληψίας	52
6.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΙΝΩΝ ΣΤΟ SEM	54
6.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟ SEM ΚΑΤΑ ΘΕΣΗ	55
6.2.1.1 Θέσεις κοίτης Αλιάκμονα	55
6.2.1.2 Θέσεις σε παραποτάμους της αριστερής όχθης	76
6.2.1.3 Θέσεις σε παραποτάμους της δεξιάς όχθης	91
6.2.1.4. Συμπεράσματα	105
6.2.2. Αποτελέσματα μετρήσεων στο SEM κατά δειγματοληψία	110
6.3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΙΝΩΝ ΣΤΟ TEM	113
6.3.1 Γενικά	113
6.3.2 Αποτελέσματα μετρήσεων στο TEM κατά θέση	114
6.3.2.1 Θέσεις κοίτης Αλιάκμονα	114
6.3.2.2 Θέσεις σε παραποτάμους της δεξιάς όχθης	120
6.3.3. Συμπεράσματα	121
6.3.3 Αποτελέσματα μετρήσεων στο TEM κατά δειγματοληψία	124
6.4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ	124
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	129
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	133
9. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	149
10. ABSTRACT	150
11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	152



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αφορμή για την εκπόνηση της διατριβής αυτής στάθηκε η υδροδότηση της Θεσσαλονίκης από τα νερά του ποταμού Αλιάκμονα και η ύπαρξη ινών αμιάντου σ' αυτόν.

Το γεγονός αυτό δημιούργησε προβλήματα στην ολοκλήρωση του έργου της υδροδότησης της πόλης, δεδομένου ότι οι ίνες αμιάντου θεωρείται ότι είναι δυνατόν να προκαλέσουν θανατηφόρες ασθένειες, όπως ο καρκίνος του πνεύμονα και το μεσοθηλίωμα. Οι σχετιζόμενες με τις ίνες αμιάντου ασθένειες αφορούν την εισπνοή τους, με την επικινδυνότητά τους για άλλες μορφές καρκίνων ή και άλλες ασθένειες να είναι ακόμα θέμα έρευνας, η παρουσία τους όμως και μόνο προξενεί ανησυχία στο κοινωνικό σύνολο. Έχουν θεσπιστεί παγκοσμίως όρια, όσον αφορά στην περιεκτικότητα και το μέγεθος των ινών αμιάντου και στο πόσιμο νερό, όπως και στον εισπνεόμενο αέρα.

Η παρούσα έρευνα έχει ως στόχο να επιλύσει τα παρακάτω προβλήματα:

1. Να καθορισθεί η βέλτιστη, ακριβέστερη, οικονομικότερη, αλλά ταυτόχρονα και πιο εύχρηστη μέθοδος για την ανίχνευση και μέτρηση των ινών αμιάντου στα φυσικά νερά στο περιβάλλον.

2. Να καθορισθεί ποιος ακριβώς είναι ο αριθμός των ινών αμιάντου ανά λίτρο νερού στον ποταμό Αλιάκμονα στις θέσεις ενδιαφέροντος.

3. Να ερευνηθεί ποια είναι η προέλευση των ινών και, εάν είναι αυτό δυνατόν, ποια είναι η συμμετοχή της κάθε πηγής προέλευσης στον τελικό αριθμό των ινών στον ποταμό Αλιάκμονα.

Όπως γίνεται προφανές από τα παραπάνω, η έρευνα αυτή περιλαμβάνει δύο ενότητες:

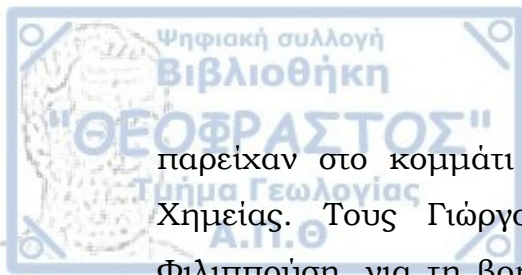
(i) την ανάπτυξη της μεθοδολογίας που θα εφαρμοστεί κατά την παρούσα έρευνα, την σύγκρισή της με τις ήδη υπάρχουσες μεθοδολογίες ώστε να προταθεί η χρήση της και σε παρόμοιες έρευνες στο μέλλον και

(ii) την μελέτη του προβλήματος από γεωλογική και περιβαλλοντική σκοπιά (ανίχνευση των ινών, ποσοτικός τους προσδιορισμός και καθορισμός της προέλευσής τους).

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα, Ομότιμο Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας, Σπύρο Σκλαβούνο για όλη τη βοήθεια, τη συμπαράσταση και την υπομονή που έδειξε όλα αυτά τα χρόνια που συνεργαζόμαστε. Για την καθοδήγηση, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στο χειρισμό των μηχανημάτων και για την τεράστια και πολύχρονη επιστημονική βοήθεια που μου παρείχε σε οτιδήποτε και να του ζήτησα.

Ευχαριστώ επίσης τον αείμνηστο Ομότιμο Καθηγητή του Τμήματος Χημείας και μέλος της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, Θεμιστοκλή Κουϊμτζή, για τη βοήθεια σε κάθε τι που του ζητήθηκε, στη βοήθεια για τη χρήση των εγκαταστάσεων του Τμήματος Χημείας και την εξασφάλιση της χρηματοδότησης της διατριβής στα πρώτα χρόνια της. Επίσης ευχαριστώ τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας Κλεόπα Μιχαηλίδη, για την πρόθυμη συνεργασία που παρείχε, όποτε και εάν του ζητήθηκε και τις συμβουλές του.

Ευχαριστώ θερμότερα την Καθηγήτρια του Τμήματος Φυσικής Ελένη Παυλίδου και τον Βασίλη Κυριακόπουλο για τη βοήθεια και εκπαίδευση στο Σαρωτικό Μικροσκόπιο. Τους Καθηγητές του Τμήματος Χημείας Γιώργο Ζαχαριάδη και Δήμητρα Βουτσά για τη βοήθεια που μου



παρείχαν στο κομμάτι της διατριβής μου που διεξήχθη στο Τμήμα Χημείας. Τους Γιώργο Μυγδαλιά, Βασίλη Καλαϊτζίδη και Μαρία Φιλιππούση, για τη βοήθεια στη χρήση και αξιολόγηση του TEM. Τον Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας Ανδρέα Ιορδανίδη τόσο για την επιστημονική βοήθεια όσο και για τη βοήθεια στη φάση δειγματοληψίας υπαίθρου και τη φιλοξενία στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας. Την Αν. Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωλογίας Λαμπρινή Παπαδοπούλου για τις διορθώσεις και συμβουλές της στην τελική διαμόρφωση της διατριβής. Τον Αν. Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας Βασίλη Μέλφο για τις χρησιμότερες διορθώσεις του στο τελικό κείμενο της διατριβής. Όλους τους φίλους μου που με βοήθησαν στη δουλειά υπαίθρου. Την Μαρία, την Ιωάννα, τον Αστέρη, τον Μανόλη, την Ελένη, τον Κώστα, τον Κώστα, τον Μιχάλη, τον Άκη και όποιον άλλο ενδέχεται να ξεχνάω αυτή τη στιγμή.

Ιδιαίτερα, θέλω να ευχαριστήσω τον πατέρα μου Παναγιώτη για τις ατελείωτες συμβουλές του και τα μαθήματα επιστημονικής σκέψης, μεθοδολογίας και ηθικής που μου παρέχει καθημερινά. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τη μητέρα μου για τη συμπαράσταση της και τη βοήθεια στη δουλειά υπαίθρου όταν δεν υπήρχε άλλος διαθέσιμος και τη σύζυγό μου Ζωή για την κάθε είδους συμπαράσταση, αλλά και τη βοήθεια στη διόρθωση, σελιδοποίηση και μορφοποίηση του παρόντος κειμένου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Ο αμιάντος

Στην παρούσα μελέτη, όπως και γενικότερα στη διεθνή βιβλιογραφία, ο όρος αμιάντος (αγγλ. asbestos) δεν αφορά κάποιο συγκεκριμένο ορυκτό ή ομάδα ορυκτών. Ο όρος αυτός είναι η κοινή εμπορική ονομασία των έξι πιο διαδομένων πυριτικών ορυκτών τα οποία εμφανίζουν ινώδη μορφή και τυχάνουν ή έχουν τύχει εμπορικής εκμετάλλευσης (*Skinner et al., 1988, Virta 2002*). Τα ορυκτά αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: (i) στον σερπεντινικό αμιάντο ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), ο οποίος περιλαμβάνει το ορυκτό χρυσοτίλης ή λευκός αμιάντος, ο οποίος είναι η πιο διαδομένη μορφή αμιάντου, και (ii) στον αμιφολικό αμιάντο ο οποίος περιλαμβάνει πέντε ορυκτά της ομάδας των αμιφόλων, τον κροκιδόλιθο ή μπλε αμιάντο, που είναι η ινώδης μορφή του ριβεκίτη, τον αμοσίτη, που είναι η ινώδης μορφή του γρουνερίτη, τον τρεμολίτη, τον ανθοφυλλίτη και τον ακτινόλιθο. Άλλα ορυκτά που εμφανίζουν ινώδη μορφή, αλλά είτε λόγω σπανιότητας είτε λόγω του γεγονότος ότι δεν έχουν τύχει εμπορικής εκμετάλλευσης, δεν περιλαμβάνονται στον παραπάνω ορισμό.

Η συνηθέστερη μορφή αμιάντου, ο χρυσοτίλης, φιλοξενείται σε σερπεντινιωμένα υπερβασικά πετρώματα που έχουν υποστεί έντονα φαινόμενα εφαιπτομενικών συμπίεσεων (*Sporn 2014*). Στην περιοχή που διαρρέει ο ποταμός Αλιάκμονας και οι παραπόταμοί του, κυρίως υπάρχει χρυσοτιλικός αμιάντος (*Καρκάνας 1987*), ο οποίος βρίσκεται

μέσα στα σερπεντινιτικά πετρώματα της οφιολιθικής σειράς του Βούρινου και στο κοίτασμα της περιοχής Μονής Ζιδανίου, αλλά και σε μικρότερες συγκεντρώσεις σε πολλά άλλα σημεία της περιοχής μελέτης. Σε αρκετά σημεία υπάρχουν και μικρές εμφανίσεις αμφιβολικού αμιάντου.

1.2. Προγενέστερες έρευνες

Στην περιοχή μελέτης ο αμιάντος έχει μελετηθεί τόσο ως κοίτασμα, όσο και ως προς την παρουσία των ινών του στο ποτάμιο σύστημα.

Η μελέτη ως κοίτασμα είναι εκτενής, καθώς κατά σειρά ετών στην περιοχή υπήρχε εκμετάλλευση του χρυσοτιλικού κοιτάσματος. Έτσι, μελέτη του κοιτάσματος της Μονής Ζιδανίου έχει γίνει από τους *Skarpelis & Dabitsias (1987)*, *Καρκάνας (1995)* και *Karkanias et al. (1996)*. Επίσης, υπάρχουν αναφορές για την ύπαρξη αμιάντου σε πετρώματα της ευρύτερης περιοχής (Καστοριά, Γρεβενά, Βούρινος, Βέρμιο, Πιέρια) (*ΠΓΕΥ, 1965*).

Η μελέτη για την παρουσία των ινών αμιάντου ξεκίνησε τις αρχές της δεκαετίας του 1990, με αφορμή την επικείμενη υδροδότηση της Θεσσαλονίκης από τα νερά του ποταμού Αλιάκμονα. Οι πρώτες έρευνες είχαν δείξει τεράστιες ποσότητες ινών αμιάντου στα νερά (*ΑΠΘ - ΓΓΕΤ, 1993, ΥΠΕΧΩΔΕ - ΑΠΘ, 1994*), αλλά η υποψία της σύγχυσης οργανικών υπολειμμάτων με ίνες αμιάντου οδήγησε στην εκπόνηση της παρούσης έρευνας και το ερευνητικό πρόγραμμα που την υποστήριξε.

Διεθνώς, αν και οι γνώμες όσον αφορά την επικινδυνότητα του καταπινόμενου αμιάντου διίστανται, οι έρευνες για τον εντοπισμό ινών σε νερά γινόταν, λόγω και του αυξανόμενου ενδιαφέροντος της κοινής γνώμης, σε θέματα δημόσιας υγείας. Η πρώτη αναφορά από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization - WHO) γίνεται το 1958 στα *International Standards for Drinking-Water (WHO, 1996)*, ενώ η EPA (Environmental Protection Agency) των ΗΠΑ έχει από το 1974 θεσπίσει όρια στην παρουσία αμιάντου στο πόσιμο νερό με τον νόμο *Safe Drinking Water Act (EPA, 2013)*. Το 1992 οριστικοποιήθηκε και η μεθοδολογία που ισχύει μέχρι και σήμερα. Παράλληλα τη δεκαετία του 1980 πολλές ερευνητικές ομάδες ασχολήθηκαν με την

ανίχνευση αμιάντου σε πόσιμα νερά (ενδεικτικά *Millette JR et al., 1983 & Conway & Lacey 1984*) οι οποίες έγιναν με χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου διερχόμενης δέσμης TEM (Transmission Electron Microscope) και χρήση TEM/SAED (Transmission Electron Microscopy/Selected Area Electron Diffraction).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ

2.1. ΤΑ ΟΡΥΚΤΑ ΤΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ

2.1.1. Ορισμοί - Κατηγορίες

Αν και στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιείται ο γενικός όρος «αμιάντος» θα πρέπει να σημειωθεί κατ' αρχήν ότι ο όρος αυτός δεν αναφέρεται σε κάποιο συγκεκριμένο ορυκτό ούτε σε μία συγκεκριμένη ομάδα ορυκτών, αλλά πρόκειται για συνολική ονομασία διαφορετικών ορυκτών βάσει μορφολογίας και φυσικών ιδιοτήτων. Είναι, δηλαδή, η κοινή εμπορική ονομασία των έξι πιο διαδεδομένων ινώδων ένυδρων πυριτικών ορυκτών (*Zoltai, 1978, Ross et al 1984*) τα οποία παρουσιάζουν συγκεκριμένη μορφή που χαρακτηρίζεται ως «αμιαντόμορφη» (asbestiform), και έχουν τύχει εμπορικής εκμετάλλευσης (*Virta, 2001*). Με τον όρο αυτό περιγράφονται τα ορυκτά που έχουν στις διαστάσεις του κρυστάλλου, λόγο μήκους προς διάμετρο μεγαλύτερο από 20:1 (*Perkins & Harvey, 1993*). Όταν ο λόγος αυτός είναι 3:1 τα ορυκτά περιγράφονται ως πρισματικά, μέχρι περίπου 10:1 λέγεται συνήθως πως έχουν βελονοειδή μορφή, ενώ ινώδης είναι η μορφή άνω του 10:1 και έως 20:1 που ξεκινάει η κατάταξη ως αμιαντόμορφη (*Horak et al, 2016*). Βασική διάκριση μεταξύ της βελονοειδούς και ινώδους μορφής είναι το μήκος και το πλάτος των ινών. Για να θεωρηθεί μία μορφή ως ινώδης, θα πρέπει οι ίνες της να είναι

πάνω από 5μm μήκος και διάμετρο το πολύ 3μm (*Chatfield & Lewis, 1980*). Αν και αρχικά (*Page, 1865*) οι έννοιες ινώδης και αμιαντόμορφη θεωρούνταν ταυτόσημες, πλέον υπάρχει διαχωρισμός (*Beard et al. 2001*). Κάποιες φορές βέβαια, ο όρος αμιαντόμορφη περιέχει και τις βασικές φυσικές ιδιότητες των ινών, όπως μεγάλη αντοχή στην τάση και ευλυγισία (*Campbell et al. 1977*). Η μέση διάμετρος των ινών των ορυκτών αμιάντου είναι 100nm, έτσι ακόμα και μικρές ίνες της τάξης των 10μm έχουν ένα λόγο πλάτους 100:1 (*Champness et al. 1976*).

Τα κριτήρια χαρακτηρισμού ενός ορυκτού ως αμιαντόμορφο δεν είναι σταθερά για όλους, έτσι η American Society for Testing Materials θέτει τα παρακάτω κριτήρια (*Craighead et al, 2016*):

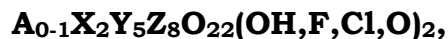
1. Η πλειοψηφία των σωματιδίων άνω των 5μm σε μήκος, να έχει λόγο διαστάσεων από 20:1 έως 100:1 ή και περισσότερο.
2. Πολύ λεπτά ινίδια, κατά μέσο όρο κάτω του 0,5μm σε διάμετρο
3. και επιπροσθέτως με τα παραπάνω να ισχύουν τουλάχιστον και δύο (2) από τις παρακάτω συνθήκες:
 - a. παράλληλες ίνες σε συσσωματώματα,
 - b. οι άκρες των ινών να εμφανίζονται διαχωρισμένες,
 - c. οι ίνες να σχηματίζουν περιπλεγμένες μάζες,
 - d. ίνες με καμπυλότητα.

2.1.2. Ορυκτά αμιάντου εντός κανονιστικού πλαισίου (regulated)

Με τα κριτήρια αυτά με τη γενική αυτή ονομασία «αμιάντος» περιγράφονται συνολικά έξι ορυκτά, που ανήκουν σε δύο μεγαλύτερες ομάδες ορυκτών, τους σερπεντίνες και τις αμφιβόλους. Από την ομάδα του σερπεντίνη είναι ο χρυσοτίλης (*chrysotile*) ή λευκός αμιάντος, ενώ από την ομάδα των αμφιβόλων είναι ο κροκιδόλιθος (*crocidolite*) ή μπλε αμιάντος, ο οποίος είναι η ινώδης μορφή του ριβεκίτη (*riebeckite*), ο αμοσίτης (*amosite*), ο οποίος είναι η ινώδης μορφή του γρουνερίτη (*grunerite*), ο ακτινόλιθος (*actinolite*), ο τρεμολίτης (*tremolite*) και ο ανθοφυλλίτης (*anthophyllite*). Όμως οι φυσικές τους ιδιότητες, οι εμπορικές τους εφαρμογές, οι χρήσεις τους και οι επιπτώσεις τους στην υγεία είναι σε πάρα πολύ μεγάλο βαθμό οι ίδιες ή παρόμοιες, και γι'

αυτόν το λόγο, εξετάζονται μαζί με το κοινό όνομα «αμιάντος» στην ελληνική βιβλιογραφία ή “*asbestos*” στην αγγλόφωνη βιβλιογραφία. Και οι δύο πάντως ονομασίες είναι σε χρήση από τους αρχαίους χρόνους. Αναφέρονται από αρκετούς αρχαίους συγγραφείς (Θεόφραστος, Στράβωνας, Πλούταρχος, Πλίνιος, Διοσκουρίδης) και περιγράφουν τις σημαντικές φυσικές ιδιότητες των ορυκτών αυτών. Πρέπει να σημειωθεί βεβαίως ότι αυτά τα ορυκτά δεν είναι τα μοναδικά που σχηματίζουν αμιαντόμορφους κρυστάλλους.

Από άποψη χημικής σύστασης όλα τα ορυκτά του αμιάντου είναι ένυδρα πυριτικά. Τα ορυκτά της ομάδας του σερπεντίνη, συμπεριλαμβανομένου του χρυσοτίλη, έχουν όλα τον σχετικά απλό χημικό τύπο που εκφράζεται ως $(\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4)$, με μικρό αριθμό υποκαταστάσεων στο πλέγμα τους από άλλα στοιχεία. Αντίθετα, οι αμφίβολοι έχουν μάλλον μεγάλη ποικιλία στο χημικό τους τύπο και γενικά εκφράζονται με το γενικό χημικό τύπο:



όπου **A**= Na, K και κενή θέση, **X**= Ca, Mg, Fe^{2+} , Mn^{2+} , Li και σπανιότερα Zn, Ni, Co **Y**= Mg, Ca, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al, Mn, Li, Ti^{4+} , Zr^{4+} και σπανιότερα Zn, Ni, Co, Mn^{3+} , Cr^{3+} και **Z**= Si, Al και Ti^{4+} .

Τα ορυκτά που περιγράφονται και ως αμφιβολικός αμιάντος μπορεί να ειπωθεί ότι περιγράφονται από τους παρακάτω γενικούς τύπους:

- κροκιδόλιθος (ριβεκίτης): $\text{Na}_2(\text{Fe}^{+2},\text{Mg})_3\text{Fe}^{+3}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
- αμοσίτης (γρουνερίτης): $(\text{Fe}^{+2}_2(\text{Fe}^{+2},\text{Mg})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2)$,
- τρεμολίτης: $(\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2)$,
- ακτινόλιθος: $(\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2)$
- ανθοφυλλίτης: $(\text{Mg}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2)$.

Στην πραγματικότητα όμως αν και δεν φαίνονται στους παραπάνω γενικούς χημικούς τύπους είναι πολύ συχνή η παρουσία στοιχείων όπως τα Al, Mn, Cr, Ni και Ti, ενώ είναι μάλλον σπάνιες οι περιπτώσεις που και άλλα στοιχεία απαντώνται ως ιχνοστοιχεία. Έτσι οι πραγματικοί χημικοί τύποι των ορυκτών αμιάντου κατά *Deer et al. (1963)* είναι οι παρακάτω:

- Χρυσοτίλης: $\text{Mg}_{2.88}\text{Mn}_{0.001}\text{Fe}^{+2}_{0.003}\text{Fe}^{+3}_{0.045}\text{Al}_{0.016}\text{Si}_{1.95}\text{O}_{4.75}(\text{OH})_{4.25}$

- Κροκιδόλιθος: $\text{Na}_{1.38}\text{Ca}_{0.17}\text{K}_{0.13}\text{Mg}_{3.05}\text{Fe}^{+3}_{1.66}\text{Fe}^{+2}_{0.48}\text{Al}_{0.11}\text{Si}_{7.93}\text{O}_{21.92}(\text{OH})_{2.08}$
- Αμοσιίτης (γρουνερίτης): $\text{Ca}_{0.09}\text{Na}_{0.01}\text{K}_{0.04}\text{Mn}_{0.08}\text{Fe}^{+2}_{4.65}\text{Mg}_{1.53}\text{Fe}^{+3}_{0.49}\text{Ti}_{0.03}\text{Al}_{0.12}\text{Si}_{7.73}\text{O}_{21.57}(\text{OH})_{2.43}$
- Ανθοφυλλίτης: $\text{Ca}_{0.11}\text{Mg}_{5.97}\text{Fe}^{+2}_{0.70}\text{Fe}^{+3}_{0.12}\text{Mn}_{0.006}\text{Al}_{0.20}\text{Si}_{7.73}\text{O}_{21.44}(\text{OH})_{2.56}$

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο τρόπος σχηματισμού τους είναι δυνατόν να μας δώσει ποικίλες συστάσεις ακόμα και στην ίδια εμφάνιση.

Όλες οι παραπάνω μορφές αμιάντου περιλαμβάνονται σε όλες τις νομοθεσίες που διέπουν τη χρήση των προϊόντων αμιάντου, τις επιπτώσεις τους στη δημόσια υγεία και τις απαγορεύσεις που πλέον υπάρχουν και ονομάζονται "Φυσικά εμφανιζόμενος αμιάντος εντός κανονιστικού πλαισίου" (regulated, naturally occurred asbestos - NOA) (Metcalf et al, 2018).

2.1.3. Αμιαντόμορφα ορυκτά εκτός κανονιστικού πλαισίου (non-regulated)

Αρκετά ινώδη ορυκτά είναι πιθανόν να εμφανιστούν ως αμιαντόμορφα ενίοτε ή και πάντοτε (Harper 2008). Αλλά αυτά τα ορυκτά δεν έχουν τύχει εμπορικής εκμετάλλευσης και είναι σπάνια είτε ως ορυκτά είτε ως εμφάνιση με τέτοια μορφή.

Από την ομάδα του σερπεντίνη, ο αντιγορίτης σχηματίζει τη μορφή του ρονλέν χρυσοτίλη (εξετάζεται στη συνέχεια) και από την ομάδα των αμφιβόλων επίσης αμιαντόμορφοι ενδέχεται να απαντηθούν και οι αρφβεδσονίτης (arfvedsonite), ρικτερίτης (richterite), γουϊντσίτης (winchite), φθορο-εδενίτης (fluoro-edenite), είτε σε σπάνιες περιπτώσεις είτε πρόκειται για μη συνηθισμένα ορυκτά γενικότερα (Findlay 2006, Langer 2008, Dogan & Dogan, 2013, Carlin et al, 2015, Ogorodova et al, 2019). Τα τελευταία ορυκτά όταν απαντώνται με μορφή αμιάντου χαρακτηρίζονται ως "Εκτός κανονιστικού πλαισίου" ("Non-regulated") φυσικά εμφανιζόμενος αμιάντος (Naturally Occurred Asbestos - NOA) (Metcalf et al, 2018). Πλέον όμως έχουν μπει στην έρευνα για πρόκληση καρκίνου και αυτές οι μορφές εκτός κανονιστικού πλαισίου αμιαντόμορφων αμφιβόλων για συγκεκριμένα περιστατικά στις ΗΠΑ

(*Erskine & Bailey, 2018, Loewen et al, 2019*) όπου υπάρχουν ως παραπροϊόν στην εκμετάλλευση βερμικουλίτη.

Από την ομάδα των ζεολίθων ενδέχεται να απαντηθεί αμιαντόμορφος ο εριονίτης (*erionite*), ορυκτό για το οποίο υπάρχουν υποψίες και γίνονται έρευνες για ενδεχόμενη πρόκληση μεσοθηλιώματος (*van Zandwijk & Reid, 2019*) σε Τουρκία (*Pacella et al, 2018*) και Μεξικό (*Ruiz Garcia et al, 2019*).

Τέλος έχουν αναφερθεί ως αμιαντόμορφες και εμφανίσεις μπαλανζεροΐτη (*balangeroite*) (*Groppa et al, 2005*), που είναι παραπροϊόν εκμετάλλευσης χρυσοτίλη στο μεγαλύτερο χρυσοτιλικό ορυχείο της Ιταλίας στην τοποθεσία Balangero, (*Attanoos et al, 2018, Belusso et al, 2019*) αν και οι *Turci et al (2009)* θεωρούν ότι λόγω έλλειψης ανθεκτικότητας στις ίνες του, δεν μπορεί να περιληφθεί στα αμιαντόμορφα ορυκτά.

2.2. ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΚΟΣ ΑΜΙΑΝΤΟΣ

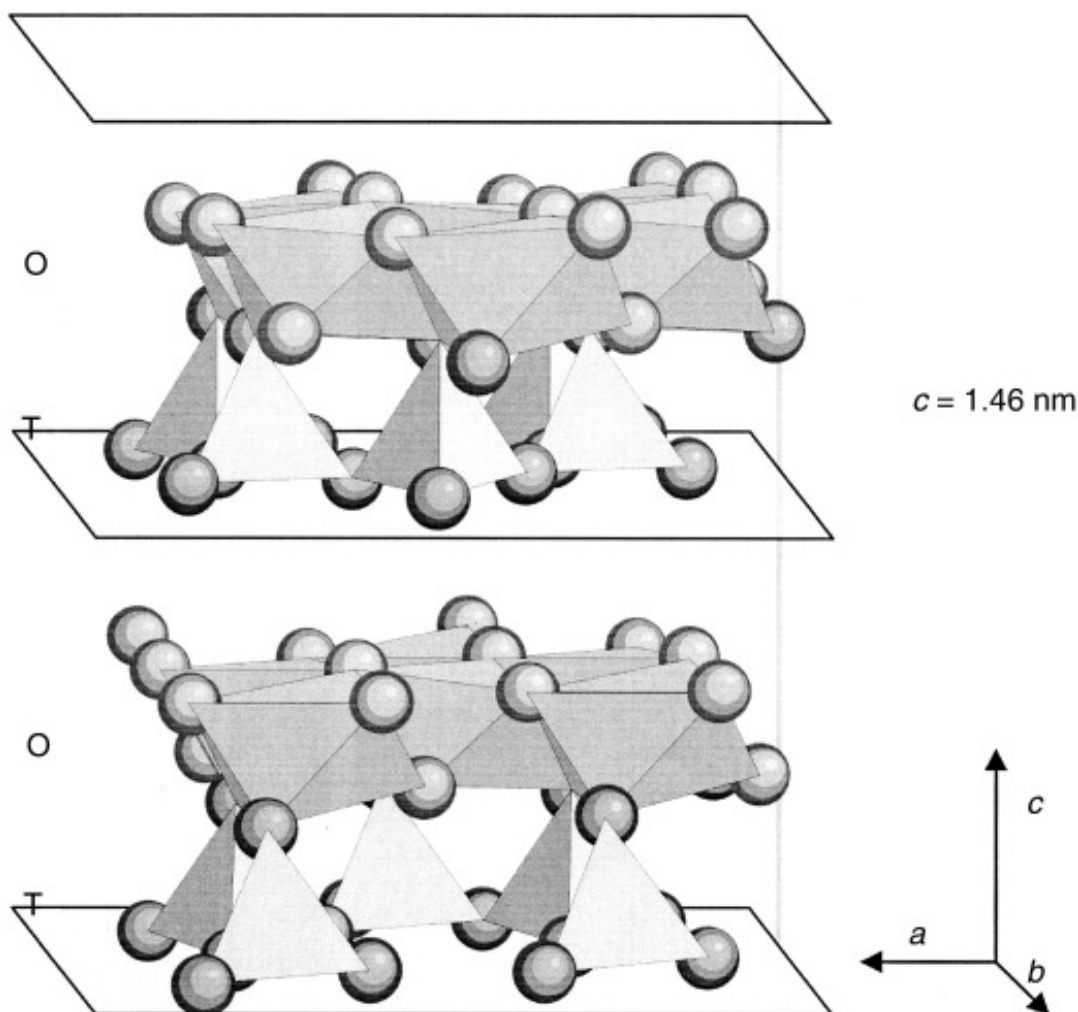
Στην παρούσα εργασία, αλλά και γενικότερα στον ελληνικό χώρο, στη μεγάλη πλειοψηφία των περιπτώσεων, όταν αναφέρεται η παρουσία αμιάντου αυτή αφορά, κυρίως, το σερπεντινικό αμίαντο και πιο συγκεκριμένα το ορυκτό χρυσοτίλης. Ο χρυσοτίλης είναι ένα από τα τρία ορυκτά της ομάδας του σερπεντίνη, με τον αντιγορίτη και τον λιζαρδίτη να είναι τα άλλα δύο. Συνήθως θεωρείται πως όλα τα ορυκτά της ομάδας του σερπεντίνη έχουν κοινό γενικό χημικό τύπο, την ίδια βασική κρυσταλλική δομή και ανήκουν στα φυλλοπηριτικά ορυκτά (*Moody 1976*).

Η κρυσταλλική δομή των ορυκτών του σερπεντίνη αποτελείται από στρώματα τα οποία σχηματίζονται από άτομα Si, το καθένα από τα οποία περιβάλλεται από τέσσερα άτομα οξυγόνου που σχηματίζουν ένα σχεδόν κανονικό τετράεδρο, και άτομα Mg που έχουν γύρω τους έξι άτομα οξυγόνου που σχηματίζουν ένα σχεδόν κανονικό οκτάεδρο. Τα τετράεδρα Si-O βασίζονται στις τριγωνικές τους έδρες, με τις κορυφές τους

προσανατολισμένες προς την ίδια κατεύθυνση. Μοιράζονται δε τα οξυγόνα των βασικών εδρών τους σχηματίζοντας ένα συνεχόμενο επίπεδο. Αν και αυτή η δομή έχει περίπου τριγωνική συμμετρία περιγράφεται καλύτερα ως μια ρομβική κυψελίδα με επαναλαμβανόμενες διαστάσεις $a=5.3\text{\AA}$ και $b=9.2\text{\AA}$ (Wicks, 1979). Τα κενά ανάμεσα στα οξυγόνα που βρίσκονται στις κορυφές των τετραέδρων πληρούνται από ιόντα (OH) για να σχηματίσουν μια κλειστή διάταξη (O,OH) σε αυτό το επίπεδο. Πάνω από αυτό το επίπεδο βρίσκεται μια διάταξη από άτομα Mg με ένα ακόμα επίπεδο από πάνω της από ιόντα (OH) έτσι ώστε κάθε άτομο Mg να περιβάλλεται από οκτάεδρα αποτελούμενα από ιόντα O και (OH). Κάθε άτομο Mg βρίσκεται μέσα στο μόριο τοποθετημένο ανάμεσα σε δύο τριγωνικές διατάξεις ιόντων αποτελούμενες από τρία (3) ιόντα (OH) αυτή που βρίσκεται, με βάση τη διάταξη των στρωμάτων που περιγράφηκε, από επάνω και από δύο (2) ιόντα O και ένα (OH) η από κάτω σε σχετική γωνία περιστροφής 60° μεταξύ τους. Δηλαδή πρόκειται για ένα στρώμα βρουσίτη $\text{Mg}(\text{OH})_2$, με δύο (2) OH κάθε τρία (3) να έχουν αντικατασταθεί από O (Speil & Leineweber 1969). Η ατομική αναλογία της κάθε κυψελίδας μπορεί να θεωρηθεί ως πολλαπλάσιο του απλούστερου χημικού τύπου $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Στην πραγματικότητα όμως στο πλέγμα μπορεί να έχουμε αντικατάσταση του Si^{4+} από Al^{3+} και Fe^{3+} , ενώ του Mg^{2+} από Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} και Ni^{2+} (Wicks, 1979, Ristić et al, 2011). Έτσι λαμβάνοντας υπόψη και τις αντικαταστάσεις αυτές ο πραγματικός χημικός τύπος μπορεί να αποδοθεί ως $(\text{Mg}_{3-x-y}\text{R}_x^{2+}\text{R}_y^{3+})(\text{Si}_{2-y}\text{R}_y^{3+})\text{O}_5(\text{OH})_4$, όπου με R^{2+} συμβολίζονται τα Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} και Ni^{2+} , ενώ με R^{3+} τα Al^{3+} και Fe^{3+} . Σε χημική ανάλυση μπορεί να εμφανιστούν και μικρές ποσότητες Na^+ , K^+ και Ca^{2+} , οι οποίες είναι αποτέλεσμα προσμίξεων. Συνθέτοντας τη δομή του σερπεντίνη το μέγεθος όλων των επιπέδων μαζί είναι περίπου $7.3\text{\AA}$.

Η παραπάνω δομή στην απλή της μορφή που περιγράφηκε ανταποκρίνεται στο ορυκτό λιζαρδίτης. Το γεγονός όμως ότι το ορυκτό χρυσοτίλης είναι αμιαντόμορφο δεν ανταποκρίνεται σε μία τέτοια στρωματώδη κρυσταλλική δομή. Αυτό το παράδοξο εξηγείται με τη χρήση της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας. Έτσι φαίνεται ότι τα φύλλα του

σερπεντίνη περιτυλίσσονται γύρω από τον άξονα a δημιουργώντας ομόκεντρους κυλίνδρους διαστάσεων $200\text{\AA}$ κατά προσέγγιση (Fankuchen & Schneider 1944). Έτσι μια τομή εμβαδού 0.1mm μιας μεγάλης ίνας χρυσότιλου αποτελείται από περίπου 20×10^6 μικρά ινίδια σε παράλληλες διευθύνσεις. Ο λόγος που παρατηρείται αυτό το φαινόμενο, είναι ο πολικός χαρακτήρας της δομής που σχηματίζεται. Το επίπεδο που αποτελείται από πυρίτιο (Si) έχει ελαφρά μικρότερη διάσταση επανάληψης από ότι αυτό που αποτελείται από μαγνήσιο (Mg) και αυτή η αναντιστοιχία καλύπτεται με τη δημιουργία των ινών με τα οκτάεδρα του Mg να βρίσκονται στην εξωτερική μεριά των κυλίνδρων. Αυτή η κυλινδρική δομή είναι σταθερή σε συγκεκριμένη ακτίνα έτσι η διάμετρος των ινών είναι συγκεκριμένης μικρής διαμέτρου.



Σχήμα 2.1: Δομή του χρυσότιλου κατά Fallini et al, 2004

Ο χρυσοσίλης είναι δυνατόν να βρεθεί σε τρεις διαφορετικούς τύπους σύμφωνα με την ονοματολογία που ισχύει από το 2006. Τον ορθοχρυσοσίλη, τον κλिनοχρυσοσίλη και τον παραχρυσοσίλη (*Burke 2006*) που θεωρούνται πλέον σύμφωνα με τη CNMMN (Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification) πολύτυπες ποικιλίες του ορυκτού χρυσοσίλης σε αντίθεση με τον κατά *Whittaker (1956a, b, c)* ως τότε διαχωρισμό τους σε ξεχωριστά ορυκτά. Μαζί του συχνά εξετάζουμε και τον πολυγωνικό ή ρονλέν χρυσοσίλη. Στο συνήθη καθορισμό της κυψελίδας χρησιμοποιείται η από *Whittaker (1956a, b, c)* και από *Whittaker & Zussman (1956)* μοναδιαία κυψελίδα αποτελούμενη από δύο βασικά στρώματα της σερπεντινικής δομής και όχι η από *Jagodzynski & Kunze (1954)* μονοστρωματική κυψελίδα (Σχήμα 2.1).

Έτσι ο ορθοχρυσοσίλης κρυσταλλώνεται στο ρομβικό σύστημα με παραμέτρους $a = 5.34\text{\AA}$, $b = 9.2\text{\AA}$ και $c = 14.63\text{\AA}$ και ο κλινοχρυσοσίλης στο μονοκλινές με παραμέτρους $a = 5.34\text{\AA}$, $b = 9.2\text{\AA}$, $c = 14.65\text{\AA}$ και $\beta = 93^\circ 16'$. Στην περίπτωση της μονοστρωματικής δομής της κυψελίδας, η τιμή του άξονα c θα ήταν $c = 7.3\text{\AA}$. Η διαφορά μεταξύ τους οφείλεται στο ότι στην κλίνο- μορφή τα δύο στρώματα που αποτελούν τη βασική κυψελίδα βρίσκονται στην ίδια σχετική θέση μεταξύ τους ενώ στην όρθο- μορφή τα δύο στρώματα βρίσκονται με σχετική γωνία 180° . Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις ο άξονας του κυλίνδρου της ίνας είναι παράλληλος με τον άξονα X του κρυστάλλου. Όταν ο άξονας της ίνας είναι παράλληλος με τον άξονα Y του κρυστάλλου τότε το πολύμορφο αυτό ονομάζεται παραχρυσοσίλης. Ο παραχρυσοσίλης δεν σχηματίζει εμφανίσεις μόνος του, παρά μόνο βρίσκεται σε κάποιο (μικρό συνήθως) ποσοστό στις φλέβες των άλλων μορφών χρυσοσίλη. Επίσης, μία ποικιλία χρυσοσίλη, ο πολυγωνικός ή ρονλέν, από το όνομα της τοποθεσίας στη Δυτική Σερβία όπου εντοπίστηκε, αναφέρεται από ερευνητές (*Skinner et al. 1988*) και ως ποικιλία αντιγορίτη λόγω της πολυγωνικής του δομής. Οι περισσότεροι όμως ερευνητές (*Chisholm 1991, Dodony 1993, Baronnet et al 1994, Cressey et al. 1994, Baronnet & Devouard 1996, Dodony 1997*) τον θεωρούν ως ένα είδος πολυγωνικού σερπεντίνη, όχι

πλήρως διευκρινισμένο, ο οποίος έχει έναν κυλινδρικό πυρήνα, γύρω από τον οποίο αναπτύσσονται 15 ή 30 πολυγωνικά κομμάτια τα οποία συνενωμένα δίνουν τη μορφή μιας πολυγωνικής εύθραυστης ίνας μεγαλύτερης διαμέτρου από ότι προβλέπεται από την κρυσταλλική δομή του ορυκτού.

2.3. ΑΜΦΙΒΟΛΙΚΟΣ ΑΜΙΑΝΤΟΣ

Αν και όλα τα ορυκτά των αμφιβόλων έχουν την ίδια κρυσταλλική δομή, δεν απαντώνται όλα σε μορφή αμιάντου. Βέβαια ο πρισματικός σχισμός και ο βελονοειδής αποχωρισμός είναι κοινό χαρακτηριστικό όλων των αμφιβόλων, αλλά αυτό το γεγονός δεν οδηγεί όλες τις αμφιβόλους να εμφανίζονται με ινώδη μορφή, πολύ περισσότερο ως αμιαντόμορφες.

Οι λόγοι για τους οποίους μερικές αμφίβολοι σχηματίζουν αμίαντο δεν είναι τόσο καθαροί όσο στην περίπτωση του σερπεντινικού αμιάντου. Έχουν αναφερθεί αρκετές προϋποθέσεις όσον αφορά τη δυνατότητα σχηματισμού ινών αμιάντου από αμφιβόλους.

Ένα φαινόμενο που έχει συνδεθεί με την τάση κάποιων αμφιβόλων να εμφανίζονται και με ινώδη μορφή είναι η ανωμαλία Wadsley (Wadsley defects) (*Champness et al, 1976, Franco et al, 1977, Langer et al, 1991*). Η ανωμαλία Wadsley παρατηρείται όταν αντί για την συνήθη διπλή αλυσίδα τετραέδρων Si-O εμφανίζουν επιπλέον και ενδιάμεσες απλές αλυσίδες ή και δομικά στοιχεία τριπλής αλυσίδας. Αυτή η ανωμαλία παρατηρείται σε όλα τα ορυκτά του αμφιβολικού αμιάντου, παρατηρείται όμως και στον νεφρίτη ο οποίος σε καμία περίπτωση δεν είναι αμιαντόμορφος (*Hutchison et al, 1976, Mallinson et al, 1981*).

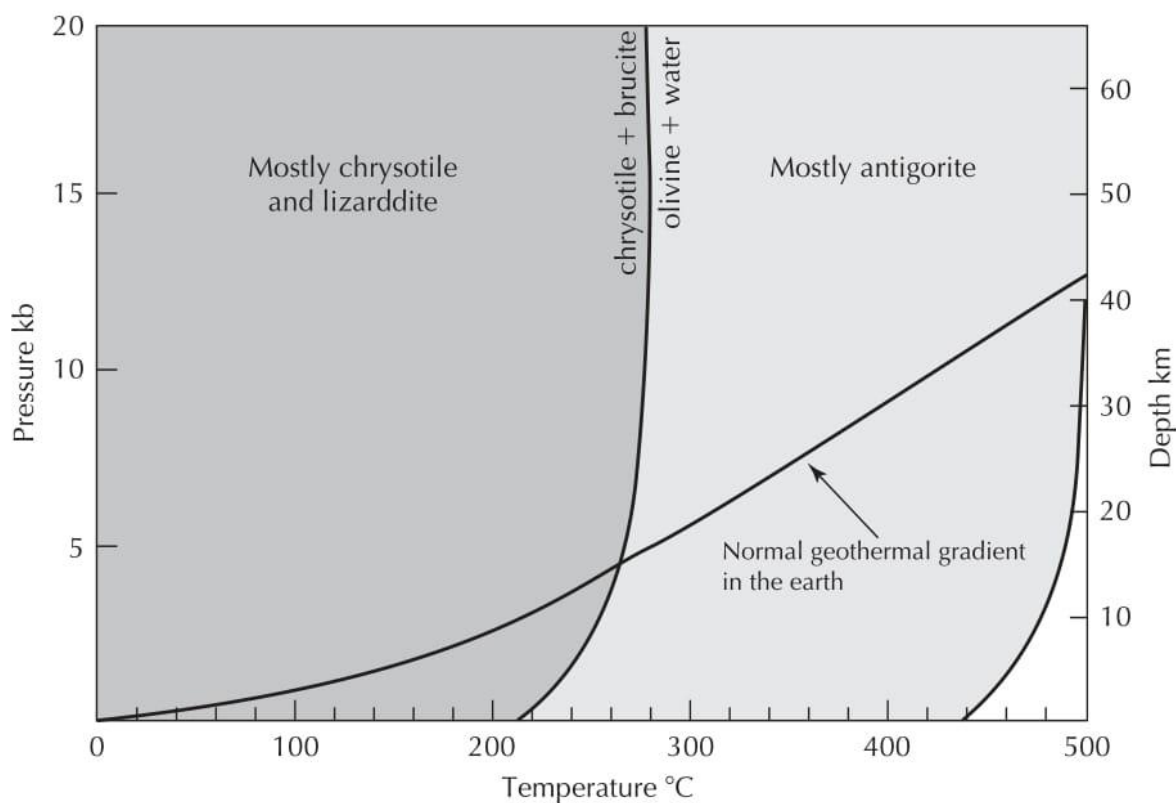
Υπάρχουν όμως και φαινόμενα συνδεδεμένα κατά κάποιον τρόπο με την ινώδη εμφάνιση των αμφιβόλων και έχουν να κάνουν με την κρυσταλλική τους δομή και τη σύστασή τους. Έτσι αναφέρεται η απουσία τετραεδρικού Al στο πλέγμα της αμφιβόλου. Για παράδειγμα οι κεροσίλβες που παρουσιάζουν εκτεταμένη αντικατάσταση του Si με Al

στη θέση αυτή εμφανίζονται σπάνια με ινώδη μορφή και σχεδόν ποτέ ως αμιαντόμορφες (Steele et al, 1981). Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι οι κύριες μορφές αμφιβολικού αμιάντου είναι ορυκτά τα οποία στον γενικό χημικό τύπο των αμφιβόλων ($A_{0-1}X_2Y_5Z_8O_{22}(OH,F)_2$) έχουν τιμή για τη θέση Α ίση περίπου με μηδέν (0). Αυτό όμως δεν αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για το σχηματισμό ινών εφόσον ο ρικτερίτης, που αν και δεν ανήκει στα ορυκτά του αμιάντου, αφού δεν έχει τύχει εκμετάλλευσης ως τέτοιο, εμφανίζεται με μεταξώδεις αμιαντόμορφες ίνες και έχει πλήρως καλυμμένη τη θέση Α της δομής του από Κ (Whittaker, 1979). Πάντως είναι μάλλον απίθανο να δοθεί λύση σ' αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιώντας μόνο τη χημεία των κυρίων στοιχείων. Άλλοι παράγοντες όπως η θερμοκρασία κρυστάλλωσης, η ταχύτητα κρυστάλλωσης και η χημεία των ικνοστοιχείων πρέπει να ληφθούν υπόψη. Το πρόβλημα δεν έχει λυθεί ακόμα μια και είναι εξαιρετικά δύσκολο να απομονωθεί μία μόνο ίνα αμιάντου και όχι κάποιο συσσωμάτωμα ώστε να γίνουν τα απαραίτητα πειράματα, αλλά και να γίνει κάτι τέτοιο, οι διαστάσεις της ίνας θα είναι τέτοιες που θα καθιστούν αδύνατη την εξέτασή της με ακτίνες Χ. Έτσι δεν είναι ακόμα δυνατό να καθοριστούν πλήρως οι διαφορές μεταξύ της αμιαντόμορφης και μη μορφής μίας συγκεκριμένης αμφιβόλου.

2.4. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ

Αν και τα ορυκτά της ομάδας των αμφιβόλων είναι σαφώς πιο συχνά απαντώμενα στη φύση από ότι αυτά του σερπεντίνης, δεν συμβαίνει το ίδιο και με τις αμιαντόμορφες εμφανίσεις αυτών των ομάδων. Έτσι η συντριπτική πλειοψηφία των εμφανίσεων αμιάντου στον κόσμο και πάνω από το 90% της παγκόσμιας παραγωγής ιστορικά, είναι σερπεντινικός αμιάντος, δηλαδή ινώδης χρυσοτίλης (Virta, 2002). Πλέον το ποσοστό έχει φτάσει στο 100% για τις ΗΠΑ (USGS, 2019) και σχεδόν το 98% παγκοσμίως (Flanagan, 2016).

Η δημιουργία σερπεντινικού αμιάντου αποτελεί μέρος της διαδικασίας σερπεντινίωσης (*Shreier 1989*), αν και δεν είναι απαραίτητη η δημιουργία του κάθε φορά που σερπεντινώνεται ένα πέτρωμα (*Hyndman & Peacock, 2003*). Κάθε υπερβασικό πέτρωμα αποτελούμενο από φοροστερίτη και μαγνησιούχους πυροξένους και αμφιβόλους, μπορεί να σερπεντινωθεί σε κάποιο βαθμό αναλόγως με τη διαθέσιμη ποσότητα νερού, γεγονός το οποίο συμβαίνει συνήθως (*Moody, 1976*). Υπάρχει και η περίπτωση να βρεθεί σερπεντίνη και σε μεταμορφικές σειρές υψηλής πίεσης (γλαυκοφανιτική έως εκλογιτική φάση) (*Fryer et al, 1999, Ueda et al, 2004, Hirauchi, 2006*).



Σχήμα 2.2 : Συνθήκες σχηματισμού των ορυκτών του σερπεντίνη κατά Alexander et al., (2006)

Η σερπεντινίωση είναι μία περίπλοκη διαδικασία που μπορεί να χωριστεί για λόγους απλούστευσης σε προϊούσα (όταν οι συνθήκες είναι αυξανόμενης θερμοκρασίας) και ανάδρομη (όταν αναφερόμαστε σε μείωση της θερμοκρασίας) (*Sanford, 1981, Wicks 1984a & b*). Τα υπερβασικά πετρώματα όταν βρίσκονται σαφώς πάνω από τη θερμοκρασία σταθερότητας του σερπεντίνη, με παρουσία νερού, δίνουν

κλινοαμφιβόλους, χλωρίτη, ανθοφυλλίτη και τάλκη (Evans 1977). Όταν όμως η θερμοκρασία πέφτει κάτω από τους 275°C στα 2kbars πίεση νερού, οι ολιβίνης, πυρόξενος, αμφίβολοι, χλωρίτης και τάλκης αντικαθίστανται από λιζαρδίτη με ή χωρίς χρυσοσίλη (Alexander et al., 2006) (Σχήμα 2.2). Το χαρακτηριστικό των σερπεντινών που σχηματίζονται από ανάδρομες διαδικασίες είναι ο ψευδομορφισμός των προϋπαρχόντων ορυκτών. Έτσι ο ολιβίνης μετατρέπεται σε σερπεντίνη με κυψελώδη δομή ενώ οι πυρόξανοι, χλωρίτης, αμφίβολοι και ο τάλκης σε βασίτες αποτελούμενους κυρίως από λιζαρδίτη με πιθανή παρουσία χρυσοσίλη. Παραπροϊόντα της ανάδρομης αυτής διαδικασίας είναι ο μαγνητίτης και ο βρουσίτης.

Η προϊούσα σερπεντινίωση χαρακτηρίζεται από την έλλειψη ψευδόμορφων, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι αποκλείονται εντελώς. Επίσης σ' αυτήν την περίπτωση το πιθανότερο είναι ο σχηματισμός αντιγορίτη, που είναι πιο σταθερός στις υψηλές θερμοκρασίες, είτε από την ανακρυστάλλωση των ψευδόμορφων λιζαρδίτη και χρυσοσίλη, είτε από τη σερπεντινίωση ορυκτών που έμειναν ανεπηρέαστα από το ανάδρομο γεγονός (Faust & Fahey, 1962).

Αν και τελικά το πιθανότερο είναι η ύπαρξη ανάδρομου ψευδόμορφου λιζαρδίτη και βρουσίτη ή πρόδρομου μη ψευδόμορφου αντιγορίτη, στα χρυσοσιτικά κοιτάσματα δεν απαντώνται αυτές οι μορφές σχεδόν ποτέ. Αυτές σχηματίζονται σε συνθήκες προϊούσας μεταμόρφωσης ελαφρά πιο υψηλές από ότι ο λιζαρδίτης αλλά όχι τόσο όσο ο αντιγορίτης. Αυτές οι συνθήκες δίνουν την παραγένεση χρυσοσίλης + βρουσίτης που σχηματίζει μικρά κοιτάσματα τύπου mass fiber. Με αυτήν την ονομασία περιγράφονται τα κοιτάσματα όπου οι ίνες αμιάντου είναι σε τυχαίες θέσεις μεταξύ τους. Αν ανέβει παραπάνω ο βαθμός μεταμόρφωσης τότε όλος ο αμιάντος που θα έχει σχηματιστεί μετατρέπεται σε αντιγορίτη. Έτσι για να σχηματιστούν κοιτάσματα χρυσοσιλικού αμιάντου είναι απαραίτητη μια ελεγχόμενη μέσου βαθμού μεταμόρφωση. Αλλά οι μεταμορφικές συνθήκες δεν είναι αρκετές για να σχηματιστεί ένα κοίτασμα. Πρέπει να υπάρχουν και οι κατάλληλες

τεκτονικές συνθήκες, όπου ρήγματα, διακλάσεις και πτυχώσεις, θα δημιουργούν το χώρο για την οικοδόμηση των ινών (Wicks, 1979).

Τα κοιτάσματα χρυσοτιλικού αμιάντου, εκτός από τις περιορισμένης έκτασης εμφανίσεις τύπου mass fiber, απαντώνται ως τύπου cross-fiber και slip-fiber. Cross-fiber ονομάζονται τα κοιτάσματα εκείνα, που οι ίνες αμιάντου αναπτύσσονται μέσα σε διακλάσεις κάθετα στα τοιχώματά τους. Σε αυτήν την περίπτωση οι ίνες μπορεί να αναπτυχθούν σε όλο το μήκος της ασυνέχειας είτε να ξεκινάν από τις δύο επιφάνειές της και να συναντώνται σε ένα κεντρικό επίπεδο. Οι φλέβες αυτές μπορεί να είναι κάποια εκατοστά σε άνοιγμα αλλά συνήθως δεν υπερβαίνουν το 1cm. Το μήκος τους μπορεί να είναι από μερικά εκατοστά μέχρι κάποια μέτρα, ενώ μπορεί να εμφανίζουν καμπυλώσεις, διακλαδώσεις και να μεταπίπτουν σε φλέβες slip-fiber. Είναι η πιο συχνή μορφή στην οποία βρίσκουμε τα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα, αλλά όχι η μόνη (Wicks, 1979).

Η άλλη κύρια μορφή φλεβών χρυσοτιλικού αμιάντου είναι η slip-fiber, όπου οι ίνες αναπτύσσονται παράλληλα με τα τοιχώματα της ασυνέχειας που τις φιλοξενεί. Σε αυτήν την περίπτωση οι ίνες ποικίλουν σε μέγεθος και είναι συνήθως μικρότερες από ότι φαίνονται με γυμνό μάτι αφού στην πραγματικότητα οι μακριές ίνες είναι συσσωματώματα άλλων μικρότερων. Οι δύο αυτοί τύποι εμφάνισης του χρυσοτιλικού αμιάντου, μπορεί να εμφανιστούν στο ίδιο κοιτάσμα ή ακόμα μια φλέβα μπορεί να μεταπίπτει από τον έναν τύπο στον άλλο ή ακόμα και σε μη ινώδεις μορφές χρυσοτίλη όπως ο ronlen χρυσοτίλης, που έχει τη μορφή ίνας αλλά είναι πολύ εύθρυπτος.

Κοιτάσματα όμως χρυσοτιλικού αμιάντου, είναι δυνατόν να σχηματιστούν και από σερπεντινίωση μη καθαρών πυριτιούχων δολομιτών. Παράδειγμα τέτοιας εμφάνισης έχουμε στο Transvaal της Νοτίου Αφρικής (Franchi, 2018, Tisane et al., 2019).

Ο αμφιβολικός αμιάντος είναι σχετικά περιορισμένης εμφάνισης, αν και τα ορυκτά της ομάδας των αμφιβόλων είναι από τα πλέον διαδομένα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι συνθήκες σχηματισμού του αμφιβολικού αμιάντου είναι πιο περιορισμένες, από ότι γενικά των αμφιβόλων. Ο

αμοσίτης και ο κροκιδόλιθος σχηματίζονται σε θερμικά μεταμορφωμένα πετρώματα, με υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο. Επίσης για να σχηματιστεί αμοσίτης πρέπει το πέτρωμα να είναι πλούσιο σε μαγνήσιο ενώ για το σχηματισμό κροκιδόλιθου πρέπει να είναι πλούσιο σε νάτριο. Σε κάθε περίπτωση οι ίνες αμιάντου σχηματίζονται από ανακρυστάλλωση των μη αμιαντόμορφων αντίστοιχων ορυκτών, του γρουνερίτη για τον «αμοσίτη» και του ριβεκίτη για τον κροκιδόλιθο (*Wicks, 1979*).

Οι υπόλοιπες μορφές αμφιβολικού αμιάντου είναι περιορισμένης εμφάνισης και μόνο περιστασιακής και τοπικής σημασίας και εκμετάλλευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

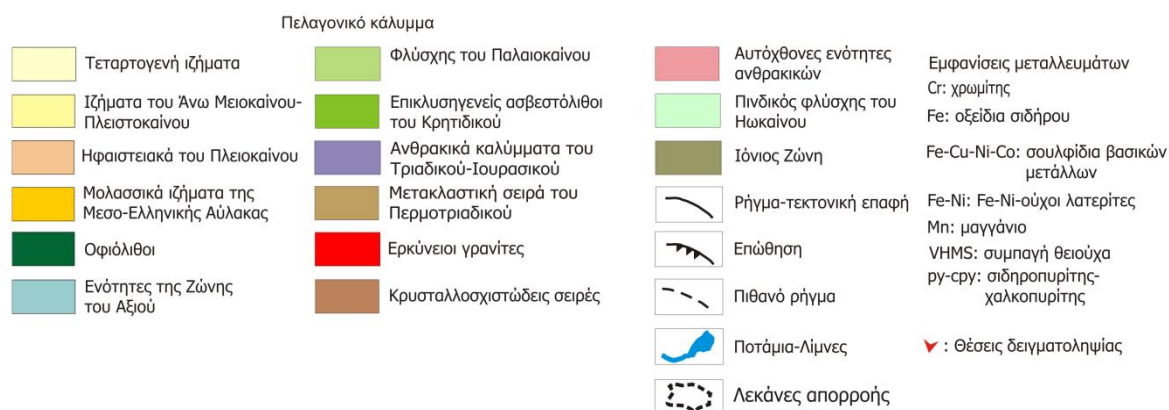
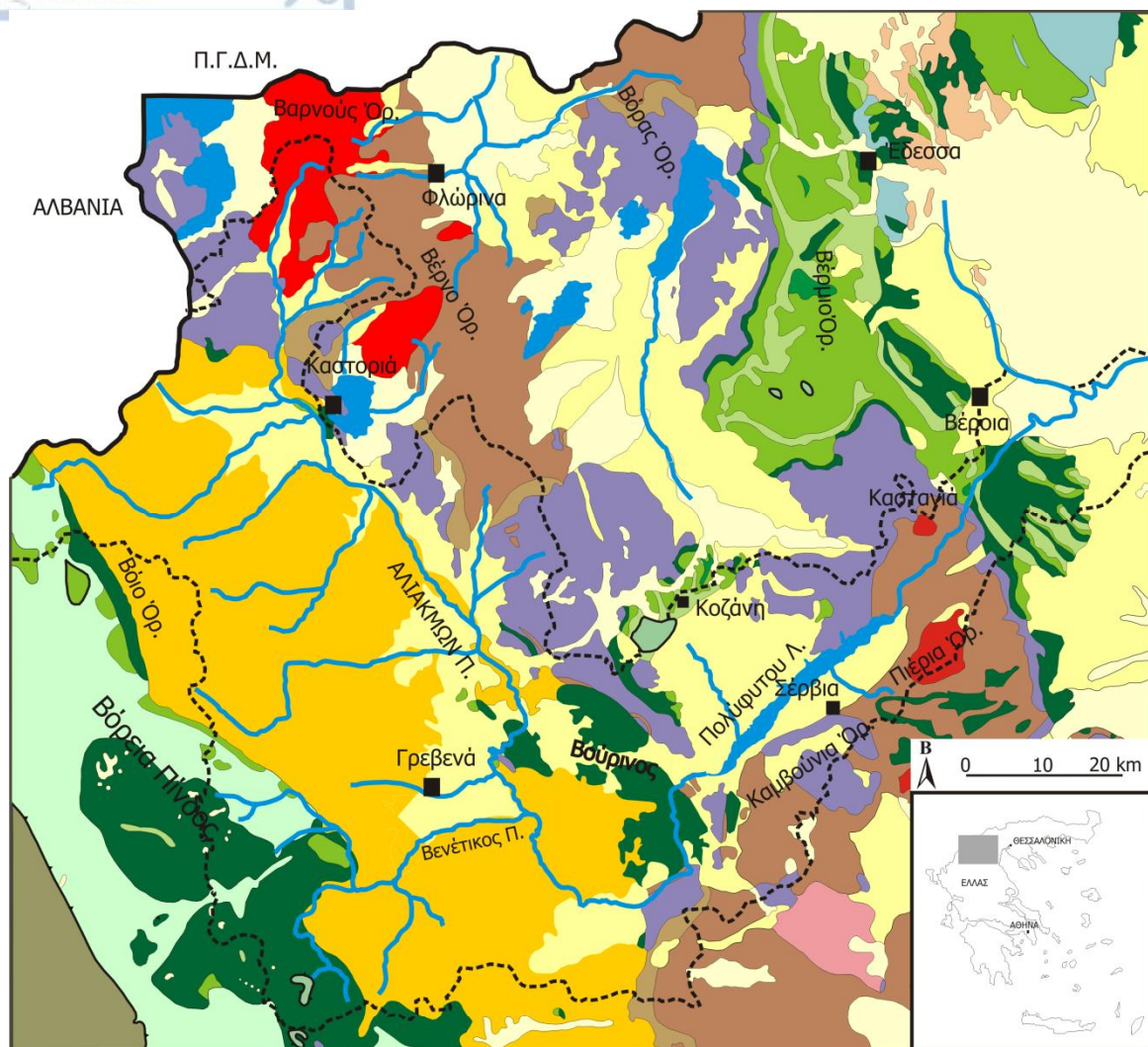
3.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή η οποία έχει επιλεγεί για την παρούσα έρευνα και την εφαρμογή της μεθοδολογίας είναι το ποτάμιο σύστημα του Αλιάκμονα στη Δυτική Μακεδονία (Χάρτης 3.1).

Ο ποταμός Αλιάκμονας πηγάζει από τη δυτική Μακεδονία και περιλαμβάνει δύο κλάδους. Ο ένας του κλάδος (δυτικός) πηγάζει από το όρος Γράμμος, ο άλλος (βόρειος) από το όρος Βέρνο στην περιοχή της Φλώρινας και συμβάλλουν στην περιοχή της Καστοριάς. Στη συνέχεια αφού περάσει από τις περιοχές Σιάτιστας, Γρεβενών και μέσω των φραγμάτων και των αντιστοίχων τεχνητών λιμνών μονής Ιλαρίωνα, Πολυφύτου, Σφηκιάς και Ασωμάτων, διέρχεται από τα πεδινά μέρη της Βέροιας ως την πεδιάδα της Θεσσαλονίκης και εκβάλλει στο Θερμαϊκό κόλπο.

Μαζί με το σύστημα των παραποτάμων του ο Αλιάκμονας αποστραγγίζει το μεγαλύτερο μέρος της Δυτικής Μακεδονίας, το νότιο τμήμα του Βερμίου και το βόρειο των Πιερίων.

Σε όλη τη λεκάνη απορροής υπάρχουν βεβαιωμένες εμφανίσεις ορυκτών αμιάντου, πετρώματα που είναι δυνατόν να φιλοξενούν ορυκτά αμιάντου, καθώς και ένα ορυχείο χρυσοτιλικού αμιάντου.



Χάρτης 3.1: Η περιοχή μελέτης με τους κύριους πετρογραφικούς σχηματισμούς της.

3.2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

3.2.1. Πελαγονική μάζα

Το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της περιοχής είναι η Πελαγονική μάζα και αντιπροσωπεύεται κυρίως από τα μεταμορφωμένα πετρώματα που αποτελούν υπολείμματα του ηπειρωτικού φλοιού της Παγγαίας ηπείρου. Η ηλικία τους είναι από Άνω Παλαιοζωικό έως Μέσο Μεσοζωικό. Σύμφωνα με την Ewing-Rassios (*Rassios 2004*), τα πετρώματα της περιοχής αποτελούνται από ποικιλία σχηματισμών, που περιλαμβάνουν ορθογνευσίους, οφθαλμογνεύσιους, αμφιβολίτες που μεταπίπτουν σε διμαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, μετα-ηφαιστίτες και χαλαζίτες. Συχνές είναι οι ζώνες μυλωνιτώσης και συνήθως οι οφθαλμογνεύσιοι προέρχονται από μυλωνιτιωμένους παλαιότερους γρανίτες. Στις ισχυρά παραμορφωμένες μάζες αυτές, συχνά διεισδύουν μεγάλες μάζες από Λιθανθρακοφόρους γρανίτες, λιγότερο παραμορφωμένους. Πάνω από τους Παλαιοζωικούς αυτούς σχηματισμούς βρίσκονται μετακλαστικές ακολουθίες Άνω Περμίου - Κάτω Τριαδικού. Οι ακολουθίες αυτές μεταβαίνουν στο ανατολικό περιθώριο της ζώνης, στο Τριαδικό-Ιουρασικό ανθρακικό κάλυμμα που αντιπροσωπεύει ηπειρωτική κατωφέρεια της Παγγαίας (*Κίλιας & Μουντράκης, 1989*).

Αν και λιθολογικά η Πελαγονική μάζα διακρίνεται από ανομοιογένεια, η μηχανική της συμπεριφορά είναι ενιαία και σαν σύνολο θεωρείται το κρυσταλλικό υπόβαθρο της περιοχής, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο ανατολικό περιθώριό της. Δυτικά τα όρια της ζώνης είναι καλυμμένα από τους επωθημένους οφιόλιθους και τους σχηματισμούς της μεσοελληνικής αύλακας και κατά συνέπεια δεν είναι γνωστά τα όρια της ζώνης προς αυτήν την κατεύθυνση.

3.2.2. Οφιόλιθοι

Οι οφιόλιθοι αντιπροσωπεύουν ωκεάνιο φλοιό που στην προκειμένη περίπτωση (λεκάνη Αλιάκμονα) είναι ο ωκεανός της Νεο-Τηθύος (*Maffione & van Hinsbergen, 2018*). Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν

τρεις οφιολιθικές ζώνες, κάτω Ιουρασικής ηλικίας. Αυτές βρίσκονται στο Βούρινο, στην Πίνδο και στο Βέρμιο.

3.2.2.1. Βούρινος

Η οφιολιθική σειρά του Βούρινου είναι μια πλήρης ακολουθία, που έχει διατηρηθεί με ελάχιστη στρωματογραφική αναδιάταξη (*Moores, 1969, Jackson et al., 1975*). Η βάση της σειράς αυτού έχει μεταμορφωθεί σε συνθήκες αμφιβολιτικής σόλας. Η σειρά είναι τοποθετημένη πάνω στο δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής μάζας μαζί με συνεπωθημένα ωκεάνια ιζήματα, της ενότητας Αγίου Νικολάου. Η ενότητα αυτή είναι ένα τεκτονικό οφιολιθικό μείγμα (*mélange*) μικρού πάχους που παρεμβάλλεται μεταξύ της Πελαγονικής μάζας και της σόλας (*Ghikas et al., 2009*). Αποτελείται από ιζήματα ρηχής θάλασσας, φυλλίτες και βασालτικά κομμάτια προερχόμενα από τον οφιόλιθο. Στην κυρίως οφιολιθική σειρά, από τους κατώτερους στους ανώτερους σχηματισμούς, παρατηρούνται: χαρτζβουργίτες και δουνίτες (στους οποίους εμφανίζονται κοιτάσματα χρωμίτη) και πυροξενίτες και γάββροι σε κυκλικές εναλλαγές (*Ross et al., 1980*). Στις ανώτερες θέσεις έχουμε ένα σύστημα φλεβών (*sheeted dyke complex*). Αξίζει να σημειωθεί ότι στον Βούρινο υπάρχουν ελάχιστες εμφανίσεις pillow λαβών. Πάνω από τις λάβες και το σύστημα φλεβών (*sheeted dykes*), είναι τοποθετημένοι Άνω Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι, προερχόμενοι από το ίδιο ωκεάνιο περιβάλλον με τους οφιόλιθους (*Rassios & Dilek, 2009*). Με τη σειρά του Βούρινου συνήθως συνεξετάζονται και οι εμφανίσεις της Ροδιανής και του Ζιδανίου (*Rassios et al., 2019*). Στην περιοχή μονής Ζιδανίου υπάρχουν μεγάλες εμφανίσεις σερπεντινιτών, που φιλοξενούν κοιτάσμα χρυσοτιλικού αμιάντου, το οποίο έτυχε κατά καιρούς εκμετάλλευσης.

3.2.2.2. Πίνδος

Η σειρά της Πίνδου είναι και αυτή μια πλήρης οφιολιθική σειρά. Αποτελείται από επαναλαμβανόμενες σειρές, σε μορφή πτυχωμένων λεπιών. Στη βάση βρίσκεται αμφιβολιτική σόλα μεγάλου πάχους. Η σόλα είναι τοποθετημένη πάνω στο *mélange* της Αβδέλλας, οι ανώτεροι

ορίζοντες του οποίου έχουν επηρεαστεί και υποστεί μεταμόρφωση. Το mélange αυτό αποτελείται από κομμάτια του οφιόλιθου (σερπεντινίτες, λάβες, αμφιβολίτες) και ωκεάνια ιζήματα ηλικίας Τριαδικού - Ιουρασικού (*Rassios & Smith, 2000*). Πάνω από τη σόλα βρίσκονται χαρτσβουργίτες με διεισδύσεις περιδοτίτη κατά τόπους και γάββρους σε ανώτερους ορίζοντες.

3.2.2.3. Βέρμιο

Η οφιολιθική αυτή μάζα καλύπτει μία ζώνη ανατολικά της Πελαγονικής μάζας, τη ζώνη Αλμωπίας. Διακρίνεται από έντονη λεπιοειδή τεκτονική. Τα λέπια, μικρά σε μέγεθος, αποτελούνται από σερπεντινίτες, περιδοτίτες και pillow λάβες, ενώ σε μικρότερο βαθμό από γάββρους και διαβάσεις. Η σειρά δεν είναι πλήρης και η έντονη τεκτονική της περιοχής καθιστούν πολύ δύσκολη τη διάκριση της αρχικής διαδοχής των πετρωμάτων. Στην περιοχή υπάρχουν οφιολιθικά mélanges και αμφιβολιτική σόλα (*Εμμανουηλίδης, 2019*).

3.2.3. Αλπικοί σχηματισμοί

Με τον όρο αυτό περιλαμβάνουμε τους σχηματισμούς που σχηματίστηκαν στον ωκεάνιο χώρο της Τηθύος και έχουν υποστεί την αλπική πτύκωση. Στην περιοχή της λεκάνης του ποταμού Αλιάκμονα υπάρχουν οι εξής σχηματισμοί (*Rassios 2004*):

1) Κρητιδικός φλύσξης: Είναι ο «πρώτος φλύσξης» της αλπικής στρωματογραφίας. Έχει ηλικία Άνω Ιουρασικό – Άνω Κρητιδικό. Αποτελείται από τουρβιδίτες και πελαγικούς ασβεστόλιθους. Εμφανίζεται στην Πίνδο και έχει πάχος 1500m.

2) Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι: Οι ασβεστόλιθοι αυτοί είναι Άνω Κρητιδικής ηλικίας. Είναι απευθείας τοποθετημένοι τόσο πάνω στους οφιόλιθους, όσο και στην Πελαγονική μάζα. Έχουν τη μορφή ανθρακικού καλύμματος. Αποτελούνται από μικρίτη, ενώ σε λίγα μόνο σημεία έχουν διατηρηθεί απολιθώματα. Όσο μεταβαίνουμε προς τα δυτικά τα χαρακτηριστικά του γίνονται ρηχής θάλασσας.

3) Φλύσξης της Πίνδου: Ο φλύσξης της Πίνδου έχει ηλικία Άνω Κρητιδικό έως Ηώκαινο. Είναι τουρβιδιτικός σχηματισμός βαθιάς θάλασσας, σε πολλά σημεία παραμορφωμένος και αντιπροσωπεύει τη λεκάνη δυτικά της περιοχής δημιουργίας του οφιόλιθου της Πίνδου.

3.2.4. Μεσοελληνική αύλακα

Τα ιζήματα της Μεσοελληνικής αύλακας καταλαμβάνουν τον γεωγραφικό χώρο μεταξύ του Βούρινου και της Πίνδου. Πρόκειται για μετα-αλπικά ιζήματα ηλικίας Άνω Ηώκαινου έως Μειοκαινού. Το πάχος τους είναι μεγάλο σε ορισμένες περιοχές (4500m). Στη μεγάλη τους πλειοψηφία τα ιζήματα αυτά αντιπροσωπεύουν μια μετα-ορογενετική λεκάνη και χαρακτηρίζονται ως μολασσικά. Στη βάση τους αποτελούνται από κροκαλοπαγή. Τα παλιότερα είναι τα πετρώματα της Κρανιάς Άνω Ηώκαινικής ηλικίας.

Η ενότητα Επταχωρίου, ηλικίας Μέσου Ολιγοκαινού, αποτελείται από γκρίζες μάργες και ψαμμίτες. Ανώτερα είναι η ενότητα Πενταλόφου, Μειοκαινικής ηλικίας, αποτελούμενη από ψαμμίτες με κροκαλοπαγή. Η ενότητα Τσοτυλίου έχει ηλικία Μέσου Μειοκαινού και αποτελείται από μάργες, ψαμμίτες με ανθρακικές στρώσεις. Η νεότερη ενότητα είναι η ενότητα Όντριας με ψαμμίτες, μάργες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους (*Rassios 2004*).

Στην περιοχή της Μεσοελληνικής αύλακας υπάρχουν και σημαντικά κοιτάσματα Ni-λατερίτη, προερχόμενου από αποσάθρωση των γύρω υπερβασικών πετρωμάτων. Στην περιοχή, μάλιστα, της Καστοριάς (Ιεροπηγή) υπάρχει και σημαντική εκμετάλλευση.

3.2.5. Πρόσφατοι σχηματισμοί

Στην περιοχή της Μεσοελληνικής αύλακας στην κοίτη του ποταμού Αλιάκμονα, υπάρχουν και νεότερα ιζήματα. Τα ιζήματα αυτά είναι ποτάμιας και λιμναίας προέλευσης και αποτελούνται από κροκαλοπαγή στους κατώτερους ορίζοντες και άμμους, αργίλους και ιλυόλιθους ανώτερα. Η ηλικία τους είναι από Πλειόκαινο έως Άνω Πλειστόκαινο.

3.3 ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΑΜΙΑΝΤΟΥ

Όλες οι οφιολιθικές εμφανίσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω, περιλαμβάνουν σερπεντινωμένα υπερβασικά μέλη. Σε αρκετές μάλιστα περιπτώσεις υπάρχουν πολύ εκτεταμένες εμφανίσεις σερπεντινιτών. Σχεδόν σε κάθε τέτοια περίπτωση, στους σερπεντινίτες εμφανίζεται και η ινώδης μορφή του σερπεντίνη, ο χρυσοσίλης. Έτσι σύμφωνα με εκθέσεις του ΙΓΕΥ (1965) και υπαίθριες παρατηρήσεις στα πλαίσια της παρούσας έρευνας, εμφανίσεις χρυσοσίλη στη λεκάνη απορροής του Αλιάκμονα, υπάρχουν στο Άργος Ορεστικό, στον Ταξιάρχη Γρεβενών, στο Βούρινο, στον Όρλιακα Πίνδου, στο Βέρμιο, στα βόρεια Πιέρια, αλλά κυρίως στην περιοχή της Μονής Ζιδανίου στο Μικρόβαλτο Κοζάνης.

3.3.1 Κοίτασμα Μονής Ζιδανίου

Η σημαντικότερη εμφάνιση κάποιου από τα ορυκτά αμιάντου, είναι το κοίτασμα της περιοχής της Μονής Ζιδανίου στο Μικρόβαλτο Κοζάνης. Πρόκειται για ένα κοίτασμα χρυσοσιλικού αμιάντου, το οποίο είναι το μοναδικό κοίτασμα αμιάντου με εμπορική εκμετάλλευση στη χώρα. Το κοίτασμα είναι γνωστό από τη δεκαετία του 1950, αλλά η εκμετάλλευση του κοιτάσματος άρχισε το 1981 από την εταιρία MABE θυγατρική της ETBA.

Τα σίγουρα αποθέματα του κοιτάσματος είναι 90 εκατομμύρια τόνοι πάνω από το επίπεδο των 500m, με περιεκτικότητα του πετρώματος σε χρυσοσιλικές ίνες 3,6% και με μέση αποληψιμότητα 2,63%. Η πρόβλεψη για το ορυχείο αυτό ήταν να φτάσει παραγωγή της τάξης των 100.000 τόνων ετησίως, πλην όμως οι διεθνείς συνθήκες της αγοράς λόγω των επιδράσεων του αμιάντου στη δημόσια υγεία, δεν επέτρεψαν να φτάσει η παραγωγή σε αυτό το επίπεδο ποτέ (*Skarpelis & Dabitsias 1987, Karkanis 1995, Arvanitidis 1997*). Από το 2000 έχει σταματήσει και η δεύτερη φάση λειτουργίας του ορυχείου. Οι φλέβες αμιάντου αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από χρυσοσίλη, λευκό έως λευκοπράσινο, μεταξώδους υφής, ο οποίος σχηματίζει συσσωματώματα ινών.

Το πέτρωμα που φιλοξενεί το κοίτασμα έχει διαστάσεις 1.000m μήκος επί 600m πλάτος, το οποίο είναι μέρος ενός μεγαλύτερου σερπεντινίτη με μέγεθος 5χλμ σε μήκος και πλάτος που κυμαίνεται από 2χλμ στο βόρειο κομμάτι έως 500μ στο νότιο. Ο σερπεντινίτης αυτός διακρίνεται σε μαζώδη, σε σχιστώδη και σε μυλωνιτωμένο. Στην περιοχή του ορυχείου επικρατεί ο σχιστώδης σερπεντινίτης, ο οποίος διαφέρει από τον μαζώδη στο ότι έχει ανεπτυγμένο έναν πυκνό σχισμό αναστόμωσης. Έτσι ενώ ο μαζώδης αποτελείται από τεμάχια της τάξης των 1-2m εδώ οι διαστάσεις των τεμαχίων είναι μερικά εκατοστά. Ο χρυσοτιλικός αμίαντος βρίσκεται ανάμεσα στα μικρά τεμάχια που απαρτίζουν το σχιστώδη σερπεντινίτη, καταλαμβάνοντας έτσι το σύνολο των διακλάσεων.

Το κοίτασμα ανήκει στην κατηγορία slip-fiber χρυσοτίλη, αν και μικρές φλέβες cross-fiber παρατηρούνται σε μερικά σημεία. Σύμφωνα με τον Καρκάνα (*Karkanis 1995*), το slip-fiber κοίτασμα προήρθε από ένα cross-fiber κοίτασμα το οποίο λόγω τεκτονικής επίδρασης στη συνέχεια, ανέπτυξε χρυσοτίλη παράλληλα με τα τοιχώματα των φλεβών. Τόσο οι ίνες του χρυσοτίλη, όσο και οι κρύσταλλοι του αντιγορίτη, έχουν τον ίδιο προσανατολισμό, παράλληλο με τη διάτμηση. Η γένεση του χρυσοτίλη χαρακτηρίζεται ως συνεκτονικό γεγονός, καθώς η δημιουργία του έγινε ταυτόχρονα με τη δημιουργία των διακλάσεων στις οποίες αναπτύσσονται οι ίνες, ενώ οι διακλάσεις χώρισαν το σερπεντινικό σώμα που φιλοξενεί το κοίτασμα σε φακοειδείς σφήνες. Η δημιουργία ενός τέτοιου κοιτάσματος προϋποθέτει ανάδρομη μεταμόρφωση η οποία συμφωνεί με το ανάδρομο γεγονός κάτω πρασινοσχιστολιθικής φάσης της ευρύτερης περιοχής, που συνέβη στο άνω Κρητιδικό - κάτω Τριτογενές και τοποθέτησε τον όγκο στη σημερινή του θέση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

4.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ – ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Ο αμιάντος είναι ένα υλικό που είναι γνωστό από την αρχαιότητα, τόσο από τους Έλληνες που τον ονόμαζαν “αμιάντο” και “άσβεστο”, όσο και από τους Ρωμαίους που τον ονόμαζαν “ζωντανή ίνα”, “ορεινή ίνα”, “άκαυστη ίνα” όπως αναφέρουν πρώτα ο Αριστοτέλης (Healy 1999), ο Θεόφραστος, ο Πλίνιος, ο Διοσκουρίδης, ο Πλούταρχος κ.α. Ο αυτοκράτορας Καρλομάγνος λέγεται ότι είχε τραπεζομάντηλο από αμιάντο που το καθάριζε πετώντας το στη φωτιά (Sporn, 2013) ενώ πρόσφατη εργασία αποδίδει πιθανή αιτία του θανάτου του το μεσοθηλίωμα λόγω αυτής της χρήσης του αμιάντου (Schleifring et al., 2019). Μετά τη βιομηχανική επανάσταση, οι χρήσεις του αμιάντου πολλαπλασιάστηκαν σε σημείο να θεωρηθεί ευλογημένο υλικό, με διθυραμβικές αναφορές στις χρήσεις του και τις ιδιότητές του. Ήδη από το 1725 ο Βενιαμίν Φρανκλίνος αναφέρει σε επιστολή ότι του χαρίστηκε πορτοφόλι από το “μαλλί της σαλαμάνδρας”, όπως αποκαλούσαν οι ιθαγενείς τον αμιάντο (Sparks, 1844, Frondel, 1988, Eliot, 2019). Το συγκεκριμένο πορτοφόλι υπάρχει ακόμα στο Βρετανικό Μουσείο. Το 1827 οι Aldini & Cavanessi έφτιαξαν το πρώτο κοστούμι από αμιάντο,

μάλιστα η δοκιμή περιλάμβανε και περπάτημα μέσα σε φλόγες χωρίς πρόβλημα (*Selikoff & Lee, 1978*). Από τα πρώτα χρόνια όμως του περασμένου αιώνα, άρχισαν να αναπτύσσονται οι πρώτες υποψίες ότι ο αμιάντος μπορεί να έχει βλαβερές συνέπειες για την υγεία του ανθρώπου. Βέβαια αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι η πρώτη αναφορά σε ασθένειες που πιθανόν να σχετίζονται με τον αμιάντο, προέρχεται από τον Πλίνιο, ο οποίος σε επιστολή του παρατηρεί το γεγονός της συχνής ασθένειας των σκλάβων που δούλευαν με αμιάντο. Αυτή η πληροφορία στην πάροδο του χρόνου ξεχάστηκε. Έτσι όταν ο Παράκελσος και ο Agricola κατά τον 15^ο αιώνα αναφέρονται εκτεταμένα στην ασθένεια των μεταλλωρύχων δεν αναφέρονται καθόλου στον αμιάντο.

Η πρώτη απόδειξη για την επιβλαβή επίπτωση της έκθεσης σε αμιάντο υπήρξε από μία νεκροψία από τον Dr Montague – Murray στο Λονδίνο το 1899 σε εργάτη αμιάντου (*Lee & Selikoff, 1979*). Την ίδια χρονιά τόσο ο Auribault παρατηρεί αύξηση των θανάτων στους εργαζόμενους σε σπαστήρες αμιάντου και εργοστάσια ύφανσης στη Γαλλία κατά την πενταετία 1890-1895 (*Auribault, 1915*), όσο και η HM Women Inspectors of Factories στην ετήσια αναφορά της, αναφέρεται με αρνητικά σχόλια στην επίδραση των ινών στην υγεία των εργαζομένων (*Women Inspectors of Factories, 1899*). Στα επόμενα χρόνια οι αναφορές αυξήθηκαν (*Anderson, 1902, Scarpa, 1908*) ώσπου στα τέλη της δεκαετίας του 1920, αποδείχτηκε ότι ο αμιάντος ήταν υπεύθυνος για κρούσματα ινώσεως. Μάλιστα, για πρώτη φορά το 1927, εισήχθη, από τον Cooke, ο όρος «αμιάντωση» (*asbestosis*), για τη μορφή πνευμονοκονιάσεως που προέρχεται από την εισπνοή αμιάντου (*Cooke, 1927*).

Από την εποχή εκείνη και μετέπειτα ο αμιάντος έχει αποδειχθεί ότι εισπνεόμενος προκαλεί σοβαρές, μέχρι και θανατηφόρες ασθένειες στον ανθρώπινο οργανισμό, όπως η αμιάντωση (*Cooke, 1927, Wyers, 1949, Vorwald et al., 1951, Selikoff et al., 1967, Mossman & Churg, 1998, Roggli et al., 2010, Baur et al., 2017, Ye et al., 2017, Parolari, 2019, Di Piazza et al., 2020*), το μεσοθηλίωμα (*Wagner et al., 1960, Selikoff et al., 1965, Vianna & Polan, 1978, Spirtas et al., 1994, Craighead,*

2008, Loomis *et al.*, 2019, Boffetta *et al.*, 2019, Attanoos, 2020) και ο καρκίνος του πνεύμονα (Nordvik, 1959, Selikoff *et al.*, 1964, Hodgson & Darnton, 2000, Attanoos, 2008, Gilham *et al.*, 2016) ειδικά σε συνθήκες μεγάλης έκθεσης σε ίνες, λόγω του εργασιακού περιβάλλοντος (Bernarde *ed.*, 1990, Testa *ed.* 2017, Mossman & Gualtieri, 2020). Υπάρχουν διάφορες απόψεις που προσπαθούν να συνδέσουν τον αμιάντο και με άλλες ασθένειες, κυρίως με άλλες μορφές καρκίνου, όμως δεν έχει αποδειχθεί τίποτα μέχρι τώρα πέραν αμφισβήτησης (Miller, 1978, Kanarek *et al.*, 1980, Levine, 1985, Edelman, 1992, Garabrant *et al.*, 1992, Horna *et al.*, 1994, McDonald & McDonald, 1997, Brown & Gee, 2000, Sali & Boffetta, 2000, Griffiths & Malony, 2003, Aliyu *et al.*, 2005, Kjærheim *et al.*, 2005, Craighead & Gibbs *ed.*, 2008, Zheng *et al.*, 2019, Grosso *et al.*, 2019, Kwak *et al.*, 2019). Οπότε, και σε συνάρτηση με το γεγονός ότι οι ασθένειες που προκαλεί ο αμιάντος είναι ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος, η επιστημονική κοινότητα έχει δεχθεί ότι προς το παρόν μόνο η εισπνοή ινών αμιάντου είναι αποδεδειγμένα και πέραν αμφισβήτησης επιζήμια για την ανθρώπινη υγεία.

Βέβαια μέχρι και σήμερα, υπάρχει επιστημονική διαμάχη ακόμα και για θέματα που έχουν καθιερωθεί στη συνείδηση τόσο του κοινού παγκοσμίως, όσο και της επιστημονικής κοινότητας. Έτσι ενδεικτικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι ενώ οι Suzuki *et al.* (2005) υποστηρίζουν ότι ακόμα και οι μικροσκοπικές λεπτές ίνες χρυσότιλη προκαλούν μεσοθηλίωμα, ένα χρόνο αργότερα άλλη έρευνα υποστηρίζει ότι δεν υπάρχει καμία απόδειξη που να συνδέει το χρυσοτιλικό αμιάντο με το μεσοθηλίωμα (Yarborough, 2006). Γενικότερα δε, υπάρχει αυξανόμενο επιστημονικό ενδιαφέρον συσχέτισης συγκεκριμένων μορφών αμιάντου με παθογένεσεις, κυρίως των αμφιβολικών μορφών (Selikoff *et al.*, 1972, Rowlands *et al.*, 1982, Wagner *et al.*, 1982, Constantopoulos *et al.*, 1985, Athanasiou *et al.*, 1992, Hurbmakova & Tatara, 1999, McDonald *et al.*, 1999, Hodgson & Darnton, 2000, Liddell, 2001, Rees *et al.*, 2001, Yano *et al.*, 2001, Berry, 2002, Roggli *et al.*, 2002, Bernstein *et al.*, 2003, Renner 2003, Addison & McConnell, 2008,

Bateson & Kopylev, 2015) διαχωρίζοντας έτσι την ως τώρα κοινή αντιμετώπιση των ορυκτών αμιάντου σε θέματα υγείας ή ακόμα συσχέτιση του ποσοστού Fe στην ίνα ως παράγοντα επικινδυνότητας (*Fubini & Mollo, 1995, Aust et al, 2000, Srivastava et al., 2010, Pacella et al., 2015*). Άσχετα με τον τύπο αμιάντου όμως, στην εισπνοή ινών αποδίδεται μέχρι και στο 2-3% των θανάτων από καρκίνο του πνεύμονα στη Μ. Βρετανία (*Darnton et al, 2006*), αν και εκφράζονται ενστάσεις στο κατά πόσο ο κίνδυνος αυτός υφίσταται και από κοινές καθημερινές χρήσεις του αμιάντου όπως τα τακάκια των φρένων, τα πλακίδια, οι αμιαντοσωλήνες κ.ά. (*Vianna & Polan, 1978, Hillerdal, 1999, Lacourt et al., 2014, Ferrante et al., 2016, Tlotleng et al., 2019*).

Σε κάθε περίπτωση, το γεγονός ότι η ύπαρξη αμιάντου στο περιβάλλον είναι δυνατόν να προκαλέσει ανήκεστη βλάβη στην ανθρώπινη υγεία, οδήγησε τους οργανισμούς υγείας και τις κυβερνήσεις πολλών κρατών σε μέτρα περιορισμού της χρήσης του. Φυσικά το πρώτο βήμα για την εφαρμογή τέτοιων ενεργειών είναι η καταγραφή της ύπαρξης των ινών αμιάντου στο περιβάλλον. Το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας έχει μέχρι στιγμής προσανατολιστεί στην καταμέτρηση του αριθμού των ινών αμιάντου στον αέρα, κυρίως στο περιβάλλον εργασίας, αλλά και στον εισπνεόμενο αέρα. Τέτοιες έρευνες έχουν γίνει και εθνικά στις περισσότερες χώρες του κόσμου, όπως για τις Γερμανία (*Woitowicz et al, 1986, Raithel et al, 1989, Hagenmayer et al, 2006, Ramroth et al., 2011*), Ισραήλ (*Brenner et al, 1990, Tulchinsky et al., 1999*), Φινλανδία (*Meurman et al., 1974, Vilkman et al, 1993, Koskinen et al., 2003*), Ν. Αφρική (*Bonn, 1999, Rees et al., 1999, Abratt, 2004, Braun & Kisting, 2006, Phillips et al., 2016*), Γαλλία (*Banaei et al, 2000, Meguellati-Hakkas et al., 2006, Gramond et al., 2012*), Αυστρία (*Neuberger & Vutuc, 2003*), Ζιμπάμπουε (*McCulloch, 2003*), Ολλανδία (*Burdorf et al, 2003*), Αίγυπτο (*Gaafar & Eldin, 2005*), Ινδία (*Subramanian & Madhavan, 2005, Ansari et al., 2007, Jadhav & Gawde, 2019*), Βραζιλία (*Berman, 1986, Giannasi & Thébaud-Mony, 1999, Fernandes et al., 2019*), Ισπανία (*Artieda et al., 2005*), Δανία (*Würtz et al., 2020*) κ.ά., ενώ υπήρξε και μεγάλο ενδιαφέρον για την

απελευθέρωση ινών αμιάντου από την κατάρρευση του Παγκοσμίου Κέντρου Εμπορίου, με το τρομοκρατικό χτύπημα της 11/9/2001 στη Νέα Υόρκη (*Budgen, 2004, Lange, 2004, Nolan et al., 2005, Swayze et al., 2009, Li et al., 2012, de la Hoz et al., 2018*).

Για την συγκέντρωση των ινών αμιάντου στο πόσιμο ή στο φυσικό νερό έχουν θεσπιστεί όρια, αν και δεν έχει αποδειχτεί επικινδυνότητα λόγω της εισόδου τους στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω του πεπτικού συστήματος, παρά μικρή επικινδυνότητα και μόνο σε πειραματόζωα (*Delahunty & Hollander 1987*). Το όριο το οποίο τηρείται σε όλες τις μετρήσεις είναι αυτό που έχει ορίσει η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) και είναι στα 7 εκατομμύρια ίνες ανά λίτρο (WHO/SDE/WSH/03.04/02).

Στην παρούσα εργασία τηρούνται τα όρια των διεθνών οργανισμών. Στην Ελλάδα οι νόμοι που αφορούν στην ποιότητα των υδάτων για ανθρώπινη κατανάλωση, είναι η Κοινή Υπουργική Απόφαση 46399/4352/1986 (ΦΕΚ 438B/3-7-86) σε συμμόρφωση με τις οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 75/440/ΕΟΚ (όπως τροποποιήθηκε από τις οδηγίες 79/869/ΕΟΚ και 91/692/ΕΟΚ), 76/160/ΕΟΚ (όπως τροποποιήθηκε από την οδηγία 91/692/ΕΟΚ), 78/659/ΕΟΚ (όπως τροποποιήθηκε από την οδηγία 91/692/ΕΟΚ και τις πράξεις 179Η και 185Ι), 79/923/ΕΟΚ (όπως τροποποιήθηκε από την οδηγία 91/692/ΕΟΚ) και 79/869/ΕΟΚ (όπως τροποποιήθηκε από την οδηγία 81/855/ΕΟΚ) και η Κοινή Υπουργική Απόφαση Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892B/11-7-2001) σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998, στην οποία δεν γίνεται η παραμικρή αναφορά στα ορυκτά αμιάντου ως ελεγχόμενη παράμετρος (*Μιχαλοπούλου, 2004*). Όρια έχουν θεσπιστεί στον έλεγχο του εισπνεόμενου αέρα από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Οδηγία 2009/148/ΕΚ), την κυβέρνηση των ΗΠΑ (OSHA Publication 3507 (2014)), ενώ ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας περιλαμβάνει τον αμιάντο στις οδηγίες για την ποιότητα του εισπνεόμενου αέρα των παιδιών (WHO/CED/PHE/18.01/18).

4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ

Η αναγνώριση των προβλημάτων υγείας που προκαλούνται από τον αμιάντο οδήγησε σε ανάπτυξη διαφόρων μεθοδολογιών. Οι μεθοδολογίες αυτές είχαν σαν σκοπό είτε τη διάκριση των διαφόρων ειδών αμιάντου ακόμα και μεταξύ τους (*Skikne et al, 1971, Clark & Ruud, 1974*) είτε τη μέτρηση της ποσότητας ινών στο περιβάλλον, σε προϊόντα (*Paoletti et al, 1984*) ή και στον ανθρώπινο οργανισμό.

Έτσι κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί μέθοδοι χρησιμοποιώντας κυρίως ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διερχόμενης δέσμης TEM (Transmission Electron Microscope) (*Hallenbeck et al, 1977, Seshan, 1978, Middleton & Jackson, 1982, Burdett & Rood, 1983, Steel & Small, 1985, Yamamoto et al., 2014*). Η χρήση του γίνεται συχνά επικουρικά με παράλληλη χρήση XRD (X-ray Diffraction - Περιθλασιμετρία Ακτίνων Χ για επιβεβαίωση της ορυκτής φάσης) (*Rickards, 1973, Gualtieri et al., 2017*), PCM (Phase Contrast Microscopy - οπτικό μικροσκόπιο με εικόνα αντίθεσης φάσης) (*Verma & Clark, 1995, Millette & Bandli, 2005, Blake et al., 2006, Chung et al., 2011, Lee et al., 2013, Perez et al., 2018*), SAED (Selected Area Electron Diffraction - Περιθλασιμετρία επιλεγμένης περιοχής στο TEM για την επιβεβαίωση της ανόργανης φάσης) (*Malami & Grasserbauer, 1982, Cattaneo et al., 2012, Pfau et al., 2017*), φασματοσκοπία Ramman (*Rinaudo et al., 2005*) και EDS (Energy Dispersive Spectrometry - Φασματοσκοπία Ενέργειας για την εξακρίβωση της χημικής σύστασης κάποιου σημείου ή περιοχής) (*Beaman & File, 1976, Millette, 2006, Yoon et al., 2019*). Σε κάθε μεθοδολογία βέβαια, υπάρχουν διαφοροποιήσεις τόσο στον τρόπο χρήσης του κάθε οργάνου, όσο και στην προπαρασκευή των δειγμάτων (*Finn et al, 1984*).

Παράλληλα με τις ήδη υπάρχουσες μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται και προτείνονται από τους οργανισμούς, στα πλαίσια της διατριβής αυτής θα ερευνηθεί και η δυνατότητα ανάπτυξης μεθοδολογίας, η οποία θα προτείνει τη χρήση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (Scanning Electron Microscope ή SEM στο

εξής), αντί για το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διερχόμενης δέσμης (Transmission Electron Microscope ή TEM στο εξής). Η έρευνα αυτή έχει σκοπό την εφαρμογή μιας ευκολότερης, οικονομικότερης και ταχύτερης μεθόδου που δεν στερείται ακρίβειας.

Όπως είναι φυσικό, από τις πρώτες έρευνες που έγιναν με χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, ερευνήθηκε και η δυνατότητα χρήσης του SEM, σε αντιπαραβολή με το TEM (*Steene et al, 1983, Rood & Streeter, 1984, Marfels et al, 1987*) ή με άλλες μεθόδους όπως PCM (*Kiefer et al, 1987*). Έτσι ο *Beckett (1973)*, κρίνει ότι τα αποτελέσματα στο SEM για ίνες μεγαλύτερες από 5μm, είναι σε καλή συμφωνία με την τότε επικρατούσα μέθοδο με οπτικό μικροσκόπιο. Οι *Breyse et al (1989)* μάλιστα χρησιμοποίησαν τόσο SEM, όσο και TEM & PCM, βρίσκοντας ότι τα αποτελέσματα που αφορούσαν ίνες αμιάντου στον αέρα είναι συγκρίσιμα. Εφόσον όμως η ακρίβεια άνω των 5μm κρίνεται καλή από κάποιους από το SEM, οι *Buchan et al (1984)* πρότειναν μαθηματική μέθοδο υπολογισμού του συνολικού αριθμού των ινών. Η χρήση του SEM σε συνδυασμό με ανιχνευτή ενεργειακής διασποράς-EDS τέθηκε υπό αμφισβήτηση λόγω της ομοιότητας του φάσματος EDS που δίνουν τα ορυκτά αμιάντου με άλλα μη ινώδη ορυκτά (*Ruud et al 1976*). Ακόμα όμως και η ακρίβεια του TEM έχει αμφισβητηθεί, με τους *Turner & Steel (1991)* να έχουν βρει διαφορές στο ίδιο δείγμα μεταξύ διαφορετικών εργαστηρίων που υπερβαίνουν το 40% σε ίνες κάτω του 1μm. Οι *Dodson et al. (2008)* συνέκριναν SEM, TEM και PCM καταλήγοντας ότι το SEM σε μεγεθύνσεις της τάξης του x1000 δεν είναι ακριβές σε σύγκριση με το ATEM σε μεγεθύνσεις x15.000. Στην παρούσα έρευνα σε καμία περίπτωση δε χρησιμοποιήθηκε τόσο χαμηλή μεγέθυνση στο SEM αλλά όπως αναπτύσσεται και παρακάτω όλες οι μετρήσεις έγιναν και προτείνεται να γίνονται στην τάξη του x10.000 και πάνω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

5.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

5.1.1. Δειγματοληψία

Για την επίτευξη των στόχων του πρώτου μέρους της διατριβής, την καταγραφή δηλαδή της παρουσίας των ινών του αμιάντου στον ποταμό Αλιάκμονα και την ποσοτική τους μέτρηση, ακολουθήθηκε η εξής πορεία.

Αρχικά έγινε δειγματοληψία νερού στην λίμνη του Πολυφύτου, στον νομό Κοζάνης στην περιοχή μεταξύ Κοζάνης και Σερβίων, όπου εντοπίζεται κυρίως το πρόβλημα σύμφωνα με προγενέστερα ερευνητικά προγράμματα (ΑΠΘ - ΓΓΕΤ, 1993, ΥΠΕΧΩΔΕ - ΑΠΘ, 1994), σε διάφορες χρονικές στιγμές κατά την πορεία του έτους, όπως επίσης και σε διάστημα τριών ετών, ώστε να καταγραφούν τυχόν διαφοροποιήσεις τόσο κατά τη διάρκεια του έτους, όσο και κατά την πορεία των ετών. Με τους ίδιους ρυθμούς γίνονται δειγματοληψίες νερού από όλα τα πλευρικά ρέματα τα οποία εκβάλλουν είτε στην λίμνη Πολυφύτου είτε στον ποταμό Αλιάκμονα και τα οποία αποστραγγίζουν περιοχές με σερπεντινιτικά πετρώματα ή και περιοχές κοντά στην περιοχή του ορυχείου αμιάντου στο Ζιδάνι, για να εκτιμηθεί πιθανή συνεισφορά τους στην παρουσία των ινών στη λίμνη Πολυφύτου στην οποία παρουσιάζεται και η κύρια συγκέντρωσή τους. Δειγματοληψία νερού πραγματοποιήθηκε

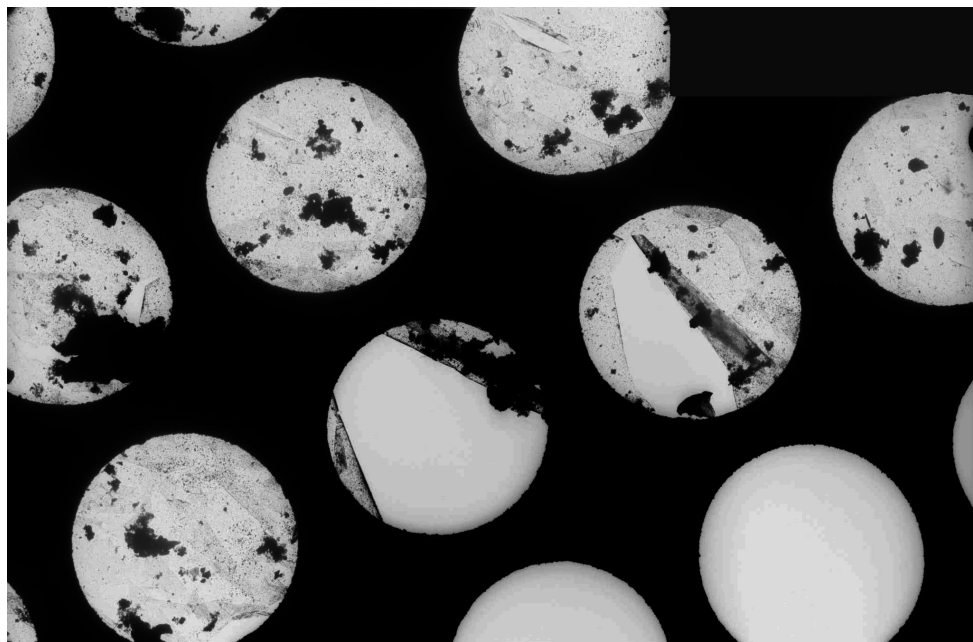
επίσης και κατά μήκος του ποταμού Αλιάκμονα σε διάφορα σημεία της ροής του, από την περιοχή της Καστοριάς ως την περιοχή του φράγματος της λίμνης Ασωμάτων, στην περιοχή όπου ο ποταμός Αλιάκμονας εισέρχεται στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης κοντά στη Βέροια. Εκτός από μετρήσεις του αριθμού των ινών και τις προσπάθειες προσδιορισμού της προέλευσής τους έγιναν επίσης και εκτιμήσεις κατά πόσο οι ίνες του αμιάντου μεταφέρονται από τη ροή του ποταμού ή καθιζάνουν μετά από μερικά χιλιόμετρα, και κατά πόσο τα φράγματα τα οποία βρίσκονται σε διάφορα σημεία του ποταμού εμποδίζουν την πορεία των ινών στα κατάντη.

5.1.2. Εργαστηριακή Μεθοδολογία

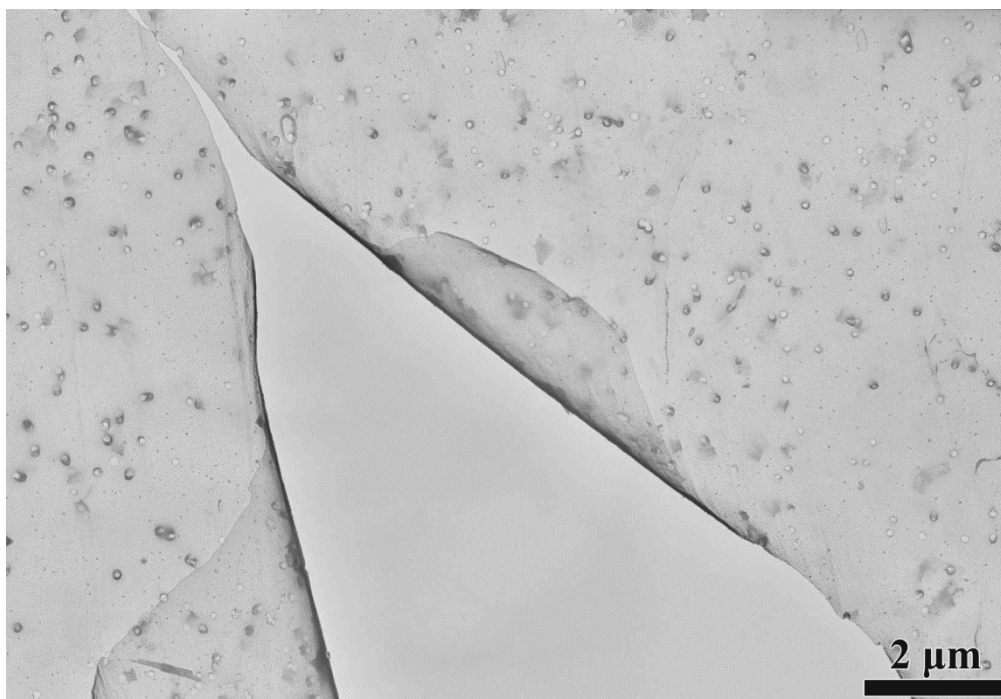
Το δεύτερο μέρος της έρευνας περιλαμβάνει την προσπάθεια καθορισμού της βέλτιστης μεθοδολογίας για την διενέργεια των μετρήσεων τόσο κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας όσο και στο μέλλον. Η προσπάθεια αυτή περιλαμβάνει τη διενέργεια μετρήσεων με διάφορες τεχνικές και μεθοδολογίες. Κυρίως γίνεται προσπάθεια σύγκρισης μεθοδολογιών ηλεκτρονικής μικροσκοπίας τόσο σάρωσης (SEM), όσο και διερχόμενης δέσμης (TEM). Οι συγκρίσεις αυτές γίνονται ώστε να βρεθεί η βέλτιστη λύση για την διενέργεια παρομοίων μετρήσεων στο μέλλον, αλλά και για να εκτιμηθεί η αξιοπιστία της μεθοδολογίας η οποία εφαρμόζεται στο Α.Π.Θ. Σε περίπτωση κατά την οποία κάτι τέτοιο αποδειχθεί, θα προταθεί η μέθοδος αυτή στη διεθνή επιστημονική κοινότητα.

Σκοπός της προσπάθειας για ανάπτυξη και καθιέρωση νέας μεθοδολογίας βασισμένης στο SEM είναι τα αρκετά προβλήματα που μπορεί να δημιουργηθούν κατά την παρασκευή του δείγματος για μελέτη στο TEM εφόσον αυτό προέρχεται από φυσικά νερά, ενδεχομένως πλούσια σε φερτά υλικά. Κατά την παρασκευή των δειγμάτων για μελέτη στο TEM προηγείται η διαδικασία διάλυσης του φίλτρου με τη χρήση χλωροφορμίου μέσω συσκευής jaffe washer. Αυτό ενδέχεται να διαταράξει το υμένιο του άνθρακα πάνω στο οποίο φιλτράρεται το φυσικό νερό και πολλές φορές να καταρρεύσει, με συνέπεια να μην είναι

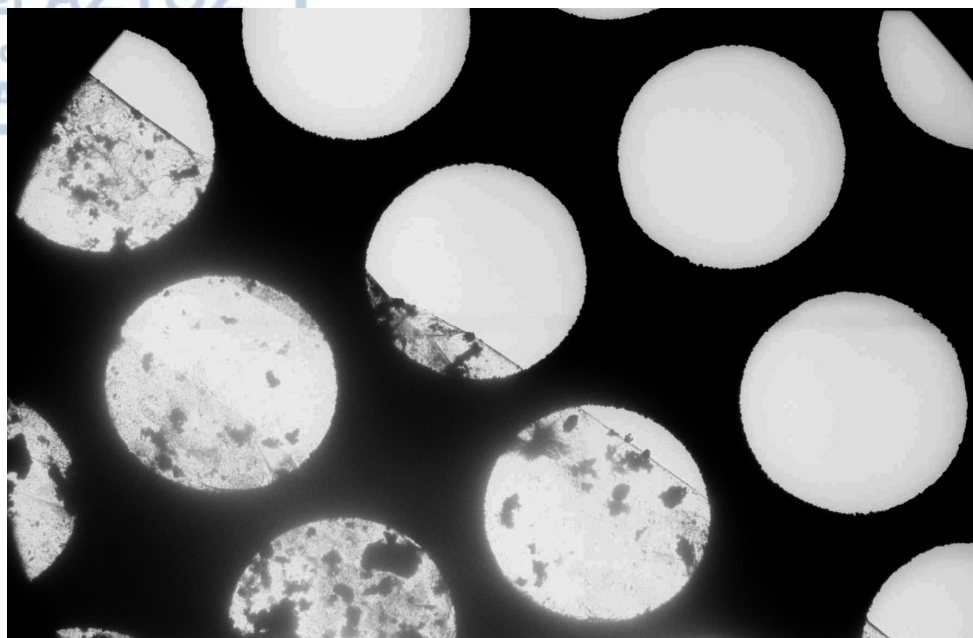
δυνατή η λήψη αποτελέσματος (Εικόνες 5.1, 5.2 & 5.3) ή σε άλλες περιπτώσεις να μην υπάρχει πλήρης απομάκρυνση του κάτω υμενίου γεγονός που δυσχεραίνει πολύ την εξαγωγή αποτελέσματος και ασφαλών συμπερασμάτων (Εικόνα 5.4)



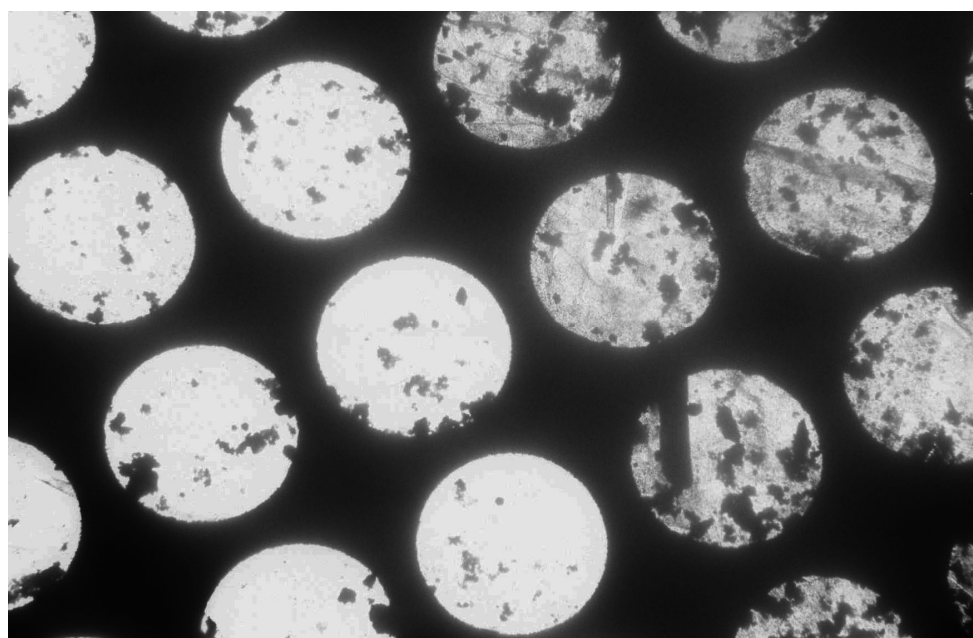
Εικόνα 5.1. Εικόνα παρασκευάσματος για μελέτη στο TEM με διάρρηξη και πλήρη καταστροφή των ορισμένων από υμένια άνθρακα. (Εικόνα από TEM)



Εικόνα 5.2. Λεπτομέρεια διάρρηξης υμενίου άνθρακα. (Εικόνα από TEM)



Εικόνα 5.3. Παρασκεύασμα κατά το ήμισυ κατεστραμένο λόγω της επεξεργασίας με χλωροφόρμιο στη διάταξη jaffe washer. (Εικόνα από TEM)



Εικόνα 5.4. Παρασκεύασμα στο οποίο το φίλτρο δεν έχει απομακρυνθεί πλήρως (σκουρόχρωμη περιοχή στα δεξιά της εικόνας). (Εικόνα από TEM)

5.1.3. Αναλυτικά Όργανα

Για την ολοκλήρωση αυτής της διατριβής χρησιμοποιήθηκαν, ηλεκτρονικά μικροσκόπια σάρωσης (JEOL840A & JEOL6590LV) με προσαρμοσμένο EDS Oxford Instruments INCA και διέλευσης (Zeiss & JEOL Εργαστηρίου Ιστολογίας, Τμήμα Ιατρικής), καθώς και οι

εγκαταστάσεις του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας, των Εργαστηρίων Ελέγχου Ρύπανσης Περιβάλλοντος και Αναλυτικής Χημείας του Τμήματος Χημείας και του Εργαστηρίου Σαρωτικής Μικροσκοπίας του Α.Π.Θ.

5.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΙΝΩΝ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΣΤΟ ΝΕΡΟ ΣΤΟ SEM

Παρακάτω αναπτύσσεται αναλυτικά η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για τη μέτρηση των ινών αμιάντου στο νερό για την έρευνα αυτή:

5.2.1. Δειγματοληψία:

5.2.1.1. Δοχεία δειγματοληψίας

Για τη δειγματοληψία χρησιμοποιούνται δοχεία 1 λίτρου, γυάλινα ή πλαστικά, με βιδωτό πώμα. Στη συγκεκριμένη διατριβή χρησιμοποιήθηκαν δοχεία πλαστικά πολυαιθυλενικά, με βιδωτό πώμα και εσωτερικό καπάκι. Τα μπουκάλια είναι σε κάθε χρήση καινούρια και καθαρίζονται πριν τη χρήση.

5.2.1.2 Συλλογή δειγμάτων

Η δειγματοληψία γίνεται με δειγματολήπτη, όπου αυτό είναι δυνατόν. Για τη χρήση του είναι απαραίτητη η παρουσία γέφυρας, αλλά και στην περίπτωση αυτή θα πρέπει στο σημείο αυτό το ποτάμι να έχει βάθος τουλάχιστον 50cm. Ο λόγος είναι ότι πρέπει κατά τη δειγματοληψία να μην αναταραχθεί ο βυθός και αλλοιωθεί η σύσταση των υδάτων. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει γέφυρα ή επαρκές βάθος, η δειγματοληψία γίνεται από την όχθη απευθείας στο μπουκάλι, χωρίς να γίνεται σε καμία περίπτωση επαφή του μπουκαλιού με το βυθό.

5.2.1.3 Συντήρηση δειγμάτων

Αμέσως μετά τη λήψη των δειγμάτων προστίθεται διάλυμα χλωριούχου υδράργυρου, συγκέντρωσης 2,71%κ.β., σε ποσότητα 1ml ανά λίτρο δείγματος. Η διαδικασία έχει ως σκοπό την παύση της περαιτέρω ανάπτυξης μικροοργανισμών στο δείγμα. Τα μπουκάλια μετά τη δειγματοληψία, σφραγίζονται και με parafilm. Μέχρι την ανάλυσή

τους τα δείγματα διατηρούνται σε ψυγείο. Ο χρόνος συντήρησης δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 48 ώρες.

5.2.2. Συσκευές

Η διαδικασία απαιτεί σαρωτικό μικροσκόπιο με προσαρμοσμένο μικροαναλυτή EDS. Το εργαστήριο επίσης στο οποίο θα γίνει η διαδικασία θα πρέπει να διαθέτει: Συσκευή επανθράκωσης υψηλού κενού, απαγωγό, συσκευή φιλτραρίσματος με υδραντλία κενού και μπάνιο υπερήχων.

5.2.3. Διαδικασία

5.2.3.1. Προετοιμασία δείγματος - φιλτράρισμα

Τα δείγματα ξεπλένονται με απεσταγμένο νερό, καθαρίζονται προσεκτικά με υγρό πανί εξωτερικά και ειδικά στην περιοχή του πώματος και αποσφραγίζονται. Για τη διαδικασία απαιτούνται φίλτρα MCE και PC.

Αρχικά πραγματοποιείται ένα φιλτράρισμα σε φίλτρο MCE 47mm διαμέτρου και 0,1μm διαμέτρου πόρων. Κάτω από το φίλτρο αυτό τοποθετείται φίλτρο MCE επίσης 47mm σε διάμετρο αλλά με 5μm μέση διάμετρο πόρων, για υπόστρωμα ώστε να αποφευχθεί κατάρρευση. Ο όγκος του δείγματος που θα φιλτραριστεί είναι ανάλογος με την ποσότητα των φερτών υλικών που περιέχει το δείγμα. Σε περίπτωση καθαρού νερού ή δείγματος από παροχή ύδρευσης φιλτράρεται όγκος 250ml. Σε αντίθετη περίπτωση, όπως για παράδειγμα σε φυσικά νερά με αυξημένο φορτίο φερτών υλικών, ο όγκος μειώνεται χωρίς όμως να γίνει κάτω από 50ml. Καλός δείκτης που θα μας επιτρέψει να κρίνουμε αν η ποσότητα που φιλτραρίστηκε ήταν μεγάλη, είναι η αλλαγή του χρωματισμού του φίλτρου. Σε περίπτωση που κάτι τέτοιο συμβεί, τότε κατά πάσα πιθανότητα ο όγκος που φιλτραρίστηκε ήταν μεγάλος και η μέτρηση στο φίλτρο αυτό δεν είναι εφικτή. Σημαντικό κρίνεται να υπάρχει καλή εφαρμογή του φίλτρου στη διάταξη χωρίς να δημιουργούνται αναδιπλώσεις σε όλη την ωφέλιμη επιφάνειά του που

παραμένει ελεύθερη μετά την εφαρμογή του δοσομετρικού δοχείου το οποίο θα περιέχει το προς φιλτράρισμα νερό.

Η διήθηση υποβοηθείται από αντλία κενού, η οποία εφαρμόζεται στην κωνική φιάλη όπου καταλήγει το φιλτραρισμένο νερό. Το φίλτρο αυτό στη συνέχεια καίγεται σε φούρνο πλάσματος οξυγόνου. Λόγω της διαφοράς στη λειτουργία των διαφόρων συσκευών καύσης δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη διαδικασία από την άποψη του χρόνου καύσης που τηρείται. Αναπόφευκτα για κάθε διαφορετική συσκευή πρέπει να γίνει κάποιος πειραματισμός ώστε να βρεθεί ο κατάλληλος χρόνος καύσης, κατά τον οποίο, ούτε θα χαθεί στερεό υλικό, και κυρίως ίνες, από το δείγμα, ούτε θα αφήσει υπολείμματα από τα οργανικά συστατικά του δείγματος, ακόμα και κομμάτια του φίλτρου.

Η διαδικασία αυτή έχει σκοπό να απομακρύνει το σύνολο των οργανικών συστατικών του δείγματος που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν η μορφολογία τους να είναι παρόμοια με μια ορυκτή ίνα. Το υπόλειμμα της διαδικασίας αυτής, διαλύεται σε 250ml απεσταγμένου και φιλτραρισμένου νερού. Όλη η παραπάνω διαδικασία είναι δυνατόν να παραλειφθεί σε περίπτωση που εξετάζουμε δείγματα που προέρχονται από παροχή ύδρευσης ή από πολύ καθαρά νερά και η ανάλυση άλλων δειγμάτων από την ίδια περιοχή μας έχει δείξει ότι δεν υπάρχει οργανικό φορτίο στο φίλτρο μας.

Στη συνέχεια το νέο διάλυμα φιλτράρεται εκ νέου σε φίλτρο PC (polycarbonate). Το φίλτρο πρέπει να είναι 47mm σε διάμετρο και με 0,1μm διάμετρο πόρων. Κάτω από το φίλτρο τοποθετείται και εδώ φίλτρο κυτταρικής μεμβράνης (MCE) για υπόστρωμα. Και στην περίπτωση αυτή το φιλτράρισμα γίνεται με χρήση αντλίας κενού. Το φίλτρο τοποθετείται στο υπόστρωμα με τη γυαλιστερή του επιφάνεια προς τα επάνω, προσεκτικά ώστε να αποφευχθεί τυχόν τσάκισμά του που θα μας δώσει ψευδώς καθαρές από ίνες περιοχές στην επιφάνεια του φίλτρου. Προσέχουμε επίσης το φίλτρο να καταλαμβάνει όλη την επιφάνεια από την οποία θα διέλθει το δείγμα. Κατά τη διάρκεια του φιλτραρίσματος καλό είναι να σκεπάζουμε το δοχείο στο οποίο έχουμε τοποθετήσει το δείγμα και αν είναι δυνατόν η όλη διαδικασία να γίνει εντός απαγωγού

όχι στην ισχυρή του ένταση. Όταν διαπιστωθεί ότι το σύνολο του δείγματος έχει φιλτραριστεί, αφήνουμε την παροχή νερού της αντλίας κενού για μερικά λεπτά ακόμα. Στη συνέχεια αφαιρούμε από τη διάταξη την αντλία κενού και σπάζουμε το κενό που δημιουργήθηκε στο δοχείο υποδοχής του φιλτραρισμένου νερού. Προσεκτικά αφαιρούμε το φίλτρο από το υπόστρωμα του ώστε να μην τραυματιστεί σε κάποιο του σημείο και το τοποθετούμε σε ένα σκεύος petri μέχρι να στεγνώσει εντελώς. Ακολούθως το φίλτρο τοποθετείται στη συσκευή επανθράκωσης με την πλευρά που έχει τα υπολείμματα του φιλτραρίσματος τοποθετημένη προς τα επάνω. Λόγω του πολύ μικρού βάρους που έχει το φίλτρο, πρέπει αυτό κατά την επανθράκωση να στερεωθεί, ώστε να μην το αναρροφήσει η αντλία κενού μαζί με τον αέρα που βρίσκεται στον κλωβό της.

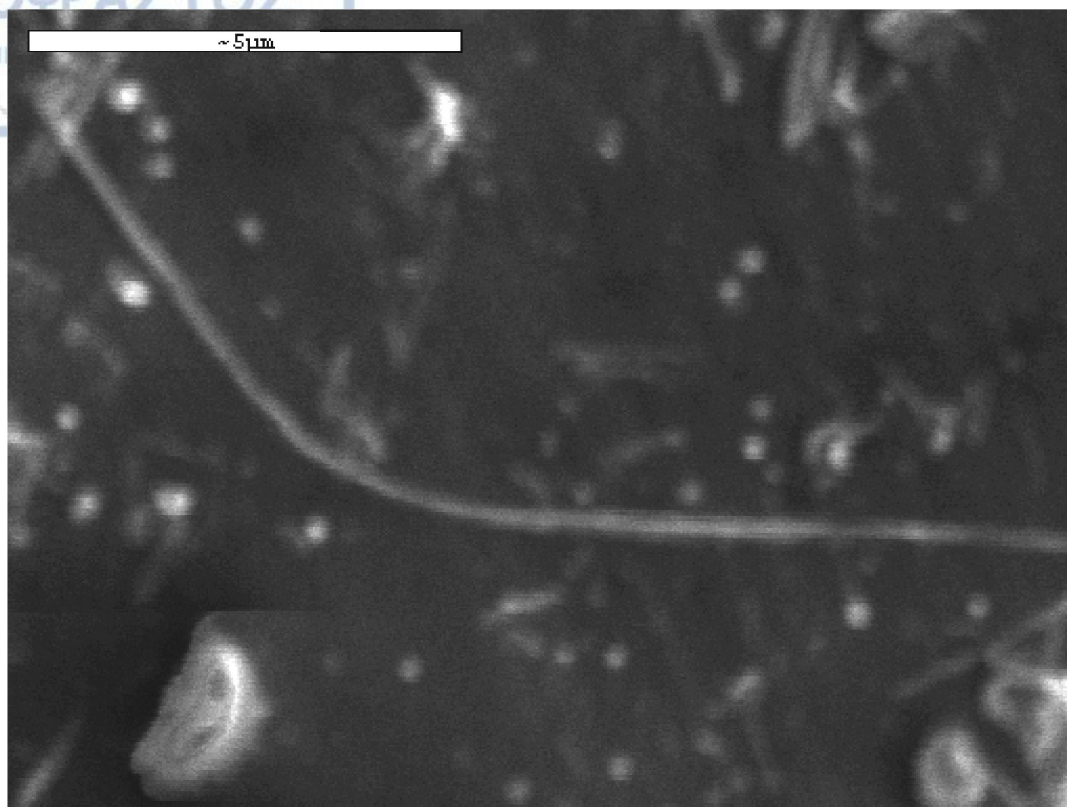
Η στερέωση του φίλτρου στη συσκευή επανθράκωσης μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: **α)** Με τη χρήση ενός μεταλλικού δακτυλίου ίδιας διαμέτρου ή ελαφρά μικρότερης από το φίλτρο (45-47mm). Ο δακτύλιος αυτός τοποθετείται στα όρια του φίλτρου και το κρατάει σταθερό κατά τη διαδικασία δημιουργίας κενού και αργότερα στην επανεισορή αέρα στον κλωβό. Προφανώς στα σημεία τα οποία είναι καλυμμένα από τον δακτύλιο δεν γίνεται επανθράκωση χωρίς αυτό να μας ενοχλεί, αφού στα σημεία αυτά ακουμπάει το δοχείο στο οποίο είναι τοποθετημένο το δείγμα και ως εκ τούτου δεν έχουν συμμετάσχει στο φιλτράρισμα. **β)** Εναλλακτικά μπορούμε να κόψουμε το κομμάτι του φίλτρου που θα αναλύσουμε και να το στερεώσουμε στο φορέα του πριν από την επανθράκωση. Κολλάμε πάνω σε ένα φορέα χαλκού ειδικού για χρήση σε σαρωτικό μικροσκόπιο, αυτοκόλλητη ταινία διπλής όψευς. Ακολούθως κολλάμε πάνω στην ταινία 2-3 κομμάτια του φίλτρου μεγέθους περίπου 10x10mm από διαφορετικές περιοχές του φίλτρου που βρίσκονται τουλάχιστον 5mm εσωτερικά στο φίλτρο. Στη συνέχεια τοποθετείται ο φορέας μαζί με τα κομμάτια του φίλτρου στη συσκευή επανθράκωσης. Να σημειωθεί εδώ, ότι η ίδια διαδικασία τοποθέτησης του δείγματος στο φορέα ακολουθείται και στην περίπτωση που το φίλτρο είναι ήδη επανθρακωμένο. Η επανθράκωση θα πρέπει να γίνει σε

εξαιρετικά υψηλό κενό μικρότερο από 0,01Pa. Το ρεύμα θα πρέπει να δίνεται σε μικρές περιόδους των 5 δευτερολέπτων, σε 4-5 επαναλήψεις.

Σκοπός μας είναι να δημιουργηθεί το μικρότερο δυνατό στρώμα άνθρακα που θα μας κάνει το δείγμα αγώγιμο ώστε να είναι ορατό στο σαρωτικό μικροσκόπιο, χωρίς να καλυφτεί η μορφολογία του φίλτρου και του ιζήματος, ούτε να αποκολληθούν μεγάλα κομμάτια άνθρακα και μολύνουν το δείγμα μας.

5.2.3.2. Μέτρηση ινών

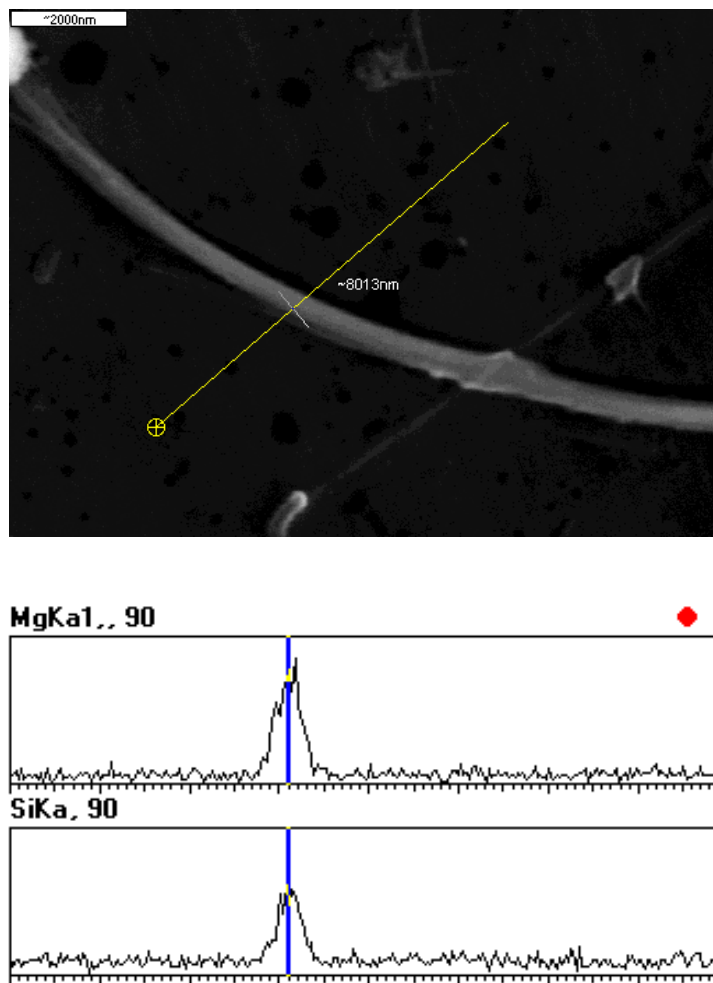
Ρυθμίζουμε το μικροσκόπιο σύμφωνα με τις οδηγίες του κάθε οργάνου και τις προδιαγραφές του για παρατήρηση σε μεγεθύνσεις της τάξης του $\times 10.000$ - $\times 15.000$. Ακολουθώντας, ρυθμίζουμε τον μικροαναλυτή, τοποθετώντας το ειδικό δείγμα με τα πρότυπα στοιχεία και ρυθμίζοντας στην κορυφή του στοιχείου κοβάλτιο (Co). Το παρασκεύασμα που το έχουμε ήδη ετοιμάσει με την προαναφερθείσα διαδικασία, τοποθετείται στον ειδικό φορέα εισαγωγής δειγμάτων στο σαρωτικό μικροσκόπιο. Ενώνουμε το παρασκεύασμα με τον φορέα με μία σταγόνα κόλλας αργύρου (Ag) και στη συνέχεια τοποθετούμε το δείγμα στο μικροσκόπιο. Μεγέθυνση εργασίας είναι η $\times 8.000$ - 10.000 . Σε αυτή τη μεγέθυνση (Εικόνα 5.5), είναι ευκρινώς διακριτές ίνες ακόμα και με διάμετρο κάτω του $1/10$ του μm , η οποία είναι η ελάχιστη διάμετρος των ινών αμιάντου. Στη μεθοδολογία αυτή παρατηρούνται περιοχές $100 \times 100 \mu\text{m}$, οι οποίες είναι αντίστοιχες με τα ανοίγματα του grid Cu 150 mesh που χρησιμοποιούνται στο μικροσκόπιο TEM. Στη μεγέθυνση εργασίας η εικόνα που έχουμε κάθε στιγμή είναι το $1/100$ του παραπάνω εμβαδού. Η περιοχή την οποία θέλουμε να μελετήσουμε αποτελείται από 10×10 μη αλληλεπικαλυπτόμενες εικόνες στην οθόνη του SEM. Αρχικά γίνεται ένας έλεγχος όλου του κομματιού του φίλτρου που βρίσκεται στο μικροσκόπιο για την επιλογή των ιδανικών σημείων για μέτρηση. Τα σημεία επιλέγονται έτσι ώστε: α) Να μην υπάρχει ίζημα από το φιλτράρισμα σε ποσοστό μεγαλύτερο του 20-25%, β) η κατανομή των διαφόρων σωματιδίων που βρίσκονται πάνω στο φίλτρο είναι ομοιόμορφη και γ) να μην υπάρχουν ογκώδη, σε σχέση με τα άλλα, σωματίδια. Ο έλεγχος αυτός γίνεται σε μεγεθύνσεις μεταξύ $\times 500$ - 1.000 .



Εικόνα 5.5. Ίνα αμιάντου στο SEM JEOL 840A. (Μεγέθυνση $\times 10.000$)

Σε περίπτωση που δεν είναι δυνατόν να βρεθούν τουλάχιστον 5 τέτοιες περιοχές, η διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί φιλτράροντας μικρότερο όγκο νερού. Σε κάθε ινόμορφη δομή που συναντάμε ελέγχοντας την περιοχή προσπαθούμε να εξακριβώσουμε την φύση της και την προέλευσή της. Η ταυτοποίηση του είδους της ίνας, μπορεί να γίνει με τη χρήση του μικροαναλυτή. Η χημική ανάλυση μπορεί είτε να γίνει με απευθείας ανάλυση στην ίνα αν η διάμετρος της το επιτρέπει είτε με ανάλυση με χρήση linescan. Η χημική ανάλυση που θα πάρουμε θεωρείται ημι-ποσοτική, εφόσον το δείγμα μας δεν είναι στιλβωμένο και η διάμετρος των ινών είναι συνήθως μικρότερη από τη δέσμη των ηλεκτρονίων. Το φάσμα μας δίνει με ακρίβεια την αναλογία μεταξύ των στοιχείων της ίνας και μας επιτρέπει να εξακριβώσουμε τον χημικό της τύπο. Αντίστοιχα, στην περίπτωση χρήσης linescan στην τομή της γραμμής ανάλυσης με την ίνα, πρέπει να δούμε τις τιμές των υπό εξέταση στοιχείων να αρχίσουν να δημιουργούν κορυφές σε αναλογία με τη σύσταση του κρυστάλλου. Για παράδειγμα όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.6 για την υπό εξέταση ίνα χρυσοσίλη, οι κορυφές μαγνησίου (Mg) και

πυριτίου (Si) έχουν αναλογία 3:2 όπως ακριβώς και στο χημικό τύπο του χρυσοσίτη ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Για κάθε ίνα που εξακριβώνεται ότι ανήκει σε ορυκτό αμιάντου, σημειώνουμε τον αύξοντα αριθμό της, το μέγεθος της και το ορυκτό στο οποίο αντιστοιχεί.



Σχήμα 5.6. Linescan με χρήση EDS σε ίνα χρυσοσίτη όπως αυτή φαίνεται στο SEM. Η κίτρινη γραμμή είναι η γραμμή στην οποία τελείται η ανάλυση και η γκριζα γραμμή πάνω στην υπό εξέταση ίνα αντιστοιχεί στη μπλε γραμμή στα διαγράμματα του Μαγνησίου (Mg) και του Πυριτίου (Si). Οι καμπύλες είναι ισορροπημένες στον ίδιο αριθμό counts per second ώστε να είναι άμεσα συγκρίσιμες και έχουν αναλογία 3:2

5.2.3.3 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Επειδή τα ανοίγματα των grid που χρησιμοποιούνται στις μεθοδολογίες για μικροσκόπιο TEM 150 – 200 mesh, έχουν αντίστοιχο εμβαδόν με τις περιοχές μελέτης $100\mu\text{m}^2$ η στατιστική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων γίνεται με τον ίδιο τρόπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΙΝΩΝ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΑ ΝΕΡΑ

6.1. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ

Το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας αυτής περιελάμβανε την ανίχνευση των ινών αμιάντου σε φυσικά νερά. Για τις ανάγκες της διατριβής και ως παράδειγμα εργασίας χρησιμοποιήθηκε (όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω) το ποτάμιο σύστημα του ποταμού Αλιάκμονα στη Δυτική και Κεντρική Μακεδονία, Ελλάδα. Ο ποταμός αυτός επιλέχθηκε γιατί διαρρέει τόσο πολλές περιοχές με εμφανίσεις και των δύο τύπων αμιάντου, όσο και γιατί πολύ κοντά στην κοίτη του υπάρχουν τα ορυχεία χρυσοτιλικού αμιάντου της Μονής Ζιδανίου.

Για το σκοπό αυτό, λοιπόν, έχουν γίνει στο σύνολο του ποτάμιου συστήματος, σε 47 συνολικά σημεία, 7 σειρές δειγματοληψιών κατά τα έτη 1995, 1996 και 1997, καθώς και άλλες 4 κατά τα έτη 1998 και 1999 σε 14 επιλεγμένα σημεία, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Ινες αμιάντου στα νερά του Αλιάκμονα», στο οποίο είναι ενταγμένη και η παρούσα διατριβή.

6.1.1. Τρόπος Δειγματοληψίας

Σε όλη τη λεκάνη απορροής του ποταμού, έγιναν δειγματοληψίες:

• Σε διάφορες εποχές του έτους. Στην αρχή του υδρολογικού έτους (Σεπτέμβριο – Οκτώβριο), στο τέλος του έτους σε ημερομηνίες με αυξημένες βροχοπτώσεις και αντίστοιχα αυξημένη επιφανειακή απορροή, προς το τέλος του χειμώνα και την περίοδο κοντά στο Πάσχα που λόγω του λιώσιματος του χιονιού στους γύρω ορεινούς όγκους η παροχή του ποταμού Αλιάκμονα και των παραποτάμων του είναι η μέγιστη.

• Κατά την πάροδο αρκετών ετών. Η διάρκεια των δειγματοληψιών ήταν πέντε (5) ημερολογιακά ή τέσσερα (4) υδρολογικά έτη.

Ο σκοπός που έγιναν αυτές οι δειγματοληψίες ήταν:

- Να διαπιστωθεί τυχόν διαφορά στις περιεκτικότητες των υδάτων σε ίνες αμιάντου στις διάφορες εποχές του έτους.
- Να διαπιστωθεί αν υπάρχει διαφοροποίηση στις περιεκτικότητες των υδάτων σε ίνες αμιάντου με την πάροδο των ετών.
- Να γίνει εντοπισμός των περιοχών ή των θέσεων που εμφανίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις ινών αμιάντου στο νερό.

Η δειγματοληψία έχει γίνει σε συγκεκριμένα και επιλεγμένα σημεία του ποταμού Αλιάκμονα ή του εκάστοτε παραποτάμου, ορισμένο με GPS. Μοναδική εξαίρεση είναι η γέφυρα Σερβίων, όπου υπάρχουν 2 σημεία δειγματοληψίας, ένα στο κέντρο της γέφυρας και ένα στην όχθη της λίμνης Πολυφύτου.

Ο τρόπος δειγματοληψίας ποικίλει από θέση σε θέση λόγω των ιδιαιτέρων συνθηκών. Σε περιπτώσεις που υπάρχει γέφυρα, ταυτόχρονα με αρκετό βάθος (άνω των 50 εκατοστών), χρησιμοποιήθηκε δειγματολήπτης. Το βάθος είναι σημαντικό γιατί σε κάθε περίπτωση πρέπει να αποφεύγεται κάθε επαφή του δειγματολήπτη ή του μπουκαλιού με τον πάτο του ποταμού. Σε αυτήν την περίπτωση η δειγματοληψία γίνεται είτε στη μέση της κοίτης, είτε στο σημείο με τη μέγιστη ροή αν αυτό είναι εμφανές και διαφορετικό από το μέσο της κοίτης. Εκεί όπου δεν υπάρχει γέφυρα ή το βάθος δεν επιτρέπει τη χρήση δειγματολήπτη, η δειγματοληψία γίνεται από την όχθη απευθείας στο μπουκάλι. Το σημείο επιλέγεται ώστε να υπάρχει αρκετό

βάθος (εφόσον κάτι τέτοιο είναι δυνατό) για να αποφευχθεί επαφή του μπουκαλιού με το βυθό και δημιουργηθούν αναταράξεις.

Οι ακριβείς ημερομηνίες δειγματοληψιών κατά αύξοντα αριθμό όπως αναφέρονται στη συνέχεια του κεφαλαίου ήταν:

1. 26/10/1995 & 14/11/1995
2. 11/2/1996 & 21/2/1996
3. 21/4/1996 & 24/4/1996
4. 11/9/1996 & 12/9/1996
5. 3/11/1996 & 15/11/1996
6. 9/7/1997
7. 23/4/1998

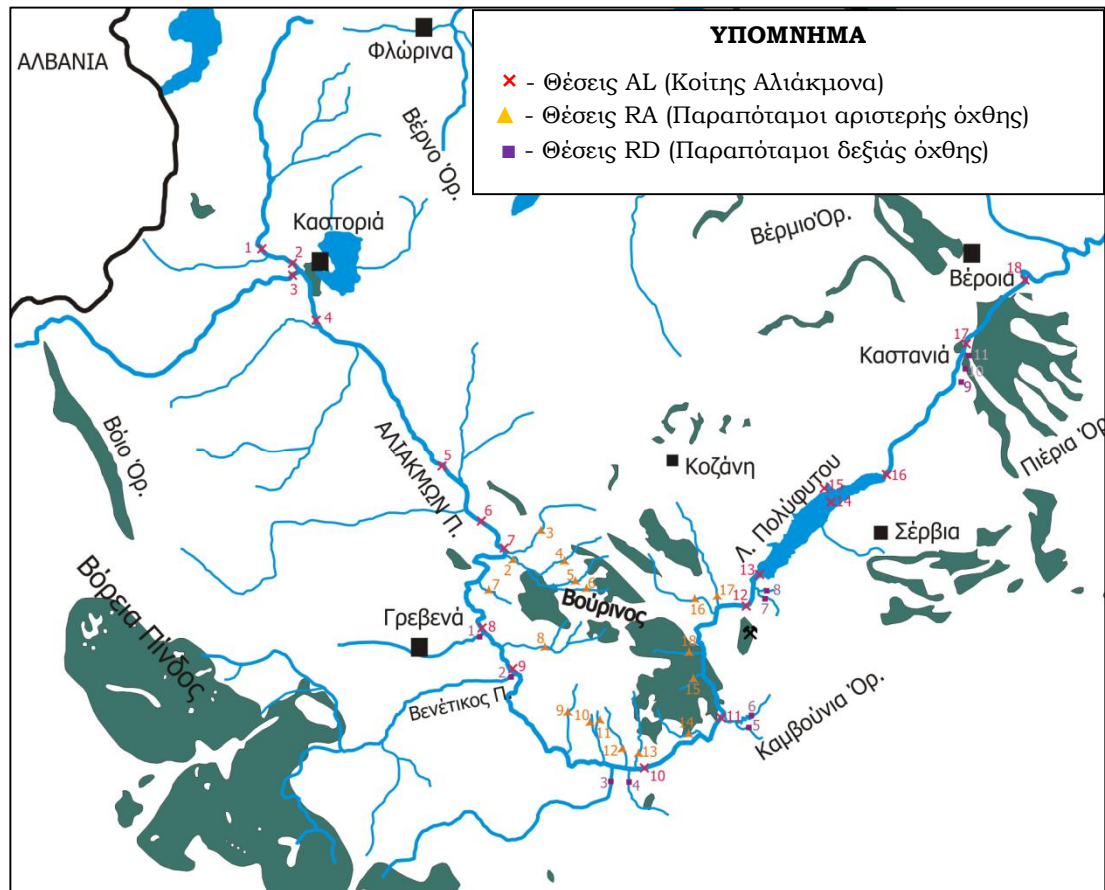
Από κάθε σημείο σε κάθε δειγματοληψία πάρθηκε ένα δείγμα (1lt νερού) οπότε και στη συνέχεια της εργασίας αναφέρεται ως "Δείγμα X" όπου X είναι ο αύξων αριθμός της δειγματοληψίας.

6.1.2. Σημεία δειγματοληψίας

Κατά τη διάρκεια της διατριβής αυτής, έγινε δειγματοληψία σε 47 συνολικά θέσεις. Από αυτές οι 18 βρίσκονται στην κυρίως κοίτη του ποταμού, οι 18 σε παραποτάμους που εκβάλλουν στην αριστερή όχθη του ποταμού Αλιάκμονα και οι 11 σε παραποτάμους που εκβάλλουν στη δεξιά όχθη (Χάρτης 6.1).

Η περιοχή στην οποία βρίσκονται οι θέσεις, εκτείνεται από την Καστοριά, μέχρι την περιοχή της Βέροιας όπου ο ποταμός εισέρχεται στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης. Επιλέχθηκαν σημεία σε παραποτάμους, των οποίων οι λεκάνες απορροής περιλαμβάνουν περιοχές με υπερβασικά πετρώματα, που φιλοξενούν τα ορυκτά αμιάντου, καθώς και σε τακτά διαστήματα στην κοίτη του Αλιάκμονα. Πυκνότερο δίκτυο δειγματοληψιών εφαρμόστηκε στους παραποτάμους που αποστραγγίζουν το όρος Βούρινος, με τις μεγάλες εμφανίσεις οφιολίθων και την περιοχή Μονής Ζιδανίου, όπου βρίσκεται το μοναδικό στην Ελλάδα κοίτασμα χρυσοτιλικού αμιάντου. Πυκνότερα

επίσης γίνονται τα σημεία δειγματοληψίας, προς τα κατάντη, πλησιάζοντας τη λίμνη του Πολυφύτου.



Χάρτης 6.1: Σημεία δειγματοληψίας, σε σχέση με το υδρογραφικό δίκτυο και τα βασικά - υπερβασικά πετρώματα της λεκάνης απορροής του ποταμού Αλιάκμονα

6.1.3. Περίοδοι Δειγματοληψίας

Η έρευνα χωρίζεται σε δύο χρονικές φάσεις. Κατά την πρώτη χρονική περίοδο, στην οποία περιλαμβάνονται οι πέντε πρώτες σειρές δειγματοληψιών, τα δείγματα εξετάστηκαν μόνο με τη χρήση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης. Στην πρώτη αυτή περίοδο η έρευνα είχε σκοπό να εξυπηρετήσει δύο αρχικούς στόχους.

Ο ένας στόχος ήταν να γίνει μια πλήρης χαρτογράφηση του ποταμίου συστήματος του Αλιάκμονα, ως προς την παρουσία ινών αμιάντου στα νερά του. Έτσι ιδιαίτερο βάρος δόθηκε σε περιοχές όπου δεν είχε γίνει κατά το παρελθόν απολύτως καμία μέτρηση και

εξαιρέθηκαν θέσεις στις οποίες είχε ανιχνευτεί κατά το παρελθόν, στα πλαίσια ερευνητικών προγραμμάτων (ΑΠΘ - ΓΓΕΤ, 1993, ΥΠΕΧΩΔΕ - ΑΠΘ, 1994), σημαντική ποσότητα ινών αμιάντου. Οι θέσεις αυτές ήταν εκείνες που τοποθετούνται στις διαδοχικές τεχνητές λίμνες που δημιουργήθηκαν κατά μήκος της κοίτης του ποταμού Αλιάκμονα, λόγω της δημιουργίας των φραγμάτων (από τα ανάντη προς τα κατόντη) Πολυφύτου, Σφηκιάς και Ασωμάτων.

Ο δεύτερος στόχος που έπρεπε να πραγματοποιηθεί κατά την πρώτη αυτή φάση δειγματοληψιών ήταν η πρώτη λήψη αποτελεσμάτων από τη μεθοδολογία με χρήση SEM, η οποία αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της διατριβής. Αποφασίστηκε, όπως οι πρώτες μετρήσεις με τη χρήση SEM, να γίνουν σε σημεία για τα οποία δεν υπάρχουν πρότερα στοιχεία. Με τον τρόπο αυτό θα ολοκληρωνόταν ένας μεγάλος αριθμός μετρήσεων, χωρίς να υπάρχει κάποια ένδειξη περί της ακρίβειας τους, η οποία θα υπολογιζόταν στις συγκριτικές μετρήσεις των δειγμάτων της δεύτερης φάσης δειγματοληψιών.

Κατά τη δεύτερη φάση της έρευνας τα δείγματα εξετάστηκαν παράλληλα τόσο με χρήση του SEM, όσο και της μεθοδολογίας της ΕΡΑ, που προβλέπει τη χρήση TEM. Ο κύριος σκοπός αυτής της φάσης έρευνας ήταν να γίνει σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων που θα λαμβάνονταν από τις δύο διαφορετικές μεθοδολογίες και, κατά συνέπεια, η αξιολόγηση της αξιοπιστίας της μεθόδου με χρήση SEM. Παράλληλα, θα συμπληρωνόταν η χαρτογράφηση της περιοχής ως προς την παρουσία ινών αμιάντου στα φυσικά νερά, με την πραγματοποίηση μετρήσεων στα σημεία τα οποία είχαν εξαιρεθεί κατά την πρώτη φάση μετρήσεων.

Το κόστος και ο χρόνος προπαρασκευής των δειγμάτων για τις δύο διαφορετικές μεθόδους, καθιστά απαγορευτική την πραγματοποίηση συγκριτικών μετρήσεων σε όλες τις θέσεις που έγινε δειγματοληψία κατά την πρώτη φάση της έρευνας. Έτσι, έγινε επιλογή των θέσεων που παρουσίασαν το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον στις οποίες προστέθηκαν οι θέσεις στις οποίες δεν είχαν γίνει μετρήσεις κατά την

πρώτη φάση. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι ένα ακόμη κριτήριο για την επιλογή των σημείων για αυτή τη φάση ήταν και η σταθερή παρουσία ινών στα νερά και μάλιστα σε αξιόλογα επίπεδα. Στις περιπτώσεις αυτές η επαρκής ποσότητα ινών στα δείγματα, είναι προϋπόθεση για τη χρήση πολλαπλών μεθοδολογιών ώστε να βγουν ασφαλή συγκριτικά συμπεράσματα, που δε θα έβγαιναν σε σχετικά «καθαρά» δείγματα, δηλαδή με μικρό ή ελάχιστο αριθμό ινών.

6.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΙΝΩΝ ΣΤΟ SEM

Όλα τα δείγματα που πάρθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας, εξετάστηκαν στο σαρωτικό μικροσκόπιο (SEM). Η ποσότητα νερού που φιλτραρίστηκε σε κάθε μέτρηση δεν ήταν σταθερή και εξαρτιώταν από την συνολική περιεκτικότητα των δειγμάτων σε φερτά υλικά. Η περιεκτικότητα σε φερτά υλικά του κάθε δείγματος ποτέ δεν ήταν σταθερή ούτε ήταν δυνατόν να προβλεφθεί καθώς είχε σχέση με:

- τις καιρικές συνθήκες της ημέρας δειγματοληψίας
- τις καιρικές συνθήκες τις 2 εβδομάδες που προηγήθηκαν, και
- την εποχή του έτους στην οποία έγινε η δειγματοληψία

Έτσι ανάλογα με την κατάσταση του κάθε δείγματος ο όγκος που διηθήθηκε ποικίλει από 250ml στα καθαρά νερά, μέχρι και 100ml στα νερά εκείνα που υπήρχε αλλαγή του χρώματος τους. Σε καμία περίπτωση δεν διηθήθηκαν λιγότερα από 100ml και αυτό γιατί στην περίπτωση αυτή τα συμπεράσματα δεν κρίνονται ασφαλή, καθώς η στατιστική του δείγματος δεν είναι επαρκής. Στα δείγματα που ακόμα και με 100ml δεν κατέστη δυνατόν να βρεθούν περιοχές κατάλληλες για μέτρηση, θεωρήθηκε ότι στο συγκεκριμένο δείγμα η λήψη αποτελέσματος είναι αδύνατη. Τέτοια δείγματα θεωρούνται αυτά που σε όλη την έκταση του φίλτρου υπάρχουν τόσα φερτά υλικά που δεν φαίνεται πουθενά η επιφάνεια του φίλτρου. Στα δείγματα αυτά δεν είναι δυνατή η αναγνώριση των ινών με ασφάλεια. Είναι πιθανόν οι ίνες αμιάντου να μη διακρίνονται επειδή θα βρίσκονται θαμμένες κάτω από

άλλα ορυκτά ή υλικά μεγαλύτερα σε όγκο από τις ίνες αμιάντου. Τέλος, στην περίπτωση αυτή, η ίνα θα βρίσκεται μαζί με άλλα υλικά και δεν είναι αξιόπιστη η χρήση της μικροανάλυσης για την εξακρίβωση της χημικής της σύστασης.

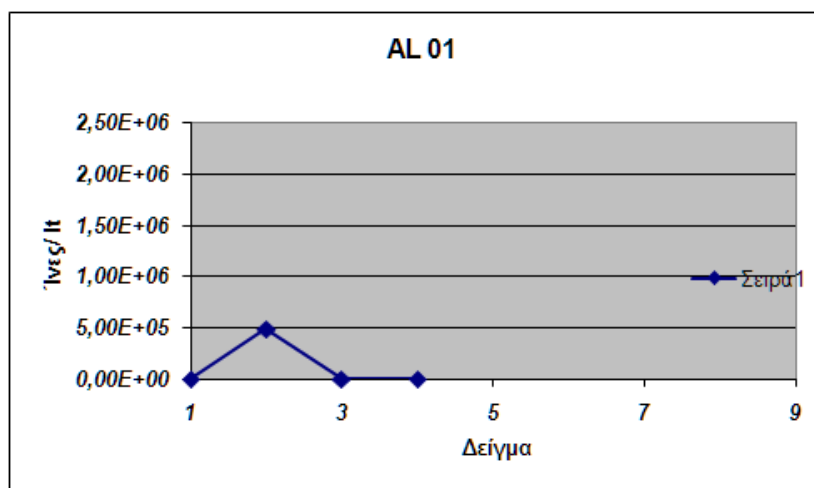
6.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟ SEM ΚΑΤΑ ΘΕΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρατεθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη των δειγμάτων στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης και μόνο σύμφωνα με την προτεινόμενη από τη διατριβή αυτή μεθοδολογία. Πριν γίνει η αναφορά σε κάθε θέση συγκεκριμένα και τα αποτελέσματα που έδωσε η χρήση του Σαρωτικού Μικροσκοπίου, πρέπει να αναφερθεί ότι ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και τις περιόδους των δειγματοληψιών σε μερικές θέσεις δεν ήταν δυνατή η προσέγγιση και κατά συνέπεια η λήψη δείγματος. Επίσης σε πολλά πλευρικά ρέματα η παροχή νερού ήταν σε ορισμένες περιπτώσεις ελάχιστη, ενώ άλλες φορές τα συγκεκριμένα ρέματα δεν είχαν καθόλου νερό. Τέλος σε ορισμένες θέσεις είτε λόγω σταθερά ελάχιστης παροχής, είτε λόγω έλλειψης περαιτέρω ενδιαφέροντος οι δειγματοληψίες δε συνεχίστηκαν μέχρι τέλους (Πίνακας 1 - Παράρτημα).

Συγκεκριμένα, κατά θέση αναλυτικά έχουμε:

6.2.1.1 Θέσεις κοίτης Αλιάκμονα

AL01: Η θέση αυτή βρίσκεται στο χωριό Κορομηλιά Καστοριάς (Εικόνα 6.1α & β).



Σχήμα 6.1 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL01 σε ίνες ανά lt



Εικόνα 6.1 α) Θέση δειγματοληψίας AL01 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας

Η θέση έχει επιλεγεί γιατί είναι το τελευταίο σημείο που συναντάμε τον βόρειο κλάδο του ποταμού Αλιάκμονα (Λαδοπόταμο), πριν αυτός διασχίσει υπερβασικές εμφανίσεις. Μέχρι το σημείο εκείνο της κοίτης του ο ποταμός Αλιάκμονας διέρχεται από γρανιτικά, ανθρακικά πετρώματα και τεταρτογενείς ιζηματογενείς σχηματισμούς και ως εκ τούτου δεν αναμένεται παρουσία ινών αμιάντου στο σημείο αυτό με βάση τη γεωλογία. Ανίχνευση ινών, έγινε σε μία δειγματοληψία μόνο και αποδίδεται σε κάποια ανθρώπινη δραστηριότητα αφού η θέση είναι σε χωριό που η χρήση προϊόντων αμιάντου ήταν την περίοδο εκείνη (1996) δυνατή και διαδεδομένη (Σχήμα 6.1). Μετά την 4^η περίοδο δειγματοληψιών, όπως και στις άλλες θέσεις της περιοχής Καστοριάς, θεωρήθηκε ότι η παρούσα θέση δεν συνεισφέρει στη συνολική περιεκτικότητα του Αλιάκμονα σε ίνες αμιάντου, και η δειγματοληψία διακόπηκε.

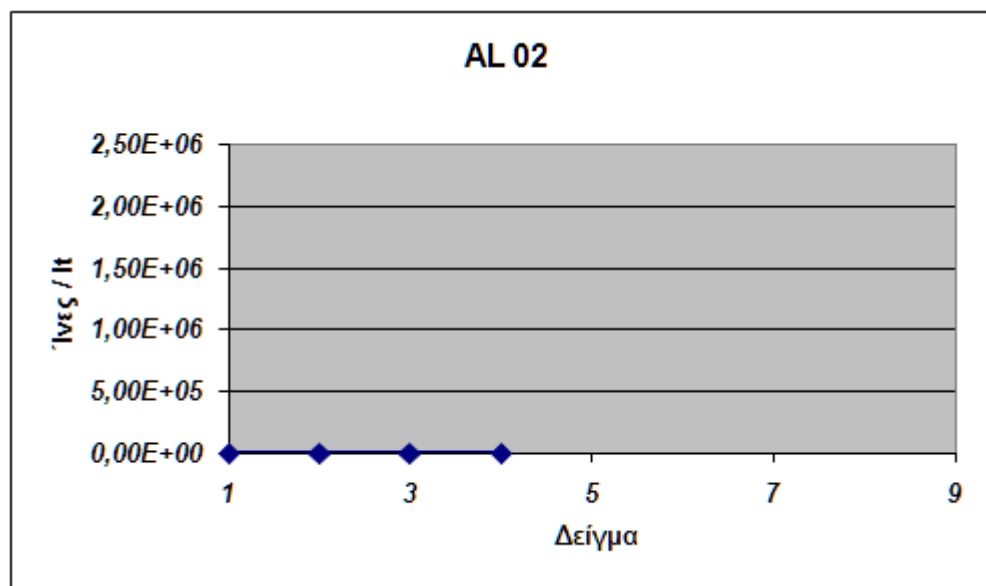
AL02: Δείγμα από γέφυρα που βρίσκεται στο δρόμο Καστοριάς - Μεσοποταμιάς κοντά στον οικισμό Νέας Λεύκης (Εικόνα 6.2α & β).

Έχει επιλεγεί γιατί είναι το τελευταίο σημείο που συναντάμε τον βόρειο (αριστερό) κλάδο του ποταμού Αλιάκμονα (Λαδοπόταμο) πριν τη συμβολή του με τον δυτικό κλάδο. Μεταξύ της προηγούμενης θέσης και αυτής ο ποταμός Αλιάκμονας συναντάει μια μικρή εμφάνιση υπερβασικών πετρωμάτων. Στη θέση αυτή σε κανένα δείγμα δεν ανιχνεύθηκε η παρουσία ινών αμιάντου (Σχήμα 6.2). Έτσι καταλήγουμε



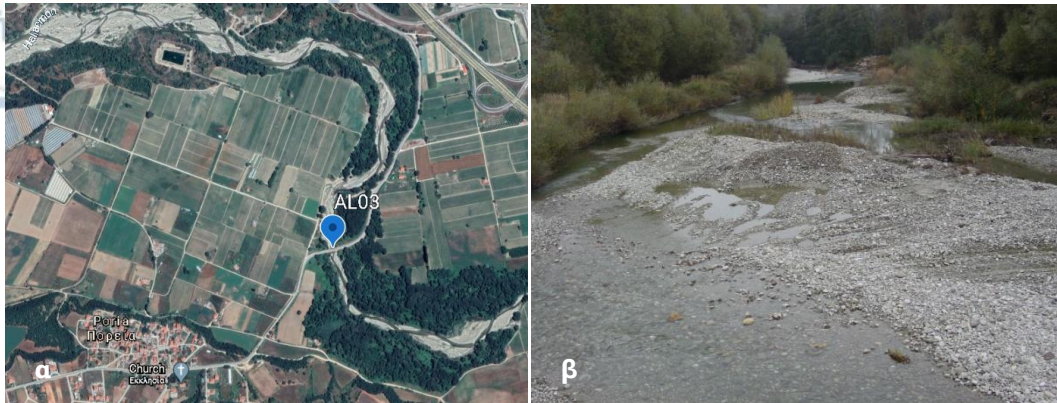
Εικόνα 6.2 α) Θέση δειγματοληψίας AL02 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας

στο συμπέρασμα ότι ούτε η συγκεκριμένη μικρή εμφάνιση, αλλά ούτε και ο Λαδοπόταμος γενικότερα τροφοδοτούν με ίνες αμιάντου τον ποταμό Αλιάκμονα. Υπαίθρια παρατήρηση επίσης, στην συγκεκριμένη εμφάνιση, δεν έδειξε εμφανή παρουσία κάποιου ινώδους ορυκτού.



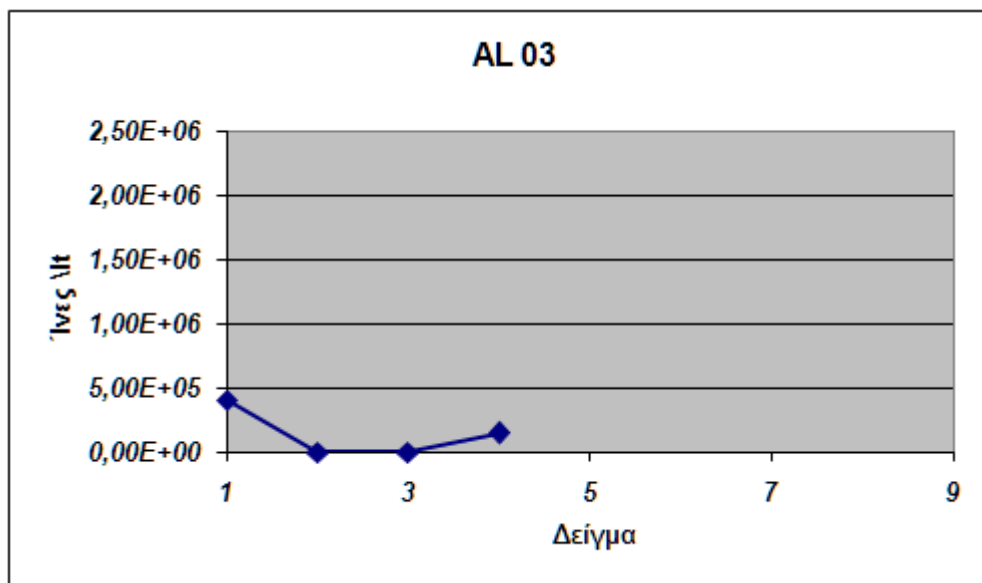
Σχήμα 6.2 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL02 σε ίνες ανά lt

AL03: Η δειγματοληψία έγινε από γέφυρα που βρίσκεται λίγο πριν από το χωριό Πορειά στο δρόμο από Καστοριά. Βρίσκεται στο δεξιό (δυτικό) κλάδο του ποταμού Αλιάκμονα (που πηγάζει από το όρος Γράμμο) αμέσως πριν από τη συμβολή του με τον αριστερό κλάδο (που πηγάζει από το Πισοδέρι - Λαδοπόταμος) (Εικόνα 6.3α & β).



Εικόνα 6.3 α) Θέση δειγματοληψίας AL03 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας

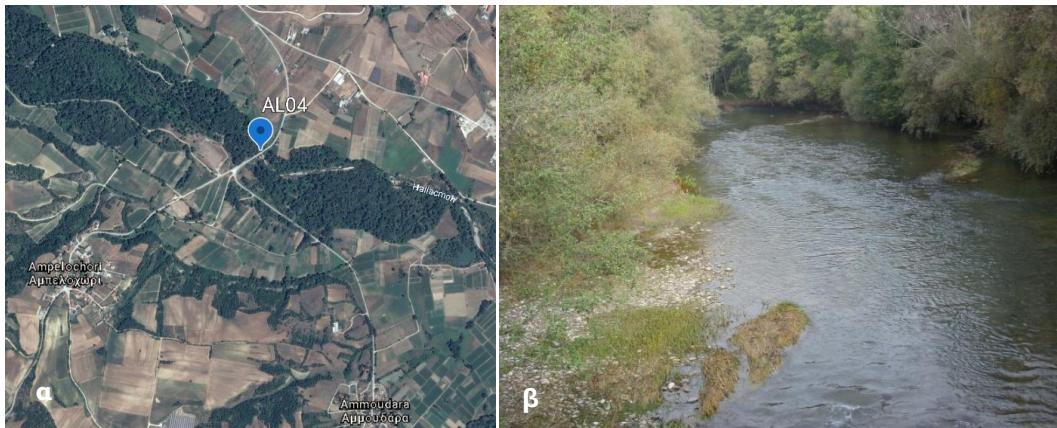
Ο κλάδος αυτός πηγάζει από τον Γράμμο στην περιοχή όπου βρίσκεται η οφιολιθική εμφάνιση του Δοτσικού. Στη θέση αυτή βρέθηκε σε δύο δείγματα η ελάχιστη ανιχνεύσιμη ποσότητα ινών αμιάντου (Σχήμα 6.3). Η προέλευσή τους είναι δύσκολο να αιτιολογηθεί, λόγω της μικρής τιμής, αλλά η μεταφορά κάποιας ποσότητας ινών από την περιοχή των πηγών του ποταμού κρίνεται πιθανή λόγω του διαβρωτικού χαρακτήρα του ποταμού στην περιοχή αυτή.



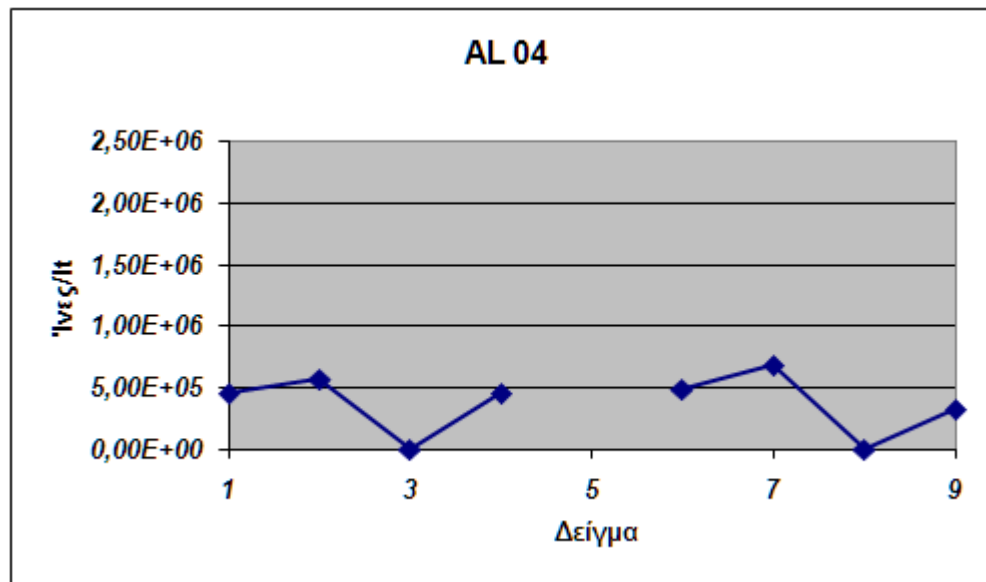
Σχήμα 6.3 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL03 σε ίνες ανά lt

Όπως και σε όλα τα δείγματα όμως που πάρθηκαν σε κατοικημένες περιοχές, δεν μπορεί να αποκλειστεί η περίπτωση της ανθρωπογενούς προέλευσης των ινών.

AL04: Βρίσκεται στον δρόμο που ενώνει το Άργος Ορεστικό με την Νεάπολη μέσω Αμμουδάρας. Είναι η πρώτη θέση που συναντάμε τον ποταμό Αλιάκμονα μετά τη συμβολή των δύο κλάδων του και την έξοδό του από τους οφειόλιθους της περιοχής του Άργους Ορεστικού (Εικόνα 6.4α & β). Ανάντη της θέσης αυτής υπάρχει μια εμφάνιση οφιολιθικών πετρωμάτων στην οποία έχουν παρατηρηθεί μακροσκοπικά και ορυκτά αμιάντου, κυρίως χρυσοτίλης.



Εικόνα 6.4 α) Θέση δειγματοληψίας AL04 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας

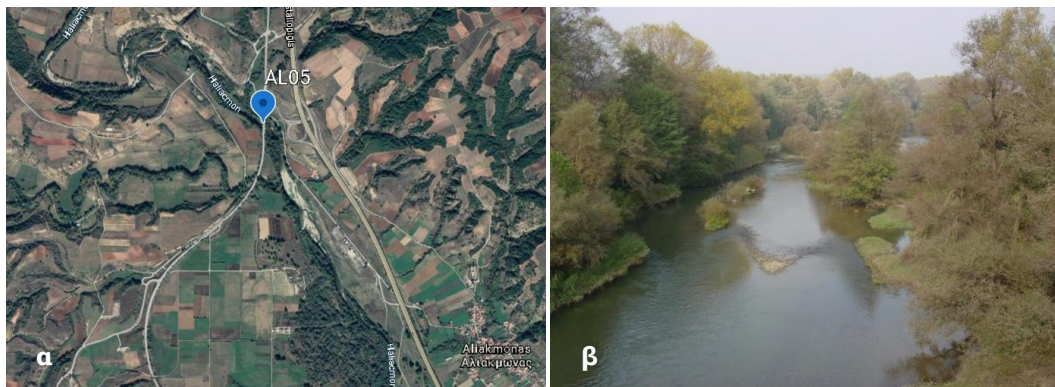


Σχήμα 6.4 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL04 σε ίνες ανά lt

Στη θέση αυτή, παρατηρείται μια συγκέντρωση ινών σταθερή στις περισσότερες δειγματοληψίες, στα επίπεδα του 0,5MFL (εκατομμύρια ίνες ανά λίτρο) (Σχήμα 6.4). Η συγκέντρωση αυτή αποδίδεται στη διάβρωση των πετρωμάτων της περιοχής κυρίως, και λιγότερο στη ρύπανση που προκαλεί ο οικισμός του Άργους Ορεστικού, λόγω της

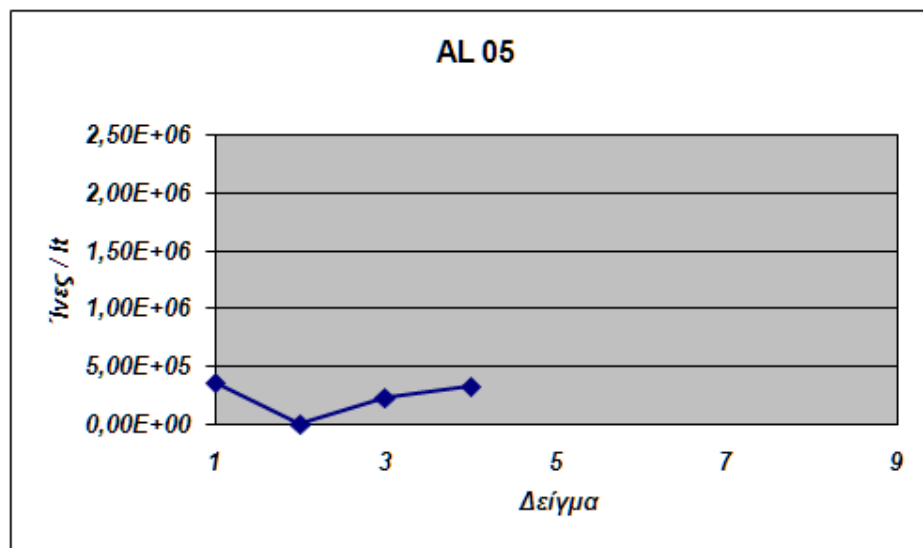
σχετικής σταθερότητας που παρατηρείται στις μετρήσεις. Η συνεισφορά των δύο κλάδων του ποταμού Αλιάκμονα πριν τη συμβολή τους, όπως φαίνεται και στις παραπάνω θέσεις, κρίνεται ελάχιστη.

AL05: Η θέση αυτή βρίσκεται στη νέα γέφυρα της Ε.Ο. Κοζάνης – Καστοριάς, κοντά στη Νεάπολη Κοζάνης (Εικόνα 6.5α & β). Στη θέση αυτή μελετάται το αν παραμένει σταθερή η περιεκτικότητα σε αμιάντο του νερού του ποταμού κατά τη ροή του σε ιζήματα. Η ροή του ποταμού γίνεται με μικρή κλίση στα ιζήματα της Μεσο-ελληνικής Αύλακας.



Εικόνα 6.5 α) Θέση δειγματοληψίας AL05 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας

Οι περιεκτικότητες των δειγμάτων εμφανίζονται σταθερά μειωμένες σε σχέση με την προηγούμενη θέση στα επίπεδα των 0,3MFL (Σχήμα 6.5).



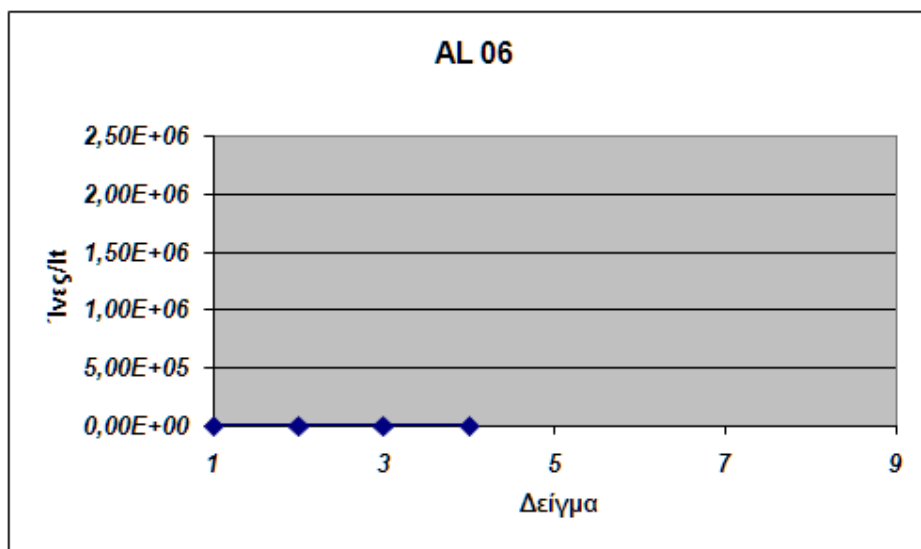
Σχήμα 6.5 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL05 σε ινες ανά lt

Αιτία της μείωσης αυτής θεωρείται η απόθεση ποσότητας ινών κατά το ρου του ποταμού σε ήρεμο περιβάλλον χωρίς την εκ νέου τροφοδοσία του σε αμίαντο.

AL06: Θέση στις γέφυρες του ποταμού Αλιάκμονα στην Εθνική οδό Κοζάνης – Γρεβενών. Η δειγματοληψία έγινε από τη μεταλλική γέφυρα της παλιάς Ε.Ο. όσο υπήρχε ή από τη γέφυρα της νέας Ε.Ο. αργότερα (Εικόνα 6.6α & β). Μετά το σημείο αυτό ο ποταμός Αλιάκμονας συναντά την οφιολιθική εμφάνιση του Ταξιάρχη Γρεβενών. Ανάντη της θέσης αυτής ο ποταμός διαρρέει για πολλά χιλιόμετρα, πεδινές περιοχές και ιζήματα είτε Τεταρτογενή είτε της Μεσο-ελληνικής Αύλακας.



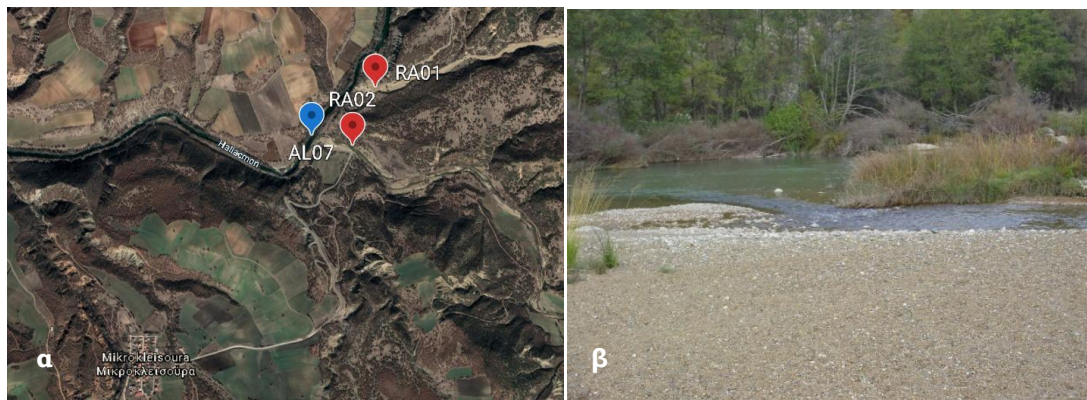
Εικόνα 6.5 α) Θέση δειγματοληψίας AL05 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας (εικόνα από τη γέφυρα Νέας Ε.Ο., όπου φαίνονται η παλιά σιδερένια και η νέα γέφυρα της Εγνατίας Οδού)



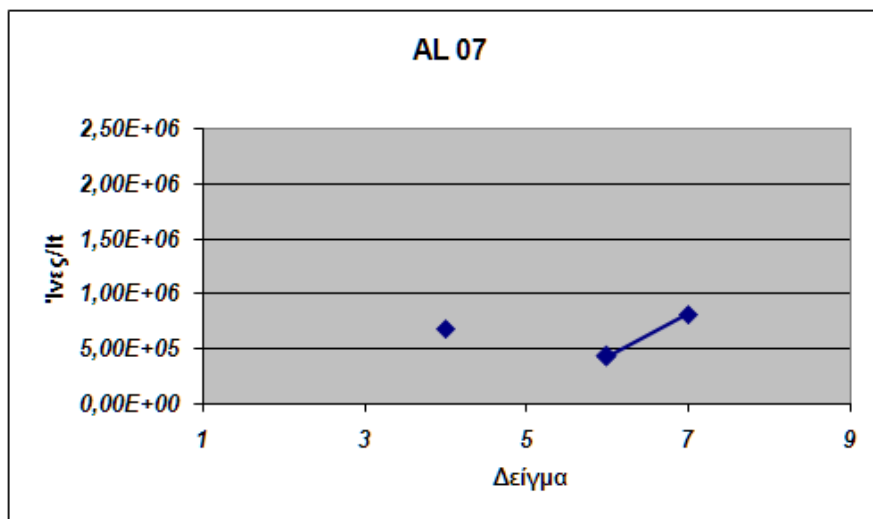
Σχήμα 6.6 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL06 σε ίνες ανά lt

Στη συγκεκριμένη θέση δεν ανιχνεύτηκε η παρουσία ινών αμιάντου στα νερά, σε κανένα δείγμα (Σχήμα 6.6). Ο λόγος πρέπει να είναι οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής, με την απουσία πηγών ινών αμιάντου (όπως αμιαντοφόρα πετρώματα και μεγάλες ανθρώπινες δραστηριότητες με χρήση προϊόντων αμιάντου) και την σχετικά ήρεμη ροή του ποταμού στην περιοχή αυτή, με αποτέλεσμα την απόθεση των όποιων ινών ανιχνεύτηκαν σε ανάντη θέσεις.

AL07: Η θέση αυτή βρίσκεται κοντά στο χωριό Μικροκλεισούρα, στο σημείο όπου συμβάλλει στον ποταμό Αλιάκμονα πλευρικό ρέμα βορείως του χωριού Μικροκλεισούρα (θέση RA02) (Εικόνα 6.7α & β). Η δειγματοληψία έγινε από την όχθη. Στην περιοχή επικρατούν τα υπερβασικά πετρώματα της περιοχής Ταξιάρχη.



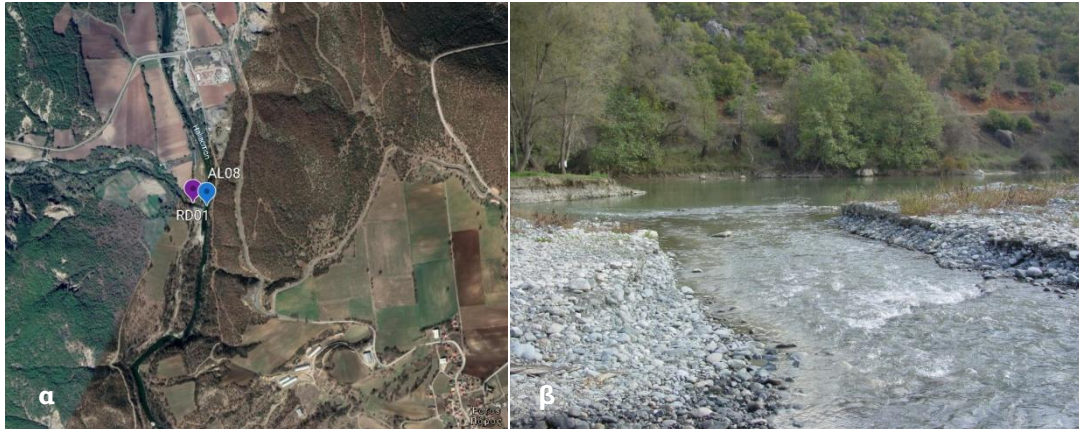
Εικόνα 6.7 α) Θέση δειγματοληψιών AL07, RA02 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας AL07. Σε πρώτο πλάνο το πλευρικό ρέμα, στο βάθος ο Αλιάκμονας.



Σχήμα 6.7 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL07 σε ίνες ανά lt

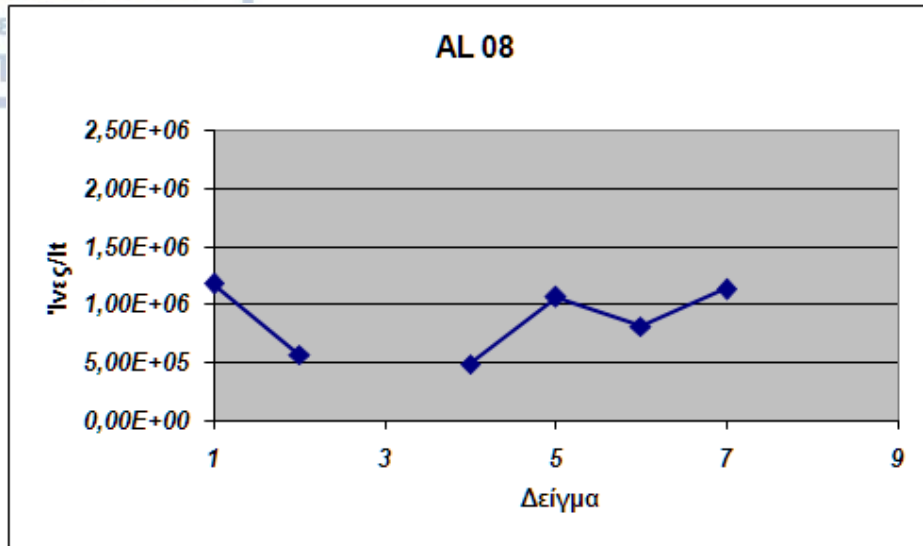
Στη θέση αυτή παρατηρούνται συγκεντρώσεις της τάξης των 0,4 – 0,8MFL, οι οποίες αν και δεν αποτελούν μεγάλες τιμές, ωστόσο είναι μια αξιοσημείωτη συγκέντρωση, αν συγκριθεί με την απουσία ινών στην προηγούμενη θέση (Σχήμα 6.7). Η τιμή αυτή οφείλεται στη διάβρωση των αμιαντοφόρων πετρωμάτων της εμφάνισης Ταξιάρχη Γρεβενών όσο και στη συνεισφορά του πλευρικού ρέματος, στο οποίο παρατηρήθηκαν συγκεντρώσεις της τάξης των 0,8MFL.

AL08: Θέση ακριβώς στη συμβολή Αλιάκμονα – Γρεβενίτη. Η ακριβής θέση δεν είναι σταθερή λόγω της δυσκολίας πρόσβασης ακριβώς στη συμβολή των ποταμών, ιδιαίτερα σε περιόδους με υψηλές βροχοπτώσεις (Εικόνα 6.8α & β). Έτσι σε ορισμένες περιπτώσεις το δείγμα πάρθηκε ανάντη της συμβολής, ενώ σε άλλες πολύ κοντά σε αυτήν με αποτέλεσμα να υπάρχει πιθανότητα η μέτρηση να μην είναι τυπική του ποταμού Αλιάκμονα, αλλά να εμφανίζει και χαρακτηριστικά του Γρεβενίτη.



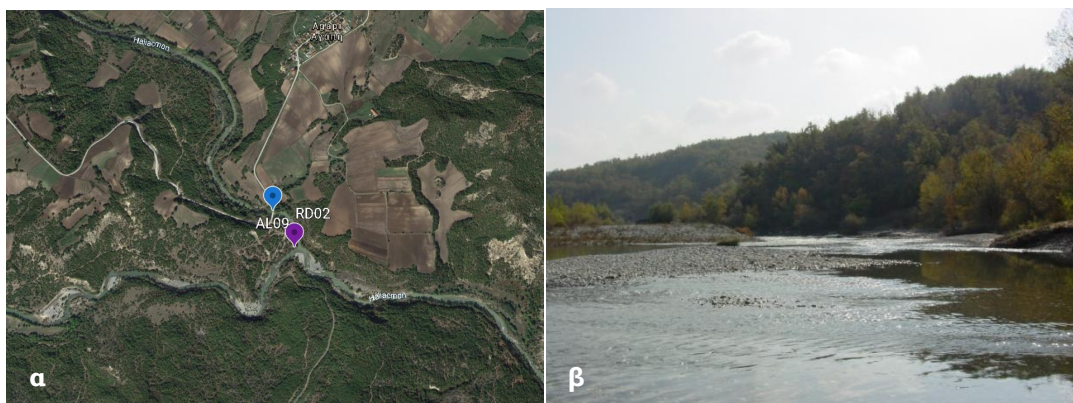
Εικόνα 6.8 α) Θέση δειγματοληψιών AL08, RD01 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας AL08. Σε πρώτο πλάνο ο Γρεβενίτης, στο βάθος ο Αλιάκμονας.

Τα γεγονότα αυτά έχουν ως συνέπεια να μην υπάρχει σταθερότητα στα αποτελέσματα. Στις περιπτώσεις που το δείγμα έχει παρθεί ανάντη της συμβολής οι τιμές δεν υπερβαίνουν το 1MFL, ενώ στις άλλες περιπτώσεις έχουμε σχετικά αυξημένες συγκεντρώσεις (Σχήμα 6.8). Οι λόγοι της αυξημένης συνεισφοράς του Γρεβενίτη στη συγκέντρωση ινών του Αλιάκμονα στη θέση αυτή, αναφέρονται στην περιγραφή του συγκεκριμένου ποταμού (δείγμα RD01).



Σχήμα 6.8 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL08 σε ίνες ανά lt

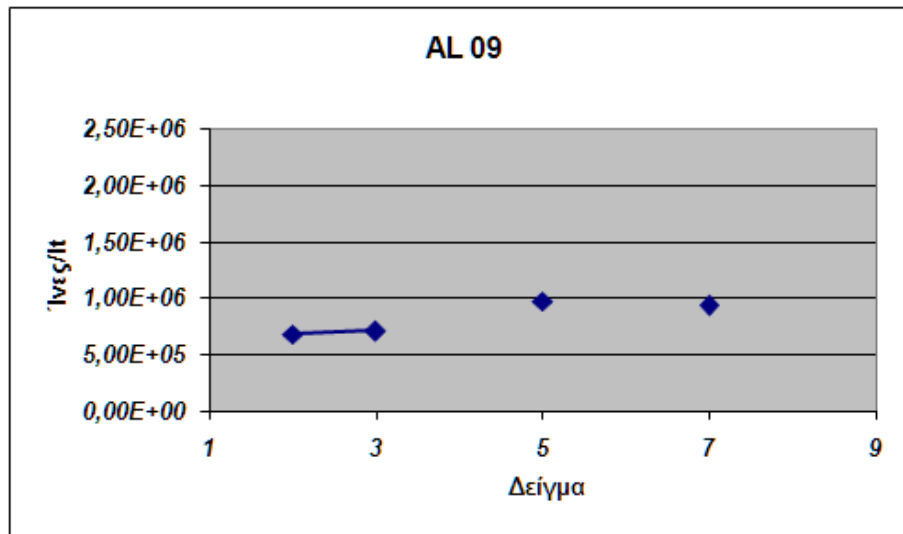
AL09: Θέση ακριβώς στη συμβολή Αλιάκμονα – Βενέτικου. Η δειγματοληψία γίνεται ανάντη της συμβολής, από γέφυρα στον επαρχιακό δρόμο κοντά στο χωριό Αγάπη Γρεβενών, οπότε στη θέση αυτή δεν είναι δυνατόν να διαπιστωθεί η συνεισφορά του Βενέτικου στην περιεκτικότητα του ποταμού Αλιάκμονα σε ίνες (Εικόνα 6.9α & β). Κυρίως φαίνεται η τελική περιεκτικότητα σε ίνες μετά τη συμβολή με Γρεβενίτη και τα ανατολικά πλευρικά ρέματα και μέσα από ροή σε ιζήματα.



Εικόνα 6.9 α) Θέση δειγματοληψιών AL09, RD02 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας AL09. Φαίνεται ο ποταμός Αλιάκμονας, ενώ στο δεξιό μέρος της φωτογραφίας φαίνεται η ροή των υδάτων του Βενέτικου όπως συμβάλλουν στον Αλιάκμονα.

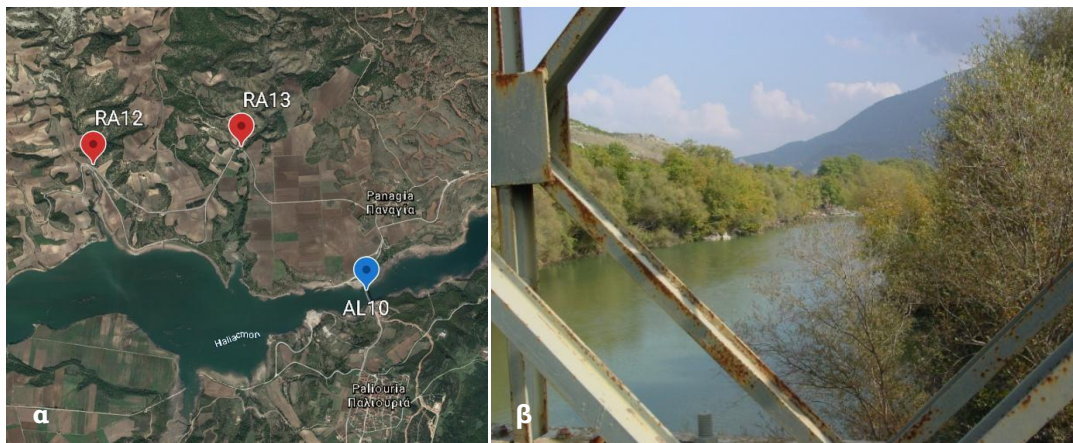
Σε σχέση με την προηγούμενη θέση υπάρχει σαφής τάση μείωσης της περιεκτικότητας όποτε τα αποτελέσματα είναι συγκρίσιμα. Σε κάθε περίπτωση η συγκέντρωση είναι κάτω του 1MFL (Σχήμα 6.9). Βλέπουμε

λοιπόν, σε μια ακόμη περίπτωση, ότι η ομαλή ροή σε ιζήματα συντελεί στη μείωση της ποσότητας των ινών στα νερά.



Σχήμα 6.9 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL09 σε ίνες ανά lt

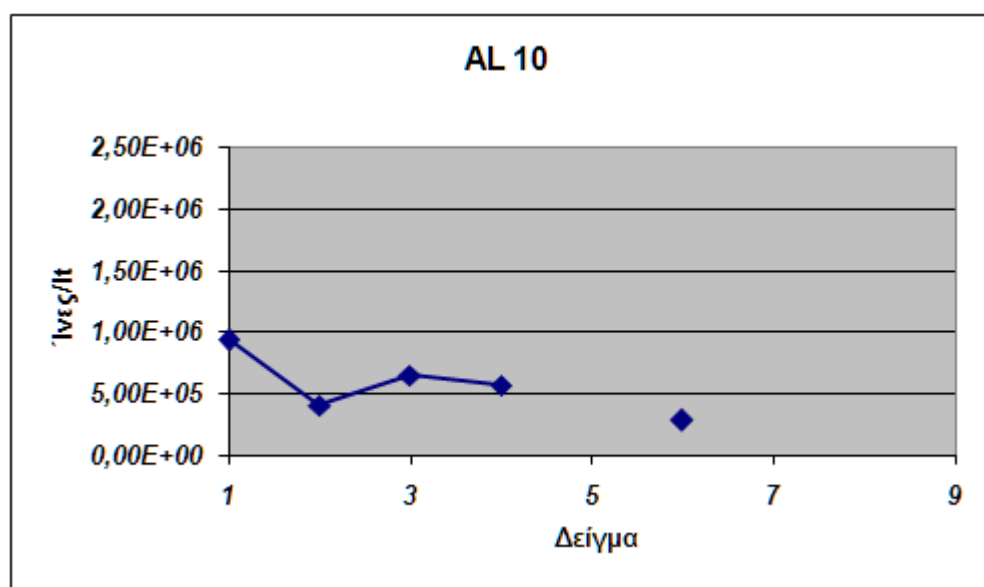
AL10: Μεταλλική γέφυρα στο χωριό Παναγία Γρεβενών, στον επαρχιακό δρόμο που ενώνει τα χωριά Παναγία και Παλιουριά (Εικόνα 6.10α & β).



Εικόνα 6.10 α) Θέσεις δειγματοληψίας AL10, RA12 & RA13 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας AL10

Ο ποταμός Αλιάκμονας μετά την προηγούμενη θέση ρέει στη Μεσο-ελληνική Αύλακα. Εδώ ελέγχεται η περιεκτικότητα του ποταμού σε ίνες πριν αρχίσει να ρέει στην περιοχή της οφιολιθικής σειράς του Βούρινου. Σε σχέση με τις προηγούμενες θέσεις ο ποταμός ρέει, για μεγάλη απόσταση, σε ιζήματα της Μεσο-ελληνικής Αύλακας. Σε όλες τις

σειρές δειγματοληψιών το δείγμα από τη θέση αυτή έχει δώσει μικρότερες τιμές από την αμέσως προηγούμενη στην οποία έγινε μέτρηση, αν και στο ενδιάμεσο έχει γίνει συμβολή του Αλιάκμονα με το Βενέτικο από τη δεξιά του όχθη και με αρκετά μικρότερα ρέματα που απορρέουν το από Βούρινο (Σχήμα 6.10). Παρ' όλα αυτά η επί μακρόν ροή του ποταμού σε ιζήματα δίνει μια αποθετική τάση η οποία φαίνεται να υπερισχύει.

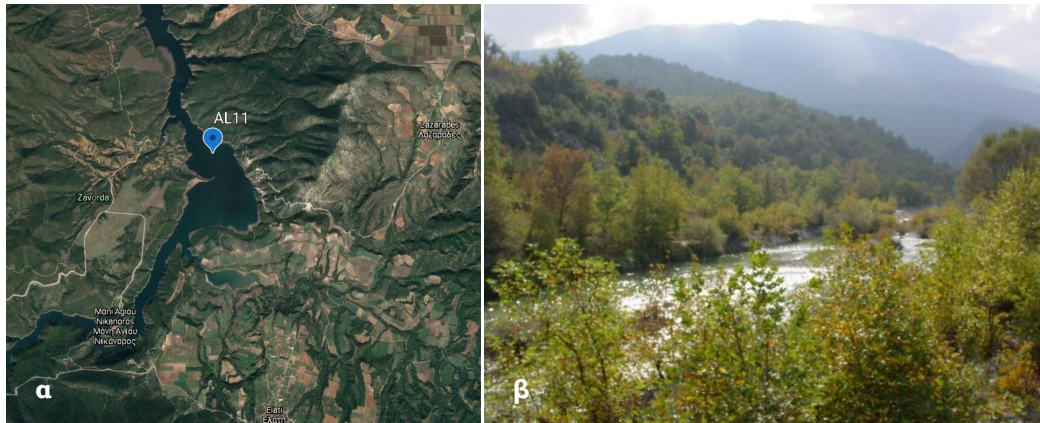


Σχήμα 6.10 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL10 σε ίνες ανά lt

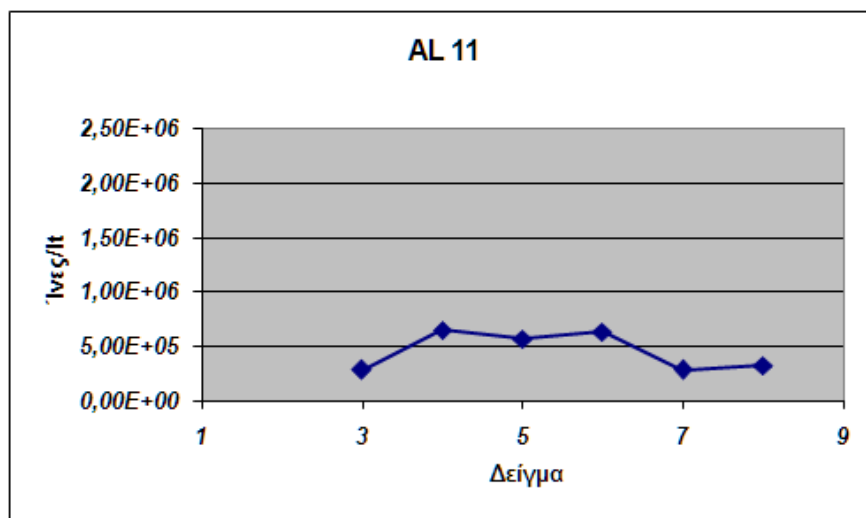
Το Δεκέμβριο του 2012 η γέφυρα δειγματοληψίας και γενικότερα η θέση αυτή καταποντίστηκε από τα νερά της λίμνης που δημιουργήθηκε λόγω του φράγματος Ιλαρίωνα. Πλέον η περιοχή το μεγαλύτερο διάστημα του χρόνου καλύπτεται από την επιφάνεια της λίμνης.

AL11: Μεταλλική γέφυρα για πεζούς που βρίσκεται κατάντη της μονής Οσίου Νικάνορα (Ζάβορδας) (Εικόνα 6.11α & β). Βρίσκεται μέσα στα πετρώματα της οφιολιθικής σειράς του Βούρινου. Στη θέση αυτή έγινε δυνατή η λήψη αποτελέσματος μετά την τρίτη σειρά δειγματοληψιών. Εκτός από μια περίπτωση οι τιμές σε σχέση με την προηγούμενη θέση είναι σταθερές ή ελαφρά ανεβασμένες στα επίπεδα των 0,6MFL (Σχήμα 6.11). Η περιοχή ανάμεσα στις δύο θέσεις χαρακτηρίζεται από τη σχεδόν παντελή απουσία κάθε ανθρώπινης δραστηριότητας, την παρουσία οφιολιθικών πετρωμάτων στη λεκάνη

απορροής, από το σημείο αυτό και κατάντη, και τη μικρή σχετικά παρουσία πλευρικών ρεμάτων. Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η διάβρωση αμιαντοφόρων πετρωμάτων είναι τόσο ώστε να περιοχύνει της απόθεσης των ινών στην περιοχή αμέσως κατάντη του δείγματος AL10.



Εικόνα 6.11 α) Θέσεις δειγματοληψίας AL11 & RA14 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας AL11 (πλέον καταποντισμένη)

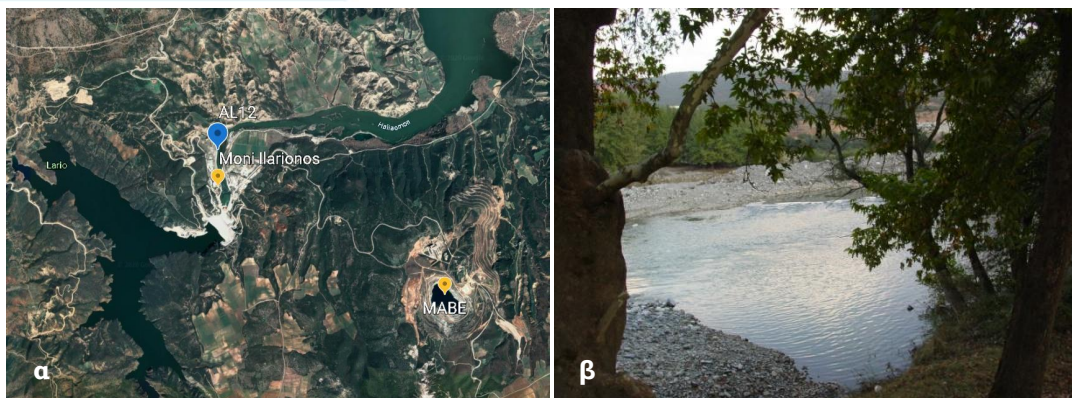


Σχήμα 6.11 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL11 σε ίνες ανά lt

Το Δεκέμβριο του 2012 η θέση αυτή καταποντίστηκε από τα νερά της λίμνης που δημιουργήθηκε λόγω του φράγματος Ιλαρίωνα. Λόγω εγγύτητας με το φράγμα η περιοχή καλύπτεται μόνιμα από τη λίμνη.

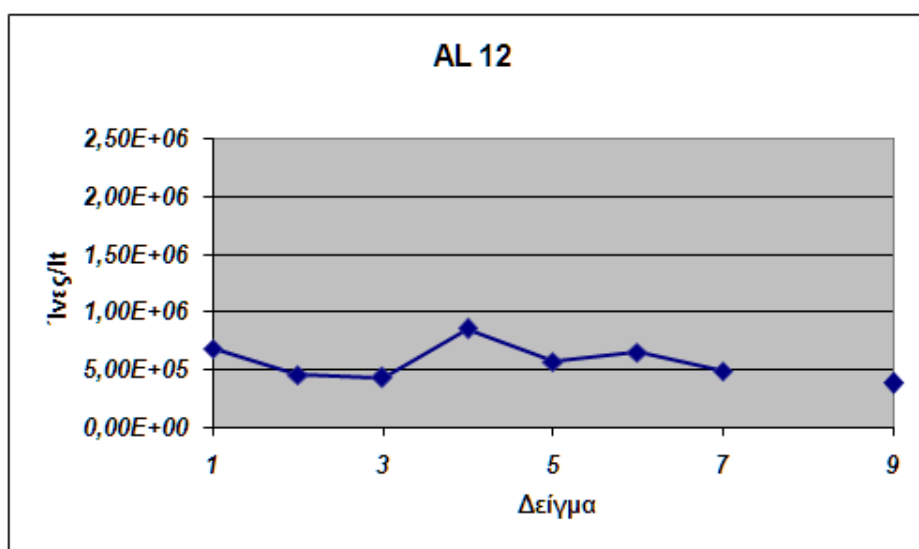
AL12: Θέση στη μονή Ιλαρίωνος Κοζάνης στην τοποθεσία του νέου φράγματος στον ποταμό Αλιάκμονα. Μετά τη δημιουργία του φράγματος η θέση έμεινε σχετικά ανεπηρέαστη καθώς βρίσκεται ακριβώς κατάντη του. Ο τρόπος και η ακριβής τοποθεσία της κάθε

δειγματοληψίας, διαφέρουν κάθε φορά, καθώς οι δειγματοληψίες συνέπεσαν με τα έργα κατασκευής του φράγματος. (Εικόνα 6.12α & β).



Εικόνα 6.12 α) Θέση δειγματοληψίας AL12 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας

Η θέση αυτή είναι το σημείο στο οποίο ο ποταμός Αλιάκμονας εγκαταλείπει τα στενά ανάμεσα στα όρη Βούρινος και Καμβούνια, όπου διασχίζει μεταξύ άλλων και εκτεταμένες εμφανίσεις αμιαντοφόρων σερπεντινικών πετρωμάτων, για να εισέλθει στην πεδιάδα των Σερβίων. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι η θέση αυτή είναι η πρώτη που συναντάμε κατεβαίνοντας τον Αλιάκμονα και στην οποία έχουμε οπτική επαφή με τα ορυχεία αμιάντου της μονής Ζιδανίου.



Σχήμα 6.12 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL12 σε ίνες ανά lt

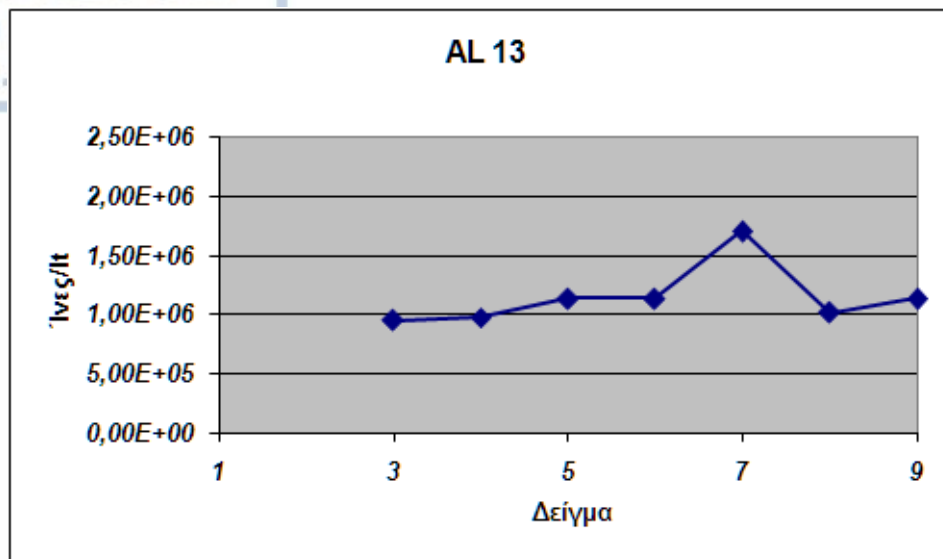
Η παρουσία των ινών αμιάντου στη θέση αυτή είναι σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της ανάντη θέσης, χωρίς όμως να παρατηρείται σε κάποιο δείγμα τιμή που να αγγίζει ή να ξεπερνάει το 1MFL (Σχήμα 6.12).

AL13: Γέφυρα Ρυμνίου στην παλιά οδό Κοζάνης- Λάρισας. Είναι η κοντινότερη γέφυρα στην περιοχή του ορυχείου αμιάντου. Η γέφυρα αυτή, αναλόγως με τη στάθμη της φραγμαλίκμης Πολυφύτου, άλλες φορές βρίσκεται εντός των ορίων της λίμνης, ενώ άλλες είναι πάνω από τον ποταμό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα άλλες φορές η δειγματοληψία να γίνεται σε ρέοντα ύδατα, ενώ άλλες σε λιμνάζοντα (Εικόνα 6.13α & β).



Εικόνα 6.13 α) Θέσεις δειγματοληψίας AL13, RD07 & RD08 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας σε περίοδο με χαμηλή στάθμη της λίμνης Πολυφύτου. Στη γέφυρα υπάρχει ποτάμια ροή του Αλιάκμονα ενώ η λίμνη σχηματίζεται κατόντη της γέφυρας Ρυμνίου.

Στη θέση αυτή δεν έγινε δειγματοληψία κατά τις πρώτες σειρές δειγματοληψιών, όπως και στις επόμενες κατόντη της. Ο λόγος είναι ότι δε χρειαζόταν να διαπιστωθεί η ύπαρξη αμιάντου στο νερό της θέσης αυτής, εφόσον κάτι τέτοιο είχε εξακριβωθεί σε παλαιότερες έρευνες. Η δειγματοληψία ξεκίνησε αργότερα για να βρεθεί η σχέση των συγκεντρώσεων στις προηγούμενες θέσεις, καθώς και στα κοντινά πλευρικά ρέματα, με αυτές της παρούσας θέσης. Οι τιμές που παρατηρήθηκαν στο σαρωτικό μικροσκόπιο στα δείγματα της θέσης αυτής τόσο στις μετρήσεις που έγιναν αποκλειστικά στο SEM όσο και μετέπειτα στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος σε σύγκριση με τις μεθόδους TEM είναι της τάξης του 1MFL, μερικές φορές ανώτερες και σπανιότερα κατώτερες. Σε σχέση με την αμέσως ανάντη θέση, μεσολαβεί σχετικά ήρεμη ροή του ποταμού Αλιάκμονα σε ιζήματα της λεκάνης της Κοζάνης (Σχήμα 6.13).



Σχήμα 6.13 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL13 σε ίνες ανά lt

Ο λόγος που παρατηρείται σταθερά και μερικές φορές σημαντικά μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ίνες αμιάντου στα νερά αυτής της θέσης σε σχέση με την προηγούμενη, δεν είναι η διάβρωση πετρωμάτων. Θεωρείται ότι είναι η τροφοδοσία του Αλιάκμονα με τα νερά των δυο πλευρικών ρεμάτων που διέρχονται πολύ κοντά στις περιοχές του ορυχείου και τα οποία εμφανίζουν αφ' ενός κατά καιρούς τις υψηλότερες τιμές ινών αμιάντου ανά λίτρο νερού και αφ' ετέρου στις περισσότερες περιπτώσεις έχουν αρκετή παροχή. Κυρίως όμως είναι η αιολική μεταφορά των ινών από τις εγκαταστάσεις του ορυχείου. Ο παράγοντας αυτός στη θέση αυτή, όπως και σε όλες τις θέσεις της λίμνης έχει μεγαλύτερη επίδραση για διάφορους λόγους:

α) η επιφάνεια της λίμνης είναι αρκετά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του ποταμού με αποτέλεσμα να είναι πιθανότερη η απόθεση αιωρούμενων ινών σε αυτήν,

β) το ανάγλυφο ανάμεσα στο ορυχείο, και ειδικότερα τα στείρα του, και τη λίμνη είναι χαμηλό χωρίς να δημιουργεί εμπόδια στην αιολική μεταφορά των ινών (Εικόνες 6.14 & 6.15), εν αντιθέσει με τις ανάντη θέσεις που βρίσκονται μέσα σε κοιλάδες και βουνά, και

γ) άνεμοι που ακολουθούν τη ροή του ποταμού και πνέουν από τα στενά προς τη λίμνη είναι συχνότεροι.



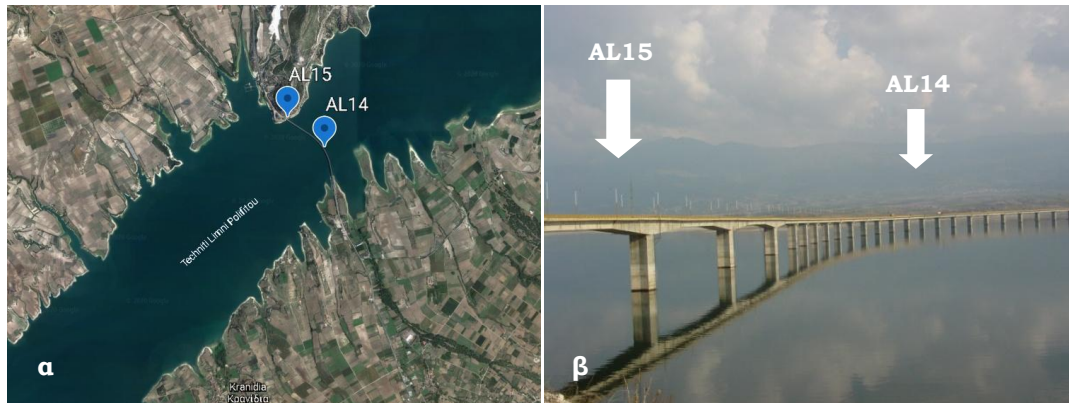
Εικόνα 6.14. Άποψη από τα στείρα του μεταλλείου προς Βορρά. Στο βάθος φαίνεται η λίμνη Πολυφύτου. Τα στείρα του μεταλλείου όπως φαίνεται είναι πλέον καλυμμένα με βλάστηση, λόγω της παύσης λειτουργίας του μεταλλείου και των εργασιών αποκατάστασης.



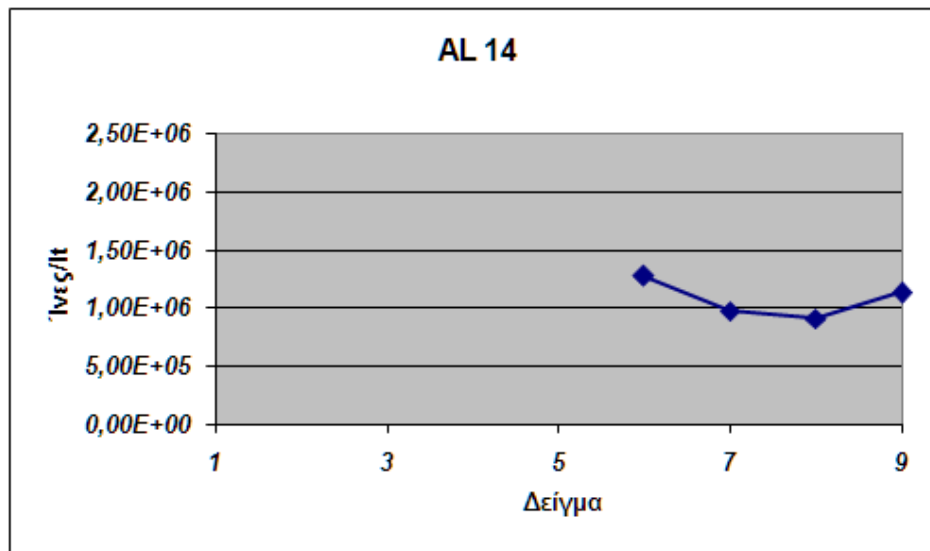
Εικόνα 6.15. Άποψη των στείρων του μεταλλείου μετά την παύση λειτουργίας του. Φαίνεται τόσο η φυσική κάλυψη με βλάστηση πλέον, όσο και οι αρχικές εργασίες αποκατάστασης. Το βέλος σημειώνει το σημείο λήψης της Εικόνας 6.14

AL14: Θέση στο μέσον της υψηλής γέφυρας Σερβίων, στη λίμνη Πολυφύτου (Εικόνα 6.16α & β). Στη θέση αυτή, καθώς και στα κατάντη αυτής, έγιναν μετρήσεις στο σαρωτικό μικροσκόπιο μόνο κατά τη δεύτερη σειρά δειγματοληψιών στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Ινες αμιάντου στα νερά του Αλιάκμονα». Ο λόγος είναι

ότι η συγκεκριμένη θέση έχει επιλεγεί κυρίως για τη σύγκριση των δύο μεθοδολογιών, μια και η παρουσία ινών αμιάντου στα νερά της λίμνης Πολυφύτου ήταν ήδη διαπιστωμένη (ΑΠΘ - ΓΓΕΤ, 1993, ΥΠΕΧΩΔΕ - ΑΠΘ, 1994).



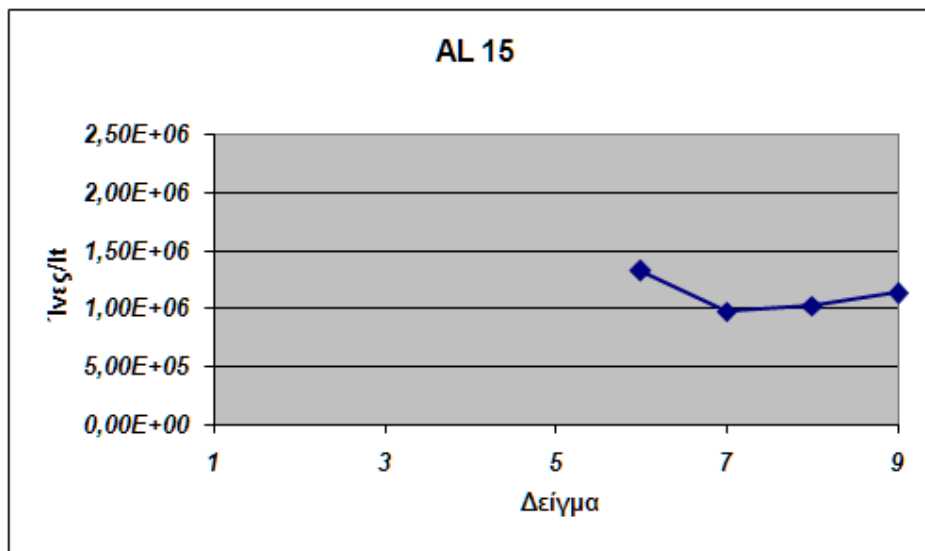
Εικόνα 6.15 α) Θέσεις δειγματοληψίας AL14 & AL15 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας με σημειωμένα τα συνήθη σημεία δειγματοληψίας πάνω στην Υψηλή Γέφυρα Σερβίων.



Σχήμα 6.14 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL14 σε ίνες ανά lt

Στη θέση αυτή η συγκέντρωση σε ίνες αμιάντου είναι μεγαλύτερη από αυτή της γέφυρας Ρυμνίου (Σχήμα 6.14). Η διαφορά αποδίδεται αποκλειστικά σε ίνες αμιάντου από το ορυχείο και τα σείρα του, που έχουν μεταφερθεί με τη βοήθεια του ανέμου μακρύτερα από τη γέφυρα Ρυμνίου. Ανάμεσα στις γέφυρες Ρυμνίου και Σερβίων δεν υπάρχει κάποια πηγή ινών αμιάντου που θα μπορούσε να δώσει αύξηση της περιεκτικότητας σε ίνες μιας τόσο μεγάλης υδάτινης μάζας.

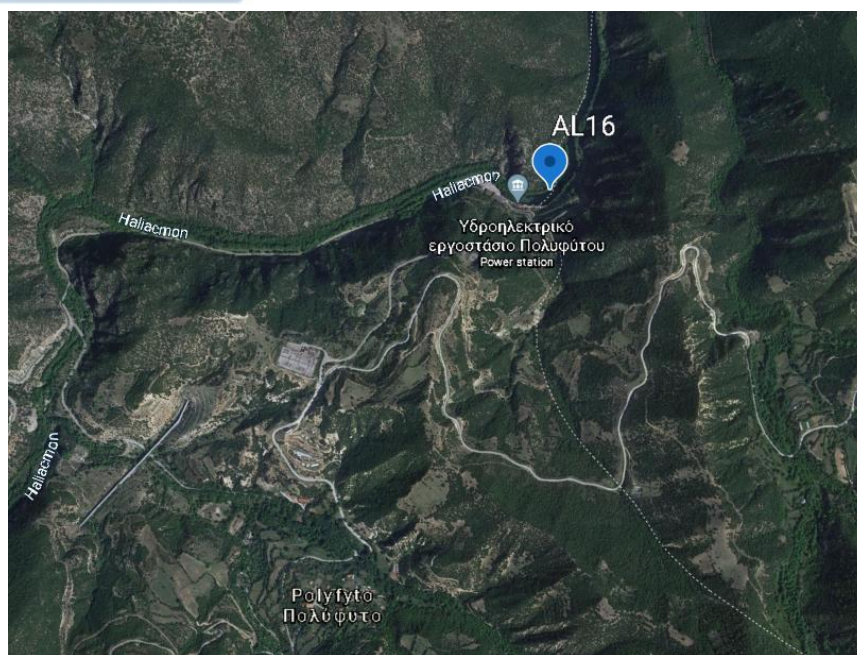
AL15: Θέση στην όχθη της λίμνης Πολυφύτου στο ύψος της υψηλής γέφυρας Σερβίων (Εικόνα 6.16α & β). Η περιοχή αυτή του Αλιάκμονα είναι η μοναδική στον ποταμό που πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία σε δύο διαφορετικά σημεία του. Ο λόγος ήταν να βρεθούν τυχόν διαφορές μεταξύ όχθης και μέσου της κοίτης είτε λόγω του μεγάλου πλάτους είτε του μεγάλου βάθους είτε λόγω της διαφοράς στην ταχύτητα ροής. Αν και υπάρχει διαφορά ανάμεσα στις συνθήκες στο κέντρο της γέφυρας και την όχθη, τα αποτελέσματα δεν έδειξαν κάποια διαφοροποίηση στα αποτελέσματα, γεγονός που αποτελεί ένδειξη ότι οι συγκεκριμένοι παράγοντες είναι ήσσονος σημασίας (Σχήμα 6.15).



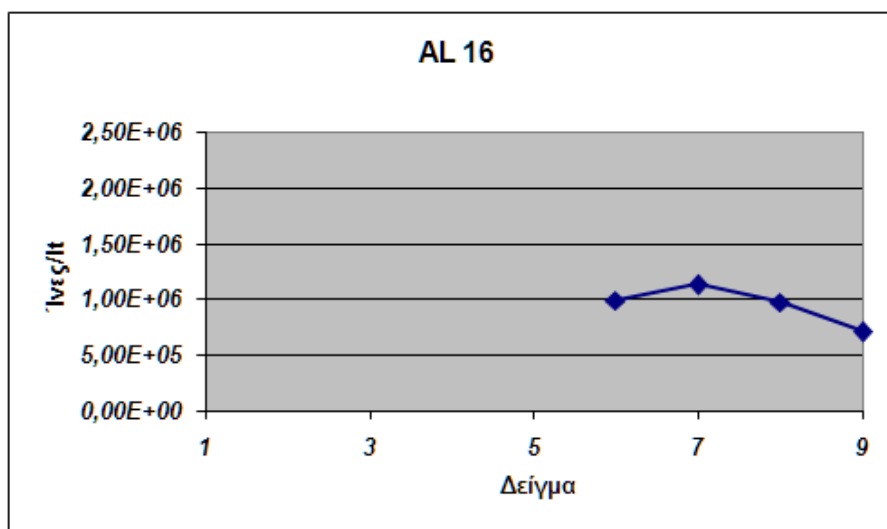
Σχήμα 6.15 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL15 σε ίνες ανά lt

AL16: Στην έξοδο των νερών μετά την χρησιμοποίησή τους στο Υδροηλεκτρικό Σταθμό (ΥΗΣ) Πολυφύτου (Εικόνα 6.17). Στη θέση αυτή παρατηρούνται τιμές στα ίδια επίπεδα με εκείνες της γέφυρας Σερβίων ή και σε ορισμένες περιπτώσεις ελαφρά μειωμένες (Σχήμα 6.16). Τα νερά της λίμνης του Πολυφύτου όσο πλησιάζουμε στο φράγμα είναι πιο στάσιμα, έως εντελώς στάσιμα κατά τις ώρες εκείνες που δεν λειτουργεί ο υδροηλεκτρικός σταθμός. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια να ευνοείται η ιζηματογένεση στο περιβάλλον της λίμνης, με σημαντική ποσότητα να καθιζάνει στο βυθό της. Την ποσότητα αυτή συμπληρώνουν ίνες αμιάντου αιολικά μεταφερόμενες από το ορυχείο

που σε περιπτώσεις ισχυρών ανέμων μεταφέρονται σε σημεία μετά τη γέφυρα Σερβίων.



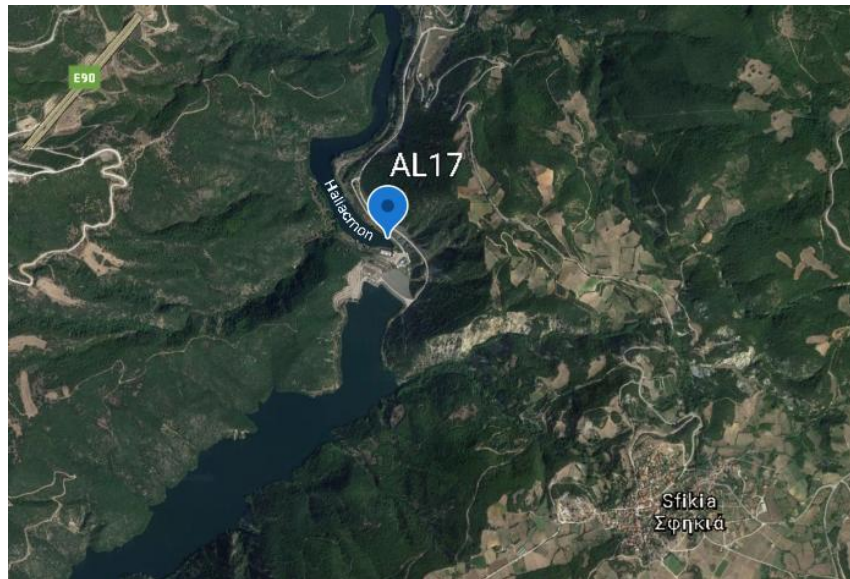
Εικόνα 6.17 Θέση δειγματοληψίας AL16



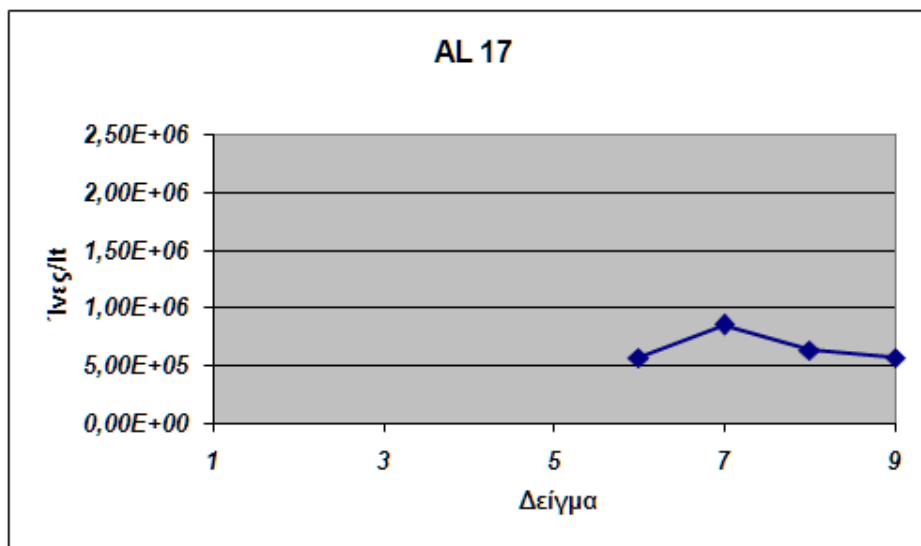
Σχήμα 6.16 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL16 σε ίνες ανά lt

AL17: Στο φράγμα της λίμνης Σφηκιάς (Εικόνα 6.18). Νέα μείωση της περιεκτικότητας των νερών σε ίνες αμιάντου παρατηρείται στη θέση αυτή. Κύριος λόγος είναι η λειτουργία μιας ακόμη φραγμαλίμνης, ως λεκάνης καθίζησης για σημαντική ποσότητα ινών. Τα γύρω βουνά της λίμνης αποτελούνται από οφιολιθικά πετρώματα, περιλαμβάνοντας υπερβασικά και σερπεντινικά, στα οποία έχει αναφερθεί η παρουσία

ορυκτών αμιάντου (Ζάχος & Μαράτος, 1965). Έτσι γίνεται εκ νέου τροφοδοσία της λίμνης Σφηκιάς με ποσότητα ινών αμιάντου και διατηρείται η συγκέντρωση σε επίπεδα μεταξύ των 0,5-1MFL (Σχήμα 6.17).



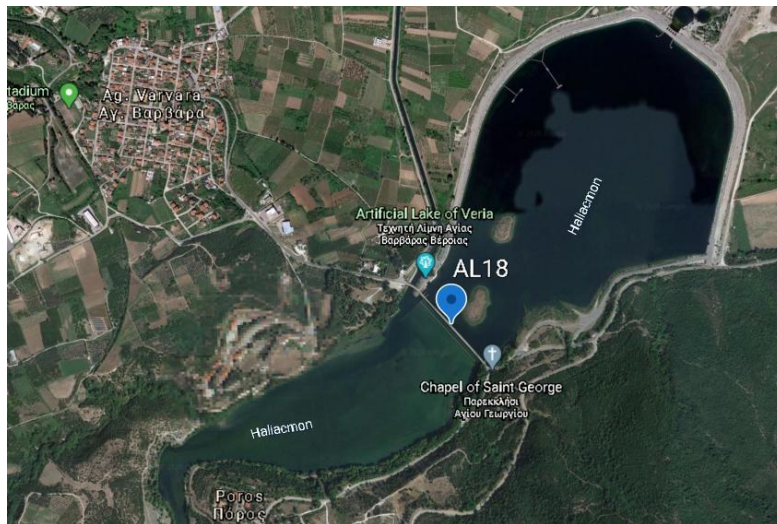
Εικόνα 6.18 Θέση δειγματοληψίας AL17



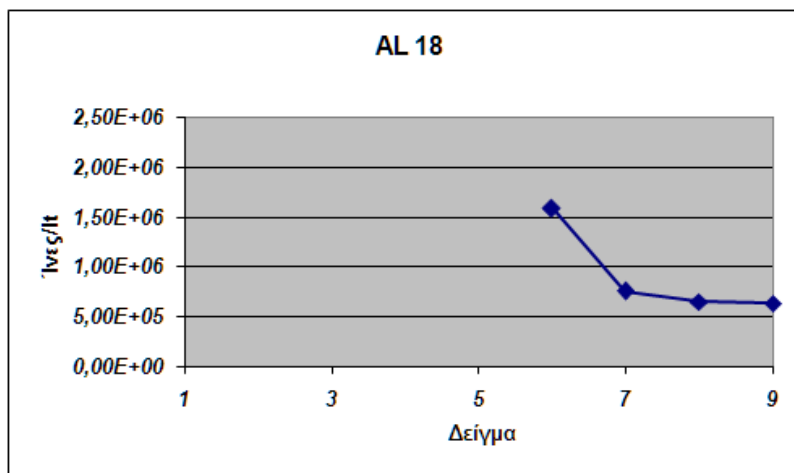
Σχήμα 6.17 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL17 σε ίνες ανά lt

AL18: Στην έξοδο των νερών του Αλιάκμονα στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης, μετά και την τελική τους χρησιμοποίηση στο φράγμα Ασωμάτων, στη θέση Βαρβάρες, από όπου γίνεται η άντλησή τους για την ύδρευση του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης (Εικόνα 6.19). Η περιοχή έδωσε σε μία περίπτωση υψηλές συγκεντρώσεις άνω

του 1MFL, της τάξης του 1,5MFL, με συνηθισμένες τιμές λίγο πάνω από το 0,5MFL. (Σχήμα 6.18) Επανατροφοδότηση του ταμιευτήρα με ίνες αμιάντου προερχόμενες ενδεχομένως από τις σερπεντινικές εμφανίσεις του Βερμίου και των Πιερίων, κρατάει τις τιμές της συγκέντρωσης των ινών αμιάντου στο νερό σταθερές, παρά τη λειτουργία του ταμιευτήρα που δρα αποθετικά.



Εικόνα 6.19 Θέση δειγματοληψίας AL18



Σχήμα 6.18 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL18 σε ίνες ανά lt

6.2.1.2 Θέσεις σε παραποτάμους της αριστερής όχθης

RA01: Είναι το 1^ο ρέμα στο χωματόδρομο από Λαφνερό προς Μικροκλεισούρα (Εικόνα 6.7α). Πηγάζει από τον Βούρινο. Σε καμία

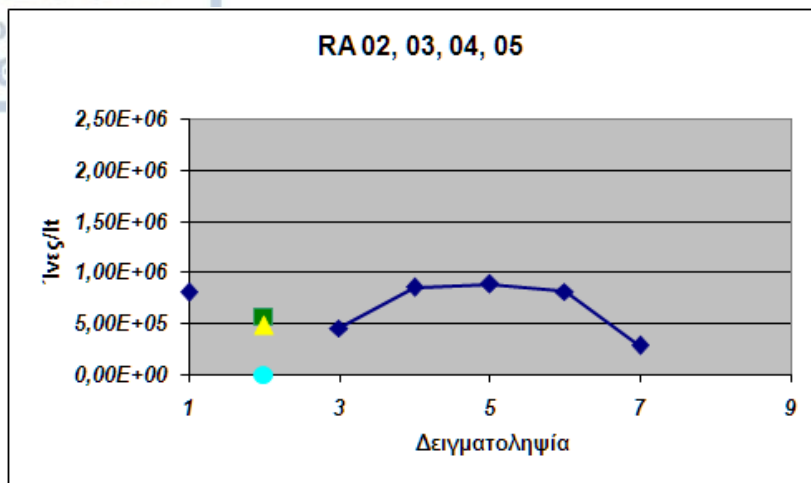
περίοδο δειγματοληψιών δεν είχε τόσο παροχή ώστε να είναι δυνατή η δειγματοληψία.

RA02: Πρόκειται για το δεύτερο ρέμα που συναντάμε στο χωματόδρομο που συνδέει τα χωριά Δαφνερό Κοζάνης και Μικροκλεισούρα Γρεβενών (Εικόνες 6.7α & 6.20). Βρίσκεται στους δυτικούς πρόποδες του όρους Βούρινος. Είναι μεγάλο ρέμα που επίσης πηγάζει από τον Βούρινο, με αρκετά μεγάλη παροχή όλο το χρόνο. Η θέση δειγματοληψίας βρίσκεται περί τα 200 μέτρα από τη συμβολή του με τον Αλιάκμονα.



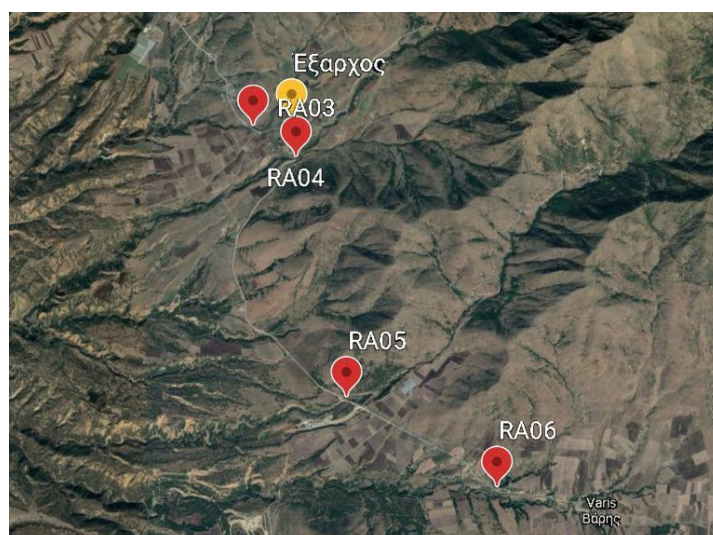
Εικόνα 6.20 Τοποθεσία δειγματοληψίας RA02

Στη λεκάνη απορροής του συγκεκριμένου ρέματος βρίσκονται αρκετά υπερβασικά και σερπεντινικά πετρώματα, τόσο στον άνω ρου του στο Βούρινο, όσο και στην περιοχή της συμβολής του με τον ποταμό Αλιάκμονα. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να βρίσκουμε σε αρκετές περιπτώσεις τιμές κατά τις μετρήσεις στο SEM της τάξης των 0,8MFL, ενώ γενικότερα η μέση τιμή της θέσης αυτής υπερβαίνει το 0,5MFL (Σχήμα 6.19).



Σχήμα 6.19 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσεων RA02, 03, 04 & 05 σε ίνες ανά lt

RA03: Το ρέμα αυτό βρίσκεται ανάμεσα στο Λαφνερό και τον Έξαρχο, στην περιοχή του όρους Βούρινου (Εικόνα 6.21). Πρόκειται για ένα από τα ρέματα που σχηματίζουν τον παραπόταμο του Αλιάκμονα της παραπάνω θέσης. Έγινε δειγματοληψία σε μία περίπτωση, όπως και στις επόμενες τρεις, κατά την οποία ο δρόμος πρόσβασης στις θέσεις RA01 & RA02 ήταν αδιάβατος. Επίσης με αυτή τη σειρά δειγμάτων έγινε εξακρίβωση της προέλευσης των ινών στη θέση RA02. Ανιχνεύτηκε λοιπόν ποσότητα ινών αμιάντου της τάξης του 0,5MFL, επιβεβαιώνοντας το συμπέρασμα ότι η προέλευση του αμιάντου στη θέση RA02 είναι, κατά μεγάλο μέρος, απευθείας από το Βούρινο (Σχήμα 6.19).



Εικόνα 6.21 Θέσεις δειγματοληψίας RA03, 04, 05 & 06

RA04: Είναι το πρώτο ρέμα που συναντάμε μετά το χωριό Έξαρχος προς Βάρη (Εικόνα 6.21). Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως και στη θέση αυτή έγινε μόνο μια δειγματοληψία για τους ίδιους λόγους. Στη θέση αυτή ανιχνεύθηκε ποσότητα ινών αμιάντου της τάξης του 0,5MFL, προερχόμενη από το Βούρινο (Σχήμα 6.19). Είναι ένα από τα πλευρικά ρέματα που συνεισφέρουν στην ποσότητα αμιάντου που ανιχνεύεται στη θέση RA02.

RA05: Η θέση βρίσκεται κοντά στην προηγούμενη ακολουθώντας τον ίδιο δρόμο πηγαίνοντας προς Βάρη από Έξαρχο (Εικόνα 6.21). Στη μια δειγματοληψία που έγινε στο σημείο αυτό δεν ανιχνεύτηκαν ίνες αμιάντου. Αυτό δε σημαίνει απαραίτητα ότι το ρέμα αυτό δεν συνεισφέρει στην ποσότητα των ινών της θέσης RA02, αφού μια μόνο δειγματοληψία δεν επαρκεί για την εξαγωγή ασφαλούς συμπεράσματος (Σχήμα 6.19). Η λεκάνη απορροής του συγκεκριμένου ρέματος δεν αποκλείει την ύπαρξη αμιάντου γενικότερα στη θέση.

RA06: Είναι το τελευταίο ρέμα που συναντάμε πριν το χωριό Βάρη ερχόμενοι από Έξαρχο (Εικόνα 6.21). Οι τέσσερις τελευταίες θέσεις είναι εναλλακτικές των 2 πρώτων (RA01, RA02) σε περιπτώσεις που η πρόσβαση ήταν αδύνατη. Αυτό όπως αναφέρθηκε συνέβη μόνο μία φορά. Τη μοναδική αυτή φορά, στη θέση αυτή δεν ανιχνεύτηκε αμιάντος, άρα δεν μπορούμε να συμπεράνουμε για πιθανή ύπαρξη ινών στο σημείο. Πάντως το ρέμα αυτό πηγάζει από το Βούρινο και δεν θα αποκλειόταν κάποια ποσότητα αμιάντου σε πιθανή μελλοντική έρευνα.

RA07: Το ρέμα βρίσκεται λίγο μετά τη Μικροκλεισούρα πηγαίνοντας προς Λαγκαδάκια (Εικόνα 6.22). Πρόκειται για ρέμα πολύ μικρής παροχής. Μόνο σε μια περίπτωση η παροχή επέτρεψε τη δειγματοληψία και στην περίπτωση αυτή δεν ανιχνεύτηκε αμιάντος. Δεν αποκλείεται εντελώς η παρουσία αμιάντου στη θέση, αλλά σε κάθε περίπτωση η θέση χαρακτηρίζεται ως ήσσονος σημασίας.



Εικόνα 6.22 Θέση δειγματοληψίας RA07

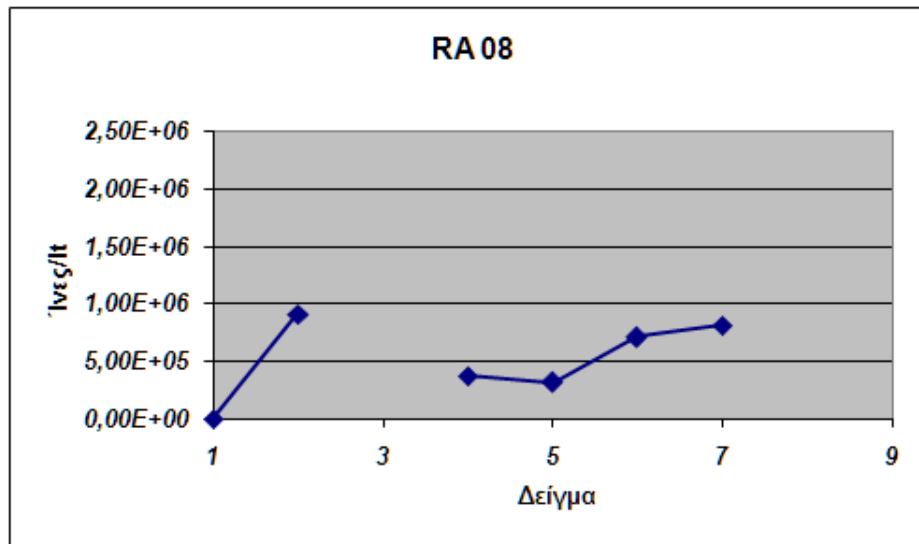
RA08: Το ρέμα αυτό το διασχίζει ο κωματόδρομος που ενώνει την Κνίδη με την Ιτέα (Εικόνα 6.23α & β). Στο σημείο αυτό το ρέμα είναι αρκετά μεγάλο με πολύ νερό όλο το χρόνο. Πηγάζει και αυτό από την περιοχή του Βούρινου στην οποία βρίσκεται η οφιολιθική σειρά.



Εικόνα 6.23 α) Θέση δειγματοληψίας RA08 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας

Στη θέση έγινε δειγματοληψία σε όλες τις σειρές και έδωσε μεγάλη ποικιλία αποτελεσμάτων. Σε κάποιες περιπτώσεις η ποσότητα ινών αμιάντου ήταν μεταξύ 0,7-0,9MFL ενώ σε άλλες ήταν κάτω από 0,4MFL (Σχήμα 6.20). Στις θέσεις όπου η προέλευση των ινών οφείλεται σε φυσικές διεργασίες, συνήθως δεν παρατηρούνται τόσο μεγάλες

διακυμάνσεις στις τιμές. Οπότε οι υψηλές τιμές θεωρούμε ότι οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Άλλωστε το ρέμα διασχίζει κατοικημένη περιοχή ανάμεσα σε δύο από τα μεγαλύτερα χωριά της περιοχής και είναι αγροτική περιοχή με σημαντική ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι χαμηλότερες τιμές θεωρείται ότι αντιπροσωπεύουν το ποσό των ινών που προέρχονται από τη διάβρωση πετρωμάτων του Βούρινου.

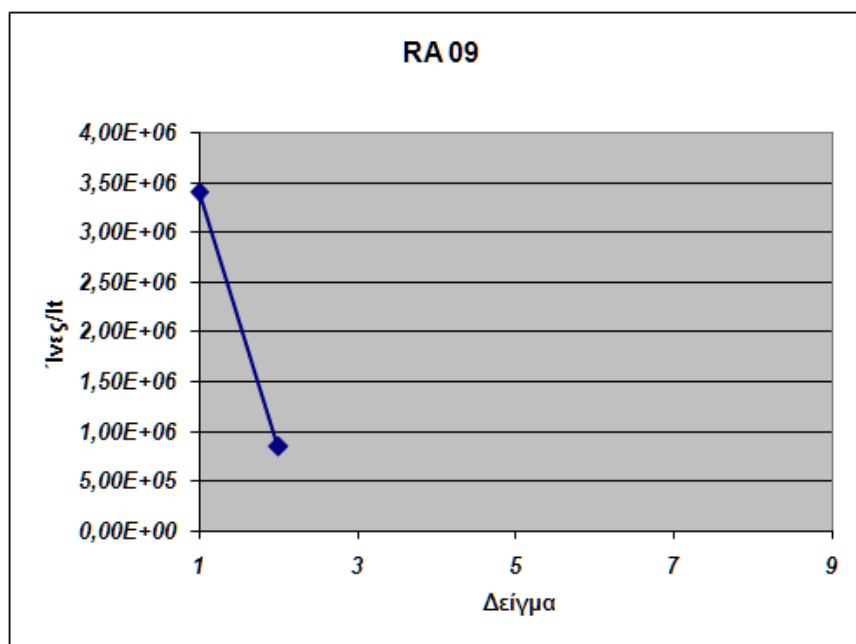


Σχήμα 6.20 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RA08 σε ίνες ανά lt

RA09: Στο χωριό Κέντρο Γρεβενών στο πλευρικό ρέμα του Αλιάκμονα το οποίο περνά μέσα από το χωριό (Εικόνα 6.24). Δεν έχει σταθερή παροχή που να επιτρέπει πάντα δειγματοληψία. Η πρόσβαση στο ρέμα είναι εξαιρετικά δύσκολη. Οι παραπάνω δύο λόγοι έχουν ως αποτέλεσμα να παρθούν μόνο δύο δείγματα. Και τα δύο δείγματα μας έδωσαν αρκετά μεγάλες τιμές, στο ένα μάλιστα από τις υψηλότερες που έχουν βρεθεί κατά την έρευνα αυτή (Σχήμα 6.21). Η προέλευσή τους θεωρείται αποκλειστικά ανθρωπογενής, αφού μόνο σε πολύ μικρό κομμάτι της λεκάνης απορροής του ποταμού αυτού, στον πολύ άνω ρου του, βρίσκονται σερπεντινικά πετρώματα που θα μπορούσαν να φιλοξενούν αμιάντο.



Εικόνα 6.24 Θέση δειγματοληψίας RA09

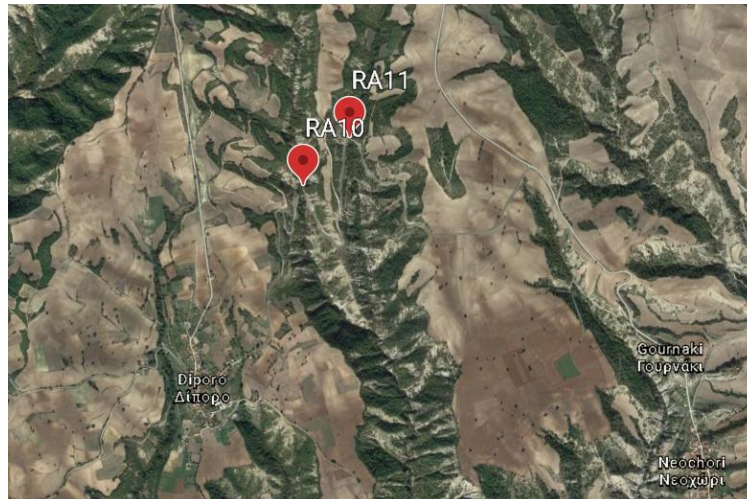


Σχήμα 6.21 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RA09 σε ίνες ανά lt

RA10: 1^ο μικρής παροχής ρέμα στο χωματόδρομο από Δίπορο προς Νεοχώρι (Εικόνα 6.25). Μόλις μια φορά ήταν δυνατή η δειγματοληψία και τη φορά αυτή δεν ανιχνεύτηκε αμιάντος στα νερά.

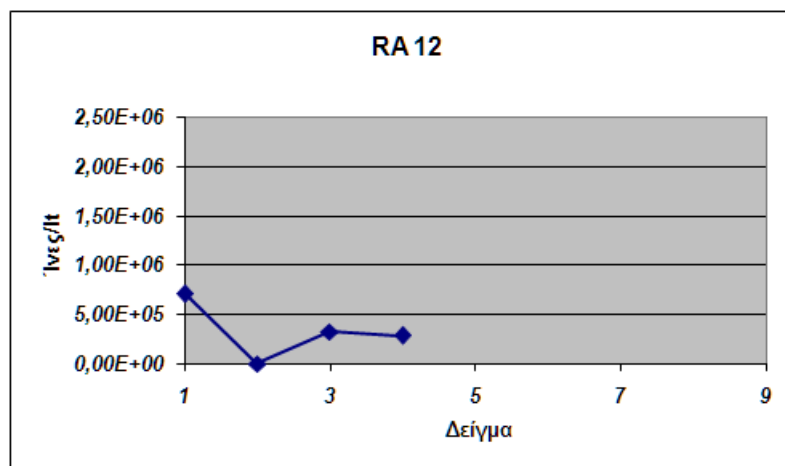
RA11: 2^ο μικρής παροχής ρέμα στο χωματόδρομο από Δίπορο προς Νεοχώρι (Εικόνα 6.25). Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση η παροχή ήταν αρκετή για δειγματοληψία μόλις μια φορά. Δεν ανιχνεύτηκε αμιάντος. Η ελάχιστη παροχή των ρεμάτων των δύο

τελευταίων θέσεων σε συνδυασμό με την απουσία ινών αμιάντου από τα νερά τους οδήγησε στην αφαίρεσή τους μετά την τέταρτη σειρά δειγματοληψιών.



Εικόνα 6.25 Θέσεις δειγματοληψίας RA10 & RA11

RA12: Από το Νεοχώρι προς Παναγία υπάρχει ρέμα με νερό και συχνά αρκετή παροχή. Υπάρχει γέφυρα στο σημείο αυτό αλλά συνήθως η στάθμη είναι χαμηλή για να χρησιμοποιηθεί δειγματολήπτης (Εικόνα 6.26α).



Σχήμα 6.22 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RA12 σε ίνες ανά lt

Το ρέμα αυτό αποστραγγίζει μέρος της νότιας πλευράς του Βουρίνου, και ειδικότερα περιοχές που εμφανίζονται οφιολιθικά πετρώματα. Αν και το σημείο δειγματοληψίας βρίσκεται σε αγροτική περιοχή, γενικότερα η περιοχή είναι σχετικά αραιοκατοικημένη. Κατά συνέπεια η παρουσία ινών αμιάντου αποδίδεται στη διάβρωση των

πετρωμάτων της περιοχής. Κατά την πρώτη δειγματοληψία βρέθηκε σχετικά υψηλή συγκέντρωση ινών, της τάξης των 0,7MFL. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις που μπόρεσε να γίνει δειγματοληψία οι τιμές κυμάνθηκαν μεταξύ 0 - 0,3MFL (Σχήμα 6.22).

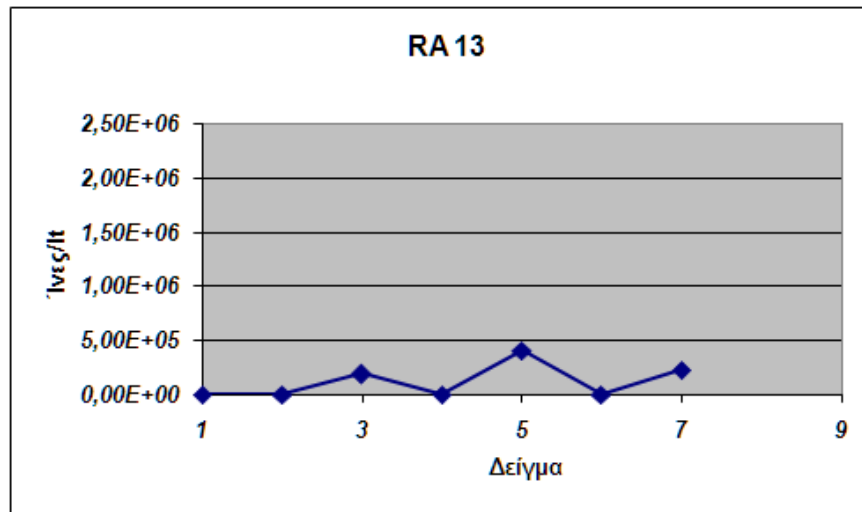


Εικόνα 6.26 α) Τοποθεσία δειγματοληψίας RA12 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας RA13

RA13: Στο δρόμο Νεοχωρίου - Παναγίας Γρεβενών κοντά στην Παναγιά υπάρχει ρέμα δίπλα στο οποίο βρίσκεται μια βρύση με κιόσκι. (Εικόνα 6.26β). Το ρέμα έχει πάντα νερό και συνήθως πολύ, αλλά όχι αρκετό για να γίνει η δειγματοληψία από τη γέφυρα με το δειγματολήπτη. Απορρέει τη νότια περιοχή του όρους Βούρινος, στις νότιες παρυφές της οφιολιθικής εμφάνισης. Σε μερικές μόνο περιπτώσεις ανιχνεύθηκε αμιάντος και μάλιστα σε ποσότητες μικρές, έως 0,4MFL (Σχήμα 6.23).

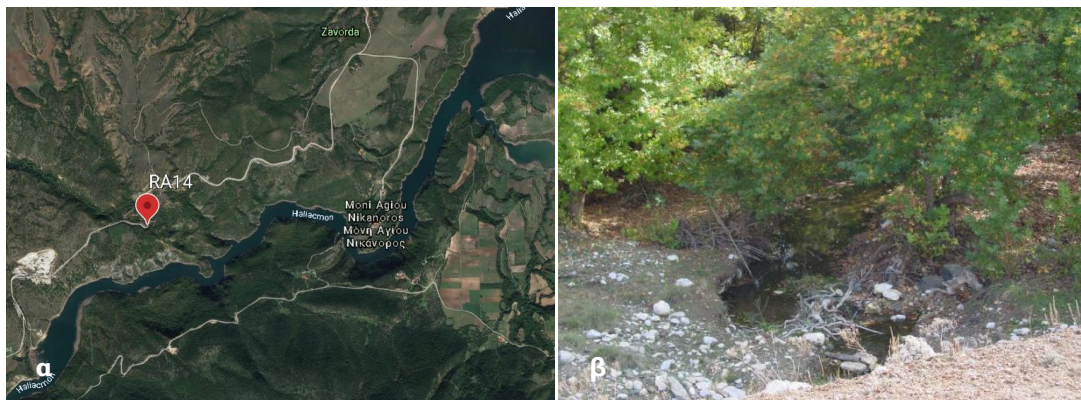
Η περιοχή χαρακτηρίζεται από πολύ μικρή ανθρώπινη δραστηριότητα οπότε η παρουσία των ινών αποδίδεται αποκλειστικά στη διάβρωση των πετρωμάτων της περιοχής. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι οι περιπτώσεις που ανιχνεύτηκε αμιάντος είναι εκείνες που η στάθμη του ρέματος ήταν σχετικά υψηλή. Η υψηλή στάθμη στα πλευρικά ρέματα σημαίνει και αυξημένη διάβρωση των πετρωμάτων της λεκάνης απορροής τους. Το παράδειγμα της θέσης αυτής μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η αυξημένη παροχή στα πλευρικά ρέματα έχει

διπλή επίπτωση. Αφενός ενισχύει τη συνεισφορά του παραπόταμου στη συνολική ποσότητα των ινών στον ποταμό Αλιάκμονα, αφετέρου η αυξημένη παροχή σημαίνει και αυξημένη διάβρωση των πετρωμάτων, άρα και μεγαλύτερο αριθμό ινών ανά λίτρο.



Σχήμα 6.23 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RA13 σε ίνες ανά lt

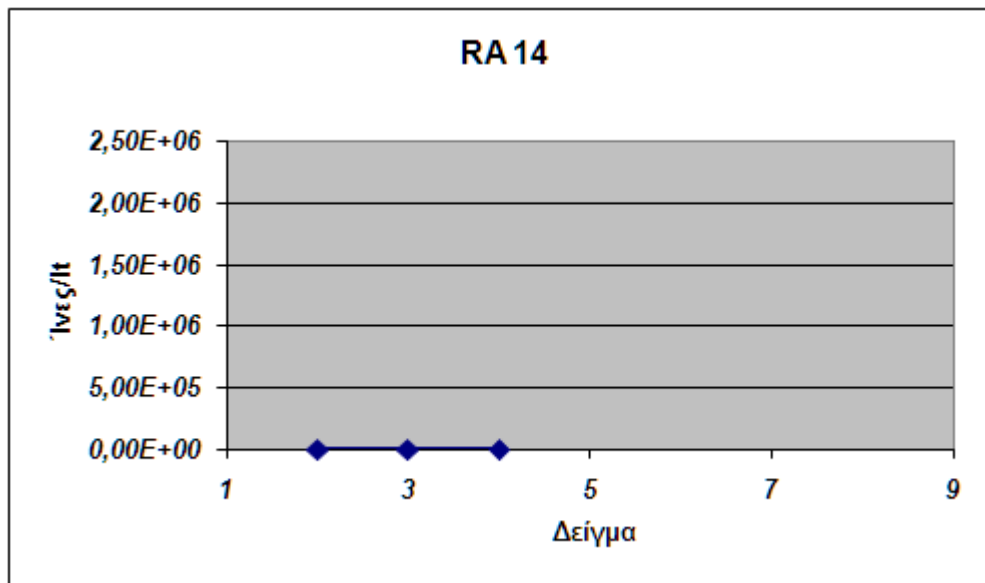
RA14: Το ρέμα βρίσκεται στο δρόμο από Παναγία προς Ζάβορδα. Η θέση και ο τρόπος δειγματοληψίας ποικίλει λόγω έργων οδοποιίας στο δρόμο Παναγίας – Ζάβορδας (Εικόνα 6.27α & β). Η παροχή του δεν είναι ούτε μεγάλη ούτε συνεχής στις διάφορες εποχές του έτους.



Εικόνα 6.27 α) Θέση δειγματοληψίας RA14 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας

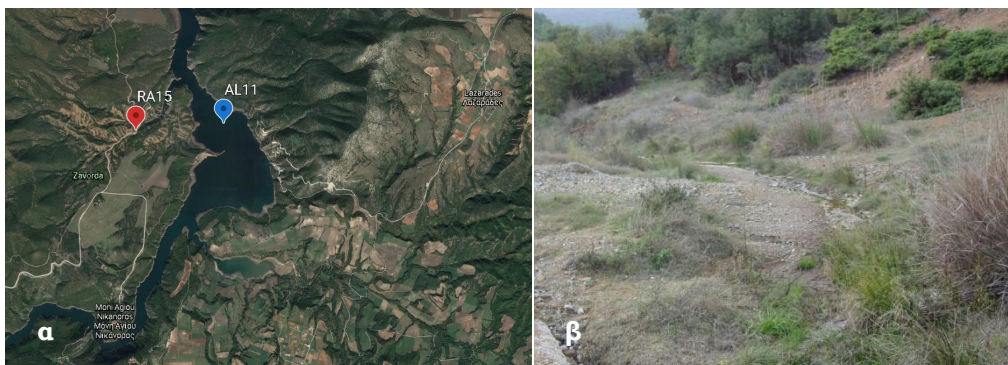
Αποτέλεσμα αυτού είναι η λήψη μόλις 3 δειγμάτων. Βρίσκεται στη νότια πλευρά του Βούρινου, αλλά η λεκάνη απορροής του δε μοιάζει να περιλαμβάνει αξιοσημείωτη έκταση οφιολιθικών εμφανίσεων. Επίσης, η περιοχή δειγματοληψίας είναι σχεδόν ακατοίκητη. Λογική συνέπεια των ανωτέρω διαπιστώσεων είναι και το αποτέλεσμα των μετρήσεων, το οποίο

δεν έδειξε παρουσία κάποιας ποσότητας ινών αμιάντου σε κανένα δείγμα (Σχήμα 6.24).

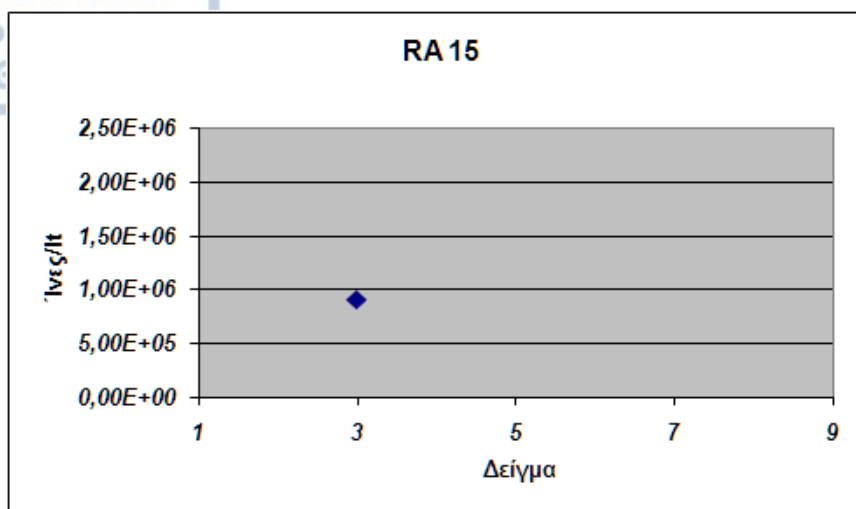


Σχήμα 6.24 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RA14 σε ίνες ανά lt

RA15: Ρέμα ανάμεσα στα μεταλλεία χρωμίτη στη Σκούμτσια και τη μονή Ζάβορδας. Η θέση βρίσκεται στο όρος Βούρινο στην οφιολιθική σειρά. Η λεκάνη απορροής του ρέματος αποτελείται αποκλειστικά από πετρώματα της οφιολιθικής σειράς του Βούρινου. Το ρέμα είναι πολύ μικρής και εποχικής παροχής (Εικόνα 6.28α & β). Η μορφολογία της θέσης είναι δυστυχώς τέτοια που δεν επιτρέπει τη δειγματοληψία στις περιπτώσεις εκείνες που η παροχή είναι ελάχιστη. Έτσι μόλις σε μία περίπτωση έγινε δυνατή η λήψη δείγματος.



Εικόνα 6.28 α) Θέση δειγματοληψίας RA15 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας

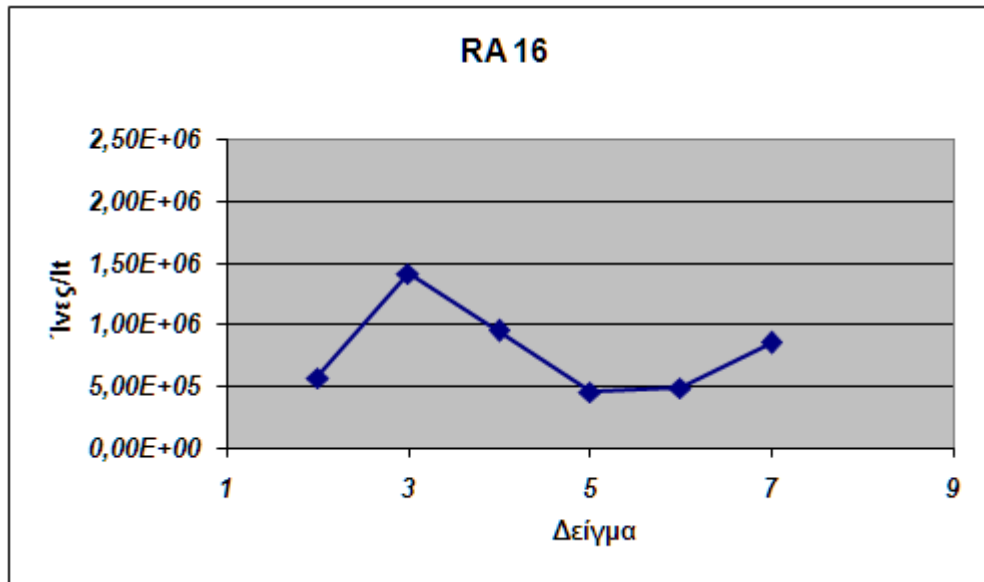


Σχήμα 6.25 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RA15 σε ίνες ανά lt

Το δείγμα αυτό, όπως θα αναμενόταν από τη γεωλογία της περιοχής έδωσε αρκετά υψηλή τιμή για μικρό πλευρικό ρέμα, σχεδόν 1 MFL. Εφόσον όμως η τιμή αυτή δεν έγινε δυνατόν να επιβεβαιωθεί και με κάποιο άλλο δείγμα, δεν θεωρείται απολύτως αξιόπιστη. Ούτως ή άλλως η παροχή του ρέματος είναι τέτοια που ακόμα και να επιβεβαιωνόταν μια τέτοια μέτρηση, η συνεισφορά του στο συνολικό ποσό ινών στον Αλιάκμονα θα ήταν πάρα πολύ μικρή.

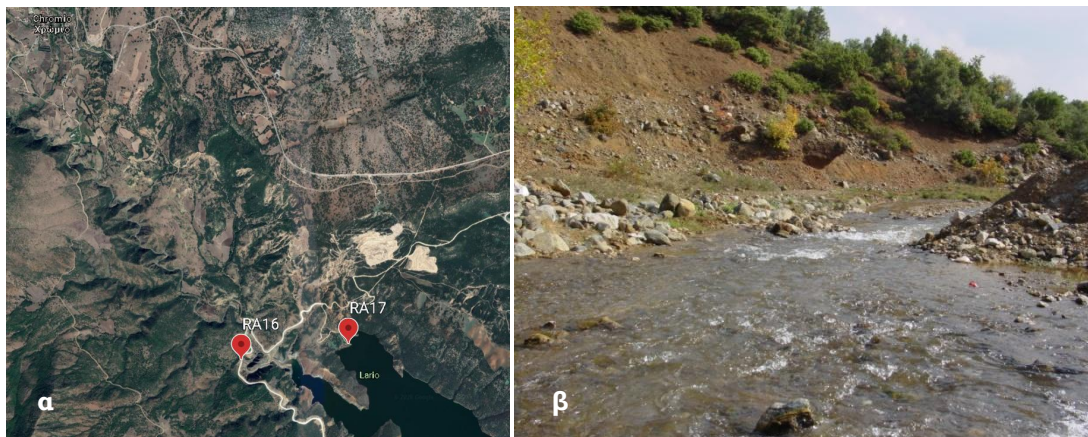
RA16: Είναι το 1^ο ρέμα που βρίσκεται ανάμεσα στα μεταλλεία Σκούμτσιας και την Αιανή. Το σημείο βρίσκεται μέσα στην εμφάνιση των οφιολιθικών πετρωμάτων του Βούρινου. Σε όλο το μήκος του το ρέμα απορρέει υπερβασικά πετρώματα με μεγάλες εμφανίσεις χρωμιτικών κοιτασμάτων (Εικόνα 6.29α). Πρόκειται για ρέμα σχετικά μικρής παροχής. Βρίσκεται σε ακατοίκητη περιοχή, οπότε οι τιμές που λαμβάνουμε οφείλονται αποκλειστικά σε διάβρωση πετρωμάτων. Δεν ήταν δυνατή η μέτρηση την πρώτη φορά λόγω πολύ μεγάλης ποσότητας φερτών υλικών. Τις υπόλοιπες φορές η θέση αυτή έδωσε αξιοσημείωτες ποσότητες ινών αμιάντου. Οι χαμηλότερες τιμές ήταν της τάξης των 0,4MFL κατ' ελάχιστο, ενώ στις υπόλοιπες ήταν λίγο κάτω από το 1MFL, με ένα δείγμα να βρίσκεται αρκετά πάνω από την τιμή αυτή. Οι αυξομειώσεις στις τιμές που μας έδωσε η συγκεκριμένη θέση, οφείλονται στην παροχή του ρέματος, η οποία συνήθως ήταν αρκετά

μικρή, ενώ διέφερε αρκετά από περίοδο σε περίοδο. Οι αλλαγές στην παροχή του ρέματος συνεπάγονται και αλλαγές στη διαβρωτική του ικανότητα, με τελικό αποτέλεσμα τις διακυμάνσεις στις τιμές των μετρήσεων. Πάντως η συνεισφορά του συγκεκριμένου παραπόταμου στο ποσό των ινών του Αλιάκμονα, σε καμία περίπτωση δε θεωρείται μεγάλη.



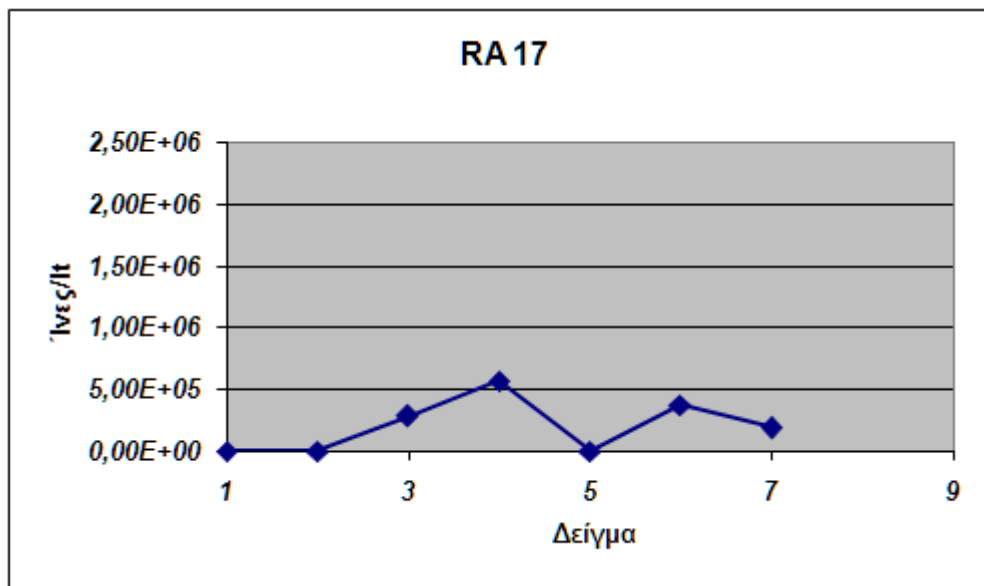
Σχήμα 6.26 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RA16 σε ίνες ανά lt

RA17: Είναι το 2^ο ρέμα που συναντάμε κινούμενοι ανάμεσα στα μεταλλεία Σκούμτσιας και την Αιανή, με κατεύθυνση την Αιανή. Είναι μεγάλης και σχετικά σταθερής παροχής, για ορεινό παραπόταμο, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Εικόνα 6.29α & β).



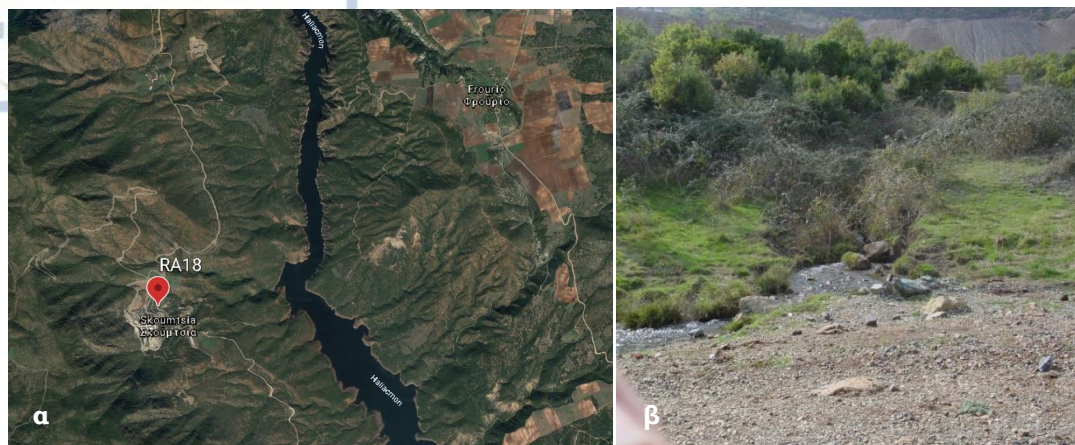
Εικόνα 6.29 α) Θέση δειγματοληψίας RA16 & RA17 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας RA17

Ρέει στην περιοχή των οφιολίθων, στα ανατολικά της όρια. Η περιοχή και της θέσης αυτής είναι σχεδόν ακατοίκητη, οπότε και στην περίπτωση αυτή οι τιμές που μας δίνουν οι μετρήσεις οφείλονται αποκλειστικά σε διάβρωση των πετρωμάτων της λεκάνης απορροής. Η μελέτη των φίλτρων στο SEM για τη θέση αυτή, μας έδωσε σχετικά μικρές συγκεντρώσεις ινών στο δείγμα, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις, δεν παρατηρήθηκε κάποια ίνα αμιάντου στην περιοχή μελέτης. Αυτό δε σημαίνει κατ' ανάγκη ότι στα δείγματα εκείνα, δεν υπάρχει αμιάντος. Σε περιοχές που παίρνουμε μικρές τιμές είναι αναμενόμενο, μερικά μηδενικά δείγματα, να αντιστοιχούν σε ελάχιστες συγκεντρώσεις. Οι τιμές στα δείγματα αυτά ήταν σχετικά χαμηλές με μόνο μια περίπτωση να υπερβαίνει ελάχιστα το 0,5MFL. Στις υπόλοιπες κυμάνθηκαν χαμηλότερα (Σχήμα 6.27).



Σχήμα 6.27 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RA17 σε ίνες ανά lt

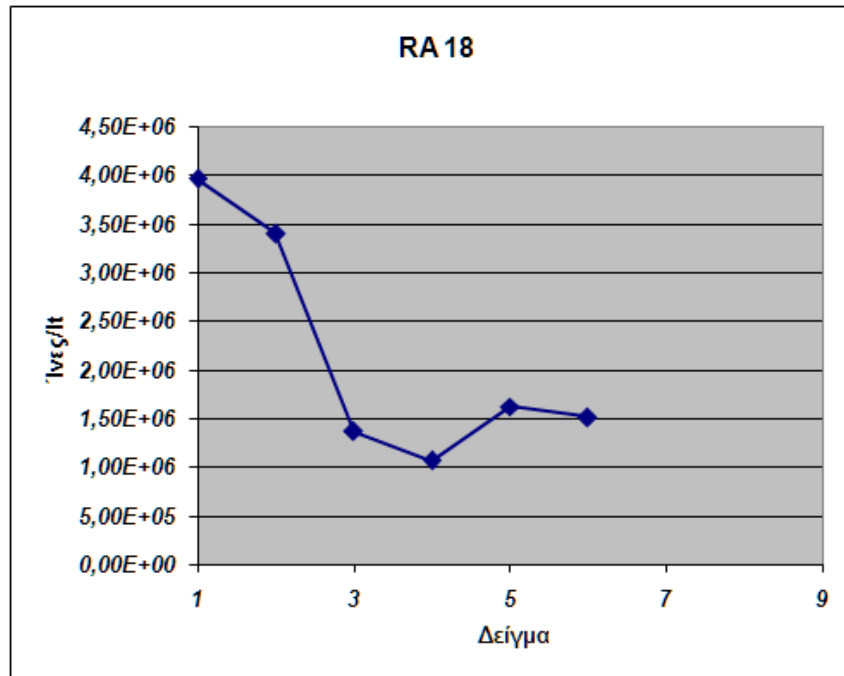
RA18: Ρέμα σημαντικής παροχής που βρίσκεται ακριβώς στην περιοχή των μεταλλείων Σκούμπσιας. Περνάει ανάμεσα στις εγκαταστάσεις των μεταλλείων χρωμίτη και βρίσκεται ανάντη των θέσεων RA 16 και 17 (Εικόνα 6.30α & β).



Εικόνα 6.29 α) Θέση δειγματοληψίας RA18 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας RA18. Στο βάθος φαίνονται τα στείρα των μεταλλείων Σκούμιστας.

Πρόκειται για τον παραπόταμο της αριστερής όχθης του Αλιάκμονα στον οποίο βρέθηκαν οι μεγαλύτερες τιμές ινών αμιάντου ανά λίτρο φυσικού νερού. Σε όσα δείγματα κατέστη δυνατό να γίνει μέτρηση, οι συγκεντρώσεις που βρέθηκαν ήταν άνω του 1MFL, με ένα δείγμα να αγγίζει τα 4MFL (3,96MFL στις 14/11/95). Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε ξανά ότι τα διεθνή όρια επιφυλακής βρίσκονται στα 7MFL (Σχήμα 6.28). Η προέλευση της ποσότητας των ινών στα νερά του ρέματος δεν είναι εύκολο να πιστοποιηθεί. Αφ' ενός γιατί η λεκάνη απορροής του βρίσκεται αποκλειστικά σε υπερβασικά πετρώματα, με εκτεταμένες εμφανίσεις σερπεντινιτών, αφ' ετέρου γιατί μεγάλο κομμάτι των εγκαταστάσεων του μεταλλείου βρίσκεται σε ελάχιστη απόσταση από το ρέμα. Την περίοδο των δειγματοληψιών, το μεταλλείο ήταν ανενεργό. Οι εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν σε μεγάλο ποσοστό προσωρινές κατασκευές, οι οποίες τον καιρό αυτό δεν συντηρούνταν καθόλου. Είναι πολύ πιθανό να έχουμε εκτεταμένη χρήση προϊόντων αμιάντου στην κατασκευή τους, όσο και σε εσωτερικά δίκτυα ύδρευσης, τα οποία προϊόντα λόγω ανύπαρκτης συντήρησης την περίοδο εκείνη να αποσυντίθενται και να καταλήγουν υλικά τους, μεταξύ των οποίων και ο αμιάντος, στα νερά του εν λόγω παραποτάμου. Η προέλευση των ινών αυτών από τις ανθρώπινες κατασκευές ή δραστηριότητες φαίνεται ως η πιθανότερη, αφού οι τιμές είναι πολύ μεγαλύτερες από ότι θα περιμέναμε από τη διάβρωση πετρωμάτων που φέρουν κοιτάσματα χρωμίου και όχι χρυσοτιλικού αμιάντου. Βασική ανθρώπινη

δραστηριότητα στην περιοχή αποτελεί η επεξεργασία του κοιτάσματος και η απόθεση των στείρων του κοντά στην κοίτη του ρέματος. Τα στείρα είναι εμπλουτισμένα ως προς τα μη εκμεταλλεύσιμα υλικά και είναι χαλαρά, με αποτέλεσμα να παρασύρονται εύκολα από την επιφανειακή απορροή και να καταλήγουν στο ρέμα.



Σχήμα 6.28 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RA18 σε ίνες ανά Lt

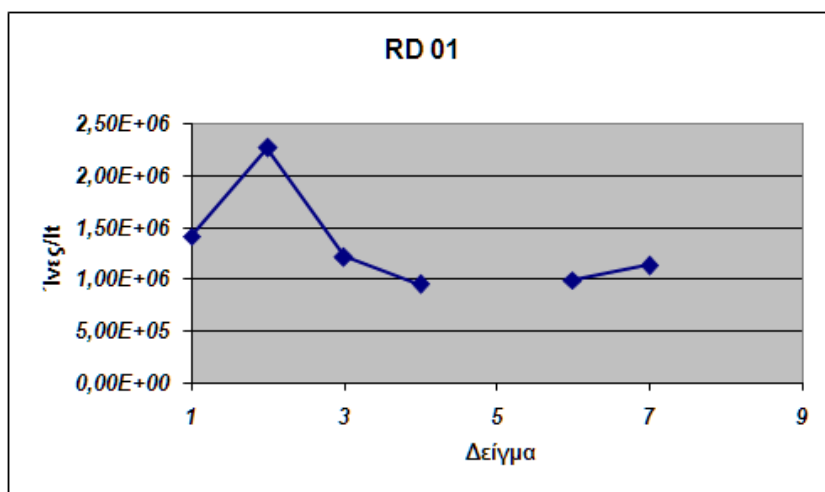
6.2.1.3 Θέσεις σε παραποτάμους της δεξιάς όχθης

RD01: Παραπόταμος Γρεβενίτης. Μεγάλος παραπόταμος του ποταμού Αλιάκμονα, ο οποίος πηγάζει από την οροσειρά της Πίνδου, συγκεκριμένα το βουνό Όρλιακας, και περνάει από τα Γρεβενά πριν καταλήξει στον Αλιάκμονα. Το σημείο δειγματοληψίας είναι ακριβώς στην συμβολή του με τον Αλιάκμονα (Εικόνα 6.8α & β). Στη θέση αυτή παρατηρήθηκαν αρκετά αυξημένες τιμές ινών αμιάντου στα νερά.

Γενικότερα οι τιμές ήταν της τάξης του 1MFL, σε δύο δείγματα είχαμε ελαφρά μικρότερη τιμή, αλλά σε ένα δείγμα οι μετρήσεις μας έδωσαν υπερδιπλάσια τιμή (2,26MFL στις 11/2/1996). Οι ίνες αμιάντου στα νερά του Γρεβενίτη θεωρείται ότι έχουν δύο πιθανές προελεύσεις:

Κάποια ποσότητα ινών αμιάντου προέρχεται από την περιοχή των πηγών και του άνω ρου του ποταμού. Στην περιοχή εκείνη βρίσκονται τα πετρώματα της οφιολιθικής σειράς της Πίνδου μέρος της οποίας αποτελείται από σερπεντινικά και σερπεντινιωμένα πετρώματα με κάποιες εμφανίσεις αμιάντου.

- Η κύρια ποσότητα των ινών στα νερά του Γρεβενίτη θεωρείται ότι οφείλεται στις ανθρώπινες δραστηριότητες της περιοχής της πόλης των Γρεβενών. Ο παραπόταμος αυτός του Αλιάκμονα, διαρέει το κέντρο της πόλης των Γρεβενών, ενώ η κοιλάδα του αποτελεί την πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή του νομού. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι πέρα από την οικιστική υπάρχει και αρκετή αγροτική δραστηριότητα, όπως επίσης και επαγγελματικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Σε όλες αυτές τις δραστηριότητες όπως έδειξε η επί τόπου έρευνα, υπήρχε εκτεταμένη χρήση προϊόντων αμιάντου, ενώ θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι όλες αυτές οι κατασκευές δεν ήταν σε καθόλου καλή κατάσταση, λόγω του σεισμού που έπληξε την περιοχή το Μάιο του 1995, ενώ καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών υπήρχε έντονη κατασκευαστική δραστηριότητα με πολλές κατεδαφίσεις σεισμόπληκτων κτηριών. Τα προαναφερθέντα στοιχεία αν εξεταστούν συγκριτικά με τα αποτελέσματα του ποταμού Βενέτικου (στα οποία γίνεται αναφορά αμέσως μετά), μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι πάνω από τη μισή ποσότητα των ινών έχει προέλευση τις ανθρώπινες δραστηριότητες.



Σχήμα 6.29 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RD01 σε ίνες ανά lt

Η συνεισφορά του παραπόταμου αυτού στην συνολική ποσότητα των ινών αμιάντου στον Αλιάκμονα κρίνεται αρκετά σημαντική λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης σε ίνες που έχουμε, της μεγάλης παροχής του Γρεβενίτη και της θέσης δειγματοληψίας, ελάχιστα μέτρα πριν τη συμβολή του Γρεβενίτη με τον Αλιάκμονα.

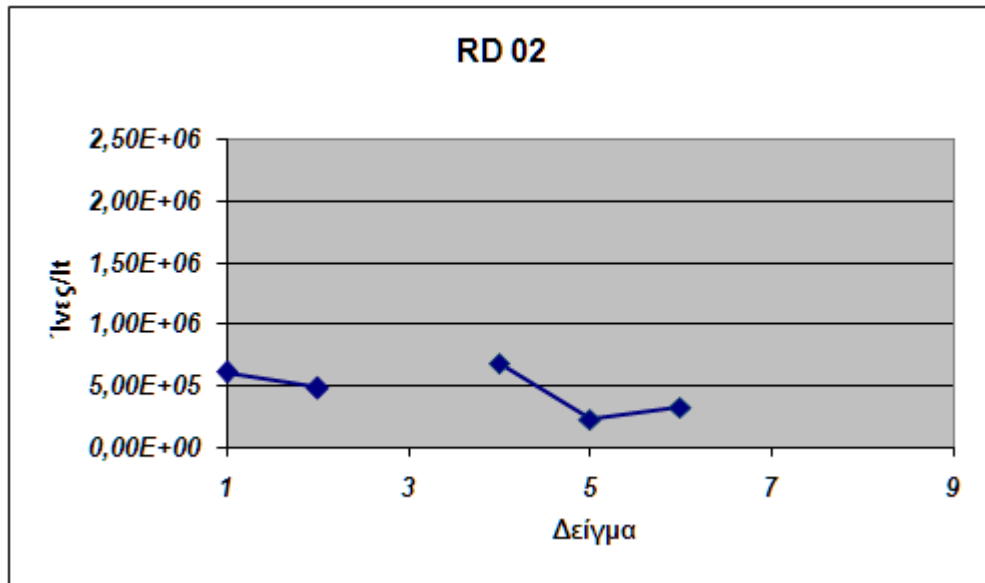
RD02: Παραπόταμος Βενέτικος. Πηγάζει από την Πίνδο και συγκεκριμένα από την Βασιλίτσα. Η περιοχή των πηγών του αποτελείται από τα πετρώματα της εκεί οφιολιθικής σειράς. Πρόκειται για τον μεγαλύτερο σε μήκος παραπόταμο του ποταμού Αλιάκμονα. Ακολουθεί περίπου παράλληλη πορεία με τον Γρεβενίτη, η κοιλάδα του όμως είναι στο μεγαλύτερο της βαθμό πιο απόκρημνη και λιγότερο κατοικημένη. Πάρθηκε δείγμα σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας, από διάφορα σημεία κοντά στη συμβολή του με τον Αλιάκμονα, καθώς το ακριβές σημείο της συμβολής δεν ήταν προσπελάσιμο καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου (Εικόνα 6.30).



Εικόνα 6.30 Τοποθεσία δειγματοληψίας RD02.

Δεν ήταν δυνατό να παρθεί μέτρηση σε όλα τα δείγματα, καθώς ο Βενέτικος στο μεγαλύτερό του μέρος είναι από τους ορμητικότερους ελληνικούς ποταμούς με αποτέλεσμα συχνά να μην είναι δυνατή η παρατήρηση στο σαρωτικό μικροσκόπιο, ακόμα και με τη μέγιστη

δυνατή αραίωση, λόγω της πολύ μεγάλης ποσότητας φερτών υλικών που περιέχουν τα νερά του.

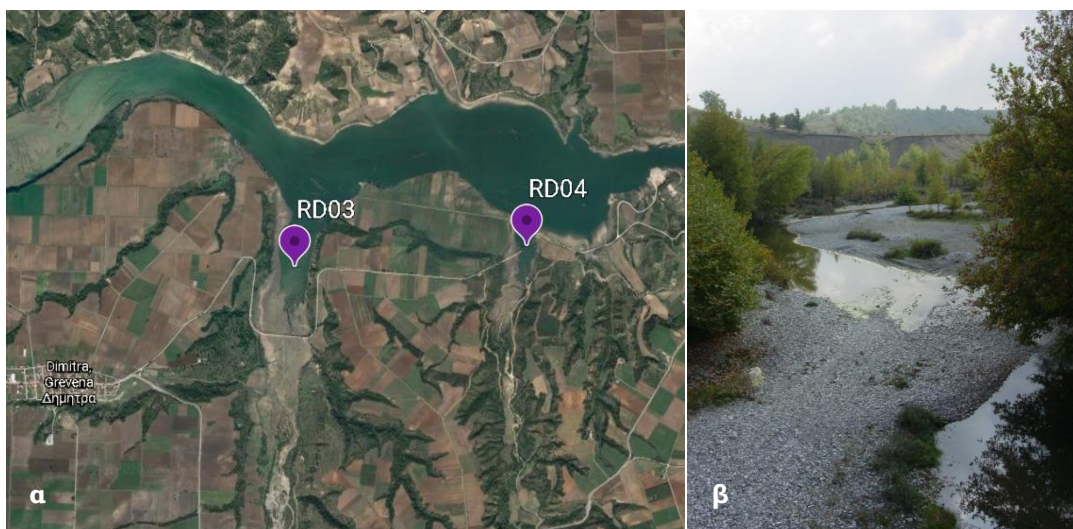


Σχήμα 6.30 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RD02 σε ίνες ανά lt

Στα δείγματα που ήταν δυνατή η μέτρηση οι τιμές κυμάνθηκαν μεταξύ 0,2 - 0,7MFL (Σχήμα 6.30). Βλέπουμε ότι αν και σε κάθε δείγμα που πάρθηκε αποτέλεσμα ανιχνεύτηκε αμιάντος, σε ορισμένα δείγματα η συγκέντρωση των ινών στο νερό ήταν αρκετά χαμηλή, ενώ σε όλα τα δείγματα ήταν πολύ χαμηλότερη από αυτή που βρέθηκε στα νερά του Γρεβενίτη. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο αυτών παραποτάμων είναι πολύ ενδιαφέρουσα, καθώς διασχίζουν τις ίδιες σε γενικές γραμμές περιοχές από γεωλογικής απόψεως. Μάλιστα ο Βενέτικος περιλαμβάνει στη λεκάνη απορροής του το μεγαλύτερο μέρος των οφιολίθων της Πίνδου, οπότε αν η παρουσία του αμιάντου στο νερό εξαρτιόταν από τη γεωλογία της λεκάνης απορροής του κάθε παραπόταμου, θα ήταν λογικότερο να παρουσιάζει και μεγαλύτερη συγκέντρωση αμιάντου στα νερά του. Κάτι τέτοιο όμως δε συμβαίνει και ως αιτία θεωρείται μάλλον η επίδραση της ανθρώπινης παρουσίας στην κοιλάδα του κάθε ποταμού. Οι τιμές που βρέθηκαν στην προηγούμενη θέση είναι περίπου οι διπλάσιες από ότι σ' αυτή, ενώ όπως προαναφέρθηκε ίσως να αναμένονταν να είναι ελαφρά μικρότερες. Εντελώς ενδεικτικά μπορεί να αναφερθεί ότι οι αστικής προέλευσης ίνες αμιάντου στη θέση RD01 είναι περίπου το 60% του συνόλου, ίσως και

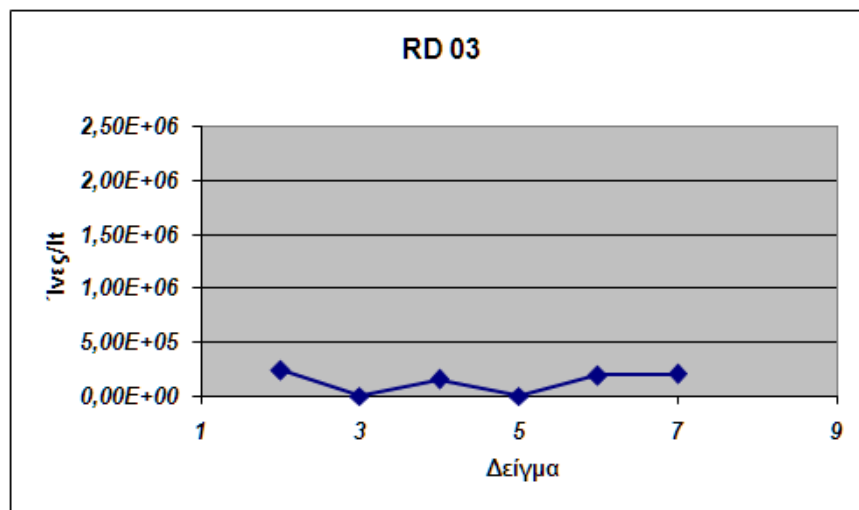
περισσότερο αν σκεφτούμε ότι αν και αραιοκατοικημένη, η κοιλάδα του Βενέτικου δεν είναι και ακατοίκητη. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι η ανθρωπογενής προέλευση δεν αποτελεί κάποιο σταθερό παράγοντα, εφόσον πολλές και ποικίλες επί μέρους δραστηριότητες που στην πράξη είναι αδύνατο να υπολογιστούν έστω και θεωρητικά μπορούν να δρουν σε κάθε θέση.

RD03: Παραπόταμος Σταυροπόταμος. Πηγάζει από την Πίνδο. Ακολουθεί διαφορετική πορεία από το Βενέτικο και καταλήγει αρκετά χιλιόμετρα κατάντη, κοντά στο σημείο, το οποίο είναι στο δρόμο Γρεβενών – Δεσκάτης ανάμεσα στα χωριά Δήμητρα και Παλιουριά Γρεβενών (Εικόνα 6.31α & β). Στον παραπόταμο αυτό ανιχνεύτηκε σε ορισμένα μόνο δείγματα, μικρή ποσότητα ινών αμιάντου. Η μέγιστη τιμή που βρέθηκε ήταν 0,23MFL, ενώ σε δύο δείγματα δεν ανιχνεύτηκε καθόλου αμιάντος (Σχήμα 6.31). Η μικρή αυτή ποσότητα, που περιστασιακά ανιχνεύεται, αποδίδεται στην ήπια ανθρώπινη παρουσία στην περιοχή. Η πιθανότητα να προέρχεται από διάβρωση πετρωμάτων στην περιοχή των πηγών του ποταμού είναι μικρή λόγω της ήρεμης και σε μεγάλο μήκος, ροής του σε ιζήματα.



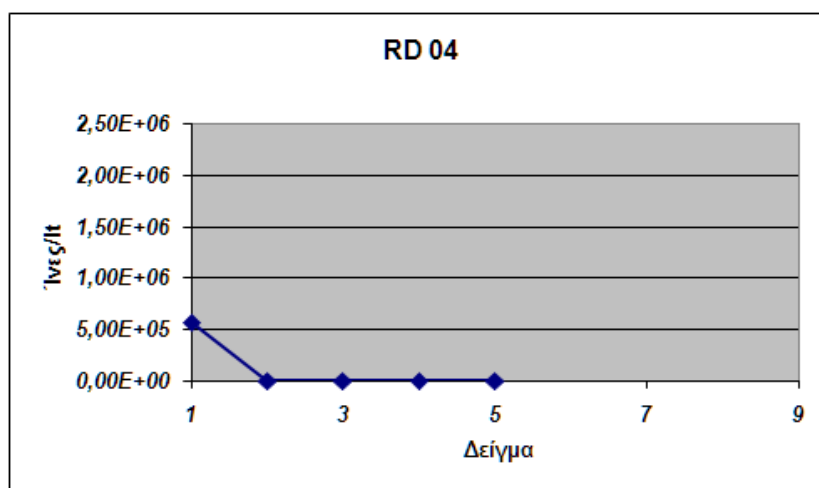
Εικόνα 6.31 α) Θέσεις δειγματοληψίας RD03 & RD04 και β) Τοποθεσία δειγματοληψίας RD03. Το σημείο πλέον ενίοτε είναι καταποτισμένο από τα νερά της λίμνης του φράγματος Ιλαριώνα.

Από το 2013 η θέση αυτή βρίσκεται στα ανάντη όρια της νεοοχηματισθείσας λίμνης του φράγματος Ιλαρίωνα και ενδεχομένως κάποιες φορές να είναι καταποντισμένη από τα νερά της.



Σχήμα 6.31 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RD03 σε ίνες ανά lt

RD04: Περίπου ένα χιλιόμετρο μετά την θέση RD03 με κατεύθυνση τη γέφυρα Παναγίας βρίσκεται μικρότερο ρέμα με νερό όλο το χρόνο. Στο ρέμα έγιναν πέντε (5) συνολικά δειγματοληψίες.



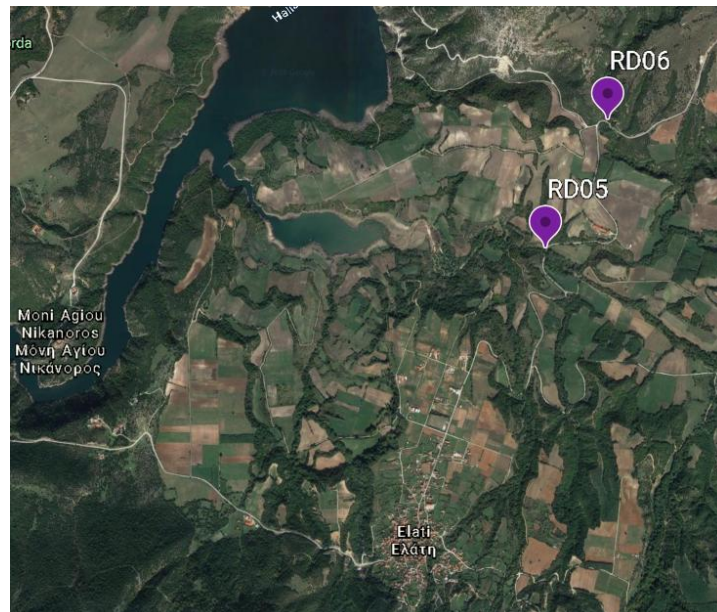
Σχήμα 6.32 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RD04 σε ίνες ανά lt

Μόνο κατά την πρώτη δειγματοληψία βρέθηκε μια παρουσία ινών αμιάντου της τάξης του 0,5MFL. Κατά τις επόμενες μετρήσεις η τιμή αυτή δεν επιβεβαιώθηκε, καθώς όλα τα άλλα δείγματα βρέθηκαν χωρίς καθόλου ίνες (Σχήμα 6.32). Πιθανότατα κάποια συγκυριακή τοπική ανθρώπινη δραστηριότητα έδωσε αυτήν την τιμή. Σε όλο του το μήκος το

ρέμα αυτό διαρρέει περιοχές με ιζήματα κυρίως της Μεσο-ελληνικής Αύλακας, οπότε είναι πολύ λογική η μη παρουσία αμιάντου στα νερά του.

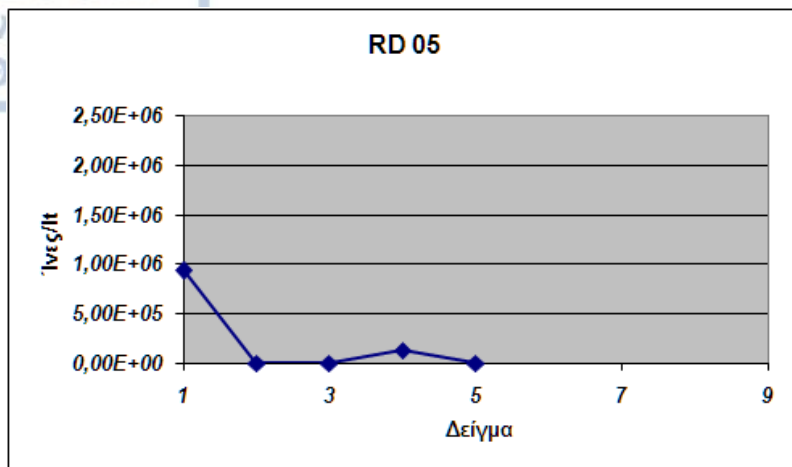
Η θέση αυτή βρίσκεται σε πολύ μικρή απόσταση από την RD03 και από το 2013 και αυτή βρίσκεται σε αρκετές περιπτώσεις κάτω από τα νερά της λίμνης που δημιουργήθηκε από το φράγμα Ιλαρίωνος, καθώς βρίσκεται πολύ κοντά στο ανάντη όριό της.

RD05: Η θέση αυτή είναι μετά την Ελάτη στο δρόμο προς Λαζαράδες. Είναι το 1^ο ρέμα που βρίσκουμε στο δρόμο αυτό. Πρόκειται για ρέμα με αρκετά μεγάλη παροχή (Εικόνα 6.32).



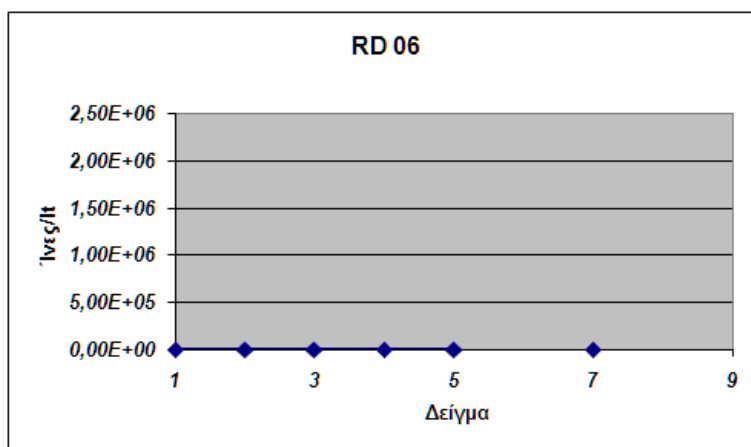
Εικόνα 6.31 α) Θέσεις δειγματοληψίας RD05 & RD06

Αν και η λεκάνη απορροής του δεν φαίνεται να περιλαμβάνει πετρώματα που φιλοξενούν ορυκτά αμιάντου, εντούτοις σε δύο δείγματα ανιχνεύτηκε η παρουσία ινών αμιάντου. Μάλιστα στο ένα από τα δύο η συγκέντρωση ήταν αρκετά υψηλή. Η πιθανή τους προέλευση είναι είτε κάποια αμφιβολικά ορυκτά στα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα της περιοχής, όπως ο ακτινόλιθος, είτε κάποιες χρήσεις προϊόντων αμιάντου από τους κατοίκους της σχετικά αραιοκατοικημένης περιοχής (Σχήμα 6.33).



Σχήμα 6.33 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RD05 σε ίνες ανά lt

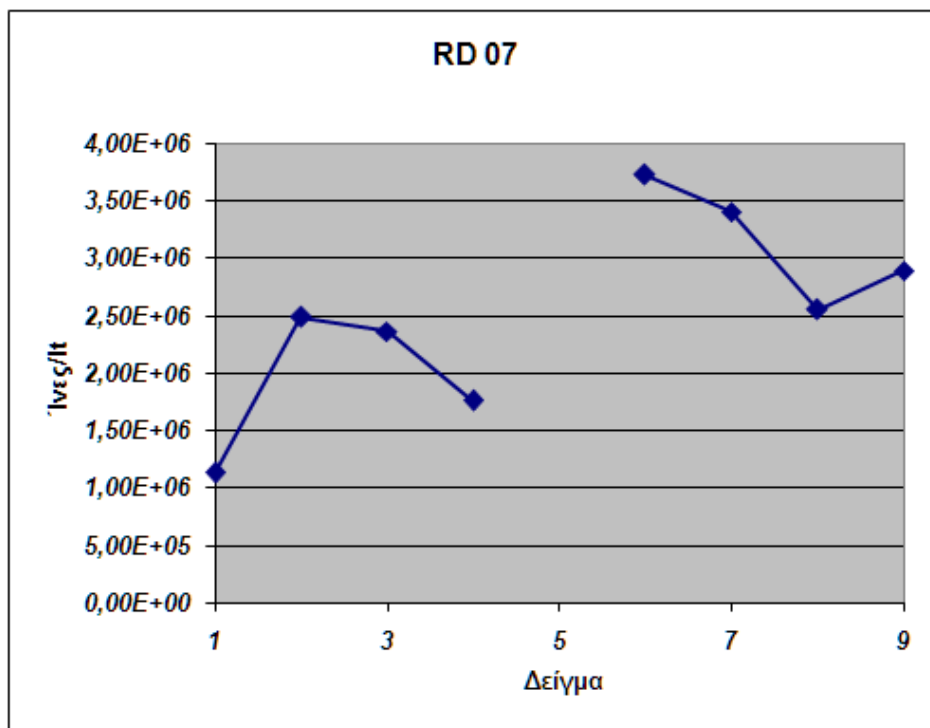
RD06: Η θέση αυτή βρίσκεται μετά την Ελάτη στο δρόμο προς Λαζαράδες. Είναι το 2^ο ρέμα που βρίσκουμε στο δρόμο αυτό ακολουθώντας την κατεύθυνση αυτή (Εικόνα 6.31). Είναι λίγο βορειότερα από την προηγούμενη θέση. Ρέει σε πετρώματα του κρυσταλλικού υπόβαθρου της Πελαγονικής και σε πρόσφατα ιζήματα. Στη θέση έγιναν συνολικά έξι (6) δειγματοληψίες, καμία όμως δεν έδειξε κάποια ποσότητα αμιάντου (Σχήμα 6.34). Το αποτέλεσμα αυτό τόσο με βάση τη γεωλογία της περιοχής, όσο και την ανθρώπινη παρουσία κρίνεται ως απολύτως φυσικό.



Σχήμα 6.34 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RD06 σε ίνες ανά lt

RD07: Το σημείο αυτό είναι κοντά στα στείρα του ορυχείου αμιάντου της Μονής Ζιδανίου. Είναι το δεύτερο από τα ρέματα που

συναντάμε καθώς πηγαίνουμε από τη γέφυρα Ρυμνίου προς το ορυχείο της Μονής Ζιδανίου (Εικόνα 6.13α). Υπάρχει και ένα ακόμα ρέμα πριν από το ορυχείο που είναι πάντα ξερό. Το συγκεκριμένο ρέμα, αρχικά απορρέει την περιοχή του ορυχείου. Στη συνέχεια ακολουθεί πορεία περίπου τοξοειδή γύρω από την περιοχή του ορυχείου, περνώντας ακριβώς κάτω από τα στείρα του. Έχει νερό καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, το μεγαλύτερο διάστημα με ικανοποιητική παροχή. Πρόκειται για το σημείο ολόκληρου του ποταμίου συστήματος του Αλιάκμονα, στο οποίο βρέθηκαν οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης ινών εκφρασμένες σε ίνες ανά λίτρο. Στις μετρήσεις που έγιναν στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, οι τιμές που βρέθηκαν ήταν σταθερά αρκετά πάνω από το 1MFL, συνήθως με τιμή μεταξύ των 2-3MFL, ενώ βρέθηκαν και τιμές άνω των 3MFL. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε καμία περίπτωση δεν υπερέβησαν το όριο επικινδυνότητας των 7MFL (Σχήμα 6.35).

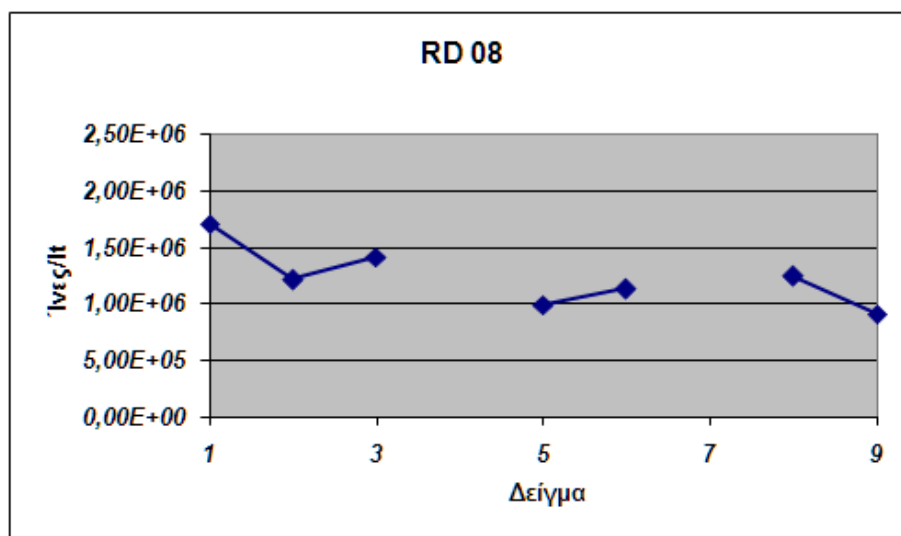


Σχήμα 6.35 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RD07 σε ίνες ανά lt

Οι συγκεντρώσεις αυτές των ινών αμιάντου στα νερά του συγκεκριμένου ρέματος, αν και σχετικά υψηλές, κρίνονται ως απόλυτα φυσιολογικές και αναμενόμενες. Ο λόγος είναι η άμεση γειτονία με το

μεγαλύτερο στην Ελλάδα κοίτασμα χρυσοτιλικού αμιάντου και του αντιστοίχως μεγάλου ορυχείου που λειτουργούσε την εποχή των δειγματοληψιών. Η πιθανότερη πηγή προέλευσης των ινών στο ρέμα είναι η απευθείας διάβρωση των πετρωμάτων που φιλοξενούν το κοίτασμα, αλλά και η διάβρωση του μεταλλεύματος. Σε μικρότερο βαθμό μπορεί η παρουσία των ινών να οφείλεται σε αιολική μεταφορά ινών από τα στείρα του ορυχείου. Η αιολική μεταφορά των ινών, έχει αναφερθεί ως σημαντικός παράγοντας στην ανάλυση των αποτελεσμάτων που αντιστοιχούν σε θέσεις του Αλιάκμονα, και ειδικότερα της λίμνης Πολυφύτου. Σε μικρά πλευρικά ρέματα όμως, η σημασία αυτού του παράγοντα ελαττώνεται. Ο λόγος είναι η μικρή έκταση της συνολικής επιφάνειας της κοίτης. Το γεγονός αυτό περιορίζει τις πιθανότητες κάποιες από τις αιωρούμενες και αιολικά μεταφερόμενες ίνες να καταλήξουν στο τέλος μέσα στην κοίτη του ποταμού, παρά μόνο εμμέσως. Αναμφίβολα όλη η λεκάνη απορροής του συγκεκριμένου παραποτάμου είναι γεμάτη από ίνες που μεταφέρονται από τον αέρα σε κάθε σημείο της και σε περιπτώσεις είτε πλημμυρικών φαινομένων ή και απλά σε φαινόμενα έντονης επιφανειακής απορροής να παρατηρείται μεταφορά των ινών από το έδαφος της λεκάνης απορροής στο εν λόγω �έμα. Ο παράγοντας αυτός δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μεγάλης βαρύτητας, καθώς η συνεισφορά του είναι περιστασιακή και εποχική κατά κύριο λόγο, αλλά θεωρούμε ότι συνεισφέρει με κάποια ποσότητα στον συνολικό αριθμό ινών. Το �έμα θεωρείται σημαντικό αυτό καθ' εαυτό, λόγω των μεγάλων συγκεντρώσεων που παρουσιάζει, ενώ ταυτόχρονα συμμετέχει κατά το δικό του μερίδιο στην ύπαρξη αμιάντου στα νερά του Αλιάκμονα. Το μερίδιο βέβαια στη συνολική επιβάρυνση είναι αρκετά μικρό, αν αναλογιστούμε ότι ελάχιστα χιλιόμετρα μετά τη συμβολή του ρέματος με τον Αλιάκμονα, δημιουργείται η λίμνη του Πολυφύτου με τεράστια διαφορά στον όγκο νερού, σε σχέση με το υπό εξέταση �έμα. Σε ακραίες περιπτώσεις δε το �έμα εκβάλλει απευθείας στη λίμνη όταν αυτή έχει την υψηλότερη στάθμη.

RD08: Είναι το πρώτο ρέμα που συναντάμε μόλις μπαίνουμε στον δρόμο που οδηγεί στα ορυχεία αμιάντου όταν τα προσεγγίζουμε από το χωριό Ρύμνιο. Η θέση αυτή όπως και η προηγούμενη βρίσκεται σε απόσταση λίγων χιλιομέτρων από το ορυχείο αμιάντου της μονής Ζιδανίου (Εικόνα 6.13α). Σε ακόμη μικρότερη απόσταση επίσης βρίσκεται από τα σείρα του ορυχείου με τα οποία υπάρχει και οπτική επαφή. Έχει αρκετή παροχή όλο το χρόνο. Η λεκάνη απορροής του περιλαμβάνει σχετικά λίγα από τα πετρώματα της οφιολιθικής εμφάνισης της περιοχής Ζιδανίου, στην οποία φιλοξενείται το κοίτασμα, σαφώς λιγότερα από ότι στην προηγούμενη θέση.



Σχήμα 6.36 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RD08 σε ίνες ανά lt

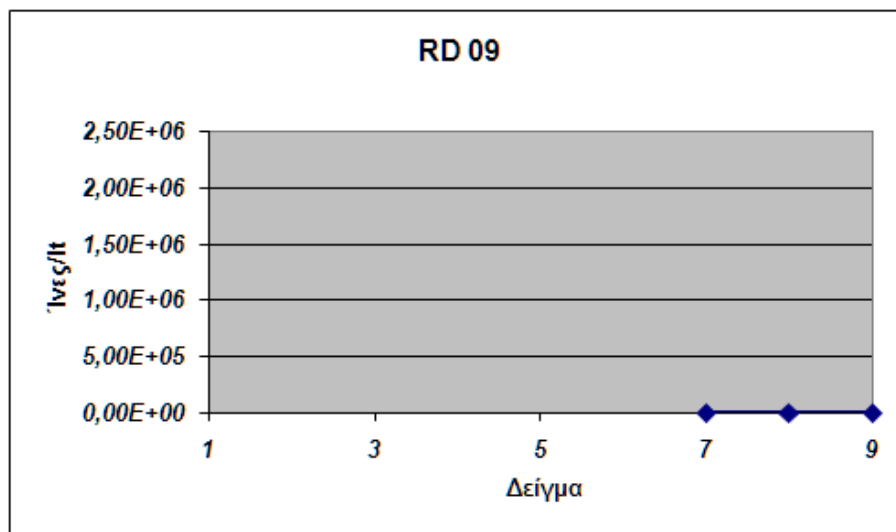
Εκτός από μία εξαίρεση, στις υπόλοιπες μετρήσεις που έγιναν στα δείγματα της θέσης αυτής, ανιχνεύτηκε ποσότητα ινών αμιάντου σαφώς μικρότερη από αυτήν της θέσης RD07 στην αντίστοιχη δειγματοληψία. Μάλιστα, σε γενικές γραμμές, οι τιμές που βρέθηκαν στη θέση είναι περίπου στο 50% αυτών της προηγούμενης θέσης (Σχήμα 6.36).

Ένα μέρος της συγκέντρωσης ινών στα νερά αυτού του ρέματος, οφείλεται στη διάβρωση των σχηματισμών της περιοχής. Ο παράγοντας αυτός στο συγκεκριμένο ρέμα έχει μικρή σημασία, αφού όπως αναφέρθηκε τα αμιαντοφόρα πετρώματα της λεκάνης του είναι λίγα. Ένα μέρος επίσης πρέπει να αποδοθεί στην απορροή ιζημάτων

εμπλουτισμένων σε ίνες χρυσουλικού αμιάντου. Όπως αναφέρθηκε στην περιγραφή της προηγούμενης θέσης, τα ιζήματα έχουν εμπλουτιστεί σε ίνες αμιάντου, λόγω της αιολικής μεταφοράς τους από τα στείρα του ορυχείου. Το υπόλοιπο και μεγαλύτερο κομμάτι της ποσότητας των ινών του ρέματος προέρχεται από απευθείας αιολική μεταφορά των ινών από τα στείρα και τις εγκαταστάσεις του ορυχείου. Η απόσταση που χωρίζει το ρέμα της θέσης αυτής με τα στείρα του ορυχείου είναι πολύ μικρή και ανάλογη αυτής που χωρίζει τα στείρα με την προηγούμενη θέση. Από τη σταθερή διαφορά των τιμών που πήραμε από τις δύο αυτές θέσεις, μπορούμε να συμπεράνουμε το βαθμό που συμμετέχει στις θέσεις αυτές, η αιολική μεταφορά των ινών. Η διαφορά της απόστασης μεταξύ των δύο θέσεων θεωρείται αμελητέα, λόγω της μικρής μάζας που έχουν οι μικροσκοπικές ίνες, που βρίσκονται κάτω από το επιτρεπτό μέγεθος εκμετάλλευσης, που απαρτίζουν σε σημαντικό βαθμό τα στείρα του ορυχείου. Όπως επίσης και το συνολικό εμβαδόν της κοίτης των δύο παραποτάμων θεωρείται ότι είναι σχεδόν ίδιο. Επιπλέον, και οι δύο αυτοί παραπόταμοι βρίσκονται προς την ίδια κατεύθυνση ως προς το ορυχείο, με αποτέλεσμα να προσβάλλονται από ίνες αμιάντου κάτω από τις ίδιες καιρικές συνθήκες. Θα έπρεπε λοιπόν να είναι πιο μικρές οι διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων σε αυτές τις δύο θέσεις, αν πρώτο ρόλο έπαιζε η αιολική μεταφορά των ινών. Διαφορές όμως, της τάξης του 50% μεταξύ των δύο θέσεων, μας οδηγούν στο συμπέρασμα, ότι στις υψηλές συγκεντρώσεις της θέσης RD07, η απευθείας αιολική μεταφορά των ινών από τα στείρα, αποτελεί ένα παράγοντα που δεν συμμετέχει στο τελικό αποτέλεσμα παραπάνω από 30% με το υπόλοιπο ποσοστό να οφείλεται στην έμμεση αιολική μεταφορά των ινών. Όπου έμμεση εννοούμε την αρχική τους απόθεση σε ιζήματα κοντά στα ρέματα και στη συνέχεια μεταφορά τους στο ρέμα μέσω της υδάτινης οδού.

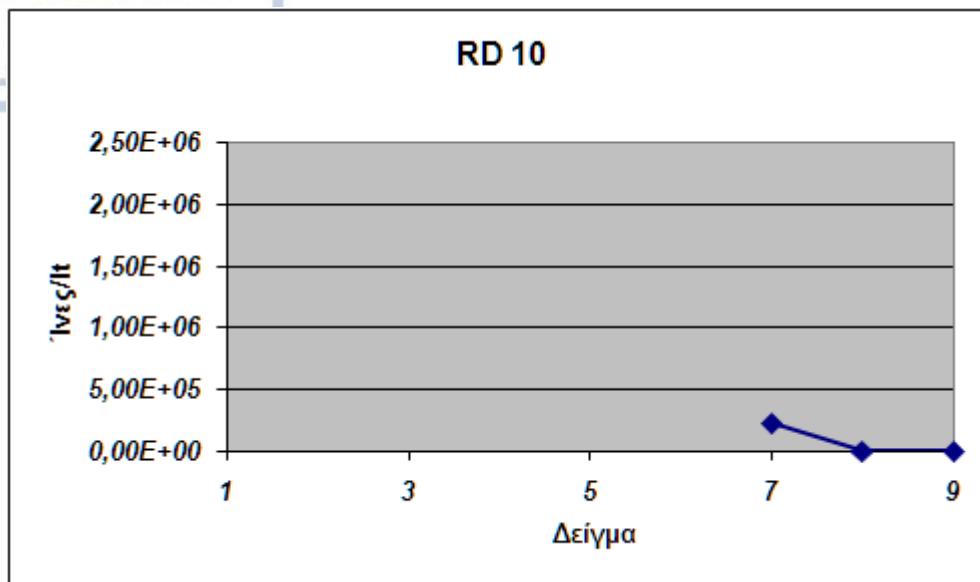
RD09: Η θέση αυτή είναι το πρώτο πλευρικό ρέμα από ανάντη προς τα κατόντη, που βρίσκεται στη δεξιά όχθη της περιοχής των λιμνών

Σφηκιάς - Ασωμάτων. Πηγάζει και απορρέει τις βόρειες παρυφές του όρους Πιέρια, όπου βρίσκεται μεγάλη οφιολιθική εμφάνιση. Περιελήφθηκε στις τελευταίες δειγματοληψίες. Στην περιοχή της λεκάνης απορροής του επικρατούν τα οφιολιθικά πετρώματα της ζώνης Αλμωπίας. Στα νερά του παραπόταμου αυτού σε όλες τις μετρήσεις δεν ανιχνεύτηκαν ίνες αμιάντου (Σχήμα 6.37).



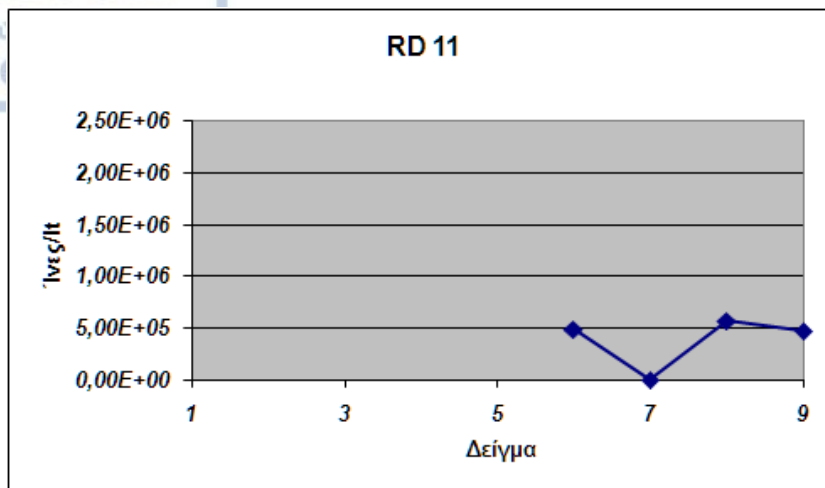
Σχήμα 6.37 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RD09 σε ίνες ανά lt

RD10: Η θέση αυτή είναι το δεύτερο από τα ανάντη προς τα κατόντη πλευρικό ρέμα που βρίσκεται στην δεξιά όχθη της περιοχής των λιμνών Σφηκιάς - Ασωμάτων. Απορρέει το βόρειο τμήμα των Πιερίων, την περιοχή των οφιολίθων. Έγιναν τέσσερις δειγματοληψίες στο τέλος της έρευνας. Εκτός από μια μικρή ποσότητα σε ένα μόνο δείγμα σε κανένα άλλο δείγμα δεν ανιχνεύτηκε αμιάντος. Η παρουσία ινών αμιάντου σε ένα μόνο δείγμα, θα μπορούσε να αποδοθεί στην παρουσία εμφανίσεων χρυσοιλικού αμιάντου στους σερπεντινίτες της οφιολιθικής ακολουθίας της περιοχής (Σχήμα 6.38). Στην περίπτωση αυτή θα ήταν το πιθανότερο να ανιχνευόταν κάποια, έστω και ελάχιστη παρουσία και σε κάποιο άλλο δείγμα. Για το λόγο αυτό, η παρουσία αμιάντου σε αυτό το ένα δείγμα, αποδίδεται σε κάποια περιστασιακή ανθρώπινη δραστηριότητα είτε από τους (λίγους πάντως) κατοίκους της περιοχής είτε από τις εγκαταστάσεις της ΔΕΗ στην περιοχή.



Σχήμα 6.38 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RD10 σε ίνες ανά lt

RD11: Η θέση αυτή είναι το τρίτο (προς τα κατάντη) πλευρικό ρέμα που βρίσκεται στην δεξιά όχθη της περιοχής των λιμνών Σφηκιάς - Ασωμάτων. Στη θέση αυτή έγιναν τέσσερις δειγματοληψίες. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν παρουσία ινών σε κάποια δείγματα και μάλιστα λίγο πάνω από το επίπεδο των 0,5MFL (Σχήμα 6.39). Βρέθηκαν όμως και «καθαρά» δείγματα, με αποτέλεσμα να μη μπορεί να βγει κάποιο ασφαλές συμπέρασμα για την προέλευση τους. Στη λεκάνη απορροής αυτού του χειμάρρου, υπάρχουν σερπεντινικές εμφανίσεις που θα μπορούσαν να τον τροφοδοτήσουν με κάποια ποσότητα ινών. Έχουν αναφερθεί εμφανίσεις τόσο χρυσοσιλικού αμιάντου, μεγέθους ινών μέχρι και 40cm, ενώ σε λατερίτες υπάρχει και αμφιβολικός αμιάντος (ριβεκίτης), που δικαιολογούν την παρουσία του αμιάντου. Η μεγάλη διακύμανση όμως των τιμών μας οδηγεί στη σκέψη ότι κάποιο ρόλο παίζει και η ανθρώπινη παρουσία στην περιοχή είτε εκ μέρους των εγκαταστάσεων της ΔΕΗ είτε των μονίμων κατοίκων της περιοχής. Πάντως η παροχή είναι χειμάρρια με μεγάλες διακυμάνσεις και σε κάθε περίπτωση δεν είναι εύλογο να αναμένονται σταθερά αποτελέσματα.



Σχήμα 6.39 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RD11 σε ίνες ανά lt

6.2.1.4. Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται κατ' αρχήν ότι σε καμία περίπτωση δεν ανιχνεύτηκε ποσότητα αμιάντου σε ποσότητα μεγαλύτερη από εκείνη που χαρακτηρίζει ως όριο επικινδυνότητας η EPA και ο WHO (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας), δηλαδή τα 7 εκατομμύρια ίνες ανά λίτρο νερού (MFL). Σε ελάχιστες μόνο περιπτώσεις έγινε ανίχνευση αμιάντου σε συγκεντρώσεις της τάξης του 50% αυτού του ορίου. Όλες αυτές οι περιπτώσεις αφορούσαν περιστασιακά υψηλές συγκεντρώσεις, ρέματα μικρής σχετικά παροχής, σε σύγκριση με την παροχή του Αλιάκμονα, περιοχές ήδη περιβαλλοντικά επιβαρημένες και μακριά από κατοικημένες περιοχές. Συγκεκριμένα πρόκειται για ορισμένα μόνο δείγματα των ρεμάτων που διαρρέουν τα μεταλλεία Σκούμτσιας και Ζιδανίου.

Σε περιοχές με υψηλή συγκέντρωση ινών αμιάντου επικρατούν τιμές λίγο πάνω από το 1MFL. Στις θέσεις αυτές περιλαμβάνονται αυτές που βρίσκονται σε σημεία της λίμνης Πολυφύτου, θέσεις στον Αλιάκμονα και πλευρικά ρέματα της περιοχής Ζιδανίου. Η μόνη περίπτωση που γεωγραφικά δε βρίσκεται στην περιοχή αυτή είναι ο παραπόταμος Γρεβενίτης στο σημείο συμβολής του με τον Αλιάκμονα.

Από τη μελέτη των θέσεων που παρουσιάζουν τις σχετικά υψηλότερες τιμές, είναι δυνατόν να διακριθούν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις (Χάρτης 6.2 - 6.5):

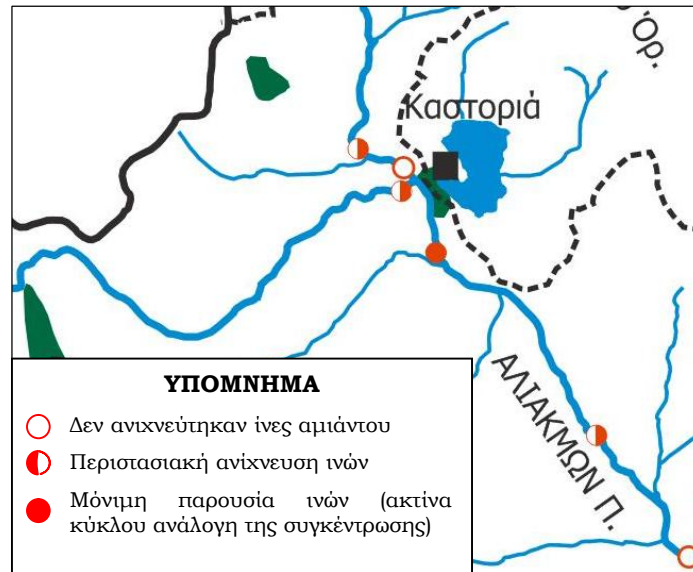
i) Στις θέσεις στις οποίες η παρουσία αμιάντου οφείλεται στα πετρώματα της λεκάνης απορροής τους. Περιλαμβάνονται οι θέσεις RD07, RD08 και RA18. Στις θέσεις που η λεκάνη απορροής τους περιλαμβάνει σερπεντινικές εμφανίσεις με παρουσία σερπεντινικού αμιάντου, οι τιμές που λαμβάνονται είναι σαφώς μικρότερες του 1MFL. Ο λόγος που τα ρέματα αυτά έχουν δώσει τις υψηλότερες συγκεντρώσεις είναι οι μεταλλευτικές δραστηριότητες στις περιοχές τους. Οι δραστηριότητες αυτές είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης αμιάντου στο φυσικό νερό με διάφορους τρόπους. Ο κύριος λόγος είναι ότι στις αποθέσεις στείρων, περιέχεται μεγάλη ποσότητα ινών αμιάντου, ειδικά όταν μιλάμε για εκμετάλλευση κοιτάσματος αμιάντου (περιοχή Ζιδανίου στην προκείμενη περίπτωση), χωρίς να αποκλείεται και το ενδεχόμενο, άλλες μικρές εμφανίσεις ινωδών ορυκτών να περιλαμβάνονται στα σείρα των μεταλλείων χρωμίτη. Άλλος βασικός λόγος είναι ότι έχουν έρθει στην επιφάνεια εμφανίσεις και όγκοι σερπεντινιτών που με βάση το φυσικό ανάγλυφο θα ήταν καλυμμένοι. Έτσι αυξάνει η διαθέσιμη προς διάβρωση επιφάνεια σερπεντινικών πετρωμάτων. Τέλος, σημαντικό ρόλο παίζει και το γεγονός της θραύσης των πετρωμάτων που περιέχουν τις ίνες. Οι ίνες έτσι απελευθερώνονται από τους δεσμούς που τις κρατούν στο πέτρωμα, με αποτέλεσμα να είναι πιο ευάλωτες στην διάβρωση και εύκολα μεταφερόμενες μέσω νερού ή μέσω αέρα. Δεν θα πρέπει να αγνοηθεί και το γεγονός ότι η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων αυτών περιλαμβάνει και εγκαταστάσεις στις οποίες η χρήση προϊόντων αμιάντου ήταν εκτεταμένη.

ii) Στις θέσεις εκείνες στις οποίες η αυξημένη παρουσία ινών αμιάντου οφείλεται κυρίως στη χρήση προϊόντων αμιάντου από τους κατοίκους της περιοχής. Οι θέσεις αυτές βρίσκονται κυρίως κοντά στα Γρεβενά (RD01 και AL08) και μια που περνάει μέσα από το χωριό

Κέντρο (RA09). Έκτος βέβαια από αυτές τις θέσεις στις οποίες έχουμε συγκεντρώσεις άνω του 1MFL, αυτός ο παράγοντας επιδρά και σε πάρα πολλές άλλες θέσεις, δίνοντας τιμές πολύ μεγαλύτερες του αναμενομένου, όχι όμως σε αυτά τα επίπεδα. Χαρακτηριστικό αυτής της κατηγορίας θέσεων είναι η αστάθεια στις τιμές, που οφείλεται στην ποικιλία των χρήσεων των προϊόντων αμιάντου (ύδρευση, άρδευση, δομικό υλικό βοηθητικών χώρων). Επειδή οι δραστηριότητες αυτές δεν διεξάγονται με την ίδια ένταση κάθε μέρα του έτους, είναι λογικό οι τιμές στις θέσεις αυτές να ποικίλουν ανάλογα με τις συγκυρίες που επικράτησαν την περίοδο της δειγματοληψίας, αλλά και περίοδο που προηγήθηκε.

iii) Στις θέσεις που εμφανίζουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ινών αμιάντου και είναι αυτές που βρίσκονται σε κάποια από τις τεχνητές λίμνες του Αλιάκμονα ή ακριβώς κατάντη τους, στην έξοδο των νερών από τα φράγματα ή τα εργοστάσια. Οι ταμιευτήρες των φραγμάτων δρουν συγκεντρωτικά για τις ίνες για διαφορετικούς λόγους. Ο πρώτος είναι ότι έχουν γεμίσει κυρίως με τα νερά του Αλιάκμονα, που, όπως φάνηκε, έχουν ήδη κάποιο σημαντικό ποσό ινών. Αυτό το γεγονός θα δικαιολογούσε συγκεντρώσεις αντίστοιχες με τις αμέσως ανάντη και ελαφρά κατώτερες ίσως, εφόσον τμήμα του όγκου των υδάτων που αποτελεί μια τεχνητή λίμνη προέρχεται από τα κατακρημνίσματα. Σχεδόν όμως σε όλες τις περιπτώσεις η τάση που επικρατεί είναι αντίστροφη, δηλαδή παρατηρείται αύξηση των ινών στην επιφάνεια των λιμνών. Ο βασικός λόγος στον οποίο οφείλεται το γεγονός αυτό, είναι η επιφάνεια πολλών τετραγωνικών χιλιομέτρων της κάθε λίμνης. Έτσι με αυτόν τον τρόπο οι ίνες που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα ή μεταφέρονται αιολικά έχουν πολύ μεγάλες πιθανότητες να πέσουν σε υδάτινη επιφάνεια απευθείας. Στην υπόλοιπη κοιλάδα του Αλιάκμονα όπου δεν υπάρχει φράγμα και η αντίστοιχη λίμνη στη συντριπτική τους πλειοψηφία οι αιωρούμενες ίνες διασκορπίζονται στην ξηρά, με ένα ελάχιστο ποσοστό να καταλήγει με αυτόν τον έμμεσο τρόπο στην κοίτη του ποταμού. Οι αιωρούμενες ίνες που καταλήγουν στην επιφάνεια των

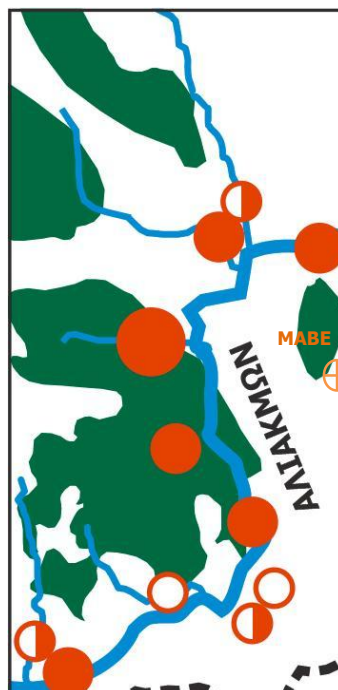
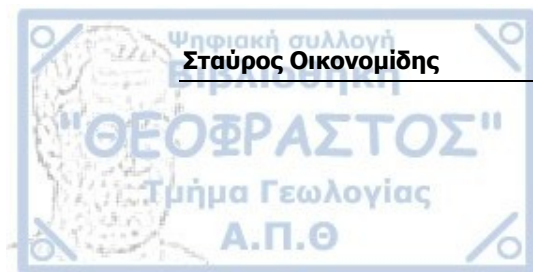
λιμνών λόγω βάρους και μορφολογίας, είτε παραμένουν μόνιμα στα επιφανειακά στρώματα της λίμνης είτε καθιζάνουν πολύ αργά, γεγονός που δίνει ακόμα μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα δείγματα που λαμβάνονται από το ανώτερο ένα μέτρο της λίμνης.



Χάρτης 6.2 Άνω ρους Αλιάκμονα (περιοχή Καστοριάς). Σχηματική απεικόνιση αποτελεσμάτων στο χάρτη.



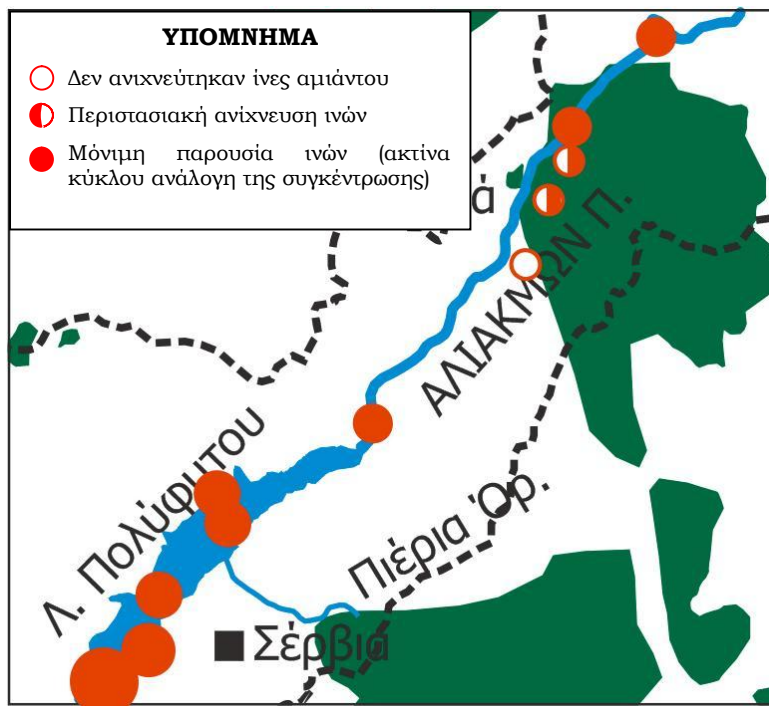
Χάρτης 6.3 Περιοχή Γρεβενών - Δυτικός Βούρινος. Σχηματική απεικόνιση αποτελεσμάτων στο χάρτη.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Δεν ανιχνεύτηκαν ίνες αμιάντου
- ◐ Περιστασιακή ανίχνευση ινών
- Μόνιμη παρουσία ινών (ακτίνα κύκλου ανάλογη της συγκέντρωσης)

Χάρτης 6.4 Στενά Αλιάκμονα, Ανατολικός Βούρινος, περιοχή Μεταλλείων ΜΑΒΕ. Σχηματική απεικόνιση αποτελεσμάτων στο χάρτη.



Χάρτης 6.5 Περιοχή λιμνών Πολυφύτου, Σφηκιάς και Ασωμάτων. Σχηματική απεικόνιση αποτελεσμάτων από το SEM στο χάρτη.

6.2.2. Αποτελέσματα μετρήσεων στο SEM κατά δειγματοληψία

Όπως έχει αναφερθεί και στην αρχή αυτής της έρευνας, έγιναν πολλές σειρές δειγματοληψιών σε διάφορες εποχές του έτους και κατά τη διάρκεια τεσσάρων ετών. Οι λόγοι ήταν: α) να διαπιστωθεί αν υπάρχει διαφοροποίηση στις περιεκτικότητες των νερών σε ίνες αμιάντου κατά την πάροδο των ετών και β) να διαπιστωθεί τυχόν διαφορά στις περιεκτικότητες στις διάφορες εποχές του έτους.

Οι περίοδοι κάθε έτους οι οποίες επιλέγηκαν για τις δειγματοληψίες ήταν: **α)** κατά την αρχή του υδρολογικού έτους, τους μήνες Σεπτέμβριο ή Οκτώβριο. Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από την χαμηλότερη στάθμη των υδάτων από όλη τη διάρκεια του έτους. Πολλά ρέματα την περίοδο αυτήν είναι ξερά. Τα νερά των ποταμών και ρεμάτων την εποχή αυτή προέρχονται σχεδόν καθ' ολοκληρία από τις πηγές των ποταμών και όχι από περιστασιακή επιφανειακή απορροή. **β)** Σε κάποιον από τους χειμερινούς μήνες, κατά προτίμηση μετά από κάποια περίοδο κακοκαιρίας. Στην περίπτωση αυτή τα νερά του ποταμού έχουν μεγάλη ποσότητα από νερά βροχοπτώσεων και φερτά υλικά. Εξετάστηκε μέσω αυτών των δειγμάτων η πιθανότητα, τα φερτά αυτά υλικά να περιέχουν αυξημένες ποσότητες ινών αμιάντου, διαβρωμένες λόγω αυξημένης επιφανειακής απορροής. **γ)** Σε κάποιον από τους μήνες της άνοιξης. Και πάλι η στάθμη των υδάτων σε πολλά ρέματα και ποτάμια βρίσκεται σε υψηλό σημείο, σε μόνιμη (καθημερινή) βάση αυτή τη φορά. Ο λόγος είναι ότι την εποχή αυτή λιώνουν τα χιόνια από τις περιοχές όπου πηγάζουν αυτά τα ποτάμια, με αποτέλεσμα αυξημένες παροχές από την περιοχή των πηγών τους.

Παράγοντες προέλευσης των ινών στα φυσικά νερά οι οποίοι δείχνουν να είναι άμεσα εξαρτώμενοι από την εποχή του έτους στην οποία γίνεται η δειγματοληψία, είναι η αυξημένη επιφανειακή απορροή, και κατά συνέπεια η αυξημένη επιφανειακή διάβρωση, κατά τους χειμερινούς μήνες, η αύξηση των βροχοπτώσεων, πάλι κατά τους χειμερινούς μήνες και (όσον αφορά τους ταμιευτήρες) η αύξηση της παροχής των ποταμών, που έχει ως συνέπεια την εισροή στις τεχνητές

λίμνες μεγαλύτερης ποσότητας νερού, άρα και αιωρούμενων ινών. Παράγοντες που επηρεάζουν την παρουσία ινών αμιάντου σε φυσικά νερά, αλλά δεν είναι εξαρτώμενοι από την εποχή του έτους που γίνεται η δειγματοληψία είναι: οι ανθρώπινες δραστηριότητες που περιλαμβάνουν τη χρήση προϊόντων αμιάντου, η αιολική μεταφορά των ινών και οι μεταλλευτικές δραστηριότητες στην περιοχή.

Η μελέτη έδειξε ότι δεν υπάρχει καμία σταθερή σχέση μεταξύ της εποχής που πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία και της παρουσίας ινών αμιάντου στο νερό κάποιου ποταμού. Το γεγονός αυτό μπορεί να μας οδηγήσει σε τρία συμπεράσματα:

- Οι παράγοντες που θεωρήθηκε ότι επηρεάζονται από την εποχή του έτους κατά την οποία γίνεται η δειγματοληψία, είναι ήσσονος σημασίας, συγκρινόμενοι με τους υπόλοιπους σταθερούς ή απρόβλεπτους παράγοντες.
- Η διακύμανση των τιμών που προκαλείται από την επίδραση αυτών των παραγόντων είναι μικρότερη από το σφάλμα της μελέτης.
- Οι παράγοντες αυτοί εσφαλμένα θεωρήθηκαν ότι είναι εξαρτώμενοι από την εποχή του έτους της δειγματοληψίας. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι τις περιόδους που υπάρχει μεγαλύτερη διάβρωση των αμιαντοφόρων πετρωμάτων ή εδαφών, αυτή συνοδεύεται με μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Η μετρήσεις δεν γίνονται σε απόλυτες τιμές, αλλά σε ίνες αμιάντου ανά λίτρο, συνεπώς υπάρχει η πιθανότητα ο λόγος ινών ανά λίτρο φυσικού νερού να μένει εν τέλει σταθερός.

Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι τα δείγματα που αντιστοιχούν στους πρώτους τέσσερις μήνες του έτους, είναι και πολύ δύσκολα στην παρακολούθηση τους στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο λόγω της μεγάλης ποσότητας φερτών υλικών που συνήθως περιέχουν.

Η δειγματοληψία σε διάρκεια μερικών ετών και σε διάφορες εποχές του έτους, μπορεί επίσης να μας υποδείξει και θέσεις οι οποίες παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά όσον αφορά τη συγκέντρωση των ινών αμιάντου. Όπως μπορεί να φανεί, από τις γραφικές παραστάσεις

και τον Πίνακα 2 (Παράρτημα) λίγες είναι οι θέσεις στις οποίες μπορεί να θεωρηθεί ότι έχουν ανάλογη συμπεριφορά κατά την πορεία του χρόνου. Στην πράξη διακρίνονται δύο ομάδες σημείων δειγματοληψίας στα οποία επικρατούν στις περισσότερες των περιπτώσεων αντίστοιχες τάσεις. Αυτές οι ομάδες είναι: **α)** οι θέσεις του μέσου ρου του Αλιάκμονα (AL07-12) και **β)** οι θέσεις της λίμνης Πολυφύτου και των λιμνών κατάντη της.

Αν εξετάσουμε όμως προσεκτικότερα τις δύο ομάδες αυτές, καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι είναι οι μοναδικές ομάδες θέσεων στις οποίες υπάρχει αντιστοίχιση των συνθηκών. Αναλυτικότερα, στην περίπτωση **α** έχουμε μερικές διαδοχικές θέσεις στον ποταμό Αλιάκμονα. Ο ποταμός ανάμεσα στις θέσεις αυτές ως επί το πλείστον διέρχεται από ιζήματα, είτε μολασσικά της Μεσο-ελληνικής Αύλακας είτε πρόσφατους τεταρτογενείς σχηματισμούς. Τα πλευρικά ρέματα που συμβάλλουν με τον κυρίως ποταμό εμφανίζουν μικρές συγκεντρώσεις ινών αμιάντου, οι οποίες σε συνδυασμό με την πολύ μικρή παροχή τους, συγκριτικά με τον Αλιάκμονα, δεν θεωρείται ότι συνεισφέρουν σημαντικά στη συνολική ποσότητα του αμιάντου που τελικά εμφανίζεται στις θέσεις του Αλιάκμονα. Η περιοχή επίσης έχει μικρής πυκνότητας και σταθερή ανθρώπινη παρουσία, οπότε και ο παράγοντας αυτός παραμένει σταθερός σε όλη την υπό εξέταση περιοχή. Στην περίπτωση **β**, έχουμε να κάνουμε με θέσεις οι οποίες βρίσκονται ως επί το πλείστον σε τεχνητές λίμνες. Ο όγκος των υδάτων στις θέσεις αυτές είναι πολύ μεγάλος για να εξαρτάται είτε από παροδικά φαινόμενα είτε από μεμονωμένες δραστηριότητες. Έτσι τα αποτελέσματα των θέσεων αυτών εμφανίζουν όχι μόνο μια παρόμοια συμπεριφορά, αλλά και μια σχετική σταθερότητα ανεξαρτήτως εποχής.

6.3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΙΝΩΝ ΣΤΟ TEM

6.3.1 Γενικά

Ο βασικός στόχος της παρούσας διατριβής δεν είναι τόσο η μελέτη του ποταμίου συστήματος του Αλιάκμονα, ως προς την παρουσία ινών ορυκτών αμιάντου στα νερά του, όσο η έρευνα για την καθιέρωση μιας νέας, εναλλακτικής ως προς την ήδη ισχύουσα, μεθοδολογίας με χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM). Για το σκοπό αυτό και συγκεκριμένα τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται από τις δύο αυτές μεθοδολογίες, στις τέσσερις τελευταίες σειρές δειγματοληψιών, τα δείγματα εξετάστηκαν εκτός από το SEM και στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διερχόμενης δέσμης (TEM).

Όπως και με τα παρασκευάσματα που κατασκευάστηκαν για την ανάλυση του δείγματος στο SEM, έτσι και σε αυτά που κατασκευάστηκαν για μέτρηση στο TEM, υπήρχαν δείγματα στα οποία δεν ήταν δυνατόν να γίνει μέτρηση. Ο λόγος για τους οποίους σε ένα δείγμα δεν πάρθηκε αποτέλεσμα είναι:

- Η ύπαρξη φερτών υλικών στο δείγμα. Τα φερτά υλικά μπορεί να μην επιτρέψουν τη μέτρηση επειδή:
 - ο Είναι τόσο μεγάλη η ποσότητα τους που δεν είναι δυνατόν να μπορέσουν να διακριθούν ορυκτές ίνες που βρίσκονται ανάμεσα σε άλλα υλικά.
 - ο Οι ίνες που παρατηρούνται βρίσκονται πάντα κοντά ή μαζί με άλλα σωματίδια, με αποτέλεσμα να μη μπορεί να διαπιστωθεί αν αποτελούν ορυκτές ίνες ή οργανικοί σχηματισμοί.
 - ο Το συνολικό βάρος των φερτών υλικών σε κάθε βρόγχο του πλέγματος, το οποίο χρησιμοποιείται για την παρατήρηση στο TEM, είναι τόσο μεγάλο, που δεν είναι δυνατόν το υμένιο άνθρακα, το οποίο στηρίζει τα αποτελέσματα της διήθησης μετά την απομάκρυνση του φίλτρου, να τα αντέξει.
- Η επεξεργασία με χλωροφόρμιο διακόπηκε πριν απομακρυνθεί πλήρως το φίλτρο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το παρασκεύασμα να έχει

τόσο πάχος ώστε να μη μπορεί να διέλθει η δέσμη από μέσα του και να είναι δυνατή η παρατήρηση και η λήψη αποτελέσματος.

- Κατά την επεξεργασία με χλωροφόρμιο δημιουργήθηκε κάποιο ρήγμα στα υμένα άνθρακα, πιθανότατα λόγω μεγάλης παραμονής σε περιβάλλον χλωροφορμίου, το οποίο κατά τη διάρκεια της παρατήρησης και λόγω της προσβολής του από τη δέσμη ηλεκτρονίων, διευρύνεται. Πολλές φορές μάλιστα το γεγονός αυτό οδηγεί το υμένιο σε πλήρη κατάρρευση. Στην περίπτωση αυτή, καθίσταται αδύνατη και η εξαγωγή αποτελέσματος.

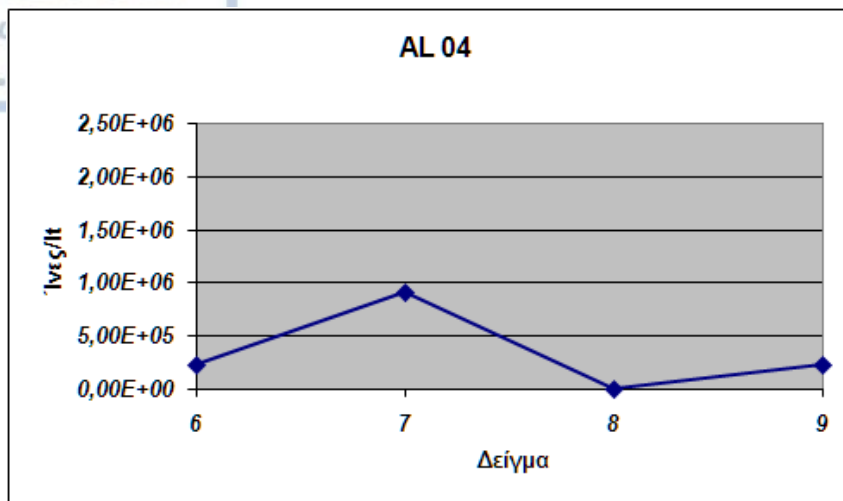
6.3.2 Αποτελέσματα μετρήσεων στο TEM κατά θέση

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα που έδωσε η μελέτη των δειγμάτων μόνο μέσω της μεθοδολογίας με χρήση TEM, στα δείγματα όπου αυτό αποφασίστηκε (Πίνακας 3 - Παράρτημα). Για τους λόγους που αναφέρονται παραπάνω σε ορισμένα δείγματα δεν έγινε δυνατή η εξαγωγή αποτελέσματος. Τα γενικότερα στοιχεία για κάθε θέση, η περιγραφή της και η τοποθεσία της, αναφέρονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο με τα αποτελέσματα στο SEM.

Συγκεκριμένα, κατά θέση αναλυτικά έχουμε:

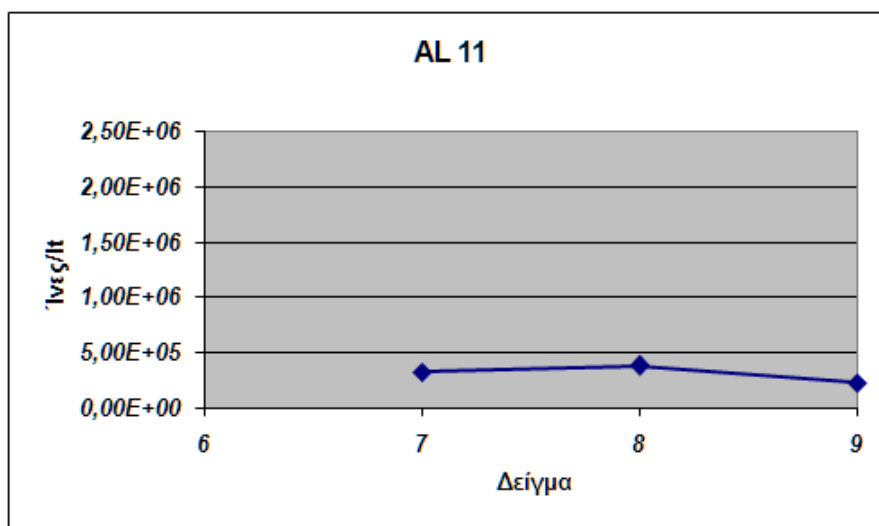
6.3.2.1 Θέσεις κοίτης Αλιάκμονα

AL04: Στην περιοχή αυτή, παρατηρήθηκαν εν γένει μικρές έως, μία φορά, μηδενικές συγκεντρώσεις ινών αμιάντου, εκτός από ένα μόνο δείγμα, στο οποίο βρέθηκαν υψηλές περιεκτικότητες του νερού σε ίνες αμιάντου (Σχήμα 6.40). Αυτή η ανωμαλία στις μετρήσεις στη συγκεκριμένη δειγματοληψία πιθανόν να οφείλεται σε τοπική και παροδική χρήση υλικών αμιάντου στην περιοχή. Εκτός από την εξαίρεση αυτή, οι υπόλοιπες χαμηλές τιμές οφείλονται στη μικρή υπερβασική εμφάνιση στην περιοχή και σε ανθρώπινες δραστηριότητες.



Σχήμα 6.40 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL04 σε ίνες ανά lt

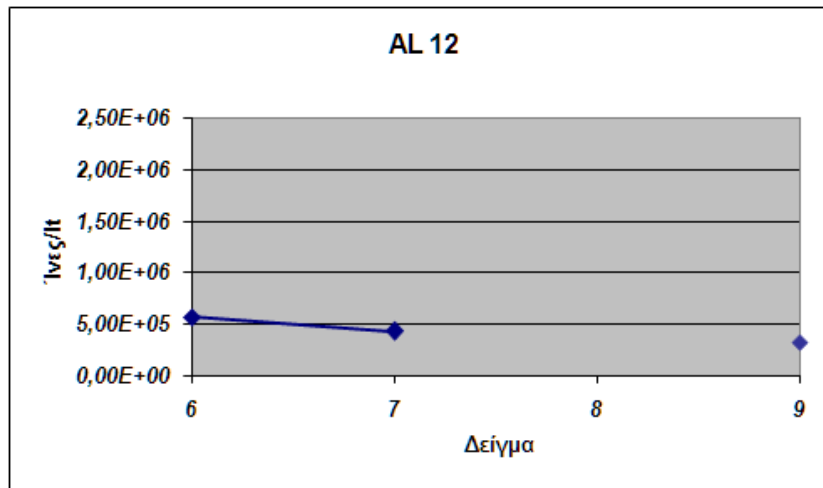
AL11: Στην εξέταση των δειγμάτων της περιοχής αυτής, έχει ανιχνευτεί η παρουσία ινών αμιάντου, η οποία κυμαίνεται σε τιμές περίπου 0,3MFL (Σχήμα 6.41). Επειδή η περιοχή βρίσκεται σε υπόβαθρο πλούσιο σε ορυκτά αμιάντου και μακριά από την περιοχή εξόρυξης, οι τιμές αυτές αποδίδονται σε διάβρωση των πετρωμάτων της περιοχής.



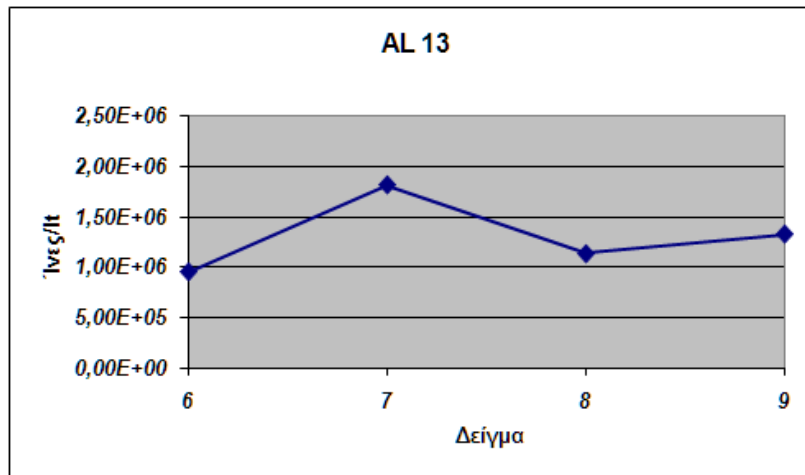
Σχήμα 6.41 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL11 σε ίνες ανά lt

AL12: Στο σημείο αυτό, οι συγκεντρώσεις αμιάντου έχουν πέσει σε μέση τιμή της τάξης του 0,5MFL (Σχήμα 6.42). Σε ένα μόνο δείγμα κάποια μέτρηση, έδωσε τιμή μεγαλύτερη. Η τιμή αυτή μπορεί να

θεωρηθεί ότι αντιπροσωπεύει τη συνεισφορά των πετρωμάτων της περιοχής σε ίνες αμιάντου στα νερά του ποταμού. Αντιπροσωπεύει επίσης το ποσό των ινών που βρίσκονται στη λίμνη Πολυφύτου και προέρχεται απευθείας από τον ποταμό Αλιάκμονα. Στις περιπτώσεις όπου ήταν δυνατό να γίνει σύγκριση, η θέση αυτή έδωσε μεγαλύτερες τιμές από την προηγούμενη. Αυτή η αύξηση οφείλεται αποκλειστικά στη διάβρωση των αμιαντοφόρων πετρωμάτων της περιοχής.



Σχήμα 6.42 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL12 σε ίνες ανά lt

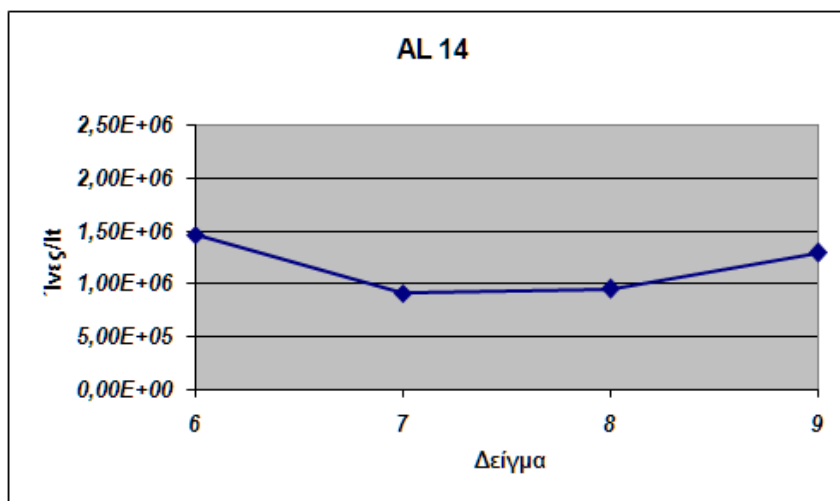


Σχήμα 6.43 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL13 σε ίνες ανά lt

AL13: Στη θέση αυτή τα δείγματα άλλοτε αντιπροσώπευαν ένα σημείο της λίμνης Πολυφύτου και άλλοτε το τελευταίο κομμάτι της κοίτης του Αλιάκμονα πριν δημιουργήσει τη λίμνη Πολυφύτου. Οι μετρήσεις στο TEM έδωσαν σχεδόν πάντα τιμές πάνω από το 1MFL,

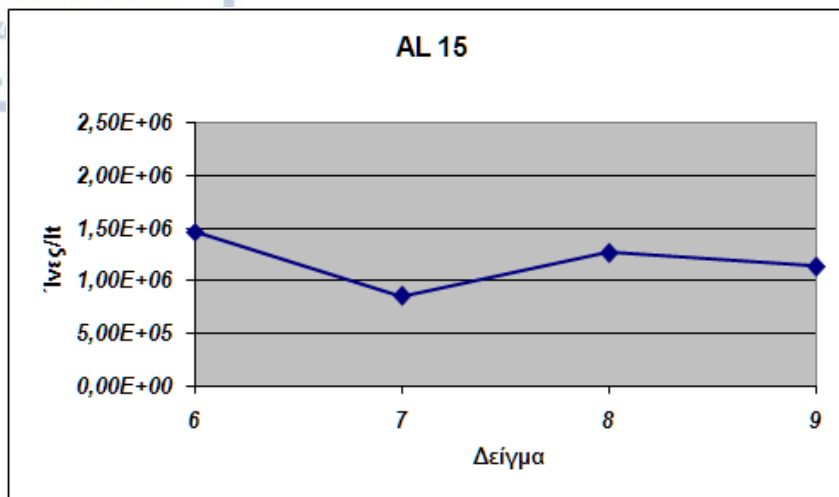
εκτός από την πρώτη δειγματοληψία, που ήταν ελάχιστα κάτω από αυτήν την τιμή (Σχήμα 6.43). Από τη θέση αυτή και κατόντη λαμβάνουμε τιμές από μετρήσεις που εξαρτώνται εκτός από τη διάβρωση των πετρωμάτων που περιέχουν εμφανίσεις αμιάντου και από τη μεταφορά μέσω αέρα των ινών από τα σείρα του ορυχείου.

AL14: Στην περίπτωση αυτή οι τιμές που μας έδωσε η μελέτη των δειγμάτων στο μικροσκόπιο κυμαίνονται γύρω από το επίπεδο του 1MFL (Σχήμα 6.44). Στις δύο περιπτώσεις ήταν ελαφρά κατώτερη της τιμής αυτής, ενώ στις υπόλοιπες δύο ήταν ανώτερη.



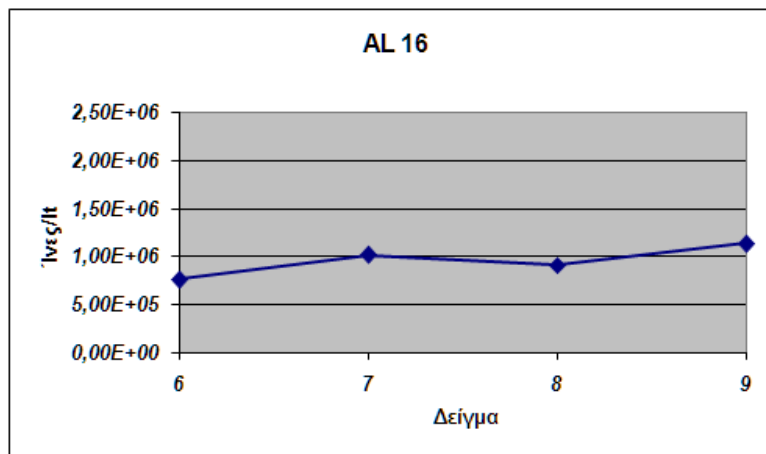
Σχήμα 6.44 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL14 σε ίνες ανά lt

AL15: Όπως και στην προηγούμενη θέση, η οποία αντιστοιχεί στην ίδια γέφυρα (Σερβίων) οι τιμές κατά μέσο όρο βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, αυτό του 1MFL (Σχήμα 6.45). Στις δύο τελευταίες θέσεις παρατηρείται μια σταθερότητα των αποτελεσμάτων τόσο μεταξύ τους όσο και κατά τις διάφορες εποχές δειγματοληψίας. Ο μεγάλος όγκος υδάτων στην περιοχή της γέφυρας Σερβίων καθιστά δύσκολο, αν όχι αδύνατο, τον επηρεασμό των μετρήσεων από παροδικά ή συμπτωματικά φαινόμενα.



Σχήμα 6.45 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL15 σε ίνες ανά lt

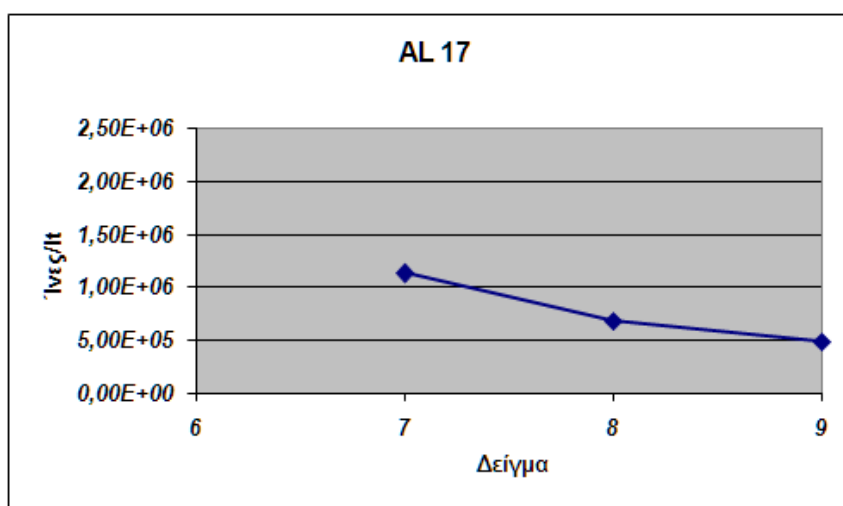
AL16: Η περιεκτικότητα σε ίνες ανά λίτρο σε όλες τις δειγματοληψίες φαίνεται σταθερή στα επίπεδα του 1MFL (Σχήμα 6.46). Αντίθετα όμως από τις προηγούμενες θέσεις, στη θέση αυτή μόνο σε μια περίπτωση η συγκέντρωση των ινών υπερβαίνει την παραπάνω τιμή.



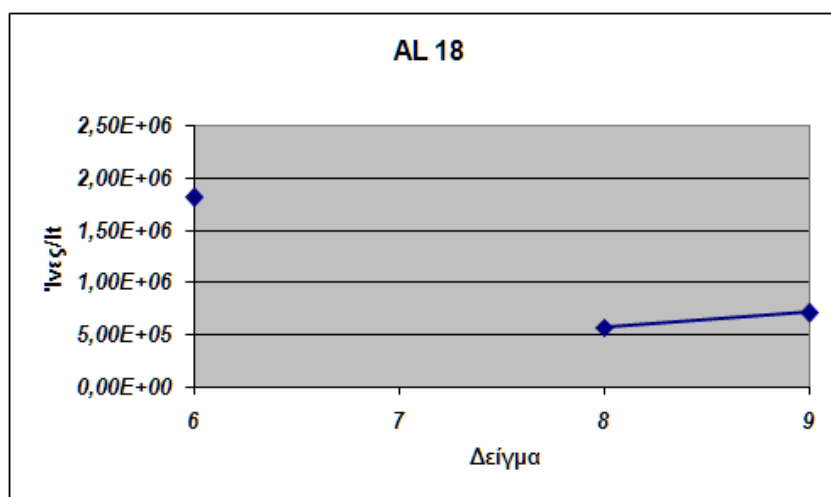
Σχήμα 6.46 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL16 σε ίνες ανά lt

Επίσης, εκτός από αυτήν τη συγκεκριμένη μέτρηση, στις υπόλοιπες σειρές δειγματοληψίας, εμφανίζεται μια τάση για ελαφρά μείωση στις τιμές της θέσης αυτής σε σχέση με αυτές της γέφυρας Σερβίων. Φαίνεται λοιπόν στα αποτελέσματα στο TEM, ότι η καθίζηση των ινών μέσα στη λίμνη, για το διάστημα μεταξύ του φράγματος και της γέφυρας, υπερβαίνει ελαφρά την αιολική μεταφορά των ινών πέρα από τη γέφυρα Σερβίων.

AL17: Όπως και όλες οι θέσεις που βρίσκονται επί των λιμνών που σχηματίζονται στα φράγματα του ποταμού Αλιάκμονα, έτσι και αυτή, παρουσιάζει κάποια συγκέντρωση σχετικά σταθερή ινών στα επίπεδα του 1MFL και λίγο χαμηλότερα (Σχήμα 6.47). Στην θέση αυτή, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, συνεχίζεται η τάση που εμφανίστηκε στην προηγούμενη θέση, της ελαφριάς μείωσης των τιμών δηλαδή, στη λίμνη της Σφηκιάς.



Σχήμα 6.47 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL17 σε ίνες ανά lt



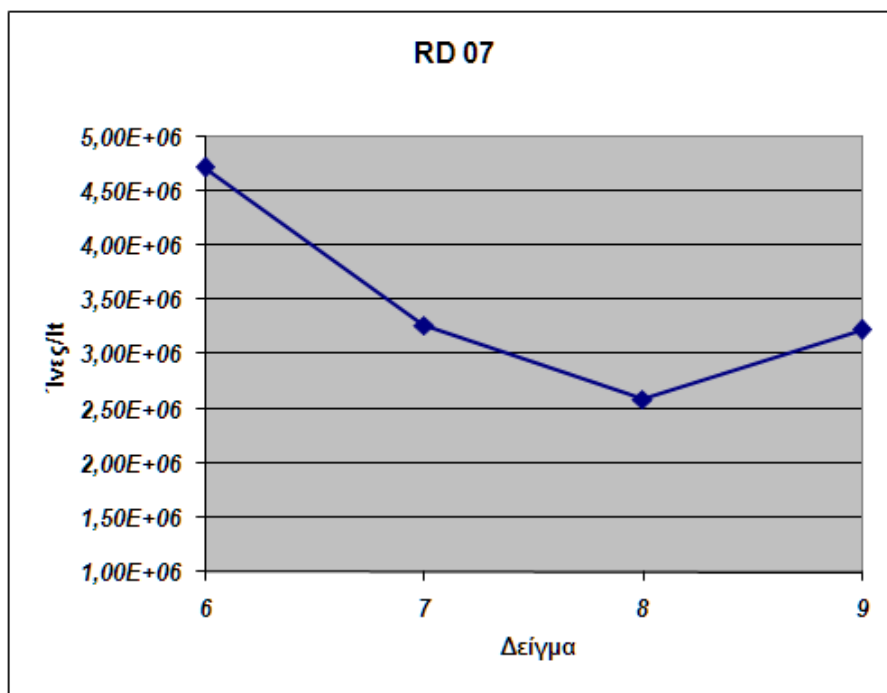
Σχήμα 6.48 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης AL18 σε ίνες ανά lt

AL18: Οι τιμές στη θέση αυτή ήταν σχετικά αυξημένες, κυρίως εν συγκρίσει με τις αμέσως ανάντη θέσεις, αν και σαφώς κάτω από τα όρια επικινδυνότητας, μόνο κατά την πρώτη δειγματοληψία. Στις υπόλοιπες οι τιμές ήταν πολύ χαμηλές, στα επίπεδα των άλλων θέσεων στις

τεχνητές λίμνες του Αλιάκμονα (Σχήμα 6.48). Επειδή το σημείο δειγματοληψίας βρίσκεται μετά την έξοδο των νερών από το φράγμα, πιθανόν κάποιο τυχαίο συμβάν (κάποια περιστασιακή χρήση αμιάντου) να δικαιολογεί την ανωμαλία αυτή στις μετρήσεις.

6.3.2.2 Θέσεις σε παραποτάμους της δεξιάς όχθης

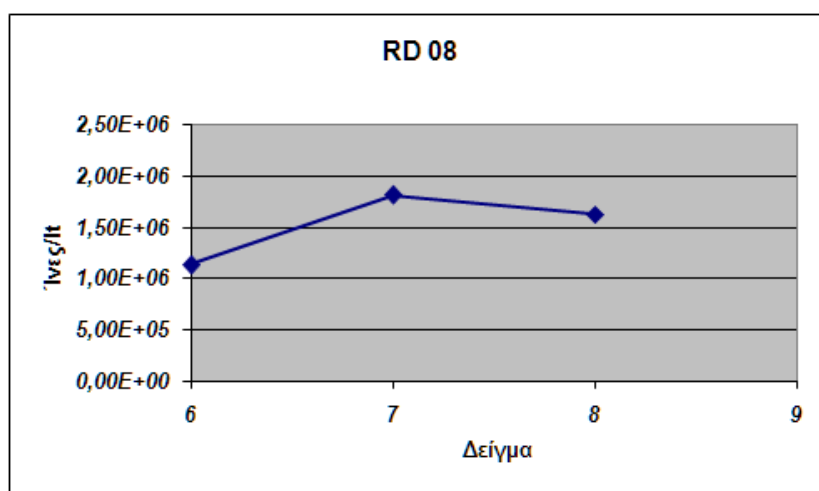
RD07: Στο ρέμα αυτό παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες τιμές ινών αμιάντου ανά λίτρο, με μεγάλη διαφορά, διπλάσιες από τις αμέσως μικρότερες. Αν και σε καμία περίπτωση οι τιμές δεν ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 7MFL, ήταν σε κάθε περίπτωση οι μεγαλύτερες σε κάθε δειγματοληψία, οι μοναδικές πάνω από τα 2MFL, και μάλιστα πάντα στα δείγματα που εξετάστηκαν στο TEM (Σχήμα 6.49). Οι τιμές αυτές χαρακτηρίζονται λογικές με βάση την τοποθεσία του ρέματος αυτού και οφείλονται αποκλειστικά στο κοίτασμα της μονής Ζινδανίου είτε από απευθείας διάβρωση του κοιτάσματος είτε λόγω μεταφοράς ινών από τα στείρα του ορυχείου.



Σχήμα 6.49 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RD07 σε ίνες ανά lt

RD08: Στη θέση αυτή έχουμε τις δεύτερες μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ινών ανά λίτρο, σε κάθε περίπτωση πάνω από 1MFL, με μέση τιμή στο 1,5MFL (Σχήμα 6.50). Στη λεκάνη απορροής του

συγκεκριμένου ρέματος δεν εμφανίζονται υπερβασικά πετρώματα, που πιθανόν να φιλοξενούν ορυκτά αμιάντου, άρα πρέπει να αποκλειστεί η περίπτωση διάβρωσης πετρωμάτων. Οι τιμές αυτές οφείλονται σε ανθρωπογενή επίδραση, δηλαδή στα αποτελέσματα της μεταφοράς χρήσης και εξόρυξης του αμιάντου, όπως και στην αιολική μεταφορά τους από τα στείρα του ορυχείου, πολύ κοντά στα οποία διέρχεται το εν λόγω ρέμα.



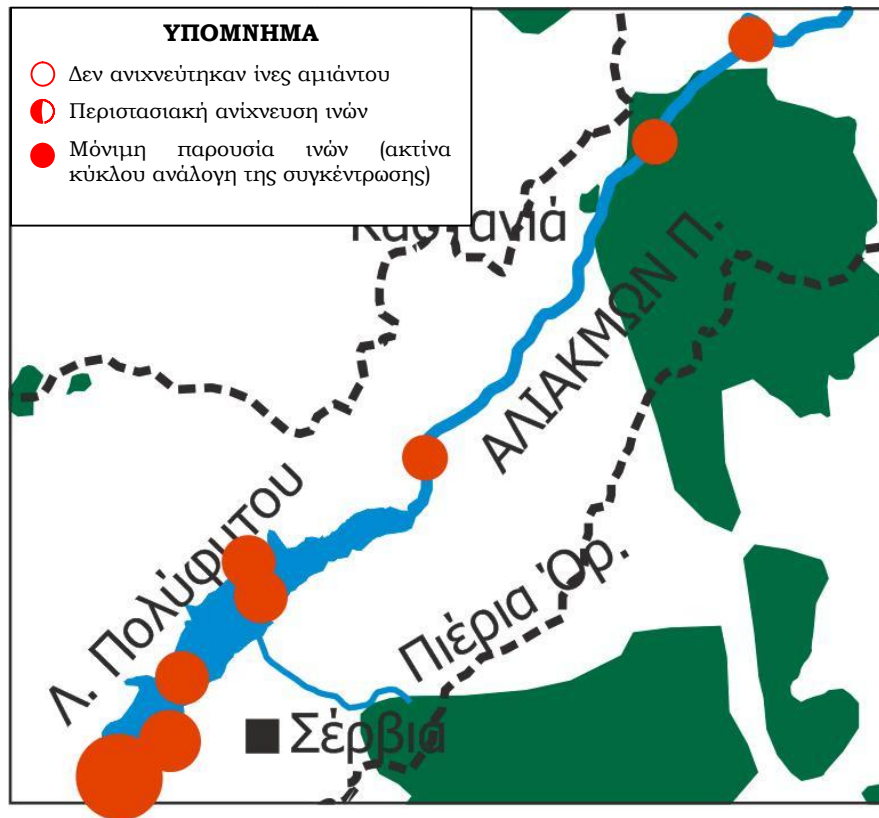
Σχήμα 6.50 Διάγραμμα αποτελεσμάτων θέσης RD08 σε ίνες ανά lt

6.3.3. Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται κατ' αρχήν ότι σε καμία περίπτωση στο TEM δεν ανιχνεύτηκε ποσότητα αμιάντου σε ποσότητα μεγαλύτερη από εκείνη που χαρακτηρίζει ως όριο επικινδυνότητας η EPA και ο WHO (7MFL). Σε μία μόνο θέση (RD07) παρουσιάστηκαν μεγάλες συγκεντρώσεις, αλλά ακόμα και στην περίπτωση αυτή, δεν ξεπέρασαν ούτε τα 5MFL. Η θέση αυτή είναι η πλησιέστερη στο ορυχείο αμιάντου και είναι απόλυτα λογικό να εμφανίζει τα πιο επιβαρυνμένα νερά. Στις υπόλοιπες θέσεις, δεν εμφανίστηκε κανένα δείγμα που να έδωσε συγκέντρωση ινών αμιάντου μεγαλύτερη των 2MFL.

Όπως προκύπτει, σε όλες τις περιοχές που έγιναν μετρήσεις στο TEM και βρίσκονται κατάντη της γέφυρας Ρυμνίου, είτε σε όλα είτε σε ορισμένα μόνο δείγματα, ανιχνεύτηκαν τιμές λίγο πάνω από το 1 MFL. Στις θέσεις αυτές περιλαμβάνονται αυτές που βρίσκονται σε σημεία της

λίμνης Πολυφύτου, Σφηκιάς και Ασωμάτων και πλευρικά ρέματα της περιοχής Ζιδανίου. (Χάρτης 6.6).



Χάρτης 6.5 Περιοχή λιμνών Πολυφύτου, Σφηκιάς και Ασωμάτων. Σχηματική απεικόνιση αποτελεσμάτων από το TEM στο χάρτη.

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη των δειγμάτων στο TEM, η περιοχή μελέτης, με αυτήν τη μεθοδολογία, μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα τμήματα με παρόμοια «συμπεριφορά»:

ι) Στην πρώτη ομάδα, έχουμε τις θέσεις που βρίσκονται στον ποταμό Αλιάκμονα. Πρόκειται για τα σημεία μέχρι και τη μονή Ιλαρίωνος, πριν δηλαδή το σχηματισμό της πρώτης τεχνητής λίμνης, αυτής του Πολυφύτου. Τα δείγματα από τις θέσεις αυτές δίνουν σταθερά συγκεντρώσεις του επιπέδου του 0,5MFL, χωρίς κάποια δείγματα να ξεφεύγουν από το επίπεδο αυτό. Οι ίνες αμιάντου στα δείγματα αυτά θεωρείται ότι προέρχονται κυρίως από διάβρωση των πετρωμάτων της περιοχής, στα οποία υπάρχουν αρκετές εμφανίσεις σερπεντινικού (κυρίως) αμιάντου, ενώ κάποιο μικρό ποσοστό αποδίδεται και σε ήπιες αστικές και αγροτικές χρήσεις προϊόντων αμιαντοσιμέντου στις περιοχές των νομών Καστοριάς και Γρεβενών.

ii) Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τα δύο ρέματα που απορρέουν την περιοχή κοντά στο ορυχείο και συμβάλλουν στον Αλιάκμονα ανάντη της γέφυρας του Ρυμνίου. Αν και υπάρχει μεγάλη διαφορά στην ποσότητα των ινών που βρέθηκε στα νερά του καθενός ποταμού (οι τιμές στο RD07 είναι υπερδιπλάσιες κατά μέσο όρο από εκείνες του RD08), εντούτοις θεωρούνται μια κοινή ομάδα θέσεων. Ο λόγος είναι ότι υπάρχουν δύο μεγάλοι κοινοί παράγοντες για την προέλευση των ινών. Ο ένας είναι η μεταφορά μέσω αέρα ινών προερχομένων από τα σείρα του ορυχείου και ο δεύτερος είναι η μεταφορά τους μέσω των οχημάτων του ορυχείου και των εργαζομένων στα τμήματα των ρεμάτων που βρίσκονται κοντά στο δρόμο και κατάντη. Η μεγάλη διαφορά τελικώς στις συγκεντρώσεις ινών αμιάντου που παρατηρούνται στα δύο σημεία οφείλεται στο ότι το ρέμα που αντιστοιχεί στα δείγματα με κωδικό RD08 δεν περιλαμβάνει στη λεκάνη απορροής του πετρώματα που περιέχουν ορυκτά αμιάντου, ενώ αντιθέτως το ρέμα με κωδικό RD07 περιλαμβάνει στη λεκάνη απορροής του το κοίτασμα χρυσοσιλικού αμιάντου της μονής Ζιδανίου.

iii) Τρίτη ομάδα θέσεων με κοινά χαρακτηριστικά, αποτελούν οι θέσεις που βρίσκονται στις τεχνητές λίμνες του Αλιάκμονα. Από τη γέφυρα Ρυμνίου μέχρι και την έξοδο των νερών από το φράγμα Ασωμάτων στην περιοχή Βάρβαρες. Κατ' αρχήν, τα σημεία δειγματοληψίας που βρίσκονται στην επιφάνεια λίμνης έχουν κοινά χαρακτηριστικά, όπως μεγάλος όγκος νερού και μεγάλη επιφάνεια, τα οποία τα διαφοροποιούν από τις θέσεις οι οποίες βρίσκονται σε ποτάμια. Έτσι αυτά τα σημεία δείχνουν να έχουν μικρότερες διακυμάνσεις μεταξύ των δειγματοληψιών, εφόσον επηρεάζονται λιγότερο από περιστασιακούς παράγοντες που εξαρτώνται από χρήσεις προϊόντων αμιάντου. Όλες αυτές οι θέσεις εμφανίζουν πολλά τους δείγματα με τιμές πάνω από 1MFL και μέση συγκέντρωση ινών αμιάντου ανά λίτρο νερού σε όλη τη διάρκεια της έρευνας, λίγο πάνω ή λίγο κάτω από την τιμή αυτή. Με εξαίρεση την πιο κατάντη θέση, αυτή στο φράγμα Ασωμάτων, παρατηρείται στις περισσότερες σειρές

δειγματοληψίας, μια ελαφριά αλλά σταθερή μείωση των τιμών από θέση σε θέση, προχωρώντας προς τα κατόντη. Η τάση αυτή μοιάζει να ανατρέπεται μόνο μεταξύ των θέσεων AL17 και AL18.

6.3.3 Αποτελέσματα μετρήσεων στο TEM κατά δειγματοληψία

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των διαφόρων δειγματοληψιών μεταξύ τους δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια συσχέτιση της ποσότητας των ινών με την εποχή που γίνεται η δειγματοληψία (Πίνακας 4 - Παράρτημα). Δεν υπήρξε δηλαδή κάποια περίοδος κατά την οποία όλες οι θέσεις έδωσαν μέγιστα ή ελάχιστα.

6.4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ

Ένας από τους βασικότερους στόχους της διατριβής αυτής, ίσως ο σημαντικότερος, είναι το να προτείνει μία νέα μεθοδολογία για τη μέτρηση ινών αμιάντου στο νερό, με χρήση SEM. Για το σκοπό αυτό, το σημαντικότερο σημείο της έρευνας είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων που πάρθηκαν με τη χρήση της νέας αυτής μεθοδολογίας με εκείνα από τη χρήση της ήδη υπάρχουσας και παγκοσμίως χρησιμοποιούμενης, η οποία προβλέπει τη χρήση TEM. Από τις εννέα συνολικά σειρές δειγματοληψίας στις πέντε πρώτες, όπως έχει ήδη αναφερθεί και πιο πάνω, τα δείγματα εξετάστηκαν μόνο στο SEM. Έτσι η σύγκριση των αποτελεσμάτων έγινε σε έναν περιορισμένο αριθμό δειγμάτων που ελήφθησαν κατά τις τελευταίες τέσσερις δειγματοληψίες.

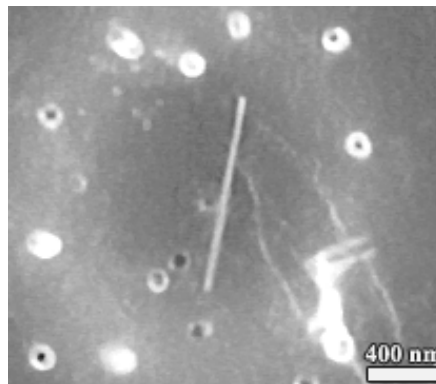
Η αρχική σύγκριση των αποτελεσμάτων έγινε με βάση τα τελικά αποτελέσματα που προήλθαν από τη μελέτη του ιδίου δείγματος με τη χρήση και των δύο διαφορετικών μεθόδων. Πριν γίνει απευθείας σύγκριση των αποτελεσμάτων, πρέπει να αναφερθούν ορισμένοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη σύγκριση. Αρχικά, σημαντικός παράγοντας είναι το γεγονός ότι η διατριβή έγινε σε πραγματικά δεδομένα από φυσικά νερά και όχι σε πειραματικά δείγματα που

δημιουργήθηκαν στο εργαστήριο με εισαγωγή ινών σε καθαρό νερό ή σε επιβαρημένα με ίνες νερά από περιοχές που είναι γνωστό ότι υπάρχει έντονο πρόβλημα. Αυτό έχει ως επακόλουθο, τα αποτελέσματα να μην είναι τα ιδανικά ώστε να γίνει σύγκριση των δύο μεθοδολογιών, λόγω των αποκλίσεων που είναι δυνατόν να παρουσιάσουν οι τιμές ακόμα και της ίδιας θέσης ανάμεσα σε διαδοχικές δειγματοληψίες. Επίσης, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, εκτός ελαχίστων περιπτώσεων, σε κάθε τομέα του φίλτρου εμβαδού $100\mu\text{m}^2$, βρέθηκαν λιγότερες από 2 ίνες κατά μέσο όρο. Ακόμα και αν η μέση τιμή αυτή βγήκε από υψηλό αριθμό μετρήσεων εννέα (9) με ομαλή κατανομή (5 τομείς με 2 ίνες, 2 με τρεις και 2 με έναν), έχουμε τιμές τυπικής απόκλισης 0,7 και εμπιστοσύνης 95% 0,46. Δηλαδή η τυπική απόκλιση είναι το 35% της συνολικής μέτρησης και ο δείκτης εμπιστοσύνης το 23%. Σημειωτέον ότι οι τιμές αυτές για τους συγκεκριμένους στατιστικούς δείκτες εκφρασμένες σε ποσοστό επί τοις εκατό είναι από τις χαμηλότερες δυνατές που βρέθηκαν στα δείγματα της έρευνας. Σε δείγματα με ακόμη μικρότερη περιεκτικότητα σε ίνες αμιάντου οι δείκτες αυτοί αυξάνονται κατά πολύ.

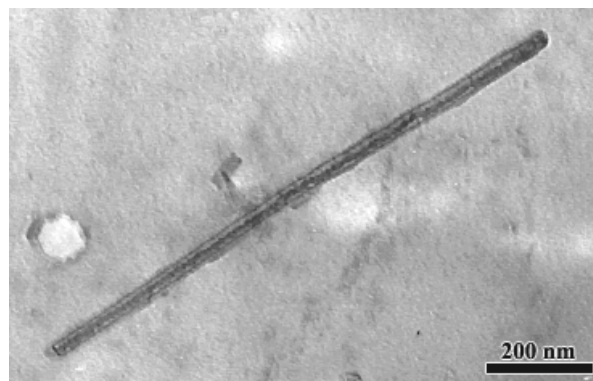
Ένας άλλος παράγοντας ο οποίος είναι δυνατόν να επηρεάσει τη σύγκριση είναι οι διαφορές στη διακριτική ικανότητα των δύο ηλεκτρονικών μικροσκοπίων. Αναφέρθηκε στο 2^ο κεφάλαιο που αφορά την ορυκτολογία και τις ιδιότητες των ορυκτών αμιάντου ότι οι ίνες αμιάντου έχουν διάμετρο 100nm και λόγο μήκους / διάμετρο, τουλάχιστον 20:1, εφόσον δεν είναι απλώς ινώδη ορυκτά, αλλά αμιαντόμορφα. Αυτό σημαίνει ότι οι ίνες έχουν μήκος τουλάχιστον $2\mu\text{m}$. Αυτού του μεγέθους οι ίνες είναι ανιχνεύσιμες στο SEM στις μεγεθύνσεις στις οποίες υπάρχει καλή ευκρίνεια ($\times 10.000$). Αυτή η διακριτική ικανότητα είναι οριακή για τις δυνατότητες του SEM, όσον αφορά την γρήγορη και ακριβή παραγωγή αποτελεσμάτων. Μεγαλύτερες μεγεθύνσεις ενώ είναι εφικτές, αφενός είναι πολύ πιο χρονοβόρες, αφετέρου είναι άσκοπες για τα μεγέθη ινών στις οποίες

αναφέρονται οι μεθοδολογίες (5μm μήκος) οι οποίες εντοπίζονται σαφώς.

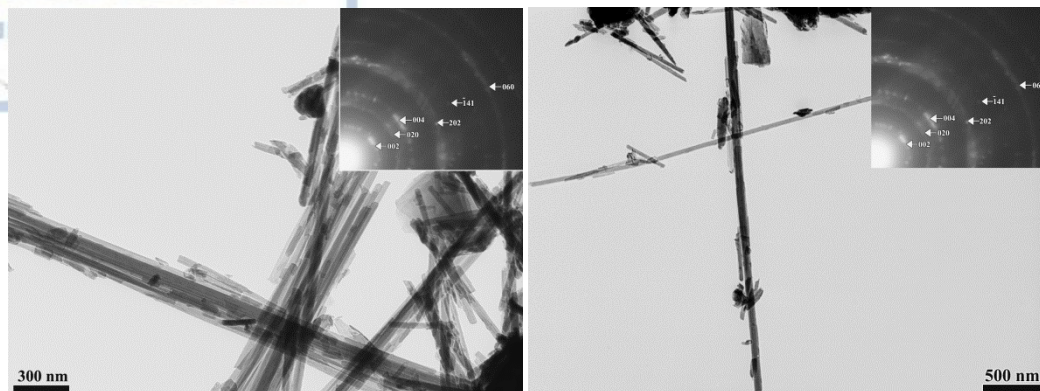
Το TEM έχει τη δυνατότητα να διαθέτει υψηλή ευκρίνεια και σε ακόμα μεγαλύτερες μεγεθύνσεις. Στις μεγεθύνσεις αυτές, είναι δυνατόν να παρατηρηθούν κάποια θραύσματα ινών αμιάντου (*fibrils*), μεγέθους κάτω του 1μm (Εικόνες 6.32 & 6.33). Αν και δεν πρόκειται για κανονικές ίνες αμιάντου και συνήθως είναι κάτω από το όριο που δίνει η μεθοδολογία της EPA, εντούτοις ανιχνεύονται ως ορυκτά που δίνουν αμιάντο, επιβεβαιώνονται με τη χρήση SAED και darkfield image, και στην έρευνα αυτή υπολογίστηκαν στο συνολικό ποσό ινών που είχε το δείγμα (Εικόνα 6.34α & β). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να υπάρχει μια γενικότερη τάση, οι μετρήσεις στο TEM, να δίνουν ελαφρά μεγαλύτερες τιμές από ότι οι αντίστοιχες στο SEM.



Εικόνα 6.32 Ινίδιο αμιάντου μήκους 1μm και διαμέτρου 50nm, όπως φαίνεται στο TEM (Darkfield image).



Εικόνα 6.33 Ινίδιο αμιάντου μήκους 1μm και διαμέτρου 50nm, όπως φαίνεται στο TEM (Brightfield image).



Εικόνα 6.34α & β Ίνες αμιάντου στο TEM με τα SAD patterns τους (Χρυσοτίλης)

Με βάση τους παράγοντες που προαναφέρθηκαν, έγινε η σύγκριση των μεθοδολογιών με χρήση των αποτελεσμάτων ιδίων δειγμάτων. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 56 δείγματα, από 4 διαδοχικές δειγματοληψίες και τα αποτελέσματα ήταν τα εξής:

- Σε 10 από τα δείγματα αυτά δεν ήταν δυνατό να παρθεί μέτρηση είτε με κάποια από τις δύο μεθόδους είτε σε 3 δείγματα με καμία από τις δύο.
- Σε 7 δεν ανιχνεύτηκαν ίνες αμιάντου. Χαρακτηριστικό είναι ότι σε όλες τις περιπτώσεις, στην ένδειξη αυτή συνέπεσαν και οι δύο μέθοδοι.
- Σε 4 από τα δείγματα υπήρξε απόκλιση των αποτελεσμάτων ανώτερη του 25%. Πρόκειται για το 8,7% επί των δειγμάτων που έδωσαν αποτέλεσμα και με τις δύο μεθόδους.
- Σε 2 δείγματα υπήρξε σύμπτωση των αποτελεσμάτων.
- Στα 23 δείγματα η μελέτη στο TEM έδωσε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ινών αμιάντου στα νερά.
- Στα 14 υπόλοιπα δείγματα, τις μεγαλύτερες τιμές τις έδωσε η μελέτη στο SEM.

Συνοπτικά λοιπόν, μπορεί να ειπωθεί ότι σε ποσοστό άνω του 90% των δειγμάτων υπάρχει απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων, μικρότερη από την τυπική απόκλιση του αποτελέσματος και του δείκτη εμπιστοσύνης 5%.

Αν μάλιστα εξεταστούν τα δείγματα στα οποία παρουσιάζονται οι μεγάλες αποκλίσεις, τότε παρατηρείται ότι σε αυτά δεν περιλαμβάνονται

περιπτώσεις δειγμάτων στα οποία ανιχνεύτηκε ποσότητα ινών άνω του 1MFL, σε οποιαδήποτε από τις 2 μεθόδους. Μάλιστα οι 2 από τις 4 περιπτώσεις αφορούν δείγματα με πολύ μικρή περιεκτικότητα ινών αμιάντου, γεγονός που κάνει δυσκολότερη την στατιστική ακρίβεια της μελέτης, αυξάνοντας κατά πολύ τις τιμές του επιτρεπτού στατιστικού λάθους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα σπουδαιότερα συμπεράσματα σε ότι αφορά την παρουσία ινών αμιάντου στο ποτάμιο σύστημα του Αλιάκμονα από την εφαρμογή των διαφόρων μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα είναι τα εξής:

- Σε καμία μέτρηση ανεξαρτήτως μεθοδολογίας δε βρέθηκε κάποιο δείγμα στο οποίο να ανιχνεύτηκε συγκέντρωση ινών αμιάντου σε ποσό μεγαλύτερο από το όριο που προτείνουν οι EPA και WHO (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας), το οποίο είναι 7MFL. Για την ακρίβεια σε ελάχιστα μόλις δείγματα, ανιχνεύτηκαν συγκεντρώσεις που υπερέβαιναν ελαφρά το μισό αυτής της τιμής. Επιπλέον οι υψηλότερες τιμές ανιχνεύτηκαν σε μικρά πλευρικά ρέματα, μικρής παροχής και σημασίας για τους κατοίκους της περιοχής.
- Η διάβρωση αμιαντοφόρων πετρωμάτων, ακόμα και σε περιπτώσεις περιοχών που η υπαίθρια παρατήρηση έδειξε εκτεταμένη παρουσία χρυσοτιλικών φλεβών ποτέ δεν έδωσε συγκεντρώσεις στα νερά μεγαλύτερες του 1MFL. Οι θέσεις αυτές, στην μεγάλη τους πλειοψηφία, εκτός από μεμονωμένα δείγματα, παρουσιάζουν μεγαλύτερη σταθερότητα στις τιμές των μετρήσεων διαδοχικών εποχών. Γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι καιρικές συνθήκες δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα τη συγκέντρωση του αμιάντου στο νερό.

- Η συγκέντρωση των ινών αμιάντου στα νερά του ποταμού και των τεχνητών λιμνών που σχηματίζονται από τα φράγματα στον Αλιάκμονα, παρουσιάζει πτωτική τάση σε περίπτωση που δεν υπάρχει επανατροφοδότηση του συστήματος σε ίνες. Σε διαδοχικές δηλαδή θέσεις κατά την ίδια δειγματοληψία, παρατηρείται σταθερή κατά μέσο όρο μείωση των τιμών των αποτελεσμάτων των μετρήσεων. Δηλαδή παρατηρείται αποθετική τάση των ινών αμιάντου προς τα κατάντη του ποταμού, τόσο σε ποτάμιο περιβάλλον, όσο και σε λιμναίο.
- Ο σημαντικότερος παράγοντας τροφοδότησης του ποτάμιου συστήματος με ίνες αμιάντου είναι τα στείρα του ορυχείου της μονής Ζιδανίου. Οι ίνες από τα ορυχεία καταλήγουν στα νερά του Αλιάκμονα και της λίμνης Πολυφύτου, μέσω αιολικής μεταφοράς ή μέσω απορροής από τα δύο ρέματα της περιοχής. Ο κύριος όμως παράγοντας είναι η αιολική μεταφορά. Αν και στα ρέματα τα οποία μεταφέρουν τις ίνες από τα στείρα του ορυχείου στον Αλιάκμονα και τη λίμνη Πολυφύτου, παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες συγκεντρώσεις από όλα τα σημεία δειγματοληψίας, η παροχή τους είναι αρκετά μικρή συγκρινόμενη με τον υδάτινο όγκο της λίμνης Πολυφύτου ώστε να δικαιολογεί ως βασικός παράγοντας την αυξημένη παρουσία ινών αμιάντου στα νερά της λίμνης.
- Στις περιπτώσεις που υπάρχει ακάλυπτη ροή κάποιου πλευρικού ρέματος, κοντά σε περιοχές με έντονη ανθρώπινη παρουσία, μπορεί κατά περίπτωση να παρατηρηθούν σχετικά υψηλές τιμές συγκέντρωσης ινών αμιάντου. Οι θέσεις αυτές χαρακτηρίζονται από μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ των διαφόρων δειγματοληψιών. Οι διακυμάνσεις αυτές κρίνονται φυσιολογικές εφόσον οι συγκεντρώσεις αμιάντου στις θέσεις αυτές δεν οφείλονται σε σταθερή αιτία, όσο σε κατεργασία προϊόντων αμιάντου από τους κατοίκους των περιοχών αυτών.
- Μελετώντας τα αποτελέσματα κάθε θέσης μεμονωμένα, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως δεν παρατηρήθηκε κάποια συσχέτιση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με την εποχή του έτους στην οποία

γίνεται η μέτρηση. Επίσης ούτε κατά την πορεία των ετών στα οποία έγινε η έρευνα παρουσιάστηκε κάποια τάση. Ακόμα και αν δε μελετήθηκε η κάθε θέση ξεχωριστά, αλλά συγκρίθηκαν δύο διαδοχικές περίοδοι δειγματοληψιών στο σύνολό τους, δεν διακρίνεται κάποια τάση ή κάποια συσχέτιση της περιόδου που γίνεται η δειγματοληψία, με την ποσότητα των ινών αμιάντου που βρίσκονται στο νερό.

- Οι δύο μεθοδολογίες δίνουν παρόμοια αποτελέσματα. Οι μεταξύ τους διαφορές περιορίζονται στα όρια του στατιστικώς αποδεκτού. Στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων, η απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο διαφορετικών μεθοδολογιών είναι σημαντικά μικρότερη ακόμα και από τα στατιστικώς αποδεκτά όρια. Μάλιστα δεν υπάρχει καμία περίπτωση, στα πλαίσια τουλάχιστον της παρούσας έρευνας, κατά την οποία η ξεχωριστή μελέτη μιας θέσης με τις δύο μεθοδολογίες, ανεξάρτητα, να έδωσε αλληλοσυγκρουόμενα συμπεράσματα.
- Τα δείγματα τα οποία έδωσαν υψηλότερες συγκεντρώσεις ινών αμιάντου στο νερό με χρήση της μεθόδου TEM ήταν περισσότερα. Το γεγονός αυτό κρίνεται ως αναμενόμενο, δεδομένης της καλύτερης ευκρίνειας του μικροσκοπίου TEM σε μεγεθύνσεις μεγαλύτερες του $\times 10.000$. Στη μεγέθυνση όμως αυτή είναι ευκρινώς διακριτές ίνες μεγέθους $2\mu\text{m}$, που είναι και το ελάχιστο μέγεθος που θα μπορούσε να θεωρηθεί επιβλαβές για τον οργανισμό. Οπότε ακόμα και αν υπάρχει η προαναφερθείσα μικροδιαφορά σε επιστημονικές μελέτες, σε περιπτώσεις περιβαλλοντικών μελετών η διαφορά αυτή εξανεμίζεται, επειδή οι ίνες που είναι διακριτές μόνο στο TEM είναι πολύ μικρές και δε λαμβάνονται υπόψη στη μελέτη της προστασίας της δημόσιας υγείας. Σύμφωνα με τους *Robertson et al. (1992)*, οι διαφορές στην ακρίβεια μεταξύ SEM και TEM, εμφανίζονται σε μικρές συγκεντρώσεις αμιάντου, γεγονός που περιορίζει την πιθανότητα σφαλμάτων σε δείγματα μικρής σημασίας. Σε κάθε περίπτωση μεγεθύνσεις $\times 2.000$ θεωρούνται αποδεκτές στην παγκόσμια έρευνα (*Kiefer et al, 1987*). Παρόλα αυτά η παρούσα

έρευνα έγινε στο σύνολό της με μεγαλύτερες μεγεθύνσεις, ανιχνεύοντας όλες τις ίνες που ήταν δυνατό ακόμα και κάτω από τα όρια κινδύνου που έχει θεσπίσει ο WHO.

- Η χημική ανάλυση που χρησιμοποιείται στη μέθοδο SEM, που δεν είναι ποσοτική, λόγω της μικρής διαμέτρου των ινών, παρόλα αυτά δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα συγκρινόμενα με εκείνα που λαμβάνονται από την παρατήρηση στο TEM και την χρήση SAED. Αν και λόγω του διαφορετικού τρόπου παρασκευής και προετοιμασίας των δειγμάτων δεν είναι δυνατή η μελέτη του ίδιου ακριβώς δείγματος και με τις δύο μεθόδους, η παρόμοια αποτελεσματικότητα των δύο μεθόδων και οι μικρές συνήθως αποκλίσεις μεταξύ τους, συνηγορούν υπέρ της αξιοπιστίας της ποιοτικής μικροανάλυσης που γίνεται με τη μέθοδο EDS στο μικροσκόπιο SEM.
- Με τη μέθοδο TEM τα δείγματα στα οποία τελικά δεν κατέστη δυνατόν να παρθεί αποτέλεσμα ήταν περισσότερα. Ο λόγος είναι οι δυσκολίες που υπάρχουν στην προπαρασκευή των δειγμάτων. Οι δυσκολίες αυτές μπορεί να οδηγήσουν σε διαδοχικές αποτυχίες, λόγω κάποιας, συνηθισμένης όπως φάνηκε στην πορεία αυτής της μελέτης, αστοχίας στη φάση της κατεργασίας με χλωροφόρμιο. Κυρίως όμως μπορεί να οδηγήσουν είτε σε αδυναμία μέτρησης είτε σε υπερβολική αραίωση δειγμάτων λόγω πληθώρας φερτών υλικών που μπορεί να υπάρχουν στο δείγμα, που ισοδυναμεί πρακτικά με αδυναμία μέτρησης.
- Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας προτείνεται η χρήση της μεθόδου SEM για περιβαλλοντικούς σκοπούς και τακτικές μελέτες που αφορούν τη μόλυνση των νερών με ίνες αμιάντου, ως ταχύτερη, οικονομικότερη, ευκολότερη και εξίσου ακριβής. Η μέθοδος αυτή κρίνεται ως αυτάρκης, όσον αφορά τις παραπάνω κατηγορίες μελετών. Σε περιπτώσεις μόνο που ο κύριος σκοπός είναι να προσδιοριστεί ακριβώς η ορυκτή φάση αμιάντου που βρίσκεται στο δείγμα νερού που εξετάζεται, θεωρείται απαραίτητη η από κοινού μελέτη του δείγματος και με τις δύο μεθόδους ή και μόνο τη μέθοδο με TEM.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1. Αποτελέσματα στο SEM κατά θέση

<i>Κωδικός θέσης</i>	<i>Ημερομηνία</i>	<i>Μετρήσεις</i>	<i>Μ.Ο.</i>	<i>Τυες\λίτρο</i>
AL 01				
	Οκτώβριος 1995	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Φεβρουάριος 1996	0,2,0,0,0,0,1	0.42	4.85E+05
	Απρίλιος 1996	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Νοέμβριος 1996	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
AL 02				
	Οκτώβριος 1995	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Φεβρουάριος 1996	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Απρίλιος 1996	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Νοέμβριος 1996	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
AL 03				
	Οκτώβριος 1995	0,0,0,0,1,0,0	0.14	4.04E+05
	Φεβρουάριος 1996	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Απρίλιος 1996	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Νοέμβριος 1996	0,1,0,0,0,0,0,0	0.125	1.41E+05
AL 04				
	Οκτώβριος 1995	0,1,1,0,0	0.4	4.53E+05
	Φεβρουάριος 1996	1,0,0,0,1,1	0.5	5.66E+05
	Απρίλιος 1996	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Νοέμβριος 1996	0,1,0,0,1	0.4	4.53E+05
	Ιούλιος 1997	-	0	
	Οκτώβριος 1997	0,0,1,0,0,1,0,0,0	0.22	2.52E+05
	Απρίλιος 1998	1,0,0,1,1	0.6	6.79E+05
	Ιούνιος 1998	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Οκτώβριος 1998	0,0,0,1,1,0,0	0.29	3.23E+05
AL 05				
	Οκτώβριος 1995	0,0,0,0,0,1,0,0	0.12	3.54E+05
	Φεβρουάριος 1996	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Απρίλιος 1996	0,1,0,0,0	0.2	2.26E+05
	Νοέμβριος 1996	0,0,0,0,1,0,1	0.29	3.23E+05
AL 06				
	Οκτώβριος 1995	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Φεβρουάριος 1996	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Απρίλιος 1996	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00



Κωδικός θέσης

Ημερομηνία

Μετρήσεις

Μ.Ο. Τυες\λίτρο

Νοέμβριος 1996

0,0,0,0,0

0

0.00E+00

AL 07

Νοέμβριος 1996

1,2,0,0,0

0.6

6.79E+05

Ιούλιος 1997

-

0

Οκτώβριος 1997

0,1,0,0,1,0,0,1

0.38

4.24E+05

Απρίλιος 1998

1,0,0,0,1,0,0

0.29

8.08E+05

AL 08

Οκτώβριος 1995

2,0,1,0,2,0

0.83

1.17E+06

Φεβρουάριος 1996

1,0,0,0,0

0.2

5.66E+05

Απρίλιος 1996

-

0

Νοέμβριος 1996

0,2,0,0,0,1,0

0.43

4.85E+05

Ιούλιος 1997

1,0,0,0,0,1,0,1

0.38

1.06E+06

Οκτώβριος 1997

1,0,0,2,0,2,0

0.71

8.08E+05

Απρίλιος 1998

1,0,1,0,0

0.4

1.13E+06

AL 09

Φεβρουάριος 1996

0,1,1,1,0

0.6

6.79E+05

Απρίλιος 1996

1,0,0,1,0,0,0,0

0.25

7.07E+05

Νοέμβριος 1996

-

0

Ιούλιος 1997

1,2,0,2,0,1,0

0.86

9.70E+05

Απρίλιος 1998

0,0,0,0,1,1

0.33

9.34E+05

AL 10

Οκτώβριος 1995

0,1,0,0,0,1

0.33

9.34E+05

Φεβρουάριος 1996

0,0,0,1,0,0,0

0.14

4.04E+05

Απρίλιος 1996

0,0,0,0,2,2

0.57

6.47E+05

Νοέμβριος 1996

1,0,0,0,1,1,0,1

0.5

5.66E+05

Ιούλιος 1997

-

0

Οκτώβριος 1997

1,0,0,0

0.25

2.83E+05

AL 11

Φεβρουάριος 1996 -

0

Απρίλιος 1996

1,0,0,0,0,0,0,1

0.25

2.83E+05

Νοέμβριος 1996

1,1,0,0,2,0,0

0.57

6.47E+05

Ιούλιος 1997

0,0,0,0,1

0.2

5.66E+05

Οκτώβριος 1997

2,0,0,0,0,2,0,1,0

0.56

6.29E+05

Απρίλιος 1998

0,0,1,0

0.25

2.83E+05

Ιούνιος 1998

1,0,0,1,0,0,0

0.29

3.23E+05

Οκτώβριος 1998

-

0

AL 12

Οκτώβριος 1995

0,0,2,0,1

0.6

6.79E+05

Κωδικός θέσης	Ημερομηνία	Μετρήσεις	Μ.Ο.	Τυε\λίτρο
	Φεβρουάριος 1996	0,1,0,0,1	0.4	4.53E+05
	Απρίλιος 1996	1,0,0,0,1,0,1,0	0.38	4.24E+05
	Νοέμβριος 1996	1,0,0,2,0	0.6	8.49E+05
	Ιούλιος 1997	1,0,2,0,0,0	0.5	5.66E+05
	Οκτώβριος 1997	2,0,0,0,1,1	0.57	6.47E+05
	Απρίλιος 1998	1,0,0,1,0,1,0	0.43	4.85E+05
	Ιούνιος 1998	-	0	
	Οκτώβριος 1998	1,1,0,0,0,0,0,1,0	0.33	3.77E+05

AL 13

Απρίλιος 1996	1,2,0,0,1,1	0.83	9.43E+05
Νοέμβριος 1996	1,1,1,1,0,1,1	0.86	9.70E+05
Ιούλιος 1997	1,1,0,2,0,2	1	1.13E+06
Οκτώβριος 1997	2,1,1,0,0,2,2	1.14	1.13E+06
Απρίλιος 1998	1,0,0,1,1,1,1,1,1	0.78	1.70E+06
Ιούνιος 1998	1,2,1,0,2,0,0,1,1	0.89	1.01E+06
Οκτώβριος 1998	1,0,1,1,2	1	1.13E+06

AL 14

Οκτώβριος 1997	0,1,0,2,1,1,1,3	1.13	1.27E+06
Απρίλιος 1998	1,0,1,1,2,0,1	0.86	9.70E+05
Ιούνιος 1998	1,0,2,1,0	0.8	9.05E+05
Οκτώβριος 1998	1,0,1,3,0,0,1,0,1,0	0.7	1.13E+06

AL 15

Οκτώβριος 1997	1,0,2,1,1,0,0,3,0,1	0.9	1.32E+06
Απρίλιος 1998	0,1,1,1,1,2,0	0.86	9.70E+05
Ιούνιος 1998	2,0,0,1,1,0,0,2,2	0.78	1.02E+06
Οκτώβριος 1998	1,1,1,1,0,1,2	1	1.13E+06

AL 16

Οκτώβριος 1997	1,0,1,1,1,2,0,1	0.88	9.90E+05
Απρίλιος 1998	1,1,1,1,1	1	1.13E+06
Ιούνιος 1998	0,2,0,1,1,1,1	0.86	9.70E+05
Οκτώβριος 1998	1,1,0,0,2,0,1,2,0	0.78	8.80E+05

AL 17

Οκτώβριος 1997	0,0,0,1,0	0.2	5.66E+05
Απρίλιος 1998	0,1,1,2,0,1,0,1	0.75	8.49E+05
Ιούνιος 1998	1,0,0,0,1,0,0,1,1	0.44	6.29E+05
Οκτώβριος 1998	1,0,2,0,0,0	0.5	5.66E+05

AL 18

Οκτώβριος 1997	2,1,2,1,1	1.4	1.58E+06
Απρίλιος 1998	0,1,0,0,1,1,1,0,2	0.66	7.47E+05



Κωδικός θέσης	Ημερομηνία	Μετρήσεις	Μ.Ο.	Τυε\λίτρο
RA 02	Ιούνιος 1998	1,1,1,1,0,0,0	0.57	6.47E+05
	Οκτώβριος 1998	0,2,1,0,0,0,1,1,0	0	6.29E+05
RA 03	Οκτώβριος 1995	1,0,1,0,2,0,0	0.57	8.06E+05
	Απρίλιος 1996	1,0,0,0,1	0.4	4.53E+05
	Νοέμβριος 1996	2,1,0,0	0.75	8.49E+05
	Ιούλιος 1997	3,1,0,0,0,1,1,0,1	0.78	8.80E+05
	Οκτώβριος 1997	1,1,1,1,0,0,1	0.71	8.08E+05
	Απρίλιος 1998	0,0,0,0,1	0	2.83E+05
RA 04	Φεβρουάριος 1996	1,0,1,0,0	0.4	5.66E+05
	Φεβρουάριος 1996	1,0,0,0,0,0	0.17	4.81E+05
RA 05	Φεβρουάριος 1996	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Φεβρουάριος 1996	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RA 07	Απρίλιος 1996	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Οκτώβριος 1995	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RA 08	Φεβρουάριος 1996	2,0,0,2,0	0.8	9.05E+05
	Απρίλιος 1996	-	0	
	Νοέμβριος 1996	1,0,0,0,0,1	0.33	3.73E+05
	Ιούλιος 1997	1,0,0,0,1,0,0,0,0	0.22	3.14E+05
	Οκτώβριος 1997	1,2,0,0,0,0,1,1	0.63	7.07E+05
	Απρίλιος 1998	0,0,0,0,0,1,1	0.29	8.08E+05
	Οκτώβριος 1995	0,3,2,1,0	1.2	3.40E+06
RA 09	Φεβρουάριος 1996	1,2,0,0,0,3,0,0	0.75	8.49E+05
	Απρίλιος 1996	0,0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RA 11	Απρίλιος 1996	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Οκτώβριος 1995	1,0,0,0,1,0,0,0	0.4	7.07E+05
RA 12	Φεβρουάριος 1996	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Απρίλιος 1996	0,1,0,0,0,0,1	0	3.23E+05



Κωδικός θέσης

Ημερομηνία

Μετρήσεις

Μ.Ο.

Τυεσ\λίτρο

RA 13

Νοέμβριος 1996

1,0,0,0

0.25

2.83E+05

Οκτώβριος 1995

0,0,0,0,0,0,0

0

0.00E+00

Φεβρουάριος 1996

0,0,0,0,0,0,0

0

0.00E+00

Απρίλιος 1996

1,0,0,0,0,0

0.17

1.89E+05

Νοέμβριος 1996

0,0,0,0,0,0,0

0

0.00E+00

Ιούλιος 1997

0,1,0,0,1,0,0

0.29

4.04E+05

Οκτώβριος 1997

0,0,0,0,

0

0.00E+00

Απρίλιος 1998

1,0,0,0,0

0.2

2.26E+05

RA 14

Φεβρουάριος 1996

0,0,0,0,0,0,0

0

0.00E+00

Απρίλιος 1996

0,0,0

0

0.00E+00

Νοέμβριος 1996

0,0,0,0,0

0

0.00E+00

RA 15

Απρίλιος 1996

1,0,1,1,1

0.8

9.05E+05

RA 16

Οκτώβριος 1995

-

0

Φεβρουάριος 1996

0,0,0,1,0

0.2

5.66E+05

Απρίλιος 1996

2,0,1,0,1,2

1

1.41E+06

Νοέμβριος 1996

1,1,1,1,0,1

0.83

9.43E+05

Ιούλιος 1997

0,0,0,1,1

0.4

4.53E+05

Οκτώβριος 1997

1,0,0,0,1,1,0

0.43

4.85E+05

Απρίλιος 1998

1,2,0,2,0,0,0,1

0.75

8.49E+05

RA 17

Οκτώβριος 1995

0,0,0,0,0

0

0.00E+00

Φεβρουάριος 1996

0,0,0,0,0,0

0

0.00E+00

Απρίλιος 1996

1,0,0,0,0,1,0,0

0.25

2.83E+05

Νοέμβριος 1996

1,0,0,0,1,1

0.5

5.66E+05

Ιούλιος 1997

0,0,0,0,0,0,0,0

0

0.00E+00

Οκτώβριος 1997

0,0,0,0,1,1

0.33

3.73E+05

Απρίλιος 1998

0,1,0,0,0,0

0.17

1.89E+05

RA 18

Οκτώβριος 1995

0,4,1,2,0

1.4

3.96E+06

Φεβρουάριος 1996

1,0,1,2,2

1.2

3.40E+06

Απρίλιος 1996

1,0,3,2,2,1,1,0

1.2

1.36E+06

Νοέμβριος 1996

0,1,1,1,2,1,0,0

0.75

1.06E+06

Ιούλιος 1997

2,2,1,1,0,0,2

1.14

1.62E+06

Οκτώβριος 1997

1,1,0,2,2,2

1.33

1.51E+06

Απρίλιος 1998

-

0



Κωδικός θέσης

Ημερομηνία

Μετρήσεις

Μ.Ο. Τυες\λίτρο

RD 01

Οκτώβριος 1995	1,0,0,0,1,0,1,1	0.5	1.41E+06
Φεβρουάριος 1996	1,1,1,0,1	0.8	2.26E+06
Απρίλιος 1996	1,0,0,0,1,1,0	0.43	1.21E+06
Νοέμβριος 1996	1,1,1,1,1,0	0.83	9.43E+05
Ιούλιος 1997	-	0	
Οκτώβριος 1997	1,1,1,2,1,0,0,1	0.88	9.90E+05
Απρίλιος 1998	1,0,0,1,0	0.4	1.13E+06

RD 02

Οκτώβριος 1995	0,1,2,0,0,0	0.43	6.08E+05
Φεβρουάριος 1996	1,0,0,0,0,0	0.17	4.81E+05
Απρίλιος 1996	-	0	
Νοέμβριος 1996	1,1,1,0,0	0.6	6.79E+05
Ιούλιος 1997	0,0,0,1,0	0.2	2.26E+05
Οκτώβριος 1997	0,1,1,0,0,0,0	0.29	3.23E+05
Απρίλιος 1998	-	0	

RD 03

Οκτώβριος 1995	-	0	
Φεβρουάριος 1996	0,0,0,0,1,0	0.17	2.36E+05
Απρίλιος 1996	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
Νοέμβριος 1996	0,0,0,0,0,0,1,0	0.13	1.47E+05
Ιούλιος 1997	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
Οκτώβριος 1997	0,0,0,1,0,0	0.17	1.89E+05
Απρίλιος 1998	1,0,0,0,0,0,0	0.14	2.02E+05

RD 04

Οκτώβριος 1995	0,0,1,0,1	0.4	5.66E+05
Φεβρουάριος 1996	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
Απρίλιος 1996	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
Ιούλιος 1997	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
Απρίλιος 1998	0,0,0,0	0	0.00E+00

RD 05

Οκτώβριος 1995	1,1,0,0,0,0	0.33	9.34E+05
Φεβρουάριος 1996	0,0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
Απρίλιος 1996	0,0,0,0,	0	0.00E+00
Ιούλιος 1997	0,0,0,0,1,0,0,0,0	0.11	1.26E+05
Απρίλιος 1998	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00

RD 06

Οκτώβριος 1995	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
Φεβρουάριος 1996	0,0,0,0	0	0.00E+00



Κωδικός θέσης	Ημερομηνία	Μετρήσεις	Μ.Ο.	Τυες\λίτρο
	Απρίλιος 1996	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Νοέμβριος 1996	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Ιούλιος 1997	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	Απρίλιος 1998	0,0,0,0	0	0.00E+00

RD 07

Οκτώβριος 1995	1,0,0,1,1	0.6	1.70E+06
Φεβρουάριος 1996	1,5,1,1,2,4,0,0	1.75	2.48E+06
Απρίλιος 1996	1,1,1,0,2,0	0.83	2.36E+06
Νοέμβριος 1996	3,2,1,2,1,0,2,1,2	1.56	2.21E+06
Οκτώβριος 1997	5,2,2,3,4,3,4	3.29	3.72E+06
Απρίλιος 1998	2,5,1,4,2,4	3	3.40E+06
Ιούνιος 1998	1,3,3,2,4,0,4,1	2.25	2.55E+06
Οκτώβριος 1998	4,1,2,2,1,3,3,5,2	2.56	2.89E+06

RD 08

Οκτώβριος 1995	0,1,0,0,2	0.6	1.70E+06
Φεβρουάριος 1996	0,2,0,0,0,1,1	0.43	1.21E+06
Απρίλιος 1996	3,1,1,1,1,0,1,2	1.25	1.41E+06
Ιούλιος 1997	0,0,0,1,1,2,1,2	0.88	9.90E+05
Οκτώβριος 1997	1,0,1,1,2,1,0,2	1	1.13E+06
Απρίλιος 1998	-	0	
Ιούνιος 1998	2,2,1,1,0,1,0,2,1,3	1.3	1.47E+06
Οκτώβριος 1998	1,1,0,2,0	0.8	9.05E+05

RD 09

Απρίλιος 1998	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
Ιούνιος 1998	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
Οκτώβριος 1998	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00

RD 10

Απρίλιος 1998	0,0,0,0,1	0.2	2.26E+05
Ιούνιος 1998	0,0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
Οκτώβριος 1998	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00

RD 11

Οκτώβριος 1997	1,0,0,1,0,0,1	0.43	4.85E+05
Απρίλιος 1998	0,0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
Ιούνιος 1998	1,1,0,0,0,2,0,0	0.5	5.66E+05
Οκτώβριος 1998	0,0,1	0.33	4.67E+05

Πίνακας 2 - Αποτελέσματα στο SEM κατά δειγματοληψία

Ημερομηνία	Κωδικός θέσης	Μετρήσεις	M.O.	Τινες\λίτρο
Οκτώβριος 1995				
	AL 01	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	AL 02	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	AL 03	0,0,0,0,1,0,0	0.14	4.04E+05
	AL 04	0,1,1,0,0	0.4	4.53E+05
	AL 05	0,0,0,0,0,1,0,0	0.12	3.54E+05
	AL 06	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	AL 08	2,0,1,0,2,0	0.83	1.17E+06
	AL 10	0,1,0,0,0,1	0.33	9.34E+05
	AL 12	0,0,2,0,1	0.6	6.79E+05
	RA 02	1,0,1,0,2,0,0	0.57	8.06E+05
	RA 08	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	RA 09	0,3,2,1,0	1.2	3.40E+06
	RA 12	1,0,0,0,1,0,0,0	0.4	7.07E+05
	RA 13	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	RA 16	-	0	
	RA 17	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	RA 18	0,4,1,2,0	1.4	3.96E+06
	RD 01	1,0,0,0,1,0,1,1	0.5	1.41E+06
	RD 02	0,1,2,0,0,0	0.43	6.08E+05
	RD 03	-	0	
	RD 04	0,0,1,0,1	0.4	5.66E+05
	RD 05	1,1,0,0,0,0	0.33	9.34E+05
	RD 06	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	RD 07	1,0,0,1,1	0.6	1.70E+06
	RD 08	0,1,0,0,2	0.6	1.70E+06
Φεβρουάριος 1996				
	AL 01	0,2,0,0,0,0,1	0.42	4.85E+05
	AL 02	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	AL 03	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	AL 04	1,0,0,0,1,1	0.5	5.66E+05
	AL 05	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	AL 06	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
	AL 08	1,0,0,0,0	0.2	5.66E+05
	AL 09	0,1,1,1,0	0.6	6.79E+05

Ημερομηνία

Όνομα θέσης

Μετρήσεις

Μ.Ο. Ίνες\λίτρο

AL 10	0,0,0,1,0,0,0	0.14	4.04E+05
AL 11	-	0	
AL 12	0,1,0,0,1	0.4	4.53E+05
RA 03	1,0,1,0,0	0.4	5.66E+05
RA 04	1,0,0,0,0,0	0.17	4.81E+05
RA 05	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RA 06	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RA 08	2,0,0,2,0	0.8	9.05E+05
RA 09	1,2,0,0,0,3,0,0	0.75	8.49E+05
RA 12	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RA 13	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RA 14	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RA 16	0,0,0,1,0	0.2	5.66E+05
RA 17	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RA 18	1,0,1,2,2	1.2	3.40E+06
RD 01	1,1,1,0,1	0.8	2.26E+06
RD 02	1,0,0,0,0,0	0.17	4.81E+05
RD 03	0,0,0,0,1,0	0.17	2.36E+05
RD 04	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 05	0,0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 06	0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 07	1,5,1,1,2,4,0,0	1.75	2.48E+06
RD 08	0,2,0,0,0,1,1	0.43	1.21E+06

Απρίλιος 1996

AL 01	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
AL 02	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
AL 03	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
AL 04	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
AL 05	0,1,0,0,0	0.2	2.26E+05
AL 06	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
AL 08	-	0	
AL 09	1,0,0,1,0,0,0,0	0.25	7.07E+05
AL 10	0,0,0,0,2,2	0.57	6.47E+05
AL 11	1,0,0,0,0,0,0,1	0.25	2.83E+05
AL 12	1,0,0,0,1,0,1,0	0.38	4.24E+05
AL 13	1,2,0,0,1,1	0.83	9.43E+05
RA 02	1,0,0,0,1	0.4	4.53E+05
RA 07	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RA 08	-	0	

Ημερομηνία

Όνομα θέσης

Μετρήσεις

Μ.Ο. Ίνες\λίτρο

RA 10	0,0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RA 11	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RA 12	0,1,0,0,0,0,1	0	3.23E+05
RA 13	1,0,0,0,0,0	0.17	1.89E+05
RA 14	0,0,0	0	0.00E+00
RA 15	1,0,1,1,1	0.8	9.05E+05
RA 16	2,0,1,0,1,2	1	1.41E+06
RA 17	1,0,0,0,0,1,0,0	0.25	2.83E+05
RA 18	1,0,3,2,2,1,1,0	1.2	1.36E+06
RD 01	1,0,0,0,1,1,0	0.43	1.21E+06
RD 02	-	0	
RD 03	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 04	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 05	0,0,0,0,	0	0.00E+00
RD 06	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 07	1,1,1,0,2,0	0.83	2.36E+06
RD 08	3,1,1,1,1,0,1,2	1.25	1.41E+06

Νοέμβριος 1996

AL 01	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
AL 02	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
AL 03	0,1,0,0,0,0,0,0	0.125	1.41E+05
AL 04	0,1,0,0,1	0.4	4.53E+05
AL 05	0,0,0,0,1,0,1	0.29	3.23E+05
AL 06	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
AL 07	1,2,0,0,0	0.6	6.79E+05
AL 08	0,2,0,0,0,1,0	0.43	4.85E+05
AL 09	-	0	
AL 10	1,0,0,0,1,1,0,1	0.5	5.66E+05
AL 11	1,1,0,0,2,0,0	0.57	6.47E+05
AL 12	1,0,0,2,0	0.6	8.49E+05
AL 13	1,1,1,1,0,1,1	0.86	9.70E+05
RA 02	2,1,0,0	0.75	8.49E+05
RA 08	1,0,0,0,0,1	0.33	3.73E+05
RA 12	1,0,0,0	0.25	2.83E+05
RA 13	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RA 14	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RA 16	1,1,1,1,0,1	0.83	9.43E+05
RA 17	1,0,0,0,1,1	0.5	5.66E+05
RA 18	0,1,1,1,2,1,0,0	0.75	1.06E+06



Ημερομηνία

Όνομα θέσης

Μετρήσεις

Μ.Ο. Ίνες\λίτρο

RD 01	1,1,1,1,1,0	0.83	9.43E+05
RD 02	1,1,1,0,0	0.6	6.79E+05
RD 03	0,0,0,0,0,0,1,0	0.13	1.47E+05
RD 06	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 07	3,2,1,2,1,0,2,1,2	1.56	2.21E+06

Ιούλιος 1997

AL 04	-	0	
AL 07	-	0	
AL 08	1,0,0,0,0,1,0,1	0.38	1.06E+06
AL 09	1,2,0,2,0,1,0	0.86	9.70E+05
AL 10	-	0	
AL 11	0,0,0,0,1	0.2	5.66E+05
AL 12	1,0,2,0,0,0	0.5	5.66E+05
AL 13	1,1,0,2,0,2	1	1.13E+06
RA 02	3,1,0,0,0,1,1,0,1	0.78	8.80E+05
RA 08	1,0,0,0,1,0,0,0,0	0.22	3.14E+05
RA 13	0,1,0,0,1,0,0	0.29	4.04E+05
RA 16	0,0,0,1,1	0.4	4.53E+05
RA 17	0,0,0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RA 18	2,2,1,1,0,0,2	1.14	1.62E+06
RD 01	-	0	
RD 02	0,0,0,1,0	0.2	2.26E+05
RD 03	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 04	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 05	0,0,0,0,1,0,0,0,0	0.11	1.26E+05
RD 06	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 08	0,0,0,1,1,2,1,2	0.88	9.90E+05

Οκτώβριος 1997

AL 04	0,0,1,0,0,1,0,0,0	0.22	2.52E+05
AL 07	0,1,0,0,1,0,0,1	0.38	4.24E+05
AL 08	1,0,0,2,0,2,0	0.71	8.08E+05
AL 10	1,0,0,0	0.25	2.83E+05
AL 11	2,0,0,0,0,2,0,1,0	0.56	6.29E+05
AL 12	2,0,0,0,1,1	0.57	6.47E+05
AL 13	2,1,1,0,0,2,2	1.14	1.13E+06
AL 14	0,1,0,2,1,1,1,3	1.13	1.27E+06
AL 15	1,0,2,1,1,0,0,3,0,1	0.9	1.32E+06
AL 16	1,0,1,1,1,2,0,1	0.88	9.90E+05

Ημερομηνία

Όνομα θέσης

Μετρήσεις

Μ.Ο. Ίνες\λίτρο

AL 17	0,0,0,1,0	0.2	5.66E+05
AL 18	2,1,2,1,1	1.4	1.58E+06
RA 02	1,1,1,1,0,0,1	0.71	8.08E+05
RA 08	1,2,0,0,0,0,1,1	0.63	7.07E+05
RA 13	0,0,0,0,	0	0.00E+00
RA 16	1,0,0,0,1,1,0	0.43	4.85E+05
RA 17	0,0,0,0,1,1	0.33	3.73E+05
RA 18	1,1,0,2,2,2	1.33	1.51E+06
RD 01	1,1,1,2,1,0,0,1	0.88	9.90E+05
RD 02	0,1,1,0,0,0,0	0.29	3.23E+05
RD 03	0,0,0,1,0,0	0.17	1.89E+05
RD 07	5,2,2,3,4,3,4	3.29	3.72E+06
RD 08	1,0,1,1,2,1,0,2	1	1.13E+06
RD 11	1,0,0,1,0,0,1	0.43	4.85E+05

Απρίλιος 1998

AL 04	1,0,0,1,1	0.6	6.79E+05
AL 07	1,0,0,0,1,0,0	0.29	8.08E+05
AL 08	1,0,1,0,0	0.4	1.13E+06
AL 09	0,0,0,0,1,1	0.33	9.34E+05
AL 11	0,0,1,0	0.25	2.83E+05
AL 12	1,0,0,1,0,1,0	0.43	4.85E+05
AL 13	1,0,0,1,1,1,1,1,1	0.78	1.70E+06
AL 14	1,0,1,1,2,0,1	0.86	9.70E+05
AL 15	0,1,1,1,1,2,0	0.86	9.70E+05
AL 16	1,1,1,1,1	1	1.13E+06
AL 17	0,1,1,2,0,1,0,1	0.75	8.49E+05
AL 18	0,1,0,0,1,1,1,0,2	0.66	7.47E+05
RA 02	0,0,0,0,1	0	2.83E+05
RA 08	0,0,0,0,0,1,1	0.29	8.08E+05
RA 13	1,0,0,0,0	0.2	2.26E+05
RA 16	1,2,0,2,0,0,0,1	0.75	8.49E+05
RA 17	0,1,0,0,0,0	0.17	1.89E+05
RA 18	-	0	
RD 01	1,0,0,1,0	0.4	1.13E+06
RD 02	-	0	
RD 03	1,0,0,0,0,0,0	0.14	2.02E+05
RD 04	0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 05	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00



Ημερομηνία

Όνομα θέσης

Μετρήσεις

Μ.Ο. Ίνες\λίτρο

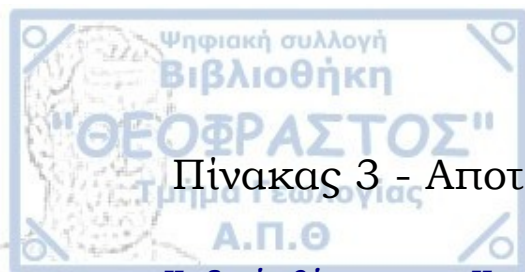
RD 06	0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 07	2,5,1,4,2,4	3	3.40E+06
RD 08	-	0	
RD 09	0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 10	0,0,0,0,1	0.2	2.26E+05
RD 11	0,0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00

Ιούνιος 1998

AL 04	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
AL 11	1,0,0,1,0,0,0	0.29	3.23E+05
AL 12	-	0	
AL 13	1,2,1,0,2,0,0,1,1	0.89	1.01E+06
AL 14	1,0,2,1,0	0.8	9.05E+05
AL 15	2,0,0,1,1,0,0,2,2	0.78	1.02E+06
AL 16	0,2,0,1,1,1,1	0.86	9.70E+05
AL 17	1,0,0,0,1,0,0,1,1	0.44	6.29E+05
AL 18	1,1,1,1,0,0,0	0.57	6.47E+05
RD 07	1,3,3,2,4,0,4,1	2.25	2.55E+06
RD 08	2,2,1,1,0,1,0,2,1,3	1.3	1.47E+06
RD 09	0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 10	0,0,0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 11	1,1,0,0,0,2,0,0	0.5	5.66E+05

Οκτώβριος 1998

AL 04	0,0,0,1,1,0,0	0.29	3.23E+05
AL 11	-	0	
AL 12	1,1,0,0,0,0,0,1,0	0.33	3.77E+05
AL 13	1,0,1,1,2	1	1.13E+06
AL 14	1,0,1,3,0,0,1,0,1,0	0.7	1.13E+06
AL 15	1,1,1,1,0,1,2	1	1.13E+06
AL 16	1,1,0,0,2,0,1,2,0	0.78	8.80E+05
AL 17	1,0,2,0,0,0	0.5	5.66E+05
AL 18	0,2,1,0,0,0,1,1,0	0	6.29E+05
RD 07	4,1,2,2,1,3,3,5,2	2.56	2.89E+06
RD 08	1,1,0,2,0	0.8	9.05E+05
RD 09	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 10	0,0,0,0,0,0	0	0.00E+00
RD 11	0,0,1	0.33	4.67E+05



Πίνακας 3 - Αποτελέσματα στο TEM κατά θέση

<i>Κωδικός θέσης</i>	<i>Ημερομηνία</i>	<i>Μετρήσεις</i>	<i>Μ.Ο.</i>	<i>Τυεσ\λίτρο</i>
AL 04				
	Οκτώβριος 1997	0,1,0,0,0	0.2	2.26E+05
	Απρίλιος 1998	1,2,0,0,1	0.8	9.05E+05
	Ιούνιος 1998	0,0,0,0	0	0.00E+00
	Οκτώβριος 1998	0,0,0,1,0	0.2	2.26E+05
AL 11				
	Οκτώβριος 1997	-	0	
	Απρίλιος 1998	0,1,0,0,0,1,0	0.29	3.23E+05
	Ιούνιος 1998	1,0,1,0,0,0	0.33	3.77E+05
	Οκτώβριος 1998	0,0,0,0,1	0.2	2.26E+05
AL 12				
	Οκτώβριος 1997	1,0,0,1,0,0,1,0,1	0.5	5.66E+05
	Απρίλιος 1998	1,0,1,0,0,0,0,1	0.37	4.24E+05
	Ιούνιος 1998	-	0	
	Οκτώβριος 1998	0,0,0,0,1,0,1	0.29	3.23E+05
AL 13				
	Οκτώβριος 1997	0,0,1,2,1,1	0.83	9.43E+05
	Απρίλιος 1998	2,0,3,2,1	1.6	1.81E+06
	Ιούνιος 1998	1,1,0,1,2,2,0	1	1.13E+06
	Οκτώβριος 1998	1,1,2,1,0,2	1.17	1.32E+06
AL 14				
	Οκτώβριος 1997	0,3,1,1,0,2,2	1.29	1.46E+06
	Απρίλιος 1998	1,1,0,1,1	0.8	9.05E+05
	Ιούνιος 1998	1,0,0,2,0,2	0.83	9.43E+05
	Οκτώβριος 1998	0,1,3,0,2,1,1	1.14	1.29E+06
AL 15				
	Οκτώβριος 1997	3,1,2,0,1,0,2	1.29	1.46E+06
	Απρίλιος 1998	1,0,1,1,0,2,1,0	0.75	8.49E+05
	Ιούνιος 1998	0,0,2,1,1,1,2,1,2	1.11	1.26E+06
	Οκτώβριος 1998	1,0,2	1	1.13E+06
AL 16				
	Οκτώβριος 1997	1,1,0,1,0,1	0.67	7.55E+05
	Απρίλιος 1998	2,1,1,1,1,0,1,0,1	0.89	1.01E+06
	Ιούνιος 1998	1,2,0,0,1	0.8	9.05E+05



AL 17

Οκτώβριος 1998	1,2,0,2,0,1	1	1.13E+06
Οκτώβριος 1997	-	0	
Απρίλιος 1998	1,1,1,1,1	1	1.13E+06
Ιούνιος 1998	2,0,2,0,0,0,1,1,0	0.6	6.79E+05
Οκτώβριος 1998	0,0,1,0,0,0,2	0.43	4.85E+05

AL 18

Οκτώβριος 1997	3,1,3,0,1	1.6	1.81E+06
Απρίλιος 1998	-	0	
Ιούνιος 1998	0,1,1,1,0,0	0.5	5.66E+05
Οκτώβριος 1998	1,0,1,0,0,2,1,0	0.62	7.07E+05

RD 07

Οκτώβριος 1997	2,5,4,5,3,1,5	4.17	4.72E+06
Απρίλιος 1998	1,4,3,3,2,5,3,5	2.89	3.27E+06
Ιούνιος 1998	2,1,2,4,1,4,2	2.29	2.59E+06
Οκτώβριος 1998	3,0,4,5,2,3,3	2.85	3.23E+06

RD 08

Οκτώβριος 1997	1,0,1,1,1,2,1,1	1	1.13E+06
Απρίλιος 1998	3,1,1,2,1	1.6	1.81E+06
Ιούνιος 1998	2,0,2,1,0,4,1	1.43	1.62E+06
Οκτώβριος 1998	-	0	

Πίνακας 4 - Αποτελέσματα στο TEM κατά θέση

Ημερομηνία **Κωδικός θέσης** **Μετρήσεις** **Μ.Ο.** **Τνες\λίτρο**

Οκτώβριος 1997

AL 04	0,1,0,0,0	0.2	2.26E+05
AL 11	-	0	
AL 12	1,0,0,1,0,0,1,0,	0.5	5.66E+05
AL 13	0,0,1,2,1,1	0.83	9.43E+05
AL 14	0,3,1,1,0,2,2	1.29	1.46E+06
AL 15	3,1,2,0,1,0,2	1.29	1.46E+06
AL 16	1,1,0,1,0,1	0.67	7.55E+05
AL 17	-	0	
AL 18	3,1,3,0,1	1.6	1.81E+06
RD 07	2,5,4,5,3,1,5	4.17	4.72E+06
RD 08	1,0,1,1,1,2,1,1	1	1.13E+06

Απρίλιος 1998

AL 04	1,2,0,0,1	0.8	9.05E+05
AL 11	0,1,0,0,0,1,0	0.29	3.23E+05
AL 12	1,0,1,0,0,0,0,1	0.37	4.24E+05
AL 13	2,0,3,2,1	1.6	1.81E+06
AL 14	1,1,0,1,1	0.8	9.05E+05
AL 15	1,0,1,1,0,2,1,0	0.75	8.49E+05
AL 16	2,1,1,1,1,0,1,0,1	0.89	1.01E+06
AL 17	1,1,1,1,1	1	1.13E+06
AL 18	-	0	
RD 07	1,4,3,3,2,5,3,5	2.89	3.27E+06
RD 08	3,1,1,2,1	1.6	1.81E+06

Ιούνιος 1998

AL 04	0,0,0,0	0	0.00E+00
AL 11	1,0,1,0,0,0	0.33	3.77E+05
AL 12	-	0	
AL 13	1,1,0,1,2,2,0	1	1.13E+06
AL 14	1,0,0,2,0,2	0.83	9.43E+05
AL 15	0,0,2,1,1,1,2,1,2	1.11	1.26E+06
AL 16	1,2,0,0,1	0.8	9.05E+05
AL 17	2,0,2,0,0,0,1,1,	0.6	6.79E+05
AL 18	0,1,1,1,0,0	0.5	5.66E+05
RD 07	2,1,2,4,1,4,2	2.29	2.59E+06
RD 08	2,0,2,1,0,4,1	1.43	1.62E+06

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ύδρευση της Θεσσαλονίκης από τα νερά του ποταμού Αλιάκμονα δημιούργησε μία διπλή ανάγκη. Αφενός να καταγραφεί το πρόβλημα σε όλη του την έκταση, αφετέρου να μπορέσει να βρεθεί μία μεθοδολογία μπορεί γρήγορα, οικονομικότερα και με ακρίβεια να παρέχει τις απαραίτητες μετρήσεις. Στο πρώτο μέρος της έρευνας προτείνεται μεθοδολογία βασισμένη στη χρήση Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) ώστε να καλύψει τα παραπάνω ζητήματα.

Στο δεύτερο μέρος της έρευνας αυτή η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιείται ώστε να καταγραφεί η πλήρης έκταση του προβλήματος στα νερά του ποταμού Αλιάκμονα, συγκριτικά και επικουρικά με την ισχύουσα μεθοδολογία με χρήση Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Διερχόμενης Δέσμης (TEM). Οι περιοχές με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ινών βρίσκονται κοντά στην περιοχή των ορυχείων αμιάντου στη Μονή Ζιδανίου του Νομού Κοζάνης και εντοπίζονται στα ρέματα που αποστραγγίζουν την περιοχή του ορυχείου καθώς και στα σημεία του ποταμού που διέρχονται κοντά στα σείρα του ορυχείου και κατάντη. Μεγάλες συγκεντρώσεις ινών αμιάντου παρατηρούνται επίσης και στην λίμνη Πολυφύτου. Σε καμία περίπτωση δε βρέθηκαν συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από τα όρια ασφαλείας των διεθνών και εθνικών κανονισμών προστασίας της δημόσιας υγείας.

Σύγκριση των αποτελεσμάτων μεθοδολογιών οδήγησε σε μεταξύ τους διαφορές στα πλαίσια του στατιστικού σφάλματος. Τα σημεία στα οποία υπερτερεί η χρήση TEM αφορούν μικρές ίνες και ακρίβεια στον προσδιορισμό της ορυκτής φάσης, ενώ το SEM υπερτερεί σε ευκολία, οικονομία και χρηστικότητα. Σε μελέτες περιβαλλοντικές ή καταγραφής της κατάστασης το SEM δίνει εξίσου ακριβή αποτελέσματα και προτείνεται η χρήση του.

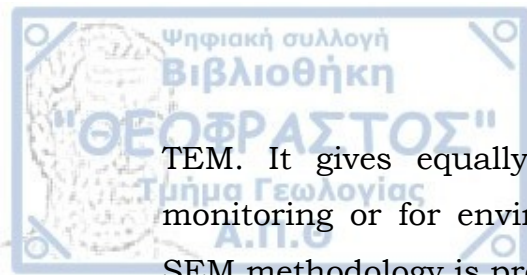


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ABSTRACT

At mid 90s it was decided that the main drinking water supply for the Metropolitan Area of Thessaloniki should be the Aliakmon river. In close proximity to the river there was an active asbestos mine, in the area of Zidani Monastery, Kozani Prefecture. The situation created two distinct needs. First it was needed to fully record the situation of asbestos fibers presence in the Aliakmon river system waters and second it would be needed for a methodology that would provide easy and accurate monitoring of the situation in a regular basis.

The first part of the present research is about establishing a Scanning Electron Microscopy (SEM) based method to provide the needed solutions to the above mentioned problems. The second part is to use this methodology both in addition and in comparison to the already established official methodology that was based in the use of Transmission Electron Microscope (TEM). The biggest concentrations of asbestos fibers in natural waters were recorded in the close proximity of Zidani Mine either in the mainstream river Aliakmon or the tributaries that drain the mining area. Remarkable concentrations were also recorded at the river Aliakmon and the three reservoirs that lie downstream till the point where the Pumping Station for the Thessaloniki water supply exists. In any case the concentrations were below the limits set by National and International regulations, for the protection of public health.

Comparison between the two methods resulted in differences within the statistically accepted range. TEM tends to give slightly elevated results due to better resolution and better identification of small fibrils. TEM also is more accurate in determining the exact mineral phase of each fiber. SEM is more economic, easy and usable than



TEM. It gives equally acceptable results in terms of continuous monitoring or for environmental studies. As a result the use of the SEM methodology is proposed.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abratt, R.P., Vorobiof, D.A. and White, N., 2004. Asbestos and mesothelioma in South Africa. *Lung Cancer*, 45, pp.S3-S6.
- Addison, J. and McConnell, E.E., 2008. A review of carcinogenicity studies of asbestos and non-asbestos tremolite and other amphiboles. *Regulatory toxicology and Pharmacology*, 52(1), pp.S187-S199.
- Alexander, E.B., Coleman, R.G., Harrison, S.P. and Keeler-Wolfe, T., 2007. Serpentine geoecology of western North America: geology, soils, and vegetation. *OUP USA*.
- Aliyu O. A., Cullen M. R., Barnett M. J., Balmes J. R., Cartamel B., Redlich C. A., Brodtkin C. A., Barnhart S., Rosenstock L., Israel L., Goodman G. E., Thornquist M. D. and Omenn G. S., 2005. Evidence for Excess Colorectal Cancer Incidence among Asbestos-exposed Men in the Beta-Carotene and Retinol Efficacy Trial. *American Journal of Epidemiology*, Vol. 162, No. 9.
- Anderson A. M., 1902. Historical sketch of the development of legislation for injurious and dangerous industries in England. In "Dangerous Traces" (T. Oliver, Ed.). *Dutton, New York*.
- Ansari, F.A., Ahmad, I., Ashquin, M., Yunus, M. and Rahman, Q., 2007. Monitoring and identification of airborne asbestos in unorganized sectors, India. *Chemosphere*, 68(4), pp.716-723.

Artieda, L., Beloqui, A. and Lezaun, M., 2005. Cohort of asbestos exposed workers. Navarre (Spain) 1999-2004. In *Anales del sistema sanitario de Navarra* (Vol. 28, No. 3, pp. 335-344).

Arvanitidis N., 1998. Northern Greece's industrial minerals: production and environmental technology developments. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 62, pp. 217-227.

Ashwal L. D. and Cairncross B., 1997. Mineralogy and origin of stichtite in chromite-bearing serpentinites. *Contrib Mineral Petrol*, Vol. 127, pp. 75-86.

Athanasίου K., Constantopoulos S. H., Riveda E., Fitzgerald D. J. and Yamasaki H., 1992. Metsovo-tremolite asbestos fibres: In vitro effects on mutation, chromosome aberration, cell transformation and intercellular communication. *Mutagenesis*, vol. 7, no. 5, pp. 343-347.

Attanoos, R.L., 2008. Lung cancer associated with asbestos exposure. *Asbestos and Its Diseases*, p.172.

Attanoos, R.L., 2020. Malignant Mesothelioma: Asbestos Exposure. In *Occupational Cancers* (pp. 363-378). *Springer, Cham*.

Attanoos, R.L., Churg, A., Galateau-Salle, F., Gibbs, A.R. and Roggli, V.L., 2018. Malignant mesothelioma and its non-asbestos causes. *Archives of pathology & laboratory medicine*, 142(6), pp.753-760.

Auribault M., 1906. Note sur l'hygiène et la sécurité des ouvriers dans les filateurs et tissages d'amiantes. *Bull. Insp. Trav. Paris* 14, 120.

Aust A. E., Lund L. G., Chao C.-C., Park S.-H. and Fang R., 2000. Role of Iron in the Cellular Effects of Asbestos. *Inhalation Toxicology*, 12 (Supplement 3): 75-80.

Banaei A., Auvert B. and Goldberg M., 2000. Computer Modeling of Population Exposure to a Carcinogen: The Example of Asbestos and Mesothelioma Mortality in France. *Computers and Biomedical Research* 33, 97-109.

Baronnet A. and Devouard B., 1996. Topology and crystal growth of natural chrysotile and polygonal serpentine. *Journal of Crystal Growth*, 166, 952-960.

Baronnet A., Mellini M. and Devouard B., 1994. Sectors in Polygonal Serpentine. *A Model Based on Dislocations. Phys. Chem. Minerals*, 21, 330-343.

Bateson, T.F. and Kopylev, L., 2015. Influence of exposure assessment and parameterization on exposure response. Aspects of epidemiologic cohort analysis using the Libby Amphibole asbestos worker cohort. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 25(1), pp.12-17.

Baur, X., Woitowitz, H.J., Budnik, L.T., Egilman, D., Oliver, C., Frank, A., Soskolne, C.L., Landrigan, P.J. and Lemen, R.A., 2017. Asbestos, asbestosis, and cancer: The Helsinki criteria for diagnosis and attribution. Critical need for revision of the 2014 update: The Helsinki criteria for diagnosis and attribution. Critical need for revision of the 2014 update. *American journal of industrial medicine*, 60(5), pp.411-421.

Beaman D. R. and Baker H. M., 1980. Identification of Chrysotile Asbestos by Microdiffraction. *Anal. Chem.*, 52, 1983-1984.

Beaman D. R. and File D. M., 1976. Quantitative Determination of Asbestos Fiber Concentrations. *Analytical Chemistry*, Vol. 48, No. 1.

Beard, M.E., Crankshaw, O.S., Ennis, J.T. and Moore, C.E., 2001. Analysis of Crayons for Asbestos and Other Fibrous Materials, and Recommendations for Improved Analytical Definitions. Research Triangle Institute, Research Triangle Park, NC.

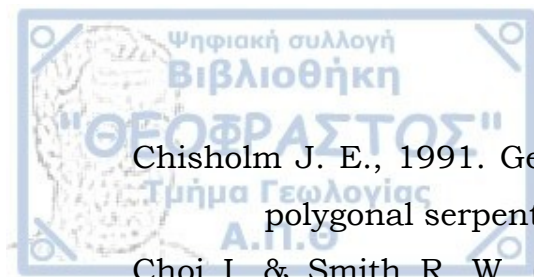
Beckett S. T., 1973. The Evaluation of Airborne Asbestos Fibres Using a Scanning Electron Microscope. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 16, No. 4, pp. 405-408.

Berman, D.M., 1986. Asbestos and health in the third world: the case of Brazil. *International journal of health services*, 16(2), pp.253-263.

Bernier P., Guidi J. B. and Böttcher M., 1997. Coastal progradation and very early diagenesis of ultramafic sands as a result of rubble discharge from asbestos excavations (northern Corsica, western Mediterranean). *Marine Geology*, Vol. 144, pp. 163-175.

- Bernstein D. M., Chevalier J. and Smith P., 2003. Comparison of Calidria Chrysotile Asbestos to Pure Tremolite: Inhalation Biopersistence and Histopathology Following Short-Term Exposure. *Inhalation Toxicology*, 15: 1387-1419.
- Bernstein D. M., Chevalier J. and Smith P., 2003. The Biopersistence of Canadian Chrysotile Asbestos Following Inhalation. *Inhalation Toxicology*, 15: 1247-1274.
- Berry G., 2002. Asbestos Lung Fibre Analysis in the United Kingdom, 1976-96. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 46. No. 6, pp. 523-526.
- Blake, C.L., Dotson, G.S. and Harbison, R.D., 2006. Assessment of airborne asbestos exposure during the servicing and handling of automobile asbestos-containing gaskets. *Regulatory toxicology and Pharmacology*, 45(2), pp.214-222.
- Boffetta, P., Donato, F., Pira, E., Luu, H.N. and La Vecchia, C., 2019. Risk of mesothelioma after cessation of asbestos exposure: a systematic review and meta-regression. *International archives of occupational and environmental health*, 92(7), pp.949-957.
- Bonn D., 1999. Asbestos-the legacy lives on. *The Lancet*, Vol 353.
- Braun, L. and Kisting, S., 2006. Asbestos-related disease in South Africa: the social production of an invisible epidemic. *American journal of public health*, 96(8), pp.1386-1396.
- Brenner S., Ganor E. and Anavi Z., 1990. Asbestos Fibres in the Ambient Air of Israel. *Environmental Management and Health*, Volume: 1 Issue: 2.
- Breysse P. N., Cherrie J. W., Addison J. and Dodgson J., 1989. Evaluation of Airborne Asbestos Concentrations Using TEM and SEM during Residential Water Tank Removal. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 33, No. 2, pp. 243-256.
- Brown K. and Gee J. B. L., 2000. Asbestos Exposure and Laryngeal Cancer. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 44. No. 4, pp. 239-250.
- Buchan R. M., Richardson D. C., Beaulieu H. J. and Keefe T. J., 1984. Development of a Mathematical Model for Predicting

- Concentrations of Small Asbestos Fibers. *Environmental Research*, 33, 296-299.
- Budgen A., 2004. Asbestos: a clear and present danger-a UK perspective. *Lung Cancer* 45S, S77-S79.
- Burdett G. J. and Rood A. P., 1983. Membrane-Filter, Direct-Transfer Technlque for the Analysis of Asbestos Fibers or Other Inorganic Particles by Transmission Electron Microscopy. *Environ. Sci. Technol.*, 17, 643-648. (στα papers έχεις μια ακόμη εργασία με αυτούς της ίδιας χρονολογίας, την γράφω παρακάτω)
- Burdett G. J. and Rood A. P., 1983. Sample Preparation for Monitoring Asbestos in Air by Transmission Electron Microscopy. *Anal. Chem.*, 55, 1642-1645.
- Burdorf A., Dahhan M. and Swuste P., 2003. Occupational Characteristics of cases with asbestos-related Diseases in the Netherlands. *Ann. Ocuyp. Hyg.* Vol. 47, No. 6, pp. 485-492.
- Buzio S., Pesanto G. and Zuppi G. M., 2000. Hydrogeological study on the presence of Asbestos fibres in water of northern Italy. *Wat. Res.* Vol. 34, No. 6, pp. 1817-1822.
- Campbell, W.J., 1977. Identification of selected silicate minerals and their asbestiform varieties. *National Bureau of Standards, Special Publication*, 506, pp.201-221.
- Carlin, D.J., Larson, T.C., Pfau, J.C., Gavett, S.H., Shukla, A., Miller, A. and Hines, R., 2015. Current research and opportunities to address environmental asbestos exposures. *Environmental health perspectives*, 123(8), pp.A194-A197.
- Champness, P.E., Cliff, G. and Lorimer, G.W., 1976. The identification of asbestos. *Journal of Microscopy*, 108(3), pp.231-249.
- Chatfield, E.J. and Lewis, G.M., 1982. Development and Application of an Analytical technique for measurement of asbestos fibres in vermiculite. *Scanning Electron Microsc.* (1), 329, 1980.
- Chatfield E. J. and Dillon M. J. (1982): Proposed Analytical Method for Determination of Asbestos Fibres in Water.



- Chisholm J. E., 1991. Geometrical constraints on the growth of sectors in polygonal serpentine. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 24, 199-202.
- Choi I. & Smith R. W. (1971): Kinetic Study of Dissolution of Asbestos Fibers in Water. *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 40, No. 2, 253-261.
- Chung, S.N., Nam, E.J., Hwang, S.Y., Oh, S.R., Shin, J.H., Eom, S.W. and Chae, Y.Z., 2011. An Investigation on the airborne asbestos concentrations using PCM and TEM in the public buildings in Seoul. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, 21(3), pp.139-145.
- Clark R. L. and Ruud G. O., 1974. Transmission electron microscopy standards for asbestos. *Micron* 5: 83-88.
- Constantopoulos S. H., Goudevenos J. A., Saratzis N., Langer A. M., Selikoff I. J. and Moutsopoulos H. M., 1985. Metsovo Lung: Pleural Calcification and Restrictive Lung Function in Northwestern Greece. Environmental Exposure to Mineral Fiber as Etiology. *Environmental Research* 38, 319-331.
- Conway, D.M. and Lacey, R.F., 1984. Asbestos in drinking water: Results of a survey. NTIS, Springfield, VA(USA). 1984.
- Cooke W. E., 1927. Pulmonary asbestosis. *Br. Med. J.* II, 1024.
- Craighead, J.E. ed., 2008. Asbestos and its diseases. *Oxford University Press*.
- Craighead, J.E., Gibbs, A.R. and Pooley, F., 2008. Mineralogy of asbestos. *Asbestos and its diseases*, pp. 23-38.
- Cressey B. A., Cressey G., Cernik R. J., 1994. Structural variation in chrysotile asbestos fibers revealed by synchrotron X-ray diffraction and transmission electron microscopy. *Can Mineral* 32: 257-270.
- Darnton A. J., McElvenny D. M. and Hodgson J. T., 2006. Estimating the Number of Asbestos-related Lung Cancer Deaths in Great Britain from 1980 to 2000. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 50, No. 1, pp. 29-38.
- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., 1963. Rock-forming Minerals: Vol. 4: Framework Silicates. Longman.

- Delahunty T. J. and Hollander D., 1987. Toxic Effect on the rat small intestine of chronic administration of asbestos in drinking water. *Toxicology Letters*, 39, 205-209.
- Di Piazza, A., Argo, A., Scalici, E., Guajana, A., Picone, D. and Re, G.L., 2020. Occupational Diseases: Asbestosis and Mesothelioma in Forensic Practice. In *Radiology in Forensic Medicine* (pp. 189-195). Springer, Cham.
- Dodony I., 1993. Microstructures in serpentinites. *Microscopia Elettronica* 14 (2) Suppl: 249-252.
- Dodony I., 1997. Structure of the 30-sectored polygonal serpentine. A model based on TEM and SAED studies. *Phys Chem Minerals*, 24, 39-49.
- Dodson, R.F., Hammar, S.P. and Poye, L.W., 2008. A technical comparison of evaluating asbestos concentration by phase-contrast microscopy (PCM), scanning electron microscopy (SEM), and analytical transmission electron microscopy (ATEM) as illustrated from data generated from a case report. *Inhalation toxicology*, 20(7), pp.723-732.
- Dogan, M. and Dogan, A., 2013, May. Re-evaluation of Non-regulatory Asbestos Group Minerals for Regulatory Agencies. In *AGU Spring Meeting Abstracts*.
- Edelman D. A., 1992. Does asbestos exposure increase the risk of urogenital cancer?. *Int Arch Occup Environ Health*, 63, 469-475.
- Eliot, C., 2019. The Autobiography of Benjamin Franklin. *BoD-Books on Demand*.
- Erskine, B.G. and Bailey, M., 2018. Characterization of asbestiform glaucophane-winchite in the Franciscan Complex blueschist, northern Diablo Range, California. *Toxicology and applied pharmacology*, 361, pp.3-13.
- Evans, B.W., 1977. Metamorphism of alpine peridotite and serpentinite. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 5(1), pp.397-447.
- Falini, G., Foresti, E., Gazzano, M., Gualtieri, A.F., Leoni, M., Lesci, I.G. and Roveri, N., 2004. Tubular shaped stoichiometric chrysotile

- nanocrystals. *Chemistry–A European Journal*, 10(12), pp.3043-3049.
- Fankuchen I. and Schneider M., 1944. Low Angle X-Ray Scattering from Chrysotiles. *Journal of the American Chemical Society*, 66(3), pp.500-501.
- Faust, G.T. and Fahey, J.J., 1962. The serpentine-group minerals (No. 384-A). US Govt. Print.
- Fernandes, G.A., Algranti, E., Conceição, G.M.D.S., Wünsch Filho, V. and Toporcov, T.N., 2019. Lung Cancer Mortality Trends in a Brazilian City with a Long History of Asbestos Consumption. *International journal of environmental research and public health*, 16(14), p.2548.
- Ferrante, D., Mirabelli, D., Tunesi, S., Terracini, B. and Magnani, C., 2016. Authors's response: Pleural mesothelioma and occupational and non-occupational asbestos exposure: a case-control study with quantitative risk assessment. *Occup Environ Med*, 73(10), pp.713-714.
- Findlay, C., 2006, January. Asbestos Exposure Control in Mining. In ASSE Professional Development Conference and Exposition. *American Society of Safety Engineers*.
- Finn M. B., Hallenbeck W. H. and Chen E. H., 1984. Comparison of Preparation Technique for Analysis of Asbestos Samples by Transmission Electron Microscopy. *Analytical Chemistry*, Vol. 56, 1429-1431.
- Flanagan, D.M., 2016. Mineral Commodity Summaries. Asbestos. *US Geological Survey*: Reston, VA, USA.
- Franchi, F., 2018. Petrographic and geochemical characterization of the Lower Transvaal Supergroup stromatolitic dolostones (Kanye Basin, Botswana). *Precambrian Research*, 310, pp.93-113.
- Franco, M.A., Hutchison, J.L., Jefferson, D.A. and Thomas, J.M., 1977. Structural imperfection and morphology of crocidolite (blue asbestos). *Nature*, 266(5602), pp.520-521.
- Früh-Green G. L., Scambelluri M. and Vallis F. (2001): O-H isotope ratios of high pressure ultramafic rocks: implications for fluid sources and

- mobility in the subducted hydrous mantle. *Contrib Mineral Petrol*, Vol. 141, pp. 145-159.
- Fronde, C., 1988. Benjamin Franklin's purse and the early history of asbestos in the United States. *Archives of Natural History*, 15(3), pp.281-287.
- Fryer, P., Wheat, C.G. and Mottl, M.J., 1999. Mariana blueschist mud volcanism: Implications for conditions within the subduction zone. *Geology*, 27(2), pp.103-106.
- Fubini B. & Mollo L., 1995. Role of iron in the reactivity of mineral fibres. *Toxicology Letters* 82/83, 951-960.
- Gaafar R. M. and Eldin N. H. A., 2005. Epidemic of Mesothelioma in Egypt. *Lung Cancer* 49S1, S17-S20.
- Garabrant D. H., Peters R. K. and Homal D. M., 1992. Asbestos and Colon Cancer: Lack of Association in a Large Case-Control Study. *American Journal of Epidemiology*. Vol. 135, No. 8: 843-853.
- Ghikas, C., Dilek, Y. and Rassios, A.E., 2010. Structure and tectonics of subophiolitic mélanges in the western Hellenides (Greece): implications for ophiolite emplacement tectonics. *International Geology Review*, 52(4-6), pp.423-453.
- Gilham, C., Rake, C., Burdett, G., Nicholson, A.G., Davison, L., Franchini, A., Carpenter, J., Hodgson, J., Darnton, A. and Peto, J., 2016. Pleural mesothelioma and lung cancer risks in relation to occupational history and asbestos lung burden. *Occupational and environmental medicine*, 73(5), pp.290-299.
- Gramond, C., Rolland, P., Lacourt, A., Ducamp, S., Chamming's, S., Creau, Y., Héry, M., Laureillard, J., Mohammed Brahim, B., Orłowski, E. and Paris, C., 2012. Choice of rating method for assessing occupational asbestos exposure: study for compensation purposes in France. *American journal of industrial medicine*, 55(5), pp.440-449.
- Griffiths H. and Malony N. C., 2003. Does Asbestos cause Laryngeal cancer?. *Clin. Otolaryngol*, 28, 177-182.

- Groppo, C., Compagnoni, R., Fubini, B., Tomatis, M., Bruna, L., Piazzano, P. and Schellino, G., 2005, December. Quantitative analysis of fibrous minerals in rock samples using BSE images and μ -raman spectroscopy. In European Conference on Asbestos Monitoring and Analytical Methods-Venice (Vol. 5, p. 7).
- Grosso, F., Croce, A., Libener, R., Mariani, N., Pastormerlo, M., Maconi, A. and Rinaudo, C., 2019. Asbestos fiber identification in liver from cholangiocarcinoma patients living in an asbestos polluted area: a preliminary study. *Tumori Journal*, 105(5), pp.404-410.
- Gualtieri A. F. and Tartaglia A. (2000): Thermal decomposition of asbestos and recycling in traditional ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 20, pp. 1409-1418.
- Gualtieri, A.F., Gandolfi, N.B., Pollastri, S., Burghammer, M., Tibaldi, E., Belpoggi, F., Pollok, K., Langenhorst, F., Vigliaturo, R. and Dražić, G., 2017. New insights into the toxicity of mineral fibres: A combined in situ synchrotron μ -XRD and HR-TEM study of chrysotile, crocidolite, and erionite fibres found in the tissues of Sprague-Dawley rats. *Toxicology letters*, 274, pp.20-30.
- Hagenmeyer O., Otten H. and Kraus T., 2006. Asbestos consumption, asbestos exposure and asbestos-related occupational diseases in Germany. *Int Arch Occup Environ Health*.
- Hallenbeck W. H., Chen E. H., Patel-Mandlik K. and Wolff A. H., 1977. Precision of Analysis for Waterborne Chrysotile Asbestos by Transmission Electron Microscopy. School of Public Health. *University of Illinois Medical Center*, Box 6998, Chicago, III, 60680.
- Harper, M., 2008. 10th Anniversary critical review: Naturally occurring asbestos. *Journal of Environmental Monitoring*, 10(12), pp.1394-1408.
- Healy, J.F., 1999. Pliny the Elder on science and technology. *Clarendon Press*.
- Hillerdal, G., 1999. First China-Japan joint asbestos symposium, Beijing, 16-17 July 1999. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 25(5), p.458.

- Hirauchi, K.I., 2006. Serpentinite textural evolution related to tectonically controlled solid state intrusion along the Kurosegawa Belt, northwestern Kanto Mountains, central Japan. *Island Arc*, 15(1), pp.156-164.
- Hodgson J. T. and Darnton A., 2000. The Quantitative Risks of Mesothelioma and Lung Cancer in Relation to Asbestos Exposure. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 44, No. 8, pp. 565-601.
- Horak, J., Faithfull, J., Price, M. and Davidson, P., 2016. Identifying and managing asbestiform minerals in geological collections. *Journal of Natural Science Collections*, 3, pp.51-61.
- Horna D. M., Garabrant D. H. and Gillespie B. W., 1994. A Meta-Analysis of Colorectal Cancer and Asbestos Exposure. *American Journal of Epidemiology*. Vol. 139, No. 12: 1210-1222.
- Hurbánková M. & Tatara M. (1999): Occupational Exposure to Asbestos Fibres-Influence Upon the Selected Parameters. *J. Aerosol Sci.* Vol. 30, Suppl. 1, pp. S709-S710.
- Hutchison, J.L., Jefferson, D.A., Mallinson, L.G. and Thomas, J.M., 1976. Structural irregularities in nephrite jade: an electron microscope study. *Materials Research Bulletin*, 11(12), pp.1557-1561.
- Hyndman, R.D. and Peacock, S.M., 2003. Serpentinization of the forearc mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, 212(3-4), pp.417-432.
- Jackson, E.D., Green, H.W. and Moores, E.M., 1975. The Vourinos ophiolite, Greece: cyclic units of lineated cumulates overlying harzburgite tectonite. *Geological Society of America Bulletin*, 86(3), pp.390-398.
- Jadhav, A.V. and Gawde, N.C., 2019. Current asbestos exposure and future need for palliative care in India. *Indian journal of palliative care*, 25(4), p.587.
- Jagodzinski, H. and Kunze, G., 1954. The rolled structure of chrysotile. I-III. *News Jb. Mineral.* Mh, pp.95-150.
- Kanarek M. S., Conforti P. M., Jackson L. A., Cooper R. C. and Murchio J. C., 1980. Asbestos in drinking water and cancer incidence in the

San Francisco Area. *American Journal of Epidemiology*, vol. 112, No. 1: 54-72.

Karkanias, P., 1995. The slip-fiber chrysotile asbestos deposit in the Zidani area, northern Greece. *Ore Geology Reviews*, 10(1), pp.19-29.

Karkanias, P., Laskou, M., Economou-Eliopoulos, M. and Zhelyaskova-Panayotova, M., 1996. Amphibolite dikes within the Zidani Asbestos mine, Northern Greece, and their significance. *Ofioliti*, 21(2), pp.117-123.

Kiefer M. J., Buchan R. M. Keefe T. J. and Blehm K. D., 1987. A Predictive Model for Determining Asbestos Concentrations for Fibers Less Than Five Micrometers in Length. *Environmental Research* 43, 31-38.

Kjærheim K., Ulvestad B., Martinsen J. I. and Anderson A., 2005. Cancer of the gastrointestinal tract and exposure to asbestos in drinking water among lighthouse keepers (Norway). *Cancer Causes and Control* 16: 593-598.

Koskinen, K., Pukkala, E., Reijula, K. and Karjalainen, A., 2003. Incidence of cancer among the participants of the Finnish Asbestos Screening Campaign. *Scandinavian journal of work, environment & health*, pp.64-70.

Kwak, K., Paek, D. and Zoh, K.E., 2019. Exposure to asbestos and the risk of colorectal cancer mortality: a systematic review and meta-analysis. *Occupational and environmental medicine*, 76(11), pp.861-871.

Lacourt, A., Rinaldo, M., Gramond, C., Ducamp, S., Ilg, A.G.S., Goldberg, M., Paireon, J.C. and Brochard, P., 2014. Co-exposure to refractory ceramic fibres and asbestos and risk of pleural mesothelioma. *European Respiratory Journal*, 44(3), pp.725-733.

Lacourt, A., Gramond, C., Rolland, P., Ducamp, S., Audignon, S., Astoul, P., Ilg, A.G.S., Rinaldo, M., Raherison, C., Galateau-Salle, F. and Imbernon, E., 2014. Occupational and non-occupational attributable risk of asbestos exposure for malignant pleural mesothelioma. *Thorax*, 69(6), pp.532-539.

Lange J. H., 2004. Emergence of a New Policy for Asbestos: A result of the World Trade Center Tragedy. *Indoor and Built Environment*, 13, 21-33.

Langer, A.M., 2008. Identification and enumeration of asbestos fibers in the mining environment: Mission and modification to the Federal Asbestos Standard. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 52(1), pp.S207-S217.

Langer, A.M., Nolan, R.P. and Addison, J., 1991. Distinguishing between amphibole asbestos fibers and elongate cleavage fragments of their non-asbestos analogues. In *Mechanisms in fibre carcinogenesis* (pp. 253-267). Springer, Boston, MA.

Lee D. H. K. & Selikoff I.J., 1979. Historical Background to the Asbestos Problem. *Environmental Research* 18, 300-314.

Lee, J.T., Nitta, N., Benson, J., Magasinski, A., Fuller, T.F. and Yushin, G., 2013. Comparative study of the solid electrolyte interphase on graphite in full Li-ion battery cells using X-ray photoelectron spectroscopy, secondary ion mass spectrometry, and electron microscopy. *Carbon*, 52, pp.388-397.

Levine D. S., 1985. Does Asbestos Exposure Cause Gastrointestinal Disease in Greece?. *Digestive Diseases and Sciences*, Vol. 30, No. 12, pp. 1189-1198.

Li, M., Gunter, M.E. and Fukagawa, N.K., 2012. Differential activation of the inflammasome in THP-1 cells exposed to chrysotile asbestos and Libby "six-mix" amphiboles and subsequent activation of BEAS-2B cells. *Cytokine*, 60(3), pp.718-730.

Liddell D., 2001. Asbestos and Cancer. Letters to the editor

Loewen, G., Black, B., McNew, T. and Miller, A., 2019. Lung cancer screening in patients with Libby amphibole disease: High yield despite predominantly environmental and household exposure. *American Journal of Industrial Medicine*, 62(12), pp.1112-1116.

Loomis, D., Richardson, D.B. and Elliott, L., 2019. Quantitative relationships of exposure to chrysotile asbestos and mesothelioma

mortality. *American journal of industrial medicine*, 62(6), pp.471-477.

Malami C. and Grasserbauer M., 1982. Identification of Respirable Asbestos Fibres by Quantitative X-Ray Microanalysis with a Scanning Transmission Electron Microscope (STEM). *Fresenius Z. Anal. Chem.*, 311, 1-6.

Mallinson, L.G., Jefferson, D.A., Thomas, J.M. and Hutchison, J.L., 1980. The internal structure of nephrite: experimental and computational evidence for the coexistence of multiple-chain silicates within an amphibole host. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 295(1416), pp.537-552.

Marfels H., Spurny K. R., Jaekel F., Boose Ch., Althaus W., Opiela H., Schormann J., Weiss G. and Wulbeck F. J., 1987. Asbestos Fibre Measurements in the Vicinity of Emittents. *J. Aerosol Sci.*, Vol. 18, No. 6, pp. 627-630.

McCulloch J. (2003): The Discovery of Mesothelioma on South Africa 's Asbestow Fields. *Social History of medicine*, Vol. 16, No. 3.

McCulloch J., 2003. Asbestos Mining and Occupational Disease in Southern Rhodesian/Zimbabwe, 1915-98. *History Workshop Journal*, Issue 56.

McDonald J. C. and McDonald A. D., 1997. Chrysotile, Tremolite and Carcinogenicity. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 41. No. 6, pp. 699-705.

McDonald J. C., McDonald A. D. and Hughes J. M., 1999. Chrysotile, Tremolite and Fibrogenicity. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 43. No. 7, pp. 439-442.

Meguellati-Hakkas, D., Cyr, D., Stücker, I., Févotte, J., Pilorget, C., Luce, D. and Guénel, P., 2006. Lung cancer mortality and occupational exposure to asbestos among telephone linemen: a historical cohort study in France. *Journal of occupational and environmental medicine*, 48(11), pp.1166-1172.

Metcalf, R.V., Buck, B.J. and McLaurin, B.T., 2018, April. The Life Cycle of Asbestos: Understanding the Distinctions between Commercial and

- Naturally-Occurring Asbestos. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 20, p. 10720).
- Meurman, L.O., Kiviluoto, R. and Hakama, M., 1974. Mortality and morbidity among the working population of anthophyllite asbestos miners in Finland. *Occupational and Environmental Medicine*, 31(2), pp.105-112.
- Middleton A.P. 1979. The identification of asbestos in solid materials. Institute of Occupational Medicine, Chapter 7, Edinburgh.
- Middleton A. P. & Jackson E.A., 1982. A Procedure for the Estimation of Asbestos Collected on Membrane Filters Using Transmission Electron Microscopy (TEM). *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 25, No. 4, pp. 381-391.
- Miller A. B., 1978. Asbestos Fibre Dust and Gastro-Intestinal Malignancies. Review of Literature with Regard to a Cause/Effect Relationship. *J Chron Dis*, Vol. 31, pp. 23-33. *Pergamon Press. Printed in Great Britain*.
- Millette, J.R., 2006. Asbestos analysis methods. Asbestos: risk assessment, epidemiology, and health effects, pp.9-38.
- Millette, J.R. and Bandli, B.R., 2005. Asbestos identification using available standard methods. *Microscope-London then Chicago*, 53(4), p.179.
- Millette, J.R., Clark, P.J., Stober, J. and Rosenthal, M., 1983. Asbestos in water supplies of the United States. *Environmental health perspectives*, 53, pp.45-48.
- Moody, J.B., 1976. Serpentinization: a review. *Lithos*, 9(2), pp.125-138.
- Moore, E.M., 1969. Petrology and structure of the Vourinos ophiolitic complex of northern Greece (Vol. 118). *Geological Society of America*.
- Mossman, B.T. and Churg, A., 1998. Mechanisms in the pathogenesis of asbestosis and silicosis. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 157(5), pp.1666-1680.
- Mossman, B.T. and Gualtieri, A.F., 2020. Lung Cancer: Mechanisms of Carcinogenesis by Asbestos. In *Occupational Cancers* (pp. 239-256). Springer, Cham.

- Neuberger M. and Vutuc C., 2003. Three decades of pleural cancer and mesothelioma registration in Austria where asbestos cement was invented. *Int Arch Occup Environ Health* 76: 161-166.
- Nolan, R.P., Ross, M., Nord, G.L., Axten, C.W., Osleeb, J.P., Domnin, S.G., Price, B. and Wilson, R., 2005. Risk assessment for asbestos-related cancer from the 9/11 attack on the World Trade Center. *Journal of occupational and environmental medicine*, 47(8), pp.817-825.
- Nordvik, N., 1959. Are Silicosis and Asbestosis predisposing Causes of Cancer of the Lung. *Arch. Belges Med. Sociale, Hyg., Med. du Travail et Med. Legale*, 17(2), pp.85-99.
- Offler R. (1999): Tectonic significance of veins in the Woodsreef asbestos deposit, southern New England Fold Belt, NSW Australia. pp. 1-4.
- Ogorodova, L.P., Kiseleva, I.A., Vigasina, M.F., Gritsenko, Y.D., Bryzgalov, I.A. and Melchakova, L.V., 2019. Thermochemical Study of Sodium and Sodium–Calcium Amphibols. *Geochemistry International*, 57(5), pp.556-563.
- Pacella, A., Andreozzi, G.B., Corazzari, I., Tomatis, M. and Turci, F., 2018. Surface reactivity of amphibole asbestos: A comparison between two tremolite samples with different surface area.
- Pacella, A., Fantauzzi, M., Turci, F., Cremisini, C., Montereali, M.R., Nardi, E., Atzei, D., Rossi, A. and Andreozzi, G.B., 2015. Surface alteration mechanism and topochemistry of iron in tremolite asbestos: A step toward understanding the potential hazard of amphibole asbestos. *Chemical Geology*, 405, pp.28-38.
- Paoletti L., Caiazza S., Donelli G. and Pocchiari F., 1984. Evaluation by electron Microscopy Techniques of asbestos contamination in industrial, cosmetic and Pharmaceutical talcs. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 4, 222-235.
- Parolari, G., 2019. An outbreak of cancer and asbestosis among former amosite-exposed subjects in Ledro Valley, Italy. From discovery to

- environmental cleanup. *Annali dell'Istituto superiore di sanita*, 55(1), pp.80-89.
- Perkins, R.L. and Harvey, B.W., 1993. Method for the determination of asbestos in bulk building materials. *Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency*, Washington, DC.
- Phillips, J.I., Rees, D. and Swanepoel, A.J., 2016. Asbestos remains troublesome in South Africa after the ban: issues in occupational health. *Occupational Health Southern Africa*, 22(4), pp.20-23.
- Raithel H. J., Weltle D., Bohlig H. and Valentin H., 1989. Health hazards from fine asbestos dusts. An Analysis of 70.656 occupational preventive medical investigations from 1973 to the end of 1986. *Int Arch Occup Environ Health* 61: 527-541.
- Ramroth, H., Ahrens, W., Dietz, A. and Becher, H., 2011. Occupational asbestos exposure as a risk factor for laryngeal carcinoma in a population based case-control study from Germany. *American journal of industrial medicine*, 54(7), pp.510-514.
- Rassios A. E., 2004. A Geologist's Guide to West Macedonia, Greece. The Grevena *Development Agency*.
- Rassios, A.E. and Dilek, Y., 2009. Rotational deformation in the Jurassic Mesohellenic ophiolites, Greece, and its tectonic significance. *Lithos*, 108(1-4), pp.207-223.
- Rassios, A. and Smith, A.G., 2000. Constraints on the formation and emplacement age of western Greek ophiolites (Wourinos, Pindos, and Othris) inferred from deformation. Ophiolites and oceanic crust: new insights from field studies and the Ocean Drilling Program, 349, p.473.
- Rassios, A.E., Ghikas, C., Dilek, Y. and Kostopoulos, D., 2019. "Rootless" Ophiolites above the Exhuming Pelagonian Core Complex, Northern Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 54(1), pp.60-94.
- Rees D., Phillips J. I., Garton E. and Pooley F. D., 2001. Asbestos Lung Fibre Concentrations in South African Chrysotile Mine Workers. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 45, No. 6, pp. 473-477.

Rees, D., Goodman, K., Fourie, E., Chapman, R., Blignaut, C., Bachmann, M.O. and Myers, J., 1999. Asbestos exposure and mesothelioma in South Africa. *South African Medical Journal*, 89(6).

Renner R., 2003. Asbestos investigation under way. *Environmental Science & Technology*, December 1.

Rickards A. L., 1973. Estimation of Submicrogram Quantities of Chrysotile Asbestos by Electron Microscopy. *Analytical Chemistry*, Vol. 45, No. 4.

Rinaudo, C., Gastaldi, D., Belluso, E. and Capella, S., 2005. Application of Raman Spectroscopy on asbestos fibre identification. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*, pp.31-36.

Ristić, M., Czako-Nagy, I., Musić, S. and Vértés, A., 2011. Spectroscopic characterization of chrysotile asbestos from different regions. *Journal of molecular structure*, 993(1-3), pp.120-126.

Roggli V. L., Vollmer R. T., Butnor K. J. and Sporn T. A., 2002. Tremolite and Mesothelioma. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 46, No. 5, pp. 447-453.

Roggli, V.L., Gibbs, A.R., Attanoos, R., Churg, A., Popper, H., Cagle, P., Corrin, B., Franks, T.J., Galateau-Salle, F., Galvin, J. and Hasleton, P.S., 2010. Pathology of asbestosis—an update of the diagnostic criteria: report of the asbestosis committee of the college of american pathologists and pulmonary pathology society. *Archives of pathology & laboratory medicine*, 134(3), pp.462-480.

Rood A. P. & Streeter R. R., 1984. Size Distributions of Occupational Airborne Textile Fibres as Determined by Transmission Electron Microscopy. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 28, No. 3, pp. 333-339.

Ross, M., Kuntze, R.A. and Clifton, R.A., 1984. A definition for asbestos. *Special Technical Publication*, 834, pp.139-147.

Ross, J.V., Mercier, J.C., Lallemand, H.A., Carter, N.T. and Zimmerman, J., 1980. The Vourinos ophiolite complex, Greece: the tectonite suite. *Tectonophysics*, 70(1-2), pp.63-83.

Rowlands N., Gibbs G. W. and McDonald A. D., 1982. Asbestos Fibres in the Lungs Chrysotile Miners and Millers-A Preliminary Report. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 26, No. 3, pp. 411-415.

- Ruud C. O., Barrett C. S., Russell P. A. and Clark R. L., 1976. Selected area electron diffraction and energy dispersive X-ray analysis for the identification of asbestos fibres, a comparison. *Microm*, Vol. 7, 115-132.
- Sali D. and Boffetta P., 2000. Kidney cancer and occupational exposure to asbestos: a meta-analysis of occupational cohort studies. *Cancer Causes and Control* 11: 37-47.
- Sanford, R.F., 1981. Mineralogical and chemical effects of hydration reactions and applications to serpentinization. *American Mineralogist*, 66(3-4), pp.290-297.
- Scarpa L., 1908. Industria dell' amianto e tubercolosi. *Proc. 18th. Internal Med. Congress, Rome*, 358.
- Scavone, L., Giannasi, F. and Thébaud-mony, A., 1999. Cidadania e doenças profissionais: o caso do amianto. Perspectivas: *Revista de Ciências Sociais*, 22(1).
- Schleifring, J.H., Galassi, F.M., Habicht, M.E. and Rühli, F.J., 2019. Autopsing history: The mummy of Charlemagne (c. 747–814 AD), father of Europe. *Economics & Human Biology*, 32, pp.11-17.
- Schreier, H., 1989. Asbestos in the natural environment. *Elsevier*.
- Selikoff, I.J. and Lee, D.H.K., 1978. Asbestos and disease. Academic Press, Inc. 111 Fifth Avenue, New York, New York 10003, USA.
- Selikoff, I.J., Churg, J. and Hammond, E.C., 1964. Asbestos exposure and neoplasia. *Jama*, 188(1), pp.22-26.
- Selikoff, I.J., Churg, J. and Hammond, E.C., 1965. Relation between exposure to asbestos and mesothelioma. *New England Journal of Medicine*, 272(11), pp.560-565.
- Selikoff, I.J., Hammond, E.C. and Churg, J., 1972. Carcinogenicity of amosite asbestos. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 25(3), pp.183-186.
- Selikoff, I.J., Bader, R.A., Bader, M.E., Churg, J. and Hammond, E.C., 1967. Asbestosis and neoplasia. *The American journal of medicine*, 42(4), pp.487-496.

- Seshan K., 1978. On the Utility of Dark-Field Electron Microscopy in the Determination of the Degree of Deformation In Chrysotile Asbestos: *An Environmental Research Application. Environmental Research* 16, 383-392.
- Skarpelis N. and Dabitzias S., 1987. The chrysotile asbestos deposit at Zidani, northern Greece. *Ofioliti*, Vol. 12 (2), pp. 403-410.
- Skikne M. I., Talbot J. H. and Rendall R. E. G., 1971. Electron Diffraction Patterns of U.I.C.C. Asbestos Sample. *Environmental Research* 4, 141-145.
- Skinner, H.C.W., Ross, M. and Frondel, C., 1988. Asbestos and other fibrous materials: mineralogy, crystal chemistry, and health effects. *Oxford University Press*.
- Sparks, J., 1844. The Works of Benjamin Franklin.
- Speil S. & Leineweber J. P., 1969. Asbestos Minerals in Modern Technology. *Environmental Research*, 2, 166-208.
- Spirtas, R., Heineman, E.F., Bernstein, L., Beebe, G.W., Keehn, R.J., Stark, A., Harlow, B.L. and Benichou, J., 1994. Malignant mesothelioma: attributable risk of asbestos exposure. *Occupational and Environmental Medicine*, 51(12), pp.804-811.
- Sporn, T.A., 2014. The mineralogy of Asbestos. In Pathology of Asbestos-Associated Diseases (pp. 1-10). *Springer, Berlin*, Heidelberg.
- Srivastava, R.K., Lohani, M., Pant, A.B. and Rahman, Q., 2010. Cyto-genotoxicity of amphibole asbestos fibers in cultured human lung epithelial cell line: role of surface iron. *Toxicology and industrial health*, 26(9), pp.575-582.
- Steel E. B. & Small J. A., 1985. Accuracy Transmission Electron Microscopy for the Analysis of Asbestos in Ambient Environments. *Anal. Chem.*, 57, 209-213.
- Steene D., Guillemin M. P., Buffat P. and Litzistore G., 1983. Determination of Asbestos fibres in Air Transmission Electron Microscopy as a Reference Method. *Atmospheric Environment*, Vol. 17, No. 11, pp. 2285-2297.

- Subramanian V. and Madhavan N., 2005. Asbestos problem in India. *Lung Cancer* 49S1, S9-S12.
- Suzuki Y., Yuen S. R. and Ashley R., 2005. Short, thin asbestos fibers contribute to the development of human malignant mesothelioma: pathological evidence. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 208, 201-210.
- Swayze, G.A., Clark, R.N., Sutley, S.J., Hoefen, T.M., Plumlee, G.S., Meeker, G.P., Brownfield, I., Livo, K.E. and Morath, L.C., 2009. Spectroscopic and x-ray diffraction analyses of asbestos in the World Trade Center dust.
- Tisane, R.J., Betsi, T.B. and Franchi, F., 2019. Petrochemistry of the metasomatized Neoproterozoic Lower Transvaal Supergroup carbonate from the Kanye Basin (south Botswana). *Journal of African Earth Sciences*, 150, pp.282-298.
- Tlotleng, N., Sidwell Wilson, K., Naicker, N., Koegelenberg, C.F., Rees, D. and Phillips, J.I., 2019. The significance of non occupational asbestos exposure in women with mesothelioma. *Respirology case reports*, 7(1), p.e00386.
- Tulchinsky, T.H., Ginsberg, G.M., Iscovich, J., Shihab, S., Fischbein, A. and Richter, E.D., 1999. Cancer in ex asbestos cement workers in Israel, 1953–1992. *American journal of industrial medicine*, 35(1), pp.1-8.
- Turci, F., Tomatis, M., Compagnoni, R. and Fubini, B., 2009. Role of associated mineral fibres in chrysotile asbestos health effects: the case of balangeroite. *Annals of occupational hygiene*, 53(5), pp.491-497.
- Turner S. & Steel E. B., 1991. Accuracy of Transmission Electron Microscopy Analysis of Asbestos on Filters: Interlaboratory Study. *Anal. Chem.*, 63, 868-872.
- Ueda, H., Usuki, T. and Kuramoto, Y., 2004. Intraoceanic unroofing of eclogite facies rocks in the Omachi Seamount, Izu-Bonin frontal arc. *Geology*, 32(10), pp.849-852.
- USGS, U., 2019. Response to an Urban Earthquake-Northridge'94.

- Valic F. (2002): The Asbestos Dilemma: 1. Assessment of Risk. *Arh Hig Rada Toksikol*, Vol. 53, pp. 153-167.
- Valic F. (2002): The Asbestos Dilemma: II. The Ban. *Arh Hig Rada Toksikol*, Vol. 53, pp. 203-211.
- van Zandwijk, N. and Reid, G., 2019. Asbestos and the Pathophysiology of Mesothelioma. In *Mesothelioma* (pp. 19-33). *Springer*, Cham.
- Vautier-Giongo C. and Joekes I. (1997): Deposition of titanium dioxide on Brazilian chrysotile fibres. *Powder Technology*, Vol. 94, pp. 73-78.
- Verma D. K. & Clark N. E., 1995. Relationships Between Phase Contrast Microscopy and Transmission Electron Microscopy Results of Samples from Occupational Exposure to Airborne Chrysotile Asbestos. *American Industrial Hygiene Association*, 56, 866-873.
- Vianna, N. and Polan, A., 1978. Non-occupational exposure to asbestos and malignant mesothelioma in females. *The Lancet*, 311(8073), pp.1061-1063.
- Vilkman S., Lahdensuo A., mattila J. Tossavainen A. and Tuomi T., 1993. Asbestos exposure according to different exposure indices among Finnish lung cancer patients. *Int Arch Occup Environ Health* 65: 269-274.
- Virta, R.L., 2001. Some facts about asbestos: US Geological Survey Fact Sheet FS 012-01.
- Virta, R.L., 2002. Asbestos: Geology, mineralogy, mining, and uses. US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Vorwald, A.J., Durkan, T.M. and Pratt, P.C., 1951. Experimental studies of asbestosis. *Arch. Indust. Hyg. & Occupational Med.*, 3(1), pp.1-43.
- Wagner, J.C., Sleggs, C.A. and Marchand, P., 1960. Diffuse pleural mesothelioma and asbestos exposure in the North Western Cape Province. *Occupational and Environmental Medicine*, 17(4), pp.260-271.
- Wagner J. C., Pooley F. D., Berry G., Seal R. M. E., Munday D. E., Morgan J. & Clark N. J., 1982. A pathological and Mineralogical Study of

- Asbestos-Related deaths in the United Kingdom in 1977. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 26, No. 3, pp. 423-431.
- Wicks, F.J., 1979. Mineralogy, chemistry and crystallography of chrysotile asbestos. Mineralogical Techniques of Asbestos Determination (Ledoux, RL ed.). *Mineralogical Association of Canada, Short Course*, 4, pp.35-78.
- Wicks, F.J., 1984. Deformation histories as recorded by serpentinites; I, Deformation prior to serpentinitization. *The Canadian Mineralogist*, 22(1), pp.185-195.
- Wicks, F.J., 1984. Deformation histories as recorded by serpentinites; II, Deformation during and after serpentinitization. *The Canadian Mineralogist*, 22(1), pp.197-203.
- Wicks, F.J., 1984. Deformation histories as recorded by serpentinites; III, Fracture patterns developed prior to serpentinitization. *The Canadian Mineralogist*, 22(1), pp.205-209.
- Whittaker E. J. W., 1956a. The structure of chrysotile. II. Clinochrysotile. *Acta Crystallogr* 9: 855-862.
- Whittaker E. J. W., 1956b. The structure of chrysotile. III. Orthochrysotile. *Acta Crystallogr* 9: 862-864.
- Whittaker E. J. W. 1956c. The structure of chrysotile. IV. Parachrysotile. *Acta Crystallogr* 9: 865-867.
- Whittaker, E. J. W., 1979. Mineralogy, chemistry and crystallography of amphibole asbestos.
- Whittaker E. J. W. & Zussman J., 1956. The characterization of serpentine minerals by X-ray diffraction. *Mineral. Mag.* 31, 107-126.
- Woitowitz H.-J., Lange H.-J., Beierl L., Rathgeb M., Schmidt K., Ulm K., Giesen T., Woitowitz R. H., Pache L. and Rödelsperger K., 1986. Mortality rates in the Federal Republic of Germany following previous occupational exposure to asbestos dust. *Int Arch Occup Environ Health* 57: 161-171.
- Women Inspectors of Factories (1899): Annual Rpt. For 1898. H. M. Stationery Office, London, 170.

- Würtz, E.T., Hansen, J., Roe, O.D. and Omland, O., 2020. Asbestos exposure and haematological malignancies: a Danish cohort study. *European Journal of Epidemiology*, pp.1-12.
- Wyers, H., 1949. Asbestosis. *Postgraduate medical journal*, 25(290), p.631.
- Wylie A. G. (1993): Modeling Asbestos populations: *A fractal approach*. *Canadian Mineralogist*, Vol. 30, pp. 437-446.
- Yano E., Wang Z.-M., Wang X.-R., Wang M.-Z. and Lan Y.-J., 2001. Cancer Mortality among Workers Exposed to Amphibole-free Chrysotile Asbestos. *American Journal of Epidemiology*, Vol. 154, No. 6.
- Yarborough C. M., 2006. Chrysotile as a Cause of Mesothelioma: An Assessment Based on Epidemiology. *Critical Reviews in Toxicology*, Volume 36, Number 2, pages 165-187.
- Ye, Q., Yang, X., Yan, Y., Xue, C. and Du, X., 2017. Asbestos exposure causes small airway obstruction among asbestosis patients.
- Yoon, S.J., Long, N.P., Jung, K.H., Kim, H.M., Hong, Y.J., Fang, Z., Kim, S.J., Kim, T.J., Anh, N.H., Hong, S.S. and Kwon, S.W., 2019. Systemic and Local Metabolic Alterations in Sleep-Deprivation-Induced Stress: A Multiplatform Mass-Spectrometry-Based Lipidomics and Metabolomics Approach. *Journal of proteome research*, 18(9), pp.3295-3304.
- Zheng, W.M., Sun, H.J., Peng, T.J. and Zeng, L., 2019. Thermal process and mechanism of phase transition and detoxification of glass-ceramics from asbestos tailings. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 517, pp.26-31.
- Zoltai, T., 1978. History of Asbestos-Related Mineralogical Terminology. *Nist Special Publication*, (506-507), p.1.
- Καρκάνας, Π., 1987. Μελέτη του Κοιτάσματος Χρυσοτιλικού Αμιάντου Ζιδανίου Κοζάνης και της εμφάνισης Τρεμολιτικού Αμιάντου Άνω Αγόριανης Οθρύος. Doctoral dissertation, *Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ)*. Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας.
- Κίλιας, Α.Α. και Μουντράκης, Δ.Μ., 1989. Το τεκτονικό κάλυμμα της Πελαγονικής: τεκτονική, μεταμόρφωση και μαγματισμός. *The*

Pelagonian nappe: tectonics, metamorphism and magmatism.
Δελτίου της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, 23(1), pp.29-46.

Μιχαλοπούλου Χ., 2004. Νομοθεσία για το Περιβάλλον. *Εκδόσεις ΖΗΤΗ*,
Θεσσαλονίκη 2004.

Οικονόμου Μ. (1993): Μεταλλογενέσεις συνδεόμενες με βασικά και υπερβασικά πετρώματα. Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας. Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας, Αθήνα.

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

ΚΥΑ 46399/4352/1986 (ΦΕΚ 438B/3-7-86): Απαιτούμενη ποσότητα των επιφανειακών νερών που προορίζονται για: «πόσιμα», «κολύμβηση», «διαβίωση ψαριών σε γλυκά νερά» και «καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών», μέθοδοι μέτρησης, συχνότητα δειγματοληψίας και ανάλυση επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, σε συμμόρφωση με τις οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 75/440/ΕΟΚ, 76/160/ΕΟΚ, 78/659/ΕΟΚ, 79/923/ΕΟΚ και 79/869/ΕΟΚ.

ΚΥΑ Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892B/11-7-2001): Ποιότητα του νερού της ανθρώπινης κατανάλωσης, σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3^{ης} Νοεμβρίου 1998.

Οδηγία 75/440/ΕΟΚ: Οδηγία του συμβουλίου της 16^{ης} Ιουνίου 1975 περί της απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων επιφάνειας που προορίζονται για την παραγωγή ποσίμου ύδατος στα Κράτη μέλη.

Οδηγία 76/160/ΕΟΚ: Οδηγία του συμβουλίου της 8^{ης} Δεκεμβρίου 1975 περί της ποιότητας των υδάτων κολυμβήσεως.

Οδηγία 78/659/ΕΟΚ: Οδηγία του συμβουλίου της 18^{ης} Ιουλίου 1978 περί της ποιότητας των γλυκών υδάτων που έχουν ανάγκη προστασίας ή βελτιώσεως για τη διατήρηση της ζωής των ιχθύων.

Οδηγία 79/923/ΕΟΚ: Οδηγία του συμβουλίου της 30^{ης} Οκτωβρίου 1979 περί της απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων για οστρακοειδή.

Οδηγία 79/869/ΕΟΚ: Οδηγία του συμβουλίου της 9^{ης} Οκτωβρίου 1979 περί των μεθόδων μετρήσεων και περί της συχνότητας των δειγματοληψιών

και της αναλύσεως των επιφανειακών υδάτων τα οποία προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος στα κράτη μέλη.

Οδηγία 81/855/ΕΟΚ: Οδηγία του συμβουλίου της 19ης Οκτωβρίου 1981 περί προσαρμογής, λόγω της προσχώρησης της Ελλάδας, της οδηγίας 79/869/ΕΟΚ περί των μεθόδων μέτρησης και περί της συχνότητας των δειγματοληψιών και της ανάλυσης των επιφανειακών υδάτων τα οποία προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου νερού στα κράτη μέλη.

Οδηγία 91/692/ΕΟΚ: Οδηγία του συμβουλίου της 23ης Δεκεμβρίου 1991 για την τυποποίηση και τον εξορθολογισμό των εκθέσεων που αφορούν την εφαρμογή ορισμένων οδηγιών για το περιβάλλον.

Οδηγία 98/83/ΕΚ: Οδηγία του συμβουλίου της 3^{ης} Νοεμβρίου 1998 σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.

Πράξη 179Η: Πράξη περί των όρων προσχώρησης και των προσαρμογών των συνθηκών- Προσχώρηση της Ελληνικής Δημοκρατίας στις Ευρωπαϊκές Κοινότητες.

Πράξη 185Ι: Πράξη για τους όρους προσχώρησης και για τις προσαρμογές των συνθηκών-Προσχώρηση του Βασιλείου της Ισπανίας και της Πορτογαλικής Δημοκρατίας στις Ευρωπαϊκές Κοινότητες.