



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-  
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΜΑΡΙΑ-ΣΟΦΙΑ Ι. ΜΠΥΡΟΥ

## ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΥΡΓΩΝ ΔΡΑΜΑΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2018



ΜΑΡΙΑ-ΣΟΦΙΑ Ι. ΜΠΥΡΟΥ

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ  
ΜΑΡΜΑΡΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΥΡΓΩΝ ΔΡΑΜΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας  
Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας  
6-2-2018

**Επιβλέπων Καθηγητής:** Κλεόπας Μιχαηλίδης

**Εξεταστική Επιτροπή:**

Καθηγητής Ανέστης Φιλιππίδης

Επικ. Καθηγήτρια Λαμπρινή Παπαδοπούλου

Επικ. Καθηγητής Νικόλαος Καντηράνης



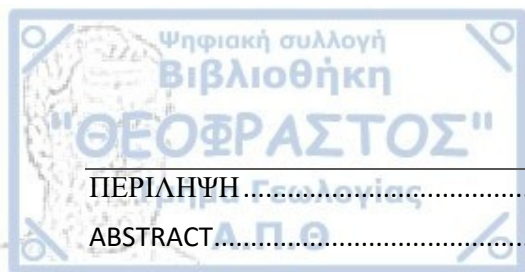
© Μαρία-Σοφία Ι. Μπύρου, Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

## ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΥΡΓΩΝ ΔΡΑΜΑΣ

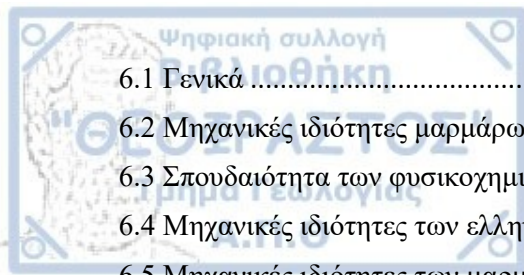
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται 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.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	viii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	ix
ΣΚΟΠΟΣ.....	xi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΤΟ ΜΑΡΜΑΡΟ.....	1
1.1 Ορισμός.....	1
1.2 Σχηματισμός του μάρμαρου.....	1
1.2.1 Ιζηματογένεση – διαγένεση.....	1
1.2.2 Μεταμόρφωση.....	2
1.3 Ορυκτολογική σύσταση μάρμαρου.....	4
1.3.1 Θεμελιώδη ορυκτά.....	4
1.3.2 Δευτερεύοντα ορυκτά στα μάρμαρα.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	9
2.1 Γεωγραφική θέση της περιοχής.....	9
2.2 Γεωτεκτονική δομή της περιοχής.....	10
2.3 Μεταμόρφωση.....	14
2.4 Μαγματική δραστηριότητα.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	16
3.1 Φυσικές ιδιότητες του μαρμάρου.....	16
3.1.1 Χρώμα.....	16
3.1.2 Κοκκομετρία.....	16
3.1.3 Ιστός – Υφή.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΛΑΤΟΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	18
4.1 Τα λατομεία της περιφερειακής ενότητας Δράμας.....	18
4.2 Εμπορικά χαρακτηριστικά μαρμάρων.....	19
4.3 Δολομιτικά μάρμαρα.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΟ – ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	22
5.1 Μακροσκοπικά χαρακτηριστικά μαρμάρων περιοχής Πύργων Δράμας.....	22
5.2 Ορυκτολογική σύσταση των μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας.....	23
5.2.1 Στοιχεία ορυκτολογικής σύστασης μαρμάρων.....	23
5.3 Μελέτη στο μικροσκόπιο.....	24
5.3.1 Διερχόμενο φως.....	25
5.4 Ορυκτοχημεία.....	34
5.4.1 Χημικές αναλύσεις ορυκτών με ηλεκτρονικό μικροαναλυτή.....	34
5.4.2 Άλλα ορυκτά.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	37



6.1 Γενικά .....	37
6.2 Μηχανικές ιδιότητες μαρμάρων .....	37
6.3 Σπουδαιότητα των φυσικοχημικών ιδιοτήτων .....	38
6.4 Μηχανικές ιδιότητες των ελληνικών μαρμάρων .....	42
6.5 Μηχανικές ιδιότητες των μαρμάρων της περιοχής Πύργων .....	43
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	44
Ελληνόγλωσση .....	44
Ξενόγλωσση .....	45
Διαδικτυακή.....	47



Η εργασία αυτή πραγματεύεται το μάρμαρο. Πιο συγκεκριμένα αναφέρεται στο λευκό μάρμαρο της περιοχής Πύργων της Δράμας.

Τα ιζηματογενή πετρώματα ασβεστόλιθος και δολομίτης, αποτελούν για το μάρμαρο μητρικά πετρώματα. Το μάρμαρο επίσης, σχηματίζεται έπειτα από τη μεταμόρφωση ιζηματογενών πετρωμάτων και τα κύρια ορυκτά του είναι ο ασβεστίτης και ο δολομίτης.

Η περιοχή Πύργων Δράμας, ανήκει στη μάζα της Ροδόπης, που είναι κυρίως ηπειρωτικής προέλευσης και εναλλάσσεται με ωκεάνιας προέλευσης πετρώματα. Η μάζα της Ροδόπης αποτελείται από την ενότητα του Σιδηρονερίου και την ενότητα του Παγγαίου. Πιο συγκεκριμένα η Δράμα ανήκει στην ενότητα του Παγγαίου και αποτελείται κυρίως από μεταμορφωμένα πετρώματα πρασινοσχιστολιθικής φάσης, μέσα στα οποία διείσδυσαν όξινα πετρώματα.

Το χρώμα των μαρμάρων στην περιοχή της Δράμας είναι κυρίως λευκό, δολομιτικής ή ασβεστιτικής σύστασης. Στην περιοχή Πύργων Δράμας, τα μάρμαρα είναι δολομιτικά.

Η μακροσκοπική και μικροσκοπική μελέτη των μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας, αποκάλυψε σε πολλά δείγματα, την παρουσία μικρού μεγέθους κόκκων αδιαφανών ορυκτών. Η μελέτη στο SEM και στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο των αδιαφανών ορυκτών, απέδειξε ότι αυτά αποτελούνται κυρίως από λειμωνίτη, ο οποίος προέρχεται από αρχικό σιδηροπυρίτη. Οι μικροαναλύσεις του δολομίτη έδειξαν πως οι μοριακές αναλογίες σε  $MgCO_3$  και  $CaCO_3$  κυμαίνονται μεταξύ 50,01-54,60% και 45,21-49,59%, αντίστοιχα. Ο ασβεστίτης περιέχει πολύ χαμηλά ποσοστά  $MgO$  (0,01-2%). Στις μικροαναλύσεις του ρουτιλίου παρατηρήθηκαν σπάνια στοιχεία όπως Nb, Ta και W.

Το τελευταίο κεφάλαιο πραγματεύεται τις μηχανικές και τις φυσικοχημικές ιδιότητες των μαρμάρων της Ελλάδος καθώς και τις μηχανικές ιδιότητες των μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας.



## ABSTRACT

---

(Byrou M-S.I. 2018. Mineralogical composition and physicochemical properties of marbles from Pirgon area of Drama. B.Sc.-thesis, Department of Mineralogy-Petrology-Economic Geology, School of Geology, Faculty of Sciences, Aristotle University of Thessaloniki, Greece).

This study presents the marble. More specifically it refers to the white marble of the Pirgon area of Drama.

The sedimentary rocks, limestone and dolomite, are source rocks for the marble. The marble also forms after the metamorphosis of sedimentary rocks and its main minerals are calcite and dolomite.

The area of Pirgon Drama, belongs to the Rhodope massive, which is mainly of continental origin and alternates with ocean origin rocks. The Rhodope massive consists of the Sideronero unit and the Pangaion unit. More specifically, Drama belongs to the Pangaion unit and consists mainly of metamorphic rocks of greenschist facies, in which acid rocks penetrated.

The color of the marbles in the area of Drama is mainly white of dolomitic or calcitic composition. In the area of Pirgon Drama the marbles are dolomitic.

The macroscopic and microscopic study of the marbles in the area of Pirgon Drama, revealed that in many samples, small grains of opaque minerals are present. The study at the SEM and at the metallographic microscope, showed that the opaque minerals consist mainly of limonite, which is originated from the original pyrite. The micro-analyses of dolomite showed that the molecular proportions of  $MgCO_3$  and  $CaCO_3$  range between 50,01-54,60% and 45,21-49,59%, respectively. The calcite contains very low percentages of MgO (0,01-2%). The micro-analyses of rutile, rare elements were observed, such as Nb, Ta and W.

The last chapter deals with the mechanical and the physicochemical properties of the marbles of Greece, as well as the mechanical properties of the marbles from the Pirgon area of Drama.



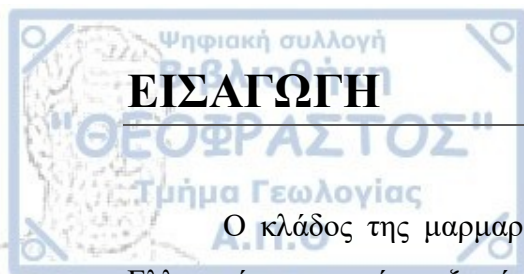
## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το μάρμαρο είναι ένας από τους πιο παραδοσιακούς τομείς της ελληνικής οικονομίας, ο οποίος χαρακτηρίζεται από έντονη εξωστρέφεια και ανταγωνιστικότητα συνεχίζοντας να ανθίζει ακόμα και τα χρόνια της κρίσης. Αυτός είναι ένας σημαντικός λόγος για να αναφερθούμε στο μάρμαρο περιγράφοντας τη σύσταση και τα χαρακτηριστικά εκείνα που το κάνουν ποιοτικό και ανταγωνιστικό στη διεθνή αγορά. Συγκεκριμένα, το μάρμαρο είναι ένα πέτρωμα το οποίο αποτελείται από ασβεστίτη ( $\text{CaCO}_3$ ) ή και από συνδυασμό των ορυκτών ασβεστίτη και δολομίτη  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  και έχει δημιουργηθεί από τη μεταμόρφωση ασβεστόλιθων, δηλαδή ιζηματογενών ανθρακικών πετρωμάτων.

Η παρούσα διπλωματική εργασία μου ανατέθηκε από τον αποχωρήσαντα καθηγητή κ. Κλεόπα Μιχαηλίδη. Θερμά ευχαριστώ τον καθηγητή κ. Κλεόπα Μιχαηλίδη για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας με τίτλο: Ορυκτολογική σύσταση και φυσικομηχανικές ιδιότητες των μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας, τη συνεχή επίβλεψή του και τις εύστοχες παρατηρήσεις του, προκειμένου να περατωθεί η εργασία.

Την διπλωματική μου εργασία αφιερώνω στην οικογένεια μου για την ηθική και οικονομική στήριξη που μου παρείχε για την περάτωσή της.





## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

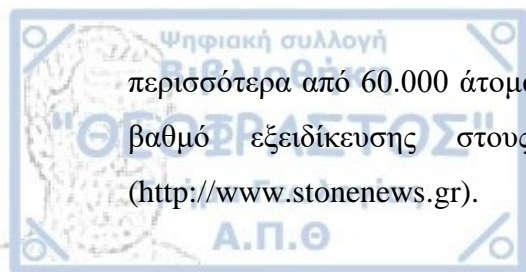
Ο κλάδος της μαρμαροβιομηχανίας είναι ένας ιδιαίτερα σημαντικός κλάδος της Ελληνικής οικονομίας, εξαιτίας της ειδικά διαμορφούμενης ποιότητας των εξορυσσόμενων και επεξεργαζόμενων προϊόντων του. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μαρμάρων αποδίδονται κυρίως στις φυσικομηχανικές ιδιότητες, οι οποίες καθορίζουν με τη σειρά τους και το είδος της χρήσης τους.

Στους ορεινούς όγκους της Ανατολικής Μακεδονίας, που δικαίως χαρακτηρίζεται ως η “Καράρα” της Ελλάδος, εντοπίζονται τα μεγαλύτερα αποθέματα λευκών και ημίλευκων μαρμάρων, όπως τα λευκά και χιονόλευκα της Θάσου, τα μάρμαρα του Φαλακρού Όρους (Βόλακα, Πηγών, Πύργων, Γρανίτη, Ξηροπόταμου, Βαθύλακκου κ.ά.) και τα οποία, εξαιτίας της εξαιρετικής ποιότητας είναι γνωστά στη διεθνή αγορά και κυρίως στην Ευρώπη, Κίνα, Αραβικές χώρες και Η.Π.Α. Η ετήσια παραγωγή των ογκομαρμάρων της Ανατολικής Μακεδονίας σήμερα ξεπερνά τα 250.000 m<sup>3</sup> (Παπατρέχας 2011).

Ο κλάδος του μαρμάρου είναι ένας κλάδος με τον οποίο ασχολούνται πολλές επιχειρήσεις σε όλη την Ελλάδα, με τις περισσότερες να βρίσκονται στις περιφερειακές ενότητες Δράμας, Καβάλας και Θάσου, όντας το σημαντικότερο κέντρο εξόρυξης, κοπής και κατεργασίας μαρμάρου στην Ελλάδα. Εδώ έχουν εγκατασταθεί και δραστηριοποιούνται πολλές από τις μεγαλύτερες επιχειρήσεις του κλάδου, ορισμένες από τις οποίες κατατάσσονται μεταξύ των μεγαλύτερων στην Ευρώπη (<http://www.stonenews.gr>).

Οι ηγέτιδες εταιρείες του κλάδου επιδεικνύουν εξωστρεφή συμπεριφορά και επιτυγχάνουν αυξημένους κύκλους εργασιών, κυρίως εξαιτίας του εξαγωγικού προσανατολισμού αλλά και επενδύσεις σε έρευνα και ανάπτυξη νέων κοιτασμάτων. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εταιρείες: Παυλίδης ΑΕ.-Μάρμαρα-Γρανίτες, "FHL - Η. Κυριακίδης-Μάρμαρα-Γρανίτες Α.Β.Ε.Ε", Ικτίνος Ελλάς ΑΕ, Μπύρος Ελληνικά Μάρμαρα (Birros SA) και ΑΕΒΕ Λατομείων Μαρμάρου Διονύσου Πεντέλης (Dionyssos marble). Αντίθετα, οι μικροί και μεσαίοι παραγωγοί που προσδοκούν στην εγχώρια κατανάλωση, επιβιώνουν με δυσκολία προσδοκώντας σε στήριξη από την πολιτεία, είτε αναστέλλουν τη λειτουργία των επιχειρήσεων τους (<http://www.capital.gr>).

Ο αριθμός των επιχειρήσεων του κλάδου μαρμάρου υπολογίζεται σε 4.000 περίπου και περιλαμβάνει μικρές, μεσαίες, αλλά και πολλές μεγάλες μονάδες που έχουν πραγματοποιήσει σημαντικές επενδύσεις και είναι από άποψη μεγέθους και εκσυγχρονισμού μεταξύ των καλύτερων της Ευρώπης. Στον κλάδο απασχολούνται



περισσότερα από 60.000 άτομα συνολικά, από τα οποία ένα αξιόλογο ποσοστό έχει υψηλό βαθμό εξειδίκευσης στους τομείς εξόρυξης, κατεργασίας και τοποθέτησης. (<http://www.stonenews.gr>).

Σύμφωνα με τα τελευταία στατιστικά στοιχεία οι εξαγωγές ακατέργαστων και επεξεργασμένων μαρμάρων συνεχίζουν την ανοδική τους πορεία σημειώνοντας το 2016 ιστορικό ρεκόρ. Αύξηση καταγράφηκε και στους προορισμούς των Ελληνικών μαρμάρων, από 107 χώρες το 2015 στις 111 το 2016, από τις οποίες ξεχώρισαν, η Κίνα, οι Η.Π.Α. και τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα. Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση των εξαγωγών, το διάστημα 2015 – 2016, στις αγορές του Μεξικό, της Ρωσίας, της Ιταλίας και του Κατάρ. Στα αρνητικά σημειώνεται η μείωση των εξαγωγών σε σημαντικές αγορές όπως η Σαουδική Αραβία, η Ινδία, η Σιγκαπούρη και η Τουρκία (<http://www.stonenews.gr>).

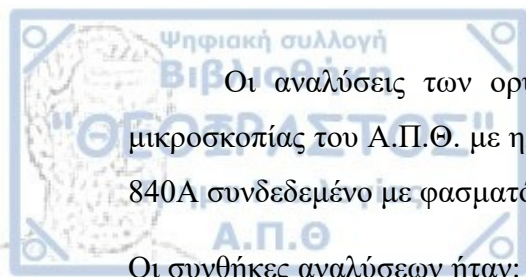
Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια προσπάθεια να παρουσιαστούν τα κυριότερα στοιχεία για τις ιδιότητες των μαρμάρων στην περιοχή Πύργων της ΠΕ Δράμας, όπως αυτά προέκυψαν από την εργαστηριακή εξέταση 10 αντιπροσωπευτικών δειγμάτων. Η παρούσα μελέτη απαρτίζεται από έξι κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στο μάρμαρο παρουσιάζοντας αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με τον ορυκτολογικό - πετρογραφικό ορισμό και τις ιδιότητες. Αναλυτικότερα στο πρώτο μέρος του κεφαλαίου αυτού περιγράφονται οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά το σχηματισμό του μαρμάρου και τα βασικά ορυκτά από τα οποία αποτελείται. Ενώ, στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου γίνεται λόγος για τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των προϊόντων αυτών, καθώς και τη σημασία στο εμπορικό κλάδο της μαρμαροβιομηχανίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η περιοχή μελέτης. Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η ενημέρωση σχετικά με τη γεωλογία και τη πετρογραφία της ΠΕ Δράμας. Στο τρίτο κεφάλαιο παραθέτονται τα φυσικά χαρακτηριστικά του μαρμάρου. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται στοιχεία για τη μαρμαρο-βιομηχανική δραστηριότητα στην υπό εξέταση ΠΕ και κυρίως για την περιοχή των Πύργων. Επιπρόσθετα γίνεται μια προσπάθεια μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης να παρουσιαστούν τα κυριότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μαρμάρων που εξορύσσονται από τη περιοχή Πύργων της ΠΕ Δράμας. Στο πέμπτο κεφάλαιο προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά των μαρμάρων της ΠΕ Πύργων Δράμας ύστερα από μελέτη στο μικροσκόπιο. Τέλος, παραθέτονται οι μηχανικές ιδιότητες των ελληνικών μαρμάρων καθώς και πιο συγκεκριμένα οι μηχανικές ιδιότητες της ΠΕ Πύργων Δράμας.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης και των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας. Στην περιοχή αυτή δραστηριοποιούνται εξορυκτικά διάφορες εταιρίες μεταξύ των οποίων και η ΜΠΥΡΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΑΡΜΑΡΑ Α.Ε , στην οποία ανήκει και το μεγαλύτερο λατομείο μαρμάρου (εικόνα 1).



**Εικόνα 1 (εξώφυλλο):** Λατομείο της εταιρείας «Μπύρος Ελληνικά Μάρμαρα» στην ΠΕ Πύργων Δράμας (αεροφωτογραφία αρχείου εταιρείας 2014)

Στο σημείο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί πως η παρούσα εργασία στηρίχθηκε κυρίως σε δείγματα που πάρθηκαν από το παραπάνω λατομείο. Η μελέτη περιλαμβάνει την κατασκευή λεπτών και στιλπνών τομών, και αναλύσεις με ηλεκτρονικό μικροαναλυτή (SEM-EDS).



Οι αναλύσεις των ορυκτών έγιναν στο διατμηματικό εργαστήριο ηλεκτρονικής μικροσκοπίας του Α.Π.Θ. με ηλεκτρονικό σαρωτικό μικροσκόπιο (SEM) τύπου JEOL JSM-840A συνδεδεμένο με φασματόμετρο ενεργειακής διασποράς OXFORD INCA.

Οι συνθήκες αναλύσεων ήταν:

- Τάση λειτουργίας 20 kV
- Ρεύμα: 0,4 mA
- Χρόνος ανάλυσης : 80 sec
- Διάμετρος δέσμης ηλεκτρονίων περίπου: 1  $\mu\text{m}$

Η απαραίτητη αγωγιμότητα των δειγμάτων επιτυγχάνεται με την εξάχνωση σε κενό ενός αγωγίμου υλικού (άνθρακα) από μία διάταξη βολταϊκού τόξου.

Η παρασκευή λεπτών-στιλπνών τομών γίνεται με σκοπό τα δείγματά μας να μελετηθούν στο πολωτικό μικροσκόπιο ή στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Η διαφορά είναι ότι στο πολωτικό μικροσκόπιο γίνεται η μελέτη των διαφανών ορυκτών με διερχόμενο φως, ενώ στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο γίνεται η μελέτη των αδιαφανών ορυκτών με ανακλώμενο φως. Για να μελετήσουμε τα δείγματα στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο χρειάζονται στιλπνές τομές. Όμως η ανάγκη ταυτόχρονης μελέτης μεταλλικών ορυκτών και μη, απαιτεί τη χρήση λεπτών-στιλπνών τομών. Για να παρασκευαστούν οι στιλπνές τομές απαιτείται :

- Προετοιμασία και εγκλωβισμός του δείγματος
- Λείανση της τομής
- Στίλβωση της τομής

Όσον αφορά στο SEM, ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σαρώσεως, είναι ένας τύπος ηλεκτρονικού μικροσκοπίου που παράγει εικόνες από ένα δείγμα, σαρώνοντας την επιφάνεια του δείγματος με μια δέσμη ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια αλληλοεπιδρούν με άτομα του δείγματος, παράγοντας ποικιλία σημάτων που περιέχουν πληροφορίες σχετικά με την επιφάνεια του δείγματος. Το SEM μπορεί να μελετήσει την επιφανειακή μορφολογία, όμως με μεγάλη λεπτομέρεια, καθώς επίσης και τη σύσταση της επιφάνειας (<http://www.wikipedia.org>).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΤΟ ΜΑΡΜΑΡΟ

## 1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Οι αρχαίοι με τη λέξη μάρμαρο εννοούσαν, έναν μεγάλο βραχώδη όγκο, ενώ μετά έδωσαν στη λέξη τη σημερινή σημασία του κρυσταλλικού ασβεστιτικού πετρώματος. Η λέξη ετοιμολογείται από την αρχαιοελληνική «μάρμαρος», δηλαδή λαμπερός λίθος (<http://www.wikipedia.gr>). Στη γεωλογία, το μάρμαρο ορίζεται ως το μεταμορφωμένο ανθρακικό πέτρωμα, που δημιουργήθηκε από ανακρυστάλλωση ιζηματογενών ανθρακικών πετρωμάτων, σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης σε μεγάλα βάθη στο στερεό φλοιό της γης (Τσιραμπίδης 1996). Επιπλέον, παρουσιάζει γρανοβλαστικό ιστό.

Το χρώμα των μαρμάρων συνήθως κυμαίνεται από λευκό έως τεφρό, ενώ σπανιότερα συναντώνται ερυθρωποί ή κιτρινωποί ή άλλου χρώματος τύποι. Τα μάρμαρα διακρίνονται σε ασβεστιτικά και δολομιτικά με βάση το μητρικό υλικό, δηλαδή το ορυκτό του οποίου η μεταμόρφωση οδήγησε στην δημιουργία του μαρμάρου. Όταν το μητρικό υλικό είναι ο ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ) το μάρμαρο ονομάζεται *ασβεστιτικό*, ενώ όταν είναι ο δολομίτης [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ], *δολομιτικό*.

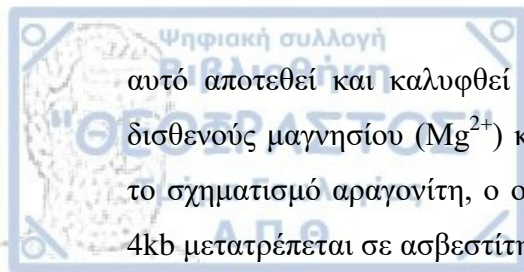
Κατά την παρατήρηση θραυσιγενούς επιφάνειας οι κρύσταλλοι του μαρμάρου ανακλούν το φως και παρουσιάζουν μαρμαρυγή. Σήμερα, στη μαρμαροβιομηχανία και το εμπόριο, *ως μάρμαρο αναφέρεται κάθε συμπαγές πέτρωμα με μεγάλη σκληρότητα, που μπορεί να κοπεί, να στιλβωθεί και να χρησιμοποιηθεί ως διακοσμητικό πέτρωμα ή δομικό υλικό*. Εκτός από τα γνήσια μάρμαρα, από εμπορική άποψη, συγκαταλέγονται στην κατηγορία αυτή και οι ασβεστόλιθοι, οι λατυποπαγείς και κροκαλοπαγείς λίθοι, οι όνυχες, οι σερπεντινίτες και οι γρανίτες και άλλα πετρώματα (Τσιραμπίδης 1996).

## 1.2 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

### 1.2.1 Ιζηματογένεση – διαγένεση

Μητρικά πετρώματα για το μάρμαρο είναι τα ιζηματογενή πετρώματα ασβεστόλιθος και δολομίτης. Το πρώτο στάδιο της δημιουργίας τους είναι η ιζηματογένεση, η διαδικασία, δηλαδή, απόθεσης μεταφερόμενων ανόργανων και οργανικών υλικών σε περιβάλλον ζεστών, ρηχών θαλάσσιων, συνήθως, υδάτων. Η απόθεση γίνεται σε στρώματα θραυσμάτων μεγέθους άμμου ή ιλύος τα οποία παρουσιάζουν χαλαρή συνοχή.

Το δεύτερο στάδιο της δημιουργίας των πετρωμάτων είναι η διαγένεση, δηλαδή το σύνολο των διαδικασιών που προκαλούν φυσικές και χημικές αλλαγές σε ένα ίζημα, αφού



αυτό αποτελεί και καλυφθεί από νεότερο ίζημα. Η παρουσία μεγάλων συγκεντρώσεων δισθενούς μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ) και οργανικού υλικού κατά τη διαγένεση ευνοεί, κατ' αρχάς, το σχηματισμό αραγονίτη, ο οποίος όμως είναι μετασταθής και σε πιέσεις μικρότερες των 4kb μετατρέπεται σε ασβεσίτη (Bathurst 1986).

Για τον σχηματισμό του δολομίτη, σύμφωνα με Bathurst (1986) έχουν διατυπωθεί πολλές θεωρίες, η επικρατέστερη από αυτές αφορά στη σταδιακή αντικατάσταση των ιόντων ασβεστίου ( $Ca^{2+}$ ) από μαγνήσιο ( $Mg^{2+}$ ) στον ήδη σχηματισμένο ασβεστόλιθο, έτσι ώστε να προκύψει υψηλή συγκέντρωση σε Mg (αναλογία  $Mg^{2+}/Ca^{2+}=6/10$ ). Η διαδικασία αυτή είναι πολύ αργή (στρώμα δολομίτη πάχους 0.1m σχηματίζεται σε 1000 χρόνια).

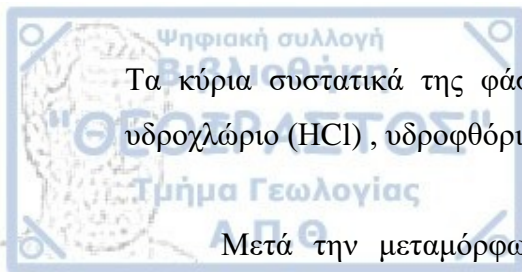
Κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης στη θέση των ιόντων ασβεστίου ( $Ca^{2+}$ ) εισέρχονται και άλλα ιόντα με παρόμοιες ιοντικές ακτίνες, όπως το μαγγάνιο ( $Mn^{2+}$ ), ο σίδηρος ( $Fe^{2+}$ ), ο τρισθενής σίδηρος ( $Fe^{3+}$ ) και το στρόντιο ( $Sr^{2+}$ ). Η περιεκτικότητα του ιζηματογενούς πετρώματος σε δισθενές μαγγάνιο ( $Mn^{2+}$ ) και η αναλογία στρόντιου/ασβεστίου ( $Sr^{2+}/Ca^{2+}$ ) είναι χαρακτηριστική των συνθηκών εναπόθεσης. Το ίδιο συμβαίνει και με τους λόγους των ισοτόπων  $^{18}O/^{16}O$  και  $^{13}C/^{12}C$ , που είναι χαρακτηριστικοί του διαλύματος από το οποίο δημιουργήθηκε το ίζημα. Μάλιστα οι λόγοι των συγκεντρώσεων των στοιχείων αυτών έχουν χρησιμοποιηθεί ως παράμετροι σε τεχνικές προσδιορισμού της προέλευσης μαρμάρων σε αρχαιολογικά ευρήματα (Bathurst 1986).

Κατά τη διάρκεια της διαγένεσης και της ανακρυστάλλωσης των ορυκτών τα οργανικά υλικά αποσυντίθενται απελευθερώνοντας υδρόθειο ( $H_2S$ ). Τα υπολείμματά του εγκλωβίζονται στο πέτρωμα. Σε αυτά οφείλεται η χαρακτηριστική συχνά ασφαλτώδης οσμή κατά τη θραύση των ανθρακικών πετρωμάτων.

### 1.2.2 Μεταμόρφωση

Τα μάρμαρα οφείλουν το σχηματισμό τους στη μεταμόρφωση ιζηματογενών πετρωμάτων. Μεταμόρφωση καλείται η διαδικασία που λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό της γης, σε επίπεδο κατώτερο από αυτό της διαγένεσης και οδηγεί, χωρίς τήξη, σε ορυκτολογική και δομική αλλαγή ενός πετρώματος. Το μάρμαρο, ως μεταμορφωμένο πέτρωμα, σχηματίζεται κατά τη διαδικασία της ορογένεσης. Κατά τις ανακατατάξεις του στερεού φλοιού της Γης αναπτύσσονται εφαπτομενικές τάσεις που εκφράζονται μέσα από τρεις παράγοντες:

- α. την υψηλή θερμοκρασία,
- β. τις μεγάλες λιθοστατικές πιέσεις και
- γ. μία υγρή ή αέρια φάση, που δρα ως διαλύτης και καταλύτης.



Τα κύρια συστατικά της φάσης αυτής είναι: υδρατμοί, διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), υδροχλώριο ( $\text{HCl}$ ), υδροφθόριο ( $\text{HF}$ ), οξυγόνο ( $\text{O}_2$ ), χλώριο ( $\text{Cl}_2$ ), βρώμιο ( $\text{Br}_2$ ) κ.ά.

Μετά την μεταμόρφωση και την ανακρυστάλλωση του μαρμάρου, η χημική σύσταση και η κρυσταλλική δομή του ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ) δεν διαφέρει από το μητρικό πέτρωμα. Η μεταβολή αφορά μόνο στο μέγεθος των κρυστάλλων και τον τρόπο σύνδεσής τους, δηλαδή τον ιστό. Οι κρύσταλλοι στο μάρμαρο γίνονται μεγαλύτεροι αλλά η ανάπτυξη τους κατά τη διεύθυνση των εδρών είναι περιορισμένη, καθώς συγκρυσταλλώνονται ανταγωνιζόμενοι μεταξύ τους για περισσότερο χώρο. Παράλληλα συμβαίνει και μεταβολή στην συγκέντρωση κυρίως δευτερευόντων ορυκτών και οργανικών ενώσεων.

Τα μάρμαρα χαρακτηρίζονται ως πολύ χαμηλού, χαμηλού, μέσου ή υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης, ανάλογα με τη θερμοκρασία και την πίεση στο υψηλότερο στάδιο μεταμόρφωσης. Ο βαθμός μεταμόρφωσης προσδιορίζεται από την παρουσία συγκεκριμένων ορυκτών σε κάθε μάρμαρο. Τα ορυκτά αυτά, που ονομάζονται δείκτες, παρουσιάζουν διαφορετική αντοχή κατά την μεταμόρφωση και υποδεικνύουν το βαθμό μεταμόρφωσης (Blackburn and Dennen 1990). Στα ασβεστίτικα μεταμορφωμένα πετρώματα τα ορυκτά αυτά δείκτες είναι τα παρακάτω ξεκινώντας από το ορυκτό που υποδηλώνει χαμηλότερο βαθμό μεταμόρφωσης και τέλος τον υψηλότερο: δολομίτης – τρεμολίτης – διοψίδιος – βολλαστονίτης.

Την κύρια μεταμόρφωση ακολουθούν συχνά διεργασίες που συνεχίζουν να μεταβάλλουν, άλλοτε τον ιστό και άλλοτε τη χημική σύσταση του πετρώματος όπως είναι η μυλονιτίωση και η κατακλαστική μεταμόρφωση. Τα δύο αυτά φαινόμενα παραμορφώνουν το μάρμαρο είτε δημιουργώντας ρωγμές είτε ελαττώνοντας το μέγεθος των κρυστάλλων του. Όλα αυτά συμβαίνουν σε βαθύτερα σημεία του φλοιού της Γης. Μετά από τεκτονικές διεργασίες τέτοια μάρμαρα μπορούν να ανέλθουν στην επιφάνεια της Γης, όπου υπόκεινται σε επιφανειακή διάβρωση.

### 1.3 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

#### 1.3.1 Θεμελιώδη ορυκτά

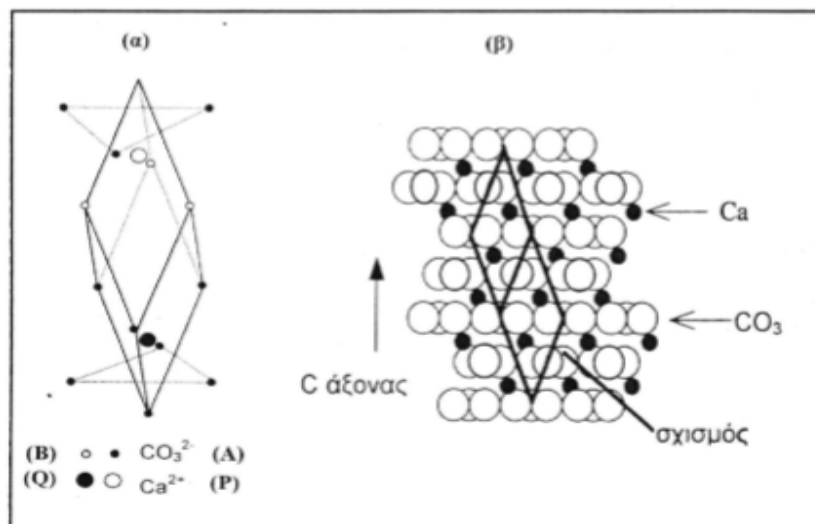
##### 1.3.1α. Ασβεστίτης

#### β Σύσταση

Ο ασβεστίτης είναι η μόνη σταθερή δομή του ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ) στη φύση, σε θερμοκρασία δωματίου και ατμοσφαιρική πίεση. Ο αραγονίτης και ο βατερίτης είναι οι άλλες δύο μορφές του ανθρακικού ασβεστίου που όμως είναι μετασταθείς (Chang et al. 1996). Ο αραγονίτης σταθεροποιείται σε πιέσεις πάνω από 4kb. Με θέρμανση στους  $400^\circ\text{C}$  ή με κονιοποίηση σε μηχανικό γουδί μετασχηματίζεται σε ασβεστίτη.

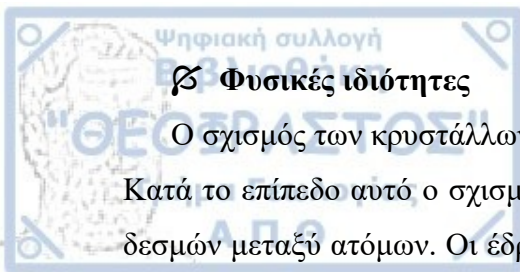
#### β Κρυσταλλική Δομή

Ο ασβεστίτης κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα (Chang et al. 1996). Η στοιχειώδης κυψελίδα του είναι ρομβόεδρο πλευράς  $a=6.42\text{\AA}$ , γωνίας  $\alpha=46^\circ 08'$  και αντιστοιχεί σε δύο μόρια ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ). Η επανάληψη της κυψελίδας στο χώρο δημιουργεί μια δομή που αποτελείται από αλληπάλληλες στοιβάδες ιόντων  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{CO}_3^{2-}$ . Κάθε ιόν  $\text{Ca}^{2+}$  βρίσκεται στο κέντρο οκταέδρου που στις κορυφές του βρίσκονται οξυγόνα από διαφορετικές ανθρακικές ρίζες  $\text{CO}_3^{2-}$ . Στην πραγματικότητα η ρομβοεδρική κυψελίδα του ασβεστίτη περιέχει 32  $\text{CaCO}_3$  και έχει  $a$  2 x 6,42 $\text{\AA}$  και  $\alpha$  101,92° (Σχήμα 1).



**Σχήμα 1:** Η μοναδιαία κυψελίδα του ασβεστίτη. β: Διάταξη των ιόντων του πλέγματος  $\text{CaCO}_3$  στο χώρο. Δηλώνεται η μοναδιαία κυψελίδα και η διεύθυνση σχιστότητας (Barnett et al. 1985).





### β Φυσικές ιδιότητες

Ο σχισμός των κρυστάλλων του ασβεστίτη γίνεται κατά μήκος της στενής πλευράς τους. Κατά το επίπεδο αυτό ο σχισμός είναι ευκολότερος, καθώς διασπάται ο ελάχιστος αριθμός δεσμών μεταξύ ατόμων. Οι έδρες που σχηματίζονται με αυτόν τον τρόπο έχουν και σχισμό, είναι ρόμβοι γωνίας  $101^{\circ}55'$  και είναι χαρακτηριστικές κατά την παρατήρηση θραυσιγενούς επιφάνειας ασβεστίτη στο μικροσκόπιο. Οι κρύσταλλοι του ασβεστίτη είναι άχρωμοι ή λευκοί. Η πυκνότητά τους είναι  $2,71\text{g/cm}^3$  και η σκληρότητά τους είναι 3 στην κλίμακα Mohs. Άλλες φυσικές ιδιότητες του ασβεστίτη δίνονται στον Πίνακα 1.

### β Χημικές Ιδιότητες

Η αντικατάσταση ιόντων ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) στο πλέγμα του ανθρακικού ασβεστίου με ιόντα άλλων στοιχείων είναι συνηθισμένη. Έτσι συχνά τα ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$  αντικαθίστανται από ιόντα παραπλήσιας ιοντικής ακτίνας όπως το μαγγάνιο II ( $\text{Mn}^{2+}$ ), το δισθενές μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{2+}$ ), ο τρισθενής σίδηρος ( $\text{Fe}^{3+}$ ), ο δισθενής σίδηρος II ( $\text{Fe}^{2+}$ ), το δισθενές στρόντιο ( $\text{Sr}^{2+}$ ), το δισθενές ευρώπιο ( $\text{Eu}^{2+}$ ) και το τρισθενές δημήτριο ( $\text{Ce}^{3+}$ ). Οι κυριότερες χημικές ιδιότητες του ασβεστίτη δίνονται στον Πίνακα 1.

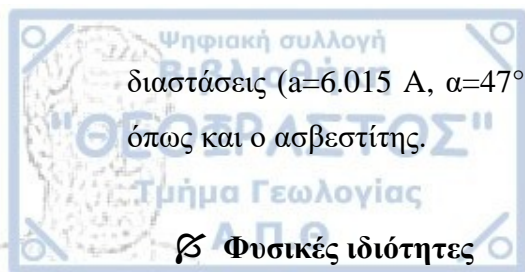
#### 1.3.1.β. Δολομίτης

### β Σύσταση

Είναι ανθρακικό ορυκτό του ασβεστίου και του μαγνησίου. Είναι από τα βασικότερα μη πυριτικά πετρογενετικά ορυκτά. Για το σχηματισμό του  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  στη φύση όπως ήδη αναφέρθηκε, δεν υπάρχει κάποια ευρέως αποδεκτή θεωρία. Στο δολομίτη συνυπάρχουν και τα δύο ακραία μέλη, ο ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ) και ο μαγνησίτης ( $\text{MgCO}_3$ ), με κυμαινόμενες αναλογίες. Η αναλογία ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) προς μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{2+}$ ) κυμαίνεται μεταξύ 58:42. Η συνηθέστερη τιμή της όμως είναι 1:1 (Chang et al. 1996).

### β Κρυσταλλική Δομή

Ο δολομίτης κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα όπως και ο ασβεστίτης. Η μόνη διαφορά της στοιχειώδους κυψελίδας του δολομίτη από αυτή του ασβεστίτη, είναι η αντικατάσταση ιόντων ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) με ιόντα μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ) τα οποία έχουν μικρότερη ιοντική ακτίνα. Για αυτό και το ρομβόεδρο του δολομίτη έχει διαφορετικές



διαστάσεις ( $a=6.015 \text{ \AA}$ ,  $\alpha=47^\circ 07'$ ) (Phillips and Griffen 1981). Έχει επίσης τέλειο σχισμό όπως και ο ασβεστίτης.

### β Φυσικές ιδιότητες

Οι έδρες που έχουν σχισμό στο δολομίτη είναι ρόμβοι γωνίας  $104^\circ$  γι' αυτό και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως χαρακτηριστικό διάκρισης μεταξύ των δύο ορυκτών. Οι φυσικές ιδιότητες του δολομίτη δίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 1.

**Πίνακας 1:** Φυσικές και χημικές ιδιότητες των κρυστάλλων ασβεστίτη και δολομίτη (Blackburn and Dennen 1990)

Ιδιότητες	Κρύσταλλος ασβεστίτη	Κρύσταλλος δολομίτη
<b>Σύνθεση</b>	Ανθρακικό ασβέστιο $\text{CaCO}_3$ CaO 56%      CO <sub>2</sub> 44%	Ανθρακικό ασβέστιο-μαγνήσιο $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ CaO 30,4% MgO 21,7% CO <sub>2</sub> 49,7%
<b>Κρυσταλλική δομή</b>		
<b>Κρυσταλλικό σύστημα</b>	Τριγωνικό $a=6,42 \text{ \AA}$ $\alpha=46^\circ 8'$	Τριγωνικό $a=6,015 \text{ \AA}$ $\alpha=47^\circ 07'$
<b>Ομάδα συμμετρίας</b>	3 2/m	3
<b>Μορφή κρυστάλλων</b>	Πρίσματα, ρομβόεδρα και σκαληνόεδρα	Ρομβόεδρα και πρίσματα
<b>Επίπεδα διδυμίας</b>	{0112} , {0001}	{0221}, {0001}
<b>Φυσικές ιδιότητες</b>		
<b>Τέλειος σχισμός</b>	{1011}	{1011}
<b>Σκληρότητα (Mohs)</b>	3	3 – 4,5
<b>Πυκνότητα</b>	2,71 g/cm <sup>3</sup>	2,86 g/cm <sup>3</sup>
<b>Διαφάνεια</b>	Διαφανής	Ημιδιαφανής
<b>Δείκτες διάθλασης</b>	$\omega=1,658$ $\epsilon=1,486$	$\omega=1,679$ $\epsilon=1,500$
<b>Χρώμα</b>	Άχρωμο ή λευκό	Άχρωμο ή λευκό
<b>Χημικές ιδιότητες</b>		
<b>Θερμική Διάσπαση</b>	Σε 760mmHg και 895°C Σε 0,41mmHg και 550°C : $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	Σε δύο στάδια: a) $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \rightarrow$ $\text{CaCO}_3 + \text{MgO} + \text{CO}_2$ (800°C) b) $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ (800 - 850°C)

Διαλυτότητα (H <sub>2</sub> O)	15mg/l	320mg/l
Αντίδραση με αραιά, ψυχρά διαλύματα οξέων	Αναβράζει εκλύοντας CO <sub>2</sub> : CaCO <sub>3</sub> + HCl → CaCl <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub>	Δεν αντιδρά

### ✂ Χημικές ιδιότητες

Τα ιόντα δισθενούς μαγνησίου (Mg<sup>2+</sup>) στο δολομίτη αντικαθίστανται κυρίως από ιόντα δισθενούς σιδήρου (Fe<sup>2+</sup>), τρισθενούς σιδήρου (Fe<sup>3+</sup>), μαγγανίου (Mn<sup>2+</sup>), δισθενούς ψευδαργύρου (Zn<sup>2+</sup>) και δισθενούς κοβαλτίου (Co<sup>2+</sup>). Τα ιόντα ασβεστίου (Ca<sup>2+</sup>) αντικαθίστανται από ιόντα μαγγανίου (Mn<sup>2+</sup>), τρισθενούς σιδήρου (Fe<sup>3+</sup>), δισθενούς βαρίου (Ba<sup>2+</sup>) και δισθενούς μόλυβδου (Pb<sup>2+</sup>). Άλλες χημικές ιδιότητες του δολομίτη δίνονται στον Πίνακα 1.

### ✂ Διάκριση δολομίτη - ασβεστίτη

Οι βασικές διαφορές του δολομίτη από τον ασβεστίτη είναι:

- ✂ Ο δολομίτης έχει μεγαλύτερη πυκνότητα και μεγαλύτερους δείκτες διάθλασης από τον ασβεστίτη (Πίνακας 1).
- ✂ Δεν αντιδρά με ψυχρά διαλύματα οξέων, όπως ο ασβεστίτης,
- ✂ Δεν αλλάζει χρώμα μετά από βρασμό με νιτρικό χαλκό για 5 λεπτά, ενώ ο ασβεστίτης χρωματίζεται κυανός.
- ✂ Διατηρεί το χρώμα του σε διάλυμα 0,1% αλιζαρίνης-S σε διάλυμα 15N υδροχλωρικού οξέως (HCl), ενώ ο ασβεστίτης γίνεται ιώδης.

### 1.3.2 Δευτερεύοντα ορυκτά στα μάρμαρα

Το είδος και η ποσότητα των δευτερευόντων ορυκτών εξαρτάται από το μητρικό ιζηματογενές πέτρωμα και τις συνθήκες μεταμόρφωσης του μαρμάρου. Τα συνηθέστερα στο μάρμαρο δευτερεύοντα ορυκτά είναι:

- Χαλαζίας. Ο χαλαζίας έχει μεγαλύτερη σκληρότητα από τον ασβεστίτη και το δολομίτη γι' αυτό και η παρουσία του δημιουργεί προβλήματα στην κοπή και την επεξεργασία του μαρμάρου.
- Αλκαλιούχοι άστριοι και πλαγιόκλαστα



- Φυλλόμορφα πυριτικά: Τα ορυκτά αυτά αυξάνουν τη σχιστότητα του μαρμάρου εξαιτίας της διάταξης τους κατά στρώματα και είναι:

- 1) Μοσχοβίτης ή σερικήτης ή φλογοπίτης
- 2) Σερπεντίνης
- 3) Τάλκης
- 4) Χλωρίτης

- Ινόμορφα πυριτικά:

- 1) Διοψίδιος
- 2) Τρεμολίτης
- 3) Βολλαστονίτης

- Σωρόμορφα πυριτικά: Βεζουβιανίτης

- Νησόμορφα πυριτικά: Ολιβίνης

- Οξειδία-υδροξειδία και αυτοφυή στοιχεία: Τα οξειδία του σιδήρου, ο αιματίτης, ο μαγνητίτης, ο γκαιτίτης, ο γραφίτης κ.ά. δημιουργούν αποχρώσεις ή και εντονότερα χρώματα στο μάρμαρο, ανάλογα με τη συγκέντρωσή τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

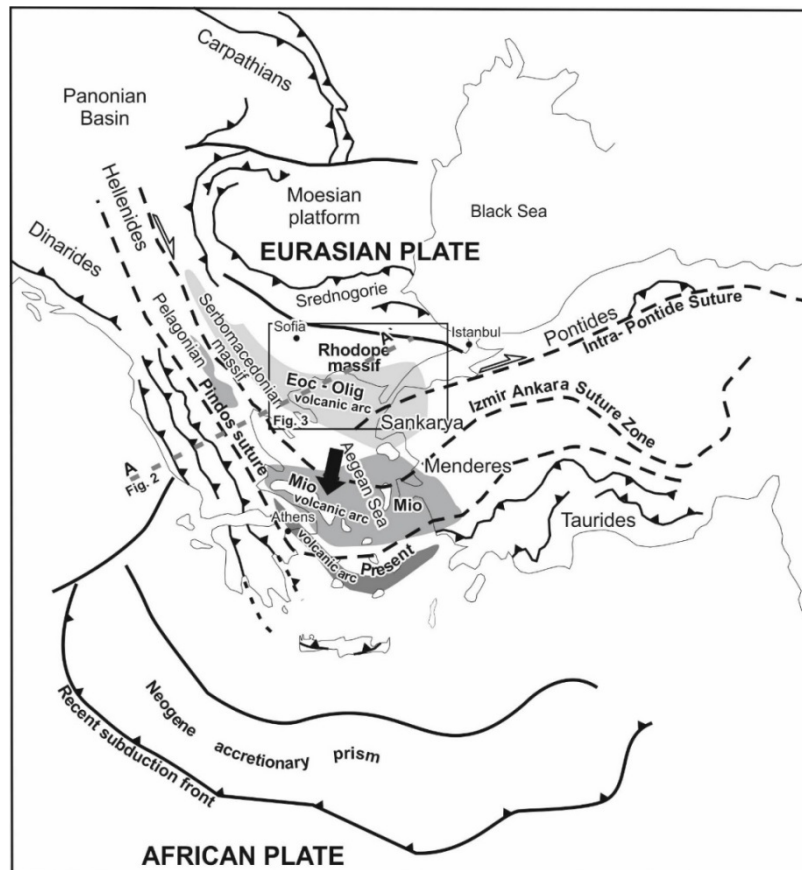
Ο Περιφερειακή Ενότητα Δράμας εντάσσεται στην Περιφέρεια της Ανατολικής Μακεδονίας – Θράκης με έκταση που ανέρχεται στα 3.468 km<sup>2</sup> . Η πεδιάδα της Δράμας περιβάλλεται από βόρεια – ανατολικά από το ορεινό συγκρότημα του Φαλακρού Όρους, δυτικά από το Μενοίκιο Όρος και νότια από το Παγγαίο Όρος. Το Φαλακρό αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες και σημαντικότερες μαρμαροφόρες περιοχές της Ελλάδος.



Εικόνα 2: Γεωγραφικός χάρτης της Ελλάδας, στον οποίο φαίνεται η θέση της ΠΕ Δράμας (<http://www.1dimagdim.blogspot.com> 2011)

## 2.2 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

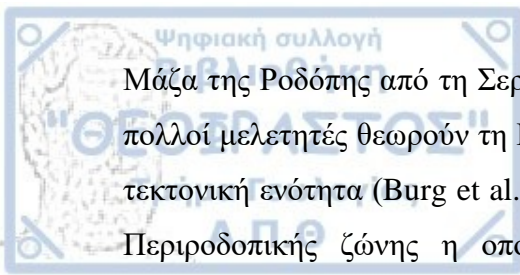
Η περιοχή από γεωτεκτονική άποψη ανήκει στην κρυσταλλοσχιστώδη μάζα της Ροδόπης. Αυτή τοποθετείται μεταξύ της ζώνης των Βαλκανίων βόρεια και της ζώνης των Διναρίδων-Ελληνίδων προς τα νοτιοδυτικά και καταλαμβάνει μεγάλη έκταση της βόρειας Ελλάδας και της νότιας Βουλγαρίας (Σχήματα 2, 3 και 4). Ένα μικρό κομμάτι της Μάζας της Ροδόπης εμφανίζεται και στη βόρειο-ανατολική Τουρκία.



**Σχήμα 2:** Η θέση της Μάζας της Ροδόπης (Kilias et al. 2011)

Η Μάζα της Ροδόπης αποτελείται κυρίως από ηπειρωτικής προέλευσης πετρώματα που εναλλάσσονται με ωκεάνιας προέλευσης πετρώματα και αντιπροσωπεύει το νοτιότερο μέρος του τεκτονικού καλύμματος νότιο-δυτικής φοράς που δημιουργήθηκε κατά την σύγκλιση μεταξύ της Ευρώπης και της Αφρικής που λάμβανε χώρα από το Ιουρασικό έως το Νεογενές (Ricou et al. 1998, Barr et al. 1999).

Προς το Βορρά το όριο της Μάζας της Ροδόπης (Σχήμα 2) ορίζεται από το ρήγμα της Μαρίτσα, δυτικής-νοτιοδυτικής παράταξης, στη νότια Βουλγαρία, το οποίο αποτελεί μια σειρά υπο-παράλληλων δεξιόστροφων ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης. Προς τη Δύση η Τριτογενής ζώνη εφελκυστικής αποκόλλησης του Στρυμόνα (detachment) διαχωρίζει την

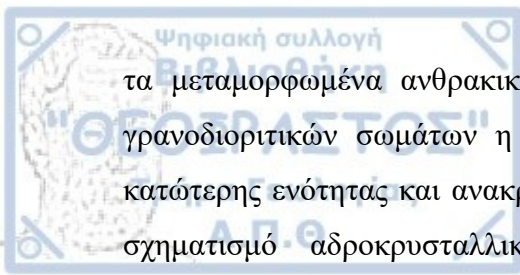


Μάζα της Ροδόπης από τη Σερβομακεδονική Μάζα (Lips et al. 2000). Τα τελευταία χρόνια πολλοί μελετητές θεωρούν τη Μάζα της Ροδόπης και τη Σερβομακεδονική Μάζα μια ενιαία τεκτονική ενότητα (Burg et al., 1996). Προς τα δυτικά η Μάζα της Ροδόπης υπέρκειται της Περιοδοπικής ζώνης η οποία αποτελείται κυρίως από μεταμορφωμένα πετρώματα πρασινοσχιστολιθικής φάσης (Kauffmann et al. 1976, Kockel et al. 1976, Meinhold et al. 2010).

Πολλοί είναι οι μελετητές οι οποίοι χρησιμοποιώντας διαφορετικά κριτήρια έχουν προτείνει διαφορετικές υποδιαιρέσεις της Μάζας της Ροδόπης σε ενότητες (Mroskos 1989, Kiliias & Mountrakis 1990). Οι υποδιαιρέσεις βασίστηκαν άλλοτε σε τεκτονικά κριτήρια (Burg et al. 1996) άλλοτε στους βαθμούς μεταμόρφωσης των πετρωμάτων (Krohe & Mroskos 2002) και άλλοτε σε γεωχρονολογικά δεδομένα (Turpaud 2006, Turpaud and Reischmann 2010). Σε μία πιο απλή εικόνα όμως δύο είναι οι βασικές τεκτονικές ενότητες οι οποίες μπορούν να ξεχωρίσουν στην Μάζα της Ροδόπης. Αυτές αποτελούνται από ορθο- και παρα-γενεσίους, μαρμαρυγικούς σχιστολίθους, μάρμαρα, ασβεστοπυριτικά πετρώματα, αμφιβολίτες και εκλογίτες (Turpaud 2006, Cornelius 2008).

Για την ελληνική Μάζα της Ροδόπης η πιο κοινή υποδιαίρεση που χρησιμοποιείται είναι αυτή των Papanikolaou and Panagopoulos (1981), με μια ανώτερη τεκτονική ενότητα γνωστή και ως **ενότητα Σιδηρονέρου** και μια κατώτερη τεκτονική ενότητα γνωστή και ως **ενότητα Παγγαίου**. Αυτές χωρίζονται από μια ρηξιγενή ζώνη NNA-BBD παράταξης και βορειοανατολικής βύθισης, δηλαδή το ανάστροφο ρήγμα του Νέστου (Nestos thrust). Οι Turpaud (2006) και Turpaud and Reischmann (2010) διαχώρισαν δύο ηπειρωτικές ενότητες για την κεντρική ελληνική Μάζα της Ροδόπης με βάση τις ηλικίες διείσδυσης των αρχικά μαγματικών και των μετέπειτα μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Η πρώτη ονομάζεται ηπειρωτικό τέμαχος της Θράκης (Thracian terrane) στο οποίο βρέθηκαν Περμο-Λιθανθρακοφόρες ηλικίες διείσδυσης και η δεύτερη ηπειρωτικό τέμαχος της Ροδόπης που περιλαμβάνει ένα Άνω-Ιουρασικό μαγματικό σύμπλεγμα. Τα δύο ηπειρωτικά αυτά τεμάχη αντιστοιχούν στην κατώτερη και ανώτερη τεκτονική ενότητα των Papanikolaou & Panagopoulos (1981) και χωρίζονται από τη ρηξιγενή ζώνη του Νέστου η οποία πρόσφατα ερμηνεύθηκε ως ζώνη ωκεάνιας συρραφής (Nestos Suture Zone of Turpaud 2006). Η ωκεάνια συρραφή του Νέστου είναι μια ζώνη με έντονα τεκτονισμένο mélange μεταξύ δύο μεταμορφωμένων ηπειρωτικών τεμαχών και περιλαμβάνει υψηλής πίεσης και πολύ υψηλής πίεσης μεταμορφωμένα πετρώματα. Η διαίρεση αυτή της Ροδόπης υποστηρίχθηκε και από τους Liati et al. (2011).

Η κεντρική Ροδοπική μάζα, περιλαμβάνει μία κατώτερη ομάδα σχηματισμών στην οποία κυριαρχούν οι γενέσιοι-σχιστόλιθοι και μία ανώτερη ομάδα σχηματισμών στην οποία



τα μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα. Ακόμη υπάρχει μία διείσδυση γρανιτικών-γρανοδιοριτικών σωμάτων η οποία προκαλεί μία μιγματιώση των σχηματισμών της κατώτερης ενότητας και ανακρυστάλλωση των σχηματισμών της ανθρακικής ενότητας, με σχηματισμό αδροκρυσταλλικών μαρμάρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η βορειοανατολική Θάσος.

Η δυτική Ροδοπική μάζα αποτελείται από την κατώτερη τεκτονική ενότητα (ενότητα Παγγαίου) με πετρώματα χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης (πρασινοςχιστολιθική φάση) και την ανώτερη τεκτονική ενότητα με μεταμορφωμένα πετρώματα. Τα μεταμορφωμένα αυτά πετρώματα μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις ορίζοντες από κατώτερα σε ανώτερα ως εξής (Βουγιούκας και Χατζηπαναγής 2009):

- ✓ Οι γενεύσιοι του υποβάθρου
- ✓ Η σειρά των μαρμάρων
- ✓ Μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι και τέλος
- ✓ Η σειρά των σχιστολίθων και των μαρμάρων

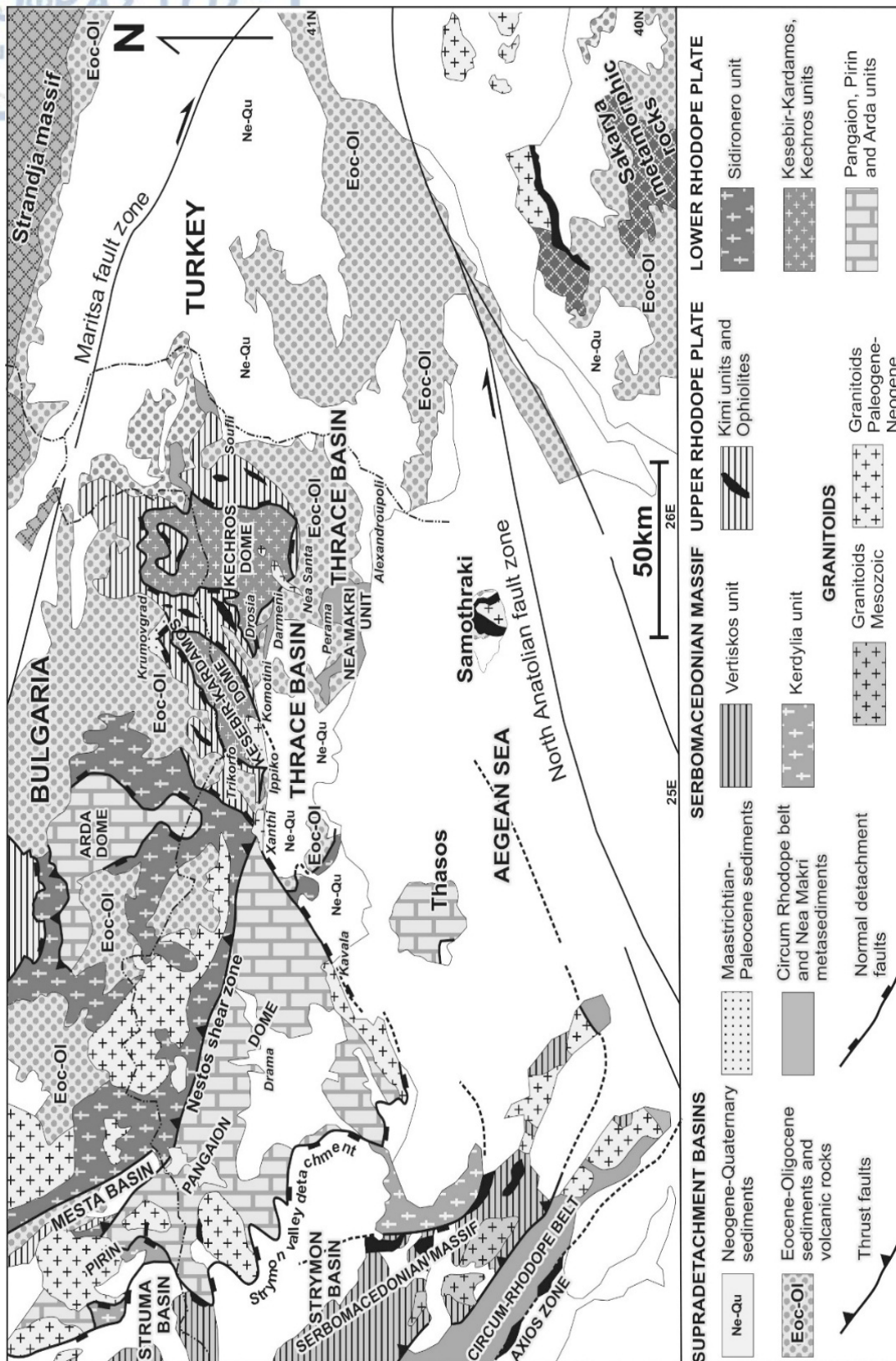
Τεκτονικές και πετρολογικές μελέτες έχουν δείξει ότι η ελληνική μάζα της Ροδόπης υπέστη πολυφασική παραμόρφωση μέχρι και σε συνθήκες υψηλής πίεσης (Bauer et al. 2007) και τοπικά στην κεντρική και ανατολική Μάζα της Ροδόπης έως και πολύ υψηλής πίεσης (Cornelius 2008).

Η εφελκυστική παραμόρφωση που έλαβε χώρα έπειτα στη Μάζα της Ροδόπης είχε ως αποτέλεσμα έντονη λέπτυνση του φλοιού η οποία ξεκίνησε στο Ηώκαινο (Brun and Sokoutis 2007) ή και νωρίτερα στο Άνω Παλαιόκαινο (Bonev et al. 2006). Η έντονη λέπτυνση του φλοιού στις οπισθοτόξιες περιοχές συνήθως συνδέονται με μαγματισμό. Πλουτωνικά και ηφαιστειακά πετρώματα που διεισδύουν μετά τη σύγκρουση τεκτονικών πλακών (post-collisional) διαφόρων συστάσεων και ηλικιών κυριαρχούν σε όλη τη Μάζα της Ροδόπης (Soldatos et al. 2008).

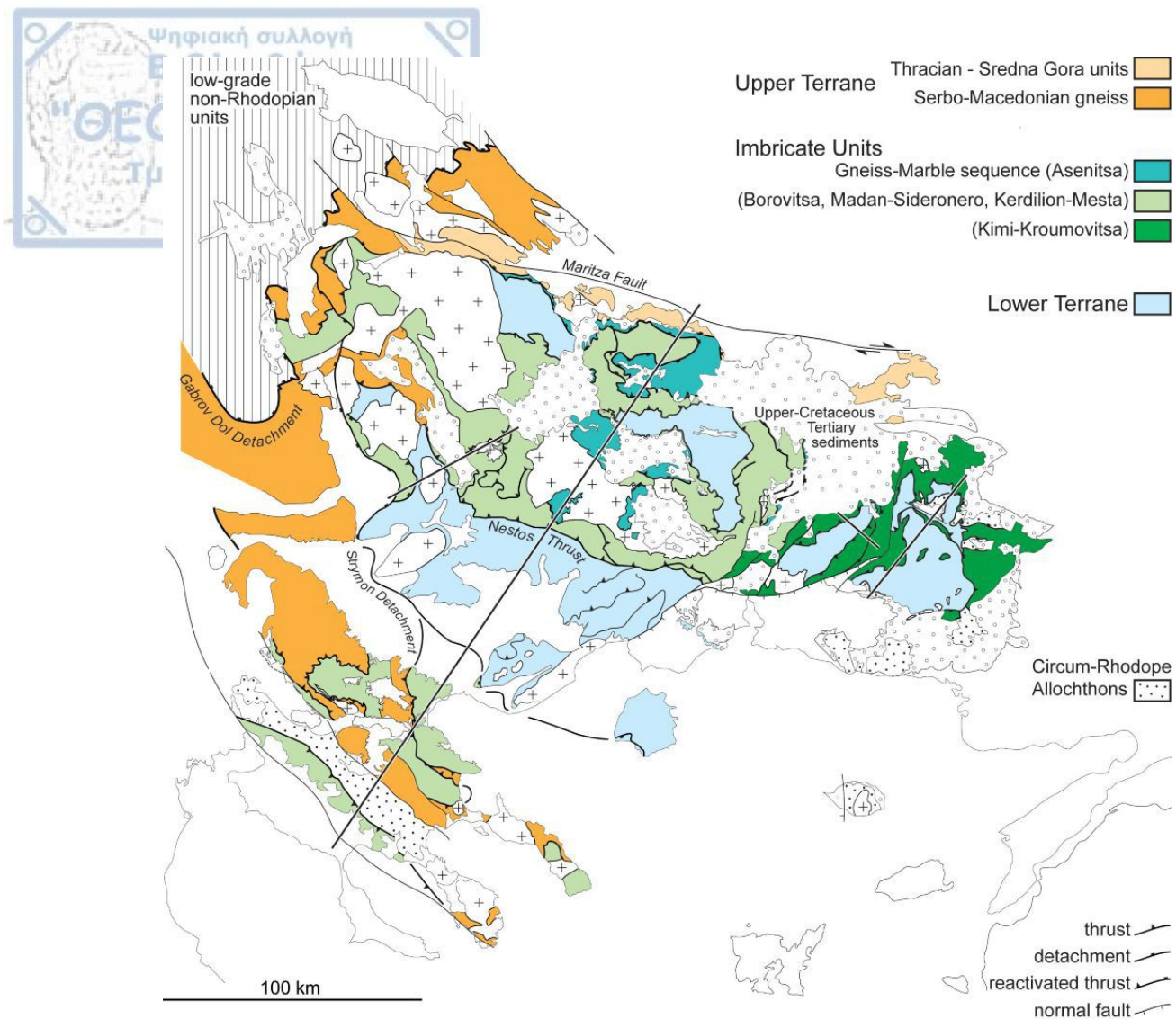
Εξαιτίας της ύπαρξης διαφορετικών γεγονότων μεταμόρφωσης υψηλής και πολύ υψηλής πίεσης σε διάφορες περιοχές στη Μάζα της Ροδόπης, ορισμένοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η Μάζα της Ροδόπης δημιουργήθηκε από πολλές μικροπλάκες προερχόμενες από την Γκοτβάνα στα πλαίσια πολλών κύκλων ωκεάνιας υποβύθισης-εκταφής (Liatι 2005). Τέλος ορισμένοι μελετητές υποστηρίζουν ότι η ενότητα Παγγαίου αντιπροσωπεύει την ανατολική προέκταση της ανθρακικής πλατφόρμας της Απουλίας και η ενότητα Σιδηρονέρου ως μέρος της ζώνης του Αξιού.

Η Περιφερειακή Ενότητα (ΠΕ) Δράμας ανήκει στην τεκτονική ενότητα του Παγγαίου, της μάζας της Ροδόπης και αποτελείται κυρίως από μεταμορφωμένα πετρώματα πρασινοςχιστολιθικής φάσης, μέσα στα οποία διείσδυσαν όξινα μαγματικά σώματα.





Σχήμα 3: Γενική δομή της Μάζας της Ροδόπης (Kilias et al. 2011)

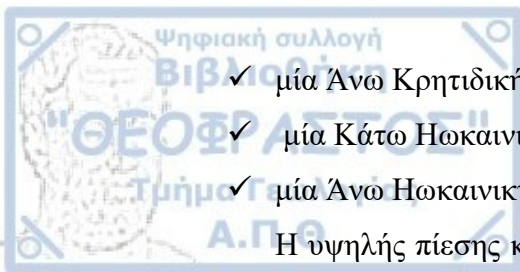


**Σχήμα 4:** Γενική δομή της Μάζας της Ροδόπης (Burg 2012)

### 2.3 ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ

Τα παραμορφωτικά και μεταμορφικά γεγονότα που έλαβαν χώρα στη Μάζα της Ροδόπης είναι αρκετά πολύπλοκα. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλές έρευνες οι οποίες συνέβαλαν σημαντικά στην αποσαφήνιση της μεταμορφικής της ιστορίας. Με βάση συνδυασμούς ραδιομετρικών δεδομένων, κυρίως SHRIMP (Sensitive high-resolution ion microprobe) σε πολλά μεταμορφωμένα πετρώματα, η μεταμορφική ιστορία της Μάζας της Ροδόπης θα μπορούσε να αποδοθεί τουλάχιστον σε 4 διακριτά μεταμορφικά γεγονότα κατά τη διάρκεια της Αλπικών χρόνων (Liati et al. 2011):

- ✓ μια Άνω Ιουρασική (γύρω στα 150 Ma),



- ✓ μία Άνω Κρητιδική (γύρω στα 73 Ma),
- ✓ μία Κάτω Ηωκαινική (γύρω στα 51 Ma),
- ✓ μία Άνω Ηωκαινική (γύρω στα 42 Ma).

Η υψηλής πίεσης και πολύ υψηλής πίεσης μεταμόρφωση πιθανότατα άρχισε να λαμβάνει χώρα στο Κατώτερο Ιουρασικό ( Liati 2005, Bauer et al. 2007).

Η μεταμόρφωση αμφιβολιτικής φάσης υψηλής πολύ υψηλής πίεσης με τοπικά γρανουλιτική φάση και υπολείμματα εκλογιτικής φάσης είναι διαδομένη σε όλη τη Ροδόπη (Mroskos and Liati 1993).

Οι Ηω-Ολιγοκαινικές ηλικίες που μετρήθηκαν στα ίδια δείγματα ερμηνεύονται ως ηλικίες ψύξης κατά τη διάρκεια της εκταφής των πετρωμάτων αυτών μέσα στον φλοιό (Turpaud and Reischmann 2010).

Τέλος, μελέτες με τη μέθοδο SHRIMP σε ζιρκόνια αποκαλύπτουν τη διατήρηση ενός μεταμορφικού γεγονότος εκλογιτικής φάσης υψηλής πίεσης (Wawrzenitz & Mroskos 1997).

## 2.4 ΜΑΓΜΑΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Ο μαγματισμός στην Μάζα της Ροδόπης είναι το αποτέλεσμα της σύγκλισης μεταξύ της Ευρασιατικής πλάκας και της Αφρικανικής πλάκας. Ο μαγματισμός αυτός ποικίλλει σε σύσταση και ηλικία στη Μάζα της Ροδόπης με έναρξη από το Άνω Κρητιδικό. Κατά τη διάρκεια του Άνω Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου, η μαγματική δραστηριότητα επεκτείνεται βόρειο-δυτικά στην περιοχή του Β. Αιγαίου της Ροδόπης και της Σερβίας και προς τα νοτιο-ανατολικά στην περιοχή της λεκάνης της Θράκης και της Δυτικής Ανατολίας (Aldanmaz et al. 2000).

Τρία διακριτά μαγματικά γεγονότα τα οποία συνδέονται με υποβύθιση ωκεάνιας λιθόσφαιρας μπορούν να αναγνωρισθούν στη Μάζα της Ροδόπης, ένα Άνω Κρητιδικό, ένα Κάτω-Μέσο Ηωκαινικό δακιτικού τύπου μετά τη σύγκρουση και ένα Άνω Ηωκαινικό-Ολιγοκαινικό (Marchev et al. 2004, Soldatos et al. 2008).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

### 3.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

#### 3.1.1 Χρώμα

Τα «καθαρά» μάρμαρα είναι συνήθως λευκά. Ανάλογα με το είδος και το ποσοστό των περιεχομένων μη ανθρακικών ορυκτών, τα μάρμαρα εμφανίζουν διάφορους χρωματισμούς. Τα συνήθη χρώματα των μαρμάρων του Φαλακρού όρους είναι: γαλακτόχροα, λευκά, ημίλευκα, τεφρόλευκα ταινιωτά ή ριγωτά, σκουρόχρωμα ταινιωτά, τεφρόχροα, ενώ λιγότερο συχνά εμφανίζονται ποικιλόχρομα. Γενικά τα λευκά μάρμαρα στην περιοχή έχουν δολομιτική σύσταση, τα ημίλευκα, τεφρόχρομα και σκουρόχρωμα είναι ασβεστιτικά, ενώ τα σιπολινικά παρουσιάζουν ποικιλίες χρωμάτων. Το γαλακτόχροο χρώμα χαρακτηρίζει τα δολομιτικά μάρμαρα της περιοχής Φαλακρού, όπου αυτά εμφανίζονται «καθαρά». Το χαρακτηριστικό χρώμα τους οφείλεται στην ανάκλαση του φωτός σε επιφάνειες ασυνέχειας, οι οποίες βρίσκονται σε βαθύτερα σημεία στη μάζα του μαρμάρου. Τα ασβεστιτικά μάρμαρα εμφανίζονται από λευκά έως σκουρόχρωμα, με όλες τις ενδιάμεσες δυνατές αποχρώσεις ανάλογα με το περιεχόμενο ποσοστό γραφίτη στο πέτρωμα (Χατζηπαναγής 1991). Οι ερυθρωπές ταινίες που παρουσιάζονται σε ορισμένους εμπορικούς τύπους της περιοχής Γρανίτη – Βόλακα, οφείλουν το χρωματισμό τους στην παρουσία οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου τα οποία εμποτίζουν το υπερλεπτόκοκκο (μυλωνίτης) δολομιτικό υλικό (Χατζηπαναγής & Βουγιούκας 2004). Τέλος η ποικιλοχρωμία των σιπολινικών μαρμάρων οφείλεται στην παρουσία ορυκτών όπως: μοσχοβίτης, φλογοπίτης, χλωρίτης, τρεμολίτης, γραφίτης, χαλαζίας και μεταλλικά ορυκτά (Χατζηπαναγής & Βουγιούκας 2004, 2005).

#### 3.1.2 Κοκκομετρία

Η κοκκομετρία των μαρμάρων του Φαλακρού Όρους ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με τον βαθμό μεταμόρφωσης και το ρυθμό ανακρυστάλλωσης του πετρώματος. Τα μάρμαρα διακρίνονται, με βάση το μέγεθος των κόκκων των ανθρακικών ορυκτών, σε: υπερχονδρόκοκκα, με μέγεθος κόκκων  $>1,5\text{mm}$ , χονδρόκοκκα με κόκκους  $0,8-1,5\text{mm}$ , μεσόκοκκα  $0,08-0,2\text{mm}$  και υπερλεπτόκοκκα, όπου το μέγεθος των κόκκων δεν ξεπερνά τα  $0,08\text{mm}$  (Χατζηπαναγής & Βουγιούκας 2004, 2005).



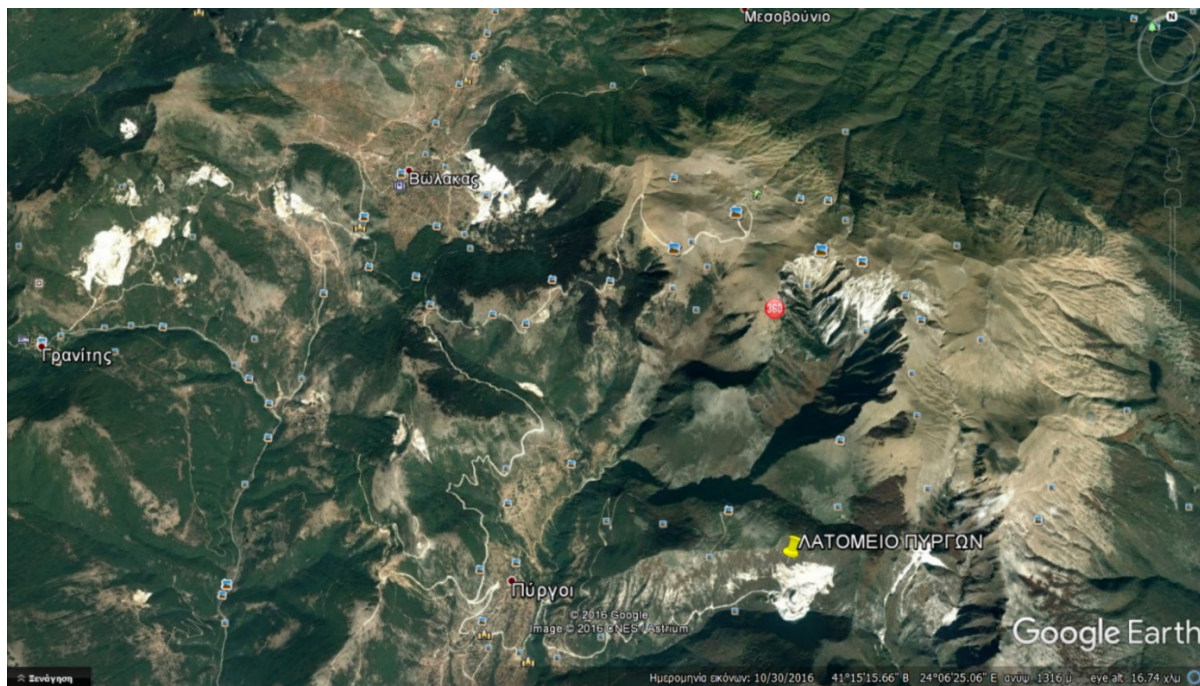
### 3.1.3 Ιστός – Υφή

Με τον όρο ιστός περιγράφεται το μέγεθος, η μορφή και ο τρόπος σύνδεσης των κόκκων ή κρυστάλλων των ορυκτών στο μάρμαρο. Με τον όρο υφή αποδίδεται η κατανομή των κρυστάλλων στο χώρο και η γενική όψη του πετρώματος. Ο ιστός των μαρμάρων μπορεί να είναι γρανοβλαστικός και ιστός ραφής απλός ή πολύπλοκος. Ο γρανοβλαστικός ιστός χαρακτηρίζεται από ισοδιαμετρικούς πολυγωνικούς κόκκους. Αναγνωρίζεται από τη σακχαροκοκκώδη όψη που δίνουν οι θραυσιγενείς επιφάνειες του μαρμάρου. Στον απλό ιστό ραφής οι κρύσταλλοι έχουν ακανόνιστο σχήμα, ενώ στον πολύπλοκο σχηματίζουν αποφυάδες, που εισχωρούν στις εγκολπώσεις γειτονικών κρυστάλλων. Τα δύο είδη ιστών ραφής δίνουν λείες θραυσιγενείς επιφάνειες. Η υφή του μαρμάρου είναι ισότροπη και συμπαγής. Υπάρχουν όμως πολλές περιπτώσεις στρωματοειδούς ή ταινιώδους υφής. Σε υφές τέτοιου είδους, οι κρύσταλλοι παρουσιάζουν την τάση να διατάσσονται με τον άξονα συμμετρίας τους κάθετα προς τη διεύθυνση σχιστότητας (Ρήγας κ.ά. 1990).

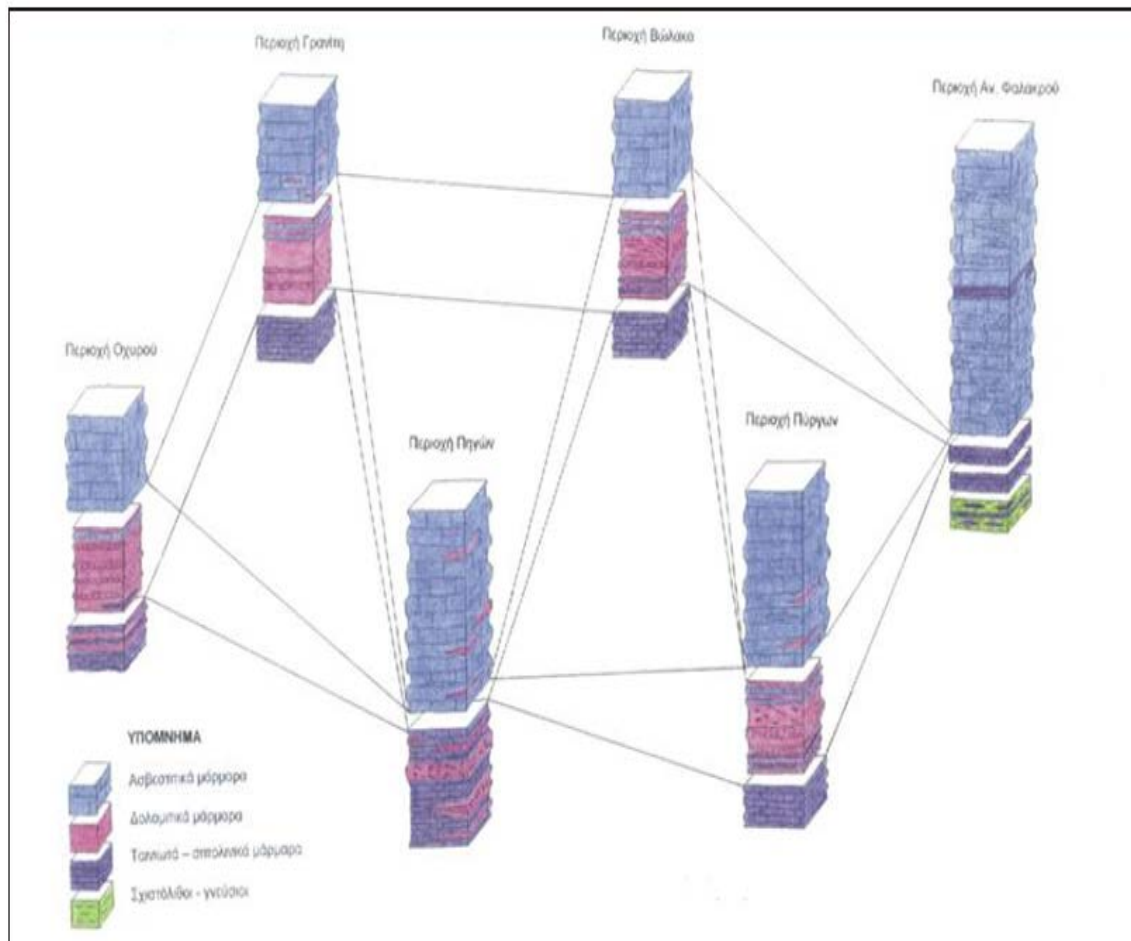
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΛΑΤΟΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

### 4.1 ΤΑ ΛΑΤΟΜΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΔΡΑΜΑΣ

Στην Περιφερειακή Ενότητα (ΠΕ) Δράμας σήμερα λειτουργούν αρκετά λατομεία στις περιοχές Πηγές, Βώλακα, Γρανίτη, Πύργοι, Οχυρό, στο Κ. Νευροκόπι και ανατολικά του όρους Φαλακρού στην περιοχή του Ξηροποτάμου – Βαθύλακου (Εικόνα 3) και στα Δενδράκια. Από τα παραπάνω λατομεία ασβεστιτικό μάρμαρο εξορύσσεται μόνο σε αυτά του ανατολικού Φαλακρού, ενώ στα υπόλοιπα κυριαρχεί η εξόρυξη δολομιτικού μαρμάρου. Στην εικόνα 4, παρουσιάζεται η συγκριτική διαφοροποίηση στη λιθοστρωματογραφία μεταξύ των δυο διαφορετικών μαρμαροφόρων περιοχών της Δράμας (Χατζηπαναγής κ.ά. 2006).



Εικόνα 3: Περιοχές με λατομική δραστηριότητα στην ΠΕ Δράμας (Google Earth 2016)

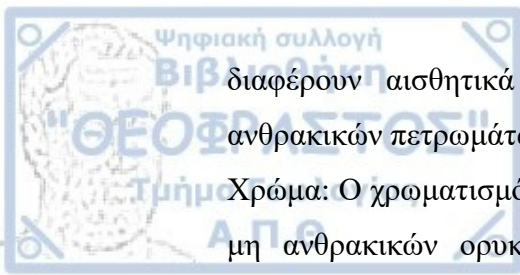


**Εικόνα 4:** Λιθοστρωματογραφικές στήλες των μαρμαροφόρων περιοχών του νομού Δράμας (Βουγιούκας και Χατζηπαναγής 2009)

## 4.2 ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΑΡΜΑΡΩΝ

Τα μάρμαρα για να είναι εμπορεύσιμα θα πρέπει να έχουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Μετά την εξόρυξη, την κοπή, τη λείανση και τη στίλβωση, σε συνδυασμό με ικανοποιητικές φυσικομηχανικές ιδιότητες θα πρέπει να αποκτήσουν υψηλή εμπορική αξία. Οι βασικοί παράγοντες για να γίνει το μάρμαρο εμπορικό είναι οι παρακάτω (Τσιραμπίδης 1996α, Βουγιούκας κ.α. 2001, Χατζηπαναγής και Βουγιούκας 2005, Βουγιούκας και Χατζηπαναγής 2009):

- ✓ Η κοκκομετρία: Διαφέρει από μέρος σε μέρος ανάλογα με το ρυθμό ανακρυστάλλωσης του πετρώματος και το βαθμό μεταμόρφωσης. Τα μάρμαρα, όπως αναλύθηκε και παραπάνω διακρίνονται σε υπερλεπτόκοκκα, μεσόκοκκα, χονδρόκοκκα και υπερχονδρόκοκκα.
- ✓ Χημική ορυκτολογική σύσταση: Τα μάρμαρα που περιέχουν πολλούς ορυκτολογικούς τύπους έχουν διαφορετικές φυσικομηχανικές ιδιότητες και



διαφέρουν αισθητικά από τα μονόμετα πετρώματα. Υπάρχουν τρεις τύποι ανθρακικών πετρωμάτων: δολομιτικά, ασβεστιτικά και σιπολιτικά μάρμαρα.

**Χρώμα:** Ο χρωματισμός των μαρμάρων εξαρτάται από το ποσοστό και το είδος των μη ανθρακικών ορυκτών που περιέχουν. Τα λευκά μάρμαρα είναι συνήθως δολομιτικής σύστασης (μάρμαρα Πύργων, με εμπορική ονομασία Pirgon), τα ημίλευκα είναι ασβεστιτικής σύστασης και τα σιπολιτικά παρουσιάζουν πολλά χρώματα. Στην περιοχή της Δράμας τα περισσότερα μάρμαρα είναι δολομιτικά και το χρώμα τους κατά κανόνα είναι λευκό. Το χαρακτηριστικό λευκό χρώμα οφείλεται στην ανάκλαση του φωτός πάνω σε επιφάνειες ασυνέχειας, οι οποίες βρίσκονται σε βαθύτερα σημεία μέσα στη μάζα του μαρμάρου.

- ✓ **Τεκτονική παραμόρφωση:** Οι τεκτονικές δομές διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο μαρμάρου και το είδος της παραμόρφωσής του. Οι δομές αυτές στις περισσότερες περιπτώσεις δεν επηρεάζουν τη συνοχή του πετρώματος, αλλά δημιουργούν νέους εμπορικούς τύπους.
- ✓ **Υδροθερμικές εξαλλοιώσεις:** Συνήθως όπου παρατηρούνται σχηματίζονται διάφοροι εμπορικοί τύποι μαρμάρων όπως, Green Star, Pink Lais και φυσικά του Βόλακα με τα χαρακτηριστικά διαγώνια νερά.
- ✓ **Φυσικομηχανικές ιδιότητες:** Διαφέρουν από πέτρωμα σε πέτρωμα. Στα ασβεστιτικά μάρμαρα, ο συντελεστής απορροφητικότητας είναι περίπου 0,08 %κ.β. , ενώ στα δολομιτικά είναι 0,14-0,24 %κ.β.
- ✓ **Τεχνικές κατεργασίες:** Ρητίνη, δίχτυ και στοκάρισμα.

### 4.3 ΔΟΛΟΜΙΤΙΚΑ ΜΑΡΜΑΡΑ

Στην υπό εξέταση μαρμαροφόρα περιοχή της ΠΕ Δράμας, σύμφωνα με τα ερευνητικά αποτελέσματα (Παπατρέχας 2011) κυριαρχούν τα δολομιτικά μάρμαρα. Ειδικότερα, οι βασικότεροι εμπορικοί τύποι είναι λευκά και υπόλευκα δολομιτικά μάρμαρα (Λευκό Πύργων, Λευκό τύπου Βόλακα, Αμβροσία, Αρετή, Κάλλιστο και Eiffel), τα οποία μνημονεύονται για την υψηλή ζήτηση τους τόσο στην εσωτερική όσο και τη διεθνή αγορά. Στην εικόνα 5 σημειώνονται ενδεικτικά θέσεις όπου βρίσκονται δύο λατομεία όπως απεικονίζονται από το δορυφόρο, ενώ στην εικόνα 6 βλέπουμε την εξορυκτική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα σε ένα από τα δύο αυτά λατομεία και συγκεκριμένα στο υπό εξέταση λατομείο της εταιρείας «Μπύρος Ελληνικά Μάρμαρα», το οποίο είναι ένα από τα μεγαλύτερα λατομεία λευκού μαρμάρου στον κόσμο.





**Εικόνα 5:** Δορυφορική εικόνα λατομικής περιοχής Πύργων Δράμας με τις λατομικές θέσεις (Google Earth 2016).



**Εικόνα 6:** Λατομείο στην περιοχή Πύργων (αεροφωτογραφία αρχείου εταιρείας 2016)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΟ – ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 5.1 ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΑΡΜΑΡΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΥΡΓΩΝ ΔΡΑΜΑΣ

Μακροσκοπικά μελετάμε τα δείγματά μας έτσι ώστε να προσδιορίσουμε τις μακροσκοπικές ιδιότητές τους.

Στις εικόνες 7 και 8 παρουσιάζονται δύο διαφορετικοί τύποι όγκων μαρμάρου από το λατομείο των Πύργων όπου φαίνεται η διαφοροποίηση τους μακροσκοπικά. Ενώ και οι δύο όγκοι προέρχονται από το ίδιο λατομείο, υπάρχει διαφορά στη σύστασή τους με αποτέλεσμα να φαίνονται διαφορετικά.



**Εικόνα 7:** Όγκος από λατομείο Πύργων (αρχείο εταιρείας όγκων παραγωγής 2017)



**Εικόνα 8:** Όγκος από λατομείο Πύργων (αρχείο εταιρείας όγκων παραγωγής 2017)

## 5.2 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΥΡΓΩΝ

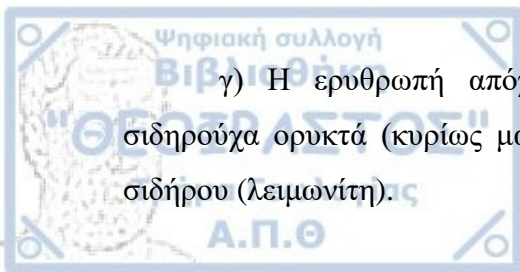
### ΔΡΑΜΑΣ

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με την ορυκτολογική σύσταση και τις φυσικομηχανικές ιδιότητες των μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας. Τα πιο πρόσφατα δεδομένα προέρχονται από την παρούσα έρευνα η οποία στηρίχτηκε σε κατάλληλους δειγματοληπτικούς ελέγχους σε διάφορες θέσεις στην περιοχή Πύργων. Σκοπός της έρευνας ήταν να καθορίσει την ποιότητα των εξορυσσόμενων μαρμάρων στην υπό εξέταση περιοχή μέσω της εφαρμογής μικροσκοπικής ορυκτολογικής ανάλυσης και μέσω του SEM-EDS της ορυκτοχημικής ανάλυσης των ορυκτών.

### 5.2.1 Στοιχεία ορυκτολογικής σύστασης μαρμάρων

Από τη μελέτη λεπτών και στιλπνών δομών του μαρμάρου της περιοχής Πύργων Δράμας, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

- ✓ πως τα πετρώματα τα οποία εξορύσσονται στη μαρμαροφόρο περιοχή των Πύργων της ΠΕ Δράμας είναι δολομιτικά.
- ✓ Είναι έντονα τεκτονικά καταπονημένα. Ο ιστός τους είναι κυρίως “ψευδολατυποπαγούς” τύπου.
- ✓ Με βάση την κοκκομετρική τους εξέταση, χαρακτηρίζονται ως υπερλεπτόκοκκα, με ιστό γρανοβλαστικό,
- ✓ Σχετικά με την εμπορικότητά τους, αυτά τα μάρμαρα κατατάσσονται:
  - α) στα λευκά μάρμαρα με τεφρά συσσωματώματα και
  - β) στα λευκά-υπόλευκα “ψευδολατυποπαγή” μάρμαρα με λευκές λατύπες και περιβάλλον “συγκολλητικό” υλικό ερυθρωτών ή και τεφρών αποχρώσεων.
- ✓ Οι διαφορετικοί χρωματισμοί που εμφανίζουν τα υπερλεπτόκοκκα μάρμαρα των Πύργων οφείλονται στα εξής αίτια:
  - α) Τα λευκά τμήματα της μάζας, στην ορυκτολογική τους σύσταση, που είναι δολομιτική.
  - β) Τα τεφρά συσσωματώματα, στην κρυσταλλική διαφοροποίηση του ασβεστιτικού υλικού που τις αποτελούν, με διαστάσεις που κυμαίνονται από 1 mm έως 2 mm (μάρμαρα Αετοφωλιάς), καθώς και στην παρουσία οργανικής ύλης.



γ) Η ερυθρωπή απόχρωση οφείλεται στην οξείδωση που παρουσιάζουν τα σιδηρούχα ορυκτά (κυρίως μαγνητίτης) και την μετέπειτα διάχυση των υδροξειδίων του σιδήρου (λειμωνίτη).

### 5.3 ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

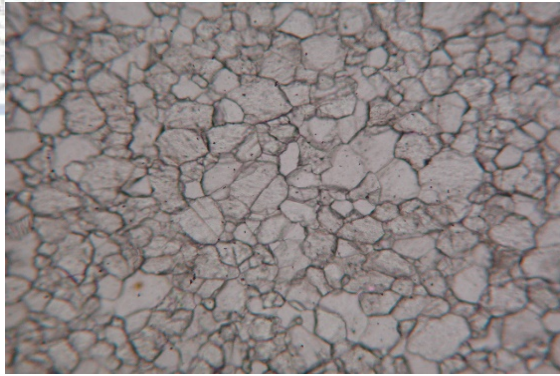
Με τη μελέτη των δειγμάτων στο μικροσκόπιο μπορούν να προσδιοριστούν καλύτερα οι ιδιότητές τους, όπως η κοκκομετρία, η υφή, ο ιστός, η παρουσία επουσιωδών ορυκτών κ.α.

Η παρατήρηση δειγμάτων μαρμάρων στο πολωτικό μικροσκόπιο έδειξε ότι πρόκειται για δολομιτικά μάρμαρα με πολύ περιορισμένη τοπική παρουσία του ασβεστίτη και αρκετών επουσιωδών ορυκτών σε διάσπαρτη μορφή.

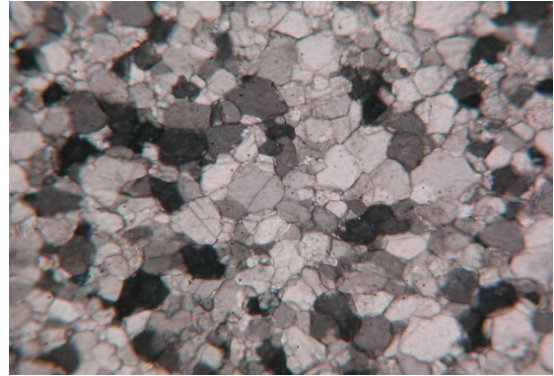
Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι το κύριο ορυκτό, ο δολομίτης, έχει πολύ μικρό μέγεθος κόκκων, ώστε τα μάρμαρα να χαρακτηρίζονται ως υπερλεπτόκοκκα. Αντίθετα ο ασβεστίτης σε αρκετές περιπτώσεις μπορεί να είναι αρκετά αδρόκοκκος έτσι ώστε να διαφοροποιείται τοπικά ο ιστός των μαρμάρων σε μεσόκοκκο. Η μορφή αυτή φαίνεται χαρακτηριστικά στις μικροφωτογραφίες που δίνονται στην εικόνα 9.

Ειδικότερα στην εικόνα 9α, δίνεται ο επικρατέστερος τύπος του μαρμάρου με ένα περίπου κύριο ισοκοκκώδη ιστό με πολύ μικρή διαφορά μεγέθους μεταξύ των κόκκων του δολομίτη.

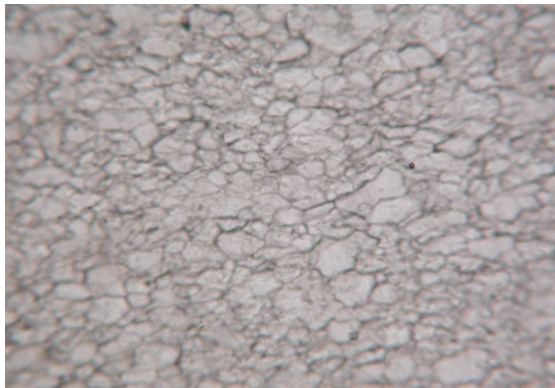
5.3.1 Διερχόμενο φως



α



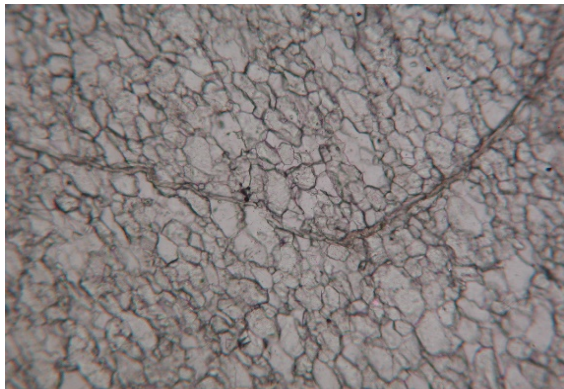
β



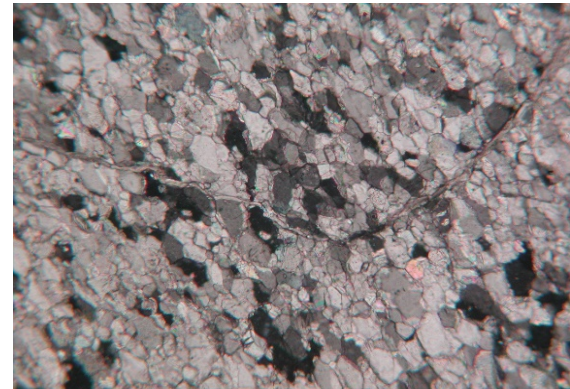
γ



δ



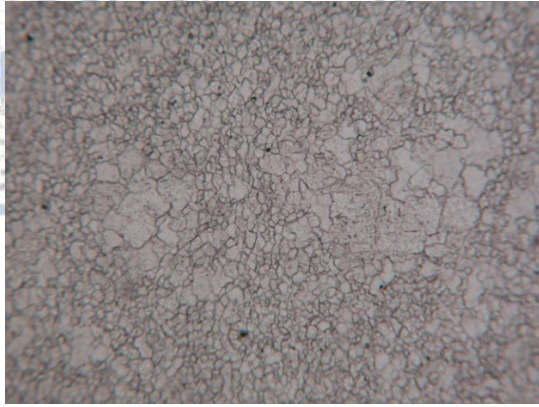
ε



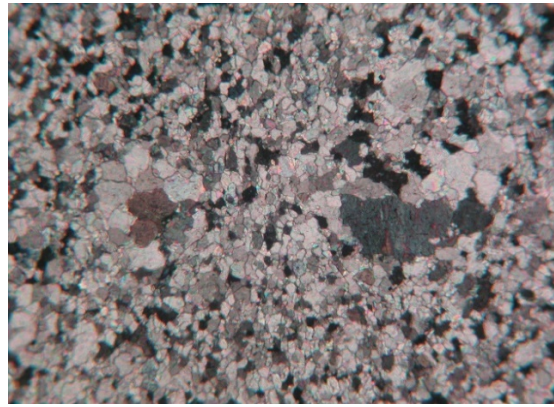
στ

**Εικόνα 9:** Μικροφωτογραφίες από πολωτικό μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας, όπου διακρίνεται ένας ισοκοκκώδης ιστός. α, γ, ε με // Nicols, β, δ, στ με + Nicols. Μεγάλη διάσταση φωτογραφία 2 mm.

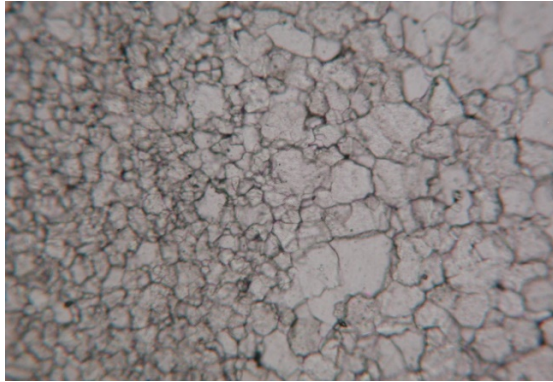
Στην εικόνα 9γ παρατηρείται η ανάπτυξη ενός ελαφρά ανισοκοκκώδους ιστού από το κύριο ορυκτό, το δολομίτη. Στην εικόνα 9ε παρουσιάζεται ανισοκοκκώδης ιστός κρυστάλλων ασβεστίτη.



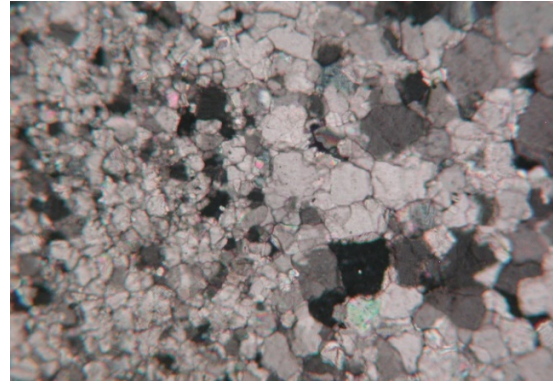
α



β

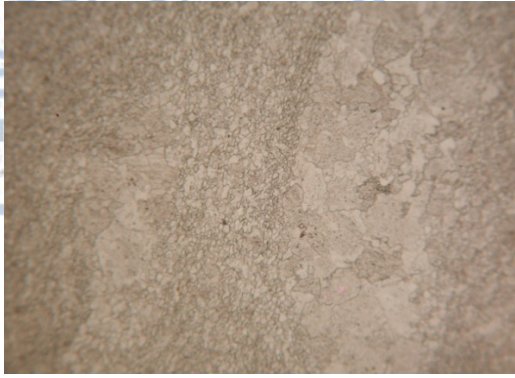


γ

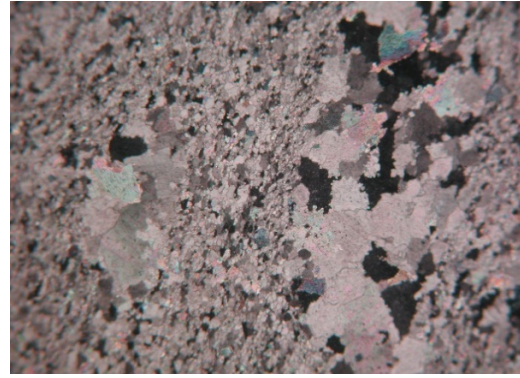


δ

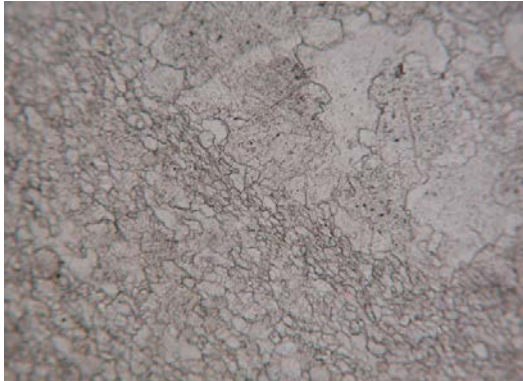
**Εικόνα 10 :** Μικροφωτογραφίες από πολωτικό μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας, όπου διακρίνεται ένας ελαφρά ανισοκοκκώδης ιστός κρυστάλλων δολομίτη. α, γ με // Nicols, β, δ με + Nicols. Μεγάλη διάσταση φωτογραφίας 2 mm.



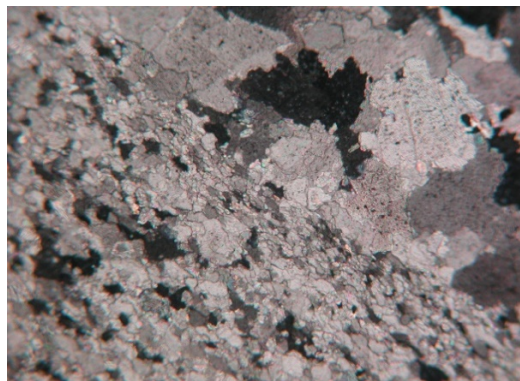
α



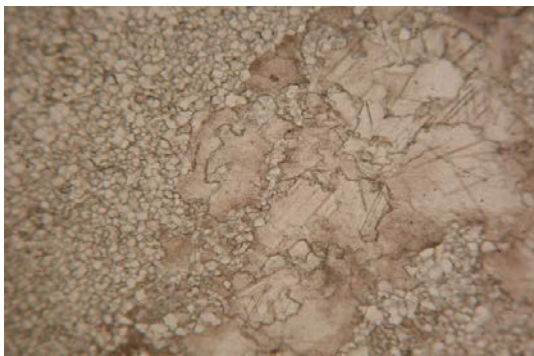
β



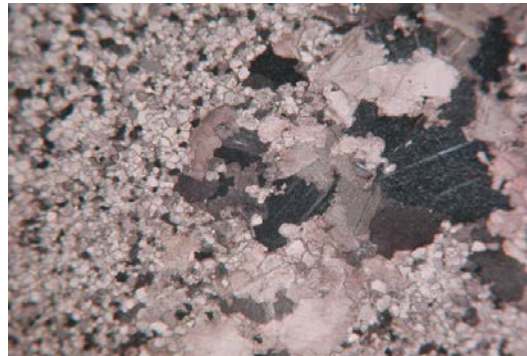
γ



δ



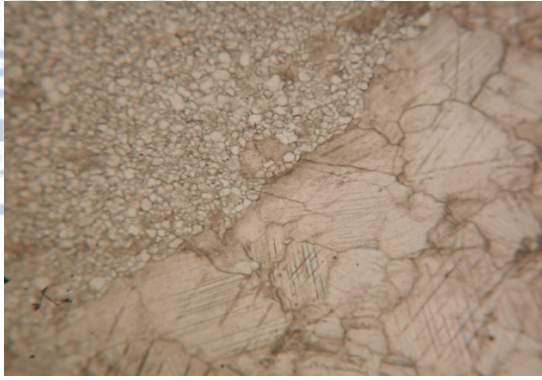
ε



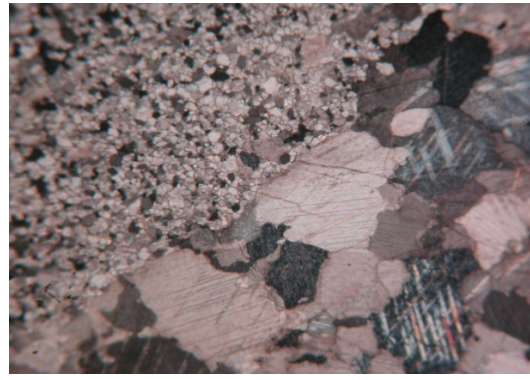
στ

**Εικόνα 11:** Μικροφωτογραφίες από πολωτικό μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας, όπου διακρίνεται ένας μέτρια ανισοκοκκώδης ιστός από την τοπική παρουσία κρυστάλλων ασβεστίτη. α, γ, ε με // Nicols, β, δ, στ με + Nicols. Μεγάλη διάσταση φωτογραφίας 2 mm.

Στις εικόνες 11γ και 11ε η αυξημένη παρουσία μεγάλων κρυστάλλων ασβεστίτη, σε συνεχόμενες μάζες, δημιουργεί έναν ανισοκοκκώδη ιστό στα μάρμαρα.



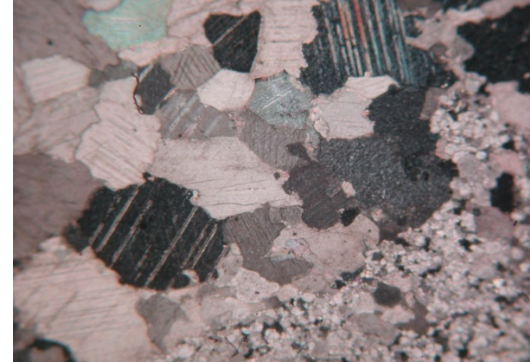
α



β



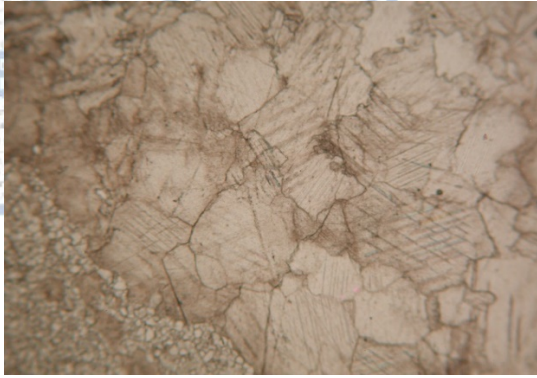
γ



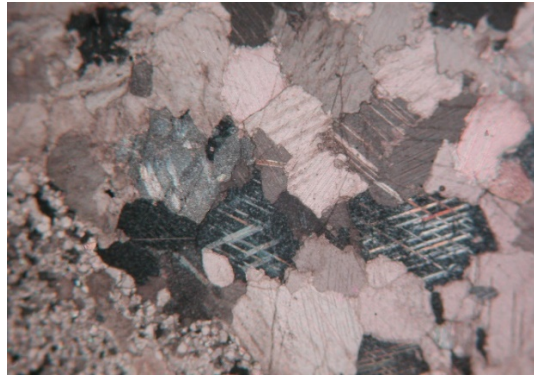
δ

**Εικόνα 12** : Μικροφωτογραφίες από πολωτικό μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας, με ανισοκοκκώδη ιστό από την αυξημένη παρουσία του ασβεστίτη με τη χαρακτηριστική πολυδυμία. α, γ με // Nicols, β, δ με + Nicols. Μεγάλη διάσταση φωτογραφίας 2 mm.





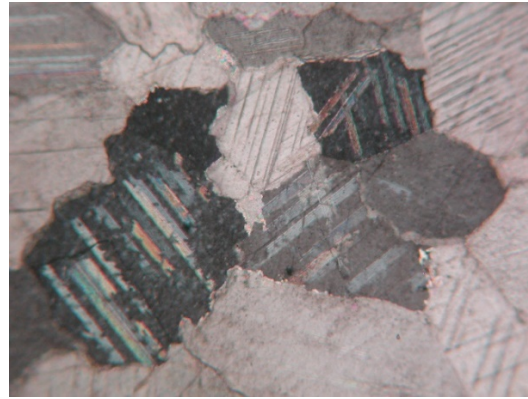
α



β



γ

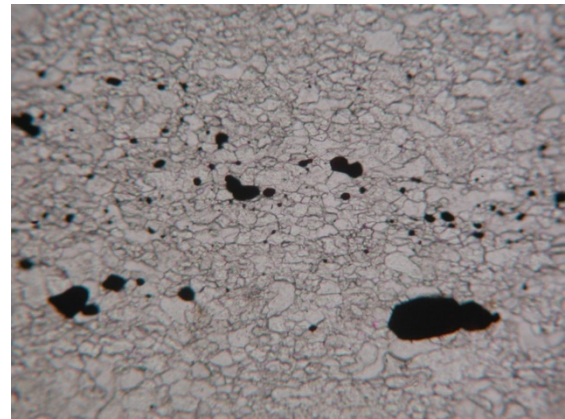


δ

**Εικόνα 13** : Μικροφωτογραφίες από πολωτικό μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας, με ανισοκοκκώδη ιστό από πολύδυμους κρυστάλλους ασβεστίτη. α, γ με // Nicols, β, δ με + Nicols. Μεγάλη διάσταση φωτογραφίας 2 mm.

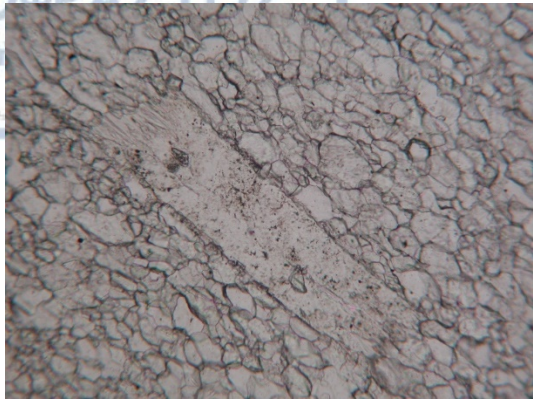


α

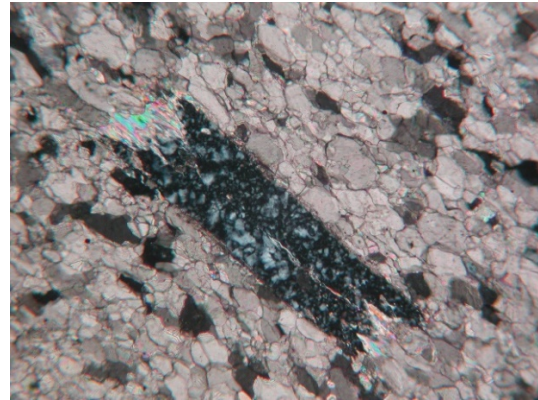


β

**Εικόνα 14** : Μικροφωτογραφίες από πολωτικό μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας, όπου διακρίνεται η παρουσία κόκκων αδιαφανών ορυκτών (μαύρα). β, δ με + Nicols. Μεγάλη διάσταση φωτογραφίας 2 mm.



α

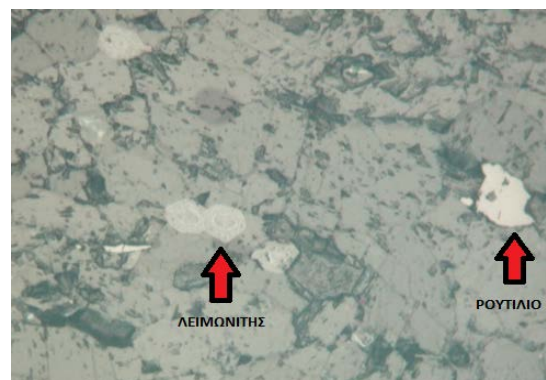


β

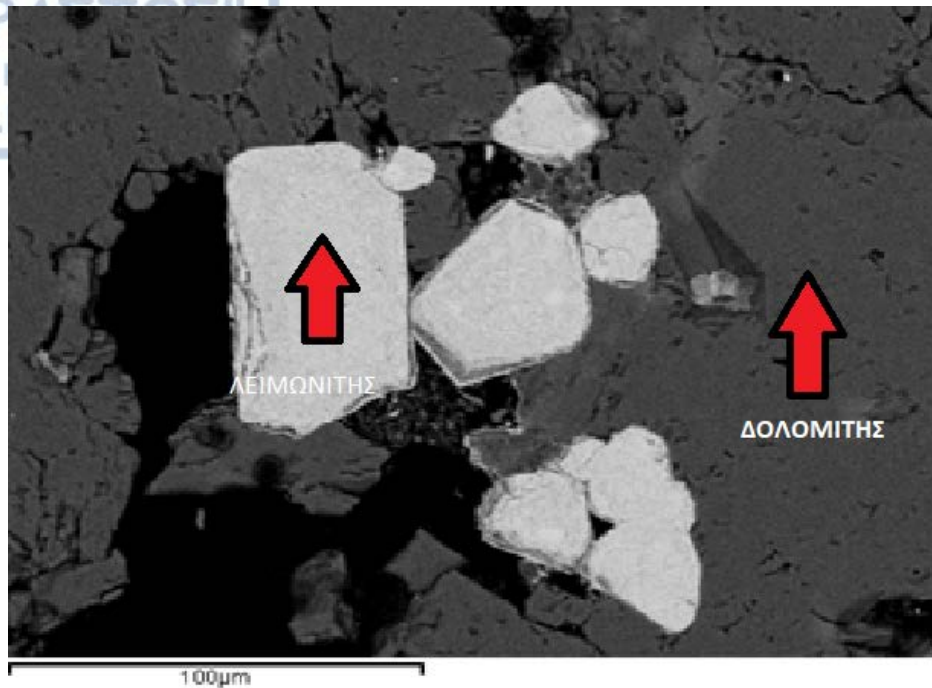
**Εικόνα 15 :** Μικροφωτογραφία από πολωτικό μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας, όπου διακρίνεται η παρουσία φύλλων χλωρίτη. α με // Nicols, β με + Nicols. Μεγάλη διάσταση φωτογραφίας 2 mm.

Σε πολλά δείγματα διαπιστώθηκε η παρουσία μικρού μεγέθους κόκκων αδιαφανών ορυκτών (εικόνα 14), καθώς και ελάχιστων φυλλόμορφων (εικόνα 15).

Τα αδιαφανή ορυκτά, μελετήθηκαν σε λεπτές στιλπνές τομές στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, καθώς και στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σαρώσεως (SEM). Από τη μελέτη αυτή προέκυψε ότι από τα αδιαφανή ορυκτά επικρατεί ο λειμωνίτης από αρχικό σιδηροπυρίτη, όπως μαρτυρά η κανονικότητα και το ισοδιαμετρικό σχήμα των κόκκων (εικόνες 16, 17 και 18).

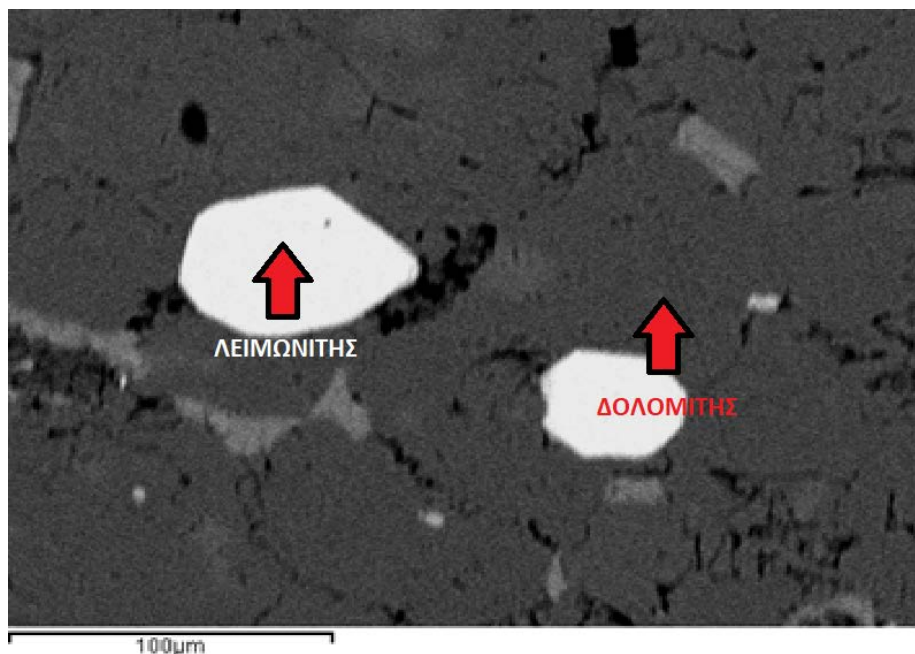


**Εικόνα 16:** Μικροφωτογραφία από πολωτικό μικροσκόπιο ανακλώμενου φωτός αδιαφανών ορυκτών από τα μάρμαρα της περιοχής Πύργων Δράμας. ΛΕΙΜΩΝΙΤΗΣ: λειμωνίτης από αρχικό σιδηροπυρίτη. Μεγάλη διάσταση φωτογραφία 2 mm.



**Εικόνα 17 :** Μικροφωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σαρώσεως (SEM) λειμωνίτη εντός των μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας (δείγμα Pm6). Το ιδιόμορφο σχήμα των κρυστάλλων δηλώνει προέλευση από αρχικό σιδηροπυριτη.

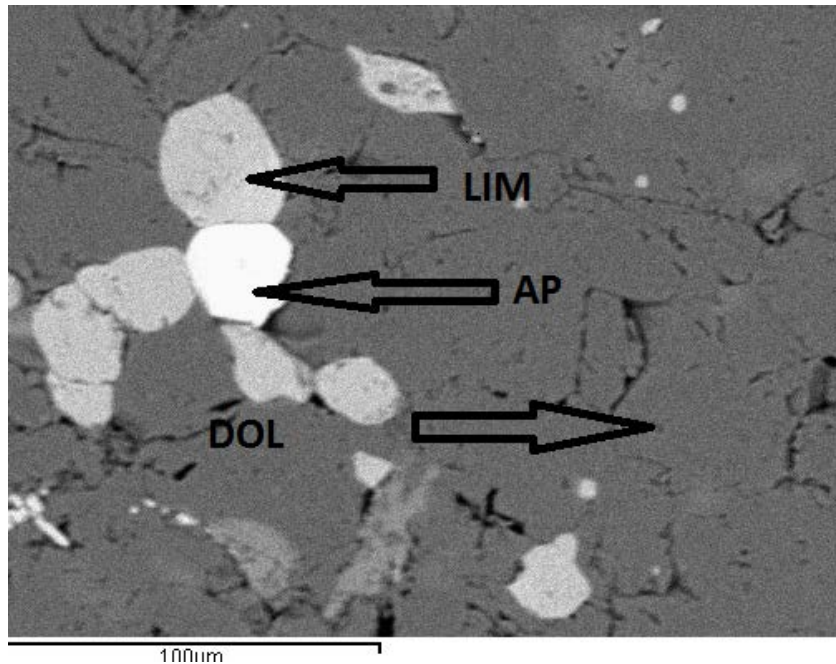
Lm : λειμωνίτης, Do : δολομίτης



**Εικόνα 18:** Μικροφωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σαρώσεως (SEM) λειμωνίτη εντός των μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας (δείγμα Pm4).

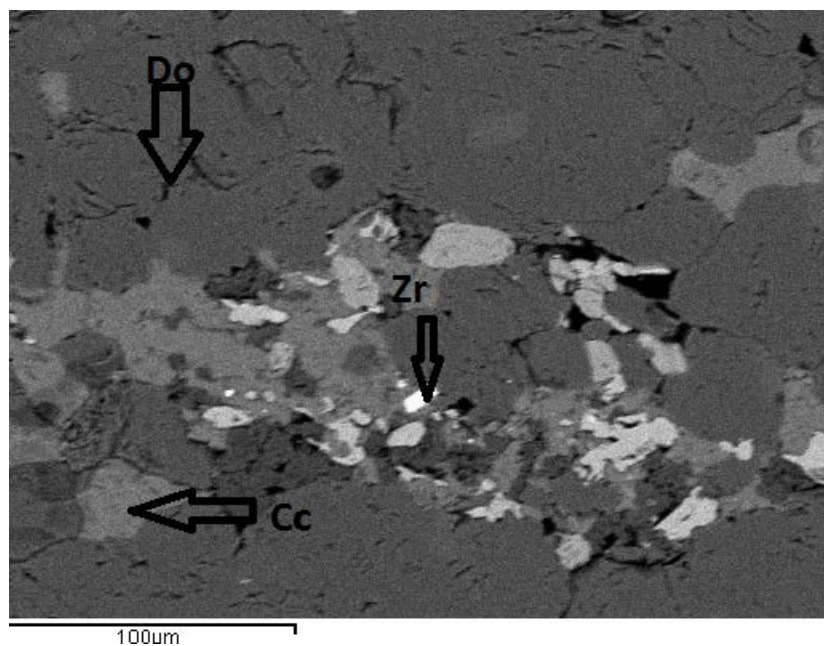
Lm : λειμωνίτης, Do : δολομίτης

Με τη χρήση του SEM έγινε δυνατή η αναγνώριση και των εποψιδωδών ορυκτών απατίτη, ρουτιλίου και ζirkονίου, τα οποία σε μερικές περιπτώσεις δημιουργούν τοπικές συμφύσεις πολλών μικρών κόκκων με λειμωνίτη (εικόνες 19 και 20).



**Εικόνα 19:** Μικροφωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σαρώσεως (SEM) εποψιδωδών ορυκτών μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας (δείγμα Pm4).

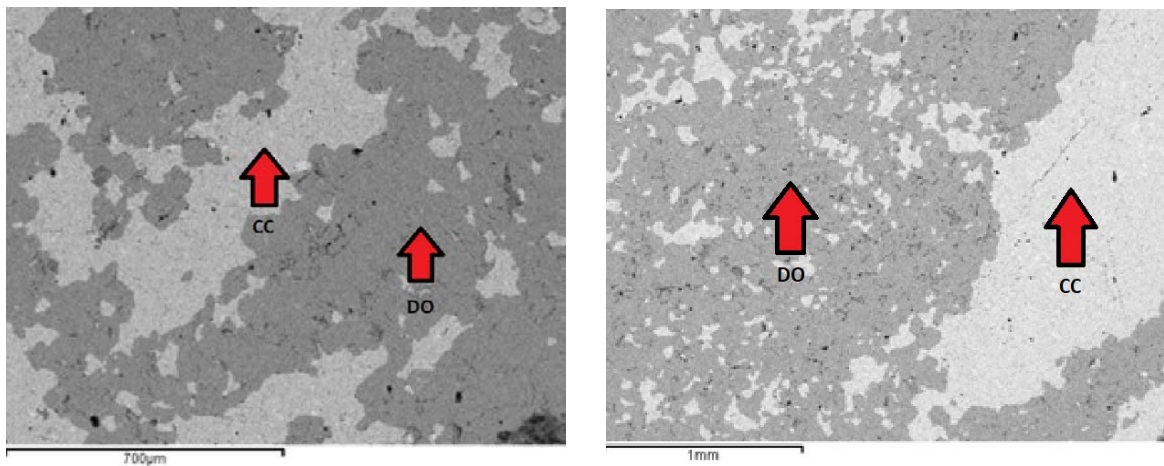
LIM: λειμωνίτης, AP: απατίτης, DOL: δολομίτης.



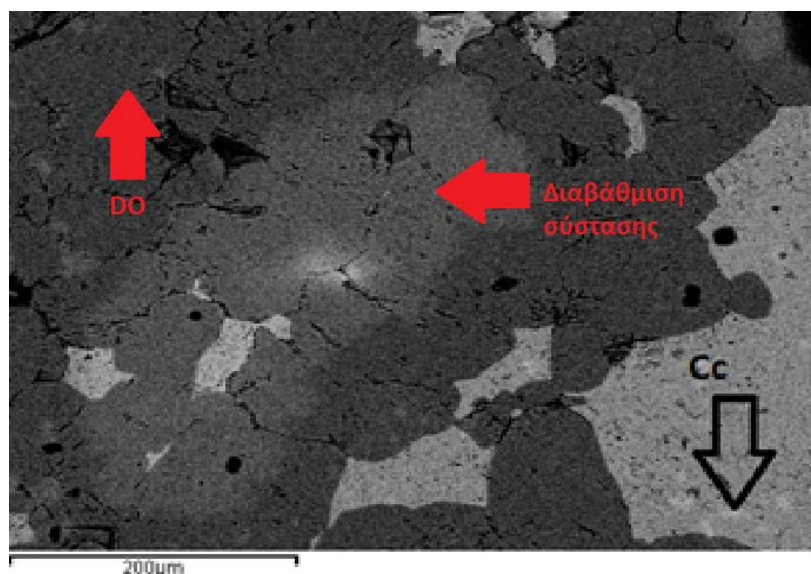
**Εικόνα 20:** Μικροφωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σαρώσεως (SEM) εποψιδωδών ορυκτών μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας (δείγμα Pm4).

Zr: ζirkόνιο, Do: δολομίτης, Cc: ασβεστίτης

Επίσης με το SEM διαπιστώθηκε ότι στα μάρμαρα υπάρχει μία πολύ στενή σύμφυση μεταξύ ασβεστίτη και δολομίτη, που δεν είναι εύκολο να παρατηρηθεί στο πολωτικό μικροσκόπιο. Η χρήση οπισθοδιασκεδαζόμενης δέσμης ηλεκτρονίων κάνει δυνατή και εύκολη τη διάκριση μεταξύ ασβεστίτη και δολομίτη αφού σε τέτοια περίπτωση, ο ασβεστίτης φαίνεται πολύ φωτεινότερος του δολομίτη (εικόνα 21). Με την ίδια τεχνική αναγνωρίστηκε και οπτική διαφορά στη χημική σύσταση του δολομίτη (εικόνα 22).



**Εικόνα 21 :** Μικροφωτογραφίες από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σαρώσεως (SEM) με οπισθοδιασκεδαζόμενη δέσμη ηλεκτρονίων δολομιτικού μαρμάρου της περιοχής Πύργων Δράμας (δείγμα Pm8), όπου διακρίνεται η στενή σύμφυση των κύριων συστατικών του μαρμάρου: του δολομίτη (σκοτεινό) ή Do και του ασβεστίτη (φωτεινό) ή Cc. Στενή σύμφυση Do και Cc. Do: δολομίτης, Cc: ασβεστίτης.



**Εικόνα 22:** Μικροφωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σαρώσεως (SEM) των κύριων ορυκτών μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας (δείγμα Pm8). Ο δολομίτης παρουσιάζει διαφορετικούς τόνους του σκοτεινού τεφρού λόγω διαφορετικής σύστασης (οπισθοδιασκεδαζόμενη δέσμη ηλεκτρονίων). Διαβάθμιση σύστασης Do μαζί με Cc. Do: δολομίτης Cc: ασβεστίτης.

## 5.4 ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ

### 5.4.1 Χημικές αναλύσεις ορυκτών με ηλεκτρονικό μικροαναλυτή

Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις με ηλεκτρονικό μικροαναλυτή (SEM-EDS), δολομίτη, ασβεσίτη και ρουτίλιου των μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας, παρουσιάζονται στους πίνακες 2, 3 και 4.

<b>Πίνακας 2. Μικροαναλύσεις δολομίτη των μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας</b>									
<b>Δείγμα PM 4</b>							<b>Δείγμα PM 6</b>		<b>Δείγμα PM 8</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
CaO	28,49	28,54	27,64	27,87	28,64	27,61	28,20	28,41	30,06
MgO	23,39	23,26	24,00	23,88	23,16	23,69	23,49	23,21	21,79
MnO	Bdl	0,05	Bdl	0,06	Bdl	Bdl	0,08	0,22	0,14
FeO	Bdl	0,07	0,15	Bdl	0,14	0,28	0,13	Bdl	0,03
SrO	Bdl	Bdl	Bdl	Bdl	Bdl	0,37	Bdl	0,13	0,21
BaO	Bdl	Bdl	Bdl	Bdl	Bdl	Bdl	Bdl	Bdl	Bdl
CO <sub>2</sub> *	47,91	47,87	48,00	47,98	47,85	47,86	47,90	47,83	47,57
ΣΥΝΟΛΟ	99,79	99,79	99,79	99,79	99,79	99,81	99,80	99,80	99,80
<b>Αριθμός ιόντων με βάση τα 6 Οξυγόνα (O)</b>									
Ca	0,934	0,936	0,904	0,912	0,940	0,906	0,924	0,932	0,992
Mg	1,066	1,061	1,092	1,087	1,057	1,081	1,071	1,060	1,000
Mn	-	0,001	-	0,001	-	-	0,002	0,006	0,004
Fe	-	0,002	0,004	-	0,004	0,007	0,003	-	0,001
Sr	-	-	-	-	-	0,007	-	0,002	0,004
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Σύνολο	4,000	4,000	4,000	4,000	4,001	4,001	4,000	4,000	4,001
* Υπολογίστηκε στοιχειομετρικά, Bdl: Below detection limit (κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας (<0,01%))									
<b>Μοριακές αναλογίες %</b>									
CaCO <sub>3</sub>	46,68	46,78	45,21	45,59	46,98	45,28	46,19	46,61	49,59
MgCO <sub>3</sub>	53,32	53,05	54,60	54,34	52,84	54,04	53,54	52,98	50,01
MnCO <sub>3</sub>	-	0,07	-	0,07	-	-	0,10	0,29	0,18
FeCO <sub>3</sub>	-	0,09	0,19	-	0,19	0,35	0,17	-	0,03
SrCO <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	0,33	-	0,12	0,19
BaCO <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Από τις χημικές αναλύσεις του δολομίτη (Πίνακας 2) προκύπτει ότι οι μοριακές αναλογίες σε MgCO<sub>3</sub> και CaCO<sub>3</sub> κυμαίνονται μεταξύ 50,01-54,60% και 45,21-49,59% αντίστοιχα, ενώ οι προσμίξεις σε άλλα στοιχεία είναι πολύ περιορισμένες.

**Πίνακας 3. Μικροαναλύσεις ασβεστίτη των μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας**

Δείγμα PM 4	Δείγμα PM 8					
	1	2	3	4	5	6
CaO	55,23	55,91	54,50	53,46	54,23	55,18
MgO	0,59	0,01	1,20	2,00	1,35	0,59
MnO	Bdl	Bdl	0,02	0,02	Bdl	Bdl
FeO	Bdl	Bdl	0,05	0,05	Bdl	Bdl
SrO	Bdl	Bdl	Bdl	0,05	0,13	0,06
BaO	Bdl	Bdl	Bdl	Bdl	Bdl	Bdl
CO <sub>2</sub> *	43,98	43,88	44,13	44,21	44,09	43,97
Σύνολο	99,80	96,80	99,90	99,79	99,80	99,80
<b>Αριθμός ιόντων με βάση τα 6 Οξυγόνα (O)</b>						
Ca	1,971	2,000	1,938	1,898	1,931	1,970
Mg	0,029	-	0,060	0,099	0,067	0,029
Mn	-	-	0,001	0,001	-	-
Fe	-	-	0,001	0,001	-	-
Sr	-	-	-	0,001	0,003	0,001
Ba	-	-	-	-	-	-
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Σύνολο	4,000	4,000	4,000	4,000	4,001	4,000
* Υπολογίστηκε στοιχειομετρικά, Bdl: Below detection limit (κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας (<0,01%))						
<b>Μοριακές αναλογίες %</b>						
CaCO <sub>3</sub>	98,54	99,98	96,92	94,89	96,53	98,49
MgCO <sub>3</sub>	1,46	0,02	2,98	4,95	3,34	1,45
MnCO <sub>3</sub>	-	-	0,04	0,04	-	-
FeCO <sub>3</sub>	-	-	0,06	0,07	-	-
SrCO <sub>3</sub>	-	-	-	0,05	0,13	0,06
BaCO <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-

Από τον πίνακα 3 προκύπτει ότι ο ασβεστίτης είναι με πολύ χαμηλά ποσοστά σε MgO που κυμαίνεται μεταξύ 0,01 και 2,00%.

#### 5.4.2 Άλλα ορυκτά

Στον Πίνακα 4 δίνονται οι μικροαναλύσεις με ηλεκτρονικό μικροαναλυτή (SEM-EDS) του ρουτίλιου των μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας.

**Πίνακας 4. Μικροανάλυσεις ρουτιλίου των μαρμάρων της περιοχής Πύργων Δράμας**

	1	2
TiO <sub>2</sub>	98,06	97,54
SiO <sub>2</sub>	Bdl	Bdl
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Bdl	0,17
CaO	1,34	1,08
MnO	Bdl	Bdl
FeO	0,07	0,09
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,78	0,11
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Bdl	0,60
WO <sub>3</sub>	Bdl	0,86
Σύνολο	100,25	100,45
<b>Αριθμός ιόντων με βάση τα 2 Οξυγόνα (O)</b>		
Ti	0,984	0,982
Si	-	-
Al	-	0,003
Nb	0,005	0,001
Ta	-	0,002
W	-	0,003
Fe <sup>2+</sup>	0,001	0,001
Mn	-	-
Ca	0,019	0,015
Σύνολο	1,009	1,007

Στις 2 μικροανάλυσεις του ρουτιλίου μετρήθηκαν συγκεντρώσεις των σπάνιων στοιχείων Nb, Ta και W, 0,11% και 0,78% για το Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, <0,01% και 0,60% για το Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, <0,01% και 0,86% για το WO<sub>3</sub>.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

### 6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όλα τα πετρώματα παρουσιάζουν συγκεκριμένες φυσικές ιδιότητες, επειδή είναι φυσικά υλικά. Η γνώση των φυσικομηχανικών και τεχνικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων είναι πολύ μεγάλης σπουδαιότητας, αφού με αυτά μπορεί να αξιολογηθεί η καλύτερη χρήση τους ως διακοσμητικά ή οικοδομικά υλικά, καθώς και η συμπεριφορά αυτών στην κοπή και την επεξεργασία τους.

Έτσι λοιπόν είναι απαραίτητη η πραγματοποίηση δοκιμών τεχνικής καταλληλότητας, με τις οποίες μπορούν να προσδιοριστούν τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, ενώ ένα μικρό μέρος αυτών μπορεί να προσδιοριστεί με τις πετρογραφικές μεθόδους. Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα των εκτελούμενων δοκιμών, αυτές θα πρέπει να γίνονται με συγκεκριμένους κανονισμούς, έτσι ώστε να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους αλλά και για να αξιολογούνται και να ερμηνεύονται ορθά.

Για την εκτέλεση των δοκιμών τεχνικής καταλληλότητας ακολουθούνται διεθνείς κανονισμοί από τους οποίους οι γνωστότεροι είναι οι Ιταλικοί U.N.I. (Unione Norme Italiane), οι Γερμανικοί D.I.N. (Deutsche Industrie Normen) και οι Αμερικανικοί A.S.T.M. (American Standards for Testing Materials). Όμως τα τελευταία χρόνια έχουν θεσπιστεί και Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί, οι οποίοι είναι υποχρεωτικοί για όλες τις ευρωπαϊκές χώρες. Οι κανονισμοί πρέπει να τηρούνται αυστηρά έτσι ώστε τα αποτελέσματα των δοκιμών να είναι όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα.

### 6.2 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΜΑΡΜΑΡΩΝ

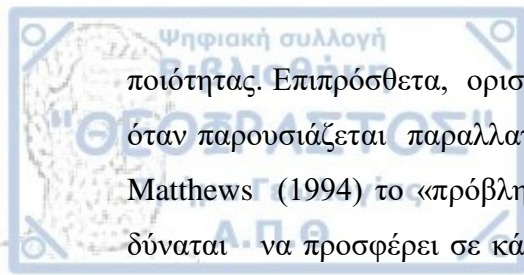
**Πίνακας 5:** Οι σπουδαιότερες φυσικομηχανικές ιδιότητες μαρμάρων και ο ορισμός αυτών κατά Λασκαρίδη και Πατρώνη (2005).

Φαινόμενη πυκνότητα	Είναι ο λόγος της μάζας του πετρώματος προς το φαινόμενο όγκο του, δηλαδή τον όγκο που περιλαμβάνει και τα κενά που υπάρχουν στη μάζα του πετρώματος όπως οι πόροι, οι κοιλότητες κ.α.
Συντελεστής υδατοαπορρόφησης	Υδατοαπορρόφηση ή εμποτισμός είναι η φυσική ιδιότητα των πετρωμάτων να κορέννυνται σε νερό. Ο συντελεστής αυτός εκφράζεται επί τοις % και είναι αδιάστατο μέγεθος.

Μέτρο ελαστικότητας	Είναι ο λόγος της τάσης (P/S) προς την αντίστοιχη παραμόρφωση (Δ/L). Επίσης μπορεί να οριστεί ως η κλίση της καμπύλης της τάσης παραμόρφωσης. Η παραμόρφωση μετριέται με ηλεκτρικά όργανα. Το αποτέλεσμα εκφράζεται σε $\text{kg/cm}^2$ ή σε Μρα.
Θλιπτική αντοχή	Ορίζεται ως ο λόγος του συνολικού φορτίου P τη στιγμή της θραύσης, προς το εμβαδόν S της διατομής. Μονάδα μέτρησης της θλιπτικής αντοχής είναι $\text{Kg/cm}^2$ .
Εφελκυστική αντοχή	Εφελκυσμός ονομάζεται η εκτατική κατάσταση κατά την οποία ασκούνται δυνάμεις αντίθετης φοράς που τείνουν να επιμηκύνουν το υλικό. Επομένως, εφελκυστική αντοχή είναι η αντοχή που έχει ένα υλικό έτσι ώστε να μην εφελκυστεί.
Αντοχή στη φθορά	Είναι η αντοχή που έχει ένα υλικό, ώστε να μη φθαρεί και να μην τριφτεί.
Αντοχή στην πρόσκρουση	Η αντοχή στην πρόσκρουση προσδιορίζεται από το ελάχιστο ύψος από το οποίο πέφτει μια σφαίρα βάρους ενός κιλού, πάνω σε πλάκα πετρώματος διαστάσεων 20x20x3 cm, προκαλώντας τη θλίψη της.
Συντελεστής θερμικής διαστολής	Η θερμική διαστολή είναι το φαινόμενο κατά το οποίο αυξάνονται οι διαστάσεις ενός σώματος, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του. Επομένως, ο συντελεστής θερμικής διαστολής μας δείχνει κατά πόσο αυξάνονται οι διαστάσεις ενός σώματος με την αύξηση της θερμοκρασίας.
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας	Η θερμική αγωγιμότητα φανερώνει την ευκολία ή τη δυσκολία διάδοσης της θερμότητας στο εσωτερικό ενός υλικού. Η θερμική αγωγιμότητα μετριέται με τον «συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας».

### 6.3 ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

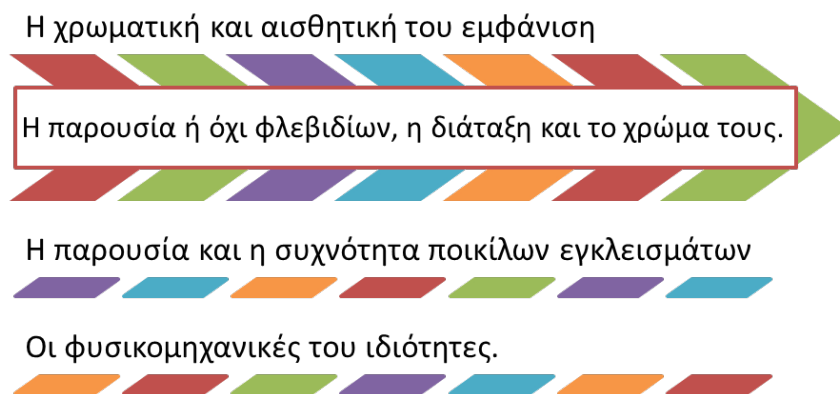
Η ποιότητα των μαρμάρων και γενικότερα των παραγόμενων προϊόντων έχει απασχολήσει σε έντονο βαθμό τον εμπορικό κλάδο της βιομηχανίας διακοσμητικών πετρωμάτων. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι ακόμα μέχρι σήμερα δεν έχει καθοριστεί επακριβώς η έννοια της ποιότητας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ορισμένοι καταναλωτές πιστεύουν ότι βλάβες στα διακοσμητικά μάρμαρα παρουσιάζονται σε αυτά που είναι κακής



ποιότητας. Επιπρόσθετα, ορισμένοι ενστερνίζονται ως ποιοτική υποβάθμιση του μαρμάρου όταν παρουσιάζεται παραλλαγή στο χρώμα του. Σύμφωνα με τον Τσιραμπίδη (1996) και Matthews (1994) το «πρόβλημα αυτό επιλύεται από κάθε μαρμαροβιομηχανία η οποία δύναται να προσφέρει σε κάθε αγοραστή τις απαιτούμενες πληροφορίες για την αγορά των μαρμάρων, όπως :

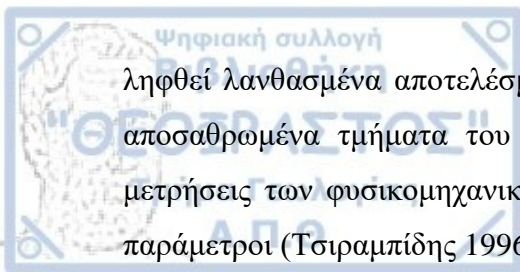
- ποικιλότητα χρώματος
- αντοχή, σκληρότητα
- απορροφητικότητα
- στρέβλωση
- πληρώσεις φλεβιδίων
- ρωγμές
- κηλίδες
- πληροφορίες καθαρισμού και συντήρησης, καθώς και κατάλληλης τοποθέτησης του πετρώματος.

Επομένως, η ποιότητα ενός διακοσμητικού πετρώματος καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, οι κυριότεροι των οποίων απεικονίζονται συνοπτικά στην Εικόνα 23 (Τσιραμπίδης 1996).



Εικόνα 23: Απεικόνιση των παραγόντων που καθορίζουν την ποιότητα των διακοσμητικών μαρμάρων (Τσιραμπίδης 1996).

Εκ των ανωτέρω παραγόντων, καθοριστική σημασία για τη χρήση του μαρμάρου έχουν τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά, τα οποία εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις πετρογραφικές ιδιότητές τους. Αλλαγές στα ορυκτολογικά και ιστολογικά χαρακτηριστικά επηρεάζουν τις φυσικομηχανικές ιδιότητές τους. Επιπροσθέτως, ο Τσιραμπίδης, (1996) αναφέρει ότι εξίσου σημαντικός είναι και ο τρόπος δειγματοληψίας των μαρμάρων και οι τεχνικές ελέγχου της ποιότητάς τους. Πιο συγκεκριμένα αναφέρει ότι στο παρελθόν έχουν



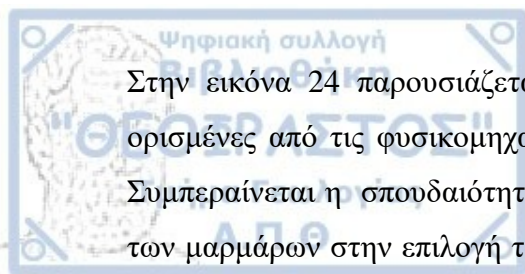
ληφθεί λανθασμένα αποτελέσματα εξαιτίας της κακής δειγματοληψίας (π.χ. δοκίμια από αποσαθρωμένα τμήματα του πετρώματος). Για αυτό το λόγο, για να είναι ορθές οι μετρήσεις των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ορισμένοι παράμετροι (Τσιραμπίδης 1996) (εικόνα 24).

Οι διαστάσεις των δοκιμών να συσχετίζονται με τη μέση κοκκομετρική διαβάθμιση του πετρώματος. Σε λεπτόκοκκα και ομογενή στη σύσταση πετρώματα οι διαστάσεις των δοκιμών μπορεί να είναι μικρές, ενώ σε αδρόκοκκα επιβάλλεται να είναι μεγαλύτερες, ώστε να μπορεί να αντιπροσωπεύεται όλη η κοκκομετρία του πετρώματος.

Στο πέτρωμα υπάρχει συγκεκριμένος προσανατολισμός των κόκκων ή κρυστάλλων (στρώση στα ιζηματογενή ή σχιστότητα στα μεταμορφωμένα πετρώματα). Για αυτό πρέπει να ετοιμαστούν δοκίμια τόσο παράλληλα, όσο και κάθετα στη στρώση ή στη σχιστότητα, γιατί για ορισμένες ιδιότητες (π.χ. αντοχή στη θλίψη) παίρνονται πολύ διαφορετικά αποτελέσματα.

Η συχνή εμφάνιση πυριτικών κονδύλων ή η ύπαρξη μικρών διαρρήξεων (κομών) μέσα στο μάρμαρο δε θα πρέπει να αγνοούνται, αλλά αντίθετα να ετοιμάζονται δοκίμια που θα περιέχουν τέτοια στοιχεία και να πραγματοποιούνται αντίστοιχες δοκιμές, ώστε να γίνει γνωστή η πραγματική συμπεριφορά του μαρμάρου με τις αδυναμίες του.

**Εικόνα 24:** Παράγοντες που καθορίζουν την εγκυρότητα των μετρήσεων φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των μαρμάρων (Τσιραμπίδης 1996)

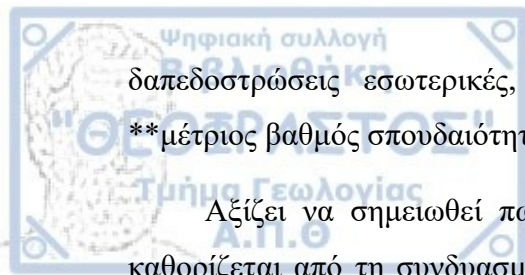


Στην εικόνα 24 παρουσιάζεται συνοπτικά ο βαθμός σπουδαιότητας που χαρακτηρίζει ορισμένες από τις φυσικομηχανικές ιδιότητες των μαρμάρων ανάλογα με τη χρήση τους. Συμπεραίνεται η σπουδαιότητα του ρόλου και η σημασία των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των μαρμάρων στην επιλογή του κατάλληλου είδους για την καταλληλότερη χρήσης τους. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι μάρμαρα με μικρό βαθμό αντοχής στην κρούση δύναται να χρησιμοποιηθούν σε ορθομαρμαρώσεις, αλλά όχι σε δαπεδοστρώσεις. Επίσης, δεν πρέπει να παραληφθεί πως ορισμένες ιδιότητες των μαρμάρων καθορίζουν το κόστος επεξεργασίας και επομένως έμμεσα τη χρήση και την τιμή πώλησής τους. Πιο συγκεκριμένα, το κόστος για την κοπή ενός μαρμάρου καθορίζεται από τη μέση τιμή της μικροσκληρότητας Knoop.

**Πίνακας 6:** Βαθμός σπουδαιότητας των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων διακοσμητικών πετρωμάτων ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται (Λασκαρίδης κ.ά. 2000).

	Ακατέργαστα προϊόντα	Ημικατεργασμένα προϊόντα	Γελικά προϊόντα για τις ακόλουθες χρήσεις:					
			1		2		3	4
			α	β	α	β		
Πετρογραφικός προσδιορισμός	***	***	***	***	***	***	***	***
Μέγεθος και σχήμα κόκκων	***	***	***	***	***	***	***	***
Φαινόμενο ειδικό βάρος	***	***	***	***	***	***	***	***
Αντοχή στη θλίψη	***	**	**	*	**	**	***	*
Αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη	***	***	***	*	**	**	***	***
Μέτρο ελαστικότητας	***	**	***	*	**	*	***	*
Αντοχή στην πρόσκρουση	***	***	**	**	***	***	***	***
Μικροσκληρότητα Knoop	***	**	*	*	***	***	**	*
Συντελεστής εμποτισμού	***	***	***	**	***	**	**	***
Συντελεστής θερμικής διαστολής	**	**	***	*	**	**	**	**
Αντοχή στον παγετό	***	**	***	*	***	*	**	***
Αντοχή στην τριβή	***	***	**	**	***	***	***	*
Αντοχή στη διάβρωση	***	***	***	*	***	*	***	***

1α. επενδύσεις εξωτερικές, 1β. επενδύσεις εσωτερικές, 2α. δαπεδοστρώσεις εξωτερικές, 2β.



δαπεδοστρώσεις εσωτερικές, 3. σκάλες, 4. στέγες. \*μικρός βαθμός σπουδαιότητας, \*\*μέτριος βαθμός σπουδαιότητας, \*\*\* μεγάλος βαθμός σπουδαιότητας.

Αξίζει να σημειωθεί πως η καταλληλότητα ενός πετρώματος για μια κατασκευή καθορίζεται από τη συνδυασμένη μέτρηση και ερμηνεία πολλών ιδιοτήτων, γι' αυτό και είναι σημαντικό να είναι γνωστές όλες οι φυσικομηχανικές ιδιότητες του κάθε πετρώματος.

#### 6.4 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ

Οι μηχανικές ιδιότητες του μαρμάρου είναι παραπλήσιες των κύριων ορυκτών του, ασβεστίτη και δολομίτη. Παρατίθενται ενδεικτικές τιμές των ιδιοτήτων αυτών από μετρήσεις τους σε ελληνικά μάρμαρα (Ελληνικό Μάρμαρο 1991, Λασκαρίδης και Πατρώνης 2005):

- Φαινόμενη Πυκνότητα:  $2.670-2.770\text{kg/cm}^3$
- Συντελεστής υδατοαπορρόφησης: 0,8-5% (μεγαλύτερος στα δολομιτικά από ότι στα ασβεστιτικά μάρμαρα).
- Μέτρο ελαστικότητας: 65000MPa
- Θλιπτική αντοχή: 70-150MPa (ιδιότητα αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους των κρυστάλλων και του αριθμού των δομικών ατελειών).
- Εφελκυστική αντοχή: 10-30MPa (ιδιότητα που εξαρτάται από τη διεύθυνση σχιστότητας).
- Αντοχή στη φθορά από τριβή: 2,5-6,0mm (ιδιότητα αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους των κρυστάλλων).
- Αντοχή στην πρόσκρουση: 0,4-0,7kpm.
- Συντελεστής θερμικής διαστολής:  $0,0029-0,0047\text{mmm}^{-1}\text{K}^{-1}$
- Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας:  $2.47-2.73\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$

## 6.5 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΥΡΓΩΝ

Η ΜΠΥΡΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΑΡΜΑΡΑ Α.Ε. παραχώρησε τα τεχνικά χαρακτηριστικά και χημική σύσταση ως μέση τιμή των αναλύσεων που εκτέλεσε σε εργαστήρια της Γερμανίας. Οι μέσες τιμές αυτές παρουσιάζονται παρακάτω:

### Τεχνικά χαρακτηριστικά των μαρμάρων Πύργων Δράμας:

- Αντοχή σε κάμψη:  $7.04 \text{ N/mm}^2$
- Υδατοαπορρόφηση :  $0,37 \%$
- Αντοχή σε θλίψη:  $98,5 \text{ N/mm}^2$
- Φαινόμενη πυκνότητα :  $2825,41 \text{ kg/m}^3$

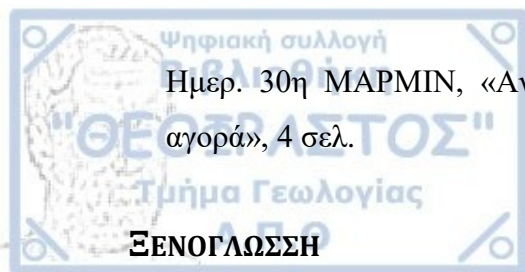
Παρατηρούμε ότι η υδατοαπορρόφηση είναι μικρότερη στην περιοχή των Πύργων σε σχέση με το γενικό συντελεστή υδατοαπορρόφησης των μαρμάρων, ενώ η φαινόμενη πυκνότητα είναι μεγαλύτερη στην περιοχή των Πύργων.

### Μέση χημική σύσταση των μαρμάρων Πύργων Δράμας:

- $\text{Al}_2\text{O}_3$ :3,20%
- $\text{CaO}$ :30,19%
- $\text{SiO}_2$ :5,24%
- $\text{MgO}$ :18,58%
- $\text{Fe}_2\text{O}_3$ :0,36%
- $\text{K}_2\text{O}$ :<0,01%
- Απώλεια πύρωσης:42,42%

- Βουγιούκας Δ. & Χατζηπαναγής Ι. (2009): Γεωλογία-Λιθοστρωματογραφία-Τεκτονική και κοιτασματολογία του Φαλακρού Όρους. Έκθεση ΙΓΜΕ, Γ'ΚΠΣ, Ξάνθη, 74 σελ.
- Βουγιούκας Δ., Χατζηπαναγής Ι., Αναστασιάδης Ι., Δημάδης Ε., Θεοδορούδης Α. & Επιτρόπου Ν. (2001): Έρευνα για τον εντοπισμό και αξιοποίηση μαρμαροφόρων περιεχών στην Αν. Μακεδονία-Θράκη. Τελική έκθεση ΙΓΜΕ, Ξάνθη, 233 σελ.
- Λασκαρίδης Κ., Παπαϊωάννου Ν. & Κουσερής Ι. (2000): Επιλογή των διακοσμητικών πετρωμάτων με κριτήριο τις φυσικομηχανικές τους ιδιότητες. Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου «Το Ελληνικό Μάρμαρο», Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ-ΔΕΘ HELEXPO, Θεσσαλονίκη, 87-96.
- Λασκαρίδης Κ. και Πατρώνης Μ. (2005): Οι φυσικομηχανικές ιδιότητες των φυσικών διακοσμητικών πετρωμάτων και η χρήση τους κατά την απόδοση σήμανσης CE.2ο Συνέδριο της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας, Θεσσαλονίκη, 179-187.
- Παπατρέχας Χ. (2011): Συσχέτιση φυσικομηχανικών ιδιοτήτων με το κοκκομετρικό μέγεθος και την ορυκτολογική σύσταση των ανθρακικών πετρωμάτων της ανατολικής Μακεδονίας. Διδακτορική Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Γεωλογίας Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας, 171 σελ.
- Ρήγας Κ. Γεωργούσης Γ. & Σουνδουλουνάκης Ν. (1990): Εργαστηριακός ποιοτικός έλεγχος μαρμάρων: Καθοριστικός παράγοντας για την επιλογή των καταλληλότερων χρήσεών τους. Πρακτικά Συνεδρίου «Το Ελληνικό Μάρμαρο» ΓΕΩΤ.Ε.Ε., Θεσσαλονίκη, 309-314.
- Τσιραμπίδης Α. (1996α): Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά πετρώματα, University studio press. Θεσσαλονίκη, 309-310.
- Χατζηπαναγής Ι. (1991): Η γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής του όρους Φαλακρού. Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα, 170 σελ.
- Χατζηπαναγής Ι. & Βουγιούκας Δ. (2004): Η σημασία της λιθοστρωματογραφικής θέσης και της τεκτονικής παραμόρφωσης στον εντοπισμό και την αξιοποίηση των δολομιτικών μαρμάρων του Όρους Φαλακρού. Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ., 36(1), 63-71.
- Χατζηπαναγής Ι. & Βουγιούκας Δ. (2005): Τα μάρμαρα της Ανατολικής Μακεδονίας. Βασικοί παράγοντες που χαρακτηρίζουν την εμπορικότητά τους σαν διακοσμητικά πετρώματα. Ποιότητες-Παραγωγή-Τιμές-Αποθέματα. 2ο Συν. Επιτρ. Οικον. Γεωλ. Ορυκτ. Γεωχ. Της ΕΓΕ, Θεσσαλονίκη, Πρακτ., 387-396.
- Χατζηπαναγής Ι. Βουγιούκας Δ. Παπατρέχας Χ. & Μπίτζιος Δ. (2006): Μοντέλο διαχείρισης της μαρμαροφόρου περιοχής του Όρους Φαλακρού, Νομού Δράμας. Πρακτ.

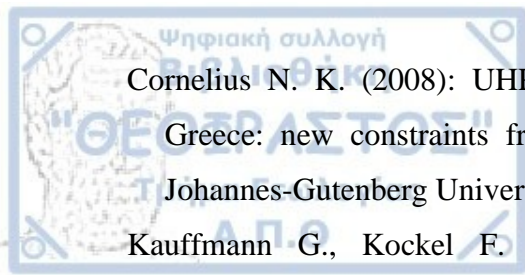




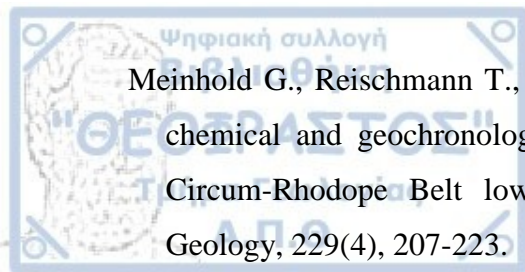
Ημερ. 30η ΜΑΡΜΙΝ, «Ανταγωνιστικότητα του Ελληνικού μαρμάρου στη σύγχρονη αγορά», 4 σελ.

#### **ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ**

- Aldanmaz E., Pearce J. A., Thirlwall M. F., & Mitchell J. G. (2000): Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102(1), 67-95.
- Barnett J. D., Nelson H. M., Dev Tyage S., (1985): High-Pressure EPR Study of the Calcite CaCO<sub>3</sub> (II) Displasive Phase Transformation Near 1.6 Gpa. *Physical Review B*, 31, 1248.
- Barr S. R., Temperley S., & Tarney J. (1999): Lateral growth of the continental crust through deep level subduction-accretion: a re-evaluation of central Greek Rhodope. *Lithos*, 46(1), 69-94.
- Bathurst R.G.C.(1986): Carbonate Sediments and their Diagenesis, *Developments in Sedimentology* 12, Elsevier. New York, 475-519.
- Bauer C., Rubatto D., Krenn K., Proyer A. & Hoinkes G. (2007): A zircon study from the Rhodope metamorphic complex, N-Greece: time record of a multistage evolution. *Lithos*, 99:207-228.
- Blackburn W. H. and Dennen W. H. (1990): *Principles of Mineralogy*, Universal Bookstall. New Delhi.
- Bonev N., Burg J.-P. & Ivanov Z. (2006): Mesozoic-Tertiary structural evolution of an extensional gneiss dome-the Kesebir-Kardamos dome, E. Rhodope, Bulgaria-Greece. *International Journal of Earth Sciences* 95, 318-340.
- Brun, J.P. & Sokoutis D. (2007): Kinematics of the Southern Rhodope Core Complex (North Greece). *International Journal of Earth Sciences* 99(1), 109-138.
- Burg J. (2012): Rhodope: From Mesozoic convergence to Cenozoic extension. Review of petro-structural data in the geochronological frame. In: (Ed.) Emmanuel Skourtsos and Gordon S. Lister, *The Geology of Greece*, *Journal of the Virtual Explorer*, Electronic Edition, ISSN 1441-8142, volume 42, paper 1.
- Burg J-P, Ricou L-E, Ivanov Z., Godfriaux I., Dimov D. & Klain L. (1996): Syn-metamorphic nappe complex in the Rhodope Massif. Structure and kinematics. *Terra Nova* 8, 6-15.
- Chang L.L.Y., Howie R.A. & Zussman J. (1996) *Rock-Forming Minerals*, Vol. 5B Non-silicates: Sulphates, Carbonates, Phosphates and Halides, 2nd edition. The Geological Society, London, 383.



- Cornelius N. K. (2008): UHP metamorphic rocks of the Eastern Rhodope Massif, NE Greece: new constraints from petrology, geochemistry and zircon ages. PhD Thesis Johannes-Gutenberg Universität, Mainz, 6-8.
- Kauffmann G., Kockel F. & Mollat H. (1976): Notes on the stratigraphic and palaeogeographic position of the Svoula Formation in the Innermost Zone of the Hellenides (Northern Greece). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 18, 225-230.
- Kilias A. & Mountrakis D. (1990): Kinematics of the crystalline sequences in the western Rhodope massif. *Geologica Rhodopica* 2, 100-116.
- Kilias A., Falalakis G., Sfeikos A., Papadimitriou E., Vamvaka A., and Gkarlaouni Ch. 2011. Architecture of Kinematics and Deformation History of the Tertiary Supradetachment Thrace Basin: Rhodope Province (NE Greece), *New Frontiers in Tectonic Research - At the Midst of Plate Convergence*, Uri Schattner (Ed.), 242 .
- Kockel F., Mollat H. & Walther H. W. (1977): Erläuterungen zur geologischen Karte der Chalkidhiki und angrenzender Gebiete 1: 100,000 (Nord-Griechenland), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 119 .
- Krohe A., & Mposkos E. (2002): Multiple generations of extensional detachments in the Rhodope Mountains (northern Greece): evidence of episodic exhumation of high-pressure rocks. *Special Publication-Geological Society of London*, 204, 151-178.
- Liati A., (2005): Identification of repeated Alpine (ultra) high-pressure metamorphic events by U–Pb SHRIMP geochronology and REE geochemistry of zircon: the Rhodope zone of Northern Greece. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 150:608-630.
- Liati A., Gebauer D. & Fanning C.M. (2011): Geochronology of the Alpine UHP Rhodope zone: a review of isotopic ages and constraints on the geodynamic evolution. In: L.F. Dobrzhinetskaya, S.W. Faryad, S. Wallis, S. Cuthbert (Eds.), *Ultrahigh-Pressure Metamorphism: 25 Years After The Discovery of Coesite and Diamond*, Elsevier, London (2011), pp. 295-316.
- Lips A.L.W., White S.H. & Wijbrans J.R. (2000): Middle-Late Alpine thermotectonic evolution of the southern Rhodope Massif, Greece. *Geodinamica Acta* 13, 281-292.
- Marchev P., Raicheva R., Downes H., Vaselli O., Chiaradia M. & Moritz R. (2004): Compositional diversity of Eocene-Oligocene basaltic magmatism in the Eastern Rhodopes, SE Bulgaria: implications for genesis and tectonic setting. *Tectonophysics* 393, 301-328.
- Matthews J. (1994): What is Quality in Dimension Stone?  
<http://jbmatthews.home.mindspring.com>



Meinhold G., Reischmann T., Kostopoulos D., Frei D. & Larionov A. N. (2010): Mineral chemical and geochronological constraints on the age and provenance of the eastern Circum-Rhodope Belt low-grade metasedimentary rocks, NE Greece. *Sedimentary Geology*, 229(4), 207-223.

Mposkos E. & Liati A. (1993): Metamorphic evolution of metapelites in the high pressure terrain of Rhodope, N. Greece. *Can Mineral* 31:401-424.

Mposkos E. (1989): High-pressure metamorphism in gneisses and pelitic schists in East Rhodope zone (N Greece). *Mineral Petrol* 41, 337-351.

Papanikolaou D. & Panagopoulos G. (1981): On the structural style of Southern Rhodope (Greece). 11, 13-22.

Phillips, W. R and Griffen, D. T (1981) *Optical Mineralogy: The nonopaque minerals*. San Francisco (W. H Freeman), 142-144.

Ricou L.-E., Burg J-P., Godfriaux I. & Ivanov Z. (1998): Rhodope and Vardar: the metamorphic and the olistostromic paired belts related to the cretaceous subduction under Europe. *Geodin Acta* 11, 285-309.

Soldatos T., Koroneos A., Kamenov B.K., Peytcheva I., von Quadt A., Christofides G., Zheng X. & Sang H. (2008): New U-Pb and Ar-Ar mineral ages for the Barutin-Buynovo-Elatia-Skaloti-Paranesti batholith (Bulgaria and Greece). Refinement of its debatable age. *Geochem. Mineral. Petrol.* 46, 85-102.

Turpaud P. (2006): Characterisation of igneous terranes by zircon dating: implications for UHP relicts occurrences and suture identification in the Central Rhodope, Northern Greece. Ph.D. thesis, University of Mainz, Germany, 65,73.

Turpaud P., & Reischmann T. (2010): Characterisation of igneous terranes by zircon dating: implications for UHP occurrences and suture identification in the Central Rhodope, northern Greece. *International Journal of Earth Sciences*,99(3), 567-591.

Wawrzenitz N. & Mposkos E., (1997): First evidence for Lower Cretaceous HP/HT-metamorphism in the Eastern Rhodope, North Aegean region, North-East Greece, *Eur. J. Mineral.* 9, 659-664.

#### **ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ**

- <http://www.capital.gr>
- <http://www.metal.ntua.gr>
- <http://www.googleearth.gr>
- <http://www.1dimagdim.blogspot.com>
- <http://www.wikipedia.org>