



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ -
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΣ ΚΟΒΙΤΙΔΗΣ
ΑΕΜ : 5852

ΑΜΙΑΝΤΟΜΟΡΦΑ ΟΡΥΚΤΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2024





ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΣ ΚΟΒΙΤΙΔΗΣ

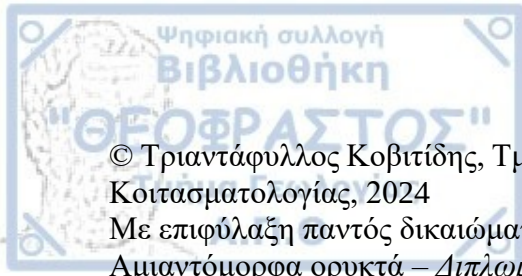
ΑΜΙΑΝΤΟΜΟΡΦΑ ΟΡΥΚΤΑ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Λαμπρινή Παπαδοπούλου, Καθηγήτρια

© Τριαντάφυλλος Κοβιτιδης, 2024
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.



© Τριαντάφυλλος Κοβιτίδης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2024
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
Αμιαντόμορφα ορυκτά – *Διπλωματική Εργασία*

© Triantafyllos Kovitidis, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2024
All rights reserved.
Asbestiform minerals – *Bachelor Thesis*

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

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

Εικόνα Εξωφύλλου: <https://en.wikipedia.org/wiki/Asbestos>





ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΜΙΑΝΤΟΥ	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΜΙΑΝΤΟΣ & ΥΓΕΙΑ	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	38
Ελληνική Βιβλιογραφία	38
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	38
Ιστοχώροι.....	38



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αμιαντόμορφα ορυκτά

Τριαντάφυλλος Κοβιτίδης

Η συγκεκριμένη διπλωματική πτυχιακή εργασία αφορά την μελέτη των ορυκτών του αμιάντου και την ανίχνευση τους στο φυσικό περιβάλλον. Τα ορυκτά αμιάντου είναι φυσικά ινώδη ορυκτά που χρησιμοποιούνται εδώ και αιώνες σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές λόγω των μοναδικών φυσικών ιδιοτήτων τους, όπως η αντοχή στη θερμότητα, τη φωτιά και τη χημική αποικοδόμηση. Ωστόσο, η έκθεση σε ίνες αμιάντου έχει συνδεθεί με μια σειρά από σοβαρές παθήσεις της υγείας, όπως ο καρκίνος του πνεύμονα, το μεσοθηλίωμα και η αμιάντωση. Ως αποτέλεσμα, πολλές χώρες έχουν απαγορεύσει τη χρήση του αμιάντου ή έχουν ρυθμίσει σε μεγάλο βαθμό τη χρήση του για την προστασία της δημόσιας υγείας. Παρά τους κανονισμούς αυτούς, ο αμιάντος εξακολουθεί να υπάρχει σε πολλά παλαιότερα κτίρια, αποτελώντας κίνδυνο για τους εργαζόμενους και τους ενοίκους. Η εξόρυξη και η επεξεργασία αμιάντου αποτελούν επίσης σημαντικό κίνδυνο για την υγεία των εργαζομένων στις βιομηχανίες αυτές. Η συνεχής έρευνα σχετικά με τους κινδύνους της έκθεσης στον αμιάντο και οι προσπάθειες για τη διαχείριση και την απομάκρυνση του αμιάντου από το δομημένο περιβάλλον είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία της δημόσιας υγείας.



ABSTRACT

Asbestiform minerals

Triantafyllos Kovididis

This specific diploma thesis concerns the study of asbestos minerals and their detection in the natural environment. Asbestos minerals are natural fibrous minerals that have been used for centuries in various industrial applications due to their unique physical properties such as resistance to heat, fire and chemical degradation. However, exposure to asbestos fibers has been linked to several serious health conditions, including lung cancer, mesothelioma and asbestosis. As a result, many countries have banned the use of asbestos or heavily regulated its use to protect public health. Despite these regulations, asbestos is still present in many older buildings, posing a hazard to workers and occupants. Asbestos mining and processing also pose a significant health risk to workers in these industries. Continued research into the risks of asbestos exposure and efforts to manage and remove asbestos from the built environment are vital to protecting public health.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας μου ανατέθηκε από τον Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κ. Λαμπρινή Παπαδοπούλου, την οποία ευχαριστώ για την υπόδειξη του συγκεκριμένου θέματος καθώς επίσης και την καθοδήγηση και τις συμβουλές που μου παρείχε στην διάρκεια της εργασίας αυτής.

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση των ορυκτών του αμιάντου καθώς επίσης και στο που μπορούμε να τα ανιχνεύσουμε στο περιβάλλον, ώστε να αποφευχθεί η έκθεση στον αμιάντο για την προστασία της δημοσίας υγείας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην Καθηγήτρια κ. Λαμπρινή Παπαδοπούλου, που ήταν η επιβλέπουσα της πτυχιακής αυτής εργασίας, για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος, επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σταύρο Οικονομίδη, ΕΔΙΠ του τμήματος Γεωλογίας καθώς η διδακτορική του διατριβή πάνω στα ορυκτά του αμιάντου με βοήθησε να συντάξω την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικείους μου για τη στήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αμίαντος είναι η ονομασία διάφορων ορυκτών στη φύση που είναι γνωστά για την ινώδη δομή τους και τις εξαιρετικές θερμοανθεκτικές τους ιδιότητες. Για αιώνες, οι άνθρωποι εκμεταλλεύονταν αυτά τα ορυκτά για την ανθεκτικότητα και την ευελιξία τους, χρησιμοποιώντας τα σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου, οι δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία που συνδέονται με την έκθεση στον αμίαντο έχουν γίνει μείζον θέμα, οδηγώντας σε επαναξιολόγηση της χρήσης του και σε ρυθμιστικούς περιορισμούς. (Οικονομίδης, 2020)

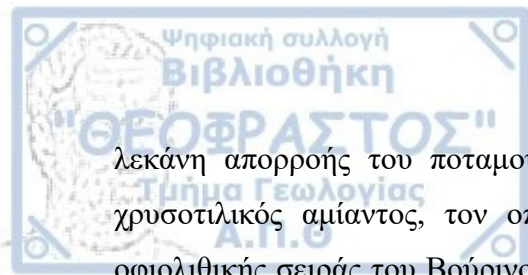
Τα ορυκτά αμιάντου είναι πυριτικά ορυκτά που αποτελούνται από μακριές, λεπτές ίνες που μπορούν εύκολα να διαχωριστούν και να υφανθούν σε εύκαμπτα νήματα. Η ιδιότητα αυτή, σε συνδυασμό με την αντοχή τους στη θερμότητα, τον ηλεκτρισμό και τη χημική διάβρωση, τα κατέστησε ιδιαίτερα επιθυμητά για διάφορους βιομηχανικούς και κατασκευαστικούς σκοπούς.

Τα ορυκτά αμιάντου χωρίζονται, με βάση την ομάδα ορυκτών που ανήκουν, σε δύο κατηγορίες: τον σερπεντινικό αμίαντο και τον αμφιβολικό αμίαντο.

1.Σερπεντινικός αμίαντος: Ο σερπεντινικός αμίαντος είναι ο χρυσοτίλης, που συχνά αναφέρεται ως "λευκός αμίαντος". Οι ίνες του χρυσοτίλη είναι σγουρές και εύκαμπτες, γεγονός που τις καθιστά κατάλληλες για ύφανση σε υφάσματα. Χρησιμοποιήθηκε ευρέως σε οικοδομικά υλικά, όπως στέγες, μονώσεις και επενδύσεις φρένων.

2.Αμφιβολικός αμίαντος: Ο αμφιβολικός αμίαντος περιλαμβάνει πέντε ορυκτά της ομάδας των αμφιβόλων, συμπεριλαμβανομένων του αμοσίτη (καφέ αμίαντος), ο οποίος είναι η ινώδης μορφή του γρουνερίτη, του κροκιδόλιθου (μπλε αμίαντος), ο οποίος είναι η ινώδης μορφή του ριβεκίτη, του τρεμολίτη, του ανθοφυλλίτη και του ακτινόλιθου. Άλλα ορυκτά που εμφανίζουν ινώδη μορφή, αλλά λόγω σπανιότητας καθώς και λόγω του γεγονότος ότι δεν έχουν τύχει εμπορικής εκμετάλλευσης, δεν περιλαμβάνονται στην παραπάνω κατηγοριοποίηση. Αυτές οι ίνες είναι ευθείες και μοιάζουν με βελόνες, γεγονός που τις καθιστά πιο εύθραυστες και επικίνδυνες όταν εισπνέονται. Ο αμφίβολος αμίαντος χρησιμοποιούνταν σε προϊόντα όπως πυράντοχα επιχρίσματα και μονώσεις.

Η συνηθέστερη μορφή αμιάντου, ο χρυσοτίλης, φιλοξενείται σε σερπεντινιωμένα υπερβασικά πετρώματα τα οποία έχουν υποστεί φαινόμενα εφαιπτομενικών συμπίεσεων. Στην



λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα και των παραπόταμων του, κυρίως υπάρχει χρυσοτιλικός αμιάντος, τον οποίο βρίσκουμε μέσα στα σερπεντινιτικά πετρώματα της οφιολιθικής σειράς του Βούρινου και στο γνωστό στην Ελλάδα κοιτάσμα, στην περιοχή της Μονής Ζιδανίου. Σε αρκετά σημεία υπάρχουν και μικρές εμφανίσεις αμφιβολικού αμιάντου.

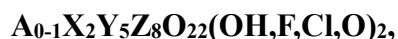
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ

2.1. ΤΑ ΟΡΥΚΤΑ ΤΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ

Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιείται ο όρος «αμιάντος», θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο όρος αυτός δεν αναφέρεται σε κάποιο συγκεκριμένο ορυκτό, αλλά πρόκειται για συνολική ονομασία διαφορετικών ορυκτών βάσει μορφολογικών και φυσικών ιδιοτήτων. Επομένως, είναι η κοινή ονομασία των έξι πιο διαδεδομένων ινωδών ένυδρων πυριτικών ορυκτών τα οποία παρουσιάζουν την χαρακτηριστική μορφή που ονομάζεται «αμιαντόμορφη» (asbestiform), και έχουν τύχει εμπορικής εκμετάλλευσης. Συνοψίζοντας με τον όρο «αμιάντος» περιγράφονται συνολικά έξι ορυκτά, που ανήκουν σε δύο μεγαλύτερες ομάδες ορυκτών, τις αμφιβόλους και τους σερπεντίνες. Από την ομάδα των αμφιβόλων είναι ο κροκιδόλιθος (crocidolite), ο οποίος είναι η ινώδης μορφή του ριβεκίτη (riebeckite), ο αμοσίτης (amosite), ο οποίος είναι η ινώδης μορφή του γρουνερίτη (grunerite), ο τρεμολίτης (tremolite) ο ακτινόλιθος (actinolite), και ο ανθοφυλλίτης (anthophyllite), ενώ από την ομάδα του σερπεντίνη είναι ο χρυσοτίλης (chrysotile) ή λευκός αμιάντος. Επειδή τα παραπάνω ορυκτά παρουσιάζουν ιδίες ή παρόμοιες τις φυσικές τους ιδιότητες, τις εμπορικές τους εφαρμογές καθώς επίσης τις χρήσεις τους και τις επιπτώσεις τους στην υγεία, γι' αυτόν το λόγο, εξετάζονται όλα μαζί με την κοινή ονομασία «αμιάντος».

2.2. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΤΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ

Από άποψη χημικής σύστασης όλα τα ορυκτά του αμιάντου είναι ένυδρα πυριτικά. Τα ορυκτά της ομάδας του σερπεντίνη, συμπεριλαμβανομένου του χρυσοτίλη, έχουν όλα τον σχετικά απλό χημικό τύπο που εκφράζεται ως $(\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4)$. Από την άλλη πλευρά, τα ορυκτά της ομάδας της αμφιβόλου έχουν μεγάλη ποικιλία στο χημικό τους τύπο που εκφράζεται με το γενικό χημικό τύπο :



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

Τα ορυκτά που περιγράφονται και ως αμφιβολικός αμίαντος αναγράφονται από τους παρακάτω γενικούς τύπους:

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

2.3. ΑΜΦΙΒΟΛΙΚΟΣ ΑΜΙΑΝΤΟΣ

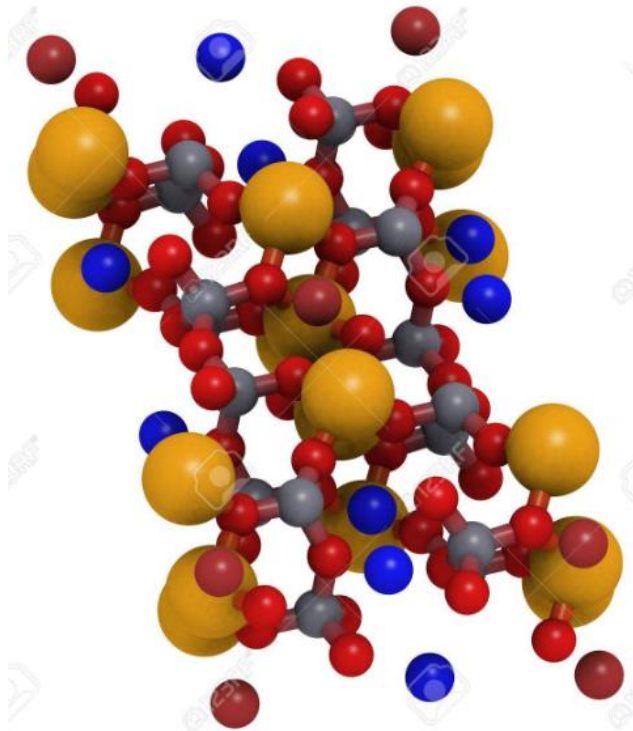
Ο αμφιβολικός αμίαντος αναφέρεται σε μια ομάδα έξι φυσικών πυριτικών ορυκτών που ανήκουν στην ευρύτερη οικογένεια ορυκτών αμιάντου. Τα ορυκτά αυτά χαρακτηρίζονται από τη μακριά, λεπτή, ινώδη κρυσταλλική δομή τους. Οι πέντε τύποι αμφίβολου αμιάντου είναι ο ακτινόλιθος, ο αμοσίτης, ο ανθοφυλλίτης, ο κροκιδόλιθος και ο τρεμολίτης. Ο αμφίβολου αμίαντος είναι γνωστός για την αντοχή του στη θερμότητα, τις μονωτικές του ιδιότητες και την αντοχή του σε εφελκυσμό, γεγονός που τον κατέστησε επιθυμητό για διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές στο παρελθόν, συμπεριλαμβανομένων των δομικών υλικών, της μόνωσης, των επενδύσεων των φρένων και της πυρασφάλειας. Ωστόσο, οι κίνδυνοι για την υγεία που συνδέονται με την έκθεση στον αμφίβολου αμίαντο οδήγησαν σε μείωση της χρήσης του και σε αύξηση των κανονισμών και των προσπαθειών για τη διαχείριση και τον περιορισμό της έκθεσης. (<https://www.wikipedia.org>)

2.3.1. ΚΡΟΚΙΔΟΛΙΘΟΣ (ΡΕΙΒΕΚΙΤΗΣ)

Ο ρειβεκίτης (Riebeckite) είναι ένα πλούσιο σε νάτριο μέλος της ομάδας πυριτικών ορυκτών, αμφίβολοι. (Σχ. 1). Σχηματίζει σειρά στερεών διαλυμάτων με τον μαγνησιορειβεκίτη. Ο ρειβεκίτης σχηματίζει συνήθως σκούρους μπλε επιμήκεις έως ινώδεις κρυστάλλους (Σχ. 2) σε πολύ αλκαλικούς γρανίτες, συηνίτες, σπάνια σε ηφαιστειακά πετρώματα, γρανιτικούς πηγματίτες και σχιστόλιθους (Πίν. 1). Επιπλέον ο ρειβεκίτης σχηματίζει δύο διαφορετικές ποικιλίες, οι πιο σκουρόχρωμες μορφές που κρυσταλλώνονται μεμονωμένα είναι γενικά πυριγενούς προέλευσης, όπως τα ηφαιστειακά πετρώματα και οι πηγματίτες. Η λεπτο-ινώδης μορφή, γνωστή ως κροκιδόλιθος, προέρχεται συνήθως από αλλοίωση μεταμορφωμένων πετρωμάτων και μερικές φορές αναφέρεται και ως "μπλε αμίαντος". Ο κροκιδόλιθος εξορύσσεται στη Νότια Αφρική, τη Βολιβία και το Wittenoom της Δυτικής Αυστραλίας. (<https://mindat.org>).



Σχήμα 1 Κροκιδόλιθος (Ρειβεκίτης) από Mount Malosa, Zomba, Southern Region, Malawi (<https://mindat.org>)



Σχήμα 2 Κρυσταλλική δομή του Κροκιδόλιθου (Ρειβεκίτης)(<https://www.123rf.com>)

Πίνακας 1. Ιδιότητες του κροκιδόλιθου.(ρειβεκίτη).

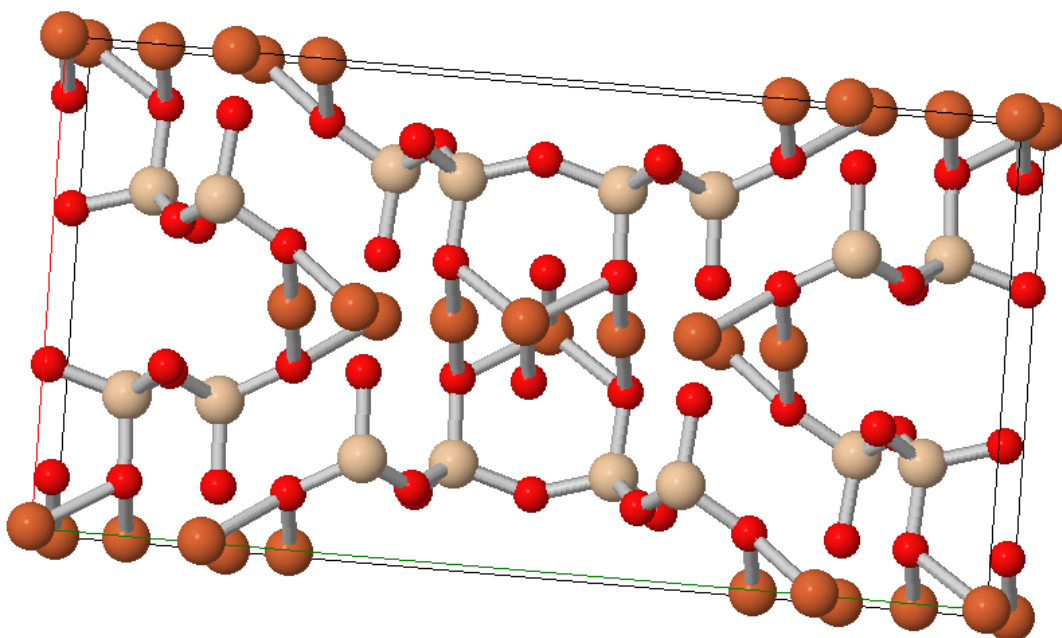
Όνομα	Κροκιδόλιθος (Ρειβεκίτης)
Χημικός τύπος	$\text{Na}_2(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg})_3\text{Fe}^{+3}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Χρώμα	Συνήθως μαύρο, επίσης συχνά γαλάζιο έως μπλε-μαύρο, γκρι-μπλε, γκρι, καφέ.
Σύστημα κρυστάλλωσης	Μονοκλινές
Πλεοхроοϊσμός	Ισχυρός. άξονας:Χ σκούρο μπλε άξονας:Z μπλε γκρι έως κίτρινο πράσινο
Σχήμα - μορφή	Πρισματικοί {110}, συχνά πολύ επιμήκεις. Μπορεί να είναι ακανθοειδείς, ιδίως σε όψιμες κοιλότητες. Μερικές φορές είναι πολύ ακανθοειδείς σε λεπτόκοκκα, ανοιχτόχρωμα συσσωματώματα. Οι καλά τερματισμένοι κρύσταλλοι είναι ασυνήθιστοι.
Λάμψη	Υαλώδης, υπο-υαλώδης
Σκληρότητα	5 - 5½ στην κλίμακα Mohs
Αντοχή	Εύθραυστη
Σχισμός	Τέλειος. Τέλειος στο {110}
Θραύση	Ακιδωτή
Φωτεινότητα	Μη φθορίζουσα
Ραβδώσεις	Ανοιχτό γκρι έως γαλαζοπράσινο γκρι
Οπτ. Χαρακτήρας	Διάξων (-)
Μαγνητισμός	Μη μαγνητικό
Περιβάλλον Εμφάνιση	Μαγματικά και μεταμορφωμένα πετρώματα.
Παρατηρήσεις	-

2.3.2. ΑΜΟΣΙΤΗΣ (ΓΡΟΥΝΕΡΙΤΗΣ)

Ο αμοσίτης είναι γνωστός ως "καφέ αμιάντος" (Σχ. 3) και είναι μια σπάνια αμιαντόμορφη ποικιλία του γρουνερίτη που εξορύσσεται ως αμιάντος κυρίως στο ανατολικό τμήμα της επαρχίας Transvaal της Νότιας Αφρικής. Σχηματίζεται ως ινώδης, κιονοειδής ή μαζική συσσωμάτωση κρυστάλλων. Οι κρύσταλλοι είναι μονοκλινείς πρισματικοί (Σχ. 4). Η στιλπνότητα είναι υαλώδης έως μαργαριτώδης με χρώματα που κυμαίνονται από πράσινο, καφέ έως σκούρο γκρι (Πίν. 2). (<https://mindat.org>)



Σχήμα 3. Αμοσίτης (Γρουνερίτης) από North Mine, Australia (<https://mindat.org>)



Σχήμα 4 Κρυσταλλική δομή του αμοσίτη (γρουνερίτη) (<https://mindat.org>)

Πίνακας 2. Ιδιότητες του αμοσίτη (γρουνερίτη).

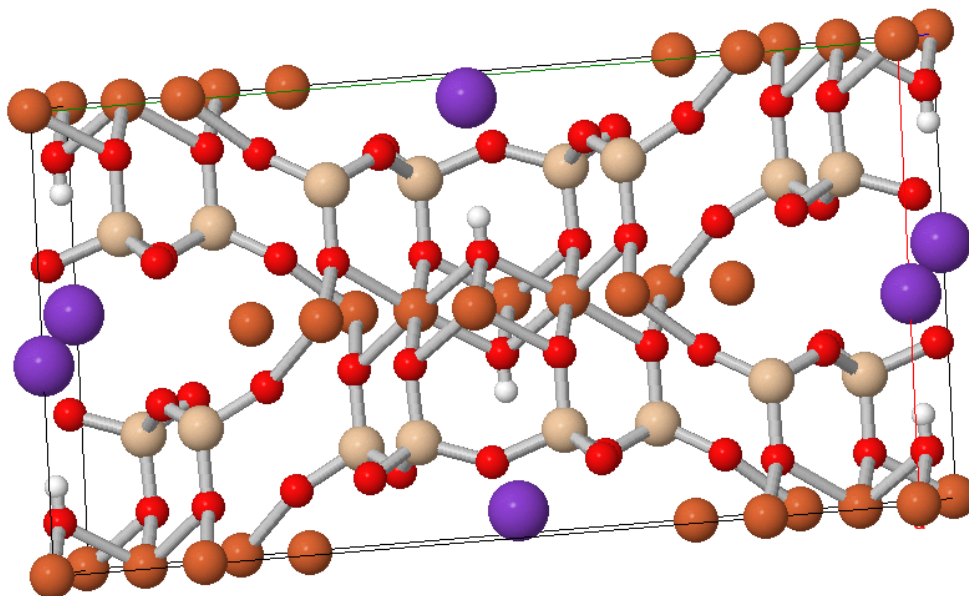
Όνομα	Αμοσίτης (Γρουνερίτης)
Χημικός τύπος	$(\text{Fe}^{+2}_2(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2)$
Χρώμα	Σκούρο πράσινο έως καφέ, γκρι έως πρασινωπό γκρι
Σύστημα κρυστάλλωσης	Μονοκλινές
Πλεοχρωϊσμός	Ορατός. άξονας: X = ανοιχτό κίτρινο άξονας: Y = ανοιχτό κίτρινο-καφέ άξονας: Z = ανοιχτό καστανό.
Σχήμα - μορφή	Ακτινωτοί ή ινώδεις ακτινοειδείς κρύσταλλοι.
Λάμψη	Υαλώδης
Σκληρότητα	5 - 6 στην κλίμακα Mohs
Αντοχή	Εύθραυστη
Σχισμός	{110} Τέλειος, διακριτός
Θραύση	Σπασίματα που αναπτύσσονται σε εύθραυστα υλικά και χαρακτηρίζονται από ημι-καμπύλες επιφάνειες.
Φωτεινότητα	Μη φθορίζουσα
Ραβδώσεις	Αχρωμη
Οπτ. Χαρακτήρας	Διάζων (-) 2V: 90° έως 70°
Μαγνητισμός	Μη μαγνητικό
Εμφάνιση	Σε μεταμορφωμένους σχηματισμούς σιδήρου μεσαίου έως υψηλού βαθμού. Εμφανίζεται επίσης ως προϊόν μεταμόρφωσης επαφής και σε ορισμένους μεταχαλαζίτες.
Παρατηρήσεις	Διδυμίες: Απλές ή πολλαπλές διδυμίες κοινά {100}, που παράγουν την διδυμία σε Λαμέλες.

2.3.3. ΑΚΤΙΝΟΛΙΘΟΣ

Ο ακτινόλιθος είναι ένα ενδιάμεσο μέλος μιας σειράς στερεών διαλυμάτων μεταξύ του πλούσιου σε μαγνήσιο τρεμολίτη και του πλούσιου σε σίδηρο σιδηροακτινόλιθου (Σχ. 5), διότι ο ακτινόλιθος και ο τρεμολίτης είναι στενά συνδεδεμένα ορυκτά και δύσκολα ξεχωρίζονται καθώς μοιράζονται τον ίδιο χημικό τύπο με την διαφορά στην ποσότητα των χημικών στοιχείων, δηλαδή ο τρεμολίτης έχει μεγαλύτερη παρουσία μαγνησίου έναντι σιδήρου, ενώ ο ακτινόλιθος έχει μεγαλύτερη παρουσία σιδήρου έναντι μαγνησίου. Τα ιόντα Mg και Fe μπορούν να ανταλλάσσονται ελεύθερα στην κρυσταλλική δομή (Σχ. 6). Συναντάται συνήθως σε μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως σε αύλακες επαφής που περιβάλλονται από ψυχρά διεισδυτικά πυριγενή πετρώματα.



Σχήμα 5 Ακτινόλιθος από Astore Valley, Pakistan (<https://mindat.org>)



Σχήμα 6 Κρυσταλλική δομή του ακτινόλιθου (<https://mindat.org>)

Εμφανίζεται επίσης ως προϊόν μεταμόρφωσης ασβεστόλιθων πλούσιων σε μαγνήσιο (Πίν. 3). Ορισμένες μορφές ακτινόλιθου χρησιμοποιούνται ως πολύτιμοι λίθο όπως είναι ο νεφρίτης. Μια άλλη ποικιλία πολύτιμων λίθων είναι ο ακτινόλιθος μορφής μάτι της γάτας. Αυτός ο λίθος είναι ημιδιαφανής έως αδιαφανής και έχει πράσινο έως κιτρινοπράσινο χρώμα. Ο διαφανής ακτινόλιθος είναι σπάνιος και είναι λειασμένος για τους συλλέκτες πολύτιμων λίθων. Σημαντικές πηγές για αυτές τις μορφές ακτινόλιθου είναι η Ταϊβάν και ο Καναδάς. (<https://mindat.org>)

Πίνακας 3. Ιδιότητες του ακτινόλιθου.

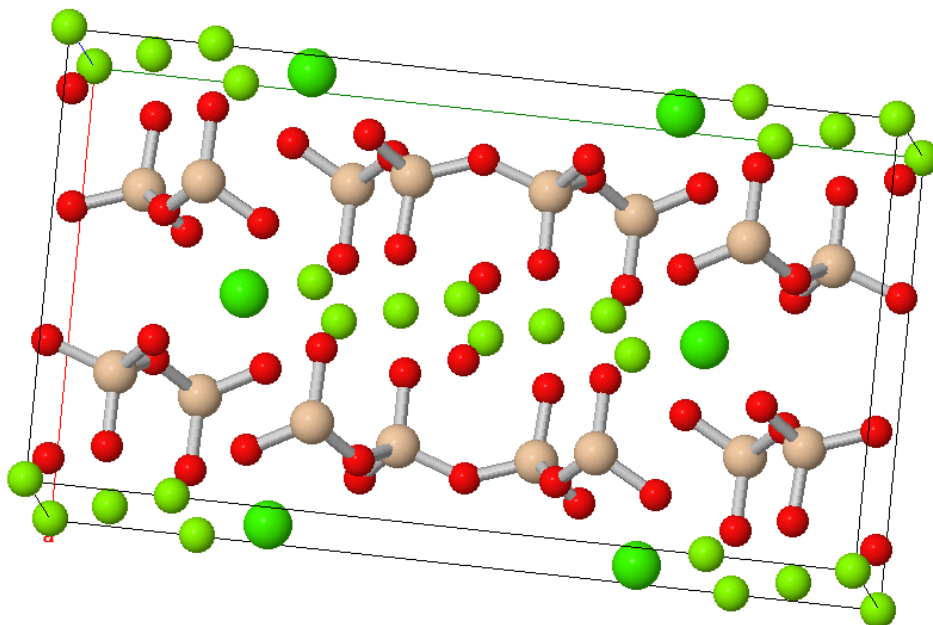
Όνομα	Ακτινόλιθος
Χημικός τύπος	$(\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2)$
Χρώμα	Πράσινο, πράσινο-μαύρο, γκρι-πράσινο ή μαύρο
Σύστημα κρυστάλλωσης	Μονοκλινές
Πλεοχρωϊσμός	Ασθενής. Άξονας: X= ανοιχτό κίτρινο, κιτρινοπράσινο Άξονας: Y= ανοιχτό κίτρινο-πράσινο, πράσινο Άξονας: Z= ανοιχτό πράσινο, βαθύ πρασινωπό μπλε
Σχήμα - μορφή	Επιμήκεις, στιβαροί πρισματικοί, λεπιοειδείς, ινώδεις, κοκκώδεις, στυλοειδείς κρύσταλλοι και συσσωματώματα.
Λάμψη	Υαλώδης, μεταξένια
Σκληρότητα	5 - 6 στην κλίμακα Mohs
Αντοχή	Εύθραυστη
Σχισμός	Διακριτός /καλός στο {110}
Θραύση	Ακιδωτή
Φωτεινότητα	Μη φθορίζουσα
Ραβδώσεις	Λευκές
Οπτ. Χαρακτήρας	Διάζων (-) 2V: 79° έως 86°
Μαγνητισμός	Μη μαγνητικό
Εμφάνιση	Μεταμορφωμένα πετρώματα. Παράγονται από χαμηλού βαθμού περιοχική μεταμόρφωση ή μεταμόρφωση επαφής ανθρακικού μαγνησίου, βασικών ή υπερβασικών πετρωμάτων.
Παρατηρήσεις	Διδυμία: κοινή παράλληλη {100}, λιγότερο κοινή παράλληλη {001}

2.3.4. ΤΡΕΜΟΛΙΤΗΣ

Η ινώδης μορφή του τρεμολίτη, (Σχ. 7) εμφανίζεται ως αποτέλεσμα της μεταμόρφωσης επαφής των πλούσιων σε ασβέστιο και μαγνήσιο πυριτικών ιζηματογενών πετρωμάτων και σε μεταμορφωμένα πετρώματα πρασινοσχιστολιθικής φάσης που προέρχονται από υπερβασικά ή ανθρακικά πετρώματα που περιέχουν μαγνήσιο (Σχ. 8). Στα συναφή ορυκτά περιλαμβάνονται ο ασβεστίτης, ο δολομίτης, ο γροσσουλάριος, ο βολλαστονίτης, ο τάλκης, ο διοψίδιος, ο φορστερίτης, ο κουμμινγκτονίτης, ο ρειβεκίτης και ο γουιντσίτης. Ο καθαρός τρεμολίτης μαγνησίου είναι κρεμώδης λευκός, αλλά το χρώμα του διαβαθμίζεται σε σκούρο πράσινο με την αύξηση της περιεκτικότητας σε σίδηρο (Πίν. 4). (<https://mindat.org>)



Σχήμα 7 Τρεμολίτης από Pennsylvania, USA (<https://mindat.org>)



Σχήμα 8 Κρυσταλλική δομή του τρεμολίτη (<https://mindat.org>)

Πίνακας 4. Ιδιότητες του τρεμολίτη.

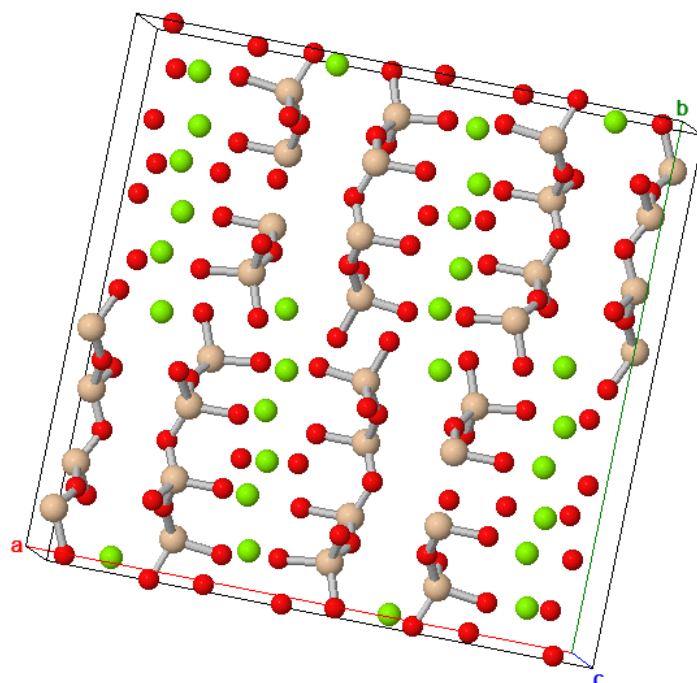
Όνομα	Τρεμολίτης
Χημικός τύπος	$(\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2)$
Χρώμα	Λευκό, καφέ, άχρωμο, γκρι, ανοιχτό πράσινο, πράσινο, ανοιχτό κίτρινο, ροζ-βιολετί
Σύστημα κρυστάλλωσης	Μονοκλινές
Πλεοχροϊσμός	-
Σχήμα - μορφή	Επιμήκεις, στιβαροί πρισματικοί, λεπιοειδείς, ινώδεις, κοκκώδεις, στυλοειδείς κρύσταλλοι και συσσωματώματα.
Λάμψη	Υαλώδης, μεταξένια
Σκληρότητα	5 - 6 στην κλίμακα Mohs
Αντοχή	Εύθραυστη
Σχισμός	Τέλειος κατά {110}
Θραύση	Ακιδωτή
Φωτεινότητα	Φθορισμός, Σύντομο UV=κίτρινο, Μακρύ UV=ποικιλία ροζ.
Ραβδώσεις	Λευκές
Οπτ. Χαρακτήρας	Διάζων (-) 2V: 88° έως 80°
Μαγνητισμός	Μη μαγνητικό
Εμφάνιση	Μεταμόρφωση επαφής των πλούσιων σε Ca πετρωμάτων.
Παρατηρήσεις	Συνήθως παράλληλη με {100}, σπάνια παράλληλη με {001}

2.3.5. ΑΝΘΟΦΥΛΛΙΤΗΣ

Ορισμένες μορφές ανθοφυλλίτη είναι ελασματοειδείς ή ινώδεις και κατατάσσονται στον αμίαντο (Σχ. 9). Ο ανθοφυλλίτης είναι ένα ορθορομβικός αμφίβολος (Σχ. 10) και είναι πολύμορφο του κουμμινγκτονίτη.



Σχήμα 9 Ανθοφυλλίτης από Paakkila mine, Finland (<https://mindat.org>)



Σχήμα 10 Κρυσταλλική δομή του ανθοφυλλίτη (<https://mindat.org>)

Ο ανθοφυλλίτης είναι προϊόν μεταμόρφωσης πετρωμάτων πλούσιων σε μαγνήσιο, ιδίως υπερβασικών πυριγενών πετρωμάτων και ακάθαρτων δολομιτικών σχιστόλιθων. Σχηματίζεται επίσης ως ανάδρομο προϊόν που περικλείει υπολειμματικούς ορθοπυρόξενους και ολιβίνη, καθώς και ως επουσιώδες ορυκτό σε γνεύσιους και σχιστόλιθους που περιέχουν κορδιερίτη (Πίν. 4). Εμφανίζεται επίσης ως ανάδρομο μεταμορφωμένο ορυκτό που προέρχεται από υπερβασικά πετρώματα μαζί με σερπεντινίτη. Σχηματίζεται από τη διάσπαση του τάλκη σε υπερμαφικά πετρώματα παρουσία νερού και διοξειδίου του άνθρακα ως προϊόντα μεταμορφική αντίδραση.

Πίνακας 4. Ιδιότητες του ανθοφυλλίτη.

Όνομα	Ανθοφυλλίτης
Χημικός τύπος	$(\text{Mg}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2)$
Χρώμα	Λευκό, πρασινωπό γκρι, πράσινο, καστανό ή καστανό πράσινο
Σύστημα κρυστάλλωσης	Ορθορομβικό
Πλεοχροϊσμός	Άξονας Χ:ανοιχτό πράσινο, ανοιχτό καστανό καφέ, καφέ γαρύφαλλο ή πρασινοκίτρινο. Άξονας Υ:καστανό πράσινο, ανοιχτό καφέ, καφέ του γαρύφαλλου ή πρασινοκίτρινο.
Σχήμα - μορφή	Ατρακτοειδής μορφή
Λάμψη	Υαλώδης, μαργαριταρώδης
Σκληρότητα	5½ - 6 στην κλίμακα Mohs
Αντοχή	Εύθραυστο- ελαστικό όταν είναι ινώδες
Σχισμός	Τέλειος. Τέλειος στο {210}, ατελής στο {010}, {100}
Θραύση	Κογχώδης
Φωτεινότητα	Φθορισμός, Σύντομο UV=κόκκινο, Μακρύ UV=κόκκινο.
Ραβδώσεις	Λευκές έως γκριζόλευκες.
Οπτ. Χαρακτήρας	Διάξων (+) 2V: 57° έως 90°
Μαγνητισμός	Μη μαγνητικό
Εμφάνιση	Μεταμορφωμένα πετρώματα.
Παρατηρήσεις	-

Η μερική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα σε υδατικό διάλυμα ευνοεί την παραγωγή του ανθοφυλλίτη. Ο ανάδρομος ανθοφυλλίτης υπάρχει συνήθως σε ζώνες διάτμησης όπου η θραύση και η διάτμηση των πετρωμάτων παρέχει αγωγό για ανθρακούχα ρευστά κατά την ανάδρομη μεταμόρφωση. Εξορύσσεται στη Φινλανδία και επίσης στο Matsubase της Ιαπωνίας. (<https://mindat.org>)

2.4. ΣΕΡΠΗΝΤΙΝΙΚΟΣ ΑΜΙΑΝΤΟΣ

Στον ελληνικό χώρο και γενικότερα η πιο διαδεδομένη μορφή αμιάντου είναι αυτή της ομάδας του σερπεντίνη και συγκεκριμένα του ορυκτού χρυσοτίλη. Ο χρυσοτίλης είναι ένα από τα τρία ορυκτά της ομάδας του σερπεντίνη, με τον αντιγορίτη και τον λιζαρδίτη να είναι τα άλλα δύο. Αυτά τα τρία ορυκτά λοιπόν θεωρείται ότι μοιράζονται τον ίδιο χημικό τύπο, κρυσταλλική δομή και ανήκουν στα φυλλοπυριτικά ορυκτά. (<https://www.wikipedia.org>)

2.4.1. ΧΡΥΣΟΤΙΛΗΣ

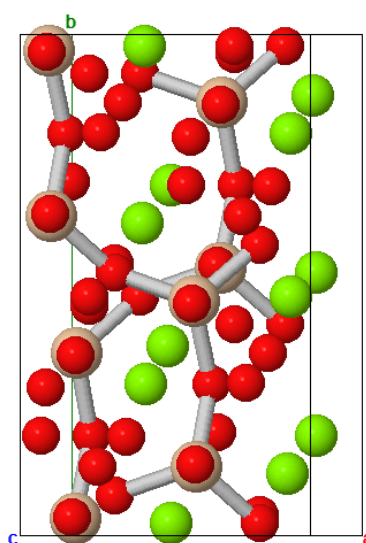
Ο χρυσοτίλης είναι η πιο κοινή μορφή αμιάντου και αντιπροσωπεύει περίπου το 95% του αμιάντου που χρησιμοποιείται παγκοσμίως (Σχ. 11). Έχει μια μοναδική καμπυλωτή και εύκαμπτη δομή ινών, η οποία τον διαφοροποιεί από τα ορυκτά αμιφιβολικού αμιάντου (Σχ. 12), όπως ο αμοσίτης, ο κροκιδόλιθος, ο ανθοφυλλίτης, ο τρεμολίτης και ο ακτινόλιθος. Λόγω αυτής της ιδιότητάς του, οι ίνες αυτές είναι εύκαμπτες, ανθεκτικές στη θερμότητα και στις χημικές ουσίες και γι' αυτό τον κατέστησαν ως πολύτιμο υλικό σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές (Πίν. 5). Αποτελείται κυρίως από μαγνήσιο, πυρίτιο και οξυγόνο. Συχνά αναφέρεται ως λευκός αμιάντος λόγω του ανοιχτόχρωμου χρώματός του. Επιπλέον ο χρυσοτίλης είναι δυνατόν να βρεθεί σε τρεις διαφορετικούς τύπους τον ορθοχρυσοτίλη, τον κλινοχρυσοτίλη και τον παραχρυσοτίλη. (<https://mindat.org>)



Σχήμα 11 Χρυσοτίλης Jeffrey Mine, Canada (<https://mindat.org>)

Πίνακας 5. Ιδιότητες του χρυσοσίλη.

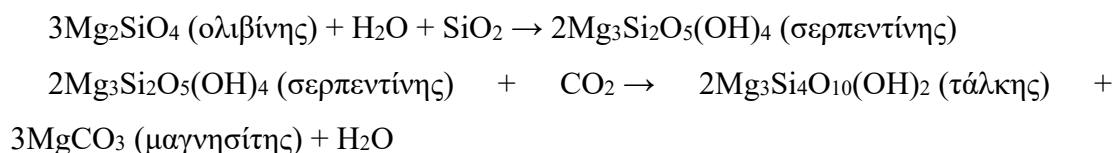
Όνομα	Χρυσοσίλης
Χημικός τύπος	$Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$
Χρώμα	Λευκό έως γκριζοπράσινο
Σύστημα κρυστάλλωσης	Μονοκλινές
Πλεοχροϊσμός	-
Σχήμα - μορφή	Ινώδη μορφή που βρίσκονται ως φλέβες σε σχηματισμούς σερπεντινίτη
Λάμψη	Μεταξώδης
Σκληρότητα	2½ στην κλίμακα Mohs
Αντοχή	Σημαντική εφελκυστική αντοχή
Σχισμός	-
Θραύση	Κογχώδη έως σφηνοειδή
Φωτεινότητα	Μη φθορίζουσα
Ραβδώσεις	Λευκές
Οπτ. Χαρακτήρας	Διάζων (+)
Μαγνητισμός	Μη μαγνητικό
Εμφάνιση	Μεταμορφωμένα πετρώματα.
Παρατηρήσεις	-



Σχήμα 12 Κρυσταλλική δομή του χρυσοσίλη (<https://mindat.org>)

2.4.2. ΑΝΤΙΓΟΡΙΤΗΣ

Ο αντιγορίτης συναντάται σε περιβάλλοντα χαμηλής θερμοκρασίας, υψηλής πίεσης (ή υψηλής παραμόρφωσης), συμπεριλαμβανομένων τόσο των εκτατικών όσο και των συμπιεστικών τεκτονικών καθεστώτων (Σχ. 13). Οι σερπεντινίτες που περιέχουν αντιγορίτη είναι συνήθως έντονα παραμορφωμένοι και παρουσιάζουν διακριτές υφές, ενδεικτικές της δυναμικής περιοχής όπου σχηματίστηκαν. Επιπρόσθετα οι σερπεντινίτες με αντιγορίτη έχουν συνήθως συνοδά ορυκτά μαγνητίτη, χλωρίτη και ανθρακικά άλατα (Σχ. 14). Ο ολιβίνης υπό υδροθερμική δράση, χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση και αποσάθρωση θα μετατραπεί σε αντιγορίτη, ο οποίος συχνά συνδέεται με τάλκη και ανθρακικά άλατα.



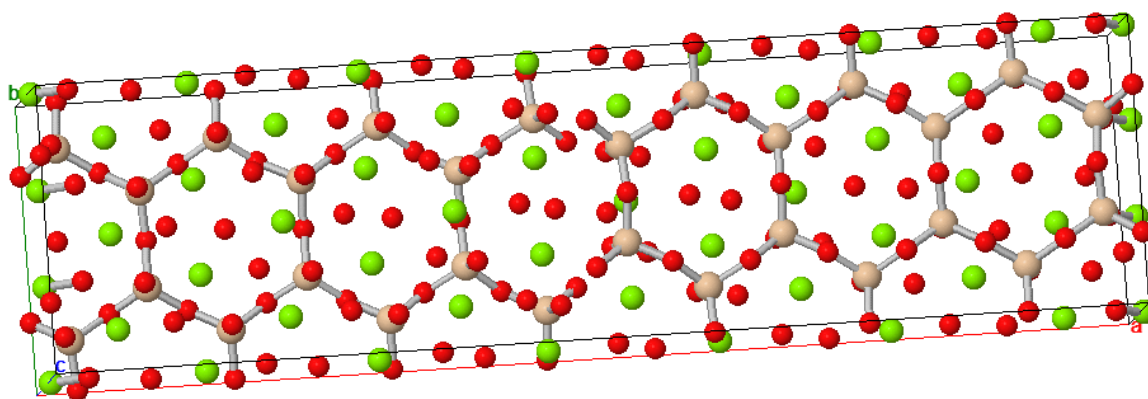
Επιπλέον ο αντιγορίτης χρησιμοποιείται ως πολύτιμος λίθος ή για γλυπτά, όταν εμφανίζεται καθαρός και ημιδιαφανής, αν και πολλοί κρύσταλλοι έχουν μαύρα στίγματα μαγνητίτη που αιωρούνται στο εσωτερικό τους (Πίν. 6). Οι πολύτιμοι λίθοι του αντιγορίτη είναι ο μποβενίτης (Bowenite) και ο βιλεμσίτης (Williamsite). Ο μποβενίτης, γνωστός από τον George T. Bowen, ο οποίος ανέλυσε πρώτος το ορυκτό, είναι ημιδιαφανής και ανοιχτό προς σκούρο πράσινο, συχνά στικτός με θολές λευκές κηλίδες και σκουρότερες φλέβες. Ο βιλεμσίτης είναι πολύ ημιδιαφανής και έχει μηλοπράσινο χρώμα. Μοιάζει κάπως με το νεφρίτη και κόβεται συχνά σε καμποσόν και χάντρες. (<https://mindat.org>)



Σχήμα 13 Αντιγορίτης από το νησί της Τήνου, Κυκλάδες, Ελλάδα (<https://mindat.org>)

Πίνακας 6. Ιδιότητες του αντιγορίτη.

Όνομα	Αντιγορίτης
Χημικός τύπος	$Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$
Χρώμα	Πράσινο, πράσινο-μπλε, λευκό, καφέ, μαύρο
Σύστημα κρυστάλλωσης	Μονοκλινές
Πλεοχροϊσμός	Άξονας (x): ανοιχτό πρασινοκίτρινο. Άξονας (y): ανοιχτό πράσινο. Άξονας (z): ανοιχτό πράσινο.
Σχήμα - μορφή	Ογκώδης ή ινώδης κρύσταλλοι, ανάλογα με την προέλευση και τις συνθήκες ανάπτυξης.
Λάμψη	Υαλώδης
Σκληρότητα	3½ - 4 στην κλίμακα Mohs
Αντοχή	Ισχυρή αντοχή σε όξινες συνθήκες
Σχισμός	Διακριτός/Καλός [001] καλός
Θραύση	Ακιδωτή
Φωτεινότητα	Μη φθορίζουσα
Ραβδώσεις	Πρασινόλευκες
Οπτ. Χαρακτήρας	Διάξων (-) 2V: 20° έως 50°
Μαγνητισμός	Μη μαγνητικό
Εμφάνιση	Συνήθως σε περιφερειακούς και μεταμορφωμένους σε επαφή σερπεντινίτες
Παρατηρήσεις	-



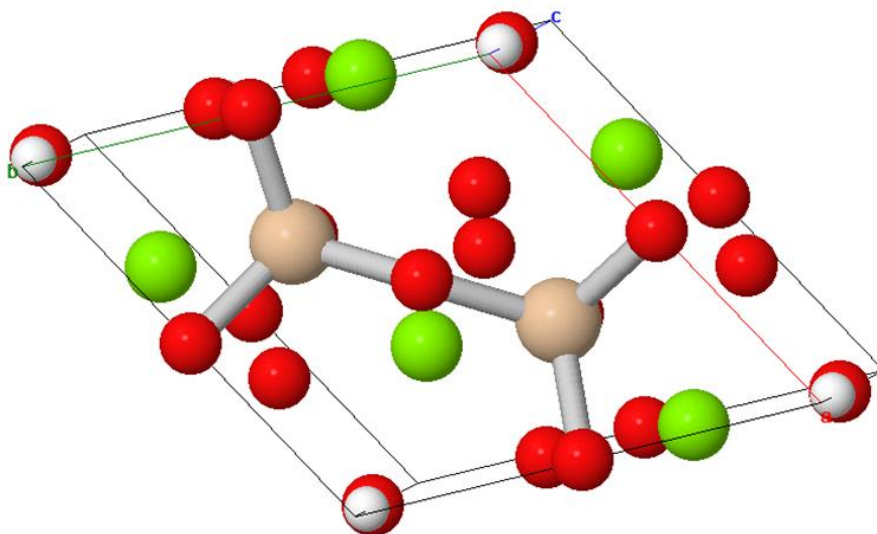
Σχήμα 14 Κρυσταλλική δομή του αντιγορίτη (<https://mindat.org>)

2.4.3. ΛΙΖΑΡΔΙΤΗΣ

Ο εξαιρετικά λεπτόκοκκος, φολιδωτός λιζαρδίτης (που ονομάζεται επίσης ορθοαντιγορίτης) περιλαμβάνει μεγάλο μέρος του σερπεντίνη που υπάρχει στα σερπεντινικά μάρμαρα (Σχ. 15). Είναι τρικλινικός, έχει μία κατεύθυνση τέλει διάσπασης και μπορεί να είναι λευκός, κίτρινος ή πράσινος (Σχ. 16). Ο λιζαρδίτης είναι ημιδιαφανής και μαλακός και μπορεί να είναι ψευδομορφικός μετά από ενστατίτη, ολιβίνη ή πυρόξено, οπότε μερικές φορές χρησιμοποιείται η ονομασία μπαστίτης (Πίν. 7). Ο μπαστίτης μπορεί να έχει μεταξένια λάμψη. Ο λιζαρδίτης είναι συνήθως αποτέλεσμα της υδροθερμικής μεταμόρφωσης ή της ανάδρομης μεταμόρφωσης των βασικών ορυκτών, όπως ο ολιβίνης, ο πυρόξενος ή ο αμφίβολος, σε υπερβασικά πετρώματα. Βρίσκεται συνήθως σε οφειολιθικές μάζες και συχνά συνυπάρχει με βρουσίτη. Επίσης, συναντάται με μαγνητίτη και τα άλλα ορυκτά του σερπεντίνη. (<https://mindat.org>)



Σχήμα 15 Λιζαρδίτης, Acquasaliente Creek, Contrade Maglio-Pornaro, Val Munari, Tretto, Schio, Vicenza Province, Veneto, Italy (<https://mindat.org>)



Σχήμα 16 Κρυσταλλική δομή του λιζαρδίτη (<https://mindat.org>)

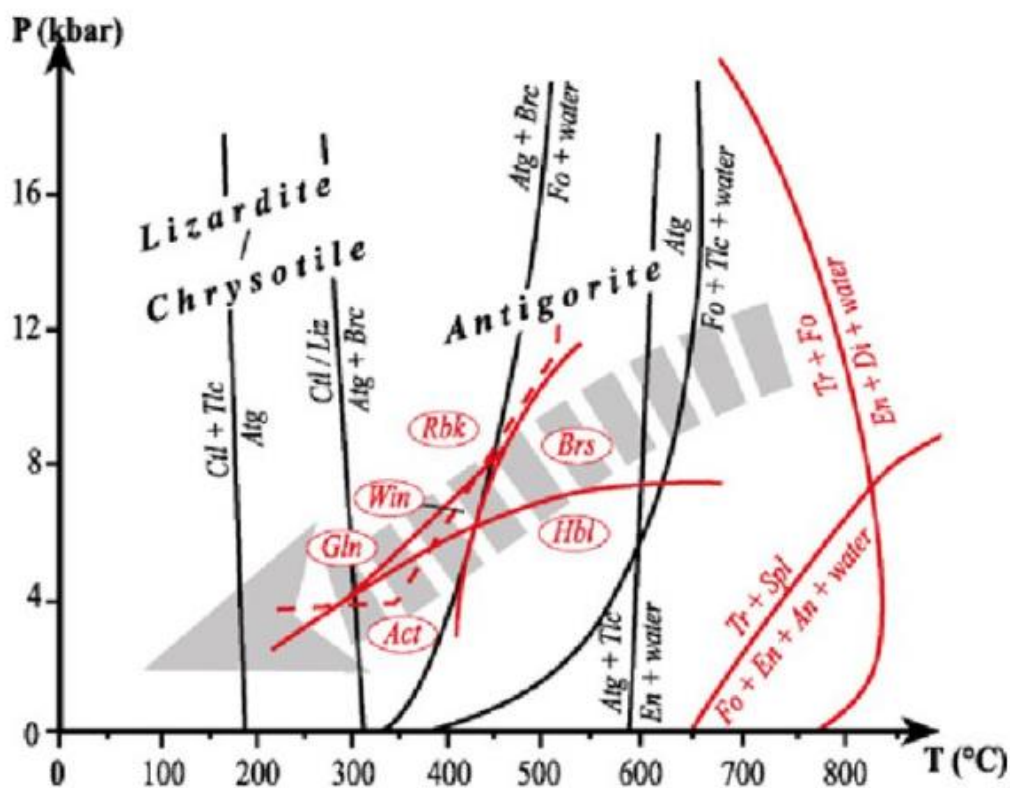
Πίνακας 7. Ιδιότητες του λιζαρδίτη.

Όνομα	Λιζαρδίτης
Χημικός τύπος	$Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$
Χρώμα	Πράσινο, καφέ, ανοιχτό κίτρινο έως λευκό
Σύστημα κρυστάλλωσης	Τριγωνικό
Πλεοхроϊσμός	Απουσία
Σχήμα - μορφή	Συνήθως πρισματικά και σχήμα κυλινδρικό
Λάμψη	Ρητινώδης, κηρώδης, λιπαρή
Σκληρότητα	2½ στην κλίμακα Mohs
Αντοχή	Ευέλικτη
Σχισμός	Τέλειος {001}
Θραύση	Ακανόνιστη/Ανομοιόμορφη, Κωνοειδής, Υπο-Κωνοειδής
Φωτεινότητα	Μη φθορίζουσα
Ραβδώσεις	Λευκές
Οπτ. Χαρακτήρας	Διάζων (-)
Μαγνητισμός	Μη μαγνητικό
Εμφάνιση	Προϊόν οπισθοδρομικής μεταμόρφωσης, αντικαθιστώντας τον ολιβίνη, τον ορθοπυρόξενο (ενστατίτης) ή άλλα ορυκτά σε υπερμαφικά πυριγενή πετρώματα.
Παρατηρήσεις	-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΜΙΑΝΤΟΥ

Οι πιο συχνές αμιαντόμορφες εμφανίσεις ορυκτών είναι αυτής της ομάδας του σερπεντίνη σε αντίθεση με τα ορυκτά της αμφίβολου τα οποία απαντώνται πιο πολύ στην φύση. Έτσι ο πιο συνήθης τύπος αμιάντου είναι ο σερπεντινικός αμιάντος, δηλαδή ινώδης χρυσοτίλης. Είναι ο μόνος τύπος που εξακολουθεί να εισάγεται στις ΗΠΑ σήμερα. Ο σερπεντινικός αμιάντος μπορεί να βρεθεί σχεδόν στο 95% των κτιρίων σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες και πάνω από το 90% της παγκόσμιας παραγωγής ιστορικά.

Σύμφωνα με τους Vignaroli et al (2019), η δημιουργία σερπεντινικού αμιάντου αποτελεί μέρος της διαδικασίας σερπεντινίωσης (Σχ. 17). Ο σερπεντινίτης είναι ένας τύπος μεταμορφωμένου πετρώματος που σχηματίζεται μέσω της μεταμόρφωσης πετρωμάτων πλούσιων σε μαγνήσιο, ιδίως εκείνων που περιέχουν ορυκτά όπως ολιβίνη, πυρόξено και αμφίβολο. Η μεταμόρφωση είναι η διαδικασία κατά την οποία τα πετρώματα υφίστανται αλλαγές στην ορυκτολογία, την υφή και μερικές φορές στη χημική τους σύνθεση λόγω υψηλής θερμοκρασίας, πίεσης ή άλλων γεωλογικών διεργασιών.



Σχήμα 17. Συνθήκες σχηματισμού των ορυκτών του σερπεντίνη κατά Billi et al. (2019)

Ακολουθεί ο τρόπος με τον οποίο δημιουργείται συνήθως ο σερπεντίνης (σερπεντινίωση):

1)Σχηματισμός μητρικού πετρώματος: Ο σερπεντίνης προέρχεται από πετρώματα που είναι πλούσια σε ορυκτά του μαγνησίου και σιδήρου. Τα συνήθη μητρικά πετρώματα περιλαμβάνουν τον περιδοτίτη, τον δουνίτη και τον βασάλτη, τα οποία έχουν υψηλές συγκεντρώσεις των ορυκτών που τελικά θα γίνουν σερπεντίνης.

2)Υποβύθιση ή θερμότητα και πίεση: Το μητρικό πέτρωμα υφίσταται μια διαδικασία που ονομάζεται υποβύθιση ή εκτίθεται σε υψηλές θερμοκρασίες και πίεση εντός του φλοιού της Γης. Η υποβύθιση συμβαίνει όταν μια τεκτονική πλάκα ωθείται κάτω από μια άλλη, μεταφέροντας το μητρικό πέτρωμα στα βαθύτερα τμήματα της Γης.

3)Ενυδάτωση και μεταμόρφωση: Το μητρικό πέτρωμα εκτίθεται σε υδροθερμικά ρευστά (νερό και άλλα ορυκτά) ή σε μεταμόρφωση υψηλής θερμοκρασίας. Τα ορυκτά του μητρικού πετρώματος, όπως ο ολιβίνης, ο πυρόξενος και ο αμφίβολος, αντιδρούν με το νερό και υφίστανται μια διαδικασία γνωστή ως σερπεντινίωση. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τη μετατροπή αυτών των ορυκτών σε ορυκτά του σερπεντίνης (αντιγορίτης, χρυσοτίλης) και άλλα ενυδατωμένα ορυκτά. Έτσι ο ολιβίνης μετατρέπεται σε σερπεντίνη με κυψελώδη δομή ενώ οι πυρόξενοι, χλωρίτης, αμφίβολοι και ο τάλκης σε βασίτες αποτελούμενους κυρίως από λιζαρδίτη με πιθανή παρουσία χρυσοτίλη. Παραπροϊόντα της ανάδρομης αυτής διαδικασίας είναι ο μαγνητίτης και ο βρουσίτης.

4)Σχηματισμός σερπεντίνης: Τα ορυκτά του σερπεντίνης σχηματίζονται ως αποτέλεσμα των χημικών αντιδράσεων μεταξύ των ορυκτών του μητρικού πετρώματος και του νερού. Αυτά τα νεοσχηματιζόμενα ορυκτά του σερπεντίνης έχουν χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα και κηρώδη ή λιπαρή εμφάνιση.

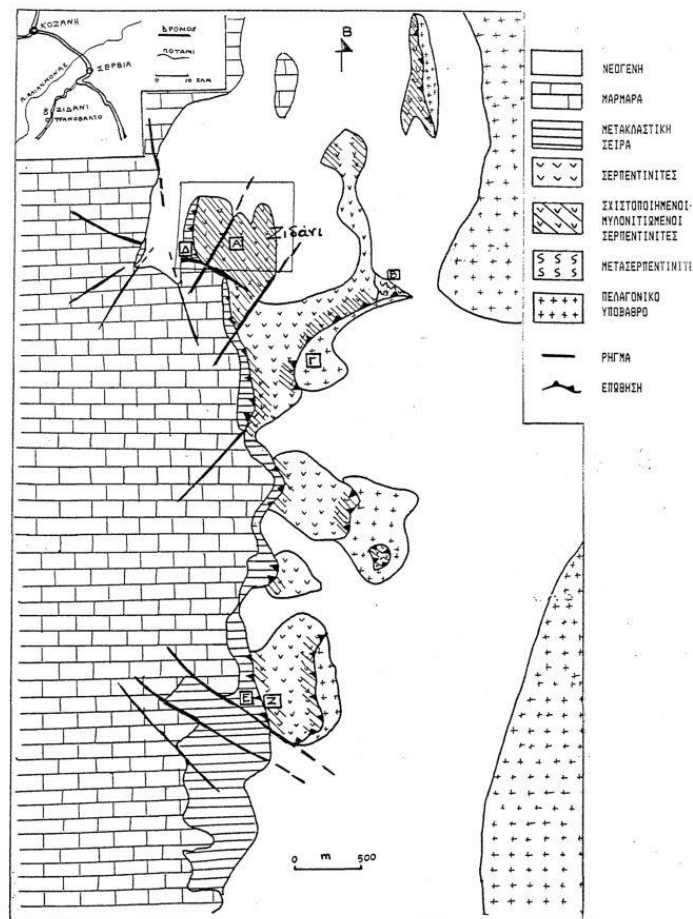
5)Ψύξη και στερεοποίηση: Με την πάροδο του χρόνου, τα νεοσχηματισμένα ορυκτά του σερπεντίνης ψύχονται και στερεοποιούνται μέσα στο φλοιό της Γης, δημιουργώντας φλέβες, θύλακες ή μεγαλύτερους σχηματισμούς πετρωμάτων σερπεντίνης.

Το προκύπτον σερπεντινικό πέτρωμα είναι συνήθως πράσινο, με παραλλαγές στο χρώμα και την υφή ανάλογα με τα συγκεκριμένα ορυκτά που υπάρχουν, το βαθμό μεταμόρφωσης και άλλους γεωλογικούς παράγοντες. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο σχηματισμός του σερπεντίνης είναι μια πολύπλοκη γεωλογική διαδικασία που επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες και οι ακριβείς συνθήκες μπορεί να διαφέρουν σε διαφορετικά γεωλογικά περιβάλλοντα.

Σε αντίθεση με τον σερπεντινικό αμianto, ο αμιφβολικός αμιάντος είναι σχετικά περιορισμένης εμφάνισης, ο αμοσίτης και ο κροκιδόλιθος σχηματίζονται σε θερμικά μεταμορφωμένα πετρώματα, με υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο. Επίσης για το σχηματισμό κροκιδόλιθου πρέπει να είναι πλούσιο σε νάτριο ενώ για να σχηματιστεί αμοσίτης πρέπει το πέτρωμα να είναι πλούσιο σε μαγνήσιο. Σε κάθε περίπτωση οι ίνες αμιάντου σχηματίζονται από ανακρυστάλλωση των μη αμιαντόμορφων αντίστοιχων ορυκτών, του γρουνερίτη για τον αμοσίτη και του ρειβεκίτη για τον κροκιδόλιθο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΑΜΙΑΝΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η Ελλάδα ήταν κατά τις περασμένες δεκαετίες μία από τις σημαντικότερες χώρες εξόρυξης και παραγωγής προϊόντων αμιάντου, καταλαμβάνοντας την 7η θέση στον κόσμο. Κοιτάσματα αμιάντου υπάρχουν στην Ελλάδα στη Δυτική Μακεδονία και στην Ήπειρο. Το μεγαλύτερο κοιτάσμα βρίσκεται στο Ζιδάνι του νομού Κοζάνης, όπου άρχισε να εξορύσσεται τη δεκαετία του '70 (Σχ. 18). Σύμφωνα με τον Καρκάνα (1987), πρόκειται για ένα κοιτάσμα χρυσοτιλικού αμιάντου, το οποίο είναι το μοναδικό κοιτάσμα αμιάντου με εμπορική εκμετάλλευση στη χώρα. Το κοιτάσμα αυτό εντοπίστηκε για πρώτη φορά το 1935, ενώ το 1977 δοθήκαν τα δικαιώματα εκμετάλλευσης στην εταιρία MABE (Μεταλλείων Αμιάντου Βορείου Ελλάδος) θυγατρική της ETBA και το 1981 άρχισε η παραγωγική λειτουργία του (Σχ. 19).



ΧΑΡΤΗΣ 4. Γεωλογικός χάρτης περιοχής Ζιδανίου. Για την χαρτογράφηση χρησιμοποιήθηκαν προσωπικές παρατηρήσεις καθώς και στοιχεία από το χαρτογραφημένο φύλλο "ΛΙΒΑΔΙ" (1:50,000) των Μαυρίδη & Κελεπερτζή (1982) και από χαρτογραφήσεις μεταλλεολόγων της MABE.

Σχήμα 18 Χάρτης της περιοχής Ζιδανίου

Τα βέβαια αποθέματα του κοιτάσματος είναι 90 εκατ. τόνοι πάνω από την στάθμη της θάλασσας κατά 500m, με περιεκτικότητα του πετρώματος σε χρυσοτίλη 3% και με μέση αποληψιμότητα ινών 2,63% (Σχ. 20). Είχε προβλεφθεί ότι η ετήσια παραγωγή του αμιάντου θα μπορούσε να φτάσει τους 100.000 τόνους ωστόσο όμως λόγω της επίδρασης του στην δημοσιά υγεία δεν επιτράπηκε η παραγωγή σε τέτοιο βαθμό. Οι φλέβες αμιάντου αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από χρυσοτίλη, λευκό έως λευκοπράσινο, μεταξώδης υφή, ο οποίος σχηματίζει συσσωματώματα ινών.



Σχήμα 19 Εργοστάσιο Επεξεργασίας των MABE στο Ζιδάνι της Κοζάνης

Το κοιτάσμα του χρυσοτιλικού αμιάντου στο Ζιδάνι βρίσκεται μέσα σε σερπεντινωμένους περιδοτίτες, που βρίσκονται τεκτονικά τοποθετημένοι στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο της περιοχής των Καμβουνίων. Το πέτρωμα που φιλοξενεί το κοιτάσμα έχει διαστάσεις 1.000 μέτρων μήκος επί 600 μέτρων πλάτος, το οποίο είναι μέρος ενός μεγαλύτερου σερπεντινίτη με μέγεθος 5χλμ. σε μήκος και πλάτος που κυμαίνεται από 2χλμ. στο βόρειο κομμάτι έως 500 μέτρα στο νότιο. Ο σερπεντινίτης αυτός διακρίνεται σε μαζώδη, σε σχιστώδη και σε μυλωνιτωμένο. Στην περιοχή του ορυχείου επικρατεί ο σχιστώδης σερπεντινίτης.



Σχήμα 20 Μεταλλείο Αμιάντου MABE (Ζιδάνι)

Η μορφή των ινών του χρυσοτίλη στο κοίτασμα είναι στην πλειοψηφία στην κατηγορία slip-fiber αν και παρατηρούνται μικρές αμιαντόμορφες φλέβες κατηγορίας cross-fiber που αναπτύσσονται σε λεπτές ρωγμές μέσα στα ατρακτοειδή σώματα του σερπεντίνη. Cross-fiber ονομάζονται τα κοιτάσματα εκείνης της κατηγορίας, που οι ίνες αμιάντου αναπτύσσονται μέσα σε διακλάσεις κάθετα στα τοιχώματά τους. Η άλλη κύρια μορφή φλεβών χρυσοτιλικού αμιάντου είναι η slip-fiber, όπου οι ίνες αναπτύσσονται παράλληλα με τα τοιχώματα της ασυνέχειας που τις φιλοξενεί. Σύμφωνα με τον Karkanis (1995) στο παρών κοίτασμα, το slip-fiber προήρθε από ένα cross-fiber το οποίο λόγω τεκτονικής επίδρασης στη συνέχεια, ανέπτυξε χρυσοτίλη παράλληλα με τα τοιχώματα των φλεβών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΜΙΑΝΤΟΥ

Οι ίνες αμιάντου έχουν χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών εφαρμογών. Κατά την περίοδο αιχμής της κατανάλωσης αμιάντου στις βιομηχανικές χώρες, έχουν καταγραφεί περίπου 3000 εφαρμογές ή τύποι προϊόντων σύμφωνα με τον Virta (2002). Λόγω των πρόσφατων περιορισμών και των αλλαγών στις αγορές τελικής χρήσης, οι περισσότερες από αυτές τις εφαρμογές έχουν εγκαταλειφθεί και οι υπόλοιπες συνεχίζονται υπό αυστηρά ρυθμιζόμενες συνθήκες. Οι κύριες ιδιότητες των ινών αμιάντου που μπορούν να αξιοποιηθούν σε βιομηχανικές εφαρμογές είναι η θερμική, ηλεκτρική και ηχητική μόνωσή τους, η αναφλεξιμότητα, η ενίσχυση της μήτρας (τσιμέντο, πλαστικό και ρητίνες), η ικανότητα προσρόφησης (διήθηση, αποστείρωση υγρών), η φθορά και ιδιότητες τριβής (υλικά τριβής)- και χημική αδράνεια (εκτός από τα οξέα). Οι ιδιότητες αυτές έχουν οδηγήσει σε διάφορες κύριες κατηγορίες βιομηχανικών προϊόντων ή εφαρμογών (Σχ. 21).

Uses of Asbestos



Σχήμα 21 Χρήσεις του αμιάντου (<https://humanfocus.co.uk/blog/asbestos-and-its-common-uses/>)



Οι κυριότερες εφαρμογές και προϊόντα για το κάθε ορυκτό αμιάντου είναι δίνονται αναλυτικά παρακάτω:

Από την ομάδα των αμφιβόλων:

1. Κροκιδόλιθος

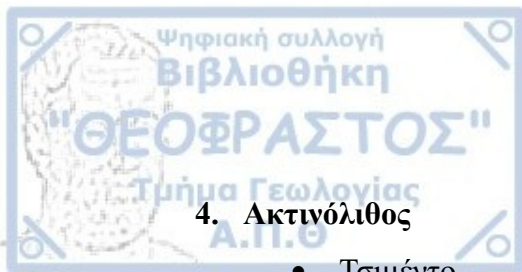
- Τσιμέντο
- Φίλτρα τσιγάρων
- Πλακάκια δαπέδου και οροφής
- Μόνωση
- Κεραμίδια στέγης

2. Αμοσίτης

- Ακουστική μόνωση
- Πλακάκια οροφής
- Τσιμέντο
- Χημική μόνωση
- Ηλεκτρική μόνωση
- Πυράντοχα προϊόντα
- Φλάντζες
- Πλάκες μόνωσης
- Εξαρτήματα σωληνώσεων
- Προϊόντα στέγασης
- Δομικός χάλυβας
- Προϊόντα θερμομόνωσης

3. Τρεμολίτης

- Βαφές τοίχων
- Υδραυλικά
- Κεραμίδια στέγης
- Στεγανωτικά
- Ταλκ και προϊόντα ταλκ
- Μόνωση Ζονολίτη



4. Ακτινόλιθος

- Τσιμέντο
- Γυψοσανίδα
- Μόνωση
- Βαφές τοίχων
- Στεγανωτικά

5. Ανθοφυλλίτης

- Τσιμέντο
- Μόνωση

➤ Από την ομάδα του σερπεντίνη:

1. Χρυσοτίλης

- Ασφαλτος
- Τσιμέντο
- Τσιμεντόφυλλα
- Συμπλέκτες
- Τακάκια δίσκων
- Συνδέσεις αγωγών
- Φρένα ανελκυστήρων
- Χαρτί
- Πλαστικά είδη
- Στεγανοποιητικά στέγης
- Σφραγίδες για κλίβανους
- Κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα

2. Αντιγορίτης

- Τσιμέντο
- Χημική μόνωση
- Ηλεκτρική μόνωση



- Πυροπροστασία
- Φλάντζες
- Μονωτικές πλάκες
- Υδραυλική μόνωση
- Στέγαση
- Θερμική μόνωση
- Πλακάκια

3. Λιζαρδίτης

- διακοσμητικά αντικείμενα
- χάντρες για κοσμήματα

(<https://www.asbestos.com/asbestos/types>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΜΙΑΝΤΟΣ & ΥΓΕΙΑ

Η σχέση μεταξύ της έκθεσης στο χώρο εργασίας στις αερομεταφερόμενες ίνες αμιάντου και των αναπνευστικών ασθενειών είναι ένα από τα πιο ευρέως μελετημένα θέματα σύγχρονης επιδημιολογίας. Ο αμιάντος είναι μια φυσική ορυκτή ίνα που κάποτε χρησιμοποιήθηκε συνήθως σε διάφορα δομικά υλικά και προϊόντα λόγω της αντοχής στη θερμότητα και των μονωτικών ιδιοτήτων του. Ωστόσο, εκτεταμένη έρευνα έχει δείξει ότι η έκθεση στον αμιάντο μπορεί να εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους για την υγεία.

Όταν τα υλικά που περιέχουν αμιάντο διαταραχθούν ή καταστραφούν, οι μικροσκοπικές ίνες αμιάντου μπορούν να μεταφερθούν στον αέρα και να εισπνευστούν ή να καταποθούν. Μόλις εισέλθουν στο σώμα, αυτές οι ίνες μπορούν να παγιδευτούν στους πνεύμονες, την κοιλιά ή άλλους ιστούς, προκαλώντας μακροπρόθεσμα προβλήματα υγείας. Η λανθάνουσα περίοδος μεταξύ της έκθεσης στον αμιάντο και της εμφάνισης σχετικών ασθενειών μπορεί να είναι αρκετές δεκαετίες.

Ακολουθούν ορισμένες από τις ανησυχίες για την υγεία που σχετίζονται με την έκθεση στον αμιάντο: (https://www.atsdr.cdc.gov/asbestos/health_effects_asbestos.html)

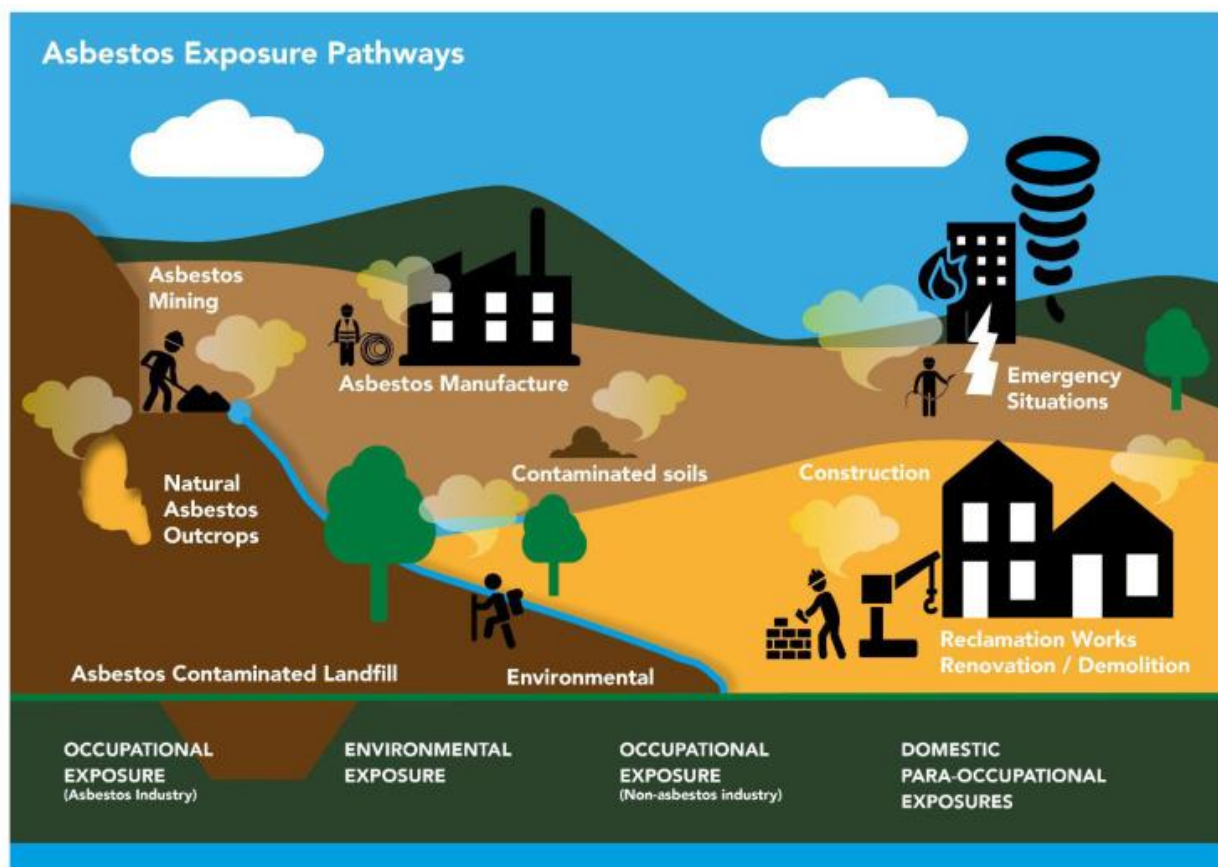
Αμιάντωση: Η έκθεση στον αμιάντο μπορεί να προκαλέσει ουλές στους πνεύμονες (ίνωση) γνωστή ως αμιάντωση. Τα συμπτώματα περιλαμβάνουν δύσπνοια, επίμονο βήχα, σφίξιμο στο στήθος και δυσκολία στην αναπνοή.

Καρκίνος του πνεύμονα: Η έκθεση στον αμιάντο αυξάνει σημαντικά τον κίνδυνο ανάπτυξης καρκίνου του πνεύμονα. Αυτός ο κίνδυνος αυξάνεται περαιτέρω σε άτομα που επίσης καπνίζουν.

Μεσοθηλίωμα: Το μεσοθηλίωμα είναι ένας σπάνιος και επιθετικός καρκίνος που επηρεάζει την επένδυση των πνευμόνων, της κοιλιάς ή της καρδιάς. Προκαλείται κυρίως από την έκθεση στον αμιάντο και έχει κακή πρόγνωση. (<https://www.mesothelioma.com/asbestos-exposure/types-of-asbestos/#author-bio>).

6.2. ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΤΟ ΑΜΙΑΝΤΟ ΚΑΙ ΠΡΟΛΗΨΗ

Η έκθεση στον αμίαντο μπορεί να συμβεί μέσω διαφόρων οδών και είναι σημαντικό αυτές να γίνουν κατανοητές για να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι που σχετίζονται με την έκθεση στον αμίαντο (Σχ. 22).



Σχήμα 22 Τρόποι έκθεσης στο αμίαντο (Berry et al., 2022)

Ακολουθούν οι πιο συνήθεις τρόποι έκθεσης στον αμίαντο κατά Berry et al. (2022).

1. Επαγγελματική έκθεση:

Οι εργαζόμενοι σε ορισμένες βιομηχανίες, όπως οι κατασκευές, η ναυπηγική, η εξόρυξη, η κατασκευή και η εγκατάσταση μόνωσης, ενδέχεται να έρθουν σε άμεση επαφή με ίνες αμιάντου κατά τη διάρκεια των εργασιακών τους δραστηριοτήτων. Αυτή η έκθεση μπορεί να συμβεί κατά το χειρισμό, την κοπή ή την αφαίρεση υλικών που περιέχουν αμίαντο.

2. Περιβαλλοντική Έκθεση:

Οι άνθρωποι που ζουν κοντά σε ορυχεία αμιάντου, εργοστάσια ή περιοχές με φυσικά αποθέματα αμιάντου μπορεί να εκτεθούν σε ίνες αμιάντου μέσω της μόλυνσης του αέρα, του νερού ή του εδάφους. Οι ίνες αμιάντου μπορούν να απελευθερωθούν στο περιβάλλον κατά την εξόρυξη, την κατασκευή ή τη διάσπαση υλικών που περιέχουν αμίαντο.

3. Ανακαίνιση σπιτιού:

Οι ιδιοκτήτες σπιτιού και τα άτομα που εκτελούν ανακαινίσεις, επισκευές ή αναδιαμόρφωση σε παλαιότερα κτίρια ενδέχεται να καταστρέψουν εν αγνοία τους τα υλικά που περιέχουν αμίαντο. Αυτά τα υλικά μπορούν να απελευθερώσουν ίνες αμιάντου στον αέρα, οι οποίες μπορούν να εισπνευστούν κατά τη διαδικασία ανακαίνισης.

4. Δευτερεύουσα έκθεση:

Τα μέλη της οικογένειας ατόμων που εργάζονται με αμίαντο ενδέχεται να διατρέχουν κίνδυνο έκθεσης. Οι ίνες αμιάντου μπορούν να μεταφερθούν στο σπίτι με ρούχα εργασίας, παπούτσια ή εργαλεία, θέτοντας δυνητικά σε κίνδυνο άλλους στο νοικοκυριό.

5. Αμίαντος σε καταναλωτικά προϊόντα:

Ο αμίαντος χρησιμοποιήθηκε ιστορικά σε διάφορα καταναλωτικά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένων των φρένων, των επενδύσεων συμπλέκτη, των παρεμβυσμάτων και ορισμένων υφασμάτων. Τα άτομα που εργάζονται ή χρησιμοποιούν αυτά τα προϊόντα μπορεί να εκτεθούν σε ίνες αμιάντου.

6. Φυσική έκθεση στον αμίαντο:

Ορισμένες περιοχές έχουν φυσικές αποθέσεις αμιάντου και οι άνθρωποι που ζουν σε αυτές τις περιοχές μπορεί να εκτεθούν σε ίνες αμιάντου μέσω του εδάφους, του νερού ή του αέρα. Δραστηριότητες όπως οι κατασκευές, η εξόρυξη ή η γεωργία σε αυτές τις περιοχές μπορεί να διαταράζουν τα φυσικά κοιτάσματα αμιάντου.

7. Σχολεία και δημόσια κτίρια:

Τα υλικά που περιέχουν αμιάντο χρησιμοποιούνταν συνήθως στην κατασκευή σχολείων και δημόσιων κτιρίων πριν γίνουν καλά κατανοητοί οι κίνδυνοι για την υγεία. Η διαταραχή ή η φθορά αυτών των υλικών μπορεί να απελευθερώσει ίνες αμιάντου στον αέρα, θέτοντας σε κίνδυνο τα άτομα που βρίσκονται στο συγκεκριμένο χώρο.

Η πρόληψη και ο σωστός χειρισμός του αμιάντου είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση των κινδύνων για την υγεία. Τα υλικά που περιέχουν αμιάντο θα πρέπει να αντιμετωπίζονται προσεκτικά και, εάν είναι δυνατόν, να αφαιρούνται ή να εγκλωβίζονται σε κάψουλα από επαγγελματίες που είναι εκπαιδευμένοι στη μείωση του αμιάντου. Η επαγγελματική έκθεση στον αμιάντο θα πρέπει να ελαχιστοποιείται μέσω κατάλληλων μέτρων ασφαλείας και κανονισμών σε χώρους εργασίας όπου υπάρχει αμιάντος. Επιπλέον, τα άτομα θα πρέπει να αποφεύγουν τα ενοχλητικά υλικά που περιέχουν αμιάντο και να ακολουθούν τις οδηγίες ασφαλείας εάν υποψιάζονται ότι υπάρχει αμιάντος στα σπίτια ή στους χώρους εργασίας τους.

Οι τακτικοί έλεγχοι υγείας και η έγκαιρη ανίχνευση ασθενειών που σχετίζονται με τον αμιάντο μπορούν να οδηγήσουν σε πιο αποτελεσματική θεραπεία και βελτιωμένα αποτελέσματα για όσους επηρεάζονται από την έκθεση στον αμιάντο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Καρκάνας, Παναγιώτης (1987). Μελέτη του Κοιτάσματος Χρυσοτιλικού Αμιάντου Ζιδανίου Κοζάνης και της εμφάνισης Τρεμολιτικού Αμιάντου Άνω Αγόριανης Οθρύος., Διδ. Διατρ., Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ), σ.138-168.

Οικονομίδης, Σταυρός Π. (2020). Μελέτη των ορυκτών αμιάντου και τρόποι ανίχνευσης των ινών τους στο περιβάλλον., Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ., σ.13-44.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Berry T.-A., Belluso E., Vigliaturo R., Gieré R., Emmett E. A., Testa J. R., Steinhorn G. and Wallis S. L. (2022). Asbestos and Other Hazardous Fibrous Minerals: Potential Exposure Pathways and Associated Health Risks, Int J Environ Res Public Health, 19(7), pp 4031 4031. doi: 10.3390/ijerph19074031.-

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

Vignaroli G, Rossetti F., Billi A., Theye T. and Belardi G. (2019). Structurally controlled growth of fibrous amphibole in tectonised metagabbro: constraints on asbestos concentration in non-serpentinised rocks., Journal of the Geological Society. London, 177, 103-119.

Virta R. L. (2002), Asbestos: Geology, Mineralogy, Mining, and Uses. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Open-File Report 02-149, pp. 28.

Ιστοχώροι

https://www.atsdr.cdc.gov/asbestos/health_effects_asbestos.html

<https://www.mesothelioma.com/asbestos-exposure/types-of-asbestos/#author-bio>.

<https://www.asbestos.com/asbestos/types/> Last Modified August 7, 2023

<https://www.mindat.org>

<https://www.wikipedia.org>,

<https://www.123rf.com>

<https://humanfocus.co.uk/blog/asbestos-and-its-common-uses/>