



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Π.Μ.Σ. ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΤΟΞΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΣΤΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ
ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΑΔΟΣ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ



ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ
ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΓΙΔΑΡΑΚΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Π.Μ.Σ. ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΤΟΞΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΣΤΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ
ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΑΔΟΣ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ**

ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

**ΓΙΔΑΡΑΚΟΣ Ε. Αν. Καθηγητής
ΚΟΜΝΙΤΣΑΣ Κ. Αν. Καθηγητής
ΚΑΡΑΦΥΛΛΗΣ Ι. Επι. Καθηγητής
ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ Ε. Καθηγητής
(Αναπληρωματικό μέλος)**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί το επιστέγασμα της μεταπτυχιακής μου έρευνας με θέμα τον προσδιορισμό αμιάντου στις αποθέσεις των Μεταλλείων Αμιάντου Βορείου Ελλάδος και την εκτίμηση της ρύπανσης,, η οποία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλαν στην υλοποίησή της.

Ξεκινώντας τις ευχαριστίες μου, θα ήθελα να τις απευθύνω στον υπεύθυνο της μεταπτυχιακής εργασίας, τον κ. Ε. Γιδάρako, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί του, την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε κατά την εκτέλεση των ερευνητικών εργασιών καθώς και το Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων για την οικονομική προσφορά του στην ανάλυση των δειγμάτων.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές, Κ. Κομνίτσα, Ε. Διαμαντόπουλο και Ι. Καραφύλλη, για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή και τις παρατηρήσεις τους επί του κειμένου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω το Εργαστήριο Εμπλουτισμού του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης και συγκεκριμένα την Όλγα Παντελάκη, για την συμβολή της στην διεξαγωγή των κοκκομετρικών αναλύσεων.

Ευχαριστίες αρμόζουν στον υποψήφιο Διδάκτορα και Χημικό Μηχανικό Μανόλη Διαλυνά για την διεξαγωγή των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων ύδατος καθώς και το Διατμηματικό Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος του Γενικού Τμήματος.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω της ευχαριστίες μου στην κ. Μ. Βαλτά (Διευθύντρια του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Εμπλουτισμού και Μεταλλουργίας του Ι.Γ.Μ.Ε) για την παροχή συμβουλευτικού υλικού καθώς και χρήσιμων συμβουλών.

Σημαντική συμβολή στην εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτέλεσε η στήριξη, καθώς και οι γνώσεις σε θέματα υδρογεωλογίας της υποψήφιας Διδάκτορος, Φωτεινής Σταμάτη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και το στενό φιλικό περιβάλλον, για την πραγματικά απεριόριστη ηθική συμπαράσταση που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Κουμαντάκης Γ. Εμμανουήλ

Χανιά 2007

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο αμιάντος είναι ένα ορυκτό που, εξαιτίας των εξαιρετικών μηχανικών ιδιοτήτων του, την υψηλή θερμική αντοχή και την ανθεκτικότητα στη χημική προσβολή, μέχρι πρόσφατα χρησιμοποιούνταν εκτεταμένα στην κατασκευή περισσοτέρων των τριών χιλιάδων προϊόντων. Σήμερα έχει απαγορευτεί η οποιαδήποτε χρήση του αφού θεωρείται ότι προκαλεί σοβαρά προβλήματα υγείας. Παρόλα αυτά μέρος της επιστημονικής κοινότητας σε παγκόσμιο επίπεδο ασχολείται με τα σοβαρά προβλήματα του αμιάντου. Ανάμεσα σε αυτά, σημαντικό ζήτημα αποτελούν τα εγκαταλελειμμένα μεταλλεία αμιάντου, όπου έπειτα από τη διακοπή λειτουργίας τους, χαρακτηρίζονται ως εστίες ρύπανσης για τον αέρα, τα εδάφη, τα επιφανειακά και υπόγεια νερά.

Συγκεκριμένα στην Ελλάδα υπάρχει ένα ανενεργό υπαίθριο μεταλλείο αμιάντου που βρίσκεται στη θέση Ζιδάνι, του νομού Κοζάνης. Η εξορυκτική δραστηριότητα διήρκησε περίπου 20 χρόνια (από το 1982 έως το 2000) με ετήσια παραγωγή 50.000-80.000 ton, η οποία αντιστοιχούσε στο 3,5 % της παγκόσμιας παραγωγής. Βόρεια των εγκαταστάσεων του ανενεργού μεταλλείου βρίσκεται σε απόσταση ενός χιλιομέτρου ο ποταμός Αλιάκμονας και η τεχνητή λίμνη Πολυφύτου. Ως εστίες ρύπανσης της ευρύτερης περιοχής θεωρούνται, ο χώρος εξόρυξης του μεταλλεύματος, οι εγκαταλελειμμένες εγκαταστάσεις και τέλος οι αποθέσεις.

Η έντονη εξορυκτική δραστηριότητα στο μεταλλείο είχε ως αποτέλεσμα την εναπόθεση, στο ανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα του εργοστασίου, κοντά στον Αλιάκμονα, φτωχού προς επεξεργασία υλικού, υψηλής παρόλα αυτά συγκέντρωσης σε ίνες αμιάντου και εν τέλει τον σχηματισμό ενός λόφου (αποθέσεων), συνολικής έκτασης 532 στρεμμάτων και ύψους 170 μέτρων, όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία. Διεξαχθείσες έρευνες, κατά τη λειτουργία του μεταλλείου, για τον προσδιορισμό της ρύπανσης των υδάτων του Αλιάκμονα έδειξαν υψηλές συγκεντρώσεις ινών αμιάντου σε μεγάλη απόσταση από αυτό.

Η συγκεκριμένη διατριβή αποσκοπεί, πρώτον στον χαρακτηρισμό των αποθέσεων σε ότι αφορά τόσο στα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους όσο και στον ποσοτικό προσδιορισμό της περιεκτικότητας ινών αμιάντου στο εδαφικό υλικό και τα επιμέρους κλάσματα, και δεύτερον στην εκτίμηση της ρύπανσης του Αλιάκμονα

εξαιτίας της ύπαρξης των αποθέσεων με τη διεξαγωγή των απαιτούμενων ερευνητικών εργασιών.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η έκταση της ρύπανσης στον ποταμό Αλιάκμονα και την τεχνητή λίμνη Πολυφύτου, καθορίστηκε ένα δίκτυο δειγματοληψίας ύδατος το οποίο περιελάμβανε θέσεις από εποχικά ρέματα μεταξύ των αποθέσεων και του Αλιάκμονα και κατά μήκος του ποταμού Αλιάκμονα.

Η ανάλυση των δειγμάτων εδαφικού υλικού και ύδατος διεξήχθη με Πολωτικό Μικροσκόπιο (PLM) και Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Διέλευσης (TEM), αντίστοιχα.

Τέλος, τα μορφολογικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής των αποθέσεων, καθώς και τα μετεωρολογικά δεδομένα από σταθμό της περιοχής των ΜΑΒΕ, χρησιμοποιήθηκαν, με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού προγράμματος (WEPP model v. 2006.500), προκειμένου να εκτιμηθεί η επιφανειακή απορροή της περιοχής των αποθέσεων. Ο υπολογισμός της επιφανειακής απορροής στην περιοχή των αποθέσεων σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων σε αμιάντο των δειγμάτων ύδατος χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των ινών αμιάντου που απελευθερώνονται από τις αποθέσεις στην ευρύτερη περιοχή.

ABSTRACT

Asbestos is a silicate mineral that, due to its exceptional mechanic attributes and high temperature and chemical resistance has been used for the production of more than three thousands products, until recently. Today, any use of asbestos has been prohibited as it is considered that it causes serious health problems. Thus, part of the global scientific community deals with the serious issues concerning asbestos. Among them, an important issue constitutes the abandoned asbestos mines, which are considered as pollution sources for air, soil, surface waters and groundwaters.

Specifically, in Greece exists one inactive asbestos mine (MABE) that is found in the Zidani area, in the Prefecture of Kozani. The duration of the operation of the MABE and consequently of the mining activity was roughly 20 years (from 1982 to 2000) with annual production 50000-80000 tn, which corresponded for the 3,5% of world's production. North of the MABE in one kilometer distance the Aliakmonas River and the artificial lake Polifitos are found. The asbestos mine area, the abandoned buildings and finally the tailings are considered as pollution sources of the region.

The intense mining activity in the MABE mine resulted in the deposition (in the eastern/south-eastern side of the factory, nearby the Aliakmonas River) of the poor to treatment material – however high in asbestos fibers concentration - and the creation of a hill like shaping (tailings) of 170 m height that is extended 532000 m², as it is reported in the bibliography. Existing measurements during the operation of mine, indicated high concentrations of asbestos fibers in Aliakmonas River along a long distance from MABE.

The present study aims in the morphologic characterization of the tailings, the quantitative determination of asbestos fibers content in the soil material and the sub-fractions (regarding the grain size distribution) and the estimation of the extent of the pollution of Aliakmonas River due to the existence of the tailings.

In order to estimate the extent of the pollution in the Aliakmonas River and the artificial lake Polifitos a water sampling network was determined which included points from seasonal streams between the tailings and the Aliakmonas River and along the Aliakmonas River.

ABSTRACT

The analysis of the soil and water samples was carried out with the method SEM (Scanning Electron Microscopy) and TEM (Transmission Electron Microscopy), respectively.

Finally, the morphologic and soil characteristics of the tailings, as well as the meteorological conditions (data taken from station nearby the MABE), were used, with the help of suitable model (WEPP model v. 2006.500), in order to estimate the surface runoff in the tailings disposal site. The calculation of the surface runoff in combination with the concentration of asbestos fibers in water samples were used for the estimation of the quantity of asbestos fibers that are released from the tailings in the region.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ο ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΩΣ ΟΡΥΚΤΟ

1.1	Εισαγωγή	1
1.2	Ιστορική Αναδρομή	1
1.3	Τα κυριότερα ορυκτά αμιάντου	2
1.4	Φυσικές και χημικές ιδιότητες αμιάντου	3
1.5	Παγκόσμια παραγωγή και προϊόντα αμιάντου	9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

2.1	Εισαγωγή	15
2.2	Έκθεση σε αμιάντο και ασθένειες	15
2.3	Ομάδες πληθυσμού εκτεθειμένες στον αμιάντο	20
2.4	Οικονομικές και κοινωνικές συνιστώσες του προβλήματος	22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

3.1	Εισαγωγή	24
3.2	Νομοθεσία σχετική με τον περιορισμό εμπορίας και χρήσης του αμιάντου	24
3.3	Νομοθετικό πλαίσιο για την προστασία των εργαζομένων	26
3.4	Νομοθεσία για την πρόληψη και μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από αμιάντο	28
3.5	Επιτρεπτά όρια	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ

4.1	Εισαγωγή	32
4.2	Αναλυτικές μέθοδοι	32
4.2.1	Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Διέλευσης (TEM)	33
4.2.2	Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM)	34

4.2.3	Πολωτικό μικροσκόπιο (PLM)	36
4.2.4	Μικροσκόπιο αντίθετης φάσης (PCM)	37
4.2.5	EPMA (Ηλεκτρονική ανάλυση με μικροκύματα)	38
4.2.6	XRD (Περιθλασιμετρία ακτινών Χ)	38
4.3	Αναλυτικές μέθοδοι- Σύγκριση	39
4.4	Οδηγός προσδιορισμού ινών αμιάντου με την χρήση πρότυπης μεθόδου	42
4.4.1	Προσδιορισμός ινών αμιάντου σε δείγμα ύδατος με την μέθοδο TEM (EPA 100.1: Μη πόσιμο νερό)	43
4.4.2	Προσδιορισμός ινών αμιάντου σε δείγμα ύδατος με την μέθοδο PLM (OSHA Inorganic 191)	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ο ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΩΣ ΕΣΤΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

5.1	Εισαγωγή	55
5.2	Ο αμιάντος στο υδατικό περιβάλλον	55
5.2.1	Ινες αμιάντου και πόσιμο νερό	56
5.2.2	Ινες αμιάντου στην βροχή και το χιόνι	59
5.2.3	Ινες αμιάντου στις λίμνες και στα ποτάμια	59
5.3	Μεταφορά και αλλοίωση των ινών αμιάντου στο νερό	62
5.3.1	Μεταφορά και αλλοίωση	62
5.3.2	Φυσική αλλοίωση των ινών αμιάντου	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΤΑΛΛΕΙΟ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΑΔΟΣ

6.1	Εισαγωγή	77
6.2	Περιγραφή MABE	77
6.2.1	Ιστορικό	77
6.2.2	Περιγραφή των MABE	78
6.3	Γεωλογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής	82
6.4	Τεκτονική της ευρύτερης περιοχής	87
6.5	Υδρογεωλογία	88
6.6	Το MABE ως εστία ρύπανσης	89
6.7	Πρώτο Μερικό Συμπέρασμα	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

7.1	Εισαγωγή	94
7.2	Περιγραφή	94
7.3	Μορφολογικά χαρακτηριστικά	99
7.4	Ανάλυση εδαφικού υλικού	104
7.4.1	Δειγματοληψία εδαφικού υλικού	104
7.4.2	Κοκκομετρία	107
7.4.3	Προσδιορισμός ινών αμιάντου	111
7.4.3.1	Προετοιμασία δείγματος	112
7.4.3.2	Υπολογισμός ινών αμιάντου	114
7.5	Δεύτερο Μερικό Συμπέρασμα	119

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΛΙΑΚΜΟΝΑΣ ΚΑΙ ΑΜΙΑΝΤΟΣ

8.1	Εισαγωγή	121
8.2	Αλιάκμονας και λίμνη Πολυφύτου	121
8.3	Ερευνητικές Εργασίες	124
8.3.1	Μέθοδος Δειγματοληψίας	125
8.3.2	Σχέδιο δειγματοληψίας	126
8.3.3	Δειγματοληψία ύδατος	126
8.3.4	Δειγματοληψία εδαφικού υλικού	130
8.4	Αποτελέσματα δειγματοληψιών - Επεξεργασία	130
8.4.1	Δείγματα ύδατος	130
8.4.2	Συσχέτιση συγκέντρωσης ινών αμιάντου και χημικών ιδιοτήτων των δειγμάτων ύδατος	133
8.4.3	Δείγματα εδάφους	148
8.4.4	Τρίτο Μερικό Συμπέρασμα	148

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

9.1	Εισαγωγή	150
9.2	Μοντέλο Διάβρωσης	150

9.2.1	Δεδομένα Εισαγωγής	151
9.2.1.1	Μορφολογία λοφοπλαγιάς	151
9.2.1.2	Εδαφολογικά χαρακτηριστικά	153
9.2.1.3	Μετεωρολογικά δεδομένα	160
9.2.1.4	Στοιχεία καλλιέργειας και διαχείρισης της γης	161
9.2.1	Αποτελέσματα εφαρμογής προγράμματος WEPP	162
9.3	Εφαρμογή του μοντέλου διάβρωσης	163
9.3.1	Δεδομένα εισόδου	163
9.3.1.1	Μορφολογικά χαρακτηριστικά	164
9.3.1.2	Εδαφολογικά χαρακτηριστικά	167
9.3.1.3	Μετεωρολογικά δεδομένα	168
9.3.1.4	Χρήση γης	170
9.3.2	Αποτελέσματα	170
9.4	Αποθέσεις και ρύπανση της ευρύτερης περιοχής	173
9.5	Τέταρτο Μερικό Αποτέλεσμα	175

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΛΥΣΗ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ-ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

10.1	Εισαγωγή	177
10.2	Αποκατάσταση διαταραγμένων περιοχών από μεταλλευτικές και λατομικές δραστηριότητες	177
10.3	Αποκατάσταση μεταλλείων	179
10.4	Πρόγραμμα μελέτης αποκατάστασης περιοχής των αποθέσεων	183
10.4.1	Χαρτογράφηση υπό μελέτης περιοχής	183
10.4.2	Διάβρωση – Μετρά προστασίας	183
10.4.2.1	Εισαγωγή	183
10.4.2.2	Αποθέσεις MABE	187
10.4.3	Φυτοτεχνική Μελέτη αποκατάστασης του χώρου	192
10.5	Πέμπτο μερικό συμπέρασμα	197
	Τελικά Συμπεράσματα	198
	Βιβλιογραφία	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ
ΥΔΑΤΟΣ**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ
ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ TEM

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ο ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΩΣ ΟΡΥΚΤΟ

Πίνακας 1.1: Χημική σύσταση ορυκτών αμιάντου	5
Πίνακας 1.2: Φυσικές και χημικές ιδιότητες διαφόρων τύπου αμιάντου	8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Πίνακας 2.1: Κρούσματα μεσοθηλιώματος σε συνάρτηση με τον τύπο αμιάντου	18
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Πίνακας 3.1: Επιτρεπτά όρια για τον αέρα, το νερό και τα έδαφος	31
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΙΝΩΝ ΑΜΙΑΝΤΟΥ

Πίνακας 4.1: Αναλυτικές Μέθοδοι προσδιορισμού ινών αμιάντου	32
Πίνακας 4.2: Μέθοδοι ανάλυσης και χαρακτηριστικά	42
Πίνακας 4.3: Οδηγοί προσδιορισμού ινών αμιάντου	43
Πίνακας 4.4: Όγκος φιλτραρισμένου δείγματος και όρια ευαισθησίας	46
Πίνακας 4.5: Δείκτης διάθλασης ορυκτών αμιάντου	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ο ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΩΣ ΕΣΤΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Πίνακας 5.1: Συγκέντρωση ινών αμιάντου στο πόσιμο νερό σε διάφορες περιοχές στη Βόρεια Αμερική	57
Πίνακας 5.2: Ίνες αμιάντου σε λίμνες και ποτάμια σε διάφορες περιοχές	61
Πίνακας 5.3: Σύγκριση ινών αμιάντου ανάλογα με την πηγή ρύπανσης	62
Πίνακας 5.4: Συντελεστής συσχέτισης ινών αμιάντου με τη συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων	76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΤΑΛΛΕΙΟ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΑΔΟΣ

Πίνακας 6.1: Συγκέντρωση ινών αμιάντου στον αέρα (f/cm^3)	90
Πίνακας 6.2: Συγκέντρωση ινών αμιάντου στον αέρα (f/cm^3)	91
Πίνακας 6.3: Συγκέντρωση ινών αμιάντου στο νερό (MFL)	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

Πίνακας 7.1: Χαρακτηριστικά αποθέσεων	102
Πίνακας 7.2: Στοιχεία αποθέσεων σχετικά με το υψόμετρο	102
Πίνακας 7.3: Κοκκομετρική κατανομή εδαφικού υλικού βάσης αποθέσεων	109
Πίνακας 7.4: Κοκκομετρική κατανομή εδαφικού υλικού κορυφής αποθέσεων	109
Πίνακας 7.5: Περιεκτικότητα ινών αμιάντου εδαφικού υλικού αποθέσεων	116
Πίνακας 7.6: Περιεκτικότητα ινών αμιάντου εδαφικού υλικού παλιών αποθέσεων	118

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΛΙΑΚΜΟΝΑΣ ΚΑΙ ΑΜΙΑΝΤΟΣ

Πίνακας 8.1: Συνολική σημερινή ζήτηση νερού	122
Πίνακας 8.2: Χαρακτηριστικά ταμιευτήρων Αλιάκμονα	122
Πίνακας 8.3: Συγκέντρωση ινών αμιάντου στα δείγματα ύδατος	132
Πίνακας 8.4: Αποτελέσματα pH – Συγκέντρωσης ινών	134
Πίνακας 8.5: Μεταβολή pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε διαφορετικές συγκεντρώσεις σε θερμοκρασία περιβάλλοντος	137
Πίνακας 8.6: Μεταβολή pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε διαφορετικές συγκεντρώσεις σε θερμοκρασία 35 °C	138
Πίνακας 8.7: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων δειγμάτων ύδατος	145
Πίνακας 8.8: Τύποι αμιάντου στα δείγματα ύδατος	146
Πίνακας 8.9: Περιεκτικότητα σε αμιάντο δειγμάτων	148

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

Πίνακας 9.1: Συσχέτιση CEC και τύπου εδάφους	159
Πίνακας 9.2: Χαρακτηριστική τιμή CEC των πιο συνηθισμένων	160

Πίνακας 9.3: Αριθμός διαγραμμάτων μορφολογίας	166
Πίνακας 9.4: Κατάταξη εδαφικού υλικού αποθέσεων	167
Πίνακας 9.5: Παράμετροι χαρακτηρισμού του εδαφικού υλικού	167
Πίνακας 9.6: Μετεωρολογικά δεδομένα	169
Πίνακας 9.7: Επιφανειακή απορροή της κάθε υποπεριοχής	171
Πίνακας 9.8: Συνολική ποσότητα επιφανειακής απορροής αποθέσεων	173

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΛΥΣΗ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ-ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

Πίνακας 10.1: Μέθοδοι αντιδιαβρωτικής προστασίας	184
Πίνακας 10.2: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων εδαφικού υλικού	195

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ο ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΩΣ ΟΡΥΚΤΟ

Διάγραμμα 1.1: Κατηγοριοποίηση ινών αμιάντου	3
Διάγραμμα 1.2: Παγκόσμια κατανάλωση αμιάντου	10
Διάγραμμα 1.3: Κατανάλωση αμιάντου στις ΗΠΑ από το 1900 έως το 2003 σε συνάρτηση με σημαντικά παγκόσμια γεγονότα	10
Διάγραμμα 1.4: Παγκόσμια παράγωγή διάφορων τύπων αμιάντου	12
Διάγραμμα 1.5: Παραγωγή αμιάντου ανά χώρα το χρονικό διάστημα 1900-2003	13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Διάγραμμα 2.1: Συσχέτιση μεταξύ του ασυνεχή βραχύ ήχου των πνευμόνων και της διάρκειας έκθεσης σε αμιάντο	17
Διάγραμμα 2.2: Ποσότητα αμιάντου και αριθμός	20
Διάγραμμα 2.3: Θανατηφόρα κρούσματα σε σχέση με την παραγωγή αμιάντου	22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΙΝΩΝ ΑΜΙΑΝΤΟΥ

Διάγραμμα 4.1: Διάγραμμα ροής προσδιορισμού ινών αμιάντου με την PLM	54
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ο ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΩΣ ΕΣΤΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Διάγραμμα 5.1: Μέσα διασποράς των ινών αμιάντου στο υδατικό περιβάλλον	56
Διάγραμμα 5.2: Σχέση μεταξύ του μήκους ινών και ινιδίων αμιάντου	64
Διάγραμμα 5.3: Μεταβολή του pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και για διαφορετικές ποσότητες χρυσοτιλικού αμιάντου (pH=0, όγκος νερού 100 mL)	66
Διάγραμμα 5.4: Μεταβολή του pH για μεγάλο χρονικό διάστημα	67
Διάγραμμα 5.5: Μεταβολή του pH σε συνάρτηση με τον χρόνο ορυκτού αμιάντου και συστατικών απλών οξειδίων αυτού του ορυκτού	68

Διάγραμμα 5.6: Μεταβολή του pH σε συνάρτηση με τον χρόνο για διάφορους τύπους αμιάντου	68
Διάγραμμα 5.7: Μεταβολή του pH διαλύματος χρυσοτίλης – ύδωρ σε διαφορετικές θερμοκρασίες	69
Διάγραμμα 5.8: Μεταβολή της συγκέντρωσης $[Mg^{2+}]$ σε συνάρτηση με τον χρόνο σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες, 5, 25 και 45°C	69
Διάγραμμα 5.9: Συγκέντρωση Mg και Ca στο νερό σε συνάρτηση με την απόσταση από τη πηγή ρύπανσης στο ποταμό Sumas	73
Διάγραμμα 5.10: Συγκέντρωση Mg και Ca στο ίζημα σε συνάρτηση με την απόσταση από τη πηγή ρύπανσης στο ποταμό Sumas	73
Διάγραμμα 5.11: Συσχέτιση συγκέντρωσης ιόνων αμιάντου με τον λόγο Fe/Mg στο νερό του ποταμού Sumas	74
Διάγραμμα 5.12: Κατανομή μεταλλικών ιχνοστοιχείων σε συνάρτηση με την απόσταση από την πηγή ρύπανσης στο ίζημα του ποταμού Sumas	75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΤΑΛΛΕΙΟ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΑΔΟΣ

Διάγραμμα 6.1: Μεταβολή συγκέντρωσης ιόνων αμιάντου στον αέρα σε συνάρτηση με τον χρόνο (f/cm^3)	90
Διάγραμμα 6.2: Μεταβολή συγκέντρωσης ιόνων αμιάντου στον αέρα σε συνάρτηση με τον χρόνο (f/cm^3)	91

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

Διάγραμμα 7.1: Κοκκομετρική αθροιστική καμπύλη του εδαφικού υλικού της βάσης και της κορυφής των αποθέσεων	111
---	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΛΙΑΚΜΟΝΑΣ ΚΑΙ ΑΜΙΑΝΤΟΣ

Διάγραμμα 8.1: Συσχέτιση pH- Συγκέντρωση ιόνων αμιάντου	135
Διάγραμμα 8.2: Μεταβολή pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε 100 mL απεσταγμένου ύδατος για διαφορετικές ποσότητες μεταλλεύματος ($T=22^{\circ}C$ -στάσιμη κατάσταση)	139
Διάγραμμα 8.3: Μεταβολή pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε 100 mL απεσταγμένου ύδατος για διαφορετικές ποσότητες μεταλλεύματος ($T=22^{\circ}C$ - ήπια ανάδευση)	139

Διάγραμμα 8.4: Μεταβολή pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε 100 mL απεσταγμένου ύδατος για διαφορετικές ποσότητες μεταλλεύματος ($T=22^{\circ}\text{C}$ -έντονη ανάδευση) ...	140
Διάγραμμα 8.5: Μεταβολή pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε 100 mL απεσταγμένου ύδατος για διαφορετικές ποσότητες μεταλλεύματος ($T=35^{\circ}\text{C}$ - στάσιμη κατάσταση)	140
Διάγραμμα 8.6: Μεταβολή pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε 100 mL απεσταγμένου ύδατος για διαφορετικές ποσότητες μεταλλεύματος ($T=35^{\circ}\text{C}$ - ήπια ανάδευση)	141
Διάγραμμα 8.7: Μεταβολή pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε 100 mL απεσταγμένου ύδατος για 0,4 g μεταλλεύματος σε διάφορες συνθήκες	142
Διάγραμμα 8.8: Μεταβολή συγκέντρωσης ακτινόλιθου-τρεμολίτη σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε ασβέστιο	147
Διάγραμμα 8.9: Μεταβολή συγκέντρωσης ακτινόλιθου-ανθοφυλλίτη σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε σίδηρο	147

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ο ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΩΣ ΟΡΥΚΤΟ

Εικόνα 1.1: Α: Τρεμολίτης Β: Χρυσοσίλης Γ: Αμοσίτης, Δ: Κροκιδόλιτης Ε: Ακτινόλιθος Ζ: Ανθοφυλλίτης	4
Εικόνα 1.2: Παγκόσμια παραγωγή αμιάντου το έτος 2003	14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Εικόνα 2.1: Ιστός πνεύμονα με αμιάντωση	16
Εικόνα 2.2: Α: Υγιείς πνεύμονας, Β: Πνεύμονας με συμπτώμα μεσοθηλιώματος	17
Εικόνα 2.3: Καρκίνος κύτταρων στον πνεύμονα	19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΙΝΩΝ ΑΜΙΑΝΤΟΥ

Εικόνα 4.1: Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Διέλευσης	34
Εικόνα 4.2: Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης	35
Εικόνα 4.3: Πολωτικό μικροσκόπιο και σχετική διάταξη τμημάτων	37
Εικόνα 4.4: Βασική αρχή λειτουργίας του μικροσκοπίου αντίθετης φάσης	38
Εικόνα 4.5: Ανάλυση αμιαντούχων δειγμάτων με διαφορετική μέθοδο προσδιορισμού	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΤΑΛΛΕΙΟ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΑΔΟΣ

Εικόνα 6.1: Θέση Ανενεργού Μεταλλείου Αμιάντου Ζιδανίου σε σχέση με τον Αλιάκμονα και τη Λιμνη Πολυφύτου	78
Εικόνα 6.2: Τοπογραφικός χάρτης ΜΑΒΕ	79
Εικόνα 6.3: Χώρος εξόρυξης με τη μέθοδο των ορθών βαθμίδων	80
Εικόνα 6.4: Δημιουργία λίμνης στον πυθμένα του μεταλλείου	80
Εικόνα 6.5: Α: Άποψη των αποθέσεων από τη γέφυρα Ρύμνιο Β: Επιφάνεια των αποθέσεων	81
Εικόνα 6.6: Γεωλογική Τομή περιοχής των ΜΑΒΕ	86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

Εικόνα 7.1: Μεταφορά στείρου υλικού και εργασίες διαμόρφωσης στον χώρο των αποθέσεων	95
Εικόνα 7.2: Ανομοιογενής κατανομή στείρου υλικού	95
Εικόνα 7.3: Άποψη αποθέσεων Α) Βόρεια πλευρά Β) Νότια πλευρά	96
Εικόνα 7.4: Παλαιό εργοστάσιο αποκατάσταση γειτονικής περιοχής	96
Εικόνα 7.5: Ψηφιακό ανάγλυφο της περιοχής πριν και μετά την έναρξη λειτουργίας του MABE	97
Εικόνα 7.6: Μορφολογικές αλλαγές στην περιοχή των αποθέσεων	98
Εικόνα 7.7: Σχηματισμός λιμνών στη βάση των αποθέσεων	98
Εικόνα 7.8: Τοπογραφικό υπόβαθρο MABE κλίμακας 1:10000	100
Εικόνα 7.9: Απεικόνιση περιοχής αποθέσεων κλίμακας 1:10000	101
Εικόνα 7.10: Απεικόνιση αποθέσεων σύμφωνα με το υψόμετρο (κλίμακα 1:10000)	103
Εικόνα 7.11: α) Κορυφή αποθέσεων β) βάση αποθέσεων	105
Εικόνα 7.12: Σημεία δειγματοληψίας Κορυφή αποθέσεων Βάση αποθέσεων	106
Εικόνα 7.13: α-β) Επιλογή τυχαίων σημείων δειγματοληψίας γ-δ) Λήψη εδαφικού υλικού	107
Εικόνα 7.14: Εργαστηριακός δονητής κόσκινων	108
Εικόνα 7.15: Σιαγονωτος θραυστήρας τύπου FRITSCH pulverisette 1	112
Εικόνα 7.16: α) Προετοιμασία σφαιρόμυλου β) Υλικό μετά τη θραύση και πριν τη λειοτρίβηση γ) Ειδικό δοχείο λειοτρίβησης και σφαιρίδια δ) Υλικό μετά το τέλος της διαδικασίας λειοτρίβησης	114

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΛΙΑΚΜΟΝΑΣ ΚΑΙ ΑΜΙΑΝΤΟΣ

Εικόνα 8.1: Λίμνη Πολυφύτου	123
Εικόνα 8.2: Υψόμετρο λεκάνης απορροής της λίμνης Πολυφύτου	124
Εικόνα 8.3: Σχέδιο δειγματοληψίας	126
Εικόνα 8.4: Σχέδιο δειγματοληψίας	127
Εικόνα 8.5: Δειγματοληψία ύδατος από τη λίμνη των αποθέσεων	128
Εικόνα 8.6: Δειγματοληψία ύδατος από ρυάκι κοντά στις αποθέσεις	128

Εικόνα 8.7: Δειγματολήπτης ύδατος	129
Εικόνα 8.8: Συσκευή έντονης ανάδευσης	135
Εικόνα 8.9: Υδατόλουτρο	136
Εικόνα 8.10: Διάλυμα 100 mL απεσταγμένου ύδατος - 0,8 g χρυσοτιλικού αμιάντου A) $t = 0 \text{ min}$, $T = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ B) $t = 70 \text{ min}$, $T = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$, έντονη ανάδευση	143
Εικόνα 8.11: Διάλυμα 100 mL απεσταγμένου ύδατος A-) 0,2 g χρυσοτιλικού αμιάντου $t = 70 \text{ min}$, $T = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ήπια ανάδευση B) 0,4 g χρυσοτιλικού αμιάντου $t = 70$ min , $T = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ήπια ανάδευση	144

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

Εικόνα 9.1: Κεντρικό παράθυρο εργασιών	152
Εικόνα 9.2: Προφίλ λοφοπλαγιάς	152
Εικόνα 9.3: Άνοιγμα παραθύρου εισαγωγής χαρακτηριστικών εδαφικού υλικού	153
Εικόνα 9.4: Εισαγωγή χαρακτηριστικών εδαφικού υλικού	153
Εικόνα 9.5: Εισαγωγή δεδομένων καλλιέργειας και διαχείρισης της γης	162
Εικόνα 9.6: Καθορισμός παραμέτρων εξόδου	163
Εικόνα 9.7: Απεικόνιση υποπεριοχών (κλίμακα 1:10.000)	165
Εικόνα 9.8: Μορφολογικά χαρακτηριστικά των υποπεριοχών 1 και 7	166
Εικόνα 9.9: Μετεωρολογικός σταθμός στην Περιοχή των πρώην MABE	169
Εικόνα 9.10: Λίμνη στη Βάση των Αποθέσεων	174
Εικόνα 9.11: Ρυάκι στη Βάση των αποθέσεων	175

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΛΥΣΗ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ-ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

Εικόνα 10.1: Μεταλλείο Flambeau μετά τη διακοπή της εξορυκτικής	179
Εικόνα 10.2: Αποκατάσταση Μεταλλείου Flambeau	180
Εικόνα 10.3: Ορυχείο Zortman	181
Εικόνα 10.4: Ορυχείο Landusky	181
Εικόνα 10.5: Αποκατάσταση ορυχείου Landusky	182
Εικόνα 10.6: Αποκατάσταση ορυχείου Zortman	182
Εικόνα 10.7: Σχεδιασμός πρανών για αντιδιαβρωτική προστασία	185

Εικόνα 10.8: Σχέδιο διαμόρφωσης των αποθέσεων στη Λουμάτα	186
Εικόνα 10.9: Αποθέσεις στην περιοχή Λουμάτα Α) Αρχική μορφή Β) Εργασίες διαμόρφωσης της πλαγίας	187
Εικόνα 10.10: Διαμόρφωση της περιοχής των αποθέσεων	189
Εικόνα 10.11: Ρέμα διαμορφωμένο εξαιτίας της απόθεσης στείρου υλικού και αλλοίωση της μορφολογίας του	190
Εικόνα 10.12: Ρέμα μετά την ολοκλήρωση των εργασιών αποκατάστασης	191
Εικόνα 10.13: Ψηφιακό υπόβαθρό αρχικής μορφής των αποθέσεων	192
Εικόνα 10.14: Ψηφιακό υπόβαθρό των αποθέσεων μετά την ολοκλήρωση εργασιών κατασκευής βαθμίδων	192
Εικόνα 10.15: Περιοχή δειγματοληψίας εδαφικού υλικού (S2)	194
Εικόνα 10.16: Κάλυψη με φυτική γη βαθμίδων μεταλλείου στην Κύπρο	196
Εικόνα 10.17: Αναδάσωση μεταλλείου στην Κύπρο	196

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ο ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΩΣ ΟΡΥΚΤΟ

1.1 Εισαγωγή

Η ονομασία αμιάντος χρησιμοποιείται γενικά για τον προσδιορισμό έξι τύπων ορυκτών πυριτικών αλάτων ινώδους μορφής, φυσικής προέλευσης με εμπορική χρήση [1,2]. Αποτελείται από πυρίτιο, οξυγόνο, υδρογόνο και διάφορα κατιόντα μετάλλων [3].

Οι ίνες αμιάντου είναι ελαστικές, ανθεκτικές στη θερμότητα και στον εφελκυσμό και χημικά αδρανείς [3,4]. Αν και πολλά πυριτικά ορυκτά έχουν ορισμένες από τις ιδιότητες του αμιάντου, εντούτοις αυτά στερούνται ένα βασικό χαρακτηριστικό, αυτό του αποχωρισμού των αμιαντόμορφων ορυκτών σε εύκαμπτες ελαστικές και ανθεκτικές ίνες [1,4].

1.2 Ιστορική Αναδρομή

Η πρώτη εφαρμογή του αμιάντου καταγράφεται στην Φιλανδία, περίπου το 2500 π.Χ., όπου έγινε εκμετάλλευση των ινών αμιάντου, εξαιτίας της ανθεκτικότητας και των θερμικών ιδιοτήτων τους. Χρησιμοποιήθηκε αμιάντος, τύπου ανθοφυλλίτης, από ένα τοπικό κοίτασμα, για την ενίσχυση των εργαλείων από άργιλο καθώς και στην αγγειοπλαστική. Αναφορές γίνονται και για τη χρήση του αμιάντου στην κατασκευή φυτιλιών για λαμπτήρες [1].

Άλλες πηγές αναφέρουν ότι ο αμιάντος ανακαλύφθηκε από τους Αρχαίους Έλληνες πριν από δυο χιλιάδες χρόνια. Χρησιμοποιήθηκε ως υλικό για την ενδυμασία των σκλάβων. Όταν οι Έλληνες αντιλήφθηκαν τη θερμική σταθερότητα αυτού του υλικού του έδωσαν την ονομασία «άσβεστος», που σημαίνει άσβηστος, εξαιτίας της μαγικής, όπως θεωρούταν εκείνη την εποχή, ιδιότητάς του. Ο Στράβων, Έλληνας γεωγράφος του πρώτου αιώνα, προσδιόρισε το πρώτο κοίτασμα αμιάντου στην Εύβοια. Οι Έλληνες χρησιμοποίησαν τον αμιάντο για την κατασκευή φυτιλιών και πετσετών. Ο χρυσοτιλικός αμιάντος (αγγλική ορολογία chrysotile), ο οποίος θεωρείται ότι είναι ο πιο κοινός τύπος

αμιάντου, προέρχεται από της ελληνικές λέξεις χρυσός (chrysos) (χρυσός) και ίνα (tilos) ή "χρυσή ίνα". Οι Έλληνες ήταν οι πρώτοι οι οποίοι διαπίστωσαν επίσης την επικινδυνότητα του αμιάντου. Συγκεκριμένα, ο Στράβων, αναφέρει ότι πολλοί σκλάβοι, που φόρεσαν ενδυμασία από αμίαντο, έπασχαν από κάποια ασθένεια στους πνεύμονες [5].

Στο τέλος του 17^{ου} αιώνα, ο Μεγάλος Πέτρος της Ρωσίας ξεκίνησε την κατασκευή χάρτου από χρυσοτιλικό αμίαντο από τις αποθέσεις στα Ουράλια Όρη. Ουσιαστικά, όμως η εξορυκτική δραστηριότητα σε βιομηχανική κλίμακα ξεκίνησε στις αρχές του 19^{ου} αιώνα στην Ιταλία για την παρασκευή υφάσματος από αμίαντο. Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα σημαντικά κοιτάσματα αμιάντου είχαν καταγραφεί σε όλο τον κόσμο και η μεταλλευτική δραστηριότητα ξεκίνησε, στον Καναδά (1878), στη Νότια Αφρική (1893, 1908- 1916) και τη Ρωσία (1885) [1].

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα παρουσιάστηκε αυξημένη ζήτηση ινών αμιάντου, εξαιτίας κυρίως των θερμομονωτικών ιδιοτήτων τους. Επίσης, ο αμίαντος άρχισε να χρησιμοποιείται για την παραγωγή αμιαντοτσιμέντου, καθώς και εξαρτημάτων των αυτοκινήτων (φρένα, συμπλέκτες κ.α) [1].

Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, ο αμίαντος χρησιμοποιήθηκε συστηματικά σε στρατιωτικές εφαρμογές, για πυροπροστασία και θερμομόνωση. Τέτοιες εφαρμογές επεκτάθηκαν αργότερα στον κατασκευαστικό και βιομηχανικό τομέα για αρκετές δεκαετίες μετά από τον πόλεμο. Την δεκαετία του '60 και '70 διαπιστώθηκαν σοβαρά προβλήματα υγείας, εξαιτίας της μακροπρόθεσμης έκθεσης σε ίνες αμιάντου με εισπνοή, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση χρήσης των [1].

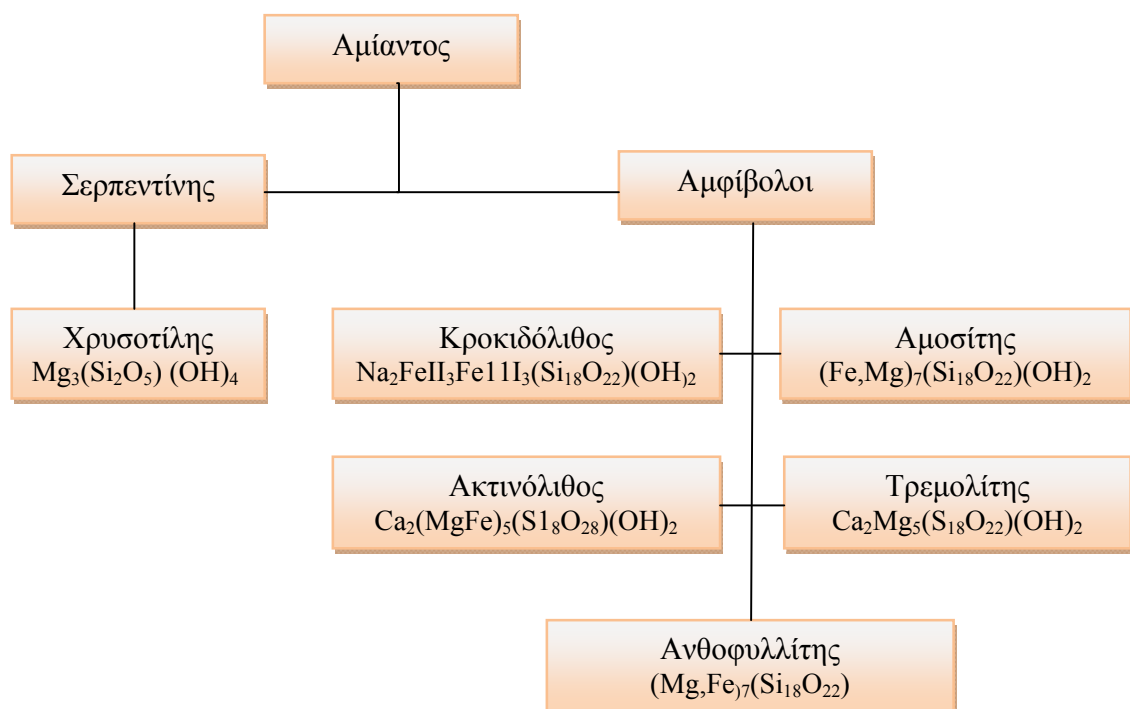
1.3 Τα κυριότερα ορυκτά αμιάντου

Πολλά ορυκτά με διαφορετική δομή απαντούν με τη μορφή του αμιάντου. Πιο συχνά όμως, μορφή αμιάντου εμφανίζουν τα φυλλοπυριτικά ορυκτά με κυλινδρική δομή (χρυσοτίλης), καθώς και τα ινοπυριτικά ορυκτά (αμφίβολοι)[1,3,4,6,7].

Ο χρυσοτίλης αναπτύσσεται εύκολα με τη μορφή αμιάντου από την κρυστάλλωση διαλυμάτων μέσα σε ρωγμές, αφού κυλινδρική δομή του ευνοεί την ανάπτυξη προς μια κατεύθυνση. Από την άλλη πλευρά, η δομή των αμφιβόλων, αν και ευνοεί την

δημιουργία των ινωδών μορφών, δεν φαίνεται να είναι η μοναδική αιτία της αμιαντώδους μορφής τους [4].

Από τους αμφίβολου, πολλά ορυκτά εμφανίζονται με τη μορφή αμιάντου, τα κυριότερα όμως είναι: ο τρεμολίτης, ο ακτινόλιθος, ο ανθοφυλλίτης, ο γρουνερίτης ή αμοσίτης και ο ριβεκίτης ή κροκιδολίτης ή κροκιδόλιθος. Σε ότι αφορά στην ομάδα των σεπερντινών η κυριότερη μορφή είναι ο χρυσοτίλης ή χρυσοτιλικός αμιάντος [1,3,4]. Η κατηγοριοποίηση καθώς και σχετικό φωτογραφικό υλικό των ορυκτών αμιάντου παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 1.1** και στην **Εικόνα 1.1** [6].



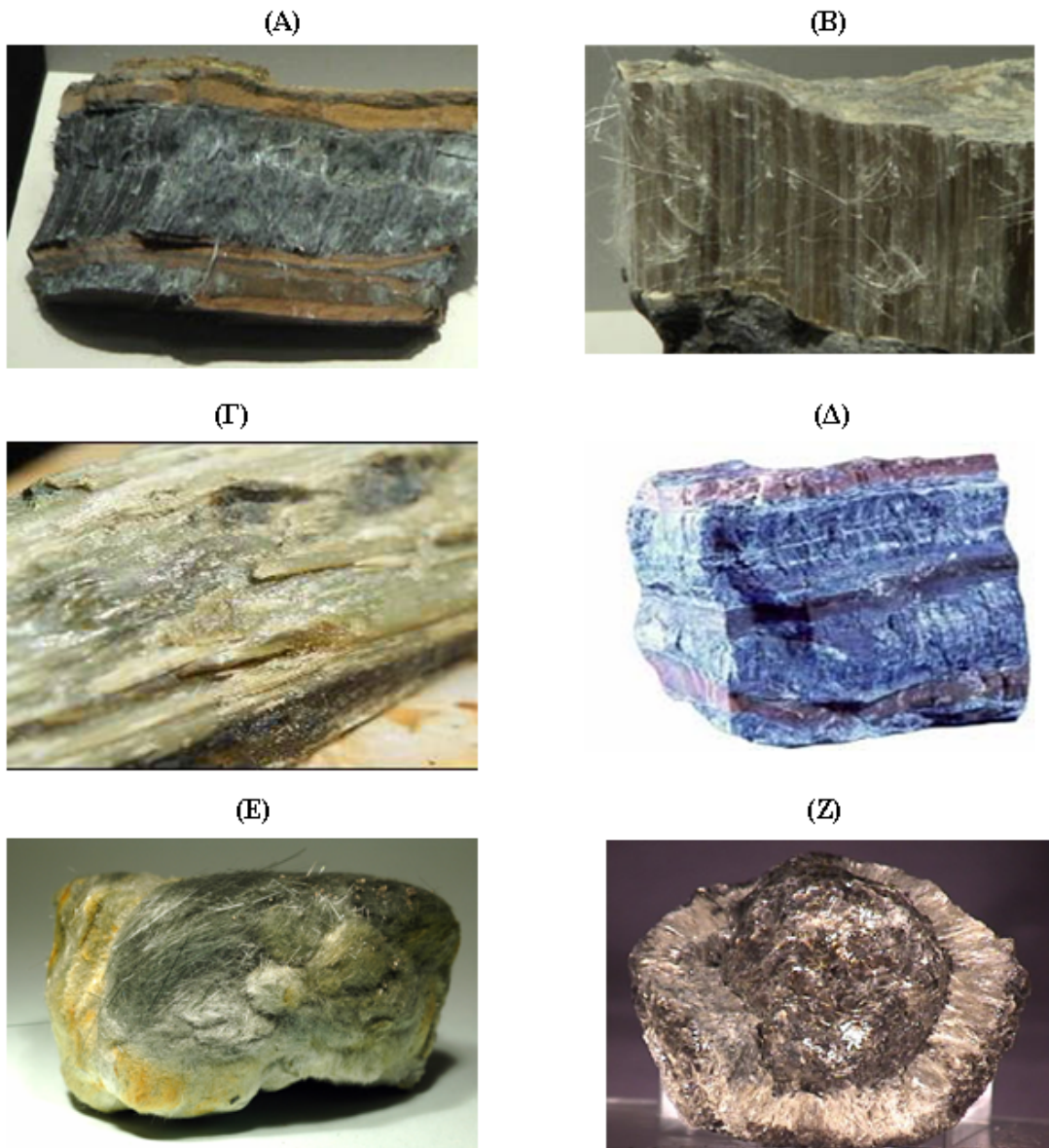
Διάγραμμα 1.1: Κατηγοριοποίηση ινών αμιάντου [6]

1.4 Φυσικές και χημικές ιδιότητες αμιάντου

Ο αμιάντος έχει ένα πλήθος φυσικών ιδιοτήτων που τον καθιστά αρκετά σημαντικό υλικό στην βιομηχανία. Η αντοχή σε εφελκυσμό ξεπερνά αυτή του χάλυβα [8]. Έχει θερμική, ηλεκτρική και χημική σταθερότητα. Μπορεί να υποδιαιρεθεί σε λεπτότερες ίνες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ο ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΩΣ ΟΡΥΚΤΟ

προσδίδοντας στο τελικό προϊόν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες όπως, υψηλή ευκαμψία, ελατότητα και αντοχή στον εφελκυσμό [8,9].



Εικόνα 1.1: Α: Τρεμολίτης (11) Β: Χρυσοσίλης (11) Γ: Αμοσίτης (12), Δ: Κροκιδόλιθος (12) Ε: Ακτινόλιθος (13) Ζ: Ανθοφυλλίτης (14)

Οι ίνες αμιάντου δεν έχουν κάποια χαρακτηριστική οσμή, ενώ το χρώμα τους διαφοροποιείται ανάλογα με την χημική τους σύνθεση (Πίνακας 1.1). Στη φύση βρίσκονται σε στερεή μορφή και θεωρητικά παραμένουν αδιάλυτες υπό την επίδραση ύδατος [8]. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο αμιάντος βρίσκεται στη φύση με τη μορφή κυρίως έξι ορυκτών με μικρές διαφοροποιήσεις σε ότι αφορά στις φυσικές ιδιότητές τους.

Πίνακας 1.1: Χημική σύσταση ορυκτών αμιάντου [9]

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	H ₂ O ⁺
Χρυσοτίλης Mg ₃ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	38-42	(0-2)	(0-5)	(0-3)	38-42	(0-2)	(0-1)	11,5-13
Κροκιδόλιθος Na ₂ FeI ₃ FeII ₃ (Si ₁₈ O ₂₂)(OH) ₂	49-56	(0-1)	13-18	3-21	(0-13)	(0-2)	4-8	1,7-2,8
Αμοσίτης (Fe,Mg) ₇ (Si ₁₈ O ₂₂)(OH) ₂	49-52	(0-3)	(0-5)	35-40	5-7	(0-2)	(0-1)	1,8-2,4
Ανθοφυλλίτης (Mg,Fe) ₇ (Si ₁₈ O ₂₂)	53-60	(0-3)	(0-5)	3-20	17-31	(0-3)	(0-1)	1,5-3,0
Τρεμολίτης Ca ₂ Mg ₅ (Si ₁₈ O ₂₂)(OH) ₂	55-60	(0-3)	(0-5)	(0-5)	20-25	10-15	(0-2)	1,5-2,5
Ακτινόλιθος Ca ₂ (MgFe) ₅ (Si ₁₈ O ₂₈)(OH) ₂	51-56	(0-3)	(0-5)	5-15	12-20	10-13	(0-2)	1,8-2,3

Ο **τρεμολιτικός αμιάντος**, ο οποίος κατατάσσεται στους αμφίβολουσ, είναι χρώματος λευκού ή πρασινωπού αλλά παρουσιάζεται και με υποκίτρινη ή τεφρή χροιά. Η χρωματική διαφοροποίηση οφείλεται στη δυνατότητα αντικατάστασης του σιδήρου με μαγνήσιο. Ο σίδηρος προσδίδει στον αμιάντο πρασινωπό χρώμα ενώ απουσία αυτού, λευκό [8]. Οι ίνες του είναι κοντές ή μακριές, εύθραυστες ή ελαστικές με μικρή αντοχή στη χημική προσβολή από οξέα, και έχουν μεταξωτή λάμψη [8,10]. Γενικά έχει μικρή εμπορική αξία, μιας και δεν βρίσκονται μεγάλες ποσότητες, ενώ κατέχει μάλλον τη χαμηλότερη θέση από πλευράς ευκαμψίας και αντοχής σε σχέση με τους υπόλοιπους αμφιβόλους.

Ακόμη ευτελέστερης ποιότητας είναι ο **ακτινόλιθος**, ο οποίος έχει χρώμα πρασινωπό ή λευκό, ανάλογα με τη χημική του σύσταση και η εξήγηση είναι η ίδια με αυτή για τον

τρεμολιτικό αμίαντο, και με υαλώδη λάμψη [4]. Σε σχέση με τον τρεμολιτικό αμίαντο είναι χημικά σταθερότερος στην προσβολή από οξέα [10].

Οι ίνες του **ανθοφυλλίτη** είναι γενικά βραχείες και εύθραυστες. Σπάνια παρατηρούνται εύκαμπτες και μαλακές ίνες, ενώ παρουσιάζουν χαμηλή αντοχή σε φορτίσεις και υψηλή ανθεκτικότητα στα οξέα. Το χρώμα τους είναι λευκό έως τεφρό με θαμπή υαλώδη λάμψη [4,10].

Οι ίνες του **αμοσίτη** έχουν αξιοσημείωτο μήκος που μερικές φορές φθάνει τα 25 cm [4]. Το χρώμα τους είναι υπόλευκο γκρι ή καφέ και η λάμψη τους υαλώδη έως έντονα θαμπή και εμφανίζει υψηλή ανθεκτικότητα στην δράση οξέων [4,10]. Στην φύση εμφανίζεται με σύσταση πλουσιότερη σε σίδηρο από ότι σε μαγνήσιο με αναλογία 5,5: 1,5 [10].

Ο **κροκιδόλιθος** έχει χρώμα κυανό, ενώ το μέσο μήκος της ίνας είναι 0,5 έως 2,5 με εξαίρεση ελάχιστες περιπτώσεις που φθάνει τα 7 cm [4]. Είναι το πιο ανθεκτικό είδος αμιάντου σε μηχανικές καταπονήσεις, εμφανίζει υψηλή αντοχή στη χημική προσβολή, αν και σε σχέση με τους άλλους τύπους αμιάντου δεν έχει καλή θερμική αντοχή. Οι ίνες του μπορεί να είναι μαλακές ή σκληρές με μεγάλη ευκαμψία [4,10].

Ο **χρυσοτιλικός αμίαντος** είναι λευκός με ίνες εξαιρετικά λεπτές, μαλακές και αρκετά ελαστικές [3]. Οι ίνες του γενικά έχουν μήκος από 1 έως 20 mm, αν και ορισμένες φορές συναντώνται και ίνες μήκους 100 mm [10]. Η υψηλή αντοχή του σε εφελκυσμό τον καθιστά από τους ανθεκτικότερους τύπους αμιάντου [3].

Συνοψίζοντας σε ότι αφορά στις φυσικές ιδιότητες των διαφόρων τύπων ορυκτών αμιάντου προκύπτει η φθίνουσα κατάταξη των ινών με κριτήριο την αντοχή σε εφελκυσμό και σε χημική προσβολή από οξέα [10].

Σειρά κατάταξης σύμφωνα με την αντοχή σε εφελκυσμό

κροκιδόλιθος > χρυσοτίλης > αμοσίτης > ανθοφυλλίτης > τρεμολίτης > ακτινόλιθος
--

Σειρά κατάταξης σύμφωνα με την αντοχή χημική προσβολή
--

τρεμολίτης > ανθοφυλλίτης > κροκιδόλιθος > ακτινόλιθος > αμοσίτης > χρυσοτίλης
--

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ο ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΩΣ ΟΡΥΚΤΟ

Στον **Πίνακα 1.2** παρουσιάζονται συνοπτικά οι ιδιότητες των διαφόρων τύπων ορυκτών αμιάντου [1,2,9].

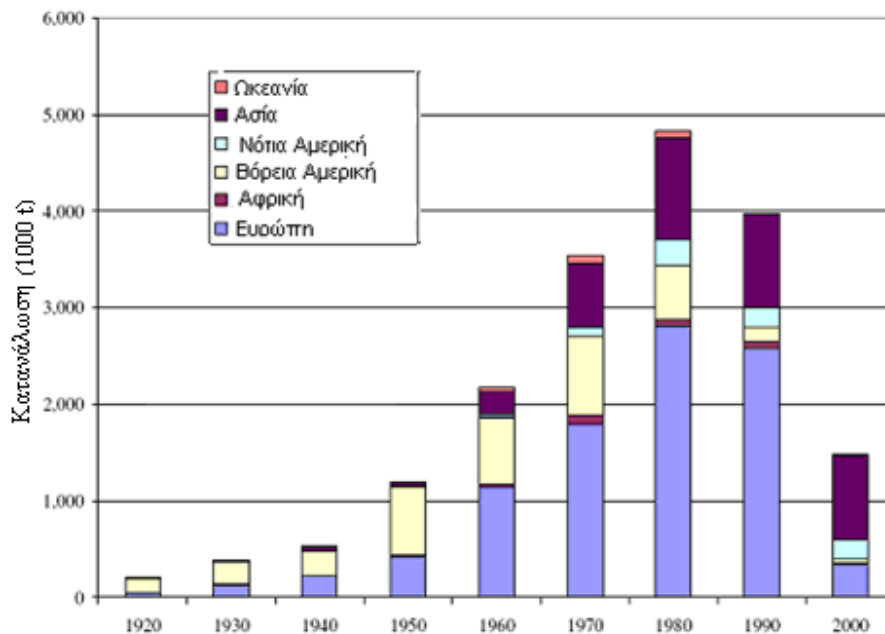
Πίνακας 1.2: Φυσικές και χημικές ιδιότητες διαφόρων τύπου αμιάντου [1, 2, 9]

	Χρυσοτίλης	Κροκιδόλιθος	Αμοσίτης	Ανθοφυλλίτης	Τρεμολίτης	Ακτινόλιθος
Χημικός τύπος	$\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{HO})_8$	$\text{Na}_2(\text{Fe}^{+2}_2\text{Fe}^{+3}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{HO})_2)$	$(\text{Fe,Mg})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{HO})_2$	$(\text{Mg,Fe})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{HO})_2$	$\text{Ca}_2\text{Mg}_6\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{HO})_2$	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{HO})$
Χρώμα	Λευκός	Κυανός	Υπόλευκο γκρι ή καφέ	Λευκό έως τεφρό	Λευκός ή πρασινωπός	Πρασινωπός ή λευκός
Φυσική κατάσταση	Στερεό	Στερεό	Στερεό	Στερεό	Στερεό	Στερεό
Ευκαμψία	Καλή	Καλή	Μέτρια	Μέτρια έως εύθραυστη	Εύθραυστη	Μέτρια έως εύθραυστη
Αντοχή στον εφελκυσμό (10 kg/ cm ³)	31	35	17	<7	5	5
Σημείο τήξης (°C)	800-850	800	600-900	950	1040	620-960
Ειδικό βάρος (gr/cm ³)	2,55	3,37	3,43	2,85-3,1	2,9-3,2	3,0-3,2
Ισοηλεκτρικό σημείο	11,8	-	5,2-6,0	-	-	-
Διαλυτότητα						
Νερό	Αδιάλυτο	Αδιάλυτο	Αδιάλυτο	Αδιάλυτο	Αδιάλυτο	Αδιάλυτο
Οργανικό διάλυμα	Αδιάλυτο	Αδιάλυτο	Αδιάλυτο	Αδιάλυτο	Αδιάλυτο	Αδιάλυτο
Οξέα	56	3,14	12	2,13	-	-
Βάσεις	1,03	1,20	6,82	1,77	-	-

1.5 Παγκόσμια παραγωγή και προϊόντα αμιάντου

Το 1900 η κατασκευή της μηχανής Hatschek για την παραγωγή αμιαντοτσιμέντου και επίπεδων πλακών οδήγησε σε αυξημένη ζήτηση προϊόντων αμιάντου. Αυτή η τεχνολογία επέτρεψε τη μαζική παραγωγή των χαμηλού κόστους πυρίμαχων οικοδομικών υλικών. Το 1929 η συνεχή πρόοδος της τεχνολογίας είχε ως αποτέλεσμα την δυνατότητα μαζικής παραγωγής αμιαντούχων σωλήνων, και χρήση των στο αποχετευτικό σύστημα και στο δίκτυο υδροδότησης. Παράλληλα, η ανάπτυξη της αυτοκινητοβιομηχανίας οδήγησε σε αύξηση των απαιτήσεων για αμιάντο για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων. Αυτές οι εξελίξεις οδήγησαν σε μια ραγδαία αύξηση της χρήσης του αμιάντου παγκοσμίως. Το 1910 η παγκόσμια παραγωγή υπερέβη τους 80.000 μετρικούς τόνους, αύξηση 300- 400% σε σχέση με αυτή του 1900. Εκείνη την περίοδο, οι Η.Π.Α. ήταν ο κύριος καταναλωτής του αμιάντου στον κόσμο σε ποσοστό 55 % της παγκόσμιας κατανάλωσης.

Η παραγωγή αμιάντου μειώθηκε αισθητά, κατά την διάρκεια του Α' Παγκοσμίου πολέμου και της οικονομικής κρίσης την δεκαετία του '30. Αμέσως μετά από αυτά τα γεγονότα, υπήρξε ταχεία ανάπτυξη στον κατασκευαστικό τομέα αλλά και σε άλλους τομείς της αγοράς, με αποτέλεσμα την αυξημένη χρήση αμιάντου την δεκαετία του '40 και επιπλέον την επέκταση του και σε νέες αγορές (**Διάγραμμα 1.2 και 1.3**). Εκτός από την αυτοκινητοβιομηχανία και την παραγωγή αμιαντοτσιμέντου, χρησιμοποιήθηκε, για την κατασκευή χαρτοσανίδας φύλλων αμιάντου, για ηλεκτρικές επικαλύψεις και μονώσεις, για κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, ως μέσο ενίσχυσης και προστασίας δοκών χάλυβα κ.α..



Διάγραμμα 1.2: Παγκόσμια κατανάλωση αμιάντου [15]



Διάγραμμα 1.3: Κατανάλωση αμιάντου στις ΗΠΑ από το 1900 έως το 2003 σε συνάρτηση με σημαντικά παγκόσμια γεγονότα [15]

Με την έναρξη του Β' Παγκόσμιου Πολέμου παρατηρήθηκε μείωση της παραγωγής στις περισσότερες εμπλεκόμενες χώρες, με εξαίρεση τον Καναδά, τη Νότια Αφρική και τις

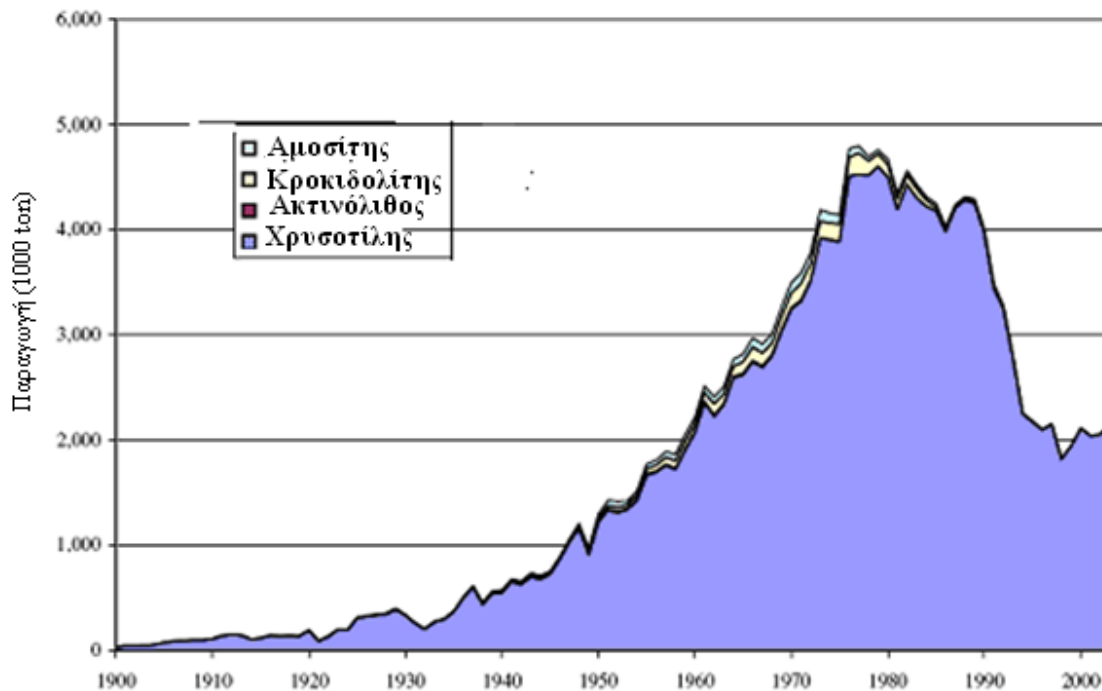
Η.Π.Α.. Ενώ η παραγωγή και η χρήση αμιάντου μειώθηκε παγκοσμίως, η απαίτηση του Αμερικάνικου πολέμου απορρόφησε ένα μεγάλο μέρος της αυξανόμενης παραγωγής από τον Καναδά και τη Νότια Αφρική. Η κατανάλωση στην Αμερική αυξήθηκε το 1942 στο 77 % της παγκόσμιας παραγωγής, από 41 % τοις εκατό το 1934. Εντούτοις, η μεταπολεμική δραστηριότητα και η ανάκτηση των οικονομιών οδήγησαν πάλι στην αύξηση της ζήτησης αμιάντου παγκόσμια και συνεπώς και της παραγωγής για την κάλυψη των αναγκών. Μέχρι το 1958, αναφέρεται ότι ο αμιάντος χρησιμοποιήθηκε σε περίπου 3.000 εφαρμογές. Η μέγιστη ζήτηση επιτεύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του '70, όπου περίπου 25 χώρες παρήγαγαν 5 Mton και περίπου 85 χώρες κατασκεύαζαν προϊόντα αμιάντου.

Την δεκαετία του '70 παρατηρήθηκε στις Η.Π.Α. και σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες μείωση της απαίτησης σε αμιάντο. Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για αυτή την πτώση στην ζήτηση αμιάντου ήταν το ζήτημα των επιπτώσεων στην υγεία. Σχετικές έρευνες το διάστημα 1920 έως 1940 ανέφεραν κάποια συσχέτιση μεταξύ του αμιάντου και της εμφάνισης μορφών καρκίνου (π.χ. αμιάντωση). Παρόλα αυτά μόλις στα τέλη της δεκαετίας του '50 έγινε αποδεκτό και άρχισαν να λαμβάνονται μέτρα. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος οι κατασκευαστικές εταιρίες στράφηκαν στη χρήση υποκατάστατων του αμιάντου (ίνες κυτταρίνης, πολυμερικές ίνες και γυαλιού)

Στις Η.Π.Α η κατανάλωση αμιάντου μειώθηκε σε 4.650 τόνους το 2003, από 800.000 τόνους το 1973, όπως άλλωστε και η παγκόσμια παραγωγή σε 2,15 Mton το 2003 από 4,36 Mton το 1975.

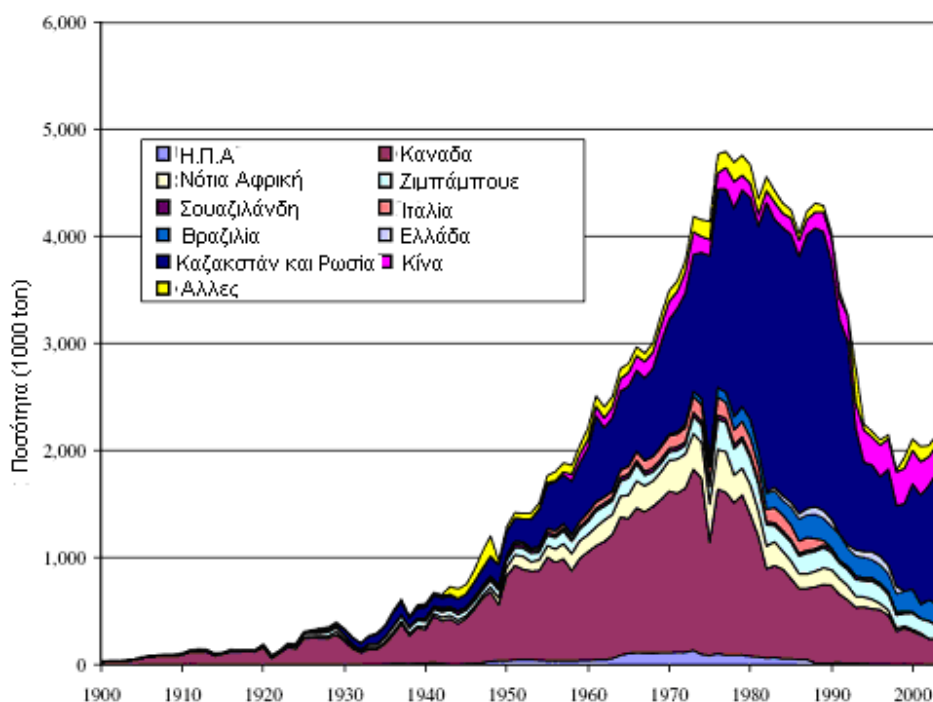
Στο διάστημα 1900 έως και 2003, εκτιμάται ότι χρησιμοποιήθηκαν 181 Mton, όπου 173 Mt από τη συνολική ποσότητα ήταν χρυσοτιλικός, 2,81 Mt αμοσίτης και 3,92 Mt κροκιδολίθος. Το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγόμενης ποσότητας αμοσίτη και κροκιδολίθου εξορύχτηκε στη Νότια Αφρική και μια μικρή ποσότητα στην Αυστραλία και τη Βολιβία. Επίσης, υπολογίζεται ότι στο διάστημα 1900- 2003 χρησιμοποιήθηκαν περίπου 460.000 τόνοι ανθοφυλλίτη από τις Η.Π.Α και τη Φιλανδία. Τέλος, μικρή αλλά απροσδιόριστη ποσότητα ακτινολίτη, ανθοφυλλίτη και τρεμολίτη παραγόταν στη Βουλγαρία, την Ινδία, την Ιταλία, το Πακιστάν τη Ρουμανία και την Τουρκία.

Στο **Διάγραμμα 1.4** απεικονίζεται η παραγωγή των διαφόρων ορυκτών αμιάντου σε συνάρτηση με τον χρόνο.



Διάγραμμα 1.4: Παγκόσμια παραγωγή διάφορων τύπων αμιάντου από 1900 έως 2003 [15]

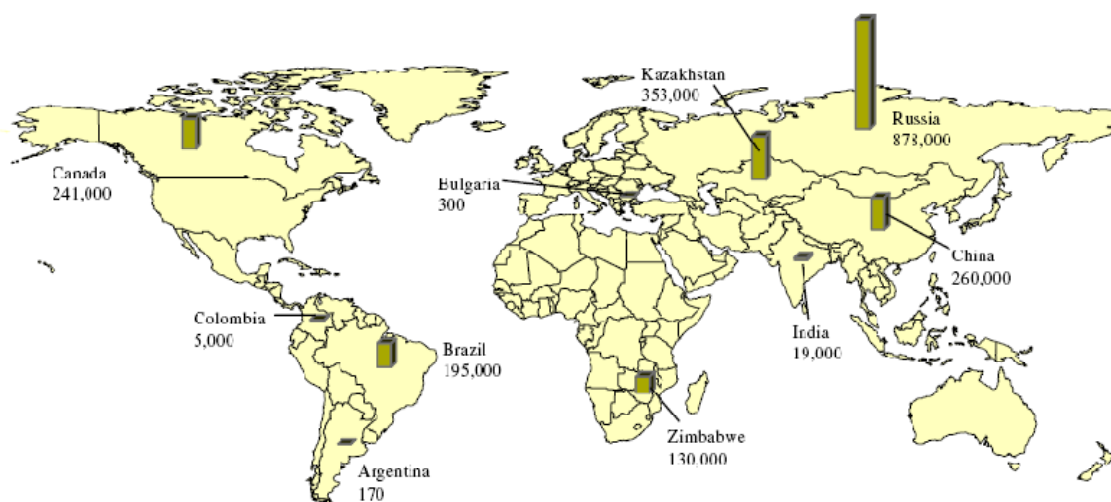
Ο Καναδάς αποτέλεσε την κύρια παραγωγική χώρα αμιάντου για το μεγαλύτερο διάστημα του εικοστού αιώνα. Πριν από το 1950, τα Καναδικά ορυχεία κάλυπταν περισσότερο από τη μισή ποσότητα της παγκόσμιας ζήτησης. Μέχρι το 1975, η Σοβιετική Ένωση (συνεργασία Καζακστάν και Ρωσίας) κατέστη ως η πρώτη σε δύναμη χώρα παραγωγής αμιάντου και υπερέβη αυτή του Καναδά. Στα μέσα της δεκαετίας του '70, οι σημαντικότερες χώρες παραγωγοί ήταν, κατά φθίνουσα σειρά: η Σοβιετική Ένωση (Καζακστάν και Ρωσία), ο Καναδάς, η Νότια Αφρική, η Ζιμπάμπουε, η Κίνα, η Ιταλία, η Βραζιλία, οι Ηνωμένες Πολιτείες, και η Αυστραλία (**Διάγραμμα 1.5**). Ο Καναδάς, το Καζακστάν, και η Ρωσία συνολικά παρήγαγαν περίπου το 71 % της παγκόσμιας παραγωγής. Τη δεκαετία του '80 και του '90 επήλθαν σημαντικές αλλαγές. Ως αποτέλεσμα αυτών των αλλαγών, η Ρωσία ήταν ο κύριος παραγωγός το 2003 και έπειτα το Καζακστάν, η Κίνα, ο Καναδάς, η Βραζιλία, και η Ζιμπάμπουε. Το Καζακστάν και η Ρωσία παρήγαγαν το 48 % της παγκόσμιας παραγωγής.



Διάγραμμα 1.5: Παραγωγή αμιάντου ανά χώρα
το χρονικό διάστημα 1900-2000 [15]

Περίπου 2,15 εκατομμύρια τόνοι αμιάντου, συνολικής αξίας άνω των 500 εκατομμυρίων δολαρίων, παρήχθησαν σε 17 χώρες το 2003. Αυτές οι χώρες αποτέλεσαν περίπου 96% της παγκόσμιας παραγωγής (**Εικόνα 1.2**). Το 2003 συνολικά υπήρχαν περίπου 30 επιχειρήσεις παραγωγής αμιάντου, με εξαίρεση τη Κίνα όπου λειτουργεί μεγάλο πλήθος επιχειρήσεων μικρής δυναμικότητας. Ουσιαστικά, την πλειοψηφία του παραγόμενου αμιάντου αποτελεί ο χρυσοτιλικός αμιάντος.

Η πιο κοινή χρήση αμιάντου παγκοσμίως το έτος 2003 ήταν για την παραγωγή αμιαντοτσιμέντου, διαφόρων εξαρτημάτων, πλακών δαπέδων και σωλήνων. Αυτά τα προϊόντα αποτέλεσαν το 85% της παγκόσμιας κατανάλωσης.



Εικόνα 1.2: Παγκόσμια παραγωγή αμιάντου το έτος 2003 [15]

Η κατανάλωση προϊόντων με αμιάντο παγκοσμίως υπολογίστηκε ότι ήταν 2,15 εκατομμύρια τόνους το 2003, με μεγαλύτερη κατανάλωση την Κίνα, την Ινδία, το Καζακστάν, τη Ρωσία, την Ταϊλάνδη, και την Ουκρανία. Αυτές οι χώρες συνολικά αποτελούν 60-70% της παγκόσμιας κατανάλωσης βάσει των εμπορικών στοιχείων που αναφέρθηκαν από τα Ηνωμένα Έθνη μεταξύ 2000 και 2003 [15].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

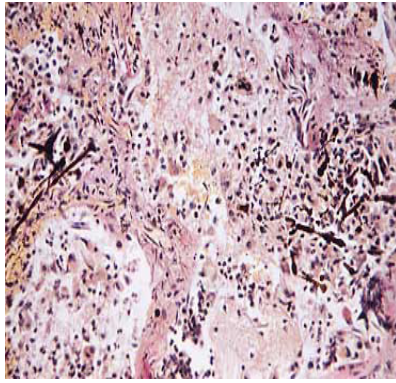
2.1 Εισαγωγή

Ο αμίαντος, όπως αναφέρεται και στο **Κεφάλαιο 1** (παρ 1.5), αν και χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την παραγωγή πλήθους υλικών, έπαψε να χρησιμοποιείται, αφού αποδείχτηκε ότι ευθύνεται για την εμφάνιση ασθενειών σε όσους εκτίθενται σε αυτόν. Στην συνέχεια ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή των ασθενειών, εξαιτίας της εισπνοής ή της κατάποσης ινών, και των μηχανισμών προσβολής του ανθρώπινου οργανισμού από τον αμίαντο, καθώς και σχετικές διεξαχθείσες επιστημονικές έρευνες.

2.2 Έκθεση σε αμίαντο και ασθένειες

Η σημαντική έκθεση σε οποιοδήποτε τύπο αμιάντου αυξάνει σημαντικά την πιθανότητα εμφάνισης σοβαρών ασθενειών και κυρίως διαφόρων τύπων καρκίνου (αμιάντωση, μεσοθηλίωμα κ.α). Οι επιπτώσεις του αμιάντου στον άνθρωπο σχετίζονται, με τον χρόνο, τη διάρκεια και τη συχνότητα έκθεσης, καθώς και από το είδος, το μέγεθος και τη μορφή των ινών αμιάντου. Οι ασθένειες αυτές εμφανίζονται μετά από αρκετά χρόνια, ακόμα και μετά από 30 χρόνια, από την έκθεση σε αμίαντο [16]. Οι κυριότερες ασθένειες, που οφείλονται στην έκθεση σε αμίαντο, περιγράφονται παρακάτω.

Η αμιάντωση είναι μια σοβαρή, προοδευτική και μακροπρόθεσμη ασθένεια των πνευμόνων. Η εισπνοή των ινών αμιάντων δημιουργεί ανεπανόρθωτες βλάβες στους ιστούς των πνευμόνων (**Εικόνα 2.1**).

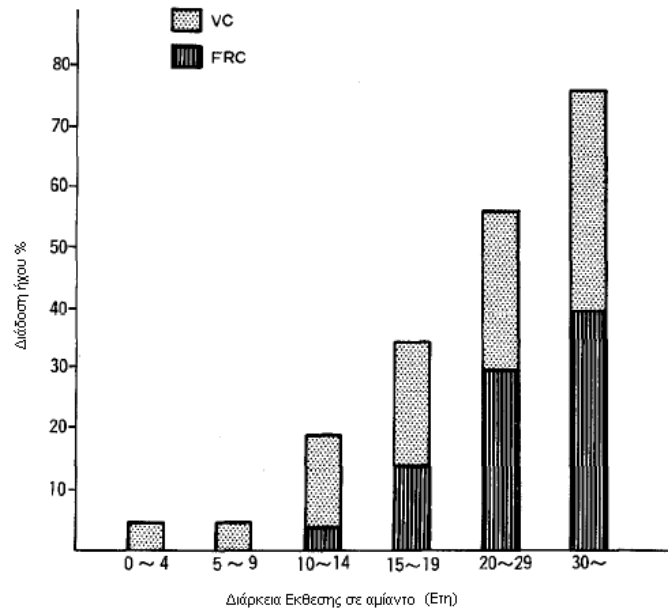


Εικόνα 2.1: Ιστός πνεύμονα με αμιάντωση [16]

Αποτέλεσμα αυτού είναι η δυσλειτουργία των πνευμόνων, αφού εμποδίζεται η δίοδος του οξυγόνου [9,16]. Η αμιάντωση εξελίσσεται με αργούς ρυθμούς και το διάστημα εκδήλωσής της θεωρείται ότι είναι περίπου 10 με 20 έτη μετά από την αρχική έκθεση [16,17].

Τα κυριότερα συμπτώματα της αμιάντωσης είναι: οι σύντομες αναπνοές, συνεχής βήχας, αίσθηση πίεσης και πόνου στον θώρακα και απώλεια όρεξης [16]. Στον Καναδά διεξήχθη μελέτη με σκοπό την επεξεργασία του ασυνεχί τραχύ ήχου των πνευμόνων (fine crackles) για την ανίχνευση των πρωταρχικών σταδίων ίνωσης και αμιάντωσης [18].

Δύο κατηγορίες πειραμάτων πραγματοποιήθηκαν σε άτομα ηλικίας 18-59 ετών, με διαφορά στον τρόπο εισπνοής, μετρώντας τη Λειτουργική Υπολειμματική Χωρητικότητα του αναπνευστικού συστήματος (Functional residual capacity (**FRC**)) και την Ζωτική Χωρητικότητα (Vital capacity (**VC**)). +Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η διάρκεια έκθεσης σε αμιάντο σχετίζεται άμεσα με τον ασυνεχή βραχύ ήχο των πνευμόνων. Με τη μέθοδο FRC τα συμπτώματα εμφανίστηκαν στο 20,7% των εργαζομένων, ενώ σε άτομα του δείγματος μόλις στο 4,5%. Τα ποσοστά αυτά αυξάνονται στην περίπτωση της μεθόδου VC (εργαζόμενοι: 32,2%, άτομα δείγματος:4,5%) (**Διάγραμμα 2.1**) [19].



Διάγραμμα 2.1: Συσχέτιση μεταξύ του ασυνεχή βραχύ ήχου των πνευμόνων και της διάρκειας έκθεσης σε αμίαντο [19]

Αντίστοιχες έρευνες έδειξαν ότι αυτού του είδους οι ήχοι ανιχνεύτηκαν προτού εξακριβωθεί (ακτινογραφία) ότι ο άνθρωπος πάσχει από κάποιας μορφής ασθένειας προερχόμενη από τον αμίαντο [19]. Το 1946 περιγράφεται στον ιατρικό τύπο η πρώτη περίπτωση αμιάντωσης. Από το 1979 η αμιάντωση κατατάσσεται και στη χώρα μας στις επαγγελματικές νόσους [18].

Μεσοθηλίωμα: Είναι ένα σπάνιο είδος καρκίνου το οποίο έχει επιπτώσεις στον ιστό της μεμβράνης που καλύπτει όλο το εσωτερικό του θώρακα (**Εικόνα 2.2**) και της κοιλιακής κοιλότητας [9,16,18,20].



Εικόνα 2.2: Α: Υγιείς πνεύμονας, Β: Πνεύμονας με σύμπτωμα μεσοθηλιώματος [9]

Θεωρείται μορφή καρκίνου δύσκολη τόσο στη διάγνωση όσο και στη θεραπεία και η οποία προκαλείται σχεδόν αποκλειστικά από τον αμίαντο. Το κακοήθες μεσοθηλίωμα είναι η πιο σοβαρή από τις ασθένειες που σχετίζονται με τον αμίαντο. Η ασθένεια αυτή έχει λανθάνουσα περίοδο που μπορεί να φτάσει και τα 30 έτη. Οι τύποι αμιάντου που, κυρίως, ευθύνονται για την εμφάνιση της εν λόγω ασθένειας είναι οι αμφίβολοι, αμοσίτης και κροκιδόλιθος, οι οποίοι λόγω της χημικής τους δομής είναι εξαιρετικά εύθρυπτοι και δεν βιοαποικοδομούνται εύκολα. Έτσι, όταν εισέρχονται, μέσω της εισπνοής στον ανθρώπινο οργανισμό, παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στους ιστούς των πνευμόνων και αυξάνουν την πιθανότητα εμφάνισης μεσοθηλιώματος. Ενδείξεις των πρώτων σταδίων του μεσοθηλιώματος είναι: η δυσκολία στην αναπνοή, οι πόνοι στο στήθος, ο βήχας και ο εμετός [18].

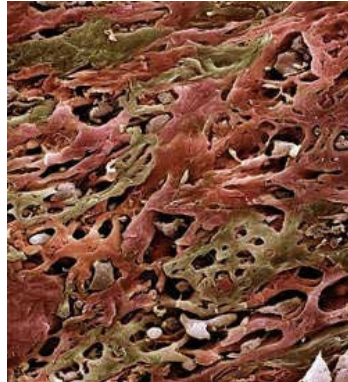
Στην Ανατολική Γερμανία συλλέχθηκαν στοιχεία από διάφορα εργοστάσια της πρώην Μαγδεμβούργης (Περιοχή Halle) προκειμένου να συσχετισθεί η εμφάνιση κρουσμάτων μεσοθηλιώματος σε συνάρτηση με τον τύπο αμιάντου έκθεσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον **Πίνακα 2.1**, όπου διαπιστώνεται η μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών των κρουσμάτων μεσοθηλιώματος (θανατηφόρα περίοδος, αριθμός κρουσμάτων κ.α.) σε σχέση με τον τύπο του αμιάντου [22].

Πίνακας 2.1: Κρούσματα μεσοθηλιώματος σε συνάρτηση με τον τύπο αμιάντου [22]

	Αμφίβολοι	Αμφίβολοι και χρυσοτίλης	Χρυσοτίλης και ίσως αμφίβολοι	Χρυσοτίλης	Μέσος όρος
Έναρξη έκθεσης	25	28	28	34	28
Διάρκεια έκθεσης (έτη)	16	21	19	14	19
Θανατηφόρα περίοδος	40	40	41	31	38
Ηλικία θανάτου	65	68	69	65	66
Αριθμός κρουσμάτων	135	279	331	67	812

Καρκίνος του Πνεύμονα: Οι πρώτες περιπτώσεις καρκίνου του πνεύμονα σε ασθενείς με αμιάντωση αναφέρονται στη δεκαετία του '30, ενώ στα μέσα του '50 διαπιστώνεται η σχέση με την έκθεση σε αμίαντο. Η εισπνοή ινών αμιάντου βρίσκεται στη δεύτερη θέση για τη δημιουργία καρκίνου του πνεύμονα. Αφορά σε

κακοήθεις όγκους στην περιοχή των πνευμόνων, οι οποίοι αναπτύσσονται μέσω των περιβαλλόντων ιστών και συχνά φράζουν τις διόδους του αέρα [16,19] (**Εικόνα 2.3**).

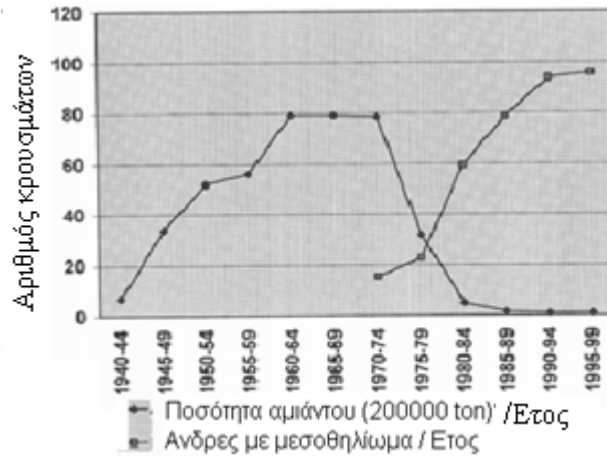


Εικόνα 2.3: Καρκίνος κύτταρων στον πνεύμονα [16]

Από τη στιγμή της έκθεσης μέχρι την εμφάνιση της ασθένειας μεσολαβεί, συνήθως, μια περίοδος 30-40 ετών. Η πιθανή επίδραση του αμιάντου ενισχύεται σημαντικά από το κάπνισμα, καθιστώντας τον οργανισμό εξαιρετικά ευπρόσβλητο στη συγκεκριμένη ασθένεια [18].

Σύνδρομο αιφνίδιου βρεφικού θανάτου: Πρόκειται για σπάνια περίπτωση αλλά όχι απίθανη. Το φαινόμενο συνίσταται στον αιφνίδιο θάνατο ενός βρέφους κατά τη διάρκεια του νυχτερινού ύπνου και η βαθύτερη αιτιολογία παραμένει άγνωστη. Ωστόσο, για την εκδήλωση του φαινομένου έχει ενοχοποιηθεί, μεταξύ άλλων, και η ύπαρξη ινών αμιάντου σε πολλά παιδικά στρώματα [9,16].

Σήμερα, αν και η απαγόρευση χρήσης του αμιάντου ισχύει εδώ και πολλά χρόνια, δεν έχει σταματήσει η καταγραφή κρουσμάτων, εξαιτίας της έκθεσης σε αμιάντο, αφού ο χρόνος εμφάνισης των επιπτώσεων στην υγεία φθάνει μέχρι και τα 40 χρόνια και επιπλέον αντί να μειώνεται ο αριθμός των πασχόντων αυξάνεται, εξαιτίας αυτού του γεγονότος, όπως άλλωστε διαπιστώθηκε σε σχετική μελέτη στη Σουηδία (**Διάγραμμα 2.2**) [22].



Διάγραμμα 2.2: Ποσότητα αμιάντου και αριθμός κρουσμάτων μεσοθηλώματος [22]

Εκτιμάται ότι στη Σουηδία το 80% των πλευρικών ανωμαλιών του θώρακος, όπου 3-4% των ανδρών άνω των 40 ετών πάσχουν από αυτή την ασθένεια, οφείλεται στην έκθεση στον αμιάντο. Οι επιστήμονες θεωρούν ότι 100 κρούσματα μεσοθηλώματος θα εμφανίζονται σε ετήσια βάση.

2.3 Ομάδες πληθυσμού εκτεθειμένες στον αμιάντο

Όσον αφορά στον εκτεθειμένο πληθυσμό, θα πρέπει να γίνει σαφής διαχωρισμός μεταξύ [20]:

1. Του εργατικού δυναμικού όλων των κατηγοριών, που απασχολήθηκαν ή απασχολούνται σε χώρους παραγωγής ή και χρήσης αμιάντου και προϊόντων αυτού
2. Των πληθυσμών που διαμένουν πλησίον βιομηχανικών κέντρων, τα οποία παράγουν ή χρησιμοποιούν αμιάντο και
3. Των υπολοίπων πληθυσμιακών ομάδων.

Οι περισσότερες επιδημιολογικές μελέτες, που πραγματοποιήθηκαν σχετικά με τις επιπτώσεις του αμιάντου στην ανθρώπινη υγεία, αναφέρονται σε εργαζόμενους που δραστηριοποιούνται σε επαγγέλματα, όπως [20]:

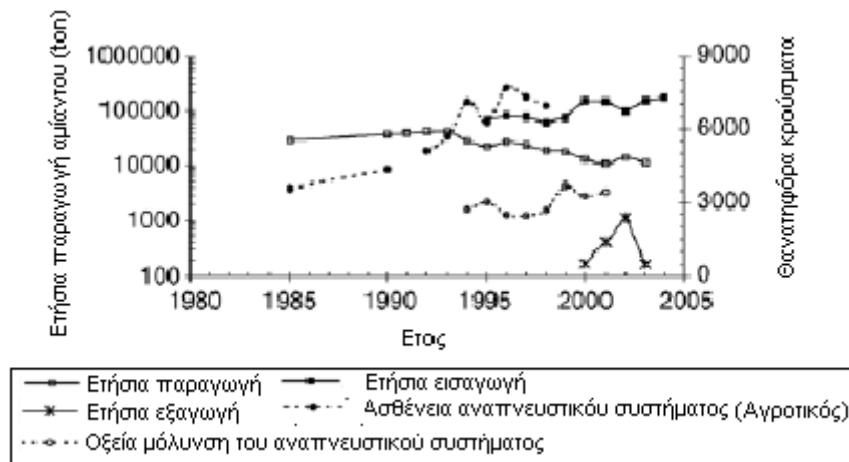
- Εξόρυξη και κατεργασία ορυκτών πρώτων υλών που περιέχουν αμίαντο
- Παρασκευή προϊόντων που περιέχουν αμίαντο
- Βιομηχανική χρήση προϊόντων που περιέχουν αμίαντο
- Συντήρηση ή επισκευή προϊόντων ή υλικών που περιέχουν αμίαντο
- Κατεδάφιση ή επισκευή κατασκευών που περιέχουν αμίαντο
- Μεταφορά, αποθήκευση και διαχείριση αμιάντου ή υλικών που περιέχουν αμίαντο

Τέλος, τα αποτελέσματα των μελετών, προκειμένου να διαπιστωθεί η έκθεση πληθυσμών που διαμένουν πλησίον βιομηχανιών που παράγουν ή χρησιμοποιούν αμίαντο καθώς και στις κατοικίες των εργαζομένων, έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον αφού αποκαλύπτουν την έκταση και τη σοβαρότητα του θέματος.

Στον Καναδά πραγματοποιήθηκε έρευνα σε 5 πόλεις πλησίον μεγάλων μεταλλείων αμιάντου. Οι συγκεντρώσεις κυμάνθηκαν μεταξύ 0,021 και 0,097 ινών αμιάντου/cm². Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων ήταν περίπου 3,5 φορές υψηλότερη από την τιμή που παρατηρήθηκε σε μια πιο απομακρυσμένη κοινότητα.

Χαρακτηριστικά είναι και τα αποτελέσματα των ερευνών σε πόλεις της Νοτίου Αφρικής. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι συγκεντρώσεις, πλησίον του μεταλλείου, ανήλθαν σε 0,6 ίνες /cm³ εξαιτίας της διασποράς του αμιάντου στο περιβάλλον από απροστάτευτους σωρούς αποθέσεων και από την απουσία μέτρων κατά την εκτέλεση εργασιών, όπως η φόρτωση και η μεταφορά με χωματουργικά αυτοκίνητα. Στις κοντινές κατοικημένες περιοχές οι συγκεντρώσεις κυμάνθηκαν μεταξύ 0,001 και 0,008 ίνες /cm³ [20].

Στην Ινδία έρευνα για την εξασθένιση των πνευμόνων και των ραδιολογικών ανωμαλιών έδειξε ότι παρουσίασαν προβλήματα υγείας το 54,8% των εργαζομένων σε βιομηχανία άλεσης αμιάντου και το 19,5% των ανθρακωρύχων. Αν και δεν υπάρχουν στοιχεία για τα κρούσματα αμιάντου σε όλη την έκταση της χώρας από την έναρξη της εκμεταλλευτικής δραστηριότητας έως σήμερα, εντούτοις στο **Διάγραμμα 2.3** παρουσιάζεται η συσχέτιση θανατηφόρων κρουσμάτων, εξαιτίας ασθένειας του αναπνευστικού συστήματος σε αγροτικές περιοχές καθώς και στην οξεία μόλυνση του αναπνευστικού σε όλη την Ινδία, σε συνάρτηση με κάθε δραστηριότητα αμιάντου (παραγωγή, εισαγωγή, εξαγωγή, επανεξαγωγή) για τα τελευταία 20 χρόνια [23].



Διάγραμμα 2.3: Θανατηφόρα κρούσματα σε σχέση με την παραγωγή αμιάντου [23]

Πέραν της έκθεσης των πληθυσμιακών ομάδων σε κίνδυνο διαμέσου της εισπνοής, πραγματοποιήθηκαν επιδημιολογικές έρευνες σε Καναδικές και Αμερικανικές πόλεις για να εξετάσουν τις επιπτώσεις του αμιάντου στην ανθρώπινη υγεία διαμέσου της κατάποσης. Οι συγκεντρώσεις του αμιάντου στο πόσιμο νερό των πόλεων κυμαίνονταν από πολύ χαμηλά επίπεδα μέχρι και 200×10^6 ίνες/λίτρο. Στις πέντε από τις έξι περιοχές δεν υπήρξε καμία απόδειξη συσχέτισης της παρουσίας του αμιάντου στο πόσιμο νερό με την εμφάνιση γαστρεντερολογικών ειδών καρκίνου. Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του San Francisco, σε πληθυσμό 3.000.000 και για μεγάλη περίοδο έκθεσης (περίπου 60 έτη), υπήρξαν ενδείξεις ότι η παρουσία του αμιάντου, η οποία ανερχόταν σε 36×10^6 ίνες/λίτρο, συσχετιζόταν με τα αυξημένα ποσοστά εμφάνισης γαστρεντερολογικών ειδών καρκίνου.

2.4 Οικονομικές και κοινωνικές συνιστώσες του προβλήματος [20]

Οι οικονομικές και κοινωνικές συνιστώσες των προβλημάτων υγείας από αμιάντο είναι αξιοσημείωτες. Το κόστος αποζημίωσης που έχει καταβληθεί, μέχρι σήμερα, από τις βιομηχανίες που παράγουν ή χρησιμοποιούν αμιάντο σε προϊόντα και τις ασφαλιστικές τους εταιρείες, υπερβαίνει τα 20 δισ. δολάρια. Μόνο στις ΗΠΑ, εκκρεμούν περίπου 200.000 δικαστικές υποθέσεις αποζημίωσης. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, περισσότερες από 60 αμερικανικές βιομηχανίες, που αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο εκτεταμένων απαιτήσεων, έχουν κηρύξει πτώχευση μέσα στην τελευταία διετία.

Το κόστος εξυγίανσης των κτιρίων και των βιομηχανικών περιοχών που έχουν ρυπανθεί από τον αμίαντο είναι υψηλό. Αρκεί να αναφερθεί, ως παράδειγμα, ότι η εξυγίανση ενός και μόνο κεντρικού σχολικού συγκροτήματος στην πόλη της Νέας Υόρκης των ΗΠΑ στοίχισε το 1993 50 εκατ. δολάρια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

3.1 Εισαγωγή

Ο αμιάντος, όπως αναφέρεται και στο **Κεφάλαιο 2**, ευθύνεται για την εμφάνιση σοβαρών επιπτώσεων στην υγεία. Για αυτό τον λόγο, έχει διαμορφωθεί, γύρω από τον αμιάντο, ο οποίος κατατάσσεται στις δηλητηριώδεις, τοξικές και καρκινογόνες ενώσεις, ένα αυστηρό νομοθετικό πλαίσιο. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εκδώσει σειρά οδηγιών, όπου καλούνται τα μέλη της να εναρμονιστούν με αυτές, και ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες:

- Απαγόρευση χρήσης αμιάντου και παραγωγής αμιαντούχων υλικών
- Προστασία των εργαζομένων
- Προστασία του περιβάλλοντος

Η Ελλάδα, ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εναρμονίστηκε με τις σχετικές Οδηγίες με τη διαμόρφωση Υπουργικών αποφάσεων και Προεδρικών διαταγμάτων.

3.2 Νομοθεσία σχετική με τον περιορισμό εμπορίας και χρήσης του αμιάντου

Η Ευρωπαϊκή Ένωση διατύπωσε την **Οδηγία 76/769 ΕΟΚ**, περί προσεγγίσεως των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των κρατών μελών που αφορούν περιορισμούς κυκλοφορίας στην αγορά και χρήσης μερικών επικινδύνων ουσιών και παρασκευασμάτων, μεταξύ αυτών και του αμιάντου. Συνολικά έχει υποστεί 32 τροποποιήσεις (79/663/ΕΟΚ, 82/806/ΕΟΚ, 82/828/ΕΟΚ, 83/264/ΕΟΚ, 83/478/ΕΟΚ, 85/467/ΕΟΚ, 85/610/ΕΟΚ, 89/677/ΕΟΚ, 89/678/ΕΟΚ, 91/157/ΕΟΚ, 91/173/ΕΟΚ, 91/338/ΕΟΚ, 91/339/ΕΟΚ, 91/659/ΕΟΚ, 94/27/ΕΚ, 94/48/ΕΚ, 94/60/ΕΚ, 96/55/ΕΚ, 97/10/ΕΚ, 97/16/ΕΚ, 97/56/ΕΚ, 97/64/ΕΚ, 99/43/ΕΚ, 99/51/ΕΚ, 99/77/ΕΚ, 01/90/ΕΚ, 01/91/ΕΚ, 02/45/ΕΚ, 02/61/ΕΚ, 02/62/ΕΚ, 03/02/ΕΚ, 03/03/ΕΚ, 03/11/ΕΚ, 03/34/ΕΚ, 03/36/ΕΚ, 03/53/ΕΚ). Παρακάτω συνοψίζονται τα κυριότερα σημεία αυτής της Οδηγίας καθώς και των τροποποιήσεων [24].

Η Οδηγία 76/769 ΕΟΚ προβλέπει ότι η χρήση του αμιάντου, καθώς και ορισμένων προϊόντων που περιέχουν αμίαντο, είναι δυνατό να θέσει σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία απελευθερώνοντας ίνες και σκόνες οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν αμιαντώσεις και καρκινώματα. Ουσιαστικά, ο αμίαντος για πρώτη φορά τίθεται επίσημα σε απαγόρευση [25].

Η Οδηγία 83/478 ΕΟΚ, όπου αποτελεί την πέμπτη τροποποίηση της **76/769 ΕΟΚ**, προβλέπει ότι τα προϊόντα που περιέχουν αμίαντο ή η συσκευασία τους, πρέπει να φέρουν ειδική ετικέτα με επισήμανση, «*περιέχει αμίαντο*». Εάν το προϊόν περιέχει κροκιδόλιθο, η έκφραση «περιέχει αμίαντο» του ενδεικτικού κειμένου πρέπει να αντικαθίσταται ως εξής: «περιέχει κροκιδόλιθο/κυανό αμίαντο». Τα Κράτη μέλη μπορούν επίσης να εξαιρούν από την απαγόρευση αυτή τα παρακάτω απαριθμούμενα προϊόντα, στα οποία συμπεριλαμβάνονται οι ίνες και τα ημικατεργασμένα προϊόντα που είναι αναγκαία για την κατασκευή τους:

- α) τους σωλήνες από αμιαντοτσιμέντο
- β) τους αρμούς, τα παρεμβύσματα, τις μούφλες και τους ελαστικούς αντισταθμιστές που αντέχουν στα οξέα και σε υψηλές θερμοκρασίες
- γ) τους μετατροπείς υποδοχών.

Εκείνη την εποχή θεωρούταν ότι δεν είναι δυνατόν στο μέλλον αυτά τα προϊόντα να αντικατασταθούν πλήρως με αντίστοιχα ισοδύναμων ιδιοτήτων [26].

Η Οδηγία 91/659 ΕΟΚ της Επιτροπής της 3^{ης} Δεκεμβρίου 1991 για την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο του παραρτήματος I της Οδηγίας 76/769/ΕΟΚ και **η Οδηγία 85/610/ΕΟΚ** του Συμβουλίου της 20^{ης} Δεκεμβρίου 1985 (έβδομη τροποποίηση της οδηγίας 76/769/ΕΟΚ) προβλέπει την απαγόρευση διάθεσης στην αγορά προϊόντων που περιέχουν ίνες αμιάντου και είναι τα παρακάτω [27,28]:

1. παιχνίδια
2. υλικά ή παρασκευάσματα που προορίζονται να χρησιμοποιηθούν για ψεκασμούς
3. τελικά προϊόντα υπό μορφή σκόνης που πωλούνται λιανικά στο κοινό
4. είδη καπνιστού όπως καπνοσύριγγες και επιστόμια πούρων

5. καταλυτικούς ηθμούς και διατάξεις μόνωσης που προορίζονται για ενσωμάτωση σε καταλυτικές συσκευές θέρμανσης που χρησιμοποιούν υγραέριο
6. χρώματα και βερνίκια
7. ηθμούς υγρών
8. υλικά οδόστρωσης εφόσον η περιεκτικότητα σε ίνες είναι μεγαλύτερη από 2 %
9. κονιάματα, προστατευτικά επιχρίσματα, στόκους και υλικά πλήρωσης, μέσα σφράγισης και στεγανοποίησης, υλικά πλήρωσης αρμών, μαστίχες, κόλλες, διακοσμητικές σκόνες και μέσα τελικής επεξεργασίας
10. μονωτικά ή ηχομονωτικά υλικά χαμηλής πυκνότητας (πυκνότητα μικρότερη από 1 g/cm³)
11. ηθμοί αέρος και ηθμοί που χρησιμοποιούνται στη μεταφορά, διανομή και χρήση φυσικού αερίου και φωταερίου
12. υποστρώματα πλαστικών δαπέδων και επενδύσεων τοίχου-
13. τελικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα προς διάθεση στον τελικό χρήστη, (εκτός εάν έχουν υποβληθεί σε κατεργασία για την αποτροπή αποδέσμευσης ινών)

Σύμφωνα με την Οδηγία **1999/77ΕΚ** της Επιτροπής της 26^{ης} Ιουλίου 1999 για την έκτη προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο του παραρτήματος Ι της Οδηγίας 76/769/ΕΟΚ τα κράτη μέλη υποχρεούνται να θέσουν σε ισχύ τις αναγκαίες νομοθετικές, κανονιστικές και διοικητικές διατάξεις και να συμμορφωθούν με την παρούσα Οδηγία το αργότερο πριν από την 1^η Ιανουαρίου 2005 [29].

3.3 Νομοθετικό πλαίσιο για την προστασία των εργαζομένων

Η Οδηγία 1983/477/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 19ης Σεπτεμβρίου 1983 αφορά την προστασία των εργαζομένων από τους κινδύνους που οφείλονται στην έκθεσή τους στον αμιάντο κατά τη διάρκεια της εργασίας. Καθορίζονται τα επιτρεπτά όρια έκθεσης σε αμιάντο, η μεθοδολογία για τον προσδιορισμό της έκτασης έκθεσης σε ίνες αμιάντου στο εργασιακό περιβάλλον, καθώς και τα απαραίτητα μέτρα προστασίας. Τα κυριότερα σημεία της συγκεκριμένης Οδηγίας είναι τα παρακάτω.

Η κατώτατη συγκέντρωση ινών αμιάντου στον αέρα του χώρου εργασίας, χωρίς τη λήψη προστατευτικών μέτρων, για περίοδο αναφοράς 8 ωρών είναι:

- *χαμηλότερο από 0,25 ίνες ανά cm^3*
- *χαμηλότερο από μια συνολική δόση 15,00 ινοημερών ανά cm^3 επί 3 μήνες,*

Στην Οδηγία 1983/477/ΕΟΚ απαγορεύεται η χρήση του αμιάντου με τη μέθοδο του ψεκασμού. Επίσης, προβλέπεται ότι πρέπει να ελαττωθεί στο χαμηλότερο επίπεδο που είναι εύλογα δυνατό, η έκθεση των εργαζομένων στη σκόνη που προέρχεται από τον αμιάντο ή από υλικά που περιέχουν αμιάντο στο χώρο εργασίας, η ποσότητα αμιάντου που χρησιμοποιείται και ο αριθμός των εργαζομένων, που εκτίθενται ή είναι δυνατό να εκτεθούν, καθώς και η διενέργεια εργασιών κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην απελευθερώνεται σκόνη αμιάντου στην ατμόσφαιρα.

Όλα τα κτίρια ή/και οι εγκαταστάσεις και εξοπλισμοί που χρησιμεύουν για τη μεταποίηση ή την επεξεργασία του αμιάντου πρέπει να μπορούν να καθαρίζονται και να συντηρούνται αποτελεσματικά και τακτικά.

Ο ακατέργαστος αμιάντος πρέπει να αποθηκεύεται και να μεταφέρεται σε κατάλληλες κλειστές συσκευασίες.

Τα απόβλητα των εργασιών πρέπει να συλλέγονται και να απομακρύνονται από το χώρο εργασίας το συντομότερο δυνατό μέσα σε κατάλληλες κλειστές συσκευασίες, οι οποίες να φέρουν ειδική ετικέτα που να αναφέρει ότι περιέχουν αμιάντο. Το μέτρο αυτό δεν εφαρμόζεται στις εξορυκτικές δραστηριότητες.

Τέλος, η Οδηγία προβλέπει τα Κράτη μέλη να τηρούν μητρώο των αναγνωρισμένων κρουσμάτων αμιάντωσης και μεσοθηλιώματος [30].

Η Οδηγία 91/382/ΕΟΚ τροποποιεί την 1983/477/ΕΟΚ, θεσπίζοντας αυστηρότερα όρια συγκέντρωσης ινών αμιάντου στον χώρο εργασίας. Συγκεκριμένα ορίζονται τα παρακάτω:

1. για το χρυσοτίλη

- κατώτερο των **0,20 ινών/ cm^3** επί μία οκτάωρη περίοδο αναφοράς
- κατώτερο από συσσωρευμένη δόση **12,00 ινοημερών/ cm^3** επί τρίμηνη περίοδο

2. για όλες τις άλλες μορφές αμιάντου, είτε μεμονωμένες είτε σε μείγμα, συμπεριλαμβανομένων των μειγμάτων που περιέχουν χρυσοτίλη:

- κατώτερο των **0,10 ινών/cm³** επί μία οκτάωρη περίοδο αναφοράς
- κατώτερο από συσσωρευμένη δόση **6 ινομερών/cm³** επί τρίμηνη περίοδο

Απαγορεύεται η εφαρμογή του αμιάντου με ψεκασμό (flocage) καθώς και οι δραστηριότητες που συνεπάγονται την ενσωμάτωση μονωτικών ή ηχομονωτικών υλικών χαμηλής πυκνότητας (κατώτερη του 1 g/cm³) που περιέχουν αμίαντο [31].

Η **Οδηγία 1998/24/ΕΚ** του Συμβουλίου της 7ης Απριλίου 1998 για την προστασία της υγείας και ασφαλείας των εργαζομένων από κινδύνους οφειλόμενους σε χημικούς παράγοντες, και η **Οδηγία 2003/18/ΕΚ** τροποποιούν τις Οδηγίες, 1983/477/ΕΟΚ και 89/391/ΕΟΚ σχετικά με την εφαρμογή μέτρων για την προώθηση της βελτίωσης της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων.

Γενικές αρχές της συγκεκριμένης Οδηγίας είναι: η πρόληψη των κινδύνων που συνδέονται με επιβλαβείς χημικούς παράγοντες και η αξιολόγηση κινδύνων, ο καθορισμός ειδικών προστατευτικών και προληπτικών μέτρων, ρυθμίσεις για την αντιμετώπιση ατυχημάτων, συμβάντων και καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, η ενημέρωση και η κατάρτιση των εργαζομένων και τέλος η επίβλεψη της υγείας των εργαζομένων [32,33].

3.4 Νομοθεσία για την πρόληψη και μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από αμίαντο

Η **Οδηγία 87/217/ΕΟΚ** του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου της 19ης Μαρτίου 1987 αφορά στην πρόληψη και τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τον αμίαντο, η οποία τροποποιήθηκε από τις **90/656/ΕΟΚ και 91/692/ΕΟΚ**. Τα κυριότερα σημεία της συγκεκριμένης οδηγίας είναι τα [34]:

- 1) Τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα ώστε οι εκπομπές αμιάντου στον αέρα, τα ρυπασμένα από αμίαντο υδάτινα λύματα, και τα στερεά απόβλητα αμιάντου, να περιορίζονται, στο μέτρο που αυτό είναι εύλογα εφικτό, στην πηγή τους. Στην περίπτωση χρήσης αμιάντου, τα μέτρα αυτά συνεπάγονται τη χρησιμοποίηση της καλύτερης διαθέσιμης συμπεριλαμβανομένης, όποτε ενδείκνυται, της ανακύκλωσης ή της επεξεργασίας.
- 2) Τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα ώστε, κατά τη χρησιμοποίηση αμιάντου, η συγκέντρωση αμιάντου που εκπέμπεται μέσω του συστήματος

απαγωγής στην ατμόσφαιρα να μην υπερβαίνει την οριακή τιμή του ***0,1 mg/m³*** (χιλιοστόγραμμα αμιάντου ανά κυβικό μέτρο εκπεμπόμενου αέρα).

- 3) Τα κράτη μέλη μπορούν να εξαιρέσουν εγκαταστάσεις που εκπέμπουν συνολικά, λιγότερο από ***5.000 m³ αερίων την ώρα***, εάν η συγκέντρωση αμιάντου στον αέρα δεν υπερβαίνει τα ***0,5 g/ώρα*** σε οποιαδήποτε στιγμή και υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας.
- 4) Τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα ώστε:
 - να πραγματοποιείται η ανακύκλωση των υδάτινων λυμάτων που προκύπτουν από την παρασκευή αμιαντοτσιμέντου. Εάν η ανακύκλωση είναι οικονομικά εφικτή, τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα ώστε η διάθεση υγρών αποβλήτων που περιέχουν αμίαντο να μη προκαλεί ρύπανση του υδάτινου περιβάλλοντος και άλλων τομέων συμπεριλαμβανομένου του αέρα. Για το σκοπό αυτό, ισχύει η οριακή τιμή των ***30 g αιωρουμένων σωματιδίων ανά m³ απορριπτόμενων υδάτινων λυμάτων***.

Οι αρμόδιες αρχές των κρατών μελών διευκρινίζουν, για κάθε μια εγκατάσταση, τον όγκο των απορρίψεων στο νερό ή τη συνολική ποσότητα αιωρουμένων σωματιδίων απορριπτόμενων ανά τόνο παραγωγής, αφού λάβουν υπόψη την ειδική κατάσταση της εγκατάστασης. Τα όρια αυτά εφαρμόζονται στο σημείο όπου τα απόβλητα εξέρχονται από το εργοστάσιο.

- να πραγματοποιείται η πλήρης ανακύκλωση των υδάτινων λυμάτων κατά την παραγωγή αμιαντοχάρτου ή αμιαντοσανίδων. Μπορεί, ωστόσο, να επιτρέπεται, κατά τον συνήθη καθαρισμό ή συντήρηση του εργοστασίου, η απόρριψη υδάτινων λυμάτων που δεν περιέχουν περισσότερο από ***30 g αιωρουμένων σωματιδίων ανά m³ νερού***.
- 5) Τα κράτη μέλη θεσπίζουν τις αναγκαίες διατάξεις προκειμένου να εκτελούνται τακτικές μετρήσεις στις εκπομπές στον αέρα και στα απορριπτόμενα υδάτινα λύματα που προέρχονται από εγκαταστάσεις για τις οποίες ισχύουν οι προβλεπόμενες οριακές τιμές.
 - 6) Τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα ώστε:
 - οι δραστηριότητες που συνδέονται με την κατεργασία προϊόντων που περιέχουν αμίαντο να μην προκαλούν σημαντική ρύπανση του περιβάλλοντος από ίνες ή σκόνη αμιάντου,

- η κατεδάφιση κτιρίων, κατασκευών και εγκαταστάσεων που περιέχουν αμίαντο και η αφαίρεση του υπάρχοντος εκεί αμιάντου ή υλικών που περιέχουν αμίαντο, η οποία προκαλεί την αποβολή ινών ή σκόνης αμιάντου, να μη συνεπάγεται σημαντική ρύπανση του περιβάλλοντος από αμίαντο
- 7) Να αποφεύγεται κατά τη μεταφορά και την απόθεση αποβλήτων που περιέχουν ίνες ή σκόνη αμιάντου, η απελευθέρωση ινών ή σκόνης αμιάντου στον αέρα καθώς και η διαρροή υγρών που μπορεί να περιέχουν ίνες αμιάντου.
- 8) Κατά την απόρριψη αποβλήτων που περιέχουν ίνες αμιάντου σε χωματερές, όπου επιτρέπεται αυτό, τα απόβλητα αυτά να είναι καταλλήλως επεξεργασμένα, συσκευασμένα ή σκεπασμένα, λαμβανομένων υπόψη των τοπικών συνθηκών, ούτως ώστε να αποφεύγεται η διαφυγή σωματιδίων αμιάντου στο περιβάλλον.
- 9) Καθορισμός μεθόδων δειγματοληψίας και μέτρησης προσδιορισμού ινών αμιάντου στα υδάτινα λύματα και στην ατμόσφαιρα.

3.5 Επιτρεπτά όρια

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, όπως αναφέρεται και παραπάνω, εξέδωσε Οδηγίες σχετικά με την προστασία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος από τον αμίαντο θεσπίζοντας και τα αντίστοιχα επιτρεπτά όρια έκθεσης. Επιπλέον διάφοροι Διεθνείς οργανισμοί (N.I.O.S.H. Αμερικανικό Ινστιτούτο Έρευνας για την Υγεία και την Ασφάλεια, O.S.H.A. Αμερικανική Διοίκηση για την Υγεία και την Ασφάλεια, ACGIH Αμερικάνικη Εταιρεία Κυβερνητικών Υγιεινολόγων Βιομηχανίας, ΕΡΑ Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ), έχουν καθορίσει αντίστοιχα όρια. **Στον Πίνακα 3.1** παρουσιάζονται τα επιτρεπτά όρια για τον αέρα, το νερό και τα έδαφος [30,35,36,37].

Πίνακας 3.1: Επιτρεπτά όρια για τον αέρα, το νερό και τα έδαφος [30,35,36,37]

	Αέρας (ίνες/cm ³)*	Νερό (ίνες/l)	Έδαφος
Οριακή τιμή	0,2 (EE) ¹		
	0,1 (EE) ²		
	0,2 (OSHA) ⁴		
	0,1 (OSHA) ^{3,4}		
	0,1 (NIOSH) ⁴	7.000.000(EPA)	Δεν υπάρχει θεσμοθετημένο όριο
	Χρυσοτίλης 2.0 (ACGIH) ⁴		
	Αμοσίτης 0.5 (ACGIH) ⁴		
	Κροκιδόλιθος 0,2 (ACGIH) ⁴		
	Άλλες μορφές 2.0 (ACGIH) ⁴		

*: Οκτάωρη Έκθεση **1:** Χρυσοτιλικός αμιάντος **2:** Για όλες τις άλλες μορφές αμιάντου, είτε μεμονωμένες είτε σε μείγμα **3:** Επίπεδο δράσης Όταν υπερβεί την τιμή αυτή οι εργοδότες πρέπει να λάβουν μέτρα μείωσης της έκθεσης **4:** Τα όρια αναφέροντα σε ίνες μήκους μεγαλύτερου 5 μm

Σε ότι αφορά στο έδαφος, δεν έχουν θεσμοθετηθεί κατώτατα όρια συγκέντρωσης ινών αμιάντου, αφού οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία οφείλονται στην εισπνοή ή την κατάποση και όχι στην επαφή ινών αμιάντου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ

4.1 Εισαγωγή

Ο προσδιορισμός των ινών αμιάντου στο περιβάλλον (έδαφος, νερό, αέρας) απαιτεί τη χρήση αναλυτικών μεθόδων, προκειμένου να εξακριβωθεί η έκταση της ρύπανσης καθώς και ο βαθμός επικινδυνότητας για τον άνθρωπο. Το γεγονός ότι οι ίνες αμιάντου είναι πολύ μικρού μεγέθους, προϋποθέτει τη χρήση μεθόδων οι οποίες διακρίνονται, σε οπτικές και σε αυτές που βασίζονται στη χημική και ορυκτολογική σύσταση των εξεταζόμενων δειγμάτων. Στη συνέχεια ακολουθεί περιγραφή των σημαντικότερων αναλυτικών μεθόδων, οι οποίες είναι πιστοποιημένες από διάφορους Διεθνείς Οργανισμούς, καθώς και σχετικοί Οδηγοί εφαρμογής αυτών.

4.2 Αναλυτικές μέθοδοι

Οι κυριότερες μέθοδοι προσδιορισμού των ινών αμιάντου, που προτείνονται από τους οργανισμούς, N.I.O.S.H (Αμερικανικό Ινστιτούτο Έρευνας για την Υγεία και την Ασφάλεια), O.S.H.A. (Αμερικανική Διοίκηση για την Υγεία και την Ασφάλεια) και EPA (Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ), παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.1**.

Πίνακας 4.1: Αναλυτικές Μέθοδοι προσδιορισμού ινών αμιάντου [38,39]

Αναλυτική Μέθοδος	Είδος Ανίχνευσης
Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Εκπομπής Transmission Electron Microscopy (TEM)	Νερό, Έδαφος, Στερεό, Αέρας
Μικροσκόπιο Αντίθεσης Φάσεων Phase Contrast Microscopy (PCM)	Αέρας
Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης Scanning Electron Microscopy (SEM)	Νερό, Έδαφος, Αέρας
Πολωτικό Μικροσκόπιο Polarized Light Microscopy (PLM)	Έδαφος, Στερεό

Ηλεκτρονικός Μικροανalyzer

Electron Probe Microanalysis (EPMA)

Έδαφος, Στερεό

Περιθλασιμετρία ακτίνων Χ

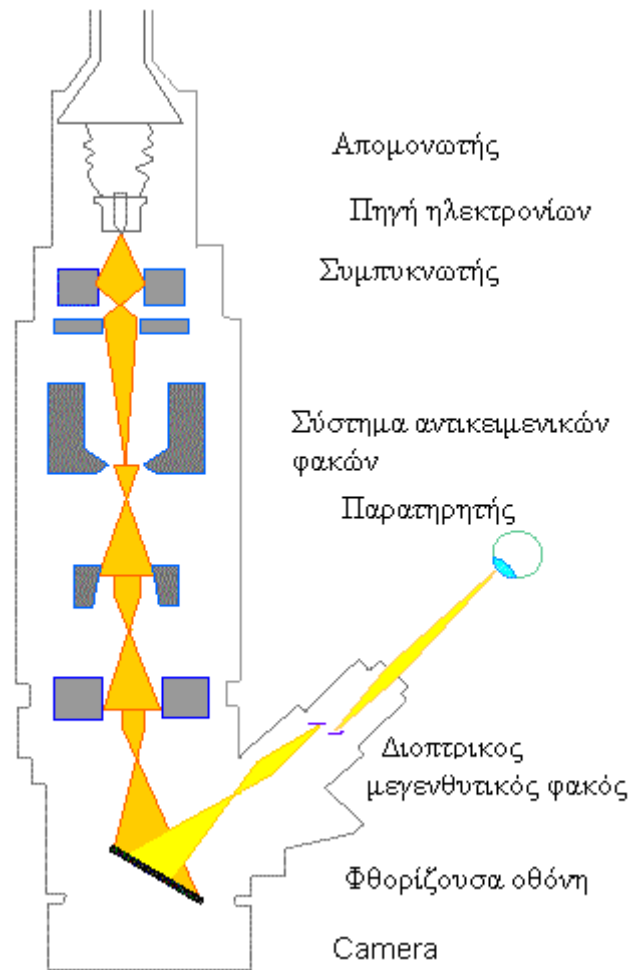
X-ray Diffraction (XRD)

Πέτρωμα, Στερεό

4.2.1 Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Διέλευσης (TEM)

Στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Διέλευσης (TEM) η ακτίνα των ηλεκτρονίων παράγεται από μια ακίδα, η οποία αποτελεί την κάθοδο, και θερμαίνεται με τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος. Τα ηλεκτρόνια υπό κενό και σε υψηλή τάση διοχετεύονται στην άνοδο. Η τάση επιτάχυνσης κυμαίνεται μεταξύ 50 και 150 kV. Όσο υψηλότερη είναι η τάση επιτάχυνσης, τόσο μικρότερου μήκους είναι τα κύματα των ηλεκτρονίων, και μεγαλύτερη η ικανότητα διέλευσης. Η ικανότητα διέλευσης εξαρτάται από την ποιότητα του συστήματος των φακών. Στις σύγχρονες συσκευές κυμαίνεται από 0,2 έως 0,3 nm και συνεπώς επιτυγχάνεται μεγέθυνση περίπου 300.000X.

Η επιταχυνόμενη ακτίνα των ηλεκτρονίων περνά από τη σχισμή στο κατώτατο σημείο της ανόδου. Ο τρόπος αυτός είναι ανάλογος με αυτόν μιας ακτίνας φωτός σε ένα κοινό μικροσκόπιο. Το σύστημα φακών αποτελείται από ηλεκτρονικές σπείρες που παράγουν ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Η ακτίνα στρέφεται αρχικά από έναν συμπακνωτή. Περνά έπειτα μέσω του αντικειμένου, όπου εκτρέπεται μερικώς. Ο βαθμός εκτροπής εξαρτάται από την πυκνότητα ηλεκτρονίων του αντικειμένου. Όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα των ατόμων, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός εκτροπής. Μετά από τη διέλευσή τους μέσω του αντικειμένου, τα διεσπαρμένα ηλεκτρόνια συλλέγονται από έναν στόχο. Με αυτόν τον τρόπο διαμορφώνεται μια εικόνα, η οποία διευρύνεται στη συνέχεια από ένα πρόσθετο σύστημα φακών, αποκαλούμενο προβολικό σύστημα. Η διαμορφωμένη εικόνα γίνεται ορατή σε μια οθόνη φθορισμού ή αποτυπώνεται φωτογραφικά. Οι φωτογραφίες που λαμβάνονται με τα ηλεκτρονικά μικροσκόπια είναι πάντα ασπρόμαυρες. Ο βαθμός σκοτεινότητας εξαρτάται από την πυκνότητα των ηλεκτρονίων. Η διάταξη ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου διέλευσης απεικονίζεται στο **Εικόνα 4.1** [40].



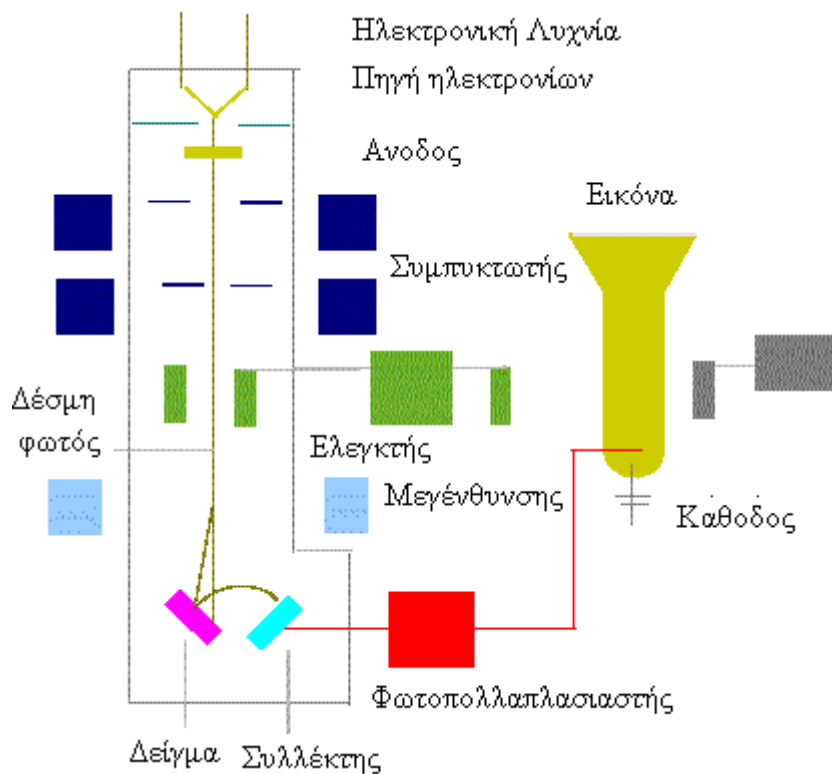
Εικόνα 4.1: Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Διέλευσης [40]

Η TEM θεωρείται ιδανική μέθοδος για τον προσδιορισμό ινών αμιάντου σε οποιοδήποτε περιβαλλοντικό μέσο (έδαφος/ πέτρωμα, νερό, αέρας). Υπάρχει η δυνατότητα ημιποσοτικών στοιχειακών αναλύσεων με τη χρήση παράλληλα της φασματομετρίας φθορισμού ακτίνων X (EDX). Επιπλέον, είναι δυνατό να ληφθούν πληροφορίες για τη κρυσταλλική δομή των ινών χρησιμοποιώντας παράλληλα τη μέθοδο SAED (Selective Area Electron Diffraction) [39].

4.2.2 Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM)

Η χρησιμοποιούμενη μέθοδος βασίζεται στις τηλεοπτικές τεχνικές. Η δύναμη διείσδυσης της δέσμης ηλεκτρονίων είναι κανονικά μικρότερη από αυτή του TEM, αλλά επιτυγχάνεται καλύτερο βάθος εστίασης. Η SEM χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου δεν απαιτείται υψηλή μεγέθυνση. Η επιφάνεια του δείγματος ανιχνεύεται σημειακά με τη δέσμη ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα την απελευθέρωση

δευτερευόντων ηλεκτρονίων. Η ένταση αυτής της δευτερεύουσας ακτινοβολίας εξαρτάται, από τη γωνία και την κλίση της επιφάνειας του αντικειμένου. Τα δευτερεύοντα ηλεκτρόνια συλλέγονται από έναν ανιχνευτή, ο οποίος βρίσκεται τοποθετημένος διαγωνίως επάνω από το εξεταζόμενο δείγμα. Στη συνέχεια το σήμα ενισχύεται ηλεκτρονικά και τελικά η απεικόνιση της εξεταζόμενης περιοχής εμφανίζεται σε μια οθόνη. Η διαφορά μεταξύ του TEM και του SEM έγκειται στην πορεία της δέσμης ηλεκτρονίων. Η διάταξη ενός Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης απεικονίζεται στο **Εικόνα 4.2**.



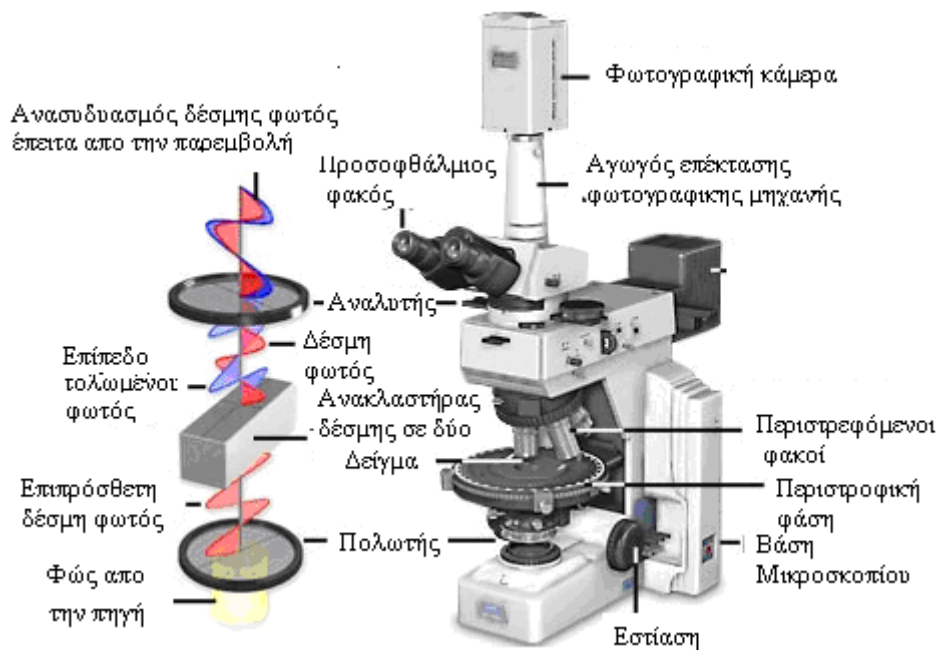
Εικόνα 4.2: Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης [39]

Η SEM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον μορφολογικό προσδιορισμό και τη χημική σύνθεση των αμιαντούχων υλικών. Με τη σάρωση της επιφάνειας του δείγματος από μια απλή δέσμη ηλεκτρονίων παράγονται εικόνες. Η αλληλεπίδραση της δέσμης ηλεκτρονίων και του δείγματος παράγει ποικίλα σήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον χημικό προσδιορισμό του δείγματος. Επιπλέον με την SEM μπορούν να παρατηρηθούν ίνες οι οποίες βρίσκονται προσκολλημένες σε άλλες ορυκτολογικές επιφάνειες. Οι υψηλής μεγέθυνσης εικόνες μπορούν να παρέχουν στοιχεία σχετικά με το μέγεθος των κόκκων, το σχήμα και τον λόγο μήκος προς πλάτος, τα οποία είναι σημαντικά για τον χαρακτηρισμό των ινών αμιάντου. Η

χημική ανάλυση συγκεκριμένων περιοχών ενός δείγματος μπορεί να ολοκληρωθεί χρησιμοποιώντας φασματομετρία φθορισμού ακτινών X (EDX). Η στοιχειώδης ανάλυση των μεμονωμένων ινών και των κόκκων είναι συνήθως ημιποσοτική αλλά ικανοποιητική για τον ορυκτολογικό προσδιορισμό [39].

4.2.3 Πολωτικό Μικροσκόπιο (PLM)

Το Πολωτικό Μικροσκόπιο (PLM) παρέχει πλήθος πληροφοριών σε σχέση με άλλες μεθόδους οπτικής μικροσκοπίας. Η τεχνική βασίζεται στις οπτικές ιδιότητες των υλικών προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες για τη δομή και τη σύνθεση των υλικών. Χρησιμοποιώντας πληροφορίες σχετικά με το φάσμα απορρόφησης και τον δείκτη διάθλασης, το PLM παρέχει τη δυνατότητα διάκρισης των ανισότροπων και ισότροπων υλικών. Τα ισότροπα υλικά, στα οποία κατατάσσονται, τα αέρια, τα υγρά, τα γυαλιά και οι κυβικοί κρύσταλλοι, εμφανίζουν ίδιες οπτικές ιδιότητες σε όλες τις κατευθύνσεις. Έχουν μόνο έναν δείκτη διάθλασης, και κανέναν περιορισμό στη διεύθυνση ταλάντωσης του φωτός που τα διαπερνά. Σε αντίθεση, τα ανισότροπα υλικά, που περιλαμβάνουν το 90% όλων των στερεών υλικών, έχουν οπτικές ιδιότητες που ποικίλλουν ανάλογα με τον προσανατολισμό του προσπίπτοντος φωτός με τους κρυσταλλογραφικούς άξονες. Καταδεικνύουν μια σειρά των διαθλαστικών δεικτών που εξαρτάται, από την κατεύθυνση διάδοσης του φωτός μέσω του υλικού και από το παλμικό επίπεδο συντεταγμένων. Το πιο σημαντικό από όλα είναι ότι τα ανισότροπα υλικά έχουν την ιδιότητα να διασπούν την προσπίπτουσα δέσμη φωτός. Η τεχνική της μικροσκοπίας πόλωσης εκμεταλλεύεται την ύπαρξη των διασπασμένων ακτινών, οι οποίες στη συνέχεια και κατά μήκος της οπτικής πορείας επανενώνονται και τελικά εξάγονται οι πληροφορίες για το υλικό. Στην **Εικόνα 4.3** απεικονίζεται το Πολωτικό Μικροσκόπιο και η σχετική διάταξη των επιμέρους τμημάτων [41].



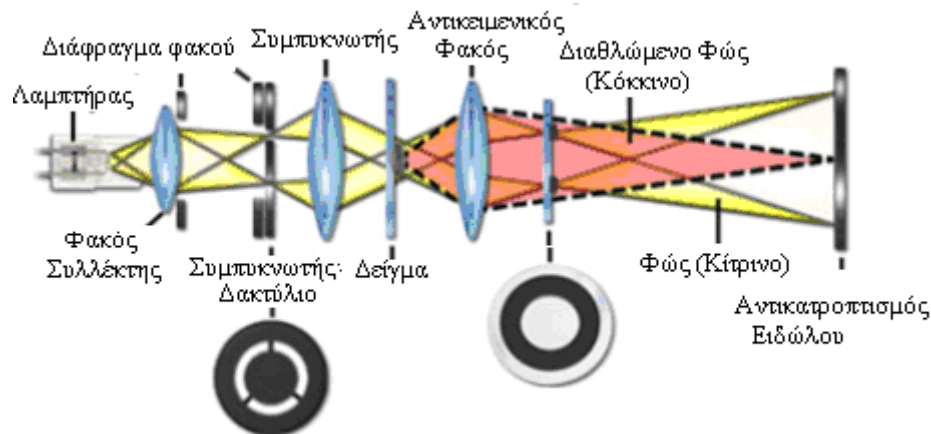
Εικόνα 4.3: Πολωτικό μικροσκόπιο και σχετική διάταξη τμημάτων [42]

Το PLM χρησιμοποιείται κυρίως για τον προσδιορισμό ινών αμιάντου σε στερεά υλικά. Αν και συνήθως υπάρχουν αρκετές άλλες αποτελεσματικότερες μέθοδοι, το PLM κατατάσσεται στις γρήγορες και εύκολες μεθόδους, και χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό ινών αμιάντου μεταξύ άλλων ινών καθώς και για τον προσδιορισμό διαφορετικών τύπων ινών αμιάντου (π.χ. σεπερντίνης, χρυσοτίλης κ.α). Το πολωμένο φως παρέχει πληροφορίες για τη μορφολογία των ινών, το πλειοχρωισμό, το χρώμα και τον δείκτη διάθλασης. Οι μη-αμιαντούχες ίνες (π.χ. γυαλιού) είναι ισοτροπικές και δεν προσβάλλονται κατά την περιστροφή κάτω από το πολωμένο φως, σε αντίθεση με τις ίνες αμιάντου που θα επιδείξουν κάποιο πλειοχρωισμό. Ο χρυσοτίλης έχει δείκτη διάθλασης 1,550, ενώ ο αμοσίτης 1,692, ο δε κροκιδόλιθος έχει τον υψηλότερο, περίπου 1,695. Γενικά οι αμφίβολοι έχουν υψηλότερο δείκτη διάθλασης από αυτό του χρυσοτίλη [42].

4.2.4 Μικροσκόπιο Αντίθετης Φάσης (PCM)

Το Μικροσκόπιο Αντίθετης Φάσης είναι ένα μικροσκόπιο με ειδικό πυκνωτή, το οποίο διασπείρει τη φωτεινή δέσμη έτσι ώστε να προσπίπτει στο αντικείμενο από διαφορετικές γωνίες (**Εικόνα 4.4**). Ως αποτέλεσμα επιτυγχάνεται φωτισμός

ορισμένων σημείων, τα οποία δεν θα μπορούσαν να παρατηρηθούν με άλλο τρόπο [43].



Εικόνα 4.4: Βασική αρχή λειτουργίας του μικροσκοπίου αντίθετης φάσης [41]

Το PCM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση ινών αμιάντου στον αέρα, όπου οι ίνες συλλέγονται σε ένα φίλτρο και μετρούνται. Αυτή η μέθοδος ισχύει στην αξιολόγηση της προσωπικής έκθεσης σε διαφορετικούς τύπους αμιάντου και σε όλες τις άλλες συνθετικές ίνες. Εφαρμόζεται επίσης στη μέτρηση των συγκεντρώσεων ινών σε εργασιακούς χώρους, για την ανίχνευση των πηγών ρύπανσης και για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων προστασίας και ελέγχου [44].

4.2.5 Ηλεκτρονική Ανάλυση με Μικροκύματα (EPMA)

Ηλεκτρονική Ανάλυση με Μικροκύματα (EPMA) χρησιμοποιείται για την ποσοτική στοιχειακή ανάλυση μικρών περιοχών του εξεταζόμενου δείγματος. Χρησιμοποιείται μια λεπτή δέσμη ηλεκτρονίων για την ανάλυση πολύ μικρών περιοχών του δείγματος. Η EPMA χρησιμοποιείται για τις ποσοτικές στοιχειακές αναλύσεις που απαιτούνται για τον ορυκτολογικό προσδιορισμό και συνήθως σε γεωλογικές έρευνες όπου εξετάζεται ο αμφιβολικός αμιάντος.[39,45]

4.2.6 Περιθλασιμετρία Ακτινών X (XRD)

Η Περιθλασιμετρία Ακτινών X (XRD) είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη αναλυτική μέθοδος για τον προσδιορισμό της κρυσταλλικής δομής ορυκτών. Όταν οι ακτίνες X προσπίπτουν σε ένα λεπτόκοκκο λειοτριβημένο δείγμα ορυκτών,

διασπείρονται ή περιθλώνται με συγκεκριμένο τρόπο που εξαρτάται από την ατομική δομή των ορυκτών του εξεταζόμενου δείγματος. Επειδή κάθε μέταλλευμα, εξ ορισμού, έχει μια μοναδική κρυσταλλική δομή και ένα αντίστοιχο μοναδικό μοτίβο διάθλασης των ακτινών X, μπορεί να προσδιοριστεί η ορυκτολογική σύστασή του συγκρίνοντας την με κάποια βάση δεδομένων. Η προετοιμασία δειγμάτων για XRD απαιτεί δείγματα λειοτριβημένα σε μορφή σκόνης. Γενικά, περίπου 0,5 έως 1 gr δείγματος απαιτείται για την ανάλυση. Η σκόνη του εξεταζόμενου δείγματος δεν καταστρέφεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας XRD και μπορεί να διατηρηθεί για επανεξέταση στο μέλλον. Η μέθοδος XRD, σε ότι αφορά στον ορυκτολογικό προσδιορισμό, έχει καλύτερα αποτελέσματα σε δείγματα με μικρό αριθμό διαφορετικών ορυκτών. Το εξεταζόμενο δείγμα θα πρέπει να περιέχει ορυκτά τα οποία η περιεκτικότητά τους διαφέρει σε μονάδες επί τοις εκατό βάρους, προκειμένου οι καμπύλες διάθλασης να είναι ευδιάκριτες. Ένα ελικοειδές π.χ. ορυκτό διακρίνεται εύκολα από ένα ορυκτό τύπου αμφίβολου. Εντούτοις, είναι δύσκολο να διαχωριστεί ο σεπερντίνη από τον αμφίβολο εξαιτίας της παρόμοιας δομής του. Αυτό απαιτεί επιπλέον χημικές αναλύσεις [39].

4.3 Σύγκριση αναλυτικών μεθόδων

Η ακριβέστερη και ευαίσθητη μέθοδος για την μέτρηση της περιεκτικότητας ινών αμιάντου στον αέρα είναι το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, και κατά προτίμηση η TEM. Το PCM έχει ένα βασικό μειονέκτημα, δεν μπορεί να διακρίνει τις ίνες αμιάντου από τις άλλες ίνες καθώς και να τις διαχωρίσει ανάλογα με τον τύπο αμιάντου. Στο ίδιο δείγμα αέρα, οι ίνες που μετρούνται με το TEM μπορούν να είναι 50-70 φορές υψηλότερες από εκείνες που μετρούνται με το PCM. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το PCM δεν μπορεί να ανιχνεύσει ίνες διαμέτρου μικρότερες από 0,20-0,30 μm , ενώ το TEM είναι σε θέση να ανιχνεύσει ίνες διαμέτρου μικρότερες από 0,01 μm [38].

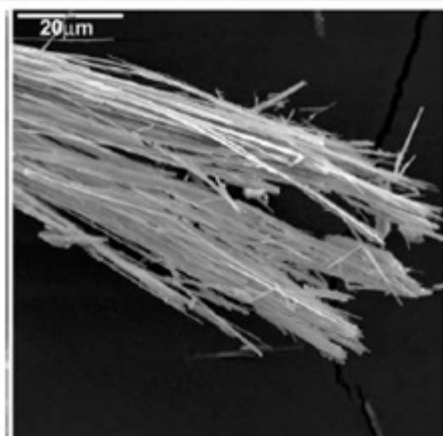
Ένα μειονέκτημα των μικροσκοπικών μεθόδων είναι ότι είναι δύσκολο να καθοριστεί η συγκέντρωση αμιάντου στο έδαφος και σε κάθε είδους στερεό υλικό [46].

Το XRD μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει ποια ορυκτά περιέχονται σε ένα δείγμα. Δεν παρέχεται όμως καμία επιπλέον πληροφορία. Συνεπώς υπάρχει περίπτωση σε ένα δείγμα να ανιχνευθεί τρεμολίτης αλλά από την καμπύλη διάθλασης δεν είναι σε θέση να προσδιοριστεί αν είναι πρισματικός ή αμιαντοειδής. Λόγω αυτού

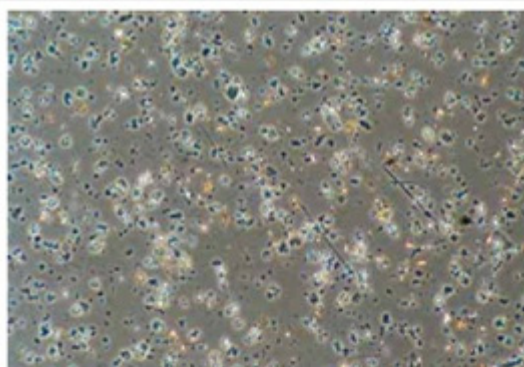
του περιορισμού, η EPA συστήνει να χρησιμοποιείται το XRD μόνο για να συμπληρώσει τις ποσοτικές εκτιμήσεις και ότι η παρουσία ορυκτών αμιάντου που υποδεικνύεται από XRD επιβεβαιώνεται με PLM είτε TEM [39]

Το PLM δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σκοπό τον προσδιορισμό των διαφορετικών τύπων ινών. Εντούτοις οι συμπληρωματικές πληροφορίες για τον τύπο ή το μέγεθος ινών μπορούν να ληφθούν με τη χρήση άλλων μεθόδων (TEM, SEM). Ένα άλλο εμπόδιο που συνδέεται με αυτήν τη μέθοδο είναι το όριο ορατότητας. Με ένα καλό, σωστά ρυθμισμένο μικροσκόπιο, το όριο ορατότητας είναι σε γενικές γραμμές περίπου 0,13 – 0,15 μm . Εντούτοις, στην πράξη, οι μικρότερες ορατές ίνες που μπορούν να προσδιοριστούν είναι περίπου της τάξης 0,20 – 0,25 μm . Το αποτέλεσμα που επιτυγχάνεται από αυτήν τη διαδικασία αντιπροσωπεύει μόνο έναν ποσοστό της συγκέντρωσης των ινών αμιάντου [44].

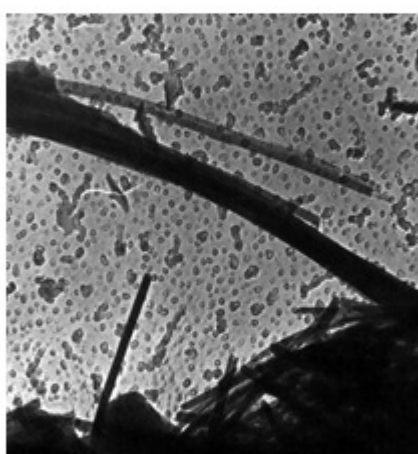
Στην **Εικόνα 4.5** απεικονίζεται η ανάλυση δειγμάτων με αμίαντο με διαφορετική μέθοδο, όπου φαίνεται η δυνατότητα ανίχνευσης της καθεμίας.



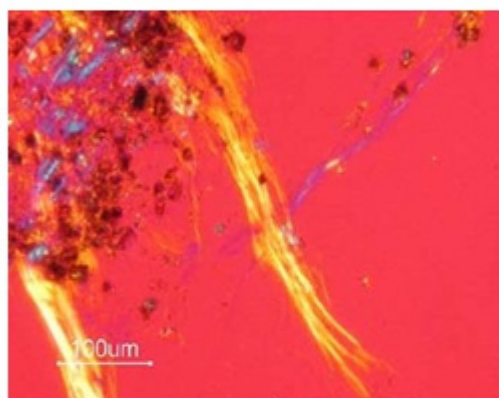
1: EPMA [57]



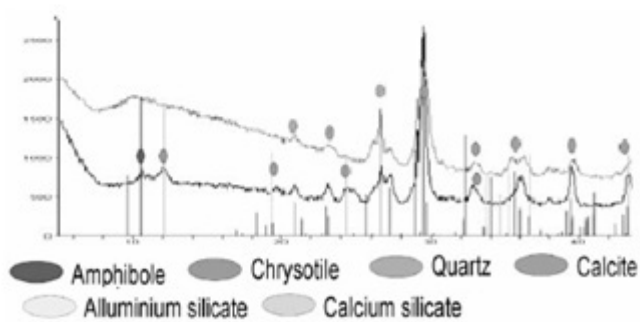
2: PCM (400x) [55]



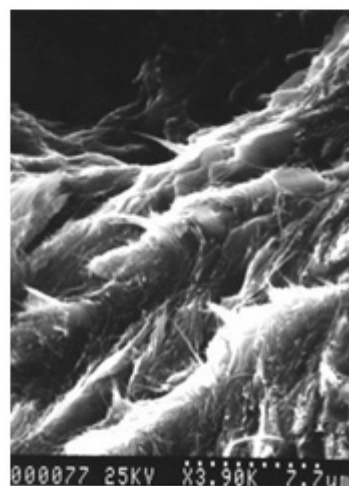
3: TEM (20.000x) [54]



4: PLM [56]



5: XRD [57]



6: SEM [54]

Εικόνα 4.5: Ανάλυση αμιαντούχων δειγμάτων με διαφορετική μέθοδο προσδιορισμού

Στον **Πίνακα 4.2** παρουσιάζονται συνοπτικά στοιχεία σχετικά με το εξεταζόμενο περιβαλλοντικό μέσο, τη μέθοδο ανάλυσης και τα χαρακτηριστικά αυτής (όριο ανίχνευσης, περιορισμοί κ.α.) [38,47, 48,49, 50 ,51,52].

Πίνακας 4.2: Μέθοδοι ανάλυσης και χαρακτηριστικά [38,47, 48,49, 50,51,52]

Δείγμα	Μέθοδος	Περιορισμοί	Όριο ανίχνευσης	Αναφορά
Νερό	TEM	-	<0,01 MFL	Anderson and Long 1980
	(20,000X) SEM	W> 5μm L:W>3:1	0,0002 f/ml	
Αέρας	PCM	W> 5μm L:W>3:1	<0,002f/ml*	NIOSH 7400
	TEM	-	<0,01 f/ml	
	SEM	L:W>3:1	0,04 to 0,5 ** f/ml	NIOSH 7402
	TEM		1%	
	SEM	L>5μm, W>3μm, L:W>3:1		
Στερεό	TEM		1%	EPA/600/R-93/116
Έδαφος	PLM	< 0,3 micron	<1%	NIOSH 9002
		< 0,3 micron	0,25%	EPA/600/R-93/116
	PLM			EPA600/M4-82-020
	EPMA	d>0,2 μm	<1 % (w/w)	NYSELAP 198.1
Πέτρωμα	XRD	-	1- 100% (w/w)	NIOSH 9000

* Δείγμα αέρος όγκου 1.200 l, ** Δείγμα αέρος όγκου 1.000 l, L: μήκος, W: πλάτος, MFL: εκατομμύρια ίνες αμιάντου σε ένα λίτρο

4.4 Οδηγός προσδιορισμού ινών αμιάντου με τη χρήση πρότυπης μεθόδου

Ο προσδιορισμός ινών αμιάντου σε οποιοδήποτε περιβαλλοντικό μέσο (αέρας έδαφος, νερό) προϋποθέτει τη χρήση της κατάλληλης μεθόδου. Για αυτό τον λόγο διεθνείς οργανισμοί έχουν εκδώσει λεπτομερείς οδηγούς σχετικά με τον απαιτούμενο εξοπλισμό, τη μέθοδο δειγματοληψίας και τον τρόπο διεξαγωγής της ανάλυσης για τον προσδιορισμό των ινών αμιάντου ανάλογα με τη φυσική κατάσταση του δείγματος (αέρας, νερό, στερεό). Συνοπτικά παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.3** [53,58].

Πίνακας 4.3: Οδηγοί προσδιορισμού ινών αμιάντου [53,58]

ΑΕΡΑΣ
AHERA
NIOSH 7400: PCM
EPA II, Yamate Level 2
EPA II, Modified (AHERA-like)
NIOSH 7402: PCM/TEM
OSHA Hybrid: Hybrid PCM/TEM
ΣΤΕΡΕΟ
ASTM D-5755-95: TEM (Σκόνη)
OSHA Inorganic 191
EPA 540-R97-028: Στερεό, έδαφος από αεραγωγούς
EPA/600/R-93/116: Ποσοτική
EPA/600/R-93/116: Ημιποσοτική
EPA/600/R-93/116: Ποσοτική
EPA/600/R-93/116: PLM 400
EPA Draft Method July 1989: TEM Surface Dust
ΝΕΡΟ
EPA 100.2: Πόσιμο νερό
EPA 100.1: Μη πόσιμο νερό
EPA-600/4-043: Chatfield
EPA-600/4-80-005: Anderson & Long

4.4.1 Προσδιορισμός ινών αμιάντου σε δείγμα ύδατος με τη μέθοδο TEM (EPA 100.1: Μη πόσιμο νερό) [59]

Ο βασικός εξοπλισμός για την ανάλυση των δειγμάτων ύδατος με τη μέθοδο TEM είναι:

1. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διέλευσης
2. EDX/ SAED
3. Υπολογιστής
4. Βοηθητικές συσκευές (συσκευή δημιουργίας κενού, γεννήτρια παραγωγής όζοντος, φίλτρα κ.α)
5. Χημικά αντιδραστήρια

Στον σχετικό οδηγό, προτού καθοριστούν οι βασικές λεπτομέρειες ανάλυσης του δείγματος, γίνεται αναφορά για τον τρόπο δειγματοληψίας και συντήρησης των δειγμάτων. Συγκεκριμένα αναφέρεται ότι:

- Τα δοχεία αποθήκευσης των δειγμάτων ύδατος θα πρέπει να είναι από πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας ή γυαλί, χωρητικότητας ενός λίτρου. Αν και θεωρούνται τα δοχεία από γυαλί ιδανικά για την αποθήκευση του δείγματος, ωστόσο συναντώνται προβλήματα αλλοίωσης του δείγματος, κατά τη μεταφορά και τη συντήρηση του, για αυτό τον λόγο προτιμώνται τα δοχεία από LDPE.
- Τα δοχεία προτού χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση του δείγματος θα πρέπει να πραγματοποιηθούν δύο εκπλύσεις με απεσταγμένο νερό και έπειτα να τοποθετηθούν για 15 λεπτά σε λουτρό με υπέρηχους και στη συνέχεια να επαναληφθούν πολλές εκπλύσεις με απεσταγμένο νερό.
- Το δείγμα θα πρέπει να συλλεχθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι αντιπροσωπευτικό. Δεδομένου ότι, το μέγεθος των ινών μπορεί να είναι από 1-20 μm ή και μεγαλύτερο, η οριζόντια και κάθετη κατανομή των ινών στο εξεταζόμενο χώρο (π.χ. λίμνη) ποικίλει. Οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν τη δειγματοληψία, συνεπώς θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη δειγματοληψία. Εάν απαιτείται η συλλογή ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος θα πρέπει να εκτιμηθούν όλες αυτές οι παράμετροι.
- Δύο χωριστά δείγματα, περίπου 800 mL, συλλέγονται προκειμένου σε περίπτωση σφάλματος να υπάρχει δείγμα για ανάλυση.
- Τα δείγματα πρέπει να μεταφερθούν στο εργαστήριο το συντομότερο δυνατόν μετά από τη συλλογή. Κανένα συντηρητικό δεν πρέπει να προστεθεί κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας. Εάν στο δείγμα δεν μπορεί να λάβει χώρα με επεξεργασία όζον-UV και να φιλτραριστεί μέσα σε 48 ώρες μετά από την άφιξη στο αναλυτικό εργαστήριο, πρέπει να προστεθεί διάλυμα χλωριούχου ψευδαργύρου προκειμένου να παρεμποδιστεί η βακτηριακή ανάπτυξη. Για τον ίδιο ακριβώς λόγο συνίσταται η διατήρησή του σε σκοτεινό μέρος και σε χαμηλή θερμοκρασία.

Ο χώρος διεξαγωγής της ανάλυσης θα πρέπει να είναι κατάλληλα διαμορφωμένος έτσι ώστε να μην υπάρχει περίπτωση ρύπανσης του δείγματος ή απελευθέρωσης ινών

αμιάντου. Επιπλέον αναφέρεται ότι όλες οι χρησιμοποιούμενες συσκευές θα πρέπει να καθαριστούν προτού χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση του δείγματος προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε περίπτωση ρύπανσης του δείγματος.

Στη συνέχεια το δείγμα, προτού φιλτραριστεί, επεξεργάζεται με όζον και υπεριώδη ακτινοβολία με σκοπό την καταστροφή του οργανικού μέρους.

Η οξείδωση των οργανικών ενώσεων υψηλού μοριακού βάρους θεωρείται απαραίτητη για τον ακριβή υπολογισμό των ινών αμιάντου αφού αλληλεπιδρούν με τις οργανικές ενώσεις, με αποτέλεσμα την εξαγωγή εσφαλμένων αποτελεσμάτων και σε χαμηλότερα επίπεδα από τα πραγματικά.

Η διαδικασία φιλτραρίσματος θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική. Θα πρέπει κατά τη διήθηση του δείγματος τα στερεά σωματίδια να κατανεμηθούν ομοιόμορφα στην επιφάνεια του φίλτρου με όσο το δυνατόν μικρότερη έκταση επικάλυψης. Ο όγκος του δείγματος που φιλτράρεται εξαρτάται από τη διάμετρο του φίλτρου και την παρουσία των ινών.

Στον **Πίνακα 4.4** παρουσιάζονται τα όρια ευαισθησίας της μεθόδου ανάλογα με τον όγκο του δείγματος. Στην πράξη η μέγιστη συγκέντρωση σωματιδίων στο φίλτρο είναι $20 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, ενώ ως βέλτιστη τιμή θεωρείται $5 \text{ g}/\text{cm}^2$.

Επίσης, όταν επιλέγεται φίλτρο διαμέτρου 2-5mm ο ελάχιστος όγκος φιλτραρισμένου δείγματος είναι 10 mL, ενώ για φίλτρα 47 mm είναι 50 mL. Σε περίπτωση που ο όγκος του δείγματος είναι μικρότερος από τους προαναφερόμενους τότε δεν επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή των στερεών στην επιφάνεια του φίλτρου.

Πίνακας 4.4: Όγκος φιλτραρισμένου δείγματος και όρια ευαισθησίας [59]

Όγκος δείγματος προς φιλτράρισμα (ml)		Όριο ευαισθησίας (ίνες/λίτρο)
Φίλτρο διαμέτρου 25 mm ¹	Φίλτρο διαμέτρου 77 mm ²	
0,1	0,6	1,5 x 10 ⁷
0,5	2,8	3,0 x 10 ⁶
1,0	5,7	1,5 x 10 ⁶
2,0	11	0,8 x 10 ⁶
5,0	28	3,0 x 10 ⁵
10	57	1,5 x 10 ⁵
25	142	6,0 x 10 ⁴
50	285	3,0 x 10 ⁴
100	570	1,5 x 10 ⁴

1: Ενεργή επιφάνεια φίλτρου 1,99 cm², 2: Ενεργή επιφάνεια φίλτρου 11,34 cm²

Το δείγμα πρέπει να φιλτραριστεί αμέσως μετά από επεξεργασία με όζον-UV και υπέρηχους. Εάν για οποιοδήποτε λόγο το δείγμα έχει αποθηκευτεί για περισσότερο από μερικές ώρες μετά από αυτές τις επεξεργασίες, συνιστάται η οξείδωση με όζον-UV να επαναληφθεί για μικρή χρονική περίοδο, περίπου 15 min.

Το επόμενο στάδιο της διαδικασίας είναι η επεξεργασία του φίλτρου για την εξέτασή του με τη μέθοδο TEM, μια διαδικασία χρονοβόρα, που απαιτεί δεξιότητες. Στην επιφάνεια του φίλτρου εναποτίθεται ένα στρώμα άνθρακα και στη συνέχεια τοποθετείται σε διάλυμα με τέτοιο τρόπο ώστε να μην μετακινηθούν μόρια ή να καταστραφεί το στρώμα του άνθρακα. Αφού ολοκληρωθεί η προετοιμασία του φίλτρου μεταφέρεται για εξέταση στο μικροσκόπιο.

Αρχικά το φίλτρο τοποθετείται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και εξετάζεται με μεγέθυνση 300-1.000X. Συνολικά εξετάζονται τουλάχιστον 10 πλεγματικές περιοχές. Στην περίπτωση που ο αριθμός ινών είναι >50 ανά πλέγμα θα πρέπει να κατασκευαστεί ένα νέο φίλτρο φιλτράροντας έναν μικρότερο όγκο δείγματος ή κάνοντας αραίωση του αρχικού δείγματος.

Αφού διαπιστωθεί ότι το φίλτρο είναι κατάλληλο για εξέταση, μελετώνται τρεις τουλάχιστον πλεγματικές ενότητες και καταμετρώνται οι ίνες αμιάντου. Ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια καθορίζεται και η εστίαση.

Οι ανιχνεύσιμες ίνες καταγράφονται και ταξινομούνται προκειμένου να υπολογιστεί η μαζική συγκέντρωση αμιάντου στο δείγμα, εφόσον αυτό επιτρέπεται.

Αυτό εξαρτάται από την κατανομή και το μέγεθος των ινών. Οι ίνες μικρότερου μήκους από 0,5 μm δεν θα ληφθούν υπόψη στον τελικό υπολογισμό της συγκέντρωσης ινών.

Υπάρχει δυνατότητα ημιποσοτικών στοιχειακών αναλύσεων με παράλληλη χρήση της φασματομετρίας φθορισμού ακτινών X (EDX). Επιπλέον, είναι δυνατό να ληφθούν πληροφορίες για τη κρυσταλλική δομή των ινών χρησιμοποιώντας παράλληλα τη μέθοδο SAED (Selective Area Electron Diffraction).

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία εξέτασης του δείγματος πραγματοποιείται ο υπολογισμός των ινών αμιάντου στο αρχικό δείγμα σύμφωνα με την **Εξίσωση 4.1**.

Η συγκέντρωση ινών σε MFL (εκατομμύρια ίνες αμιάντου ανά λίτρο) που αντιστοιχεί στον υπολογισμό μιας ίνας σε ένα πλέγμα είναι:

$$C = \frac{A_f * R_D}{A * V * 1000} \quad (4.1)$$

Όπου:

A_f : Ενεργή επιφάνεια φίλτρου (mm^2)

A : Συνολική εξεταζόμενη επιφάνεια με το μικροσκόπιο (mm^2)

V : Αρχικός όγκος δείγματος (ml)

R_D : Λόγος αραίωσης του αρχικού δείγματος

Η τελική συγκέντρωση ινών αμιάντου προκύπτει από την **Εξίσωση 4.2**.

$$C_{\text{τελικο}} = C * k * a \quad (4.2)$$

Όπου:

$C_{\text{τελικο}}$: Συγκέντρωση ινών αμιάντου

k : Αριθμός πλεγμάτων

a : Αριθμός μετρήσιμων ινών σε ένα πλέγμα

4.4.2 Προσδιορισμός ινών αμιάντου σε δείγμα εδαφικού υλικού με τη μέθοδο PLM (OSHA Inorganic 191) [60]

Η ανάλυση στερεών δειγμάτων για τον προσδιορισμό των ινών αμιάντου πραγματοποιείται σύμφωνα με τον οδηγό της O.S.H.A. (inorganic 191), όπου καθορίζονται λεπτομέρειες σχετικά με τη δειγματοληψία του στερεού υλικού και την αποθήκευσή του, την προετοιμασία του δείγματος για ανάλυση με το μικροσκόπιο, τον απαιτούμενο εργαστηριακό εξοπλισμό και τα βήματα για την εξέταση του δείγματος.

Δειγματοληψία στερεού υλικού

Για τη λήψη του στερεού υλικού απαιτείται η χρήση ενός δειγματολήπτη, κατάλληλα αποθηκευτικά μέσα, καθώς και μονωτικό υλικό σφράγισης των μέσων αποθήκευσης.

Το δείγμα θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό της εξεταζόμενης περιοχής. Επίσης θα πρέπει να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα δημιουργίας σκόνης στον χώρο εργασίας, καθώς και η λήψη όσο το δυνατόν μικρής αλλά απαραίτητης ποσότητας για ανάλυση.

Επίσης, τα δείγματα θα πρέπει να αποθηκευτούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχει περίπτωση απελευθέρωσης ινών αμιάντου στην ατμόσφαιρα.

Τέλος, κατά τη διαδικασία της δειγματοληψίας οι εργαζόμενοι θα πρέπει να λάβουν τα κατάλληλα προστατευτικά μέσα στο πεδίο για την αποφυγή πιθανής έκθεσης σε αμιάντο.

Εργαστηριακός εξοπλισμός

Η ανάλυση του δείγματος στο εργαστήριο απαιτεί τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού, προκειμένου να γίνει με τον σωστό τρόπο, πληρώνοντας όλες τις προδιαγραφές. Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης ινών αμιάντου είναι ο ακόλουθος:

1. Μικροσκόπιο αντίθεσης φάσεων (PCM)
2. Στερεοσκοπικό μικροσκόπιο
3. Κάλυμμα αρνητικής πίεσης για το στερεοσκοπικό μικροσκόπιο
4. Κλίβανος δυναμικότητας έως 600 °C

5. Φούρνος ξήρανσης (50-150°C)
6. Δοχεία ζυγαριάς
7. Λαβίδες για την απομάκρυνση του δείγματος από τον φούρνο
8. Ευρετήριο με δείκτες διάθλασης για διάφορα υλικά
9. Ειδικά υγρά για την ευθυγράμμιση του μικροσκοπίου
10. Υάλινες διαφάνειες
11. Ειδικές μεμβράνες
12. Συσκευή άλεσης χειρωνακτικά
13. Λεπίδα
14. Διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (0,1 M)
15. Αντιδραστήρια (Ethylenediaminetetraacetic Acid, Tetrasodium 0,7 g/l, Sodium Potassium Tartrate 8,0 mg/l, Hydrochloric Acid 99,2 g/l, Sodium Tartrate 0,14 g/l, q. Tetrahydrofuran)
16. Πυρίμαχο σκεύος
17. Γουδί και γουδοχέρι

Ανάλυση Δείγματος

Η εξέταση του δείγματος μπορεί να διαιρεθεί σε δύο κατηγορίες: α) στην προετοιμασία του δείγματος και β) στην ανάλυση με μικροσκόπιο.

Προετοιμασία Δείγματος

Οι παρεμβολές υλικών με παρεμφερή χαρακτηριστικά (μήκος και πλάτος) με αυτά του αμιάντου, αποτελούν εμπόδιο για τον προσδιορισμό ινών αμιάντου σε ένα δείγμα, και έχει διαπιστωθεί ότι είναι αρκετές. Με κατάλληλους χειρισμούς οι παρεμβολές μπορούν να ελαχιστοποιηθούν αφού τα ορυκτά του αμιάντου έχουν κάποιες χαρακτηριστικές μορφολογικές και οπτικές ιδιότητες. Για αυτό τον λόγο απαιτείται η προετοιμασία του δείγματος προτού εξεταστεί με το μικροσκόπιο. Τα κυριότερα στάδια της προετοιμασίας είναι τα παρακάτω:

Χημικό φορτίο: Θέρμανση του δείγματος προκειμένου να καταστραφεί το χημικό φορτίο.

Περιεχόμενη Υγρασία δείγματος: Αν το ποσοστό υγρασίας και το περιεχόμενο νερό στο δείγμα είναι αρκετό, απαιτείται ξήρανση στους 100 °C για 2 ώρες περίπου..

Οργανικό Φορτίο: Αν το οργανικό φορτίο είναι υψηλό, θα πρέπει να καταστραφεί τοποθετώντας το δείγμα για 1-2 ώρες σε φούρνο και έπειτα αφήνοντας το να επανέλθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία θέρμανσης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τους 600°C αφού υπάρχει κίνδυνος αλλοίωσης των χαρακτηριστικών των ινών αμιάντου. Σε ορισμένες περιπτώσεις για την καταστροφή κάποιων οργανικών ενώσεων απαιτείται η χρήση κατάλληλων αντιδραστηρίων. Το δείγμα τοποθετείται σε δοκιμαστικό σωλήνα και προστίθεται μικρή ποσότητα (4-5 ml) της εύφλεκτης ουσίας τετρο-υδροφουρανίου. Ακολουθεί διήθηση του διαλύματος με τη χρήση μεμβράνης αργύρου και συλλογή του εναπομείναντος δείγματος.

Ανθρακικά άλατα: Μικρή ποσότητα του εξεταζόμενου δείγματος διαλύεται σε υδροχλωρικό οξύ (0,1M). Στη συνέχεια το δείγμα φιλτράρεται με τη χρήση μεμβράνης αργυρού, και ακολουθεί συλλογή του δείγματος και ξήρανση αυτού.

Κοκκομετρία υλικού: Εάν το δείγμα χαρακτηρίζεται ως χονδρόκοκκο θα πρέπει να πραγματοποιηθεί λειοτρίβιση αυτού με τέτοιο τρόπο ώστε να μην αλλοιωθεί η σύστασή του. Συστήνεται η χειρονακτική λειοτρίβιση του δείγματος και σε περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό, εφαρμόζεται κάποια μηχανική διεργασία περιορίζοντας στο ελάχιστο την καταπόνηση του δείγματος.

Εφόσον πληρούνται οι παραπάνω προϋποθέσεις το δείγμα τοποθετείται σε ειδική, υάλινη επιφάνεια και μεταφέρεται για ανάλυση στο πολωτικό μικροσκόπιο. Το δείγμα θα πρέπει να είναι κοκκομετρίας $d \leq 3\mu\text{m}$.

Ανάλυση του δείγματος

Ο προσδιορισμός των ινών αμιάντου στο μικροσκόπιο βασίζεται στα μορφολογικά χαρακτηριστικά (κυρτότητα, μήκος, πλάτος, ευκαμψία) αυτών. Οι ίνες με διάμετρο $> 1\mu\text{m}$ διακρίνονται σχετικά εύκολα, αφού χαρακτηρίζονται από λόγο μήκους προς πλάτος που φτάνει έως και 100:1

Η ανάλυση αποτελείται από τρία μέρη: προσδιορισμός ινών αμιάντου, καθορισμός του τύπου και ποσοτική ανάλυση. Η γενική ροή της ανάλυσης είναι η ακόλουθη:

1. Οπτική παρατήρηση του δείγματος
2. Εξέταση με πολωμένο φως στερεοσκοπικού μικροσκοπίου
3. Εξέταση με πολωτικό μικροσκόπιο
4. Προσδιορισμός των ειδών που περιέχονται στο δείγμα
5. Σύνθετα δείγματα θα πρέπει να αναλυθούν και με τη μέθοδο SEM ή TEM

Τα βασικά στάδια ανάλυσης του δείγματος με μικροσκόπιο είναι τα παρακάτω:

1. Εξέταση του δείγματος με στερεοσκοπικό μικροσκόπιο σε μεγέθυνση από 6-40X και καταγραφή της ύπαρξης οποιασδήποτε ινώδους μορφής.
2. Προετοιμασία του δείγματος για εξέταση με στερεοσκοπικό μικροσκόπιο πολωμένου φωτός.
3. Εξέταση του δείγματος με πολωτικό μικροσκόπιο σε μεγέθυνση από 160-400X. Ακολουθεί καταγραφή της μορφολογίας οποιασδήποτε ίνας. Ίνες μικρής διαμέτρου και μεγάλου μήκους, ευθύγραμμες και με μικρή κυρτότητα χαρακτηρίζονται ως αμφιβολικός αμιάντος. Κυρτές, ελικοειδούς μορφής ίνες είναι συνήθως χρυσοτιλικός αμιάντος. Ίνες λεπτότερες από 1 μm θα πρέπει να εξεταστούν με χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου.
4. Υπολογισμός της περιεκτικότητας αμιάντου στο δείγμα.

Κάθε ίνα κατά την πρόσκρουση του πολωμένου φωτός, εξαιτίας της διαφορετικής δομής, έχει διαφορετικό δείκτη διάθλασης, και εκπέμπει κάθε φορά διαφορετικό χρώμα, το οποίο συγκρίνεται με πρότυπα χρωματικά φάσματα αμιάντου. Ο δείκτης διάθλασης για κάθε ορυκτό αμιάντου δίνεται στον **Πίνακα 4.5**.

Πίνακας 4.5: Δείκτης διάθλασης ορυκτών αμιάντου [60]

Ορυκτό αμιάντου	Δείκτης διάθλασης
Χρυσοτίλης	1,550
Αμοσίτης	1,670 ή 1,680
Κροκιδόλιθος	1,690
Ανθοφυλλίτης	1,605 και 1,620
Τρεμολίτης	1,605 και 1,620
Ακτινόλιθος	1,620

Σε ορισμένες περιπτώσεις στο εξεταζόμενο δείγμα εμφανίζεται το φαινόμενο της επικάλυψης των ινών, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολος ο εντοπισμός και ο προσδιορισμός τους και συνεπώς απαιτείται εξέταση του συγκεκριμένου μέρους του δείγματος με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Επίσης, όταν οι ίνες έχουν διάμετρο $L < 1\text{mm}$ και ο λόγος μήκος προς πλάτος είναι $L/W \geq 3:1$, τότε προτείνεται το δείγμα να αναλύεται με τη μέθοδο SEM ή TEM.

Υπολογισμός περιεκτικότητας σε αμίαντο

Το ποσοστό αμιάντου στο δείγμα, το οποίο υπολογίζεται, δεν αναφέρεται στο αρχικό δείγμα, αφού κατά την προετοιμασία του δείγματος (ξήρανση, καταστροφή του οργανικού φορτίου κ.α.) υφίσταται απώλεια υλικού. Για αυτό θα πρέπει να γίνει αναγωγή των αποτελεσμάτων στο αρχικό δείγμα.

Έστω ότι ένα δείγμα έχει υποστεί τα παρακάτω στάδια επεξεργασίας:

- 1.Θέρμανση του δείγματος στους 550°C για 1 h. Παραμένουσα ποσότητα 60% του αρχικού
- 2.Εμβάπτιση σε δείγμα HCL 0,1M. Παραμένουσα ποσότητα 30%
- 3.Εξέταση του δείγματος με το πολωτικό μικροσκόπιο και εύρεση καθαρού αμιάντου σε 5%

Επομένως η τελική περιεκτικότητα του δείγματος C προκύπτει σύμφωνα με την **Εξίσωση 4.3.**

$$C = (\text{Περιεκτικότητα σε αμίαντο}) \times (\text{Ποσοστό εναπομένοντος δείγματος από την διαδικασία 1}) \times (\text{Ποσοστό εναπομένοντος δείγματος από την διαδικασία 2}) \quad (4.3)$$

Στην συγκεκριμένη περίπτωση

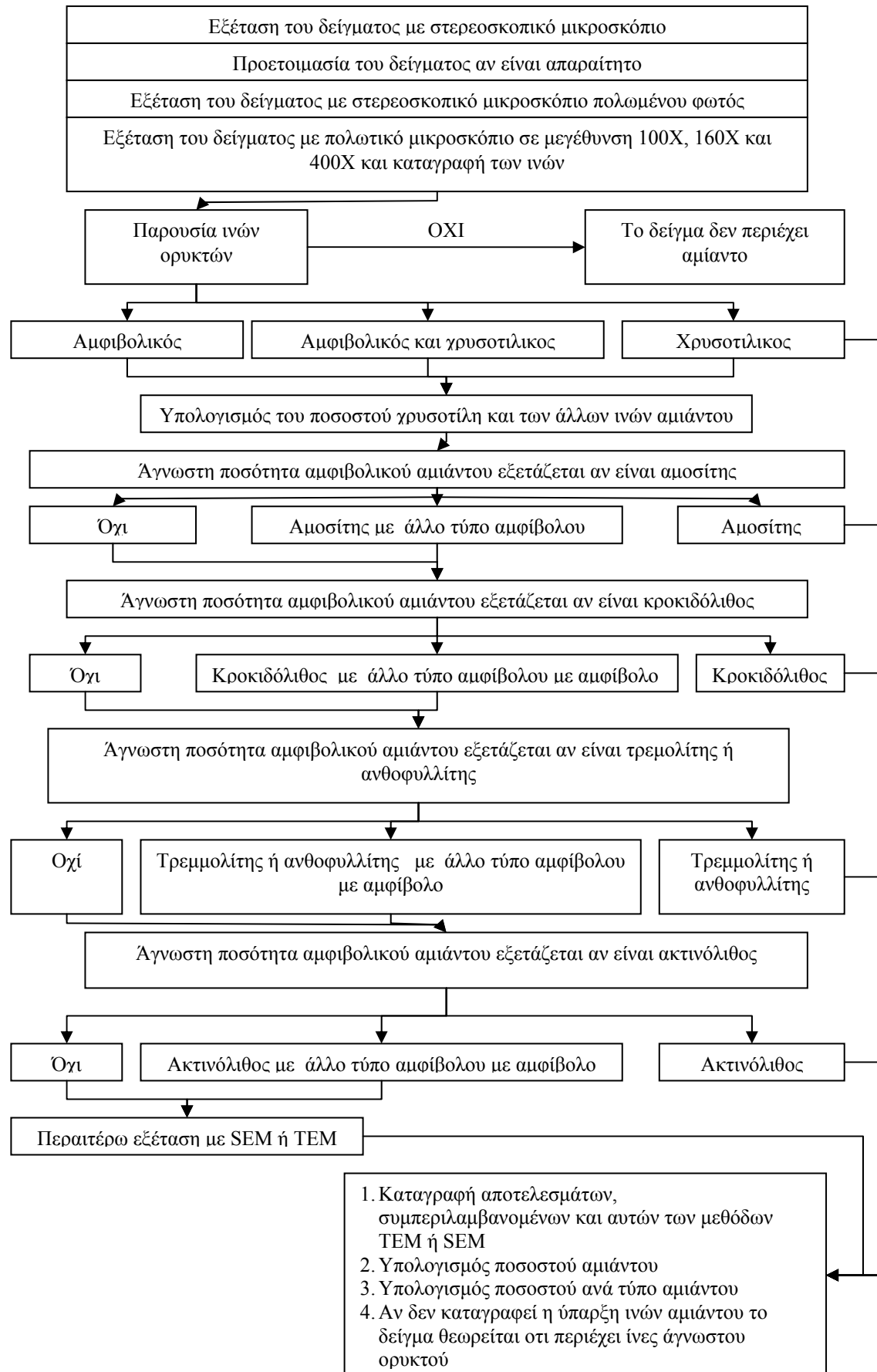
$$C = 0,05 \times 0,30 \times 0,60 = 0.9\%$$

Ακρίβεια

Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση των ινών αμιάντου σε στερεά υλικά με περιεκτικότητα από 0 έως 100%. Το όριο ανίχνευσης της μεθόδου δεν έχει καθοριστεί επακριβώς και εξαρτάται από τη σύσταση του δείγματος. Για ομογενή λεπτόκοκκα δείγματα, χωρίς την παρεμβολή μη αμιαντούχων ινών, το όριο ανίχνευσης είναι χαμηλότερο από 1%. Για ετερογενή δείγματα, τα οποία αποτελούν την πλειοψηφία, το όριο ανίχνευσης παραμένει αδιευκρίνιστο. Τα αποτελέσματα μπορεί να παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση από την πραγματική περιεκτικότητα ενός δείγματος, όταν η συγκέντρωση των ινών αμιάντου κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα (περίπου 1%).

Ο ποσοτικός προσδιορισμός είναι ακριβής όταν εξετάζονται αμιαντούχα υλικά, στα οποία η περιεκτικότητα κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα. Στην περίπτωση των γεωλογικών δειγμάτων εξαρτάται από τον βαθμό ομοιογένειας. Η ορθότητα των αποτελεσμάτων με την PLM, η οποία κατατάσσεται στις οπτικές μεθόδους, εξαρτάται πρωτίστως από τον αναλυτή. Εξαρτάται λοιπόν, από τις περιοχές τις οποίες θα εξετάσει ο αναλυτής καθώς και από την κατάρτιση και την εμπειρία στο συγκεκριμένο είδος ορυκτού (αμύαντος).

Το συνολικό διάγραμμα ροής της ανάλυσης ενός δείγματος για τον υπολογισμό του ποσοστού σε αμύαντο παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 4.1**.



Διάγραμμα 4.1: Διάγραμμα ροής προσδιορισμού ινών αμιάντου με την PLM [60]

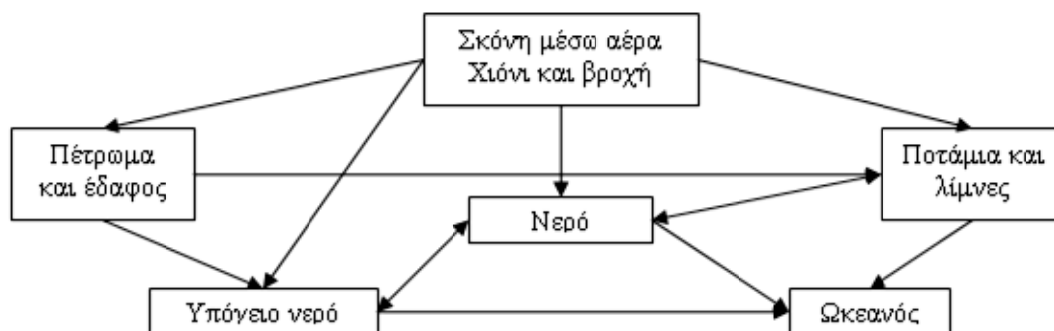
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ο ΑΜΙΑΝΤΟΣ ΩΣ ΕΣΤΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Ο αμιάντος, όπως αναφέρεται και στα προηγούμενα κεφάλαια, αποτελεί πηγή ρύπανσης του περιβάλλοντος και ευθύνεται για την εμφάνιση πλήθους ασθενειών. Η έκθεση του ανθρώπου στον αμιάντο πραγματοποιείται με τη διασπορά των ινών σε οποιοδήποτε περιβαλλοντικό μέσο (αέρας, νερό, έδαφος). Το ζήτημα αυτό έχει απασχολήσει ιδιαίτερα την επιστημονική κοινότητα και εξετάζεται από διάφορες οπτικές πλευρές. Μέρος της έρευνας αποτελεί και η ρύπανση των υδάτων, όπου οφείλεται σε φυσικούς αλλά και σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Η φυσική διάβρωση των πετρωμάτων, η εξορυκτική δραστηριότητα με τη λειτουργία μεταλλείων και την απόθεση στείρων υλικών, η χρήση αμιαντούχων σωλήνων στο δίκτυο υδροδότησης των πόλεων και η μεταφορά των ινών αμιάντου στο νερό με τον αέρα αποτελούν τις κυριότερες αιτίες ρύπανσης των υδάτων. Ακολουθεί η παράθεση στοιχείων σχετικά με τον αμιάντο και το νερό καθώς και σχετικές μελέτες.

5.2 Ο αμιάντος στο υδατικό περιβάλλον [61]

Οι ίνες αμιάντου, εξαιτίας του μικρού μεγέθους και της χαμηλής πυκνότητάς τους, μπορούν εύκολα να μεταφερθούν από τον αέρα και το νερό και να διασκορπιστούν σε ποικίλα περιβαλλοντικά μέσα. Τα μέσα, με τα οποία μεταφέρονται οι ίνες αμιάντου στο υδατικό σύστημα, παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 5.1**, όπου φαίνεται ότι οι μη σημειακές πηγές συμβάλλουν περισσότερο σε σχέση με τις σημειακές πηγές. Το φαινόμενο της κατακρήμνισης συμβάλλει στη μεταφορά των ινών στον υδρολογικό κύκλο μέσω της βροχόπτωσης και της χιονόπτωσης. Επίσης, τα ρέματα και το υπόγειο νερό, όταν έρχονται σε επαφή με τον αμιάντο, φαίνεται να αποτελούν τη σημαντικότερη πηγή ρύπανσης.



Διάγραμμα 5.1: Μέσα διασποράς των ινών αμιάντου στο υδατικό περιβάλλον [61]

Τέλος, οι αμιαντοσωλήνες, που χρησιμοποιούνται ευρέως στο σύστημα υδροδότησης των πόλεων καθώς και για τη μεταφορά του νερού σε αποθηκευτικούς χώρους, συμβάλλουν στη ρύπανση του υδατικού συστήματος. Γενικά, οι σημειακές και οι μη σημειακές πηγές αμιάντου επιδρούν στη ρύπανση των λιμνών, των επιφανειακών υδάτων και του υπόγειου νερού.

5.2.1 *Ινες αμιάντου και πόσιμο νερό [61]*

Η παρουσία ινών αμιάντου στο πόσιμο νερό, είναι ένα ζήτημα το οποίο απασχόλησε την επιστημονική κοινότητα στις αρχές της δεκαετίας του 70. Η αναφορά για την ύπαρξη υψηλής συγκέντρωσης ινών αμιάντου στο νερό, όπου σε ορισμένες περιπτώσεις κυμαινόταν από 10^6 έως 10^8 ίνες/λίτρο, είχε ως αποτέλεσμα τη διεξαγωγή εκτεταμένων ερευνών στα αποθέματα νερού σε ευρεία κλίμακα. Στις Η.Π.Α., στα τέλη της δεκαετίας του 70 (Millette et al. 1979), στον Καναδά (Health and Welfare Canada 1979, Chatfield and Dillon 1979), στην Αγγλία (Comrains 1979), στη Γερμανία (Meyer 1982, Spurny και Schormann 1983) καθώς και σε άλλες χώρες διαπιστώθηκε ότι η συγκέντρωση των ινών αμιάντου στο νερό κυμαινόταν από 10^5 έως 10^6 ίνες/λίτρο, ενώ σε πολύ λίγες περιπτώσεις υπερέβαινε τις 10^7 ίνες/λίτρο (Η.Π.Α. = 10%, Καναδάς = 5%). Το φαινόμενο αυτό αποδόθηκε σε δύο κυρίως λόγους: στη φυσική διάβρωση των πετρωμάτων και σε ανθρωπογενείς παράγοντες που σχετίζονται με τον αμίαντο π.χ. μεταλλείο αμιάντου κ.α.. Μια συνοπτική παρουσίαση των υψηλότερων συγκεντρώσεων ινών αμιάντου στα αποθέματα νερού στη Βόρεια Αμερική δίδεται στον **Πίνακα 5.1**.

Πίνακας 5.1: Συγκέντρωση ινών αμιάντου στο πόσιμο νερό σε διάφορες περιοχές στη Βόρεια Αμερική [61]

Περιοχή	Συγκέντρωση χρυσοτιλικού αμιάντου (ίνες/λίτρο)	Αναφορά
Thedford, Quebec	$1.7 \cdot 10^8$	Cunningham & Pontefract (1971)
Bale Verte, Newfoundland	$3.2 \cdot 10^8$	Health*. Welfare Canada (1979)
Thompson, Manitoba	$1.9 \cdot 10^8$	Health*. Welfare Canada (1979)
Disraeli, Quebec	$2.8-4.1 \cdot 10^8$	Health*. Welfare Canada (1979)
Whlthorse, Yukon Territory	$2.7 \cdot 10^8$	Health*. Welfare Canada (1979)
Santa Fe, New Mexico	$1.9 \cdot 10^9^*$	Olivers& Murr (1977)
Socorro, New Mexico	$1.2-2.1 \cdot 10^9^*$	Olivers& Murr (1977)
Duluth, Minnesota	$< 1.5 \cdot 10^8$	Brown et al. (1976)
Everett, Washington	$2.3-3.8 \cdot 10^8$	Boatman et al. (1983)
San Francisco Area	$< 1.8 \cdot 10^8$	Kanareketal. et al. (1980)
St. Croix, V.I.	$5.4 \cdot 10^8^{**}$	Milletteetal et al. (1980)

* Υπόγειο νερό, ** Νερό από σκεπές κατασκευασμένες από αμιαντούχα υλικά

Οι περισσότερες περιπτώσεις ανίχνευσης υψηλών επιπέδων ινών αμιάντου στα αποθέματα νερού βρίσκονται σε περιοχές με γεωλογικούς σχηματισμούς πλούσιους σε ίνες αμιάντου. Περιοχές στις οποίες παρατηρείται αυτό το φαινόμενο είναι η Καλιφόρνια και το Νιου Τζέρσεϋ στις Η.Π.Α.

Η μεταλλευτική δραστηριότητα καθώς και βιομηχανικές εφαρμογές με αμιάντο, αποτελούν επιπρόσθετη πηγή ρύπανσης του πόσιμου νερού αφού σχετίζονται άμεσα με τη διατάραξη αμιαντούχου επιφανειακού υλικού και βράχων, και επιπλέον διαχέονται με ευκολία με τον αέρα και διασκορπίζονται σε μεγάλες αποστάσεις. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελούν τα αποθέματα του νερού στο Κεμπέκ και τη Μινεσότα.

Τέλος, η ευρεία χρήση αμιαντούχων υλικών καθιστά το ζήτημα της ρύπανσης των υδάτων ακόμα πιο πολύπλοκο. Παρόλα αυτά, οι φυσικές πηγές αμιάντου θεωρούνται ότι συμβάλλουν περισσότερο στη ρύπανση των υδάτων.

Η χρήση των αμιαντοσωλήνων για τη μεταφορά του νερού αποτελεί μια πρόσθετη πηγή ρύπανσης του πόσιμου νερού. Έχει υπολογιστεί ότι μέχρι το 1974 περισσότερα από 2,4

εκατομμύρια χιλιόμετρα σωλήνων είχαν χρησιμοποιηθεί (Toft et al 1984). Σε πιο πρόσφατες έρευνες αναφέρεται ότι υπάρχουν 640.000 χλμ στις Η.Π.Α. (Sullivan 1986) και περίπου 320.000 χλμ στην Αγγλία (Millette et al 1981b).

Οι μελέτες σχετικά με τη ρύπανση του πόσιμου νερού εξαιτίας της χρήσης αμιαντοσωλήνων έχουν οδηγήσει σε σύγχυση, αφού σε κάποιες περιπτώσεις παρουσιάστηκε αύξηση της συγκέντρωσης ινών αμιάντου ενώ σε άλλες μείωση. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται ο όρος *Δείκτης Επιθετικότητας* (**Aggressive Index**) ο οποίος εκφράζεται με την **Εξίσωση 5.1**, προκειμένου να προσδιοριστεί η πιθανότητα διάβρωσης των αμιαντοσωλήνων από το νερό.

$$A.I. = pH + \log(A * H) \quad (5.1)$$

όπου:

A: αλκαλικότητα (mg/L)

H: σκληρότητα (mg/L)

Σύμφωνα με τους Millette et al (1981) για τιμές του A.I μεγαλύτερες από 12 θεωρείται ότι το νερό είναι μη επιθετικό, δηλαδή δεν υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης των αμιαντοσωλήνων. Περίπου 31,5% όλων των αποθεμάτων νερού στις Η.Π.Α. έχουν τιμές υψηλότερες από αυτό το επίπεδο. Αντίθετα, όταν ο δείκτης αυτός κυμαίνεται κάτω από 10, τότε το νερό θεωρείται επικίνδυνο και εκτιμάται ότι το 16,5% των αποθεμάτων νερού στις Η.Π.Α. κατατάσσεται σε αυτή την κατηγορία. Στην ίδια μελέτη αναφέρεται ότι περίπου 40 εκατομμύρια άνθρωποι μπορούν να εκτεθούν στον αμίαντο εξαιτίας της διάβρωσης των αμιαντοσωλήνων. Εντούτοις, όπως παρουσιάζεται από τους Buelow et al (1980) και Millette και Kinman (1984), η χρήση του δείκτη επιθετικότητας συχνά αποδεικνύεται ανεπαρκής να προβλέψει την πραγματική συμπεριφορά του νερού στους αμιαντοσωλήνες. Στην περίπτωση όπου υπάρχει έλλειψη των ανθρακικών αλάτων ασβεστίου, σιδήρου, ψευδάργυρου και μαγγανίου μπορούν να διαμορφώσουν ένα προστατευτικό επίστρωμα και τελικά να περιοριστεί η διάλυση των ινών αμιάντου.

5.2.2 Ίνες αμιάντου στη βροχή και το χιόνι [61]

Λαμβάνοντας υπόψη το πολύ μικρό μέγεθος των ινών αμιάντου και το γεγονός ότι μεταφέρονται με σχετική ευκολία με τον αέρα, είναι αρκετά δύσκολο να πραγματοποιηθεί εκτίμηση της συμβολής στη ρύπανση του περιβάλλοντος εξαιτίας ανθρωπογενών παρεμβάσεων ή φυσικών φαινομένων.

Κάτω από τις ειδικές περιστάσεις είναι δυνατό να προσδιοριστεί η πρωτογενής ρύπανση των υδάτων με τη χρήση οπτικών μεθόδων (Seshan 1978). Οι ίνες χρυσοτιλικού αμιάντου εμφανίζουν μικροκρυσταλλική παραμόρφωση ως αποτέλεσμα της βιομηχανικής επεξεργασίας, σε αντίθεση με τις ακατέργαστες ίνες, με την προϋπόθεση ότι δεν πραγματοποιούνται οποιουδήποτε είδους μορφολογικές αλλαγές των ινών κατά την κίνησή τους στο υδατικό σύστημα.

Εντούτοις, πρέπει να αναφερθεί ότι οι αερομεταφερόμενες ίνες αμιάντου λαμβάνουν χώρα μέσω του υδρολογικού κύκλου (χιονόπτωση, βροχόπτωση). Λίγες μελέτες έχουν γίνει για να καθορίσουν τα επίπεδα ινών αμιάντου στη βροχή και το χιόνι. Οι Hallenbeck et al (1977) και Hesse et al (1977) διαπίστωσαν ότι η συγκέντρωση των ινών αμιάντου στα όμβρια δίκτυα στην περιοχή του Σικάγο κυμαίνεται από $10^4 - 10^5$ ίνες/λίτρο, ενώ οι Bacon et al. (1986) εκτιμούν ότι στο Κεμπέκ του Καναδά υπερβαίνει τις $2 \cdot 10^7$ ίνες/λίτρο (Bacon et al, 1986). Συνεπώς, διαπιστώνεται ότι οι αερομεταφερόμενες ίνες μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην εξάπλωση της ρύπανσης. Οι Cunningham και Pontefract (1971) ανίχνευσαν ίνες αμιάντου σε δείγματα χιονιού. Οι μελέτες των Cossette et al (1986) αναφέρουν ότι, σύμφωνα με δείγματα πάγου που εξετάστηκαν, οι βιομηχανικές δραστηριότητες συμβάλλουν ελάχιστα στην αύξηση της συγκέντρωσης ινών αμιάντου. Τα αποτελέσματά τους βέβαια έρχονται σε αντίθεση με τα συμπεράσματα του Langer (1979) ,όπως προέκυψε από δείγματα πάγου από τη Γροιλανδία.

5.2.3 Ίνες αμιάντου στις λίμνες και στα ποτάμια [61]

Οι παράγοντες που επιδρούν στη ρύπανση των ποταμιών και λιμνών είναι οι ακόλουθοι:

1. Φερτά υλικά καθώς και διάβρωση των πετρωμάτων στις όχθες των ποταμών ή των λιμνών.
2. Ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως μεταλλεία, οι βιομηχανίες επεξεργασίας

αμιάντου

3. Ατμοσφαιρική ρύπανση (όπως αναφέρεται και παραπάνω οι ίνες αμιάντου μεταφέρονται με τον αέρα και διασπείρονται στον έδαφος ή στο νερό)

Η πρώτη πηγή αποτελεί την πιο σημαντική και την πιο συνηθισμένη περίπτωση. Εντούτοις, σε περιοχές όπου υπάρχει δραστηριότητα που σχετίζεται με αμιάντο έχει παρατηρηθεί εκτεταμένη ρύπανση.

Στη δεκαετία του '70 το ζήτημα αυτό αποτέλεσε αντικείμενο μελετών. Συγκεκριμένα στη Μινεσότα ανιχνεύθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις ινών αμιάντου στο νερό εξαιτίας της μεταλλευτικής δραστηριότητας στην περιοχή Silver Bay. Από το 1957 λειτουργούσε στην περιοχή ένα μεταλλείο σιδήρου, όπου το στείρο υλικό ριχνόταν σε κοντινή λίμνη. Το στείρο υλικό ήταν πλούσιο σε ορυκτά τακονίτη και αμιφβολιτικού αμιάντου. Η λίμνη αυτή χρησίμευε για την τροφοδοσία γειτονικών περιοχών. Μελέτες στην ευρύτερη περιοχή των Cook et al. (1974) αναφέρουν ότι η συγκέντρωση αμιάντου στο νερό της περιοχής Duluth κυμαίνεται σε 10^7 - 10^9 ίνες/λίτρο. Οι Durham και Pang (1976) ανέλυσαν δείγματα της λίμνης όπου αναφέρουν ότι κυμαίνεται μεταξύ $0,1 \cdot 10^6 - 8,7 \cdot 10^7$ ίνες/λίτρο.

Η μεγάλη διακύμανση της συγκέντρωσης των ινών αμιάντου, που παρατηρήθηκε στη λίμνη, αποδόθηκε στις εποχικές διακυμάνσεις καθώς και στα μετεωρολογικά φαινόμενα. Οι Durham και Pang (1975, 1976) παρατήρησαν μείωση της συγκέντρωσης ινών αμιάντου το χρονικό διάστημα Ιουνίου και Νοεμβρίου, και ο Fairless (1977) παρουσίασε μείωση της συγκέντρωσης σε κατεύθυνση αντίθετη προς τη ροή των υγρών απόβλητων του ορυχείου. Επίσης, στη λίμνη διεξήχθησαν γεωτρήσεις και ελήφθησαν δείγματα ιζήματος προς ανάλυση. Τα ιζήματα που χρονολογούνται πριν από το 1950 είχαν ελάχιστα ίχνη αμιφβολικού αμιάντου ενώ τα ιζήματα από τα μέσα της δεκαετίας του '60 παρουσίασαν αυξανόμενα ποσά αμιάντου τύπου αμοσίτη, προερχόμενα από την μεταλλευτική δραστηριότητα στην περιοχή.

Επίσης στο Νέο Μεξικό διαπιστώθηκε αυξημένη συγκέντρωση ινών αμιάντου στα υπόγεια ύδατα, η οποία αποδίδεται στη διάβρωση των πετρωμάτων (Oliver και Murr 1977). Σε δείγματα νερού όπου ελήφθησαν από πηγές που αναβλύζουν από την περιοχή διαπιστώθηκε η ύπαρξη ινών αμιάντου με συγκέντρωση 10^9 ίνες/λίτρο (Oliver και Murr 1977). **Στον Πίνακα 5.2** παρουσιάζονται συνοπτικά οι συγκεντρώσεις ινών αμιάντου σε λίμνες και ποτάμια σε διάφορες περιοχές.

Πίνακας 5.2: Ίνες αμιάντου σε λίμνες και ποτάμια σε διάφορες περιοχές [61]

Πηγή νερού	Ίνες αμιάντου (ίνες/λίτρο)	Αναφορά
<u>Great Lakes</u>		
Lake Superior	$10^5 - 10^9$	Cook et al. (1976) & Durham S Pang (1975)
Lake Ontario	10^6	Kay (1973)
Lake Huron	$10^6 - 10^7$	Durham & Pang (1976)
Lake Michigan	$10^6 - 10^8$	Cunningham & Pontefract(1971)
<u>Lakes in California:</u>		
Oroville	10^6	Stewart et al.(1976)
Reservoirs	$10^{10} - 10^{11}$	Bales et al, (1976)
Marine County Lakes	10^8	Cooper & Murchio (1974)
Silverwood	$10^8 - 10^9$	McGuire et al.(1982)
Silver Lake	$10^6 - 10^7$	Maresca et al.(1984)
<u>Lakes in Quebec:</u>		
Memphremagog, Quebec	$10^6 - 10^8$	Bacon et al. (1986)
<u>Rivers In Canada:</u>		
Ottawa, Ont.	10^6	Cunningham & Pontefract(1971)
Sumas, B.C.& Wash.	$10^6 - 10^{13}$	SchreierS Taylor (1981) & Schreier(1987)
Fraser, B.C	$10^6 - 10^9$	Schreier& Taylor(1980)
Yukon, Yukon Terr.	$10^7 - 10^8$	Schreier&Taylor(1980)
Becancour, Quebec	$10^8 - 10^{10}$	Monaroetal. (1983)
Missisquoi, Quebec	$10^7 - 10^8$	Bacon etal. (1986)
<u>Rivers in the USA:</u>		
Trinity River, Cal.	10^7	Stewart etal. (1976)
Beaverhead River	10^7	Stewart etal. (1976)
Sultan River, Wash.	$10^7 - 10^8$	Polissar et al. (1982)
Sacramento, Cal.	$10^8 - 10^{11}$	Bales etal. (1976)
Sacram. San Joaquin	$10^7 - 10^9$	Hayward(1984)
Calif. Aqueduct	$10^7 - 10^{10}$	Jones & McGuire(1987)
Klamath, Cal.	$10^{10} - 10^{11}$	Hayward(1984)

Στον **Πίνακα 5.3** παρουσιάζεται σύγκριση των ανιχνεύσιμων ινών στο νερό σύμφωνα με την εστία ρύπανσης, φυσική διάβρωση πετρωμάτων ή ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα επίπεδα ρύπανσης εξαιτίας της φυσικής διάβρωσης είναι ίδια με αυτά από την μεταλλευτική δραστηριότητα

Πίνακας 5.3: Σύγκριση αριθμού ινών αμιάντου ανάλογα με την πηγή ρύπανσης [61]

Πηγές	1 ^η περίπτωση *	2 ^η περίπτωση **	3 ^η περίπτωση ***
Λίμνες	$<10^6$ (1)	$10^6 - 10^8$ (2,3) $10^7 - 10^9$ (19)	$10^6 - 10^9$ (4,5)
Ποτάμια και παραπόταμοι	$<10^6$ (4)	$10^6 - 10^{13}$ (6) $10^7 - 10^8$ (7) $10^6 - 10^9$ (8,11,20) $10^8 - 10^{10}$ (9) $10^7 - 10^{11}$ (21)	$10^6 - 10^7$ (10) $10^7 - 10^{10}$ (10) $10^8 - 10^{12}$ (10) $10^9 - 10^{11}$ (16)
Νερό	$<10^6$ (11)	$10^7 - 10^8$ (17)	$10^6 - 10^7$ (11,15)
Αποθέματα νερού	$<10^6$ (12)	$10^6 - 10^8$ (13,14)	$10^6 - 10^8$ (7,12,18)

Αναφορές

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| (1) Kay (1973) | (12) Wigle(1977) |
| (2) Stewart et al. (1976) | (13) Kanarek et al. (1980) |
| (3) Cooper & Murcl hio(1974) | (14) Polissar et al. (1982) |
| (4) Cunningham & Pontefract(1971) | (15) Millette et al. (1983) |
| (5) Hallenbeck et al (1977) | (16) Lawrence & Zimmermann (1977) |
| (6) Schreier & Taylor (1981) | (17) Toft et al. (1984) |
| (7) Bacon et al. (1986) | (18) Webberetal. (1988) |
| (8) Schreier & Taylor (1980) | (19) McGulreetal. (1982) |
| (9) Monaro et al. (1983) | (20) Hayward(1984) |
| (10) Stewart et al.(1976) | (21) Jones & McGuire (1987) |
| (11) Millette et al. (1979) | |

* Νερό ανεπηρέαστο από γεωλογικούς σχηματισμούς με αμιάντο

** Νερό που έρχεται σε επαφή με γεωλογικούς σχηματισμούς με αμιάντο

*** Νερο ρυπασμένο απο μεταλλείο και εργοστάσιο αμιάντου

5.3 Μεταφορά και αλλοίωση των ινών αμιάντου στο νερό [61]

Οι περισσότερες ίνες αμιάντου είναι πολύ μικρών διαστάσεων και επομένως ιδιαίτερα κινητικές. Η αναταραχή και κινητικότητα των υδάτων έχει ως αποτέλεσμα τη διασπορά των ινών αμιάντου σε μεγάλη απόσταση, με αποτέλεσμα να υπάρχει το ενδεχόμενο αλλαγής των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων τους με αντίκτυπο στην ποιότητα του νερού και του περιβάλλοντος

5.3.1 Μεταφορά ινών αμιάντου [61]

Η συγκέντρωση των ινών αμιάντου επηρεάζεται άμεσα από τις εποχικές διακυμάνσεις στη παροχή των ποταμών και στην κινητικότητα των υδάτων στις λίμνες. Οι Schreier και Taylor (1980) διαπίστωσαν σημαντικές εποχικές διακυμάνσεις στη συγκέντρωση των ινών αμιάντου σε ποτάμι ανεπηρέαστο από οποιαδήποτε βιομηχανική δραστηριότητα. Ελήφθη υπόψη το γεγονός ότι η

πλειοψηφία των ινών είναι μήκους $L < 1 \mu\text{m}$ και ότι παραμένουν σε αιώρηση για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, σε σχέση με άλλα σωματίδια μεγαλύτερου μεγέθους, διαφορετικής πυκνότητας και μορφολογίας. Τα διαφορετικά μορφολογικά χαρακτηριστικά των ινών αμιάντου σε σχέση με τα σφαιρικά σωματίδια που βρίσκονται στο νερό έχει ως αποτέλεσμα να μην καθιζάνουν και να συσσωματώνονται σχετικά εύκολα, με αποτέλεσμα να διασκορπίζονται σε μεγάλες αποστάσεις. Ο Bales (1985) αναφέρει ότι μόλις μία στις χίλιες συγκρούσεις μεταξύ των ινών αμιάντου και των σωματιδίων έχει ως αποτέλεσμα την καθίζησή τους. Στο φαινόμενο αυτό, επιδρά σημαντικά και η μορφολογία της επιφάνειας των ινών αμιάντου. Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, ο προσδιορισμός της συμπεριφοράς των ινών αμιάντου στο νερό είναι ένα ζήτημα αρκετά σύνθετο.

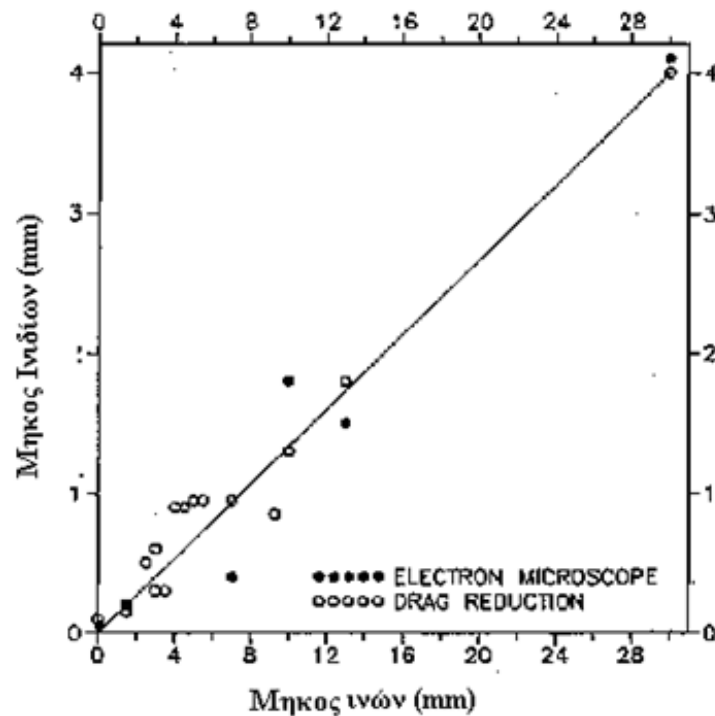
Πληροφορίες για την καθίζηση των αμιφιβολιτικών ινών αμιάντου έχει μελετηθεί από τους Martilla (1979) στη λίμνη Wabush και Labrador (1977) στη λίμνη Superior. Και στις δύο περιπτώσεις πραγματοποιούνταν απόθεση στείρου υλικού στις όχθες των λιμνών από κοντινά μεταλλεία. Η χρήση του δείκτη θολερότητας επιχειρήθηκε να συσχετιστεί με τη συγκέντρωση ινών αμιάντου όχι όμως με μεγάλη επιτυχία. Οι Severson et al. (1981) διαπίστωσαν ότι ο δείκτης θολερότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έμμεσο προσδιορισμό των ινών αμιάντου, σε αντίθεση με τους Lawrence και Zimmermann (1976), McGuire et al. (1982) και Hayward (1984).

Στα περισσότερα ποτάμια υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις στη στάθμη του νερού με αποτέλεσμα ιζήματα πλούσια σε αμιάντο να εκτίθενται στην ατμόσφαιρα. Επίσης, δεδομένου ότι στις περιοχές όπου υπάρχει απόθεση φτωχού αμιαντούχου υλικού δεν εμφανίζεται βλάστηση, υπάρχει ο κίνδυνος παράσυρσης των ινών αμιάντου με τον αέρα και συνεπώς να αποτελούν γενικά κίνδυνο για τον πληθυσμό. Επίσης ποσότητες, πλούσιων σε αμιάντο, ιζημάτων κατακάθονται στους ποταμούς, στα κανάλια και στις δεξαμενές, με αποτέλεσμα να απαιτείται η αφαίρεση των. Η πιο γνωστή περίπτωση είναι αυτή του κεντρικού συστήματος άρδευσης και παροχής νερού της κεντρικής Καλιφόρνιας.

5.3.2 Φυσική αλλοίωση ινών αμιάντου [61]

Οι ίνες αμιάντου, εξαιτίας των επιφανειακών μορφολογικών χαρακτηριστικών, καθώς και της φυσικής τριβής κατά την κίνησή τους στο νερό, έχουν την ιδιότητα να διασπώνται σε μικρότερα ινίδια. Η σχέση μεταξύ της ίνας και του μήκους των ινιδίων

παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 5.2**. (Harington et al, 1975). Το γεγονός αυτό έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς οι λεπτές και μακριές ίνες είναι περισσότερο καρκινογόνες από τις κοντές και μεγάλης διαμέτρου ίνες. Η μείωση του μήκους των ινών, εξαιτίας της κίνησής τους στο νερό και τις υφιστάμενης τριβής, έχει μελετηθεί εκτενώς από τον Spurny (1981). Αυτό είναι εντούτοις δυσκολότερο να τεκμηριωθεί στα συστήματα ποταμών όπου τα σωματίδια καθιζάνουν με διαφορετικούς ρυθμούς ανάλογα με την παροχή. Τα μεγαλύτερα σωματίδια καθιζάνουν κάτω από υψηλότερη παροχή, ενώ τα μικρότερα σε χαμηλότερη παροχή.



Διάγραμμα 5.2: Σχέση μεταξύ του μήκους ινών και ινιδίων αμιάντου [61]

Είναι δύσκολο να ειπωθεί ότι οι ίνες αμιάντου στα ποτάμια και τα ρυάκια είναι μικρότερες εξαιτίας της τριβής, όταν η καθίζηση, η παροχή και ο στροβιλισμός, προσδιορίζουν την κατανομή στο ίζημα. Οι Schreier and Taylor (1981) έχουν ασχοληθεί με αυτό το αντικείμενο. Σύμφωνα με τους νόμους του Stokes, ο ρυθμός καθίζησης των σωματιδίων είναι ανάλογος του τετραγώνου του μεγέθους των. Αυτό ισχύει για τα σφαιρικά σωματίδια στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει αλληλεπίδραση κατά τη διάρκεια της πτώσης. Καμία από αυτές τις συνθήκες δεν ισχύει για τις ίνες αμιάντου δεδομένου ότι δεν είναι σφαιρικές, καθώς έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα αλληλεπίδρασης με άλλα σωματίδια σε υδατικό περιβάλλον. Επομένως, η

συμπεριφορά των ινών περιπλέκεται αρκετά. Επιπλέον, ο υπολογισμός και η πρόβλεψη του μεγέθους των ινών είναι αρκετά πολύπλοκη διαδικασία (Siegrist και Wylie 1980). Εντούτοις, μπορεί να θεωρηθεί ότι οι ίνες αμιάντου είναι γενικά μικρότερου μεγέθους στα ποτάμια και στα ρυάκια από εκείνες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία.

5.3.3 Χημική αλλοίωση των ινών αμιάντου [61]

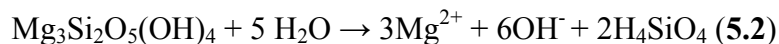
Οι ίνες αμιάντου, όπως προκύπτει και από πειράματα, έχουν διαφορετική συμπεριφορά σε υδατικό, όξινο και βασικό περιβάλλον, ενώ στην περίπτωση όπου μια ίνα βρεθεί σε υδατικό περιβάλλον τότε παρατηρείται αλλαγή των επιφανειακών χαρακτηριστικών της.

Οι ίνες χρυσοτιλικού αμιάντου είναι πολύ σταθερές στο αλκαλικό νερό, όμως όταν βρίσκονται σε όξινες συνθήκες τότε παρατηρείται διάλυση της επιφάνειας και απελευθέρωση ποσοτήτων μαγνησίου. Δεδομένου ότι η πλειοψηφία των συστημάτων των ποταμών είναι όξινα είναι πιθανό ότι αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται και στη φύση. Σύμφωνα με τους Choi και Smith (1972), το ποσοστό διάλυσης του μαγνησίου και των υδροξυλίων, που βρίσκεται στην επιφάνεια της ίνας, ελέγχεται από το φαινόμενο της διάχυσης από την επιφάνεια της ίνας στο νερό. Εντούτοις, οι Bales and Morgan (1985) έδειξαν ότι το ποσοστό διάλυσης του μαγνησίου σε σχέση με το πυρίτιο είναι 2:1 σε περιβάλλον με pH 7-9 και, λαμβάνοντας υπόψη τον αργό ρυθμό, προτείνουν ότι η χημική αντίδραση και όχι η διάχυση είναι το ελέγχον στάδιο. Σε έρευνες των Verlinden et al. (1984) και Bales και Morgan (1985) αναφέρεται ότι η παρουσία οργανικών ενώσεων και εστέρων οξαλικού οξέος έχουν επιπτώσεις στο ποσοστό του μαγνησίου που απελευθερώνεται στα αρχικά στάδια της διάχυσης [61].

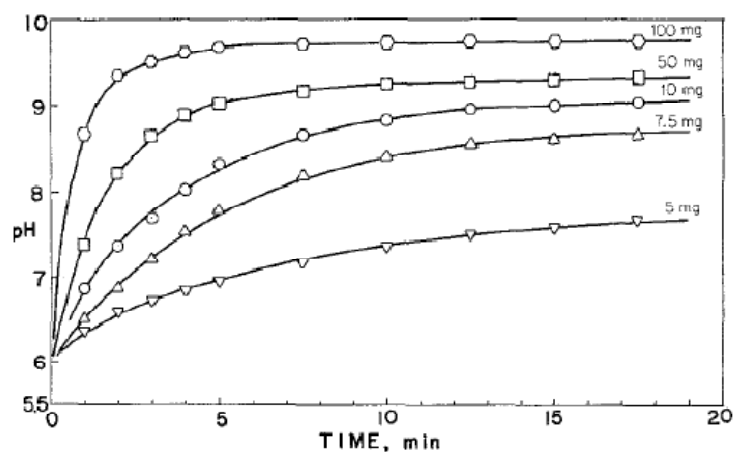
Πιο συγκεκριμένα, δείγματα χρυσοτιλικού αμιάντου, αμοσίτη και κροκιδόλιθου ελήφθησαν από το Κεμπέκ στον Καναδά, και παρασκευάστηκαν διαλύματα με απεσταγμένο-απιονισμένο νερό (pH=5.9-6.1). Η μεταβολή του pH και της συγκέντρωσης των ιόντων μαγνησίου, καταγράφεται σε συνάρτηση με τον χρόνο.

Επιπλέον, προετοιμάστηκαν παρεμφερή διαλύματα χαλαζία, οξειδίου του μαγνησίου, οξειδίου του σιδήρου και αλούμινας. Τα παραπάνω πειράματα διεξήχθησαν σε θερμοκρασία δωματίου, ενώ για πειράματα σε υψηλότερη ή χαμηλότερη θερμοκρασία χρησιμοποιήθηκαν συσκευές ψύξης και θέρμανσης [62]

Η αντίδραση διάλυσης του χρυσοτιλικού αμιάντου είναι:

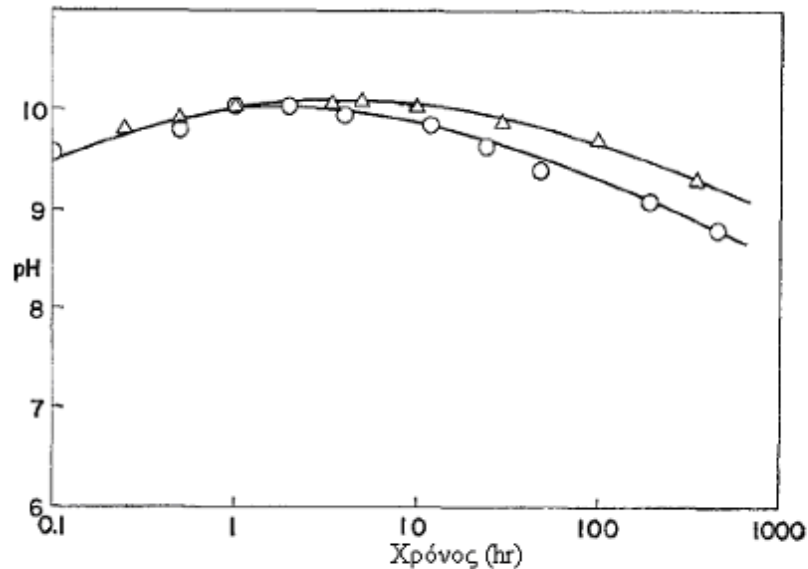


Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η συγκέντρωση ιόντων μαγνησίου και υδροξυλίου στο διάλυμα χρυσοτιλικού αμιάντου αυξάνεται στο αρχικό στάδιο. Η μεταβολή του pH εξαιτίας της διάλυσης του χρυσοτιλικού αμιάντου στο νερό σε συνάρτηση με τον χρόνο παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 5.3**. Ακόμα και μια μικρή ποσότητα χρυσοτιλικού αμιάντου αυξάνει σημαντικά τη συγκέντρωση των ιόντων υδροξυλίου και μεταβάλλεται λογαριθμικά σε συνάρτηση με τον χρόνο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Σε κάθε δείγμα παρατηρείται ότι το pH σταθεροποιείται μετά από 20 min.



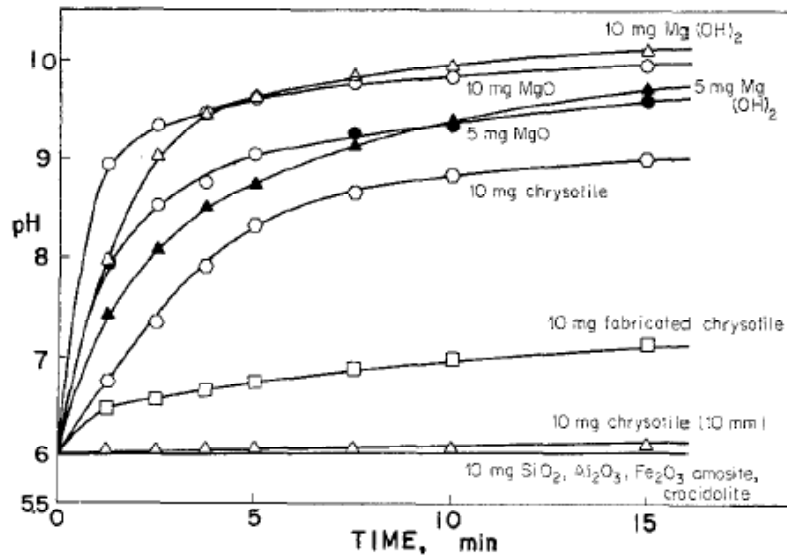
Διάγραμμα 5.3: Μεταβολή του pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και για διαφορετικές ποσότητες χρυσοτιλικού αμιάντου (pH=.0, όγκος νερού 100 ml) [62]

Εντούτοις, με την αύξηση του χρόνου παρατηρείται μείωση του pH, όπως φαίνεται και στο **Διάγραμμα 5.4**. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στον πιθανό σχηματισμό του MgOH^+ , ή στο φαινόμενο της προσρόφησης των ιόντων $\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ και MgOH^+ στην αρνητικά φορτισμένη επιφάνεια του πυριτίου, που δημιουργείται κατά τη διάλυση του χρυσοτιλικού αμιάντου.



Διάγραμμα 5.4: :: Μεταβολή του pH για μεγάλο χρονικό διάστημα, ○ 3 gπν σερπεντίνη σε 500 gπν αποιονισμένου νερού, Δ 100 mg χρυσοσίλη σε 100 ml αποιονισμένου νερού

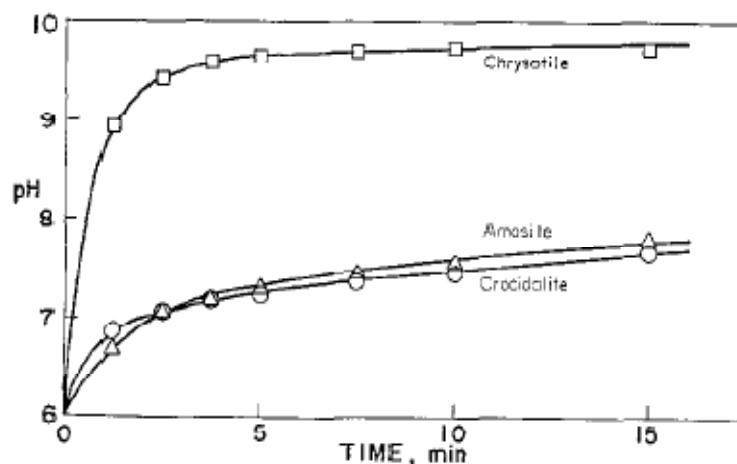
Στο **Διάγραμμα 5.5** παρουσιάζεται η μεταβολή του pH σε συνάρτηση με τον χρόνο κατά τη διάλυση ορυκτού αμιάντου και συστατικών απλών οξειδίων του σε υδατικό περιβάλλον. Παρατηρείται ότι η μεταβολή του pH των οξειδίων και υδροξειδίων του μαγνησίου είναι παρόμοια με αυτή του χρυσοτιλικού αμιάντου, γεγονός που αποδεικνύει ότι η επιφάνεια του χρυσοτιλικού αμιάντου καλύπτεται από ένα στρώμα υδροξειδίου του μαγνησίου. Επιπλέον, στο **Διάγραμμα 5.5** φαίνεται ότι η μεταβολή του pH είναι μεγαλύτερη στον επεξεργασμένο αμιάντο από ότι στον ακατέργαστο [62].



Διάγραμμα 5.5: Μεταβολή του pH σε συνάρτηση με τον χρόνο ορυκτού αμιάντου και συστατικών απλών οξειδίων αυτού του ορυκτού [62]

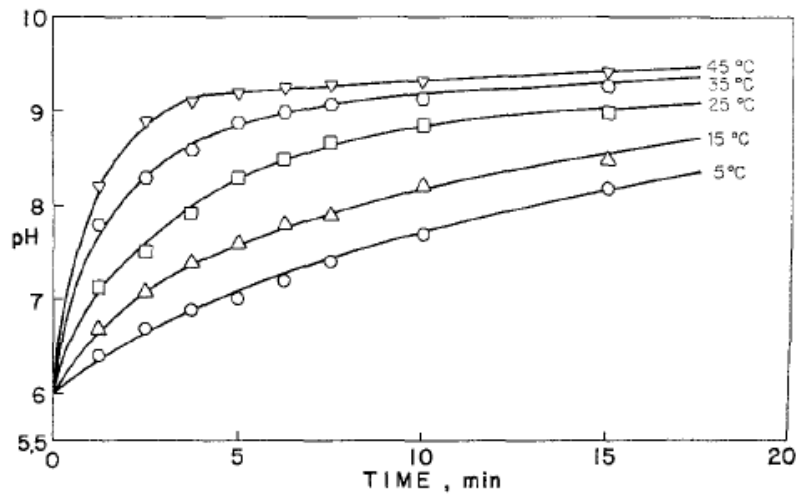
Διεξήχθησαν πειράματα διάλυσης διαφορετικού τύπου αμιάντου σε υδατικό περιβάλλον προκειμένου να εξακριβωθεί η μεταβολή του pH σε συνάρτηση με τον χρόνο. Η ποσότητα του μαγνησίου στο αμοσίτη και στον κροκιδόλιθο είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή του χρυσοτιλικού αμιάντου και συνεπώς η μεταβολή του pH είναι μικρότερη, όπως άλλωστε φαίνεται και στο **Διάγραμμα 5.6**.

Η διαφορετική συμπεριφορά ενδεχομένως να οφείλεται και στις διαφορετικές τιμές της ειδικής επιφάνειας του κάθε τύπου αμιάντου. (Χρυσοτίλης 23,0 m²/g, αμοσίτης 6,67 m²/g και κροκιδόλιθος 6,22 m²/g)



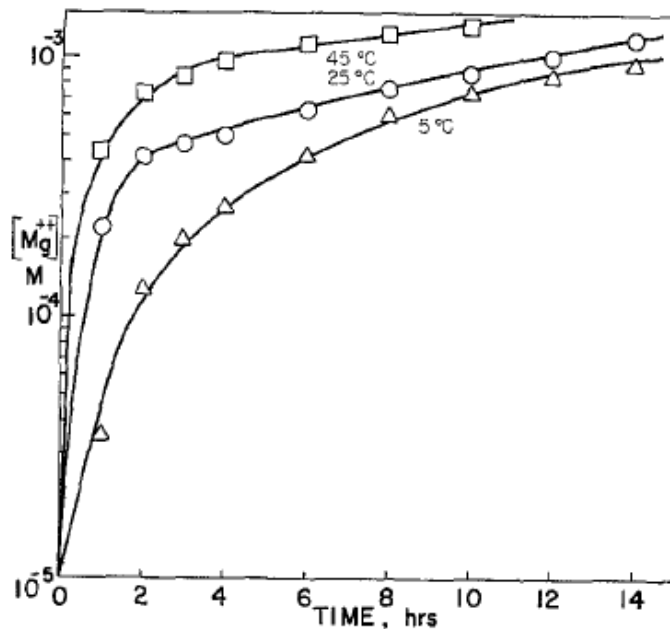
Διάγραμμα 5.6: Μεταβολή του pH σε συνάρτηση με τον χρόνο για διάφορους τύπους αμιάντου [62]

Στο Διάγραμμα 5.7 παρουσιάζεται η μεταβολή του pH σε συνάρτηση με τον χρόνο διαλύματος χρυσοτιλικού αμιάντου σε διαφορετικό θερμοκρασιακό περιβάλλον (5-45°C).



Διάγραμμα 5.7: Μεταβολή του pH διαλύματος χρυσοτίλης – ύδωρ σε διαφορετικές θερμοκρασίες [62]

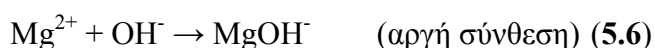
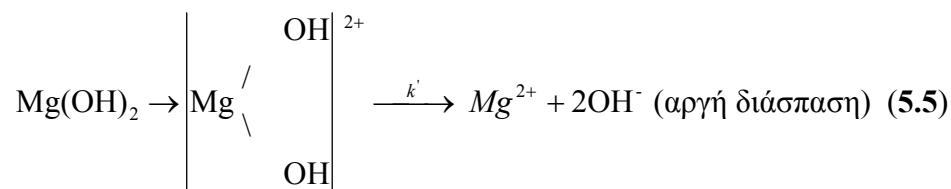
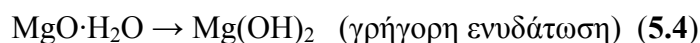
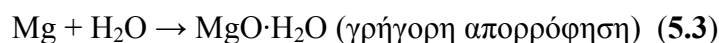
Στο Διάγραμμα 5.8 παρουσιάζεται η συγκέντρωση των ιόντων μαγνησίου σε συνάρτηση με τον χρόνο, σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες, 5, 25 και 45°C.



Διάγραμμα 5.8: Μεταβολή της συγκέντρωσης $[Mg^{2+}]$ σε συνάρτηση με τον χρόνο σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες, 5, 25 και 45°C [62]

Ουσιαστικά, η συγκέντρωση του υδροξυλίου και του μαγνησίου αυξάνεται κατά την εξέλιξη της αντίδρασης, αποδεικνύοντας ότι τα επιφανειακά στρώματα υδροξειδίου μαγνησίου διαλύονται, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση ιόντων μαγνησίου και υδροξυλίου. Η διάλυση του στρώματος $Mg(OH)_2$ είναι το βραδύτερο στάδιο της αντίδρασης του χρυσοτιλικού αμιάντου με το νερό. Ο αρχικός ρυθμός διάλυσης είναι υψηλότερος σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Εντούτοις, ο ρυθμός μειώνεται κατά τη διάρκεια της αντίδρασης, όπως παρατηρείται και από τα **Διαγράμματα 5.6 και 5.7**. Τα ένυδρα ιόντα μαγνησίου σχηματίζουν πιθανότατα ιόντα $Mg(H_2O)_6^{2+}$ [62].

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα, ο χρυσοτιλικός αμιάντος θεωρείται ότι έχει υδρόφιλη συμπεριφορά. Ο μηχανισμός αντίδρασης του χρυσοτιλικού αμιάντου, υποθέτοντας ότι διαλύεται το οξείδιο του μαγνησίου που βρίσκεται στην επιφάνεια, περιγράφεται παρακάτω [62]:



Η κινητική της αντίδρασης περιγράφεται από την **Εξίσωση 5.7**.

$$Rate = \frac{dC}{dt} = -k' * C^n \quad (5.7)$$

Όπου:

C: συγκέντρωση

k': σταθερά ρυθμού αντίδρασης (min)

t: χρόνος (min)

n: σταθερά

Σύμφωνα με τη θεωρία του απόλυτου ρυθμού της αντίδρασης, η σταθερά k' εκφράζεται:

$$k' = \frac{k * T}{h} * e^{-\Delta F^{2+}/RT} = \frac{k * T}{h} * e^{-\Delta H^{2+}/RT} * e^{-\Delta S^{2+}/R} \quad (5.8)$$

Όπου:

k' : η σταθερά του Boltzmann

h : σταθερά του Plank

T : απόλυτη θερμοκρασία

ΔF^{2+} : Ενέργεια ενεργοποίησης

ΔH^{2+} : Ενθαλπία

ΔS^{2+} : Εντροπία

R : σταθερά των αερίων

Στην περίπτωση των ιόντων υδροξυλίου ο ρυθμός αντίδρασης είναι:

$$Rate = \frac{d[OH^-]}{dt} = -k' * [OH^-]^n \quad (5.9)$$

Για τον υπολογισμό της μέγιστης κλίσης η αντίδραση θεωρείται πρώτης τάξης και ισχύει :

$$Rate = e^{-\Delta H^{2+}/RT} * e^{-\Delta S^{2+}/R} * [OH^-] \quad (5.10)$$

Η Εξίσωση 5.10 μετατρέπεται σε λογαριθμική

$$\log \frac{Rate}{T} = \log \frac{k}{h} + \frac{\Delta S^{2+}}{2.3R} + \log[OH^-] - \frac{\Delta H^{2+}}{2.3R} * \left(\frac{1}{T}\right) \quad (5.11)$$

Από την Εξίσωση 5.10 μπορεί να υπολογιστεί η ενθαλπία της αντίδρασης κατασκευάζοντας το διάγραμμα $\text{Log}(\text{Rate}/T)$ σε συνάρτηση με $1/T$, όπου προκύπτει

ότι η ενθαλπία είναι 6,5 kcal/mole. Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται και η ενθαλπία για τη διάλυση του μαγνησίου.

$$Rate = \frac{d[Mg^{2+}]}{dt} = -k' * [Mg^{2+}] \quad (5.12)$$

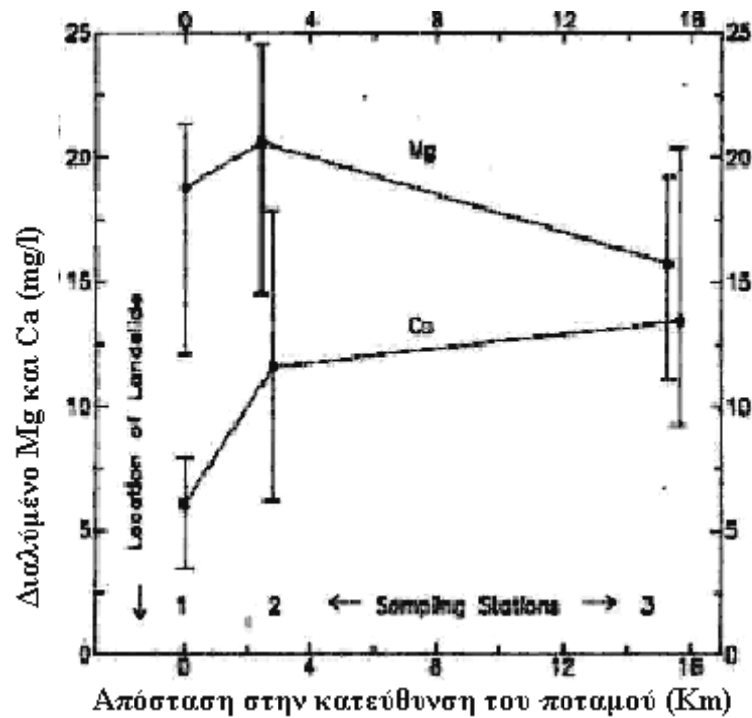
και

$$\log \frac{Rate}{T} = \log \frac{k}{h} + \frac{\Delta S^{2+}}{2.3R} + \log[Mg^{2+}] - \frac{\Delta H^{2+}}{2.3R} * \left(\frac{1}{T} \right) \quad (5.13)$$

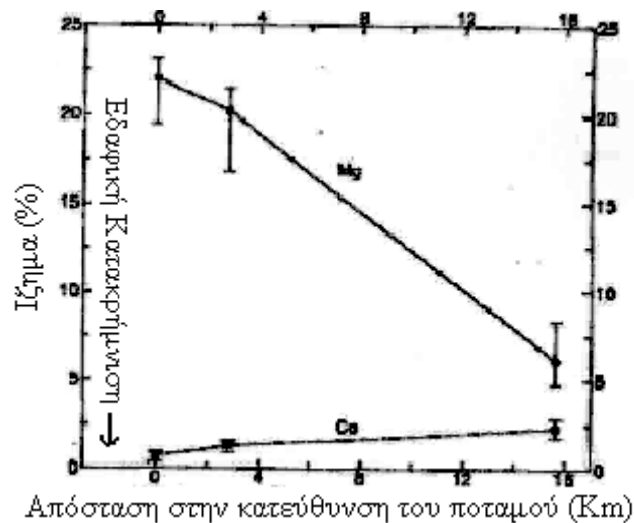
Η ενθαλπία διάλυσης των ιόντων υδροξυλίου και μαγνησίου της επιφάνειας του χρυσοτιλικού αμιάντου είναι της ίδιας τάξης μεγέθους.

Τέλος, αναφέρεται ότι η διάλυση του μαγνησίου από τον χρυσοτιλικό αμιάντο θεωρείται αντίδραση ευαίσθητη στη θερμοκρασία. Παρόλα αυτά στην περίπτωση του ακατέργαστου χρυσοτιλικού αμιάντου, η απόλυτη τιμή της συγκέντρωσης του μαγνησίου παραμένει σταθερή σε οποιαδήποτε θερμοκρασία διεξάγεται το πείραμα. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στην παρουσία και άλλων μετάλλων στα ακατέργαστα δείγματα χρυσοτιλικού αμιάντου. Η διαφορετική συμπεριφορά του ακατέργαστου και του επεξεργασμένου αμιάντου οφείλεται και στη διαδικασία προετοιμασίας του τελευταίου. Κατά την προετοιμασία του δείγματος, προκειμένου να μειωθεί η κοκκομετρία του, το δείγμα υφίσταται μηχανική καταπόνηση και μερική καταστροφή της δομής των ινών [62].

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η διάλυση του μαγνησίου δεν είναι σταθερή κατά μήκος του άξονα των ινών (Spurny 1983) και επίσης παρατηρούνται διαφορές μεταξύ του λόγου Mg/Ca σε υδατικά διαλύματα. Η αναλογία Mg/Ca αποτελεί συνήθως ένα καλό δείκτη για την εξακρίβωση της επίδρασης των σεπερντινικών πετρωμάτων στα ποτάμια και τις λίμνες. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι η περίπτωση του ποταμού Sumas βορειοδυτικά της Ουάσιγκτον και στην Columbia στη Μεγάλη Βρετανία. Οι Schreier και Taylor (1981) και Schreier (1987) παρατήρησαν ότι οι πηγές τροφοδοσίας των ποταμών ρυπαίνονται με ίνες αμιάντου. Παρατηρείται λοιπόν αύξηση της συγκέντρωσης μαγνησίου στο νερό και στο ίζημα κοντά στις πηγές και σταδιακή μείωσή της με την αύξηση της απόστασης από την πηγή (**Διάγραμμα 5.9 και 5.10**) [61].



Διάγραμμα 5.9: Συγκέντρωση Mg και Ca στο νερό σε συνάρτηση με την απόσταση από τη πηγή ρύπανσης στο ποταμό Sumas [61]

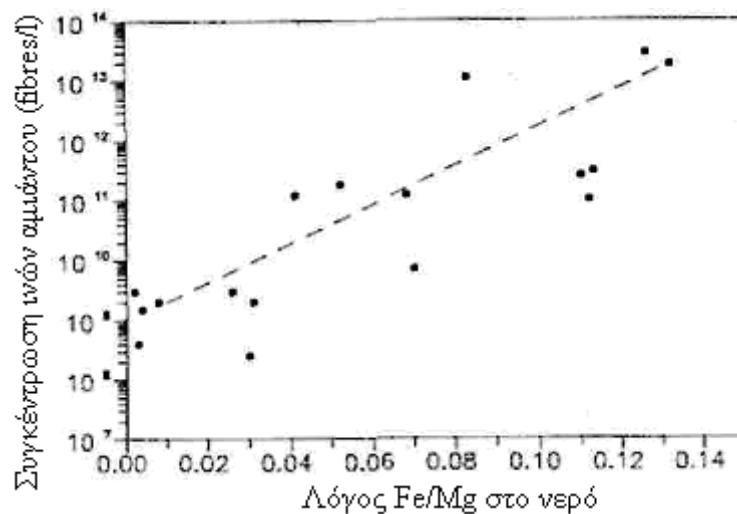


Διάγραμμα 5.10: Συγκέντρωση Mg και Ca στο ίζημα σε συνάρτηση με την απόσταση από τη πηγή ρύπανσης στο ποταμό Sumas [61]

Όπως φαίνεται στα **Διάγραμματα 5.9 και 5.10**, η μεταβολή της συγκέντρωσης του ασβεστίου έχει αντίθετη συμπεριφορά από αυτή του μαγνησίου. Η συγκέντρωση ασβεστίου αυξάνεται σταδιακά με την αύξηση της απόστασης. Στην πλειοψηφία των ποταμών και ρεμάτων οι τιμές ασβεστίου στο νερό και στο ίζημα είναι γενικά μεγαλύτερες από τα επίπεδα μαγνησίου.

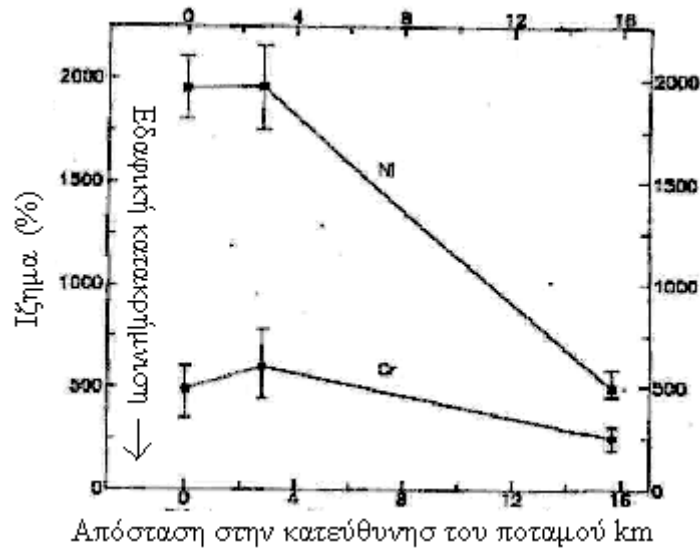
Ο λόγος Mg/Ca θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως ένα αρχικό μέσο για τον καθορισμό της επίδρασης του χρυσοτιλικού αμιάντου στο νερό των ποταμών, θεωρώντας ότι στις περιπτώσεις όπου η συγκέντρωση του ασβεστίου υπερβαίνει αυτή του μαγνησίου τότε η χημική επίδραση των ινών αμιάντου δεν είναι σημαντική.

Οι Monaro et al. (1983) συσχέτισαν τη συγκέντρωση μαγνησίου με αυτή των ινών αμιάντου στον ποταμό στο Κεμπέκ. Στο **Διάγραμμα 5.11** παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης ινών αμιάντου και της αναλογίας Mg/Fe στο νερό του ποταμού Sumas.



Διάγραμμα 5.11: Συσχέτιση συγκέντρωσης ινών αμιάντου με τον λόγο Fe/Mg στο νερό του ποταμού Sumas [61]

Μια άλλη σημαντική επίδραση των ινών αμιάντου στην ποιότητα του νερού είναι η παρουσία μεταλλικών ιχνοστοιχείων. Οι ίνες αμιάντου αποτελούνται από υψηλές ποσότητες ιχνοστοιχείων με αποτέλεσμα αυτές να απελευθερώνονται όταν βρεθούν σε υδατικό περιβάλλον. Το νικέλιο, το χρώμιο, το κοβάλτιο και σε λιγότερο βαθμό το μαγγάνιο αυξάνονται σημαντικά στο νερό και το ίζημα παρουσία υψηλής συγκέντρωσης ινών αμιάντου. Για παράδειγμα στον ποταμό Sumas, οι συγκεντρώσεις του νικελίου, του χρωμίου και του κοβαλτίου ήταν υψηλότερες στην πηγή τροφοδοσίας του ποταμού και μειώθηκαν σταθερά με την αύξηση της απόστασης από τις πηγές (**Διάγραμμα 5.12**). Δεδομένου ότι αυτά τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία προέρχονται αποκλειστικά από τις ίνες αμιάντου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των ινών αμιάντου στο νερό [61].



Διάγραμμα 5.12: Κατανομή μεταλλικών ιχνοστοιχείων σε συνάρτηση με την απόσταση από την πηγή ρύπανσης στο ίζημα του ποταμού Sumas [61]

Σε δείγματα ύδατος από το Κεμπέκ στο ΝΑ Καναδά, επιλέχθηκαν 12 θέσεις δειγματοληψίας και συλλέχθηκαν δείγματα προκειμένου να αναλυθούν με τη μέθοδο PIXE και TEM με απώτερο σκοπό τον προσδιορισμό της έκτασης της ρύπανσης και τη συσχέτιση της συγκέντρωσης των ινών αμιάντου με αυτή των ιχνοστοιχείων (Mg, Al, Si, K, Ti, Ca, Mn, Na, P, S, Cl, Cr και Fe).

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα, διαπιστώνεται ότι το μαγνήσιο μπορεί να συσχετισθεί με τις ίνες αμιάντου με συντελεστή συσχέτισης $r=0.70$, όπως φαίνεται στον **Πίνακα 5.4**. Το μαγνήσιο άλλωστε είναι χαρακτηριστικό συστατικό του αμιάντου [63].

Πίνακας 5.4: Συντελεστής συσχέτισης ινών αμιάντου με τη συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων [63]

	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cl</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Fibres</i>
<i>Na</i>	1.00	0.58	0.56	0.58	0.27	-0.11	0.23	0.51	0.27	0.50	0.45	0.62	0.65	0.29
<i>Mg</i>		1.00	0.66	0.77	0.53	0.21	0.51	0.68	0.58	0.64	0.39	0.59	0.78	0.70
<i>Al</i>			1.00	0.93	0.01	-0.13	0.09	0.99	0.50	0.98	0.62	0.81	0.93	0.15
<i>Si</i>				1.00	0.29	0.05	0.22	0.95	0.68	0.94	0.61	0.73	0.89	0.34
<i>P</i>					1.00	0.37	0.57	0.07	0.65	0.02	0.22	0.10	0.23	0.72
<i>S</i>						1.00	-0.02	-0.04	0.41	-0.07	-0.24	-0.24	-0.13	0.26
<i>Cl</i>							1.00	0.09	0.22	0.11	0.29	0.16	0.25	0.55
<i>K</i>								1.00	0.57	0.99	0.63	0.78	0.91	0.19
<i>Ca</i>									1.00	0.53	0.35	0.38	0.56	0.48
<i>Ti</i>										1.00	0.64	0.74	0.88	0.15
<i>Cr</i>											1.00	0.54	0.63	0.02
<i>Mn</i>												1.00	0.88	0.26
<i>Fe</i>													1.00	0.31
<i>Fibres</i>														1.00

Τέλος, σε ότι αφορά στην παρουσία οργανικών οξέων στο νερό των ποταμών μπορεί πιθανώς να οδηγήσει σε γρήγορες αλλαγές των χρυσοτιλικών ινών αμιάντου. Αν και η δομή των ινών παραμένει μετά τη διάλυση του μαγνησίου, η δομή της ίνας αποκτά μια ζελατινοειδή ή κολλοειδή μορφή (Spurny 1982, Seshan 1983, Bellmann et al 1986) και πιθανόν σε συνθήκες στροβιλισμού η αναταραχής των υδάτων μπορούν να δημιουργηθούν κάποια ορυκτά του αργίλου (smectites) (Schreier et Al 1987a). Η διάλυση ενισχύεται περαιτέρω στα ποτάμια, λόγω της διασποράς των ινών και της διάσπασης συσσωματωμάτων ινών σε ινίδια (Monkman 1971, Atkinson και Rickards 1971, Harris και Grimshaw 1971). Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι οι χρυσοτιλικές ίνες αμιάντου που έχουν υποστεί διάλυση είναι λιγότερο καρκινογόνες, (Morgan et al 1977, Monchaux et al 1981).

Οι αμφιβολικές ίνες αμιάντου δεν έχουν τόσο μεγάλη επίδραση στη χημική σύσταση του νερού, αφού θεωρούνται περισσότερο ανθεκτικές σε σχέση με τις χρυσοτιλικές σε όξινο περιβάλλον. Μελέτες έχουν δείξει ότι οι ίνες τρεμολίτη είναι ανθεκτικές ακόμα και σε έντονα όξινο περιβάλλον (Mast και Drever 1987). Ομοίως, ο κροκιδόλιθος (Bellmann et Al 1986) και σε μικρότερο βαθμό ο αμοσίτης (Ralston και Kitchener 1975) αποδείχθηκε ότι έχουν μεγάλη χημική αντίσταση σε όξινο περιβάλλον (Leight και Wei 1977, Bonneau et Al 1986) [61].

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΤΑΛΛΕΙΟ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΑΔΟΣ

6.1 Εισαγωγή

Η απαγόρευση χρήσης αμιαντούχων υλικών και παράλληλα η απαίτηση για άμεση απομάκρυνση και αποκατάσταση χώρων που αποτελούν εστίες ρύπανσης, σύμφωνα με την ισχύουσα Ευρωπαϊκή νομοθεσία, είναι ένα ζήτημα το οποίο καλείται να επιλύσει η Ελλάδα. Σήμερα, εκτός από το πρόβλημα της ύπαρξης αμιάντου σε δημόσιους χώρους, θεωρείται ότι σοβαρή απειλή για τη δημόσια υγεία αποτελεί το εγκαταλελειμμένο μεταλλείο αμιάντου στο Ζιδάνι του νομού Κοζάνης (MABE).

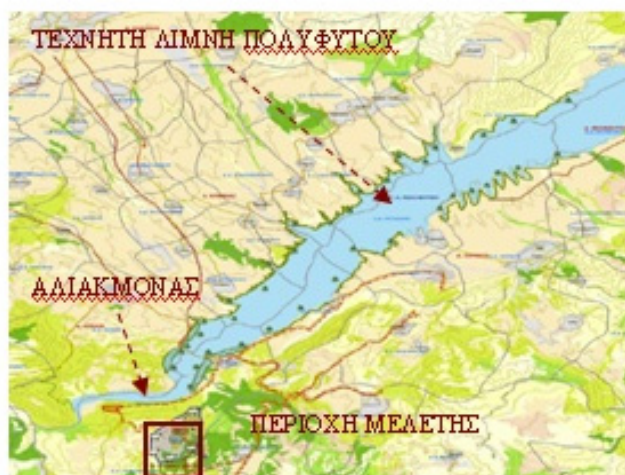
Στόχος της μεταπτυχιακής εργασίας είναι η εξέταση των MABE ως εστία ρύπανσης, εστιάζοντας στην περιοχή των αποθέσεων. Πρόκειται για υλικό, οικονομικά ασύμφορο για εκμετάλλευση σε αμιάντο, το οποίο εναποτίθεντο σε κοντινή περιοχή του μεταλλείου και σε μικρή απόσταση από τον Αλιάκμονα. Επιχειρείται λοιπόν, ο χαρακτηρισμός των αποθέσεων και η εκτίμηση της ρύπανσης των υδάτων του Αλιάκμονα και της λίμνης Πολυφύτου.

Σε αυτό το κεφάλαιο δίνεται συνοπτική περιγραφή των MABE και των αποθέσεων και παρέχονται στοιχεία σχετικά με τη γεωλογία και την υδρολογία της περιοχής, καθώς και στοιχεία σχετικά με την έκταση της ρύπανσης της ευρύτερης περιοχής.

6.2 Περιγραφή MABE

6.2.1 Ιστορικό

Το ανενεργό μεταλλείο αμιάντου που εκμεταλλεύθηκε κυρίως η MABE Α.Ε., είναι ένα υπαίθριο μεταλλείο, που βρίσκεται στη θέση Ζιδάνι, του νομού Κοζάνης σε απόσταση περίπου σαράντα χιλιόμετρα ΝΔ της πόλης της Κοζάνης. Στην ευρύτερη περιοχή του μεταλλείου Δ-ΝΔ και σε απόσταση 2,5 περίπου χιλιομέτρων βρίσκεται ο οικισμός Μικρόβαλτο, ενώ στα Ν-ΝΔ και σε απόσταση 3,5 περίπου χιλιομέτρων βρίσκεται ο οικισμός Τρανόβαλτο. Βόρεια των εγκαταστάσεων σε απόσταση ενός χιλιομέτρου βρίσκεται ο ποταμός Αλιάκμονας ο οποίος εκβάλει στην τεχνητή λίμνη Πολυφύτου [3,65] (**Εικόνα 6.1** [20,64]).



Εικόνα 6.1: Θέση ανενεργού Μεταλλείου Αμιάντου Ζιδανίου σε σχέση με τον Αλιάκμονα και τη Λίμνη Πολυφύτου [20]

Η παρουσία αμιάντου στην περιοχή της Μονής Ζιδανίου του Νομού Κοζάνης εντοπίστηκε για πρώτη φορά το 1936 ενώ στις αρχές της δεκαετίας του '50, προσδιορίστηκε ως το μεγαλύτερο κοίτασμα αμιάντου στην Ελλάδα. Μετά από 40 περίπου χρόνια (το 1977) η ελληνική κυβέρνηση ανέθεσε την εκμετάλλευσή του στην ΕΤΒΑ, η οποία για το λόγο αυτό ίδρυσε τη θυγατρική εταιρία Μεταλλεία Αμιάντου Βορείου Ελλάδος (ΜΑΒΕ) Α.Ε. Την ίδια χρονιά ο αμιάντος χαρακτηρίστηκε, ως ένα από τα δέκα πιο καρκινογόνα υλικά. Το 1982 ξεκίνησε η λειτουργία της μονάδας εξόρυξης και επεξεργασίας αμιάντου στο Ζιδάνι, που ήταν η μεγαλύτερη στην Ευρώπη. Σήμερα η κυριότητα των εγκαταστάσεων των ΜΑΒΕ, έχει περιέλθει στη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Κοζάνης για χρονικό διάστημα 30 ετών, με σκοπό την αποκατάσταση, αναβάθμιση και αξιοποίηση αυτών.

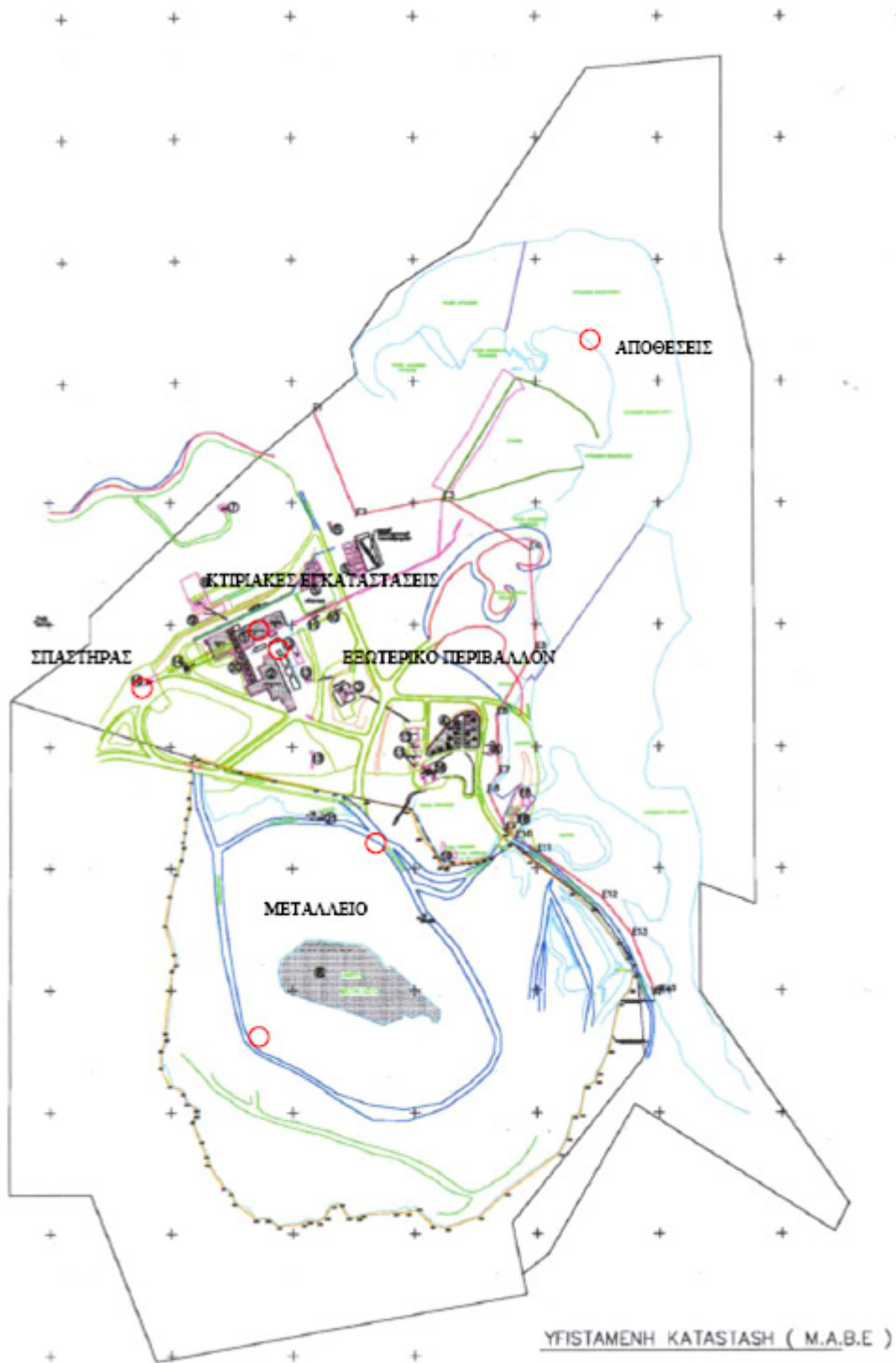
Κατά τη διάρκεια της 18ετούς λειτουργίας της η εταιρεία εξόρυξε περισσότερους από 70 εκατομμύρια τόνους σερπεντίνη, από τους οποίους παρήχθησαν ένα εκατομμύριο τόνοι χρυσότιλου (λευκού αμιάντου). Το υπόλοιπο, φτωχό σε ίνες αμιάντου μέταλλευμα, εναποτέθηκε στο χώρο των αποθέσεων [3,20].

6.2.2 Περιγραφή των ΜΑΒΕ

Τα ΜΑΒΕ συνολικά καταλαμβάνουν έκταση 4,14 km² και μέσα σε αυτήν βρίσκονται [3,18] (**Εικόνα 6.2**) [3,20,64,75,76]:

- Το μεταλλείο, με συνολική έκταση 335 στρέμματα
- Οι κτηριακές εγκαταστάσεις, που καταλαμβάνουν περίπου 45.000 m².

- Οι υπαίθριοι χώροι, συνολικής έκτασης 3.500 στρεμμάτων.
- Οι αποθέσεις, προερχόμενες από την απόθεση των στείρων υλικών κατά την εξορυκτική δραστηριότητα, έκτασης 532 στρεμμάτων



Εικόνα 6.2: Τοπογραφικός χάρτης ΜΑΒΕ [3]

Το μεταλλείο (Εικόνα 6.3) καλύπτει μια έκταση 335.000 m². Η εξόρυξη γινόταν στο ανοικτό μεταλλείο με τη χρήση εκρηκτικών εφαρμόζοντας τη μέθοδο των ορθών κλειστών βαθμίδων. Η διαδικασία της εξόρυξης είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας χοανοειδούς εκσκαφής, βάθους 180 m περίπου, με βαθμίδες ύψους 10 m και πλάτους 5 m αντίστοιχα. Η συνεχής εκσκαφή, έχει εκθέσει τον υδροφόρο ορίζοντα και δημιούργησε μια μικρή λίμνη στον πυθμένα του μεταλλείου [3,20].



Εικόνα 6.3: Χώρος εξόρυξης με τη μέθοδο των ορθών βαθμίδων

Η συνεχής εκσκαφή, δημιούργησε μια μικρή **λίμνη στον πυθμένα του μεταλλείου** (υψόμετρο + 480 m) (**Εικόνα 6.4**), αλλά δεν υπάρχουν στοιχεία για τον υπόγειο υδροφόρο που την τροφοδοτεί. Η στάθμη της λίμνης δεν είναι σταθερή, καθώς το υπόβαθρο του σερπεντινίτη δεν είναι στεγανό και καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις βροχοπτώσεις [3,20].



Εικόνα 6.4: Δημιουργία λίμνης στον πυθμένα του μεταλλείου

Οι κτηριακές εγκαταστάσεις καταλαμβάνουν περίπου 45.000 m² και περιλαμβάνουν, τα κτίρια Διοικητικών Υπηρεσιών, Παραγωγής και Βοηθητικών Χώρων. Η μονάδα παραγωγής αποτελούνταν από: το κτίριο πρωτογενούς θραύσης, το κτίριο ξήρανσης, το κτίριο μεταφοράς, τα τρία (3) σιλό υγρού μεταλλεύματος, έξι (6) σιλό ξηρού μεταλλεύματος, το κτίριο της κύριας επεξεργασίας, το κτίριο έτοιμου προϊόντος, το συγκρότημα κλειστών μεταφορικών ταινιών και το συγκρότημα ταινιοδρόμων απόθεσης. Το κτίριο των Διοικητικών Υπηρεσιών περιελάμβανε γραφεία και εργαστήρια, ενώ το κτίριο Βοηθητικών Εγκαταστάσεων αποτελούνταν από το μηχανουργείο, το ιατρείο, χώρους συνεστιάσεων, αποδυτήριων, εστιατόριο κλπ. Σε μικρή απόσταση από το κτίριο των γραφείων βρίσκεται ένας μικρός οικισμός με 17 προκατασκευασμένα σπίτια που χρησίμευαν ως μόνιμη ή προσωρινή κατοικία των εργαζομένων στα MABE.

Οι υπαίθριοι χώροι καταλαμβάνουν έκταση περίπου 3.500.000 m². Αξίζει να αναφερθεί ότι σε απόσταση 500m από το ορυχείο βρίσκεται Μοναστήρι του 17^{ου} αιώνα (Μονή Ζιδανίου), που ελκύει πολλούς επισκέπτες από όλη την Ελλάδα όλο το χρόνο [3,20].

Οι αποθέσεις (Εικόνα 6.5), αποτελούνται από υλικό προερχόμενο από την εξορυκτική δραστηριότητα, έκτασης 532 στρεμμάτων. Τα υλικά, από το μεταλλείο αλλά και τα λεπτόκοκκα υλικά, που προέκυπταν μετά την επεξεργασία του μεταλλεύματος από το εργοστάσιο, συσσωρεύτηκαν όλα αυτά τα χρόνια στη χαράδρα, που βρίσκεται στο ανατολικό και νότιο ανατολικό τμήμα των ορίων ιδιοκτησίας της εταιρίας [3,20].



A



B

Εικόνα 6.5: Α: Άποψη των αποθέσεων από τη γέφυρα Ρύμνιο

Β:Επιφάνεια των αποθέσεων

6.3 Γεωλογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής [64,75,76]

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της ευρύτερης περιοχής του μεταλλείου, από τους ανώτερους προς τους βαθύτερα- βρισκόμενους, είναι οι εξής (**Εικόνα 6.6**):

ΝΕΟΓΕΝΕΣ ΚΑΙ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

Ιζήματα περιοχής Ζιδανίου. Πρόκειται για διάφορα στρώματα ερυθρών – ανοιχτών καφέ λεπτόκοκκων υλικών (αργίλων και ιλύων), άμμων, ψηφίδων και κροκάλων καθώς και σπανιότερα συνεκτικών κροκαλοπαγών και ψηφιδοπαγών. Η στρώση τους είναι σχεδόν οριζόντια. Έχουν αποτεθεί ασύμφωνα πάνω στους αλπικούς σχηματισμούς μεταξύ των οποίων και των σερπεντινιτών.

ΜΟΛΑΣΣΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΣΟΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΑΥΛΑΚΑΣ

Μολασσικά ιζήματα της μέσο – Ελληνικής Αύλακας. Τα Μολασσικά ιζήματα καλύπτουν ασύμφωνα τα αλπικά και προαλπικά πετρώματα. Οι σχηματισμοί αυτοί αναπτύσσονται στο δυτικό περιθώριο της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος.

ΑΛΠΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Ανθρακικά πετρώματα του δυτικού Πελαγονικού περιθωρίου. Οι σερπεντινίτες της περιοχής της Μονής Ζιδανίου υπόκεινται τεκτονικά ανθρακικών πετρωμάτων του δυτικού πελαγονικού περιθωρίου, ηλικίας τριαδικοϊουρασικής. Τα ανθρακικά αυτά πετρώματα είναι ασβεστόλιθοι και δολομιτικά μάρμαρα. Καλύπτουν το νοτιοδυτικό άκρο του μεταλλείου και οριοθετούν τους σερπεντινίτες προς τα δυτικά.

Σερπεντινίτες. Το κοίτασμα χρυσοτιλικού αμιάντου του Ζιδανίου, αναπτύσσεται στο βόρειο τμήμα ενός σερπεντινιτικού σώματος που βρίσκεται τεκτονικά τοποθετημένο πάνω στο μεταμορφωμένο πελαγονικό υπόβαθρο της περιοχής των Καμβουνίων ορέων. Ο σερπεντινίτης στην περιοχή του μεταλλείου παρουσιάζει εσωτερική λεπίωση. Είναι σχιστοποιημένος και διασχίζεται από βερμικουλιτιωμένες αμφιβολιτικές φλέβες. Ο αμιάντος αναπτύσσεται πάνω στις επιφάνειες σχιστότητας

του σχιστοποιημένου σερπεντινίτη. Οι φλέβες του χρυσοτιλικού αμιάντου είναι τύπου slip-fiber, δηλ. οι ίνες αναπτύσσονται παράλληλα προς τα τοιχώματα των ρωγμών που τις φέρουν [4].

Αρκετές γεωτρήσεις δεν βρήκαν το δάπεδο του κοιτάσματος, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις το βάθος των γεωτρήσεων υπερέβη τα 190 m εξακολουθώντας να βρίσκουν πλουσιότατο κοιτάσμα. Γενικά παρατηρείται ότι η ανάπτυξη του κοιτάσματος συμφωνεί με αυτή του σερπεντινιτικού σχηματισμού στην επιφάνεια.

Ο σερπεντινιτικός σχηματισμός, που αναπτύσσεται το κοιτάσμα του αμιάντου, έχει επιφανειακή μορφή έλλειψης, με άξονες 1 km περίπου στην διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και 60m περίπου στην διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Αποτελεί τμήμα ενός επιμηκυμένου σφηνοειδούς σώματος επιφανειακού μήκους περίπου 5 km και πλάτους 25 km στα βόρεια και 0,5 km στα νότια, με άξονα επιμήκυνσης Β-Ν [4].

Κατά θέσεις η συνέχεια του σώματος διακόπτεται από την ύπαρξη τετραγενών αποθέσεων, αλλούβιων και κορημάτων, αλλά η συνέχειά του, τουλάχιστον για τις παραπάνω διαστάσεις, πιστοποιείται εύκολα. Δεν αποκλείεται πάντως ο σερπεντινιτικός αυτός σχηματισμός να συνεχίζεται προς τα δυτικά κάτω από την μετακλαστική σειρά και τα μάρμαρα του δυτικού περιθωρίου της Πελαγονικής. Η συνέχεια του πάντως προς τα ανατολικά δεν είναι μεγάλη, μια και στα νότια και στις θέσεις του Μικρόβαλτου και Τρανόβαλτου εμφανίζεται το πελαγονικό υπόβαθρο. Στο βόρειο άκρο, η προς ανατολάς συνέχεια του είναι μεγαλύτερη και η επαφή με το υπόβαθρο βρέθηκε σε ρέμα με ροή προς τον βορρά, περίπου 120 m ανατολικά της μονής Ζιδανίου. Προς το νότο η συνέχεια του σερπεντινιτικού σχηματισμού δεν πρέπει να συνεχίζεται για πολύ κάτω από τα νεογενή, ενώ προς τα βόρεια στις κρημνώδεις παρυφές του Αλιάκμονα δε παρατηρείται η συνέχεια του [4].

Σε όλη την περιοχή ανάπτυξης του σερπεντινιτικού σχηματισμού παρατηρήθηκαν τρεις κύριοι τύποι σερπεντινιτών:

(α) Συμπαγείς σερπεντινίτες. Εμφανίζονται σε όλο το βόρειο τμήμα του σερπεντινιτικού σχηματισμού εκτός του κοιτάσματος.

(β) Σχιστοποιημένοι σερπεντινίτες. Απαντώνται κυρίως στις αμιαντοφόρες περιοχές και διαφέρουν από τους προηγούμενους από ένα πυκνό δίκτυο σχισμού. Εμφανίζουν επίσης εγκλείσματα συμπαγούς τύπου σερπεντινίτη. Οι σερπεντινίτες του κοιτάσματος είναι έντονα σχιστοποιημένοι με μορφή

μικρών και μεγάλων ατρακτοειδών σωμάτων. Οι επιφάνειές τους, όταν δεν περιέχουν αμίαντο, είναι συνήθως γυαλιστερές επιφάνειες ολίσθησης.

Σκούροι μαύροι-κυανοί σερπεντινίτες αποτελούνται κυρίως από σχετικά μικροκρυσταλλικό σερπεντίνη σε συμπλεκτικό ιστό. Αποτελούν μικρούς όγκους μέσα στο σχιστοποιημένο υλικό. Δεν βρέθηκαν καθόλου πρωτογενή ορυκτά των περιδοτιτών και όλα τα δείγματα ήταν πλήρως σερπεντινωμένα. Σε μία θέση στα βορειοανατολικά του σερπεντινιτικού σώματος βρέθηκε χρωμιτικό μετάλλευμα μορφής πλακός, συμπαγούς τύπου και πάχους 10 cm (Καρκάνας Π., 1994).

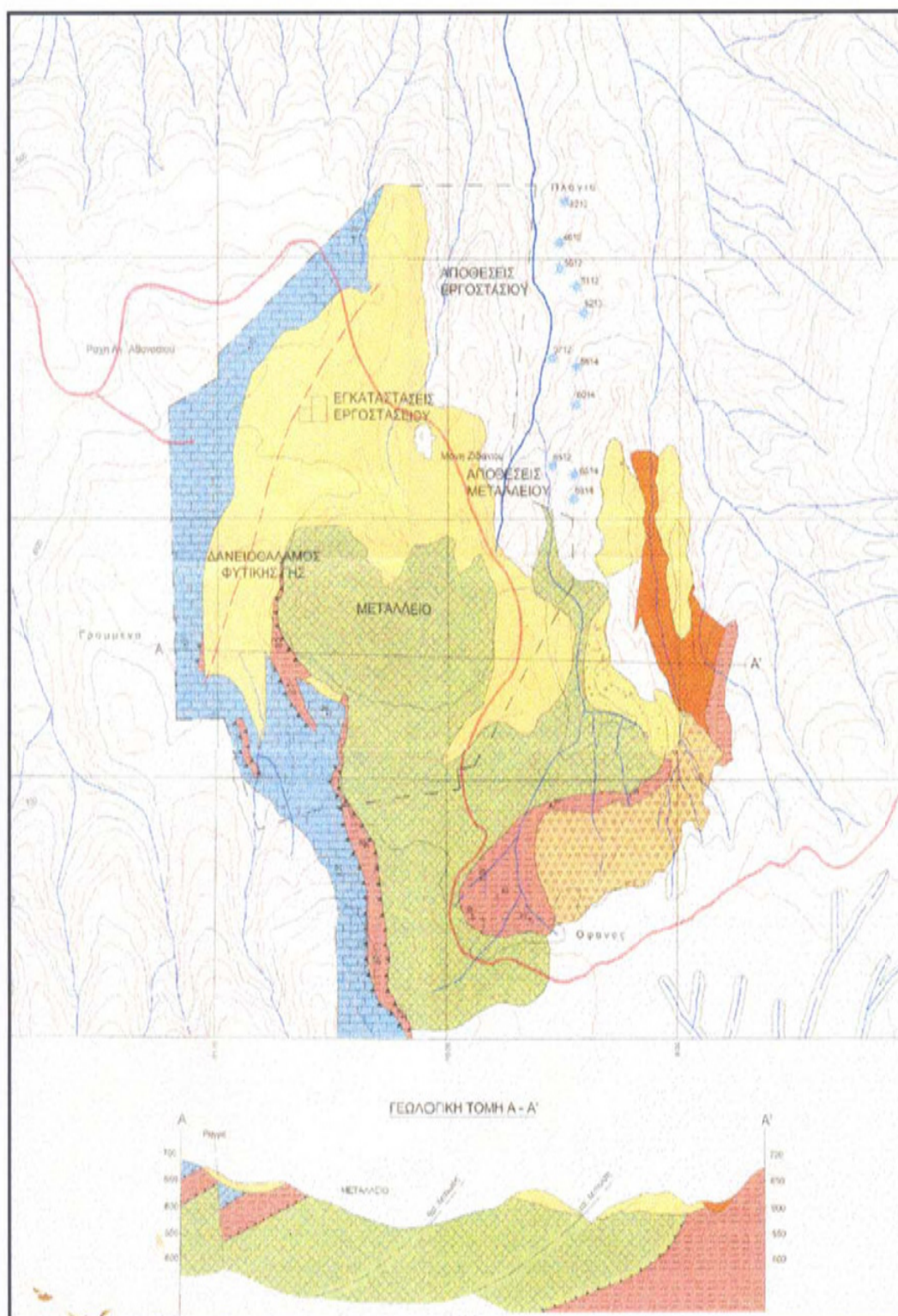
(γ) Μυλονιτιωμένοι σερπεντινίτες. Κατά μήκος της πάνω και κάτω επωθητικής επιφάνειας, που οριοθετεί τους σερπεντινίτες και τη μετακλαστική σειρά, αναπτύσσονται κυρίως στο νότιο τμήμα του σερπεντινιτικού σχηματισμού. Μία ανάλογη μορφή μυλονιτιωμένων αντιγοριτικών σερπεντινιτών παρουσιάζεται ως μία άλως γύρω από βερμικουλιτιωμένες αμφιβολιτικές φλέβες και πάντα μέσα σε αμιαντοφόρους σερπεντινίτες. Έχουν χρώμα σκούρο πράσινο, που οφείλεται μάλλον στην πολύ λεπτομερή κοκκομετρία του σερπεντίνη. Μερικές φορές εμφανίζει σχιστότητα που θυμίζει σχιστόλιθο. Κατά κανόνα δεν περιέχει χρυσοτιλικό αμίαντο.

(δ) Ο χρυσοτιλικός αμίαντος. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, ο αμίαντος αναπτύσσεται ανάμεσα στα ατρακτοειδή σώματα του σχιστοποιημένου σερπεντινίτη, καταλαμβάνοντας έτσι το σύνολο κυριολεκτικά των ρωγμών του σερπεντινίτη της περιοχής του κοιτάσματος.

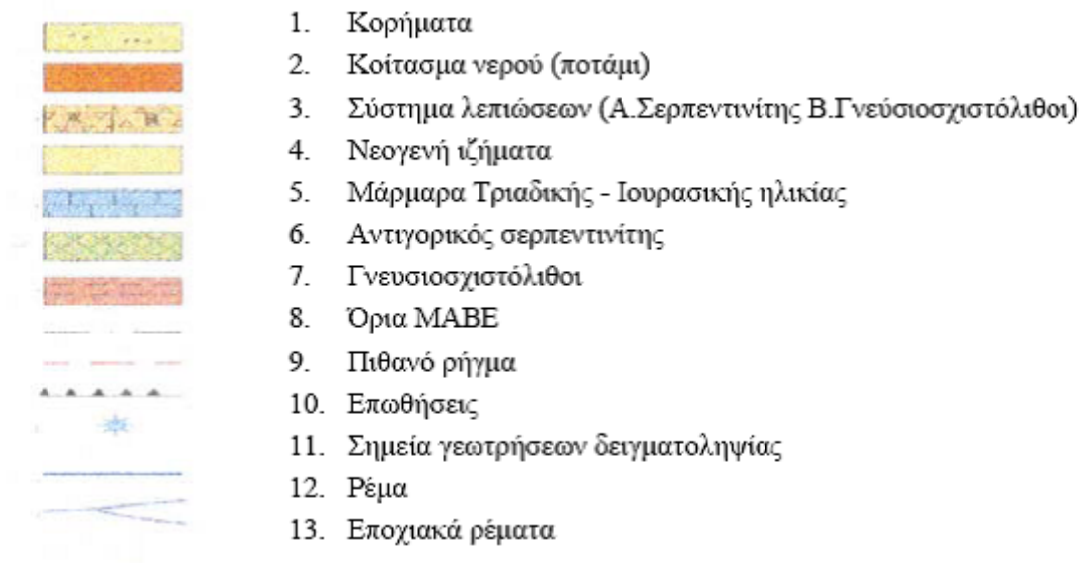
Ο αμίαντος απαντάται μόνο στην περιοχή που αναπτύσσεται και ο σχιστοποιημένος αυτός σερπεντινίτης. Η μορφή των ινών του χρυσοτίλη είναι στη συντριπτική πλειοψηφία μορφής slip-fiber, δηλαδή η ανάπτυξη τους γίνεται παράλληλα προς την ανάπτυξη των φλεβών (ονοματολογία κατά Ramsay & Hubert 1987) που τις φέρουν. Το χρώμα του αμιάντου είναι συνήθως λευκό με μία υποπράσινη έως υποκίτρινη χροιά όταν είναι ελεύθερες οι ίνες, ενώ το χρώμα γίνεται κιτρινοπράσινο ανοιχτό, όταν είναι συνδεδεμένες στενά μεταξύ τους σε συμπαγή μη ινώδη, εκ πρώτης όψεως, μορφή.

(ε) Η παρουσία ανθρακικών ορυκτών στους σερπεντινίτες. Είναι συχνή η παρουσία διαφόρων ανθρακικών ορυκτών μέσα στους σερπεντινίτες που περιέχουν αμίαντο (οφιτοανθρακικές ζώνες).

Μετασερπεντινίτες. Στο ανατολικό άκρο του βόρειου τμήματος του σερπεντινιτικού σώματος διαπιστώθηκε η ισόβαθμη της αφυδάτωσης των σερπεντινιτών (αποσερπεντινίωση – *deserpentinization*), όπου εντοπίζεται και παρουσία τάλκη.



Εικόνα 6.6: Γεωλογική Τομή περιοχής των ΜΑΒΕ [3]



6.4 Τεκτονική της ευρύτερης περιοχής [64]

Η ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, στην οποία ανήκει και η περιοχή έρευνας, έχει υποστεί πολλές τεκτονικές διεργασίες κατά την εξέλιξη του γεωλογικού χρόνου οι οποίες προκάλεσαν παραμορφώσεις τόσο των πετρωμάτων όσο και του ανάγλυφου της. Οι νεότερες τεκτονικές κινήσεις λαμβάνουν χώρα από το ανώτερο Μειόκαινο και διακρίνονται σε δύο κύριες φάσεις παραμόρφωσης (Παυλίδης 1985, Παυλίδης και Μουντράκης 1987).

Α. Η πρώτη φάση είναι ηλικίας άνω Μειόκαινου - Πλειόκαινου και είναι εφελκυστική με διεύθυνση μέγιστου εφελκυσμού ΒΑ - ΝΔ. Από την εφελκυστική αυτή δράση δημιουργήθηκαν ή επαναδραστηριοποιήθηκαν κανονικά ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ- ΝΑ , τα οποία ήταν η αιτία της δημιουργίας των τεκτονικών βυθισμάτων (λεκανών) όπως είναι η λεκάνη Καστοριάς - Γρεβενών - Αμυνταίου - Πτολεμαΐδας - Κοζάνης - Σερβίων και η μεγάλη λεκάνη Φλώρινας.

Β. Η δεύτερη τεκτονική φάση ήταν εφελκυστική και αυτή με κύρια διεύθυνση εφελκυσμού ΒΒΔ - ΝΝΑ , με αποτέλεσμα τη δημιουργία ή επαναδραστηριοποίηση μεγάλων κανονικών ρηγμάτων ΒΑ - ΝΔ ως Α - Δ διεύθυνσης. Η δράση των νεότερων αυτών ρηγμάτων ήταν να τεμαχιστούν σχεδόν εγκάρσια οι μεγάλες λεκάνες. Η εφελκυστική αυτή δράση με τα ΒΑ - ΝΔ διεύθυνσης ρήγματα έπαιξε μεγάλο ρόλο

στη νεοτεκτονική εξέλιξη της περιοχής με σημαντικότερο το ρήγμα του Αλιάκμονα τμήμα του οποίου ενεργοποιήθηκε πρόσφατα και προκάλεσε το μεγάλο σεισμό Κοζάνης - Γρεβενών μεγέθους $M=6,6$.

Μετά τη ρηγμάτωση και τις πτυχώσεις που υπέστησαν κυρίως οι μαλλασικοί σχηματισμοί έλαβε χώρα απόθεση ιζημάτων τα οποία κάλυψαν τις προηγούμενες ρηξιγενείς δομές.

6.5 Υδρογεωλογία [64]

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης δεν υπάρχουν αξιόλογοι υπόγειοι υδροφορείς στα ανώτερα στρώματα. Βασικοί παράγοντες των γεωλογικών σχηματισμών που καθορίζουν την υδρογεωλογία μιας περιοχής είναι η λιθολογική τους σύσταση και ο τεκτονισμός που έχουν υποστεί. Στην περιοχή Ζιδανίου επικρατεί σερπεντινίτης, ο οποίος αν και είναι τεκτονισμένος, αποτελεί πρακτικά μη υδροπερατό σχηματισμό.

Το υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται από γνεύσιους και σχιστόλιθους οι οποίοι έχουν κάποιες ιδιαιτερότητες στη συμπεριφορά τους ως υδροφόροι σχηματισμοί. Λόγω των διακλάσεων έχουν μεγάλη μεταβιβαστικότητα και μικρή υδροχωρητικότητα ενώ ο φυσικός εμπλουτισμός του συστήματος πραγματοποιείται με πολύ αργούς ρυθμούς. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι τα γνευσιοσχιστολιθικά πετρώματα να εντάσσονται στους μη υδροπερατούς σχηματισμούς.

Ο μοναδικός αξιόλογος υδροφορέας στην ευρύτερη περιοχή μελέτης είναι ο καρστικός υδροφορέας του νοτιοδυτικού Βερμίου. Οι ασβεστολιθικοί όγκοι της ευρύτερης περιοχής είναι σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό έντονα καρστικοποιημένοι. Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα συγκεντρώνονται σε ένα δίκτυο επικοινωνούντων αγωγών, ρωγμών και σπηλαίων και σχηματίζουν σε βαθύτερα στρώματα τους καρστικούς υδροφορείς. Σε ορισμένες περιοχές δίνεται η δυνατότητα αξιοποίησης του λόγω του μορφολογικού ανάγλυφου.

Ο καρστικός υδροφορέας αποτελεί το σημαντικότερο απόθεμα νερού της ευρύτερης περιοχής και ως εκ τούτου η προστασία του από κάθε μορφής ρύπανσης είναι επιβεβλημένη. Βόρεια του μεταλλείου στην επαφή των νεογενών ιζημάτων εκδηλώνονται καρστικές διάσπαρτες πηγές σημαντικής παροχής. Πρόκειται για τις πηγές «Αναβρυκά» οι οποίες έχουν παροχή μεγαλύτερη των $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ (1993) (ΑΝ.ΚΟ., Μάρτιος 2002).

Τέλος, στην ευρύτερη περιοχή Μικροβάλτου αναβλύζουν δεκατρείς (13) πηγές μικρής παροχής από παλαιοζωϊκά πετρώματα πέντε (5) πηγές, οφιολιθικά δύο (2) πηγές και πλειοπλειστοκαινικά έξι (6) πηγές - η σημαντικότερη δεν υπερβαίνει κατά τη ξηρή περίοδο τα 70κ.μ./ημέρα. Εξυπηρετούν σκοπούς ύδρευσης του οικισμού [δύο (2) πηγές] και κτηνοτροφικών αναγκών [έντεκα (11) πηγές].

6.6 Τα MABE ως εστία ρύπανσης [3, 67]

Μελέτες για τον προσδιορισμό της έκτασης της ρύπανσης στην έκταση των MABE αλλά και στην ευρύτερη περιοχή διεξαγόταν τόσο κατά το διάστημα της λειτουργίας του όσο και μετά τη παύση των εργασιών.

Οι δειγματοληψίες ύδατος και αέρος πραγματοποιούνταν σχεδόν από την έναρξη λειτουργίας των MABE, ενώ εδαφικό υλικό ελήφθη για πρώτη φορά τον Ιούνιο του 2002.

Τα MABE δεν εξετάζονται ως ενιαίο πρόβλημα, αλλά κατηγοριοποιούνται με κριτήριο τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως η αιτία ρύπανσης (εξόρυξη πετρώματος, υπολλείματα επεξεργασίας αμιάντου, βοηθητικοί χώροι κ.α). Οι κυριότερες κατηγορίες είναι οι εξής:

1. Κτιριακές εγκαταστάσεις
2. Μεταλλείο
3. Χώρος αποθέσεων
4. Υπαίθριοι χώροι MABE
5. Ευρύτερη περιοχή

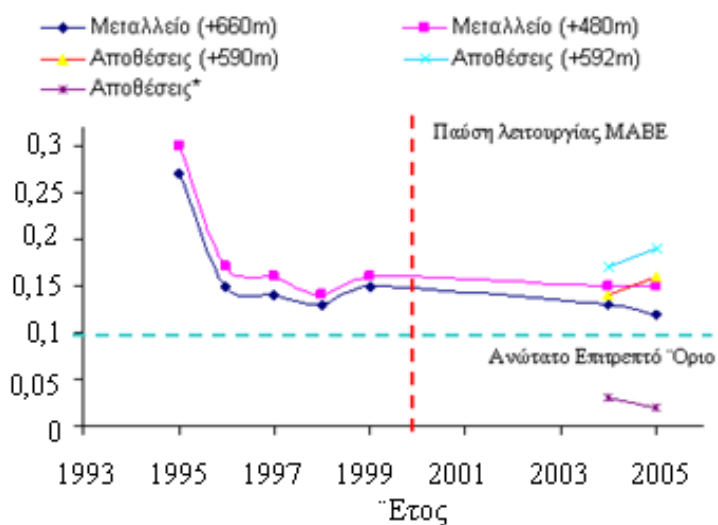
Μετρήσεις διεξήχθησαν τη χρονική περίοδο 2004-2005 από το Πολυτεχνείο Κρήτης (Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων).

Τα αποτελέσματα των αέριων δειγματοληψιών στον χώρο του μεταλλείου και των αποθέσεων, καθώς και παλαιότερες μετρήσεις παρουσιάζονται στον **Πίνακα 6.1** και απεικονίζονται σχηματικά στο **Διάγραμμα 6.1**.

Πίνακας 6.1: Συγκέντρωση ινών αμιάντου στον αέρα (f/cm^3) [67]

Περιοχή	2005	2004	1999	1998	1997	1996	1995	Max	Min	EU	EPA
Μεταλλείο											
(+660m)	0,12	0,13	0,15	0,13	0,14	0,15	0,27	0,27	0,13		
Μεταλλείο	0,15	0,15	0,16	0,14	0,16	0,17	0,30	0,30	0,13		
(+480m)											
Αποθέσεις	0,16	0,14	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
(+590m)										0,1	0,1
Αποθέσεις	0,17	0,15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
(+592m)											
Αποθέσεις	0,19	0,17	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
(+512m)											
Αποθέσεις*	0,02	0,03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		

* Περιοχή αποθέσεων, όπου έχει εφαρμοστεί πρόγραμμα αποκατάστασης με κάλυψη με φυτική γη και δενδροφύτευση



Διάγραμμα 6.1: Μεταβολή συγκέντρωσης ινών αμιάντου στον αέρα σε συνάρτηση με τον χρόνο (f/cm^3)

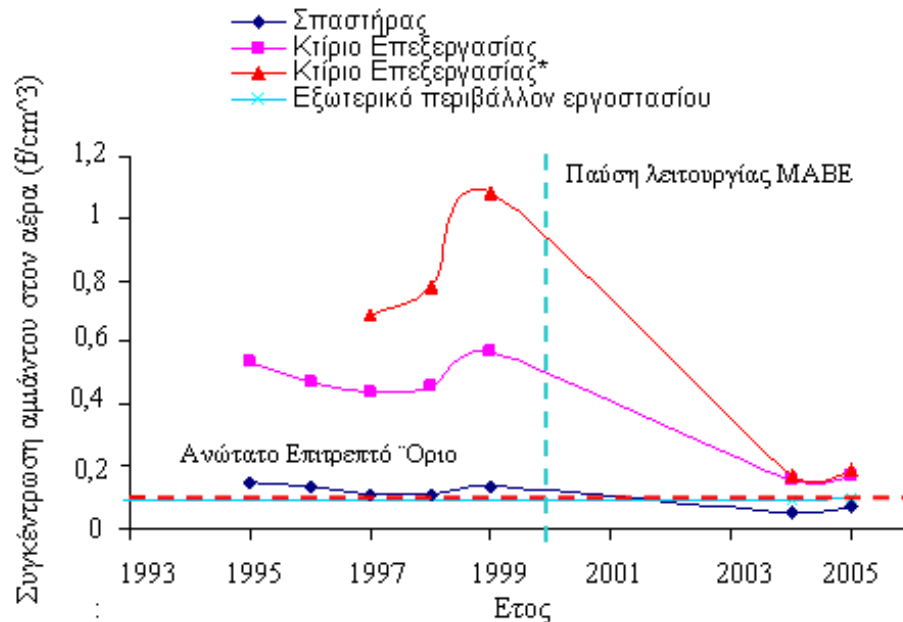
Διαπιστώνεται λοιπόν ότι τα επίπεδα συγκέντρωσης ινών αμιάντου στην περιοχή του μεταλλείου και των αποθέσεων παραμένουν σχεδόν αμετάβλητα και κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα από τα επιτρεπτά, αν εξαιρεθούν οι μετρήσεις το 1995, ακόμα και μετά την παύση λειτουργίας των MABE, όπως εξάλλου προκύπτει από το Διάγραμμα 6.1.

Σε υψηλότερα επίπεδα κυμαίνεται η ρύπανση στο κτίριο επεξεργασίας και στον εξωτερικό χώρο αυτού. Παρατηρείται ότι η συγκέντρωση ινών αμιάντου το διάστημα λειτουργίας των ΜΑΒΕ στο κτίριο επεξεργασίας είναι υψηλότερη σε σχέση με αυτή μετά την παύση εργασιών, ενώ στον σπαστήρα και στο περιβάλλοντα χώρο του εργοστασίου παρατηρούνται μικρές διακυμάνσεις (Πίνακας 6.2 και Διάγραμμα 6.2).

Πίνακας 6.2: Συγκέντρωση ινών αμιάντου στον αέρα (f/cm^3) [67]

Περιοχή	2005	2004	1999	1998	1997	1996	1995	Max	Min	EU	EPA
Σπαστήρας	0,07	0,05	0,14	0,11	0,11	0,14	0,15	0,20	0,10		
Κτίριο Επεξεργασίας	0,17	0,16	0,57	0,46	0,44	0,47	0,54	0,65	0,40		
Κτίριο Επεξεργασίας*	0,19	0,17	1,08	0,78	0,69	NA	NA	NA	NA	0,1	0,1
Εξωτερικό περιβάλλον εργοστασίου	0,10	0,09	0,15	0,10	0,12	0,10	0,12	0,18	0,08		

* Μετρήσεις στα επάνω πατώματα του κτιρίου επεξεργασίας



Διάγραμμα 6.2: Μεταβολή συγκέντρωσης ινών αμιάντου στον αέρα σε συνάρτηση με τον χρόνο (f/cm^3)

Σε ότι αφορά στη ρύπανση των υδάτων, από μετρήσεις του παρελθόντος (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης) και πρόσφατες μετρήσεις (Πολυτεχνείο Κρήτης), διαπιστώνεται ότι η ρύπανση εκτείνεται σε μεγάλη απόσταση (Πίνακας

6.3) από τα MABE ανεξάρτητα από οποιαδήποτε δραστηριότητα στην περιοχή (λειτουργία ή μη των MABE).

Πίνακας 6.3: Συγκέντρωση ινών αμιάντου στο νερό (MFL) [67]

Ημερομηνία	Θέση Δειγματοληψίας	Συγκέντρωση ινών αμιάντου (MFL)	Σφάλμα μέτρησης
Αύγουστος 1993	Αγία Βαρβάρα	5,5	1,3
	Φράγμα Σφηκιάς (6km)	7,8	1,3
	Γέφυρα Σέρβιας (18 km)	24,6	2,5
Δεκέμβριος 1993	Αγία Βαρβάρα	1,3	0,7
	Γέφυρα Σέρβιας (18 km)	3,9	1,3
	Γέφυρα Ρύμνιο (4 km)	37,4	3,4
Ιανουάριος 1994	Γέφυρα Νεάπολης	4,8	3,4
Ιούνιος 2005	Αγία Βαρβάρα (35 km)	8,5	1,3
	Γέφυρα Σέρβιας (18 km)	14,3	2,2

6.7 Πρώτο Μερικό Συμπέρασμα

Στην ευρύτερη περιοχή του νομού Κοζάνης, όπως προκύπτει από τα γεωλογικά στοιχεία, εμφανίζονται σερπεντινικοί σχηματισμοί, πετρώματα πλούσια σε αμιάντο. Για αυτό τον λόγο η περιοχή χρησιμοποιήθηκε για την εξόρυξη αμιάντου. Ή έντονη όμως εξορυκτική δραστηριότητα, για 20 περίπου χρόνια, είχε ως αποτέλεσμα αφενός η περιοχή να υποστεί μορφολογικές αλλαγές και αφετέρου τη μετατροπή μιας μεγάλης έκτασης σε εστία ρύπανσης. Συγκεκριμένα, τμήμα της περιοχής καλύπτεται επιφανειακά με σερπεντινικά πετρώματα (μεταλλείο), σε κοντινή περιοχή από το μεταλλείο έχουν αποτεθεί τόνοι αμιαντούχου μεταλλεύματος (αποθέσεις) και τέλος οι υπαίθριοι χώροι και οι κτηριακές εγκαταστάσεις επεξεργασίας και εξόρυξης αμιάντου.

Το επίπεδο και η έκταση ρύπανσης της ευρύτερης περιοχής με αμιάντο , μέσω της μεταφοράς του με το νερό ή τον αέρα, κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα και σε μεγάλη απόσταση από τις εστίες ρύπανσης, όπως προέκυψε και από διεξαχθείσες έρευνες του παρελθόντος.

Είναι, λοιπόν, προφανές ότι στην περιοχή των MABE θα πρέπει να εφαρμοστεί κατάλληλο πρόγραμμα αποκατάστασης και εξυγίανσης. Προτού, όμως

πραγματοποιηθεί αυτό, θα πρέπει να προσδιοριστούν όλες οι πτυχές του προβλήματος τμηματικά αφού, όπως αναφέρεται και παραπάνω, τα ΜΑΒΕ αποτελούν ένα πολυδιάστατο ζήτημα και δεν μπορούν να εξεταστούν στο σύνολό τους.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση των αποθέσεων, όπου αποτελεί και αντικείμενο μελέτης της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Συγκεκριμένα, αφού πραγματοποιηθεί ποσοτικός και ποιοτικός χαρακτηρισμός των αποθέσεων, στη συνέχεια επιχειρείται η συσχέτισή τους με τη ρύπανση του Αλιάκμονα, ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση περίπου 1 km.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

7.1 Εισαγωγή

Το υλικό εξόρυξης, οικονομικά ασύμφορο προς επεξεργασία, αλλά και τα λεπτόκοκκα υλικά, που προέκυπταν μετά την επεξεργασία στο εργοστάσιο, συσσωρεύτηκαν σε περιοχή στο ανατολικό και νότιο ανατολικό τμήμα του μεταλλείου. Σε σχετικές έρευνες του παρελθόντος αναφέρεται ότι η περιεκτικότητα του στείρου υλικού σε καθαρό αμιάντο είναι περίπου 0,2% κατά βάρος (Παπαϊωάννου & Αραμπατζόγλου, 1982). Με δεδομένο ότι η συνολική ποσότητα των στείρων υλικών στις αποθέσεις ανέρχεται στους 69.000.000 τόνους, διαπιστώνεται ότι οι αποθέσεις περιέχουν 138.000 τόνους καθαρού αμιάντου.

Στόχο λοιπόν αποτελεί ο ποιοτικός και ποσοτικός χαρακτηρισμός των αποθέσεων. Συγκεκριμένα, αφού πραγματοποιηθεί μια σύντομη περιγραφή της περιοχής των αποθέσεων, ακολουθεί η παρουσίαση των μορφολογικών δεδομένων, όπως αυτά προκύπτουν με την επεξεργασία υλικού (αεροφωτογραφία και ψηφιακό υπόβαθρο της περιοχής) με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού προγράμματος. Σε ότι αφορά στον ποσοτικό προσδιορισμό των αποθέσεων, διεξάγονται έρευνες στην υπό εξέταση περιοχή, προκειμένου τελικά να καθοριστεί η κοκκομετρία και η περιεκτικότητα των κλασμάτων του εδαφικού υλικού των αποθέσεων σε καθαρό αμιάντο.

7.2 Περιγραφή

Η περιοχή των αποθέσεων απέχει περίπου 800 m από το μεταλλείο. Η μεταφορά του υλικού προς απόρριψη πραγματοποιούταν με μηχανικό εξοπλισμό (dumper, shovel, προωθητήρες, φορτωτές) του εργοστασίου ενώ για τη διαμόρφωση χρησιμοποιήθηκαν προωθητές γαιών, δημιουργώντας σταδιακά μία οριζόντια πλατεία (Εικόνα 7.1).



Εικόνα 7.1: Μεταφορά στείρου υλικού και εργασίες διαμόρφωσης στον χώρο των αποθέσεων

Εξαιτίας της μεθόδου της απόθεσης και της ανομοιογένειας του υλικού ως προς το μέγεθος, οι μεγαλύτεροι όγκοι φτάνουν έως το πόδι του πρανούς ενώ οι μικρότεροι επικάθονται στο πρανές, δημιουργώντας σωρούς.



Εικόνα 7.2: Ανομοιογενής κατανομή στείρου υλικού

Σε δύο μέρη κοντά στις αποθέσεις του μεταλλείου, συνολικής επιφάνειας 58 στρεμμάτων, δημιουργήθηκε χώρος αποθήκευσης της φυτικής γης που προέκυψε από τη διαδικασία αποκάλυψης του κοιτάσματος. Η γη αυτή αποθηκεύτηκε για τις μελλοντικές δράσεις αποκατάστασης του χώρου και ανέρχεται στα 365.000 m³.

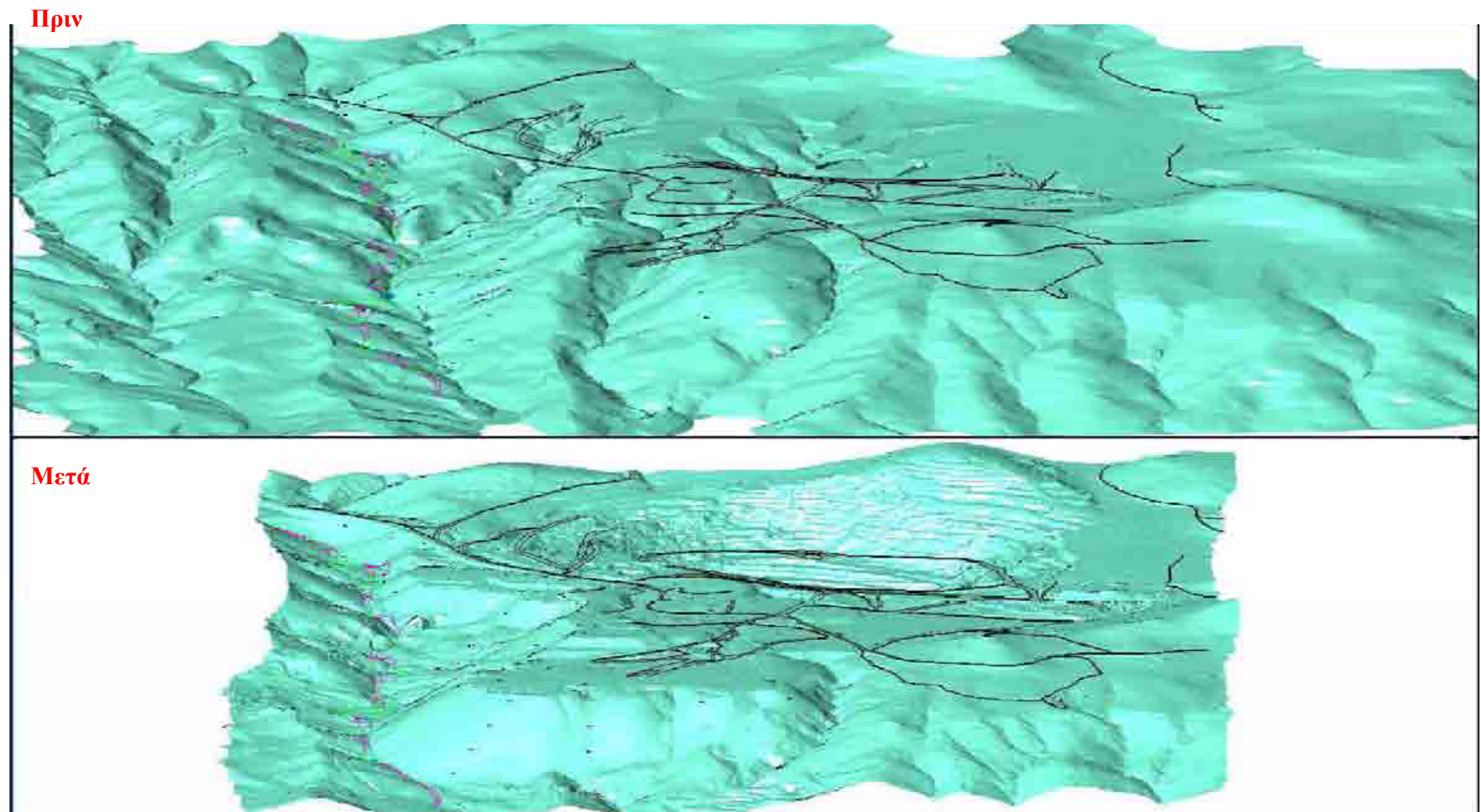
Σήμερα, όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία [3], οι αποθέσεις συνολικά καταλαμβάνουν έκταση 532 στρεμμάτων. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ένα ενιαίο πρανές ύψους περίπου 170 m χωρίς ενδιάμεσες βαθμίδες. Το ύψος των αποθέσεων μειώνεται από βόρεια προς νότια σε μια απόσταση 3 km από 180 m μέχρι 10 m. Η **μέγιστη κλίση** ανέρχεται στο **80%** στη βόρεια και βορειοανατολική πλευρά καλύπτοντας το 65% της επιφάνειάς της (**Εικόνα 7.3**) [18].

**A)****B)****Εικόνα 7.3:** Άποψη αποθέσεων Α) Βόρεια πλευρά Β) Νότια πλευρά

Στην περιοχή των αποθέσεων βρίσκεται και το παλαιό εργοστάσιο, εγκαταστάσεις μικρής δυναμικότητας, όπου διεξαγόταν αρχικά η επεξεργασία. Στην περιοχή έχει εφαρμοστεί πρόγραμμα αποκατάστασης με τη μέθοδο κάλυψης με φυτική γη και δενδροφύτευσης (**Εικόνα 7.4**). Παρόλο αυτά βρίσκονται διάσπαρτα στείρα αμιαντούχα υλικά. Για αυτό τον λόγο θεωρείται ότι η περιοχή αυτή θα πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο μελέτης προκειμένου να εκτιμηθεί η επικινδυνότητά της.

**Εικόνα 7.4:** Παλαιό εργοστάσιο αποκατάσταση γειτονικής περιοχής

Τέλος, η απόθεση στείρου υλικού επί 20 χρόνια, είχε ως αποτέλεσμα η περιοχή να υποστεί μορφολογικές αλλαγές (**Εικόνα 7.5 και 7.6**). Συγκεκριμένα, σε όλο το μήκος της ανατολικής πλευράς (2,4 χιλιόμετρα) διέρχεται ρέμα του οποίου η αρχική κοίτη έχει επιχωματωθεί με στείρα υλικά, τόσο στο υψηλότερο τμήμα (νότια), όσο κυρίως και στο χαμηλότερο τμήμα (βόρεια). Έτσι το ρέμα έχει φραχτεί σε δύο σημεία, αφού οι αποθέσεις έχουν ουσιαστικά ακουμπήσει στη απέναντι δυτική πλευρά της λεκάνης απορροής των όμβριων.



Εικόνα 7.5: Ψηφιακό ανάγλυφο της περιοχής πριν και μετά την έναρξη λειτουργίας των ΜΑΒΕ

Αποτέλεσμα αυτού είναι να λιμνάζουν τα νερά στο κατώτερο τμήμα και η απορροή τους τελικά να γίνεται μέσα από διαβρώσεις των αποθέσεων. Στην περιοχή βρέθηκαν συνολικά τρεις μικρές λίμνες, σε διαφορετικό απόλυτο υψόμετρο (**Εικόνα 7.7**).



Εικόνα 7.6: Μορφολογικές αλλαγές στην περιοχή των αποθέσεων



Εικόνα 7.7: Σχηματισμός λιμνών στη βάση των αποθέσεων

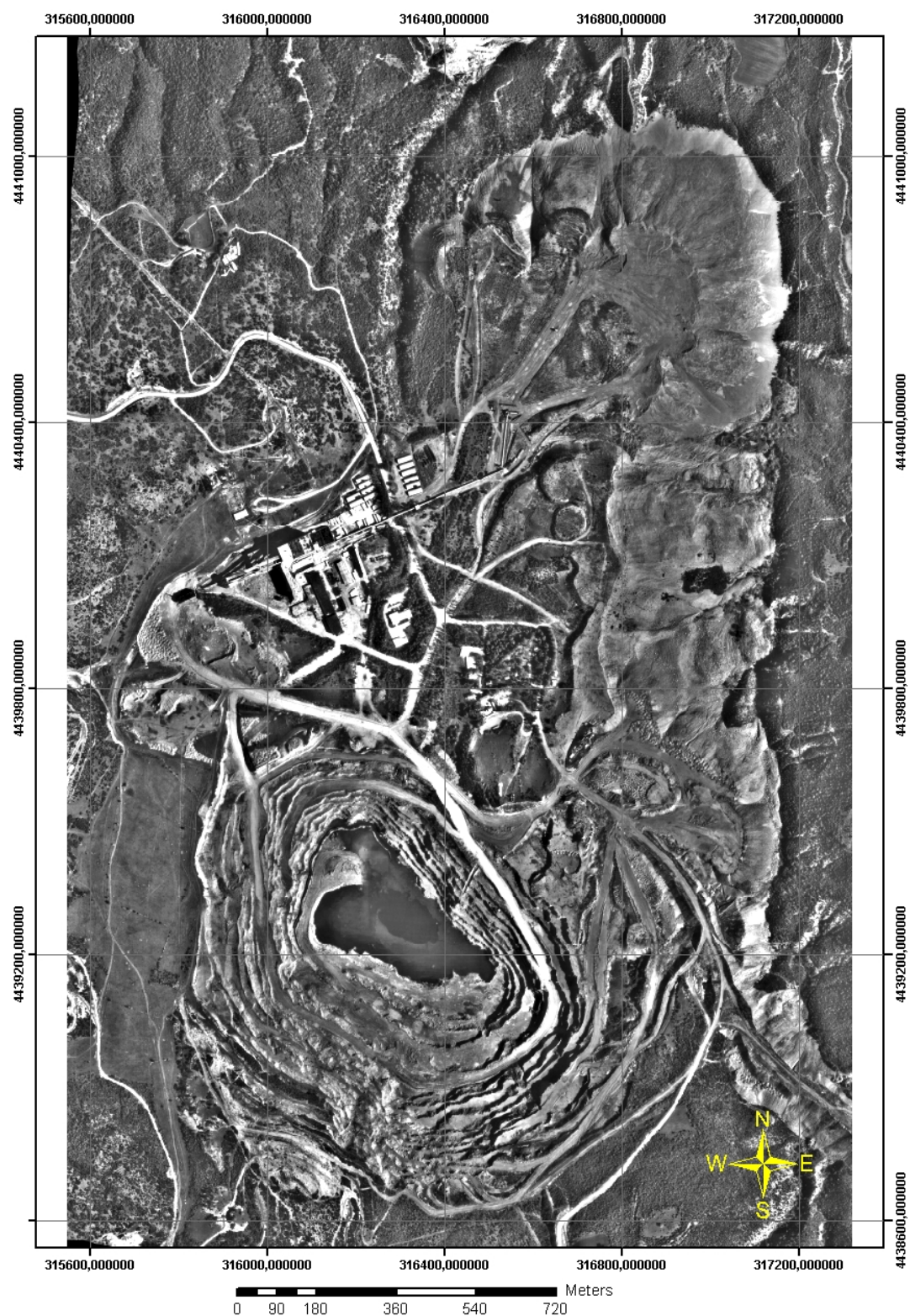
Τα νερά του ρέματος καταλήγουν τελικά στον Αλιάκμονα. Το μέγιστο ύψος επίχωσης στο κατώτερο τμήμα ξεπερνάει τα 20m (τμήμα συνολικού μήκους 400 m). Φωτογραφικό υλικό των αποθέσεων παρατίθεται στο **Παράρτημα Α**.

7.3 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

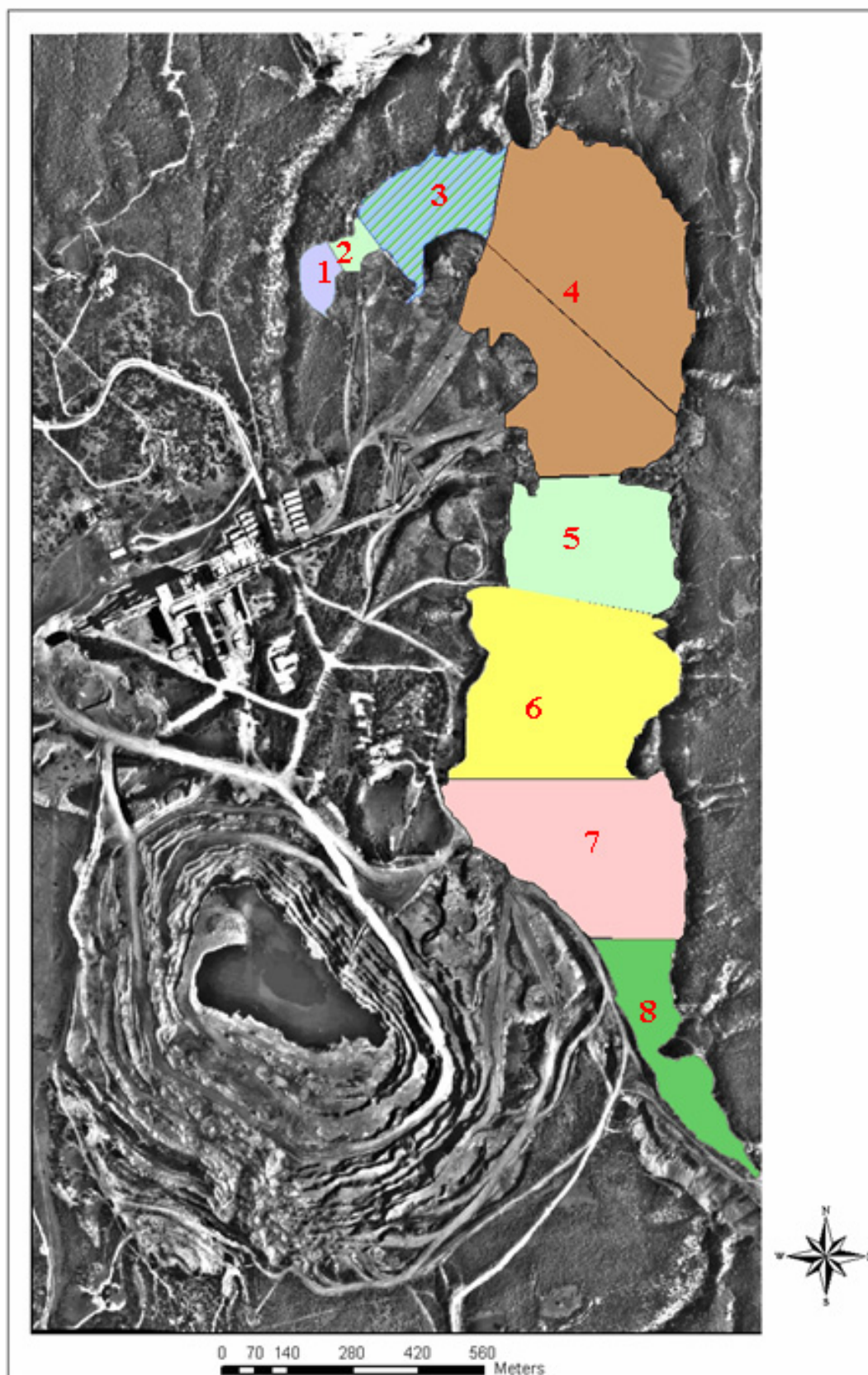
Για τον χαρακτηρισμό των αποθέσεων χρησιμοποιήθηκε τοπογραφικό υπόβαθρο (ορθοφωτοχάρτης) (**Εικόνα 7.8**) και ψηφιακό διάγραμμα ισοδιάστασης 1m, στοιχεία τα οποία επεξεργάστηκαν με κατάλληλο λογισμικό πρόγραμμα. (ArcGis 9.1).

Τα στάδια επεξεργασίας των παραπάνω στοιχείων είναι τα παρακάτω:

1. Καθορισμός περιοχής αποθέσεων στον ορθοφωτοχάρτη (**Εικόνα 7.9**)
2. Διάρθρωση της περιοχής των αποθέσεων σε επιμέρους τμήματα με κριτήριο τα μορφολογικά χαρακτηριστικά (η περιοχή χωρίζεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε η κάθε περιοχή να παρουσιάζει ομοιόμορφη κλίση της επιφάνειας). Συνολικά προκύπτουν οκτώ περιοχές.
3. Δημιουργία ψηφιακού υπόβαθρου το οποίο αντιστοιχεί στην περιοχή των αποθέσεων.



Εικόνα 7.8: Τοπογραφικό υπόβαθρο ΜΑΒΕ κλίμακας 1:10000



Εικόνα 7.9: Απεικόνιση περιοχής αποθέσεων κλίμακας 1:10000

Με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων του λογισμικού προγράμματος ArcGis 9.1 υπολογίζονται ο όγκος, η επιφάνεια και το εμβαδό σε δυσδιάστατη απεικόνιση των αποθέσεων (Πίνακας 7.1).

Πίνακας 7.1: Χαρακτηριστικά αποθέσεων

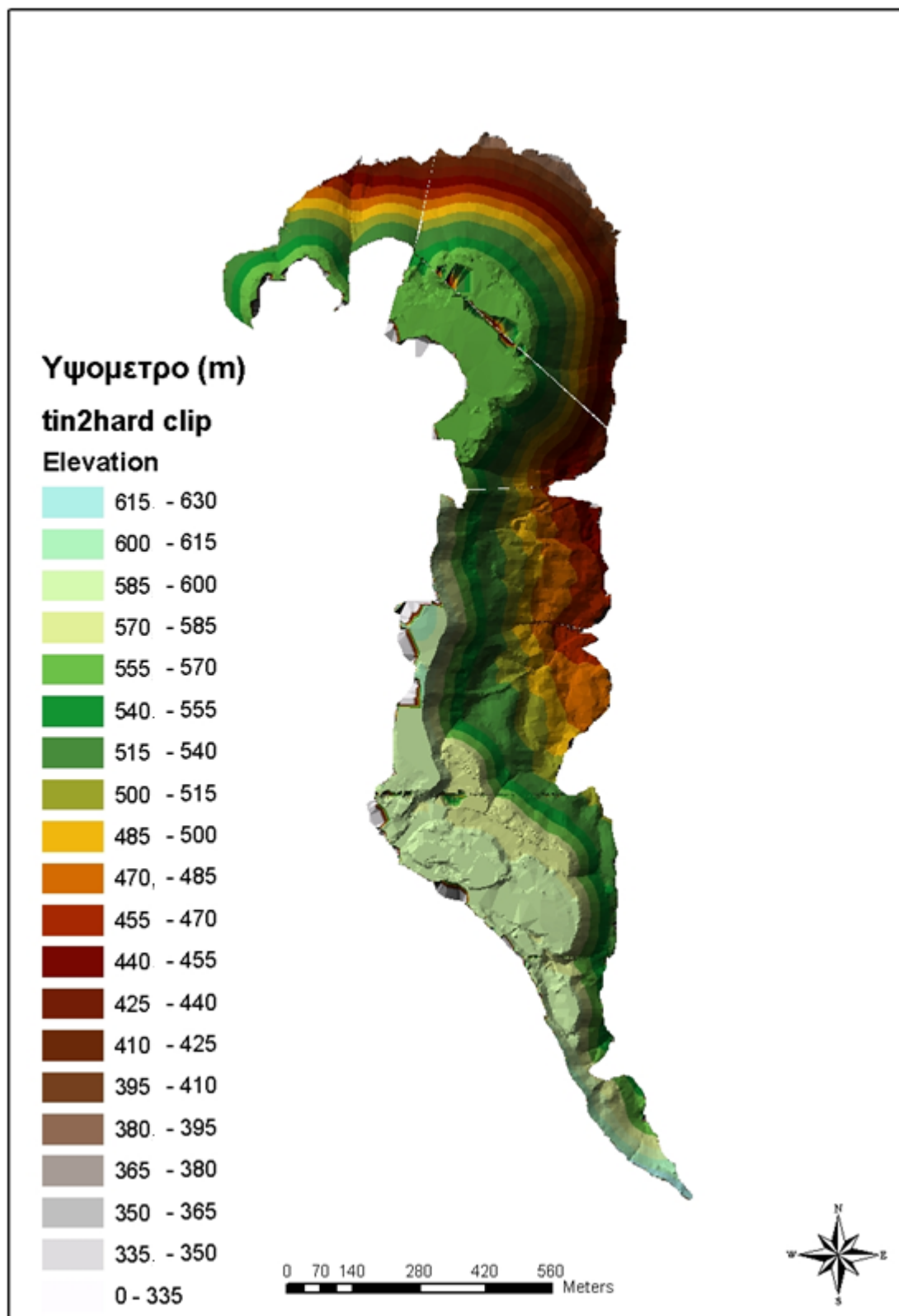
Αποθέσεις	Εμβαδό 2D (m ²)	Επιφάνεια (m ²)	Όγκος (m ³)
Υποπεριοχή 1	9.036	17.487	248.342
Υποπεριοχή 2	5.929	16.925	191.598
Υποπεριοχή 3	49.187	137.420	4.376.107
Υποπεριοχή 4	25.9705	503.753	32.968.308
Υποπεριοχή 5	90.088	152.342	6.015.004
Υποπεριοχή 6	146.831	259.945	11.709.933
Υποπεριοχή 7	127.351	199.896	9.755.833
Υποπεριοχή 8	51.691	119.388	2.270.508
Σύνολο	739.818	1.407.1596	67.535.633

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα, το συνολικό εμβαδό των αποθέσεων ανέρχεται περίπου σε **739.818 στέμματα** ενώ ο συνολικός όγκος σε **67.535.633 m³**. Επιπλέον, με κατάλληλη επεξεργασία υπολογίζεται το υψόμετρο της κάθε υποπεριοχής (Πίνακας 7.2).

Πίνακας 7.2: Στοιχεία αποθέσεων σχετικά με το υψόμετρο

Αποθέσεις	Υψόμετρο (m)				
	Μέγιστο	Ελάχιστο	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση (m)	Υψομετρική διαφορά
Υποπεριοχή 1	569	521	546,14	14,95	48
Υποπεριοχή 2	571	518	544,37	15,52	53
Υποπεριοχή 3	571	406	489,24	48,49	165
Υποπεριοχή 4	571	377	487	63	194
Υποπεριοχή 5	603	439	518	48,54	164
Υποπεριοχή 6	602	458	536	46,09	144
Υποπεριοχή 7	596	499	572	26,81	97
Υποπεριοχή 8	627	539	578	25,12	88

Οι αποθέσεις συνεπώς, όπως προκύπτει και από τα στοιχεία τα οποία παρατίθενται στον Πίνακα 7.2, βρίσκονται σε υψόμετρο από **+603** έως **+377**. Η μέγιστη υψομετρική διαφορά παρατηρείται στην **Υποπεριοχή 4** και είναι **194 m**, ενώ η ελάχιστη στην **Υποπεριοχή 1** και είναι **48 m**. Τέλος, η περιοχή των αποθέσεων αποτυπώνεται στην **Εικόνα 7.10** με κριτήριο το υψόμετρο.



Εικόνα 7.10: Απεικόνιση αποθέσεων σύμφωνα με το υψόμετρο (κλίμακα 1:10000)

7.4 Ανάλυση εδαφικού υλικού

7.4.1 Δειγματοληψία εδαφικού υλικού

Δείγματα εδάφους ελήφθησαν από την περιοχή των αποθέσεων, προκειμένου να υπολογιστεί η κατά βάρος περιεκτικότητα σε αμίαντο καθώς και η κοκκομετρία του υλικού.

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από έντονη ανομοιομορφία σε ότι αφορά την κοκκομετρία του υλικού στην κορυφή και τη βάση. Για αυτό τον λόγο επιλέγεται η λήψη διαφορετικού δείγματος από την κορυφή και τη βάση των αποθέσεων. (Ως κορυφή των αποθέσεων ορίζεται το τμήμα της περιοχής το οποίο βρίσκεται σε υψηλότερο υψόμετρο (**Εικόνα 7.11α**), ενώ ως βάση αυτό όπου βρίσκεται στο κατώτερο υψόμετρο και σε κεκλιμένο επίπεδο (**Εικόνα 7.11β**)).

Επιπλέον, μέρος των αποθέσεων (Παλιές αποθέσεις) έχει καλυφθεί επιφανειακά με φυτική γη (κορυφή των παλιών αποθέσεων) και εν μέρει έχει αποκατασταθεί. Η φυτική γη, εικάζεται ότι προήλθε από την εκσκαφή στην περιοχή του μεταλλείου για την εύρεση του κοιτάσματος. Σε αυτή την περιοχή λειτουργούσε στο παρελθόν το παλιό εργοστάσιο. Αν και έχει δενδροφυτευθεί η περιοχή, παρόλα αυτά βρίσκεται διασκορπισμένο αμιαντούχο υλικό και συνεπώς ενδέχεται να επιβάλλεται η εκ νέου αποκατάστασή της. Συνεπώς, για τους παραπάνω λόγους συλλέγεται επιφανειακό υλικό από την κορυφή και τη βάση των παλιών αποθέσεων προς εξέταση για αμίαντο.



α



β



γ



δ

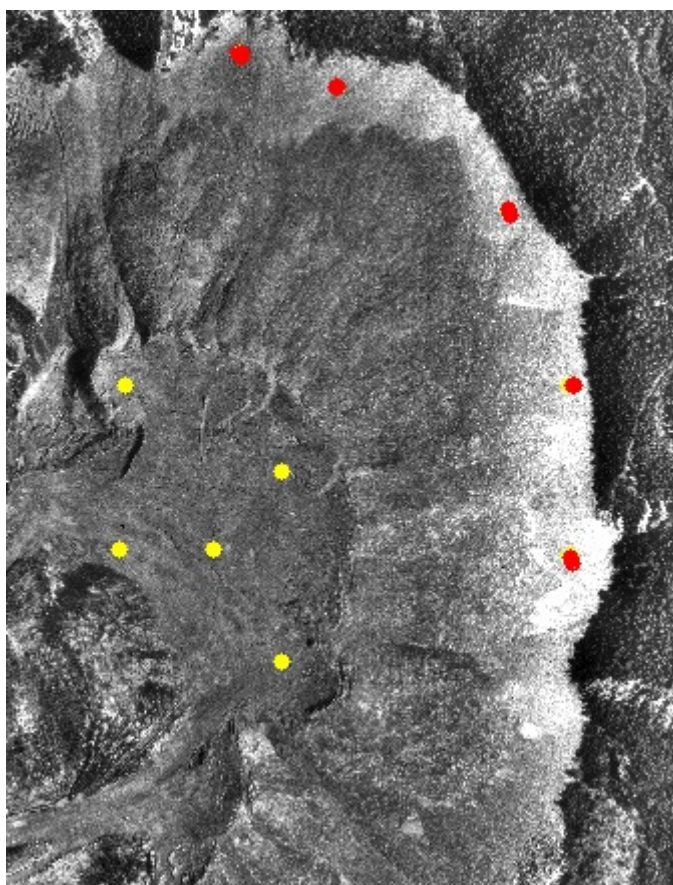
Εικόνα 7.11: α) Κορυφή αποθέσεων β) βάση αποθέσεων
γ) Δενδροφύτευση μέρους των παλιών αποθέσεων δ) Παλιό εργοστάσιο

Για τον τρόπο και τη συλλογή της απαιτούμενης ποσότητας δείγματος λαμβάνονται υπόψη, η μορφολογία του εδάφους και η έκταση της εξεταζόμενης περιοχής και τηρείται πρότυπη μεθοδολογία ανάλογα με το είδος του υλικού προς δειγματοληψία (εδαφικό υλικό, μπάζα, σωροί κλπ). Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί ότι, εξαιτίας της ανομοιομορφίας του εδαφικού υλικού (το εύρος της κοκκομετρίας έπειτα από οπτική παρατήρηση κυμαίνεται από λεπτόκοκκο υλικό έως β

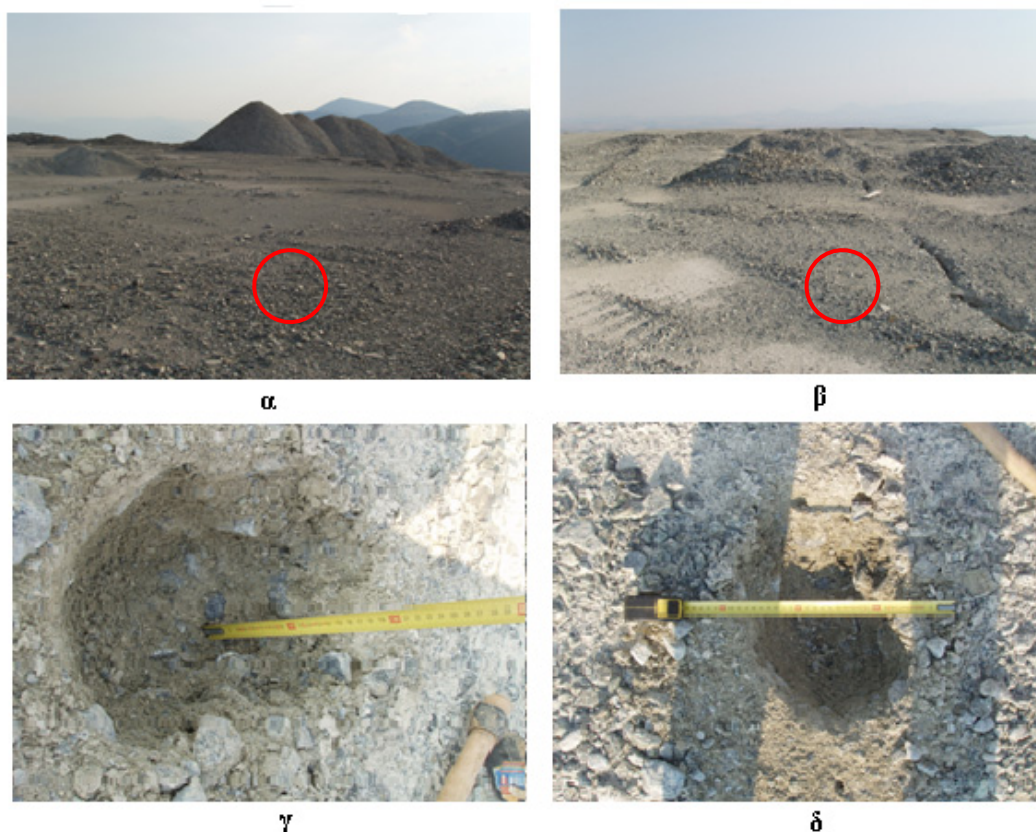
ράχους), επιλέχθηκε η δειγματοληψία από σημεία που μπορούν να παρασυρθούν σχετικά εύκολα κατά τη βροχόπτωση και την επιφανειακή απορροή.

Για τη συλλογή ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος, πραγματοποιείται τυχαία δειγματοληψία από 5 σημεία (Υποπεριοχή 5) (**Εικόνα 7.12 και Εικόνα 7.13 α-β**). Από το κάθε σημείο λαμβάνετε εδαφικό υλικό προερχόμενο από λάκκο με διαστάσεις 20X20X17 cm (Πλάτος X Μήκος X Βάθος), όπου το βάρος του ανέρχεται σε 6-7 kg (**Εικόνα 7.13 γ-δ**). Το δείγμα αποτίθεται σε μια εντελώς καθαρή επιφάνεια (π.χ. λαμαρίνα, καραβόπανο) και ομογενοποιείται με πολλαπλό ανακάτεμα των τεμαχίων ή

κόκκων του. Στη συνέχεια διαμορφώνεται η μάζα του δείγματος πρώτα σε μορφή κώνου, μετά σε μορφή κόλουρου κώνου και κατόπιν το τεταρτοδιαίρεται. Στην συνέχεια λαμβάνονται τα δύο απέναντι μεταξύ των τεταρτημόρια και απορρίπτονται τα άλλα δύο. Το υλικό που μένει θραύεται σε μικρότερα τεμάχια και επαναλαμβάνεται η τεταρτοδιαίρεση. Η τεταρτοδιαίρεση και η θραύση επαναλαμβάνεται τόσες φορές έως ότου απομείνει η ποσότητα που είναι απαραίτητη για την κοκκομετρία και τον προσδιορισμό σε αμίαντο. Το δείγμα φυλάσσεται στη συνέχεια σε κατάλληλους σάκους ή δοχεία (σακούλες από πολυαιθυλένιο).



Εικόνα 7.12: Σημεία δειγματοληψίας ● Κορυφή αποθέσεων ● Βάση αποθέσεων



Εικόνα 7.13: α-β) Επιλογή τυχαίων σημείων δειγματοληψίας γ-δ) Λήψη εδαφικού υλικού

Συνολικά συλλέγεται ποσότητα από τα 5 σημεία, βάρους περίπου 40-50 kg και με τη διαδικασία που αναφέρεται παραπάνω λαμβάνεται στερεό δείγμα βάρους 20 kg. Το δείγμα των αποθέσεων ελήφθη στις 25 Ιουλίου 2006 ενώ αυτό των παλιών αποθέσεων στις 28 Μαρτίου 2007.

7.4.2 Κοκκομετρία

Στα δείγματα εδάφους έλαβε χώρα κοκκομετρική ανάλυση. Κάθε δείγμα, περιέχει χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα υλικά, για αυτό το λόγο αρχικά κοσκινίζεται χειροκίνητα και στη συνέχεια ένα μέρος του μικρότερου κλάσματος της χειροκίνητης κοσκίνησης μεταφέρεται σε δονούμενο κόσκινο (Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Εργαστήριο Εμπλουτισμού).

Ο εργαστηριακός δονητής κόσκινων είναι τύπου RETSCH VE 1000. Τα κυριότερα μέρη από τα οποία αποτελείται είναι (**Εικόνα 7.14**).

- ✓ Ένα σύστημα χρονομέτρησης, το οποίο επιτρέπει κοσκίνιση από 1 έως 99 λεπτά διακοπτόμενης ή συνεχούς λειτουργίας.
- ✓ Ένα σύστημα δόνησης, το οποίο παρέχει δυνατότητα ρύθμισης του εύρους δόνησης από 0 έως 3 mm και
- ✓ Ένα σύνολο εξαρτημάτων, τα οποία συγκροτούν τα κόσκινα το ένα κάτω από το άλλο.



Εικόνα 7.14: Εργαστηριακός δονητής κόσκινων

Για τη χειροκίνητη και τη μηχανική κοσκίνιση χρησιμοποιούνται τυποποιημένα κόσκινα ASTM (RETCH, 5657 Haan W.Germany) διαμέτρου **26,5, 13,2, 6,70 mm** και **3,35, 1,70, 0,85, 0,425, 0,212, 0,090 mm**, αντίστοιχα.

Αρχικά, κοσκινίζεται χειροκίνητα, 16,42 kg και 17,02 kg και 15,48 kg και 16,31 kg εδαφικού υλικού προερχόμενο από τη βάση και την κορυφή των αποθέσεων και των παλιών αποθέσεων, αντίστοιχα. Μέρος της ποσότητας του κατώτερου κλάσματος ($d < 6,70 \text{ mm}$) της χειροκίνητης κοσκίνησης (462,9 και 371,9 και 394,2 και 647,5 από τη βάση και την κορυφή των αποθέσεων και των παλιών αποθέσεων, αντίστοιχα) μεταφέρεται στον εργαστηριακό δονητή κοσκίνων (χρόνος λειτουργίας 10 min, πλάτος ταλάντωσης (amplitude) 0,66-072 mm). Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης των δύο δειγμάτων εδαφικού υλικού παρουσιάζονται στους **Πίνακες 7.3, 7.4, 7.5 και 7.6**.

Πίνακας 7.3: Κοκκομετρική κατανομή εδαφικού υλικού βάσης αποθέσεων

Κοσκίνηση	Κλάσμα (mm)	Βάρος (g)	Ποσοστό κλάσματος 100% (w/w)	Αθροιστικό ποσοστό κλάσματος* %
Χειροκίνητη	d> 26,5	4.420	26,92	0,63
	26,5>d> 13,2	4.700	28,62	1,94
	13,2>d> 6,70	2.600	15,83	3,60
Μηχανική	6,70>d> 3,35	1.426,55	8,69	6,67
	3,35>d> 1,70	1.394,06	8,49	11,45
	1,70>d> 0,85	783,84	4,77	19,94
	0,85>d> 0,425	504,62	3,07	28,62
	0,425>d> 0,212	273,13	1,66	44,46
	0,212>d> 0,090	214,24	1,30	73,08
	0,090>d	103,56	0,63	100,00
Σύνολο		16.420	100	

Πίνακας 7.4: Κοκκομετρική κατανομή εδαφικού υλικού κορυφής αποθέσεων

Κοσκίνηση	Κλάσμα (mm)	Βάρος (g)	Ποσοστό κλάσματος 100% (w/w)	Αθροιστικό ποσοστό κλάσματος* %
Χειροκίνητη	d> 26,5	6.250	36,72	1,22
	26,5>d> 13,2	3.220	18,92	5,04
	13,2>d> 6,70	1.550	9,11	11,05
Μηχανική	6,70>d> 3,35	976,07	5,73	17,49
	3,35>d> 1,70	880,88	5,18	24,34
	1,70>d> 0,85	1.166,44	6,85	29,52
	0,85>d> 0,425	1.095,46	6,44	35,25
	0,425>d> 0,212	1.022,86	6,01	44,36
	0,212>d> 0,090	650,17	3,82	63,28
	0,090>d	208,12	1,22	100,00
Σύνολο		17.020,00	100,00	

Πίνακας 7.5: Κοκκομετρική κατανομή εδαφικού υλικού βάσης των παλιών αποθέσεων

Κοσκίνηση	Κλάσμα (mm)	Βάρος (g)	Ποσοστό κλάσματος 100% (w/w)	Αθροιστικό ποσοστό κλάσματος* %
Χειροκίνητη	d> 26,5	4.700	28,82	0,91
	26,5>d> 13,2	2.720	16,68	3,71
	13,2>d> 6,70	2.190	13,43	9,67
Μηχανική	6,70>d> 3,35	1.292,40	7,92	17,34
	3,35>d> 1,70	1.257,22	7,71	25,45
	1,70>d> 0,85	1.322,41	8,11	33,16
	0,85>d> 0,425	1.249,98	7,66	41,08
	0,425>d> 0,212	973,70	5,97	54,51
	0,212>d> 0,090	456,32	2,80	71,18
	0,090>d	147,97	0,91	100,00
Σύνολο		1.6310,00	100,00	

**Το αθροιστικό ποσοστό κλάσματος υπολογίζεται από το μικρότερο κλάσμα προς το μεγαλύτερο*

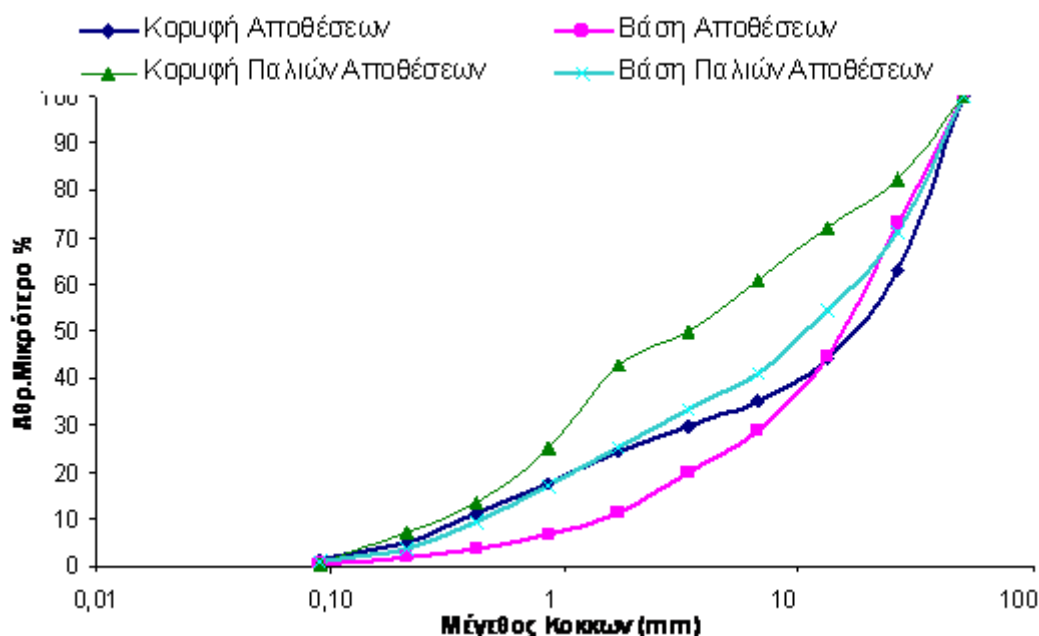
Πίνακας 7.6: Κοκκομετρική κατανομή εδαφικού υλικού κορυφής των παλιών αποθέσεων

Κοσκίνηση	Κλάσμα (mm)	Βάρος (g)	Ποσοστό κλάσματος 100% (w/w)	Αθροιστικό ποσοστό κλάσματος* %
Χειροκίνητη	d> 26,5	2.750	17,76	0,47
	26,5>d> 13,2	1.540	9,95	7,05
	13,2>d> 6,70	1.750	11,30	13,37
Μηχανική	6,70>d> 3,35	1.723	11,13	25,11
	3,35>d> 1,70	1.122,16	7,25	42,61
	1,70>d> 0,85	2.710,42	17,51	49,86
	0,85>d> 0,425	1.817,39	11,74	60,99
	0,425>d> 0,212	979,20	6,32	72,29
	0,212>d> 0,090	1.018,37	6,58	82,24
	0,090>d	72,46	0,47	100,00
Σύνολο		15.483,00	100,00	

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 7.1**, και τα συμπεράσματα είναι τα παρακάτω:

1. Το μεγαλύτερο ποσοστό του εδαφικού υλικού και των δύο εξεταζόμενων δειγμάτων είναι χονδρόκοκκο, με εξαίρεση την κορυφή των αποθέσεων (χαλίκια και κροκάλες διαμέτρου έως και 80 mm περίπου).
2. Το χονδρόκοκκο υλικό είναι **71,37% και 64,79% (d>6,70 mm)** στη βάση και στην κορυφή των αποθέσεων, ενώ για τις παλιές αποθέσεις είναι **58,93% και 39,01%**, αντίστοιχα. Συνεπώς προκύπτουν τα ακόλουθα:

- ✓ Το κλάσμα του χονδρόκοκκου υλικού είναι μεγαλύτερο στις νέες αποθέσεις από ότι στις παλιές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι παλιές αποθέσεις έχουν επιχωματωθεί με φυτική γη, κυρίως η κορυφή τους.
- ✓ Το ποσοστό των λεπτόκοκκων υλικών ($d < 6,70 \text{ mm}$) είναι μεγαλύτερο στη βάση των αποθέσεων, και ενδεχομένως αυτό οφείλεται σε φυσικά φαινόμενα (κατακρήμνιση εδάφους, κατολισθήσεις, επιφανειακή απορροή και στερεοαπορροή). Σε αντίθεση, στις παλιές αποθέσεις το λεπτόκοκκο κλάσμα είναι μεγαλύτερο στην κορυφή.



Διάγραμμα 7.1: Κοκκομετρική αθροιστική καμπύλη του εδαφικού υλικού της βάσης και της κορυφής των αποθέσεων και των παλιών αποθέσεων

7.4.3 Προσδιορισμός ινών αμιάντου

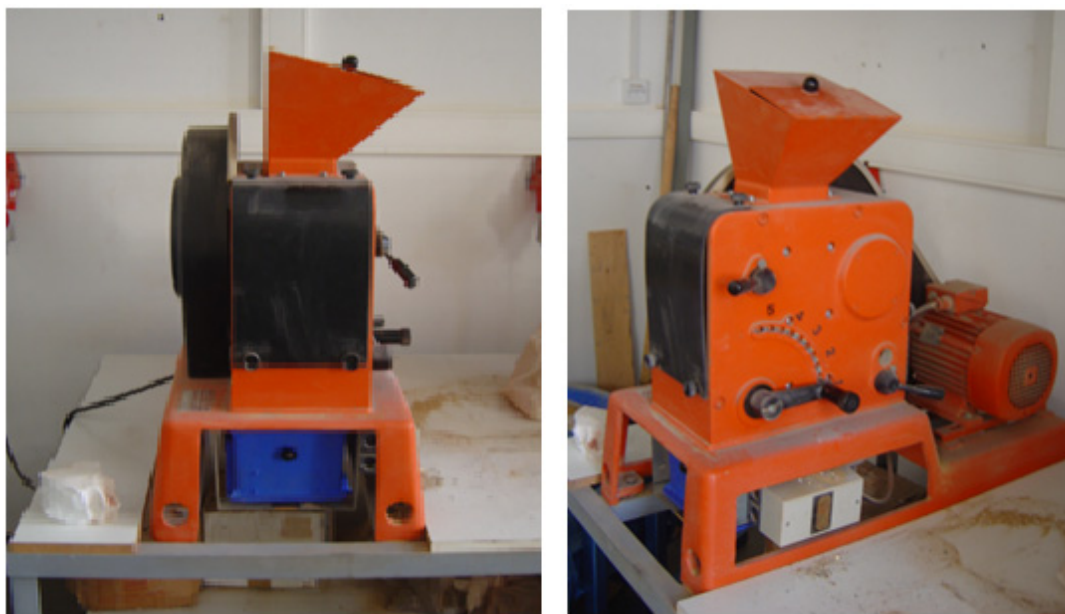
Τα κλάσματα των δειγμάτων εδαφικού υλικού των αποθέσεων και των παλιών αποθέσεων μελετώνται για τον προσδιορισμό του καθαρού ποσοστού κατά βάρος των ινών αμιάντου με τη χρήση οπτικών μεθόδων. Προτού όμως εφαρμοστεί οποιαδήποτε οπτική μέθοδος, απαιτείται η ανάλογη προετοιμασία των δειγμάτων και συγκεκριμένα θραύση και λειοτρίβηση των επιμέρους κλασμάτων.

7.4.3.1 Προετοιμασία δείγματος

Τα μεγαλύτερα κλάσματα θραύονται με τη βοήθεια σιαγονωτού θραυστήρα (Jaw crusher). Ο θραυστήρας με σιαγόνες είναι τύπου FRITSCH pulverisette 1 (Type 01.703, No 1888, 380/220 volt, 2.2 KW). Το εσωτερικό του τμήμα είναι κατασκευασμένο από σιδηρόκραμα Ni-Cr (**Εικόνα 7.15**).

Αποτελείται από μια ακίνητη επιφάνεια, σχεδόν κατακόρυφη, απέναντι στην οποία βρίσκεται μια δεύτερη, κινητή επιφάνεια υπό γωνία. Η κίνηση της δεύτερης επιφάνειας συνθλίβει τα σώματα που βρίσκονται μεταξύ των δύο επιφανειών, που ενεργούν σαν είδος σιαγόνων.

Το άνοιγμα στο πάνω μέρος των σιαγόνων καθορίζει το μέγεθος των τεμαχίων της τροφοδοσίας, ενώ το άνοιγμα στο κάτω μέρος καθορίζει το μέγεθος του προϊόντος που δεν είναι σταθερό. Ο θραυστήρας τύπου FRITSCH pulverisette 1 διαθέτει πέντε θέσεις που αντιστοιχούν σε πέντε διαφορετικά ανοίγματα αποκένωσης.

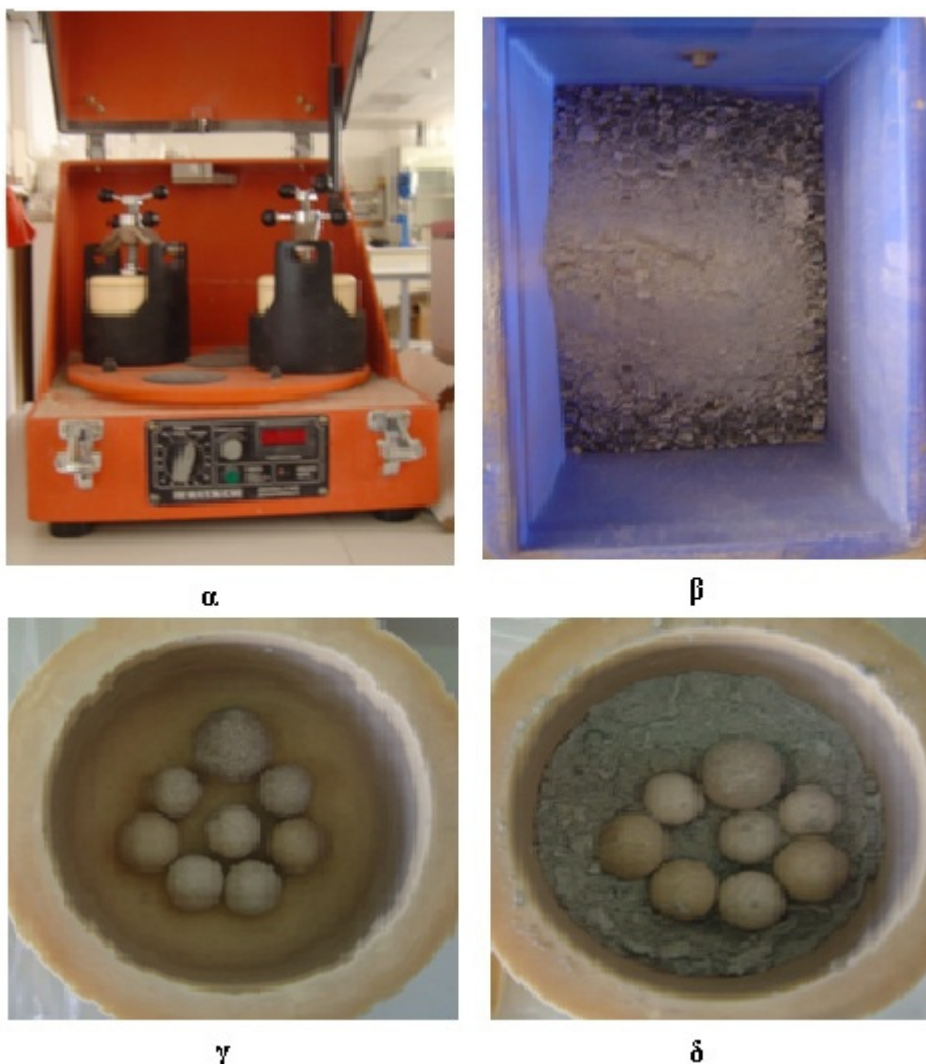


Εικόνα 7.15: Σιαγονωτος θραυστήρας τύπου FRITSCH pulverisette 1

Έπειτα τη θράυση των χονδρόκοκκων κλασμάτων (**Εικόνα 7.16β**) πραγματοποιείται η λειοτρίβηση τους. Το δείγμα λειοτριβείται δια πτώσεως και κυλίσεως των μέσων λειοτρίβησης που περιέχουν (σφαιρίδια). Αποτελούνται από ένα κυλινδρικό κέλυφος που στηρίζεται στα δύο άκρα και περιστρέφεται περί τον άξονά του. Οι κυριότερες δυνάμεις που ασκούνται επί των κόκκων του μεταλλεύματος είναι

οι δυνάμεις κρούσης, από την ελεύθερη πτώση των σφαιρών και από την τριβή, που δημιουργείται με την κύλιση των μεταξύ των σφαιριδίων. Ο σφαιρόμυλος είναι τύπου FRITSCH planetary mill pulverisette 5 και διαθέτει δύο θέσεις για την τοποθέτηση του κυλινδρικού κελύφους, χρονοδιακόπτη και μοχλό ρύθμισης της ταχύτητας περιστροφής (στροφές/min).

Μικρή ποσότητα από το κάθε κλάσμα του εδαφικού υλικού (περίπου 200 g) τοποθετείται στο ειδικό δοχείο μαζί με 8 μεταλλικά σφαιρίδια (2 και 6 σφαιρίδια διαμέτρου 18 και 12 mm, αντίστοιχα) (**Εικόνα 7.16γ**). Έπειτα, σφραγίζεται και τοποθετείται στον σφαιρόμυλο (**Εικόνα 7.16α**) για 15 min περίπου με ταχύτητα περιστροφής 180 στροφές /min. Μετά το πέρας της διαδικασίας (**Εικόνα 7.16δ**), το υλικό συλλέγεται και τοποθετείται σε μικρές σακούλες από PE.



Εικόνα 7.16: α) Προετοιμασία σφαιρόμυλου β) Υλικό μετά τη θραύση και πρίν τη λειοτρίβηση γ) Ειδικό δοχείο λειοτρίβησης και σφαιρίδια δ) Υλικό μετά το τέλος της διαδικασίας λειοτρίβησης

7.4.3.2 Υπολογισμός ινών αμιάντου

Μικρή ποσότητα από τα κλάσματα του εδαφικού υλικού (15-20 g) εξετάζεται με την πρότυπη μέθοδο προσδιορισμού ινών αμιάντου σε δείγμα εδαφικού υλικού της O.S.H.A. (PLM Inorganic 191). Η διαδικασία περιγράφεται λεπτομερώς στο **Κεφάλαιο 4** (παρ. 4.4.2).

Το δείγμα, αφού προετοιμαστεί κατάλληλα, εξετάζεται αρχικά με πολωτικό μικροσκόπιο (PLM) και τέλος για επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων μέρος του συνόλου των δειγμάτων με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). Οι αναλύσεις διεξάγονται σε πιστοποιημένο εξειδικευμένο εργαστήριο στη Γερμανία (Wartig Nord Analytik GmbH), αφού η φύση της μεθόδου (οπτική παρατήρηση δείγματος) απαιτεί την

εξέτασή του από εξειδικευμένο επιστημονικό προσωπικό με πολυετή πείρα στον αμίαντο και γνώσεις ορυκτολογίας και πετρογραφίας.

Το τελικό ποσοστό αμιάντου προκύπτει έπειτα από σύγκριση του κάθε δείγματος με πρότυπα δείγματα γνωστής περιεκτικότητας. Τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον **Πίνακα 7.5**. Σε όλα τα κλάσματα ανιχνεύθηκε χρυσотиλικός αμίαντος.

Τα ποσοστά για κάθε κλάσμα ανάγονται σε ποσοστά κατά βάρος με τη χρήση των αποτελεσμάτων της κοκκομετρίας. Συνεπώς στο κλάσμα **26,5>d> 13,2 mm** του δείγματος της βάσης των αποθέσεων βρέθηκε ότι η περιεκτικότητα σε αμίαντο είναι **15-20%**. Όμως, το κλάσμα αυτό αποτελεί το **28,6%** του βάρους του αρχικού δείγματος. Συνεπώς, προκύπτει ότι το καθαρό ποσοστό σε αμίαντο για το συγκεκριμένο κλάσμα είναι περίπου **4,0-5,4 %**.

Διαπιστώνεται ότι το καθαρό ποσοστό αμιάντου τόσο στο δείγμα εδαφικού υλικού από την κορυφή των αποθέσεων όσο και από τη βάση κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα. Συγκεκριμένα, στη βάση ο αμίαντος είναι **20,0-22,5 % (w/w)**, ενώ στην κορυφή **20,1-23,0 % (w/w)** (η μέση τιμή για όλη την περιοχή είναι **20,0- 22,7 % (w/w)**).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

Πίνακας 7.5: Περιεκτικότητα ινών αμιάντου εδαφικού υλικού αποθέσεων

Περιεκτικότητα σε αμίαντο %			Ποσοστό βάρους %	Περιεκτικότητα εδαφικού υλικού σε καθαρό αμίαντο %	
Κλάσμα (mm)	Μέγιστο	Ελάχιστο		Μέγιστο	Ελάχιστο
ΒΑΣΗ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ					
d> 26,5	15	20	26,9	4,035	5,38
26,5>d> 13,2	20	20	28,6	5,72	5,72
13,2>d> 6,70	20	20	15,8	3,16	3,16
6,70>d> 3,35	15	20	8,7	1,305	1,74
3,35>d> 1,70	20	20	8,5	1,7	1,7
1,70>d> 0,85	20	20	4,8	0,96	0,96
0,85>d> 0,425	50	60	3,1	1,55	1,86
0,425>d> 0,212	50	60	1,7	0,85	1,02
0,212>d> 0,090	50	60	1,3	0,65	0,78
0,090>d	15	20	0,6	0,09	0,12
			Σύνολο	20,02	22,44
ΚΟΡΥΦΗ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ					
d> 26,5	15	20	36,7	5,505	7,34
26,5>d> 13,2	15	20	18,9	2,835	3,78
13,2>d> 6,70	15	20	9,1	1,365	1,82
6,70>d> 3,35	15	20	5,7	0,855	1,14
3,35>d> 1,70	20	20	5,2	1,04	1,04
1,70>d> 0,85	20	20	6,9	1,38	1,38
0,85>d> 0,425	50	60	6,4	3,2	3,84
0,425>d> 0,212	50	60	6,0	3	3,6
0,212>d> 0,090	20	20	3,8	0,76	0,76
0,090>d	15	20	1,2	0,18	0,24
			Σύνολο	20,12	24,94

Για τον προσδιορισμό των ινών αμιάντου στα κλάσματα των δειγμάτων των παλιών αποθέσεων ακολουθείται διαφορετική μεθοδολογία. Τα κλάσματα των δειγμάτων των παλιών αποθέσεων ομαδοποιούνται με κριτήριο την κοκκομετρία καθώς και την πιθανότητα παράσυρσής τους εξαιτίας της επιφανειακής απορροής. Τέσσερα δείγματα προς ανάλυση αμιάντου προκύπτουν από τα χονδρόκοκκα (**d>6,70 mm**) και τα λεπτόκοκκα κλάσματα της κορυφής και της βάσης των παλιών αποθέσεων. Η μέθοδος προσδιορισμού των ινών αμιάντου είναι ίδια με αυτή των κλασμάτων των αποθέσεων. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον **Πίνακα 7.6**. Σε όλα τα κλάσματα ανιχνεύθηκε χρυσοτιλικός αμιάντος.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και την κατάλληλη επεξεργασία προκύπτει ότι το καθαρό ποσοστό αμιάντου τόσο στο δείγμα εδαφικού υλικού από την κορυφή των παλιών αποθέσεων όσο και από τη βάση κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα. Συγκεκριμένα, στη βάση ο αμιάντος είναι **36,5-56,5 % (w/w)**, ενώ στην κορυφή **16,0-23,0 % (w/w)**.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο δειγμάτων και λαμβάνοντας υπόψη την κοκκομετρία τους, προκύπτει ότι το εδαφικό υλικό κοκκομετρίας μικρότερης από 26,5 mm, το οποίο αποτελεί το **73,1% και 63,3%** του συνολικού βάρους του εδάφους της βάσης και της κορυφής των αποθέσεων, περιέχει καθαρό αμιάντο σε ποσοστό **15,9-17,1 % και 14,6-17,6%**, αντίστοιχα. Στην περίπτωση των παλιών αποθέσεων του εδαφικού υλικού κοκκομετρίας μικρότερης από 26,5 mm είναι **71,2% και 82,3%** του συνολικού βάρους του εδάφους της βάσης και της κορυφής, περιέχει καθαρό αμιάντο σε ποσοστό **25,9-39,24 % και 13,4-19,44 %**, αντίστοιχα.

Το κλάσμα αυτό (**d<26,5 mm**) είναι πλούσιο σε αμιάντο, και συνιπολογίζοντας τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, μπορεί να διασκορπιστεί στην ευρύτερη περιοχή εξαιτίας φυσικών φαινομένων (κατακρήμνιση, επιφανειακή απορροή, στερεοαπορροή κ.α.).

Πίνακας 7.6: Περιεκτικότητα ινών αμιάντου εδαφικού υλικού παλιών αποθέσεων

Περιεκτικότητα σε αμιάντο %			Ποσοστό βάρους %	Περιεκτικότητα εδαφικού υλικού σε καθαρό αμιάντο %	
Κλάσμα (mm)	Μέγιστο	Ελάχιστο		Μέγιστο	Ελάχιστο
ΒΑΣΗ ΠΑΛΙΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ					
d> 26,5	40	60	28,82	11,53	17,29
26,5>d> 13,2			16,68		
13,2>d> 6,70	40	60	13,43	12,04	18,06
6,70>d> 3,35			7,92		
3,35>d> 1,70	40	60	7,71		
1,70>d> 0,85			8,11	9,50	14,24
0,85>d> 0,425			7,66		
0,425>d> 0,212	20	40	5,97		
0,212>d> 0,090			2,80		
0,090>d			0,91	3,47	6,94
			Σύνολο	36,53	56,53
ΚΟΡΥΦΗ ΠΑΛΙΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ					
d> 26,5	15	20	17,76	2,66	3,55
26,5>d> 13,2			9,95		
13,2>d> 6,70	20	40	11,30	4,25	8,50
6,70>d> 3,35			11,13		
3,35>d> 1,70	15	20	7,25		
1,70>d> 0,85			17,51	5,38	7,18
0,85>d> 0,425			11,74		
0,425>d> 0,212	15	15	6,32		
0,212>d> 0,090			6,58		
0,090>d			0,47	3,77	3,77
			Σύνολο	16,06	22,99

Τέλος, παρατηρείται ότι υπάρχει μεγάλη απόκλιση στα αποτελέσματα της περιεκτικότητας σε αμιάντο των εξεταζόμενων δειγμάτων στη βάση των παλιών και νέων αποθέσεων. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στην ακολουθούμενη μεθοδολογία δειγματοληψίας. Συγκεκριμένα, στη βάση των αποθέσεων, εξαιτίας της ανομοιομορφίας της εξεταζόμενης περιοχής (λεπτόκοκκα υλικά έως βράχοι διαμέτρου 100 cm), επιλέχθηκε η λήψη δείγματος από σημεία με στείρο εδαφικό υλικό προερχόμενο από θραύση σε σπαστήρα κατά τη διάρκεια εξόρυξης στο μεταλλείο. Συνεπώς, το μεγαλύτερο ποσοστό αμιάντου είχε απομακρυνθεί και το υπόλειμμα εναποτέθηκε στην περιοχή των αποθέσεων. Αντίθετα, στις παλιές αποθέσεις ελήφθη δείγμα από τυχαία σημεία, με αποτέλεσμα, κατά την προετοιμασία του δείγματος για τον προσδιορισμό των ινών αμιάντου, κατά τη διάρκεια θραύσης των χονδρόκοκκων κλασμάτων να εξάγονται πλέγματα ινών αμιάντου, διαστάσεων 2X3 cm (πλάτος X μήκος), ορατά με γυμνό οφθαλμό.

7.5 Δεύτερο Μερικό Συμπέρασμα

Χρήσιμα συμπεράσματα εξάγονται από τις εργασίες στο πεδίο (περιοχή αποθέσεων), καθώς και από την επεξεργασία των στοιχείων για την περιοχή των αποθέσεων (ορθοφωτοχάρτης και ψηφιακό υπόβαθρο).

Οι αποθέσεις εκτιμάται ότι καταλαμβάνουν συνολικά μια έκταση περίπου **740 στρεμμάτων**, ενώ ο όγκος τους ανέρχεται σε **68.000.000 m³**. Σε δείγματα εδάφους που ελήφθησαν από την περιοχή των αποθέσεων διαπιστώθηκε ότι υπάρχει ανομοιομορφία στην κοκκομετρική κατανομή του εδάφους στην κορυφή και στη βάση των αποθέσεων. Συγκεκριμένα το **χονδρόκοκκο υλικό (d<6,70 mm)** είναι **71,4% και 64,8%** στη βάση και στην κορυφή των αποθέσεων, ενώ για τις παλιές αποθέσεις είναι **58,9% και 39,0%** αντίστοιχα

Μέρος του δείγματος χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να προσδιοριστεί η περιεκτικότητα σε καθαρό αμιάντο. Οι αναλύσεις διεξήχθησαν σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο της O.S.H.A. (PLM Inorganic 191), όπου βρέθηκε ότι στις αποθέσεις, στη βάση ο αμιάντος ανέρχεται σε **20,0-22,4 % (w/w)**, ενώ στην κορυφή σε **20,1-22,9 % (w/w)** και **36,5-56,5% (w/w)** και **16,1-23,0 % (w/w)** αντίστοιχα στις παλιές αποθέσεις.

Οι πραγματικές διαστάσεις του προβλήματος προκύπτουν από τον υπολογισμό του καθαρού αμιάντου στην περιοχή. Ο όγκος των αποθέσεων όμως, όπως προέκυψε από την επεξεργασία στοιχείων με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού προγράμματος, ανέρχεται σε **67.535.636 m³**. Συνεπώς ο καθαρός αμιάντος στην περιοχή (χρήση αποτελεσμάτων αποθέσεων περιεκτικότητας σε αμιάντο) ανέρχεται σε **14.337.815,52-14.540.422,52 τόνους** (θεωρείται ότι η πυκνότητα του εδάφους είναι 1g/mL).

Σε ότι αφορά στις παλιές αποθέσεις διαπιστώνεται ότι, αν και στην επιφάνεια (κορυφή) έχει πραγματοποιηθεί στο παρελθόν μερική αποκατάσταση με κάλυψη με φυτική γη και δενδροφύτευση, η περιεκτικότητα σε αμιάντο κυμαίνεται σε σχετικά υψηλά επίπεδα (**Εικόνα 7.11**). Συνεπώς, η περιοχή των παλιών αποθέσεων θα πρέπει να συμπεριληφθεί στο πρόγραμμα αποκατάστασης.

*Τέλος, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, οι αποθέσεις βρίσκονται πολύ κοντά στον Αλιάκμονα και στη λίμνη Πολυφύτου. Συνεπώς, παρουσιάζει ενδιαφέρον να εξεταστεί κατά πόσον ο Αλιάκμονας σήμερα και μετά τη διακοπή λειτουργίας του μεταλλείου, συνεχίζει να ρυπαίνεται από το μεταλλείο και τις αποθέσεις εμφανίζοντας υψηλές συγκεντρώσεις ινών αμιάντου (**Κεφάλαιο 6**).*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΛΙΑΚΜΟΝΑΣ ΚΑΙ ΑΜΙΑΝΤΟΣ**8.1 Εισαγωγή**

Ο Αλιάκμονας, ο οποίος εκβάλλει στην τεχνητή λίμνη Πολυφύτου, βρίσκεται Βόρεια των εγκαταστάσεων του μεταλλείου σε απόσταση ενός χιλιομέτρου. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του μεταλλείου διεξαγόταν δειγματοληψίες αέρα και ύδατος τόσο εντός αυτού όσο και στην ευρύτερη περιοχή, προκειμένου να διαπιστωθεί η έκταση της ρύπανσης (**Κεφάλαιο 6 παρ. 6.6**). Ωστόσο, μετά τη διακοπή λειτουργίας των ΜΑΒΕ (2000), έπαψε πλέον να ελέγχεται η ρύπανση, με εξαίρεση μελέτες που διεξήχθησαν με την πρωτοβουλία δημόσιων φορέων (Πολυτεχνείο Κρήτης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης κ.α.) για επιστημονικούς λόγους.

Ωστόσο, όπως αναφέρεται και στο Θεωρητικό Μέρος σε αντίστοιχες περιπτώσεις ανενεργών αμιαντούχων μεταλλείων, τα επίπεδα ρύπανσης μειώθηκαν ή παρέμειναν στάσιμα και σε ορισμένες περιπτώσεις σε υψηλότερα επίπεδα από τα επιτρεπτά. Συνεπώς για να καθοριστεί η ρύπανση πρέπει να διεξαχθούν δειγματοληψίες ύδατος σε διάφορα σημεία κατά μήκος του Αλιάκμονα και της λίμνης Πολυφύτου προκειμένου να προσδιοριστεί εάν ακόμα και σήμερα ο ποταμός συνεχίζει να ρυπαίνεται και σε τι βαθμό.

8.2 Αλιάκμονας και λίμνη Πολυφύτου

Το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας περιλαμβάνει το δυτικό τμήμα του γεωγραφικού διαμερίσματος Μακεδονίας και η συνολική του έκταση είναι 13.441 km². Ο Νομός Κοζάνης είναι ο μεγαλύτερος της Δυτικής Μακεδονίας με έκταση 3.515,9 km² [65].

Η συνολική σημερινή ζήτηση νερού για καταναλωτικές χρήσεις εκτιμάται ως άθροισμα των ζητήσεων των επιμέρους χρήσεων. Η εκτίμηση παρουσιάζεται στον **Πίνακα 8.1** και παρουσιάζεται ως μέση ετήσια τιμή και ως μέση τιμή του Ιουλίου [66].

Πίνακας 8.1: Συνολική σημερινή ζήτηση νερού στο υδατικό διαμέριμα Δυτικής Μακεδονίας για καταναλωτικές χρήσεις (hm³) [65]

Χρήση	Ετήσια βάση	Ιούλιος
Άρδευση	609,4	128,5
Υδρευση	43,7	4,4
Βιομηχανία	30,0	2,5
Κτηνοτροφία	7,9	0,8
Ενέργεια	80	7,0
Σύνολο	771,0	143,2

Ο κύριος υδατικός πόρος του διαμερίσματος είναι ο ποταμός Αλιάκμονας, ο οποίος χρησιμοποιείται για την άρδευση της ευρύτερης περιοχής και την ύδρευση της Θεσσαλονίκης.

Ο Αλιάκμονας χαρακτηρίζεται από ένα πολυσχιδές υδρογραφικό δίκτυο και είναι ο μεγαλύτερος σε μήκος ποταμός σε ελληνικό έδαφος (314 km). Η λεκάνη του εκτείνεται στο δυτικό και νότιο τμήμα του υδατικού διαμερίσματος και ορίζεται βόρεια από τα Όρη Βέρνον και Βέρμιο, δυτικά από τη Βόρεια Πίνδο, νότια από τα Χάσια και τα Καμβούνια, και ανατολικά από τα Πιέρια Όρη.

Στον Αλιάκμονα έχουν κατασκευαστεί τεχνητοί ταμιευτήρες, των οποίων τα κυριότερα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον **Πίνακα 8.2** [65].

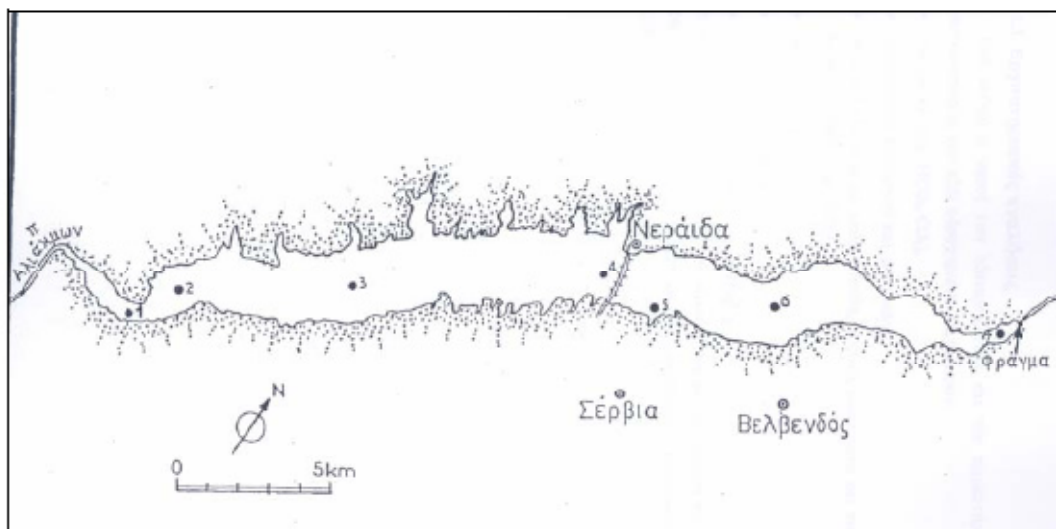
Πίνακας 8.2: Χαρακτηριστικά ταμιευτήρων Αλιάκμονα [65]

	Ιλαρίων	Πολύφυτο	Σφηκιά	Ασώματα	Βαρβάρες
Λεκάνη απορροής (km ²)	5.005	5 800	6.000	6.100	6.150
Επιφάνεια λίμνης (km ²)	21,9	74	4,3	2,6	0,4
Συνολικός όγκος (hm ³)	520	2.200	103	63	1,25
Ωφέλιμος όγκος (hm ³)	412	1.500	16	10	1,25
Ανώτατη στάθμη (m)	403	291	146	85	42

Ο ταμιευτήρας του Πολύφυτου δημιουργήθηκε στο Νομό Κοζάνης το 1973, όταν κατασκευάστηκε το ομώνυμο φράγμα στον ποταμό Αλιάκμονα, με σκοπό την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Έχει μήκος περίπου 30km και εκτείνεται από την περιοχή του Ρύμνιου μέχρι το φράγμα Πολυφύτου (**Εικόνα 8.1**). Το μέγιστο βάθος του έχει μετρηθεί στα 91m και ο μέγιστος όγκος του υπολογίζεται στα 2.200

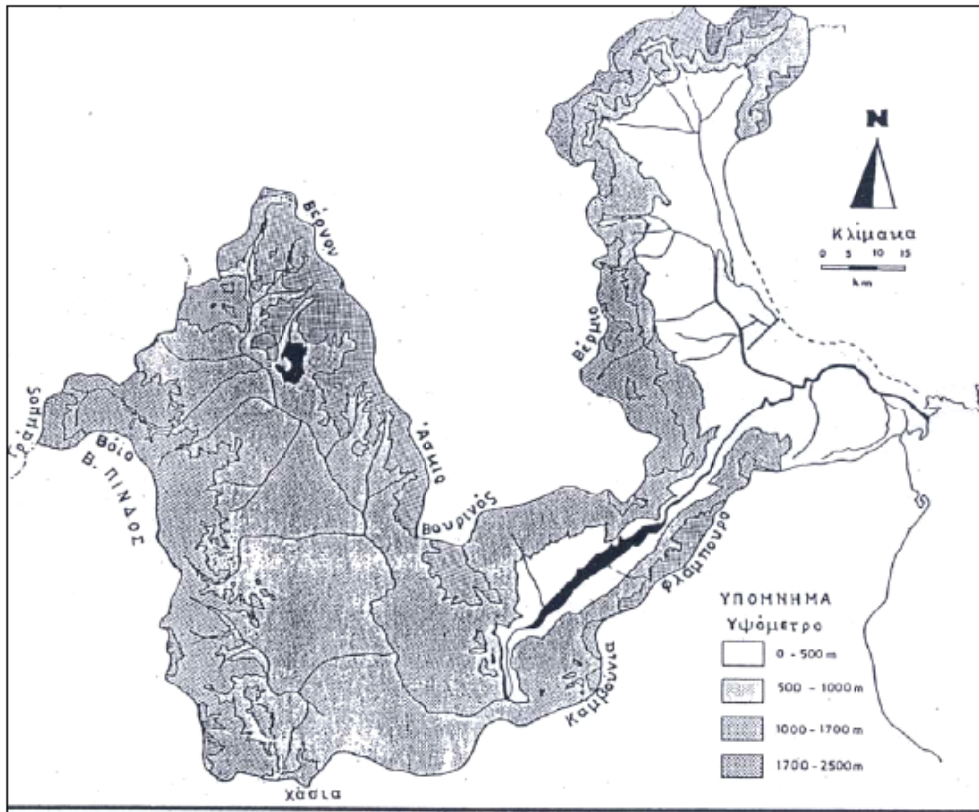
hm³. Ο ταμιευτήρας παρουσιάζει μέγιστη κατακλυζόμενη επιφάνεια περίπου 74 km², στο υψόμετρο +293 m όταν παρατηρείται μέγιστη στάθμη πλημμύρας. Η στάθμη του που μπορεί όμως να φτάσει και μέχρι το υψόμετρο +271m, εξ' αιτίας της λειτουργίας του υδροηλεκτρικού σταθμού και του γενικότερου υδρολογικού καθεστώτος της ευρύτερης περιοχής [65].

Η λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα έχει συνολική έκταση 5.800 km² και παρουσιάζει τοξοειδή σχηματισμό, με σχετικά υψηλό ανάγλυφο. Το ανατολικό τμήμα της λεκάνης οριοθετείται από τις νότιες παρυφές του Βερμίου προς βορρά και από τα Πέρια προς νότο. Κατά μήκος της κοίλης πλευράς της λεκάνης απορροής εκτείνονται, από βορειοδυτικά προς νοτιανατολικά, η οροσειρά του Βέρνου και του Άσκιου και το όρος Βούρινος. Το βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης ορίζεται από το Τρικάλιο όρος [66].



Εικόνα 8.1: Λίμνη Πολυφύτου [66]

Στο δυτικό όριο της λεκάνης υψώνονται, από βορρά προς νότο, τα όρη Γράμμος και Σμόλικας και οι ανατολικές παρυφές της βόρειας Πίνδου. Η νότια πλευρά της λεκάνης οριοθετείται από τα όρη Χάσια και Καμβούνια. Η λεκάνη απορροής βρίσκεται μεταξύ των ισοϋψών των 500 και 1700m, αν και το τμήμα της λεκάνης απορροής, που βρίσκεται στις περιοχές των κορυφογραμμών των οροσειρών της Β. Πίνδου και του Βέρνου, υπερβαίνει τα 1700m, ενώ η περιοχή γύρω από τη λίμνη βρίσκεται χαμηλότερα από την ισοϋψή των 500m (**Εικόνα 10.2**).



Εικόνα 8.2: Υψόμετρο λεκάνης απορροής της λίμνης Πολυφύτου [66]

Η λεκάνη περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος των επαρχιών Κοζάνης και Βόιου του Νομού Κοζάνης καθώς και ολόκληρους τους Νομούς Καστοριάς και Γρεβενών. Ο κύριος τροφοδότης του ταμιευτήρα Πολυφύτου με νερό και διαλυμένα συστατικά είναι ο ποταμός Αλιάκμονας [66].

Όπως προκύπτει από τη συλλογή στοιχείων σχετικά με τον Αλιάκμονα και την τεχνητή λίμνη Πολυφύτου, διαπιστώνεται ότι το μεταλλείο αμιάντου και οι αποθέσεις βρίσκονται εντός των ορίων της λεκάνης απορροής.

8.3 Ερευνητικές Εργασίες

Στην περιοχή έχουν διεξαχθεί οι πιο αναγκαίες ερευνητικές εργασίες, προκειμένου να εκτιμηθεί η ποιότητα των υδάτων σε ότι αφορά στην περιεκτικότητα σε αμιάντο. Οι εργασίες αυτές ήταν οι ακόλουθες:

1. Επιλογή μεθόδου δειγματοληψίας
2. Καθορισμός σχεδίου δειγματοληψίας

3. Δειγματοληψία ύδατος
4. Δειγματοληψία επιφανειακού εδαφικού υλικού

Τα δείγματα εδαφικού υλικού έχουν ληφθεί από σημεία κοντά σε αυτά του ύδατος, προκειμένου να διαπιστωθεί κατά πόσον στις όχθες του Αλιάκμονα και της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου υπάρχουν επιφανειακά πετρώματα με αμιάντο, τα οποία εξαιτίας της διάβρωσής τους είναι σε θέση να επιβαρύνουν τα επιφανειακά ύδατα.

8.3.1 Μέθοδος Δειγματοληψίας

Ιδιαίτερη προσοχή θα έπρεπε να δοθεί στη μέθοδο της δειγματοληψίας, αφού υπάρχει περίπτωση η μη τήρηση μιας πρότυπης μεθόδου δειγματοληψίας να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα. Για αυτό τον λόγο λαμβάνεται υπόψη η Οδηγία της EPA (EPA SOP 2013).

Οι βασικές αρχές της Οδηγίας σχετικά με τα τηρούμενα μέτρα κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας είναι τα ακόλουθα:

1. Χρήση ειδικού οργάνου δειγματοληψίας
2. Καθαρισμός του εξοπλισμού πριν και μετά από κάθε δειγματοληψία για την αποφυγή αλλοίωσης του δείγματος
3. Καθορισμός των συνθηκών δειγματοληψίας (εξέταση της υπό μελέτη περιοχής και λήψη δειγμάτων αντιπροσωπευτικών του συνόλου της, βάθος δειγματοληψίας, καιρικές συνθήκες)
4. Τήρηση αρχείου καταγραφής των δεδομένων για το κάθε δείγμα (χαρακτηριστικά της περιοχής, καιρικές συνθήκες, θερμοκρασία κ.α.)
5. Αποφυγή λήψης του δείγματος από σημείο κοντά στην όχθη ή στον πυθμένα του ρυακιού ή της λίμνης έτσι ώστε το δείγμα να μην προσβληθεί από ξένα στοιχεία (χώμα, χόρτα, κλαδιά, απορρίματα κ.α.). Συνίσταται η λήψη δείγματος από τη μέση της λίμνης καθώς και η συλλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος.
6. Σήμανση του κάθε δείγματος και χρήση κατάλληλου αποθηκευτικού μέσου για την ασφαλή μεταφορά και προστασία του και αν κρίνεται απαραίτητο συντήρησή του σε κατάλληλες συνθήκες φύλαξης (απουσία φωτός, χαμηλή θερμοκρασία).

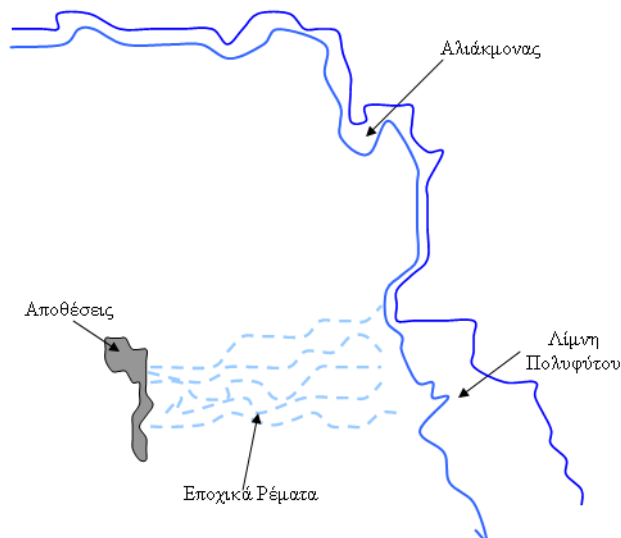
8.3.2 Σχέδιο δειγματοληψίας

Οι αποθέσεις, όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια, βρίσκονται σε απόσταση περίπου 1 km από τις όχθες του Αλιάκμονα..

Το εδαφικό υλικό των αποθέσεων είναι πλούσιο σε αμιάντο (**Κεφάλαιο 7**), συνεπώς ποσότητα αμιάντου πιθανόν να απομακρύνεται εξαιτίας της επιφανειακής απορροής και να καταλήγει στον Αλιάκμονα. Επομένως στο σχέδιο δειγματοληψίας θα έπρεπε να περιλαμβάνονται τα παρακάτω:

1. Λήψη δείγματος ύδατος από τις αποθέσεις
2. Εύρεση εποχικών ρεμάτων μεταξύ των αποθέσεων και του Αλιάκμονα
3. Δειγματοληψία κατά μήκος του Αλιάκμονα

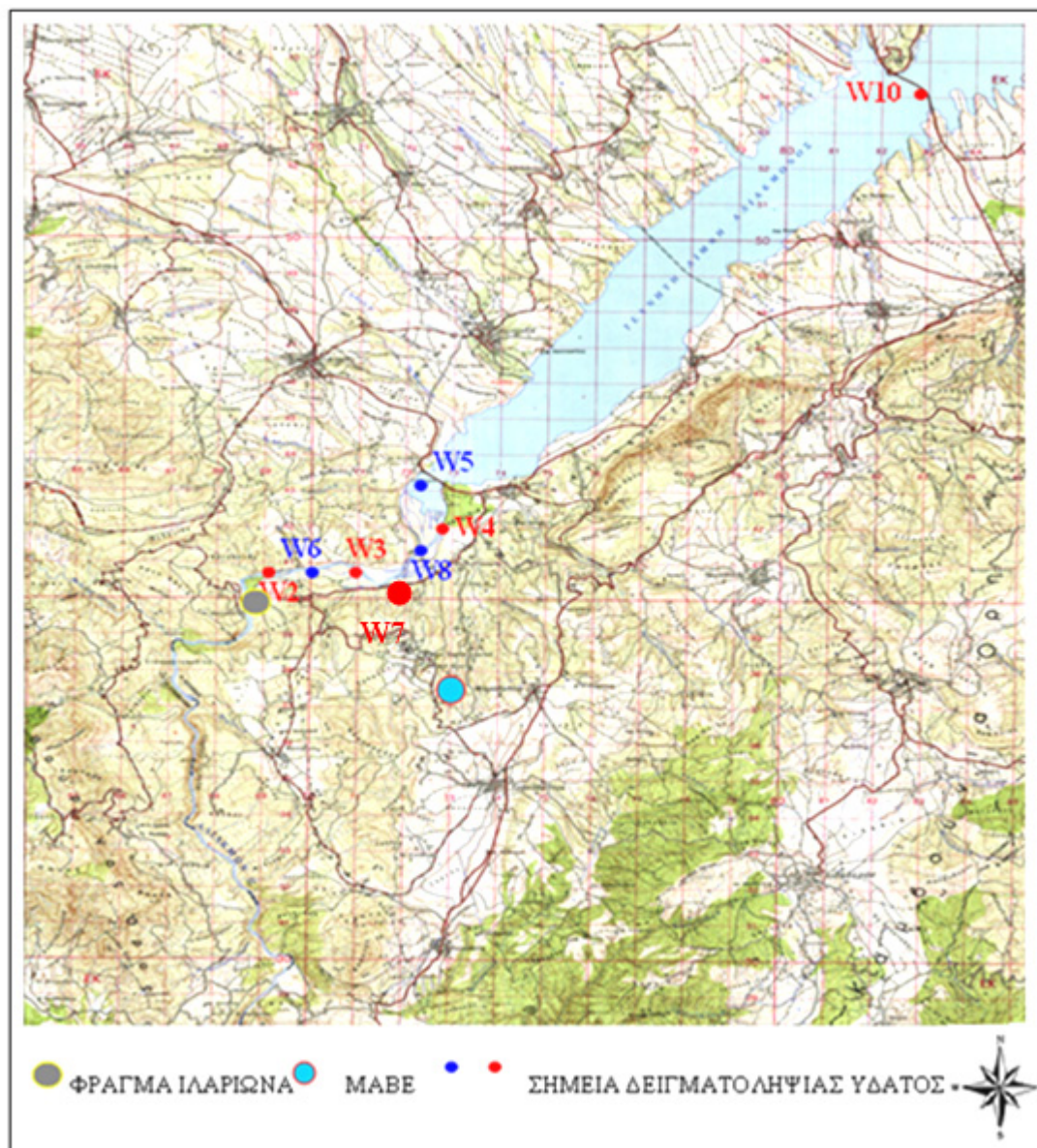
Σχηματικά, το σκεπτικό δειγματοληψίας αποτυπώνεται στην **Εικόνα 8.3** (όχι υπό κλίμακα).



Εικόνα 8.3: Σχέδιο δειγματοληψίας

8.3.3 Δειγματοληψία ύδατος

Σύμφωνα με τα παραπάνω, και λαμβάνοντας υπόψη τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης (προσβασιμότητα, πυκνή βλάστηση κ.α) καθορίστηκε ένα σχέδιο δειγματοληψίας (**Εικόνα 8.4**). Φωτογραφικό υλικό για τα σημεία δειγματοληψίας παρατίθενται στο **Παράρτημα Β**.



Εικόνα 8.4: Σχέδιο δειγματοληψίας

Στην περιοχή μελέτης έχουν πραγματοποιηθεί σοβαρές μορφολογικές αλλαγές (διάνοιξη δρόμων, προσχωματώσεις κ.α.), αφού τα τελευταία χρόνια κατασκευάζεται το Φράγμα του Ιλαρίωνα.

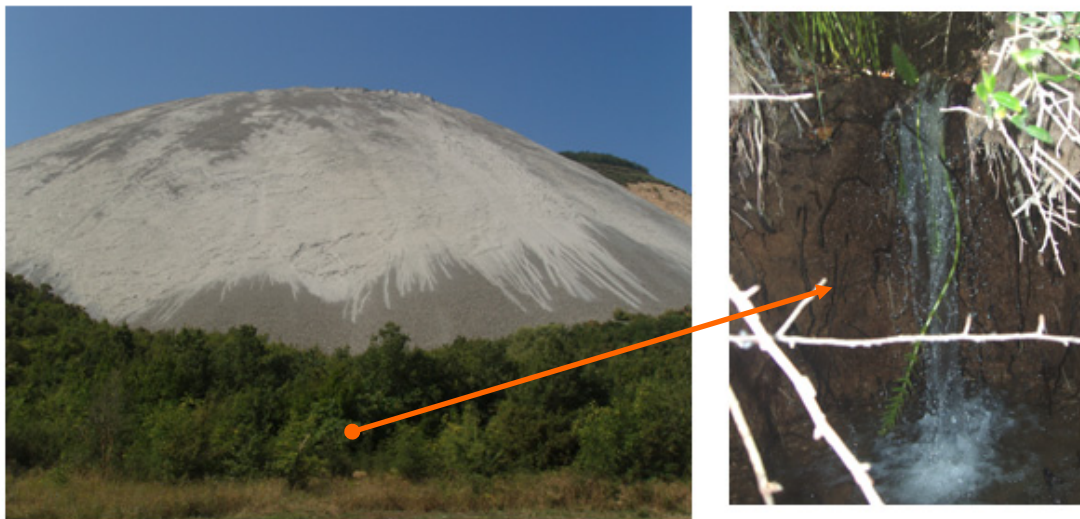
Η απόσταση των σημείων δειγματοληψίας, ορίζοντας ως σημείο αναφοράς τα MABE, δίνεται παρακάτω.

W2: 5 km	W3: 3,3 km	W8: 2,6 km	W5: 5,5 km
W 6: 4,5 km	W7: 2,5 km	W4: 3 km	W10: 21 km

Σχετικά με τον καθορισμό των σημείων δειγματοληψίας, εκτός από αυτά που καταγράφονται στην **Εικόνα 8.4**, ελήφθη δείγμα από τη λίμνη στη βάση των αποθέσεων (W 1) και από ρυάκι κοντά σε αυτές (W 9), το οποίο τροφοδοτείται από τις λίμνες των αποθέσεων. Παρακάτω παρατίθεται φωτογραφικό υλικό.



Εικόνα 8.5: Δειγματοληψία ύδατος από τη λίμνη των αποθέσεων



Εικόνα 8.6: Δειγματοληψία ύδατος από ρυάκι κοντά στις αποθέσεις

Η περιοχή μελέτης κατά μήκος του Αλιάκμονα και της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου δεν εκτείνεται σε μεγάλη απόσταση (εκτιμάται σε 30 km περίπου), όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 8.4**, αφού δεν υπάρχουν αντίστοιχες πρόσφατες μελέτες προκειμένου να είναι συγκρίσιμος ο βαθμός ρύπανσης και η έκταση καθώς και ο μηχανισμός διασποράς ή κατακρήμνισης των ινών αμιάντου στο νερό. Παρόλο αυτά ελήφθη το δείγμα W 10, το οποίο βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από τις αποθέσεις.

Σε ότι αφορά στη μέθοδο δειγματοληψίας, στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ειδικός πλαστικός δειγματολήπτης ύδατος κυλινδρικού σχήματος (**Εικόνα 8.7**) διαστάσεων 40 mm X 1 m (πλάτος X μήκος) και δυνατότητα λήψης δείγματος 1L. Ο δειγματολήπτης, προτού χρησιμοποιηθεί για πρώτη φορά, καθαρίστηκε με απιονισμένο νερό, προκειμένου να απομακρυνθούν τυχόν ακαθαρσίες κατά την παραγωγή ή τη μεταφορά του. Σε κάθε δειγματοληψία ο δειγματολήπτης παρέμενε για μικρό χρονικό διάστημα στο ποτάμι έτσι ώστε να απομακρυνθούν οποιαδήποτε υπολείμματα κατά τη συλλογή του προηγούμενου δείγματος.



Εικόνα 8.7: Δειγματολήπτης ύδατος

Σε κάθε σημείο δειγματοληψίας πραγματοποιούνταν 7-8 διαδοχικές λήψεις ύδατος και τα δείγματα τοποθετούνταν σε πλαστικό δοχείο (περίπου 8 L), όπου και τελικά συλλεγόταν το τελικό δείγμα προς ανάλυση για τον προσδιορισμό ινών αμιάντου. Η δειγματοληψία ύδατος πραγματοποιήθηκε σε τυχαία βάθη. Προτού το δείγμα σφραγιστεί, σημειωθεί και αποθηκευτεί, μετρούνταν το pH, αφού σε αντίστοιχες μελέτες (**Κεφάλαιο 5**) η συγκέντρωση των ινών αμιάντου μπορεί να συσχετισθεί με το pH καθώς και με άλλες παραμέτρους του δείγματος (χημική σύσταση).

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε τη χρονική περίοδο 25-03-2007 έως 30-03-2007, όπου επικρατούσαν στην περιοχή σποραδικές βροχές και συννεφιά.

Τα δείγματα, όπως προβλέπεται και από την Οδηγία για τον προσδιορισμό ινών αμιάντου με τη μέθοδο TEM (Κεφάλαιο 4 παρ 4.1.1), αποθηκεύτηκαν σε πλαστικά δοχεία πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (HDPE) των 500 ml, σε σκοτεινό μέρος και σε θερμοκρασία 4 °C.

Τέλος, ελήφθη μικρή ποσότητα του αρχικού δείγματος (περίπου 100 ml) από κάθε σημείο δειγματοληψίας με σκοπό τη διεξαγωγή χημικών αναλύσεων και τη συσχέτιση με την περιεκτικότητα σε αμιάντο. Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν σε πλαστικά δοχεία και συνθήκες σκότους και χαμηλής θερμοκρασίας (4 °C). Στο δείγμα πραγματοποιήθηκε οξίνιση με τη προσθήκη 0,5 mL πυκνού HNO₃.

8.3.4 Δειγματοληψία εδαφικού υλικού

Δείγματα εδάφους ελήφθησαν από τα σημεία δειγματοληψίας ύδατος, προκειμένου να εξεταστούν ως προς την περιεκτικότητά τους σε αμιάντο (**Παράρτημα Γ**).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι, για τις ανάγκες του φράγματος Ιλαρίωνα μεταφέρθηκαν τόνοι υλικού, διαφορετικών χαρακτηριστικών (χημική και ορυκτολογική σύσταση) από αυτό της περιοχής, και κατασκευάστηκαν βοηθητικά έργα (προσχωματώσεις, διάνοιξη και διαπλάτυνση δρόμων κ.α.). Συνεπώς, σε ορισμένα σημεία η δειγματοληψία εδαφικού υλικού πραγματοποιήθηκε από περιοχή πολύ κοντά σε αυτή της λήψης του ύδατος, με το σκεπτικό ότι πιθανά κοιτάσματα αμιάντου στις όχθες του Αλιάκμονα, εξαιτίας της γεωλογίας της περιοχής, θα είχαν καλυφθεί με την κατασκευή των βοηθητικών έργων.

Για τη συλλογή ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος, πραγματοποιήθηκε η διαδικασία που προτείνεται στο Κεφάλαιο 7 (παρ. 7.4.1). Η συνολική ποσότητα κάθε δείγματος ανερχόταν σε 2-3 kg.

Για τον προσδιορισμό ινών αμιάντου λαμβάνεται αντιπροσωπευτική ποσότητα από το αρχικό δείγμα και πραγματοποιείται προετοιμασία αυτού, όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 7 (παρ. 7.4.3.1).

8.4 Αποτελέσματα δειγματοληψιών - Επεξεργασία

8.4.1 Δείγματα ύδατος

Τα δείγματα ύδατος εξετάσθηκαν με TEM (Transmission Electron Microscopy) για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε ίνες αμιάντου. Η προτεινόμενη μεθοδολογία για την προετοιμασία και την εξέταση του δείγματος περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4 (παρ. 4.1.1). Οι αναλύσεις διεξήχθησαν σε πιστοποιημένο εργαστήριο στη Γερμανία (Universitätsklinikum Giessen und Marburg GmbH). Τα

αποτελέσματα, τα χαρακτηριστικά ανάλυσης του δείγματος (τύπος φίλτρου, μοντέλο μικροσκοπίου, αριθμός καταμετρημένων πεδίων κ.α.), φωτογραφικό υλικό από την εξέταση των δειγμάτων με TEM, ορυκτολογική σύσταση των ανιχνεύσιμων ινών καθώς και σχετικά διαγράμματα, παρατίθενται στο **Παράρτημα Δ**. Συνοπτικά, τα στάδια προετοιμασίας και εξέτασης του δείγματος, στην προκειμένη περίπτωση, ήταν τα ακόλουθα:

1. Απόψυξη και ανάδευση
2. Φιλτράρισμα 100 ml του αρχικού δείγματος (Φίλτρο Nuclepore, διαμέτρου 47 mm και πόρων 0,2 μm). Τα δείγματα είναι αρκετά ρυπασμένα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός επιστρώματος μεγάλου πάχους στην επιφάνειά των
3. Εφαρμογή πλάσματος οξυγόνου στο υπόλειμμα του φίλτρου, για την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου. Συλλογή της τέφρας
4. Διάλυση της τέφρας σε 50 mL απιονισμένου ύδατος
5. Εφαρμογή στο νέο δείγμα U V- ακτινοβολίας
6. Λήψη μικρών ποσοτήτων από το νέο δείγμα (1-5 mL) φιλτράρισμα (Φίλτρο Nuclepore, διαμέτρου 25 mm και πόρων 0,2 μm)
7. Επιλογή φίλτρου προς εξέταση με την TEM
8. Σε κάθε φίλτρο επιλέγεται η εξέταση επιφάνειας 0,03-0,1 mm^2
9. Από το σύνολο των δειγμάτων προς εξέταση, ένα από αυτά αποτελεί το τυφλό δείγμα, το οποίο παρασκευάστηκε στο εργαστήριο, με απιονισμένο νερό

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στον **Πίνακα 8.3**.

Πίνακας 8.3: Συγκέντρωση ινών αμιάντου στα δείγματα ύδατος (X10⁶ F/L)

Είδος Ινών (L>5μm)	Δείγμα W1	Δείγμα W3	Δείγμα W7	Δείγμα W8	Δείγμα W9
	C (X10 ⁶ F/l)	C (X10 ⁶ F/l)	C (X10 ⁶ F/l)	C (X10 ⁶ F/l)	C (X10 ⁶ F/l)
Χρυσοτιλικός αμιάντος	22,17	23,89	38,95	21,38	18,24
Αμφιβολικός αμιάντος	0,00	2,17	3,80	0,48	0,38
Αμοσίτης/ κροκιδόλιθος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Αμοσίτης	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Κροκιδόλιθος)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ανθοφυλλίτης	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ακτινόλιθος/ τρεμολιτης	0,00	<u>2,17</u>	<u>3,80</u>	<u>0,48</u>	<u>0,38</u>
Μερικό Άθροισμα*	22,17	26,06	42,75	21,86	18,62
Μη αμιαντούχες	<u>10,77</u>	<u>2,17</u>	<u>5,70</u>	<u>3,33</u>	<u>0,76</u>
Τάλκης	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Άθροισμα**	32,93	28,23	48,45	25,19	19,38

Είδος Ινών (L>5μm)	Δείγμα W2	Δείγμα W4	Δείγμα W5	Δείγμα W10	Δείγμα W6
	C (X10 ⁶ F/l)	C (X10 ⁶ F/l)	C (X10 ⁶ F/l)	C (X10 ⁶ F/l)	C (X10 ⁶ F/l)
Χρυσοτιλικός αμιάντος	9,98	152,00	27,14	4,31	34,35
Αμφιβολικός αμιάντος	1,19	6,91	1,36	0,21	4,38
Αμοσίτης/ κροκιδόλιθος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Αμοσίτης	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Κροκιδόλιθος)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ανθοφυλλίτης	0,00	0,00	0,00	<u>0,10</u>	<u>1,46</u>
Ακτινόλιθος/ τρεμολιτης	<u>1,19</u>	<u>6,91</u>	<u>1,36</u>	<u>0,10</u>	<u>2,92</u>
Μερικό Άθροισμα*	11,17	158,91	28,5	4,52	38,73
Μη αμιαντούχες	<u>0,71</u>	<u>17,27</u>	<u>6,79</u>	<u>0,62</u>	0,00
Τάλκης	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Άθροισμα**	11,88	176,18	35,29	5,14	38,73

* Άθροισμα αμιαντούχων ινών, ** Άθροισμα αμιαντούχων και μη ινών

Βάση των αποτελεσμάτων για τον προσδιορισμό ινών αμιάντου, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Στη Λίμνη των Αποθέσεων η συγκέντρωση ινών αμιάντου είναι $22,17 \cdot 10^6$ F/l (**Δείγμα W1**). Θεωρείται το νερό της λίμνης προέρχεται από την επιφανειακή απορροή των αποθέσεων.
2. Ρυάκι, σε πολύ κοντινή απόσταση από τις αποθέσεις, το οποίο τροφοδοτείται από τη λίμνη των αποθέσεων περιέχει $18,62 \cdot 10^6$ F/l (**Δείγμα W9**). Συνεπώς, οι αποθέσεις ρυπαίνουν τα εποχικά ρέματα και οι ίνες αμιάντου διασκορπίζονται στην ευρύτερη περιοχή.
3. Κατά μήκος του Αλιάκμονα και της λίμνης Πολυφύτου η συγκέντρωση ινών αμιάντου είναι πολύ υψηλή και υπερβαίνει κατά πολύ τα επιτρεπόμενα, από την ΕΡΑ, όρια ($7 \cdot 10^6$ F/l).
4. Σε απόσταση 21 km περίπου από τα ΜΑΒΕ (**Δείγμα W10**) εμφανίζεται επίσης ρύπανση, αν και είναι κάτω από τα επιτρεπτά όρια. Αυτό οφείλεται στην ιδιότητα των ινών αμιάντου να διασκορπίζονται και να έχουν διαφορετική συμπεριφορά από αυτή των σφαιρικών σωματιδίων στο υδατικό περιβάλλον (**Κεφάλαιο 5 παρ. 5.3.1**).
5. Σε ότι αφορά στον τύπο του αμιάντου, διαπιστώνεται ότι είναι κυρίως χρυσοτιλικός αμιάντος, ενώ ανιχνεύονται μικρές ποσότητες αμιφιβόλιτικού αμιάντου, κυρίως ανθοφυλλίτη και ακτινόλιθου/ τρεμολίτη.
6. Η διασπορά ινών σε συνάρτηση με το μήκος και το πλάτος του κάθε δείγματος απεικονίζεται γραφικά στα **Διαγράμματα 1-10 (Παράρτημα Δ)**. Συγκρίνοντας το **Διάγραμμα 10**, το οποίο αντιστοιχεί στο δείγμα στο πιο απομακρυσμένο σημείο από τα ΜΑΒΕ, με τα υπόλοιπα Διαγράμματα, διαπιστώνεται ότι οι ίνες χρυσοτιλικού αμιάντου είναι μικρότερου μήκους και πλάτους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, οι ίνες αμιάντου, εξαιτίας των επιφανειακών μορφολογικών χαρακτηριστικών, καθώς και της φυσικής τριβής κατά την κίνησή τους στο νερό, έχουν την ιδιότητα να διασπώνται σε μικρότερα ινίδια (**Κεφάλαιο 5 παρ. 5.3.2**).

8.4.2 Συσχέτιση συγκέντρωσης ινών αμιάντου και χημικών ιδιοτήτων των δειγμάτων ύδατος

Σε αντίστοιχες μελέτες του παρελθόντος (**Κεφάλαιο 5 παρ 5.3.3**), αναφέρεται ότι η περιεκτικότητα σε ίνες αμιάντου μπορεί να συσχετισθεί με τα χαρακτηριστικά των

δειγμάτων ύδατος. Για αυτό τον λόγο, σε κάθε δείγμα ύδατος μετράται το pH και λαμβάνεται μικρή ποσότητα ύδατος για χημικές αναλύσεις.

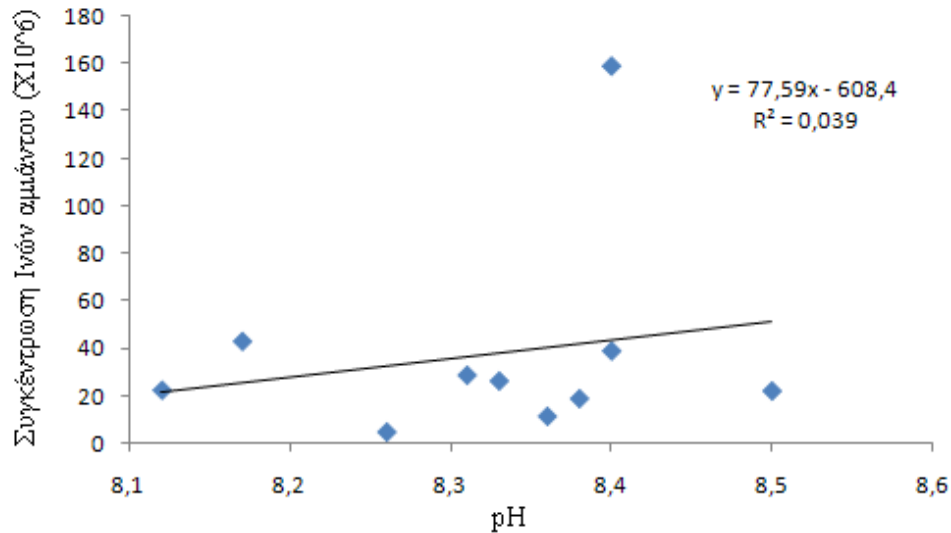
pH- Περιεκτικότητα σε αμίαντο

Τα αποτελέσματα του pH για το κάθε υδατικό δείγμα παρατίθενται στο **Πίνακα 8.4**.

Πίνακας 8.4: Αποτελέσματα pH – Συγκέντρωσης ινών αμιάντου στα δείγματα ύδατος

Δείγμα	C (X10 ⁶ F/l)	pH
W1	22,17	8,12
W3	26,06	8,33
W7	42,75	8,17
W8	21,86	8,5
W9	18,62	8,38
W2	11,17	8,36
W4	158,91	8,4
	28,5	8,31
W5		
W10	4,52	8,26
W6	38,73	8,4

Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο **Διάγραμμα 8.1**. Διαπιστώνεται ότι δεν είναι δυνατόν να συσχετισθεί η περιεκτικότητα σε αμίαντο με το pH των δειγμάτων. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στις καιρικές συνθήκες, που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας (σποραδικές βροχές), αφού σε αντίστοιχες μελέτες αναφέρεται ότι επιδρούν σημαντικά στην ποιότητα των υδάτων.



Διάγραμμα 8.1: Συσχέτιση pH- Συγκέντρωση ινών αμιάντου

Προκειμένου να εξακριβωθεί η επίδραση των ινών αμιάντου στα χαρακτηριστικά των υδάτων, πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές. Μικρή ποσότητα μεταλλεύματος από την κορυφή των αποθέσεων (κλάσμα διαμέτρου $6,70 < d < 13,2$ mm περιεκτικότητας σε χρυσοτιλικό αμίαντο 15-20%) διαλύεται σε 100 mL απεσταγμένου ύδατος και καταγράφεται το pH σε συνάρτηση με τον χρόνο. Οι συνθήκες διεξαγωγής των πειραμάτων ήταν οι ακόλουθες:

- Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος σε στάσιμη κατάσταση
- Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και με έντονη ανάδευση
- Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και με ήπια ανάδευση
- Σε θερμοκρασία 35 °C και σε στάσιμη κατάσταση
- Σε θερμοκρασία 35 °C και με ήπια ανάδευση

Στις παραπάνω συνθήκες παρασκευάστηκαν διαλύματα διαφορετικής περιεκτικότητας σε μέταλλευμα (0,05, 0,2, 0,4, 0,6 και 0,8 g. Για την εκτέλεση των πειραμάτων έντονης ανάδευσης χρησιμοποιήθηκε ειδική διάταξη (Εικόνα 8.8). Η κίνηση του διαλύματος ήταν περιστροφική.



Εικόνα 8.8: Δονούμενη τράπεζα

Στην περίπτωση των πειραμάτων υψηλής θερμοκρασίας και ήπιας ανάδευσης επιλέχθηκε η χρήση ενός υδατόλουτρου (**Εικόνα 8.9**) με προσαρμοσμένη συσκευή δόνησης των διαλυμάτων. Συγκεκριμένα τα διαλύματα εκτελούν ταλάντωση πλάτους περίπου 1cm.



Εικόνα 8.9: Υδατόλουτρο

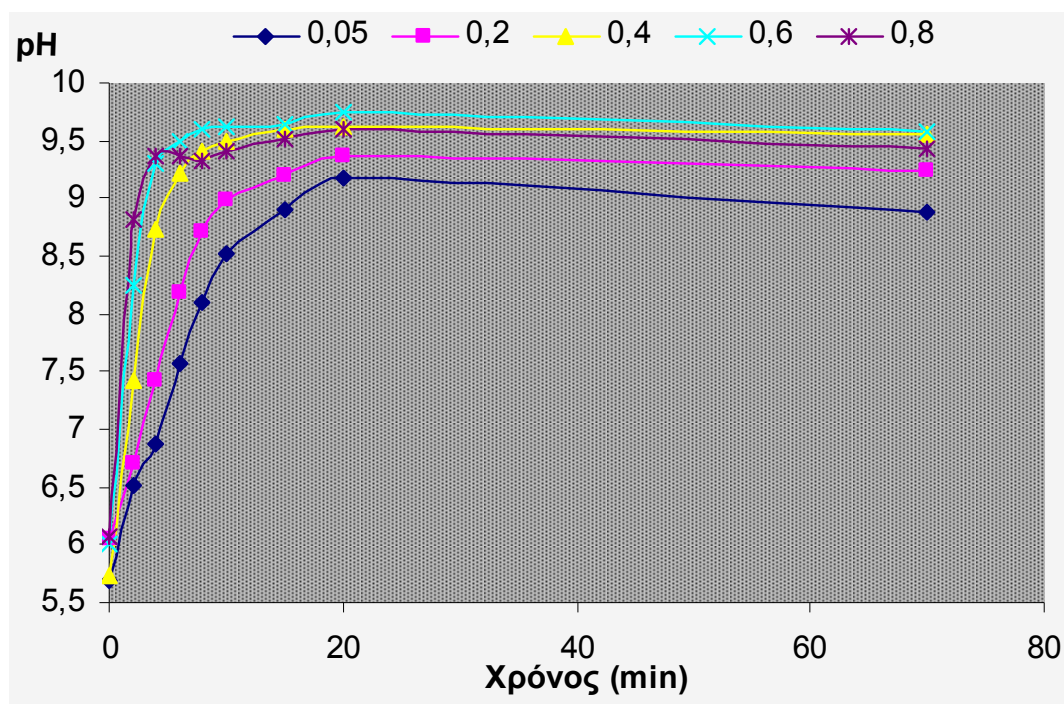
Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι τη χρονική στιγμή $t=0$ min μετράται το pH του απεσταγμένου ύδατος χωρίς να έχει προστεθεί η ποσότητα του μεταλλεύματος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους **Πίνακες 8.5 και 8.6**, ενώ σχηματικά απεικονίζονται στα **Διαγράμματα 8.2, 8.3, 8.4, 8.5 και 8.6**.

Πίνακας 8.5: Μεταβολή pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε διαφορετικές συγκεντρώσεις σε θερμοκρασία περιβάλλοντος

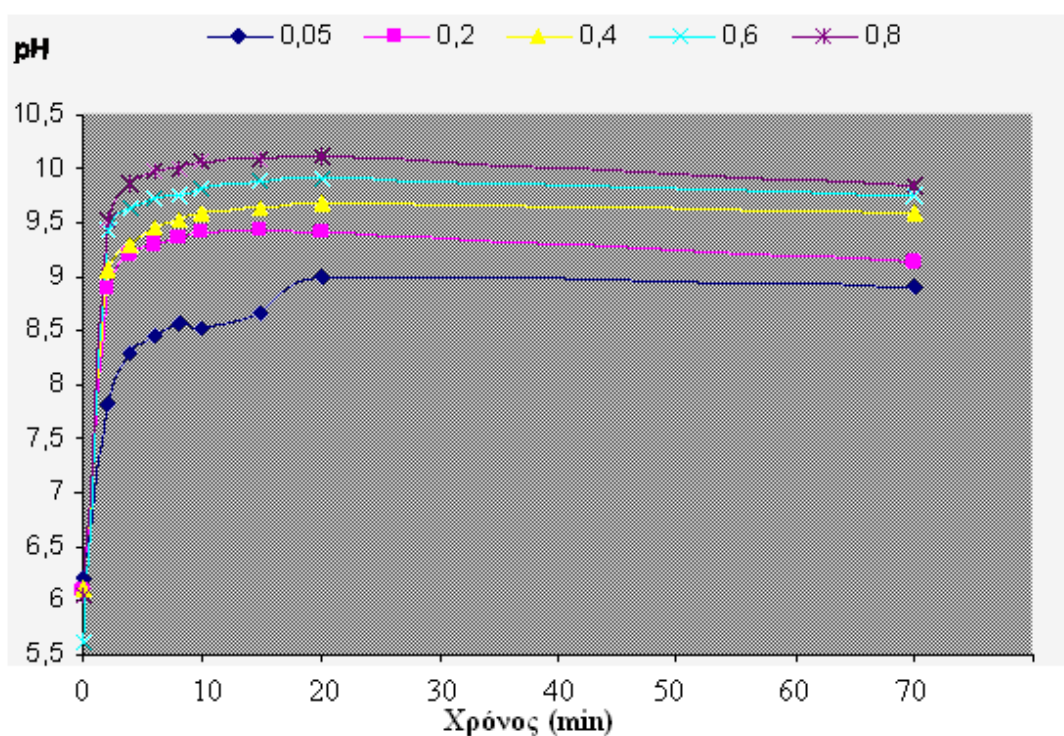
Ποσότητα (g)		0,05	0,2	0,4	0,6	0,8			0,05	0,2	0,4	0,6	0,8			0,05	0,2	0,4	0,6	0,8
t (min)		pH							pH							pH				
Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (22 °C)	0	5,70	6,04	5,73	6,00	6,07	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (22 °C)	Έντονη ανάδευση	5,86	6,00	5,93	6,30	6,22	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (22 °C)	Ήπια ανάδευση	6,20	6,10	6,12	5,62	6,05
	2	6,51	6,70	7,42	8,25	8,82			8,20	8,41	9,10	9,50	9,60			7,81	8,89	9,06	9,44	9,52
	4	6,87	7,43	8,74	9,30	9,36			8,42	9,30	9,64	9,76	9,98			8,29	9,20	9,30	9,63	9,87
	6	7,57	8,18	9,21	9,50	9,37			8,73	9,47	9,87	9,94	10,19			8,46	9,30	9,46	9,72	9,97
	8	8,10	8,72	9,40	9,60	9,32			8,92	9,62	10,00	10,04	10,25			8,57	9,36	9,53	9,76	10,01
	10	8,52	8,98	9,50	9,6	9,41			9,03	9,66	10,05	10,07	10,27			8,52	9,41	9,58	9,82	10,06
	15	8,90	9,19	9,60	9,64	9,51			9,20	9,84	10,12	10,15	10,30			8,66	9,44	9,64	9,88	10,08
	20	9,17	9,36	9,62	9,74	9,60			9,30	9,94	10,14	10,17	10,33			9,01	9,42	9,68	9,90	10,12
	70	8,89	9,25	9,56	9,58	9,43			9,12	9,84	10,02	10,03	10,06			8,91	9,14	9,59	9,74	9,83

Πίνακας 8.6: Μεταβολή pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε διαφορετικές συγκεντρώσεις σε θερμοκρασία 35 °C

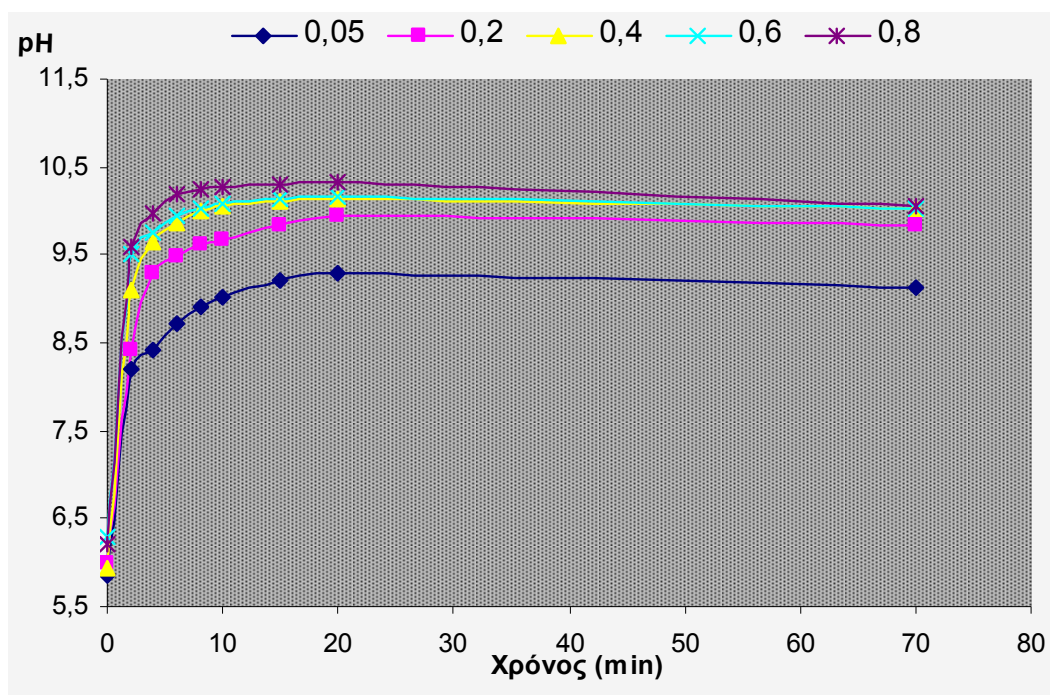
Θερμοκρασία 35 °C ωρίς ανάδευση	Ποσότητα (g)	0,05	0,2	0,4	0,6	0,8	Θερμοκρασία 35 °C Έντονη ανάδευση	0,05	0,2	0,4	0,6	0,8	0,05	0,2	0,4	0,6	0,8	
	t (min)	pH						pH					pH					
	0	5,94	6,23	5,96	6,30	6,40		5,84	5,54	6,09	6,20	5,80	-	-	-	-	-	
	2	6,80	8,22	8,51	9,20	9,46		7,86	9,16	9,26	9,54	9,57	-	-	-	-	-	
	4	7,20	8,97	9,39	9,47	9,65		8,43	9,34	9,52	9,68	9,66	-	-	-	-	-	
	6	7,80	9,27	9,58	9,61	9,73		8,94	9,39	9,6	9,73	9,74	-	-	-	-	-	
	8	8,10	9,45	9,61	9,69	9,79		9,06	9,44	9,65	9,76	9,8	-	-	-	-	-	
	10	8,65	9,54	9,65	9,72	9,80		9,20	9,48	9,70	9,79	9,83	-	-	-	-	-	
	15	9,10	9,57	9,71	9,74	9,82		9,30	9,50	9,73	9,81	9,87	-	-	-	-	-	
	20	9,21	9,60	9,76	9,77	9,84		9,32	9,52	9,78	9,83	9,93	-	-	-	-	-	
	70	9,01	9,49	9,72	9,72	9,77		9,04	9,2	9,28	9,57	9,72	-	-	-	-	-	



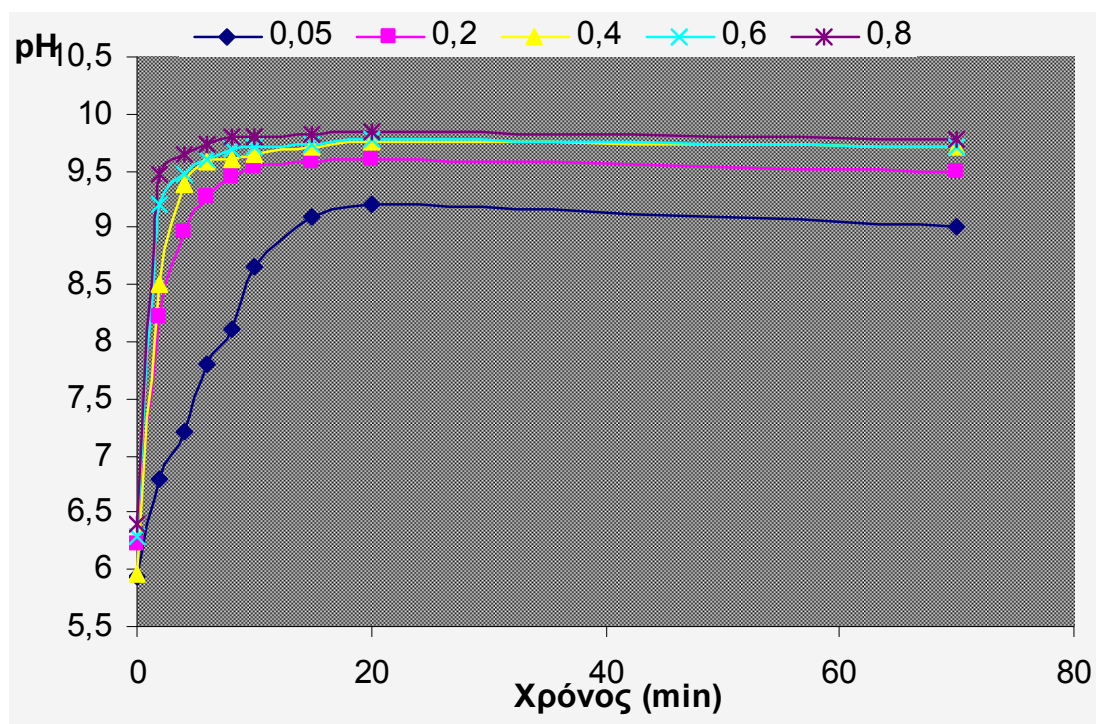
Διάγραμμα 8.2: Μεταβολή pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε 100 mL απεσταγμένου ύδατος για διαφορετικές ποσότητες μεταλλεύματος ($T=22^{\circ}\text{C}$ -στάσιμη κατάσταση)



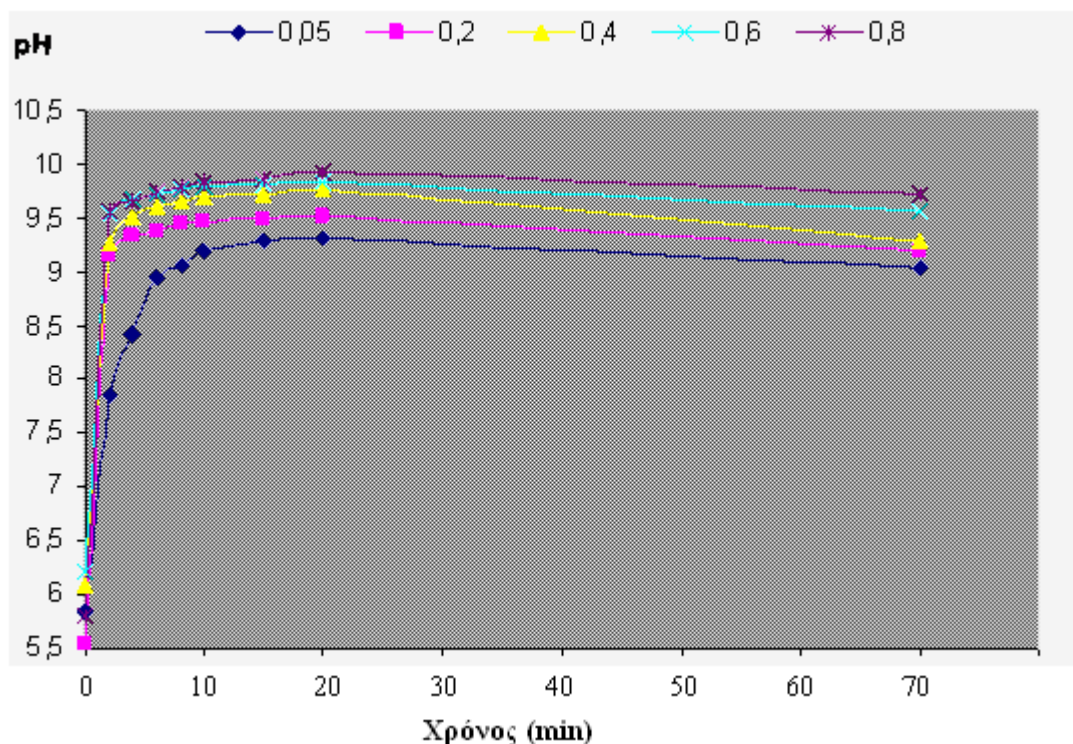
Διάγραμμα 8.3: Μεταβολή pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε 100 mL απεσταγμένου ύδατος για διαφορετικές ποσότητες μεταλλεύματος ($T=22^{\circ}\text{C}$ - ήπια ανάδευση)



Διάγραμμα 8.4: Μεταβολή pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε 100 mL απεσταγμένου ύδατος για διαφορετικές ποσότητες μεταλλεύματος ($T=22^{\circ}\text{C}$ -έντονη ανάδευση)



Διάγραμμα 8.5: Μεταβολή pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε 100 mL απεσταγμένου ύδατος για διαφορετικές ποσότητες μεταλλεύματος ($T=35^{\circ}\text{C}$ -στάσιμη κατάσταση)

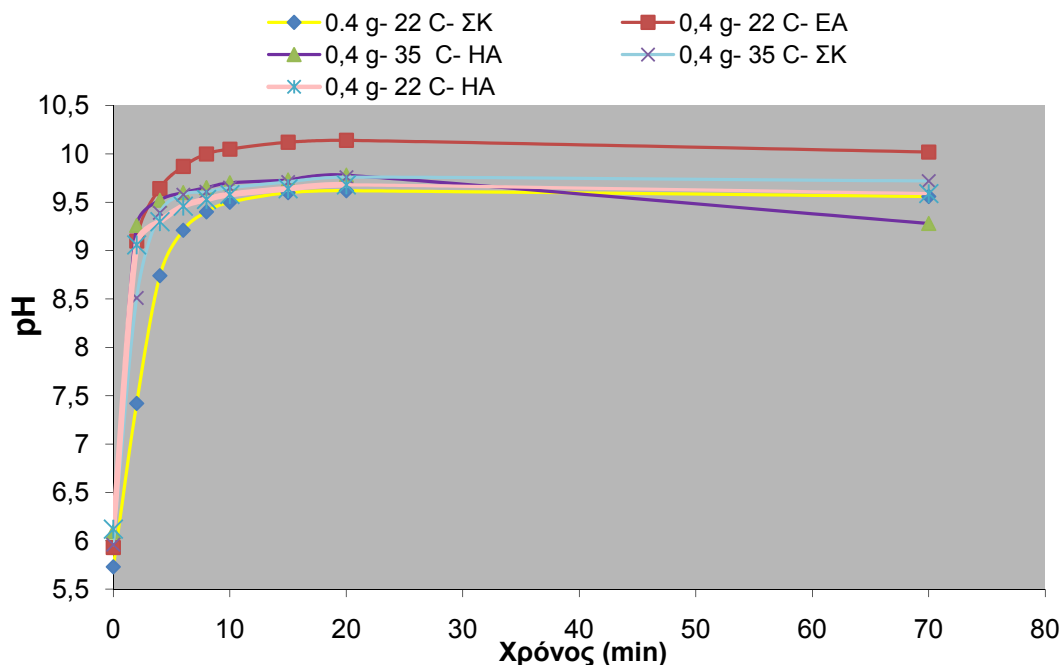


Διάγραμμα 8.6: Μεταβολή pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε 100 mL απεσταγμένου ύδατος για διαφορετικές ποσότητες μεταλλεύματος ($T=35^{\circ}\text{C}$ - ήπια ανάδευση)

Λαμβάνοντας υπόψη τα πειραματικά αποτελέσματα, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα για τις δύο σειρές πειραμάτων:

- Αύξηση του pH σημειώνεται σε όλα τα διαλύματα με την αύξηση της ποσότητας μεταλλεύματος
- Η αύξηση του pH είναι απότομη στο χρονικό διάστημα 0-4 min
- Στο χρονικό διάστημα 4-20 min παρατηρείται μικρή αύξηση του pH
- Το pH μειώνεται μετά το πέρας των 20 min
- Το pH στην περίπτωση της ήπιας και έντονης ανάδευσης κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με αυτό της στάσιμης κατάστασης, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Η αύξηση της θερμοκρασίας συμβάλλει στην αύξηση του pH στην περίπτωση της στάσιμης κατάστασης
- Ο τρόπος ανάδευσης συμβάλλει στη μεταβολή του pH. Συγκεκριμένα, η αύξηση του pH είναι σημαντικότερη στην περίπτωση της έντονης ανάδευσης

Τέλος, στο **Διάγραμμα 8.7** παρουσιάζεται η μεταβολή του pH του διαλύματος 100 ml απεσταγμένου ύδατος – 0,4 g μεταλλεύματος σε διαφορετικές συνθήκες διεξαγωγής των πειραμάτων.



* **ΣΚ:** Στάσιμη κατάσταση, **HA:** Ήπια ανάδευση, **EA:** Έντονη ανάδευση

Διάγραμμα 8.7: Μεταβολή pH σε συνάρτηση με τον χρόνο σε 100 mL απεσταγμένου ύδατος για 0,4 g μεταλλεύματος σε διάφορες συνθήκες

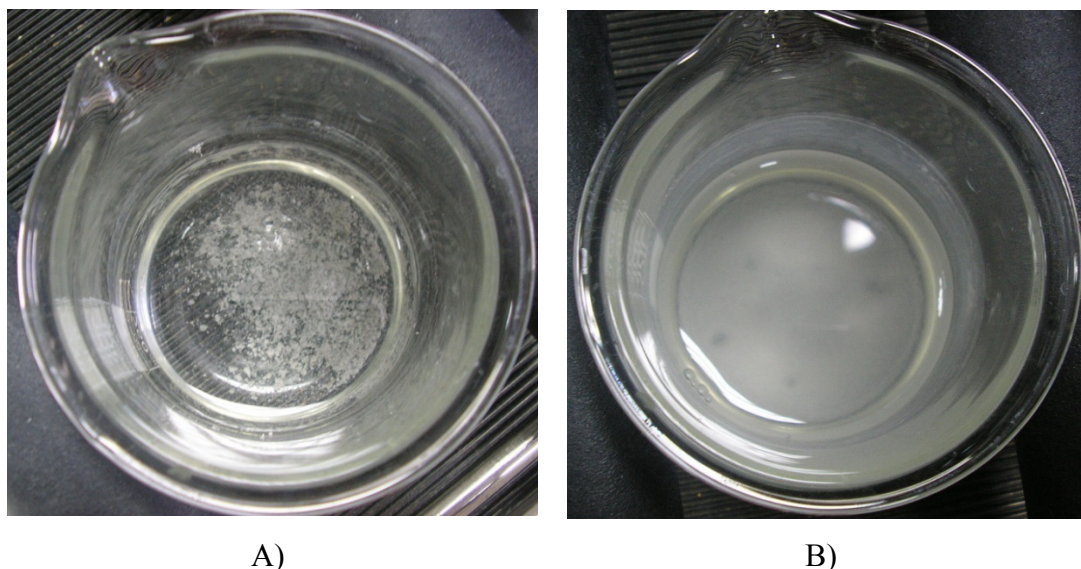
Διαπιστώνεται ότι η πιο σημαντική παράμετρος είναι η ανάδευση έντονης μορφής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, αφού συγκριτικά παρατηρείται η μεγαλύτερη αύξηση του pH.

Τα αποτελέσματα, ερμηνεύονται λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία που παρατίθενται στο **Κεφάλαιο 5**. Η αύξηση του pH οφείλεται στη διαλυτοποίηση του χρυσοτιλικού αμιάντου, αφού σε όξινο περιβάλλον (το pH την χρονική στιγμή $t=0$ min κυμαίνεται μεταξύ 5-6,5) ενοείται η διάλυση της επιφάνειας του και η απελευθέρωση ιόντων μαγνησίου και υδροξυλίων (**Διάγραμμα 5.3**). Αναλυτικά, ο μηχανισμός διάλυσης του χρυσοτιλικού αμιάντου περιγράφεται στο **Κεφάλαιο 5**.

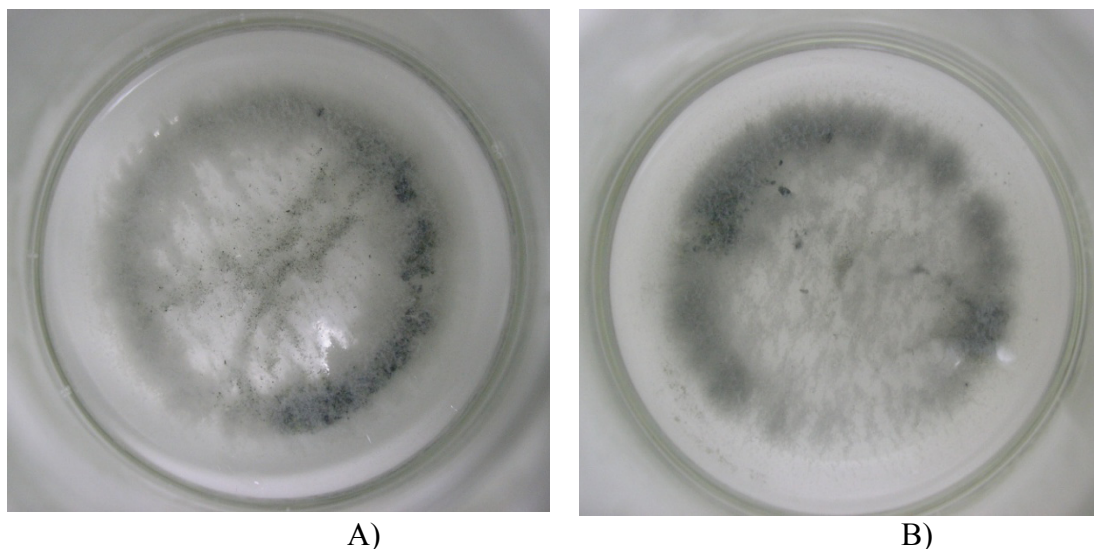
Η μείωση του pH μετά τα 20 min οφείλεται στον πιθανό σχηματισμό του MgOH^+ , ή στο φαινόμενο της προσρόφησης των ιόντων $\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ και MgOH^+ στην αρνητικά φορτισμένη επιφάνεια του πυριτίου, που δημιουργείται κατά τη διάλυση του χρυσοτιλικού αμιάντου. Το φαινόμενο είναι εντονότερο στην περίπτωση της ήπιας ανάδευσης και σε θερμοκρασία 35°C , όπου παρατηρείται η μεγαλύτερη

πτώση του pH (**Διάγραμμα 8.7**). Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι σε υψηλές θερμοκρασίες ευνοούνται φαινόμενα σχηματισμού ή προσρόφησης.

Η αύξηση του pH, εξαιτίας της ανάδευσης του διαλύματος, εξηγείται εάν ληφθεί υπόψη η φυσική αλλοίωση των ινών στο υδατικό περιβάλλον (**Κεφάλαιο 5** παρ. 5.3.2). Πιο συγκεκριμένα, οι ίνες αμιάντου, εξαιτίας των επιφανειακών μορφολογικών χαρακτηριστικών, καθώς και της φυσικής τριβής κατά την κίνησή τους στο νερό, έχουν την ιδιότητα να διασπώνται σε μικρότερα ινίδια. Συνεπώς, αυξάνεται η επιφάνεια αντίδρασης με το νερό και τελικά η ποσότητα ιόντων μαγνησίου και υδροξυλίων που απελευθερώνονται. Επιπλέον, κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων, παρατηρείται διαφοροποίηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών του μεταλλεύματος μετά το πέρας μεγάλου χρονικού διαστήματος στο νερό και έπειτα από έντονη ανάδευση, με οπτική παρατήρηση των διαλυμάτων (**Εικόνες 8.10 και 8.11**). Για αυτό τον λόγο το pH κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα σε περιπτώσεις έντονης ανάδευσης.



Εικόνα 8.10: Διάλυμα 100 mL απεσταγμένου ύδατος - 0,8 g χρυσοτιλικού αμιάντου
 A) $t=0 \text{ min}$, $T=22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ B) $t=70 \text{ min}$, $T=22 \text{ }^{\circ}\text{C}$, έντονη ανάδευση



Εικόνα 8.11: Διάλυμα 100 mL απεσταγμένου ύδατος Α-) 0,2 g χρυσοτιλικού αμιάντου $t=70$ min, $T=35$ °C, ήπια ανάδευση Β) 0,4 g χρυσοτιλικού αμιάντου $t=70$ min, $T=35$ °C, ήπια ανάδευση

Η διάσπαση των ινών αμιάντου σε ινίδια διαπιστώνεται, παρατηρώντας τα **Διαγράμματα 1-10 (Παράρτημα Δ)**, όπου στο **Διάγραμμα 10**, το οποίο αντιστοιχεί στο πιο απομακρυσμένο δείγμα από τα ΜΑΒΕ, όπου οι ίνες χρυσοτιλικού αμιάντου είναι μικρότερου μήκους και πλάτους.

Χημική σύσταση- Περιεκτικότητα σε αμίαντο

Η χημική σύσταση των υδάτων έχει συσχετισθεί στο παρελθόν με την περιεκτικότητα σε αμίαντο. Για αυτό τον λόγο, στην προκειμένη περίπτωση, ελήφθησαν μικροποσότητες ύδατος από τα σημεία δειγματοληψίας και διεξήχθησαν χημικές αναλύσεις.

Τα δείγματα εξετάζονται με Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης με φούρνο γραφίτη και φλόγα, ανάλογα με τις συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων. Πραγματοποιείται ποσοτικός προσδιορισμός του διαλυμένου μαγνησίου, του ασβεστίου και του σιδήρου, δομικών στοιχείων του αμιάντου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον **Πίνακα 8.7**.

Πίνακας 8.7: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων δειγμάτων ύδατος

Δείγμα	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Fe (ppm)	Fe/ Mg	Ca/Mg	C (X10 ⁶ F/l)
W1	50	89	0,64	0,007	0,561	22,17
W2	121	68	1,87	0,027	1,779	11,17
W3	128	58	3,63	0,062	2,206	26,06
W4	149	69	6,12	0,088	2,159	158,91
W5	127	68	3,02	0,044	1,867	28,50
W6	135	70	3,42	0,048	1,928	38,73
W7	151	80	4,72	0,059	1,887	42,75
W8	125	67	5,02	0,074	1,865	21,86
W9	58	9,3	1,35	0,145	6,236	18,62
W10	71	7,2	1,31	0,181	9,861	4,52

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί ότι κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών επικρατούσαν ασταθείς καιρικές συνθήκες και συνεπώς οι σποραδικές καταιγίδες να έχουν επηρεάσει τα χαρακτηριστικά (Χημική σύσταση) των υδάτων. Εντούτοις, με τα υπάρχοντα δεδομένα γίνεται προσπάθεια να εξαχθούν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα.

Αρχικά, όπως αναφέρεται στο **Κεφάλαιο 5** (παρ 5.3.3), ο λόγος Ca/Mg θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως ένα αρχικό μέσο για τον καθορισμό της επίδρασης του χρυσοτιλικού αμιάντου στο νερό των ποταμών, θεωρώντας ότι στις περιπτώσεις όπου η συγκέντρωση του ασβεστίου υπερβαίνει αυτή του μαγνησίου τότε η χημική επίδραση των ιών αμιάντου δεν είναι σημαντική.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, συμπεραίνεται ότι οι ίνες αμιάντου δεν επιδρούν στη χημική σύσταση των υδάτων του Αλιάκμονα και της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου. Ωστόσο, δεν υπάρχουν αντίστοιχες μελέτες, προκειμένου να επιβεβαιωθεί η παραπάνω υπόθεση. Πιθανόν, το γεγονός ότι η συγκέντρωση του ασβεστίου υπερβαίνει αυτή του μαγνησίου, να οφείλεται στις καιρικές συνθήκες κατά τη δειγματοληψία ή στη γεωλογία της περιοχής (Παρουσία ασβεστολιθικών πετρωμάτων).

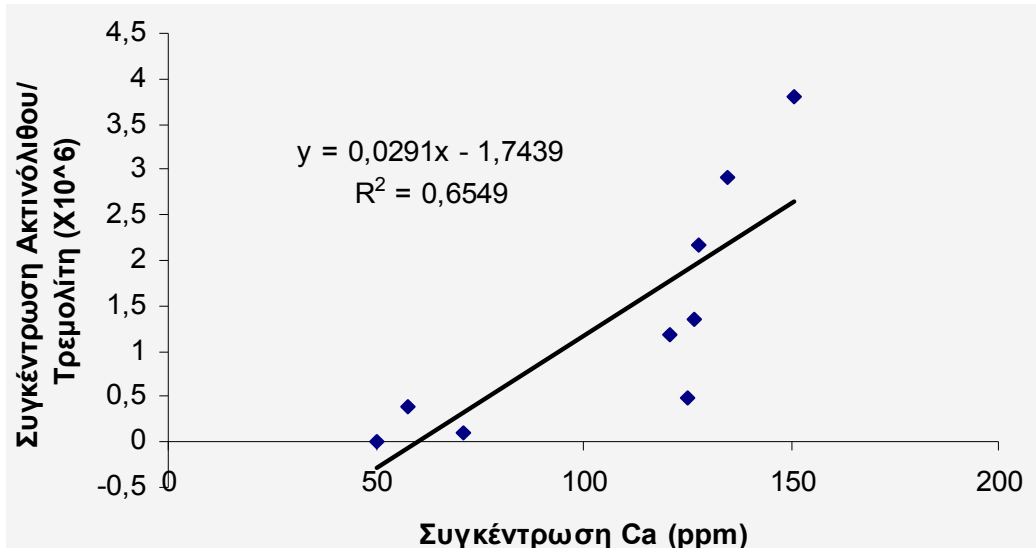
Για να πραγματοποιηθεί συσχέτιση των ιών αμιάντου με τη χημική σύσταση των υδάτων θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η δομή των ιών αμιάντου. Όλοι οι τύποι

αμιάντου περιέχουν μαγνήσιο, εκτός του κροκιδολίτη. Ασβέστιο περιέχει ο ακτινόλιθος και ο τρεμολίτης ενώ σίδηρο ο κροκιδολίτης, ο ακτινόλιθος, ο αμοσίτης και ο ανθοφυλλίτης. Στα εξεταζόμενα δείγματα ύδατος ανιχνεύθηκαν, εκτός από χρυσοτιλικό αμίαντο, ανθοφυλλίτης και ακτινόλιθος/τρεμολίτης. Οι ποσότητες των διαφόρων τύπου αμιάντου, εκτός από τον χρυσοτιλικό αμίαντο, και σύμφωνα με τα αποτελέσματα του **Πίνακα 8.3**, δίνονται στον **Πίνακα 8.8**.

Πίνακας 8.8: Τύποι αμιάντου στα δείγματα ύδατος

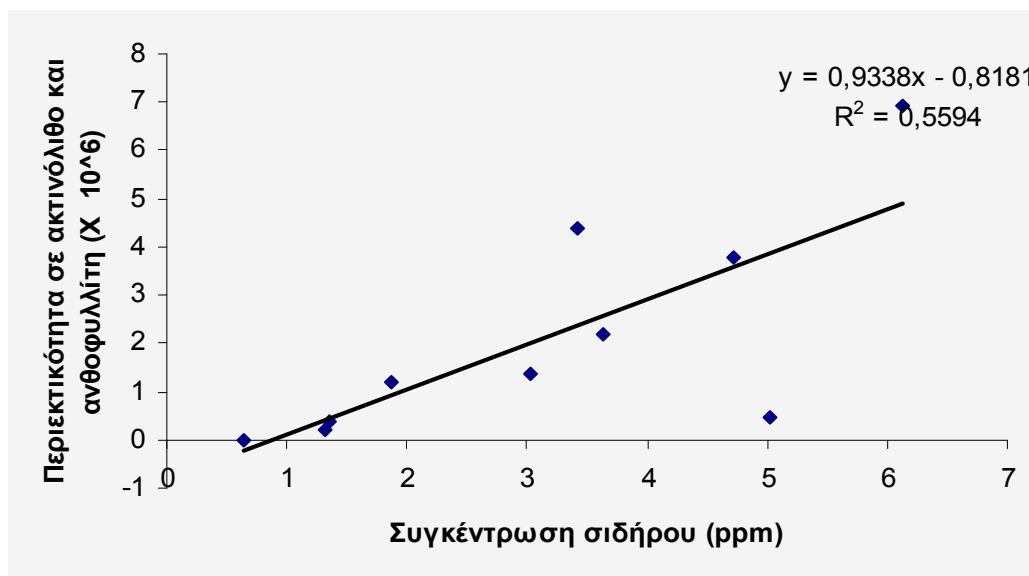
Δείγμα	Ανθοφυλλίτης ($\times 10^6$ F/l)	Ακτινόλιθος/ τρεμολίτης ($\times 10^6$ F/l)
W1	0,00	0,00
W2	0,00	1,19
W3	0,00	2,17
W4	0,00	6,91
W5	0,00	1,36
W6	1,46	2,92
W7	0,00	3,80
W8	0,00	0,48
W9	0,00	0,38
W10	0,10	0,10

Συνεπώς, η διάλυση του αμιάντου, εξαιτίας της ανίχνευσης ινών ακτινόλιθου και τρεμολίτη, μπορεί να επιφέρει μεταβολή στη συγκέντρωση ασβεστίου. Η συγκέντρωση ακτινόλιθου/ τρεμολίτη σε σχέση με την περιεκτικότητα σε ασβέστιο των δειγμάτων ύδατος αποτυπώνονται γραφικά στο **Διάγραμμα 8.8**, με εξαίρεση τα δεδομένα του δείγματος W4.



Διάγραμμα 8.8: Μεταβολή συγκέντρωσης ακτινόλιθου-τρεμολίτη σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε ασβέστιο

Με το ίδιο σκεπτικό επιχειρείται συσχέτιση της συγκέντρωσης σιδήρου με την περιεκτικότητα σε ακτινόλιθο και ανθοφυλλίτη (**Διάγραμμα 8.9**).



Διάγραμμα 8.9: Μεταβολή συγκέντρωσης ακτινόλιθου-ανθοφυλλίτη σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε σίδηρο

Όπως προκύπτει από τα **Διαγράμματα 8.8 και 8.9**, η περιεκτικότητα σε ασβέστιο και σίδηρο μπορούν να συσχετισθούν με τους διάφορους τύπους ινών αμιάντου με σχετικά καλούς συντελεστές προσαρμογής (**0,6549 και 0,5594** για το ασβέστιο και το σίδηρο αντίστοιχα). Το μαγνήσιο, αν και στη βιβλιογραφία

αναφέρεται ότι έχει υψηλό συντελεστή συσχέτισης με τον αμίαντο ($R^2=0.70$), ωστόσο στην προκειμένη περίπτωση δεν εξήχθη αυτό το συμπέρασμα.

8.4.3 Δείγματα εδάφους

Σύμφωνα με τη γεωλογία της περιοχής μελέτης (**Κεφάλαιο 6 παρ 6.3**) αν και το σερπεντινιτικό κοίτασμα δεν εκτείνεται μέχρι τις όχθες του Αλιάκμονα, λαμβάνονται δείγματα εδαφικού υλικού από τις όχθες του Αλιάκμονα και της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου προς εξέταση για την ανίχνευση ινών αμιάντου. Τα δείγματα εξετάστηκαν με τη μέθοδο PLM (Κεφάλαιο 7 παρ. 7.4.3.2). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον **Πίνακα 8.9**.

Πίνακας 8.9: Περιεκτικότητα σε αμίαντο δειγμάτων εδαφικού υλικού

Δείγμα	Περιεκτικότητα σε αμίαντο (%)
W1	0
W5	0
W6	0
W8	0
W9	15-20
W10	0

Βάσει των αποτελεσμάτων των αναλύσεων για περιεκτικότητα σε αμίαντο του επιφανειακού εδαφικού υλικού κατά μήκος της περιοχής μελέτης στον Αλιάκμονα, δεν παρατηρείται η ύπαρξη αμιαντούχων πετρωμάτων στις όχθες του ποταμού.

Σε ότι αφορά στην περιοχή των αποθέσεων, βρέθηκε αμίαντος σε υψηλή περιεκτικότητα μόνο στο εδαφικό δείγμα (**W9**) της λίμνης των αποθέσεων. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι η λίμνη βρίσκεται πολύ κοντά στις αποθέσεις (περίπου σε απόσταση 5 m), με αποτέλεσμα, εξαιτίας των φαινομένων διάβρωσης και στερεοαπορροής των αποθέσεων να διασκορπίζονται στην ευρύτερη περιοχή αμιαντούχο μετάλλευμα.

8.4.4 Τρίτο Μερικό Συμπέρασμα

Το Διαμέρισμα της Δυτικής Μακεδονίας διασχίζεται από τον Αλιάκμονα, ο οποίος τροφοδοτεί την τεχνητή λίμνη Πολυφύτου. Ο Αλιάκμονας, εξαιτίας της πολυπληθούς χρήσης του (αρδευση, ύδρευση, κτηνοτροφία κ.α.), ελέγχεται συστηματικά ως προς την ποιότητα των υδάτων του. Ωστόσο, δεν διεξάγονται

αντίστοιχες έρευνες για τη ρύπανση από αμιάντο, αν και τα MABE, όπως και οι αποθέσεις, βρίσκονται εντός της λεκάνης απορροής του Αλιάκμονα και της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου. Για αυτό τον λόγο, καθορίστηκε ένα σχέδιο δειγματοληψίας υδάτων στην περιοχή, το οποίο εκτείνεται σε απόσταση 21 km περίπου από τις αποθέσεις, καθώς και λήψη δειγμάτων από σημεία κοντά στις αποθέσεις.

Διαπιστώθηκε ότι η συγκέντρωση ιών αμιάντου στη λίμνη στη βάση των αποθέσεων ανέρχεται σε $22,17 \cdot 10^6$ F/l (**Δείγμα W1**), ενώ σε Ρυάκι, σε πολύ κοντινή απόσταση από τις αποθέσεις, το οποίο τροφοδοτείται από τη λίμνη των αποθέσεων ανέρχεται σε $18,62 \cdot 10^6$ F/l (**Δείγμα W9**). Σε ότι αφορά στον Αλιάκμονα και στην τεχνητή λίμνη Πολυφύτου ανιχνεύθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις ιών αμιάντου και σε πολύ υψηλότερα επίπεδα από τα επιτρεπόμενα όρια της Ε.Ρ.Α. ($7 \cdot 10^6$ F/l).

Επιπλέον, εξετάστηκε το ενδεχόμενο η παρουσία ιών αμιάντου στο νερό να επιβαρύνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του. Εργαστηριακά πειράματα διεξήχθησαν εξετάζοντας το pH σε συνάρτηση με τον χρόνο και σε συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος και υψηλότερης καθώς και ανάδευσης ήπιας και έντονης μορφής. Η έντονη ανάδευση και η υψηλή θερμοκρασία, καθώς και η ποσότητα αμιαντούχου μεταλλεύματος, έχουν σημαντική επίδραση στο pH του διαλύματος. Σε ότι αφορά στη χημική σύσταση υδάτων ρυπασμένα από αμιάντο, ελήφθησαν δείγματα από την περιοχή μελέτης προς εξέταση. Ο λόγος Ca/Mg, αν και δείχνει ότι η χημική επίδραση του αμιάντου δεν είναι σημαντική στην ποιότητα των υδάτων, ωστόσο φαίνεται ότι υπάρχει επίδραση της περιεκτικότητας των διαφόρων τύπων αμιάντου στη συγκέντρωση ασβεστίου και σιδήρου, σύμφωνα με τους συντελεστές συσχέτισης.

Τέλος, ελήφθησαν δείγματα εδαφικού υλικού από τα σημεία δειγματοληψίας ύδατος, με σκοπό να εξεταστούν ως προς την παρουσία ιών αμιάντου, με απώτερο στόχο να διαπιστωθεί εάν στις όχθες του Αλιάκμονα και της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου υπάρχουν πετρώματα πλούσια σε αμιάντο και συνεπώς αποτελούν επιπρόσθετη πηγή ρύπανσης των υδάτων. Δεν ανιχνεύθηκαν ίνες αμιάντου στις όχθες του Αλιάκμονα, εκτός από το δείγμα της λίμνης των αποθέσεων, αναμενόμενο αφού βρίσκεται πολύ κοντά στις αποθέσεις.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα, είναι εμφανές ότι οι Αποθέσεις αμιάντου αποτελούν εστία ρύπανσης της ευρύτερης περιοχής. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εξέταση διασποράς ιών αμιάντου, εξαιτίας της επιφανειακής απορροής από τη περιοχή των αποθέσεων με την εφαρμογή ενός μοντέλου διάβρωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

9.1 Εισαγωγή

Η διάβρωση, που προκαλείται εξαιτίας των καιρικών φαινομένων (βροχόπτωση, χιονόπτωση κ.α), όπως περιγράφεται και στο **Κεφάλαιο 5**, παίζει καθοριστικό ρόλο στην έκταση της ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή. Για αυτό τον λόγο έχουν διατυπωθεί διάφορα μοντέλα πρόβλεψης και εκτίμησης της διάβρωσης. Στην προκειμένη περίπτωση η εφαρμογή ενός μοντέλου διάβρωσης παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης της επιφανειακής απορροής. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να συσχετισθούν με αυτά των δειγμάτων ύδατος και τελικά να εκτιμηθεί ο αριθμός των ινών αμιάντου που διασκορπίζονται στην ευρύτερη περιοχή.

9.2 Μοντέλο Διάβρωσης

Για τη μελέτη των φαινομένων διάβρωσης στην περιοχή των αποθέσεων χρησιμοποιείται το πρόγραμμα **WEPP (Water Erosion Prediction Project)**, το οποίο έχει κατασκευαστεί από το Εθνικό Ερευνητικό Εργαστήριο Εδαφικής Διάβρωσης της Ιντιάνα των Η.Π.Α. (National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana, USA).

Το μοντέλο διάβρωσης WEPP είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης και πρόβλεψης της εδαφικής απώλειας και της απόθεσης ιζήματος από την επιφανειακή απορροή σε λοφοπλαγιές και σε μικρά ρέματα. Εκτός αυτού παρέχεται η δυνατότητα εισαγωγής μετεωρολογικών δεδομένων. Με τη χρήση στατιστικών μοντέλων μπορεί να πραγματοποιηθεί μακροχρόνια πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών σε ημερήσια βάση. Η υδρολογία προσομοιώνεται με τη χρήση μιας τροποποιημένης εξίσωσης διήθησης (Green-Ampt) και τις λύσεις των κινηματικών εξισώσεων κυμάτων. Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη στοιχεία που αφορούν το ημερήσιο υδατικό ισοζύγιο, την επιφανειακή φυτική κάλυψη και ανάπτυξη καθώς και την πιθανή άρδευση της υπό εξέταση περιοχής. Το μοντέλο WEPP εκτιμά τη χωρική και χρονική κατανομή της εδαφικής απώλειας και της απόθεσης σε μια λεκάνη απορροής ή σε μια λοφοπλαγιά με άλλοτερο σκοπό τον έλεγχο των φαινομένων διάβρωσης.


9.2.1 Δεδομένα Εισαγωγής

Τα δεδομένα εισαγωγής του προγράμματος κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις κυρίες ομάδες οι οποίες περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

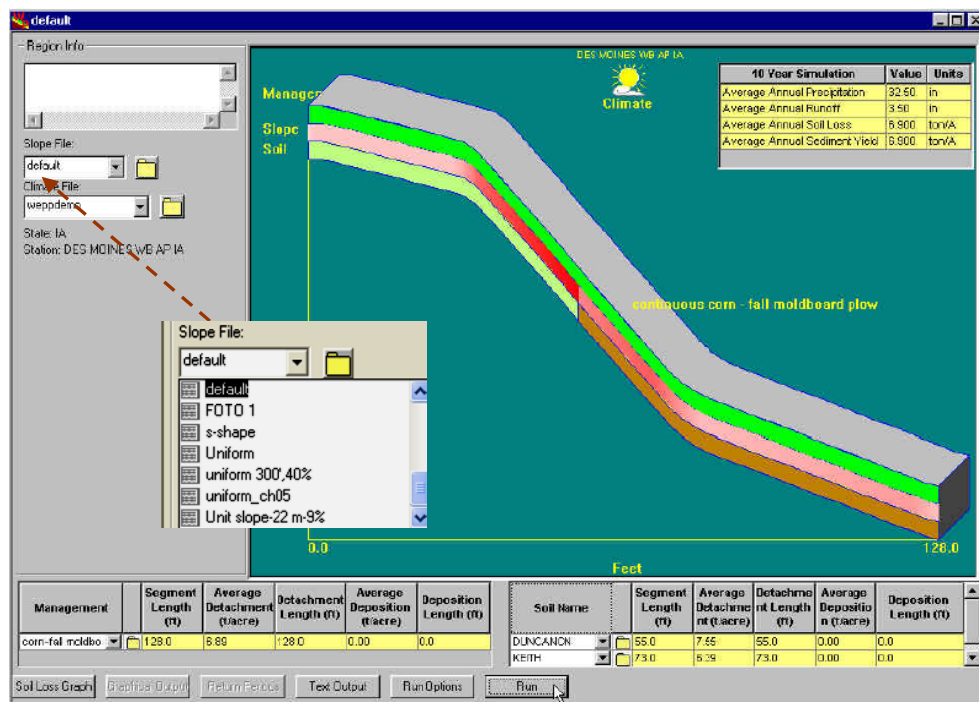
1. Μορφολογία λοφοπλαγιάς
2. Εδαφολογικά χαρακτηριστικά
3. Μετεωρολογικά δεδομένα
4. Στοιχεία καλλιέργειας και διαχείρισης της γης

Στη συνέχεια ακολουθεί εκτενής περιγραφή των κυριότερων ομάδων εισαγωγής δεδομένων στο πρόγραμμα WEPP.

9.2.1.1 Μορφολογία λοφοπλαγιάς

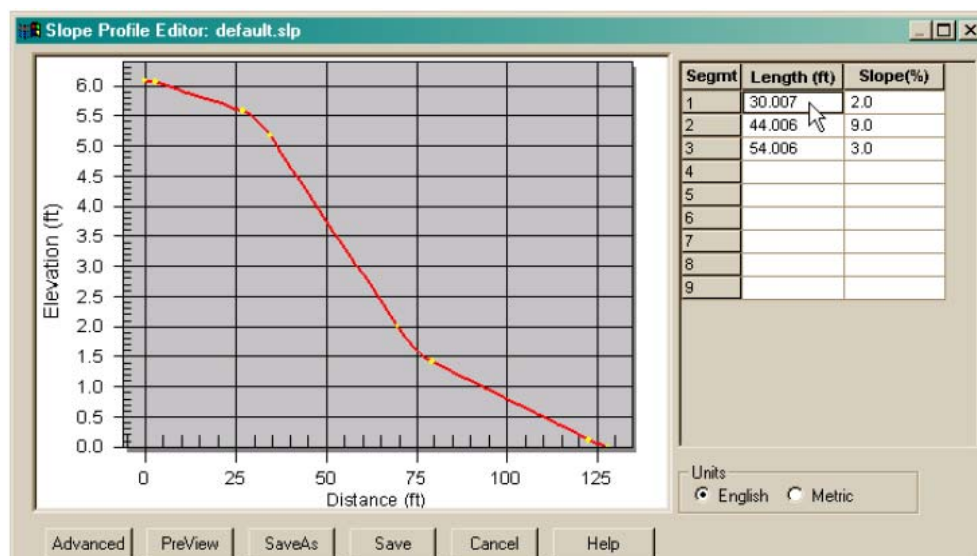
Το μοντέλο WEPP επιτρέπει την εισαγωγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της λοφοπλαγιάς. Οι απαραίτητες πληροφορίες περιλαμβάνουν τον προσανατολισμό της πλαγιάς και το μήκος των διαφόρων επιπέδων. Το πρόγραμμα διαθέτει μια βάση πρότυπων απεικονίσεων, αν και ο χρήστης μπορεί να εισάγει τα δικά του δεδομένα. Στο κεντρικό παράθυρο εργασιών (**Εικόνα 9.1**) στο “Slope file“ εμφανίζονται τα πρότυπα κλίσεων της πλαγιάς, διαφορετικά πατώντας το σύμβολο  ανοίγει το παράθυρο “Slope Profile Editor” για την εισαγωγή των δεδομένων (**Εικόνα 9.2**)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ



Εικόνα 9.1: Κεντρικό παράθυρο εργασιών

Το προφίλ της λοφοπλαγιάς σχηματίζεται καθορίζοντας το μήκος (Length) και την κλίση (Slope) των επιμέρους τμημάτων της (Εικόνα 9.2).




Εικόνα 9.2: Προφίλ λοφοπλαγιάς

Η διαδικασία εισαγωγής των μορφολογικών χαρακτηριστικών της λοφοπλαγιάς ολοκληρώνεται αποθηκεύοντας το αρχείο.

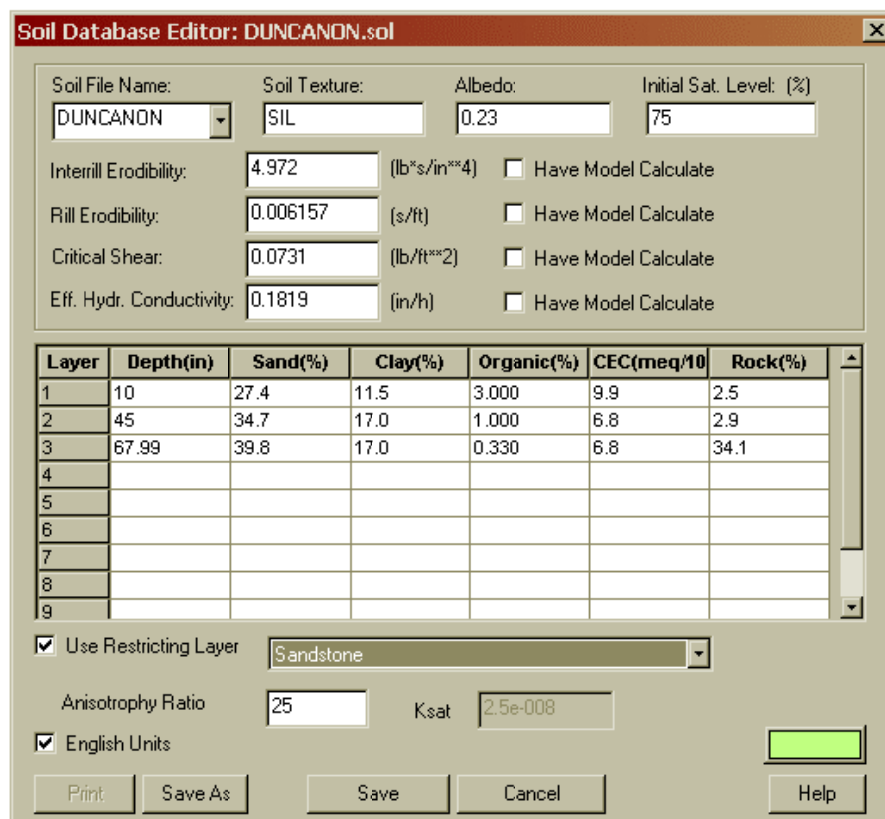
9.2.1.2 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά

Δεδομένα σχετικά με τα χαρακτηριστικά του εδάφους μπορούν να εισαχθούν στο μοντέλο WEPP. Παρέχεται η δυνατότητα εισαγωγής 8 υποστρωμάτων, ενώ το συνολικό πάχος του εδαφικού στρώματος δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 1,8 m. Η γνώση φυσικών και υδρολογικών παραμέτρων του κάθε υποστρώματος απαιτείται για τον χαρακτηρισμό τους.

Στο κεντρικό παράθυρο εργασιών, στο κατώτερο σημείο, πατώντας το σύμβολο  (Εικόνα 9.3) ανοίγει το παράθυρο “Soil Database Editor” για την εισαγωγή των δεδομένων (Εικόνα 9.4).

Soil Name	Segment Length (ft)	Average Detachment (t/acre)	Detachment Length (ft)	Average Deposition (t/acre)	Deposition Length (ft)
DUNCANON	180.0	10.22	162.0	4.70	18.0

Εικόνα 9.3: Άνοιγμα παραθύρου εισαγωγής χαρακτηριστικών εδαφικού υλικού



Soil Database Editor: DUNCANON.sol

Soil File Name: DUNCANON Soil Texture: SIL Albedo: 0.23 Initial Sat. Level: (%) 75

Interrill Erodibility: 4.972 (lb*s/in**4) ☐ Have Model Calculate

Rill Erodibility: 0.006157 (s/ft) ☐ Have Model Calculate

Critical Shear: 0.0731 (lb/ft**2) ☐ Have Model Calculate

Eff. Hydr. Conductivity: 0.1819 (in/h) ☐ Have Model Calculate

Layer	Depth(in)	Sand(%)	Clay(%)	Organic(%)	CEC(meq/100)	Rock(%)
1	10	27.4	11.5	3.000	9.9	2.5
2	45	34.7	17.0	1.000	6.8	2.9
3	67.99	39.8	17.0	0.330	6.8	34.1
4						
5						
6						
7						
8						
9						

☒ Use Restricting Layer: Sandstone

Anisotropy Ratio: 25 Ksat: 2.5e-008

☒ English Units

Buttons: Print, Save As, Save, Cancel, Help

Εικόνα 9.4: Εισαγωγή χαρακτηριστικών εδαφικού υλικού

Ενδεικτικά δίνεται ένα παράδειγμα του εδαφικού υλικού από τη βάση δεδομένων με ονομασία “Duncanon”. Το πρόγραμμα διαθέτει μια βάση δεδομένων διαφορετικών εδαφικών υλικών, ενώ ο χρήστης μπορεί να διαμορφώσει ένα εδαφικό υλικό ορίζοντας τις απαιτούμενες παραμέτρους, οι οποίες περιγράφονται παρακάτω.

Albedo

Η παράμετρος “Albedo” εκφράζει το επί τις εκατό ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας το οποίο ανακλάται στην ατμόσφαιρα. Αυτή η παράμετρος χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το επίπεδο της καθαρής ακτινοβολίας που εκπέμπεται στην επιφάνεια του εδάφους. Το εύρος τιμών της είναι 0- 100 %. Συνήθως για γυμνό και ξηρό έδαφος κυμαίνεται 5- 20 %.

Αρχικό επίπεδο κορεσμού (Initial Saturation Level SAT)

Το αρχικό επίπεδο κορεσμού εκφράζει το τοις εκατό του πορώδους που γεμίζει με νερό κατά την έναρξη της διαδικασίας προσομοίωσης, η οποία διεξάγεται για τουλάχιστον ένα έτος με ημερομηνία έναρξης την 1^η Ιανουαρίου. Συνεπώς η “αρχική” περιεκτικότητα σε εδαφολογικό ύδωρ αναφέρεται στην περιεκτικότητα την 1^η Ιανουαρίου του πρώτου έτους προσομοίωσης. Το εύρος τιμών είναι 0 – 100 %, ενώ η προτεινόμενη τιμή για τα περισσότερα εδάφη είναι 70%.

Η παράμετρος SAT ορίζεται για κάθε εδαφολογικό στρώμα, ενώ η συνολική περιεκτικότητα σε εδαφολογικό ύδωρ (SOILWA) και η διαθέσιμη εδαφολογική περιεκτικότητα (ST) για κάθε στρώμα υπολογίζονται σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις.

Αρχική περιεκτικότητα σε εδαφολογικό ύδωρ (m/στρώμα εδάφους)

$$(SOILWA) = (SAT * POR * RFG) * DG \quad (9.1)$$

Αρχική διαθέσιμη περιεκτικότητα σε εδαφολογικό ύδωρ (m/στρώμα εδάφους)

$$(ST) = ((SAT * POR) * (1 - FRG) - \theta_{etdr}) * DG \quad (9.2)$$

Όπου:

POR : Πορώδες στρώματος (cm^3/cm^3)

RFG : Διόρθωση του πορώδους για το περιεχόμενο σε πέτρωμα, κλάσμα όγκου

DG : Πάχος εδαφικού στρώματος (m)

Thetdr: Εδαφολογικό ύδωρ το οποίο αντιστοιχεί σε τάση 1.500 kPa (cm^3/cm^3)

Η περιεκτικότητα σε εδαφολογικό ύδωρ του ανώτερου εδαφικού στρώματος μεταβάλλεται καθημερινά και εξαρτάται από τη διήθηση της βροχόπτωσης, την άρδευση, το λιώσιμο του χιονιού, την εξάτμιση και τη βαθιά διείσδυση στα κατώτερα εδαφολογικά στρώματα.

Διαβρωσιμότητα (Interrill Erodibility)

Η διαβρωσιμότητα (K_i) ($\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^4$) εκφράζει την ευαισθησία του εδάφους στην αποκόλληση/παράσυρση, εξαιτίας της βροχόπτωσης και της επιφανειακής απορροής και υπολογίζεται σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις

Για εδάφη με περιεκτικότητα σε αμμώδες έδαφος $\geq 30\%$

$$K_i = 2.728.000 + 192.100 \cdot \text{VFS} \quad (9.3)$$

Όπου:

VFS: ποσοστό πολύ λεπτόκοκκης άμμου στο επιφανειακό εδαφικό υλικό.

Η παράμετρος VFS δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 40%. Σε αντίθετη περίπτωση θεωρείται ότι $\text{VFS} = 40\%$.

Για εδάφη με περιεκτικότητα σε αμμώδες έδαφος $\leq 30\%$

$$K_i = 6.054.000 - 55.130 \cdot \text{CLAY} \quad (9.4)$$

Όπου:

CLAY: το ποσοστό της αργίλου στο επιφανειακό εδαφικό υλικό

Η παράμετρος CLAY δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 40%. Σε αντίθετη περίπτωση θεωρείται ότι $CLAY = 40\%$. Το εύρος τιμών της διαβρωσιμότητας, σύμφωνα με πειραματικές μετρήσεις, κυμαίνονται $2.000.000 - 11.000.000 \text{ kg*s/m}^4$.

Διαβρωσιμότητα ρεμάτων (Rill Erodibility)

Η διαβρωσιμότητα των ρεμάτων (K_r) (s/m) απεικονίζει την ευαισθησία του εδάφους στην αποκόλληση/παράσυρση εδαφικού υλικού εξαιτίας της ορμής του νερού των ρεμάτων. Οι ακόλουθες εξισώσεις χρησιμοποιούνται για των υπολογισμό της διαβρωσιμότητας των ρεμάτων

Για εδάφη με περιεκτικότητα σε αμμώδες έδαφος $\geq 30\%$

$$K_r = 0,00197 + 0,00030 * VFS + 0,03863 * e^{(-1,84 \text{ ORGMAT})} \quad (9.5)$$

Όπου:

VFS : ποσοστό πολύ λεπτόκοκκης άμμου στο επιφανειακό εδαφικό υλικό

ORGMAT: ποσοστό οργανικού φορτίου στο επιφανειακό εδαφικό υλικό

Η παράμετρος VFS δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 40%, ενώ η ORGMAT θα πρέπει να είναι χαμηλότερη από 0,35. Σε αντίθετη περίπτωση θεωρείται ότι $VFS = 40\%$, ενώ $ORGMAT = 0,35$.

Για εδάφη με περιεκτικότητα σε αμμώδες έδαφος $\leq 30\%$

$$K_r = 0,0069 + 0,134 * e^{(-0,20 * CLAY)} \quad (9.6)$$

Όπου:

CLAY: το ποσοστό της αργίλου στο επιφανειακό εδαφικό υλικό

Η παράμετρος CLAY θα πρέπει να είναι $\geq 10\%$. Σε αντίθετη περίπτωση θεωρείται ότι $CLAY = 10\%$.

Κρίσιμη αποκόλληση (Critical Shear)

Η παράμετρος ‘Κρίσιμη αποκόλληση’ (TAUc) (N/m²).εκφράζει την οριακή τιμή, όπου μικρότερη από αυτήν δεν εμφανίζεται το φαινόμενο της Διαβρωσιμότητας των ρεμάτων.

Για εδάφη με περιεκτικότητα σε αμμώδες έδαφος $\geq 30\%$

$$TAUc = 2,67 + 0,065*CLAY - 0,058*VFS \text{ (9.7)}$$

Οι παράμετροι VFS και CLAY δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 40%. Εάν υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια τότε θεωρείται ότι VFS= 40% και CLAY= 40%.

Για εδάφη με περιεκτικότητα σε αμμώδες έδαφος $\leq 30\%$

$$TAUc = 3.5 \text{ (9.8)}$$

Οι πειραματικές μετρήσεις έχουν δείξει ότι η Κρίσιμη αποκόλληση για τη καλλιεργήσιμη γη και τα βοσκοτόπια κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1-6 N/m² και 1,5-6 N/m² αντίστοιχα.

Ενεργή υδραυλική αγωγιμότητα (Effective Hydraulic Conductivity)

Αυτή η παράμετρος σχετίζεται και δεν ταυτίζεται με την αγωγιμότητα κορεσμού του εδάφους. Εάν ο χρήστης δεν μπορεί να προσδιορίσει την Ενεργή υδραυλική αγωγιμότητα, τότε ορίζεται ως μηδέν και το WEPP μπορεί να την υπολογίσει αυτόματα, σύμφωνα με την **Εξίσωση 9.9**.

Για εδάφη με περιεκτικότητα σε άργιλο $\leq 40\%$

$$Kb = -0,265 + 0,0086*SAND*1,8 + 11,48*CEC*(-0,75)$$

Για εδάφη με περιεκτικότητα σε άργιλο $\geq 40\%$

$$K_b = -0,0086 \cdot \exp(244 \text{CLAY})$$

Όπου: SAND: ποσοστό άμμου στο έδαφος

CLAY: ποσοστό αργίλου στο έδαφος

CEC : ιοντοανταλλακτική ικανότητα του εδάφους (meq/100g)

Εδαφολογικό στρώμα (Soil Layer)

Ο αριθμός εδαφολογικών στρωμάτων εξαρτάται από τη μεταβλητότητα του εδαφολογικού ύδατος και των φυσικών ιδιοτήτων των οριζόντων. Μέχρι 8 εδαφολογικά στρώματα μπορούν να καθοριστούν από το χρήστη. Εάν οι εδαφολογικές και φυσικές ιδιότητες, όπως η σύσταση, δεν είναι πολύ διαφορετικές μεταξύ δύο εδαφολογικών στρωμάτων, συνιστάται η εισαγωγή μόνο ενός εδαφολογικού στρώματος. Το μοντέλο WEPP επαναπροσδιορίζει τα εδαφολογικά στρώματα (αθροίζει και επαναταξινομεί τα στρώματα) για τον υπολογισμό της διήθησης και διεύδυσης.

Βάθος (mm)

Το κατώτατο βάθος κάθε εδαφολογικού στρώματος από την επιφάνεια καθορίζεται χρησιμοποιώντας αυτήν την παράμετρο.

Εύρος τιμών: 10-1.200 mm

Άμμος – Αργίλος (%)

Στο WEPP, η περιεκτικότητα σε άμμο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των εδαφολογικών παραμέτρων όπως, το εδαφολογικό φαινόμενο ειδικό βάρος, το πορώδες, την ενεργή υδραυλική αγωγιμότητα κ.α..

Εύρος τιμών: 0-100 %

Οργανικό υλικό

Το οργανικό υλικό είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του εδάφους. Το οργανικό περιεχόμενο τροποποιεί σημαντικά τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους. Το οργανικό υλικό ευθύνεται για την αύξηση του πορώδους και τη ελάττωση της διάβρωσης από τον αέρα και το ύδωρ. Στο WEPP, το οργανικό υλικό χρησιμοποιείται για να υπολογιστούν, το φαινόμενο ειδικό βάρος, το πορώδες, η καμπύλη διατήρησης ύδατος, και οι παράμετροι διάβρωσης. Οι τιμές του οργανικού υλικού εξαρτώνται από τη χρήση γης και ποικίλλουν μεταξύ 1 και 5% στα περισσότερα εδάφη

Ιοντοανταλλακτική ικανότητα του εδάφους (Cation Exchange Capacity) (CEC)

Η Ιοντοανταλλακτική ικανότητα του εδάφους (meq/100g) εκφράζει ποσότητα κατιόντων προσρόφησης ανά μονάδα μάζας εδάφους υπό τους χημικά ουδέτερες συνθήκες. Η παράμετρος CEC χρησιμοποιείται στις εξισώσεις προσδιορισμού της υδραυλικής αγωγιμότητας.

Εύρος τιμών: 0-150

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν τυποποιημένες πειραματικές μετρήσεις, χρησιμοποιούνται τιμές από πρότυπους πίνακες σύμφωνα με τον τύπο του εδάφους (Πίνακας 9.1 και 9.2).

Πίνακας 9.1: Συσχέτιση CEC και τύπου εδάφους

Τύπος Εδάφους	(CEC meq/100g)
Άμμος	1-5
Αμμοπηλώδες	5-10
Ίλοπηλώδες	5-15
Αργιλοπηλώδες	15-30
Άργιλος	30-150

* Πηγή: Donahue et al (1977)

Πίνακας 9.2: Χαρακτηριστική τιμή CEC των πιο συνηθισμένων
κολλοειδών εδαφών

Τύπος Εδάφους	(CEC meq/100g)
Χούμος	100-300
Αργίλος Βερμικουλίτη	80-150
Μοντμοριλονίτης	60-100
Ιλλίτης	25-40
Καολινίτης	3-15
Sesquioxides	0-3

* Πηγή: Donahue et al (1977)

Βραχώδες (%)

Στο WEPP, ορίζεται το ποσοστό βραχώδους εδάφους, το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των εδαφολογικών παραμέτρων όπως, την υδραυλική αγωγιμότητα, το πορώδες κ.α..

Χρήση Περιοριστικού στρώματος (Use restricting layer)

Στο πρόγραμμα WEPP παρέχεται η δυνατότητα εισαγωγής περιοριστικού στρώματος, το κατώτερο στρώμα της εδαφικής τομής της υπό μελέτης περιοχής. Υπάρχει βάση δεδομένων με τα πιο γνωστά ιζήματα και πετρώματα από την οποία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει. Σε αυτή την περίπτωση η παράμετρος υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού Ksat (saturated hydraulic conductivity) ορίζεται αυτόματα ανάλογα με την επιλογή του πετρώματος. Εάν ο χρήστης επιλέξει “User Defined” τότε θα πρέπει να καθορίσει την παράμετρο Ksat.

Τέλος ο χρήστης εφόσον έχει ορίσει πλήρως τις παραμέτρους του εδάφους αποθηκεύει το αρχείο αυτό στη βάση δεδομένων του προγράμματος.

9.2.1.3 Μετεωρολογικά δεδομένα

Το μοντέλο WEPP επιτρέπει την εισαγωγή των μετεωρολογικών δεδομένων για την προσομοίωση της διάβρωσης στην περιοχή. Τα δεδομένα ορίζονται με τη μεταφορά στο παράθυρο εργασιών “climate weppdemo.cli” με διπλό κλικ από το κεντρικό παράθυρο στο εικονίδιο “Climate”. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν στοιχεία σχετικά με βροχόπτωση, τη θερμοκρασία, την ηλιακή ακτινοβολία και δεδομένα για τον άνεμο σε ημερήσια βάση. Το αυτόνομο πρόγραμμα CLIGEN χρησιμοποιείται για

την παραγωγή κλιματικών αρχείων προσομοίωσης. Το πρόγραμμα διαθέτει βάση δεδομένων για τη λήψη των μετεωρολογικών δεδομένων (περισσότεροι από 2.500 σταθμοί των Η.Π.Α.) και την εκτέλεση τους με το πρόγραμμα CLIGEN.

Ο χρήστης καλείται να επιλέξει την περιοχή μελέτης (Installed climates (states)) και στη συνέχεια τον σταθμό (Installed climates (station)) για τη λήψη των μετεωρολογικών δεδομένων.

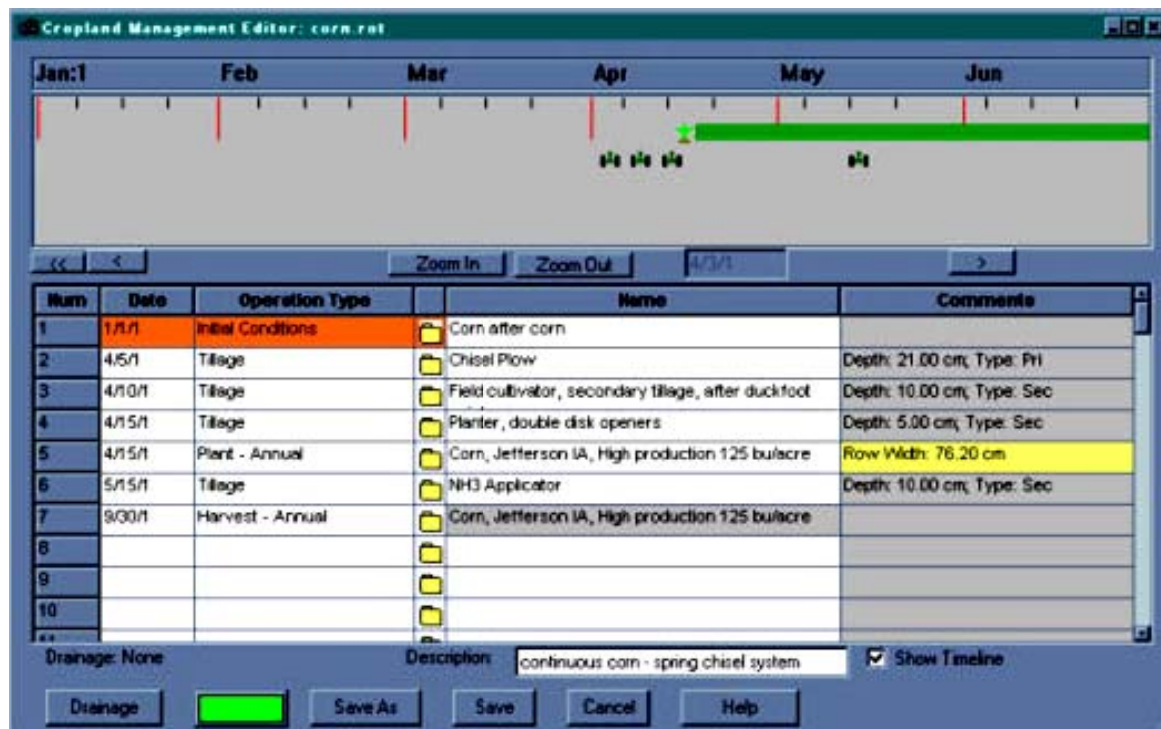
Τέλος, θα πρέπει να καθοριστεί η μέθοδος προσομοίωσης, προκειμένου να εκτελεστεί το αυτόνομο πρόγραμμα CLIGEN. Συγκεκριμένα παρέχεται η δυνατότητα προσομοίωσης για ένα ή περισσότερα έτη καθώς και για μεμονωμένες χρονικές περιόδους ορίζοντας κάποια επιπλέον στοιχεία (συνολικό ύψος, διάρκεια μέγιστη τιμή κ.α. βροχόπτωσης).

Εφόσον έχουν καθοριστεί πλήρως όλα τα δεδομένα ο χρήστης καλείται να εκτελέσει το πρόγραμμα πατώντας “OK”, αποθηκεύοντας τα κλιματολογικά δεδομένα και θέτοντας τα σε εφαρμογή.

9.2.1.4 Στοιχεία καλλιέργειας και διαχείρισης της γης

Ο χρήστης μπορεί να εισάγει δεδομένα που αφορούν τη διαχείριση και την καλλιέργεια της γης. Στο κεντρικό παράθυρο εργασιών με διπλό κλικ στο στρώμα που απεικονίζει τη λοφοπλαγιά εμφανίζεται το παράθυρο με ονομασία “Management Editor” (**Εικόνα 9.5**)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ



Εικόνα 9.5: Εισαγωγή δεδομένων καλλιέργειας και διαχείρισης της γης

Στο παράθυρο εμφανίζεται η λίστα των δεδομένων για την περιγραφή της περιοχής καθώς και σχετικό χρονογράφημα απεικόνισης τους. Εισάγονται δεδομένα που αφορούν κυρίως τις ακόλουθες δραστηριότητες:

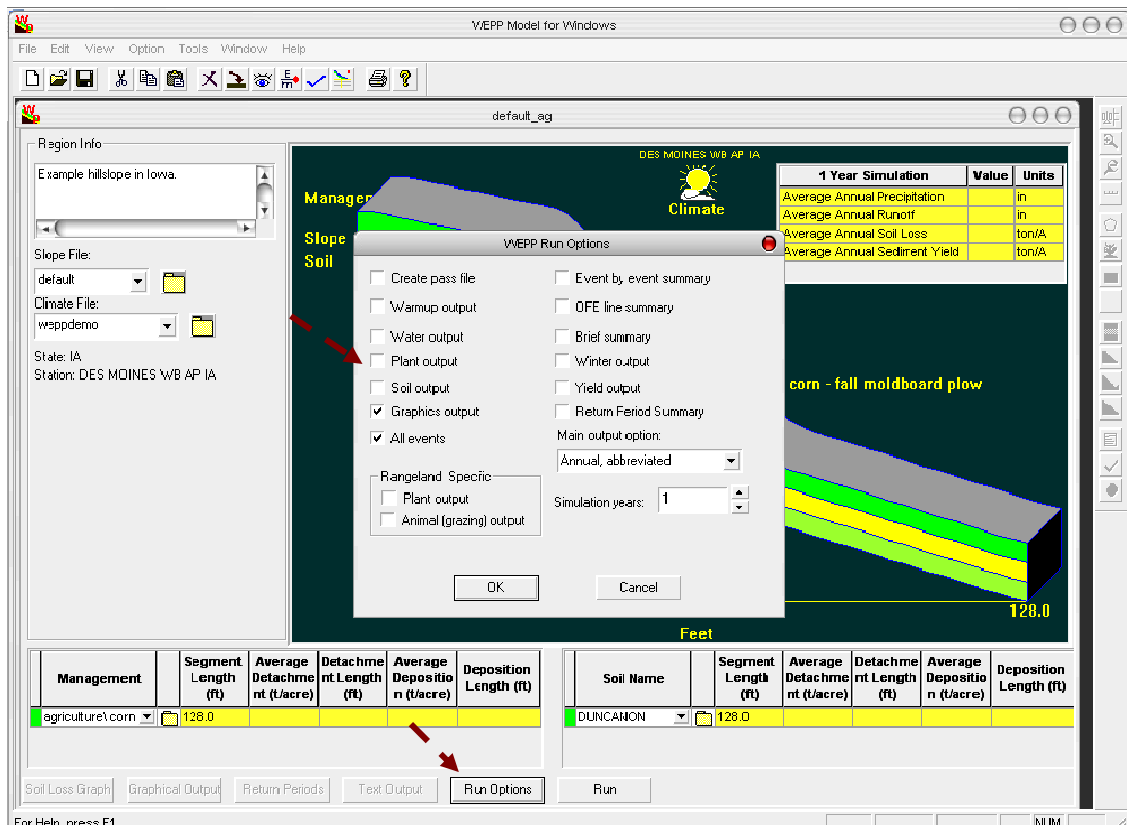
- ✓ Αρχικές συνθήκες
- ✓ Καλλιέργεια γης
- ✓ Ύδρευση
- ✓ Άρδευση
- ✓ Εκτροφή ζώων
- ✓ Προσθήκη ή αφαίρεση γης (υπολείμματα)

Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει με ακρίβεια πλήθος ενεργειών που σχετίζονται με τη χρησιμοποίηση της γης, όπως περίοδος φύτευσης και συγκομιδής, χρήση ζιζανιοκτόνων κ.α.

9.2.1 Αποτελέσματα εφαρμογής προγράμματος WEPP

Μετά τον καθορισμό των στοιχείων για την εφαρμογή του μοντέλου στην υπό μελέτη περιοχή και προτού εκτελεστεί θα πρέπει να καθοριστούν τα δεδομένα

εξόδου. Στο κεντρικό παράθυρο εργασιών (**Εικόνα 9.1**) με διπλό κλικ στο κουμπί “Run Options” ο χρήστης καθορίζει τα δεδομένα εξόδου στο παράθυρο “Wepp run options” (**Εικόνα 9.6**) όπως θερμοκρασία, επιφανειακή απορροή, στεροαπορροή, γραφήματα κ.α..



Εικόνα 9.6: Καθορισμός παραμέτρων εξόδου

Τέλος, ο χρήστης με κλικ στο πλήκτρο “Run” εκτελεί το πρόγραμμα διάβρωσης και στη συνέχεια στο “Text output” μπορεί να επιλέξει τον τρόπο απεικόνισης των αποτελεσμάτων, είτε σε συγκεντρωτικό πίνακα είτε ανά κατηγορία π.χ. στεροαπορροή, επιφανειακή απορροή, γραφήματα και δεδομένα εισόδου κ.α.

9.3 Εφαρμογή του μοντέλου διάβρωσης

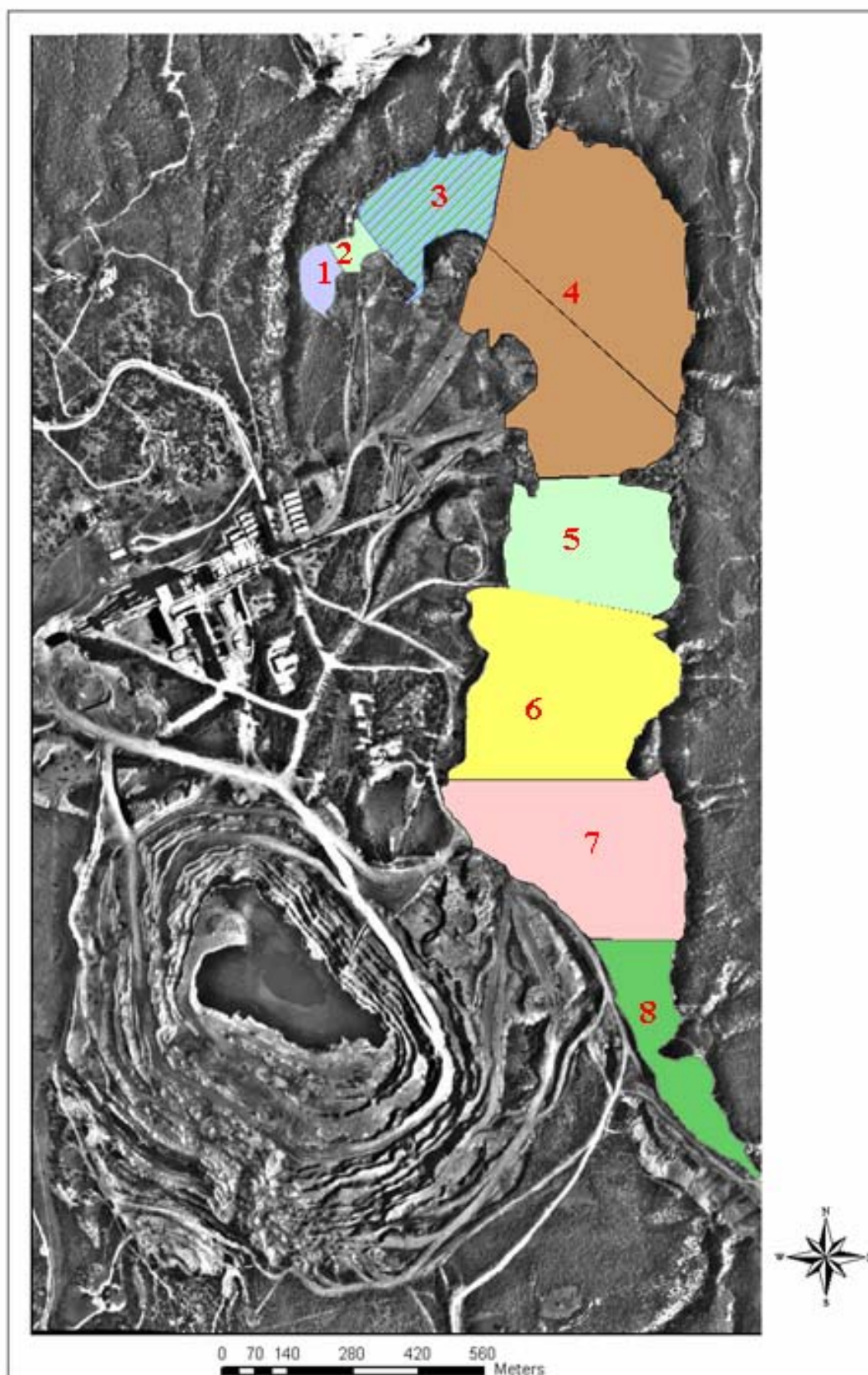
Το μοντέλο διάβρωσης χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής στην περιοχή των αποθέσεων. Τα δεδομένα εισόδου του προγράμματος προκύπτουν έπειτα από εργασίες στο πεδίο καθώς και χρήση βοηθητικών προγραμμάτων. Παρακάτω δίνονται στοιχεία σχετικά με τα δεδομένα εισόδου, την εκτέλεση του προγράμματος καθώς και τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

9.3.1 Δεδομένα εισόδου

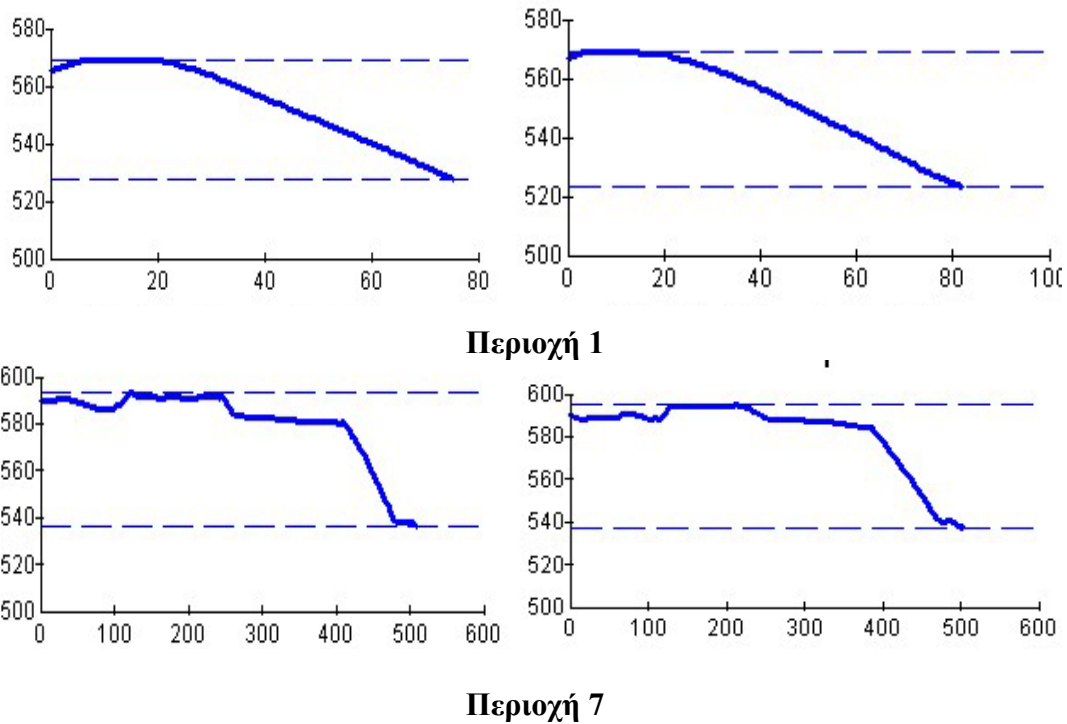
9.3.1.1 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των αποθέσεων λαμβάνονται από την επεξεργασία του αντιστοίχου ψηφιακού υπόβαθρου και του ορθοφωτοχάρτη με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος ArcGis 9.1 (**Κεφάλαιο 7**).

Οι αποθέσεις έχουν χωριστεί σε 8 υποπεριοχές με κριτήριο τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά (**Εικόνα 9.7**) και με τη χρήση κατάλληλου εργαλείου εξάγονται τα μορφολογικά στοιχεία. Αν και ο τεμαχισμός των αποθέσεων σε υποπεριοχές πραγματοποιήθηκε κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ομοιόμορφες, εντούτοις λαμβάνονται περισσότερα από ένα προφίλ. Ενδεικτικά, παρακάτω παρατίθενται ένα μέρος των μορφολογικών χαρακτηριστικών των υποπεριοχών (**Εικόνα 9.8**).



Εικόνα 9.7: Απεικόνιση υποπεριοχών (κλίμακα 1:10.000)



Εικόνα 9.8: Μορφολογικά χαρακτηριστικά των υποπεριοχών 1 και 7

Το σύνολο των διαγραμμάτων για τη μορφολογία των υποπεριοχών των αποθέσεων δίνονται στον **Πίνακα 9.3**.

Πίνακας 9.3: Αριθμός διαγραμμάτων μορφολογίας της κάθε υποπεριοχής

Υποπεριοχή	Αριθμός διαγραμμάτων
1	6
2	5
3	5
4	6
5	4
6	3
7	5
8	2

Τα προφίλ των αποθέσεων, όπως αυτά προκύπτουν από τη χρήση του προγράμματος ArcGis 9.1, επανασχεδιάζονται στο μοντέλο WEPP με τον τρόπο που περιγράφεται στην **Παράγραφο 9.2.1.1**.

9.3.1.2 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά για την περιγραφή των αποθέσεων περιλαμβάνει ένα πλήθος παραμέτρων, που περιγράφονται αναλυτικά στην **Παράγραφο 9.2.1.2**.

Τα ποσοστά άμμου, αργίλου και βράχου (**Πίνακας 9.4**) προκύπτουν έπειτα από επεξεργασία των αποτελεσμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης του εδαφικού υλικού στην κορυφή και τη βάση των αποθέσεων (**Παράγραφος 7.4.2**).

Πίνακας 9.4: Κατάταξη εδαφικού υλικού αποθέσεων

Κατάταξη	Βάση	Κορυφή
Βράχωσης μάζα	88,55	75,66
Άμμος	10,82	23,12
Αργίλος	0,63	1,22

Οι υπόλοιπες παράμετροι υπολογίζονται θεωρητικά και σύμφωνα με τις μαθηματικές εξισώσεις που παρατίθενται στην Παράγραφο 9.2.1.2. Τα αποτελέσματα δίνονται συνοπτικά στον **Πίνακα 9.5**.

Πίνακας 9.5: Παράμετροι χαρακτηρισμού του εδαφικού υλικού

Παράμετρος	Σύμβολο	Μονάδα	Τιμή	
			Βάση	Κορυφή
Albedo	Albedo	%	15	15
Αρχικό επίπεδο κορεσμού	SAT	%	70	70
Διαβρωσιμότητα	K_i	$\text{kg} \cdot \text{s} / \text{m}^4 \cdot 10^6$	6,0192	5,9866
Διαβρωσιμότητα των ρεμάτων	K_r	s/m	0,025035	0,025035
Κρίσιμη αποκόλληση	T0AUc	N / m^2	3,5	3,5
Ενεργή υδραυλική αγωγιμότητα	Kb		2,888459	4,716424
Ιοντοαλλακτική ικανότητα του εδάφους	CEC	(meq/100g)	7,5	7,5
Οργανική ουσία	Organic	%	0,35	0,35
Βάθος	Depth	mm	1200	1200

Για τον υπολογισμό των παραπάνω παραμέτρων πραγματοποιήθηκαν κάποιες παραδοχές οι οποίες είναι οι ακόλουθες.

- ✓ **Albedo:** Συνήθως για γυμνό και ξηρό έδαφος κυμαίνεται 5- 20%. Στην περίπτωση των αποθέσεων ορίζεται 15%.
- ✓ **Αρχικό επίπεδο κορεσμού:** Το εύρος τιμών είναι 0 – 100 %, ενώ η προτεινομένη τιμή για τα περισσότερα εδάφη είναι 70%.
- ✓ **Διαβρωσιμότητα (Interrill Erodibility):** Υπολογίζεται σύμφωνα με την **Εξίσωση 9.4** και για εδάφη με περιεκτικότητα σε αμμώδες έδαφος $\leq 30\%$.
- ✓ **Διαβρωσιμότητα ρεμάτων:** Υπολογίζεται σύμφωνα με την **Εξίσωση 9.6** και για εδάφη με περιεκτικότητα σε αμμώδες έδαφος $\leq 30\%$. Η παράμετρος CLAY (αμμώδες έδαφος) θα πρέπει να είναι $\geq 10\%$. Σε αντίθετη περίπτωση θεωρείται ότι CLAY = 10%. Επίσης η οργανική ουσία θα πρέπει να είναι $\geq 0,35$. Στην προκειμένη περίπτωση θεωρείται ότι είναι 0,35.
- ✓ **Κρίσιμη αποκόλληση:** Θεωρείται ότι για εδάφη με περιεκτικότητα σε αμμώδες έδαφος $\leq 30\%$ είναι $TAU_c = 3.5$.
- ✓ **Ενεργή υδραυλική αγωγιμότητα:** Υπολογίζεται για εδάφη με περιεκτικότητα σε άργιλο $\leq 40\%$ και σύμφωνα με την **Εξίσωση 9.9**.
- ✓ Θεωρείται ότι το βάθος της του εδαφικού υλικού της υπό εξέτασης περιοχής είναι 300 mm.

9.3.1.3 Μετεωρολογικά δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα συλλέχθηκαν από μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται εγκατεστημένος βόρεια του μεταλλείου, δίπλα σε δυο εγκαταλελειμμένες αποθήκες στα πλαίσια του προγράμματος **LIFE 03ENV/GR/00214 «Αξιολόγηση του χώρου του ορυχείου των Μεταλλείων Αμιάντου Βορείου Ελλάδος (MABE) ως χώρο υγειονομικής ταφής αποβλήτων αμιάντου (XYTAM)»**

Ο μετεωρολογικός σταθμός τοποθετήθηκε σε κεραία που υπήρχε στο χώρο των πρώην MABE (**Εικόνα 9.9**) και οι αισθητήρες του εγκαταστάθηκαν σε ύψος άνω των 6 m ώστε να βρίσκεται υψηλότερα από φυσικά εμπόδια (δέντρα) και εγκαταστάσεις (παλιές αποθήκες), καθώς και για να μην είναι δυνατή η πρόσβαση σε αυτά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

Ο μετεωρολογικός σταθμός έχει δυνατότητα μέτρησης, ταχύτητας άνεμου 0-175 mph, θερμοκρασίας -20°C έως +80°C, ποσοστού υγρασίας 20 έως 100%, ύψους βροχόπτωσης έως 25 cm ανά μέτρηση και ηλιακής ακτινοβολίας 1-1.250 W/m².



Εικόνα 9.9: Μετεωρολογικός σταθμός στην Περιοχή των πρώην ΜΑΒΕ

Ο μετεωρολογικός σταθμός λειτούργησε για το διάστημα 1-1-2006 έως 30-6-2006. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στον **Πίνακα 9.6**.

Πίνακας 9.6: Μετεωρολογικά δεδομένα

	T_{\min} (°C)	T_{\max} (°C)	T_{ave} (°C)	Prcp (mm)	SR (l/d)	W-vl (m/s)	W-dir
Ιαν.	-12,1	10,5	0,2	80,8	145,8	3,1	339,7
Φεβ.	-14,0	16,8	2,8	57,5	196,2	3,5	340,0
Μάρ.	-5,1	24,8	7,5	109,7	278,6	4,5	322,6
Απρ.	3,2	23,7	12,5	141,8	355,9	5,6	284,7
Μάι.	6,1	31,6	17,5	320,2	518,5	3,6	302,7
Ιούν.	9,0	34,9	20,9	313,8	445,9	3,8	265,3

Όπου:

T_{\min} : Ελάχιστη Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)

T_{\max} : Μέγιστη Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)

T_{ave} : Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)
 P_{rcp} : Σύνολο Βροχόπτωσης σε μηνιαία βάση (mm)
 SR : Μέση Ηλιακή Ακτινοβολία (Langleys/day)
 $W-vl$: Μέση Μηνιαία Ένταση Ανέμων (m/s)
 $W-dir$: Μέση Μηνιαία Διεύθυνση Ανέμων

Το μοντέλο WEPP λαμβάνει μετεωρολογικά δεδομένα μόνο από Σταθμούς που βρίσκονται στις Η.Π.Α. για αυτό τον λόγο διαμορφώνεται ένα αρχείο (*.cli) με καταγεγραμμένα τα δεδομένα του σταθμού των MABE της Κοζάνης.

9.3.1.4 Χρήση γης

Για τον καθορισμό των δραστηριοτήτων στην περιοχή των αποθέσεων απαιτείται μόνο ο ορισμός των αρχικών συνθηκών, αφού εξαιτίας των χαρακτηριστικών του εδάφους και της χημικής του σύστασης δεν εμφανίζεται ανάπτυξη οποιουδήποτε φυτικού είδους και επιπλέον δεν προσφέρεται για οποιαδήποτε δραστηριότητα (καλλιέργεια, βοσκή κ.α.).

9.3.2 Αποτελέσματα

Αφού εισαχθούν τα απαραίτητα δεδομένα για την εφαρμογή του μοντέλου WEPP, όπως αυτά περιγράφονται παραπάνω, εφαρμόζεται για κάθε προφίλ (Διάγραμμα) της κάθε υποπεριοχής των αποθέσεων. Τα αποτελέσματα της επιφανειακής απορροής της κάθε υποπεριοχής παρουσιάζονται στον **Πίνακα 9.7**.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ
ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ**

Πίνακας 9.7: Επιφανειακή απορροή της κάθε υποπεριοχής

Ύψος βροχόπτωσης (mm)													
		Ιανουάριος		Φεβρουάριος		Μάρτιος		Απρίλιος		Μάιος		Ιούνιος	
		80,80		57,50		109,70		141,80		320,20		313,8	
Επιφανειακή απορροή (mm)/ Ημέρες βροχόπτωσης (day)													
Υποπεριοχή	Διάγραμμα	Μήνας											
		Ιανουάριος		Φεβρουάριος		Μάρτιος		Απρίλιος		Μάιος		Ιούνιος	
Υποπεριοχή 1	Διάγραμμα 1	1,05	14	0,00	10	0,00	18	2,85	18	63,86	9	133,24	15
	Διάγραμμα 2	0,79	14	0,00	10	0,00	18	2,27	18	60,01	9	128,63	15
	Διάγραμμα 3	0,77	14	0,00	10	0,00	18	2,23	18	59,67	9	129,16	15
	Διάγραμμα 4	0,80	14	0,00	10	0,00	18	2,20	18	59,54	9	128,49	15
	Διάγραμμα 5	0,80	14	0,00	10	0,00	18	2,32	18	60,31	9	130,06	15
	Διάγραμμα 6	0,79	14	0,00	10	0,00	18	2,25	18	59,95	9	128,16	15
	Μερικό Σύνολο	0,83		0,00		0,00		2,35		60,55		129,62	
	Σύνολο		193,35										
Υποπεριοχή 2	Διάγραμμα 1	0,37	14	0,00	10	0,00	18	1,32	18	59,30	9	121,22	15
	Διάγραμμα 2	1,05	14	0,00	10	0,00	18	3,00	18	63,86	9	135,00	15
	Διάγραμμα 3	0,97	14	0,00	10	0,00	18	2,47	18	62,04	9	128,21	15
	Διάγραμμα 4	0,93	14	0,00	10	0,00	18	2,42	18	62,32	9	130,85	15
	Διάγραμμα 5	1,10	14	0,00	10	0,00	18	3,00	18	63,86	9	135,14	15
	Μερικό Σύνολο	0,88		0,00		0,00		2,44		62,27		130,08	
	Σύνολο		195,68										
	Υποπεριοχή 3	Διάγραμμα 1	0,54	14	0,00	10	0,00	18	1,47	18	57,01	9	121,56
Διάγραμμα 2		0,85	14	0,00	10	0,00	18	2,31	18	60,79	9	127,69	15
Διάγραμμα 3		1,05	14	0,00	10	0,00	18	2,85	18	63,86	9	132,65	15
Διάγραμμα 4		1,10	14	0,00	10	0,00	18	2,96	18	63,86	9	133,20	15
Διάγραμμα 5		1,05	14	0,00	10	0,00	18	3,02	18	63,86	9	135,71	15
Μερικό Σύνολο		0,92		0,00		0,00		2,52		61,88		130,16	

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ
ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ**

Υποπεριοχή 4		Σύνολο	195,48										
	Διάγραμμα 1	0,61	14	0,00	10	0,00	18	1,74	18	57,84	9	121,37	15
	Διάγραμμα 2	0,64	14	0,00	10	0,00	18	1,76	18	57,81	9	121,37	15
	Διάγραμμα 3	0,21	14	1,70	10	0,00	18	12,49	18	71,87	9	135,54	15
	Διάγραμμα 4	0,21	14	1,73	10	0,00	18	12,69	18	72,35	9	136,51	15
	Διάγραμμα 5	0,21	14	1,73	10	0,00	18	12,69	18	72,35	9	136,40	15
	Μερικό Σύνολο	0,38		1,03		0,00		8,27		66,44		130,24	
Υποπεριοχή 5		Σύνολο	206,364										
	Διάγραμμα 1	0,17	14	2,66	10	0,00	18	19,52	18	90,17	9	167,30	15
	Διάγραμμα 2	0,16	14	2,66	10	0,00	18	19,52	18	90,17	9	167,25	15
	Διάγραμμα 3	0,16	14	2,66	10	0,00	18	19,52	18	90,17	9	167,14	15
	Διάγραμμα 4	0,14	14	2,66	10	0,00	18	19,51	18	90,17	9	167,11	15
	Μερικό Σύνολο	0,15		2,66		0,00		19,52		90,17		167,2	
Υποπεριοχή 6		Σύνολο	279,71										
	Διάγραμμα 1	0,14	14	2,36	10	0,00	18	17,30	18	84,41	9	156,21	15
	Διάγραμμα 2	0,14	14	2,40	10	0,00	18	17,56	18	85,09	9	157,47	15
	Διάγραμμα 3	0,11	14	1,91	10	0,00	18	14,01	18	76,14	9	141,46	15
	Μερικό Σύνολο	0,13		2,22		0,00		16,29		81,88		151,72	
Υποπεριοχή 7		Σύνολο	252,24										
	Διάγραμμα 1	0,11	14	0,50	10	0,00	18	3,68	18	50,21	9	93,63	15
	Διάγραμμα 2	0,08	14	0,50	10	0,00	18	3,68	18	51,12	9	94,67	15
	Διάγραμμα 3	0,11	14	0,60	10	0,00	18	4,38	18	51,85	9	95,99	15
	Διάγραμμα 4	0,15	14	0,68	10	0,00	18	5,02	18	53,15	9	98,75	15
	Μερικό Σύνολο	0,11		0,57		0,00		4,19		51,59		95,76	
Υποπεριοχή 8		Σύνολο	152,22										
	Διάγραμμα 1	0,42	14	2,66	10	0,00	18	19,51	18	90,16	9	168,29	15
	Διάγραμμα 2	1,24	14	2,66	10	0,00	18	19,56	18	90,16	9	169,50	15
	Μερικό Σύνολο	0,83		2,66		0,00		19,53		90,16		168,89	
		Σύνολο	282,08										

Το σύνολο της επιφανειακής απορροής της κάθε υποπεριοχής, και με τη χρήση των χαρακτηριστικών των αποθέσεων (**Πίνακας 7.1**), τα οποία προέκυψαν από την εφαρμογή του προγράμματος ArcGis 9.1, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της συνολικής ποσότητας απορροής ύδατος από την περιοχή των αποθέσεων. Τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον **Πίνακα 9.8**.

Πίνακας 9.8: Συνολική ποσότητα επιφανειακής απορροής αποθέσεων

Αποθέσεις	Επιφανειακή Απορροή (mm)	Εμβαδό 2D (m²)	Επιφανειακή Απορροή (m³)
Υποπεριοχή 1	193,35	9.036,79	1.747,26
Υποπεριοχή 2	195,68	5.929,15	1.160,21
Υποπεριοχή 3	195,48	49.187,86	9.615,24
Υποπεριοχή 4	206,36	25.9705,8	53.593,93
Υποπεριοχή 5	279,71	90.088,37	25.198,62
Υποπεριοχή 6	252,24	146.831,7	37.036,83
Υποπεριοχή 7	152,22	127.351,7	19.385,48
Υποπεριοχή 8	282,08	51.691,77	14.581,21
Σύνολο	219,64	739.823,2	162.318,78

Συνεπώς προκύπτει ότι το Α' εξάμηνο του 2006 για ύψος βροχόπτωσης 1023,8 mm, η μέση επιφανειακή απορροή ανέρχεται σε 219 mm, ενώ η συνολική ποσότητα ύδατος απορροής είναι 162.318,78 m³.

9.4 Αποθέσεις και ρύπανση της ευρύτερης περιοχής

Όπως έχει αναφερθεί εκτενώς στο **Κεφάλαιο 7**, η απόθεση στείρου υλικού στην περιοχή είχε ως αποτέλεσμα την αλλαγή των μορφολογικών χαρακτηριστικών της ευρύτερης περιοχής (**Εικόνα 7.5**) και τη συσσώρευση ποσότητας ύδατος από την επιφανειακή απορροή στη βάση των αποθέσεων και τελικά τον σχηματισμό 3 μικρών λιμνών (**Εικόνα 9.10**).



Εικόνα 9.10: Λίμνη στη Βάση των Αποθέσεων

Δείγμα ύδατος ελήφθη από τη λίμνη και εξετάστηκε ως προς την περιεκτικότητά του σε ίνες αμιάντου, όπως αναφέρεται αναλυτικά και στο **Κεφάλαιο 8**. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η συγκέντρωση είναι υψηλότερη από τα επιτρεπτά όρια ($7 \cdot 10^6$ ίνες αμιάντου/ λίτρο) και ανέρχεται σε **$22,17 \cdot 10^6$ ίνες αμιάντου/ λίτρο**.

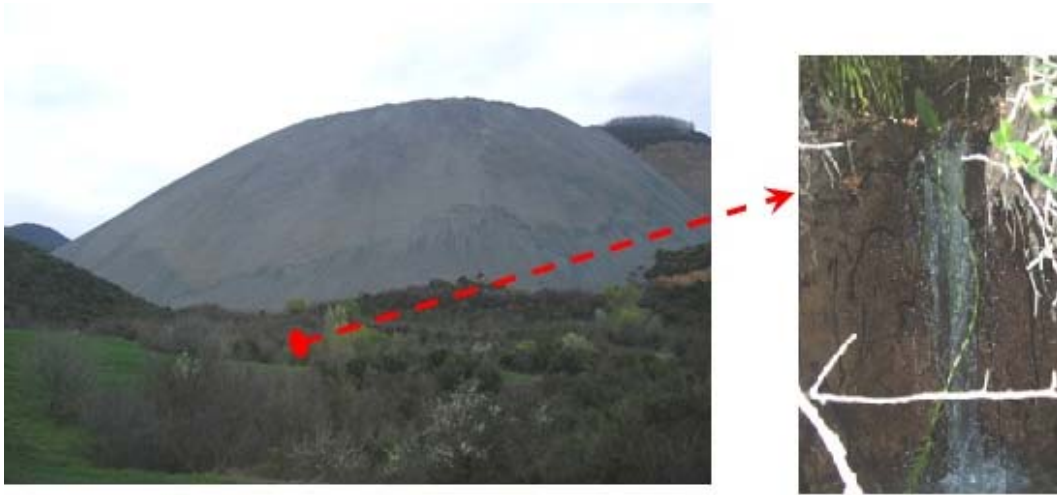
Συνολικά, οι ίνες αμιάντου, που διασπείρονται στην ευρύτερη περιοχή εξαιτίας της επιφανειακής απορροής των αποθέσεων, υπολογίζονται παρακάτω και θεωρώντας ότι:

1. το νερό της λίμνης προέρχεται κατά βάση από την επιφανειακή απορροή των αποθέσεων
2. η μόνη πηγή ρύπανσης της λίμνης είναι οι αποθέσεις
3. η λίμνη δεν τροφοδοτείται από το υπόγειο νερό

Η επιφανειακή απορροή από την περιοχή των αποθέσεων, σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής για το Α' Εξάμηνο του 2006 είναι **$162.318,78 \text{ m}^3$** , συνεπώς η ποσότητα των ινών αμιάντου που διαφεύγουν από τις αποθέσεις ανέρχεται σε **$3.599 \cdot 10^{12}$ ίνες αμιάντου**.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι δεν έχουν ληφθεί υπόψη φαινόμενα, όπως κατακρήμνιση, καθίζηση κ.α. των ινών αμιάντου στον πυθμένα της λίμνης, τα οποία θα είχαν ως αποτέλεσμα την υπερσυσσώρευση των ινών αμιάντου και την υπερεκτίμηση του τελικού αποτελέσματος.

Για αυτό τον λόγο ελήφθη δείγμα από ρυάκι, το οποίο βρίσκεται σε μικρή απόσταση από τις αποθέσεις και το οποίο τροφοδοτείται από τις μικρές λίμνες των αποθέσεων (Εικόνα 9.11).



Εικόνα 9.11: Ρυάκι στη βάση των αποθέσεων

Η συγκέντρωση στο ρυάκι των αποθέσεων είναι $18,62 * 10^6$ ίνες αμιάντου/ λίτρο, συνεπώς απελευθερώνονται στην ευρύτερη περιοχή (Α' Εξάμηνο του 2006) $3.022 * 10^{12}$ ίνες αμιάντου.

Τελικά δεν παρατηρείται μεγάλη διαφορά της τελικής ποσότητας ινών αμιάντου που διασκορπίζονται στην ευρύτερη περιοχή λαμβάνοντας τη συγκέντρωση στη λίμνη και στο ρυάκι των αποθέσεων. Συνεπώς η συνολική ποσότητα ινών αμιάντου, που διαφεύγουν από τις αποθέσεις με τη μεταφορά ύδατος, είναι $3.022 * 10^{12}$ - $3.599 * 10^{12}$ ίνες αμιάντου.

9.5 Τέταρτο Μερικό Συμπέρασμα

Στην περιοχή των αποθέσεων εφαρμόστηκε ένα μοντέλο διάβρωσης (WEPP) με σκοπό τον προσδιορισμό της επιφανειακής απορροής. Τα δεδομένα εισόδου ελήφθησαν τόσο από μετρήσεις στο πεδίο (Κοκκομετρία, μετεωρολογικά δεδομένα), όσο και με τη χρήση κατάλληλων λογισμικών προγραμμάτων (ArcGis 9.1) (μορφολογικά χαρακτηριστικά, εμβαδό αποθέσεων) και μαθηματικών εξισώσεων (Διαβρωσιμότητα, ενεργή υδραυλική αγωγιμότητα κ.α). Υπολογίστηκε ότι για το χρονικό διάστημα 01-01-2006 έως 30-06-2006 το ύψος της βροχόπτωσης ήταν

1.203,8 mm, ενώ η επιφανειακή απορροή είναι **219,64 mm** και συνολικά ανέρχεται σε **162.318,78 m³**.

Τα αποτελέσματα της επιφανειακής απορροής συσχετίστηκαν με αυτά της συγκέντρωσης των ινών αμιάντου των δειγμάτων ύδατος, προκειμένου να εκτιμηθεί ο συνολικός αριθμός ινών αμιάντου, που διασκορπίζονται στην ευρύτερη περιοχή. Υπολογίστηκε ότι συνολικά διασκορπίζονται **$3.599 \cdot 10^{12}$ - $3.022 \cdot 10^{12}$ ίνες αμιάντου**.

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποτελούν μια εκτίμηση του επιπέδου ρύπανσης με αμιάντο της ευρύτερης περιοχής. Για τον υπολογισμό της ποσότητας αυτής με ακρίβεια απαιτείται η διεξαγωγή επαναληπτικών μετρήσεων καθώς και συμπληρωματικών εργασιών. Παρόλο αυτά ενδεχομένως να κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα εάν στη ρύπανση εξαιτίας της μεταφοράς με το νερό συνεκτιμηθεί και αυτή που οφείλεται στον αέρα και στη στερεοαπορροή.

Συνεπώς κρίνεται αναγκαία η εφαρμογή ενός προγράμματος αποκατάστασης των αποθέσεων προκειμένου να προστατευθούν τόσο τα χωριά στην ευρύτερη περιοχή όσο και ο Αλιάκμονας, ο οποίος χρησιμοποιείται για την κάλυψη καθημερινών αναγκών (ύδρευση Θεσσαλονίκης, πότισμα αγροτικών καλλιεργειών κ.α.)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΛΥΣΗ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ- ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

10.1 Εισαγωγή

Η περιοχή των αποθέσεων αποτελεί ένα μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα, καθώς και υπαρκτό κίνδυνο, για την υγεία των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής. Όπως προκύπτει, έπειτα από σχετική έρευνα, η συγκέντρωση αμιάντου στις αποθέσεις κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα και επιπλέον, αν και η λειτουργία των ΜΑΒΕ έχει σταματήσει εδώ και 7 χρόνια, αποτελούν πηγή ρύπανσης του Αλιάκμονα, αφού απέχουν μόλις 1 km.

Συνεπώς, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη εφαρμογής ενός προγράμματος εξυγίανσης της περιοχής. Αν και υπάρχουν διάφορες τεχνικές για τη διαχείριση και την επεξεργασία αμιαντούχων αποβλήτων, θερμικές, μηχανοχημικές, χημικές, και θερμοχημικές διεργασίες καθώς και η μέθοδος της σταθεροποίησης – στερεοποίησης, εντούτοις η επιφάνεια και ο όγκος της ρυπασμένης περιοχής καθιστά σχεδόν όλες τις μεθόδους για τεχνικούς ή οικονομικούς λόγους μη εφαρμόσιμες. Στο παρελθόν, σε αντίστοιχες μελέτες αποκατάστασης ανενεργών μεταλλείων, και των αποθέσεών τους έχει εφαρμοστεί με επιτυχία η μέθοδος της εδαφικής κάλυψης και της δενδροφύτευσης. Ακολουθεί παράθεση στοιχείων σχετικά, με την αποκατάσταση της περιοχής των αποθέσεων καθώς και περιπτώσεις αποκατάστασης μεταλλείων με τοξικά και επικίνδυνα μεταλλεία.

10.2 Αποκατάσταση διαταραγμένων περιοχών από μεταλλευτικές και λατομικές δραστηριότητες.

Με τον όρο **αποκατάσταση** του τοπίου δεν νοείται η επαναφορά του χώρου στην πριν την εκμετάλλευση κατάσταση. Εξάλλου, η ισχυρή διατάραξη των οικολογικών συνθηκών στην περιοχή καθιστά αδύνατη την επαναφορά στην αρχική κατάσταση και χρήση. Συχνότερα όμως ένα τέτοιο εγχείρημα είναι ασύμφορο λόγω υπερβολικά υψηλού κόστους. *Γενικά με τον όρο αυτό εννοείται η δημιουργία συνθηκών μετά την εκμετάλλευση που θα επιτρέπει την εγκατάσταση κατά προσέγγιση των προϋπαρχόντων φυτικών και ζωικών οργανισμών στο άμεσο ή στο απώτερο*

μέλλον. Χαλαρότερα δε με τον όρο αποκατάσταση νοείται η δημιουργία μιας σταθερής κατάστασης και η εγκατάσταση της χρήσης που έχει προεπιλεγεί.

Για να μπορέσει όμως μια αποκατάσταση να έχει επιτυχή κατάληξη θα πρέπει να ξεκινάει με τον σχεδιασμό της εκμετάλλευσης και να αποτελεί λειτουργικό της μέρος. Η διαμόρφωση του χώρου αλλά και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του εδάφους θα δημιουργούνται σταδιακά ώστε να ανταποκρίνονται αισθητικά και λειτουργικά στις απαιτήσεις της χρήσης που έχει επιλεγεί.

Ανάλογα με τη φύση της εκμετάλλευσης και τις συνθήκες που δημιουργούνται, άλλες εκμεταλλεύσεις με την αποκατάσταση μπορούν να εξυπηρετήσουν παραγωγικούς σκοπούς, ενώ σε άλλες τα μέτρα αποκατάστασης έχουν προστατευτικό χαρακτήρα, διευκολύνουν την αναψυχή και την εγκατάσταση της άγριας ζωής.

Κατά τους Jeffrey et al (1974) η ενσωμάτωση της αποκατάστασης στο μεταλλευτικό σχεδιασμό έχει ως αποτέλεσμα την αποφυγή δημιουργίας ακραίων συνθηκών ή φαινομένων, την ταχύτερη αποκατάσταση του χώρου και τη σημαντική ελάττωση του κόστους της. Η ενσωμάτωση αυτή στο σχεδιασμό και την εκμετάλλευση του μεταλλείου σημαίνει ότι ο μελετητής για την αποκατάσταση του χώρου θα πρέπει να είναι παρών από τη σύνταξη της τεχνικής μελέτης εκμετάλλευσης και όχι να καλείται να προτείνει έργα αποκατάστασης αφού έχει τελειώσει η μελέτη αυτή. Η ενσωμάτωση της αποκατάστασης σημαίνει ακόμη ότι οι εμπλεκόμενοι στην εκμετάλλευση θα πρέπει να γνωρίζουν τη διαδικασία, τις απαιτήσεις και τους σκοπούς της αποκατάστασης, ώστε να προσαρμόζουν καθημερινά τα έργα και να χρησιμοποιούν τα προκύπτοντα υλικά, όπως επίσης και τα κάθε φορά διαθέσιμα μηχανήματα για την επιτυχία των σκοπών της αποκατάστασης [68].

Στην προκειμένη περίπτωση δεν είναι γνωστό αν κατά τον αρχικό σχεδιασμό λειτουργίας του μεταλλείου ελήφθησαν τα απαιτούμενα μέτρα για τη μελλοντικά ευκολότερη αποκατάσταση της περιοχής. Εικάζεται όμως ότι δεν έγιναν όλες οι απαιτούμενες ενέργειες για τους εξής λόγους:

Α) Η απόθεση του στείρου υλικού στην περιοχή των αποθέσεων έγινε με ανεξέλεγκτο τρόπο, αφού έπειτα από οπτική παρατήρηση στην περιοχή διαπιστώθηκε ότι δεν έχουν διεξαχθεί οι απαιτούμενες ενέργειες για τη διαμόρφωση των πρανών (κλίση, μήκος, πατάρια κ.α.)

Β) Κατά τη διάρκεια των 20 χρόνων λειτουργίας του μεταλλείου κατά την απόθεση στείρου υλικού στην περιοχή δεν εφαρμόστηκε ταυτόχρονα κάποιο πρόγραμμα για τη σταδιακή αποκατάσταση της περιοχής, π.χ. κάλυψη με φυτική γη και δενδροφύτευση, με εξαίρεση την περιοχή των παλιών αποθέσεων όπου εναποτίθεντο η φυτική γη από το μεταλλείο, χωρίς όμως την λήψη των απαιτούμενων μέτρων διαχείρισης.

10.3 Αποκατάσταση μεταλλείων

Η αποκατάσταση μεταλλείων, ειδικότερα αυτών που τα απόβλητά τους χαρακτηρίζονται ως τοξικά ή χημικά επικίνδυνα, αποτέλεσε πρόκληση για την επιστημονική κοινότητα. Σήμερα, η αποκατάσταση με κάλυψη της ρυπασμένης περιοχής με φυτική γη και δενδροφύτευση έχει εφαρμοστεί σε αρκετά μεταλλεία με επιτυχία. Ακολουθούν ενδεικτικά κάποια παραδείγματα.

Το μεταλλείο εξόρυξης χρυσού και χαλκού Flambeau βρίσκεται 1,7 μίλια νότια της πόλης Ladysmith στις Η.Π.Α. Το 1997 η εξορυκτική δραστηριότητα ολοκληρώθηκε και στην περιοχή δημιουργήθηκε ένα κοίλωμα βάθους 60-70 m (Εικόνα 10.1)



Εικόνα 10.1: Μεταλλείο Flambeau μετά τη διακοπή της εξορυκτικής δραστηριότητας [72]

Όταν το μεταλλείο έκλεισε επανατοποθετήθηκαν 3.820.000 τόνοι στείρου υλικού και εδαφικού υλικού στα πλαίσια εφαρμογής ενός προγράμματος αποκατάστασης.

Το 1998 ξεκίνησε η δεύτερη φάση της αποκατάστασης του μεταλλείου, η δενδροφύτευση, όπου εκτιμάται ότι σήμερα έχουν δημιουργηθεί συνολικά 125 στρέμματα λιβαδιού, 15 στρέμματα δασώδους περιοχής και 10 στρέμματα υγροβιότοποι, χρησιμοποιώντας παραπάνω από 100 εγγενή φυτικά είδη (**Εικόνα 10.2**). Στη διαδικασία αναδάσωσης συνεισέφερε και η τοπική κοινωνία μέσω κρατικών προγραμμάτων [72].



Εικόνα 10.2: Αποκατάσταση Μεταλλείου Flambeau [72]

Κατά τη διάρκεια του προγράμματος αποκατάστασης, αλλά και μετά από την ολοκλήρωση του έργου, διεξαγόταν έρευνες σχετικά με τα επίπεδα ρύπανσης του ποταμού Flambeau και γενικότερα του φυσικού περιβάλλοντος. Δεν παρατηρήθηκε αύξηση των ρύπων κατά τη διάρκεια και μετά το πέρας των εργασιών τόσο στα επιφανειακά όσο και στα υπόγεια ύδατα [72].

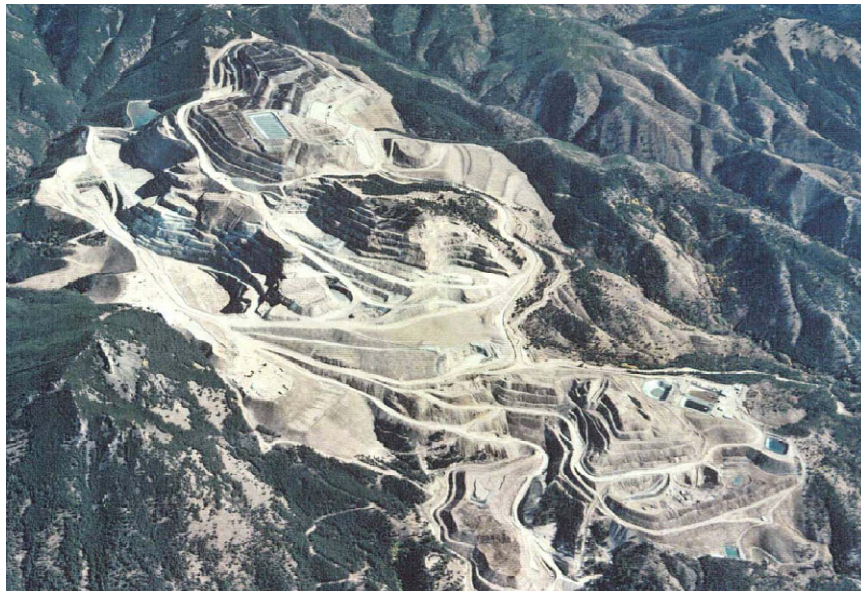
Παράδειγμα αποκατάστασης αποτελούν επίσης τα υπόγεια ορυχεία Zortman και Landusky, τα οποία βρίσκονται στο Montana στις Η.Π.Α. Η εξορυκτική δραστηριότητα για την παραγωγή χρυσού και αργύρου ξεκίνησε το 1884 και σταμάτησε τη δεκαετία του '70. Η απόθεση του στείρου υλικού γινόταν σε γειτονικά ρέματα. Το 1979 η εξόρυξη μεταλλεύματος συνεχίστηκε χρησιμοποιώντας σύγχρονες

τεχνικές εκμετάλλευσης μέχρι το 1995, όπου και σταμάτησε οριστικά η λειτουργία του.

Η μακροχρόνια εκμετάλλευση είχε ως αποτέλεσμα την αλλαγή της μορφολογίας της περιοχής (Εικόνες 10.3 και 10.4) και τη ρύπανση της ευρύτερης περιοχής εξαιτίας των παραγόμενων αποβλήτων. Η εφαρμογή προγράμματος αποκατάστασης ξεκίνησε αμέσως μετά τη διακοπή λειτουργίας των ορυχείων



Εικόνα 10.3: Ορυχείο Zortman [73,74]



Εικόνα 10.4: Ορυχείο Landusky [73,74]

Στα πλαίσια των εργασιών αποκατάστασης διεξήχθησαν μελέτες σχετικά με τον γεωχημικό χαρακτηρισμό της περιοχής (Δειγματοληψία εδαφικού υλικού και

γεωτρήσεις), έρευνες για την περιεκτικότητα σε οξέα των αποθέσεων, καθώς και ο προσδιορισμός της ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Η συλλογή των παραπάνω στοιχείων χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση της βέλτιστης λύσης, οικονομικά και τεχνικά, για την αποκατάσταση της περιοχής πραγματοποιώντας πολυκριτηριακή ανάλυση. Τα αποτελέσματα αποκατάστασης των ορυχείων Zortman και Landusky δίνονται στις **Εικόνες 10.5 και 10.6** [73,74].



Εικόνα 10.5: Αποκατάσταση ορυχείου Landusky [73,74]



Εικόνα 10.6: Αποκατάσταση ορυχείου Zortman [73,74]

10.4 Πρόγραμμα μελέτης αποκατάστασης περιοχής των αποθέσεων

Σε ένα πρόγραμμα για την αποκατάσταση της περιοχής των αποθέσεων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, οι βασικές παράμετροι του έργου, οι περιβαλλοντικοί παράμετροι καθώς και να προσδιορίζονται τα γεωμετρικά στοιχεία των βαθμίδων, των πρανών και ο τρόπος σύνδεσής τους.

10.4.1 Χαρτογράφηση υπό μελέτης περιοχής

Αρχικά θα πρέπει να αποτυπωθεί η περιοχή του μεταλλείου καθώς και τα περίχωρά του σε χάρτες με απώτερο σκοπό τη συλλογή γεωγραφικών πληροφοριών και τον καθορισμό της περιοχής αποκατάστασης. Συνολικά απαιτούνται τα παρακάτω [69]:

- ✓ Χάρτης αποτύπωσης του οδικού δικτύου της περιοχής και τρόποι πρόσβασης στο μεταλλείο από την κοντινότερη πόλη
- ✓ Τοπογραφικός χάρτης της υπό μελέτης περιοχής προτού την έναρξη των εκμεταλλευτικών δραστηριοτήτων
- ✓ Γεωλογικός χάρτης
- ✓ Χάρτης με το τελικό σχέδιο αποκατάστασης
- ✓ Χάρτης περιγραφής του τρόπου και των φυτικών ειδών για την αναδάσωση της περιοχής

10.4.2 Διάβρωση – Μετρά προστασίας

10.4.2.1 Εισαγωγή

Η προστασία της ποιότητας νερού και η παρεμπόδιση της διάβρωσης είναι δύο σημαντικές παράμετροι που θα πρέπει να εξεταστούν σε ένα σχέδιο αποκατάστασης. Οι παράγοντες που επιδρούν στη διάβρωση του εδάφους είναι:

- ✓ Οι κλιματολογικές συνθήκες, οι οποίες καθορίζουν το ποσοστό βροχόπτωσης και χιονόπτωσης στην περιοχή
- ✓ Τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά, τα οποία επηρεάζουν τον ρυθμό διάβρωσης

και διήθησης,

- ✓ Η τοπογραφία ή η κλίση της περιοχής, οι οποίες καθορίζουν την ταχύτητα της απορροής
- ✓ Η βλάστηση, η οποία επιβραδύνει την απορροή και αποτρέπει τη διάβρωση με τη συγκράτηση του εδάφους

Η μέθοδος αντιδιαβρωτικής προστασίας θα πρέπει να ελαχιστοποιεί τη διάβρωση, την ιζηματογένεση και τη θολότητα απορρεόντων υδάτων, ελαχιστοποιώντας την ταχύτητα και τον όγκο της επιφανειακής απορροής. Οι μέθοδοι αντιδιαβρωτικής προστασίας διακρίνονται σε βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες αν και συχνά επικαλύπτονται (**Πίνακας 10.1**) [69].

Πίνακας 10.1: Μέθοδοι αντιδιαβρωτικής προστασίας [69]

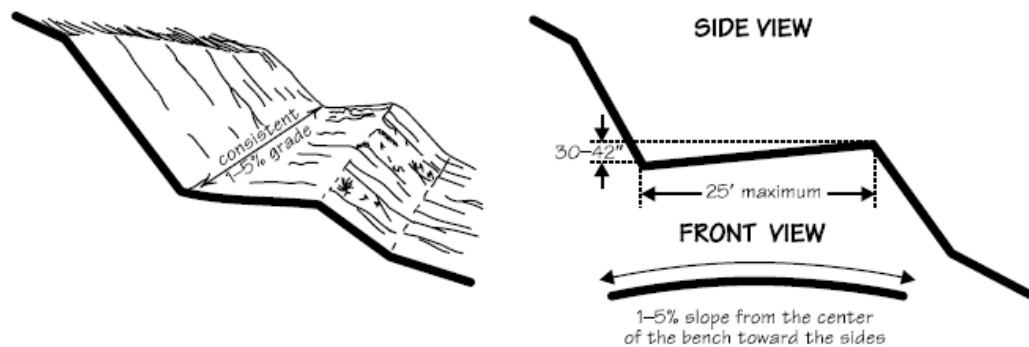
Βραχυπρόθεσμες Μέθοδοι
Κάλυψη του εδάφους με τα υπολείμματα καλλιεργειών (mulching)
Κάλυψη του εδάφους με τα υπολείμματα υλοτομίας
Κατασκευή προσχωμάτων
Τοποθέτηση δεμάτων από άχυρο
Κάλυψη της επιφάνειας με πλέγμα ή δίχτυ
Κάλυψη με μονωτικό πλαστικό υλικό
Μακροπρόθεσμες Μέθοδοι
Δενδροφύτευση
Κατασκευή τάφρων
Κατασκευή φραγμάτων με βράχους
Τοποθέτηση αμμοχάλικου
Αναδιαμόρφωση της πλαγιάς
Αποστραγγιστικά έργα

Οι μακροπρόθεσμες μέθοδοι διάβρωσης-ελέγχου θεωρούνται ότι είναι οικονομικώς πιο αποδοτικές.

Η διάβρωση οφείλεται κυρίως στη βροχόπτωση και το φαινόμενο είναι εντονότερο στις κεκλιμένες από ότι στις επίπεδες επιφάνειες. Η κάλυψη των επιφανειών, με απότομη κλίση, με πλαστικές μεμβράνες και η φύτευση των απογυμνωμένων περιοχών μπορούν να παρέχουν αντιδιαβρωτική προστασία. Επιπλέον εναλλακτική λύση αποτελεί και η κάλυψη της περιοχής με αμμοχάλικο.

Σε ότι αφορά στη μείωση της επιφανειακής απορροής μπορούν να πραγματοποιηθούν διορθωτικές παρεμβάσεις στην περιοχή προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η ροή ή ο όγκος της. Η αλλαγή των κλίσεων της πλαγιάς η

δημιουργία αναχωμάτων από οργανικά υπολείμματα, η τοποθέτηση γεωφάσματος επιφέρουν σημαντικά αποτελέσματα στη μείωση της ροής. Επιπλέον μπορούν να κατασκευαστούν ενδιάμεσα πατάρια, με σκοπό τη μείωση του ρυθμού της επιφανειακής απορροής και της μεταφοράς ιζήματος (**Εικόνα 10.7**). Οι οποιεσδήποτε διορθωτικές παρεμβάσεις θα πρέπει να προσεγγίζουν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του φυσικού περιβάλλοντος [69].



Εικόνα 10.7: Σχεδιασμός πρανών για αντιδιαβρωτική προστασία [69]

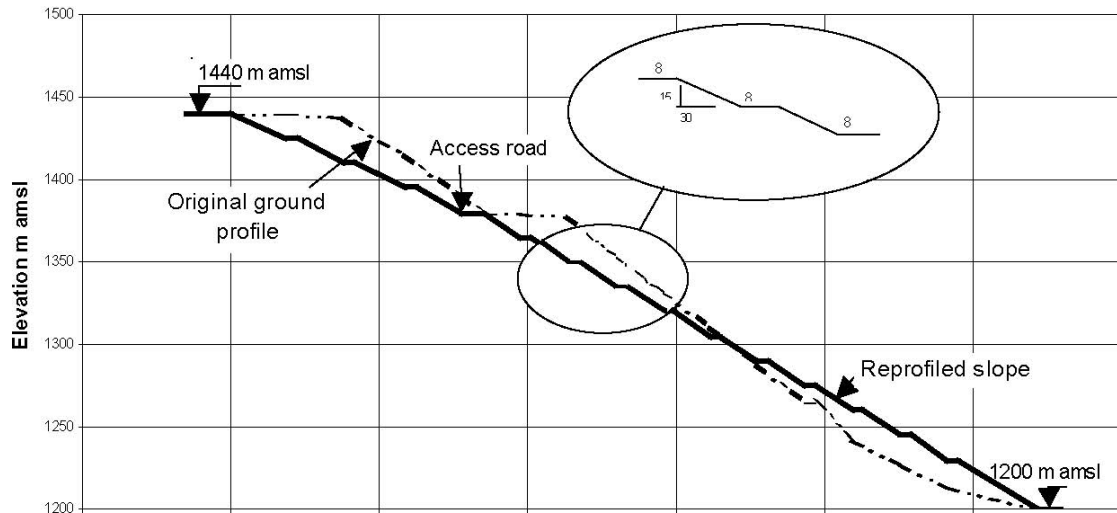
Επίσης θα πρέπει να εφαρμοστεί ένα σχέδιο για τη συλλογή των υδάτων απορροής σε κατάλληλους χώρους (τεχνητές λίμνες, τάφροι κ.α), περιορίζοντας τη ρύπανση των φυσικών υδατικών πόρων. Για αυτό τον λόγο απαιτείται η κατασκευή χώρων συγκέντρωσης αυτών των υδάτων και την εγκατάσταση ενός κατάλληλου συστήματος επεξεργασίας [69].

Το ίδιο ζήτημα κλίθηκε να αντιμετωπίσει η Κύπρος, όπου η εγκατάλειψη του μεταλλείου αμιάντου στο όρος Τρόδος δημιούργησε σοβαρό πρόβλημα στην ευρύτερη περιοχή, αφού κάτω από την περιοχή των αποθέσεων και σε απόσταση 1 km βρίσκεται το χωρίο Κατω Αμινταίο και επιπλέον αποτελούσε κίνδυνο ρύπανσης των γειτονικών ρεμάτων, λιμνών και του συστήματος άρδευσης.

Ο επανασχεδιασμός των κλίσεων των αποθέσεων πραγματοποιήθηκε με βασική αρχή τη διαμόρφωση αυτών σε όμοια μορφή με τη γειτονική περιοχή και λαμβάνοντας υπόψη τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της. Με αυτό τον τρόπο θεωρήθηκε ότι θα παρεμποδίζεται η ρύπανση των γειτονικών ρεμάτων. Συνεπώς αποφασίστηκε ότι οι αποθέσεις θα πρέπει να έχουν τα εξής μορφολογικά χαρακτηριστικά [10]:

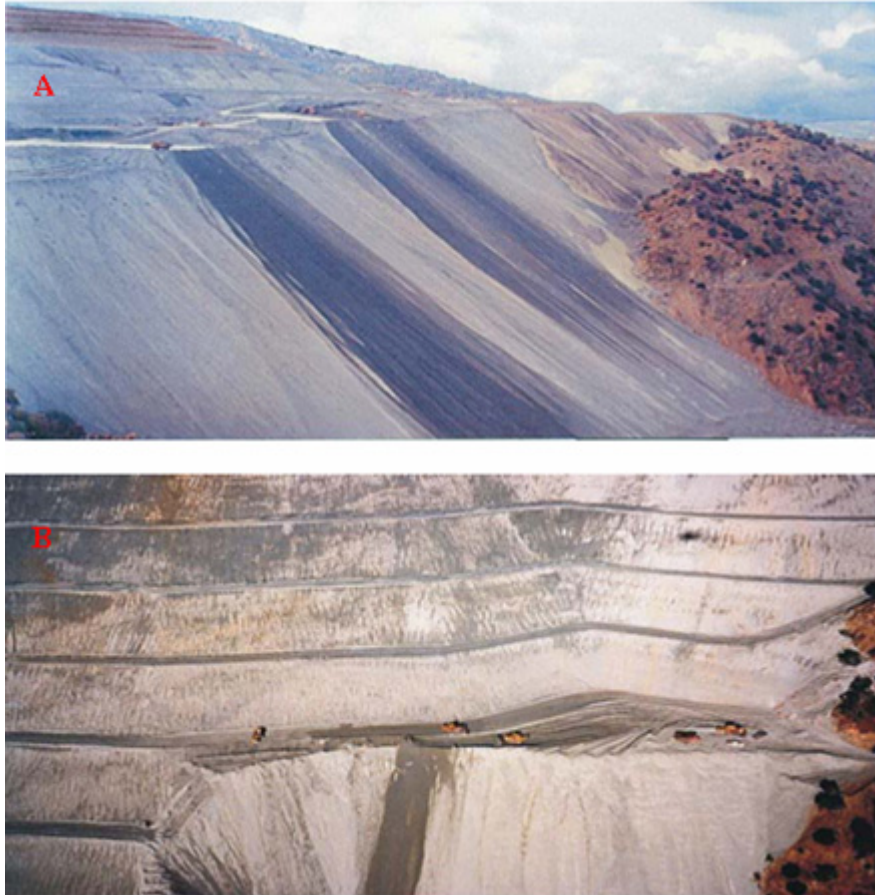
1. Αναλογία 2:1 (οριζόντια: κατακόρυφα)
2. Πατάρι κάθε 15 m και πλάτους 8 m

Στην **Εικόνα 10.8** παρουσιάζεται η περιοχή των αποθέσεων στη Λουμάτα στην αρχική κατάσταση και έπειτα από τις παρεμβάσεις, όπου αποτελεί και την περιοχή με τη μέγιστη υψομετρική διαφορά, συνολικά 240 m.



Εικόνα 10.8: Σχέδιο διαμόρφωσης των αποθέσεων στη Λουμάτα [70]

Η μορφολογία των αποθέσεων καθορίστηκε λαμβάνοντας υπόψη και τα στοιχεία τα οποία προέκυψαν από τη μελέτη ευστάθειας των πρανών. Στην **Εικόνα 10.9** παρουσιάζεται η μορφή των αποθέσεων πριν και κατά την έναρξη των εργασιών αποκατάστασης.



Εικόνα 10.9: Αποθέσεις στην περιοχή Λουμάτα Α) Αρχική μορφή Β) Εργασίες διαμόρφωσης της πλαγίας [70]

10.4.2.2 Αποθέσεις MABE

Η κλίση σε ορισμένα σημεία στην περιοχή των αποθέσεων φτάνει έως και το 80%. Συνεπώς θα πρέπει να πραγματοποιηθεί επανασχεδιασμός των αποθέσεων διαμορφώνοντας βαθμίδες συγκεκριμένου μήκους και κλίσης, καθώς και ενδιάμεσα πατάκια, τα οποία συντελούν στη σταθερότητα της περιοχής και παράλληλα χρησιμοποιούνται για τη δίοδο των μηχανημάτων εκσκαφής.

Στην περίπτωση των αποθέσεων των MABE στην Κοζάνη έχει προταθεί ένα σχέδιο διαμόρφωσης των αποθέσεων (Αναπτυξιακή Εταιρεία Δυτικής Μακεδονίας Α.Ν.Κ.Ο) στα πλαίσια του προγράμματος ΕΠΠΕΡ και τα κυριότερα στοιχεία είναι τα εξής:

1. Κλίση των εσωτερικών πρανών κατά μέγιστο 27° ή 1:1,96
2. Από βαθμίδα σε βαθμίδα μέγιστο ύψος 22,7 m με οριζόντιο μήκος 45 m

3. Πλάτος βαθμίδας εναλλάξ 8 m και 12 m
4. Η δυσμενέστερη κλίση του συνολικού πρανούς από 1:2,29 (43,7% ή γωνία 23,60°) έως (39,7% ή γωνία 21,60°)
5. Τα πρανή διατρέχονται από 4-9 αναβαθμίδες
6. Πατάρια βαθμίδων με ενιαία κατά μήκος μέση καθοδική κλίση
7. Μικρή εγκάρσια κλίση 2,14% προς το εσωτερικό

Το αναλυτικό σχέδιο ανάπλασης των αποθέσεων δίνεται στην **Εικόνα 10.10**.

Σχετικά με το σχέδιο αναμόρφωσης των αποθέσεων ενδεχομένως να χρειάζεται να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη βάση των πρανών. Όπως αναφέρεται στο **Κεφάλαιο 7 (παρ. 7.2)** σε όλο το μήκος της ανατολικής πλευράς (2,4 χιλιόμετρα) διερχόταν ρέμα του οποίου η αρχική κοίτη έχει επιχωματωθεί με στείρα υλικά τόσο στο υψηλότερο τμήμα (νότια) όσο κυρίως και στο χαμηλότερο τμήμα (βόρεια). Η ενδεχόμενη ύπαρξη αυτού του ρέματος, προσαρμοσμένο στα σημερινά μορφολογικά χαρακτηριστικά, επιβάλλει τη λήψη πρόσθετων μέτρων, αφού κατά τη ροή του ρέματος θα απομακρύνεται το επιφανειακό υλικό, το οποίο θα διασκορπίζεται στην ευρύτερη περιοχή και τελικά θα ρυπαίνεται. Λύση στο πρόβλημα, μπορεί να δοθεί σύμφωνα με αυτή του μεταλλείου αμιάντου (Cliton Creek) στον Καναδά.

Το μεταλλείο αμιάντου (Clinton Creek) στον Καναδά χρησιμοποίησε τρεις περιοχές για την απόθεση του στείρου υλικού. Εκτιμάται ότι περίπου 60.000.000 t στείρου υλικού και 10.000.000 t υλικού προερχόμενο από την επεξεργασία του αμιάντου εναποτέθηκαν στην περιοχή με αποτέλεσμα την αλλαγή της μορφολογίας της ευρύτερης περιοχής. Η απόθεση υλικού, φτωχό σε αμίαντο, στην περιοχή είχε ως συνέπεια την παρεμπόδιση ροής των ρεμάτων και τον σχηματισμό μιας λίμνης συνολικής έκτασης 74 ha. Επίσης, στην περιοχή και στην έξοδο της λίμνης σχηματίστηκε ένα ρυάκι, σε υψόμετρο 25 m από το αρχικό, μήκους 700 m και κλίσης 3-6% (η αρχική κλίση του ρέματος ήταν 0,08%), όπου οι όχθες του προέρχονται από τα πετρώματα της περιοχής και από την απόθεση του στείρου υλικού [71].

Αν και στις όχθες του ρυακιού έχουν πραγματοποιηθεί διορθωτικές εργασίες κατά το παρελθόν, εντούτοις παρατηρείται η μεταφορά εδαφικού υλικού εξαιτίας της ταχύτητας ροής του ρέματος, αλλοίωση της μορφολογίας του και τελικά ο κίνδυνος

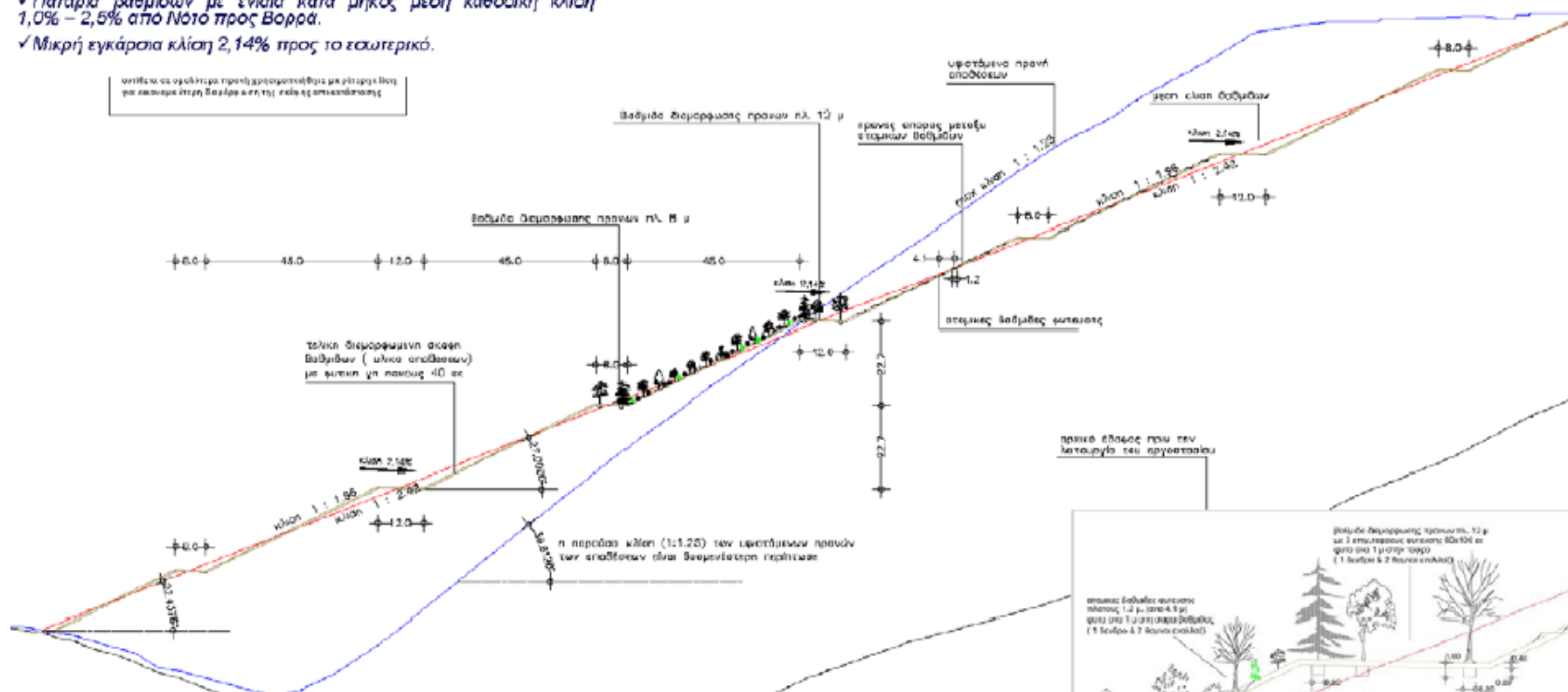
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΛΥΣΗ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ-ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

•Βαθμίδες διαμόρφωσης πραγών αποθέσεων

Κατασκευάζονται συγχρόνως οι ανώτερες και οι κατώτερες βαθμίδες. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά είναι:

- ✓ Κλίση των εσωτερικών πρανών κατά μέγιστο 27° ή 1:1,96.
- ✓ Από βαθμίδα σε βαθμίδα μέγιστο ύψος 22,7 m, με οριζ. μήκος 45 m.
- ✓ Πλάτος βαθμίδας εναλλάξ 8 m και 12 m.
- ✓ Η δυσμενέστερη κλίση του συνολικού πρανούς από 1:2,29 (43,7% ή γωνία 23,60) έως 1:2,52 (39,7% ή γωνία 21,60).
- ✓ Τα πρανή διατρέχονται από 4-9 αναβαθμούς.
- ✓ Πατάκια βαθμιδών με ενστά κατά μήκος μέση καθοδική κλίση 1,0% – 2,5% από Νότο προς Βορρά.
- ✓ Μικρή εγκάρσια κλίση 2,14% προς το εσωτερικό.

ՄԱՌԻՆԱ ՄԵ ՕՐՈՇԵՐԱՆ ԻՐԱՆԻ ԶԲԵՐՍՈՒՄԻՅՈՒՆ ԵՎ ԳԻՏԱԳՈՐԾԻՆԵՐ
ԻՐ ՏԱՆՈՒՄԵ ԻՆՏԵՂԵԿՏՈՐ ԵՎ ԵՐԻՆԻ ԵԿԵՐՁ ՄԱՆԱԾՈՒՄՈՅԸ



Εικόνα 10.10: Διαμόρφωση της περιοχής των αποθέσεων

πλημμύρας της ευρύτερης περιοχής συνυπολογίζοντας και τη ρύπανση από τα φερτά υλικά (**Εικόνα 10.11**).



Εικόνα 10.11: Ρέμα διαμορφωμένο εξαιτίας της απόθεσης αμιαντούχου υλικού και αλλοίωση της μορφολογίας του (Καναδάς) [71]

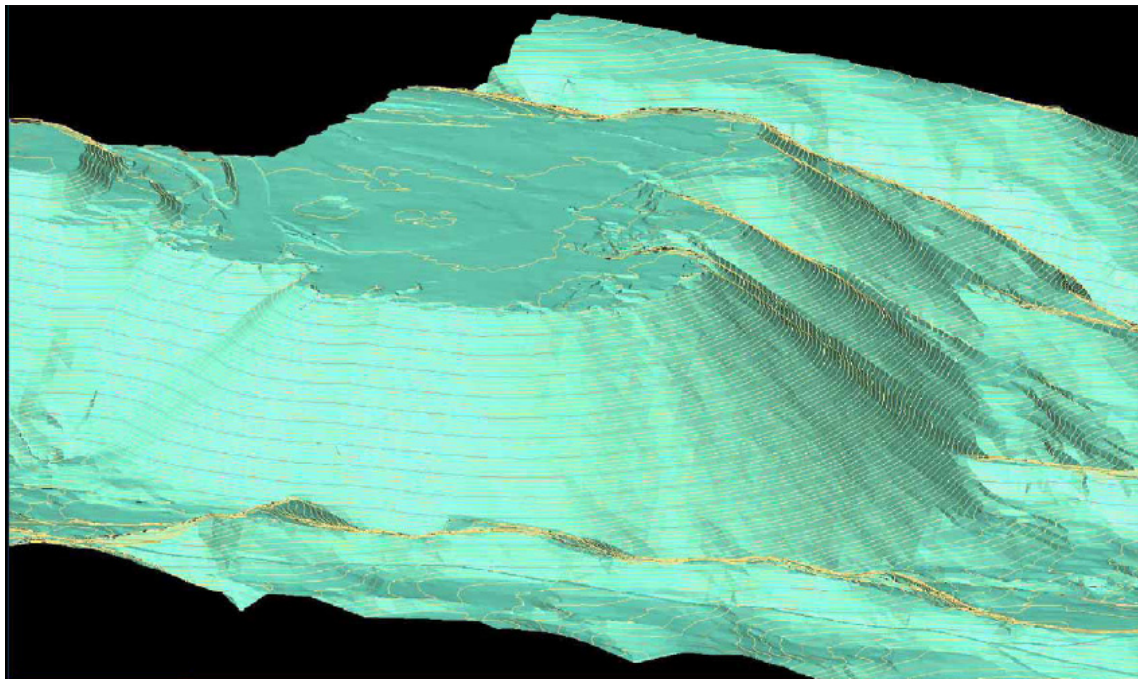
Για αυτό τον λόγο πραγματοποιήθηκαν χωματουργικές εργασίες για την αναδιαμόρφωση του ρέματος διαμορφώνοντας βαθμίδες και τοποθετώντας τετράγωνες μεταλλικές κατασκευές από χαλύβδινο συρματόπλεγμα, όπου στο εσωτερικό περιείχαν χαλίκια και κροκάλες διαμέτρου 75-200 mm (**Εικόνα 10.12**) [71].



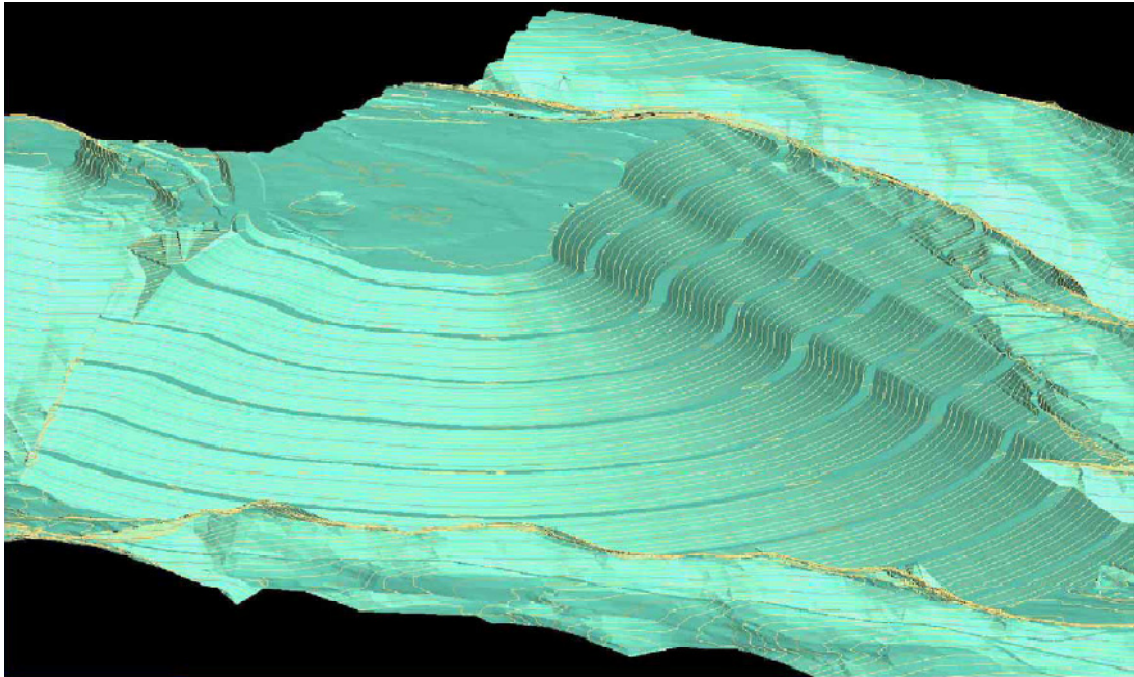
Εικόνα 10.12: Ρέμα μετά την ολοκλήρωση των εργασιών αποκατάστασης [71]

Εάν χρειαστεί να εφαρμοστεί το παραπάνω σχέδιο αποκατάστασης στην περίπτωση των ΜΑΒΕ θα κριθεί από την υδρολογική χαρτογράφηση της περιοχής.

Η περιοχή των αποθέσεων των ΜΑΒΕ πριν και μετά την ολοκλήρωση των εργασιών διαμόρφωσης με βαθμίδες απεικονίζεται ψηφιακά στις **Εικόνες 10.13 και 10.14 (Α.Ν.Κ.Ο.)**.



Εικόνα 10.13: Ψηφιακό υπόβαθρο αρχικής μορφής των αποθέσεων



Εικόνα 10.14: Ψηφιακό υπόβαθρο των αποθέσεων μετά την ολοκλήρωση εργασιών κατασκευής βαθμίδων

10.4.3 Εδαφική-Φυτοτεχνική Μελέτη αποκατάστασης διαταραγμένων περιοχών

10.4.3.1 Εισαγωγή

Η φυτική κάλυψη και η αναδάσωση διαταραγμένων περιοχών αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα των εργασιών αποκατάστασης και συνεισφέρει στην [69]:

1. Μείωση των φαινόμενων διάβρωσης
2. Ελάττωση της ταχύτητας πρόσκρουσης της βροχής στην επιφάνεια
3. Μείωση του ρυθμού και του όγκου της επιφανειακής απορροής
4. Συνεισφορά στη διατήρηση και την ανάπτυξη της πανίδας της περιοχής
5. Εναρμόνιση των διαταραγμένων περιοχών του μεταλλείου με το φυσικό περιβάλλον
6. Αξιοποίηση της γης

Σε πολλές περιπτώσεις έχει προβλεφθεί παράλληλα με την μεταλλευτική δραστηριότητα η εφαρμογή ενός προγράμματος αποκατάστασης. Για αυτό τον λόγο κατά την αφαίρεση της φυτικής γης από την επιφάνεια του ορυχείου, για την εύρεση

και την εξόρυξη του μεταλλεύματος, προβλέπεται η τοποθέτηση και διατήρησή της σε γειτονική περιοχή για την επαναχρησιμοποίησή της (χρήση γης σε πρόγραμμα αποκατάστασης).

Ακόμα όμως και υπό τις πιο ευνοϊκές συνθήκες δεν είναι δυνατόν η άμεση έναρξη της διαδικασίας της δενδροφύτευσης. Τα προβλήματα στην αναδάσωση οφείλονται στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδαφικού υλικού.

Όσον αφορά στις φυσικές ιδιότητες τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται από μικρές ποσότητες λεπτής γης, ενώ στις επίπεδες επιφάνειες παρατηρούνται φαινόμενα συμπίεσης, τα οποία οφείλονται στις εργασίες διαμόρφωσης των αποθέσεων .

Ως προς τις χημικές ιδιότητες παρατηρείται έλλειψη οργανικής ουσίας και θρεπτικών στοιχείων με πλέον συχνή την έλλειψη ή την πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε άζωτο. Σπάνια επίσης υπάρχει διαθέσιμος φώσφορος. Σε περιορισμένες συγκεντρώσεις βρίσκεται γενικά και το κάλιο. Αντίθετα σπάνια παρατηρείται έλλειψη ασβεστίου και μαγνησίου.

Προβλήματα τοξικότητας εμφανίζονται σε ορισμένες περιπτώσεις (μικτά θειούχα, κ. ά., υπολείμματα επεξεργασίας μετάλλων) και αναφέρονται στην παρουσία βαρέων μετάλλων και σε ακραίες τιμές pH, κυρίως χαμηλές.

Το χαμηλό pH (<4,5) αντιμετωπίζεται με την προσθήκη ασβεστίου, ενώ το υψηλό pH με προσθήκη οργανικής ουσίας. Η τοξικότητα που προέρχεται από βαρέα μέταλλα είναι περισσότερο πολύπλοκη και κάθε περίπτωση εξετάζεται χωριστά. Μια γενική συνταγή όμως είναι η χρησιμοποίηση ανθεκτικών στα βαρέα μέταλλα φυτών, η κάλυψή τους με εδαφικό υλικό ή η εξουδετέρωση του τοξικού παράγοντα [68].

Συνοψίζοντας, οι κυριότεροι παράγοντες που δρουν αρνητικά στην αναδάσωση μιας περιοχής είναι οι παρακάτω [69]:

1. Υψηλή θερμοκρασία εδάφους
2. Απότομες κλίσεις κεκλιμένων επιφανειών
3. Μειωμένη κατακράτηση ύδατος
4. Έλλειψη επαρκούς ποσότητας εύφορου εδαφικού υλικού
5. Φαινόμενα διάβρωσης
6. Περίοδος δενδροφύτευσης
7. Κακές συνθήκες ανάπτυξης των φυτικών ειδών

10.4.3.2 Αποθέσεις MABE

Το ζήτημα της δενδροφύτευσης στην περίπτωση των αποθέσεων των MABE είναι αρκετά πολύπλοκο αφού εκτός των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδαφικού υλικού στην περιοχή επιπλέον θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η υψηλή περιεκτικότητα σε αμιάντο και συνεπώς ο κίνδυνος για περαιτέρω ρύπανση του φυσικού περιβάλλοντος και έκθεσης των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής. Θεωρείται λοιπόν αναγκαία η κάλυψη της περιοχής των αποθέσεων με εδαφικό υλικό.

Στα πλαίσια του προγράμματος LIFE 03ENV/GR/00214 «Αξιολόγηση Του Χώρου Του Ορυχείου Των Μεταλλείων Αμιάντου Βορείου Ελλάδος (MABE) Ως Χώρο Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων Αμιάντου(XYTAM)» το Πολυτεχνείο Κρήτης (Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων) [64,75,76] εκπονήθηκε μελέτη με τίτλο «Διεξαγωγή Γεωτεχνικών μετρήσεων για τις μηχανικές συνθήκες του ορυχείου και της ποιότητας του νερού», όπου μέρος αυτής αποτέλεσε ο προσδιορισμός των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων εδαφικού υλικού από διαφορά σημεία εντός των ορίων των MABE.

Επιφανειακό δείγμα ελήφθη, από την περιοχή των παλιών αποθέσεων (S1) και από περιοχή BA του μεταλλείου (**Εικόνα 10.15**), και το οποίο θεωρείται ότι αποτελεί εδαφικό υλικό προτού την εκσκαφή και την εξόρυξη του μεταλλεύματος (S2).



Εικόνα 10.15: Περιοχή δειγματοληψίας εδαφικού υλικού (S2)

Τα αποτελέσματα των φυσικών και χημικών αναλύσεων των δειγμάτων εδαφικού υλικού παρουσιάζονται στον **Πίνακα 10.2**.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΛΥΣΗ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ-ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ**

Πίνακας 10.2: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων εδαφικού υλικού

Φυσικά χαρακτηριστικά				
<i>Παράμετρος</i>	<i>Μονάδες</i>	<i>Τιμή</i>		<i>Μέθοδος</i>
		Δείγμα S1	Δείγμα S2	
pH		7,9	7,9	DIN 10390
Τεστ HCl (10%)		Μικρή δημιουργία φυσαλίδων CO ₂	Έντονη δημιουργία φυσαλίδων CO ₂	
Χρώμα		Καφέ κίτρινο	Καφέ κίτρινο	
Οσμή		Όχι	Όχι	
Κατάταξη εδαφικού υλικού		Λεπτή, χαλαρή, χαλικώδης, λευκή άμμος	Χαλικώδης, ιλυώδης, λεπτή άμμος	DIN 4022
Χημική Σύσταση				
<i>Βαρέα μέταλλα</i>				
Αρσενικό (As)	mg/kg	<10	<10	EN ISO 11 885
Μόλυβδος (Pb)	mg/kg	<10	<10	EN ISO 11 885
Κάδμιο (Cd)	mg/kg	<0,5	<0,5	EN ISO 11 885
Χρώμιο (Cr)	mg/kg	43	47	EN ISO 11 885
Χαλκός (Cu)	mg/kg	<10	<10	EN ISO 11 885
Νικέλιο (Ni)	mg/kg	100	86	EN ISO 11 885
Υδράργυρος (Hg)	mg/kg	<0,3	<0,3	EN 1483
Ψευδάργυρος (Zn)	mg/kg	10	<10	EN ISO 11 885
Κοβάλτιο (Co)	mg/kg	<10	<10	EN ISO 11 885
TOC	%	<0,1	<0,1	DIN EN 1484

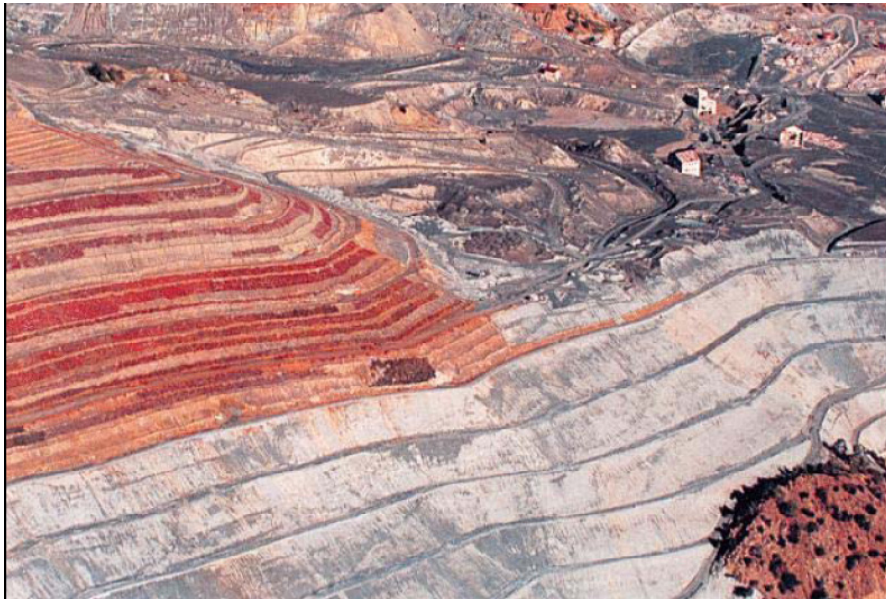
Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δειγμάτων εδαφικού υλικού, προκύπτει ότι οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδαφικού υλικού των παλιών αποθέσεων και της περιοχής ΒΑ του μεταλλείου δεν επιτρέπει τη δενδροφύτευση. Οι αποθέσεις παρουσιάζουν υψηλό pH, υψηλή συγκέντρωση βαρέων μετάλλων (Cr, Ni, Co) και χαμηλό οργανικό φορτίο (TOC< 0,1%).

Συνεπώς, διαπιστώνεται ότι για να είναι εφικτή η δενδροφύτευση θα πρέπει αρχικά η περιοχή των αποθέσεων να καλυφθεί με φυτική γη, προερχόμενη από γειτονική περιοχή και όχι εντός των ΜΑΒΕ.

Στην περίπτωση της αποκατάστασης του μεταλλείου αμιάντου στην Κύπρο π.χ. τοποθετήθηκε φυτική γη ύψους 30 cm. Περίπου 4.000 m³ απαιτούνται για την αναδάσωση ενός εκταρίου.

Η επιλογή των φυτικών ειδών για τη σπορά και φύτευση στην συγκεκριμένη περιοχή πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματολογικές συνθήκες καθώς και τη βλάστηση στην ευρύτερη περιοχή.

Στο μεταλλείο της Κύπρου εκτιμάται ότι το κόστος αναδάσωσης για ένα εκτάριο ανέρχεται σε 25.000 €. Τα αποτελέσματα της δενδροφύτευσης κρίνονται επιτυχή (Εικόνες 10.16 και 10.17) [70].



Εικόνα 10.16: Κάλυψή με φυτική γη βαθμιδών μεταλλείου στην Κύπρο [70]



Εικόνα 10.17: Αναδάσωση μεταλλείου στην Κύπρο [70]

10.5 Πέμπτο Μερικό Συμπέρασμα

Συνοψίζοντας, όπως περιγράφεται και παραπάνω, η αποκατάσταση των αποθέσεων των ΜΑΒΕ αποτελεί μια αρκετά πολύπλοκη διαδικασία, εξαιτίας της πληθώρας των παραγόντων που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Πιο συγκεκριμένα θα πρέπει να περιλαμβάνονται τα παρακάτω:

1. Αεροφωτογράφιση και στερεοσκοπική απόδοση σε κάρναβο 10μ., κλ. 1:1000
2. Γεωτεχνική μελέτη αποκατάστασης πρανών αποθέσεων ΜΑΒΕ, με χαρτογράφηση ρηγματώσεων και 2 ερευνητικές γεωτρήσεις
3. Σύνταξη ψηφιακού μοντέλου «φυσικό ανάγλυφο» της ευρύτερης περιοχής πριν τη λειτουργία των ΜΑΒΕ
4. Υπολογισμός όγκου διαθέσιμης φυτικής γης
5. Υδρολογική μελέτη της λεκάνης του υφιστάμενου στα ανατολικά ρέματος
6. Υδραυλικά έργα που θα δέχονται τις πλημμυρικές παροχές των ομβρίων
7. Φυτοτεχνική μελέτη αποκατάστασης του χώρου
8. Ιδιαίτερο σχεδιασμό των βαθμίδων για αντιδιαβρωτική προστασία
9. Εγκατάσταση αυτόματου αρδευτικού δικτύου
10. Μελέτη υγιεινής και ασφάλειας (μέτρα προστασίας των εργαζομένων)

Το κόστος, σύμφωνα με υπολογισμούς για το πρόγραμμα ΕΠΠΕΡ, εκτιμάται ότι θα ανέρθει περίπου στα 9.700.000 €.

ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι αποθέσεις των Μεταλλείων Αμιάντου Βορείου Ελλάδος, στείρο υλικό, φτωχό προς επεξεργασία για αμιάντο, προερχόμενο από την 20ετή εξορυκτική δραστηριότητα στην περιοχή, καταλαμβάνουν συνολικά έκταση περίπου **740 στρεμμάτων**, ενώ ο όγκος τους ανέρχεται σε **68.000.000 m³**. Αν και στην βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η περιεκτικότητα του υλικού των αποθέσεων σε καθαρό αμιάντο είναι περίπου 0,2 %, εντούτοις σε ερευνητικές εργασίες στην περιοχή βρέθηκε ότι το ποσοστό καθαρού αμιάντου ανέρχεται σε **20-23 % (w/w)**. Προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε ίνες αμιάντου διεξήχθη στα επιμέρους κλάσματα της κορυφής και της βάσης των αποθέσεων, όπου διαπιστώθηκε η παρουσία ινών αμιάντου τόσο στα χονδρόκοκκα όσο και στα λεπτόκοκκα κλάσματα. Βάση των αποτελεσμάτων αυτών υπολογίστηκε ότι, ο καθαρός αμιάντος στην περιοχή (χρήση αποτελεσμάτων αποθέσεων περιεκτικότητας σε αμιάντο) κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα από ότι θεωρείτο μέχρι σήμερα και εκτιμάται ότι είναι μεταξύ των **14.340.000-14.540.000 t**.

Σε κοντινή απόσταση από τα MABE βρίσκεται ο ποταμός Αλιάκμονας και η τεχνητή λίμνη Πολυφύτου. Σύμφωνα με τα γεωλογικά δεδομένα της περιοχής, αν και στην περιοχή εμφανίζονται σερπεντινικοί σχηματισμοί, αυτοί δεν εκτείνονται μέχρι της όχθες του Αλιάκμονα. Παρόλα αυτά, κατά την διάρκεια λειτουργίας των MABE, τα επίπεδα ρύπανσης ήταν υψηλά και υπερέβαιναν κατά πολύ τα επιτρεπτά όρια. Σήμερα και μετά από επτά χρόνια διακοπής λειτουργίας των MABE, σε δειγματοληπτικές έρευνες βρέθηκε ότι η ρύπανση κατά μήκος του Αλιάκμονα και σε απόσταση 21 km από τις αποθέσεις η συγκέντρωση ινών αμιάντου στο ύδωρ κυμαίνεται μεταξύ **4,5 -158,9*10⁶ F/L**. Σε δείγματα ύδατος από την βάση των αποθέσεων διαπιστώθηκε ότι, εξαιτίας της επιφανειακής απορροής, η περιεκτικότητα σε αμιάντο ανέρχεται σε **22,17* 10⁶ F/L**. Η πλειοψηφία των ινών αμιάντου είναι χρυσοτιλικός, ενώ ανιχνεύονται και μικρές ποσότητες αμιφολιτικών ινών.

Μέρος των δειγμάτων ύδατος χρησιμοποιήθηκε για χημικές αναλύσεις και τον ποσοτικό προσδιορισμό των ιχνοστοιχείων (μαγνήσιο, σίδηρο, ασβέστιο). Το ασβέστιο και ο σίδηρος μπορούν να συσχετισθούν με την παρουσία αμιφολιτικών ινών αμιάντου στα ύδατα της περιοχής, σε αντίθεση με το μαγνήσιο (Συγκέντρωση ακτινολιθου/ανθοφυλλίτη με σίδηρο $R^2 = 0,5594$, συγκέντρωση

ακτινολιθου/τρεμολίτη με ασβέστιο $R^2 = 0,6549$). Επιπλέον, τα επίπεδα του pH αποτελούν ενδεικτικό στοιχείο της παρουσίας ινών αμιάντου στα ύδατα των ποταμών. Αν και στην περιοχή μελέτης αυτή η διαπίστωση δεν εξακριβώνεται, ωστόσο σε εργαστηριακές δοκιμές βρέθηκε ότι η διαλυτοποίηση ποσότητας μεταλλεύματος της κορυφής των αποθέσεων με απεσταγμένο ύδωρ έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του pH σε διάφορες συνθήκες, με μεγαλύτερη μεταβολή στην περίπτωση της έντονης ανάδευσης και της υψηλής θερμοκρασίας.

Η έκταση του προβλήματος διαφαίνεται εάν συσχετισθεί η συγκέντρωση των ινών αμιάντου των δειγμάτων ύδατος με την επιφανειακή απορροή των αποθέσεων, η οποία υπολογίστηκε με την χρήση κατάλληλου μοντέλου διάβρωσης και βάση των πειραματικών δεδομένων καθώς και θεωρητικά υπολογίσιμων παραμέτρων (οργανικό φορτίο, διαβρωσιμότητα) της περιοχής. Υπολογίστηκε, ότι για το χρονικό διάστημα 01-01-2006 έως 30-06-2006, σύμφωνα με μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού στην περιοχή των MABE, το ύψος της βροχόπτωσης ήταν **1203,8 mm**, ενώ με την χρήση του μοντέλου διάβρωσης εκτιμάται ότι η επιφανειακή απορροή ανέρχεται σε **219,64 mm**. Συνεπώς η επιφανειακή απορροή των αποθέσεων για το Α' Εξάμηνο του 2006 είναι **162.318,78 m³**. Τελικά προέκυψε ότι στην ευρύτερη περιοχή διασπείρονται **$3.022-3.599 \cdot 10^{12}$ ίνες αμιάντου, μέρος των οποίων καταλήγουν στον Αλιάκμονα.**

Επιτακτική λοιπόν ανάγκη αποτελεί η άμεση εφαρμογή ενός κατάλληλου προγράμματος αποκατάστασης της περιοχής των αποθέσεων. Η κάλυψη της περιοχής των αποθέσεων με φυτική γη και δενδροφύτευσή της, αποτελεί μια τεχνική που ήδη έχει εφαρμοστεί σε αντίστοιχες περιπτώσεις. Η τεχνική αυτή προϋποθέτει την πραγματοποίηση βοηθητικών και διορθωτικών έργων (διαμόρφωση λοφοπλαγιάς κ.α.), με σκοπό την αντιδιαβρωτική προστασία της περιοχής. Στο παρελθόν, έχει εφαρμοστεί εν μέρει ένα πρόγραμμα αποκατάστασης με αυτή την τεχνική, στην περιοχή των παλιών αποθέσεων. Η μη σωστή εφαρμογή και συντήρηση της περιοχής είχε ως αποτέλεσμα σήμερα οι παλιές αποθέσεις να αποτελούν μέρος του προβλήματος. Έρευνες στην περιοχή αυτή έδειξαν ότι συνολικά αλλά και στα επιμέρους κλάσματα το ποσοστό αμιάντου είναι αρκετά υψηλό και ανέρχεται περίπου σε **22,99 -56,53 % (w/w)**.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Robert L. Virta, **Asbestos: Geology, Mineralogy, Mining, and Uses**, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2005
2. www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp61-c4.pdf
3. Αναστασιάδου Κ., **Εκτίμηση τοξικότητας ευρύτερης περιοχής των Μεταλλείων Αμιάντου Βορείου Ελλάδος**, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2006
4. Καρκάνας Π., **Μελέτη του κοιτάσματος χρυσοτιλικού αμιάντου Ζιδανίου Κοζάνης και της εμφάνισης τρεμολιτικού αμιάντου Ανω Αγοριανής Οθρύος**, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα 1994
5. <http://www.ringsurf.com/info/Medicine and Health/Asbestos/History of Asbestos/>
6. Department of Health and Ageing, **Management of asbestos in the non-occupational environment**, Australian Government 2005
7. [www.toronto.ca/health/pdf/cr_appendix b asbestos.pdf](http://www.toronto.ca/health/pdf/cr_appendix_b_asbestos.pdf)
8. <http://environmentalchemistry.com/yogi/environmental/asbestosproperties2004.html>
9. Πρατσόλη Σοφία, **Εκτίμηση επικινδυνότητας αμιάντου στην περιοχή του πρώην εργοστασίου Ελλενίτ Α.Ε. της Ν. Λάμπρακου Εύβοιας και στην ευρύτερη αυτής περιοχή**, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2006
10. **Report on Carcinogens**, Eleventh Edition; U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Toxicology Program
11. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geophys/mineral.html#c1>
12. <http://www.isitasbestos.com/aboutasbestos/whatisasbestos.php>
13. <http://www.gc.maricopa.edu/earthsci/imagearchive/picture1.htm>
14. <http://www.galleries.com/minerals/silicate/amphibol.htm>
15. Robert L. Virta, **Mineral Commodity Profiles—Asbestos**, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 2005
16. http://www.atsdr.cdc.gov/asbestos/asbestos/health_effects/#mesothelioma
17. http://www.iatronet.gr/article.asp?art_id=366

18. Fumio Shirai, Shoji Kudoh, Atsuo Shibuya, Kazuo Sada And Riicaiiro Mikami, **Crackles In Asbestos Workers :Auscultation And Lung Sound Analysis**, Br.J. Dis. Chest, 75,386, 1981
19. W. Sturma, B. Menzea, J. Krauseb, B. Thriene, **Use of asbestos, health risks and induced occupational diseases in the former East Germany**, Toxicology Letters 72, pp 317-324, 1994
20. <http://www.asbestmine.org/gr/health.php>
21. <http://www.cancer-mesothelioma-information.com/>
22. Gunnar Hillerdal, **The Swedish Experience with Asbestos:History of Use, Diseases, Legislation, and Compensation Department of Pulmonary Medicine**, Karolinska Hospital, Stockholm, Sweden.
23. V. Subramanian, N. Madhavan, **Asbestos problem in India**, Elsevier Science Ltd, Lung Cancer 49S1,pp 59—512, 2005
24. http://www.elinyae.gr/el/item_details.jsp?item_id=1277&cat_id=418
25. Οδηγία 1976/769/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 27ης Ιουλίου 1976 περί προσεγγίσεως των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των κρατών μελών που αφορούν περιορισμούς κυκλοφορίας στην αγορά και χρήσεως μερικών επικινδύνων ουσιών και παρασκευασμάτων
26. Οδηγία 1983/478/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 19ης Σεπτεμβρίου 1983 για πέμπτη τροποποίηση (αμίαντος) της οδηγίας 76/769/ΕΟΚ περί προσέγγισης των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των κρατών μελών που αφορούν περιορισμούς της κυκλοφορίας στην αγορά και της χρήσης μερικών επικινδύνων ουσιών και παρασκευασμάτων
27. Οδηγία **1991/659/ΕΟΚ** της Επιτροπής της 3ης Δεκεμβρίου 1991 για την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο του παραρτήματος I της οδηγίας 76/769/ΕΟΚ του Συμβουλίου περί προσεγγίσεως των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των κρατών μελών που αφορούν περιορισμούς κυκλοφορίας στην αγορά και χρήση μερικών επικινδύνων ουσιών και παρασκευασμάτων
28. Οδηγία 85/610/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 20ής Δεκεμβρίου 1985 για έβδομη τροποποίηση (αμίαντος) της οδηγίας 76/769/ΕΟΚ περί της προσέγγισης των

- νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των κρατών μελών που αφορούν περιορισμούς της κυκλοφορίας στην αγορά και της χρήσης μερικών επικίνδυνων ουσιών και παρασκευασμάτων
29. Οδηγία **1999/77/EK** της Επιτροπής της 26ης Ιουλίου 1999 για την έκτη προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο του παραρτήματος I της οδηγίας 76/769/ΕΟΚ του Συμβουλίου περί προσεγγίσεως των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των κρατών μελών που αφορούν περιορισμούς κυκλοφορίας στην αγορά και χρήσεως μερικών επικίνδυνων ουσιών και παρασκευασμάτων
30. Οδηγία 1983/477/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 19ης Σεπτεμβρίου 1983 για την προστασία των εργαζομένων από τους κινδύνους που οφείλονται στην έκθεσή τους στον αμίαντο κατά τη διάρκεια της εργασίας. (δεύτερη ειδική οδηγία κατά την έννοια του άρθρου 8 της οδηγίας 80/1107/ΕΟΚ)
31. Οδηγία 1991/382/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 25ης Ιουνίου 1991 για την τροποποίηση της οδηγίας 83/477/ΕΟΚ για την προστασία των εργαζομένων από τους κινδύνους που οφείλονται στην έκθεσή τους στον αμίαντο κατά τη διάρκεια της εργασίας (δεύτερη ειδική οδηγία κατά την έννοια του άρθρου 8 της οδηγίας 80/1107/ΕΟΚ)
32. Οδηγία 1998/24/ΕΚ του Συμβουλίου της 7ης Απριλίου 1998 για την προστασία της υγείας και ασφαλείας των εργαζομένων κατά την εργασία από κινδύνους οφειλομένους σε χημικούς παράγοντες. (14η ειδική οδηγία κατά την έννοια του άρθρου 16 παράγραφος 1 της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ)
33. Οδηγία 2003/18/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 27ης Μαρτίου 2003, για την τροποποίηση της οδηγίας 83/477/ΕΟΚ του Συμβουλίου για την προστασία των εργαζομένων από τους κινδύνους που οφείλονται στην έκθεσή τους στον αμίαντο κατά τη διάρκεια της εργασίας
34. Οδηγία 1987/217/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 19ης Μαρτίου 1987 σχετικά με την πρόληψη και τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τον αμίαντο
35. U.S. Department Of Health And Human Services, Occupational Safety And Health Guideline For Asbestos Potential Human Carcinogen, 1988

36. http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=FEDERAL_REGISTER&p_id=13404
37. http://www.atsdr.cdc.gov/HEC/CSEM/asbestos/standards_regulations.html
38. Public Health Service Agency For Toxic Substances And Disease Registry, **Toxicological Profile For Asbestos**, U.S. Department Of Health And Human Services, September 2001
39. John P. Clinkenbeard, Ronald K. Churchill, and Kiyoungh Lee, **Guidelines For Geologic Investigations Of Naturally Occurring Asbestos In California**, California Geological Survey Public Information Offices, 2002
40. <http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/e03/03e.htm>
41. <http://www.microscopyu.com/articles/polarized/polarizedintro.html>
42. <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/techniques/polarized/polarizedintro.html>
43. Δ. Φαττα, Μάρλεν Ινέξ Βάσκες,, **Διαχείριση Στερεών Και Υγρών Αποβλήτων**, Πανεπιστήμιο Κύπρου, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Μηχανικής Περιβάλλοντος Γαia, Λευκωσία 2006
44. http://www.mtas.es/Insht/en/MTA/MA_051_A04_en.htm
45. http://probelab.geo.umn.edu/electron_microprobe.html
46. http://www.atsdr.cdc.gov/asbestos/sites/health_consultations/westchicagoil.html
47. Deutsche Bank Trust Company Americas, **Specifications for Community Environmental Air Monitoring During the Abatement and Demolition of 4 Albany Street**, December 22, 2004
48. <http://www.emsl.com/Index.cfm?nav=Home>
49. NIOSH, Asbestos and other fibers by PCM (Method 7400), 1994
50. NIOSH, Asbestos (bulk) by PLM (Method 9002), 1994
51. NIOSH, Chrysotile by XRD (Method 9000), 1994
52. NIOSH, by TEM (Method 7402), 1994
53. <http://amerisci.com/asbestosmethodology.html>
54. http://www.emsltesting.com/electron_photos.html
55. Heinz Kropiunik, Asbestos Air Monitoring: Correlation Between Results Of Pcm And Sem Measurements, aetas Ziviltechniker GmbH (www.ceramika.agh.edu.pl/azbest06/8.pdf)

56. http://www.dhs.ca.gov/ehlb/OAQ/Microscopy%20Images/PLM%20Destination/pages/CHRY_Xpol.html
57. P. Plescia , D. Gizzi, S. Benedetti, L. Camilucci, C. Fanizza, P.De Simone, F. Paglietti, **Mechanochemical treatment to recycling asbestos-containing waste**, Elsevier Science Ltd., Waste Management 23, pp 209–218, 2003
58. http://www.labcor.net/index.php?option=com_content&task=category§ionid=5&id=20&Itemid=37
59. EPA-600/4-83-043, **Analytical Method For Determination Of Asbestos Fibers In Water**, September 1983
60. OSHA (Inorganic Method 191), Polarized Light Microscopy Of Asbestos
61. H. Schreier, Asbestos in the natural environment, Elsevier 1989
62. Inkap Choi And Ross W. Smith, **Kinetic Study Of Dissolution Of Asbestos Fibers In Water**, Journal Of Colloid And Interface Science, Vol. 40, No. 2, August 1972
63. S. Monaro, S. Landsberger, R. Lecomtet & P. Paradis, G. Desaulniers & A. P'an, **Asbestos Pollution Levels in River Water Measured by Proton-induced X-ray Emission (PIXE) Techniques**, Environmental Pollution (Series B)pp 83-90,b 1983
64. Gidarakos E, Anastasiadou K., KoumantakismE., Technical report “Conduction of geotechnical measurements concerning the mechanical conditions of the MABE and the quality of water”. LIFE 03ENV/GR/00214 for the Utilization of MABE Asbestops Mine as a Disposal Site for Asbestos Wastes, 2006
65. Υπουργείο Αναπτυξης, Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού και Φυσικών Πόρων, **Σχέδιο Προγράμματος Διαχείρισης Των Υδατικών Πόρων Της Χώρας**, Αθήνα 2003
66. Γιάννης Μαρκόνης, **Μελέτη της τροφικής κατάστασης του ταμειυτήρα Πολυφύτου με τη χρήση του μοντέλου WASP**, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2006
67. Kalliopi Anastasiadou, Evangelos Gidarakos, **Toxicity evaluation for the broad area of the asbestos mine of northern Greece**, Journal of Hazardous Materials A139 (2007) 9–18

68. Γεώργιος Λ. Μπρόφας , **Αποκατάσταση του τοπίου διαταραγμένων περιοχών από μεταλλευτικές και λατομικές δραστηριότητες**, Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τ.Δ.Π.
69. 1. David K. Norman, Peter J. Wampler, Allen H. Throop, E. Frank Schnitzer, & Jaretta M. Roloff, **Best Management Practices for Reclaiming Surface Mines in Washington and Oregon**, Washington Division Of Geology And Earth Resources, Oregon Department Of Geology And Mineral Industries, December 1997
70. Kyriacos Kyrou, George Petrides, **The Rehabilitation of the Asbestos Mine, Cyprus**, Water Development Department, 1413 Nicosia, Geological Survey Department, 2004
71. Gil Robinson, P.Eng., Ken Skaftfeld, P.Eng., Rolf Aslund, P.Eng., **Landslide Dams and Creek Stabilization at the Former Clinton Creek Asbestos Min**, Northern Latitudes Mining Reclamation Workshop Dawson City, Yukon, 2005
72. <http://www.kennecottminerals.com/public/report/flambeau.htm>
73. Shannon.C. Shaw, **Geochemical Characterization And Water Quality Predictions For The Zortman/Landusky Reclamation Project**. Mine Design, operations & Closure Conference 2000
74. <http://www.robertsongeoconsultants.com/projects/zortsky.asp>
75. Gidarakos E., Anastasiadou K., Koumantakis E., Stappas N., **Investigative Studies for the Use of an Inactive Asbestos Mine as a Disposal Site for Asbestos Wastes**, Journal of Hazardous Materials (2006, submitted).
76. Gidarakos E., Anastasiadou K., Koumantakis E., Stappas N., **Exploitation of an Inactive Asbestow mine as Disposal Site for Asbestow Wastes**, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia 2007

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ



Εικόνα Α.1: Άποψη αποθέσεων από την Γέφυρα Ρύμνιο



Εικόνα Α.2: Άποψη πρανών αποθέσεων



Εικόνα Α.3: Άποψη πρανών αποθέσεων



Εικόνα Α.4: Κορυφή αποθέσεων (Πλατεία)



Εικόνα Α.5: Διάβρωση στην κορυφή των αποθέσεων



Εικόνα Α.6: Παλιό εργοστάσιο αμιάντου (Παλιές αποθέσεις)



Εικόνα Α.6: Δενδροφύτευση και μερική αποκατάσταση των παλιών αποθέσεων



Εικόνα Α.7: Διάβρωση περιοχής Παλιών αποθέσεων



Εικόνα Α.8: Μορφολογία λοφοπλαγιάς Παλιών αποθέσεων

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

**ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΝ
ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΥΔΑΤΟΣ**



Εικόνα Β.1: Λίμνη αποθέσεων (Δείγμα W1)



Εικόνα Β.2: Περιοχή λήψης δείγματος από τον Αλιάκμονα (Δείγμα W2)



Εικόνα Β.3: Περιοχή λήψης δείγματος από τον Αλιάκμονα (Δείγμα W3)



Εικόνα Β.4: Περιοχή λήψης δείγματος από τον Αλιάκμονα Πλατανόδασος (Δείγμα W4)



Εικόνα Β.5: Γέφυρα Ρύμνιο στην λίμνη Πολυφύτου (Δείγμα W5)



Εικόνα Β.6: Περιοχή λήψης δείγματος από τον Αλιάκμονα (Δείγμα W6)



Εικόνα Β.7: Περιοχή λήψης δείγματος από τον Αλιάκμονα (Δείγμα W7)



Εικόνα Β.8: Περιοχή λήψης δείγματος από τον Αλιάκμονα (Δείγμα W8)



Εικόνα Β.8: Περιοχή λήψης δείγματος από ρυάκι
κοντά στις αποθέσεις (Δείγμα W9)



Εικόνα Β.9: Γέφυρα Σέρβια στην λίμνη Πολυφύτου (Δείγμα W10)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

**ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΝ
ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΛΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ**



Εικόνα Γ.1: Περιοχή λήψης εδαφικού υλικού (Δείγμα W5)



Εικόνα Γ.2: Λάκκος δειγματοληψίας εδαφικού υλικού (Δείγμα W5)



Εικόνα Γ.3: Συλλογή εδαφικού υλικού και λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος (Δείγμα W5)



Εικόνα Γ.4: Λάκκος δειγματοληψίας εδαφικού υλικού (Δείγμα W9)



Εικόνα Γ.5: Περιοχή λήψης εδαφικού υλικού (Δείγμα W8)



Εικόνα Γ.6: Περιοχή λήψης εδαφικού υλικού (Δείγμα W1)



Εικόνα Γ.7: Λάκκος δειγματοληψίας εδαφικού υλικού (Δείγμα W10)

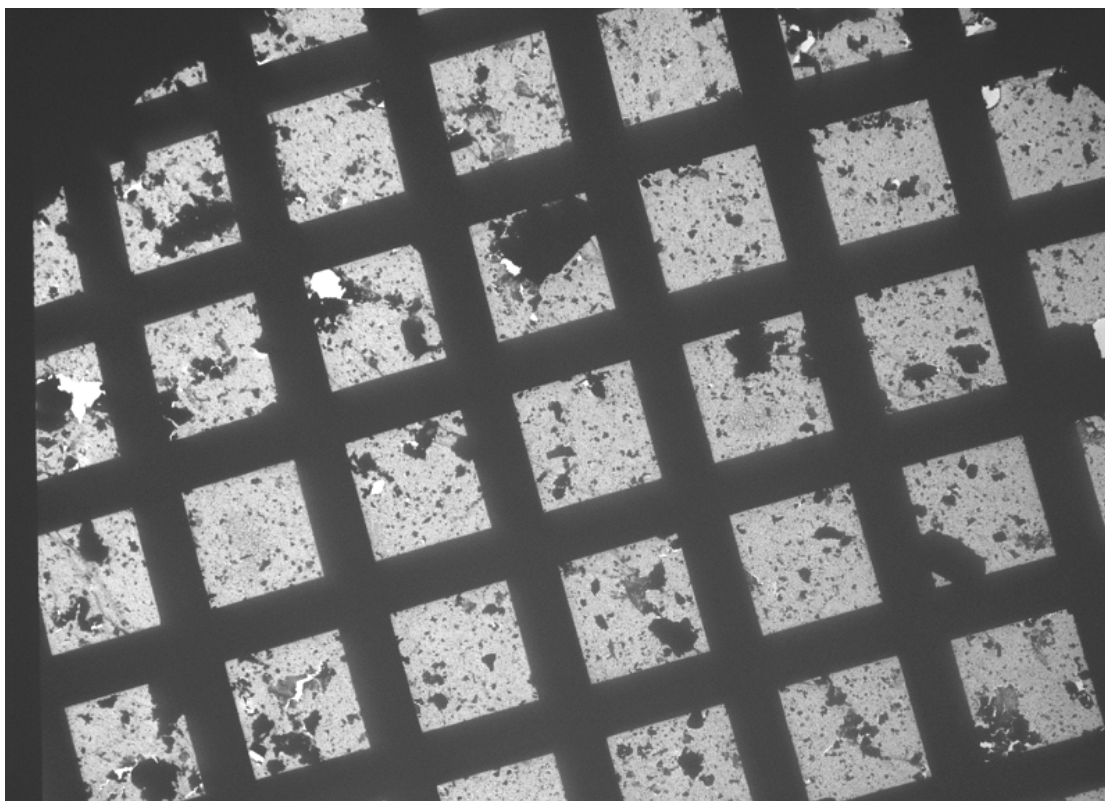


Εικόνα Γ.8: Περιοχή λήψης εδαφικού υλικού (Δείγμα W6)

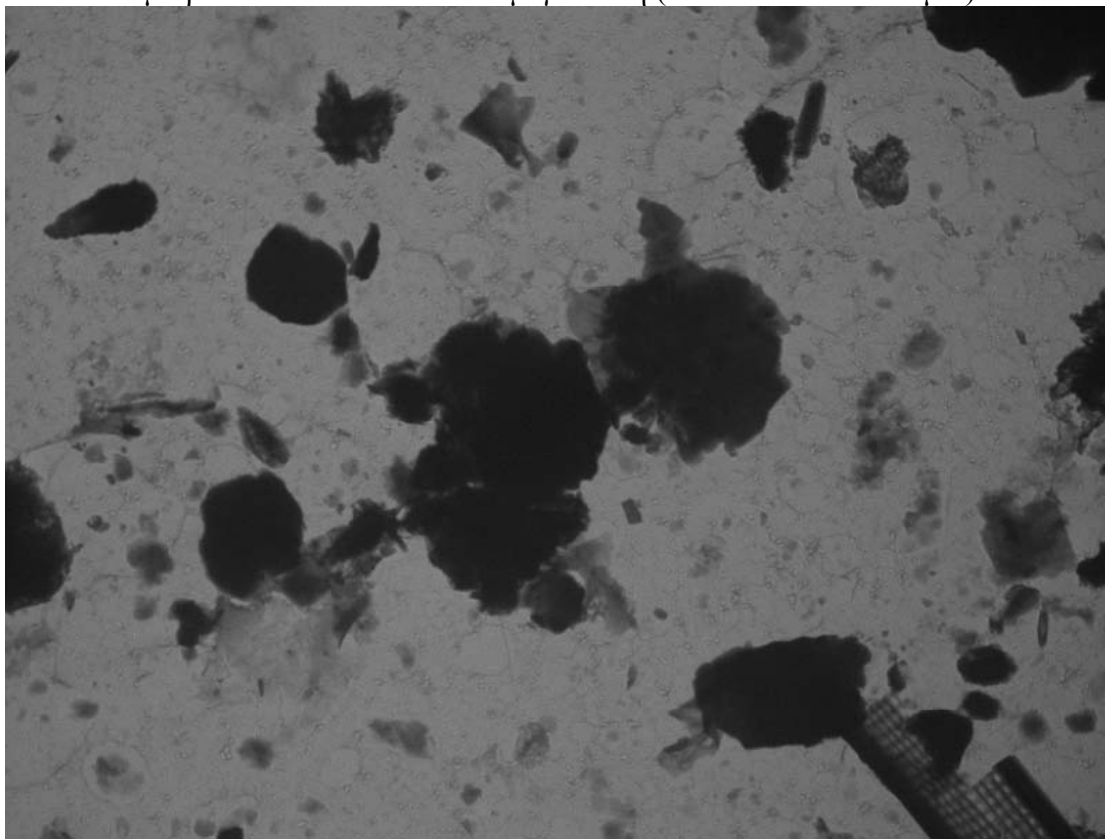
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ TEM

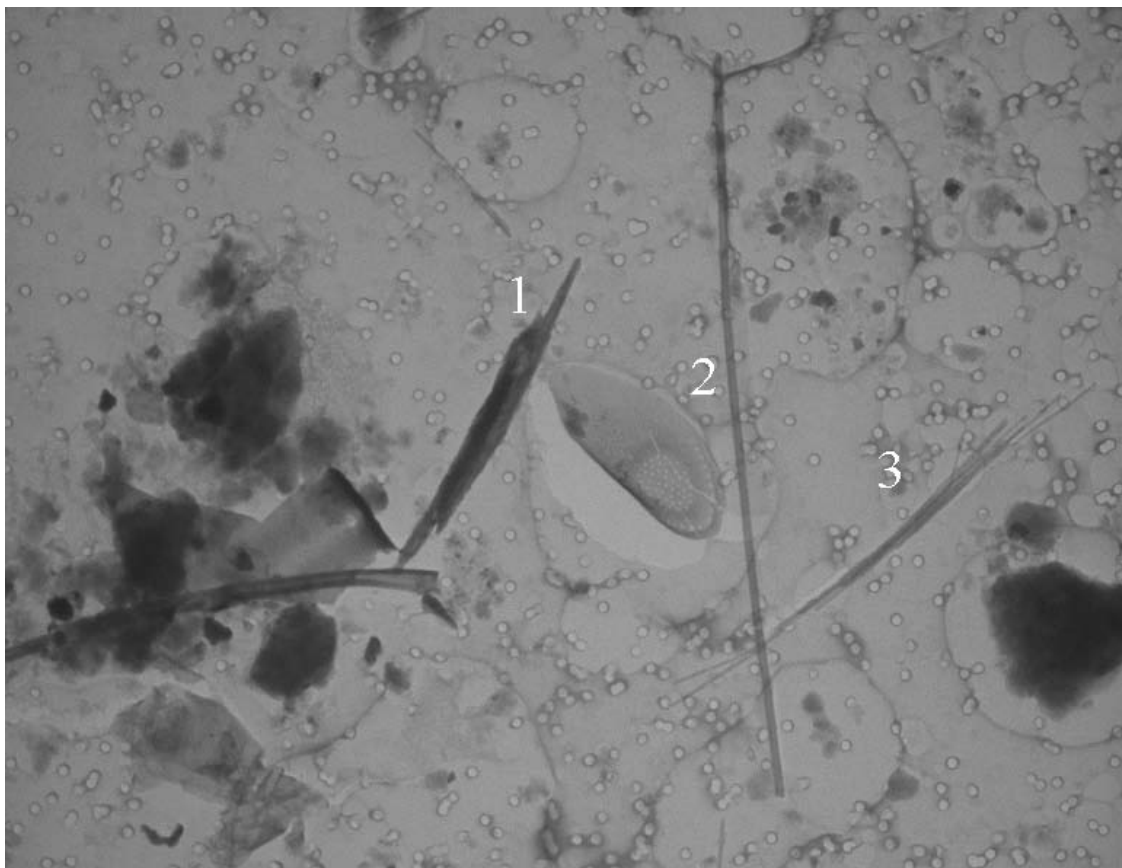
Φωτογραφικό υλικό από το μικροσκόπιο TEM



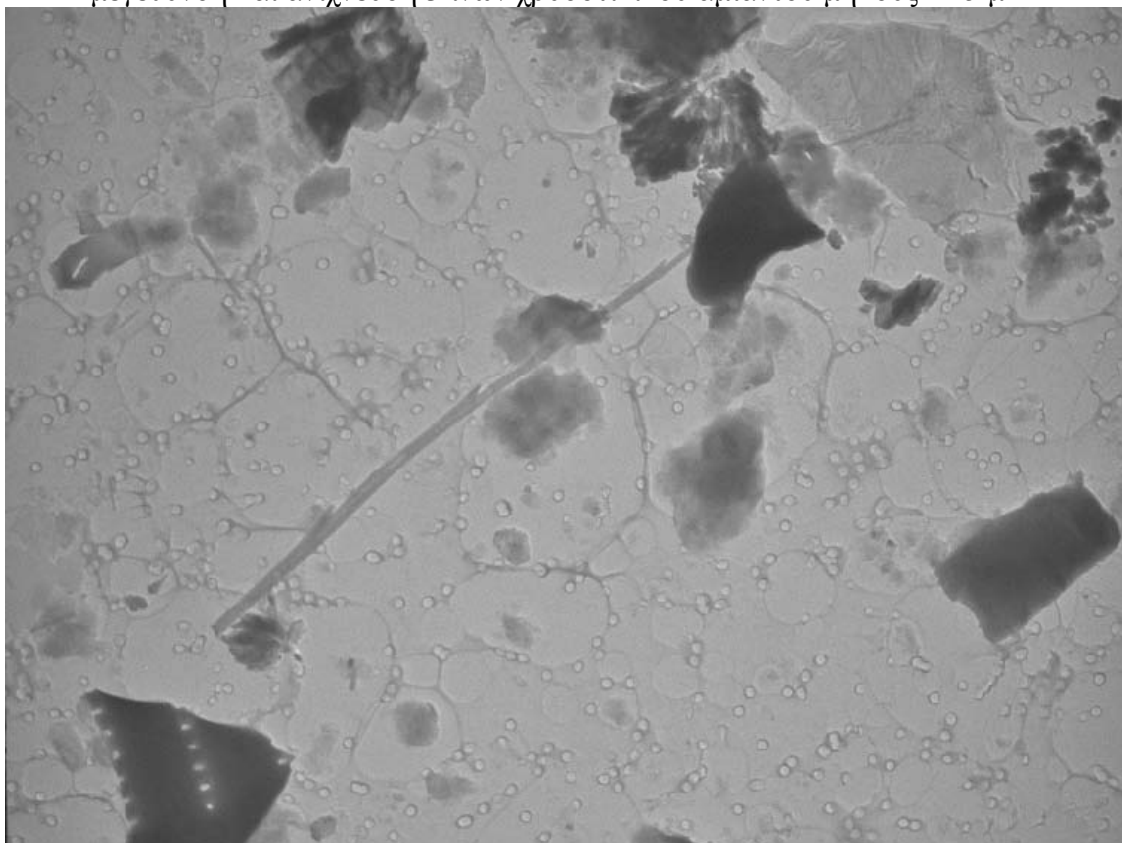
Εικόνα Δ.1: Απεικόνιση πλέγματος μετά το φιλτράρισμα Δείγματος W9 με το μικροσκόπιο TEM σε 100X μεγέθυνση (ένα πεδίο 100X100 μm)



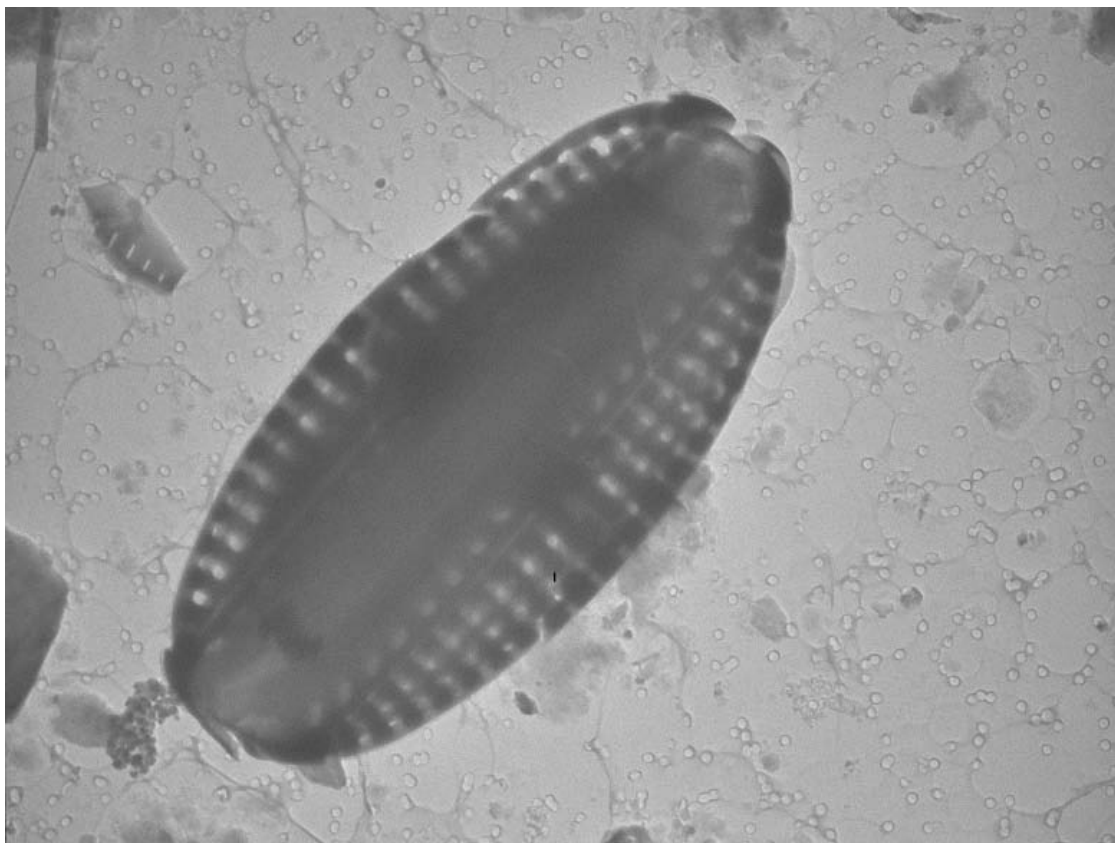
Εικόνα Δ.2: Απεικόνιση ενός πεδίου του πλέγματος του Δείγματος W9 με το μικροσκόπιο TEM σε 2000X μεγέθυνση



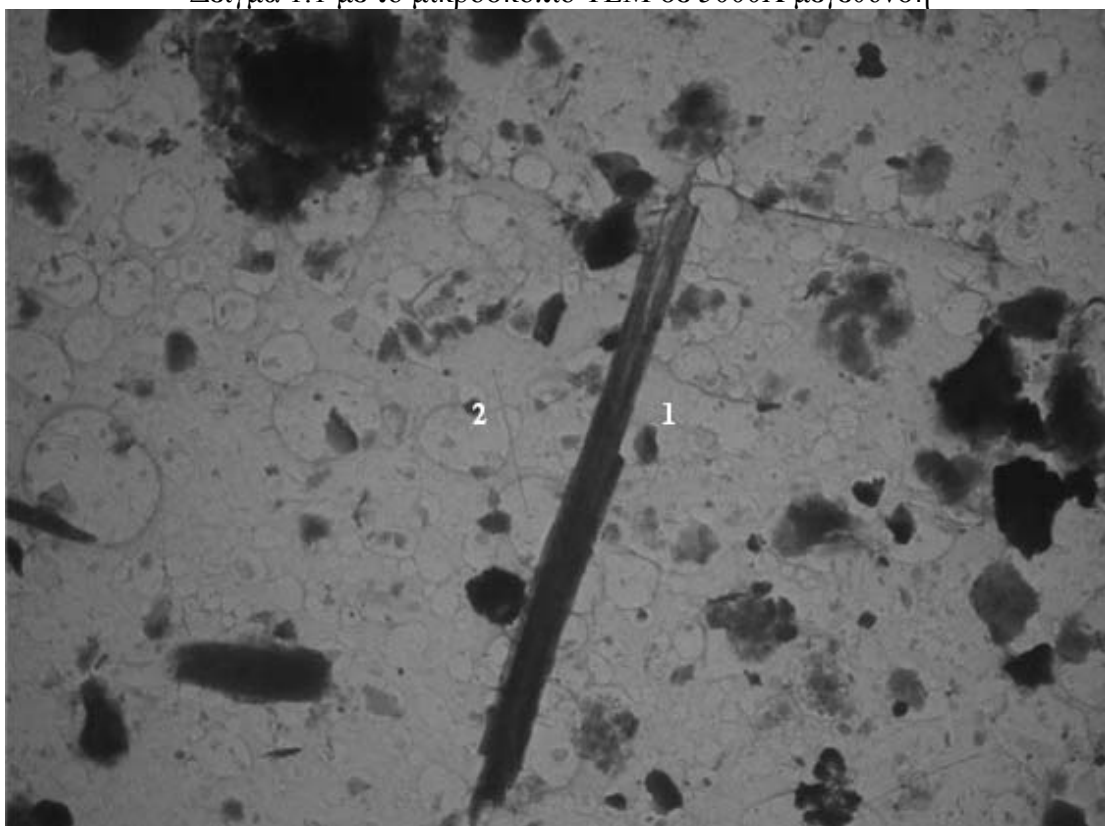
Εικόνα Δ.3: Απεικόνιση Δείγματος W1 με το μικροσκόπιο TEM σε 5000X μεγέθυνση και ανίχνευση 3 ινών χρυσοσιλικού αμιάντου μήκους $L > 5 \mu\text{m}$



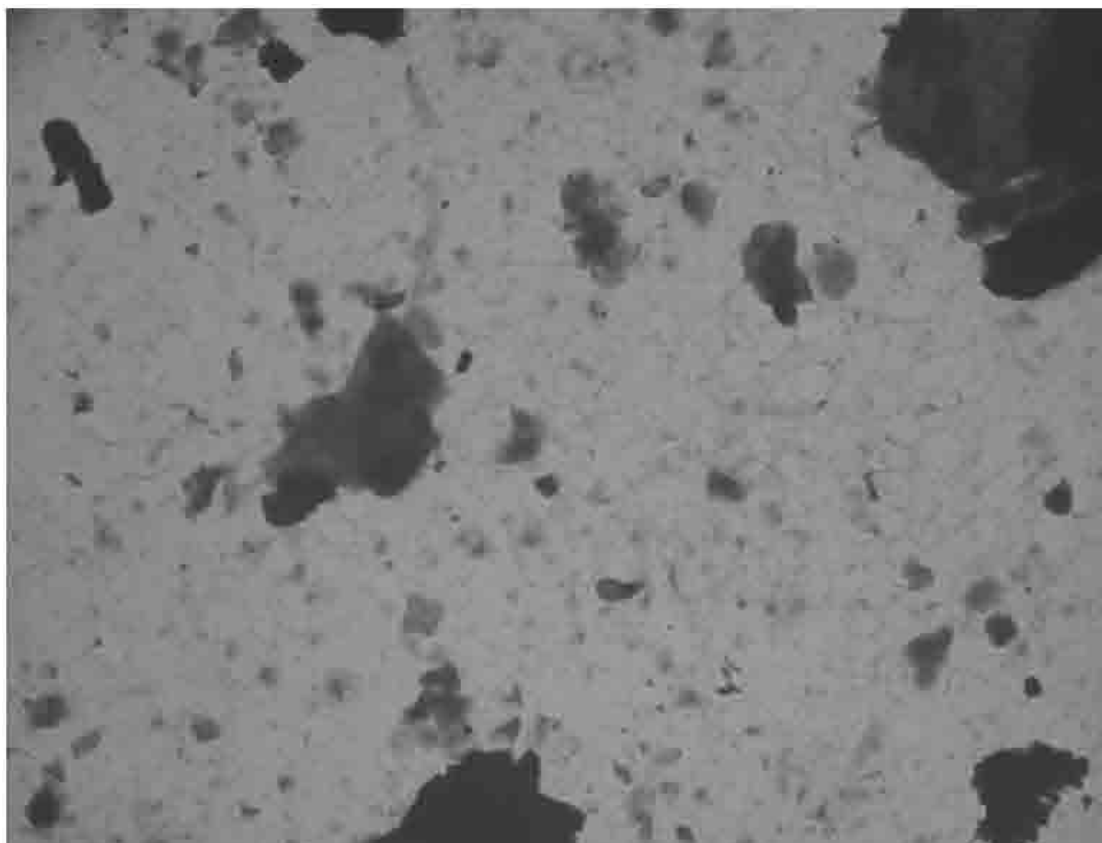
Εικόνα Δ.4: Απεικόνιση Δείγματος W1 με το μικροσκόπιο TEM σε 5000X μεγέθυνση και ανίχνευση 1 ίνας ενός ορυκτού (μόνο Si)



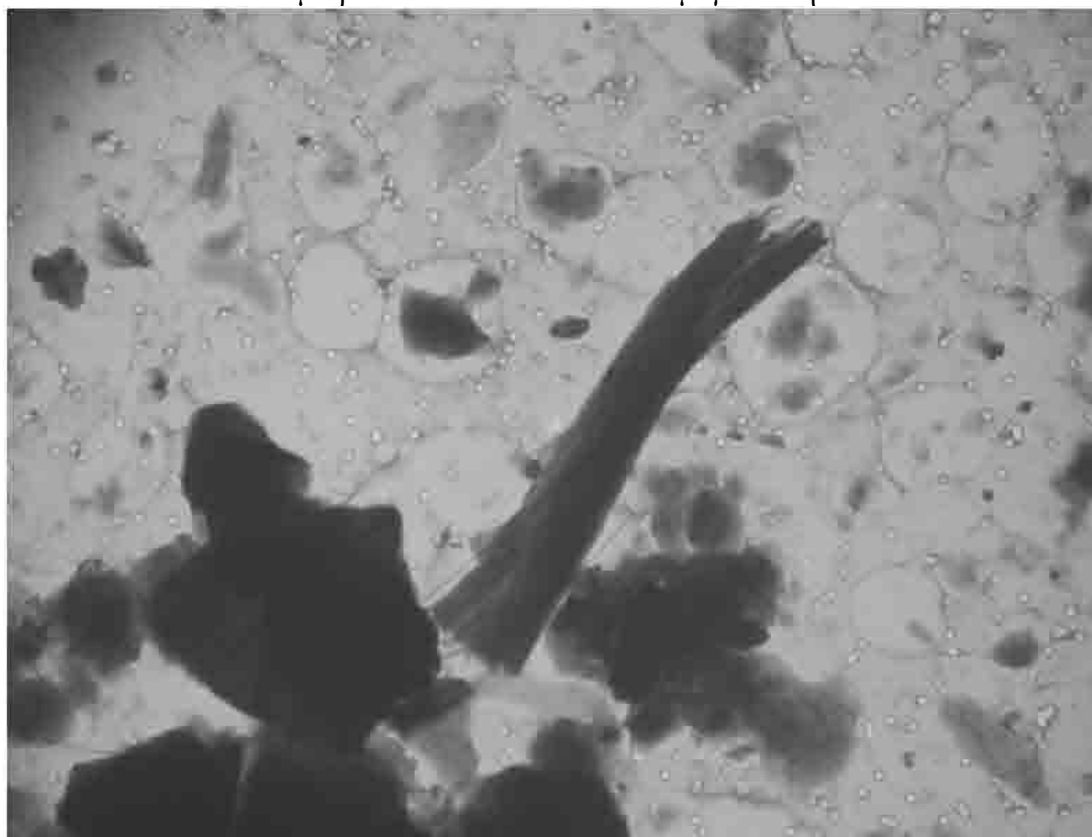
Εικόνα Δ.5: Απεικόνιση Μικροοργανισμού (μήκος 12 μm και πλάτος 6 μm) στο Δείγμα 1.1 με το μικροσκόπιο TEM σε 5000X μεγέθυνση



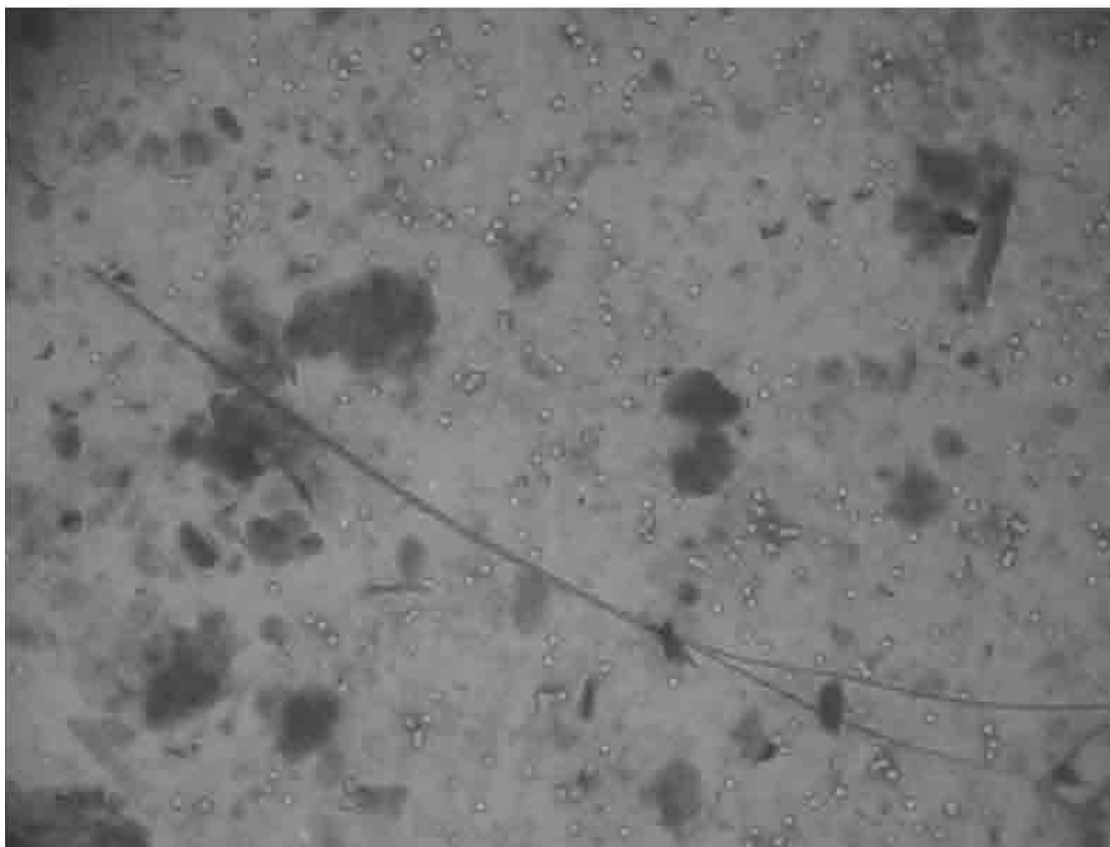
Εικόνα Δ.6: Ανίχνευση χοντρής ίνας ακτινόλιθου/ τρεμολίτη (1) και λεπτής ίνας χρυσοτιλικού αμιάντου στο Δείγμα W7 σε 7000X μεγέθυνση



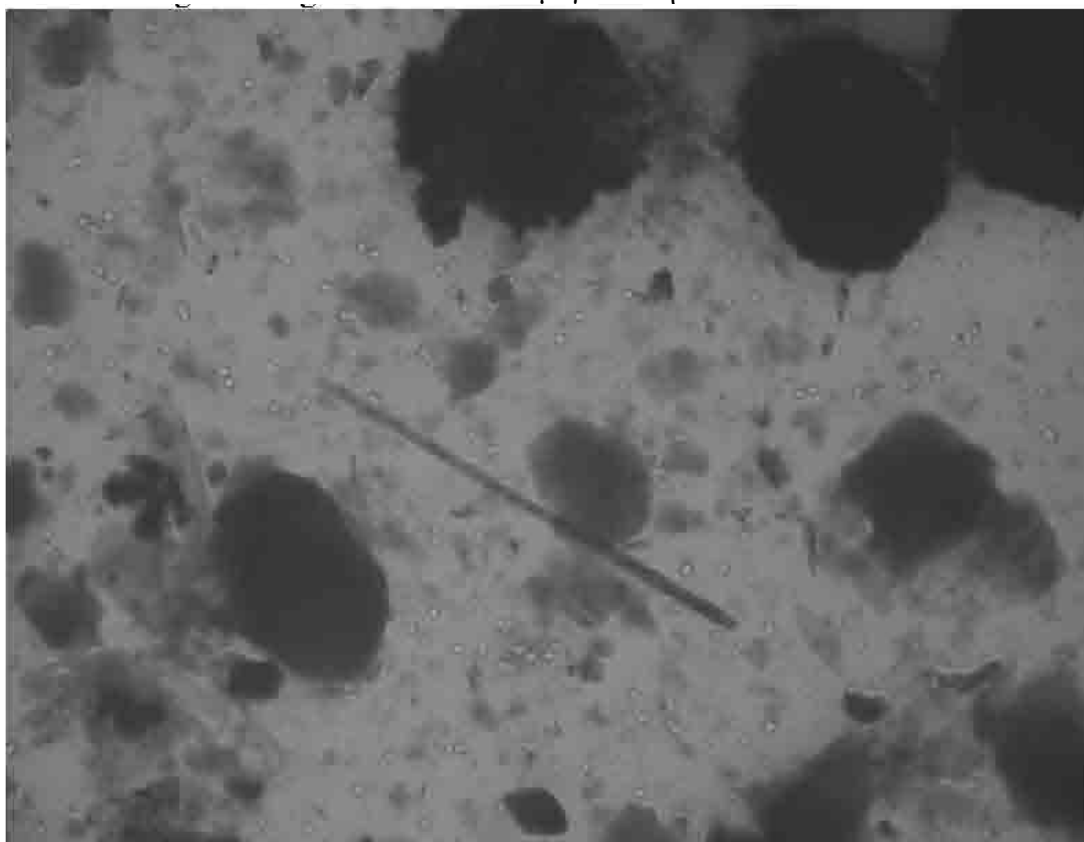
Εικόνα Δ.7: Απεικόνιση ενός πεδίου του πλέγματος του Δείγματος W4 με το μικροσκόπιο TEM σε 2000X μεγέθυνση



Εικόνα Δ.8: Ανίχνευση ίνας χρυσωτιλικού αμιάντου στο Δείγμα W4 σε 5000X μεγέθυνση

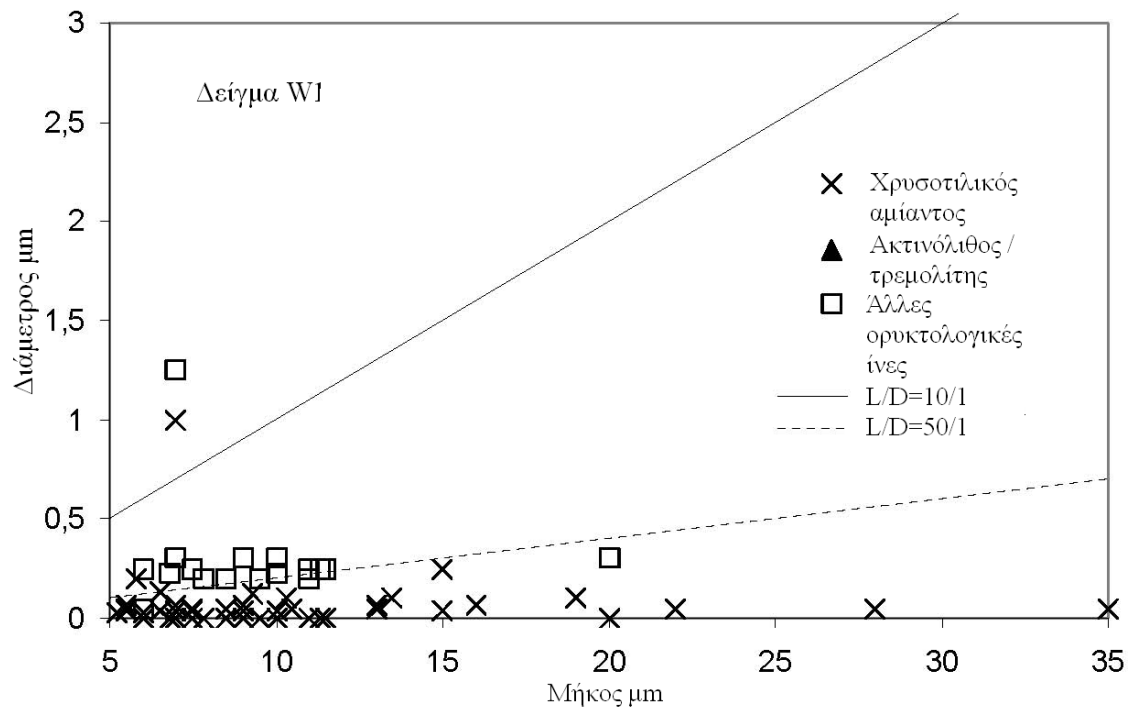


Εικόνα Δ.9: Ανίχνευση ίνας χρυσοσιλικού αμιάντου $L > 5\mu\text{m}$ στο Δείγμα W10 σε 5000X μεγέθυνση

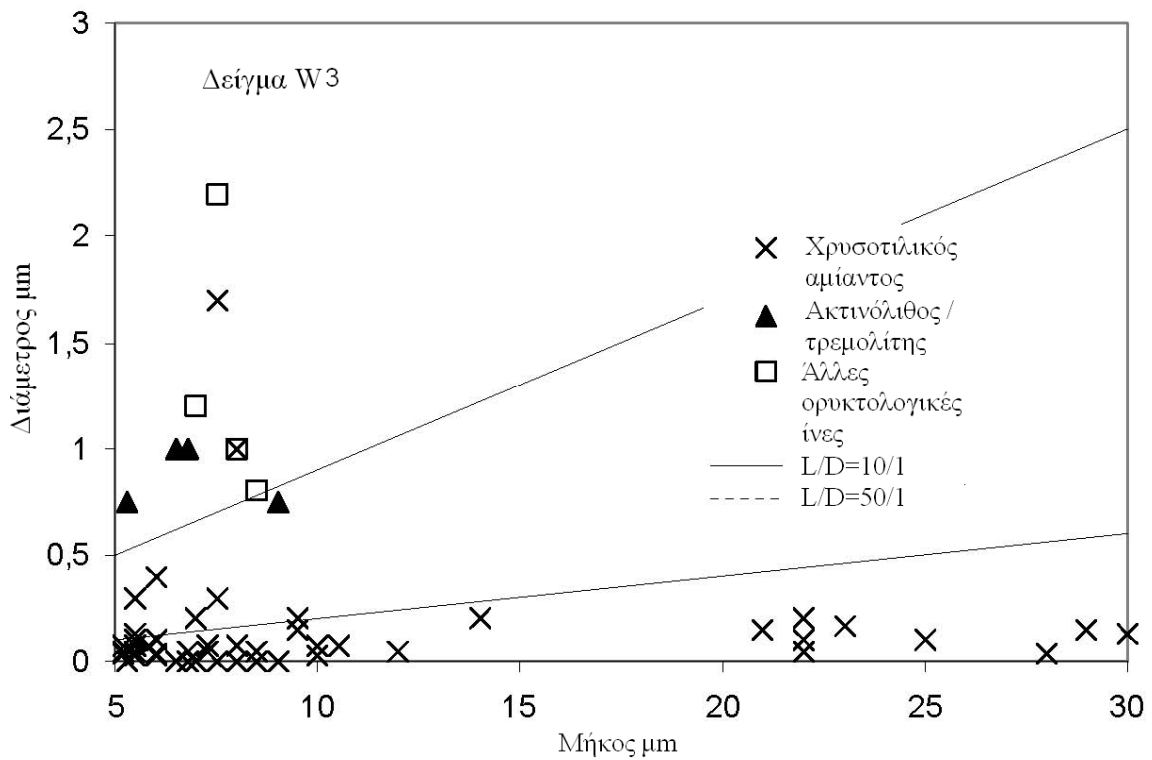


Εικόνα Δ.10: Ανίχνευση ίνας Ακτινόλιθου/ Τρεμολίτη $L > 5\mu\text{m}$ στο Δείγμα W10 σε 5000X μεγέθυνση

Διαγράμματα

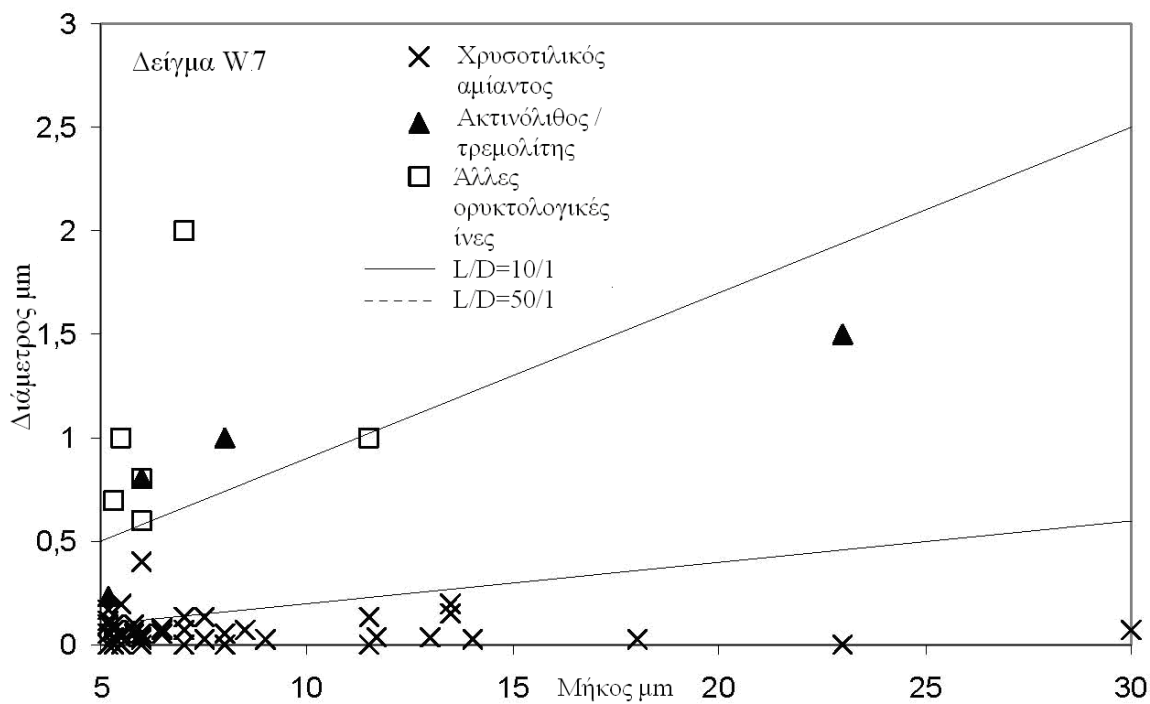


Διάγραμμα Δ1: Διασπορά ινών σε συνάρτηση με το μήκος και το πλάτος (Δείγμα W1)

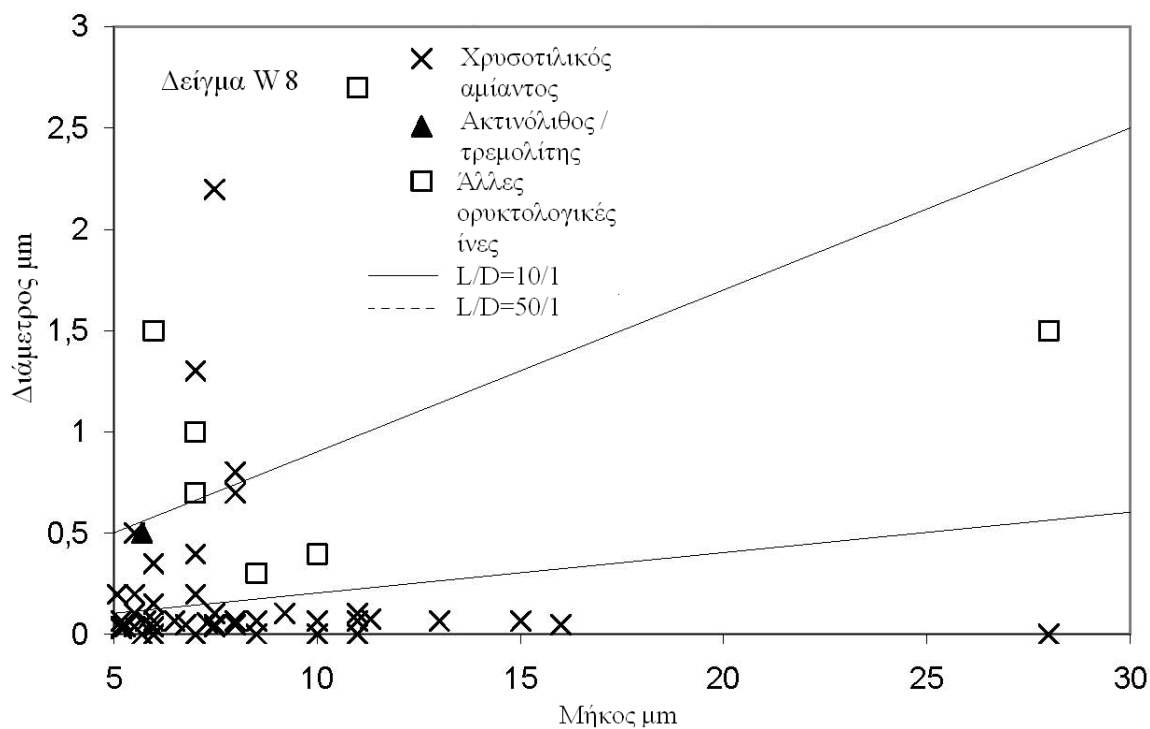


Διάγραμμα Δ2: Διασπορά ινών σε συνάρτηση με το μήκος και το πλάτος (Δείγμα W3)

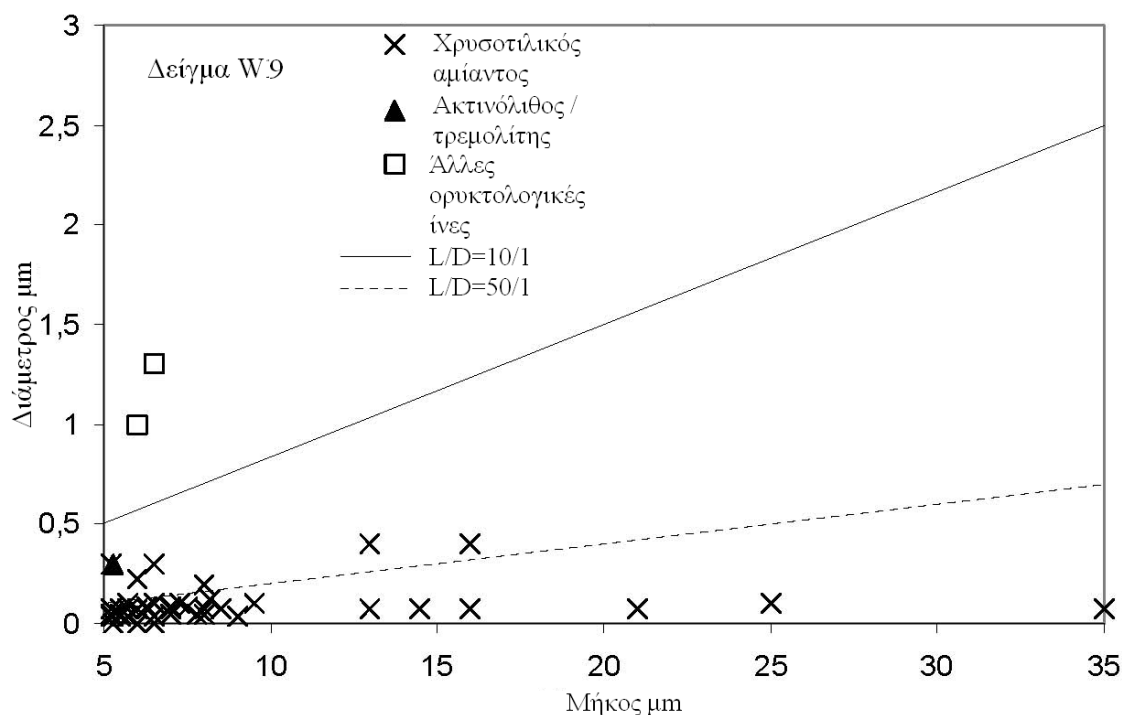
πλάτος (Δείγμα W3)



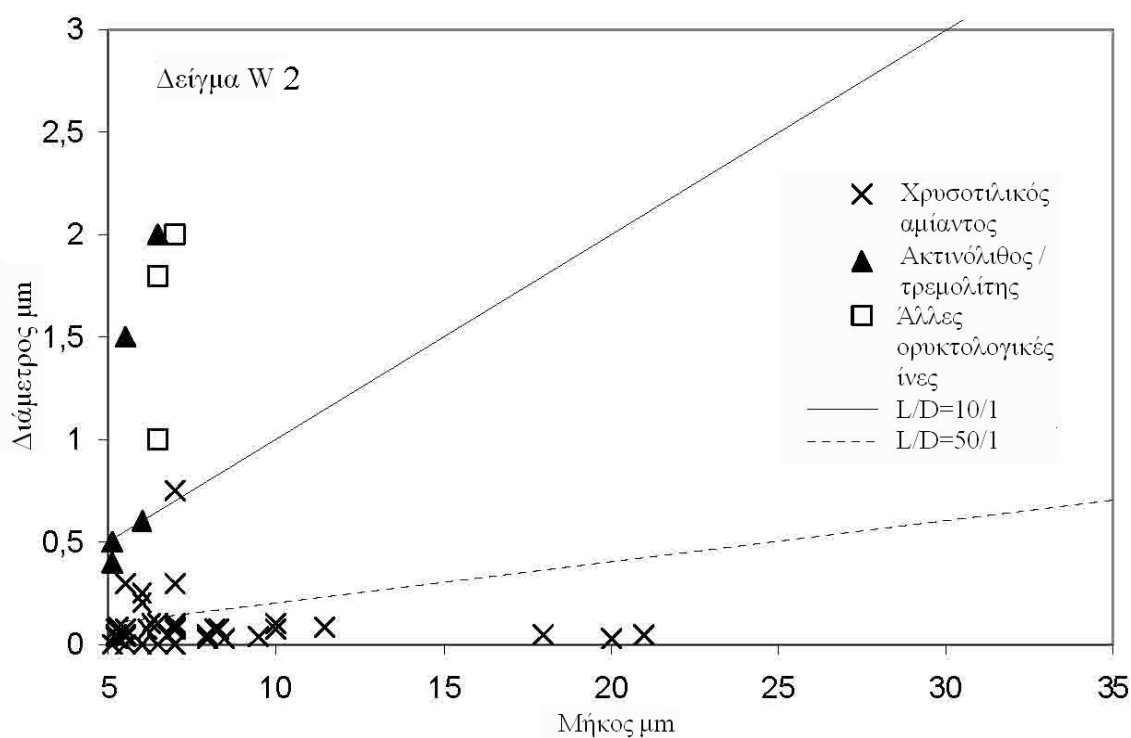
Διάγραμμα Δ3: Διασπορά ινών σε συνάρτηση με το μήκος και το πλάτος (Δείγμα W7)



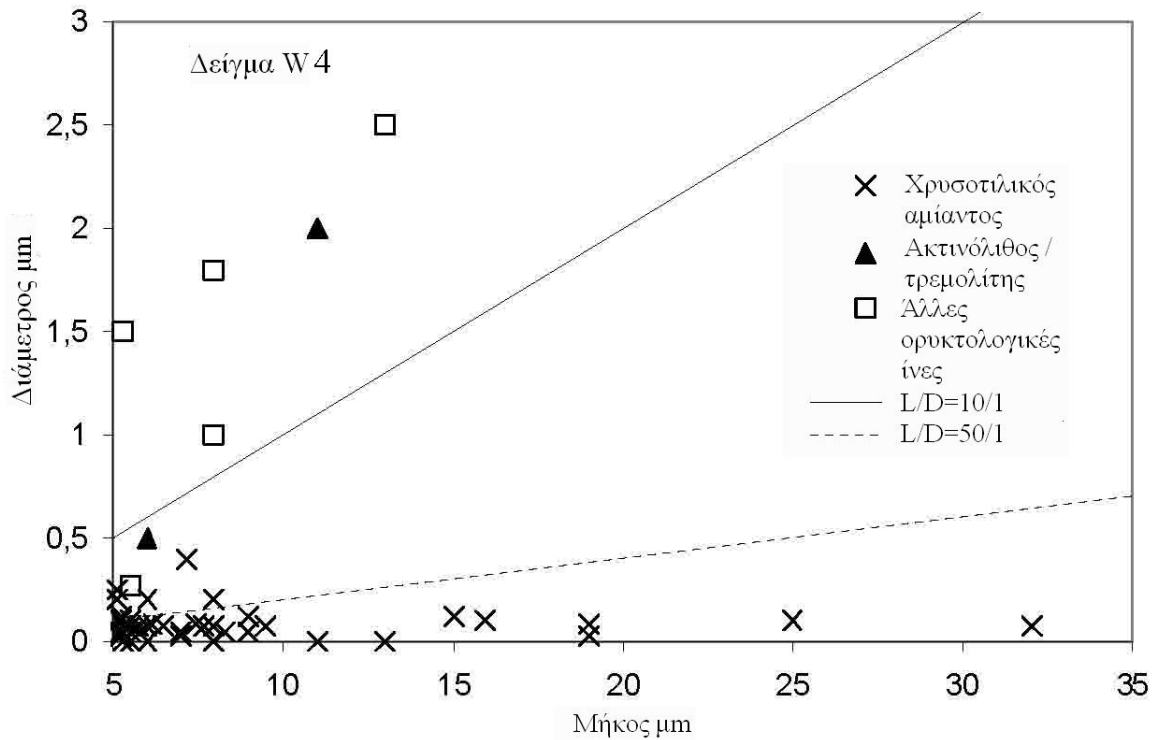
Διάγραμμα Δ4: Διασπορά ινών σε συνάρτηση με το μήκος και το πλάτος (Δείγμα W8)



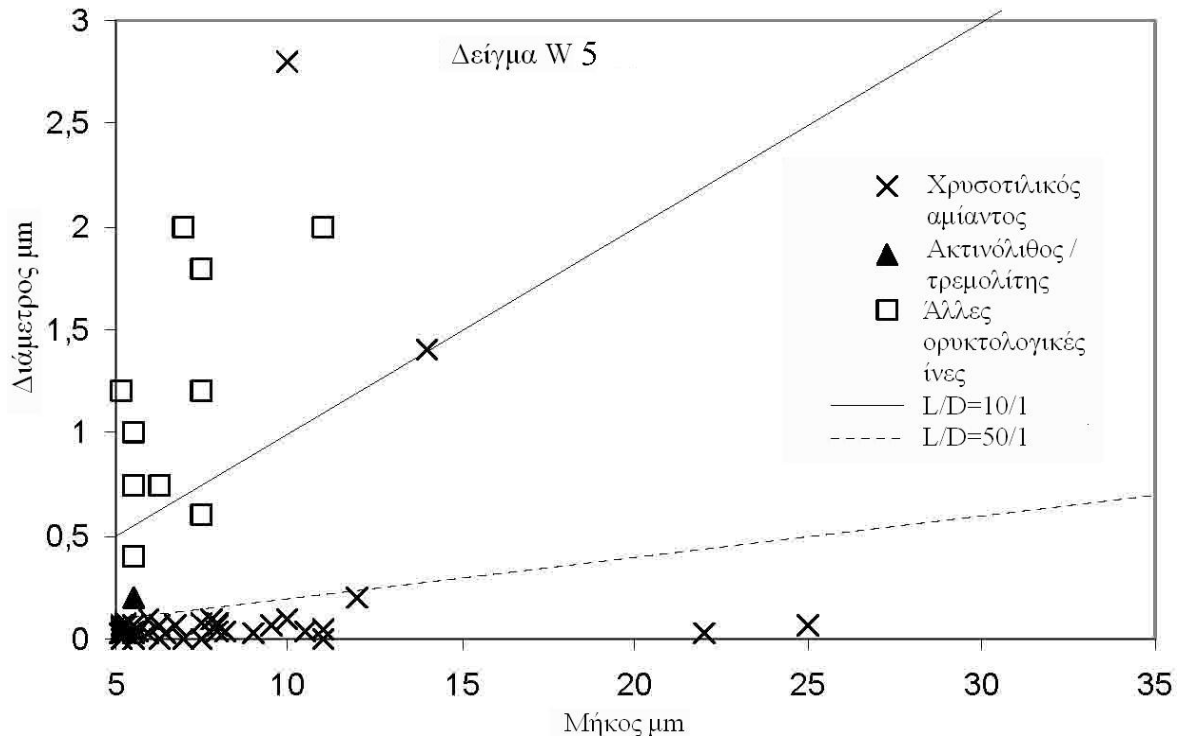
Διάγραμμα Δ5: Διασπορά ινών σε συνάρτηση με το μήκος και το πλάτος (Δείγμα W9)



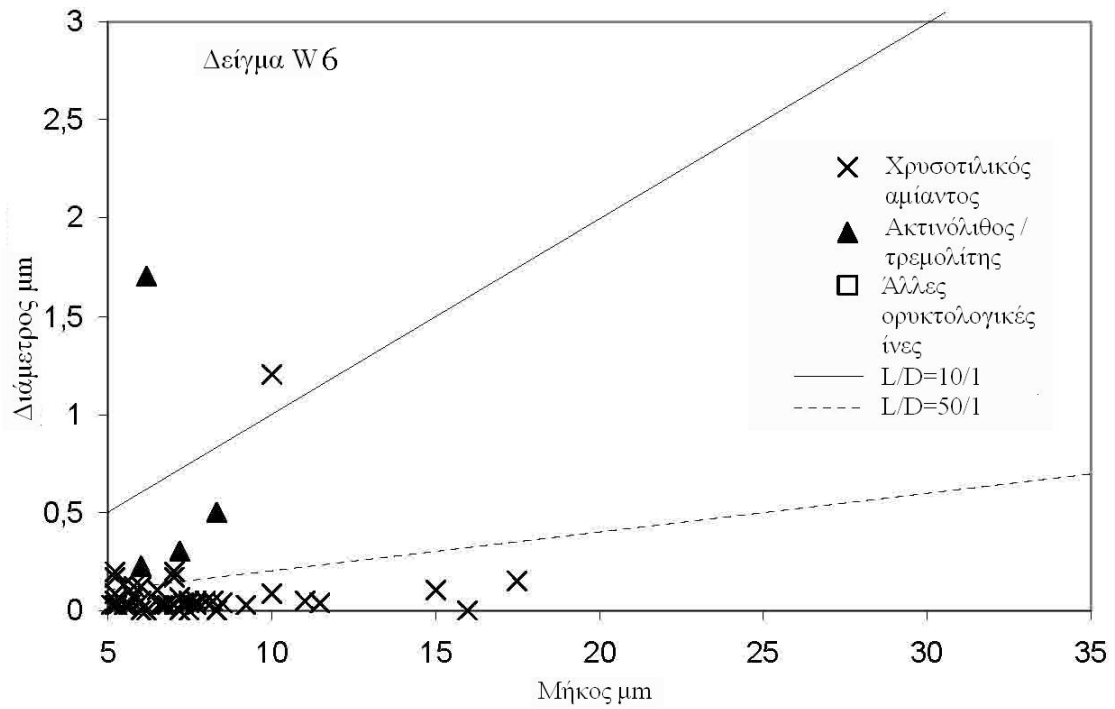
Διάγραμμα Δ6: Διασπορά ινών σε συνάρτηση με το μήκος και το πλάτος (Δείγμα W2)



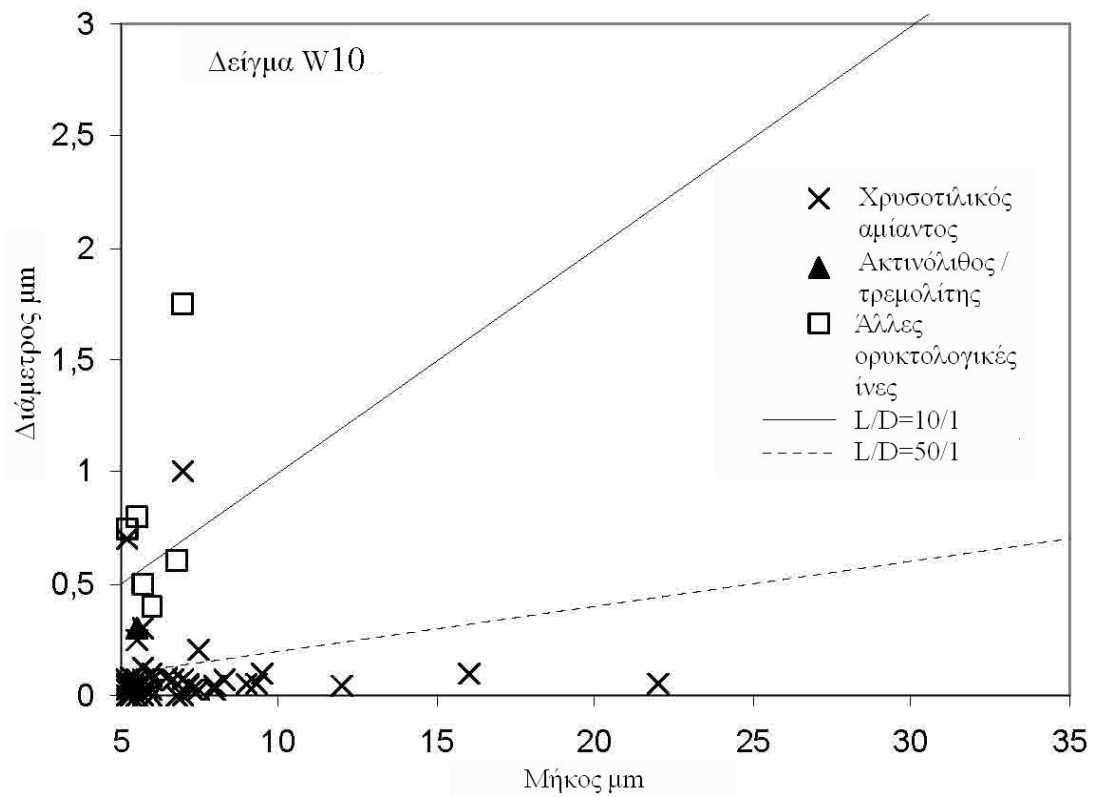
Διάγραμμα Δ7: Διασπορά ινών σε συνάρτηση με το μήκος και το πλάτος (Δείγμα W4)



Διάγραμμα Δ8: Διασπορά ινών σε συνάρτηση με το μήκος και το πλάτος (Δείγμα W5)



Διάγραμμα Δ9: Διασπορά ινών σε συνάρτηση με το μήκος και το πλάτος (Δείγμα W6)



Διάγραμμα Δ10: Διασπορά ινών σε συνάρτηση με το μήκος και το πλάτος (Δείγμα W10)

(Κανονισμός περί ανόργανων ινών στον ανθρώπινο πνεύμονα)

Δείγμα Δείγμα Δείγμα Δείγμα

[illegible]

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ TEM

<i>EDX</i>	KeveX	KeveX	KeveX	KeveX	KeveX	KeveX	KeveX	KeveX	KeveX	KeveX
	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
<i>Γωνία υποδοχής</i>	68°	68°	68°	68°	68°	68°	68°	68°	68°	68°
<i>Τάση επιτάχυνσης (Volt)</i>	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
<i>Μεγέθυνση</i>	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
<i>Γωνία κλίσης</i>	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
Τνες L> 5μm										
<i>Υπολογίσιμη επιφάνεια (mm²)</i>	0,03	0,07	0,10	0,08	0,10	0,16	0,22	0,14	0,37	0,37
<i>Αριθμός ινών (F/L)</i>	6,3*10 ⁵	5,4*10 ⁵	9,5*10 ⁵	4,8*10 ⁵	3,8*10 ⁵	2,4*10 ⁵	3,5*10 ⁶	6,8*10 ⁵	1,0*10 ⁵	1,0*10 ⁵
<i>Αριθμός πεδίων</i>	3	7	10	8	10	16	22	14	37	37

n: Αριθμός μετρήσιμων ινών στο σύνολο των εξεταζόμενων πλεγμάτων

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ TEM

Πίνακας Δ.2-1: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Είδος Ινών (L>5μm)	Δείγμα W1		Δείγμα W3		Δείγμα W7		Δείγμα W8		Δείγμα W9	
	n	C (X10 ⁶ F/l)	n	C (X10 ⁶ F/l)	n	C (X10 ⁶ F/l)	n	C (X10 ⁶ F/l)	n	C (X10 ⁶ F/l)
Χρυσοτιλικός αμίαντος	35	22,17	44	23,89	41	38,95	45	21,38	48	18,24
Αμφιβολικός αμίαντος	0	0,00	4	2,17	4	3,80	1	0,48	1	0,38
Αμοσίτης/ κροκιδόλιθος	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Αμοσίτης	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Κροκιδόλιθος)	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Ανθοφυλλίτης	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Ακτινόλιθος/ τρεμολίτης	0	0,00	<u>4</u>	<u>2,17</u>	<u>4</u>	<u>3,80</u>	<u>1</u>	<u>0,48</u>	<u>1</u>	<u>0,38</u>
Μερικό Άθροισμα*	35	22,17	48	26,06	45	42,75	46	21,86	49	18,62
Μη αμιαντούχες	17	10,77	4	2,17	6	5,70	7	3,33	2	0,76
Τάλκης	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Άθροισμα**	52	32,93	52	28,23	51	48,45	53	25,19	51	19,38

*n: Αριθμός μετρήσιμων ινών στο σύνολο των εξεταζόμενων πλεγμάτων, * Άθροισμα αμιαντούχων ινών, ** Άθροισμα αμιαντούχων και μη ινών*

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ TEM

Πίνακας Δ.2-2: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Είδος Ινών (L>5μm)	Δείγμα W2		Δείγμα W4		Δείγμα W5		Δείγμα W10		Δείγμα W6	
	n	C (X10 ⁶ F/l)	n	C (X10 ⁶ F/l)	n	C (X10 ⁶ F/l)	n	C (X10 ⁶ F/l)	n	C (X10 ⁶ F/l)
Χρυσοτιλικός αμίαντος	42	9,98	44	152,00	40	27,14	42	4,31	47	34,35
Αμφιβολικός αμίαντος	5	1,19	2	6,91	2	1,36	2	0,21	6	4,38
Αμοσίτης/ κροκιδόλιθος	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Αμοσίτης	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Κροκιδόλιθος)	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Ανθοφυλλίτης	0	0,00	0	0,00	0	0,00	<u>1</u>	<u>0,10</u>	<u>2</u>	<u>1,46</u>
Ακτινόλιθος/ τρεμολίτης	<u>5</u>	<u>1,19</u>	<u>2</u>	<u>6,91</u>	<u>2</u>	<u>1,36</u>	<u>1</u>	<u>0,10</u>	<u>4</u>	<u>2,92</u>
Μερικό Άθροισμα*	47	11,17	46	158,91	42	28,5	44	4,52	53	38,73
Μη αμιαντούχες	3	0,71	5	17,27	10	6,79	6	0,62	0	0,00
Τάλκης	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Άθροισμα**	50	11,88	51	176,18	52	35,29	50	5,14	53	38,73

*n: Αριθμός μετρήσιμων ινών στο σύνολο των εξεταζόμενων πλεγμάτων, * Άθροισμα αμιαντούχων ινών, ** Άθροισμα αμιαντούχων και μη ινών*

Χαρακτηριστικά ανιγνέσιμων ινών

Δείγμα W 1

Ινα	Πεδίο	Μήκος (µm)	Διάμετρος (µm)	EDX	Στοιχείο	Διάθλαση	Μορφολογία	Κατάταξη
1	1	30	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
2	1	7,5	0,25	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
3	1	7	1,25	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
4	1	5,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
5	1	7	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
6	1	19	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
7	1	22	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
8	1	7	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
9	1	9	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
10	1	8,5	0,2	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
11	1	9,3	0,12	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
12	1	9	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
13	1	13	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
14	2	28	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
15	2	10,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
16	2	5,2	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
17	2	16	0,07	Chry	SiMgFe	Keine	ch	Chry
18	2	7	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
19	2	10	0,3	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
20	2	9,5	0,2	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
21	2	8,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
22	2	35	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
23	2	5,8	0,2	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
24	2	5,5	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
25	2	22	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
26	2	7,8	0,2	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
27	2	11,3	0,25	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
28	2	20	0,3	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
29	2	10	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
30	2	10,3	0,1	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
31	2	10,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
32	2	9	0,3	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
33	3	5,5	0,05	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
34	3	6	0,05	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
35	3	15	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
36	3	13,5	0,1	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
37	3	7	0,3	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
38	3	6	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
39	3	7,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
40	3	6	0,25	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
41	3	5,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
42	3	15	0,25	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
43	3	11	0,2	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
44	3	11	0,25	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
45	3	13	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
46	3	6,5	0,13	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
47	3	6,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
48	3	11,5	0,25	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
49	3	6,8	0,23	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
50	3	7	1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
51	3	7,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
52	3	10	0,23	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst

Chry: Χρυσοτιλικός αμίαντος, **Krok:** Κροκιδόλιθος ή Αμοσίτης, **A/K:** Αμοσίτης/Κροκιδόλιθος **Amo:** Αμοσίτης, **Akt/Trem, A/T:** Ακτινόλιθος/Αμοσίτης, **Antho:** Ανθοφυλλίτης, **Gips:** Γύψος, **Sonst:** Ινες Διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης, **Amph:** Αμφιβολικός αμίαντος, **Talk:** Τάλκης, **Min:** Ανόργανες ίνες, **Kein:** Κανένας δείκτης Διάθλασης, **ml:** Παράλληλη και ευθύγραμμη, **ch:** Χρυσοτιλικός αμίαντος, **ge:** Καμπυλόγραμμη, **na:** Βελονοειδές σχήμα, **bl:** Μεμβρανοειδές, **st:** Ισχυρή, **mi:** Μέση, **sc:** Ασθενή

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ TEM

Δείγμα W 3

Ινα	Πεδίο	Μήκος (μm)	Διάμετρος (μm)	EDX	Στοιχείο	Διάθλαση	Μορφολογία	Κατάταξη
1	1	8	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
2	1	10	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
3	1	7,5	0,3	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
4	1	5,2	0,04	Chry	SiMg	Keine	ch	Chry
5	1	5,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
6	2	7,5	1,7	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
7	2	5,5	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
8	2	6	0,4	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
9	2	12	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
10	2	10	0,03	Chry	SiMg	Keine	ch	Chry
11	2	9,5	0,15	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
12	3	8	1	Chry	Ti	Keine	st mi	Sonst
13	3	28	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
14	3	6,5	1	Akt/Trem	SiMgCaFeAl	Amph	mi	A/T
15	3	7,3	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
16	3	9	0,75	Akt/Trem	SiMgCaFeAl	Amph	mi	A/T
17	3	6	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
18	3	21	0,15	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
19	3	29	0,15	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
20	3	22	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
21	3	6,8	1	Akt/Trem	SiMgCaFeAl	Amph	mi	A/T
22	4	6	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
23	4	12	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
24	4	5,5	0,13	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
25	4	5,3	0,75	Akt/Trem	SiMgCaFeAl	Amph	mi	A/T
26	4	6,8	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
27	5	30	0,13	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
28	5	10,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
29	5	7	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
30	5	7	1,2	Sonst	CaAlSiFe	Keine	st mi	Sonst
31	5	22	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
32	5	7,3	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
33	5	8,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
34	6	14	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
35	6	5,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
36	6	6	0,03	Chry	SiMg	Keine	ch	Chry
37	6	9,5	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
38	6	23	0,17	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
39	6	6,8	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
40	6	5,2	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
41	6	7,5	2,2	Sonst	CaAl	Keine	st mi	Sonst
42	6	5,2	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
43	7	5,5	0,03	Chry	SiMg	Keine	ch	Chry
44	7	8	1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
45	7	5,8	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
46	7	5,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
47	7	8,5	0,8	Sonst	ALK	Keine	st mi	Sonst
48	7	25	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
49	7	5,5	0,3	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
50	7	5,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
51	7	22	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
52	7	8	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry

Chry: Χρυσοτιλικός αμιάντος, **Krok:** Κροκιδόλιθος ή Αμοσίτης, **A/K:** Αμοσίτης/Κροκιδόλιθος **Amo:** Αμοσίτης, **Akt/Trem, A/T:** Ακτινολίθος/Αμοσίτης, **Antho:** Ανθοφυλλίτης, **Gips:** Γύψος, **Sonst:** Ινες Διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης, **Amph:** Αμφιβολικός αμιάντος, **Talk:** Τάλκης, **Min:** Ανόργανες ίνες, **Kein:** Κανένας δείκτης Διάθλασης, **ml:** Παράλληλη και ευθύγραμμη, **ch:** Χρυσοτιλικός αμιάντος, **ge:** Καμπυλόγραμμη, **na:** Βελονοειδές σχήμα, **bl:** Μεμβρανοειδές, **st:** Ισχυρή, **mi:** Μέση, **sc:** Ασθενή

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ TEM

Δείγμα W 7

Ινα	Πεδίο	Μήκος (μm)	Διάμετρος (μm)	EDX	Στοιχείο	Διάθλαση	Μορφολογία	Κατάταξη
1	1	6,5	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
2	1	11,7	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
3	1	5,5	0,2	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
4	1	8	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
5	2	7	2	Sonst	SiAlNa	Keine	st mi	Sonst
6	2	6	0,03	Chry	SiMg	Keine	ch	Chry
7	2	5,3	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
8	2	7,5	0,13	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
9	3	5,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
10	3	6	0,8	Akt/Trem	SiMgCaFeAl	Amph	st mi	A/T
11	3	5,3	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
12	3	14	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
13	3	9	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
14	3	6	0,4	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
15	4	5,5	1	Sonst	CaSiAlFe	Keine	st mi	Sonst
16	4	6,5	0,08	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
17	4	7,5	0,03	Chry	SiMg	Keine	ch	Chry
18	5	7	0,13	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
19	5	5,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
20	6	9	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
21	6	18,0	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
22	6	5,8	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
23	6	14	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
24	6	5,3	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
25	6	6	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
26	6	11,5	1	Sonst	SiAlFeMgKTi	Min	st mi	Sonst
27	7	5,2	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
28	7	8,5	0,07	Chry	SiMFe	Chry	ch	Chry
29	7	6	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
30	7	5,2	0,23	Akt/Trem	SiMgCaFeAl	Amph	mi	A/T
31	8	6,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
32	8	23	1,5	Akt/Trem	SiMgCaFeAl	Amph	mi	A/T
33	8	5,8	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
34	8	5,2	0,17	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
35	8	11,5	0,13	Chry	SiMgFe	Chry	au ch	Chry
36	8	5,8	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
37	8	5,3	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
38	9	6	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
39	9	5,3	0,7	Sonst	SiAlFeMg	Min	mi	Sonst
40	9	6	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
41	9	13	0,04	Chry	SiMG	Chry	ch	Chry
42	9	7	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
43	9	8	1	Akt/Trem	SiMgCaFeAl	Amph	st mi	A/T
44	9	30	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
45	10	6	0,8	Sonst	SiAlK	Min	sc mi	Sonst
46	10	6,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
47	10	5,2	0,12	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
48	10	13,5	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
49	10	6	0,6	Sonst	SiAlKFe	Min	mi	Sonst
50	10	5,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
51	10	13,5	0,15	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry

Chry: Χρυσοτιλικός αμιάντος, **Krok:** Κροκιδόλιθος ή Αμοσίτης, **A/K:** Αμοσίτης/Κροκιδόλιθος **Amo:** Αμοσίτης, **Akt/Trem, A/T:** Ακτινόλιθος/Αμοσίτης, **Antho:** Ανθοφυλλίτης, **Gips:** Γύψος, **Sonst:** Ινες Διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης, **Amph:** Αμφιβολικός αμιάντος, **Talk:** Τάλκης, **Min:** Ανόργανες ίνες, **Kein:** Κανένας δείκτης Διάθλασης, **ml:** Παράλληλη και ευθύγραμμη, **ch:** Χρυσοτιλικός αμιάντος, **ge:** Καμπυλόγραμμη, **na:** Βελονοειδές σχήμα, **bl:** Μεμβρανοειδές, **st:** Ισχυρή, **mi:** Μέση, **sc:** Ασθενή

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ TEM

Δείγμα W8

Τηλ	Πεδίο	Μήκος (μm)	Διάμετρος (μm)	EDX	Στοιχείο	Διάθλαση	Μορφολογία	Κατάταξη
1	1	9,2	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
2	1	6	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
3	1	7,5	2,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
4	1	5,3	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
5	1	5,2	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
6	2	5,5	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
7	2	7,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
8	2	8,5	0,3	Sonst	Si	Keine	mi	Sonst
9	2	8	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
10	2	6,8	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
11	2	6	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
12	3	7	1	Sonst	Si Al K Fe	Min	st mi	Sonst
13	3	5,2	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
14	3	6	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
15	3	7	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
16	3	7	0,4	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
17	3	5,2	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
18	3	7,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
19	4	10	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
20	4	6	0,35	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
21	4	11,0	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
22	4	5,8	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
23	4	8	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
24	4	28	1,5	Sonst	Si AlFeMg	Keine	sc mi	Sonst
25	4	6	0,04	Chry	SiMg	Keine	ch	Chry
26	4	5,5	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
27	5	7	0,7	Sonst	SiAlKCaFe	Keine	st mi	Sonst
28	5	13	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
29	5	8	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
30	5	5,5	0,5	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
31	5	7	0,2	Chry	SiMgFe	keine	ch	Chry
32	5	5,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
33	6	8	0,8	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
34	6	15	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
35	6	16	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
36	6	11,3	0,08	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
37	6	11	2,7	Sonst	SiMg	Keine	st mi	Sonst
38	6	5,2	0,04	Chry	SiMg	Keine	ch	Chry
39	7	6	1,5	Sonst	SiFeAlCa	Keine	st mi	Sonst
40	7	8	0,7	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
41	7	11	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
42	7	5,2	0,03	Chry	SiMg	Keine	ch	Chry
43	7	5,1	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
44	7	6	0,15	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
45	7	6,5	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
46	8	6	0,07	Chry	SiMg	Keine	ch	Chry
47	8	7,3	0,06	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
48	8	7	1,3	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
49	8	5,7	0,5	Akt/Trem	SiMgCaFe	Amph	mi	A/T
50	8	10	0,4	Sonst	Ca	Keine	mi	Sonst
51	8	7,5	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
52	8	8,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
53	8	6	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry

Chry: Χρυσοτιλικός αμιάντος, **Krok:** Κροκιδόλιθος ή Αμοσίτης, **A/K:** Αμοσίτης/Κροκιδόλιθος **Amo:** Αμοσίτης, **Akt/Trem, A/T:** Ακτινολίθος/Αμοσίτης, **Antho:** Ανθοφυλλίτης, **Gips:** Γύψος, **Sonst:** Ινες Διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης, **Amph:** Αμφιβολικός αμιάντος, **Talk:** Τάλκης, **Min:** Ανόργανες ίνες, **Kein:** Κανένας δείκτης Διάθλασης, **ml:** Παράλληλη και ευθύγραμμη, **ch:** Χρυσοτιλικός αμιάντος, **ge:** Καμπυλόγραμμη, **na:** Βελονοειδές σχήμα, **bl:** Μεμβρανοειδές, **st:** Ισχυρή, **mi:** Μέση, **sc:** Ασθενή

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ TEM

Δείγμα W 9

Ινα	Πεδίο	Μήκος (μm)	Διάμετρος (μm)	EDX	Στοιχείο	Διάθλαση	Μορφολογία	Κατάταξη
1	1	6,3	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
2	1	13	0,4	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
3	1	16	0,4	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
4	1	6,5	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
5	1	5,2	0,3	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
6	2	6	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
7	2	8,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
8	2	8,2	0,12	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
9	2	7,5	0,08	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
10	2	5,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
11	3	5,2	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
12	3	5,3	0,3	Akt/Trem	SiMgCaFeAl	Amph	mi	A/T
13	3	5,3	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
14	3	5,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
15	4	5,3	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
16	4	14,5	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
17	4	8	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
18	4	5,7	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
19	5	6	0,22	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
20	5	5,7	0,04	Chry	SiMg	Keine	ch	Chry
21	5	5,2	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
22	5	5,2	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
23	5	5,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
24	5	7,8	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
25	5	6,3	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
26	6	7	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
27	6	7	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
28	6	13	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
29	7	9	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
30	7	5,5	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
31	7	6	1	Sonst	Ti	Min	mi	Sonst
32	7	6,5	1,3	Sonst	SiMg	Keine	st mi	Sonst
33	7	21	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
34	8	5,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
35	8	6,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
36	8	8	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
37	8	13	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
38	8	8	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
39	8	35	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
40	8	16	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
41	8	7,5	0,08	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
42	8	5,2	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
43	8	7	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
44	8	5,7	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
45	9	7,3	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
46	9	9,5	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
47	9	6,5	0,3	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
48	9	6,3	0,08	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
49	10	25	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
50	10	7	0,08	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
51	10	5,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry

Chry: Χρυσοτιλικός αμιάντος, **Krok:** Κροκιδόλιθος ή Αμοσίτης, **A/K:** Αμοσίτης/Κροκιδόλιθος **Amo:** Αμοσίτης, **Akt/Trem, A/T:** Ακτινόλιθος/Αμοσίτης, **Antho:** Ανθοφυλλίτης, **Gips:** Γύψος, **Sonst:** Ινες Διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης, **Amph:** Αμφιβολικός αμιάντος, **Talk:** Τάλκης, **Min:** Ανόργανες ίνες, **Kein:** Κανένas δείκτης Διάθλασης, **ml:** Παράλληλη και ευθύγραμμη, **ch:** Χρυσοτιλικός αμιάντος, **ge:** Καμπυλόγραμμη, **na:** Βελονοειδές σχήμα, **bl:** Μεμβρανοειδές, **st:** Ισχυρή, **mi:** Μέση, **sc:** Ασθενή

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ TEM

Δείγμα W 2

Ινα	Πέδιο	Μήκος (μm)	Διάμετρος (μm)	EDX	Στοιχείο	Διάθλαση	Μορφολογία	Κατάταξη
1	1	9	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
2	1	8	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
3	1	6,3	0,1	Chry	SMgFe	Chry	ch	Chry
4	1	7	0,75	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
5	1	5,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
6	1	10	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
7	2	5,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
8	2	9,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
9	3	21	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
10	3	6	0,6	Akt/Trem	SiMgFeCaAl	Amph	mi	A/T
11	3	10	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
12	3	8	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
13	4	7	2	Sonst	CaAlSi	keine	st mi	Sonst
14	4	5,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
15	5	6,5	0,1	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
16	5	8,3	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
17	5	6	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
18	6	6,5	2	Akt/Trem	SiMgCaFeAl	Amph	mi	A/T
19	6	5,5	1,5	Akt/Trem	SiMgCaFeAl	Amph	mi	A/T
20	7	8,2	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
21	7	5,2	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
22	8	21	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
23	8	6	0,25	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
24	8	10	0,1	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
25	9	5,3	0,08	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
26	9	6,5	1	Sonst	SiAlKFe	Talk	sc mi	Sonst
27	9	6,8	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
28	10	6,2	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
29	10	7	0,3	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
30	11	5,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
31	11	5,2	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
32	11	8,5	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
33	11	5,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
34	12	5,5	0,07	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
35	13	7	0,08	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
36	13	5,1	0,4	Akt/Trem	SiMgCaFe	Amph	mi	A/T
37	13	5,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
38	13	5,1	0,5	Akt/Trem	SiMgCaFeAl	keine	mi	A/T
39	13	5,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
40	14	11,5	0,08	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
41	14	5,5	0,3	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
42	14	18	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
43	14	7	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
44	14	6,5	1,8	Sonst	Ca Al	keine	st mi	Sonst
45	15	5,3	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
46	15	7	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
47	15	5,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
48	16	7	0,1	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
49	16	20	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
50	16	5,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry

Chry: Χρυσοτιλικός αμιάντος, **Krok:** Κροκιδόλιθος ή Αμοσίτης, **A/K:** Αμοσίτης/Κροκιδόλιθος **Amo:** Αμοσίτης, **Akt/Trem, A/T:** Ακτινόλιθος/Αμοσίτης, **Antho:** Ανθοφυλλίτης, **Gips:** Γύψος, **Sonst:** Ινες Διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης, **Amph:** Αμφιβολικός αμιάντος, **Talk:** Τάλκης, **Min:** Ανόργανες ίνες, **Kein:** Κανένας δείκτης Διάθλασης, **ml:** Παράλληλη και ευθύγραμμη, **ch:** Χρυσοτιλικός αμιάντος, **ge:** Καμπυλόγραμμη, **na:** Βελονοειδές σχήμα, **bl:** Μεμβρανοειδές, **st:** Ισχυρή, **mi:** Μέση, **sc:** Ασθενή

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ TEM

Δείγμα W 4

Ινα	Πέδιο	Μήκος (μm)	Διάμετρος (μm)	EDX	Στοιχείο	Διάθλαση	Μορφολογία	Κατάταξη
1	1	5,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
2	1	5,1	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
3	1	8	1	Sonst	SiAlFe	keine	sc mi	Sonst
4	2	5,2	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
5	2	5,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
6	2	5,3	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
7	3	8	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
8	3	5,5	0,1	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
9	3	5,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
10	3	6,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
11	4	11	2	Akt/Trem	SiFeCaAlMg	Amph	st mi	A/T
12	5	7	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
13	5	5,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
14	5	8	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
15	6	5,2	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
16	6	6,2	0,08	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
17	7	5,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
18	8	5,2	0,1	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
19	8	6	0,5	Akt/Trem	SiMgCaFeAl	Amph	mi	A/T
20	8	13	2,5	Sonst	SiMgFe	Talk	mi	Sonst
21	8	15,0	0,12	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
22	9	5,2	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
23	9	19	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
24	9	6	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
25	10	5,2	0,12	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
26	10	7,5	0,08	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
27	10	5,3	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
28	11	5,5	0,27	Sonst	SiAlFe	Min	mi	Sonst
29	12	9,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
30	12	16	0,1	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
31	12	19	0,08	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
32	13	16	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
33	13	5,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
34	14	9	0,12	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
35	15	9,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
36	15	5,8	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
37	16	5,1	0,25	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
38	16	5,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
39	17	32	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
40	17	5,3	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
41	17	8,3	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
42	18	8	1,8	Sonst	SiMgFeAl	Talk	bl	Sonst
43	18	5,3	1,5	Sonst	SiAlCaFeMg	Min	st mi	Sonst
44	18	7	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
45	19	5,8	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
46	20	7,7	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
47	20	25	0,1	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
48	20	6	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
49	21	7,2	0,4	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
50	22	9	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
51	22	11,2	0,15	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry

Chry: Χρυσοτιλικός αμιάντος, **Krok:** Κροκιδόλιθος ή Αμοσίτης, **A/K:** Αμοσίτης/Κροκιδόλιθος **Amo:** Αμοσίτης, **Akt/Trem, A/T:** Ακτινόλιθος/Αμοσίτης, **Antho:** Ανθοφυλλίτης, **Gips:** Γύψος, **Sonst:** Ινες Διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης, **Amph:** Αμφιβολικός αμιάντος, **Talk:** Τάλκης, **Min:** Ανόργανες ίνες, **Kein:** Κανένας δείκτης Διάθλασης, **ml:** Παράλληλη και ευθύγραμμη, **ch:** Χρυσοτιλικός αμιάντος, **ge:** Καμπυλόγραμμη, **na:** Βελονοειδές σχήμα, **bl:** Μembrανοειδές, **st:** Ισχυρή, **mi:** Μέση, **sc:** Ασθενή

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ TEM

Δείγμα W 5

Ινα	Πέδιο	Μήκος (μm)	Διάμετρος (μm)	EDX	Στοιχείο	Διάθλαση	Μορφολογία	Κατάταξη
1	1	5,5	0,25	Akt/Trem	SiMgCaFe	Amph	mi	A/T
2	1	10	0,1	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
3	1	6,3	0,75	Sonst	Ti	Keine	st mi	Sonst
4	1	8,2	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
5	1	8	0,08	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
6	2	5,2	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
7	2	5,7	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
8	2	10	2,8	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
9	3	6,3	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
10	3	7,5	1,8	Sonst	CaAl	Keine	st mi	Sonst
11	3	5,2	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
12	3	8	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
13	3	5,3	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
14	3	11	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
15	4	14	1,4	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
16	4	8	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
17	4	7,5	0,08	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
18	4	5,5	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
19	5	5,5	0,4	Sonst	CaAl	Keine	mi	Sonst
20	5	6,8	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
21	5	5,3	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
22	6	6	0,1	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
23	7	9	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
24	7	6	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
25	7	12	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
26	8	5,2	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
27	8	7,8	0,1	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
28	8	7	2	Sonst	CaAl	Keine	st mi	Sonst
29	8	11	2	Sonst	SiMgFe	Keine	st mi	Sonst
30	9	5,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
31	9	7,5	0,6	Sonst	SiAlKFe	Keine	st mi	Sonst
32	9	5,1	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
33	9	5,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
34	9	5,2	1,2	Sonst	SiMgAlFe	Min	sc mi	Sonst
35	10	25	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
36	10	8	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
37	10	6,5	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
38	10	5,2	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
39	10	5,5	0,2	Akt/Trem	SiMgCaFe	Amph	mi	A/T
40	11	5,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
41	11	5,5	1	Sonst	SiMgAlFe	Talk	bl	Sonst
42	11	5,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
43	11	5,5	0,75	Sonst	CaAl	Min	mi	Sonst
44	11	10,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
45	12	7,5	1,2	Sonst	SiAlKFe	Min	mi	Sonst
46	13	5,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
47	13	6,5	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
48	14	5,3	0,08	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
49	14	22	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
50	14	9,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
51	14	5,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
52	14	5,7	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry

Chry: Χρυσοτιλικός αμιάντος, **Krok:** Κροκιδόλιθος ή Αμοσίτης, **A/K:** Αμοσίτης/Κροκιδόλιθος **Amo:** Αμοσίτης, **Akt/Trem, A/T:** Ακτινόλιθος/Αμοσίτης, **Antho:** Ανθοφυλλίτης, **Gips:** Γύψος, **Sonst:** Ινες Διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης, **Amph:** Αμφιβολικός αμιάντος, **Talk:** Τάλκης, **Min:** Ανόργανες ίνες, **Kein:** Κανένas δείκτης Διάθλασης, **ml:** Παράλληλη και ευθύγραμμη, **ch:** Χρυσοτιλικός αμιάντος, **ge:** Καμπυλόγραμμη, **na:** Βελονοειδές σχήμα, **bl:** Μembrανοειδές, **st:** Ισχυρή, **mi:** Μέση, **sc:** Ασθενή

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ TEM

Δείγμα W 10

Ινα	Πέδιο	Μήκος (μm)	Διάμετρος (μm)	EDX	Στοιχείο	Διάθλαση	Μορφολογία	Κατάταξη
1	1	11	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
2	2	8	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
3	2	9,3	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
4	2	5,2	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
5	4	5,3	0,08	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
6	4	5,7	0,3	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
7	5	7	1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
8	7	5,5	0,3	Akt/Trem	SiMgCaFe	Amph	mi	A/T
9	8	5,7	0,12	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
10	8	12	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
11	9	7	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
12	9	7,5	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
13	9	5,7	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
14	12	5,5	0,25	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
15	13	22	0,05	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
16	13	6	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
17	13	7,5	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
18	14	5,2	0,75	Sonst	CaAlSiFe	Keine	mi	Sonst
19	15	5,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
20	16	7	1,75	Sonst	SiMgFe	Min	mi	Sonst
21	17	6,0	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
22	17	9,5	0,1	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
23	17	9	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
24	19	8,3	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
25	19	5,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
26	19	5,2	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
27	21	5,8	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
28	22	5,3	0,6	Antho	SiMgFe	Amph	mi	Anth
29	23	6	0,4	Sonst	SiAlKFe	Keine	st mi	Sonst
30	24	5,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
31	24	8	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
32	25	5,2	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
33	25	7,3	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
34	26	5,4	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
35	26	6,8	0,6	Sonst	Ca Al	Min	mi	Sonst
36	26	5,7	0,5	Sonst	SiMgFe	Talk	sc mi	Sonst
37	26	5,5	0,8	Sonst	SiMgAlFe	Talk	bl	Sonst
38	26	6,5	0,08	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
39	27	6	0,1	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
40	28	5,2	0,7	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
41	29	5,4	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
42	29	5,2	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
43	30	7,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
44	33	5,3	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
45	33	6,7	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
46	34	5,5	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
47	35	7,2	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
48	36	5,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
49	36	5,3	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
50	37	16	0,1	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry

Chry: Χρυσοτιλικός αμιάντος, **Krok:** Κροκιδόλιθος ή Αμοσίτης, **A/K:** Αμοσίτης/Κροκιδόλιθος **Amo:** Αμοσίτης, **Akt/Trem, A/T:** Ακτινόλιθος/Αμοσίτης, **Antho:** Ανθοφυλλίτης, **Gips:** Γύψος, **Sonst:** Ινες Διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης, **Amph:** Αμφιβολικός αμιάντος, **Talk:** Τάλκης, **Min:** Ανόργανες ίνες, **Kein:** Κανένας δείκτης Διάθλασης, **ml:** Πάράλληλη και ευθύγραμμη, **ch:** Χρυσοτιλικός αμιάντος, **ge:** Καμπυλόγραμμη, **na:** Βελονοειδές σχήμα, **bl:** Μεμβρανοειδές, **st:** Ισχυρή, **mi:** Μέση, **sc:** Ασθενή

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ TEM

Δείγμα W 6

Iva	Πέδιο	Μήκος (μm)	Διάμετρος (μm)	EDX	Στοιχείο	Διάθλαση	Μορφολογία	Κατάταξη
1	1	7	0,3	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
2	1	8	0,05	Chry	Si Mg	Chry	ch	Chry
3	1	6,5	0,1	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
4	1	5,8	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
5	1	6	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
6	2	5,2	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
7	2	16	2,8	Antho	SiMgFe	Keine	mi	Anth
8	2	6,2	1,7	Akt/Trem	SiMgCaFeAl	Keine	st mi	A/T
9	2	5,2	0,08	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
10	3	8,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
11	3	6	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
12	3	7,2	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
13	4	7,7	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
14	4	7	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
15	4	5,6	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
16	4	5,2	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
17	4	6	0,12	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
18	4	5,1	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
19	5	8,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
20	5	7,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
21	5	6,8	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
22	6	7	0,17	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
23	6	17,5	0,15	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
24	6	5,5	0,13	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
25	6	7,2	0,3	Akt/Trem	SiMgFeCaAl	Amph	mi	A/T
26	6	7,3	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
27	7	8,3	0,5	Akt/Trem	SiMgCaFeAl	Amph	mi	A/T
28	7	10	0,08	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
29	7	9,2	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
30	7	6,7	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
31	7	7,5	0,8	Antho	SiMgFe	Amph	mi	Anth
32	7	6	0,23	Akt/Trem	SiMgCaFeAl	Amph	mi	A/T
33	7	7,7	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
34	7	11	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
35	8	7,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
36	8	6,6	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
37	9	7,7	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
38	9	11,5	0,04	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
39	9	7,5	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
40	10	15	0,1	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
41	10	5,2	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
42	10	5,7	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
43	10	5,2	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
44	10	5,5	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
45	11	7	0,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
46	11	5,3	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
47	12	10	1,2	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
48	12	5,8	0,12	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
49	12	5,2	0,17	Chry	SiMgFe	Chry	ch	Chry
50	13	6	0,05	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
51	13	5,5	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
52	13	8,7	0,07	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry
53	13	5,8	0,03	Chry	SiMg	Chry	ch	Chry

Chry: Χρυσοτιλικός αμιάντος, **Krok:** Κροκιδόλιθος ή Αμοσίτης, **A/K:** Αμοσίτης/Κροκιδόλιθος **Amo:** Αμοσίτης, **Akt/Trem, A/T:** Ακτινόλιθος/Αμοσίτης, **Antho:** Ανθοφυλλίτης, **Gips:** Γύψος, **Sonst:** Ινες Διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης, **Amph:** Αμφιβολικός αμιάντος, **Talk:** Τάλκης, **Min:** Ανόργανες ίνες, **Kein:** Κανένas δείκτης Διάθλασης, **ml:** Παράλληλη και ευθύγραμμη, **ch:** Χρυσοτιλικός αμιάντος, **ge:** Καμπυλόγραμμη, **na:** Βελονοειδές σχήμα, **bl:** Μembrανοειδές, **st:** Ισχυρή, **mi:** Μέση, **sc:** Ασθενή