

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ - ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Α. ΣΑΡΑΦΗΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΩΝ ΑΣΒΕΣΤΙΤΗ ΚΑΙ
ΔΟΛΟΜΙΤΗ ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΑΡΜΑΡΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ
ΑΣΒΕΣΤΟΜΕΤΡΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ
ΓΕΩΛΟΓΙΑ,
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: 'ΟΡΥΚΤΟΙ ΠΟΡΟΙ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ'



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2022





ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Α. ΣΑΡΑΦΗΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΩΝ ΑΣΒΕΣΤΙΤΗ ΚΑΙ ΔΟΛΟΜΙΤΗ ΣΕ
ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΑΡΜΑΡΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΑΣΒΕΣΤΟΜΕΤΡΟΥ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών
Σπουδών 'Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία', Κατεύθυνση 'Ορυκτοί Πόροι -
Περιβάλλον'

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 01/02/2022

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Αν. Καθηγητής Βασίλης Μέλφος, Επιβλέπων
Αν. Καθηγητής Καντηράνης Νικόλαος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής
ΕΔΙΠ Βογιατζής Δημήτριος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής



© Δημήτριος Α. Σαράφης, Γεωλόγος, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΩΝ ΑΣΒΕΣΤΙΤΗ ΚΑΙ ΔΟΛΟΜΙΤΗ ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΑΡΜΑΡΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΑΣΒΕΣΤΟΜΕΤΡΟΥ - *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

© Dimitrios A. Sarafis, Geologist, 2022

All rights reserved.

DETERMINATION OF CALCITE AND DOLOMITE CONCENTRATIONS IN GREEK MARBLES WITH THE METHOD OF CALCIMETER - *Master Thesis*

Citation:

Σαράφης Δ.Α., 2022. - Προσδιορισμός των περιεκτικοτήτων ασβεστίτη και δολομίτη σε ελληνικά μάρμαρα με την μέθοδο του ασβεστόμετρου (Ελλάδα). Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 105 σελ.

Sarafis D.A., 2022. - Determination of calcite and dolomite concentrations in greek marbles with the method of calcimeter (Greece). Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 105 pp.

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: Ασβεστόμετρο. Φωτογραφία: Δ. Σαράφης



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	- 6 -
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	- 7 -
ABSTRACT	- 8 -
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 9 -
2. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΑ, ΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ	- 13 -
2.1 Χρωματικά Χαρακτηριστικά	- 16 -
2.2 Φυσικομηχανικές Ιδιότητες	- 16 -
2.3 Οικονομικά στοιχεία	- 17 -
3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ	- 18 -
3.1 Περιθλασιμετρία ακτίνων-X (XRD)	- 20 -
3.2 Η μέθοδος του ασβεστόμετρου - Αρχή λειτουργίας	- 21 -
3.2.1 FOGII Digital Soil Calcimeter	- 21 -
3.2.2 FOGL Bench-top Soil Calcimeter	- 23 -
3.2.3 Μετρήσεις με το FOGL	- 28 -
3.3 Γεωγραφικά και ορυκτολογικά - πετρογραφικά στοιχεία των δειγμάτων	- 32 -
3.3.1 Ανατολική Μακεδονία και Θράκη.....	- 32 -
3.3.2 Κεντρική Μακεδονία.....	- 36 -
3.3.3 Δυτική Μακεδονία.....	- 37 -
3.3.4 Θεσσαλία.....	- 40 -
3.3.5 Νησιά Αιγαίου.....	- 45 -
3.3.6 Αττική και Εύβοια.....	- 48 -
3.3.7 Πελοπόννησος	- 51 -
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	- 55 -
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	- 60 -
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	- 64 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 69 -
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	- 76 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - Αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων του ασβεστόμετρου με τα διαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων X	- 78 -



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Περάσανε τριάντα τρία συναπτά χρόνια από την ημέρα που ορκίστηκα και παρέλαβα από τον Καθηγητή κ. Δημοσθένη Μουντράκη το πτυχίο της Γεωλογίας. Ποτέ δεν φανταζόμουν πως μετά από τόσα χρόνια θα είχα τα ψυχικά αποθέματα, τη διάθεση αλλά κυρίως το γνωστικό υπόβαθρο για να μπορέσω να ολοκληρώσω τις μεταπτυχιακές μου σπουδές.

Σήμερα, με την ολοκλήρωση της παρούσης εργασίας και κλείνοντας αυτόν το κύκλο σπουδών, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Αν. Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας και Κοιτασματολογίας Δρ Βασίλη Μέλφο. Στις αρχικές μου επιφυλάξεις για την επιτυχή υλοποίηση των μεταπτυχιακών μου σπουδών υπήρξε αρωγός και υποστηρικτής στο όλο εγχείρημα.

Επίσης θερμά ευχαριστώ τον Αν. Καθηγητή Δρ Νικόλαο Καντηράνη, του ίδιου Τομέα, που συνέβαλε τα μέγιστα στα εργαστήρια αλλά και στο πεδίο μελέτης με τις ασκήσεις υπαίθρου σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Ιδιαίτερα τον ευχαριστώ για την συμβολή του στις εργαστηριακές μετρήσεις των ποσοτικών αναλύσεων περίθλασης των ακτίνων-X (XRD). Θερμά ευχαριστώ και τον Δρ Δημήτριο Βογιατζή, μέλος του Εργαστηριακού Διδακτικού Προσωπικού, για την συμβολή του στην εργαστηριακή παρασκευή των εξεταζόμενων δειγμάτων, καθώς και τον Δρ. Π. Τζεφέρη για την διάθεση των δειγμάτων από τη περιοχή της Μάνης, που μελέτησε στη μεταπτυχιακή του διατριβή.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω και να μην αναφερθώ στην αμέριστη συμπαράσταση και τις συμβουλές που έλαβα από τον Ομότιμο Καθηγητή κ. Ανέστη Φιλιππίδη. Επίσης εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στους συναδέλφους μου Αποστολία, Δάφνη, Χρύσα, Νίκο, Διονύση και Φοίβο για την βοήθεια τους, όποτε αυτή ζητήθηκε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Προσδιορισμός των περιεκτικοτήτων ασβεστίτη και δολομίτη σε ελληνικά μάρμαρα με την μέθοδο του ασβεστόμετρου

Δημήτριος Σαράφης

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν εργαστηριακά με τη μέθοδο του ασβεστόμετρου 55 δείγματα μαρμάρων από θέσεις αρχαίων λατομείων καθώς και από ενεργά και αδρανή σύγχρονα λατομεία με στόχο τον προσδιορισμό των κύριων ανθρακικών ορυκτών, του ασβεστίτη και του δολομίτη. Τα δείγματα προέρχονται από τις παρακάτω περιοχές: Μαρώνεια Ροδόπης, Ακρόπολη, Αλυκή και Βαθύ Θάσου, Ζαρκαδιά και Φίλιπποι Καβάλας, Βώλακας Δράμας, Μονή Χιλανδαρίου Αγίου Όρους, Ολυμπιάδα Χαλκιδικής, Άγιος Χαράλαμπος Κιλκίς, Αραβησσός Πάικου, Βρία Πιερίων, Βέρμιο, Τρανόβαλτος Καμβουνίων, Τέμπη, Αρχαία Άτραξ, Χασάμπαλη, Καλοχώρι, Καστρί, Γόννοι, Κουτσόχερο, Μύρα και Τύρναβος Λάρισας, Τισαίον όρος, Γορίτσα, Δημητριάδα και Φερές Μαγνησίας, τα νησιά του Αιγαίου Σκύρος, Πάρος, Νάξος και Ηρακλεία, Πεντέλη και Διόνυσο Αττικής, Θορικό και Στεφάνι Λαυρίου, Κάρυστο Εύβοιας και Μάνη Πελοποννήσου. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η πλειονότητα των εξετασμένων μάρμαρων, 47 στο σύνολο, είναι ασβεστιτικά με μέση περιεκτικότητα σε ασβεστίτη από 77 έως 100%, σε δολομίτη από 0 έως 11% και σε μη ανθρακικά ορυκτά από 0 έως 16%. Τα δολομιτικά-ασβεστιτικά μάρμαρα είναι τέσσερα (Βαθύ Θάσου, Βώλακας Δράμας, Γόννοι Λάρισας και Ηρακλεία) με σύσταση σε δολομίτη 13-68% και σε ασβεστίτη 32-79%, ενώ τα τρία σιπολινικά μάρμαρα περιέχουν 62-87% ασβεστίτη, 1-3% δολομίτη και 12-36% μη ανθρακικά ορυκτά. Τέλος, αυτό από την περιοχή Κυπάρισσος της Μάνης από 42-43% ασβεστίτη, 1-2% δολομίτη και 56% από μη ανθρακικά ορυκτά. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ποσοτικών αναλύσεων περίθλασης ακτίνων-Χ, για τα 43 από τα 55 δείγματα, εντοπίστηκαν διαφοροποιήσεις για 5 από αυτά ως προς την σύστασή τους σε ασβεστίτη και δολομίτη. Συγκεκριμένα τα δείγματα από το Βαθύ (VATH) και την Ηρακλεία (IRAK) αφορούν δύο καθαρά δολομιτικά πετρώματα, καθώς αποτελούνται από 97% και 95% δολομίτη αντίστοιχα. Επίσης τα δείγματα Verm5B και Vry 1 αφορούν δολομιτικά-ασβεστιτικά μάρμαρα, καθώς αποτελούνται από 87% και 83% ασβεστίτη και από 10% και 16% δολομίτη αντίστοιχα. Επιπλέον το δείγμα Kastri 1 πρόκειται για ένα σιπολινικό μάρμαρο καθώς αποτελείται από 81% ασβεστίτη, 9% δολομίτη, 5% μαρμαρυγία, 3% χλωρίτη και 2% χαλαζία. Τέλος, πολύ ικανοποιητικά εμφανίζονται τα αποτελέσματα σε όλα τα δείγματα σχετικά με το συνολικό ποσοστό συμμετοχής των ανθρακικών κλασμάτων του ασβεστίτη και δολομίτη.

ABSTRACT

Determination of calcite and dolomite concentrations in Greek marbles with the method of calcimeter

Dimitrios Sarafis

In the present project, 55 samples of marbles from ancient quarries, as well as, from active and inactive modern quarries, were studied by the method of calcimeter in order to determine the main carbonate mineral fractions, calcite and dolomite. The samples were collected from the following areas: Maronia (Rhodopi), Acropolis, Alikí and Vathi (Thassos), Zarkadia (Kavala), Filippoi (Kavala), Volakas (Drama), Chilandari Monastery (Mount Athos), Olympias (Chalkidiki), Agios Charalambos (Kilkis), Aravissos (Paikon), Vria (Pieria), Vermion mountain, Tranovalto (Kozani), ancient Atrax, Chassanbali, Kalochori, Kastri, Koutsochero, Myra and Tyrnavos (Larissa), Mount Tisaion, Goritsa, Dimitriada and Ferres (Magnesia), the Aegean islands Skyros, Paros, Naxos and Heraklia, Penteli and Dionysos (Attica), Thoriko and Stefani (Lavrion), Karystos (Evoia) and Mani (Peloponnissos). The results of the research showed that the majority of the examined marbles, 47 samples in total, are calcitic with an average composition of 77-100% calcite, 0-11% dolomite and 0-16% non-carbonate minerals. Dolomitic-calcitic marbles are only represented with three samples, with an average composition of 13-68% dolomite and 32-79% calcite, while the three cipollinic samples appear with an average composition of 62-87% calcite, 1-3% dolomite and 12-36% non-carbonated minerals. Finally, the sample from Kyparissos of Mani consists of 42-43% calcite, 1-2% dolomite and 56% of non-carbonated minerals. According to the results of the quantitative X-ray Diffraction (XRD) analysis, in 43 out of 55 samples, differentiations in the composition of calcite and dolomite, were identified in 5 samples, when were compared with the calcimeter method. Specifically, the samples from Vathi (Vath) and Iraklia (IRAK) are dolomite marbles, and are consisted of 97% and 95% dolomite, respectively. Also, the samples Verm5B and Vry 1 are dolomitic-calcitic marbles, consisting of 87% and 83% calcite and 10% and 16% dolomite respectively. Furthermore, the sample Kastri 1 is a cipollinic marble and consists of 81% calcite, 9% dolomite, 5% mica, 3% chlorite and 2% quartz. The results are very satisfactory in all samples regarding the total percentage of carbonate fractions of calcite and dolomite.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο μάρμαρο η επιστημονική κοινότητα περιγράφει το μεταμορφωμένο πέτρωμα που συνίσταται από την ανακρυστάλλωση του ασβεστόλιθου και αποτελείται επι το πλείστον από λεπτό - μέχρι αδρόκοκκο ασβεστίτη ή και δολομίτη (Filippidis and Tsirambides, 2015). Το μάρμαρο χαρακτηρίζεται από γρανοβλατικό ιστό, με ισότροπη υφή, που κάποιες φορές παρουσία μαρμαρυγιών, εμφανίζει ατελή σχιστότητα (Δημητριάδης, 1985). Εντούτοις ο όρος μάρμαρο χρησιμοποιείτε για όλα τα πετρώματα που μπορούν να δεχθούν τεχνικές επεξεργασίες κοπής, λείανσης, στίλβωσης και παραγωγής πλακών για επίστρωση και επένδυση (Φιλιππίδης και Τσιραμπίδης, 2015).

Από τον 7^ο αιώνα π.Χ., το ελληνικό μάρμαρο που εξορύσσονταν από τα ξακουστά αρχαία λατομεία στο Πεντελικόν, στον Υμηττό, στην Νάξο, στην Πάρο και αλλού, αξιοποιείτο ως δομικός λίθος για την κατασκευή αρχιτεκτονικών έργων, όπως αρχαίων ναών, δημόσιων κτηρίων, τειχών, γλυπτών και άλλων κατασκευών (Craig and Craig, 1972, Herz, 1987, Melfos et al., 2002). Όπως αναφέρει ο Θεόφραστος (4ος αιώνας π.Χ.), με κατάλληλες επεξεργασίες λάξευσης, σμίλευσης και γλυπτικής αποτυπώθηκε διαχρονικά ο Αρχαίος Ελληνικός πολιτισμός (Melfos, 2004) και αποτελούν κομμάτι της καλλιτεχνικής και πολιτιστικής κληρονομιάς της χώρας μας.

Η Ελλάδα σήμερα, θεωρείται μία από τις κορυφαίες χώρες παραγωγής μαρμάρου στον κόσμο με σημαντική θέση στη παγκόσμια αγορά των διακοσμητικών λίθων. Πολλά ελληνικά ανθρακικά πετρώματα χαρακτηρίζονται από την ιδιαίτερη και σε ορισμένες περιπτώσεις μοναδική εμφάνισή τους, έχοντας σημαντικό αντίκτυπο στην εμπορική τους αξία. Οι φυσικο-μηχανικές τους ιδιότητες και το ευρύ φάσμα των χρωματικών ποικιλιών τους, είναι άμεσα συνυφασμένες με την ορυκτολογική τους παραγένεση, τη χημική τους σύσταση, τις πετρογραφικές τους ιδιότητες, τις δομικές τους ατέλειες, οι οποίες με τη σειρά τους, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις αποτυπωμένες μεταμορφωτικές/διαγενετικές και σε ορισμένες περιπτώσεις μεταγενέστερες υδροθερμικές διεργασίες (Kantiranis et al. 1999, Καντηράνης κ.ά. 2001, Badouna et al., 2019).

Τα πιο κοινά ορυκτά που βρίσκονται στα ιζηματογενή ανθρακικά πετρώματα και στα μεταμορφωμένα ισοδύναμά τους, είναι ο ασβεστίτης (CaCO_3) και ο δολομίτης [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]. Ανάλογα με τις συνθήκες σχηματισμού και της ορυκτολογικής και γεωχημικής σύστασης της πηγής τροφοδοσίας των ιζημάτων, καθώς επίσης, ανάλογα με τους μεταμορφικούς παράγοντες σχηματισμού των μεταμορφωμένων ανθρακικών πετρωμάτων, εξαρτάται και η ποσοστιαία περιεκτικότητά τους σε ασβεστίτη και δολομίτη, αντίστοιχα.

Επομένως, η ποσοτικοποίηση του ανόργανου άνθρακα, δηλαδή η έκφραση των ποσοστών συμμετοχής του ασβεστίτη και δολομίτη στα ανθρακικά πετρώματα, είναι ένα σημαντικό εργαλείο έρευνας στη μελέτη και ερμηνεία των παραπάνω γεωλογικών διαδικασιών και αποτελεί τη στοχοθεσία και το σκοπό της παρούσης εργασίας.

Στη σύγχρονη βιβλιογραφία πολλές δημοσιεύσεις με τη μέθοδο του ασβεστόμετρου (Nikolaou et al., 2016, Love, 2017, Barouchas and Koulos, 2021) αναφέρονται στη μελέτη για την ολική ανάλυση των ανθρακικών ορυκτών και τον υπολογισμό της περιεκτικότητας του CaCO_3 (σε κ.β.%) κυρίως σε εδάφη και χαλαρούς ιζηματογενείς σχηματισμούς. Στη παρούσα εργασία, η εργαστηριακή εξέταση των 55 δειγμάτων μαρμάρων με τη μέθοδο του ψηφιακού ασβεστόμετρου FOGL Bench-top Soil Calcimeter, ερευνά και αξιολογεί τη δυνατότητα ποσοτικής ανάλυσης ανθρακικών ορυκτών σε ελληνικά μάρμαρα με σκοπό τον ποσοτικό υπολογισμό της περιεκτικότητας τους σε ασβεστίτη και δολομίτη. Η αξιοποίηση της παραπάνω μεθόδου έγκειται στην ταχύτητα των αποτελεσμάτων, στο μικρό οικονομικό κόστος καθώς και στην ευκολία χρήσης και ευελιξίας. Σύμφωνα με την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της παρούσης εργασίας, το ψηφιακό ασβεστόμετρο FOGL μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο έρευνας στο ευρύτερο πεδίο των περιβαλλοντικών επιστήμων.

Ο προσδιορισμός των ποσοστών συμμετοχής του ασβεστίτη και δολομίτη των ανθρακικών πετρωμάτων αποτελεί σημαντικό εργαλείο έρευνας για τη μελέτη και ερμηνεία γεωλογικών διαδικασιών που καθόρισαν την ορυκτολογική σύσταση τους. Οι φυσικομηχανικές ιδιότητες και οι χρωματικές ποικιλίες των μαρμάρων αποτελούν τα κριτήρια της ταξινόμησης και χρήσης τους, και καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από την ποσοστιαία κατανομή των ανθρακικών ορυκτών (Kantiranis et al. 1999, Καντηράνης κ.ά. 2001, Χατζηπαναγής και Βουγιούκας, 2005, Λασκαρίδης και Πατρώνης, 2005, Παπατρέχας 2011, Badouna et al., 2019), διαμορφώνοντας έτσι άμεσα τους εμπορικούς σκοπούς και στόχους της εξορυκτικής βιομηχανίας μαρμάρου.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία, η ελληνική βιομηχανία μαρμάρου μέσω της σήμανσης Ευρωπαϊκής συμμόρφωσης CE (Conformité Européene) έχει την υποχρέωση πιστοποίησης της ποιότητας για τα παραγόμενα προϊόντα σχετικά με το χρώμα, την ύπαρξη χρωματικών φλεβιδίων και διάφορων εγκλεισμάτων αλλά κυρίως της χημικής σύστασης και των μηχανικών ιδιοτήτων (Kantiranis et al. 1999, Καντηράνης κ.ά. 2001, Χατζηπαναγής και Βουγιούκας, 2005, Λασκαρίδης και Πατρώνης, 2005).

Οι τελευταίες καθορίζονται από την ύπαρξη μικρορωγμών, την ιστολογία και υφή του μαρμάρου, αλλά κυρίως από τα ορυκτολογικά του συστατικά που καθορίζουν με τη σειρά τους την ποιότητα του μαρμάρου και επομένως την καταλληλότητα χρήσης του σε μια μεγάλη

ποικιλία εφαρμογών όπως οι δαπεδοστρώσεις, η κατασκευή εσωτερικών και εξωτερικών σκαλών, εσωτερικές και εξωτερικές επενδύσεις, διακοσμήσεις και πολλών άλλων ειδικών εφαρμογών (Τσιραμπίδης, 1996).

Το μάρμαρο όπως κάθε λιθολογικός σχηματισμός που εκτίθεται στις επιφανειακές συνθήκες της ατμόσφαιρας υπόκειται σε διαβρωτικές διαδικασίες. Πρωταγωνιστικό ρόλο παίζει το νερό και ο κύκλος του στην ατμόσφαιρα, λειτουργώντας ως διακομιστής ρύπων (οξείδια αζώτου και θείου κ.ά.) μέσω της όξινης βροχής. Τα τελευταία χρόνια η ανάγκη προστασίας, συντήρησης και διατήρησης μαρμάρινων αρχαίων μνημείων και έργων, οδήγησε στην δοκιμή μιας σειράς καινοτόμων υλικών, όπως επιστρώματα από πολυμερικά νανοσύνθετα, που λειτουργούν προληπτικά ως μονωτικά με το ατμοσφαιρικό νερό, χωρίς να φθείρουν τα φυσικά και πολιτισμικά τους χαρακτηριστικά (Yarosh et al., 1997, Vicini et al., 2002, Castelvetro et al., 2002, Μεραχτσάκη, 2013).

Σε μελέτη για τη προστασία του μαρμάρου από τη διάβρωση με προηγμένα σύνθετα πολυμερικά επιστρώματα, η Μεραχτσάκη (2013) επέλεξε για την πειραματική διαδικασία ένα ασβεστιτικό μάρμαρο (98% ασβεστίτης) από τη περιοχή της Πεντέλης και ένα δολομιτικό (86% δολομίτης, 12% ασβεστίτης, 2% χαλαζίας) από την περιοχή της Θάσου. Τα αποτελέσματα έδειξαν την εξάρτηση της προστασίας του χρησιμοποιούμενου πολυμερούς από την ορυκτολογική σύσταση του ανθρακικού πετρώματος και προτάθηκε μεταξύ άλλων η μελέτη της ικανότητας προστασίας των νανοσύνθετων-επιστρωμάτων σε διαφορετικούς τύπους υποστρωμάτων (ανθρακικών πετρωμάτων). Από τα παραπάνω τεκμαίρεται η μελλοντική και ουσιαστική συμβολή του ποσοτικού προσδιορισμού των κύριων ανθρακικών ορυκτών του μαρμάρου καθώς καθορίζει το μέγεθος της ευπάθειας του μαρμάρου στους διαβρωτικούς παράγοντες αλλά και τη κατάλληλη επιλογή εφαρμογής του τύπου επιστρώματος.

Όσον αφορά την έρευνα για εξόρυξη και εκμετάλλευση υδρογονανθράκων είναι γνωστό ότι τα ανθρακικά και ψαμμιτικά πετρώματα αποτελούν παγκοσμίως τους σημαντικότερους ταμιευτήρες υδρογονανθράκων. Οι ταμιευτήρες αυτοί αποτελούν το 20% των ιζηματογενών πετρωμάτων, φιλοξενούν περισσότερο από το 50% των αποδεδειγμένων αποθεμάτων υδρογονανθράκων στον κόσμο και αντιπροσωπεύουν το 40% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής. Ως εκ τούτου, οι ταμιευτήρες από ανθρακικά πετρώματα είναι πολύ σημαντικοί στόχοι για την εξερεύνηση πετρελαίου και φυσικού αερίου. Οι υδρογονάνθρακες παράγονται σε τμήματα ανθρακικών πετρωμάτων που έχουν υποστεί θραύση και δολομιτιοποίηση, καθώς παγιδούνται πλευρικά από μη δολομιτοποιημένο ασβεστόλιθο. Ωστόσο, είναι δύσκολο να γίνει η διάκριση μεταξύ ασβεστόλιθου και δολομίτη (Ray et al., 2014).

Η δολομιτιοποίηση προϋπαρχόντων ασβεστόλιθων συνήθως ενισχύει τη διαπερατότητα και αυξάνει το πορώδες. Η δολομιτιοποίηση μπορεί να έχει μια «ομογενοποιητική» επίδραση σε ένα ανθρακικό ταμιευτήρα, έτσι ώστε να βελτιώνεται η κατακόρυφη και πλευρική διαπερατότητα εντός του ταμιευτήρα. Λόγω της χαμηλής ολκιμότητάς του σε σχέση με τον ασβεστόλιθο, τα χαρακτηριστικά του δολομιτικού ταμιευτήρα συχνά ενισχύονται από τη θραύση. Η δευτερογενής δολομιτιοποίηση μπορεί να δημιουργήσει πορώδες και διαπερατότητα μέσω της διαγένεσης μετά την ταφή που προηγείται ή που ίσως συμπίπτει με την έναρξη της μετανάστευσης των υδρογονανθράκων.

Για όλους αυτούς τους λόγους, τα δολομιτικά πετρώματα αποτελούν τα κύρια ανθρακικά πετρώματα, σε σχέση με τους ασβεστολίθους, στους ταμιευτήρες στις ΗΠΑ (Davies, 1979). Ο προσδιορισμός των ποσοστών συμμετοχής του ασβεστίτη και δολομίτη των ανθρακικών πετρωμάτων και κατά επέκταση η εκτίμηση του βαθμού δολομιτοποίησής τους, αποτελεί σημαντικό εργαλείο στην έρευνα των υδρογονανθράκων για μια πρώτη ευέλικτη και μικρού κόστους αξιολόγηση των δειγμάτων από τους πυρήνες των γεωτρήσεων.

2. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΑ, ΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

Τα ιζηματογενή ανθρακικά πετρώματα αποτελούνται κυρίως από ανθρακικά ορυκτά. Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες ανθρακικών πετρωμάτων, οι δολομίτες και οι ασβεστόλιθοι. Η πρώτη κυριαρχείται από δολομίτη $[CaMg(CO_3)_2]$ η δεύτερη από ασβεστίτη $CaCO_3$, ενώ συχνά εκτός από τα δύο ανθρακικά ορυκτά περιέχουν και μεταβλητές ποσότητες σε χαλαζία (SiO_2) (πυριτικοί δολομίτες, πυριτικοί ασβεστόλιθοι). Σε εξαιρετικά σπάνιες περιπτώσεις, σε εβαποριτικά περιβάλλοντα, εμφανίζονται περιστασιακά ιζηματογενή πετρώματα που φέρουν μαγνησίτη $[MgCO_3]$. Αντίθετα, οι πυριτικοί δολομίτες και ασβεστόλιθοι αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο μέρος των ιζηματογενών πετρωμάτων του Φανεροζωϊκού (Bucher and Grapes, 2011).

Τα μάρμαρα αποτελούν προϊόν μεταμόρφωσης ανθρακικών ιζηματογενών πετρωμάτων (ασβεστόλιθοι, δολομίτες) λόγω των υψηλών τιμών πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν σε μεγάλα βάθη στο εσωτερικό της Γης, χωρίς όμως να περάσουν στο στάδιο της τήξης. Επιπροσθέτως, σημαντικοί παράγοντες στη μεταμόρφωση των ανθρακικών πετρωμάτων διαδραματίζουν η παρουσία της ρευστής φάσης, που με την χημική της συνεισφορά ως καταλυτικός παράγοντας στην διάλυση διαφόρων ορυκτών του πετρώματος, καθορίζει τη συμμετοχή πρόσθετων ορυκτών φάσεων καθώς επίσης οι παραμορφωτικές τάσεις (διατμητικές), που αναπτύσσονται σε ορογενείς ζώνες, όπου λιθοσφαιρικές πλάκες συγκλίνουν κατά τη διάρκεια της τεκτονικής διαδικασίας των πλακών για περιόδους μερικών εκατομμυρίων ετών (Δημητριάδης, 1985).

Μια ειδική κατηγορία μαρμάρου, το σιπολινικό μάρμαρο, είναι πλούσιο σε φυλλώδη ορυκτά όπως ο σερικίτης και ο χλωρίτης στα οποία κατά κύριο λόγο οφείλεται η παρουσία σχιστότητας ενώ μπορεί να συμμετέχουν ορυκτά όπως χαλαζίας, δολομίτης, επίδοτο, σερπεντίνης, αιματίτης, γραφίτης, αργιλικά ορυκτά κ.ά. Η πλούσια χρωματική ποικιλία που συναντάμε στα σιπολινικά μάρμαρα είναι αποτέλεσμα της παρουσίας έγχρωμων ορυκτών (Τσιραμπίδης, 1998). Η παρουσία ορυκτών με φυλλώδη ανάπτυξη, και χαλαζία που δυσκολεύουν την επεξεργασία κοπής, στίλβωσης και λείανσης καθώς και η απουσία μονόχρωμων λευκών ορυκτών, το εντάσσουν, από άποψη εμπορικής αξίας στη κατηγορία των οικονομικών μαρμάρων (Χατζηπαναγής και Βουγιούκας 2005). Το πρασινόλευκο σιπολινικό μάρμαρο της αρχαίας πόλης της Κάρυστου εξορύσσονταν κατά τους αρχαίους χρόνους στις πλαγιές του όρους Όχη και στα Στύρα και πήρε την ονομασία σιπολινικό (cipollino) από τις λευκές και πράσινες εναλλασσόμενες ταινίες, που ομοιάζουν με τους φλοιούς κρεμμυδιού. (STONENEWS, 2022)

Τα μάρμαρα είναι πολύ διαδεδομένα σε κρύσταλλο-σχιστώδεις πετρογραφικές επαρχίες που σχετίζονται με ορογενετικές ζώνες. Στα μάρμαρα της περιοχικής μεταμόρφωσης των ορογενετικών ζωνών εκτός του ασβεστίτη, του δολομίτη και χαλαζία (από ανθρακικά ιζήματα πλούσια σε χαλαζία), ανάλογα με την μεταμορφική φάση, μπορεί να συμμετέχουν ο τάλκης (άνω πρασινοςχιστολιθική), ο τρεμολίτης (κάτω έως μέση αμφιβολιτική φάση), ο διοψίδιος (μέση έως άνω αμφιβολιτική φάση), ενώ με την περαιτέρω αύξηση του βαθμού μεταμόρφωσης για τα δολομιτικά μάρμαρα συμμετέχει ο φορστερίτης και για τα ασβεστοπυριτικά ο βολλαστονίτης (Bucher and Grapes, 2011).

Στις ζώνες επαφής (θερμική μεταμόρφωση) καθαρών ανθρακικών σχηματισμών, στην περίπτωση ισοχημικής μεταμόρφωσης συντελείται η «αποδολομιτοποίηση» με την εμφάνιση και μετατροπή του περικλάστου σε βρουσίτη, ενώ στην περίπτωση της ανισοχημικής μεταμόρφωσης ευνοείται η δημιουργία «skarn» με την εμφάνιση χαρακτηριστικών ορυκτών σε ζώνες, όπως ο μοντισελλίτης, ο βολλαστονίτης, ο γροσσουλάριος, ο βεζουβιανίτης και άλλα σπάνια ορυκτά. Τέλος, ανάλογα με την αρχική σύσταση του πρωτολίθου (π.χ. παρουσία αργιλικών προσμίξεων) μπορεί να συνυπάρχουν ορυκτά, όπως μαρμαρυγίες, επίδοτο, γραφίτης κ.ά. (Δημητριάδης, 1985).

Η αναλογία Mg/Ca σε Mg-ασβεστίτη ισοσταθμισμένη με δολομίτη έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως ως γεωθερμόμετρο ασβεστίου-δολομίτη για την εκτίμηση των θερμοκρασιών κατά την πρόοδο της μεταμόρφωσης. (Cook and Bowman, 1994, Letargo et al., 1995, Roselle et al., 1999, Sharma and Sharma 2021). Αυτό το γεωθερμόμετρο έχει χρησιμοποιηθεί με προσοχή, λόγω της πιθανής έλλειψης ισορροπίας μεταξύ συνυπάρχοντος ασβεστίτη και δολομίτη, που μπορεί να υποεκτιμήσει τη θερμοκρασία σχηματισμού του δολομιτικού μαρμάρου κατά τη εξέλιξη της μεταμόρφωσης.

Σε πρόσφατη έρευνα των Badouna et al. (2019), στις περιοχές της Δυτικής και Ανατολικής Μακεδονίας, στο Βόρειο και Νότιο Αιγαίο, στη Κεντρική Ελλάδα και Πελοπόννησο, εξετάστηκαν οι γεωχημικές και ορυκτολογικές ιδιότητες 73 ανθρακικών δειγμάτων, τα οποία περιλαμβάναν 26 ασβεστίτικα (Κοζάνη, Καβάλα, Δράμα, Μαγνησία, Εύβοια, Θάσος, Νάξος, Πάρος, Λακωνία), 15 δολομιτικά (Καβάλα, Δράμα, Αργολίδα, Θάσος) και 5 σιπολινικά (Άρτα, Θεσπρωτία, Μαγνησία, Εύβοια) μάρμαρα. Σύμφωνα με την έρευνα, τα ασβεστίτικα, τα δολομιτικά και τα σιπολινικά μάρμαρα έχουν υποστεί μεταμορφικές, μετασωματικές ή υδροθερμικές διεργασίες.

Τα ασβεστίτικα μάρμαρα αποτελούνται κυρίως από ασβεστίτη (77-100%), με λίγο έως καθόλου δολομίτη (0-23%). Οι πρόσθετες ορυκτές φάσεις περιλαμβάνουν αδιαφανή οξείδια Fe-Mn και Fe-Cr (μαγνητίτης, αιματίτης, χρωμίτης), βαρύτη, αργιλικά ορυκτά, φυλλοπυριτικά

ορυκτά (μοσχοβίτης, βιοτίτης και σερικίτης), αλβίτη, χαλαζία και επίδοτο. Τα σιπολινικά μάρμαρα αποτελούνται κυρίως από ασβεστίτη (78-87%), καθώς και από μία επιπλέον μετασωματική παραγένεση (έως 18%), που περιλαμβάνει επίδοτο, πουμπελλυίτη, χλωρίτη και χαλαζία. Τα πρόσθετα ορυκτά περιλαμβάνουν αδιαφανή οξείδια του Fe (κυρίως ιλμενίτη, σπάνια μαγνητίτη και/ή αιματίτη), μοσχοβίτη, χρωμίτη, βιοτίτη, τιτανίτη, ρουτίλιο, απατίτη, ζirkόνιο και τουρμαλίνη.

Τα δολομιτικά μάρμαρα είτε χαρακτηρίζονται από την ισορροπημένη αναλογία ασβεστίτη/δολομίτη είτε αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από δολομίτη (ασβεστίτης 3-37%, δολομίτης 63-97%). Και στις δύο περιπτώσεις, τα πρόσθετα ορυκτά περιλαμβάνουν αδιαφανή οξείδια Fe, φθορίτη, σφαλερίτη, απατίτη, χρωμίτη, χαλαζία, χλωρίτη και μοσχοβίτη.

Η γεωχημική σύσταση των μαρμάρων και ειδικότερα ο λόγος CaO/MgO , χρησιμοποιείται για τη διάκρισή τους σε δύο κύριους τύπους, ανεξάρτητα από τον μεταμορφικό ή/και μετασωματικό βαθμό τους. Έτσι, τα ασβεστιτικά μάρμαρα και τα σιπολινικά μαρμάρια ταξινομούνται ως άσβεστό-ανθρακικά, ενώ τα δολομιτικά μάρμαρα ως μαγνήσιο-ανθρακικά. Εκτός από την κυρίαρχη εμφάνιση ασβεστίτη και δολομίτη, συχνά περιλαμβάνονται συμπληρωματικές ποσότητες αστρίων, φυλλοπυριτικών ορυκτών (χλωρίτης, σερπεντίνης, τάλκης και αργιλικά ορυκτά), ορυκτών της ομάδας του επιδότου και χαλαζία, συμβάλλοντας έτσι στο σύνολο των γεωχημικών τους χαρακτηριστικών. Στα σιπολινικά μάρμαρα πέρα από τα κύρια στοιχεία Ca και Mg, διακρίνεται και ένας εμπλουτισμός σε Fe_2O_3 και Cu. Ιχνοστοιχεία όπως το Cr και το Ni σχετίζονται με τον χρωμίτη που μπορεί να υπάρχει στο μάρμαρο. Τα περιεχόμενα σε Ba, As και Sr ενισχύονται σε περιπτώσεις όπου τα ορυκτά που αποτελούν τη μετασωματική παραγένεση υπάρχουν σε υψηλότερες ποσότητες και έτσι αυτά τα στοιχεία επηρεάζονται σημαντικά από τις διαδικασίες κυκλοφορίας ρευστών κατά τη διάρκεια της ωκεάνιας μεταμόρφωσης (κυρίως στα σιπολινικά μάρμαρα). Τα δολομιτικά μάρμαρα τείνουν να έχουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε Ba και As καθώς και Sr, καθώς η περιεκτικότητά του μειώνεται κατά τη δολομιτίωση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διαγενετικός δείκτης.

Γενικά, η καθαρότητα των ελληνικών μαρμάρων, σε αντιπαραβολή με τους παγκόσμιους μέσους όρους, χαρακτηρίζεται από την σχετική απουσία προσμίξεων (Τσιραμπίδης κ.ά., 1999, Παπατρέχας, 2011), αφού η παρουσία οξειδίων των Al, Fe, Mn, Ti, Na και K, δεν υπερβαίνει το 0,08%. Όσον αφορά την περιεκτικότητά τους σε ιχνοστοιχεία, αυτή είναι μεγαλύτερη στα ασβεστιτικά μάρμαρα, όπου το Sr ως αφθονότερο στοιχείο δεν ξεπερνά τα 243 ppm, περιεκτικότητα αντίστοιχη με το ένα τρίτο του παγκόσμιου μέσου όρου (Τσιραμπίδης κ.ά.,

1999). Τέλος, βαρέα μέταλλα και ραδιενεργά στοιχεία, εμφανίζουν πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις και συγκριτικά πολύ κάτω από τα διεθνή όρια.

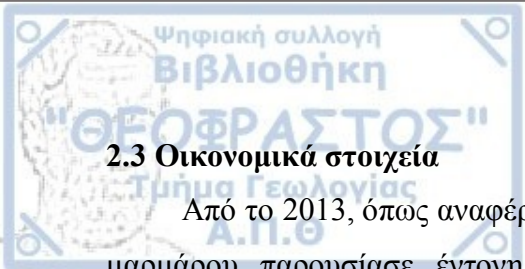
2.1 Χρωματικά Χαρακτηριστικά

Το χρώμα των μαρμάρων εξαρτάται κυρίως από την αναλογία ασβεστίτη δολομίτη και από την ποσότητα και τον τύπο των δευτερευόντων αδιαφανών ορυκτών. Το ευρύ φάσμα χρωματικών ποικιλιών αντανακλά τη μεγάλη μεταβλητότητα της ορυκτής σύστασης τους, τον βαθμό ανακρυστάλλωσης και την παρουσία μικροεγκλεισμάτων που πιθανόν σχετίζονται με δευτερογενή υδροθερμική δραστηριότητα. Σύμφωνα πάντα με την έρευνα των Badouna et al. (2019), στον Ελληνικό χώρο, σε όλα τα λευκά έως τεφρά ανθρακικά πετρώματα κυριαρχεί ο ασβεστίτης και ο δολομίτης, με μικρή παρουσία αστρίων. Οι κόκκινες αποχρώσεις αποδίδονται στη συμμετοχή κατιόντων Fe και Mn εντός ασβεστίτη, καθώς και στην παρουσία αιματίτη. Τα κίτρινα και καστανά χρώματα συχνά σχετίζονται με αυξημένη συμμετοχή των ορυκτών της ομάδας του επιδότου, του γκαιτίτη, του τιτανίτη και της αργίλου. Τα πράσινα χρώματα αποδίδονται στην παρουσία χλωρίτη και πουμπελλυίτη, ενώ τα σκούρα μπλε χρώματα έχουν παρατηρηθεί σε μετασωματικές ζώνες με άφθονο χλωρίτη πλούσιο σε Fe. Το σκούρο τεφρό και το μαύρο χρώμα εμφανίζονται λιγότερο συχνά, και στις περισσότερες περιπτώσεις αποδίδονται σε μεγάλες ποσότητες σε βιτουμένια (Badouna et al., 2019).

2.2 Φυσικομηχανικές Ιδιότητες

Σε εργασίες των Χατζηπαναγή και Βουγιούκα (2005), Λασκαρίδη και Πατρώνη (2005), Badouna et al. (2019) και Παπατρέχα (2011) μελετήθηκαν οι φυσικομηχανικές ιδιότητες των ανθρακικών πετρωμάτων όπως το χρώμα, το φαινόμενο ειδικό βάρος, το ανοικτό πορώδες, η υδαταπορρόφηση, η αντοχή σε κάμψη, θλίψη, και τριβή καθώς και η μικροσκληρότητα κατά KNOOP.

Τα αποτελέσματα της έρευνας του Παπατρέχα (2011), στα ανθρακικά πετρώματα της Ανατολικής Μακεδονίας, έδειξαν ότι τα δολομιτικά μάρμαρα σε σχέση με τα ασβεστιτικά, παρουσίασαν υψηλότερες τιμές υδαταπορρόφησης και ανοικτού πορώδες με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία σε συνθήκες ατμοσφαιρικής ρύπανσης (φαινόμενα αποσύνθεσης και αποφλοίωσης) και παράλληλα εμφάνισαν αυξημένη αποσύνθεση στη τριβή. Επιπροσθέτως, τα δολομιτικά μάρμαρα εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές αντοχής στη θλίψη και μεγαλύτερη σκληρότητα αποκτώντας έτσι αυξημένη ανθεκτικότητα στις μηχανικές καταπονήσεις.



2.3 Οικονομικά στοιχεία

Από το 2013, όπως αναφέρουν οι Λασκαρίδης κ.ά. (2015), η βιομηχανία του ελληνικού μαρμάρου παρουσίασε έντονη ανοδική τάση με την παραγωγή να αγγίζει τους 1,3 εκατομμύρια τόνους ετησίως, ενώ σύμφωνα με τη έκθεση του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2019) ο κλάδος του μαρμάρου κατέχει το 46,5% των ενεργών εξορυκτικών μονάδων στην Ελλάδα, όταν το 70% των μεταλλείων βρίσκονται σε αδράνεια. Επι του συνόλου των Ελληνικών λατομείων, το 90% των εξορυκτικών δραστηριοτήτων στο μάρμαρο, λαμβάνει χώρα στη περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. Στην ίδια έκθεση, γίνεται μνεία για τη στροφή της ελληνικής μαρμαροβιομηχανίας στις διεθνείς αγορές, όπως αυτής της Κίνας, η οποία αποτελεί και τη κύρια χώρα εξαγωγής καθώς και της Αμερικής και των χωρών της Μέσης Ανατολής, συνεισφέροντας έτσι στην περίοδο της οικονομικής κρίσης στήριξη της ελληνικής οικονομίας.

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στη παρούσα έρευνα μελετήθηκαν 55 δείγματα μαρμάρων (Πίνακας 3.1) που συλλέχθηκαν από θέσεις (Σχ. 3.1) αρχαίων λατομείων καθώς και από ενεργά και αδρανή σύγχρονα λατομεία, στο πλαίσιο παλαιότερων ερευνών του Αν. Καθηγητή Β. Μέλφου. Ειδικά τα μάρμαρα από την Μάνη προέρχονται από την συλλογή του Δρ. Π. Τζεφέρη.

Πίνακας 3.1. Περιοχές δειγματοληψίας και κωδικοί δειγμάτων.

Περιοχή	Κωδικός	Περιοχή	Κωδικός
Μαρώνεια	Mar 1	Αρχαία Δημητριάδα	DHM1
Ακρόπολη Θάσου	AKRO	Φερές Βελεστίνου	FER1
Βαθύ Θάσου	VATH	Καλοχώρι	Kalochor
Αλυκή Θάσου	ALY	Καστρί	Kastri 1
Καβάλα Hemarus	HEM	Γόννοι	Gon 1a
Ζαρκαδιά	Kav-Zar 1	Γόννοι	Gon 1b
Φίλιπποι	Phil 1	Τύρναβος	TYRN
Βόλακας Haemus	VOL	Κουτσόχερο	K-23
Μονή Χιλανδαρίου	AOChil	Μύρα	M-6
Ολυμπιάδα	OLY6A	Σκύρος	Sky-W
Άγιος Χαραλάμπος	AgCh 1	Σκύρος	Sky-R
Αραβησσός Γιαννιτσών	Arv 1	Πάρος	PAR
Όρος Βέρμιο Ξυλάλογο	Verm1	Νάξος	NAY
Όρος Βέρμιο Κερασιές	Verm2	Ηρακλεία	IRAK
Όρος Βέρμιο Λατομείο Περσών	Verm3A	Πεντέλη	PENT
Όρος Βέρμιο Λατομείο Στηλών	Verm4C	Διόνυσος	DION
Όρος Βέρμιο Κουμαριά	Verm5B	Θορικός Λαύριο	THOR
Βρία (Σεντούκια) Πιερίων	Vry 1	Στεφάνι Λαύριο	STEF
Τρανόβαλτος Καμβουνίων	Trv 2	Κάρυστος	KARY
Τισαίον όρος	Trik 1	Παγανέα	MAN 3
Τισαίον όρος	Trik 2	Χαρούδα	MAN 14
Τισαίον όρος	Trik 3	Μαρμάρι	MAN 15
Αρχαία Άτραξ	Atr 2	Φουρνιάτα	MAN 16
Τέμπη	Temp 1a	Μέζαπος	MAN 17
Τέμπη	Temp 2a	Λαζό Πύργου	MAN 25
Τέμπη	Temp 3a	Αλμυρός	MAN 24
Χασάμπαλη	Chas 46	Πάλυρος	MAN 19
Γορίτσα Βόλου	GOR 2		



Σχήμα 3.1. Γεωγραφική κατανομή των δειγματοληπτικών θέσεων από μαρμαροφόρες εμφανίσεις της Ελλάδας. 1: Μαρώνεια, 2: Ακρόπολη, 3: Βαθύ, 4: Αλυκή, 5: Καβάλα Hemarus, 6: Ζαρκαδιά, 7: Φίλιπποι, 8: Βόλακας, 9: Μονή Χιλανδαρίου, 10: Ολυμπιάδα, 11: Άγιος Χαράλαμπος, 12: Αραβησσός, 13-17: Βέρμιο, 18: Βρία (Σεντούκια), 19: Τρανόβαλτος, 20: Γόννοι (1a), 21: Γόννοι (1b), 22-24: Τέμπη, 25: Τύρναβος, 26: Καλοχώρι, 27: Χασάμπαλη, 28: Κουτσόχρο, 29: Καστρί, 30: Αρχαία Άτραξ, 31: Μύρα, 32: Φερές, 33: Αρχαία Δημητριάδα, 34: Γορίτσα, 35-37: Τισαίον όρος, 38-39: Σκύρος, 40: Διόνυσος, 41: Πεντέλη, 42: Κάρυστος, 43: Θορικός, 44: Στεφάνι, 45: Πάρος, 46: Νάξος, 47: Ηρακλεία, 48: Παγανέα, 49-51: Λαζό Πύργου-Φουνριάτα-Χαρούδα, 52: Μέζαπος, 53: Αλμυρός, 54: Μαρμάρι, 55: Πάλυρος.

Τα δείγματα των μαρμάρων αφού θρυμματίστηκαν σε μικρά κομμάτια, εισήχθησαν στον μύλο ομογενοποίησης Mixer Mill MM 400 (Εικ. 3.1), όπου με τις διαδικασίες κρούσης και τριβής, παρήχθησαν για όλα τα δείγματα οι αντίστοιχες ομογενοποιημένες σκόνες.



Εικόνα 3.1. Μύλος ομογενοποίησης Mixer Mill MM 400 (Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας. Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, ΑΠΘ).

3.1 Περιθλασιμετρία ακτίνων-X (XRD)

Ποσότητα σκόνης από κάθε δείγμα κονιοποιήθηκε περαιτέρω σε αχάτινο γουδί με το χέρι, με σκοπό την ακτινογραφική τους εξέταση στο περιθλασίμετρο ακτίνων-X (XRD). Το υπόλοιπο μέρος αυτών αποθηκεύτηκε για την ανάλυση τους στο ασβεστόμετρο.

Έτσι, για τα δείγματα που δεν υπήρχαν περιθλασιογράμματα από προηγούμενες ερευνητικές μελέτες, πραγματοποιήθηκαν ποσοτικές αναλύσεις περίθλασης ακτίνων-X, με τη χρήση του περιθλασίμετρου Philips PW1840 που βρίσκεται στον Τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας και Κοιτασματολογίας του τμήματος Γεωλογίας, του Α.Π.Θ. Με τη μέθοδο της ακτινογραφικής περίθλασης (XRD) οι τιμές μίας ομάδας κορυφών του ακτινοδιαγράμματος αποτελούν τα αποτυπώματα των ορυκτών φάσεων που οδηγούν στην ταυτοποίηση του εξεταζόμενου πετρώματος. Απαραίτητη προϋπόθεση, η ακριβής και ενδεδεγμένη εξέταση του ακτινοδιαγράμματος, που σε συνδυασμό με την σχολαστική παρασκευή του δείγματος, μπορεί να μας καθορίσει σε μεγάλο βαθμό τους απαραίτητους υπολογισμούς για την εύρεση των επί μέρους ορυκτών φάσεων (Καντηράνης κ.ά., 2004).

Χρησιμοποιήθηκε ακτινοβολία Cu με τη χρήση φίλτρου Ni, με ρεύμα τάσεως 40 kV και εντάσεως 30 mA, μήκη κύματος $\lambda_{\text{CuK}\alpha 1} = 1.54056 \text{ \AA}$ και $\lambda_{\text{CuK}\alpha 2} = 1.54439 \text{ \AA}$, ταχύτητα σάρωσης $1^\circ 2\theta/\text{min}$, ρυθμό καταμέτρησης $10^3/\text{sec}$ και για διάστημα τιμών για την γωνία 2θ από 3° έως 63° .

3.2 Η μέθοδος του ασβεστόμετρου - Αρχή λειτουργίας

3.2.1 FOGII Digital Soil Calcimeter

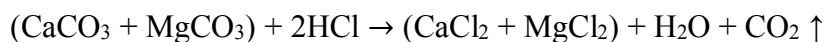
Στη μελέτη των Barouchas and Koulos (2014), για την ολική ανάλυση ανθρακικών σε μείγματα άμμου-ανθρακικού ασβεστίου, χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό ασβεστόμετρο εδαφών FOGII Digital Soil Calcimeter™ (Εικ.3.2) της εταιρείας «BD INVENTIONS». Το ανθρακικό ασβέστιο είναι μια σημαντική παράμετρος για την επιστήμη της εδαφολογίας, τη «Γεωργία Ακριβείας» (Precision Agriculture) ή τη διαχείριση συγκεκριμένων καλλιεργειών (Site Specific Crop Management).



Εικόνα 3.2. Ψηφιακό ασβεστόμετρο FOGII Digital Soil Calcimeter™. Πηγή: <https://www.bd-inventions.com/product/fogii/>.

Το FOGII Digital Soil Calcimeter™ είναι ιδανικό εργαλείο για τις γεωεπιστήμες. Ο έλεγχος του εδάφους κάθε δύο χρόνια και η συχνή προσθήκη μικρών ποσοτήτων ασβέστη μπορεί να βοηθήσει τους αγρότες να αποφύγουν την οξίνιση του εδάφους.

Η αρχή λειτουργίας του, βασίζεται στην αντίδραση:



Όταν επιδράσουμε υδροχλωρικό οξύ σε ένα μίγμα που περιέχει ασβεστίτη και δολομίτη, αυτό αντιδρά και εκλύεται αέριο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) που προσδιορίζεται από έναν αισθητήρα.

Η μέθοδος με το ασβεστόμετρο εφαρμόζεται ως εξής: Η περιεκτικότητα σε ανθρακικά του μείγματος προσδιορίζεται με κατεργασία 1.000 g (+/- 0.001 g) αποξηραμένου δείγματος με τη χρήση αντιδραστήριου 6N υδροχλωρικού οξέος (HCl), σε κλειστό δοχείο-αντιδραστήρα. Κατά την αντίδραση μεταξύ του οξέος και του ανθρακικού κλάσματος του δείγματος παράγεται αέριο διοξείδιο του άνθρακα, με αποτέλεσμα η πίεση που δημιουργείται στο «δοχείο-αντιδραστήρα» υπό σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και όγκου να είναι ανάλογη με

την περιεκτικότητα σε ανθρακικό άλας του δείγματος. Το όργανο χρησιμοποιεί πολλαπλούς αισθητήρες και συνδυάζει ταυτόχρονη μέτρηση πίεσης και θερμοκρασίας. Αυτή η τεχνολογία είναι καινοτόμος και δημοσιεύτηκε στο WIPO/PCT με αριθμό WO 2014/060782 A1. Το FOGII Digital Soil Calcimeter™ είναι κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Ελληνικό Οργανισμό Βιομηχανικής Ιδιοκτησίας (OBI) - Δίπλωμα Ευρεσιτεχνίας για την περιεκτικότητα σε ανθρακικά σε εδάφη και ιζήματα.

Κατά την πειραματική διαδικασία ελέγχου, αφού χρησιμοποιήθηκε ένα πρότυπο καθαρού αντιδραστηρίου με $\text{CaCO}_3 > 99\%$, ελέγχθηκαν οι μετρήσεις από μείγματα CaCO_3 /Άμμου, γνωστού περιεχομένου σε μείγματα $\text{CaCO}_3\%$ (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2. Μείγματα CaCO_3 /Άμμου και αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας ελέγχου της συσκευής FOGII Digital Soil Calcimeter (Barouchas and Koulos, 2021).

Μείγματα		Ανάκτηση $\text{CaCO}_3\%$				
$\text{CaCO}_3\%$	Αποτέλεσμα 1	Αποτέλεσμα 2	Αποτέλεσμα 3	Αποτέλεσμα 4	Αποτέλεσμα 5	Avg
0	0	0	0	0	0	0
1	1.0	0.8	0.9	1.0	0.8	1.0
5	5.2	4.9	5.1	4.7	5.0	5.2
10	10.0	9.9	9.7	9.8	9.7	10
50	49.4	49.3	49.6	49.5	49.4	49.4
80	79.5	79.7	79.0	79.6	79.6	79.5

Ενώ, για τις δοκιμές επάρκειας από το Διεθνές Γραφείο Αναλυτικών Μελετών (BIPEA, International Bureau for Analytical Studies), σε μείγματα εδάφους/άμμου, από εδάφη διαφορετικής προέλευσης, οι εκχωρημένες τιμές φαίνονται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3. Εκχωρημένες τιμές για τη δοκιμή επάρκειας (Barouchas and Koulos, 2021).

Μείγματα		Ανάκτηση $\text{CaCO}_3\%$				
$\text{CaCO}_3\%$	Αποτέλεσμα 1	Αποτέλεσμα 2	Αποτέλεσμα 3	Αποτέλεσμα 4	Αποτέλεσμα 5	Avg
77.50 ± 3.50	80.1	81.4	78.5	80.7	81.1	80.4
38.75 ± 1.75	40.6	40.1	39.3	39.6	40.2	39.9
25.83 ± 1.17	26.0	26.2	26.8	26.5	26.7	26.4
19.38 ± 0.88	19.3	20.4	19.6	19.7	20.1	19.8
15.50 ± 0.70	15.4	16.3	15.9	16.2	15.6	15.9

Τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών μετρήσεων ελέγχου και επάρκειας της συσκευής, εμφάνισαν μικρές αποκλίσεις από τις ονομαστικές τιμές των δειγμάτων. Οι εξαιρετικές συνολικές δοκιμές απόδοσης έδειξαν ότι το FOG II Digital Soil Calcimeter TM μπορεί εύκολα να αντικαταστήσει άλλες αναλογικές συσκευές για δοκιμές ολικών ανθρακικών στο έδαφος. Η συσκευή είναι φορητή και μπορεί εύκολα να μεταφερθεί για εργασίες στο πεδίο. Το FOGII Digital Soil Calcimeter™ με αυτόματη αντιστάθμιση θερμοκρασίας (κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας) προσφέρει εντυπωσιακά βελτιωμένα επίπεδα απόδοσης, παραγωγικότητας, αξιοπιστίας, ευκολίας χρήσης και ευελιξίας.

Το FOG II/ψηφιακό ασβεστόμετρο χειρός εδάφους, έχει χρησιμοποιηθεί σε μελέτη για τον υπολογισμό του CaCO_3 (%) ιζηματολογικών και παλαιοντολογικών δεδομένων σε παράκτια περιβάλλοντα απόθεσης (Nikolaou et al., 2016).

Σε πρόσφατη έρευνα της Love (2017) για την ποσοτικοποίηση του ανθρακικού ασβεστίου, πραγματοποιήθηκε σύγκριση της χειρωνακτικής μεθόδου (LOI) με αυτή του ψηφιακού ασβεστόμετρου FOG II. Τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας, έδωσαν διάμεση διαφορά 1,26%, μεταξύ των δύο μεθόδων.

3.2.2 FOGL Bench-top Soil Calcimeter

Οι Biliias and Barbayiannis (2017), στη μελέτη τους σε δοκιμές εδαφών, για τον υπολογισμό της συνολικής περιεκτικότητας τους σε ανθρακικά άλατα, χρησιμοποίησαν το ψηφιακό ασβεστόμετρο (FOGL Bench-top Soil Calcimeter™, Εικ. 3.3) της εταιρείας «bd INVENTIONS».

Η στοχοθεσία της παρούσης εργασίας συμπεριλαμβάνει και προϋποθέτει τον ποσοτικό υπολογισμό της περιεκτικότητας των ανθρακικών ορυκτών (ασβεστίτη, δολομίτη) στα συλλεχθέντα δείγματα μαρμάρου. Για την υλοποίηση του παραπάνω στόχου, το εργαστήριο του Τομέα Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ, προμηθεύτηκε το ψηφιακό ασβεστόμετρο FOG L εφοδιασμένο με το κατάλληλο λογισμικό.

Ο ποσοτικός διαχωρισμός των ανθρακικών ορυκτών (ασβεστίτη, δολομίτη), επιτυγχάνεται με την κατάλληλη ενσωμάτωση και εφαρμογή των νόμων της χημικής κινητικής, στο λογισμικό της συσκευής.

Σύμφωνα με το νόμο της ταχύτητας για αντίδραση 1^{ης} τάξης, η ταχύτητα εξαρτάται από ένα αντιδρών, υψωμένο εις την πρώτη:

$$U = \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = k[A] \quad [1]$$



Εικ. 3.3. Ψηφιακό-πάγκου ασβεστόμετρο FOGL Bench-top Soil Calcimeter™. Πηγή: <https://www.bd-inventions.com/product/fogl/>

Ενώ μετά από μαθηματικούς υπολογισμούς, η έκφραση του νόμου διατυπώνεται ως ολοκληρωμένος νόμος της ταχύτητας, στη μορφή:

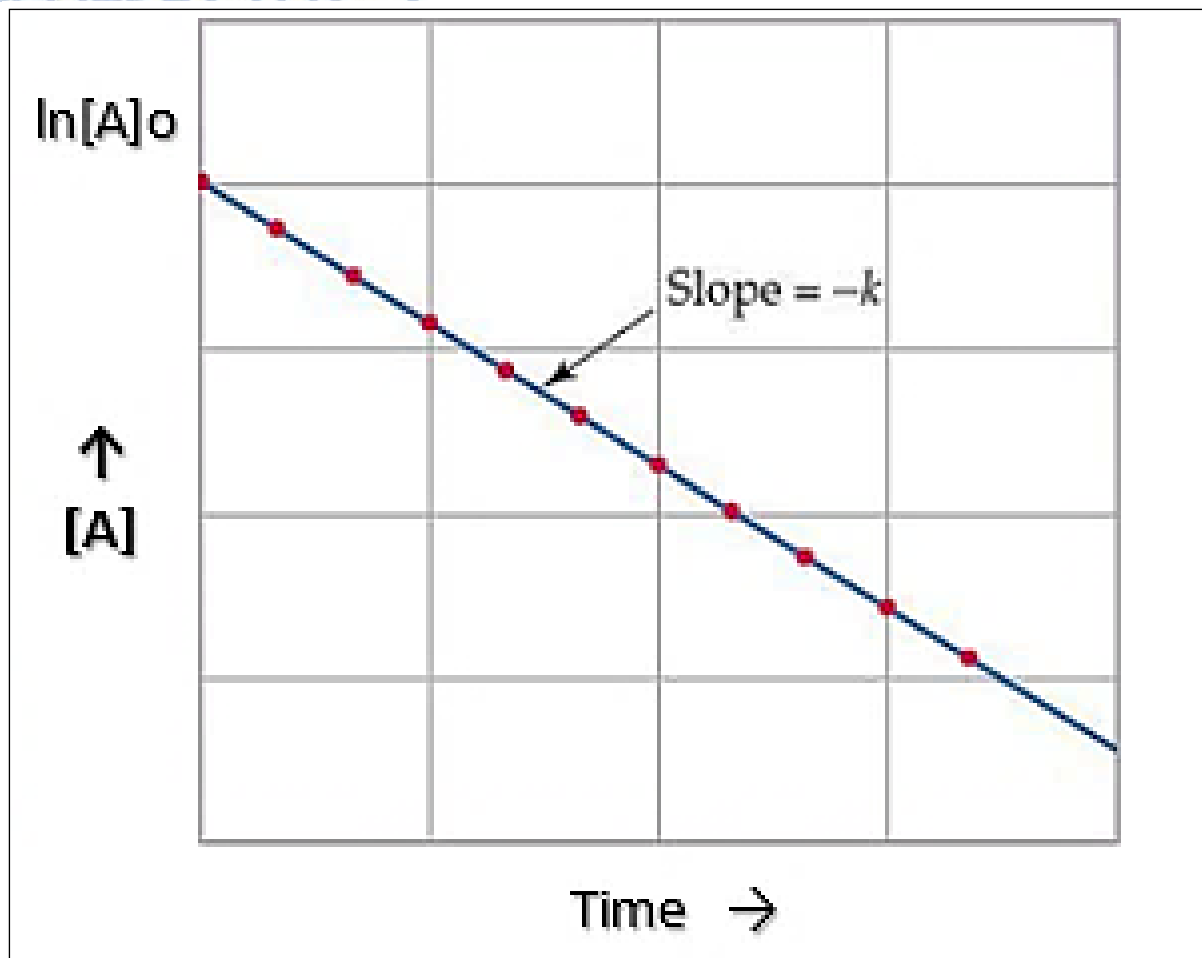
$$\ln \frac{[A]_t}{[A]_0} = -kt \text{ και } \ln[A]_t = (-k)t + \ln[A]_0 \quad [2]$$

Όπου, $[A]_0$: αρχική συγκέντρωση αντιδρώντος για $t=0$

$[A]_t$: συγκέντρωση σε χρόνο t

$-k$: σταθερά ταχύτητας

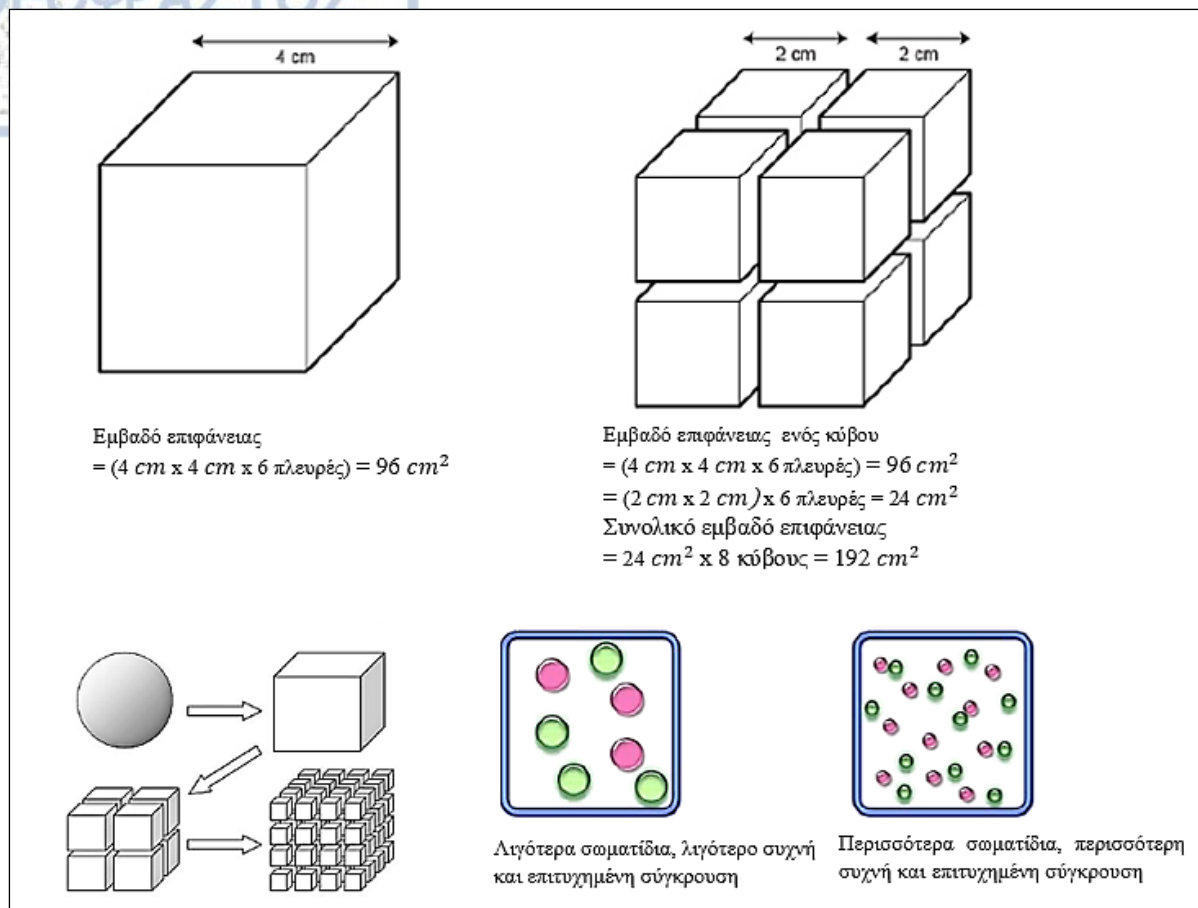
Η τελευταία εξίσωση είναι της μορφής $y=a \cdot x+b$ και δείχνει ότι η λογαριθμική συγκέντρωση είναι γραμμική συνάρτηση του χρόνου. Το γράφημα του σχήματος 3.2 της λογαριθμικής συγκέντρωσης και του χρόνου είναι ευθεία γραμμή με κλίση την τιμή της $-k$ (Μακρής, 2018)



Σχήμα 3.2. Η λογαριθμική συγκέντρωση $\ln[A]_t$ είναι γραμμική συνάρτηση του χρόνου t (Μακρής, 2018)

Όπως αναφέρουν στην εργασία τους οι Evangelou et al. (1984), η αυτοματοποιημένη μανομετρική μέθοδος ποσοτικού προσδιορισμού του ασβεστίτη και του δολομίτη, βασίζεται σε διαφορετικούς κινητικούς ρυθμούς διάλυσης (αντίδραση ψευδο-πρώτης τάξης) των δύο ανθρακικών ορυκτών, όταν αντιδρούν με περίσσεια 5M HCl.

Οι παράγοντες που επιδρούν στην ταχύτητα της υπό μελέτης αντίδρασης, είναι η συγκέντρωση των αντιδρώντων, η θερμοκρασία και το εμβαδό της επιφάνειας του αντιδρώντος στερεού (Σχήμα 3.3). Επιπλέον επιδραστικοί παράγοντες, όπως η πίεση αφορά αντιδρώντα σε μορφή αερίου, ενώ δεν υφίσταται παρουσία καταλύτη και επίδραση ακτινοβολίας.

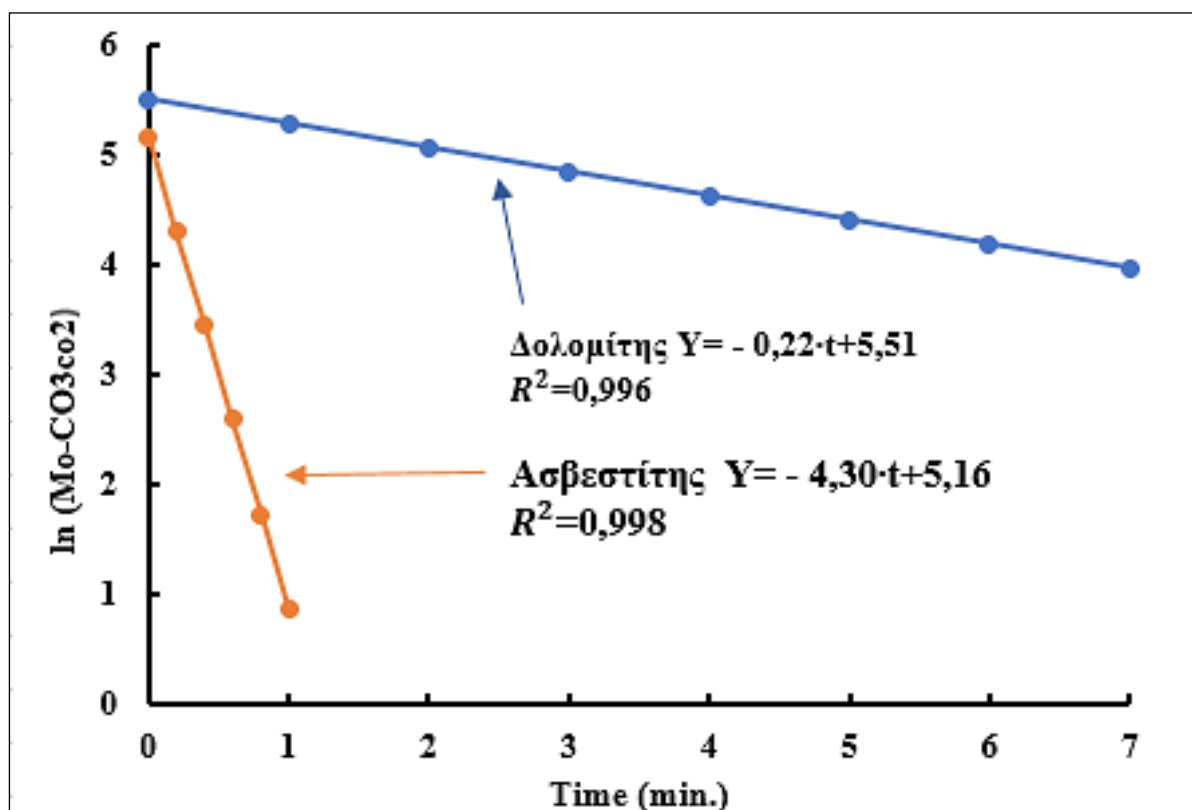


Σχήμα 3.3. Εμβαδόν της επιφάνειας στερεού και ταχύτητα αντίδρασης (Πηγή: https://www.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY121/notes/2014/lecture_6.pdf)

Οι Skinner and Halstead (1958), όπως αναφέρεται στους Evangelou et al. (1984), εισήγαγαν την έννοια της «κινητικής διάλυσης» ως μέσο για την ποσοτική διαφοροποίηση μεταξύ ασβεστίτη και δολομίτη στα εδάφη, ενώ ο Turner (1959) έδειξε μαθηματικά ότι η διάλυση ανθρακικών αλάτων με ισχυρό οξύ είναι μια αντίδραση ψευδο-πρώτης τάξης. Ως εκ τούτου, οι ρυθμοί διάλυσης είναι ανάλογοι με την επιφάνεια που εκτίθεται στο οξύ. Από τη θεωρητική μελέτη του Turner (1959), προέκυψε το συμπέρασμα ότι η κατάλληλη κοκκομετρία των ανθρακικών ορυκτών του ασβεστίτη και του δολομίτη είναι σημαντική παράμετρος που επηρεάζει το ρυθμό διάλυσης.

Σε μια μεταγενέστερη πειραματική έρευνα με καθαρό ασβεστίτη και δολομίτη οι Turner and Skinner (1959), έδειξαν επίσης, ότι για τον δολομίτη, μεταβάλλοντας την διάμετρο των κρυστάλλων του, λαμβάνονται διαφορετικές σταθερές ταχύτητας. Παρόλο που ο δολομίτης μπορεί να δώσει διαφορετικές σταθερές ταχύτητας, ανάλογα με το μέγεθος των κρυστάλλων του, οι ρυθμοί διάλυσης του είναι αρκετά διαφορετικοί από τους ρυθμούς διάλυσης ισοδύναμου μεγέθους κρυστάλλων ασβεστίτη, ώστε να μπορούν να διαχωριστούν εύκολα από αυτόν. Οι θεωρητικές και πειραματικές μελέτες των Skinner et al. (1959), Turner (1959) και

Turner and Skinner (1959) έδειξαν ότι η άλεση και η διέλευση ανθρακικών δειγμάτων μέσω κόσκινου 0,5 mm, επέτρεψε στα μίγματα σωματιδίων ασβεστίτη και δολομίτη να διαφοροποιηθούν ποσοτικά, βάση των διαφορετικών ρυθμών μεταβολής της συγκέντρωσης τους (Σχήμα 3.4). Ενώ, οι Turner και Skinner (1959) έδειξαν επίσης, ότι τα σωματίδια δολομίτη για να έχουν ρυθμούς αντίδρασης ίσους με εκείνους του ασβεστίτη, θα πρέπει να έχουν διάμετρο $< 1,7 \mu\text{m}$. Κατά την διαδικασία της άλεσης δείγματος με κόσκινο 0,5 mm, μόνο μια ασήμαντη ποσότητα σωματιδίων δολομίτη είχε διάμετρο $< 1,7 \mu\text{m}$.



Σχήμα 3.4. Ρυθμοί διάλυσης ασβεστίτη και δολομίτη σε 5M HCl, όπου φαίνεται ότι μια ασήμαντη ποσότητα δολομίτη διαλύεται εντός του χρονικού πλαισίου, που απαιτείται για τη διάλυση του ασβεστίτη. Τροποποιημένο από Evangelou et al. (1984).

Βάση των παραπάνω, όπως τεκμαίρονται οι Evangelou et al. (1984), εάν δύο ανθρακικά ορυκτά συνυπάρχουν σε ένα δείγμα και εάν οι ρυθμοί διάλυσής τους στο οξύ είναι σημαντικά διαφορετικοί, μπορούν να διαφοροποιηθούν και να ποσοτικοποιηθούν.

Η γραφική παράσταση, $\ln(\text{Mo}-\text{CO}_3\text{co}_2)$ έναντι του χρόνου (Σχήμα 3.4), παρέχει μια γραμμική συνάρτηση, αντίδρασης «ψευδο-πρώτης τάξης». Η κλίση της γραμμής αντιπροσωπεύει τη σταθερά ταχύτητας, K' , και η τομή της γραμμής με τον άξονα $\ln(\text{Mo}-\text{CO}_3\text{co}_2)$ παρέχει το μέτρο του συνολικού CO_3 στη στερεά φάση.

Όπου, Mo: αντιπροσωπεύει το αρχικό συνολικό ανθρακικό άλας στο σύστημα CO_3CO_2 : η ποσότητα του ανθρακικού που απελευθερώνεται ως CO_2

Το τέλος της αντίδρασης προσδιορίζεται αυτόματα, καθώς το ασβεστόμετρο μετρά την πίεση του αερίου 100 φορές ανά δευτερόλεπτο και καταγράφει τη μέση τιμή και τη διακύμανση. Όταν η διακύμανση τείνει στο μηδέν για 10 δευτερόλεπτα τουλάχιστον, τότε η μέτρηση σταματά (Barouchas and Koulos, 2021).

Το ψηφιακό ασβεστόμετρο FOGL μετουσιώνει ουσιαστικά την παραπάνω θεωρητική προσέγγιση, αλλά και πειραματική έρευνα, σε μια ταχεία και αυτοματοποιημένη εργαστηριακή μέθοδο, για τη διαφοροποίηση και τον ποσοτικό προσδιορισμό του ασβεστίτη και του δολομίτη σε ανθρακικά πετρώματα.

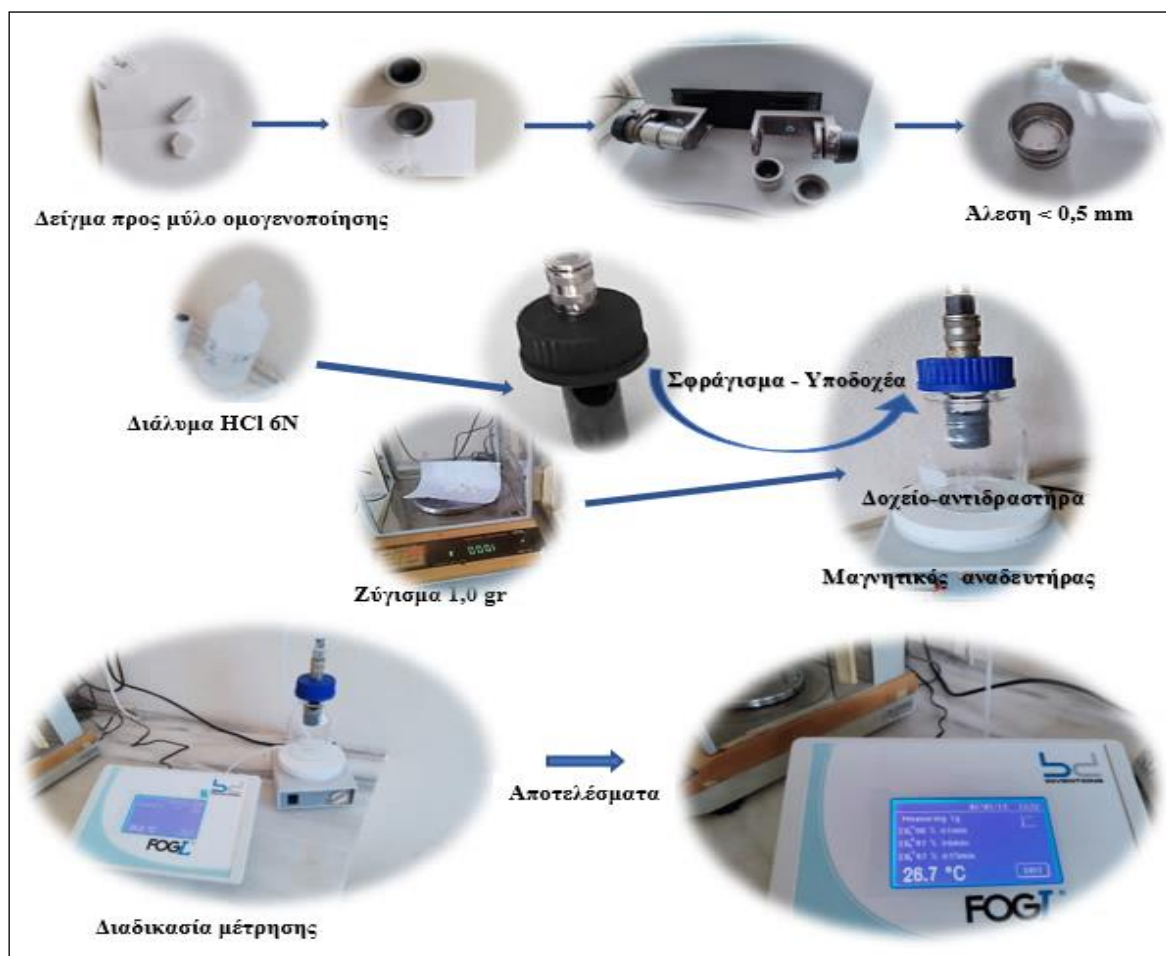
3.2.3 Μετρήσεις με το FOGL

Όλα τα δείγματα ξηραίνονται και αλέθονται σε διάμετρο $< 0,5 \text{ mm}$. Από κάθε κονίαμα δείγματος, ζυγίζεται ποσότητα 1 gr στο ζυγό και μεταφέρεται στη φιάλη (δοχείο-αντιδραστήρα). Στη συνέχεια, γεμίζουμε τον υποδοχέα με διάλυμα HCl 6N και τον σφραγίζουμε στο δοχείο του αντιδραστήρα. Συνδέουμε το βύσμα καταγραφής της πίεσης, στο άνω μέρος του υποδοχέα της φιάλης. Ξεκινώντας τη μέτρηση πατώντας το 'Start' στην οθόνη της συσκευής, ανατρέπουμε το δοχείο σε γωνία 90° , έτσι ώστε το διάλυμα HCl 6N να εισέρθει στο δοχείο και να έρθει σε επαφή με το δείγμα, ενώ ταυτόχρονα οδηγούμε προσεκτικά το δοχείο στον μαγνητικό αναδευτήρα (Εικ. 3.4).

Η διαδικασία της μέτρησης διαρκεί 15 λεπτά και περιλαμβάνει 3 χρονικά στάδια με τις αντίστοιχες μετρήσεις. Στο πρώτο στάδιο, διάρκειας 1 λεπτού στην οθόνη παρουσιάζονται τα ποσοστά του ασβεστίτη. Στα επόμενα δύο χρονικά στάδια, 6° και 15° λεπτό, στην οθόνη της συσκευής παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μέτρησης του συνόλου ασβεστίτη και δολομίτη (Πίν. 3.4). Με το τέλος της διαδικασίας, γίνεται η ετοιμασία της επόμενης μέτρησης, με την αποσύνδεση των προαναφερθέντων τμημάτων της συσκευής και το καθαρισμό τους με απιονισμένο νερό.

Στα αποτελέσματα της μέτρησης του δείγματος για το πρώτο λεπτό έχουμε την ένδειξη 97% και σχετίζεται με την έκλυση του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται από τον ασβεστίτη. Στη δεύτερη και τρίτη μέτρηση (6ο και 15ο λεπτό) η τελική ένδειξη 98% σχετίζεται με την επιπρόσθετη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα που οφείλεται στη διάλυση του δολομίτη. Η διαφορά των καταγραφόμενων τιμών της τελικής (15ο λεπτό) ένδειξης από την πρώτη (1ο λεπτό) μας δίνει το ποσοστό της περιεκτικότητας σε δολομίτη. Τέλος, το υπόλοιπο 2%, μπορεί να αφορά μη ανθρακικά ορυκτά, όπως χαλαζίας, μαρμαρυγίας, χλωρίτης κ.α. Στο

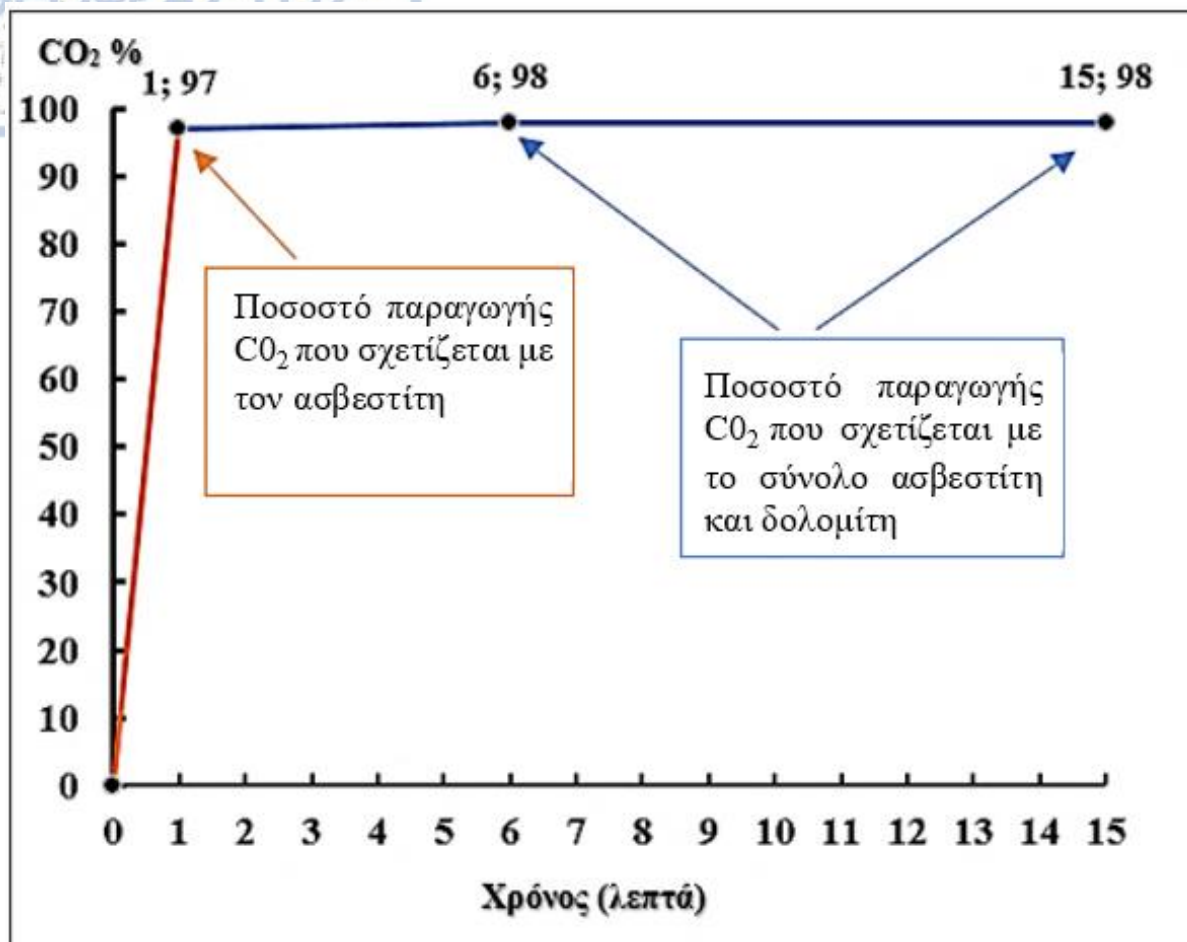
διάγραμμα του Σχήματος 3.5 φαίνεται ο ρυθμός παραγωγής CO₂%, που σχετίζεται με την διάλυση του ασβεστίτη και του δολομίτη.



Εικόνα 3.4. Εργαστηριακή διαδικασία επεξεργασίας και μετρήσεων με την συσκευή FOGL Bench-top Soil Calcimeter™.

Πίνακας 3.4. Χρονικά στάδια της μέτρησης και αποτελέσματα.

Ένδειξη 1ο λεπτό	Ένδειξη 6ο λεπτό	Ένδειξη 15ο λεπτό
Ασβεστίτης 97%	Ασβεστίτης + Δολομίτης 98%	Ασβεστίτης + Δολομίτης 98%
Ασβεστίτης 97%	Δολομίτης 98-97%	Δολομίτης 98-97%
97%	1%	1%
<i>Μη ανθρακικά 100 - 98 = 2%</i>		



Σχήμα 3.5. Ρυθμός παραγωγής CO₂% κατά την αντίδραση μεταξύ οξέος και του ανθρακικού κλάσματος.

Πριν από την έναρξη των μετρήσεων, προηγήθηκε έλεγχος της συσκευής με την εξέταση δείγματος ασβεστιτικής σύστασης, που παρέχει ο κατασκευαστής της συσκευής. Το δείγμα συνίσταται από 98-99% ασβεστίτη και πραγματοποιήθηκαν τρεις δοκιμές, τα αποτελέσματα των οποίων δίδονται στον Πίνακα 3.5. Όπως γίνεται αντιληπτό από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, η συσκευή έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα με απόκλιση 1-2% από τις ονομαστικές τιμές του δείγματος, κάτι που πρέπει να συνεκτιμηθεί στη συζήτηση, στο τέλος της εργασίας, σε σχέση με την αξιοπιστία της συσκευής.

Πίνακας 3.5. Αποτελέσματα μετρήσεων σε γνωστής σύστασης ασβεστιτικό δείγμα.

Δείγμα Δοκιμή	Αποτελέσματα%			Υπολογισμός%			
	1ο λεπτό	6ο λεπτό	15ο λεπτό	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Μη ανθρακικά ορυκτά
1η	98	97	97	98	-1	97	3
2η	96	97	98	96	2	98	2
3η	97	98	98	97	1	98	2
Μέσες τιμές	96-98	97-98	97-98	96-98	1-2	97-98	2-3

Επιπροσθέτως, σε επιλεγμένο ασβεστιτικό - δολομιτικό μάρμαρο και συγκεκριμένα σε αυτό από τη περιοχή του Βόλακα (δείγμα VOL) έγιναν διαδοχικές μετρήσεις σε δύο διαφορετικά κλάσματα κοκκομετρίας, κατόπιν αλέσεως με κόσκινο. Πιο αναλυτικά, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.6 τα αποτελέσματα των μετρήσεων διαφέρουν σημαντικά, υποδεικνύοντας την εξάρτηση των αποτελεσμάτων από την κοκκομετρική συμμετοχή των επιμέρους ορυκτών φάσεων, η οποία και επηρεάζεται από την διαδικασία της άλεσης.

Πίνακας 3.6. Αποτελέσματα μετρήσεων δείγματος ασβεστιτικού - δολομιτικού μαρμάρου του Βόλακα διαφορετικής κοκκομετρίας.

Από μύλο ομογενοποίησης - κοκκομετρία < 0,5 mm						
Μετρήσεις%			Υπολογισμός%			
1ο λεπτό	6ο λεπτό	15ο λεπτό	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Μη ανθρακικά ορυκτά
79	87	92	79	13	92	8
75	85	93	75	18	93	7
75	87	94	75	19	94	6

Άλεση από κόσκινο - κοκκομετρία από 0,5 mm έως 20 μm						
Μετρήσεις%			Υπολογισμός%			
1ο λεπτό	6ο λεπτό	15ο λεπτό	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Μη ανθρακικά ορυκτά
35	61	82	35	47	82	18
38	63	84	38	46	84	16

Για το δείγμα με κλάσμα κοκκομετρίας < 0,5 mm τα αποτελέσματα των μετρήσεων του ασβεστόμετρου (Πίν. 3.6) ταυτίζονται ικανοποιητικά με αυτά της ποσοτικής ανάλυσης περίθλασης των ακτίνων-X (Σχ. Π.8).

Τέλος, σε μετρήσεις που έγιναν στο ίδιο δείγμα από τη περιοχή του Βόλακα, όπου κατά τόπους παρεμβάλλονται μικρές τεφρές ταινίες με μεγαλύτερο ποσοστό ασβεστίτη και σε δύο διαφορετικά κλάσματα κοκκομετρίας, τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσίασαν, μη αναμενόμενα, μικρότερα ποσοστά ασβεστίτη από τις προηγούμενες μετρήσεις και υψηλά ποσοστά μη ανθρακικών ορυκτών, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.7.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται η σχέση της κοκκομετρίας με τον ρυθμό διάλυσης του ανθρακικού ορυκτού όπως προαναφέρθηκε στις προηγούμενες παραγράφους από τους Skinner et al. (1959), Turner (1959) και Turner and Skinner (1959).

Πίνακας 3.7. Αποτελέσματα μετρήσεων σε δυο διαφορετικής κοκκομετρίας κλάσματα από διαφορετικό τμήμα του ίδιου ασβεστιτικού - δολομιτικού μαρμάρου από τον Βόλακα.

Κοκκομετρία από 120μm έως 180 μm						
Μετρήσεις%			Υπολογισμός%			
1ο λεπτό	6ο λεπτό	15ο λεπτό	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Μη ανθρακικά ορυκτά
11	35	61	11	50	61	39
10	34	59	10	49	59	41

Κοκκομετρία < 120 μm						
Μετρήσεις%			Υπολογισμός%			
1ο λεπτό	6ο λεπτό	15ο λεπτό	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Μη ανθρακικά ορυκτά
13	42	72	13	59	72	28

3.3 Γεωγραφικά και ορυκτολογικά - πετρογραφικά στοιχεία των δειγμάτων

Ο ευρύτερος σημερινός χώρος της Ελλάδος αποτελεί τμήμα της Νέας Ευρώπης (Ιταλία, Άλπεις, Βαλκανική χερσόνησος), η οποία είναι το αποτέλεσμα των Αλπικών πτυχώσεων που έλαβαν χώρα από το Μεσοζωικό έως και το Καινοζωικό. Η εξάπλωση των κρυσταλλοσχιστώδη πετρωμάτων, δεν αποτελεί αποκλειστικό «προνόμιο» των αλπικών μεταμορφικών επεισοδίων, καθώς σε αυτά συμμετέχουν μεταμορφωμένα πετρώματα του προ αλπικού υποβάθρου προηγούμενων ορογενετικών κύκλων όπως αυτών της Ερκύνιας και της Καληδονικής ορογένεσης. Τα τελευταία εμφανίζονται κυρίως στις εσωτερικές Ελληνίδες (γεωτεκτονικές ζώνες) και στη μάζα της Ροδόπης, ενώ απουσιάζουν από τις εξωτερικές ζώνες. (Μουντράκης, 2010).

3.3.1 Ανατολική Μακεδονία και Θράκη

Τα δείγματα που αναλύθηκαν προέρχονται από τις παρακάτω περιοχές: Μαρώνεια (Mar 1), Ακρόπολη, Αλυκή και Βαθύ Θάσου (AKRO, ALY, VATH), Μακρυχώρι, Ζαρκαδιά και Φίλιπποι Καβάλας (HEM, Kav-Zar 1, Phil 1) και Βόλακα Δράμας (HEM) (Πίν. 3.1, Σχ. 3.1).

Μαρώνεια

Το δείγμα Mar 1 προέρχεται από το χώρο της Περιοδοπικής ζώνης του νομού Θράκης και συγκεκριμένα από την ιστορική πόλη της Μαρώνειας. Πρόκειται για μάρμαρο που αποτελεί μέλος της Ενότητας Μάκρης (Παπαδόπουλος, 1982) του Κάτω - Μ. Μεσοζωικού. Όπως αναφέρουν οι Melfos and Vavelidis (2000) η προτίμηση του μαρμάρου της Μαρώνειας, από άλλα υλικά δόμησης (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι κ.α.) και η χρήση του στις αρχαίες

κατασκευές, χρονολογείται από τον 7^ο αι. π.Χ. Χαρακτηριστικά, στην περιοχή της Μαρμαρίτσας νότιο-ανατολικά του σημερινού οικισμού της Μαρώνειας και σε απόσταση 5 χλμ. από αυτήν, βρίσκονται έξι αρχαίες θέσεις λατομείων εξόρυξης λευκού μαρμάρου. Το μάρμαρο ορυκτολογικά, αποτελείται κυρίως από ασβεστίτη με μικρή συμμετοχή των ορυκτών δολομίτη και μοσχοβίτη. Είναι αδρόκοκκο με αποχρώσεις του λευκού έως λευκότεφρου. Κατά τόπους, σε μικρό βαθμό, ερμηνεύονται φαινόμενα πυριτίωσης και δολομιτίωσης, σύμφωνα με τις χημικές αναλύσεις, που έδωσαν σημαντικά ποσοστά σε SiO₂ έως 4,28% και MgO έως και 3,61% (Melfos and Vavelidis, 2000).

Θάσος

Τα επόμενα τρία δείγματα AKRO, ALY, VATH προέρχονται από τη νήσο Θάσο η οποία γεωτεκτονικά ανήκει στη μάζα της Ροδόπης. Οι πρώτες ιστορικές αναφορές για το μάρμαρο της Θάσου, χρονολογούνται από τον 6ο αιώνα π.Χ., όταν γινόταν λατόμηση στη χερσόνησο της Αλυκής και στο ακρωτήρι Φανάρι και Βαθύ (Laskaridis et al., 2013). Οι δύο τύποι μαρμάρων που εμφανίζονται στη νήσο της Θάσου, τα ασβεστιτικά και τα δολομιτικά, αποτελούν μέλη της μεταμορφικής σειράς της Κατώτερης Ενότητας της Ροδόπης, που σχηματίζουν μια μεγάλη αντικλινική δομή, ως αποτέλεσμα τεκτονικών διαδικασιών που έλαβαν χώρα στο διάστημα πριν από 26 με 13 εκ. χρόνια. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τα μάρμαρα να συναντώνται σε διάφορους τεκτονικούς ορίζοντες ανάμεσα σε γνεύσιους και σχιστόλιθους και να παρουσιάζουν μια στρωματογραφική προτίμηση, με τα μεν ασβεστιτικά να βρίσκονται στα περιφερειακά τμήματα της νήσου ενώ τα δολομιτικά στα ανατολικά - βορειοανατολικά μέρη αυτής (Bruno et al., 2002).

Το δείγμα AKRO συλλέχθηκε από τους αρχαίους λατομικούς χώρους της Ακρόπολης, στα βορειοανατολικά του Λιμένα, πρωτεύουσας της νήσου, το οποίο στο παρελθόν χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του ομώνυμου Κάστρου. Πρόκειται για ένα καθαρά ασβεστιτικό αδρόκοκκο μάρμαρο, με πολύ μικρά ποσοστά χαλαζία, αρκετά μεγάλους κρυστάλλους ασβεστίτη, που φθάνουν έως 5 mm, ομοιογενή ιστολογικά χαρακτηριστικά, ημίλευκης έως και λευκό-τεφρής αποχρώσεως και με κατά τόπους την παρουσία τεφρών ταινιών (Melfos, 2019).

Στα νοτιοανατολικά της νήσου και στη θέση Αλυκή, όπου κατά την αρχαιότητα λειτούργησε ένα από τα μεγαλύτερα λατομικά κέντρα εξόρυξης μαρμάρου της ευρύτερης περιοχής, το δείγμα ALY αποτελεί και αυτό ένα καθαρά ασβεστιτικό λευκού χρώματος αδρόκοκκο μάρμαρο, με γρανοβλαστικό-ετεροβλαστικό ιστό, με μικρά ποσοστά δολομίτη καθώς και ίχνη από λευκό μαρμαρυγία, απατίτη, γραφίτη και σουλφίδια του σιδήρου (Μέλφος, 2015).

Το δείγμα VATH αφορά το κατάλευκο δολομιτικό μάρμαρο της περιοχής που βρίσκεται κατά μήκος της ακτογραμμής που οριοθετείται στα βορειοανατολικά της νήσου από τον όρμο Αγ. Ιωάννη ως το Πόρτο Βαθύ, όπου τα αποτυπώματα της αρχαίας λατόμησης, αναδεικνύονται με την παρουσία εγκαταλειμμένων μαρμάρινων ογκολίθων και αντιστέκονται στη φυσική και χρονική εξαλλοίωση τους, ενώ συχνά βρίσκονται ανάμεσα στα «ομότιμα» δολομιτικά μάρμαρα της σύγχρονης λατόμησης. Το χιονόλευκο δολομιτικό μάρμαρο της συγκεκριμένης περιοχής, συνίσταται ορυκτολογικά από δολομίτη 99%, ασβεστίτη σε ποσοστό 1%, ενώ σε ίχνη συμμετέχουν απατίτης, χαλαζίας και φλογοπίτης. Πρόκειται για ένα συμπαγές μεσόκοκκο μάρμαρο, με το μέγεθος των κρυστάλλων του δολομίτη να φτάνει τα 2,5 mm (Melfos, 2019). Παράλληλα ο Attanasio (2003), όπως αναφέρεται στους Caligaro et al. (2013), έχει επισημάνει ότι είναι το πιο λευκό χρησιμοποιούμενο αρχαίο μάρμαρο, με μέγιστο μέγεθος κόκκων 1-3 mm και μέσο όρο ελαφρώς μικρότερο από 2 mm, το οποίο το τοποθετεί ανάμεσα στα αδρόκοκκα μάρμαρα.

Καβάλα (Hemarus)

Στο χώρο της μάζας της Ροδόπης και στην ενότητα του Παγγαίου, το ασβεστίτικο μάρμαρο που εξορύσσεται από το ενεργό λατομείο Hemarus της εταιρείας Stone Group, αποτελεί το επόμενο δείγμα HEM που μελετήθηκε. Μακροσκοπικά, πρόκειται για ένα λευκό ασβεστίτικο μάρμαρο έως λευκότεφρο, με την παρουσία έντονων κυματοειδών ταινιών, τεφρών αποχρώσεων (STONE GROUP, 2021). Η ακριβής θέση του λατομείου βρίσκεται στο νομό Καβάλας κοντά στη Ιερά Μονή των Νικητών της κοινότητας Μακρυχωρίου.

Ζαρκαδιά

Στην ενότητα Παγγαίου και στην ίδια περιοχή του νομού Καβάλας, στη ονομαστή «διαδρομή των λατομείων» που αρχίζει από το ύψος της Χρυσούπολης, περνώντας έξω από το Μακρυχώρι και με κατεύθυνση τον Αγ. Κοσμά, μια σειρά από λατομεία (όπως αυτά που ανήκουν στις εταιρείες Ικτίνος, Λαζαρίδης κ.ά.), υποδηλώνουν την παρουσία ανθρακικών πετρωμάτων. Στον οικισμό Ζαρκαδιά του δήμου Νέστου, βρίσκεται η θέση συλλογής του δείγματος. Εντοπίζεται μεταξύ των θέσεων Στενωπού, Ελαφοχωρίου και Δύσβατου των ορέων Λεκάνης, όπου σήμερα εξορύσσεται μάρμαρο από 11 εναπομείναντα σε λειτουργία λατομεία, επί συνόλου 30 προϋπαρχόντων. Το δείγμα Kan-Zar 1 προέρχεται από ασβεστίτικο μάρμαρο, μεσόκοκκο έως και λεπτόκοκκο, λευκού έως ημίλευκου χρώματος μέσα στο οποίο παρατηρούνται λεπτές ταινίες τεφρώς απόχρωσης, πάχους 0,5 έως 1 cm (Χατζηπαναγής και Βουγιούκας, 2005).

Φίλιπποι

Στην περιοχή των Φιλίππων Καβάλας, οι ελάχιστοι αρχαίοι λατομικοί χώροι, που έχουν διασωθεί από την σύγχρονη ανεξέλεγκτη λατομική δραστηριότητα, βρίσκονται κυρίως περιμετρικά από την Ακρόπολη. Το Phil 1 δείγμα συλλέχθηκε στη περιοχή ενεργού λατομείου, στα βόρεια του υψώματος της Ακρόπολης, όπου μέχρι σήμερα σώζονται τα αποτυπώματα της αρχαίας λατόμησης. Πρόκειται για ένα ασβεστίτικο μάρμαρο με ετεροβλαστικό ιστό, όπου κρύσταλλοι ασβεστίτη μεγέθους 1 έως 4 mm, συμφύονται με μικρότερους κρυστάλλους ασβεστίτη 100 έως 700 μm (Μέλφος, 2015). Η εμφάνιση τοπικών φαινομένων ανακρυστάλλωσης, με την παρουσία κρυστάλλων ασβεστίτη μεγέθους που φτάνουν το cm καθώς και ο εντοπισμός ιδιόμορφων κρυστάλλων σουλφιδίων, οφείλεται στην επαφή του μαρμάρου με τον πλουτωνίτη των Φιλίππων (Παπαγεωργάκης, 1963, Melfos, 2013).

Βόλακας (Haemus)

Στα βορειοδυτικά της πόλης της Δράμας, σε απόσταση 36 χιλιομέτρων από αυτήν και σε υψόμετρο 830 μέτρων, το χωριό Βόλακας στη περιοχή του Φαλακρού όρους, έχει ταυτιστεί με την πλούσια μαρμαροφορία της περιοχής και την ανάπτυξη πολλών ενεργών λατομείων.

Σύμφωνα με τους Βουγιούκας και Χατζηπαναγής (2009), η πετρογραφική δομή του Φαλακρού όρους, το οποίο αποτελεί τμήμα της ενότητας του Παγγαίου, συνίσταται από μεταμορφωμένα πετρώματα με έντονη την παρουσία όξινων μαγματικών διεισδύσεων. Πιο αναλυτικά, πάνω στο υπόβαθρο της ενότητας των Παλαιοζωικών γενεσίων, η λιθοστρωματογραφική στήλη εξελίσσεται με ρυθμικές εναλλαγές από σχιστόλιθους και γενεύσιους στους κατώτερους ορίζοντες και παρεμβολές από φακούς ή στρώσεις ανθρακικών πετρωμάτων καθώς και αμφιβολίτες και υπολείμματα εκλογιτών, στους ανώτερους. Τέλος, η μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση των μαρμάρων που καλύπτουν έκταση περίπου 650 km^2 , αποτελεί και την τελευταία λιθολογική ενότητα της στρωματογραφικής στήλης. Τα μάρμαρα διακρίνονται με βάση την ορυκτολογική και χημική τους σύσταση σε τρεις διαφορετικές σειρές, οι οποίες εμφανίζονται και σε διαφορετικούς στρωματογραφικούς ορίζοντες, με τα σιπολινικά μάρμαρα στους κατώτερους, τα δολομιτικά στους ενδιάμεσους και τα ασβεστίτικά στους ανώτερους.

Το δείγμα HEM έχει συλλεχθεί από το χώρο του λατομείου Haemus της εταιρείας Stone Group, που καταλαμβάνει έκταση 138.000 τ.μ. και βρίσκεται στην επαφή μεταξύ δολομιτικών και ασβεστίτικών μαρμάρων. Πρόκειται για ένα δολομιτικό μάρμαρο, λευκού χρώματος, με κυανότεφρες και τεφρές έντονες ή απαλές ταινίες, κηλίδες ή περιοχές ασβεστίτικής σύστασης, δίνουν στο τελικό προϊόν έναν αρμονικό και ιδιότυπο συνδυασμό χρωμάτων και σχεδίων (STONE GROUP, 2021). Ορυκτολογικά, το μάρμαρο αποτελείται κυρίως από δολομίτη και

λιγότερο από ασβεστίτη, ενώ επουσιωδώς βρίσκονται ίχνη από ιλμενίτη, μοσχοβίτη, απατίτη και πλαγιόκλαστα. Επιπροσθέτως, το μάρμαρο χαρακτηρίζεται ως λεπτόκοκκο με τους κρυστάλλους δολομίτη να αναπτύσσονται υποδιόμορφα και του ασβεστίτη να βρίσκονται σε μορφή συσσωματωμάτων και φλεβιδίων (Λασκαρίδης κ.ά., 2015).

3.3.2 Κεντρική Μακεδονία

Στη Κεντρική Μακεδονία τα δείγματα προέρχονται από τις παρακάτω περιοχές: Μονή Χιλανδαρίου Άγιου Όρους (AOChil), Ολυμπιάδα Χαλκιδικής (OLY6A), Άγιος Χαράλαμπος Κιλκίς (AgCh 1) (Πίν. 3.1, Σχ. 3.1).

Μονή Χιλανδαρίου - Άγιο Όρος

Μελετώντας την περιοχή του Άγιου Όρους, ο Χοβαρδός (2007) στη μεταπτυχιακή του εργασία με θέμα «Η ακτή της Χαλκιδικής κατά τους ιστορικούς χρόνους», αναφέρεται στον εντοπισμό πιθανού αρχαίου λατομείου στη θέση αρσανά της Μονής Χιλανδαρίου. Ο Μέλφος (2015) μελετώντας μάρμαρα αρχαίων λατομείων από την Μακεδονία εντόπισε τον αρχαίο λατομικό χώρο μαρμάρου πολύ κοντά από τη θέση αρσανά της Μονής. Το δείγμα AOChil αποτελεί ένα λευκό έως λευκότεφρο, συμπαγές μάρμαρο, αδρόκοκκο, σε ενστρώσεις, όπου κατά θέσεις παρουσιάζει δομές πλαστικής παραμόρφωσης (Μέλφος, 2015)). Γεωτεκτονικά, η περιοχή βρίσκεται στη Σερβομακεδονική μάζα, της οποίας η λιθολογική δομή, αποτελείται αποκλειστικά από μεταμορφωμένα πετρώματα Προκάμβριας και Παλαιοζωικής ηλικίας και από μεγάλους πυριγενείς όγκους διαφορετικών μαγματικών φάσεων (Μουντράκης, 2010).

Ολυμπιάδα - Χαλκιδικής

Βορειότερα από την Μονή Χιλανδαρίου, στην περιοχή Ολυμπιάδας, εμφανίζεται η σειρά Κερδυλίων της Σερβομακεδονικής μάζας, της οποίας το πάχος των λιθοστρωματογραφικών σχηματισμών φτάνει τα 3000 μέτρα. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα της Ενότητας αυτής συνίστανται από βιοτικούς-κεροσιλβικούς γνεύσιους, μιγματιτικούς γνεύσιους, ακτινολιθικούς σχιστόλιθους και αμφιβολίτες. Μεταξύ των παραπάνω λιθολογικών σχηματισμών διατάσσονται τρεις ορίζοντες μαρμάρων σε διαφορετικά βάθη και πάχη (Μουντράκης, 2010).

Το πολυμεταλλικό κοίτασμα μεικτών θειούχων της Ολυμπιάδας, εντοπίζεται στην επαφή των βιοτιτικών γνευσίων με τη κατώτερη σειρά των μαρμάρων, της σειράς των Κερδυλίων, μέσα στην οποία και φιλοξενείται. Τα μάρμαρα είναι λευκής έως τεφρής απόχρωσης, με τον κατώτερο ορίζοντα, από όπου προέρχεται το δείγμα OLY6A, να συνίσταται ορυκτολογικά από ασβεστίτη, δολομίτη, χαλαζία, χλωρίτη, μοσχοβίτη, γραφίτη και ροδοχρωσίτη (Kalogeropoulos et al., 1989).

Άγιος Χαράλαμπος - Κιλκίς

Η Περιοδοπική ζώνη αποτέλεσε κατά το Ιουρασικό μία βαθιά αύλακα, περιφερειακά της Σερβομακεδονικής μάζας που αντιπροσώπευε την περιοχή βύθισης της ωκεάνιας ζώνης του Αξιού κάτω από την ηπειρωτική πλάκα της Ευρώπης. Η ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα της Περιοδοπικής ζώνης οριοθετείται στα νότιο-δυτικά της λίμνης Δοϊράνης, με τους Μέσου - Άνω Τριαδικούς ορίζοντες, να αποτελούνται από μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους (Μουντράκης, 2010).

Στο νομό του Κιλκίς, στα ανατολικά και νότια παράκτια τμήματα της Λίμνης Δοϊράνης, εντοπίζονται τα γεωτεκτονικά όρια της Σερβομακεδονικής μάζας με την Περιοδοπική ζώνη. Σε απόσταση 1,7 χιλιόμετρα βόρεια του Αγίου Χαράλαμπος, βρίσκεται το χωριό Μυριόφυτο, στη περιοχή του οποίου εμφανίζεται το Παλαιοζωικό μάρμαρο της ενότητας Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής μάζας (Κατσαβούνη και Petkovski, 2004).

Δυτικά της λίμνης Δοϊράνης και σε απόσταση περίπου 5 χιλιομέτρων από τα σύνορα με τη Βόρεια Μακεδονία, βρίσκεται χτισμένο στις δυτικές υπώρειες του όρους Δύσωρον, το χωριό Άγιος Χαράλαμπος. Ο Τσαμαντουρίδης (2008) αναφέρει την ύπαρξη αρχαίου λατομικού χώρου στο χωριό Πετράδες, το οποίο βρίσκεται σε απόσταση 5 χιλ. ανατολικά του χωριού Αγίου Χαράλαμπος, ενώ όπως αναφέρει ο Μέλφος (2015) σε απόσταση 1,5 χιλ. βόρειο-ανατολικά από τους Πετράδες, εντοπίζεται λατομικός χώρος που λειτούργησε κατά τους σύγχρονους χρόνους, στο παρελθόν. Αμφότερα και οι δυο εμφανίσεις αφορούν τον ίδιο λιθολογικό ορίζοντα μαρμάρου. Πρόκειται για το δείγμα AgCh 1, ένα αδρόκοκκο μάρμαρο, λευκού έως λευκότεφρου χρώματος, το οποίο με την αύξηση του βάθους, κατά θέσεις, εμφανίζει χαρακτηριστικές τεφρές ταινίες μικρού πάχους, οι οποίες φαίνεται να ακολουθούν την σχιστότητα του και σε αρκετές περιπτώσεις εμφανίζονται πτυχωμένες.

3.3.3 Δυτική Μακεδονία

Στο γεωγραφικό χώρο της Δυτικής Μακεδονίας και σε θέσεις αρχαίων και σύγχρονων λατομείων, μελετήθηκαν μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι από τον Melfos (2015), τα οποία συλλέχθηκαν: από τις περιοχές Αραβησσού Γιαννιτσών στο Πάικο (Arg 1), Βερμίου (Verm1, Verm2, Verm3A, Verm4C, Verm5B), Τρανόβαλτου Κοζάνης (Trn 2) και Βρίων Πιερών (Vry 1) (Πίν. 3.1, Σχ. 3.1).

Αραβησσός Γιαννιτσών

Στο χώρο της ζώνης Αξιού η μεγάλη εξάπλωση των οφιολιθικών πετρωμάτων, τα οποία αποδίδουν και τον παλαιογεωγραφικό χαρακτήρα της ζώνης, ως τμήμα του παλαιού ωκεανού

θάλασσας της Τηθύος, η εμφάνιση των πελαγικών και νηριτικών αλπικών ιζημάτων, μαζί με τα αποσπασμένα μεταμορφωμένα πετρώματα της Σερβομακεδονικής, συνθέτουν τους κύριους λιθολογικούς χαρακτήρες της ζώνης. Η ζώνη συνίσταται από την υποζώνη Πάικου, στη παλαιογεωγραφία της οποίας αποδίδεται ο ρόλος νησιωτικού τόξου που λειτούργησε κατά τη διάρκεια του Άνω Ιουρασικού και βρίσκεται ανάμεσα στις άλλες δύο υποζώνες της ζώνης Αξιού, δηλαδή της Παιονίας και της Αλμωπίας (Μουντράκης, 2010).

Στην υποζώνη του Πάικου και στους πρόποδες του ομώνυμου όρους, σε απόσταση 2 χλμ. Βόρεια από την Αραβησσό, στη θέση «Καλούπια», εντοπίζονται αρχαία λατομεία εξόρυξης δολομιτικού ασβεστόλιθου (Βάκουλης, 2000), αν και ο Μέλφος (2015) αναφέρει πως τα προαναφερθέντα ασβεστολιθικά πετρώματα είναι ασβεστιτικής σύστασης, τεφρού χρώματος, μέσα στα οποία εμφανίζονται φλέβες λευκής απόχρωσης από ανακρυσταλλωμένο ασβεστίτη. Πρόκειται για το δείγμα Αγν 1 ο ιστός του οποίου είναι ολοκρυσταλλικός και συνίσταται από μικρού μεγέθους κρυστάλλους <10 μm, ενώ πιο σπάνια διακρίνονται διάσπαρτοι μεγάλοι κρύσταλλοι, που φτάνουν τα 100 μm.

Όρος Βέρμιο Ημαθίας

Τα δείγματα Verm1, Verm2, Verm3A, Verm4C, Verm5B προέρχονται από την περιοχή του όρους Βερμίου, η οποία γεωτεκτονικά ανήκει στη Πελαγονική ζώνη. Η Πελαγονική αποτελεί ένα ηπειρωτικό τμήμα της Κιμμερικής πλάκας που αποσπάστηκε από την Gondwana και που χώριζε εκατέρωθεν δύο ωκεάνιες ζώνες, αυτές του Αξιού και της Υποπελαγονικής (Μουντράκης, 2010). Οι λιθολογικοί σχηματισμοί της Πελαγονικής, από τους παλαιούς προς τους νεότερους, συνίστανται από τα μεταμορφωμένα πετρώματα του προαλπικού υποβάθρου Άνω Παλαιοζωικής ηλικίας, τις μεγάλες σε εξάπλωση διεισδύσεις πλουτωνικών σωμάτων (γενεσιωμένοι πλουτωνίτες) του Άνω Λιθανθρακοφόρου, τις μετακλαστικές ακολουθίες του Περμοτριάδικου, τα δύο Μεσοζωικά ανθρακικά καλύμματα, τους επωθημένους από τις ζώνες Αξιού και Υποπελαγονικής οφιόλιθους, και τέλος τα ιζήματα της Μέσο - Άνω Κρητιδικής επίκλυσης (Μουντράκης, 2010). Από τους παραπάνω λιθολογικούς σχηματισμούς της Πελαγονικής, οι ανώτεροι ορίζοντες με τα μάρμαρα των δύο ανθρακικών καλυμμάτων του Μέσο-ανώτερου Τριαδικού έως Κατώτερου Ιουρασικού, συσχετίζονται το μεν ανατολικό με τα δείγματα του όρους Βερμίου και Βρίων Περίων το δε δυτικό με το δείγμα από την περιοχή του Τρανόβαλτου Καμβουνίων (Βάκουλης, 2000, Μέλφος, 2015).

Στην περιοχή του όρους Βερμίου, από τα ελάχιστα διασωθέντα ερείπια των αρχαίων λατομείων, λόγω της ανεξέλεγκτης εκμετάλλευσής τους από τα ενεργά και ανενεργά λατομεία των τελευταίων 80 ετών, συλλέχθηκαν και μελετήθηκαν από τον Melfos (2015) τα παρακάτω δείγματα:

- α) Το δείγμα Verm1 είναι από το αρχαίο λατομείο στη θέση Ξυλάλογο Ξηρολίβαδου. Πρόκειται για ένα μεσόκοκκο έως αδρόκοκκο μάρμαρο, με καλά αναπτυγμένους κρυστάλλους ασβεστίτη, με ετεροβλαστικό ιστό και σχεδόν λευκό ή λευκότεφρο χρώμα, προσδίδοντας έτσι αποχρώσεις λευκών-ημίλευκων ταινιών. Η ορυκτολογική σύσταση του δείγματος αποτελείται κυρίως από ασβεστίτη, κατά θέσεις έντονα ανακρυσταλλωμένο, ενώ συμμετέχουν σε πολύ μικρά ποσοστά χαλαζίας και λευκός μαρμαρυγίας.
- β) Το δείγμα Verm2 είναι από το αρχαίο λατομείο στη θέση Κερασιές. Φέρει τα ίδια χαρακτηριστικά με το δείγμα Verm1, με την διαφορά την απουσία του λευκού μαρμαρυγία.
- γ) Το δείγμα Verm3A προέρχεται από το αρχαίο λατομείο στη θέση των Περσών, με παρόμοια χαρακτηριστικά με το δείγμα Verm2.
- δ) Το (Verm4C), από το αρχαίο λατομείο Στηλών στη θέση Αγ. Αθανάσιος Τορμάνη, με παρόμοια χαρακτηριστικά με τα δείγματα Verm2 και Verm3A, με την διαφορά την παρουσία ιχνών σιδηροπυρίτη.
- ε) Το δείγμα Verm5B αφορά μάρμαρο από την περιοχή πλησίον του χωριού Κουμαριά, όπου η λατομική δραστηριότητα που συνεχίζεται μέχρι σήμερα, εξάλειψε σχεδόν κάθε αρχαίο λατομικό αποτύπωμα. Πρόκειται για μεσόκοκκο, λευκό και /ή λευκότεφρο μάρμαρο, με ετεροβλαστικό ιστό, κατά θέσεις έντονα ανακρυσταλλωμένο. Ο ασβεστίτης είναι το βασικό ορυκτό, με καλά ανεπτυγμένους κρυστάλλους, ενώ συμμετέχουν σε πολύ μικρά ποσοστά δολομίτης, χαλαζίας, πλαγιόκλαστο και σουλφίδια (σιδηροπυρίτης).

Βρία (Σεντούκια) Πιερίων

Στον αρχαίο λατομικό χώρο των Σεντουκιών και σε απόσταση 1,5 χιλ. από τον οικισμό Βρία, στις ανατολικές πλάγιες των Πιερίων, διαπιστώθηκαν έξι λατομικά κέντα εκμετάλλευσης μαρμάρου που δραστηριοποιήθηκαν την Αρχαία Ελληνική και Ρωμαϊκή περίοδο (Βάκουλης, 2000). Στην περιοχή, από όπου συλλέχθηκε το δείγμα Vry 1, οι σποραδικές και περιορισμένες εμφανίσεις μαρμάρου, λόγω της τεράστιας επιφανειακής δασοκάλυψης και των συνεπακόλουθων επιχώσεων, ελέγχαν κατά την αρχαιότητα την λατόμηση και παραγωγή του. Πρόκειται για ένα παχύ-στρωματώδες, λευκό έως υπόλευκο-τεφρόλευκο μάρμαρο, λεπτόκοκκο, με ετεροβλαστικό ιστό. Η ορυκτολογική του σύσταση συνίσταται από ασβεστίτη και δολομίτη καθώς και από ίχνη λευκού μαρμαρυγία, χαλαζία, σουλφίδια και οξειδία του σιδήρου. Τέλος, παρατηρούνται συμφύσεις από μεγάλους κρυστάλλους ασβεστίτη μεγέθους από 300 έως 500 μm και πιο σπάνια έως και 4 mm, με κρυστάλλους μικρότερου μεγέθους από 50 έως 300 μm (Melfos, 2015).

Τρανόβαλτος Καμβουνίων

Κοντά στο χωριό Τρανόβαλτο του νομού Κοζάνης και στους πρόποδες του όρους Καμβουνίων η ιστορία της λατομικής δραστηριότητας οριοθετείται χρονικά από τους αρχαίους χρόνους, βάση αρχαιολογικών ευρημάτων και συνεχίζεται έως και σήμερα με τη παραγωγή του ονομαστού «μαρμάρου Κοζάνης». Το αντιπροσωπευτικό δείγματα της περιοχής Trn 2, είναι ένα λευκό μάρμαρο, λεπτόκοκκο, του οποίου η ορυκτολογική σύσταση αποτελείται κυρίως από ασβεστίτη, με μικρά ποσοστά συμμετοχής δολομίτη και χαλαζία. Το πέτρωμα έχει ομοβλαστικό ιστό και ιδιόμορφους κρυστάλλους ασβεστίτη, μεγέθους από 0,1 έως και 0,5 mm (Melfos, 2015).

3.3.4 Θεσσαλία

Από το χώρο της Πελαγονικής ζώνης και την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας, επιλέχθηκαν για την παρούσα εργασία μάρμαρα από αρχαίους λατομικούς χώρους, όπου τα ορυκτολογικά και πετρογραφικά χαρακτηριστικά τους, έχουν μελετηθεί από τους Melfos et al. (2010). Συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν μάρμαρα από τις περιοχές: Τισαίον όρος (Trik 1, Trik 2, Trik 3), αρχαία Ατραξ (Atr 2), Τέμπη (Temp 1a, Temp 2a, Temp 3a), Χασάμπαλη Λάρισας (Chas 46), Γορίτσα και Αρχαία Δημητριάδα Βόλου (GOR 2, DHM1), Φερές Βελεστίνου (FER1), Καλοχώρι, Καστρί και Γόννοι Λάρισας (Kalochor, Kastri 1, Gon 1a, Gon 1b), Τύρναβος (TYRN), Κουτσόχερο και Μύρα Λάρισας (K-23, M-6) (Πίν. 3.1, Σχ. 3.1).

Τισαίον όρος

Μια εκτεταμένη σύγχρονη λατομική δραστηριότητα αναπτύσσεται στο βόρειο τμήμα του όρους Τισαίον, κοντά στη θέση Ζάστενη, στην ανατολική ακτή του Παγασητικού κόλπου, στη Μαγνησία. Τα λατομεία εκτείνονται σε όλο το όρος και μέχρι 100 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Σύμφωνα με τον Παπαγεωργάκη (1963), υπήρχαν δύο μεγάλα αρχαία λατομεία σε αρκετή απόσταση από την ακτή και πολυάριθμα μικρότερα, μέσα στην πυκνή βλάστηση. Οι σύγχρονες εργασίες εκμετάλλευσης, κατά τις τελευταίες δεκαετίες, κατέστρεψαν τα αρχαία λατομεία.

Αναλυτικότερα, το μάρμαρο από το όρος Τισαίον που αντιπροσωπεύεται από τρία δείγματα Trik 1, Trik 2, Trik 3, έχει λευκό έως τεφρό-λευκό χρώμα και η σύγχρονη ονομασία του είναι «Λευκό Λαύκος». Ενίοτε εμφανίζει ταινίες με σκούρο χρώμα παράλληλες με τη σχιστότητα. Κοντά στη θάλασσα, στα χαμηλότερα υψόμετρα, το μάρμαρο έχει μια χαρακτηριστική ροζ απόχρωση, και έτσι η εμπορική ονομασία του είναι το «Ροζ Λαύκος». Η ορυκτολογική σύσταση του τεφρό λευκού και του ροζ μαρμάρου είναι ασβεστίτης με ίχνη

δολομίτη, χαλαζία και οξειδίων του Fe. Ο ασβεστίτης είναι το μόνο συστατικό του λευκού μαρμάρου. Ο ιστός και των δύο τύπων είναι ομοβλαστικός, υποδηλώνοντας ότι αποτελείται από ισοδιάστατους κόκκους. Το μάρμαρο χαρακτηρίζεται ως λεπτόκοκκο, με μέγεθος κόκκων που κυμαίνεται από $<10\ \mu\text{m}$ έως $100\ \mu\text{m}$. Μόνο σπάνια, υπάρχουν κρύσταλλοι ασβεστίτη με διάμετρο έως $1\ \text{mm}$.

Αρχαία Άτραξ (όρος Τίτανος)

Στο νομό Τρικάλων, στο νότιο τμήμα του οικισμού Πηνειάδα, στη νότια όχθη του Πηνειού ποταμού και στις βορειο-ανατολικές πλαγιές του όρους Τίτανος, βρίσκεται η αρχαία πόλη Άτραξ. Πολύ κοντά εντοπίζονται τα φημισμένα λατομεία που λειτούργησαν κατά την αρχαιότητα. Από το λατομικό χώρο της περιοχής, συλλέχθηκε και μελετήθηκε από τους Melfos et al. (2010), το δείγμα μάρμαρου Atr 2. Πρόκειται για ένα αδρόκοκκο μάρμαρο, με λευκό έως τεφρο-λευκό χρώμα που αποτελείται κυρίως από ασβεστίτη με ίχνη απατίτη, σουλφίδια και οξείδια του Fe. Ο ιστός του είναι ομοβλαστικός έως ελαφρώς ετεροβλαστικός. Αποτελείται από ισοδιάστατους κόκκους ασβεστίτη και σπάνια μπορεί να περιέχει κρυστάλλους με διαφορετικά μεγέθη. Ο ασβεστίτης παρουσιάζει διδυμία και έχει μήκος από $0,5$ έως $2,5\ \text{mm}$, που σπάνια φτάνουν τα $4\ \text{mm}$. Πρόκειται για ένα καλά κρυσταλλωμένο μάρμαρο, με αποτέλεσμα την μικροσκοπική παρουσία τριπλών συγκλίσεων των περιμετρικών γραμμών των κόκκων και σχηματισμό ίσων γωνιών 120° .

Τέμπη

Τρία μεγάλα αρχαία λατομεία μαρμάρου, από όπου συλλέχθηκαν τα δείγματα: Temp 1a, Temp 2a και Temp 3a, βρίσκονται στους βόρειους πρόποδες του όρους Κίσσαβος, στο μέσο της κοιλάδας των Τεμπών, σε ύψος περίπου $200\ \mu$. από τον Πηνειό ποταμό, ο οποίος διασχίζει την κοιλάδα προς το Αιγαίο πέλαγος. Το μάρμαρο αυτό αποτελείται μόνο από μεσαίους έως αδρόκοκκους κρυστάλλους ασβεστίτη. Το χρώμα του κυμαίνεται από τεφρο-λευκό έως τεφρό. Ο ιστός είναι ομοβλαστικός, υποδεικνύοντας ότι περιέχει ισοδιάστατους κόκκους, και σπάνια είναι ετεροβλαστικός. Ο ασβεστίτης έχει μήκος έως $5\ \text{mm}$ και χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό προσανατολισμού κατά τη διεύθυνση της σχιστότητας. Στον ετεροβλαστικό ιστό παρατηρούνται συμφύσεις μεγάλων κόκκων (5mm) με μικρότερους ($10\text{-}100\ \mu\text{m}$) (Melfos et al., 2010).

Χασάμπαλη

Μεταξύ των χωριών Καλοχωρίου και Ομορφοχωρίου στο λόφο Χασάμπαλη, $12\ \text{km}$ βορειοανατολικά της πόλης της Λάρισας, συναντάται μια εκτεταμένη επώθηση οφιολίθων τύπου «breccia», δηλ. τεκτονικά οφιολιθικά μίγματα πετρωμάτων που συνίστανται από αποσπασμένα υποκείμενα ανθρακικά πετρώματα, αναμιγμένα τεκτονικά, με οφιολιθικές

ακολουθίες και ιζημάτα βαθιάς θάλασσας (Μουντράκης, 2010). Σημείο αναφοράς της περιοχής αποτελεί ο πράσινος οφίτασβεσίτης της Χασάμπαλης, ο γνωστός αποκαλούμενος «Πράσινος Θεσσαλικός Λίθος», ένα λατυποπαγές από σερπεντινίτη ποικίλων διαστάσεων μέσα στον οποίο εγκλείεται λευκός ασβεσίτης (Melfos, 2008). Η ενδιάμεση μάζα, η οποία είναι λευκοπράσινη ως πρασινωπή, αποτελείται κυρίως από λεπτόκοκκο ασβεσίτη και σερπεντίνη και συγκολλά τις λατύπες, καθιστώντας το πέτρωμα εξαιρετικά συμπαγές και σκληρό. Το πέτρωμα σχηματίστηκε κατά το Άνω Κρητιδικό στο βυθό ενός ωκεανού, τμήμα της θάλασσας της Τηθύος, κάτω από σύνθετες τεκτονικές, ιζηματογενείς και υδροθερμικές διεργασίες. Εκτός από τα αρχαία λατομεία του «πράσινου θεσσαλικού λίθου», στο λόφο Χασάμπαλη εντοπίζεται επίσης ένα μικρό λατομείο λευκού μαρμάρου στα ανατολικότερα τμήματα της τοποθεσίας (Melfos et al., 2010).

Στη μελέτη του Αρχαίου Θεάτρου Λάρισας από επιλεγμένα δείγματα μαρμάρου, ο Μέλφος (2010) ερευνήσε τα πετρογραφικά και ορυκτολογικά στοιχεία του μάρμαρου της Χασάμπαλης. Πρόκειται για το δείγμα Chas 46, ένα λευκό ασβεστιτικό μάρμαρο με ίχνη από χαλαζία. Ο ιστός είναι ομοβλαστικός και συνίσταται από δίδυμους κρυστάλλους ασβεσίτη μεγέθους από 100 έως 500 μm , ενώ συχνά εμφανίζονται τριπλές συγκλίσεις των περιμετρικών γραμμών των κόκκων και σχηματισμός ίσων γωνιών 120° , που αιτιολογεί ένα καλά ανακρυσταλλωμένο μάρμαρο.

Γορίτσα Βόλου, Αρχαία Δημητριάδα, Φερές (Βελεστίνου)

Από τον ίδιο χώρο της Πελαγονικής ζώνης, στην γεωγραφική περιοχή της Μαγνησίας, οι Βαξεβανόπουλος κ.ά. (2020) καταγράφοντας την αρχαία λατομική δραστηριότητα της περιοχής, αναφέρονται μεταξύ άλλων σε αρχαίους λατομικούς χώρους, δείγματα των οποίων, έχουν επιλεγεί στη παρούσα εργασία και παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Πολύ κοντά και στα νοτιοανατολικά της πόλης του Βόλου, στη θέση του λόφου Γορίτσας, που αποτελεί προέκταση του ορεινού όγκου του Πηλίου προς τον Παγασητικό κόλπο, εντοπίζονται πολλές θέσεις αρχαίων λατομικών χώρων εξόρυξης μαρμάρου. Πρόκειται για το δείγμα GOR 2, ένα ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο με έντονα αποτυπωμένα στοιχεία τεκτονικής καταπόνησης, σύμφωνα και με την κατά τόπους εμφάνιση, ενός τεκτονικού λατυποπαγούς (Βαξεβανόπουλος κ.ά., 2020).

Θέσεις από αρχαία λατομεία εξόρυξης έχουν εντοπισθεί εντός της αρχαίας πόλης Δημητριάδας, καθώς επίσης και περιμετρικά των τειχών της. Πρόκειται κυρίως για λευκά μάρμαρα και τεφρούς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, με αντιπροσωπευτικό το δείγμα DHM1, που παρουσιάζουν πολλά κοινά ορυκτολογικά και ιστολογικά χαρακτηριστικά με αυτό της Γορίτσας.

Στους πρόποδες του όρους Χαλκοδωνίου, νότια του Βελεστίνου και στα ανατολικά του Λόφου Μαλούκα, διαπιστώθηκαν δραστηριότητες αρχαίας λατόμησης που συσχετίζονται με την αρχαία πόλη του Βελεστίνου, τις Φερές. Το υλικό εξόρυξης έχει τεφρό χρώμα και είναι ένας ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος, Άνω-Κρητιδικής ηλικίας, που συνίσταται από κρυστάλλους ασβεστίτη μεγέθους από 100 μm έως και 1200 μm . Το πέτρωμα αντιπροσωπεύεται από το δείγμα FER1.

Καλοχώρι, Καστρί, Γόννοι

Πάντα στο χώρο της Πελαγονικής ζώνης, στην γεωγραφική περιοχή του νομού Λάρισας, ο Μέλλφος (2004) μελέτησε τα γεωλογικά, ορυκτολογικά και ισοτοπικά χαρακτηριστικά από τρία χαρακτηριστικά αρχαία λατομεία, δείγματα των οποίων έχουν επιλεγεί στη παρούσα εργασία και παρουσιάζονται στη συνέχεια. Τα μελετημένα μάρμαρα στις περιοχές Καστρίου και Καλοχωρίου ανήκουν στην Άνω Κρητιδική ενότητα των μαρμάρων της Αγίας Λαρίσης, ενώ τα μάρμαρα στην περιοχή Γόννων αποτελούν μέρος των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του προαλπικού υποβάθρου του Άνω Παλαιοζωικού-Μέσο Τριαδικού.

Στο χωριό Καλοχώρι, στην περιοχή Συκουρίου, 15 χλμ. ΒΑ της πόλης της Λάρισας, τα ίχνη του αρχαίου λατομείου έχουν αφανιστεί αλλά υπάρχουν μαρτυρίες ότι διατηρούνταν έως πριν από αρκετά χρόνια. Το μάρμαρο είναι λευκό, λεπτόκοκκο (κρύσταλλοι μήκους $<0,5 \text{ mm}$), με κύριο ορυκτό τον ασβεστίτη, μικρό ποσοστό από δολομίτη καθώς και ίχνη λευκού μαρμαρυγία. Το μάρμαρο αντιπροσωπεύεται από το δείγμα Kalochor.

Πέντε αρχαία λατομεία λευκού μαρμάρου, βρίσκονται στις πλευρές του όρους Μαυροβούνιο και πολύ κοντά στην αρχαία λίμνη Βοιβήδα (η σύγχρονη αποστραγγισμένη λίμνη Κάρλα), κοντά στο χωριό Καστρί, 25 χλμ., ανατολικά της πόλης, της Λάρισας. Το μάρμαρο από τα αρχαία λατομεία στο Καστρί, που αντιπροσωπεύεται από το δείγμα Kastri 1 έχει λευκό έως λευκό-τεφρο χρώμα και σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρούνται παράλληλα με τη σχιστότητα ταινίες με τεφροπράσινο χρώμα και πάχος 2 έως 4 cm. Είναι ένα χοντρόκοκκο μάρμαρο, με κρυστάλλους μήκους έως 3 mm, και αποτελείται κυρίως από ασβεστίτη και ως εποψιδώδη ορυκτά χαλαζία, λευκό μαρμαρυγία και χλωρίτη.

Σημαντική αρχαία λατομική δραστηριότητα παρατηρείται μέσα στην αρχαία πόλη των Γόννων της Περραιβίας, που βρίσκεται 25 χιλιόμετρα βόρεια της Λάρισας, στην βόρεια όχθη του ποταμού Πηνειού, στη δυτική είσοδο του περάσματος των Τεμπών και στο νότιο τμήμα του Ολύμπου. Στην περιοχή κυριαρχούν μεταμορφωμένα πετρώματα που βρίσκονται πτυχωμένα πάνω στο Παλαιοζωικό κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Πελαγονικής ζώνης. Αυτοί οι σχηματισμοί χρονολογούνται από το Προ-Λιθανθρακοφόρο έως το Μέσο Τριαδικό και χωρίζονται σε δύο ενότητες, την κατώτερη και την ανώτερη (Migiros 1983, Katsikatsos σελ. - 43 -

and Migiros 1987, Caputo 1990). Τα μάρμαρα ανήκουν στην ανώτερη ενότητα στην περιοχή των Γόννων που εξορύχθηκαν κατά την αρχαιότητα. Τα δείγματα της εργασίας αφορούν δύο λατομικές τοποθεσίες, από τις οποίες συλλέχθηκαν δύο τύποι μαρμάρου. Συγκεκριμένα, ο πρώτος τύπος (δείγμα: Gon 1a) είναι ένα δολομιτικό μάρμαρο, με τεφρό χρώμα και μικρούς κόκκους μεγέθους έως 0,5 mm, ενώ κατά τόπους το μέγεθος φτάνει τα 2 mm. Το μάρμαρο αποτελείται κυρίως από δολομίτη και ασβεστίτη, με λευκό μαρμαρυγία ως επουσιόδεις ορυκτό. Ο δεύτερος τύπος (δείγμα: Gon 1b) είναι ένα λευκό αδρόκοκκο ασβεστιτικό μάρμαρο, με μέγεθος κρυστάλλων άνω των 3 mm. Αυτός ο τύπος περιλαμβάνει ασβεστίτη, με ίχνη δολομίτη και χλωρίτη. Παρατηρούνται συχνά λεπτές ταινίες με πράσινο χρώμα που αποτελούνται κυρίως από χλωρίτη.

Τυρνάβος

Από την περιοχή του Δήμου Τυρνάβου της περιφέρειας Θεσσαλίας έγινε δειγματοληψία του μάρμαρου με τον κωδικό (TYRN) κατόπιν υπαίθριας επιτόπιας επίσκεψης. Το δείγμα δεν προέρχεται από αρχαίο η ενεργό λατομικό χώρο. Η περιοχή ανήκει στην Πελαγονική ζώνη. Γενικεύοντας και όπως αναφέρει η Δημογιάννη (2014), στην ευρύτερη περιοχή Λάρισας Τυρνάβου, τα 136 Km² επί συνόλου 419,38 Km², καλύπτονται από εμφανίσεις Παλαιοζωικών - Κάτω- Μέσο Τριαδικών σχηματισμών που αποτελούνται κυρίως από μεσοστρωματώδη και σε μικρότερο βαθμό παχυστρωματώδη έως και άστρωτα μάρμαρα.

Κουτσόχερο, Μύρα

Η Μπεχλιβάνη (2009) μελέτησε τα ορυκτολογικά-γεωχημικά και τεχνολογικά χαρακτηριστικά ανθρακικών πετρωμάτων από τις περιοχές Κουτσόχερο και Μύρα Λάρισας, δείγματα των οποίων, έχουν επιλεγεί στη παρούσα εργασία και παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Σε απόσταση 16 χιλιομέτρων δυτικά από την πόλη της Λάρισας, εντοπίζεται η λατομική περιοχή του Κουτσοχέρου που ανήκει στον Δήμο Κοιλάδας. Το δείγμα K-23 της παρούσας εργασίας προέρχεται από το ενεργό λατομείο ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΛΑΤΟΜΕΙΑ ΑΕ. Στη περιοχή εμφανίζεται το Μέσο Τριαδικό-Ιουρασικό μάρμαρο που ανήκει στην λιθολογική ακολουθία του ανατολικού ανθρακικού καλύμματος της Πελαγονικής ζώνης (Μουντράκης, 2010). Παρουσιάζει σε μεγάλο βαθμό χαρακτηριστικές δομές τεκτονικής καταπόνησης και καρστικοποίησης. Κατά θέσεις εμφανίζεται χωρίς στρώσεις ή/και σε παχιά στρώματα έως και 500 μέτρα, είναι αδρόκοκκο, ολοκρυσταλλικό, λευκοκύανου έως λευκότεφρου χρώματος. Ειδικότερα το δείγμα (K-23) χαρακτηρίζεται ως ένας ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος με μέγεθος κόκκων μεταξύ 0,5 και 1,2 mm και με υψηλή περιεκτικότητα σε ασβεστίτη (97 - 99%), ενώ επουσιωδώς συμμετέχει ο χαλαζίας.

Ο οικισμός Μύρα βρίσκεται σε απόσταση 20 χιλιομέτρων νοτιοανατολικά από την πόλη της Λάρισας στη περιοχή του Δήμου Κιλελέρ, στα βόρειο-ανατολικά του οποίου και σε κοντινή απόσταση από το Νέο Περιβόλι, λειτουργεί λατομείο αδρανών υλικών της εταιρείας ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΛΑΤΟΜΕΙΑ ΑΕ. Από την περιοχή του λατομείου μελετήθηκε το δείγμα M-6 της παρούσας εργασίας. Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη (Φύλλο Βελεστίου) του ΙΓΜΕ, όπως αναφέρει η Μπεχλιβάνη (2009), ο χώρος των Μύρων συνίσταται από ασβεστιτικά πετρώματα Κρητιδικής ηλικίας της Πελαγονικής ζώνης καθώς και από ιζήματα του Τεταρτογενούς. Στο χώρο του λατομείου ο ασβεστόλιθος κατά θέσεις εμφανίζεται ανακρυσταλλωμένος. Είναι ανοικτότεφρος έως και τεφρόμαυρος, χωρίς στρώση και κατά τόπους είναι λατυποπαγής και κλαστικός. Γενικότερα, στην ευρύτερη περιοχή της μελέτης ο ασβεστόλιθος είναι ανακρυσταλλωμένος και συμπαγής. Το κύριο ορυκτολογικό συστατικό είναι ο ασβεστίτης με ίχνη χαλαζία.

3.3.5 Νησιά Αιγαίου

Στην παρούσα εργασία από τα Νησιά του Αιγαίου μελετήθηκαν τα δείγματα: από την Σκύρο (Skyr-R, Skyr-W), την Πάρο (PAR), την Νάξο (NAY) και Ηρακλεία (IRAK) (Πίν. 3.1, Σχ. 3.1).

Σκύρος

Το νησί της Σκύρου στο κέντρο του Αιγαίου πελάγους είναι γνωστό ως μία από τις σημαντικότερες πηγές λευκών και ποικιλόχρωμων μαρμάρων της ρωμαϊκής περιόδου, με ευρεία διακίνηση σε όλη τη Μεσόγειο. Γνωστές κάποιες από τις ποικιλίες είναι ως breccia di Settebasi και Semesanto. Η Σκύρος στο σύνολο της συνίσταται από τους λιθολογικούς σχηματισμούς της Πελαγονικής ζώνης. Τα εξεταζόμενα δείγματα στην παρούσα εργασία, Skyr-R (κόκκινο) και Skyr-W (λευκό), ανήκουν στα μάρμαρα του Μέσο-Άνω Τριαδικού-Ιουρασικού που εμφανίζονται στα κεντρικά και νότιο-δυτικά της νήσου και υπέρκεινται των λιθολογικών σχηματισμών της μετακλαστικής ακολουθίας του Περμοτριάδικου, με το πάχος τους να φτάνει τα 1000 μ. (Γεωργογιάννης, 2019). Στη Σκύρο οι Lazzarini and Cancelliere (2000) μελέτησαν πολυάριθμα μικρά ρωμαϊκά λατομεία που βρίσκονται κατά μήκος της δυτικής ακτής και στις παρακείμενες νησίδες (Ρήνεια, Κουλούρη και κόλπο του Αλυκού), όπως αναφέρθηκαν ή μελετήθηκαν στις αρχές του 20ού αιώνα (Karambinis and Lazzarini, 2012). Το μεγαλύτερο από αυτά τα λατομεία βρίσκεται σε μια τοποθεσία της Σκύρου γνωστή ως Λάκκους και αφορά τη θέση «Δεκατριά, Λατομείο Σκυριανού Μαρμάρου» όπου σήμερα υφίσταται η λειτουργία σύγχρονου λατομείου. Η συγκεκριμένη περιοχή βρίσκεται στο όρος Δεκατριά, περίπου 260 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, βόρεια του κόλπου του

σελ. - 45 -

Πεύκου. Τα μάρμαρα που εξορύσσονται είναι λευκά και χαρακτηρίζονται από χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης και ανακρυστάλλωσης. Γενικά το μάρμαρο της Σκύρου είναι πολύ συμπαγές και ομοιογενές, λευκό αλλά μερικές φορές εμφανίζει λεπτές κίτρινες ή ρόδινες φλέβες και τεφρές κηλίδες. Αυτά τα χρώματα συσχετίζονται με συμπυκνωμένα λεπτά σωματίδια λειμωνίτη και ανθρακικών συστατικών, αντίστοιχα. Εκτός από κάποια ίχνη λευκού μαρμαρυγία, ορυκτών του σιδήρου (κυρίως λειμωνίτη και αιματίτη) και ανθρακικών ορυκτών, το μάρμαρο αποτελείται από καθαρό ασβεστίτη και σπανίως στη σύσταση του συμμετέχει και ο δολομίτης. Το μέσο μέγεθος κόκκων είναι πολύ μικρό (περίπου 0,15 mm) και κυμαίνεται από 0,26 έως 3,20 mm. Ο ιστός είναι ως επί το πλείστον ομοβλαστικός, πολυγωνικού τύπου με άφθονα τριπλά σημεία επαφής που σχηματίζονται από κρυστάλλους ασβεστίτη με ευθεία όρια. Μερικές φορές υπάρχουν ζώνες με πολύ λεπτό μέγεθος κόκκων και σπάνιοι απομονωμένοι πορφυροβλάστες ασβεστίτη (Lazzarini and Cangelieri, 2000). Λήφθηκαν δύο δείγματα το Skyr-R και το Skyr-W.

Πάρος, Νάξος, Ηρακλεία

Γεωτεκτονικά οι τρεις νήσοι Πάρος, Νάξος και Ηρακλεία ανήκουν στην Αττικοκυκλαδική ζώνη, η οποία θεωρείται ως η νότια προέκταση της Πελαγονικής. Η σύνθετη τεκτονική δομή της καθώς και η ιδιότυπη λιθολογική της σύσταση, οδήγησε στη διάκριση της σε τρεις λιθοστρωματογραφικές ενότητες. Οι νήσοι Πάρος και Νάξος ανήκουν στην Ενότητα των Νότιων Κυκλάδων, της οποίας οι λιθολογικοί σχηματισμοί συνίστανται από γνεύσιους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες του μεταμορφωμένου Παλαιοζωικού υπόβαθρου, από έναν Πέρμιο-Τριαδικό ορίζοντα με εναλλαγές σχιστόλιθων και μαρμάρων, από τα μεταμορφωμένα ανθρακικά του Άνω Τριαδικού έως Άνω Κρητιδικού με ενδιάμεσους σχιστολιθικούς ορίζοντες και τέλος από έναν φλύσχη του Τριτογενούς (Μουντράκης, 2010).

Οι νήσοι Πάρος και Νάξος, αποτέλεσαν το κέντρο ανάπτυξης του Πρωτοκυκλαδικού πολιτισμού (3200 π.Χ.). Με την εξόρυξη και εκμετάλλευση του γνωστού παριανού μαρμάρου η οποία χρονολογείται από τον 7^ο αιώνα π.Χ., δημιουργήθηκαν σπουδαία αρχιτεκτονικά και γλυπτά έργα, κυρίως κατά τους αρχαϊκούς έως ελληνοιστικούς χρόνους, όπως η Αφροδίτη και το αρχαίο θέατρο της Μήλου, η Νίκη της Σαμοθράκης ο ναός του Απόλλωνα στους Δελφούς και ο Ερμής του Πραξιτέλη. Από το μάρμαρο Νάξου η χρήση του οποίου ξεκινά από τον 5^ο π.Χ. αιώνα, κατασκευάστηκαν σπουδαία έργα, όπως αρχαίοι ναοί, γλυπτά, μνημεία και αρχαϊκοί κούροι, πολλά από τα οποία σώζονται έως και σήμερα, αποτυπώνοντας έτσι την αιωνιότητα του κυκλαδίτικου και ελληνικού αρχαϊκού πολιτισμού.

Στα βόρειο-κεντρικά της Πάρου βρίσκεται ο σημερινός οικισμός Μαράθι, ανατολικά του οποίου και σε απόσταση μικρότερη των 500 μέτρων, λειτούργησε το αρχαίο υπόγειο λατομείο

των Νυμφών, από όπου προέρχεται και το δείγμα PAR που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία. Όπως αναφέρει ο Κορρές (2000), το εξορυσσόμενο λευκό μαρμαροφόρο στρώμα των Νυμφών έχει πάχος από 1 έως 3 μέτρα και βρίσκεται ανάμεσα σε παχύτερα στρώματα κυανότεφων μαρμάρων. Πρόκειται για ένα λεπτόκοκκο λευκό μάρμαρο εξαιρετικής φωτοδιαπερατότητας, γνωστό με το όνομα «λυχνίτης». Στην ορυκτολογική του σύσταση κυριαρχεί ο ασβεστίτης, ενώ σε ίχνη συμμετέχουν λευκός μαρμαρυγίας, απατίτης και γραφίτης. Ο ιστός είναι ετεροβλαστικός η/και ομοβλαστικός, με μέγεθος κόκκων από 1 έως 12 mm (Herz, 1987).

Σύμφωνα με τους Jansen and Schuiling (1976), Tambakopoulos and Maniatis (2018), στη Νάξο υπάρχουν 6 μεταμορφικές ζώνες, με τα χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης μάρμαρα να εμφανίζονται στα νοτιοανατολικά, ενώ προοδευτικά προς τα βορειοανατολικά, στο όρος Κυνίδαρος, τα μάρμαρα παρουσιάζονται αντίστοιχα με υψηλότερους βαθμούς μεταμόρφωσης. Σε αυτές τις ανώτερες μεταμορφικές ζώνες, βρίσκονται τα αρχαία λατομεία του Απόλλωνα και των Μελανών καθώς και τα σύγχρονα λατομεία στο όρος Κυνίδαρος. Το μάρμαρο αυτών των λατομείων έχει μελετηθεί και τεκμηριωθεί από τους Μαντή (1993), Πολυκρέτη (1999), Attanasio et al. (2006), Tambakopoulos and Maniatis (2018). Το χρώμα του είναι λευκό ή ανοιχτό τεφρό ή λευκό σε ανοιχτό τεφρό φόντο. Το μέγεθος των κόκκων κυμαίνεται από 1,5 mm έως 6 mm, ενώ στα σύγχρονα λατομεία του Κυνίδαρος φτάνει έως τα 10,0 mm. Από το ορεινό χωριό Κυνίδαρος, της παραπάνω περιοχής συλλέχθηκε το δείγμα NAY και συγκεκριμένα από το χώρο των σύγχρονων λατομείων της εταιρείας «ΑΦΟΙ ΚΑΡΠΟΝΤΙΝΗ - ΝΑΞΙΑΚΑ ΜΑΡΜΑΡΑ Ο.Ε.», η οποία εμπορεύεται το γνωστό τύπο μαρμάρου «Κρυσταλλίνα Νάξου». Σύμφωνα με την εταιρεία, οι προδιαγραφές και τα χαρακτηριστικά της Κρυσταλλίνας Νάξου, περιγράφουν ένα λευκό έως ημίλευκο σκούρο με ανάμεικτους χρωματισμούς, ασβεστιτικό μάρμαρο. Στην ορυκτολογική του σύσταση, εκτός από ασβεστίτη 98% συμμετέχει με ποσοστό 2% ο χαλαζίας (ΑΦΟΙ ΚΑΡΠΟΝΤΙΝΗ ΝΑΞΙΑΚΑ ΜΑΡΜΑΡΑ, 2021).

Η νήσος Ηρακλειά βρίσκεται νότια της Νάξου, με επιφάνεια μόλις 18 km² και παρουσιάζει παρόμοια γεωλογική δομή, όπως αυτή των νήσων Πάρου και Νάξου. Στην έρευνα τους, για την προέλευση κατασκευής των μαρμαρίνων αρχαίων ειδωλίων και αγγείων στη περιοχή των «Μικρών Κυκλάδων» (Κέρος, Σχοινούσα, Ηρακλειά και τα δύο Κουφονήσια), οι Tambakopoulos and Maniatis (2018), αναφέρουν κάποια λίγα στοιχεία για το μάρμαρο της Ηρακλειάς. Το δείγμα IRAK, είναι ένα λεπτόκοκκο, τεφρό μάρμαρο, το οποίο είναι κατακερματισμένο. Επιπροσθέτως, από την έρευνα δεν βρέθηκαν στοιχεία για αρχαία λατομεία μαρμάρου ή επεξεργασίας μαρμάρου. Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι όλες οι

σελ. - 47 -

σημερινές τοπικές ανάγκες για μάρμαρο, συμπεριλαμβανομένων κτιρίων, περιφράξεων, πλακοστρώσεων και διακόσμησης, καλύπτονται από υλικά που εισάγονται από τη Νάξο ή την Αμοργό.

3.3.6 Αττική και Εύβοια

Τα δείγματα από την Αττική και την Νότια Εύβοια που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία προέρχονται από: το Πεντελικό όρος (PENT, DION), τον Θορικό και Στεφάνι Λαύριου (THOR, STEF) και την Κάρυστο Εύβοιας (KARY) (Πίν. 3.1, Σχ. 3.1).

Πεντέλη

Το Πεντελικό όρος ήταν η κύρια πηγή λευκού μαρμάρου από τις αρχές του 5^{ου} αιώνα π.Χ. Το μάρμαρο χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό από τους αρχαίους Έλληνες και Ρωμαίους για γλυπτά, επιγραφικές πλάκες και ως δομικός λίθος στην αρχιτεκτονική. Ο Παρθενώνας που χτίστηκε περίπου το 440 π.Χ. και όλα τα άλλα σωζόμενα αρχαία κτίρια στην Ακρόπολη αποτελούνται από πεντελικό μάρμαρο.

Το Πεντελικόν βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της Αττικοκυκλαδικής γεωτεκτονικής ζώνης, η οποία συνεχίζει νότια προς τα νησιά των Κυκλάδων. Ο Lepsius (1893), όπως αναφέρεται στον Pike (2000), περιέγραψε το δυτικό τμήμα του Πεντελικού όρους, που αποτελείται από τρεις αυτόχθονους σχηματισμούς, το κατώτερο μάρμαρο, τον ενδιάμεσο σχιστόλιθο και τον ανώτερο μάρμαρο. Ο Avdis (1991), όπως αναφέρεται στον Pike (2000), υπολογίζοντας τα σχετικά πάχη ενοτήτων μαρμάρου, αναφέρει για το ανώτερο μάρμαρο πάχος 100 μέτρα και για το κατώτερο μάρμαρο ελάχιστο πάχος τουλάχιστον 500 μέτρα.

Σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010) οι παραπάνω σχηματισμοί αναφέρονται στην Ενότητα Αττικής της Αττικοκυκλαδικής ζώνης με ηλικίες Άνω Τριαδικό-Κάτω Ιουρασικό για το κατώτερο μάρμαρο και Άνω Κρητιδικό για το ανώτερο μάρμαρο. Τα μάρμαρα της Πεντέλης αποτελούν το κατώτερο ορίζοντα των Άνω Τριαδικών-Κάτω Ιουρασικών μαρμάρων και συνιστούν ένα σχετικά αυτόχθον σχηματισμό που αποκαλύπτεται σε αλληπάλληλες θέσεις στην Ανατολική Αττική, ως τεκτονικό παράθυρο, κάτω από το επωθημένο τεκτονικό κάλυμμα της «γλαυκοφανιτικής σειράς» των γλαυκοφανιτικών σχιστόλιθων, μεταβασιτών, μετα-ηφαιστειο-ιζηματογενών και παλαιοζωικών γενέσιων (Μουντράκης, 2010).

Ο Pike (2000) μελετώντας συστηματικά τα γεωλογικά και γεωχημικά χαρακτηριστικά του Πεντελικού μαρμάρου, με την συλλογή 610 δειγμάτων αναφοράς, που αντιπροσωπεύουν 72 από τα 162 αναγνωρισμένα λατομεία, καθώς και δείγματα από εκτεθειμένο υπόστρωμα σε περιοχές μικρής συγκέντρωσης λατομείων, αμφισβήτησε παλαιότερες υποθέσεις, ότι το Πεντελικό μάρμαρο είναι ομοιογενές. Η γεωλογική επιτόπια έρευνα του Pike (2000) αναφέρει

την παρουσία διασταυρωμένων και παρεμβαλλόμενων οριζόντων σχιστόλιθου. Σύμφωνα με την ίδια έρευνα, το μάρμαρο είναι κυρίως λευκό και ορυκτολογικά αποτελείται από ασβεστίτη ενώ επουσιωδώς συμμετέχουν λευκός μαρμαρυγίας, σιδηροπυρίτης καθώς και μικρές ποσότητες χαλαζία και γραφίτη.

Σε έρευνα των Μερτζάνης κ.ά. (2004) σε θέσεις σύγχρονων λατομικών εξορύξεων μαρμάρου, που λειτουργούσαν στην νοτιοδυτική πλευρά του Πεντελικού όρους, κυρίως σε τρεις στοχευμένες θέσεις λατομείων, με την επωνυμία «Ραΐκου», «Μαλτέζου» και «Κοκκιναρά» αναφέρονται τα χαρακτηριστικά του Πεντελικού μαρμάρου. Αναλυτικότερα, στη παραπάνω περιοχή μελέτης, το Πεντελικό μάρμαρο, από όπου συλλέχθηκε το δείγμα PENT, εμφανίζεται σε χιονόλευκη απόχρωση έως τεφρή, με κατά τόπους εμπλουτισμούς σε φυλλόμορφα ορυκτά χλωρίτη και μοσχοβίτη, παράλληλα προς την σχιστότητα του πετρώματος. Είναι λεπτόκοκκο έως και μεσόκοκκο, με κύριο συστατικό τον ασβεστίτη και μικρά ποσοστά δολομίτη ($Mg < 1\%$). Τέλος, τα ποσοστά σε SiO_2 και Fe^{+3} είναι μικρότερα από 1% και 0,7%, αντίστοιχα.

Διόνυσος

Σε απόσταση 6 χιλιόμετρα, βόρεια του Πεντελικού όρους στην περιοχή Διόνυσος και στη θέση Αλούλα, από το 1994, σε χώρο του παλαιού ομώνυμου λατομείου, λειτουργεί το ανοιχτό μουσείο παραδοσιακής λατομικής τέχνης. Η λατομία στον Διόνυσο ξεκινά στις αρχές του 20^{ου} αφού μέχρι τότε η εξόρυξη περιοριζόταν στα νότιες πλαγιές του Πεντελικού όρους, από Άγγλους, ενώ σήμερα η ιδιοκτησία και εκμετάλλευση ανήκει στην εταιρεία «Λατομεία Μαρμάρου Διονύσου Πεντέλης». Η εταιρεία σήμερα συνεχίζει την εξόρυξη μαρμάρου, μόνο στη περιοχή Διονυσοβούνι, αφού εδώ και 40 χρόνια έχει αναστείλει την εκμετάλλευση στις υπόλοιπες λατομικές θέσεις της Πεντέλης (Η ΥΛΗ, 2021). Όπως αναφέρει η εταιρεία, το λευκό μάρμαρο Διονύσου έχει τα ίδια ιστολογικά και χημικά συστατικά με το Πεντελικό μάρμαρο. Είναι λευκό έως ημίλευκο με ελαφρά πράσινες ή τεφρές ταινίες. Η ορυκτολογική του σύσταση αποτελείται από ασβεστίτη ($> 97\%$) και δολομίτη (2%) (Dionyssomarble, 2021).

Στον «Άτλαντα Μαρμάρων και Διακοσμητικών Πετρωμάτων» από τους Λασκαρίδης κ.ά. (2015), αναφέρονται τα ορυκτολογικά συστατικά δυο ποιοτήτων μαρμάρων που παράγονται στα λατομεία του Διόνυσου. Συγκεκριμένα, το λευκό μάρμαρο Διονύσου αποτελείται από ασβεστίτη 92%, χαλαζία 2%, μοσχοβίτη 4%, χλωρίτη 1% και δολομίτη 1%. Το τεφρό μάρμαρο Διονύσου αποτελείται από ασβεστίτη 91%, χαλαζία 4%, μοσχοβίτη 3% και δολομίτη 2%.

Οι Kaklis et al. (2019) μελέτησαν πειραματικά την αντοχή σε εφελκυσμό σε δείγματα μαρμάρου Διονύσου που λατομούνται τόσο με υπόγεια όσο και με ανοικτά λατομεία. Όπως

αναφέρουν οι μελετητές, το μάρμαρο Διόνυσος, από όπου προέρχεται το δείγμα DION, αποτελείται από 98% ασβεστίτη, 0,2% χαλαζία και 1,8% άλλα ορυκτά, όπως μοσχοβίτης, σερικίτης και χλωρίτης. Το μέγεθος των κόκκων του ασβεστίτη κυμαίνεται μεταξύ 100 και 400 μm . Οι κρύσταλλοι ασβεστίτη είναι πολυγωνικοί, μερικές φορές παρουσιάζουν διδυμίες ίσου μεγέθους και ο ιστός του χαρακτηρίζεται ομοβλαστικός. Το μάρμαρο είναι λευκού χρώματος με μερικές λεπτές παράλληλες τεφρές-πράσινες χρωματιστές ταινίες, που σχηματίζουν επίπεδα σχιστότητας και περιέχουν τοπικά ασημένιες περιοχές λόγω της παρουσίας χλωρίτη και μοσχοβίτη.

Θορικός και Στεφάνια - Λαύριο

Από την περιοχή του Λαύριου στα νοτιοανατολικά της Αττικής, συλλέχθηκαν τα δείγματα Θορικό και Στεφάνι. Η ευρύτερη περιοχή ανήκει στην γεωτεκτονική ενότητα Αττικής της Αττικοκυκλαδικής ζώνης, που περιεγράφηκε παραπάνω (Πεντελικό Μάρμαρο). Στη συγκεκριμένη περιοχή, όπως αναφέρει ο Μουντράκης (2010), διαπιστώνονται κάποιες ιδιομορφίες όσον αφορά τη λιθοστρωματογραφική και τη τεκτονική της δομή. Συγκεκριμένα, εμφανίζονται τρεις τεκτονικές ενότητες πετρωμάτων, με την κατώτερη σειρά των Τριαδικών-Κάτω Ιουρασικών μαρμάρων να συνιστούν την ίδια μαρμαροφόρα ενότητα που εξαπλώνεται σε ολόκληρη την ενότητα της Αττικής (Πεντέλη, Υμηττός, Λαύριο) και της Νότιας Εύβοιας. Οι δύο ανώτερες τεκτονικές σειρές εξελίσσονται προς τα πάνω και συνίστανται από μεταμορφωμένα πετρώματα και Άνω Κρητιδικό ασβεστόλιθο, αντίστοιχα. Η κατώτερη σειρά αποτελείται από δυο ορίζοντες μαρμάρων, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται μετακλαστίτες και σχιστόλιθοι (σχιστόλιθοι της Καισαριανής, στην περιοχή του Υμηττού).

Το δείγμα THOR από τον Θορικό συλλέχθηκε από τη περιοχή του αρχαίου θεάτρου που βρίσκεται στις πλαγιές του λόφου με την επωνυμία «Βελατούριον». Όπως αναφέρουν οι Μπίτζιος και Τζεφέρης (2018), στη περιοχή αναπτύσσεται ο ανώτερος ορίζοντας μαρμάρων της κατώτερης τεκτονικής σειράς. Πρόκειται για μια ακολουθία λευκών και κυανότεφων μαρμάρων. Επιπροσθέτως, όπως αναφέρει ο Τζεφέρης (2018α) είναι λεπτοκοκκώδη, σχιστοφυή με ανοικτές και σκούρες ραβδώσεις που περιέχουν ενστρώσεις και φλεβίδια από μοσχοβίτη.

Το δείγμα STEF συλλέχθηκε από το χώρο αρχαίου λατομείου (4ος-3ος αι. π.Χ. έως και Ρωμαϊκή εποχή) στο Στεφάνι Θορικού. Η θέση του αρχαίου λατομείου βρίσκεται στα υψώματα της περιοχής Στεφάνι, στη δυτική μεριά της κοιλάδας Αδάμι στα δυτικά του λόφου Μερκάτι και ανατολικά του λόφου Σπηλιά (Τζεφέρης, 2018β).

Κάρυστος

Στη περιοχή της Νότιας Εύβοιας, η ενότητα της Αττικής, που περιεγράφηκε παραπάνω (Πεντελικό μάρμαρο), φαίνεται να εμφανίζεται τεκτονικά υποκείμενη κάτω από την ενότητα των Βόρειων Κυκλάδων της Αττικοκυκλαδικής ζώνης. Η τελευταία, έχοντας εξάπλωση κυρίως στα νησιά των βόρειων Κυκλάδων και στην Νότια Εύβοια, συνίσταται από μάρμαρα του Άνω Τριαδικού - Κάτω Ιουρασικού, πάνω στα οποία εντοπίζεται ένας «γλαυκοφαντικός» ορίζοντας από μεταμορφωμένα βασικά και υπερβασικά πετρώματα, πάνω στον οποίο τοποθετείται ο ανώτατος ορίζοντας λιθολογικών σχηματισμών τύπου φλύσχη του Κρητιδικού - Ηωκαίνου (Μουντράκης, 2010).

Το δείγμα KARY από την Κάρυστο συλλέχθηκε από την ευρύτερη υπαίθρια περιοχή, περίξ του ομώνυμου αστικού κέντρου, που βρίσκεται στα νότια της Εύβοιας. Η ιστορία της πόλης Καρύστου είναι άμεσα συνδεδεμένη με την αρχαία λατόμηση και τα αρχαία λατομεία που βρίσκονται στους νότιους πρόποδες του όρους Όχη. Οι περίφημες πλάκες Καρύστου που καθιερώθηκαν στην αγορά ως σχιστόλιθοι δεν είναι τίποτα άλλο από ένα σιπολινικό τεφρό ή πράσινο μάρμαρο με σχιστότητα. Στην ορυκτολογική του σύσταση κυριαρχεί ο ασβεστίτης, ενώ συμμετέχουν σε σημαντικά ποσοστά φυλλώδη ορυκτά όπως χλωρίτης, σερίκίτης κ.ά. (Βλάμη, 2006). Σήμερα η περιοχή λατόμησης έχει επεκταθεί στις δυτικές πλαγιές του όρους Όχης και στην περιοχή της κοιλάδας του Αγ. Δημητρίου (Τζεφέρης, 2017). Η λατομική μονάδα ΑΦΟΙ ΣΠΥΡΟΥ Α.Β.Β.Ε. στην παραπάνω περιοχή, δραστηριοποιείται στην εξόρυξη σχιστολιθικών πλακών μαρμάρου σε ποικίλους χρωματισμούς (ΑΦΟΙ ΣΠΥΡΟΥ ΑΒΕΕ, 2021). Εν τούτοις το σιπολινικό μάρμαρο, από το οποίο προέρχεται το δείγμα KARY, που εξορύχθηκε κατά την Ρωμαϊκή περίοδο είναι πιο συμπαγές και σκληρό από τις σχιστολιθικές πλάκες.

Σύμφωνα με τους Λασκαρίδη κ.ά. (2015) υπάρχουν δύο ποιότητες σχιστολιθικών μαρμάρων στην περιοχή της Καρύστου. Οι τεφρές σχιστόπλακες Καρύστου αποτελούνται από ασβεστίτη 80%, μοσχοβίτη 7%, χλωρίτη 7%, αλβίτη 3% και χαλαζία 3%, ενώ οι πράσινες σχιστόπλακες Καρύστου αποτελούνται από ασβεστίτη 75%, μοσχοβίτη 10%, χλωρίτη 9% αλβίτη 7% και χαλαζία 3%. Και στα δύο δείγματα διαπιστώθηκε επουσιώδη συμμετοχή αδιαφανών μεταλλικών ορυκτών όπως τιτανίτης και επίδοτο.

3.3.7 Πελοπόννησος

Η ευρύτερη περιοχή της χερσονήσου Μάνης, σύμφωνα με τις νεότερες αντιλήψεις, τοποθετείται γεωτεκτονικά στο χώρο των Εξωτερικών Ελληνίδων στην Ενότητα των Πλακωδών Ασβεστολίθων, γνωστή ως «σειρά των Plattenkalk». Πρόκειται, για μία Τριαδικής-Ηωκαινικής ηλικίας ακολουθία ανθρακικών ημιμεταμορφωμένων πετρωμάτων, του Αλπικού

σελ. - 51 -

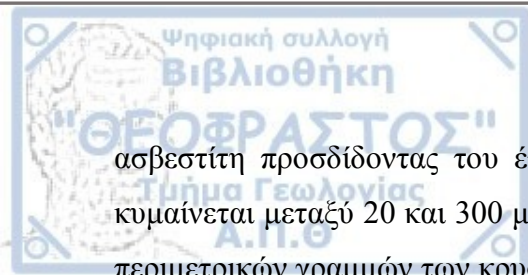
Ορογενούς. Τα δείγματα από την περιοχή της Μάνης: MAN 3, MAN 14, MAN 15, MAN 16, MAN 17, MAN 19, MAN 24, MAN 25 (Πίν. 3.1, Σχ. 3.1), βρίσκονται σε αυτήν την Ενότητα που για πολλούς επιστήμονες σήμερα θεωρείται η συνέχεια της Ιόνιας ζώνης προς νότο (Μουντράκης, 2010).

Στο γεωγραφικό χώρο της νότιο-ανατολικής Πελοποννήσου και στη ευρύτερη περιοχή της Λακωνικής και Μεσσηνιακής Μάνης πραγματοποιήθηκε από τον Τζεφέρη (2020) χωρική καταχώρηση και μελέτη αρχαίων και νεότερων θέσεων λατομείων, καθώς και εργαστηριακή μελέτη μαρμαροφόρων εμφανίσεων, από την υπαίθρια συλλογή δειγμάτων αναφοράς. Από την παραπάνω μελέτη, για τους σκοπούς της εργασίας μας, επιλέχθηκαν το ερυθρό μάρμαρο (MAN 3) από την περιοχή του μικρού οικισμού Παγανέα στην ανατολική Μάνη, το λευκό μάρμαρο από τις περιοχές Χαρούδα (MAN 14), Μαρμάρι (MAN 15), Φουρνιάτα (MAN 16), Μέζαπος (MAN 17) και Λαζό Πύργου (MAN 25) που βρίσκονται κατά μήκος της δυτικής ακτής της χερσονήσου Μάνης, τον ασβεστιτικής σύστασης μαύρο φυλλίτη (MAN 24) από τον χώρο αρχαίου λατομείου που βρίσκεται στη βόρειο-δυτική μεριά του ακρωτηρίου Ταινάρου και τέλος, το πράσινο μάρμαρο («cipollino» verde tenario) (MAN 19) από αρχαίο λατομικό χώρο στη θέση του οικισμού Πάλυρος, νότια του Πόρτο Κάγιο στην περιοχή της χερσονήσου Ταινάρου.

Η ποικιλία των χρωμάτων που συναντώνται στα μάρμαρα της Μάνης, οφείλεται στη διακύμανση των περιεκτικοτήτων σε ορυκτά όπως χαλαζία, δολομίτης, αλβίτης, λευκός μαρμαρυγίας, χλωρίτης, οξείδια του σιδήρου (αιματίτης), γραφίτης και σιδηροπυρίτης, που συμπληρώνουν μια πλούσια σε ασβεστίτη ($\text{CaCO}_3 > 90-95\%$) ορυκτολογική σύσταση (Τζεφέρης, 2020).

Παγανέα-Ερυθρό (rosso antico)

Το δείγμα από την περιοχή Παγανέα (MAN 3) είναι ένα ερυθρό μάρμαρο με κύριο ορυκτό τον ασβεστίτη και με μικρή συμμετοχή από αιματίτη, χαλαζία, αλβίτη, ενώ σε ίχνη συμμετέχουν ο χλωρίτης και ο λευκός μαρμαρυγίας. Η διακύμανση των ποσοστών συμμετοχής των παραπάνω ορυκτών, σε διαφορετικές θέσεις εμφάνισης του ίδιου μάρμαρου, καθορίζει και την εμφάνιση των διαφορετικών αποχρώσεών του. Το μάρμαρο είναι λεπτόκοκκο με ορατή φολίδωση, εμφανίζει ατελή σχιστότητα, ο ιστός του είναι ομοβλαστικός, με το μέγεθος των κρυστάλλων του ασβεστίτη να κυμαίνεται μεταξύ 50 με 300 μm . Φαινόμενα ανακρυστάλλωσης παρατηρούνται με την παρουσία τριπλών συγκλίσεων των περιμετρικών γραμμών των κόκκων και το σχηματισμό ίσων γωνιών 120° . Το ερυθρό χρώμα των μαρμάρων οφείλεται στην αξιοσημείωτη συμμετοχή του αιματίτη, καθώς και στον εμποτισμό δισθενούς και τρισθενούς σιδήρου σε ανθρακικά και πυριτικά ορυκτά, αντίστοιχα.

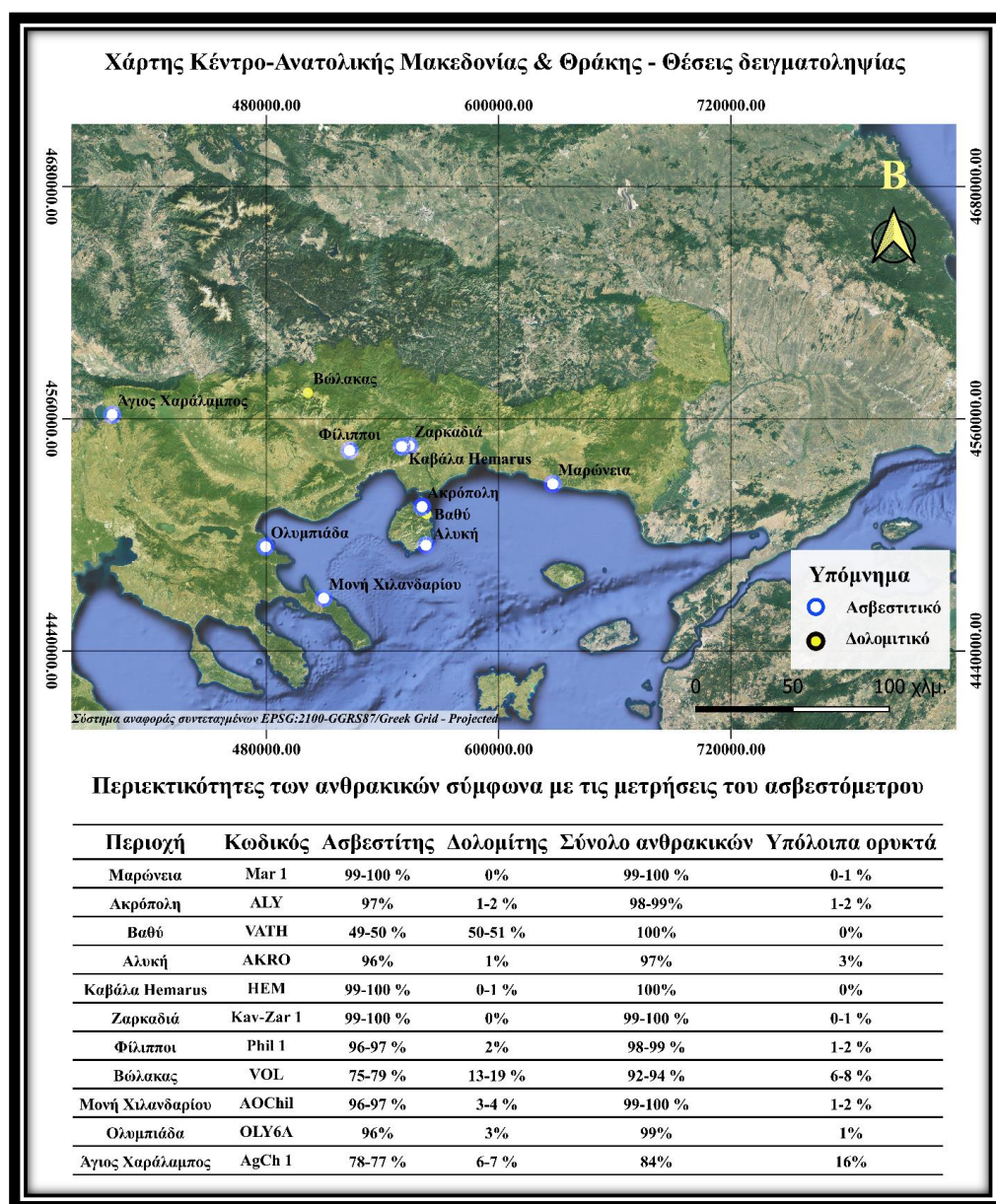


ασβεστίτη προσδίδοντας του έτσι, έναν ομοβλαστικό ιστό. Το μέγεθος των κρυστάλλων κυμαίνεται μεταξύ 20 και 300 μm , ενώ συχνή φαίνεται η παρουσία τριπλών συγκλίσεων των περιμετρικών γραμμών των κρυστάλλων του ασβεστίτη με το σχηματισμό ίσων γωνιών 120° . Τέλος, σύμφωνα με τα ευρήματα του Τζεφέρη (2020), δεν επιβεβαιώθηκαν οι απόψεις πολλών ερευνητών, οι οποίοι χαρακτήρισαν το πράσινο μάρμαρο της Μάνης ως σιπολινικό («cipollino verde antico»).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

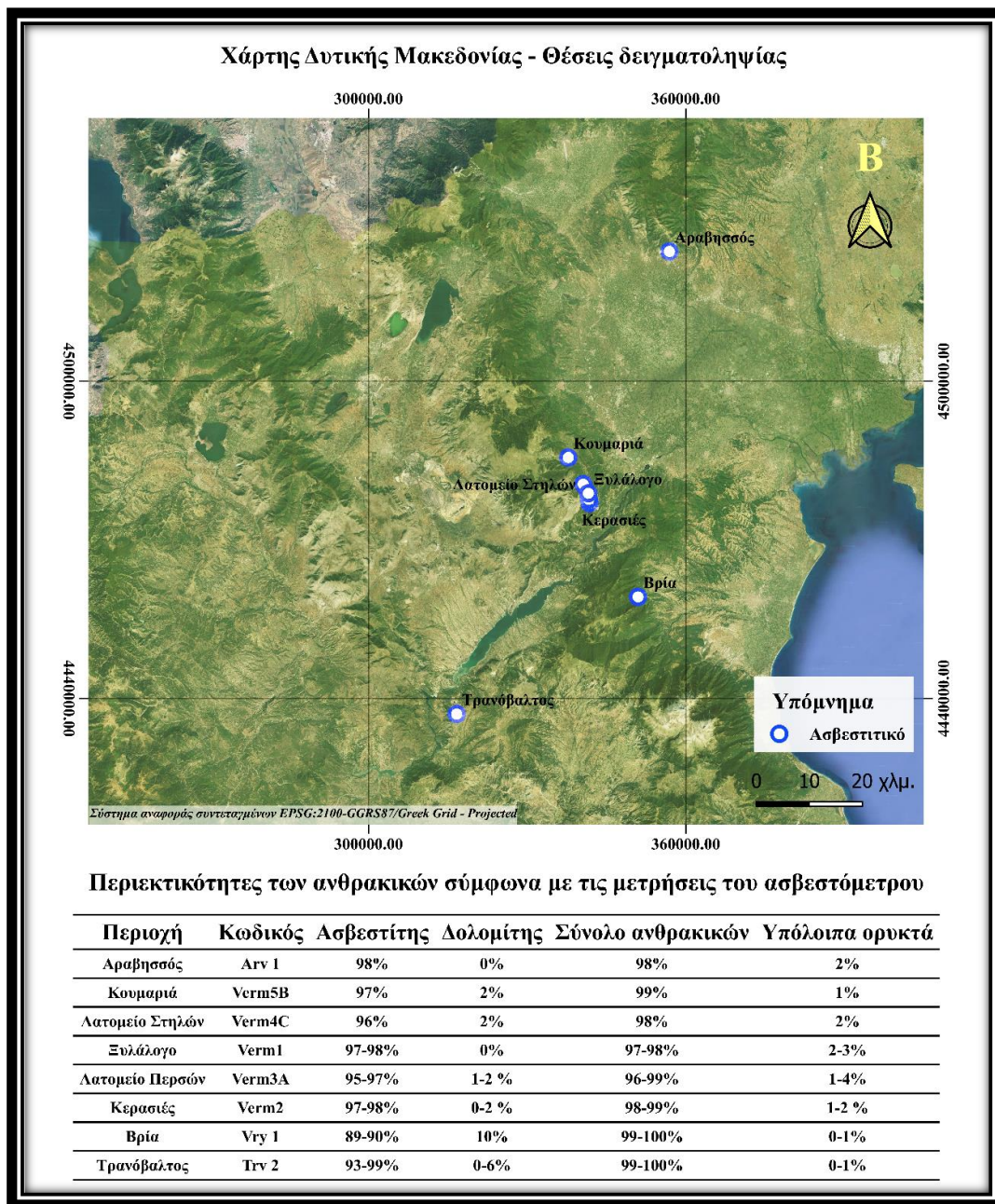
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τη μέθοδο του ασβεστόμετρου δίνονται στα Σχήματα 4.1 έως και 4.5, με τους αντίστοιχους χάρτες των θέσεων δειγματοληψίας.

Στη περιοχή της Ανατολικής-Κεντρικής Μακεδονίας και Θράκης (Σχ. 4.1) η πλειονότητα των εξετασμένων μαρμάρων έχουν ασβεστίτιμη σύσταση με ποσοστά σε ασβεστίτη από 96 έως 100%. Υψηλές τιμές σε δολομίτη παρουσίασαν τα δείγματα από την περιοχή Βαθύ Θάσου (VATH) και Βόλακα (VOL) με τιμές 50-51% και 13-19% αντίστοιχα, ενώ το δείγμα από την περιοχή Άγιος Χαράλαμπος του νομού Κιλκίς (AgCh 1) συνίσταται από υψηλές τιμές μη ανθρακικών ορυκτών σε ποσοστό 16%, από δολομίτη 6 έως 7% και από ασβεστίτη 77 με 78%.



Σχήμα 4.1. Αποτελέσματα μετρήσεων ασβεστόμετρου για την περιοχή της Κέντρο-Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης.

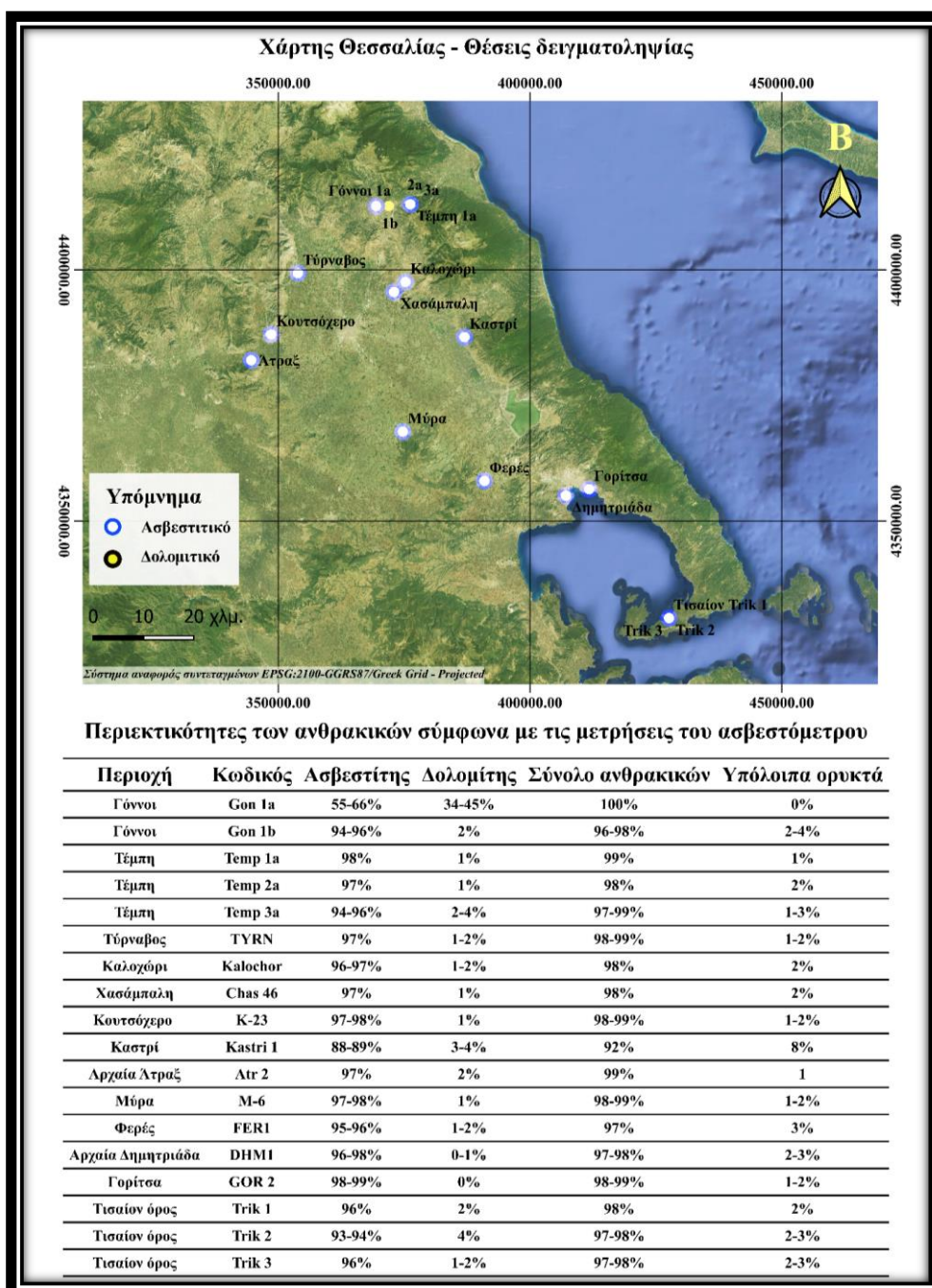
Στη Δυτική Μακεδονία (Σχ. 4.2) όλα τα εξεταζόμενα δείγματα τα αποτελούνται από μάρμαρα και από ένα ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο (Αραβησσός, δείγμα Arv 1) με ποσοστά σε ασβεσίτιη από 93 έως 99%. Εξάιρεση αποτελεί το δείγμα από την περιοχή Βρία-Σεντούκι στα Πιέρια όρη, το οποίο εμφανίζει υψηλά ποσοστά σε δολομίτη 10%. Τα ποσοστά μη ανθρακικών ορυκτών είναι μικρά και κυμαίνονται από 0 έως 4%.



Σχήμα 4.2. Αποτελέσματα μετρήσεων ασβεστόμετρου για την περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας.

Η περιοχή της Θεσσαλίας (Σχ. 4.3) αντιπροσωπεύεται από μάρμαρα (Τισαίον όρος, Τέμπη, Χασάμπαλη, Καλοχώρι, Καστρί, Γόννοι, Κουτσόχερο και Τύρναβος) και

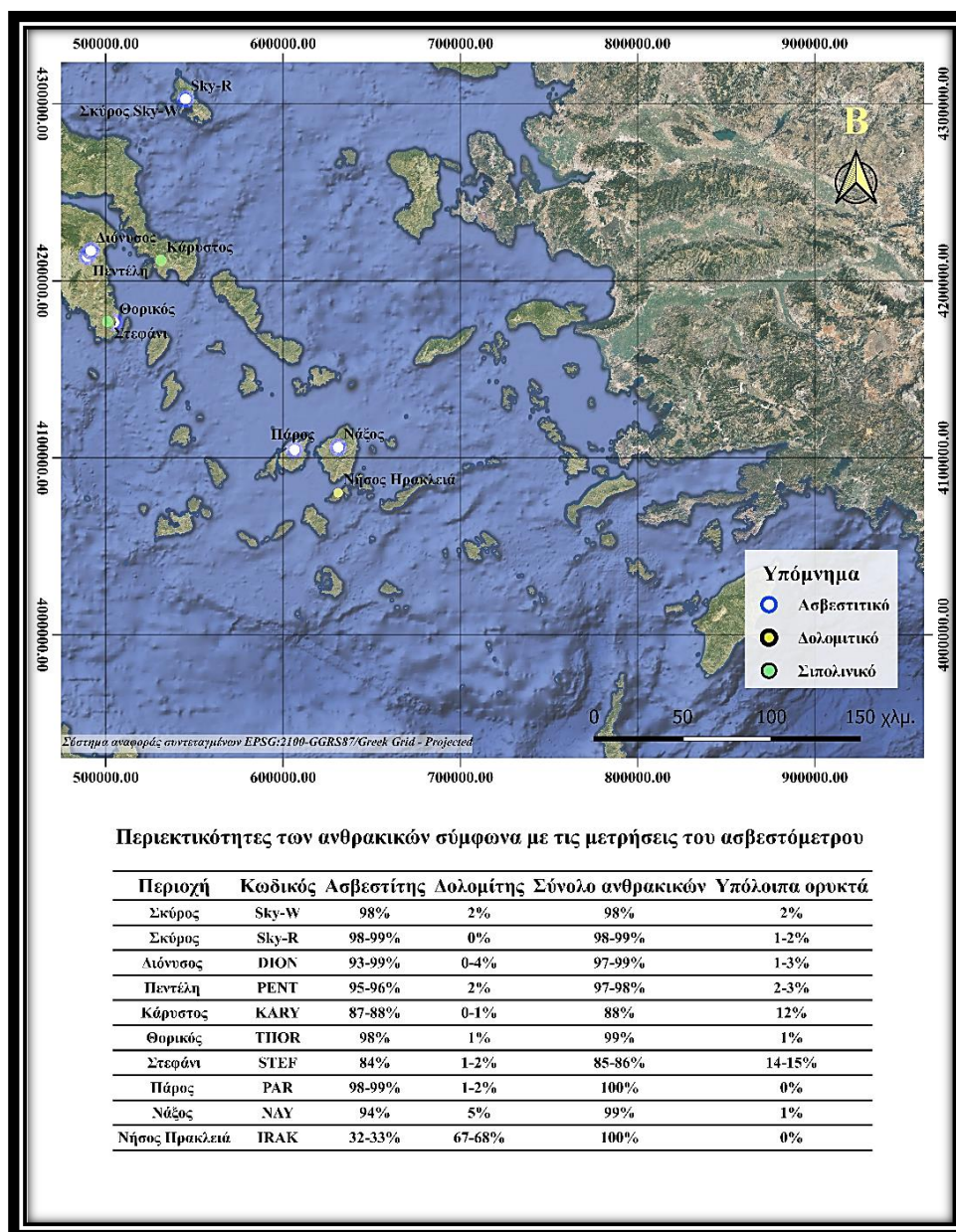
ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους (Γορίτσα, Αρχαία Δημητριάδα, Φερές, Μύρα). Στο σύνολό τους αποτελούνται από ασβεστίτη σε ποσοστό από 94 έως 98%. Εξαιρεση αποτελεί το δείγμα από τη περιοχή Γόννοι (Gon 1a), το οποίο εμφανίζει υψηλά ποσοστά σε δολομίτη από 35 έως 45%. Τέλος, όσον αφορά την παρουσία μη ανθρακικών ορυκτών, το δείγμα από την περιοχή Καστρί (Kastri 1) εμφανίζει ποσοστά μη ανθρακικών ορυκτών 8% καθώς και ποσοστά σε δολομίτη από 3 έως 4%.



Σχήμα 4.3. Αποτελέσματα μετρήσεων ασβεστόμετρου για την περιοχή της Θεσσαλίας.

Για την περιοχή της Αττικής, Εύβοιας και Νησιών του Αιγαίου (Σχ. 4.4) τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζουν μεγαλύτερη ποικιλία ανά θέση δειγματοληψίας.

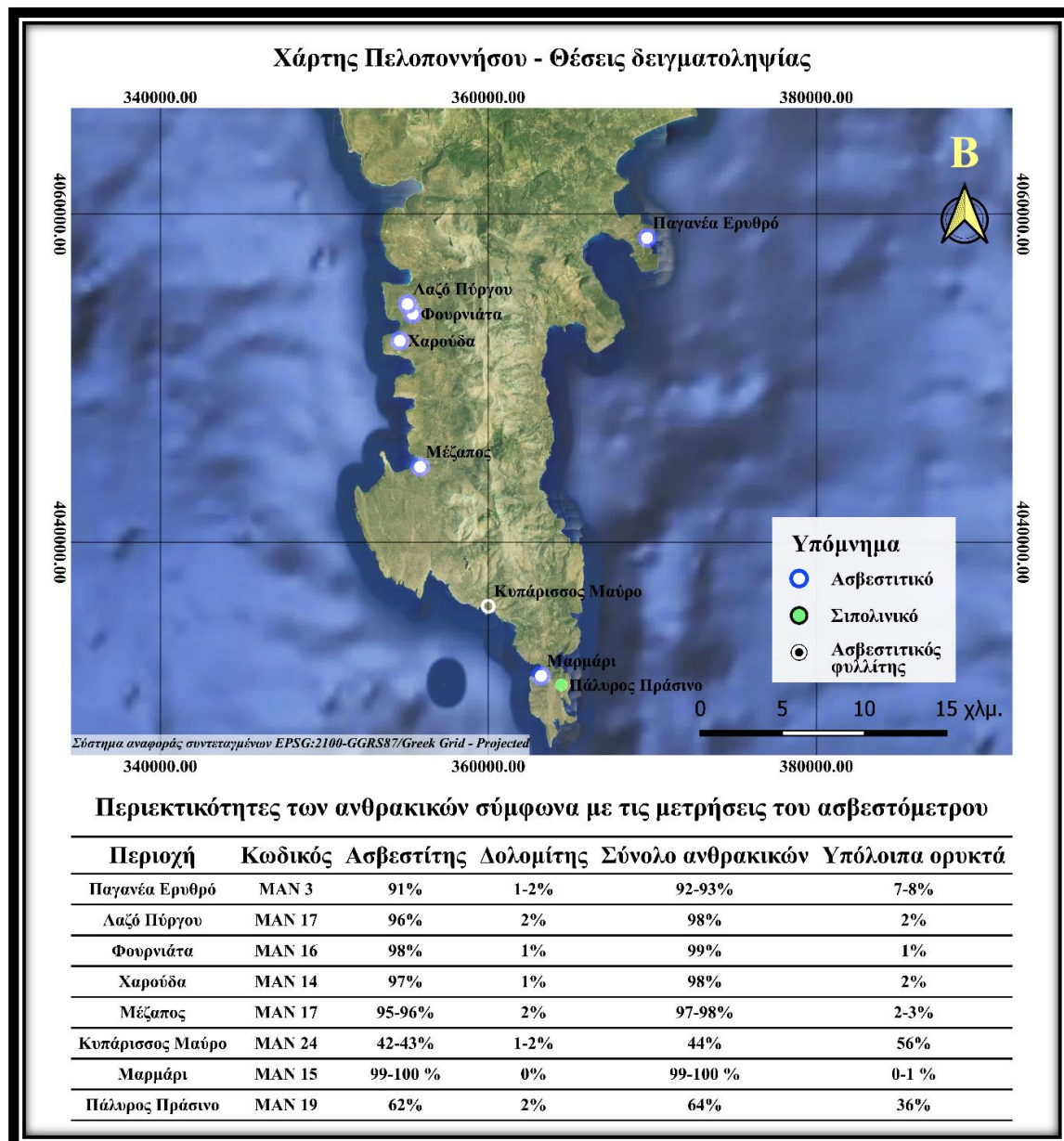
Συγκεκριμένα, στα δείγματα Διόνυσος (DION), Θορικός (THOR), Νάξος (NAY), Πάρος (PAR), Πεντέλη (PENT) και Σκύρος (δείγματα Sky-W και Sky-R) επικρατεί ο ασβεστίτης σε ποσοστά από 93 έως 99%, στο δείγμα της νήσου Ηρακλειάς (δείγμα IRAK) κυριαρχεί ο δολομίτης με ποσοστά 67 έως 68% με τον ασβεστίτη να υπολείπεται σε ποσοστό 32 με 33%, ενώ στη Κάρυστο (KARY) και στο Στεφάνι (STEF) τα ποσοστά του ασβεστίτη είναι 87-88% και 84%, αντίστοιχα και οφείλονται στα υψηλά ποσοστά των μη ανθρακικών ορυκτών 12% για την Κάρυστο και 14-15% για το Στεφάνι.



Σχήμα 4.4. Αποτελέσματα μετρήσεων ασβεστόμετρου για την περιοχή της Αττικής, Εύβοιας και Νησιών Αιγαίου.

Στη περιοχή της Μάνης (Σχ. 4.5) όλα τα δείγματα αποτελούνται από μάρμαρα, εκτός από το δείγμα της περιοχής Κυπάρισσος (MAN 24) που πρόκειται για ασβεστίτη φυλλίτη.

Τα δείγματα από τις περιοχές Χαρούδα (MAN14), Φουρνιάτα (MAN16), Μέζαπος (MAN17), Μαρμάρι (MAN15), και Λαζό Πύργου (MAN25) αφορούν λευκά μάρμαρα με τον ασβεστίτη να είναι το κυρίαρχο ορυκτό σε ποσοστό από 95 έως 100%. Το δείγμα από την περιοχή Παγανέα (MAN 3) πρόκειται για ένα ασβεστιτικό μάρμαρο (ασβεστίτης 91%) ερυθρού χρώματος με υψηλά ποσοστά 7 με 8% σε μη ανθρακικά ορυκτά, ενώ αυτό από την περιοχή Πάλυρος (MAN 19) πρόκειται για σιπολινικό μάρμαρο με ποσοστά σε ασβεστίτη 62%, δολομίτη 2% και μη ανθρακικά ορυκτά 36%.



Σχήμα 4.5. Αποτελέσματα μετρήσεων ασβεστόμετρου για την περιοχή της Πελοποννήσου.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο πλαίσιο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων του ασβεστόμετρου έγινε η αντιπαραβολή τους με αυτά της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) (Παράρτημα: Σχ. Π.1 έως Σχ. Π.55). Λαμβάνοντας υπόψιν τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των Πινάκων 5.1 και 5.2 διαπιστώθηκαν τα παρακάτω.

Συνολικά εξετάστηκαν με τη μέθοδο του ασβεστόμετρου 55 δείγματα από ανθρακικά πετρώματα, τα οποία περιλάμβαναν 47 ασβεστιτικά, 4 δολομιτικά-ασβεστιτικά, 3 σιπολινικά μάρμαρα και έναν ασβεστιτικό φυλλίτη, τα αποτελέσματα των οποίων δίδονται στον Πίνακα 5.2. Τα ασβεστιτικά μάρμαρα (συμπεριλαμβανομένων και των ανακρυσταλλωμένων ασβεστόλιθων) αποτελούνται από 77-100% ασβεστίτη, 0-11% δολομίτη και 0-16% μη ανθρακικά ορυκτά. Τα δολομιτικά-ασβεστιτικά μάρμαρα αποτελούνται από 13-68% δολομίτη και 32-79% ασβεστίτη. Τα σιπολινικά αποτελούνται από ασβεστίτη 62-87%, δολομίτη 1-3% και από μη ανθρακικά ορυκτά 12-36%, που περιλαμβάνουν χλωρίτη, λευκό μαρμαρυγία, χαλαζία και αλβίτη, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του XRD. Τέλος, ο ασβεστιτικός φυλλίτης από την περιοχή Κυπάρισσος της Μάνης (MAN 24) αποτελείται από 42-43% ασβεστίτη, 1-2% δολομίτη και 56% μη ανθρακικά ορυκτά, (Σχ. Π.54) που περιλαμβάνουν χλωρίτη, λευκό μαρμαρυγία, χαλαζία, αλβίτη και γραφίτη, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του XRD.

Από τα παραπάνω 55 δείγματα εξετάστηκαν 37 ασβεστιτικά, 4 δολομιτικά-ασβεστιτικά και 2 σιπολινικά μάρμαρα με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) (Πιν. 5.1).

Για τα 34 ασβεστιτικά μάρμαρα (Mar 1, AKRO, ALY, HEM, Kav-Zar 1, Phil 1, OLY6A, Arv 1, Verm1, Verm2, Verm3A, Verm4C, Trv 2, Trik 1, Trik 2, Trik 3, Atr 2, Temp 1a, Temp 2a, Temp 3a, Chas 46, GOR 2, DHM1, FER1, Kalochor, Gon 1b, TYRN, Sky-W, Sky-R, PAR, NAY, PENT, DION, THOR) και τα δύο σιπολινικά μάρμαρα (STEF, KARY), τα αποτελέσματα του ασβεστόμετρου δεν παρουσίασαν μεγάλες αποκλίσεις από τα αποτελέσματα του XRD. Συγκεκριμένα το δείγμα (Mar 1) για τον ασβεστίτη έδωσε μέγιστη απόκλιση 6% (Σχ. Π.1), ενώ τα δείγματα (Mar 1, Trik 2, Gon 1b και NAY) έδωσαν μέγιστες αποκλίσεις 3% για τον δολομίτη (Σχ. Π.1, Σχήμα Π.21, Σχήμα Π.34, Σχ. Π.41). Για τα τρία ασβεστιτικά μάρμαρα (Verm5B, Vry 1, Kastri 1) οι μέσες τιμές του ασβεστίτη που μετρήθηκαν με το ασβεστόμετρο είναι 97%, 89,5% και 88,5%, αντίστοιχα, και δεν συμφωνούν σε ικανοποιητικό βαθμό με τις αντίστοιχες του XRD που είναι 87%, 83% και 81%.

Στα σιπολινικά (STEF, KARY) οι αποκλίσεις για τον ασβεστίτη σε σχέση με το XRD κυμάνθηκαν από 1 έως 3% (Σχ. Π.46, Σχ. Π.47), για ένα φάσμα τιμών, από 84 έως 88%, ενώ ο δολομίτης συμμετείχε σε μικρά ποσοστά από 0 έως 3%.

Πίνακας 5.1. Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) των εξεταζόμενων δειγμάτων με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD). Ca=ασβεστίτης, Dol=δολομίτης, Qz=χαλαζίας, Wm=μαρμαρυγίας, Chl=χλωρίτης, Pl=πλαγιόκλαστο

Δείγμα	Ca	Dol	Σύνολο Ανθρακικών	Qz	Wm	Chl	Pl	Σύνολο Μη Ανθρακικών
Mar 1	90	4	94	2	4	0	0	6
AKRO	100	0	100	0	0	0	0	0
VATH	2,5	97	99,5	0	0	0	0,5	0,5
ALY	96	1	97	0	3	0	0	3
HEM	100	0	100	0	0	0	0	0
Kav-Zar 1	100	0	100	0	0	0	0	0
Phil 1	99	0	99	1	0	0	0	1
VOL	81	17	98	1	0	0	1	2
AOChil	-	-	-	-	-	-	-	-
OLY6A	97	1	98	2	0	0	0	2
AgCh 1	-	-	-	-	-	-	-	-
Arv 1	100	0	100	0	0	0	0	0
Verm1	98	0	98	2	0	0	0	2
Verm2	98	0	98	2	0	0	0	2
Verm3A	98	0	98	2	0	0	0	2
Verm4C	98	0	98	2	0	0	0	2
Verm5B	87	10	97	1	1	0	1	3
Vry 1	83	16	99	1	0	0	0	1
Trv 2	96	3	99	1	0	0	0	1
TriK 1	96	3	99	1	0	0	0	1
TriK 2	92	7	99	1	0	0	0	1
TriK 3	98	0	98	2	0	0	0	2
Atr 2	99	0	99	1	0	0	0	1
Temp 1a	95	3	98	2	0	0	0	2
Temp 2a	98	0	98	2	0	0	0	2
Temp 3a	94	5	99	1	0	0	0	1
Chas 46	99	0	99	1	0	0	0	1
GOR 2	99	0	99	1	0	0	0	1
DHM1	98	0	98	2	0	0	0	2
FER1	96	2	98	2	0	0	0	2
Kalochor	94	3	97	0	3	0	0	3
Kastri 1	81	9	90	2	5	3	0	10
Gon 1a	51	44	95	0	5	0	0	5
Gon 1b	91	5	96	0	0	4	0	4
TYRN	99	1	100	0	0	0	0	0
K-23	-	-	-	-	-	-	-	-
M-6	-	-	-	-	-	-	-	-
Sky-W	100	0	100	0	0	0	0	0
Sky-R	100	0	100	0	0	0	0	0
PAR	99	1	100	0	0	0	0	0
NAY	97	2	99	1	0	0	0	1
IRAK	5	95	100	0	0	0	0	0
PENT	93	2	95	2	2	0	1	5
DION	96	0	96	0	0	4	0	4
THOR	98	0	98	0	0	0	2	2
STEF	83	3	86	5	0	7	2	14
KARY	90	0	90	2	3	5	0	10
MAN 3	-	-	-	-	-	-	-	-
MAN 14	-	-	-	-	-	-	-	-
MAN 15	-	-	-	-	-	-	-	-
MAN 16	-	-	-	-	-	-	-	-
MAN 17	-	-	-	-	-	-	-	-
MAN 25	-	-	-	-	-	-	-	-
MAN 24	-	-	-	-	-	-	-	-
MAN 19	-	-	-	-	-	-	-	-

(-) = δεν προσδιορίστηκε

Πίνακας 5.2. Υπολογισμός περιεχομένου (% κ.β.) ασβεστίτη, δολομίτη και συνόλου ανθρακικών με τη μέθοδο του ασβεστόμετρου. Ca=ασβεστίτης, Dol=δολομίτης

Δείγμα	Ca	Dol	Σύνολο Ανθρακικών	Σύνολο Μη Ανθρακικών
Mar 1	96	1	97	3
AKRO	99,5	0	99,5	0,5
VATH	49,5	50,5	100	0
ALY	97	1,5	98,5	1,5
HEM	99,5	0,5	100	0
Kav-Zar 1	99,5	0	99,5	0,5
Phil 1	96,5	2	98,5	1,5
VOL	76	17	93	7
AOChil	96	3,5	99,5	0,5
OLY6A	96	3	99	1
AgCh 1	77,5	6,5	84	16
Arv 1	98	0	98	2
Verm1	97,5	0	97,5	2,5
Verm2	97,5	1	98,5	1,5
Verm3A	96	1,5	97,5	2,5
Verm4C	98	0	98	2
Verm5B	97	2	99	1
Vry 1	89,5	10	99,5	0,5
Trv 2	96,5	3	99,5	0,5
Trik 1	96	2	98	2
Trik 2	93,5	4	97,5	2,5
Trik 3	96	1,5	97,5	2,5
Atr 2	97	2	99	1
Temp 1a	98	1	99	1
Temp 2a	97	1	98	2
Temp 3a	95	3	98	2
Chas 46	97	1	98	2
GOR 2	98,5	0	98,5	1,5
DHM1	97	0,5	97,5	2,5
FER1	95,5	1,5	97	3
Kalochor	96,5	1,5	98	2
Kastri 1	88,5	3,5	92	8
Gon 1a	62	38	100	0
Gon 1b	95	2	97	3
TYRN	97	1,5	98,5	1,5
Kbd123	97,5	1	98,5	1,5
Mbd16	97,5	1	98,5	1,5
Sky-W	96	2	98	2
Sky-R	98,5	0	98,5	1,5
PAR	98,5	1,5	100	0
NAY	94	5	99	1
IRAK	32,5	67,5	100	0
PENT	95,5	2	97,5	2,5
DION	96	2	98	2
THOR	98	1	99	1
STEF	84	1,5	85,5	14,5
KARY	87,5	0,5	88	12
MAN 3	91	1,5	92,5	7,5
MAN 14	97	1	98	2
MAN 15	99,5	0	99,5	0,5
MAN 16	98	1	99	1
MAN 17	95,5	2	97,5	2,5
MAN 25	96	2	98	2
MAN 24	42,5	1,5	44	56
MAN 19	62	2	64	36

Σημαντικές αποκλίσεις παρατηρούνται στα αποτελέσματα των μετρήσεων του ασβεστόμετρου των δολομιτικών-ασβεστιτικών μαρμάρων από το Βαθύ (VATH) και την Ηρακλειά (IRAK), συγκριτικά με τα αντίστοιχα των ποσοτικών αναλύσεων από τις ακτίνες-X (XRD). Πιο αναλυτικά, και συγκεκριμένα στα δείγματα από το Βαθύ (VATH) και την Ηρακλειά (IRAK) το ασβεστόμετρο έδωσε τιμές για τον δολομίτη 50-51% και 67-68% αντίστοιχα, ενώ με την ποσοτική ανάλυση ακτίνων-X οι αντίστοιχες περιεκτικότητες στον δολομίτη είναι 97 και 95% (Σχ. Π.4, Π.42). Μικρότερες αποκλίσεις εντοπίζονται στο δείγμα Γόννοι (Gon 1a) όπου οι μέσες τιμές του ασβεστόμετρου 62% για τον ασβεστίτη και 38% για τον δολομίτη, διαφοροποιούνται κατά 11% και 6% με τις αντίστοιχες τιμές της μεθόδου XRD, 51% και 44%. Επιπροσθέτως, για το δείγμα από τον Βώλακα (VOL) οι τιμές του ασβεστόμετρου 75-79% για τον ασβεστίτη και 13-19% για τον δολομίτη, συμφωνούν ικανοποιητικά με τις αντίστοιχες 81 και 17% των ποσοτικών αναλύσεων από τις ακτίνες-X (Σχ. Π.8).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ποσοτικών αναλύσεων περίθλασης ακτίνων-X, για τα 43 από τα 55 δείγματα, εντοπίστηκαν διαφοροποιήσεις για 5 από αυτά ως προς την σύστασή τους σε ασβεστίτη και δολομίτη. Συγκεκριμένα τα δείγματα από το Βαθύ (VATH) και την Ηρακλειά (IRAK) αφορούν δύο καθαρά δολομιτικά πετρώματα, καθώς αποτελούνται από 97% και 95% δολομίτη αντίστοιχα, όπως προκύπτει από την ανάλυση με XRD. Επίσης τα δείγματα (Verm5B, Vry 1) αφορούν δολομιτικά-ασβεστιτικά μάρμαρα, καθώς αποτελούνται από 87 και 83% ασβεστίτη και από 10 και 16% δολομίτη αντίστοιχα. Τέλος, το δείγμα (Kastri 1) πρόκειται για ένα σιπολινικό μάρμαρο καθώς αποτελείται από 81% ασβεστίτη, 9% δολομίτη, 5% μαρμαρυγία, 3% χλωρίτη και 2% χαλαζία.

Έτσι, η μελέτη με τη μέθοδο του XRD, στο σύνολο των 43 εξεταζόμενων ανθρακικών δειγμάτων, έδειξε την παρουσία 34 ασβεστιτικών, 2 δολομιτικών, 4 δολομιτικών-ασβεστιτικών και 3 σιπολινικών μαρμάρων. Τα ασβεστιτικά μάρμαρα αποτελούνται από 90-100% ασβεστίτη, 0-7% δολομίτη και 0-6% μη ανθρακικά ορυκτά. Τα δολομιτικά μάρμαρα αποτελούνται από 95-97% δολομίτη και 2,5-5% ασβεστίτη. Τα δολομιτικά-ασβεστιτικά μάρμαρα αποτελούνται από 10-44% δολομίτη και 51-87% ασβεστίτη. Τα σιπολινικά αποτελούνται από ασβεστίτη 81-90%, δολομίτη 0-9% και από μη ανθρακικά ορυκτά 10-14%, που περιλαμβάνουν χλωρίτη, λευκό μαρμαρυγία, χαλαζία και αλβίτη.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με τη μελέτη των 55 δειγμάτων μαρμάρων για τον προσδιορισμό των περιεκτικοτήτων ασβεστίτη και δολομίτη με την μέθοδο του ασβεστόμετρου, επιχειρήθηκε μια αξιολογική προσέγγιση των δυνατοτήτων και της σημασίας της παραπάνω μεθόδου, έναντι των ήδη υφιστάμενων γεωλογικών μεθόδων έρευνας. Κατά συνέπεια, η ποσοτικοποίηση του ανόργανου άνθρακα των ανθρακικών πετρωμάτων, με τη εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου, στα κύρια ανθρακικά ορυκτά του ασβεστίτη και δολομίτη αποτέλεσε τη στοχοθεσία και το σκοπό της παρούσης εργασίας.

Για την υλοποίηση του σκοπού της εργασίας, το σύνολο των ανθρακικών δειγμάτων αφού κονιοποιήθηκαν και αλέσθηκαν σε διάμετρο $< 0,5 \text{ mm}$, μελετήθηκαν εργαστηριακά με τη μέθοδο του ασβεστόμετρου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε 43 δείγματα αξιολογήθηκαν αφού έγινε η αντιπαραβολή τους με τα αποτελέσματα των ποσοτικών αναλύσεων περίθλασης ακτίνων-X, που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του περιθλασίμετρου Philips PW18403.

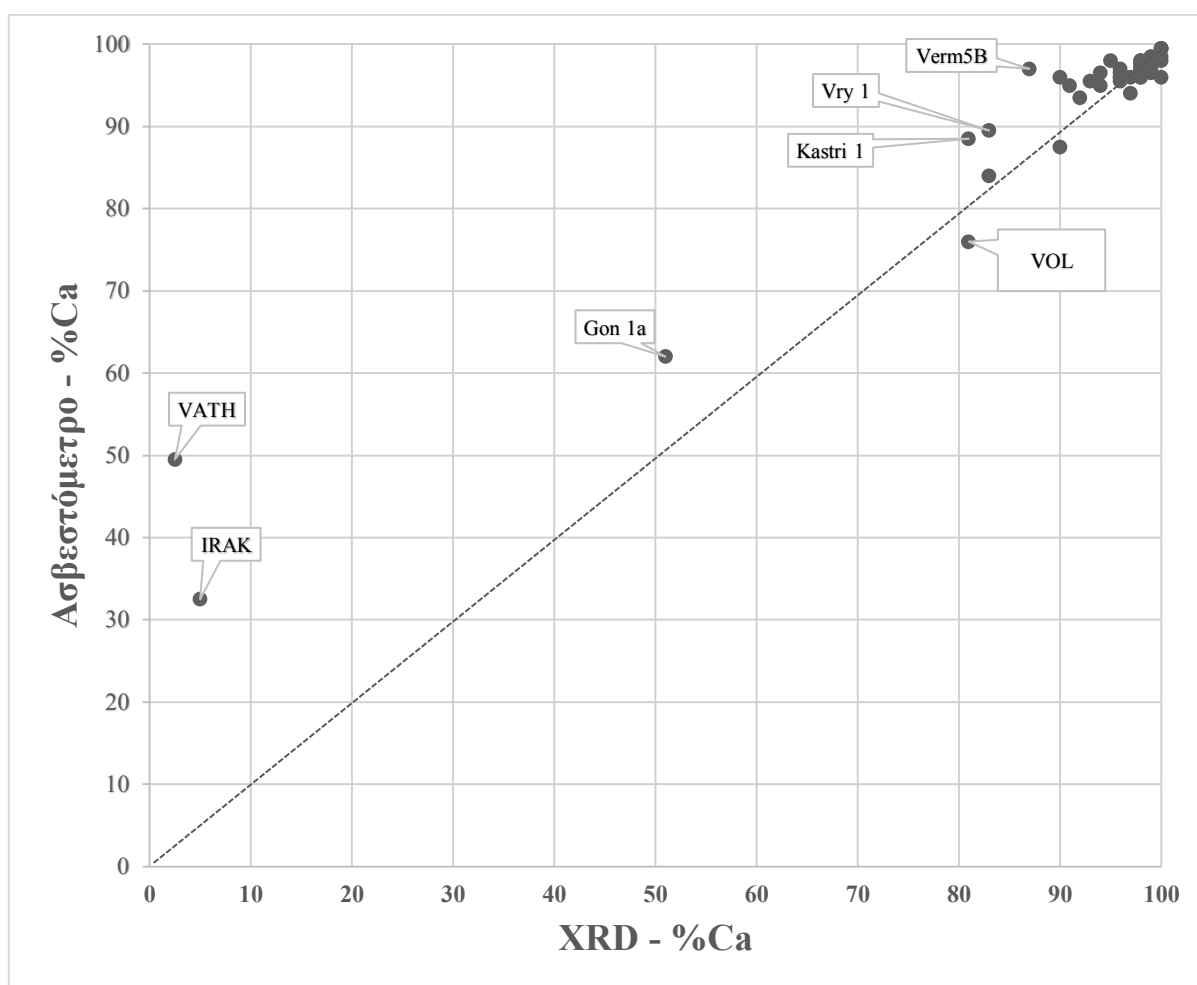
Αντιπαράθετοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων που λάβαμε από τις δύο εργαστηριακές μεθόδους (Πιν. 5.1, 5.2) και λαμβάνοντας υπόψη τον υψηλό βαθμό αξιοπιστίας της μεθόδου (XRD), προέκυψαν ιδιαίτερα χρήσιμα συμπεράσματα για την αξιολόγηση της μεθόδου του ασβεστόμετρου.

Πιο αναλυτικά, τα αποτελέσματα των μετρήσεων του ασβεστόμετρου για τα 39 ασβεστιτικά και σιπολινικά μάρμαρα, από τα 43 συγκρινόμενα δείγματα ταυτίζονται ικανοποιητικά με αυτά των ποσοτικών αναλύσεων περίθλασης των ακτίνων-X. Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα (Verm5B, Vry 1, Kastri 1), όπου στον ασβεστίτη καταγράφηκαν υψηλότερες τιμές κατά 10%, 6,5% και 8,5% αντίστοιχα.

Λόγω του μικρού αριθμού δειγμάτων από δολομιτικά μάρμαρα (VOL, VATH, Gon 1a, IRAK), η αξιολόγηση του ασβεστόμετρου στα αποτελέσματα των ποσοστών του δολομίτη απαιτεί ιδιαίτερης προσοχής, καθώς στα δύο από αυτά (VATH, IRAK), με τη μέθοδο της ακτινογραφικής περίθλασης (XRD) παρατηρούνται υψηλότερες τιμές κατά 46,5% και 27,5% αντίστοιχα.

Τέλος, πολύ ικανοποιητικά εμφανίζονται τα αποτελέσματα σε όλα τα δείγματα σχετικά με το συνολικό ποσοστό συμμετοχής των ανθρακικών κλασμάτων του ασβεστίτη και δολομίτη, με τη μεγαλύτερη απόκλιση 5% να εμφανίζεται σε μόλις δύο δείγματα (VOL, Gon 1a), όταν η διακύμανση των τιμών ήταν 88% έως 100% για το ασβεστόμετρο, και 90% έως 100% για το XRD.

Η διαπίστωση των παραπάνω συμπερασμάτων αποτυπώνονται στα γραφήματα διασποράς (Σχήμα 6.1, 6.2, 6.3). Έχοντας ως μέτρο αξιοπιστίας τις τιμές από τα αποτελέσματα των μετρήσεων περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) ελέγχονται οι αντίστοιχες τιμές από τα αποτελέσματα των μετρήσεων του ασβεστόμετρου. Οι τελευταίες κρίνονται στο σύνολο τους αξιόπιστες στο βαθμό που καθορίζουν μαζί με τις αντίστοιχες τιμές του XRD, ζεύγη τιμών, που ικανοποιούν την γραμμική σχέση $y=x$ και βρίσκονται πάνω στην ευθεία που διχοτομεί τους άξονες y και x (ποσοστά με τη μέθοδο XRD και Ασβεστόμετρου αντίστοιχα).



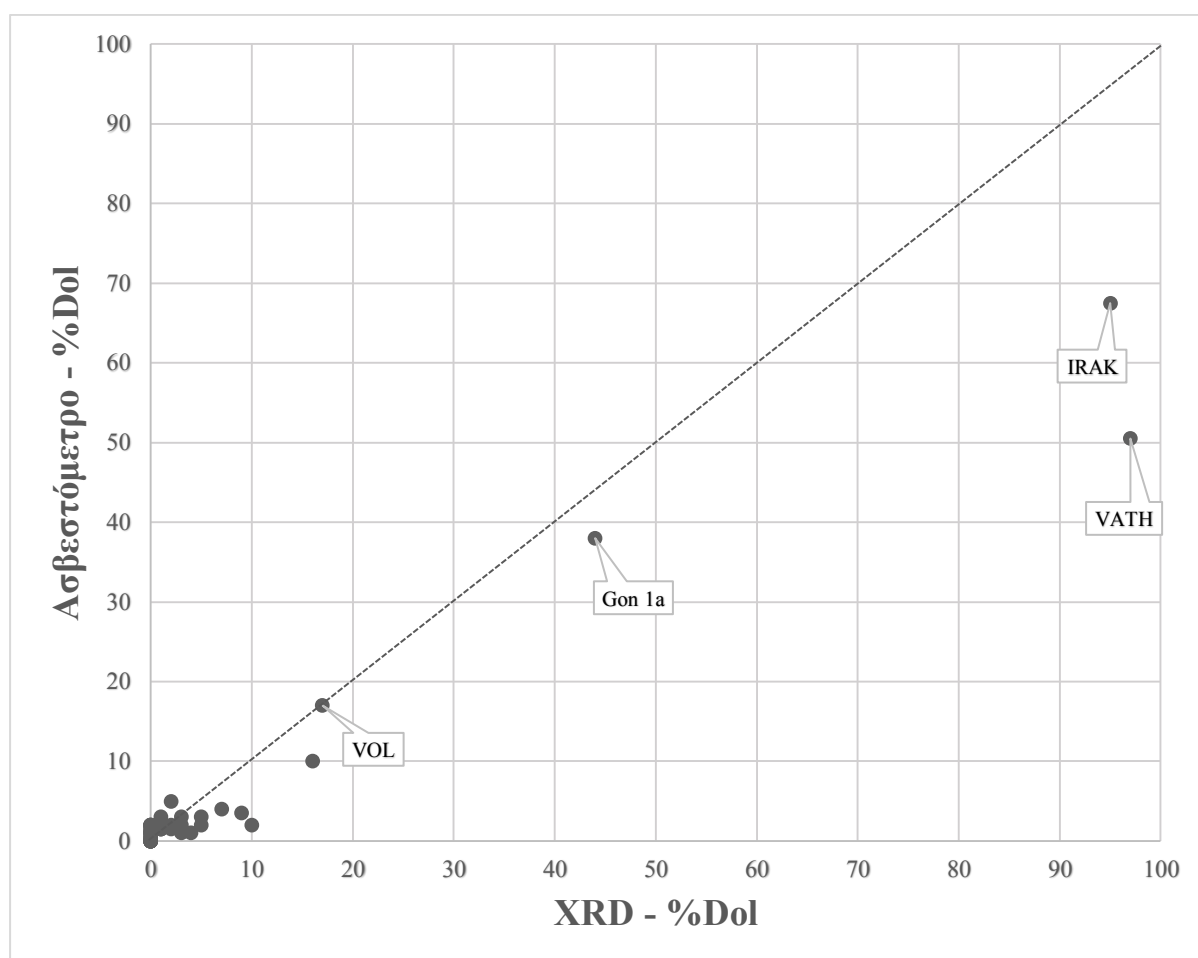
Σχήμα 6.1. Γράφημα διασποράς τιμών του ασβεστίτη (% Ca) με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) και με τη μέθοδο του ασβεστόμετρου (ΑΣΒΕΣΤΟΜΕΤΡΟ)

Στο γράφημα διασποράς των ποσοστών συμμετοχής του ασβεστίτη (Σχήμα 6.1) φαίνονται οι τιμές διασποράς να είναι αρκετά ικανοποιητικές για τα δείγματα με υψηλά ποσοστά σε ασβεστίτη, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο όσο τα ποσοστά του ασβεστίτη μειώνονται, όπως φαίνεται στα δείγματα VATH και IRAK. Μικρότερη απόκλιση παρατηρείται στα

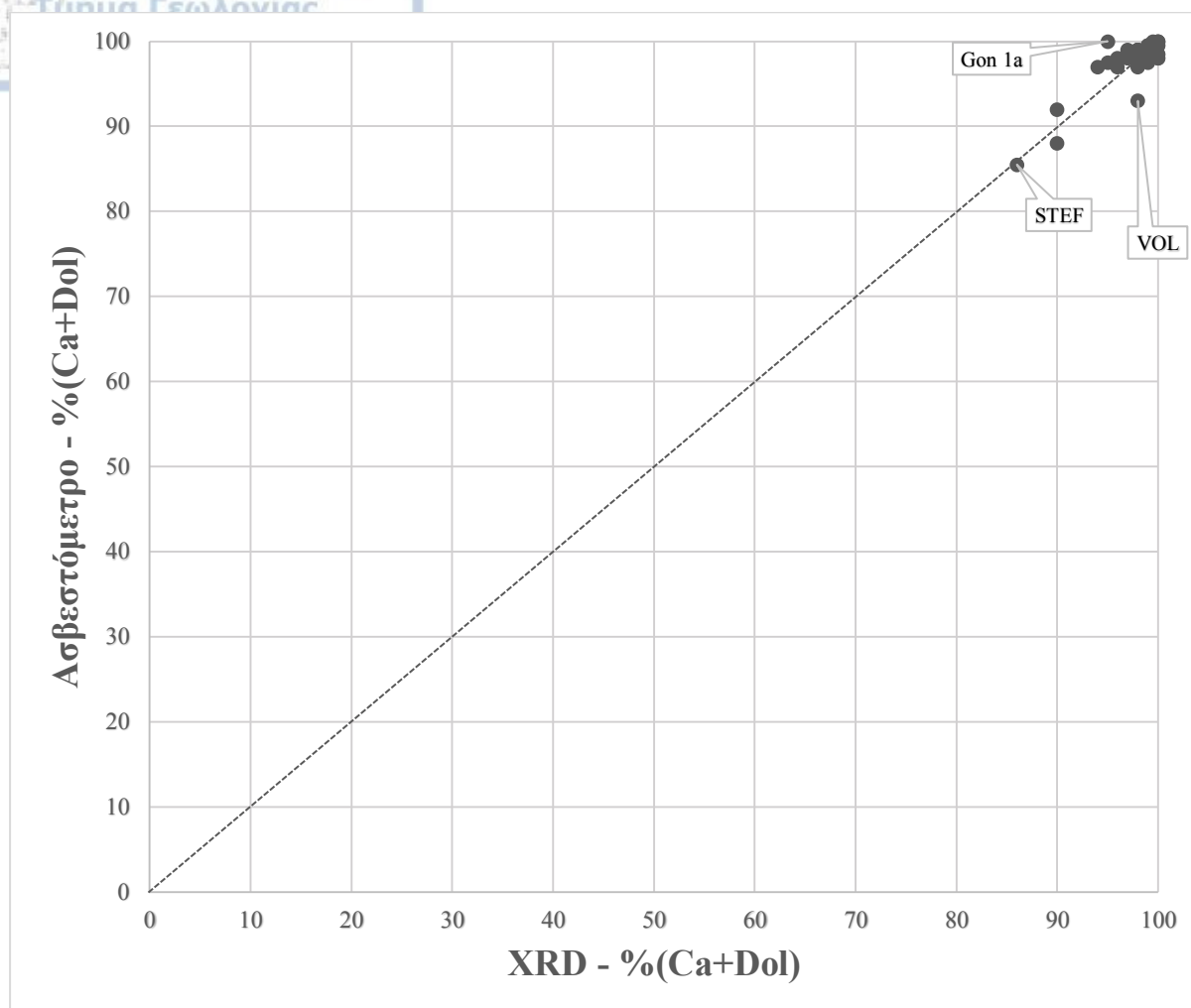
δείγματα (GON 1a, Kastri 1, Vry 1, Verm 5B, VOL) με επίσης μικρότερο ποσοστό σε ασβεστίτη. Παρατηρείται λοιπόν ότι στα μάρμαρα με περιεκτικότητα σε ασβεστίτη <90%, με βάση τις αναλύσεις XRD, η απόκλιση αυξάνεται όσο μειώνεται το ποσοστό του ασβεστίτη.

Αντίστοιχα στο γράφημα διασποράς των ποσοστών συμμετοχής του δολομίτη (Σχήμα 6.2) φαίνονται οι τιμές διασποράς να είναι αρκετά ικανοποιητικές για τα δείγματα με χαμηλά ποσοστά σε δολομίτη, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο όσο τα ποσοστά του δολομίτη αυξάνονται (VATH, IRAK).

Τέλος, στο γράφημα διασποράς του συνόλου των ανθρακικών (Σχήμα 6.3) φαίνονται οι τιμές διασποράς στο σύνολο τους να είναι πολύ ικανοποιητικές με μοναδικές εξαιρέσεις τα δείγματα (VOL, Gon 1a), όπου εμφανίζουν απόκλιση μόλις 5%, όταν στο σύνολο των δειγμάτων, η μικρότερη τιμή στα ποσοστά των ανθρακικών ήταν πάνω από το 86% δείγμα (STEF).



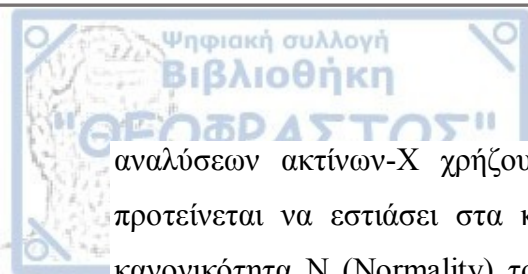
Σχήμα 6.2. Γράφημα διασποράς τιμών του δολομίτη (% Dol) με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) και με τη μέθοδο του ασβεστόμετρου (ΑΣΒΕΣΤΟΜΕΤΡΟ)



Σχήμα 6.3. Γράφημα διασποράς τιμών του συνόλου των ανθρακικών %(Ca+Dol) με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) και με τη μέθοδο του ασβεστόμετρου (ΑΣΒΕΣΤΟΜΕΤΡΟ)

Συνοψίζοντας, κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι ο προσδιορισμός των περιεκτικότητων ασβεστίτη και δολομίτη στα μάρμαρα με τη χρήση του ψηφιακού ασβεστόμετρου FOGL Bench-top Soil Calcimeter, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του και οι προτάσεις του τρόπου βελτίωσης της αξιοπιστίας του, μπορούν να αξιοποιηθούν στις πετρογραφικές και ορυκτολογικές μελέτες των μαρμάρων. Η ταχύτητα των αποτελεσμάτων, το μικρό οικονομικό κόστος καθώς και η ευκολία χρήσης και ευελιξία, το τοποθετούν στη πρώτη γραμμή της έρευνας για την κατάλληλη και αντιπροσωπευτική δειγματοληψία και την αποφυγή περιττών εργαστηριακών εξετάσεων στο πολωτικό μικροσκόπιο και στη μελέτη περιθλασιμετρίας.

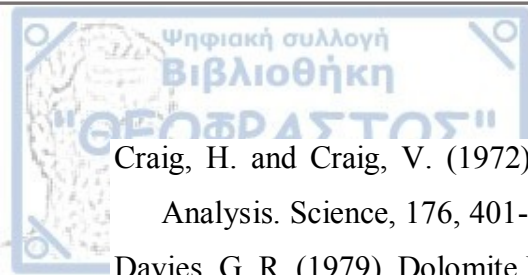
Για τα δύο δολομιτικά (VATH, IRAK) οι μεγάλες αποκλίσεις των ανθρακικών ορυκτών στα αποτελέσματα των μετρήσεων του ασβεστόμετρου από τα αντίστοιχα των ποσοτικών



αναλύσεων ακτίνων-X χρήζουν περαιτέρω πειραματικής έρευνας, η οποία πρωτίστως προτείνεται να εστιάσει στα κλάσματα κοκκομετρίας του εξεταζόμενου δείγματος, στη κανονικότητα N (Normality) του υδατικού διαλύματος HCL και στα χρονικά διαστήματα μέτρησης/διαχωρισμού του δολομίτη από τον ασβεστίτη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Attanasio, D. (2003). Ancient white marbles: analysis and identification by paramagnetic resonance spectroscopy. L'Erma di Bretschneider, Roma.
- Attanasio, D., Brilli, M. and Ogle N. (2006). The Isotopic Signature of Classical Marbles. L'Erma di Bretschneider, Roma, *Studia Archaeologica*, 145, 336 pp.
- Avdis, V. (1991). The effect of movement of high-angle faults on stratigraphy and structure: the Attico-Cycladic Massif, Greece. *Tectonophysics*, 192, 293-311.
- Badouna, I., Koutsovitis, P., Karkalis, C., Laskaridis, K., Koukouzas, N., Tyrologou, P., Patronis, M., Papatrechas, C. and Petrounias, P. (2020). Petrological and geochemical properties of greek carbonate stones, associated with their physico-mechanical and aesthetic characteristics. *Minerals*, 10(6).
- Bilias, F. and Barbayiannis, N. (2017). Evaluation of sodium tetraphenylboron (NaBPh₄) as a soil test of potassium availability, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63:4, 468-476.
- Bruno, M. and Pallante, P. (2002). The "Lapis Taenarius" quarries of Cape Tainaron. In (L. Lazzarini ed.) *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone, ASMOSIA VI, Proceedings of the Sixth International Conference of Association for the Study of Marble and Other Stones in Antiquity*, 15-18 June 2000, Venice, 163-176.
- Bruno, M., Conti, I., Lazzarini, I., Pensabene, P. and Turi, b. (2002). The Marble quarries of Thasos: an archaeometric study, in Lazzarini (ed), *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone. ASMOSIA V*. Padua, 157-62
- Bucher, K. and Grapes, R. (2011) *Metamorphism of Dolomites and Limestones*. In: *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Calligaro, T., Coquinot, Y., Guerra, M., Herrmann, J., Laugier, L. and Van den Hoek, A. (2013). Dolomitic marble from Thasos at the Louvre. *Open Journal of Archaeometry*, 1(1), 14 pp.
- Caputo, R. (1990). Geological and structural study of the recent and active brittle deformation of the Neogene-Quaternary basins of Thessaly (Central Greece). PhD Thesis, University of Thessaloniki, 251p.
- Castelvetto, V., Aglietto, M., Ciardelli, F., Chiantore, O., Lazzari, M. and Toniolo, L. (2002). Structure control, coating properties, and durability of fluorinated acrylic-based polymers. *Journal of Coatings Technology*. 74. 57-66.
- Cook, S. and Bowman J. (1994). Contact metamorphism surrounding the Alta stock: Thermal constraints and evidence of advective heat transport from calcite + dolomite geothermometry. *American Mineralogist* 79, 513-525.



- Craig, H. and Craig, V. (1972). Greek Marbles: Determination of Provenance by Isotopic Analysis. *Science*, 176, 401-403.
- Davies, G. R. (1979). Dolomite Reservoir Rocks: Processes, Controls, Porosity Development. *Geology of Carbonate Porosity: American Association of Petroleum Geologists Continuing-Education Course-Note Series 11*, p. C1-C17
- Dean, W. (1974). Determination of Carbonate and Organic Matter in Calcareous Sediments and Sedimentary Rocks by Loss on Ignition: Comparison with Other Methods. *Journal of Sediment Petrology* 44: 242-248.
- Evangelou, V. P., Whittig, L. D. and Tanji, K. K. (1984). An Automated Manometric Method for Quantitative Determination of Calcite and Dolomite. *Soil Science Society of America Journal*, 48(6), 1236-1239.
- Herz, N. (1987). Carbon and oxygen isotopic ratios: A data base for classical Greek and Roman marble. *Archaeometry*, 29, 35-43.
- Jansen, J. B. H. and Schuiling, R. D. (1976). Metamorphism on Naxos. *Petrology and thermal gradients. American Journal of Science* 276:1225-1253.
- Kaklis, K., Nomikos, P., Karatza, Z. and Agioutantis, Z. (2019). Comparison of bonded-particle numerical model results with indirect tension experimental results for Dionysos marble. 53rd U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium (ARMA), 23-26 June 2019, New York, NY, paper 19-1788.
- Kalogeropoulou, S., Kiliadis, S., Bitzios, D., Nicolaou, M. and Both, R. (1989). Genesis of the Olympias carbonate-hosted Pb-Zn (Au, Ag) sulphide ore deposit, eastern Chalkidiki, northern Greece. *Economic Geology*, 84, 1210-1234.
- Kantiranis N., Tsirambides A., Filippidis A. and Christaras B. (1999). Technological characteristics of the calcined limestone from Agios Panteleimonas, Macedonia, Greece. *Materials and Structures*, 32: 546-551
- Karambinis, M. and Lazzarini, L. (2015). The Roman marble quarries of Aliki bay and of the islets of Rinia and Koulouri (Skyros, Greece). In: *ASMOSIA 10*, Rome, 791-804.
- Katsikatsos, G. and Migros, G. (1987). Rapsani sheet, Geological map of Greece, 1:50,000, (Athens, IGME).
- Laskaridis, K., Patronis, M., Papatrechas, C. and Schouenborg, B. (2013). The Marble Types of Thassos Island through the Ages. 9097-.
- Lazzarini, L. and Cancelliere, S. (2000). Characterisation of the white marble of two unpublished ancient Roman quarries on the Islands of Fourni and Skyros (Greece), *Periodico di Mineralogia* (69), 49-62.

- Lepsius, R. (1893). Geologie von Attika: Ein Beitrag zur Lehre vom Metamorphismus der Gesteine. Berlin Zeitschr. f. partkt. Geol., 4, 196 S.592 p
- Letargo, C., Lamb, W. and Park, J. (1995). Comparison of calcite + dolomite thermometry and carbonate + silicate equilibria: Constraints on the conditions of metamorphism of the Llano uplift, central Texas, U.S.A. American Mineralogist, 80(1-2), 131-143.
- Love, S. (2017). Field Methods for the Analysis of Mud Brick Architecture. Journal of Field Archaeology, 42(4), 351-363.
- Melfos, V. and Vavelidis, M. (2000). The ancient quarries in Maronia, Rhodope prefecture. Thessalonikians Polis, 2, 63-76.
- Melfos, V. (2004). Mineralogical and stable isotopic study of ancient white marble quarries in Larissa, Thessaly, Greece. Bull Geol Soc Greece, XXXVI/3, 1164-1172.
- Melfos, V. (2008). "Green Thessalian Stone": The Byzantine quarries and the use of a unique architecture material from Larisa area, Greece. Petrographic and geochemical characterization. Oxford Journal of Archaeology, 27, 387-405.
- Melfos, V. (2019). Μάρμαρο Θάσου πιο λευκό και από το χιόνι. Ελληνικό Πανόραμα, 118, 58-87.
- Melfos, V., Vavelidis, M. and Theodorikas, S. (2002). Preservation of the Greek Cultural Heritage: A study of the geology and extraction techniques of two ancient quarries, Larisa prefecture, Thessaly, Greece. In Kungolos et al. (eds), Proceedings of the International Conference "Protection and Restoration of the Environment VI", 1535-1544.
- Melfos, V., Voudouris, P., Papadopoulou, L., Sdrolia, S. and Helly, B. (2010). Mineralogical, petrographic and stable isotopic study of ancient white marble quarries in Thessaly, Greece - II. Chasanbali, Tempi, Atrax, Tisaion mountain. Bull Geol Soc Greece, XLIII/2, 845-855.
- Migiros, G. (1983). Geological study of the Kato Olympos area Thessaly. PhD Thesis, University of Patras, 204p.
- Morgenstein, M. E. and Redmount, C. A. (1998). Mudbrick Typology, Sources, and Sedimentological Composition: A Case Study from Tell el-Muqdam, Egyptian Delta. Journal of the American Research Center in Egypt, 35, 129-146.
- Nikolaou, K., Alysandratos, A., Karanika, K., Kaya, Y., Inaner, H., Christanis, K., Iliopoulos, G. and Avramidis, P. (2016). Sedimentology and paleoenvironmental reconstruction of ag-1 core of Ayvalik region, NW Turkey. Bulletin of the Geological Society of Greece, 50(1), 354-364.
- Pike, S.H. (2000). Archaeological geology and geochemistry of Pentelic marble, Mount Pentelikon, Attica, Greece.

- Ray, A. K., Sharma, R. K. and Chopra, S. (2014). Hydrocarbon-bearing dolomite reservoir characterization: A case study from eastern Canada. Society of Exploration Geophysicists International Exposition and 84th Annual Meeting SEG 2014, 2677-2682.
- Roselle, G. T., Baumgartner, L. P. and Valley, J. W. (1999). Stable isotope evidence of heterogeneous fluid infiltration at the Ubehebe Peak contact aureole, Death Valley National Park, California. *American Journal of Science*, 299(2), 93-138.
- Sharma, R. S. and Sharma, A. (2021). Metamorphism of Dolomites and Limestones. *Encyclopedia of Geology*, 479-491.
- Skinner, S.I., Halstead, R.L. and Brydon, J.E. (1959). Quantitative manometric determination of calcite and dolomite in soils and limestones. *Canadian Journal of Soil Science*, 39, 197-204.
- Skinner, S.I.M. and R.L. Halstead. (1958). Note on rapid method for determination of carbonates in soils. *Can. J. Soil Sci.* 38:187-188.
- Tambakopoulos, D. and Maniatis, Y. (2018). The provenance of the marble artefacts, in *The Marble Finds from Kavos and the Archaeology of Ritual*, eds. C. Renfrew, O. Philaniotou, N. Brodie, G. Gavalas and M.J. Boyd. (McDonald Institute Monographs.) Cambridge: McDonald Institute for Archaeological Research, 355-432.
- Thiebault, F. (1982). Evolution géodynamique des Hellenides externes en Peloponnèse méridional (Grèce). Thèse d'Etat. Société Géologique du Nord, Publication No 6, 574 p., Lille.
- Turner, R.C. (1959). An investigation of the intercept method for determining the proportion of dolomite and calcite in mixtures of the two. I. *Can. J. Soil Sci.* 40:219-231
- Turner, R.C. and Skinner, S.I.M. (1959). An investigation of the intercept method for determining the proportion of dolomite and calcite in mixtures of the two. II. Experimental rate of solution of dolomite and calcite in samples consisting of a number of crystals. *Can. J. Soil Sci.* 40:232-242.
- Vicini, S., Margutti, S., Princi, E., Moggi, G. and Pedemonte E. (2002). In situ copolymerization for the consolidation of stone artefacts, *Macromol. Chem. Phys.*, 203, 1413-1419.
- Yarosh, A., Pryakhina, T.A., Kotov, V.M., Zavin, B.G. and Krukovsky, S.P. (1997). Chemistry, technology and applications of fluorocompounds, Abstracts of the Second International Conference, St. Petersburg, Russia, 24.
- Βάκουλης, Χ. (2000). Λατομεία μαρμάρου στην αρχαία Μακεδονία και προσδιορισμός προέλευσης μαρμαρίνων έργων. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Ιστορίας και Αρχαιολογίας. Φιλοσοφική Σχολή. ΑΠΘ. 256σ.

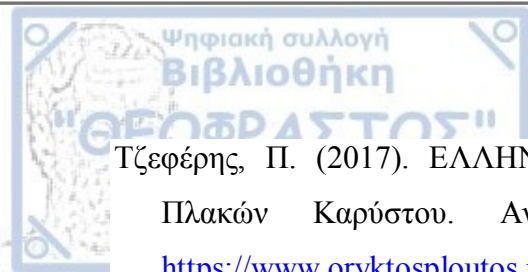
- Βαξεβανόπουλος Μ., Μέλφος Β., Δουλγέρη-Ιντζεσίλογλου Α., Σκαφιδά Ε., Βαβάλιου Μ., Ιντζεσίλογλου Χ. (2020). Καταγραφή της αρχαίας λατομικής δραστηριότητας στην Περιφερειακή Ενότητα Μαγνησίας. Το Αρχαιολογικό Έργο Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας, 5, 373-382..
- Βλάμη, Β. (2006) Η Περιοχή της Όχης, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Εύβοιας, ΟΙΚΟΣ - Διαχείριση Φυσικού Περιβάλλοντος ΕΠΕ.
- Βουγιούκας, Δ. και Χατζηπαναγής, Ι. (2009). Γεωλογία-Λιθοστρωματογραφία-Τεκτονική και Κοιτασματολογία του Φαλακρού Όρους. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε., Γ'ΚΠΣ, 74σ.
- Γεωργογιάννης, Ν. (2019). Η Αλπική Τεκτονική Εξέλιξη του Βορειοδυτικού και Κεντρικού Αιγαίου. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Δημητριάδης, Σ. (1985). Εισαγωγή στην Πετρολογία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.
- Δημογιάννη, Σ. (2014). Συμβολή των Γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών και της τηλεπισκόπησης στην Υδρογεωλογία της περιοχής Λάρισας-Τυρνάβου. Διατριβή Ειδίκευσης . Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.
- Καντηράνης Ν., Στεργίου Χ.Α., Φιλιππίδης Α. και Δρακούλης Α. (2004). Υπολογισμός του ποσοστού του άμορφου υλικού με τη χρήση περιθλασιγραμμάτων ακτίνων-Χ. 10ο Διεθνές Συνέδριο Ε.Γ.Ε., Θεσσαλονίκη, Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., 36/1: 446-453.
- Καντηράνης Ν., Τσιραμπίδης Α., Φιλιππίδης Α., Κασώλη-Φουρναράκη Α. και Χρηστάρας Β. (2001). Βιομηχανικές χρήσεις των ανθρακικών πετρωμάτων της νήσου Θάσου (Ελλάς). Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, 34, 1145-1154.
- Κατσαβούνη, Σ. και Petkovski, S. (2004). Λίμνη Δοϊράνη-Επισκόπηση της υφιστάμενης κατάστασης. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ), Θέρμη, Society for the Investigation and Conservation of Biodiversity and the Sustainable Development of Natural Ecosystems (BIOECO), Skopje, 121 σελ.
- Κωνσταντίνου, Ρ. (1986). Γεωλογική έρευνα των ελληνικών μαρμάρων και οι δυνατότητες αξιοποίησής τους. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.
- Λασκαρίδης, Κ. και Πατρώνης, Μ. (2005). Οι φυσικομηχανικές ιδιότητες των φυσικών διακοσμητικών πετρωμάτων και η χρήση τους κατά την απόδοση σήμανσης CE. Πρακτ. 2ου Συν. Επιτρ. Οικ. Γεωλ. Ορυκτ. Γεωχ. (Ε.Γ.Ε.), Θεσσαλονίκη, 179-187.
- Λασκαρίδης, Κ., Πατρώνης, Μ., Μπαντουνά, Ι. και Κουσερής, Ι. (2015). Χαρακτηριστικά Διακοσμητικών Πετρωμάτων Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας - Θράκης. Έκθεση ΙΓΜΕ, σελ. 78.

- Λασκαρίδης, Κ., Πατρώνης, Μ., Παπατρέχας, Χ., Ξηροκόστας, Ν. και Φιλίππου, Σ. (2016). Άτλαντας εμπορικών τύπων των ελληνικών διακοσμητικών πετρωμάτων. Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Διακοσμητικών Πετρωμάτων «ΛΙΘΟΣ», Ι.Γ.Μ.Ε.
- Μαντή, Β. (1993). Προσδιορισμός της προέλευσης του μαρμάρου αρχαίων μνημείων με τις τεχνικές του ηλεκτρονικού παραμαγνητικού συντονισμού και της νετρονικής ενεργοποίησης. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 281.
- Μέλφος, Β. (2010). Προσδιορισμός της πηγής προέλευσης των πρώτων υλών από επιλεγμένα δείγματα πορόλιθου του Αρχαίου Θεάτρου Λάρισας. Αδημοσίευτη Έκθεση προς την Επιστημονική Επιτροπή τους Αρχαίου Θεάτρου Λάρισας.
- Μέλφος, Β. (2015). «Αρχαία λατομεία μαρμάρου στην Μακεδονία: ορυκτολογική, πετρογραφική και ισοτοπική (C,O) μελέτη». Πρακτικά του 10ου Διεθνούς Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, 22-24 Οκτ 2014, Θεσσαλονίκη, σσ. 536-548.
- Μεραχτσάκη, Δ. (2013). Μελέτη της προστασίας του μαρμάρου από τη διάβρωση με προηγμένα σύνθετα πολυμερικά επιστρώματα. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Τμήμα Χημείας, ΑΠΘ.
- Μερτζάνης, Α., Σκοτίδα, Α., Ευθυμίου, Γ. και Ζακυνθινός, Γ. (2004). Διαχρονική εξέλιξη της κατάστασης περιβάλλοντος (γεωλογία - γεωμορφές) και των χρήσεων γης, σε αργούντα λατομεία του Πεντελικού όρους (Αττική). Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, 36(1), 216-225.
- Μουντράκης, Δ. (2010). Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδος. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Μπεχλιβάνη, Σ. (2009). Μελέτη της ορυκτολογικής - γεωχημικής σύστασης και των τεχνολογικών χαρακτηριστικών των ανθρακικών πετρωμάτων στις περιοχές Κουτσοχέρου και Μηρών Λάρισας. Διατριβή Ειδίκευσης. Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.
- Μυλωνάς, Δ. (2018) Ορυκτολογική - γεωχημική μελέτη των υλικών του παλαιού χώρου απόθεσης στην ευρύτερη περιοχή της πλατείας +53, Στρατώνι Χαλκιδικής. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.
- Παπαγεωργάκης, Ι. (1963). Συμβολή εις την γνώσιν των εις την αρχαίαν Ελλάδα χρησιμοποιηθέντων μαρμάρων και των λατομείων αυτών. Ι. Τα αρχαία λατομεία της Θεσσαλίας. Πρακτικά της Ακαδημίας Αθηνών, 564-572.
- Παπαδόπουλος, Π. (1982). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας. Φύλλο Μαρόνεια, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ. Αθήνα.

- Παπατρέχας, Χ. (2011). Συσχέτιση φυσικομηχανικών ιδιοτήτων με το κοκκομετρικό μέγεθος και την ορυκτολογική σύσταση των ανθρακικών πετρωμάτων της Ανατολικής Μακεδονίας. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.
- Πολυκρέτη, Κ. (1999) (in Greek): Διερεύνηση προέλευσης και αυθεντικότητας αρχαίων μαρμάρινων μνημείων με Φασματοσκοπία Ηλεκτρονικού Παραμαγνητικού Συντονισμού και Θερμοφωταύγεια. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ. 248.
- Τζεφέρης, Π. (2020). Τα μάρμαρα της Μάνης: Θέσεις εμφάνισης/εξόρυξης, πετρογραφική και ισοτοπική αναγνώριση. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Τσαμαντουρίδης, Γ. (2008). Τα αρχαία μεταλλεία του Ν. Κιλκίς. Μαχητής ΕΠΕ, Κιλκίς, 126 σ.
- Τσιραμπίδης, Α. (1996). Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά πετρώματα. UNIVERSITY STUDIO PRESS, Θεσσαλονίκη.
- Τσιραμπίδης, Α., Χριστοφίδης, Γ., Μιχαλίδης, Κ., Βαβελίδης, Μ., Ελευθεριάδης, Γ. και Κορωνάιος, Α. (1999). Η αξιοποίηση των στείων (ρεταλιών) των μαρμάρων από λατομεία των περιοχών Θάσου, Λεκάνης Καβάλας και Φαλακρού Δράμας προς όφελος της Εθνικής οικονομίας και προστασία του περιβάλλοντος (Δράση 9). Αδημοσ. έκθεση, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 47 σ.
- Χατζηπαναγής, Ι. και Βουγιούκας, Δ. (2005). Τα μάρμαρα της ανατολικής Μακεδονίας. Βασικοί παράγοντες που χαρακτηρίζουν την εμπορικότητα τους σαν διακοσμητικά πετρώματα. Ποιότητες-Παραγωγή-Τιμές-Απόθεματα. 2^ο Συνέριο της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας, 1, 387-396.
- Χοβαρδός, Π. (2007). Η ακτή της Χαλκιδικής κατά τους ιστορικούς χρόνους. Μεταπτυχιακή Εργασία. Τμήμα Ιστορίας και Αρχαιολογίας. Α.Π.Θ, 184 σ.
- Φιλίππιδης, Α. και Τσιραμπίδης, Α. (2015). Μάρμαρα και Ζεόλιθοι: Ποιοτικά χαρακτηριστικά - Αποθέματα και αξία - Βιομηχανικές, περιβαλλοντικές και αγροτικές εφαρμογές. Επιχειρηματική Ανακάλυψη της Αλυσίδας Αξίας των Μη Μεταλλικών Ορυκτών στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη, Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Μακεδονία - Θράκη» 2007-2013, ΕΣΠΑ, 5 Μαΐου 2015, Δράμα, 12σ

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Barouchas, P. and Koulos, P. (n.d.). Application Note Total carbonates analysis in sand mixtures using the FOGII Digital Soil. Ανακτήθηκε 28 Οκτωβρίου 2021, από ιστοσελίδα http://bilkim.bilmar.com.tr/PDF/bd_inventions/An_140920_Fogii_application_note.pdf
- bd INVENTIONS. DRIVE INNOVATION AND CREATIVE PURSUIT OF SUPERIOR PERFORMANCE. Ανακτήθηκε 28 Οκτωβρίου 2021, από ιστοσελίδα <https://www.bd-inventions.com/>
- Dionyssomarble. Λευκό μάρμαρο Διονύσου. Ανακτήθηκε 20 Οκτωβρίου 2021, από ιστοσελίδα <http://www.dionyssomarble.com/gr/products/54,19>
- STONE GROUP. Volakas Haemus. Ανακτήθηκε 3 Οκτωβρίου 2021, από ιστοσελίδα <https://www.stonegroup.gr/portfolio-item/volakas-heamus/>
- STONE GROUP. Volakas Hemarus. Ανακτήθηκε 3 Οκτωβρίου 2021, από ιστοσελίδα <https://www.stonegroup.gr/portfolio-item/hemarus/>
- STONENEWS. Τα μάρμαρα της Καρυστίας και της Νότιας Εύβοιας. Ανακτήθηκε 24 Ιανουαρίου 2022, από ιστοσελίδα https://stonenews.eu/el/ta-marmara-tis-karystias-ke-tis-notias-evvias/?fbclid=IwAR0aMv_GgltyIpu74374kJKWrBh63f2s7DtZd7YnJY3-kLvld3o9lsDEI6k
- ΑΦΟΙ ΚΑΡΠΟΝΤΙΝΗ ΝΑΞΙΑΚΑ ΜΑΡΜΑΡΑ. Προιόντα. Ανακτήθηκε 18 Οκτωβρίου 2021, από ιστοσελίδα <https://www.karpontinibros.gr/products.php?menu=30&lang=el>
- ΑΦΟΙ ΣΠΥΡΟΥ ΑΒΕΕ. Πέτρα Καρύστου, Μάρμαρα, Λατομεία. Ανακτήθηκε 24 Οκτωβρίου 2021, από ιστοσελίδα https://www.petromata.gr/about/about_gr.html
- Η ΥΛΗ. Έργα ανάδειξης της Λατομικής τέχνης στην Πεντέλη. Ανακτήθηκε 20 Οκτωβρίου 2021, από ιστοσελίδα <https://forest.gr/dimosiefsis/erga-anadixis-tis-latomikis-technis-stin-penteli/>
- Μακρής, Δ. (2018). Γενική Χημεία Ενότητα 10η: Χημική Κινητική. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας [Powerpoint slides]. Ανακτήθηκε 20 Οκτωβρίου 2021, από ιστοσελίδα https://eclass.uth.gr/modules/document/file.php/DND_U_101/GenChem_U10.pdf
- Μπίτζιος, Δ. και Τζεφέρης, Π. (2018). ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ. Το ελλειψοειδές σχήμα του αρχαίου θεάτρου του Θορικού. Μια πιθανή εξήγηση (II). Ανακτήθηκε 20 Οκτωβρίου 2021, από ιστοσελίδα https://www.oryktosploutos.net/2018/11/ii_28/



Τζεφέρης, Π. (2017). ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ. Λατομεία Σχιστολιθικών Πλακών Καρύστου. Ανακτήθηκε 24 Οκτωβρίου 2021 από ιστοσελίδα <https://www.oryktosploutos.net/2017/01/blog-post-48/>

Τζεφέρης, Π. (2018α). ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ. Αγριλέζα Λαυρίου: το αρχαίο λατομείο των μαρμάρων του ναού του Ποσειδώνα Σουνίου. Ανακτήθηκε 20 Οκτωβρίου 2021, από ιστοσελίδα https://www.oryktosploutos.net/2018/01/blog-post_4-9/

Τζεφέρης, Π. (2018β). Η ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΙΝΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΣ. Πέτρου Τζεφέρη: τα αρχαία λατομεία μαρμάρου του Λαυρίου. Ανακτήθηκε 20 Οκτωβρίου 2021 από ιστοσελίδα http://elladitsamas.blogspot.com/2018/02/blog-post_22.html

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2019). Ετήσια έκθεση 2019. Μεταλλευτική και λατομική δραστηριότητα στην Ελλάδα. Ανακτήθηκε 29 Ιουλίου 2021 από ιστοσελίδα https://ypen.gov.gr/wp_content/uploads/2021/02/%CE%95%CE%9A%CE%98%CE%95%CE%A3%CE%97-2019-.pdf

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - Αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων του ασβεστόμετρου με τα διαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων X

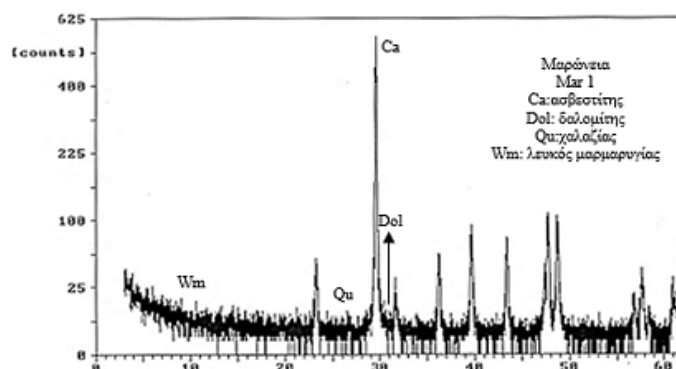
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών	
96	97	97	96	1	97	3

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Qu	Wm	-				
2	4	0	90	4	94	6

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.1. Μάρμαρο Μαρώνειας: Mar 1

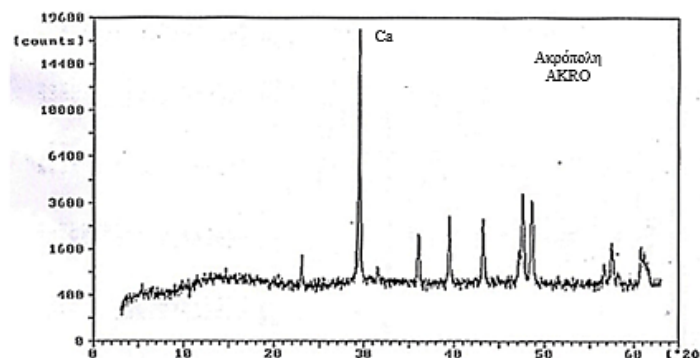
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών	
100	100	100	100	0	100	0
99	99	99	99	0	99	1

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
-	-	-				
0	0	0	100	0	100	0

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.2. Μάρμαρο Ακρόπολη Θάσου: AKRO

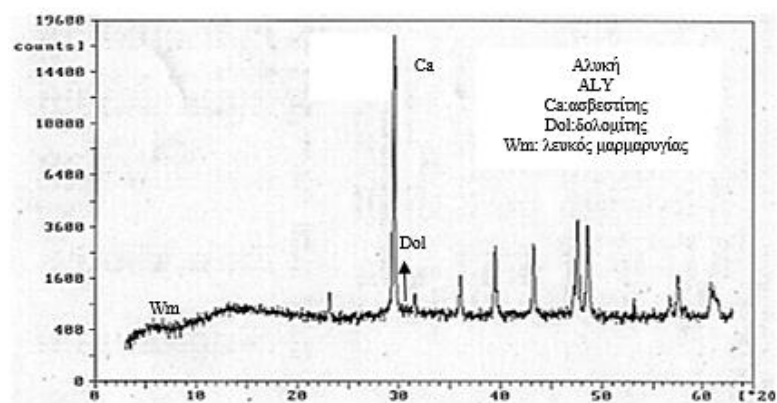
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών
97	98	98	97	1	98
97	98	99	97	2	99

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Wm	-	-	-	-
3	0	0	96	1

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.3. Μάρμαρο Αλυκή Θάσου: ALY

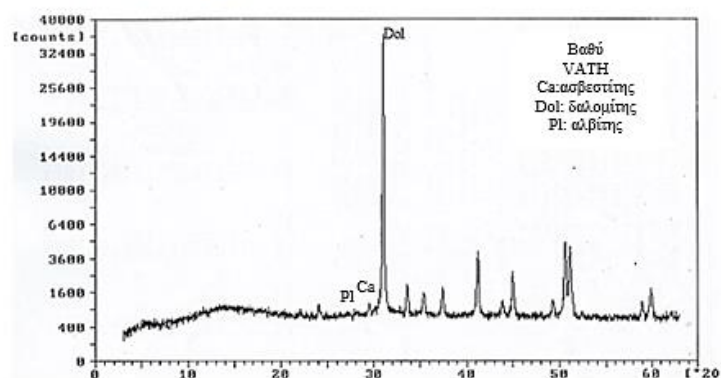
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών
50	86	100	50	50	100
49	85	100	49	51	100

XRD- Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Pl	-	-	-	-
0,5	0	0	2,5	97

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.4. Μάρμαρο Βαθύ Θάσου: VATH

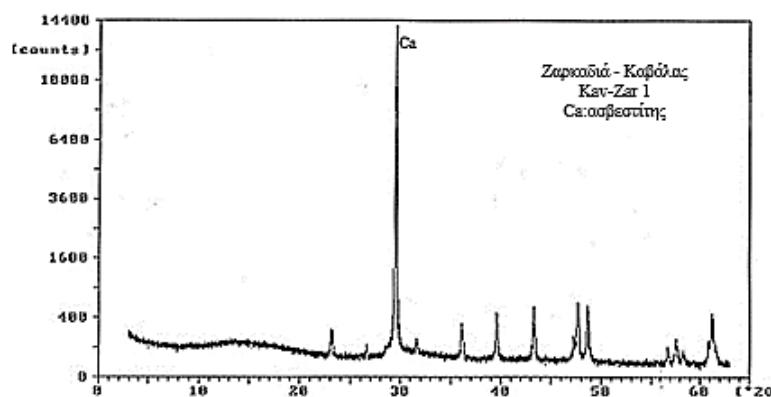
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών
99	99	99	99	0	99
100	100	100	100	0	100

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
-	-	-	-	-
0	0	0	100	0

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.5. Μάρμαρο Ζερκαδιά Καβάλας: Kan-Zar 1

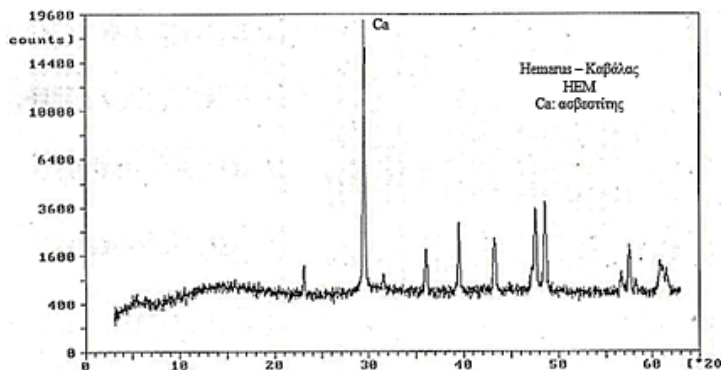
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών
99	99	100	99	1	100
100	100	100	100	0	100

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
-	-	-	-	-
0	0	0	100	0

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.6. Μάρμαρο Hemarus Καβάλας: HEM

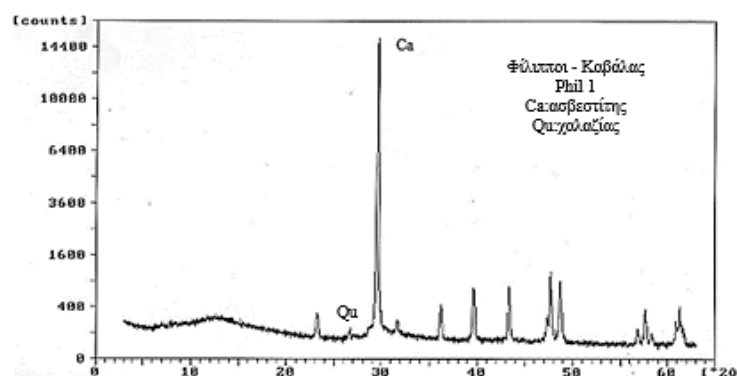
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών ορυκτών
97	98	99	97	2	99
96	97	98	96	2	98

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών ορυκτών
Qu	-	-			Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
1	0	0	99	0	99

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.7. Μάρμαρο Φίλιπποι Καβάλας: Phil 1

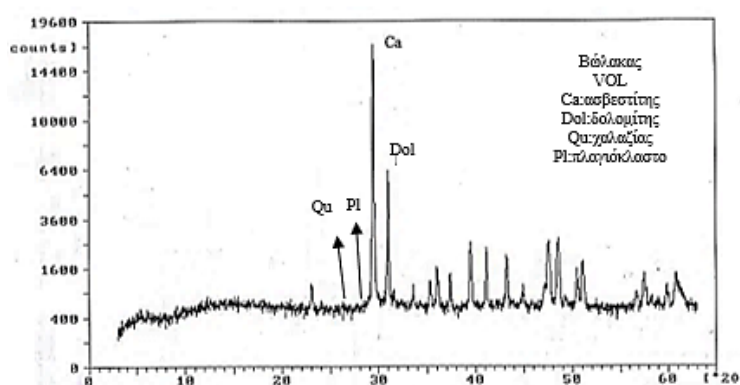
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών ορυκτών
79	87	92	79	13	92
75	85	93	75	18	93
75	87	94	75	19	94

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών ορυκτών
Qu	Pl	-			Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
1	1	0	81	17	98

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X

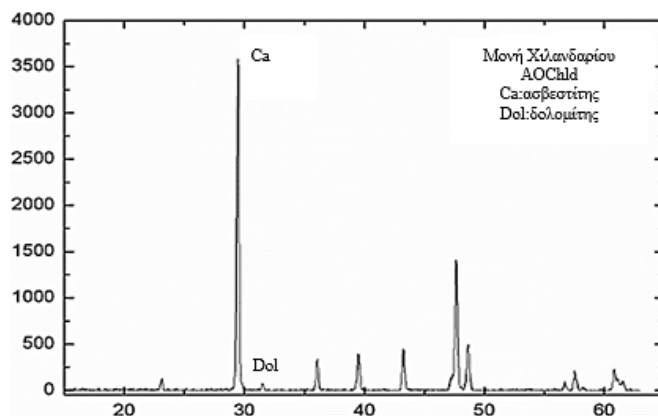


Σχήμα Π.8. Μάρμαρο Haemus Βόλακας Δράμας: VOL

Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
1η	2η	3η	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	
97	99	100	97	3	100	0
96	100	100	96	4	100	0
96	99	99	96	3	99	1

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.9. Μάρμαρο Μονής Χιλανδαρίου-Αγίου Όρους: AOChld

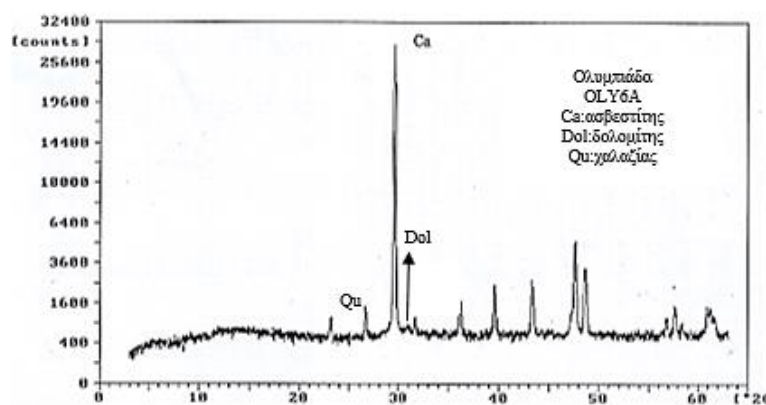
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
1η	2η	3η	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	
96	98	99	96	3	99	1

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Υπολογισμός %			Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Qu			Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	
2	0	0	97	1	98	2

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X

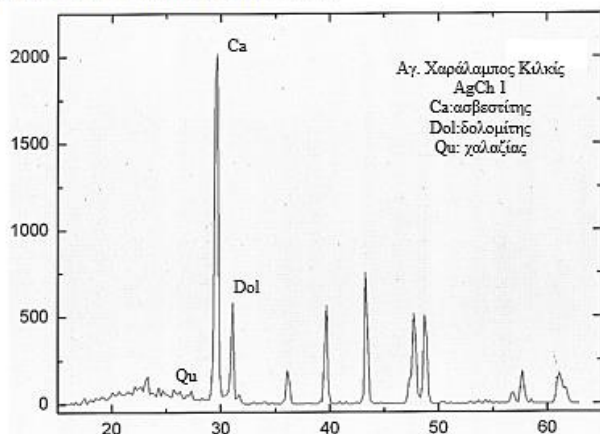


Σχήμα Π.10. Μάρμαρο Ολυμπιάδα: OLY6A

Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
78	82	84	78	6	84	16
77	82	84	77	7	84	16

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.11. Μάρμαρο Αγ. Χαράλαμπος Κιλκίς: AgCh 1

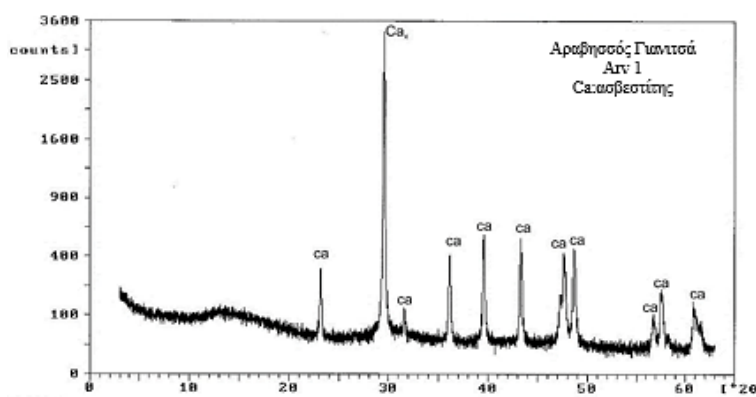
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
98	98	98	98	0	98	2
98	98	98	98	0	98	2

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
-	-	-		
0	0	0	100	0

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.12. Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος Αραβησσός: Arv 1

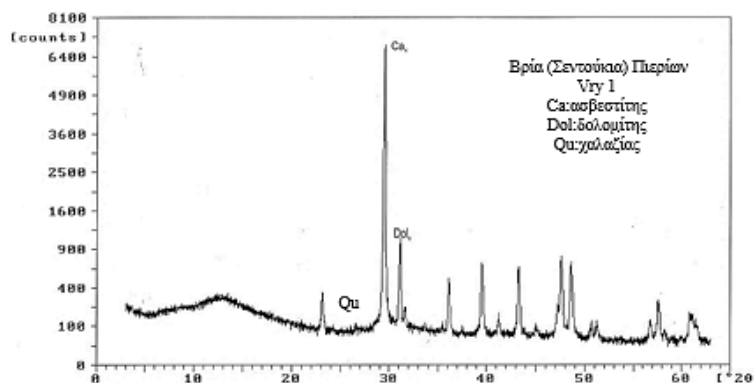
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
90	99	100	90	10	100	0
89	95	99	89	10	99	1

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Qu	-	-				
1	0	0	83	16	99	1

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.13. Μάρμαρο Βρία (Σεντούκια) Περίων: Vry 1

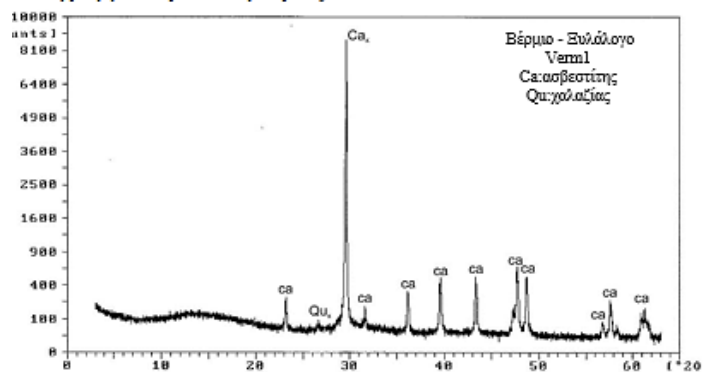
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
98	98	98	98	0	98	2
97	97	97	97	0	97	3

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Qu	-	-				
2	0	0	98	0	98	2

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.14. Μάρμαρο Βέρμιο-Ξυλάλογο: Verm1

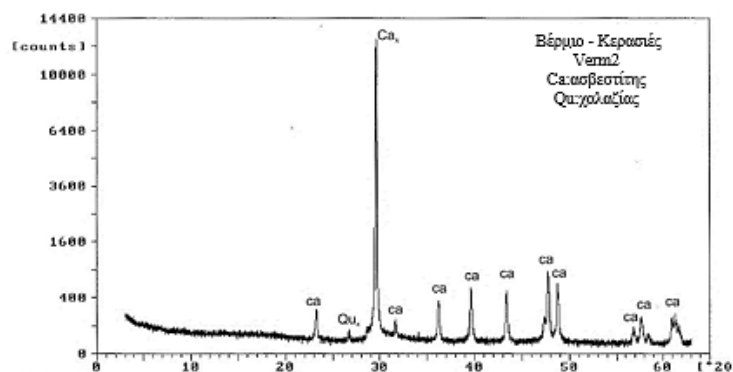
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
98	98	98	98	0	98
97	98	99	97	2	99

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Qu	-	-		
2	0	0	98	2

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.15. Μάρμαρο Βέρμιο Κερασιές: Verm2

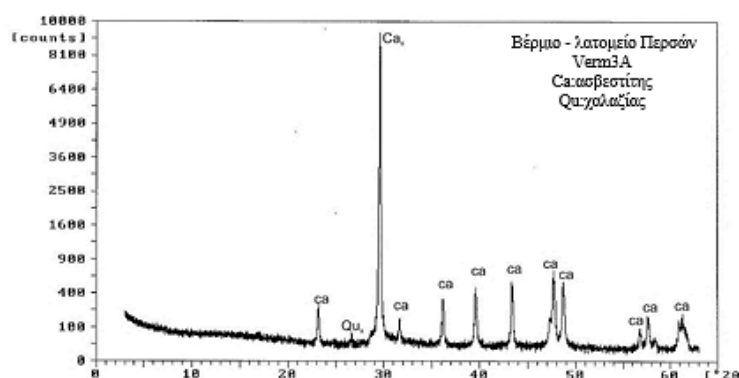
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
95	96	96	95	1	96
97	98	99	97	2	99

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Qu	-	-		
2	0	0	98	2

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.16. Μάρμαρο Βέρμιο - Λατομείο Περγών: Verm3A

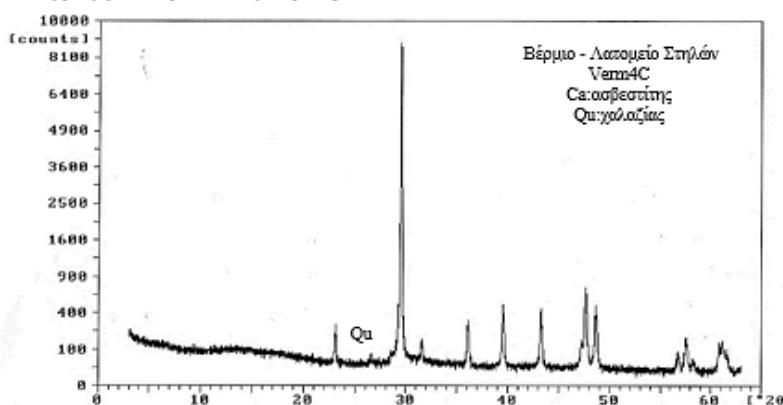
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
96	97	98	96	2	98	2

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Qu	-	-				
2	0	0	98	0	98	2

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.17. Μάρμαρο Βέρμιο - Λατομείο Στηλών: Verm4C

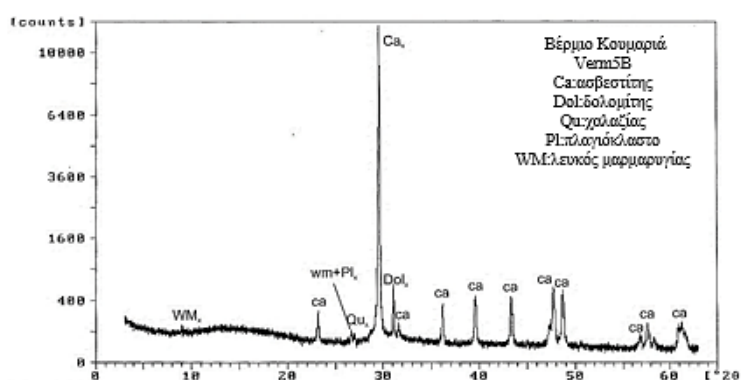
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
97	98	99	97	2	99	1

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Qu	Pl	Wm				
1	1	1	87	10	97	3

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.18. Μάρμαρο Βέρμιο Κουμαριά: Verm5B

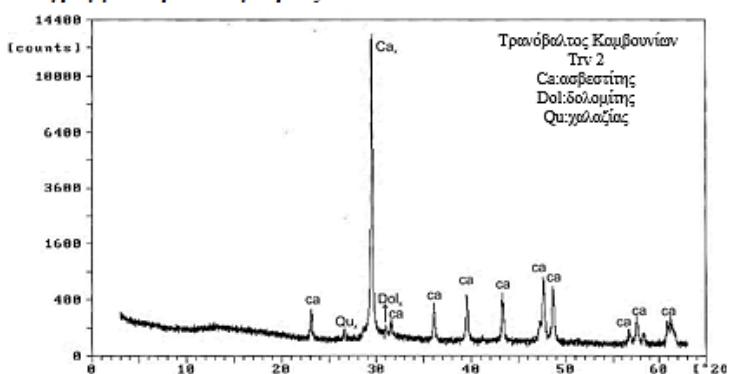
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
99	99	99	99	0	99	1
93	98	99	93	6	99	1
97	98	100	97	3	100	0
97	99	100	97	3	100	0

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Qu	-	-		
1	0	0	96	3

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.19. Μάρμαρο Τρανόβαλτος Καμβουνίων: Trn 2

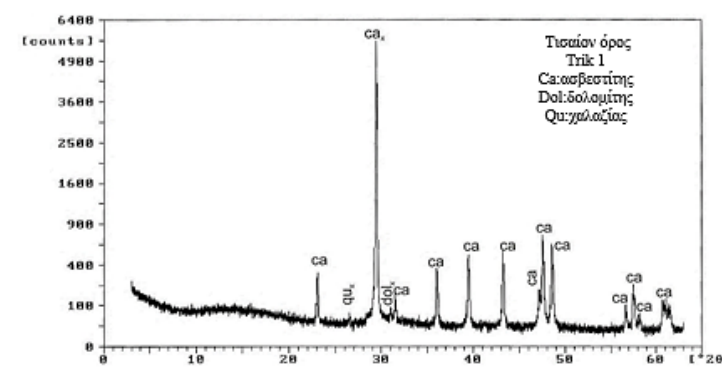
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
96	97	98	96	2	98	2
96	97	98	96	2	98	2

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Qu	-	-		
1	0	0	96	3

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.20. Μάρμαρο Τισαίων όρος: Trik 1

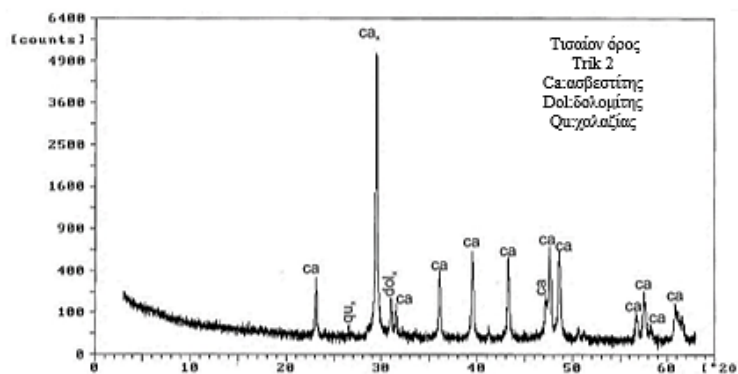
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών
94	97	98	94	4	98
93	96	97	93	4	97

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών
Qu	-	-			Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
1	0	0	92	7	99

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.21. Μάρμαρο Τισαίον όρος: Trik 2

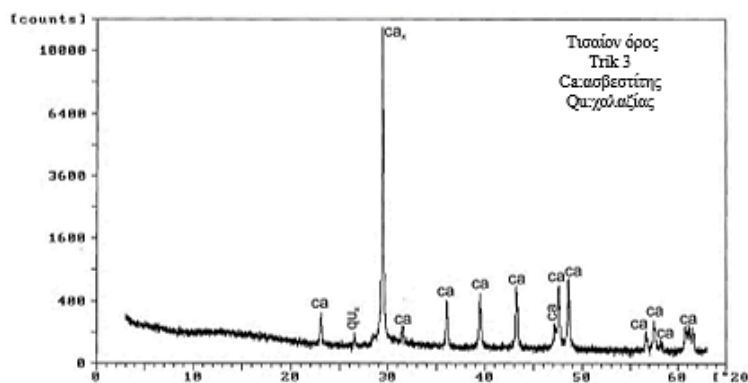
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών
96	97	98	96	2	98
96	97	97	96	1	97

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών
Qu	-	-			Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
2	0	0	98	0	98

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.22. Μάρμαρο Τισαίον όρος: Trik 3

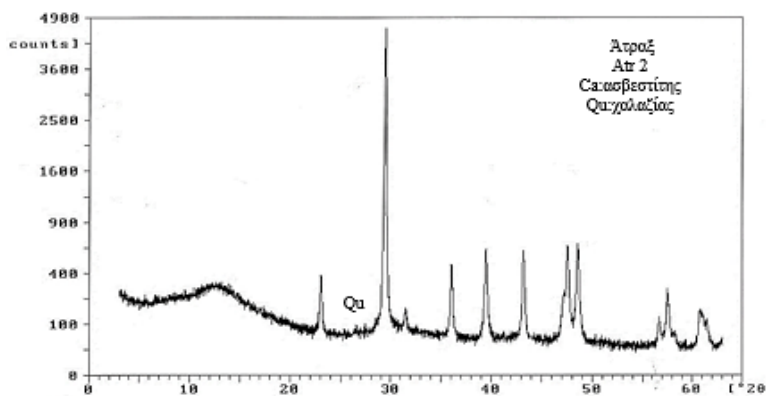
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών
97	98	99	97	2	99
			Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών		
			1		

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Υπολογισμός %		
Qu	-	-	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών
1	0	0	99	0	99
			Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών		
			1		

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.23. Μάρμαρο Αρχαία Άτραξ: Atr 2

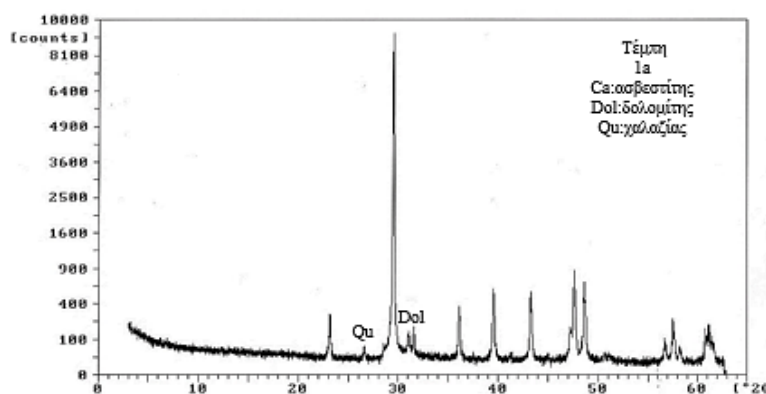
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών
98	99	99	98	1	99
98	99	99	98	1	99
			Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών		
			1		

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Υπολογισμός %		
Qu	-	-	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών
2	0	0	95	3	98
			Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών		
			2		

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.24. Μάρμαρο Τέμπη: Tmp 1a

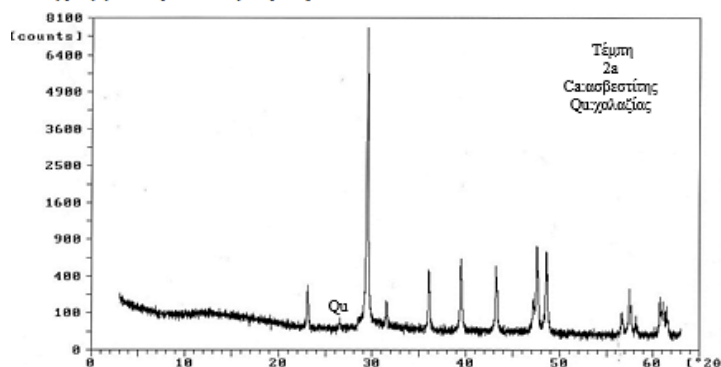
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
97	98	98	97	1	98	2
97	97	98	97	1	98	2

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Qu	-	-		
2	0	0	98	2

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.25. Μάρμαρο Τέμπη: Tmp 2a

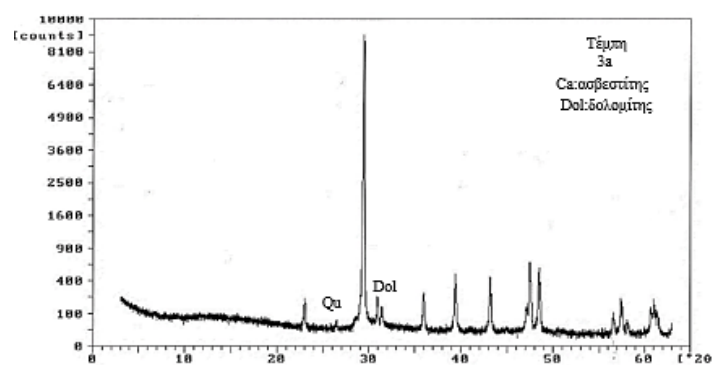
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
95	98	99	95	4	99	1
94	96	97	94	3	97	3
96	97	98	96	2	98	2

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Qu	-	-		
1	0	0	94	1

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.26. Μάρμαρο Τέμπη: Tmp 3a

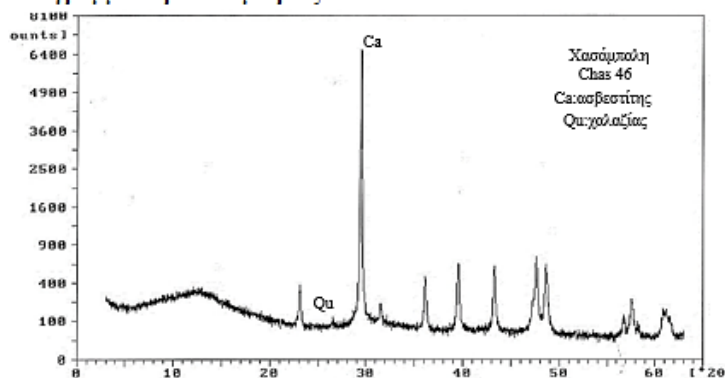
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
97	98	98	97	1	98	2
97	98	98	97	1	98	2

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Qu	-	-		
1	0	0	99	1

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.27. Μάρμαρο Χασάμπαλης: Chas 46

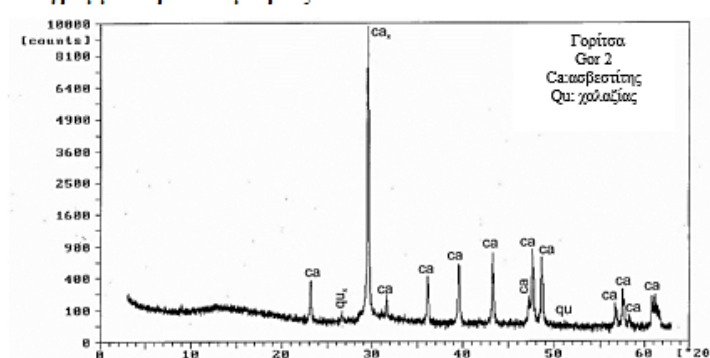
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
99	99	99	99	0	99	1
98	98	98	98	0	98	2

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Qu	-	-		
1	0	0	99	1

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.28. Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος Γορίτσα: GOR 2

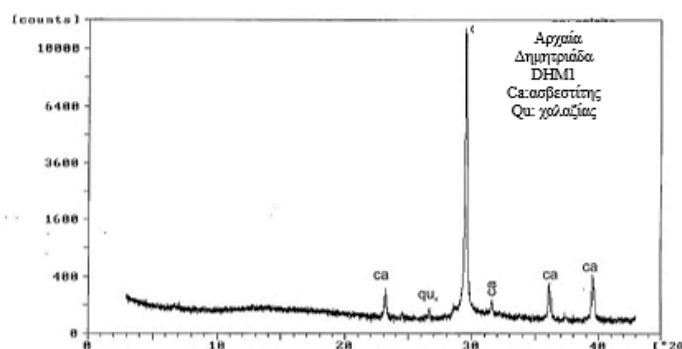
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
98	98	98	98	0	98	2
96	97	97	96	1	97	3

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Qu	-	-		
2	0	0	98	2

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.29. Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος Δημητριάδα: DHM1

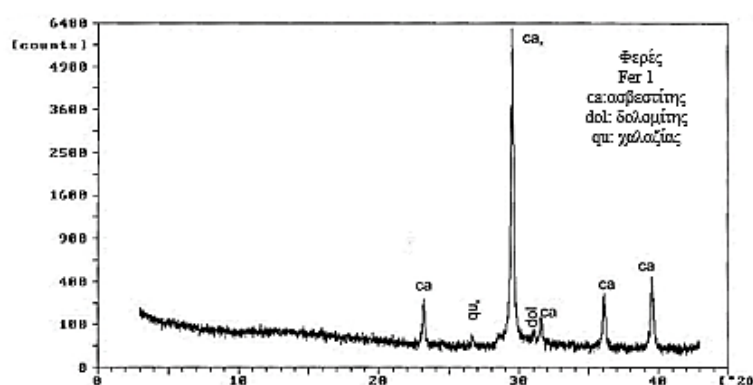
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
96	97	97	96	1	97	3
95	96	97	95	2	97	3

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Qu	-	-		
2	0	0	98	2

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.30. Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος Βελεστίνo (Φερές): Fer 1

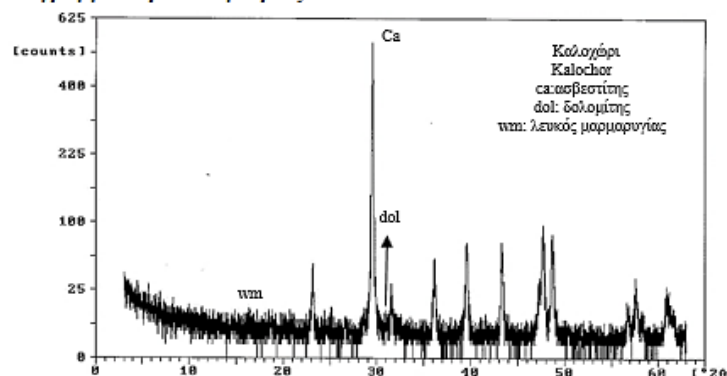
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών
96	97	98	96	2	98
97	98	98	97	1	98

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών
Wm	-	-			Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
3	0	0	94	3	97

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.31. Μάρμαρο Καλοχώρι: Kalochor

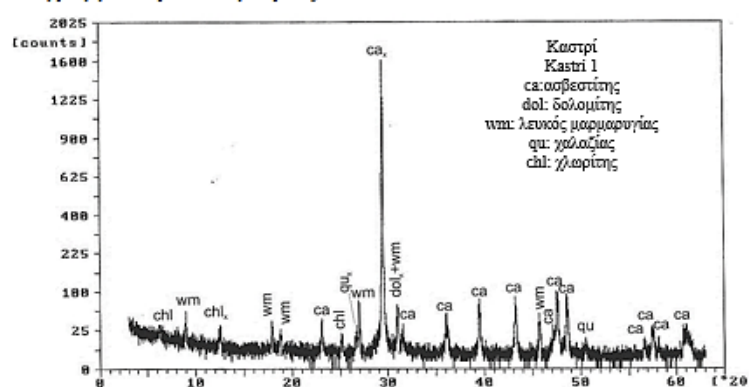
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών
89	91	92	89	3	92
88	90	92	88	4	92

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών
Qu	Wm	Chl			Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
2	5	3	81	9	90

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.32. Μάρμαρο Καστρί: Kastri 1

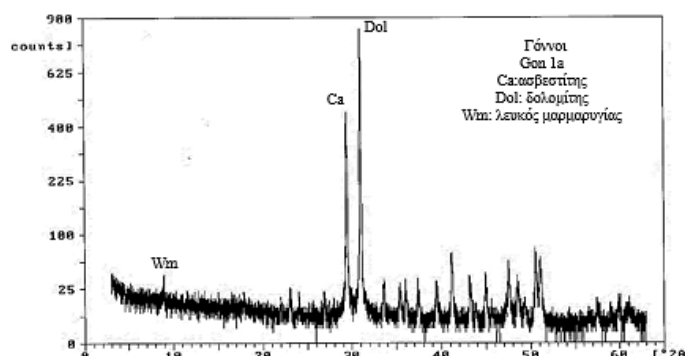
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
55	88	100	55	45	100	0
65	92	100	65	35	100	0
66	92	100	66	34	100	0

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Wm	-	-		
5	0	0	51	44

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.33. Μάρμαρο Γόννοι: Gon 1a

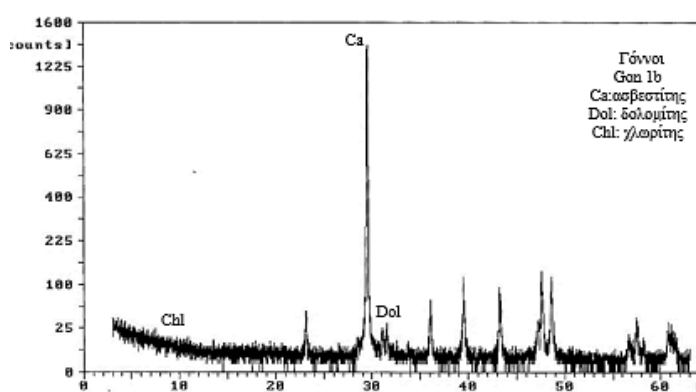
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
96	98	98	96	2	98	2
94	96	96	94	2	96	4

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Chl	-	-		
4	0	0	91	5

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X

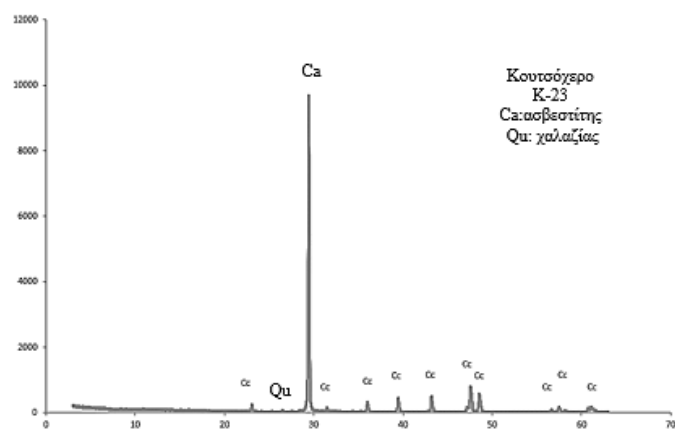


Σχήμα Π.34. Μάρμαρο Γόννοι: Gon 1b

Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεσίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
98	99	99	98	1	99	1
97	98	98	97	1	98	2

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ

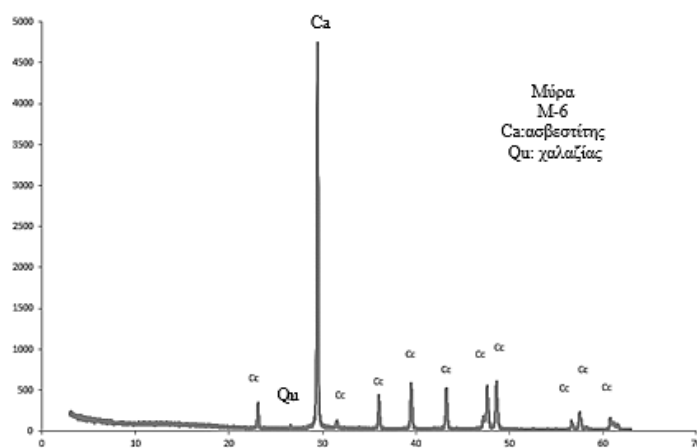


Σχήμα Π.35. Μάρμαρο Κουτσόχερο: K-23

Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεσίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
97	98	98	97	1	98	2
98	99	99	98	1	99	1

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ



Σχήμα Π.36. Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος Μύρα: M-6

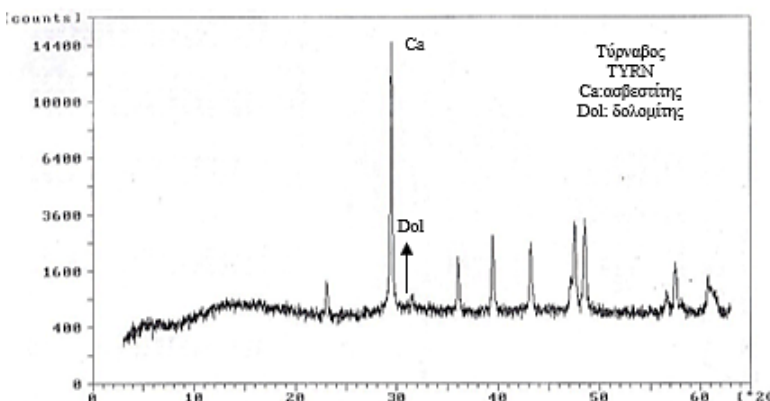
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
97	98	98	97	1	98
97	98	99	97	2	99

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
- - -	99 1	100	0

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.37. Μάρμαρο Τύρναβος: TYRN

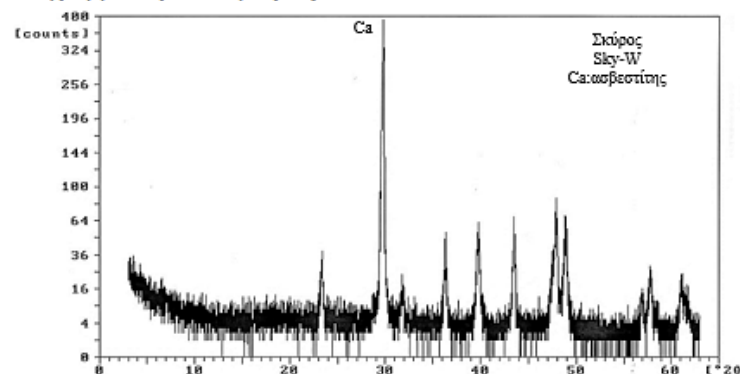
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
96	97	98	96	2	98

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά	Ασβεστίτης Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
- - -	100 0	100	0

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.38. Μάρμαρο Σκύρος Λευκό: Sky-W

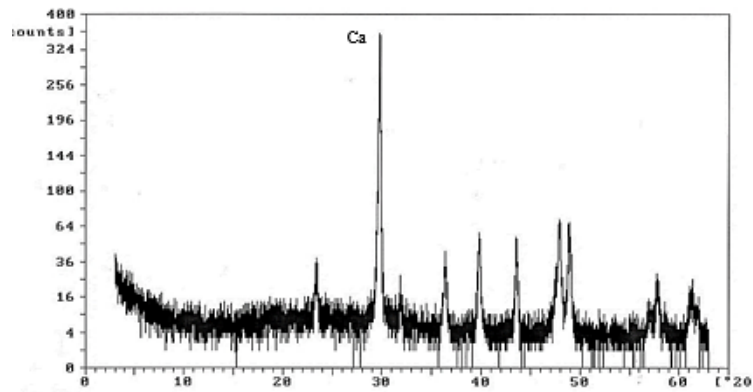
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
99	99	99	99	0	99	1
98	98	98	98	0	98	2

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
-	-	-	-	-	-	-
0	0	0	100	0	100	0

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.39. Μάρμαρο Σκύρος Κόκκινο: Sky-R

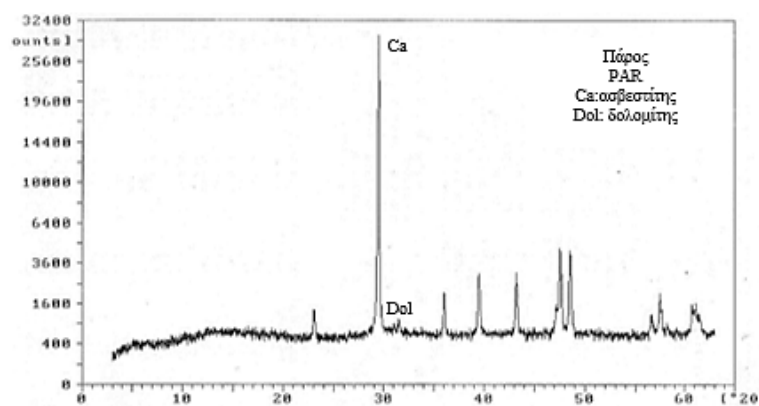
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
98	99	100	98	2	100	0
99	100	100	99	1	100	0

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
-	-	-	-	-	-	-
0	0	0	99	1	100	0

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.40. Μάρμαρο Πάρος: PAR

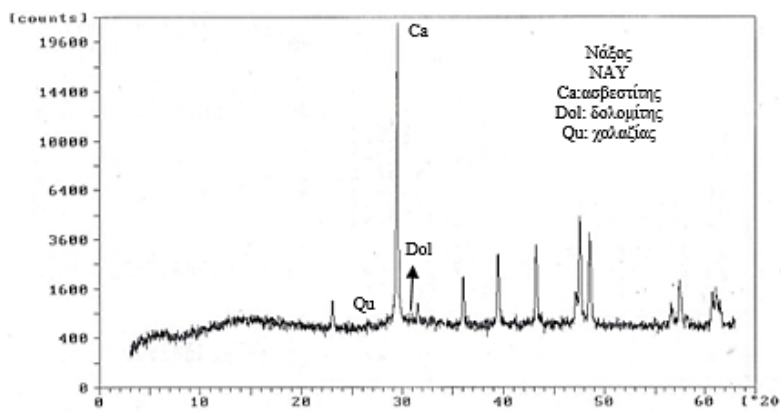
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
94	98	99	94	5	99	1

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Υπολογισμός %			
Qu	-	-	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
1	0	0	97	2	99	1

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.41. Μάρμαρο Νάξος: NAY

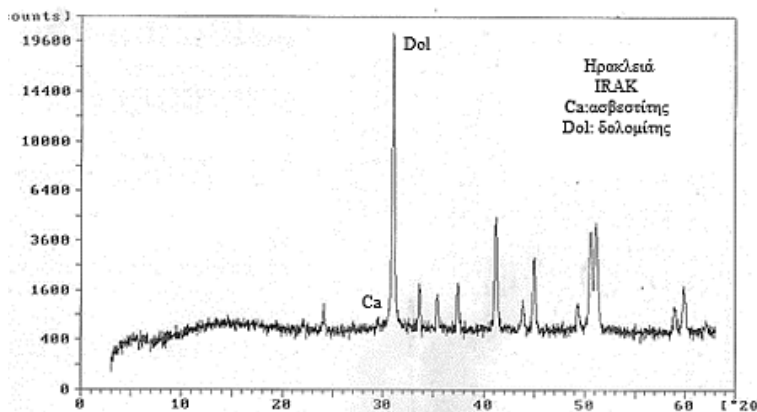
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
33	79	100	33	67	100	0
32	80	100	32	68	100	0

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Υπολογισμός %			
-	-	-	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
0	0	0	5	95	100	0

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.42. Μάρμαρο Νήσος Ηρακλεία: IRAK

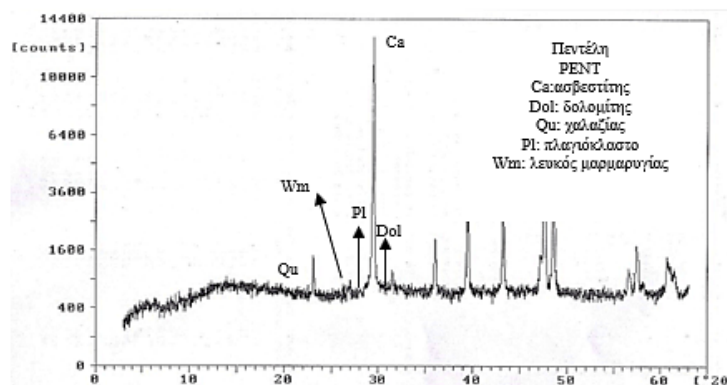
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστότης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
95	97	97	95	2	97	3
96	98	98	96	2	98	2

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Υπολογισμός %			
Pl	Qu	Wm	Ασβεστότης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
1	2	2	93	2	95	5

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.43. Μάρμαρο Πεντέλη: PENT

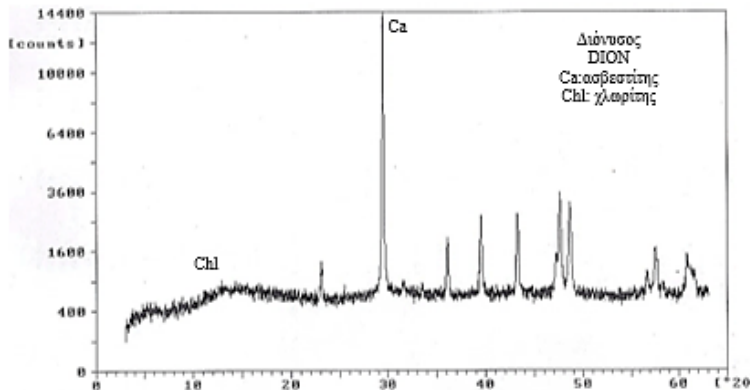
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			
1η	2η	3η	Ασβεστότης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
93	96	97	93	4	97	3
99	99	99	99	0	99	1

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Υπολογισμός %			
Chl	-	-	Ασβεστότης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
4	0	0	96	0	96	4

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.44. Μάρμαρο Διώνυσος: DION

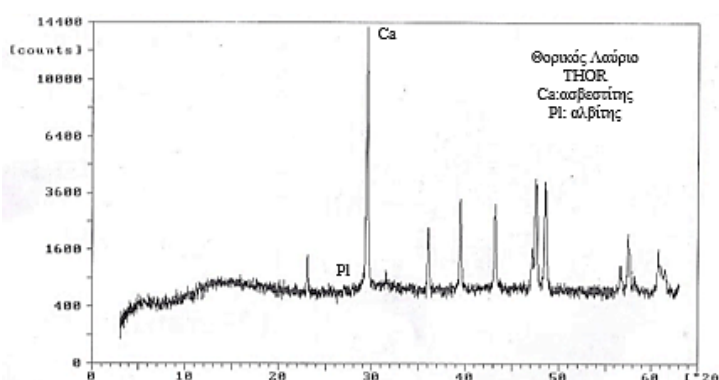
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών
98	98	99	98	1	99
98	99	99	98	1	99

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών
Pl	-	-			Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
2	0	0	98	0	98

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.45. Μάρμαρο Θορικός Λαύριο: THOR

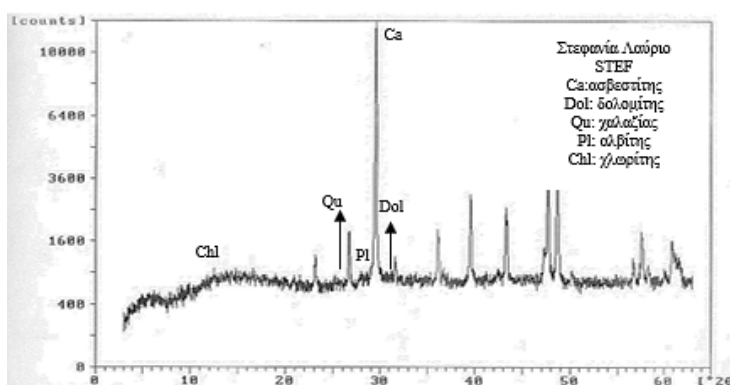
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		
1η	2η	3η	Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών
84	85	86	84	2	86
84	85	85	84	1	85

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Ασβεστίτης Δολομίτης		Σύνολο ανθρακικών
Pl	Qu	Chl			Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
2	5	7	83	3	86

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X



Σχήμα Π.46. Μάρμαρο Στεφάνι Λαύριο: STEF

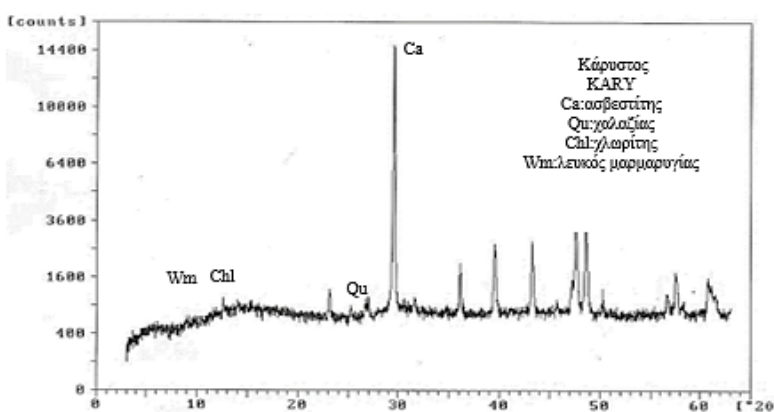
Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
1η	2η	3η	Ασβεστίτης	Δολομίτης		
88	88	88	88	0	88	12
87	88	88	87	1	88	12

XRD - Αποτελέσματα %

Μη ανθρακικά			Υπολογισμός %		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
Chl	Qu	Wm	Ασβεστίτης	Δολομίτης		
5	2	3	90	0	90	10

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X

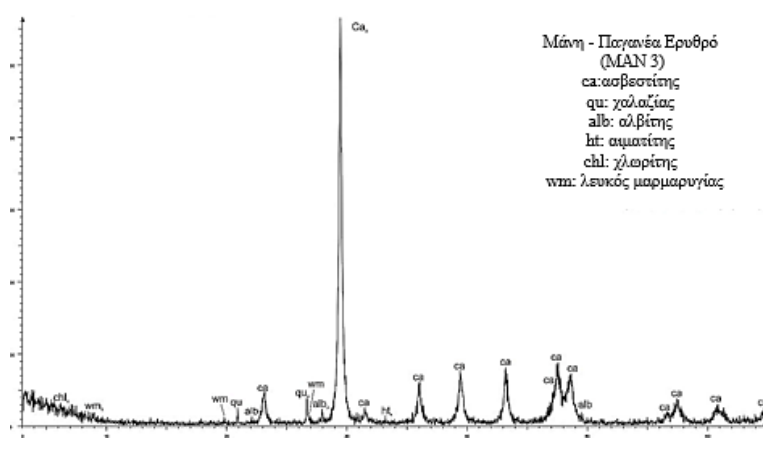


Σχήμα Π.47. Μάρμαρο (σιπολινικό) Κάρυστος: KARY

Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %		Σύνολο ανθρακικών	Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
1η	2η	3η	Ασβεστίτης	Δολομίτης		
91	93	92	91	1	92	8
91	92	93	91	2	93	7

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων X

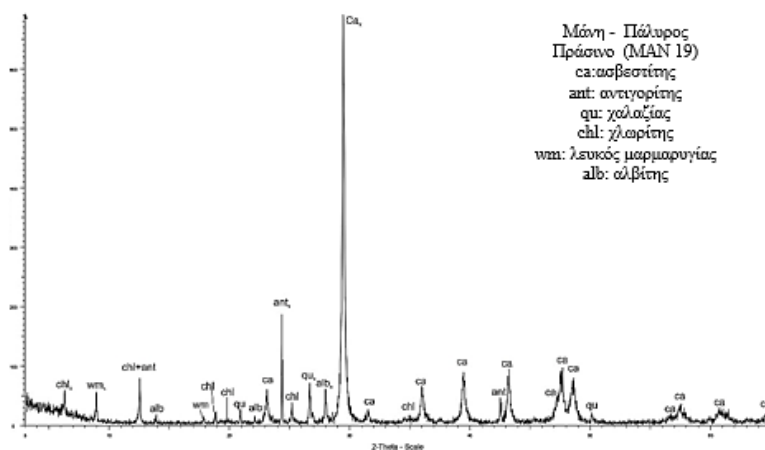


Σχήμα Π.48. Μάρμαρο Μάνη - Παγανέα Ερυθρό: MAN 3

Ασβεστόμετρο

Μετρήσεις %			Υπολογισμός %			Σύνολο μη ανθρακικών ορυκτών
1η	2η	3η	Ασβεστότης	Δολομίτης	Σύνολο ανθρακικών	
62	64	64	62	2	64	36

Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ



Σχήμα Π.55. Μάρμαρο Μάνη - Πάλυρος Πράσινο: MAN 19