



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΚΟΥΤΕΛΙΔΟΥ ΕΥΔΟΞΙΑ

ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΕΣ : ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ, ΧΡΗΣΕΙΣ, ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ
ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2024





ΚΟΥΤΕΛΙΔΟΥ ΕΥΔΟΞΙΑ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ:5966

ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΕΣ : ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ, ΧΡΗΣΕΙΣ, ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-
Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων

Καντηράνης Νικόλαος, Καθηγητής



© Κουτελίδου Ευδοξία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΕΣ : ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ, ΧΡΗΣΕΙΣ, ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ – *Πτυχιακή Εργασία*

© Koutelidou Evdoxia, School of Geology, Dept. of Mineralogy, Petrology, Economic Geology 2024

All rights reserved.

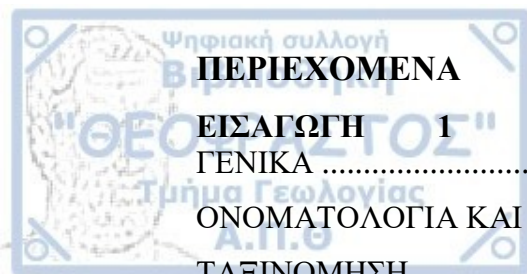
MICAS : PROPERTIES, USES, DEPOSITS AND WORLD PRODUCTION – *Bachelor Thesis*

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/Mica>





ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

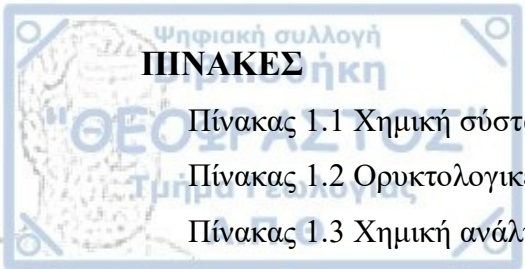
ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1

ΓΕΝΙΚΑ	1
ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ	1
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	2
ΤΥΠΟΙ ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΩΝ	3
Ομάδα μαρμαρυγιών	3
Μοσχοβίτης	3
Παραγωνίτης	3
Φλογοπίτης	4
Βιοτίτης	4
Λεπιδόλιθος	4
Ομάδα κλιντονιτών	6
Μαργαρίτης	6
Χλωριτοειδής	6
Ομάδα Χλωριτών	6
Ομάδα Βερμικουλίτη	7
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΩΝ	8
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΩΝ	8
ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΩΝ	9
Φύλλα μαρμαρυγία (<i>sheet mica</i>)	9
Τρίμματα μαρμαρυγία (<i>ground mica</i>)	10
Τρίμματα μαρμαρυγία ξηρού τύπου (<i>dry-ground mica</i>)	11
Τρίμματα μαρμαρυγία υγρού τύπου (<i>wet-ground mica</i>)	11
Συνθετικοί μαρμαρυγίες (<i>build-up mica – micanite</i>)	12
Αναδομημένοι μαρμαρυγίες (<i>mica paper</i>)	12
ΧΡΗΣΕΙΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	13
Ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές εφαρμογές	13
Θερμικές και μηχανικές εφαρμογές	14
Οπτικά και θερμικά προστατευτικά	14
Ελικοειδείς σπείρες – πηνία	14
Φίλτρα χυτηρίων	14
Εφαρμογές – χρήσεις ξηρού τύπου τριμμάτων μαρμαρυγία	15
Βιομηχανία τσιμέντων	15

Βιομηχανία βαφών και χρωστικών.....	15
Βιομηχανία πλαστικών	15
Βιομηχανία διατηρητικών πολτών.....	16
Λοιπές εφαρμογές.....	16
Εφαρμογές – χρήσεις υγρού τύπου τριμμάτων μαρμαρυγία	16
Εφαρμογές – χρήσεις σύνθετων μαρμαρυγιών.....	17
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΩΝ	18
ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΩΝ.....	18
ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΞΟΡΥΞΗΣ.....	18
Έρευνα και εξόρυξη φύλλων μαρμαρυγία (<i>sheet mica</i>)	19
Έρευνα και εξόρυξη τριμμάτων μαρμαρυγία (<i>flake mica</i>).....	20
ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ	20
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	21
ΠΑΡΑΓΩΓΗ & ΠΡΟΒΛΕΨΗ	23
ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ.....	23
ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	25
Παγκόσμια παραγωγή	25
Τιμές	30
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ.....	31
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	32
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ33	

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1.1 Σχηματική απεικόνιση της δομής των μαρμαρυγιών – Τομή κάθετη στο σχισμό (001) (Κατερινόπουλος 2008).	1
Σχήμα 4.1 Διαγραμματική απεικόνιση της παραγωγής σημαντικών χωρών και συνολικής παγκόσμιας παραγωγής για τα έτη 2013-2021.....	25
Σχήμα 4.2 Διαγραμματική απεικόνιση της παραγωγής χωρών με μέση παραγωγή 15 000 τόνων για τα έτη 2013-2021.....	26
Σχήμα 4.3 Διαγραμματική απεικόνιση της παραγωγής χωρών με μέση παραγωγή 5 000 τόνων για τα έτη 2013-2021.....	27
Σχήμα 4.4 Διαγραμματική απεικόνιση της παραγωγής χωρών με μέση παραγωγή 250 τόνων για τα έτη 2013-2021	28
Σχήμα 4.4 Διαγραμματική απεικόνιση της παραγωγής για τα έτη 2013-2021.....	30

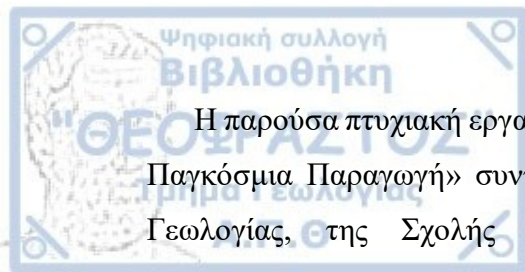


ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1.1 Χημική σύσταση και δομική θέση των στοιχείων των μαρμαρυγιών.....	2
Πίνακας 1.2 Ορυκτολογικές ιδιότητες μαρμαρυγιών	5
Πίνακας 1.3 Χημική ανάλυση και κατανομή των ιόντων των μαρμαρυγιών	5
Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικές ιδιότητες βασικών μαρμαρυγιών	8
Πίνακας 3.1 Εμφανίσεις μαρμαρυγιών σε μεταλλεία στον ελληνικό χώρο	21

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 2.1 Τυπική εικόνα φύλλων μαρμαρυγία (<i>sheet mica</i>) (από Mica (sr-optic.com))...	9
Εικόνα 2.2 Τυπική εικόνα τριμμάτων μαρμαρυγία (<i>flake mica</i>) (από Mica Flakes Powder – Pigments & Allied).....	10
Εικόνα 2.3 Εικόνα σύνθετου μαρμαρυγία θερμικής αντίστασης (από Micanite (icrmica.com))	12
Εικόνα 2.4 Εικόνα σύνθετου μαρμαρυγία θερμικής αντίστασης (από Mica paper Continental Trade)	13



ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «Μαρμαρυγίες: Ιδιότητες, Χρήσεις, Κοιτάσματα και Παγκόσμια Παραγωγή» συντάχθηκε στο πλαίσιο της πτυχιακής μου εργασίας στο Τμήμα Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, αφορά στην παρουσίαση και περιγραφή των βασικών ορυκτών της ομάδας των μαρμαρυγιών, των βασικών ορυκτολογικών και χαρακτηριστικών ιδιοτήτων τους, των προϊόντων – μορφών που έχουν, των εφαρμογών για τις οποίες χρησιμοποιούνται, των κυριότερων κοιτασμάτων μαρμαρυγιών παγκοσμίως και της παγκόσμιας παραγωγής ανά τα έτη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο **«Μαρμαρυγίες: Ιδιότητες, Χρήσεις, Κοιτάσματα και Παγκόσμια Παραγωγή»** αποτελείται από έξι (6) Κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στα βασικά είδη ορυκτών της ομάδας των μαρμαρυγιών. Συγκεκριμένα δίνεται μία μικρή εισαγωγή και περιγραφή για κάθε ορυκτό και για τις βασικές τους ορυκτολογικές και χημικές ιδιότητες. Στην συνέχεια στο δεύτερο κεφάλαιο δίνεται αναλυτική περιγραφή των τύπων των μαρμαρυγιών που χρησιμοποιούνται σε ποικίλους κλάδους βιομηχανιών όπως επίσης και αναλυτική περιγραφή των χρήσεων και των εφαρμογών. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι βασικές πηγές και τα περιβάλλοντα που φιλοξενούν σημαντικές ποσότητες μαρμαρυγιών. Επιπρόσθετα, αναφέρονται οι βασικές και περισσότερο διαδεδομένες μέθοδοι έρευνας και εξόρυξης για τους κυριότερους τύπους μαρμαρυγιών. Αναφέρονται τα πιο γνωστά και μεγάλα παγκόσμια κοιτάσματα μαρμαρυγιών και γίνεται αναφορά για ελληνικά δεδομένα, όχι για κοιτάσματα εξ ολοκλήρου μαρμαρυγιών αλλά για τις εμφανίσεις ως δευτερεύοντα ορυκτά στα μεταλλεύματα. Στο τέταρτο κεφάλαιο της παρούσας πτυχιακής γίνεται αναφορά στο ιστορικό της μεταλλευτικής δραστηριότητας των μαρμαρυγιών και παρουσίαση των δεδομένων της παγκόσμιας παραγωγής των τελευταίων ετών, με συγκρίσεις μεταξύ μεγάλων χωρών παραγωγών σε διαγράμματα και ιστογράμματα. Αφού έχουν παρουσιασθεί τα δεδομένα των τελευταίων ετών, γίνεται αναφορά στη μελλοντική ζήτηση και παραγωγή.

Τέλος, στο πέμπτο και έκτο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα και η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε, αντιστοίχως.

ABSTRACT

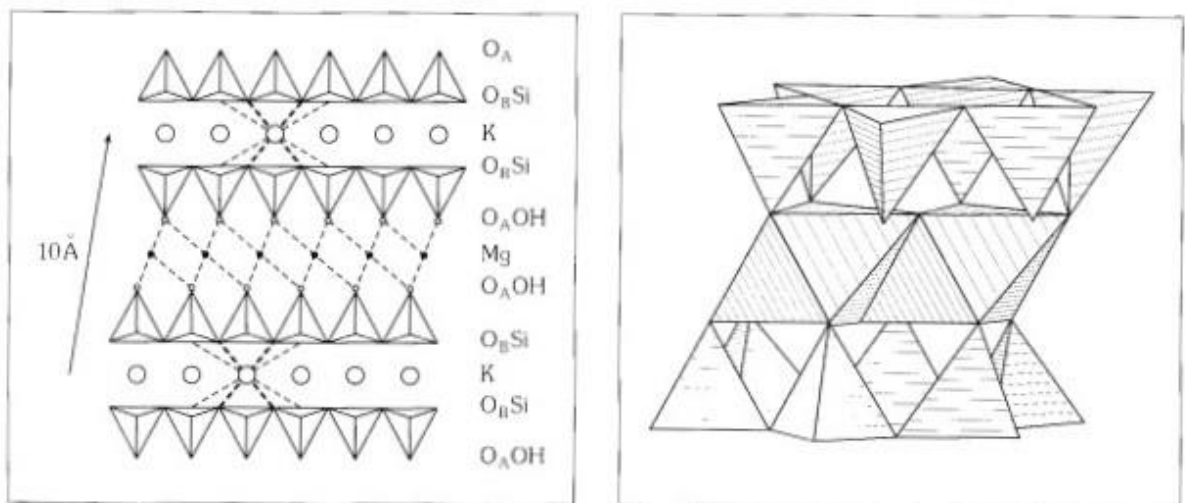
This bachelor thesis with title «**Micas: Properties, Uses, Deposits and Word Production**» consists of (6) six chapters. The first chapter refers to the main types of minerals in the mica group. A brief introduction and description of each mineral and their basic mineralogical and chemical properties are given. Afterwards, in the second chapter, a detailed description of the types of mica minerals used in a variety of industries is given as well as a detailed description of their uses and applications. Then, in chapter three is referring to the main sources and environments that host significant quantities of mica. In addition, the main and most widely used exploration and mining methods for the main types of mica are described. The most well-known and large global mica deposits are mentioned, and a reference is made for Greece, not for deposits of mica entirely but for occurrences as secondary minerals in the ores. In the fourth chapter of this thesis, a reference is made to the history of mica mining activity and presentations of global production data for the last few years, comparing between major producing countries in charts and histograms. After the data of the last few years have been presented, the future demand and production is discussed. Finally, chapters five and six provide the conclusions and the bibliography used, respectively.

ΓΕΝΙΚΑ

ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ

Οι μαρμαρυγίες ανήκουν στην ομάδα των φυλλοπιριτικών ορυκτών και κρυσταλλώνονται στο μονοκλινές σύστημα. Η ελληνική ονομασία προέρχεται από τη λέξη «μαρμαρυγή» (=εκπομπή λάμψης), ενώ ο αγγλικός όρος από τη λατινική λέξη *micare* (=λάμπω) λόγω της χαρακτηριστικής λάμψης τους. Χαρακτηριστικό της ομάδας είναι ο τέλειος σχισμός που παρουσιάζουν κατά (001) και το τυπικό φυλλώδες σχήμα των κρυστάλλων.

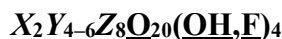
Ως προς τη δομή τους, δύο κατοπτρικά επίπεδα πλέγματα τετράεδρων $(Al, Si)O_4$ συνδέονται με κατιόντα (κυρίως K και δευτερευόντως Na, Ca, Mg, Al, Fe) και (OH) σε οκταεδρική σύνταξη, δημιουργώντας ένα είδος «πακέτου» τριών επιπέδων, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.1. Η δομή αυτή έχει ως αποτέλεσμα τον τέλειο σχισμό (001) των ορυκτών.



Σχήμα 0.1 Σχηματική απεικόνιση της δομής των μαρμαρυγιών – Τομή κάθετη στο σχισμό (001) (Κατερινόπουλος 2008).

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Ο γενικός χημικός τύπος των μαρμαρυγιών είναι ο εξής:



Όπου:

- X, K, Na, ή Ca ή λιγότερο συχνά Ba, Rb, ή Cs,
 Y, Al, Mg, ή Fe ή λιγότερο συχνά Mn, Cr, Ti, Li κτλ.
 Z, κυρίως Si ή Al, αλλά επίσης μπορεί να περιλαμβάνει Fe^{3+} ή Ti

Ανάλογα με τον αριθμό ιόντων στη θέση Y, οι μαρμαρυγίες μπορεί να καταταχθούν ως διοκταεδρικοί ($Y=4$) και τριοκταεδρικοί ($Y=6$). Στον Πίνακα 1.1 δίνονται τα μέλη της ομάδας των μαρμαρυγιών, η δομική και χημική τους σύσταση.

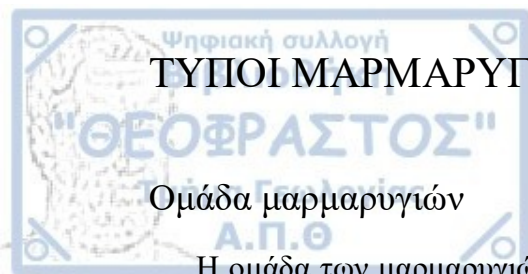
Πίνακας 0.1 Χημική σύσταση και δομική θέση των στοιχείων των μαρμαρυγιών (Κατερινόπουλος 2008)

Διοκταεδρικοί	Θέση X	Θέση Y	Θέση Z
Μοσχοβίτης	K ₂	Al ₄	Si ₆ Al ₂
Παραγονίτης	Na ₂	Al ₄	Si ₆ Al ₂
Μαργαρίτης	Ca ₂	Al ₄	Si ₄ Al ₄
Τριοκταεδρικοί			
Φλογοπίτης	K ₂	(Mg, Fe) ₆	Si ₆ Al ₂
Βιοτίτης	K ₂	(Mg, Fe, Al) ₆	Si ₆₋₅ Al ₂₋₃
Λεπιδόλιθος	K ₂	(Li, Al) ₆	Si ₆₋₅ Al ₂₋₃
Ξανθοφυλλίτης	Ca ₂	(Mg, Al) ₆	Si _{2.5} Al ₅₋₅

Ορισμένοι ερευνητές όπως Dana (1932), Sinkankas (1964), Bailey (1984), πρότειναν τις εξής τέσσερις (4) ομάδες ταξινόμησης για τις ποικιλίες μαρμαρυγιών:

- 1) Μαρμαρυγίες
- 2) Κλιντονίτες (εύθραυστοι μαρμαρυγίες)
- 3) Χλωρίτες
- 4) Βερμικουλίτες

Περισσότερη σημασία και εφαρμογή στη βιομηχανία καταλαμβάνει η πρώτη ομάδα η οποία αποτελείται από τους μαρμαρυγίες, ενώ οι υπόλοιπες έχουν παρόμοια ορυκτολογική σύσταση και χημικό τύπο. Στην παρούσα εργασία γίνεται αναλυτική περιγραφή των μαρμαρυγιών, τα είδη των προϊόντων τους, τις εφαρμογές και χρήσεις τους σε ποικίλες βιομηχανίες, τις εμφανίσεις και τα κοιτάσματα παγκοσμίως και την παγκόσμια παραγωγή. Σε επόμενη παράγραφο γίνεται σύντομη αναφορά και στις υπόλοιπες ομάδες.



ΤΥΠΟΙ ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΩΝ

Ομάδα μαρμαρυγιών

Η ομάδα των μαρμαρυγιών περιλαμβάνει τους πιο κοινούς μαρμαρυγίες με ευρεία χρήση στον κλάδο της βιομηχανίας οι οποίοι είναι:

- Μοσχοβίτης
- Παραγωνίτης
- Φλογοπίτης

με τον μοσχοβίτη να κατέχει ηγετική θέση σε βιομηχανικές χρήσης και στην επακόλουθη εκμετάλλευση. Επίσης στην υπόψη ομάδα απαντώνται και ο βιοτίτης και ο λεπιδόλιθος.

Ο μοσχοβίτης και ο παραγωνίτης έχουν παρόμοια σύσταση (μόνη διαφορά, αντικατάσταση του K από το Na στον παραγωνίτη) και πολλές φορές αναφέρονται και οι δύο ως μοσχοβίτης.

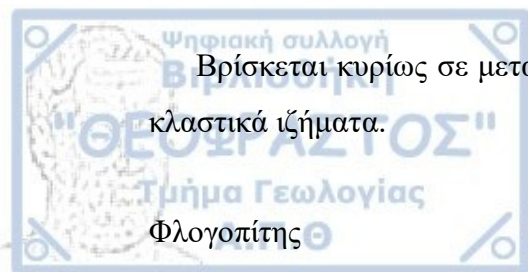
Μοσχοβίτης

Ο μοσχοβίτης, όπως ήδη αναφέρθηκε είναι το πιο κοινό ορυκτό της ομάδας με μεγάλη εμπορική σημασία. Το όνομα του προέρχεται από τη χρήση του στα παράθυρα αντί γυαλιού στη Ρωσία (Muscovy-glass). Οι κρύσταλλοι έχουν χαρακτηριστική μορφή φύλλων, που φτάνουν σε μέγεθος δεκάδων εκατοστών και χαρακτηριστική είναι η ικανότητα κάμψης αυτών. Οι κρύσταλλοι μοσχοβίτη παρουσιάζουν ποικίλους χρωματισμούς από άχρωμο έως καφετί, απαλό έως σκούρο πράσινο, ιώδες, κιτρινωπό και κοκκινωπό (γνωστό ως «ruby») το οποίο συνήθως προτιμάται στον κλάδο της βιομηχανίας. Επίσης, οι κρύσταλλοι του μοσχοβίτη παρουσιάζουν κυρίως μαργαριτωδή λάμψη έως και υαλώδη.

Ο μοσχοβίτης εντοπίζεται ως συστατικό ορυκτό σε όξινα πυριγενή πετρώματα όπως οι γρανίτες, πηγματίτες και σε μεταμορφωμένα όπως σχιστόλιθοι (κυρίως μαρμαρυγιακοί), γνεύσιοι και στις ζώνες μεταμόρφωσης από επαφή. Επίσης, εντοπίζεται και σε ιζηματογενή πετρώματα, καθώς και στα προϊόντα αποσάθρωσης. Τα περισσότερα αποθέματα με εμπορική σημασία προέρχονται από πηγματίτες, αποσαθρωμένους και μη, οι οποίοι περιέχουν 1-2% έως (σπανιότερα) 10% κατά βάρος μοσχοβίτη.

Παραγωνίτης

Πρόκειται για ορυκτό με παρόμοια σύσταση και ιδιότητες με το μοσχοβίτη με την διαφορά πως τη θέση X, την καταλαμβάνει το Na αντί για K. Η ονομασία του προέρχεται από την αρχαία λέξη «παράγειν» η οποία λανθασμένα είχε θεωρηθεί πως σημαίνει «σφάλλω» (λόγω την εσφαλμένης αρχικής θεώρησης ότι ο παραγωνίτης είναι ίδιο ορυκτό με τον τάλκη). Οι κρύσταλλοι είναι φυλλώδεις και λόγω της ομοιότητας με τον μοσχοβίτη, η διάκριση του γίνεται συνήθως με ακτινογραφική μέθοδο (X-Ray Diffraction).



Βρίσκεται κυρίως σε μεταμορφωμένα πετρώματα (σχιστόλιθοι, πηλίτες, φυλλίτες) και σε κλαστικά ιζήματα.

Πρόκειται για το δεύτερο, μετά τον μοσχοβίτη, ορυκτό με σημαντική εμπορική σημασία. Το όνομα του προέρχεται από τη λέξη «φλογωπός» (σαν φλόγα). Οι κρύσταλλοι φλογοπίτη παρουσιάζουν ανοιχτό ερυθρωπό, βιολετί έως γκριζωπό και λευκό έως κιτρινωπό χρώμα, ωστόσο όπως όλοι οι μαρμαρυγίες όταν κοπούν σε φυλλάρια εμφανίζονται άχρωμοι.

Ο φλογοπίτης είναι ορυκτό συστατικό σε μεταμορφωμένους δολομίτες και ασβεστόλιθους, σε υπερβασικά πετρώματα, καθώς και σε πυριγενή πλούσια σε μαγνήσιο και πτωχά σε πυρίτιο που έχουν υποστεί μετασώματωση λόγω υδροθερμικών διαδικασιών μεταμόρφωσης (κυρίως σε υδροθερμικές φλέβες).

Βιοτίτης

Πρόκειται για ορυκτό με παρόμοια σύσταση με τον φλογοπίτη, αλλά η διάκριση μεταξύ των δύο ορυκτών βασίζεται στην περιεκτικότητα του ορυκτού σε μαγνήσιο και σίδηρο. Στον φλογοπίτη η αναλογία Mg/Fe είναι >2 , ενώ στον βιοτίτη η αναλογία Mg/Fe είναι <2 . Η μεγάλη περιεκτικότητα σε σίδηρο, του προσδίδει σκούρα χρώματα, αλλά λόγω αυτής περιορίζεται η χρήση του στη βιομηχανία. Ωστόσο, επειδή έχει μεγάλη παρουσία στα γρανιτικά πετρώματα και στους πηγματίτες τα οποία σχετίζονται με τους υπόλοιπους επιθυμητούς μαρμαρυγίες, αποτελεί δείκτη για έρευνα.

Λεπιδόλιθος

Αποτελεί το συνηθέστερο από τα ορυκτά που περιέχουν το στοιχείο Λίθιο (Li) και ως προς αυτό το στοιχείο έχει σχετική εμπορική αξία. Η ονομασία του προέρχεται από τη λέξη «λεπίδα» και λόγω της μορφής των κρυστάλλων του, οι οποίοι παρουσιάζονται λεπιδωτοί και φυλλώδεις. Έχει μαργαριτώδη λάμψη και ρόδινο χρώμα (έως άχρωμο).

Στον Πίνακα 1.2 συνοψίζονται οι κύριες φυσικές ιδιότητες των σημαντικότερων ορυκτών της ομάδας και στον Πίνακα 1.3 η χημική ανάλυση και η κατανομή των οξειδίων σε ποσοστιαία αναλογία.

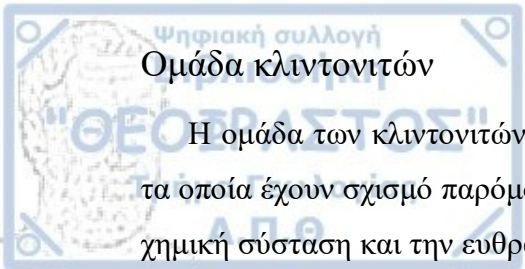
Πίνακας 0.2 Φυσικές ιδιότητες των κυριότερων μαρμαρυγιών (Κατερινόπουλος 2008)

	Μοσχοβίτης	Βιοτίτης	Φλογοπίτης
Σκληρότητα	2,0 – 2,5	2,5 – 3,0	2,0 – 3,0
Ειδικό βάρος	2,77 – 2,88 [g/cm ³]	2,7 – 3,4 [g/cm ³]	2,8 – 2,9 [g/cm ³]
Λάμψη	Υαλώδης – Μαργαριτώδης	Μαργαριτώδης - Υπομεταλλώδης	Μαργαριτώδης
Χρώμα	Γκρι, καστανό, υποπράσινο, βιολετί, κιτρινωπό με ιριδισμούς	Πράσινο, μαύρο, κιτρινωπό	Κιτρινωπό, ανοιχτό γκρι, υποπράσινο
Γραμμή σκόνης	Άχρωμη	Άχρωμη έως γκριζωπή	Άχρωμη
Σχισμός	Τέλειος [001]	Τέλειος [001]	Τέλειος [001]
Κρυσταλλικό Σύστημα	Μονοκλινές	Μονοκλινές	Μονοκλινές

Πίνακας 0.3 Χημική σύσταση των κυριότερων μαρμαρυγιών (John W. Schlanx and James T. Tanner Jr., 2006)

	Μοσχοβίτης	Βιοτίτης	Φλογοπίτης
SiO₂	46,5	37,0	40,0
Al₂O₃	34,0	18,0	17,0
K₂O	10,0	9,0	10,0
Na₂O	0,8	1,0	0,5
MgO	0,5	8,0	26,0
CaO	0,3	-	-
Fe₂O₃	2,5	2,0	0,2
FeO	1,0	21,0	2,8
Δευτερεύοντα στοιχεία*	-	1,0	0,5
Απώλεια στην πύρωση	4,5	3,0	3,0
Σύνολο	100,0	100,0	100,0

(*) Κυρίως οι τριοκταεδρικοί μαρμαρυγίες όπως ο φλογοπίτης κι ο βιοτίτης παρουσιάζουν δευτερεύοντα στοιχεία. Δευτερεύοντα στοιχεία αποτελούν το Ti, Mn και F ενώ ίχνη από τα στοιχεία Rb, Cs, Sr, Ba, Sc, V, Cr, Co, Ni, Zn, Sn, Ga μπορούν να εντοπιστούν. Αναλόγως το στοιχείο, η περιεκτικότητα τυπικά κυμαίνεται από 200 έως 800ppm.



Ομάδα κλιντονιτών

Η ομάδα των κλιντονιτών ή αλλιώς των εύθραυστων μαρμαρυγιών περιλαμβάνει ορυκτά τα οποία έχουν σχισμό παρόμοιο με τους μαρμαρυγίες, αλλά διαφέρουν με αυτούς ως προς τη χημική σύσταση και την ευθραυστότητα. Τέτοια ορυκτά είναι:

- Μαργαρίτης
- Χλωριτοειδής

Η ομάδα των κλιντονιτών αποτελεί μια μετάβαση από τους μαρμαρυγίες στους χλωρίτες.

Μαργαρίτης

Πρόκειται για ορυκτό το οποίο φέρει παρόμοια σύσταση με τον παραγωνίτη και τον μοσχοβίτη αλλά τη θέση X την καταλαμβάνει το Ca. Το όνομα του προέκυψε από τη χαρακτηριστική μαργαριτώδη λάμψη του. Είναι συχνό ορυκτό σε κοιτάσματα σμύριδας και απαντά σε μεταμορφωμένα πετρώματα όπως χλωριτικούς και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και πηλίτες.

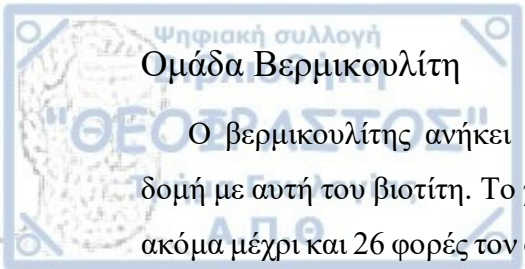
Χλωριτοειδής

Ορυκτό το οποίο κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές σύστημα σε υψηλές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας και παρουσιάζει τέλειο σχισμό (001) όπως οι μαρμαρυγίες. Ονομάστηκε έτσι εξαιτίας της ομοιότητας του με τα ορυκτά της ομάδας του χλωρίτη. Έχει υαλώδη έως μαργαριτώδη λάμψη και τεφρό έως πράσινο χρώμα. Απαντά σε μεταμορφωμένα πετρώματα όπως σχιστόλιθοι και φυλλίτες.

Ομάδα Χλωριτών

Η ομάδα των χλωριτών αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες ομάδες φυλλοπυριτικών ορυκτών με πιο συνηθισμένο ορυκτό τον χλωρίτη. Η ονομασία του προέρχεται από τη λέξη «χλωρός», υποδηλώνοντας το πράσινο χρώμα. Έχουν στενή σχέση με τους μαρμαρυγίες διότι παρουσιάζουν και αυτά τέλειο σχισμό (001), αλλά οι κρύσταλλοι που έχουν την μορφή φυλλαρίων, είναι ανελαστικοί. Οι κρύσταλλοι έχουν μαργαριτώδη λάμψη (έως αλαμπείς). Απαντώνται συνήθως σε μεταμορφωμένα πετρώματα, ενώ στα μαγματικά αποτελούν προϊόν υδροθερμικής εξαλλοίωσης. Επίσης αποτελούν προϊόντα εξαλλοίωσης εκρηξιγενών πετρωμάτων που περιέχουν μαρμαρυγίες.

Από τους χλωρίτες, αυτοί που παρουσιάζουν τις περισσότερες ομοιότητες με τους μαρμαρυγίες είναι ο πεννινίτης, ο οποίος έχει συμπαγείς πρισματικούς κρυστάλλους και το κλινόχλωρο το οποίο παρουσιάζει μεγαλύτερη ομοιότητα με λεπτότερους κρυστάλλους.



Ομάδα Βερμικουλίτη

Ο βερμικουλίτης ανήκει στα αργίλικα ορυκτά και παρουσιάζει παρόμοια κρυσταλλική δομή με αυτή του βιοτίτη. Το χαρακτηριστικό του ορυκτού είναι η ικανότητα του σε διόγκωση ακόμα μέχρι και 26 φορές τον όγκο του. Ο βερμικουλίτης είναι προϊόν εξαλλοίωσης του βιοτίτη – φλογοπίτη είτε από υπεργενετικούς παράγοντες όπως από κατείσδυση του βρόχινου ή θαλασσινού νερού είτε κατά το στάδιο ανάδρομης μεταμόρφωσης που υφίστανται τα υπερβασικά πετρωμάτων όταν έρχονται σε επαφή με γνεύσιους. Συνήθως είναι ευδιάκριτα όλα τα στάδια εξαλλοίωσης του φλογοπίτη σε βερμικουλίτη.

Το προϊόν της εξαλλοίωσης (διογκωμένος βερμικουλίτης) αποτελείται από κόκκους όπου λόγω της χαλαρής δομής τους εγκλωβίζουν αέρα μέσα στην δομή τους και σε αυτό οφείλονται οι θερμο- και ηχο-μονωτικές ιδιότητες του ορυκτού καθώς και το πολύ μικρό ειδικό του βάρος.

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΩΝ

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΩΝ

Τα δύο πλέον εμπορικά σημαντικά ορυκτά των μαρμαρυγιών – μοσχοβίτης και φλογοπίτης – χρησιμοποιούνται σε μια ποικιλία από εφαρμογές. Έχουν μοναδικές, φυσικές κοινές ιδιότητες που καθιστούν τα προϊόντα τους εφαρμόσιμα σε πολυάριθμους κλάδους και την εκμετάλλευση τους αναγκαία. Οι βασικές ιδιότητες αυτών των ορυκτών είναι οι εξής:

- Χημική αδράνεια
- Μεγάλη ελαστικότητα
- Διαθλαστικότητα
- Υψηλή εφελκυστική αντοχή
- Θερμική αντίσταση
- Ηλεκτρική αντίσταση

Στον Πίνακα 2.1 δίνονται οι τιμές των βασικών ιδιοτήτων για τα δύο ορυκτά της ομάδας.

Πίνακας 0.1 Χαρακτηριστικές ιδιότητες βασικών μαρμαρυγιών

Ιδιότητα	Μοσχοβίτης	Φλογοπίτης
Ειδική θερμοχωρητικότητα, στους 25°	0,207	0,207
Ειδική αντίσταση, Ohm/cm ³	2x10 ³ – 1x10 ¹⁷	-
Μέτρο ελαστικότητας, Pa	172x10 ⁹	172x10 ⁹
Αντοχή σε θλίψη, Pa	221x10 ⁶	221x10 ⁶
Οπτικές ιδιότητες – γωνία 2V	38°-47°	0°-10°
Θερμοκρασία διάσπασης, °C	400-500	850-1000
Διηλεκτρική σταθερά	6,5-9,0	5,0-6,0
Γραμμικός συντελεστής διαστολής x10 ⁻⁶ cm/°C. Εύρους 20°C έως 600°C	58-79	79-97
Εφελκυστική αντοχή, Pa x10 ⁶	225-297	255-297
Θερμική αγωγιμότητα κάθετη στον σχισμό στους 100°C (Kcl/m ² /hr/°C)	0,57	0,57

ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΩΝ

Η βιομηχανία των μαρμαρυγιών μπορεί να διαχωριστεί σε δύο διακριτές, αλλά αλληλένδετες βιομηχανίες: την βιομηχανία παραγωγής φύλλων μαρμαρυγία (*sheet mica*) και την βιομηχανία παραγωγής τριμμάτων μαρμαρυγία (*ground – flake mica*). Αν και αλληλένδετες οι ανωτέρω βιομηχανίες, παράγουν διαφορετικά προϊόντα η καθεμία.

Φύλλα μαρμαρυγία (*sheet mica*)

Οι μαρμαρυγίες λόγω της κρυσταλλικής δομής τους έχουν δυνατότητα να σχηματίζουν στρώσεις που χωρίζονται σε λεπτά φύλλα (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 0.1 Τυπική εικόνα φύλλων μαρμαρυγία (*sheet mica*) (από [Mica \(sr-optic.com\)](http://Mica(sr-optic.com)))

Τυπικά, ανακτώνται από μικρά ορυχεία τα οποία βασίζονται κυρίως σε χειρωνακτική εργασία και στοιχειώδη μηχανικό εξοπλισμό. Στη χειρωνακτική εργασία βασίζεται η ανάκτηση της μέγιστης επιφάνειας των κρυστάλλων προς εκμετάλλευση. Τα φύλλα για να έχουν την μέγιστη εμπορική αξία θα πρέπει να είναι απαλλαγμένα από ελλατωματικές περιοχές. Η ποιότητα των φύλλων εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες όπως το μέγεθος των φύλλων, το πάχος, τις ηλεκτρικές και θερμικές ιδιότητες και τον βαθμό και τρόπο προετοιμασίας. Αναλόγως το πάχος των φύλλων – 0,0031 έως 0,10 mm – μπορούν να ταξινομηθούν σε κατηγορίες οι οποίες ενδεικτικά είναι:

- Μπλοκ μαρμαρυγία (*mica blocks and thins*)
- Ταινίες μαρμαρυγία (*mica films and splittings*)
- Θραύσματα μαρμαρυγία (*mica scrap*)

Μερικές παρατηρήσεις ως προς τις ανωτέρω κατηγορίες είναι οι εξής:

1. Οι ταινίες μαρμαρυγία προέρχονται από καλής ποιότητας, καθαρά (χωρίς προσμίξεις και ελαττώματα) μπλοκ μαρμαρυγία.
2. Τα θραύσματα μαρμαρυγία είναι ακανόνιστα κομμάτια από «κοινά» κοιτάσματα ορυχείων και είναι μικρότερα από τα μπλοκ.
3. Οι συνθετικοί μαρμαρυγίες συνήθως κατασκευάζονται από τα mica thins.

Στο στάδιο της εξόρυξης, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο τρόπο διαχείρισης ώστε να διατηρείται η επιφάνεια και η ποιότητα του ορυκτού. Οι εξειδικευμένοι εργάτες πρέπει να διαθέτουν την τεχνογνωσία και τεχνοτροπία της εξόρυξης και επεξεργασίας ώστε να εξάγουν το τελικό προϊόν μέσα από διαδικασίες όπως τρίψιμο, κόψιμο ακόμα και ανατίναξη.

Τρίμματα μαρμαρυγία (*ground mica*)

Η παραγωγή τριμμάτων μαρμαρυγία κατέχει ηγετική θέση στην παγκόσμια βιομηχανία μαρμαρυγιών σε σύγκριση με την παραγωγή φύλλων. Παρόλο που τα θραύσματα των φύλλων μαρμαρυγία (*scrap mica*), αποτελούν πηγή παραγωγής τριμμάτων, το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής προέρχεται από περισσότερες συμβατικές πηγές.

Τα τρίμματα μαρμαρυγία (Εικόνα 2.2) παράγονται με την κονιορτοποίηση των θραυσμάτων (*scrap mica*) τα οποία μπορεί να έχουν ληφθεί είτε κατά τη διαδικασία επεξεργασίας ακατέργαστου μαρμαρυγία, φύλλων μαρμαρυγία (*sheet mica*), είτε από ελλαττωματικό μαρμαρυγία που έχει απορριφθεί (λόγω ρωγμών, προσμίξεων κ.λπ.), είτε από μαρμαρυγίες που προκύπτουν ως παραπροϊόν από την επεξεργασία αποσαθρωμένων πηγματιτών και σχιστόλιθων για την παραγωγή αστρίων.



Εικόνα 0.2 Τυπική εικόνα τριμμάτων μαρμαρυγία (*flake mica*) (από [Mica Flakes Powder – Pigments & Allieds](#))

Τα τρίμματα μαρμαρυγία αναλόγως της επεξεργασίας που δέχονται κατατάσσονται σε 2 τύπους, τα τρίμματα μαρμαρυγία ξηρού τύπου και τα τρίμματα μαρμαρυγία υγρού τύπου.

Τρίμματα μαρμαρυγία ξηρού τύπου (dry-ground mica)

Τα τρίμματα μαρμαρυγία ξηρού τύπου χαρακτηρίζονται ως αδρανή, εύκαμπτα και λεία με τα μικρότερα κλάσματα να τους προσδίδουν λαμπρότητα, μόνωση και αντίσταση στις μεταβολές των καιρικών συνθηκών. Αναλόγως την συσκευή αλέσματος και τον τρόπο επεξεργασίας παράγονται διαφορετικού μεγέθους τρίμματα μαρμαρυγία ξηρού τύπου το οποίο κυμαίνεται από 150μm έως 1,2mm.

Ένας τυπικός σφυρόμυλος (*hammer mill*) παράγει σχετικά αδρομερή προϊόντα. Η επεξεργασία γίνεται σε κύκλους άλεσης και κοσκινίσματος αναλόγως το επιθυμητό μέγεθος. Για την επεξεργασία και παραγωγή λεπτόκοκκων και εξαιρετικά μικρού μεγέθους τρίμματα μαρμαρυγία ξηρού τύπου επιλέγονται μύλοι γνωστοί ως *fluid – energy mills*. Αυτοί οι μύλοι λειτουργούν με την ενέργεια που παράγεται από τον υψηλής ταχύτητας συμπιεσμένο αέρα των θαλάμων του μύλου ο οποίος προκαλεί την σύγκρουση των τριμμάτων μαρμαρυγία και τον περαιτέρω θρυμματισμό τους.

Τρίμματα μαρμαρυγία υγρού τύπου (wet-ground mica)

Όταν είναι από επιθυμητό έως κρίσιμο το τελικό προϊόν να διατηρήσει την φυλλώδη κρυσταλλική δομή που χαρακτηρίζει τους μαρμαρυγίες και να παραχθεί σε ακόμα μικρότερο μέγεθος από τα τρίμματα ξηρού μαρμαρυγία τότε επιλέγεται η επεξεργασία υγρού τύπου. Το μέγεθος του παραγόμενου προϊόντος κυμαίνεται από 45 έως 90 μm και επεξεργάζεται συνήθως σε μύλους τύπου Muller. Οι μύλοι Miller έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως από τους παραγωγούς και έχουν αποδειχθεί κατάλληλοι για την παραγωγή και επεξεργασία τριμμάτων μαρμαρυγία υγρού τύπου. Πρόκειται για μηχανές άλεσης και επεξεργασίας οι οποίες έχουν σχεδιαστεί και λειτουργούν για την άλεση και διασπορά μικρότερου μεγέθους προϊόντων.

Για κάθε παρτίδα επεξεργασίας στους μύλους Miller, εισάγεται μία προκαθορισμένη ποσότητα από νιφάδες μαρμαρυγία (*flake mica*) και νερό ώστε να διαμορφωθεί μία πάστα – μίγμα με υγρασία 25 έως 30%. Έπειτα το εν λόγω μίγμα επεξεργάζεται για 6 έως 10 ώρες. Μετά την επεξεργασία – άλεσμα στον μύλο το μίγμα μεταφέρεται σε επόμενο στάδιο όπου αφαιρούνται τα χονδρόκοκκα τρίμματα ή η άμμος. Για τις επόμενες 24 ώρες το μίγμα καθιζάνει και αποστραγγίζεται μέσω φίλτρων ή φυγοκέντρισης. Το προϊόν μετά την αποστράγγιση μεταφέρεται σε ειδικά στεγνωτήρια, κυρίως σωλήνες με ατμό και όχι με αέρα ώστε να μην χάνονται οι λεπτόκοκκοι μαρμαρυγίες, και ξηραίνεται. Το ξηρό πλέον προϊόν μπορεί να περάσει από σφυρόμυλο για επεξεργασία ώστε να παραχθεί το κατάλληλο μέγεθος αναλόγως την ζήτηση.

Η ανωτέρω διαδικασία είναι περισσότερο χρονοβόρα και λόγω της έκπλυσης, συνήθως υπάρχει απώλεια των λεπτόκκοκων τριμμάτων μαρμαρυγίων έως 15 έως 20% του συνόλου. Για να αποφευχθεί ή να μειωθεί η απώλεια, συνίσταται μεγαλύτερη ώρα καθίζησης του υλικού.

Συνθετικοί μαρμαρυγίες (*build-up mica – micanite*)

Μετά το 1894, λόγω της έλλειψης και του μεγάλου κόστους των φύλλων μαρμαρυγία, αναπτύχθηκαν οι συνθετικοί μαρμαρυγίες (*build-up mica*) από τρίμματα και θραύσματα φύλλων μαρμαρυγία τα οποία ήταν πολύ μικρά για να χρησιμοποιηθούν σε βιομηχανικές εφαρμογές. Τα τελικά προϊόντα των συνθετικών μαρμαρυγιών είναι συγκολλημένα θραύσματα και τρίματα με υλικό συγκόλλησης μετά από συμπίεση και θέρμανση. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την συγκόλληση είναι φυσική ρητίνη (*Γομαλάκα ή shellac*), εποξική ρητίνη ή σιλικόνη. Ανάλογα με το είδος του μαρμαρυγία και το είδος του συγκολλητικού υλικού, κατασκευάζονται συνθετικοί μαρμαρυγίες είτε λεπτοί είτε πυκνοί, είτε άκαμπτοι είτε εύκαμπτοι και παίρνουν την μορφή φύλλων, λωρίδων ή άλλες μορφές.



Εικόνα 0.3 Εικόνα σύνθετου μαρμαρυγία θερμικής αντίστασης (από [Micanite \(icrmica.com\)](http://icrmica.com))

Αναδομημένοι μαρμαρυγίες (*mica paper*)

Οι αναδομημένοι μαρμαρυγίες παράγονται από θραύσματα ή τρίμματα μαρμαρυγία και υλικό συγκόλλησης τα οποία γίνονται πολτός και εισάγονται σε ένα μηχάνημα παραγωγής χαρτιού. Από το μηχάνημα διαμορφώνεται ένα συνεχές φύλλο (*mica paper*) το οποίο αποξηραίνεται στους 110°C και μετά κόβεται σε επιθυμητά μεγέθη.



Εικόνα 0.4 Εικόνα σύνθετου μαρμαρυγία θερμικής αντίστασης (από [Mica paper | Continental Trade](#))

ΧΡΗΣΕΙΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων που κατέχουν οι μαρμαρυγίες, κυρίως ο μοσχοβίτης και ο φλογοπίτης, χρησιμοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές. Είναι εύκαμπτοι, ελαστικοί και με ιδιότητες που ο συνδυασμός τους προσδίδει υψηλή εφελκυστική αντοχή στα ορυκτά. Μπορούν να αντέχουν σημαντική μηχανική πίεση κάθετη στην επιφάνεια τους αλλά επίσης λόγω του τέλειου σχισμού έχουν την δυνατότητα να διαχωρίζονται εύκολα σε λεπτά, χημικά αδρανή και εύκαμπτα φυλλάρια, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Τα φυλλάρια είναι πυρίμαχα, άτμητα, άφλεκτα, υδρόφιλα, ελαφρά και ανακλαστικά. Ο μοσχοβίτης παρουσιάζει σταθερότητα στην έκθεση σε ηλεκτρική ενέργεια και έχει θερμική αντίσταση μέχρι τους 500°C, ενώ ο φλογοπίτης μέχρι τους 900-1000°C.

Ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές εφαρμογές

Τα φύλλα μαρμαρυγία χρησιμοποιούνται κυρίως στην ηλεκτρονική και ηλεκτρική βιομηχανία. Η χρησιμότητά τους σε αυτές τις βιομηχανίες οφείλεται στις ηλεκτρικές, θερμομονωτικές και μηχανικές ιδιότητες των ορυκτών αυτών. Συγκεκριμένα, οι μαρμαρυγίες είναι καλοί ηλεκτρικοί μονωτές (χαμηλή αγωγιμότητα) και ταυτόχρονα καλοί θερμικοί αγωγοί (υψηλή διηλεκτρική αντοχή). Μερικές εφαρμογές είναι:

- Μετασχηματιστές
- Προστάτες
- Ηλεκτρικές ασφάλειες
- Ηλεκτρονικές λυχνίες πυράκτωσης
- Κρυσταλλοτρίοδοι – *transistors* (από φύλλα μαρμαρυγία με κατάλληλες οπές)
- Κολλητήρια – *soldering irons* (από φύλλα μαρμαρυγία με κατάλληλη αυλάκωση)



- Πυρήνας ηλεκτρικών καλωδίων σε συσκευές όπως βραστήρες και πιστολάκια μαλλιών
- Δείκτες / μετρητές ρευστών – *liquid indicators*
- Αναπνευστικές συσκευές – *breathing apparatus*
- Ηλεκτρικοί μονωτές σε ηλεκτρονικό εξοπλισμό

Στην τελευταία κατηγορία ανήκει και η χρήση των φύλλων μαρμαρυγία στους πυκνωτές (capacitors). Για την παραγωγή τους χρησιμοποιούνται φύλλα – λωρίδες μαρμαρυγία / *film mica*. Ανάλογα με την ποιότητα των φύλλων, χρησιμοποιούνται ως εξής:

1. Υψηλής ποιότητας μαρμαρυγίας, χρησιμοποιείται για πρότυπα βαθμονόμησης
2. Μεσαίας ποιότητας μαρμαρυγίας, χρησιμοποιείται σε πυκνωτές μετάδοσης
3. Κατώτερης ποιότητας μαρμαρυγίας, χρησιμοποιείται σε πυκνωτές λήψης

Θερμικές και μηχανικές εφαρμογές

Ποικίλα προϊόντα μαρμαρυγία έχουν ευρεία εφαρμογή σε μεγάλη ποικιλία βιομηχανιών λόγω των θερμικών και μηχανικών ιδιοτήτων τους. Μερικές από τις βιομηχανίες και τις χρήσεις αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω.

Οπτικά και θερμικά προστατευτικά

Όπως ήδη έχει αναφερθεί ο μοσχοβίτης είναι άχρωμος και διαφανής και έχει την ικανότητα να κόβεται σε επίπεδες, εξαιρετικά λεπτές, ασυμπίεστες επιφάνειες. Επίσης, αυτές οι επιφάνειες είναι χημικά αδρανείς, χαρακτηριστικό που τις καθιστά ανθεκτικές σε νερό, οξείδια, λάδια και στις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Κάποιες εφαρμογές που βασίζονται σε αυτές τις ιδιότητες είναι οι εξής:

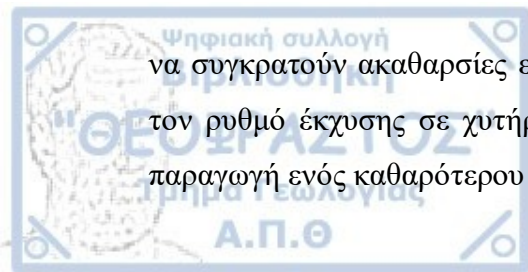
- Οπτικά φίλτρα
- Φούρνοι συμβατικοί και μικροκυμάτων
- Παράθυρα κλιβάνων και καυστήρων
- Πλάκες σε συσκευές λείζερ

Ελικοειδείς σπείρες – πηνία

Οι μαρμαρυγίες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μη επαγωγικής αντίστασης περιελίξεων, καθώς έχουν υψηλή θερμική αντοχή και είναι εύκαμπτα. Λόγω αυτών των ιδιοτήτων μπορούν να καμφθούν σε κυλινδρικές μορφές και με προσθήκη μείγματος σιλικόνης να διαμορφωθούν σε επιθυμητά σχήματα και μορφές.

Φίλτρα χυτηρίων

Κόσκινα ή φίλτρα χυτηρίων μπορούν να κατασκευαστούν από φύλλα μαρμαρυγιών ώστε



να συγκρατούν ακαθαρσίες εντός του ρευστού μίγματος (τήγμα μετάλλων) και να ελέγχουν τον ρυθμό έκχυσης σε χυτήρια μετάλλων. Στόχος της χρήσης αυτών των φίλτρων είναι η παραγωγή ενός καθαρότερου μετάλλου.

Εφαρμογές – χρήσεις ξηρού τύπου τριμμάτων μαρμαρυγία

Βιομηχανία τσιμέντων

Τα ξηρού τύπου τρίμματα μαρμαρυγία (*dry-ground mica*) χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία τσιμέντων, καθώς λειτουργούν ευεργετικά όταν προστεθούν σε ποσοστό 4 έως 20%, μειώνοντας το φαινομενικό ιξώδες και προστατεύοντας από διαβρωτικούς παράγοντες. Λειτουργούν ως ενισχυτική χρωστική ουσία η οποία μειώνει την διήθηση σε πορώδεις επιφάνειες, τη διόγκωση και τη ρωγμάτωση, ενώ ταυτόχρονα ενισχύει την ροή του μίγματος το οποίο όταν στεγνώσει, δημιουργεί μία απαλή, μη-απορροφητική επιφάνεια.

Βιομηχανία βαφών και χρωστικών

Τα λεπτόκοκκα ξηρού τύπου τρίμματα μαρμαρυγία (*dry-ground mica*) λειτουργούν ευεργετικά σε βαφές και χρώματα όταν χρησιμοποιούνται στην σύνθεση τους σε ποσοστό 20 έως 40%. Συνοπτικά, προσδίδουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Λειτουργούν ως φράγμα της UV ακτινοβολίας και της θερμότητας
- Μακροχρόνια αντοχή
- Μειώνουν τη ρωγμάτωση όταν τα χρώματα στεγνώσουν
- Ενισχύουν ελαιορητινώδη και υδατώδη συνθετικά

Οι κατηγορίες των χρωμάτων που κατασκευάζονται με λεπτόκοκκα ξηρού τύπου τρίμματα μαρμαρυγία είναι ενδεικτικά οι εξής:

- Υδροχρώματα
- Βαφές εξωτερικού χώρου
- Βαφές υφής
- Αντιδιαβρωτικά χρώματα
- Βαφές αλουμινίου
- Αστάρια μετάλλων

Βιομηχανία πλαστικών

Όπως και στις βαφές, έτσι και στην κατηγορία των πλαστικών, τα λεπτόκοκκα ξηρού τύπου τρίμματα μαρμαρυγία (*dry-ground mica*) λειτουργούν ευεργετικά όταν χρησιμοποιούνται στην σύνθεση τους σε ποσοστό 20 έως 50%. Συνοπτικά, προσδίδουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:



- Ενισχύουν την σταθερότητα
- Ενισχύουν την θερμική μόνωση
- Λειτουργούν ως φράγμα της UV ακτινοβολίας, του ύδατος και αερίων

Θερμοπλαστικά τύπου PP, PBT, HDPE και ελαστικά αυτοκινήτων είναι μερικά από τα προϊόντα που κατασκευάζονται με προσθήκη των λεπτόκοκκων ξηρού τύπου τριμμάτων μαρμαρυγία (*dry-ground mica*) στη σύνθεση τους.

Βιομηχανία διατρητικών πολτών

Στην παραγωγή διατρητικών πολτών, τα ξηρού τύπου τρίμματα μαρμαρυγία (*dry-ground mica*) που χρησιμοποιούνται είναι χονδρόκοκκου μεγέθους (1,2mm – 450μm). Χρησιμεύουν στην κυκλοφορία του παραγομένου πολτού εντός της διάτρησης ώστε να πληρώνει τις οπές, τους πόρους και τις ρωγμές των πετρωμάτων. Δημιουργεί φράγμα σε άλλα ρευστά να κυκλοφορήσουν εντός της οπής, γεφυρώνει τα ανοίγματα και ενισχύει τα τοιχώματα της διάτρησης.

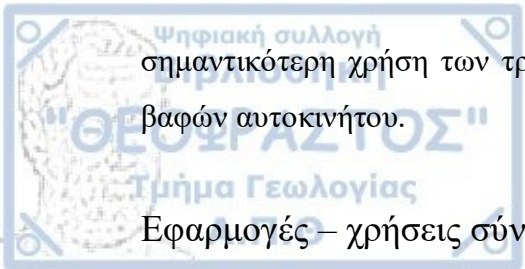
Λοιπές εφαρμογές

Τα ξηρού τύπου τρίμματα μαρμαρυγία (*dry-ground mica*), εκτός από τα προαναφερόμενα, χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογές, κυρίως ως ενισχυτικά επιστρώσεων και ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής:

- καλούπια χυτηρίων
- ηλεκτρικά καλώδια
- σκυρόδεμα
- επιφάνειες πλακιδίων
- διακοσμητικά όπως το τεχνητό χιόνι σε χριστουγεννιάτικα στολίδια
- εκρηκτικές ύλες
- πυροσβεστήρες
- καλλυντικά

Εφαρμογές – χρήσεις υγρού τύπου τριμμάτων μαρμαρυγία

Οι χρήσεις των τριμμάτων μαρμαρυγία υγρού τύπου καλύπτουν κάποιες αγορές των τριμμάτων μαρμαρυγία ξηρού τύπου όπως στην βιομηχανία των βαφών – χρωμάτων, επιστρώσεων, ελαστικών αυτοκινήτων, πλαστικών και στεγανωτικών. Κάποιες εφαρμογές – χρήσεις αποκλειστικά των τριμμάτων υγρού τύπου είναι στην βιομηχανία των καλλυντικών (κραγιόν, σκιές, βερνίκια νυχιών και προϊόντα σώματος), των χρωστικών (για αύξηση ευκαμψίας και μείωση σπασιμάτων), των χρωμάτων σκόνης και των ταπετσαριών. Ωστόσο, η



σημαντικότερη χρήση των τριμμάτων μαρμαρυγία υγρού τύπου είναι στην βιομηχανία των βαφών αυτοκινήτου.

Εφαρμογές – χρήσεις σύνθετων μαρμαρυγιών

Αναλόγως της ποιότητας και του είδους του μαρμαρυγία, της μορφής του τελικού προϊόντος μαρμαρυγία (φύλλο, λωρίδα, πλέγμα κλπ) αλλά και του συγκολλητικού υλικού που χρησιμοποιείται για την σύνθεση των συνθετικών μαρμαρυγιών, έχουν εφαρμογή σε ποικίλες βιομηχανίες και συμμετέχουν στην παραγωγή πολλών προϊόντων. Κάποιες από τις μορφές σύνθετων μαρμαρυγιών ενδεικτικά είναι το προϊόν micafolium και molding micanite (προϊόν χυτηρίων) τα οποία βρίσκουν εφαρμογή σε ηλεκτρικές χρήσεις, σε πυκνωτές και μονώσεις.

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΩΝ

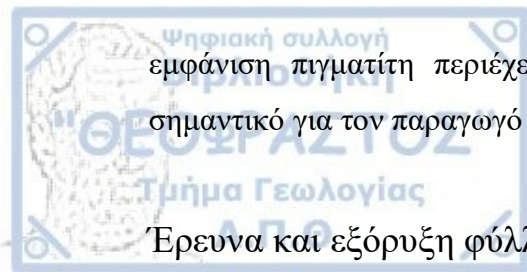
ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΩΝ

Οι μαρμαρυγίες ως ορυκτά βρίσκονται σε ευρεία διασπορά στον πλανήτη αλλά συγκεντρώσεις ορυκτών και συσσωματωμάτων αρκετά μεγάλων και καλά κρυσταλλωμένων ώστε να διαμορφώνονται σε εμπορεύσιμες μορφές, είναι σπανιότερες. Ο μοσχοβίτης είναι συστατικό των όξινων πυριγενών πετρωμάτων όπως οι γρανίτες, πηγματίτες, των μεταμορφωμένων πετρωμάτων των κλαστικών ιζηματογενών πετρωμάτων και είναι προϊόν αποσάθρωσης σε ιζήματα. Μεγάλοι κρύσταλλοι μοσχοβίτη ο οποίος είναι και ο πιο εμπορικός μαρμαρυγίας βρίσκονται σε πηγματίτες, ενώ ο αμέσως επόμενος εμπορικός μαρμαρυγίας, ο φλογοπίτης βρίσκεται σε πυροξενίτες. Οι φλογοπίτες που βρίσκονται ως υδροθερμικές φλέβες σε μεταμορφωμένους ασβεστόλιθους και υπερβασικά πετρώματα, δημιουργούνται από μετασώματωση των πλούσιων σε Mg πετρωμάτων ή από διεισδύσεις υπερβασικών και καρμπονατιτικών μαγμάτων σε σταθερές προκάμβριες κρατονικές περιοχές. Ωστόσο επειδή τα κοιτάσματα φλογοπίτη τείνουν να σχηματίζονται σποραδικά, η εξόρυξή τους είναι μη κερδοφόρα.

Η διαδικασία δημιουργίας των πηγματιτών επιτρέπουν στη ανάπτυξη μεγάλων κρυστάλλων μοσχοβίτη οι οποίοι ξεχωρίζουν λόγω του μεγέθους τους από τα υπόλοιπα συνοδά ορυκτά. Οι πηγματίτες που φέρουν τέτοιους μαρμαρυγίες απαντώνται είτε ως διεισδύσεις ή φακοί εντός άλλων πετρωμάτων είτε ακανόνιστου σχήματος κοιτάσματα. Το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως δεκάδες μέτρα. Οι μεγαλύτερες εμφανίσεις έχουν παρόμοια μορφή με τις γρανιτικές διεισδύσεις, ενώ κάποιες από τις μικρότερες εμφανίσεις έχουν μορφή φλεβιδίων.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΞΟΡΥΞΗΣ

Ένα πρόβλημα που χαρακτηρίζει την εξόρυξη κοιτασμάτων μαρμαρυγιών είναι η δυσκολία της πρόβλεψης. Είναι σχετικά αδύνατο να καθοριστούν η ποσότητα και η ποιότητα των μαρμαρυγιών εντός ενός πηγματίτη. Σε μια εμφάνιση πηγματίτη η κρυστάλλωση των ορυκτών μπορεί να κυμαίνεται από καλή έως χαμηλή. Στην πρώτη περίπτωση οι επιφάνειες σχισμού θα έχουν κρυσταλλωθεί κατάλληλα και τα εν δυνάμει προϊόντα μαρμαρυγία θα είναι φύλλα μαρμαρυγία (καλύτερης ποιότητας προϊόν – υψηλή τιμή πώλησης). Στην περίπτωση του χαμηλού βαθμού κρυστάλλωσης, τα εν δυνάμει προϊόντα μαρμαρυγία είναι θρύμματα τα οποία σχετίζονται με χαμηλές τιμές πώλησης και μειωμένη χρήση σε εφαρμογές. Επομένως, αν μία



εμφάνιση πηγματίτη περιέχει καλής ή χαμηλότερης ποιότητας μαρμαρυγίες είναι πολύ σημαντικό για τον παραγωγό ωστόσο χαρακτηρίζεται και εξαιρετικά δύσκολη πρόβλεψη.

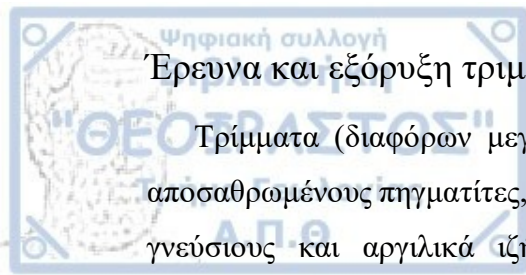
Έρευνα και εξόρυξη φύλλων μαρμαρυγία (*sheet mica*)

Οι κηλιδωτές εμφανίσεις των φύλλων μαρμαρυγία σε πηγματίτες και η απρόβλεπτη φύση του μεγέθους, σχήματος και συμπεριφοράς των πηγματιτών αποκλείουν την ανάπτυξη ενός συστήματος πρόβλεψης και έρευνας. Μέσω των διατρήσεων είναι δυνατή η καταγραφή και σκιαγράφηση της εμφάνισης του πηγματίτη αλλά χωρίς να μπορεί να αποδοθεί πληροφόρηση για το μέγεθος, την ποιότητα και ποσότητα των μαρμαρυγιών που εμπεριέχει. Αυτό συμβαίνει γιατί τα φύλλα μαρμαρυγία βρίσκονται διασκορπισμένα μέσα σε φακούς εντός του πηγματίτη. Η πιο κοινή μέθοδο για έρευνα, είναι η διάνοιξη μίας δοκιμαστικής επιφανειακής εκσκαφής ώστε να εντοπιστεί η εμφάνιση και να αξιολογηθεί ως προς την ποιότητα. Ο τρόπος αυτός είναι κοστοβόρος και τα αποτελέσματα προβληματικά. Ωστόσο, ο καθορισμός της ποιότητας είναι ένας παράγοντας για το αν αξίζει να συνεχιστεί η έρευνα και να ξεκινήσει η διαδικασία της εξόρυξης ή όχι.

Ένας άλλος τρόπος έρευνας εκτός από την επιφανειακή εκσκαφή είναι η διάνοιξη φρεατίων κατά μήκος μίας φλέβας πηγματίτη ή κάθετα ώστε να κόψει την φλέβα. Και στις δύο περιπτώσεις η εμπειρία των εργατών των μεταλλείων αποτελεί βασικό παράγοντα για τον καθορισμό της ποιότητας. Αυτό καθιστά την εξόρυξη των φύλλων μαρμαρυγία μια επισφαλή οικονομικά διαδικασία (είτε είναι επιφανειακή εξόρυξη είτε με φρεάτια), καθώς το κόστος για να εντοπιστεί η φλέβα και διανοιχθεί, ενδέχεται να μην αντισταθμιστεί λόγω του απρόβλεπτου καθορισμού της ποιότητας και ποσότητας των φύλλων μαρμαρυγιών.

Σε υπόγειες εξορύξεις, ο βασικός θάλαμος – φρεάτιο διανοίγεται κατά μήκος της εμφάνισης πηγματίτη ή σε κατάλληλες διευθύνσεις ως προς αυτή, μέσω διάτρησης ή και εκρηκτικών. Μόλις βρεθεί κατάλληλος φακός με μαρμαρυγίες, τότε αφαιρείται με πολλή προσοχή ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος να καταστραφούν οι κρύσταλλοι. Μετά την μελετημένη διάτρηση και έκρηξη, οι εργασίες συνεχίζονται με προσεκτική διαλογή χειρωνακτικά και το μετάλλευμα τοποθετείται σε κουτιά ή τσάντες και ετοιμάζεται για μεταφορά σε κατάλληλο χώρο (αποθήκη) για επόμενο στάδιο επεξεργασίας.

Λόγω του μεγάλου κόστους εξόρυξης, του μεγάλου ρίσκου και της μικρής ζήτησης, τα φύλλα μαρμαρυγία δεν εξορύσσονται πια στις ΗΠΑ. Την μεγαλύτερη παραγωγή την κατέχει η Ινδία όπου το εργασιακό κόστος είναι συγκριτικά χαμηλότερο και οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί εξόρυξης λιγότεροι.



Έρευνα και εξόρυξη τριμμάτων μαρμαρυγία (*flake mica*)

Τρίμματα (διαφόρων μεγεθών) μαρμαρυγία είναι περισσότερο εύκολο να βρεθούν σε αποσαθρωμένους πηγματίτες, λευκογρανίτες, σχιστόλιθους (είτε αποσαθρωμένους είτε υγιείς), γνεύσιους και αργιλικά ιζήματα. Χαρακτηριστικά όπως ποιότητα και ποσότητα των κοιτασμάτων, καθορίζονται από διατρήσεις όπου διεξάγονται ερευνητικά. Όταν καθοριστούν με περισσότερη βεβαιότητα αυτά τα χαρακτηριστικά, σχεδιάζεται ένα λεπτομερέστερο πλάνο διατρήσεων. Λόγω της πιθανής ανάμειξης του πηγματίτη με τα περιβάλλοντα πετρώματα, τα δείγματα ενδεχομένως να μην δύνανται να αξιοποιηθούν στο 100%.

Γενικά, η αξιολόγηση των διατρήσεων είναι δύσκολή και χρονοβόρα. Μέσα διευκόλυνσης της αξιολόγησης μια εμφάνιση είναι η χημική και πετρογραφική ανάλυση, αλλά με κόστος οικονομικό. Ο λιγότερο χρονοβόρος και περισσότερο αποτελεσματικός τρόπος αξιολόγησης του περιεχόμενου σε μαρμαρυγίες είναι ο συνδυασμός μεθόδων επεξεργασίας όπως η επίπλευση και ο μαγνητικός διαχωρισμός.

Στις μέρες μας, τρίμματα μαρμαρυγιών (*flake mica*) εξορύσσονται στις ΗΠΑ από:

- Υγιείς και αποσαθρωμένους πηγματίτες και λευκογρανίτες
- Αποσαθρωμένους μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους
- Ιζήματα σχετιζόμενα με καολίνη (Georgia)

Σε πολλές περιπτώσεις συνοδά ορυκτά εξόρυξης είναι χαλαζίας, καολίνης και άστριοι.

ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με αναφορές του USGS, πηγές των τριμμάτων και νιφάδων μαρμαρυγία κυρίως, αποτελούν τα αργιλικά κοιτάσματα, οι γρανίτες, οι πηγματίτες και οι σχιστόλιθοι και θεωρούνται αρκετά ικανές πηγές ώστε να ικανοποιήσουν την ζήτηση στο προσεχές μέλλον. Τα φύλλα μαρμαρυγιών λόγω της απρόβλεπτης φύσης των εμφανίσεων δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθούν επίσημα, αλλά είναι γνωστό πως μεγάλα κοιτάσματα υπάρχουν σε Βραζιλία, Ινδία και Μαδαγασκάρη.

Συγκεκριμένα, τα περισσότερα εμπορικά κοιτάσματα μοσχοβίτη προέρχονται από:

- Πηγματίτες ΝΑ Αμερικής
- Πηγματίτες Ινδίας (Bihar, Rajasthan και Andhra Pradesh)
- Πηγματίτες Βραζιλίας (Minas Gerais)
- Λευκογρανίτες Β.Καρολίνας Αμερικής

Ενώ τα περισσότερα εμπορικά κοιτάσματα φλογοπίτη προέρχονται από:

- Υδροθερμικές φλέβες μετασώματωσης – Μαδαγασκάρη
- Μαγματικές διεισδύσεις – Ρωσία (χερσόνησος Kola)

- Μαγματικές διεισδύσεις – Καναδάς (Quebec)

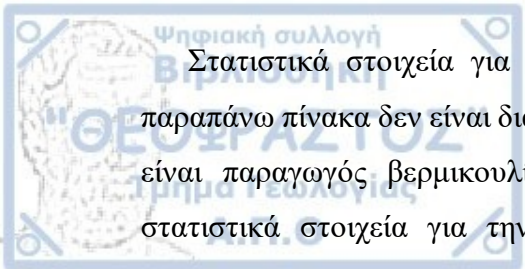
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

Στον Ελληνικό χώρο δεν υπάρχουν επίσημες αναφορές για κοιτάσματα αποκλειστικά μαρμαρυγιών. Σε πολλά ορυχεία και χώρους μεταλλευτικών δραστηριοτήτων υπάρχουν εμφανίσεις ποικίλων μαρμαρυγιών οι οποίοι εξορύσσονται ως συνοδά ορυκτά, αλλά δεν υπάρχουν αναφορές σε ποσότητες για την παραγωγή της χώρας.

Ενδεικτικά μερικές από τις εμφανίσεις μαρμαρυγιών στον ελληνικό χώρο δίνονται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 0.1 Εμφανίσεις μαρμαρυγιών σε μεταλλεία στον ελληνικό χώρο

Περιοχή	Μεταλλείο – ονομασία τοποθεσίας	Είδος μαρμαρυγία
Αττική Λαυρεωτική	Μεταλλεία Καμάριζας Μεταλλεία Πλάκας Μεταλλεία Σουνίου	Μοσχοβίτης Σερικίτης Παραγονίτης Ιλλίτης Μοσχοβίτης Σερικίτης Σελαδονίτης Βιοτίτης Ιλλίτης
Κεντρική Ελλάδα	Μεταλλείο Ορχομενού Μεταλλείο Καλλιανού – Κάρυστος Μεταλλείο Αγ. Στεφάνου – Δομοκός	Ιλλίτης Μοσχοβίτης Φλογοπίτης
Κεντρική Μακεδονία	Μεταλλείο Σκουριών – Χαλκιδική Μεταλλείο Μαντέμ Λάκκος	Βιοτίτης Σερικίτης
Κρήτη Ανατολική Μακεδονία Θράκη	Μεταλλείο Κισσάμου Μεταλλείο Μυλοπόταμου Μεταλλεία Κίρκης Μεταλλεία Μαρώνιας - Σάπες	Πενγίτης Μοσχοβίτης Βιοτίτης Μοσχοβίτης Μοσχοβίτης Φλογοπίτης
Νησιά Αιγαίο	Μεταλλεία Μήλου Μεταλλεία Νάξου	Γλαυκονίτης Μοσχοβίτης Ιλλίτης Σερικίτης Μαργαρίτης Φλογοπίτης



Στατιστικά στοιχεία για παραγωγή των μαρμαρυγιών τα οποία παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα δεν είναι διαθέσιμα, ωστόσο η Ελλάδα, σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ, είναι παραγωγός βερμικουλίτη. Στην παρούσα εργασία δεν εξετάζονται περαιτέρω τα στατιστικά στοιχεία για την Ελλάδα, καθώς ο βερμικουλίτης δεν περιλαμβάνεται στα παγκόσμια στατιστικά δεδομένα που εξετάζονται παρακάτω.

ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ

Μέχρι την ανάπτυξη της βιομηχανίας των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών, η εξόρυξη των μαρμαρυγιών γινόταν κυρίως για την παραγωγή γυαλιού για φούρνους, το λεγόμενο "isinglass". Η ανάγκη για το συγκεκριμένο γυαλί οδήγησε τις ΗΠΑ στην ανάπτυξη μεταλλευτικής δραστηριότητας ήδη από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Το πρώτο μεταλλείο το οποίο λειτούργησε και υπάρχει καταγεγραμμένη παραγωγή ήταν στο New Hampshire. Η παραγωγή γινόταν κυρίως για την κάλυψη αναγκών σε γυαλί isinglass με εναλλαγές διαστημάτων λειτουργίας και αδράνειας. Ωστόσο η πιο σημαντική πηγή από τότε έως σήμερα είναι η Ινδία και ακολούθως η Βραζιλία. Μέχρι το 1900, ο πρωταρχικός παραγωγός παγκοσμίως ήταν οι ΗΠΑ με αρχηγική θέση το New Hampshire, του οποίου την παράγωγή την ξεπέρασε η Βόρεια Καρολίνα όταν ξεκίνησε η εκμετάλλευση των δόμων πηγματίτη που ανακαλύφθηκαν στα δυτικά της πολιτείας από τους οποίους παράγωγα ορυκτά εκτός από τους μαρμαρυγίες ήταν ο χαλαζίες και οι άστριοι. Κατά το παρελθόν σημαντικές ποσότητες μαρμαρυγιών έχουν εξορυχθεί από διάφορες πολιτείες των ΗΠΑ όπως το Maine, Connecticut, Georgia και Virginia.

Η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων της Ινδίας ξεκίνησε δυναμικά με την ανάπτυξη της βιομηχανίας των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών λόγω της ανάγκης για καλής ποιότητας φύλλων μαρμαρυγία. Τα μεταλλεία της περιοχής Bihar και συγκεκριμένα της πόλης Giridih έγιναν ευρέως παγκοσμίως γνωστά για την παραγωγή καλής ποιότητας μαρμαρυγία. Άλλες περιοχές που ανέπτυξαν σημαντικά μεταλλεία για την εξόρυξη μαρμαρυγιών είναι οι Rajasthan και Madras. Η Ινδία διατηρεί την ηγετική θέση παγκοσμίως στην μεταλλευτική δραστηριότητα, όχι απαραίτητα λόγω της καλής ποιότητας μαρμαρυγία αλλά κυρίως του χαμηλού κόστους παραγωγής και επεξεργασίας, γεγονός που διευκολύνει την έρευνα για νέα κοιτάσματα και μειώνει το ρίσκο.

Η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων της Βραζιλίας ξεκίνησε αργότερα από την Ινδία και μέσα στα χρόνια κατάφερε σε κάποιες περιπτώσεις να την ξεπεράσει σε εξαγωγές κυρίως στις ΗΠΑ. Η παραγωγή προέρχεται κυρίως από την πολιτεία Minas Gerais, στην οποία εντοπίζονται τουλάχιστον 15 περιοχές με μεταλλευτική δραστηριότητα. Οι πηγματίτες που είναι προς εκμετάλλευση είναι αρκετά αποσαθρωμένοι και οι άστριοι έχουν μετατραπεί σε καολινίτη, με

αποτέλεσμα το αποσαθρόμενο πέτρωμα να είναι αρκετά μαλακό και εύθρυπτο ώστε να είναι δυνατή η εκμετάλλευση με ανοιχτή επιφανειακή εκσκαφή.

Η Αργεντινή αν και έχει χαμηλής ποιότητας μαρμαρυγίες, είναι μία από τις σημαντικές παραγωγούς παγκοσμίως.

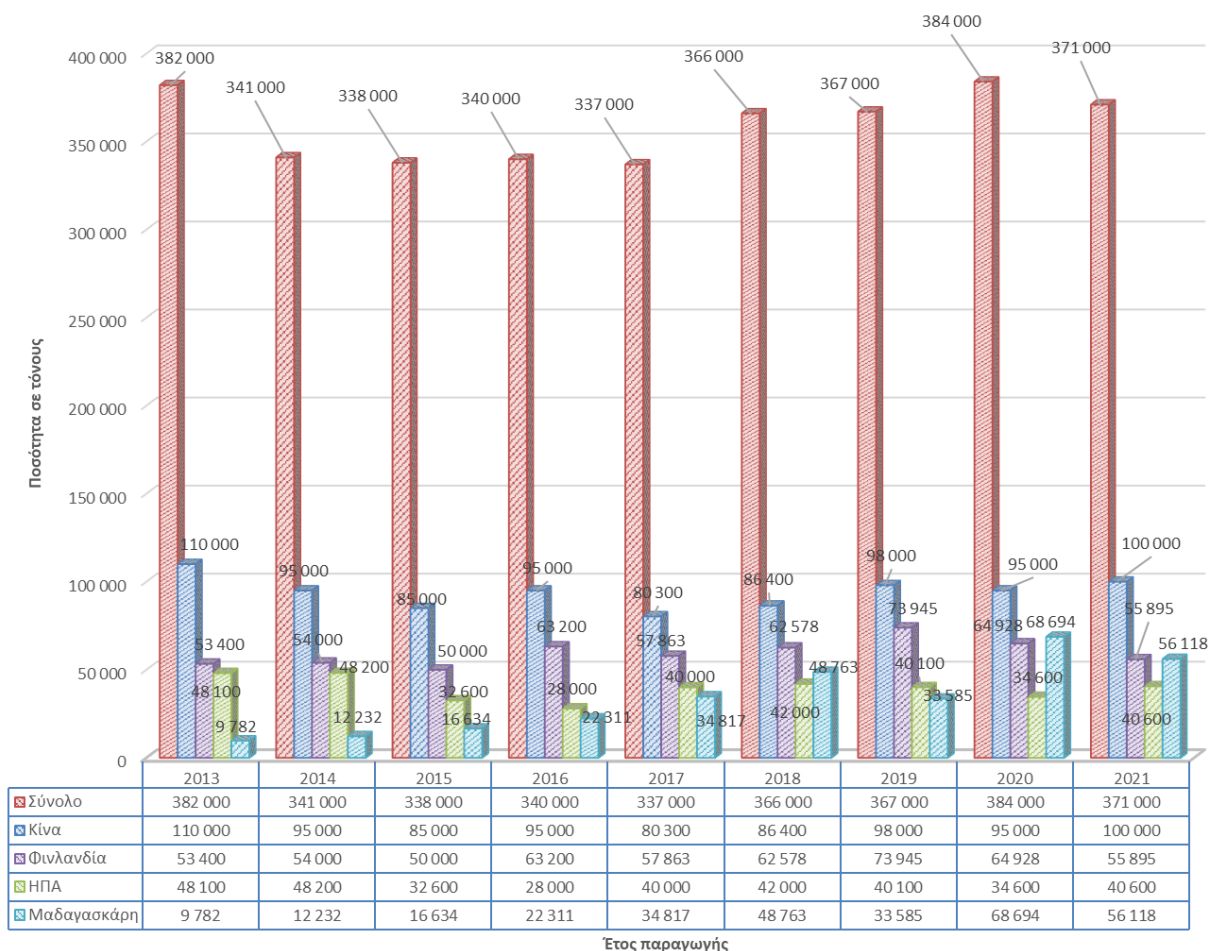
Η μεταλλευτική δραστηριότητα στην Αφρική έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια και κυριότερους παραγωγούς – χώρες την Ανγκόλα και Τανζανία (πόλη Τανγκανίκα) οι οποίες εξάγουν μικρότερες ποσότητες σε σχέση με τις προαναφερόμενες χώρες αλλά άριστης ποιότητας.

Άλλες χώρες που ξεχώρισαν μέσα στα χρόνια για την μεταλλευτική τους δραστηριότητα για την παραγωγή φλογοπίτη είναι ο Καναδάς και μετέπειτα η Μαδαγασκάρη με χαρακτηριστικό το μικρότερο κόστος παραγωγής.

ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Παγκόσμια παραγωγή

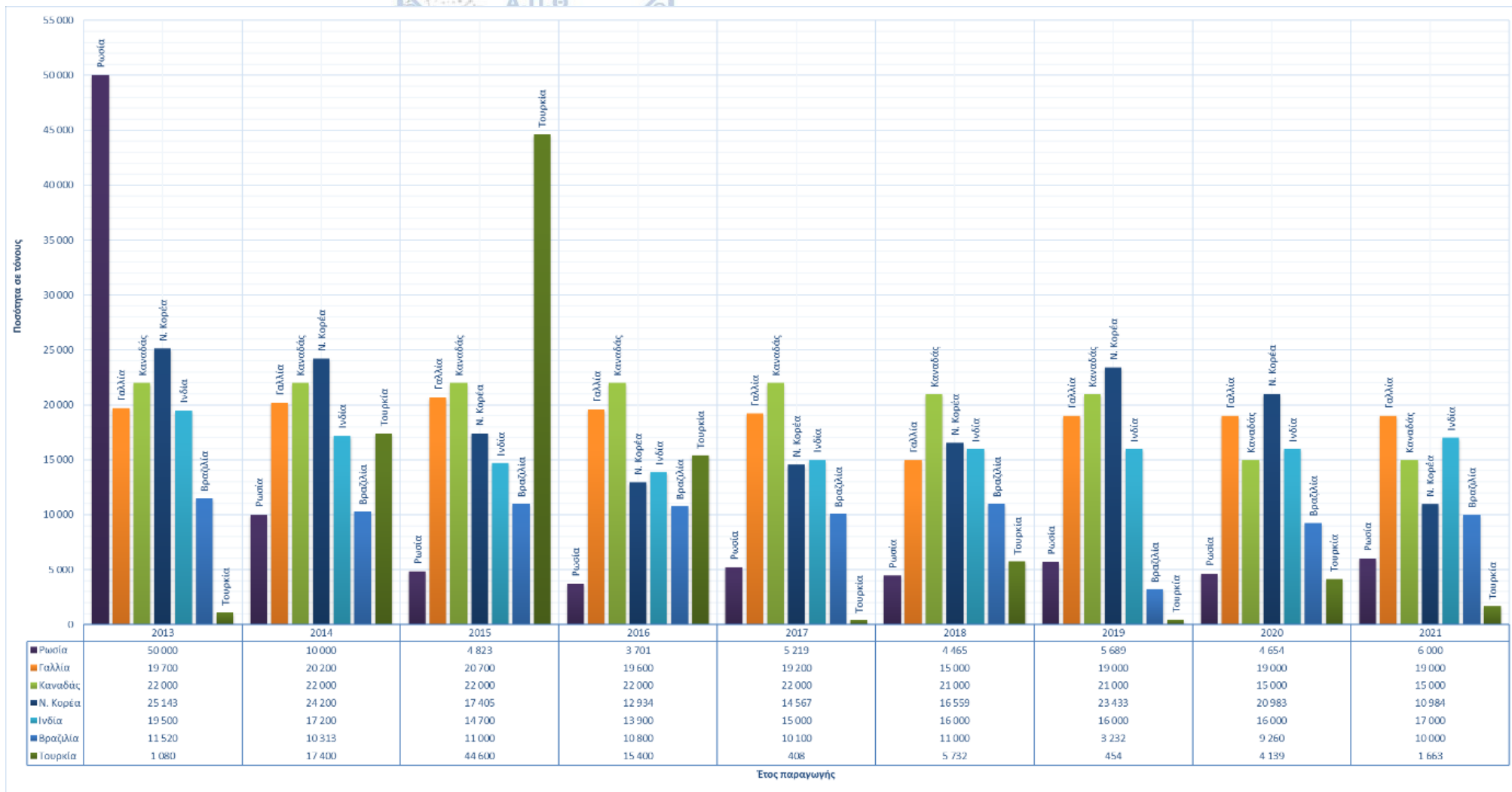
Από τα προσφάτως τελευταία διαθέσιμα δεδομένα για την παγκόσμια παραγωγή από την USGS (United States Geological Survey), προκύπτει πως οι χώρες με πολύ σημαντική παραγωγή τα έτη 2013 – 2021 σε μαρμαρυγίες είτε φύλλα είτε τρίμματα είτε σύνθετους, παρουσιάζονται στο παρακάτω Σχήμα 4.1.



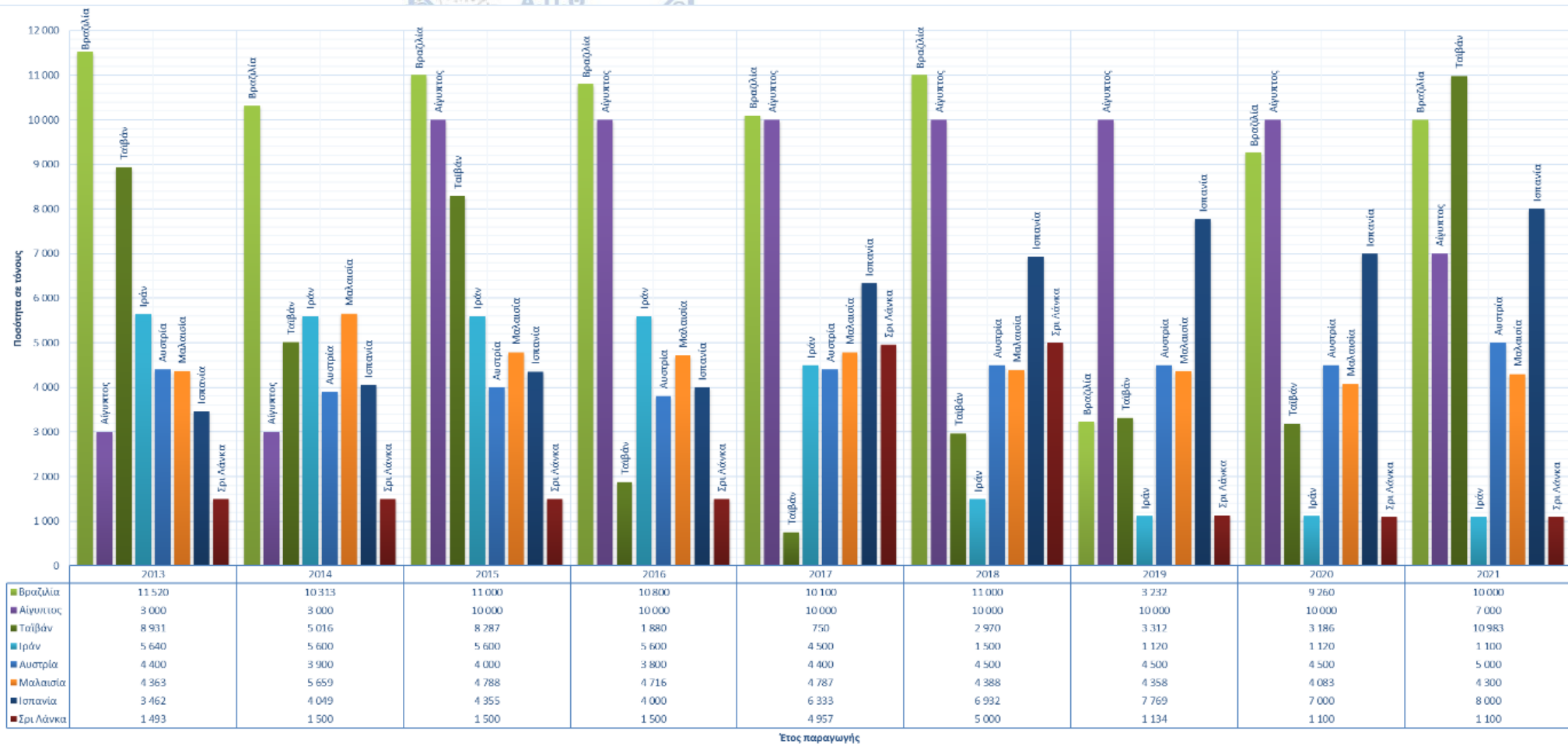
Σχήμα 0.1 Διαγραμματική απεικόνιση της παραγωγής σημαντικών χωρών και συνολικής παγκόσμιας παραγωγής για τα έτη 2013-2021

Από το ανωτέρω διάγραμμα προκύπτει πως τη μεγαλύτερη ποσότητα παραγωγής, τη κατέχει η Κίνα (80.300 έως 110.000 τόνοι) με τις Φινλανδία, ΗΠΑ και Μαδαγασκάρη να ακολουθούν. Ενδιαφέρουσα αύξηση παρουσιάζει η Μαδαγασκάρη τα τελευταία χρόνια από 9.782 τόνους το 2013 σε 68.694 τόνους το 2021, ενώ οι υπόλοιπες χώρες έχουν σχετικά σταθερή τάση την δετία 2013-2021.

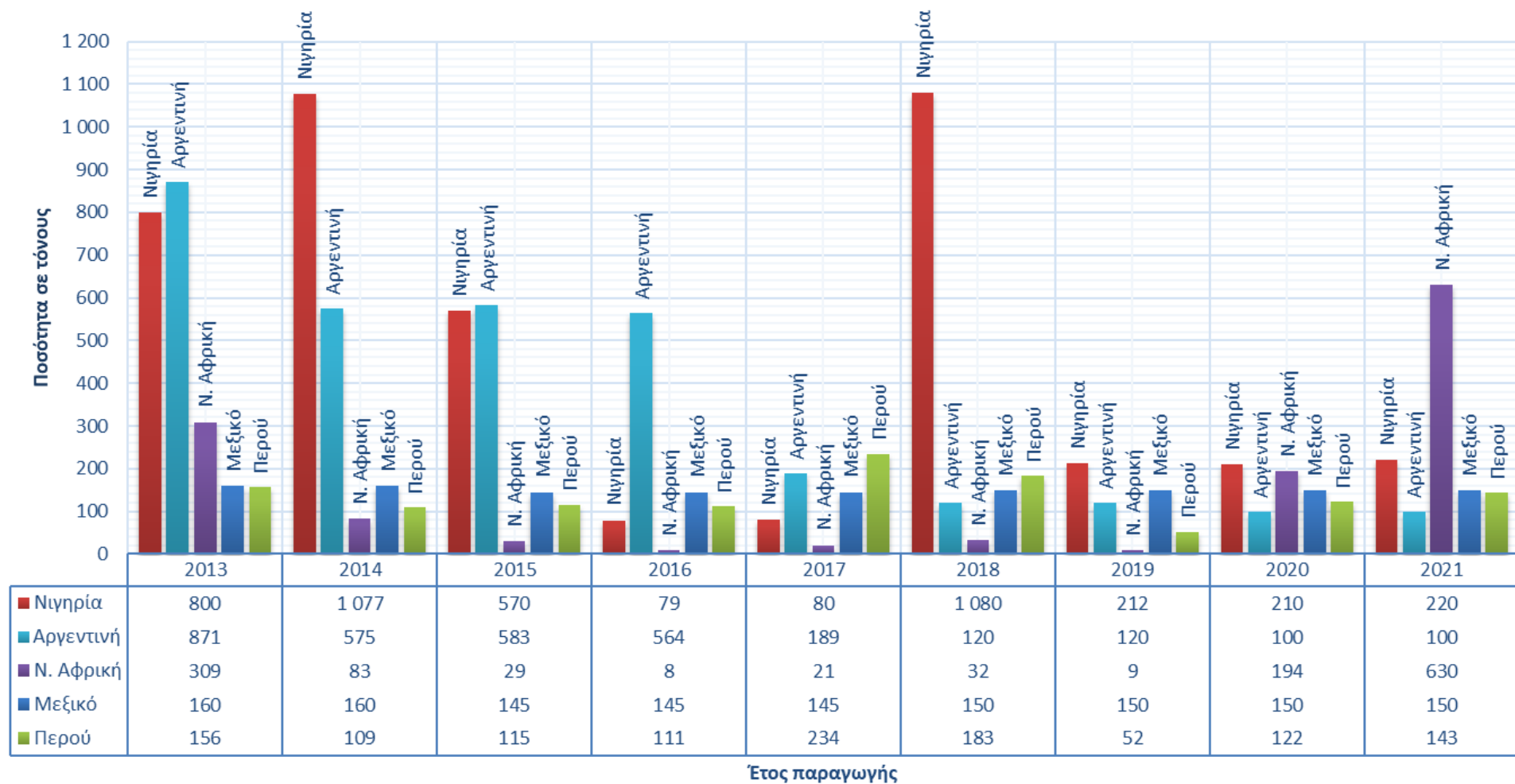
Στα διαγράμματα των Σχημάτων 4.2 έως 4.4 παρουσιάζονται οι ποσότητες παραγωγής κατά την δετία 2013-2021 για χώρες μέσης παραγωγής με μέση τιμή 15.000 τόνους, για χώρες χαμηλής παραγωγής με μέση τιμή 5.000 τόνους και για χώρες πολύ χαμηλής παραγωγής με μέση τιμή 250 τόνους αντιστοίχως.



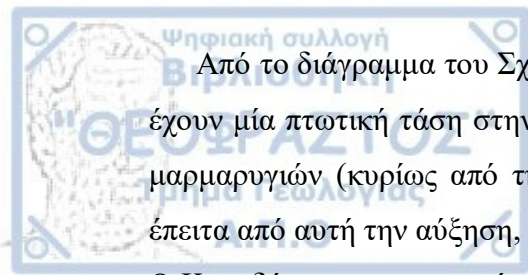
Σχήμα 0.2 Διαγραμματική απεικόνιση της παραγωγής χωρών με μέση παραγωγή 15.000 τόνων για τα έτη 2013-2021



Σχήμα 0.3 Διαγραμματική απεικόνιση της παραγωγής χωρών με μέση παραγωγή 5.000 τόνων για τα έτη 2013-2021



Σχήμα 0.4 Διαγραμματική απεικόνιση της παραγωγής χωρών με μέση παραγωγή 250 τόνων για τα έτη 2013-2021



Από το διάγραμμα του Σχήματος 4.2 προκύπτει πως σχεδόν όλες οι χώρες της κατηγορίας έχουν μία πτωτική τάση στην παραγωγή με εξαίρεση την θεαματική αύξηση της παραγωγής μαρμαρυγιών (κυρίως από τη παραγωγή ιλλίτη) στην Τουρκία τα έτη 2014-2016. Ωστόσο έπειτα από αυτή την αύξηση, το επόμενο χρόνο, η παραγωγή είχε πτωτική τάση μέχρι το 2021. Ο Καναδάς στην παραγωγή φλογοπίτη είχε σταθερά επίπεδα παραγωγής μέχρι το 2019 όπου και παρουσιάζεται μείωση των ποσοτήτων παραγωγής από 21.000 σε 15.000 τόνους μέχρι και το 2021. Όπως παρατηρούμε και από το διάγραμμα του Σχήματος 4.1, ταυτόχρονα με την μείωση της παραγωγής φλογοπίτη του Καναδά, υπάρχει αυξητική τάση στην παραγωγή φλογοπίτη της Μαδαγασκάρης που ίσως εξηγεί την πτωτική τάση του Καναδά. Αξίζει να σημειωθεί πως τα επίσημα στατιστικά στοιχεία για την παραγωγή στον Καναδά κατά τα έτη 2016 έως 2018 δεν είναι διαθέσιμα σύμφωνα με τις αναφορές του USGS και τα νούμερα προέκυψαν από εκτίμηση με βάση τις εξαγωγές του Καναδά.

Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί πως με βάση τα στοιχεία του USGS, η Ρωσία κατά τα έτη 1990-91 ως Σοβιετική Ένωση και τα έτη 1992-2005 ως Ρωσία κατείχε είτε την πρώτη θέση είτε την δεύτερη στην παγκόσμια παραγωγή με 35.000 έως 100.000 τόνους. Ωστόσο από το 2006 και έπειτα υπάρχει μεγάλη πτωτική πορεία παραγωγής η οποία έφτασε το 2016 στους 3701 τόνους, ενώ μέχρι το 2021 δεν ξεπέρασε τους 9000 τόνους.

Από το διάγραμμα του Σχήματος 4.3 προκύπτουν τα εξής:

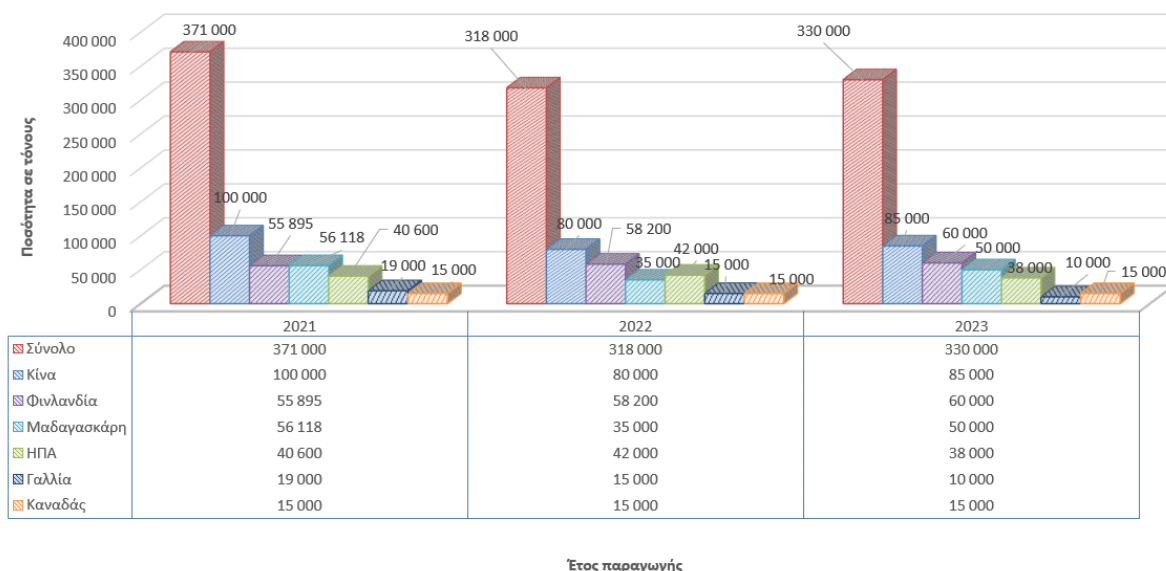
- Η Αίγυπτος έχει αυξητική τάση τα τελευταία χρόνια, με μία μικρή πτώση μόνο το 2021.
- Η Βραζιλία έχει σταθερή τάση στην παραγωγή εκτός από το 2019 όπου γνώρισε μία μείωση της τάξης των 7000 τόνων.
- Η Ταϊβάν έχει μεγάλες αυξομειώσεις κατά τα έτη 2013-2021, ωστόσο το 2021 κατέχει ηγετική θέση στην κατηγορία με ετήσια παραγωγή 10983 τόνους.
- Οι υπόλοιπες χώρες παρουσιάζουν αυξομειώσεις μέσα στην δετία χωρίς κάποια αξιοσημείωτη αναφορά.

Από το διάγραμμα του Σχήματος 4.4 προκύπτουν τα εξής:

- Το 2018 η Νιγηρία παρήγαγε 1080 τόνους, μία πολύ μεγάλη αύξηση σε σχέση με τα υπόλοιπα χρόνια.
- Η Ν. Αφρική το 2016 και το 2019 παρουσιάζει την χαμηλότερη παραγωγή από όλες τις χώρες (8 και 9 τόνους αντίστοιχα). Ωστόσο γνώρισε μεγάλη αύξηση 2021 με παραγωγή 630 τόνους, την σημαντικότερη παραγωγή των ετών 2019-2021 σε σχέση με τις υπόλοιπες χώρες της κατηγορίας.
- Μετά το 2016, η Αργεντινή μείωσε την παραγωγή της περίπου στο μισό της παραγωγής σε σχέση με τα έτη 2013-2016.

- Οι υπόλοιπες χώρες παρουσιάζουν ήπιες αυξομειώσεις και σχεδόν σταθερή τάση μέσα στην δετία.

Για τα έτη 2021 – 2023 η παγκόσμια παραγωγή των φύλλων μαρμαρυγία ήταν σχετικά σταθερή με βάση τις αναφορές του USGS. Ωστόσο δεν υπάρχουν στατιστικά στοιχεία για τις ποσότητες από πολλές χώρες. Υπάρχουν δεδομένα για τα τρίμματα μαρμαρυγία για τις χώρες που παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.5:

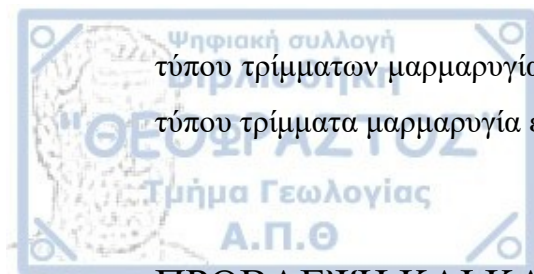


Σχήμα 0.5 Διαγραμματική απεικόνιση της παραγωγής τριμμάτων μαρμαρυγία για τα έτη 2013-2021

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε μία μείωση της παγκόσμιας παραγωγής το 2022 η οποία εξακολουθεί να παρουσιάζεται μειωμένη το 2023. Παρά την ηγετική της θέση η Κίνα παρουσιάζει πτωτική τάση από το 2021 έως 2023 όπως και η Γαλλία. Ανοδική τάση φαίνεται να έχει η παραγωγή στην Φινλανδία η οποία έρχεται δεύτερη σε παραγωγή τα τελευταία τουλάχιστον 10 χρόνια.

Τιμές

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η καλύτερη αλλά και πιο σπάνια μορφή των προϊόντων μαρμαρυγία είναι τα φύλλα μαρμαρυγία (*sheet mica*) τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως στην βιομηχανία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών. Η τιμή τους κυμαίνεται από 1\$ το κιλό για χαμηλής ποιότητας μαρμαρυγίες έως 2000\$ το κιλό για τους υψηλής ποιότητας μαρμαρυγίες. Για τις ΗΠΑ και το έτος 2018 για το οποίο υπάρχουν τελευταία διαθέσιμα δεδομένα από τον USGS εκτιμάται πως η μέση τιμή των φυλλαρίων μαρμαρυγία (μοσχοβίτη) που παράχθηκαν, πωλούνταν με 1,61\$ το κιλό, ενώ αντίστοιχα του φλογοπίτη η τιμή πώλησης ήταν 7,68\$ το κιλό. Για το ίδιο έτος η μέση τιμή πώλησης των τριμμάτων και νιφάδων μαρμαρυγία που παράχθηκαν και καταναλώθηκαν (τα οποία περιλαμβάνουν και τα προϊόντα μαρμαρυγία καλής ποιότητας), ήταν 122\$ ανά τόνο προϊόντος, η μέση τιμή πώλησης των ξηρού



τύπου τριμμάτων μαρμαρυγία είχαν τιμή 308\$ ανά τόνο προϊόντος, ενώ αντίστοιχα τα υγρού τύπου τρίμματα μαρμαρυγία είχαν μέση τιμή πώλησης 454\$ ανά τόνο προϊόντος.

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ

Σύμφωνα με αναφορές του USGS, οι κύριες αγορές για τα τρίμματα μαρμαρυγία (*ground mica*) αφορούν κυρίως στις κατασκευές σπιτιών (γυψοσανίδες και χρώματα) και αποτελεί μία σταθερή αγορά τα τελευταία χρόνια. Οι μακροπρόθεσμες προοπτικές για την παραγωγή και ζήτηση τριμμάτων μαρμαρυγία (*ground mica*) αναμένεται να παραμείνουν σταθερές έως ανοδικές. Η ζήτηση τριμμάτων μαρμαρυγία επηρεάζεται και από την βιομηχανία των αυτοκινήτων επειδή αρκετά εσωτερικά και εξωτερικά εξαρτήματα περιέχουν συνήθως τρίμματα μαρμαρυγιών ξηρού τύπου και οι εξωτερικές επιφάνειες βάφονται με χρωστικές ουσίες και επικαλύψεις από μαρμαρυγίες.

Επίσης, σε μικρότερες ειδικές αγορές, όπως τα καλλυντικά, τα νάιλον, οι ρητίνες και τα συνθετικά πολυπροπυλενίου αναμένεται να έχουν αυξημένη ζήτηση σε τρίμματα μαρμαρυγία.

Η κατανάλωση σε μπλοκ μαρμαρυγία (*block mica*) και κατ' επέκταση η ζήτηση αναμένεται να παραμείνει σταθερή ή να αυξηθεί ελαφρώς καθώς αυξάνεται η ζήτηση σε μερικές ειδικές αγορές, όπως τα ηλεκτρονικά. Η έλλειψη υψηλής ποιότητας των μπλοκ μαρμαρυγία αναμένεται να συνεχιστεί λόγω του γενικά χαμηλού ποσοστού υψηλής ποιότητας μαρμαρυγία στα κοιτάσματα που εξορύσσονται σήμερα, κυρίως από πηγματίτες.

Η κατανάλωση και ζήτηση σχισμάτων μαρμαρυγία (*mica splittings*), που είναι ο κύριος τύπος που καταναλώνεται στις Ηνωμένες Πολιτείες, δεν αναμένεται να έχει ουσιαστική αύξηση, καθώς δεν προβλέπεται άμεσα να καταναλωθεί σε νέες χρήσεις, ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν και χρησιμοποιούνται πολλά υποκατάστατα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

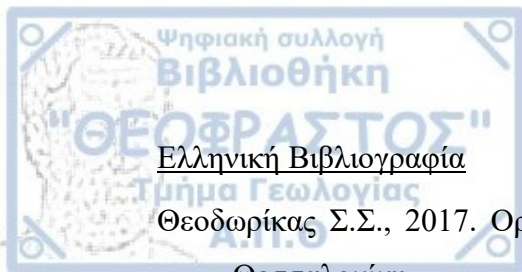
Οι μαρμαρυγίες είναι ορυκτά τα οποία εμφανίζονται σε πολλά γεωλογικά και μεταλλευτικά περιβάλλοντα είτε ως πρωτεύοντα είτε ως δευτερεύοντα ορυκτά. Η μεταλλευτική δραστηριότητα γύρω από τους μαρμαρυγίες έχει αφετηρία τουλάχιστον δύο αιώνες πίσω ωστόσο αναφορές για χρήση μαρμαρυγιών είναι γνωστές από τους προϊστορικούς χρόνους, με τους αρχαίους Ινδούς, Κινέζους, Έλληνες, Ρωμαίους μέχρι και τους Αζτέκους να είναι κάποιοι από τους γνωστούς πολιτισμούς που χρησιμοποίησαν πρώτη φορά μαρμαρυγίες. Συγκεκριμένα, η πρώτη γνωστή χρήση μαρμαρυγία έχει βρεθεί σε ζωγραφισμένο τοίχο σε σπήλαιο που δημιουργήθηκε κατά την Παλαιολιθική Εποχή (40.000 π.Χ. έως το 10.000 π.Χ.). Μία ακόμα γνωστή εφαρμογή μαρμαρυγιών έχει ανακαλυφθεί στην αρχαία πόλη Teotihuacan που εντοπίζεται κοντά στην πόλη του Μεξικό, σε μία μεγάλη πυραμίδα η οποία περιείχε σημαντικές ποσότητες μαρμαρυγία σε στρώσεις έως και 30cm. Οι φυσικοί μαρμαρυγίες εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται από φυλές όπως οι ερυθρόδερμοι Τάος για να κάνουν αγγειοπλαστική.

Με το πέρασμα του χρόνου, οι χρήσεις των μαρμαρυγιών στην καθημερινή ζωή έχουν εξελιχθεί και πριν από δύο αιώνες περίπου, όταν εδραιώθηκε και εξελίχθηκε η μεταλλευτική δραστηριότητα ως προς την εξόρυξη μαρμαρυγιών, χρησιμοποιούνταν κυρίως για τις θερμικές τους ιδιότητες. Με την ανάπτυξη της βιομηχανίας των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών, γνώρισε μεγάλη αύξηση η εξόρυξη και η παραγωγή των μαρμαρυγιών όπως περίπου την γνωρίζουμε έως και σήμερα. Η ζήτηση των μαρμαρυγιών ήταν, είναι και εκτιμάται πως θα είναι και στο μέλλον κινητήρια δύναμη και σημαντικός παράγοντας στην ανάπτυξη νέων μεθόδων έρευνας, εντοπισμού, εξόρυξης και επεξεργασίας των ορυκτών αυτών. Παρόλο που η φύση των εμφανίσεων των μαρμαρυγιών κυρίως ως μεγάλα μπλοκ και φύλλα, τα οποία χρησιμοποιούνται περισσότερο σε ηλεκτρικές εφαρμογές είναι απρόβλεπτη και δεν μπορεί να συστηματοποιηθεί, με την πρόοδο της τεχνογνωσίας και της επιστημονικής έρευνας θα μπορούσε να υπάρξει χώρος για νέες μεθόδους έρευνας, εντοπισμού και επεξεργασίας στον συγκεκριμένο τομέα στο προσεχές μέλλον. Το μόνο σίγουρο είναι πως η παραγωγή και ζήτηση μέσα στην τελευταία 30ετία έχει αυξηθεί και τα δεδομένα δείχνουν πως αυτή η τάση θα συνεχιστεί και για τα επόμενα χρόνια.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Curry C.K., 2019. Mica, Technical Report, *2016 Mineral Yearbook*, U.S. Geological Survey.
- Curry C.K., 2020. Mica, Technical Report, *2017 Mineral Yearbook*, U.S. Geological Survey.
- Harben W.P., 2002. The Industrial Minerals HandyBook, A guide to markets, specifications and prices, Industrial Minerals Information, Ltd.
- Jasinski M.S., 2022. Mica (Natural), Technical Report, *Mineral Commodity Summaries 2022*, U.S. Geological Survey.
- Jasinski M.S., 2023. Mica (Natural), Technical Report, *Mineral Commodity Summaries 2023*, U.S. Geological Survey.
- Jasinski M.S., 2024. Mica (Natural), Technical Report, *Mineral Commodity Summaries 2024*, U.S. Geological Survey.
- Schlanz W.J. and Tanner T.J.Jr., 2006. Industrial Minerals and Rocks, Commodities, Markets and Uses, 7th edition, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., USA.
- Stephen M.J., 2021. Mica, Technical Report, *2018 Mineral Yearbook*, U.S. Geological Survey.
- Sterrett B.D., 1923. Mica deposits of the United States, Government Printing Office, Ohio State University.
- Tischendorf G., Forster H.-J. & Gottesmann B., 2001. Minor- and trace-element composition of trioctahedral micas: a review, *Mineralogical Magazine*, vol. 65(2), pp. 249–276, Germany.
- Willett C.J., 2014. Mica, Technical Report, *2013 Mineral Yearbook*, U.S. Geological Survey.
- Willett C.J., 2016. Mica, Technical Report, *2014 Mineral Yearbook*, U.S. Geological Survey.
- Willett C.J., 2016. Mica, Technical Report, *2015 Mineral Yearbook*, U.S. Geological Survey.



Ελληνική Βιβλιογραφία

Θεοδωρίκας Σ.Σ., 2017. Ορυκτολογία – Πετρολογία, Γραφικές τέχνες «Μέλισσα», Θεσσαλονίκη.

Κατερινόπουλος Ε.Α., 2008. Ο Κόσμος των ορυκτών, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Διαδικτυακές πηγές

<https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/mica-statistics-and-information>

<https://web.archive.org/web/20150302150241/http://www.rocksandminerals4u.com/mica.html>

<https://www.911metallurgist.com/blog/mica-mineral-types>

<https://mineralseducationcoalition.org/minerals-database/mica/>

<https://www.europe-geology.eu/promine/>

<https://www.mindat.org/min-6728.html>

<https://el.wikipedia.org/wiki/Μαρμαρυγίες>