

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ - ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΑΡΧΑΙΑ
ΛΑΤΟΜΕΙΑ ΠΡΟΣΚΥΝΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΑΡΩΝΕΙΑΣ-
ΞΥΛΑΓΑΝΗΣ**

ΕΛΕΝΗ ΔΕΝΔΙΑ

ΑΕΜ 4878



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επιβλέποντες Καθηγητές
Βασίλειος Μέλφος, Επίκουρος Καθηγητής
Λαμπρινή Παπαδοπούλου, Επίκουρη Καθηγήτρια**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2018





ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	4
Abstract	5
Πρόλογος.....	6
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	7
Κεφάλαιο 2: Διάβρωση των λίθων σε αρχαία μνημεία	8
2.1 Παράγοντες διάβρωσης λίθων	8
2.1.1 Διάβρωση λόγω δράσης του νερού	8
2.1.2 Διάβρωση λόγω ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	9
2.1.3 Διάβρωση λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών	9
2.1.4 Διάβρωση λόγω δομής και σύστασης.....	11
2.1.5 Διάβρωση λόγω βιολογικών παραγόντων.....	11
2.1.6 Διάβρωση από αλκαλικούς παράγοντες.....	12
2.1.7 Διάβρωση λόγω προσβολής από ανιόντα χλωρίου (Cl^-)	12
2.2 Κατηγορίες διάβρωσης	12
2.3 Φθορές Μαρμάρων – Ασβεστολίθων	13
Κεφάλαιο 3: Αρχαία και σύγχρονα λατομεία στην περιοχή Μαρώνειας και Προσκυνητών και το σπήλαιο της Μαρώνειας.....	15
3.1 Τα αρχαία λατομεία της Μαρώνειας.....	15
3.2 Τα αρχαία λατομεία Προσκυνητών.....	17
3.3 Το σπήλαιο της Μαρώνειας.....	19
3.4 Τα σύγχρονα λατομεία στους Προσκυνητές.....	22
Κεφάλαιο 4: Γεωλογία της περιοχής.....	26
4.1 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής της Μαρώνειας	26
4.2 Γεωλογική δομή της περιοχής των αρχαίων λατομείων Προσκυνητών.....	29
Κεφάλαιο 5: Μέθοδοι έρευνας του λίθου	33
Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα	36
Κεφάλαιο 7: Συζήτηση - Συμπεράσματα.....	47
Βιβλιογραφία	48



Περίληψη

Μελέτη της διάβρωσης των ασβεστολίθων από τα αρχαία λατομεία Προσκυνητών στην περιοχή Μαρώνειας- Ξυλαγανής

Ελένη Δένδια

Από την αρχαιότητα ο άνθρωπος συνειδητοποίησε τη σημασία των πετρωμάτων στη ζωή και την καθημερινότητα του. Τότε ξεκίνησε να συλλέγει τους λίθους, προκειμένου να τους επεξεργασθεί αργότερα, μέσω των λατομείων. Τα αρχαία λατομεία των Προσκυνητών στην περιοχή μεταξύ Μαρώνειας και Ξυλαγανής ήταν πολύ σημαντικά και ο χαρακτηριστικός ασβεστόλιθός τους χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή πολλών κατασκευών κατά την αρχαιότητα, όπως το αρχαίο θέατρο της Μαρώνειας (3^{ος} αι. π.Χ.). Με την πάροδο του χρόνου και την επίδραση πολλών εξωτερικών παραγόντων, το πέτρωμα αλλοιώθηκε και διαβρώθηκε σε μεγάλο βαθμό, και για το λόγο αυτό έγινε μια μελέτη για την επίδραση της διάβρωσης σε αυτό. Πραγματοποιείται μικροσκοπική και μακροσκοπική μελέτη, τόσο του υγιούς πετρώματος, όσο και της διαβρωμένης επιφάνειας του. Στη συνέχεια γίνεται χρήση περιθλασίμετρου ακτίνων X και Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) για να διαπιστωθεί η έκταση και τα προϊόντα της αποσάθρωσης κατά τα τελευταία 2.500 χρόνια. Πρόκειται για έναν ασβεστόλιθο με πληθώρα απολιθωμάτων, με ιδιαίτερο πορτοκαλορόδινο χρώμα και αρκετά μεγάλη σκληρότητα, στον οποίο επιβεβαιώνεται ότι δεν υπάρχει δολομίτης. Οι κόκκοι του είναι αρκετά μικρού μεγέθους και έτσι ο ασβεστόλιθος αυτός μπορεί να χαρακτηριστεί ως μικριτικός απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος. Στη διαβρωμένη επιφάνεια παρατηρούνται αρκετά στοιχεία, που δεν υπάρχουν στο υγιές πέτρωμα, και η παρουσία τους οφείλεται σε ατμοσφαιρικούς παράγοντες και σε αιωρούμενα σωματίδια, στα οποία είναι εκτεθειμένο για τόσες χιλιάδες χρόνια.



Abstract

Study of the limestone erosion at the Proskinites ancient quarries in Xylagani- Maronia area

Eleni Dendia

Since the ancient times man has realized the importance of stones in the daily life and routine. Therefore, he started collecting stones, and processed them for tools manufacturing. The building materials were extracted in quarries, which are landscapes that have to be preserved. The ancient quarries in Proskinites are found between Maronia and Xylagani and were very significant. Their characteristic limestone was used in many constructions, such as the ancient theatre of Maronia (3rd cent. B.C.). Due to the atmospheric conditions through time the limestone in the quarries was affected and was altered and eroded. This thesis concerns the study of this erosion including optical and Scanning Electron Microscopic research of the unaltered and the altered parts of the rock. Subsequently, X-ray diffraction spectrometry was also used. The limestone under study contains plenty of fossils and has a special orange-pink color and a high hardness. It is dolomite free and the grains have a very small size, and so this limestone can be classified as micritic fossiliferous limestone. Several elements were detected on the altered surface, that do not appear in the unaltered rock, and their presence is attributed to the atmospheric conditions and the concentration of the suspended particulate matter (SPM).



Η παρούσα διπλωματική εργασία «Μελέτη της διάβρωσης των ασβεστολίθων από τα αρχαία λατομεία Προσκυνητών στην περιοχή Μαρώνειας- Ξυλαγανής» εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2017-18 στον τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Αντικείμενό της είναι οι νουμμουλιτοφόροι ασβεστολίθοι του αρχαίου λατομείου Προσκυνητών της περιοχής μεταξύ της Μαρώνειας και της Ξυλαγανής καθώς και οι συνέπειες που υπέστησαν λόγω της διεργασίας της διάβρωσης. Σκοπός είναι η μελέτη της διάβρωσης, των παραγόντων της και των επιπτώσεων της στα ασβεστολιθικά πετρώματα.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας, με τη βοήθεια και τη στήριξη τους. Τον επιβλέποντα Επίκουρο Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, κ. Βασίλειο Μέλφο, ευχαριστώ για την ανάθεση του θέματος της διπλωματικής, τις πολύτιμες συμβουλές του και φυσικά το ενδιαφέρον και τη στήριξη του από την αρχή μέχρι την ολοκλήρωση της εργασίας.

Επίσης ευχαριστίες οφείλονται στην Επίκουρη Καθηγήτρια του Τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, κ. Λαμπρινή Παπαδοπούλου για την μελέτη στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM) και για τις συμβουλές της.

Ευχαριστώ επίσης τα μέλη του Τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. για την παραχώρηση του εργαστηρίου και του εργαστηριακού εξοπλισμού.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, που πάντα βρίσκεται δίπλα μου και με στηρίζει.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Από αρχαιωτάτων χρόνων τα διάφορα είδη λίθων έπαιζαν έναν καταλυτικό ρόλο στην ανθρώπινη καθημερινότητα. Οι πρόγονοί μας αξιοποιούσαν κάθε είδος πέτρας, για την κατασκευή εργαλείων, συσκευών ποικίλων χρήσεων, κοσμημάτων, οικημάτων, αγαλμάτων, μνημείων κλπ. (Dubreuil & Savage 2014). Ήδη από τη Νεολιθική εποχή, ο προϊστορικός άνθρωπος ξεκίνησε να παρατηρεί και να κατηγοριοποιεί κάποιες πέτρες, πολύτιμες ή μη, και να τις χρησιμοποιεί σαν κοσμήματα, στα οποία μάλιστα απέδιδε και μαγικές ιδιότητες. Κατά το τέλος της Προϊστορικής εποχής, αυτοί οι λίθοι μετατράπηκαν σε μέσο συναλλαγών, γεγονός που σήμανε την οικονομική εκμετάλλευση των λίθων.

Η διαδικασία κατά την οποία οι προϊστορικοί άνθρωποι συνέλλεγαν τους λίθους πραγματοποιούνταν μέσω των λατομείων. Τα αρχαία λατομεία χρησιμοποιούνταν για την εξόρυξη δομικών υλικών με σκοπό την κατασκευή γλυπτών, μνημείων κ.α. Διαθέτουν ένα σπάνιο και σύνθετο συνδυασμό τεχνολογίας και τέχνης που αποσκοπεί στη λήψη των υλικών που είναι αναγκαία κάθε φορά. Στην Ελλάδα η λατομική και μεταλλευτική δραστηριότητα ξεκινάει ήδη από τα προϊστορικά χρόνια και γινόταν είτε με επιφανειακή εξόρυξη για την εκμετάλλευση των ορυκτών πρώτων υλών, είτε με διάνοιξη στοών εξόρυξης των μεταλλευμάτων.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη των ασβεστολίθων από τα αρχαία λατομεία των Προσκυνητών της Μαρώνειας-Ξυλαγανής και το πως επέδρασε πάνω τους η διεργασία της διάβρωσης με την πάροδο του χρόνου. Τα αρχαία αυτά λατομεία είναι πολύ μεγάλης σημασίας, μιας και κατά την Ελληνιστική και την Ρωμαϊκή περίοδο βρίσκονταν σε διαρκή λειτουργία. Ο εν λόγω ασβεστόλιθος, ο οποίος είναι πολύ χαρακτηριστικός εξαιτίας του πορτοκαλορόδινου χρώματός του και της πληθώρας απολιθωμάτων που περιέχει, χρησιμοποιήθηκε συστηματικά για την κατασκευή εδωλίων του θεάτρου της αρχαίας πόλης της Μαρώνειας.

Αντιλαμβάνεται συνεπώς κανείς την τεράστια πολιτιστική συμβολή και σημασία των αρχαίων λατομείων και επομένως και των συγκεκριμένων στους Προσκυνητές της Μαρώνειας για την πολιτιστική ανάδειξη της περιοχής. Για αυτόν τον λόγο πραγματοποιήθηκε μελέτη, μακροσκοπική και μικροσκοπική, δειγμάτων που συλλέχθηκαν από την περιοχή των λατομείων, ώστε να εξετασθεί το πως επηρεάστηκε και αλλοιώθηκε η εξωτερική, εκτεθειμένη επιφάνεια του πετρώματος, σε σύγκριση με το αναλλοίωτο και υγιές πέτρωμα, λόγω των διαβρωτικών συνθηκών που υπέστη με την πάροδο των χιλιάδων χρόνων.

Κεφάλαιο 2: Διάβρωση των λίθων σε αρχαία μνημεία

«Διάβρωση είναι κάθε αυθόρμητη και κατ' επέκταση βεβιασμένη, χημικής, ηλεκτροχημικής, φυσικής, μηχανικής, βιολογικής φύσης διεργασία αλλοίωσης της επιφάνειας (εξωτερικής και εσωτερικής) των υλικών που οδηγεί σε απώλεια υλικού» (Σκουλικίδης 2015).

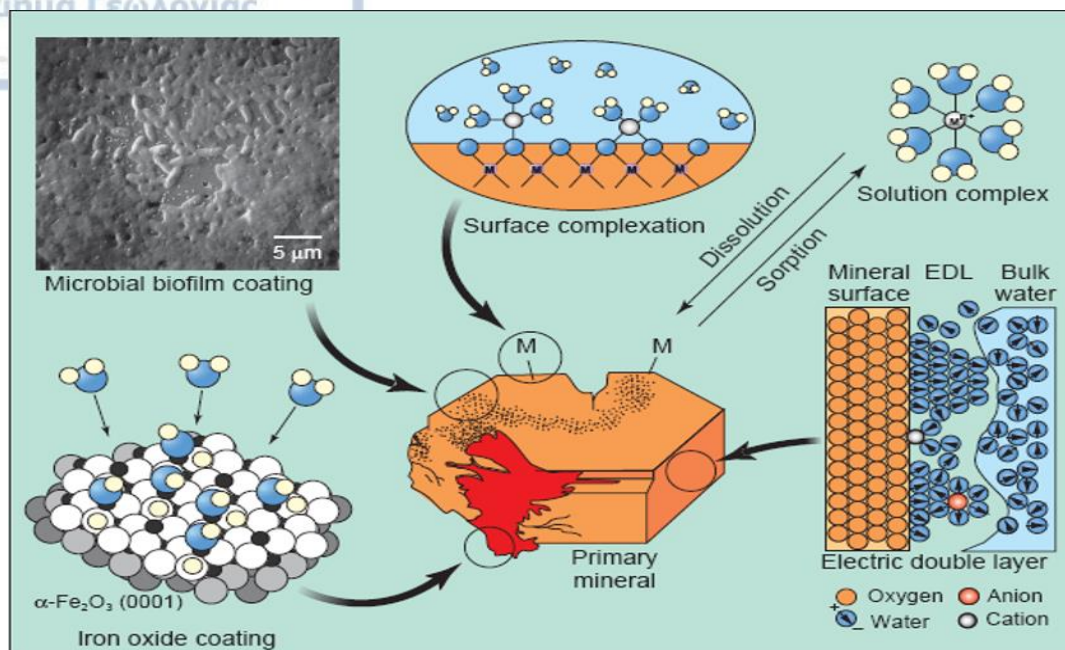
Από την αρχαιότητα ακόμη, οι πιο πολλοί παράγοντες φυσικής διάβρωσης ήταν γνωστοί, κάτι που μπορεί κανείς να αντιληφθεί από το γεγονός ότι υπάρχουν πολλές περιπτώσεις μνημείων, στα οποία χρησιμοποιήθηκαν λίθοι αποκλειστικά για τη θεμελίωση, λίθοι που ήταν ιδιαίτερα ανθεκτικοί στις ατμοσφαιρικές και κλιματικές συνθήκες, αλλά και λίθοι ο οποίοι για να ανταπεξέλθουν στις συνθήκες υπήρχε επιτακτική ανάγκη να επιχριστούν, κοινώς να «σοβατιστούν».

Βέβαια υπάρχουν και μορφές διάβρωσης, οι οποίες δεν προέρχονται από την επίδραση φυσικών παραγόντων, αλλά είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τις δραστηριότητες του ανθρώπου και τη βιομηχανική ανάπτυξη, αλλά και την εξέλιξη των μεταφορικών μέσων. Οι παράγοντες μάλιστα αυτοί από τις πρώτες μεταπολεμικές δεκαετίες, που έκαναν την εμφάνιση τους στην Ελλάδα μέχρι και μετά σταδιακά, αποτέλεσαν την κύρια αιτία καταστροφής πολλών μνημείων.

2.1 Παράγοντες διάβρωσης λίθων

2.1.1 Διάβρωση λόγω δράσης του νερού

Η παρουσία του νερού και η δράση του αποτελούν τον σημαντικότερο παράγοντα της πλειοψηφίας των μεταβολών, φυσικών και χημικών, στη δομή ενός πετρώματος. Το νερό διεισδύει στο εσωτερικό του πετρώματος, μέσω της συμπίκνωσης των υδρατμών, με τη μορφή του βρόχινου νερού που εισχωρεί εν μέσω του πορώδους, αλλά και με τη διαδικασία της τριχοειδούς αναρρίχησης, όπου κινείται στο έδαφος με ανοδικές κινήσεις (Λαμπρόπουλος 1995). Έτσι προκύπτουν τα αποτελέσματα της διάβρωσης, που είναι είτε άμεσα όπως η έκπλυση διαλυτών και διάβρωση αργιλοπυριτικών συστατικών, είτε έμμεσα όπως η μεταφορά και κρυστάλλωση των αλάτων που είναι ευάλωτα στη διάλυση (Εικ. 2.1).



Εικ. 2.1 Σύνθετη διεπιφάνεια ορυκτού- υδατικού διαλύματος (βιβλιογραφία).

2.1.2 Διάβρωση λόγω ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Οι βασικές συνέπειες της δράσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ως διαβρωτικός παράγοντας, είναι η όξινη διάλυση και η διάβρωση από διαλυτά άλατα. Φυσικές και μη πηγές απελευθερώνουν ουσίες που μεταφέρονται και αποτίθενται με τη μορφή ξηρών ή υγρών σωματιδίων και ως αέρια σε υγρές ή ξηρές επιφάνειες με πολλές και διαφορετικές δράσεις. Τέτοιες ουσίες είναι αέρια (CO_2 , NO_2 , SO_2 , N_2OCH_4 , NH_3), υγρά αεροζόλ (διαλύματα αλάτων, οξέα), και στερεά αεροζόλ (ορυκτά, οξείδια μετάλλων, σουλφίδια, αιθάλη κ.α.) (Arnold and Zehnder 1991). Επιγραμματικά, οι κύριες πηγές ρύπανσης είναι η αποτέφρωση αποβλήτων, η μεταλλουργία, τα αιωρούμενα σωματίδια και η μεταφορά τους, η καύση του άνθρακα, οι τσιμεντοβιομηχανίες, τα λατομεία, τα διυλιστήρια, οι κεντρικές θερμάνσεις, αλλά και φυσικοί παράγοντες όπως για παράδειγμα η θάλασσα και το έδαφος.

2.1.3 Διάβρωση λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών

Το εύρος των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία φαινομένων διαστολής και συστολής στην πλειοψηφία των υλικών, ανάλογα με τη δομή,

τη μικροδομή και τη σύσταση τους. Η αιτία γι' αυτό, μεταξύ άλλων, είναι οι διαφορετικοί συντελεστές θερμικής μεταβολής που χαρακτηρίζουν ορισμένα ορυκτά, τα οποία αποτελούν συστατικά στοιχεία των διαφόρων πετρωμάτων και υλικών που έρχονται σε επαφή και αλληλοεπιδρούν (Τσικούρας 2010).

Στην περίπτωση που οι κόκκοι των πετρωμάτων δεν είναι προσανατολισμένοι, το φαινόμενο αυτό είναι ομοιόμορφο, με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται το υλικό σε σημαντικό βαθμό. Αντίθετα, όταν οι κόκκοι του πετρώματος είναι προσανατολισμένοι, τότε το πέτρωμα διαστέλλεται έντονα προς μια διεύθυνση και η κόπωση του υλικού είναι μεγαλύτερου βαθμού και σημασίας, όπως επίσης συμβαίνει και όταν το πέτρωμα είναι αδρόκοκκο.

Τέτοιες θερμοκρασιακές μεταβολές οφείλονται κυρίως στην αδιάκοπη έκθεση του λίθου στην ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας και την εν συνεχεία απότομη ψύξη του κατά τη διάρκεια της νύχτας. Δεν είναι τόσο σημαντική η τιμή της μέγιστης και της ελάχιστης θερμοκρασίας, όσο ο ρυθμός μεταβολής των αντίστοιχων θερμοκρασιών. Οι καθημερινοί αυτοί κύκλοι θερμοκρασίας προξενούν χαλάρωση στα εσωτερικά στρώματα του λίθου (Κρητικού 2012).

Συγκεκριμένα στην περίπτωση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων, το ορυκτό συστατικό τους, ο ασβεστίτης, διαστέλλεται κατά τον κατακόρυφο άξονα, c , του κρυστάλλου. Με την θερμοκρασιακή άνοδο συνεπώς, δύο ασβεστιτικοί κρύσταλλοι, που βρίσκονται σε επαφή και έχουν κοινό προσανατολισμό βάσει του άξονα c , υφίστανται διαστολή έτσι ώστε να αναπτύσσονται τάσεις του υλικού εξαιτίας των δυνάμεων που έρχονται σε σύγκρουση και έχουν σημείο εφαρμογής το σύστημα των δύο ορυκτών κρυστάλλων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα μάρμαρο που δέχεται συνεχείς θερμοκρασιακούς κύκλους να καταπονείται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό, κάτι για το οποίο ευθύνεται το πόσο καλά είναι προσανατολισμένο το ορυκτό. Σε τμήματα του πετρώματος, που έχουν μεγαλύτερο μέγεθος, το φαινόμενο αυτό είναι καταστροφικότερο.

Τέλος, σημαντικό ρόλο στο ποσό της ακτινοβολίας που απορροφάται έχει το χρώμα των ορυκτών, συνεπώς και στο κατά πόσο μεταβάλλονται οι θερμοκρασίες κάθε κατηγορίας ορυκτού κρυστάλλου, προκαλώντας διαφορετικών μεγεθών διαστολή (Κρητικού 2012).

2.1.4 Διάβρωση λόγω δομής και σύστασης

Το συγκεκριμένο είδος διάβρωσης είναι αποτέλεσμα της ίδιας της φύσης του πετρώματος. Τα πετρώματα που παρουσιάζουν σχιστότητα ή στρώση είναι πιο ανθεκτικά στη διάβρωση. Η έλλειψη ομοιομορφίας των κόκκων αποτελεί ένα παράγοντα όξυνσης του φαινομένου. Τα λεπτόκοκκα ή ευάλωτα στη διάλυση ορυκτά προκαλούν τη δημιουργία ανομοιογενών διαβρωτικών επιφανειών (Τσικούρας 2010).

2.1.5 Διάβρωση λόγω βιολογικών παραγόντων

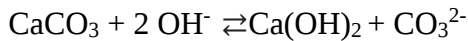
Όσον αφορά τη συντήρηση των λίθων, αξιοσημείωτοι δείκτες έρευνας αποτελούν τα οξέα και τα άλατα που παράγονται από τους διάφορους μικροοργανισμούς. Τα άλατα του Cl^- και του NO_3^- βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις σε κατοικήσιμες περιοχές, αφού οι ίδιοι οι κάτοικοι αλλά και τα ζώα καταναλώνουν και απελευθερώνουν NaCl , ενώ αντίθετα οι μικροοργανισμοί απελευθερώνουν νιτρικά άλατα στις εκκρίσεις τους. Επίσης ορισμένα βακτήρια προσλαμβάνουν ποσότητες ενέργειας προκαλώντας οξείδωση σε ενώσεις αζώτου και θείου σε νιτρικό και θειικό οξύ αντίστοιχα (Gu et al. 2000).

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η σημασία της σχέσης των χημικών και βιολογικών διεργασιών δεν είναι γνωστή. Είναι πιθανό να πραγματοποιείται ταυτόχρονη δράση και των δύο διαδικασιών. Υπάρχουν ενδείξεις από όπου φαίνεται ότι σε πολλά περιβάλλοντα πόλεων, μεγάλη ποσότητα υδρογονανθράκων δεσμεύεται από ιστορικά μνημεία και κτίρια. Εκεί αναπτύσσονται αποικίες βακτηρίων, που χρησιμοποιούν τους υδρογονάνθρακες, με αποτέλεσμα την πιθανή αύξηση του φαινομένου της διάβρωσης (Mitchell et al. 2000).

Πέρα από τις ουσίες που απελευθερώνουν (νιτρικά άλατα, οργανικά οξέα), οι μικροοργανισμοί αυτοί μετατρέπουν τις επιφάνειες σε πιο σκουρόχρωμες, μαύρες (πιο ξηρές), πράσινες και καστανέρυθρες (πιο υγρές). Επίσης προκαλούν φαινόμενα αποσάθρωσης των υλικών αφού δημιουργούνται ρωγμές και σχηματίζονται αποφλοιώσεις και φλύκταινες (Σκουλικίδης, 2000).

2.1.6 Διάβρωση από αλκαλικούς παράγοντες

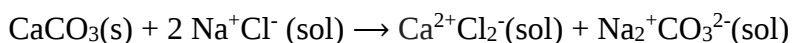
Ο ρυθμός της διάλυσης μειώνεται ανάλογα με την αύξηση του pH (τιμή έως 5). Όταν οι τιμές του pH κυμαίνεται μεταξύ 5 και 8, η ταχύτητα της διάλυσης δε μεταβάλλεται σχεδόν καθόλου. Για τιμές του pH πάνω από 8 η ταχύτητα παρουσιάζει μεγάλη αύξηση, κάτι το οποίο οφείλεται στην αντίδραση-μετατροπή:



Το Ca(OH)_2 διαλύεται ευκολότερα από το CaCO_3 , άρα θα έπρεπε να ευνοηθεί η αντίδραση προς τα αριστερά, κάτι που δε συμβαίνει αφού η χαμηλή τιμή του pOH την αντιστρέφει μερικώς.

2.1.7 Διάβρωση λόγω προσβολής από ανιόντα χλωρίου (Cl^-)

Σε τοποθεσίες που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα αιωρούνται στον αέρα σταγονίδια διαλυμάτων NaCl , τα οποία υφίστανται διάλυση εξαιτίας του βρόχινου νερού και δρουν σύμφωνα με την αντίδραση:



2.2 Κατηγορίες διάβρωσης

Βάσει των αποτελεσμάτων της, η διάβρωση μπορεί να διακριθεί στα εξής είδη:

1. Γενική ή Ομοιόμορφη διάβρωση. Στην επιφάνεια του υλικού σχηματίζεται ένα ομοιόμορφο στρώμα προϊόντος διάβρωσης ή λαμβάνει χώρα μια περίπου ομοιόμορφη διάλυση της επιφάνειας.

2. Διάβρωση με βελονισμούς. Περίπτωση εκλεκτικού τοπικού σχηματισμού προϊόντος διάβρωσης ακόμη και όταν το υλικό είναι καλυμμένο με τα προϊόντα της διάβρωσης ή με προστατευτική ύλη ή για εκλεκτική τοπική επιφανειακή διάλυση (βελονισμοί).

3. Διάβρωση με μηχανική καταπόνηση, που καταλήγει σε ψαθυρή θραύση. Αποτελεί το πιο βλαβερό είδος διάβρωσης, με απόρροια πολύ μεγάλες καταστροφές.

4. Σπηλαιώδης μηχανική διάβρωση. Δημιουργούνται έγκοιλα ή κρατήρες από τοπική εξάχνωση υλικού, λόγω υποπίεσεων. Παρατηρείται σε περιπτώσεις ροής ρευστών μέσω σωλήνων, έντονων βροχοπτώσεων, ποτάμιου ρεύματος σε επαφή με το υλικό κλπ.

5. Δεν υπάρχει υλικό το οποίο να μην μπορεί να διαβρωθεί, που σημαίνει ότι η διεργασία της διάβρωσης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κάθε περιβάλλον, χωρίς να είναι απαραίτητη η επαφή με τα συστατικά του διαβρωτικού περιβάλλοντος. Το περιβάλλον έχει αντίκτυπο στην ταχύτητα της διεργασίας και το είδος των προϊόντων διάβρωσης. (Σκουλικίδης, 2000).

2.3 Φθορές Μαρμάρων – Ασβεστολίθων

Παρακάτω γίνεται μία περιγραφή των φθορών, των μορφών και των αιτιών που μπορεί να υποστούν αρχαία μνημεία κατασκευασμένα από μάρμαρο ή ασβεστόλιθο (Παπασταματίου 2007). Οι φθορές που παρατηρούνται σε τέτοια υλικά οφείλονται στην μεμονωμένη ή συνδυασμένη επίδραση περιβαλλοντικών συνθηκών, μηχανικών, φυσικοχημικών και βιολογικών παραγόντων σε συνδυασμό με την εσωτερική δομή των υλικών και τις ανθρώπινες επεμβάσεις. Οι φθορές διαχωρίζονται με βάση τη μορφολογία τους και διακρίνονται στις εξής :

1. «Ζαχαροειδής» ή περικρυσταλλική φθορά

Εμφανίζεται σε περιοχές της επιφάνειας που είναι εκτεθειμένες στη βροχή. Οφείλεται στην όξινη προσβολή πετρωμάτων, όπως μάρμαρα και ασβεστόλιθοι, από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους (οξείδια του άνθρακα, του θείου, του αζώτου όπου με την παρουσία νερού της βροχής μετατρέπονται σε αραιά οξέα – όξινη βροχή). Η φθορά αυτή εκδηλώνεται με την προσβολή των κόκκων του πετρώματος, που οδηγεί στην απώλεια της συνοχής τους και τελικά στην τελική πτώσης τους.

2. Γυψοποίηση

Η γυψοποίηση ή θείωση του μαρμάρου εκδηλώνεται σε περιοχές του πετρώματος που δεν έρχονται σε επαφή με το νερό της βροχής, κατά την οποία το ανθρακικό ασβέστιο μετατρέπεται σε γύψο που παραμένει στην επιφάνεια, και μέχρι ένα ορισμένο πάχος διατηρεί το ανάγλυφό της.

3. Επικαθίσεις αιωρούμενων σωματιδίων

Σε περιοχές όπου παραμένουν στεγασμένες από το νερό της βροχής παρατηρούνται επικαθίσεις αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας, όπως αιθάλη, υδρογονάνθρακες, οξείδια μετάλλων όπου οφείλονται οι χρωματικές αλλοιώσεις της επιφάνειας του πετρώματος. Η επάλληλη εναπόθεση γύψου, επικαθίσεων και ανακρυσταλλωμένου ανθρακικού ασβεστίου σχηματίζει τις μαύρες κρούστες.

4. Θραύσεις

Πολλά μέρη του πετρώματος είναι σπασμένα με αποτέλεσμα την αλλοίωση της μορφολογίας τους αλλά και της γεωμετρίας τους. Η διάδοση και ο προσανατολισμός των θραύσεων εμφανίζεται είτε με τη μορφή ρηγματώσεων ή με τη μορφή αποφλοιώσεων, που είναι η απόσχιση-απόσπαση μεγάλων τεμαχών από την επιφάνεια του πετρώματος. Οι περισσότερες ρωγμές δημιουργούνται από την οξείδωση και διόγκωση των σιδερένιων συνδέσμων και γόμφων. Ρωγμές βέβαια δημιουργούνται και σε περιοχές ορυκτολογικής ετερογένειας του πετρώματος (με αργιλοπυριτικές προσμίξεις), όπως επίσης και από μηχανικά ή θερμικά αίτια (σεισμοί, πυρκαγιές κ.τ.λ.).

5. Αποσάθρωση και απολέψεις

Αποσάθρωση και απολέπιση παρατηρείται σε περιοχές του πετρώματος με μειωμένη συνοχή, με αποτέλεσμα τη διείσδυση και συγκράτηση μεγαλύτερης ποσότητας νερού. Τα φαινόμενα αυτά οφείλονται σε συνδυασμό πολλών παραγόντων, όπως στη μικροδομή του πετρώματος, στη θερμική καταπόνηση, στην κυκλοφορία διαλυτών αλάτων κ.τ.λ.

6. Κυψελοειδής διάβρωση

Η κυψελοειδής διάβρωση εμφανίζεται στις επιφάνειες του πετρώματος με τη μορφή οπών σποραδικά ή σε συστάδες. Οφείλεται στη δράση μικροοργανισμών, η ανάπτυξη των οποίων ευνοείται από την παρουσία υγρασίας. Παρατηρείται κυρίως στις βόρειες όψεις των μνημείων και είναι εντονότερη στις ζώνες αργιλοπυριτικών φλεβών.

7. Αστοχία παλαιότερων επεμβάσεων συντήρησης

Εκτός από την οξείδωση που μπορεί να υποστούν τα πετρώματα από την τοποθέτηση σιδηρών στοιχείων, προβλήματα μπορούν να δημιουργηθούν και από την τοποθέτηση κονιάματος που αποσκοπούν στη συγκόλληση θραυσμάτων και τις σφραγίσεις ρωγμών. Το κονίαμα που χρησιμοποιείται θα πρέπει να έχει παρόμοιες φυσικοχημικές ιδιότητες με αυτές του πετρώματος.

8. Βιολογική φθορά

Στις επιφάνειες των πετρωμάτων διαπιστώνεται η παρουσία ποικίλων μικροβιακών πληθυσμών, βακτηρίων, μυκήτων και λειχήνων. Η συμβολή του βιολογικού παράγοντα είναι σημαντική στη φυσικοχημική φθορά του πετρώματος. Η επιλιθική και ενδολιθική μικροχλωρίδα αλλοιώνει χρωματικά την επιφάνεια των μνημείων. Η έκκριση διαβρωτικών ενώσεων από ορισμένους μικροοργανισμούς οδηγεί στη διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου, ενώ επίσης ένα κομμάτι της μικροχλωρίδας ασκεί μικροπιέσεις με αποτέλεσμα τη φθορά της επιφάνειας.

Κεφάλαιο 3: Αρχαία και σύγχρονα λατομεία στην περιοχή Μαρώνειας και Προσκυνητών και το σπήλαιο της Μαρώνειας

Στην ευρύτερη περιοχή Μαρώνειας-Ξυλαγανής εντοπίζονται δύο σημαντικά αρχαία λατομικά κέντρα, αυτό της Μαρώνειας από όπου εξορυσσόταν λευκό μάρμαρο (Μέλφος και Βαβελίδης 2000) και αυτός στους Προσκυνητές από όπου έβγαινε ο πορτοκαλορόδινος απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος. Επίσης στους Προσκυνητές τα τελευταία χρόνια λειτούργησε σποραδικά ένα σύγχρονο λατομείο που εξόρυσσε τον απολιθωματοφόρο ασβεστόλιθο. Τέλος σημαντικό γεωλογικό φαινόμενο αποτελεί και το σπήλαιο της Μαρώνειας πολύ κοντά στα λατομεία των Προσκυνητών που αναπτύσσεται μέσα στον ίδιο ασβεστόλιθο. Παρακάτω περιγράφονται τα δύο αρχαία λατομικά κέντρα, το σπήλαιο της Μαρώνειας καθώς και το σύγχρονο λατομείο στους Προσκυνητές.

3.1 Τα αρχαία λατομεία της Μαρώνειας

Η αρχαία Μαρόνεια βρίσκεται περίπου 30 km νότια της Κομοτηνής και 12 km δυτικά της αρχαίας Μεσημβρίας-Ζώνης. Κρίνοντας από τα υπάρχοντα ιστορικά στοιχεία (Τριαντάφυλλος 1986, Μπακιρτζής και Τριαντάφυλλος 1988, Αλιμπράντης 1994), η ευρύτερη περιοχή κατοικείται συνεχώς από τη Νεολιθική περίοδο μέχρι και σήμερα, συμπέρασμα που απορρέει από την ύπαρξη των αρχαιολογικών ευρημάτων, τα οποία με τη σειρά τους, αναδεικνύουν και συνθέτουν την αξιοσημείωτη και πλουσιοπάροχη ιστορική φυσιογνωμία της Μαρώνειας.

Σε απόσταση 5 km νοτιοανατολικά του σύγχρονου οικισμού της Μαρώνειας βρίσκονται έξι αρχαία λατομεία λευκού μαρμάρου, στην τοποθεσία Μαρμαρίτσα, κατά μήκος του ρέματος Συκιάς (Μέλφος και Βαβελίδης 2000). Τα λατομεία αναφορικά με την αρχαία πόλη βρίσκονταν στην εξωτερική πλευρά του ανατολικού τείχους σε απόσταση περίπου 700 m από αυτό.

Το μάρμαρο που εξορύχθηκε έχει χρώμα λευκό έως λευκότεφρο και είναι αδρόκοκκο. Κατά θέσεις αποτελείται από μεγάλους κρυστάλλους ασβεστίτη, μήκους 1-2 cm, που ήταν αποτέλεσμα της ανακρυστάλλωσης του μαρμάρου εξαιτίας της διείδυσης του πλουτωνίτη της Μαρώνειας (Μέλφος και Βαβελίδης 2000). Είναι ένα μαλακό και εύκολα επεξεργάσιμο πέτρωμα και συχνά, κατά την σφυρηλάτηση, προκαλείται ανάδυση έντονης οσμής θείου, συνέπεια της επαφής του με τον πλουτωνίτη. Πολλά μέρη του μαρμάρου

είναι εύθρυπτα σε μεγάλο βαθμό. Από άποψη ορυκτολογικής σύστασης το μάρμαρο αποτελείται από ασβεστίτη, ενώ συχνά παρατηρούνται σε πολύ μικρότερα ποσοστά ο δολομίτης και ο μοσχοβίτης (Μέλφος και Βαβελίδης 2000).

Η διαδικασία εξόρυξης του μαρμάρου στα υπαίθρια λατομεία της αρχαίας Μαρώνειας πραγματοποιούνταν με ανοιχτά κλιμακωτά μέτωπα και άρχιζε τις περισσότερες φορές από τα υψηλότερα σημεία και εξελισσόταν προς τα χαμηλότερα. Η προσπέλαση γινόταν με προσανατολισμό ανατολικά προς δυτικά. Έχουν εντοπιστεί μέχρι και 4 διαδοχικά επίπεδα, στα οποία γινόταν η εξόρυξη, όπου διακρίνονται ξεκάθαρα ίχνη από τα τεμάχια που αποκόπηκαν από το μέτωπο εξόρυξης. Γενικότερα η τεχνική της εξόρυξης ήταν απλή και συμβάδιζε με τα γεωλογικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά του πετρώματος (στρώση, ρήγματα, διακλάσεις, χρωματισμοί κλπ.), τα οποία ήταν καθοριστικά για την ανάδειξη των τύπων των αρχιτεκτονικών μελών που επρόκειτο να παραχθούν (Μέλφος και Βαβελίδης 2000).

Από τα έξι αυτά λατομεία, τα δύο είναι τραπεζοειδούς σχήματος και καταλαμβάνουν επιφάνειες 600 m² και 520 m² αντίστοιχα. Τα άλλα τέσσερα λατομεία έχουν ορθογώνια ανάπτυξη και το εμβαδόν που κυμαίνεται από 50 m² έως 800 m² έκαστο. Το μέτωπο εξόρυξης όλων των λατομείων έχει ύψος το οποίο κυμαίνεται από 1,5m έως 5m. Υπολογίζεται πως κατά τη λειτουργία των λατομείων πρέπει να εξορύχθηκαν περισσότερα από 4.500 m³ μαρμάρου συνολικά, ποσότητα που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή κτιρίων, αρχιτεκτονικών μελών, γλυπτών κ.ά. (Μέλφος και Βαβελίδης 2000).

Το μάρμαρο που εξορυσσόταν ήταν συμπαγές πέτρωμα, χωρίς ατέλειες, διακλάσεις ή σημαντικές μεταβολές του κρυσταλλικού ιστού του. Οι αρχαίοι εξόρυσσαν το πέτρωμα σε ορθογώνιους όγκους, ενώ το μέγεθος τους ποίκιλε ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο προορίζονταν. Τα ίχνη εξόρυξης μαρτυρούν πως οι εν λόγω ογκόλιθοι είχαν συνήθως μήκος περίπου 1 m και πλάτος 0,50 m, ενώ σπανιότερα είχαν ακόμη πιο μεγάλο μέγεθος (Μέλφος και Βαβελίδης 2000). Αυτό συμπεραίνεται και από τα αρχαιολογικής φύσεως ευρήματα της ευρύτερης περιοχής, όπως ένας ρωμαϊκός σταθμός θυρώματος μήκους 4 m, ο οποίος είχε κατασκευαστεί από τοπικό μάρμαρο (Μπακιρτζής και Χατζημιχάλης 1991).

Η ακριβής έναρξη λειτουργίας των λατομείων μαρμάρου της Μαρώνειας δεν έχει καθοριστεί. Η εξέλιξη της αρχαίας πόλης είναι αδιάκοπη από τη στιγμή που ιδρύθηκε, ενώ η περίοδος της μεγάλης ανάπτυξης της ξεκινάει τον 4^ο αι. π.Χ. Τότε τοποθετείται χρονολογικά και η εντονότερη οικοδομική δραστηριότητα, όπως επίσης και η μεγαλόπρεπη οχύρωση της πόλης, το τεχνητό λιμάνι, κτίσματα κ.ά., που υποδηλώνουν λατομική δραστηριότητα μαρμάρου. Αναμφισβήτητη θεωρείται η λειτουργία των

λατομείων κατά τη διάρκεια της Ελληνιστικής εποχής και της Ρωμαϊκής περιόδου, μιας και τα μεγάλα οικοδομικά κτίσματα, αρχιτεκτονικά επιτεύγματα, βάθρα, στήλες και αγάλματα έχουν δημιουργηθεί με το τοπικό μάρμαρο της Μαρώνειας, ως βασικό συστατικό υλικό (Μέλφος και Βαβελίδης 2000).

Ενδεικτικά παραδείγματα είναι το αρχαίο θέατρο Ελληνιστικής και Ρωμαϊκής εποχής με τον μεγαλοπρεπή θρόνο του βασιλιά της Τοπείρου και τα ειδώλια, η πύλη του αυτοκράτορα Αδριανού (124-125 μ.Χ.), όπως επίσης και ένας σταθμός θυρώματος Ρωμαϊκής περιόδου, της εποχής των Αντωνίων (96-192 μ.Χ.) μήκους 3,95 m και πλάτους 0,50 m (Μπακιρτζής και Χατζημιχάλης 1991). Η λειτουργία των λατομείων τερματίστηκε κατά την υστερορωμαϊκή περίοδο (Μέλφος και Βαβελίδης 2000), και ο λόγος ήταν ότι για την ανέγερση και δημιουργία οικοδομημάτων παλαιοχριστιανικής και βυζαντινής εποχής (5^{ος}-12^{ος} αι. μ.Χ.) στην ευρύτερη περιοχή της Μαρώνειας (Σύναξη, Αγ. Χαράλαμπος) καταναλώθηκαν σε μεγάλη έκταση οικοδομικά υλικά και αρχιτεκτονικά μέλη των αρχαίων κατεστραμμένων κτιρίων (spolia), κυρίως ρωμαϊκών, σε δεύτερη χρήση (Μπακιρτζής και Χατζημιχάλης 1991, Αλιμπράντης 1994).

3.2 Τα αρχαία λατομεία Προσκυνητών

Πέντε χιλιόμετρα βορειαοδυτικά της Μαρώνειας και 6 km νοτιοανατολικά της Ξυλαγανής και μόλις 1,5 km ΒΔ των Προσκυνητών βρίσκεται ο εγκαταλειμμένος οικισμός Οχυρό γύρω από τον οποίο εντοπίζονται πολλές ενδείξεις εξόρυξης και τουλάχιστον τρία λατομεία (Εικ. 3.1). Τα αρχαία λατομεία ήταν υπαίθρια και το εξορυχθέν υλικό ήταν ο νουμουλιτικός ασβεστόλιθος πολύ χαρακτηριστικός για το πορτοκαλορόδινο χρώμα του και την πληθώρα απολιθωμένων νουμουλιτών που περιέχει (Εικ. 3.2). Ο κύριος σκοπός για τον οποίο χρησιμοποιούσαν τον συγκεκριμένο ασβεστόλιθο μετά την εξόρυξη του ήταν για να κατασκευαστούν τα εδώλια (καθίσματα) του θεάτρου της αρχαίας πόλης της Μαρώνειας που χτίστηκε κατά το τέλος του 4^{ου} αι. και τις αρχές του 3^{ου} αι. π.Χ.



Εικ. 3.1 Τα τρία αρχαία λατομεία των Προσκυνητών Μαρώνειας (πηγή: googleearth)



Εικ. 3.2 Ο χαρακτηριστικός πορτοκαλορόδινος νομμουλιτοφόρος ασβεστόλιθος του λατομείου των Προσκυνητών (φωτογραφία: Μέλφος Βασίλειος)

3.3 Το σπήλαιο της Μαρώνειας

Σημαντικό φαινόμενο, από γεωλογικής άποψης, στην περιοχή αποτελεί το σπήλαιο της Μαρώνειας και φέρει την ονομασία «σπήλαιο του Πολύφημου». Προκαλεί μεγάλο ενδιαφέρον εξαιτίας των γεωλογικών, μορφολογικών αλλά και παλαιοντολογικών χαρακτηριστικών του (Μέλφος κ.ά. 2005, Παυλίδης κ.ά. 2005), λόγω των οποίων αποτελεί ίσως ένα ελληνικό σπήλαιο με πολύ μεγάλη σημασία όσον αφορά το φυσικό του περιβάλλον. Είναι ένας καρστικός σχηματισμός, ο οποίος βρίσκεται μέσα σε έναν ασβεστόλιθο Ηωκαινικής ηλικίας και έχει σχηματιστεί σε υπογενείς συνθήκες από την δράση υδροθερμικών διαλυμάτων (Vaxevanopoulos and Melfos 2010).

Το σπήλαιο βρίσκεται στην θέση Κουφοπλάτη, τοποθεσία 1 km ανατολικά των Προσκυνητών και 2,5 km βορειοδυτικά της Μαρώνειας. Δημιουργήθηκε μέσα σε ένα σχετικά λεπτό και διαβρωμένο σχηματισμό ασβεστόλιθου με νουμμουλίτες και άλλα απολιθώματα. Το υψόμετρο της κεντρικής εισόδου του σπηλαίου είναι 176 m από το θαλάσσιο επίπεδο (Εικ. 3.2).



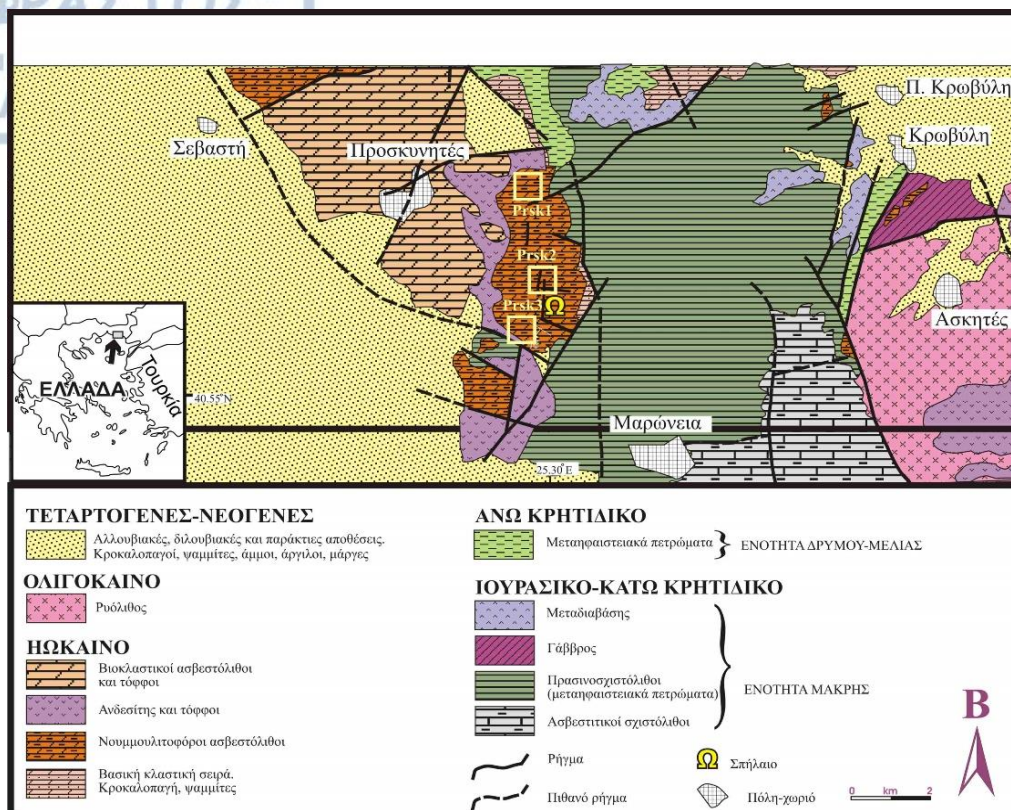
Εικ. 3.2 Είσοδος του σπηλαίου του Πολύφημου Μαρώνειας στην περιοχή Προσκυνητών.

Η ευρύτερη περιοχή παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο, με χαρακτηριστικό τα μεγάλα υψώματα Φωτεινό (480 m), Αγ. Γεώργιο (460 m), Χλωμό (500 m), Κρεμαστό (400 m),

Καμλαυκιά (530 m) και Ίσμαρο (670 m), παρόλα αυτά η τοποθεσία του σπηλαίου δεν παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο και περιτριγυρίζεται από πολυάριθμους δασικούς δρόμους, οι οποίοι καθιστούν βατή την πρόσβαση σε αυτό. Το κατώτερο επίπεδο του ασβεστόλιθου βρίσκεται σε επαφή είτε με μία σειρά κλαστικών πετρωμάτων βασικής σύστασης, είτε με μεταφαιστειακούς πρασινοσχιστόλιθους, που συγκαταλέγονται στην ενότητα Μάκρης. Η έντονη τεκτονική δράση και η διεργασία της διάβρωσης ευθύνονται που η εμφάνιση των νουμμουλιτοφόρων ασβεστόλιθων σήμερα είναι αποσπασματική και βρίσκονται στα άνω επίπεδα των υψωμάτων της περιοχής (Μέλφος κ.ά. 2005, Παυλίδης κ.ά. 2005).

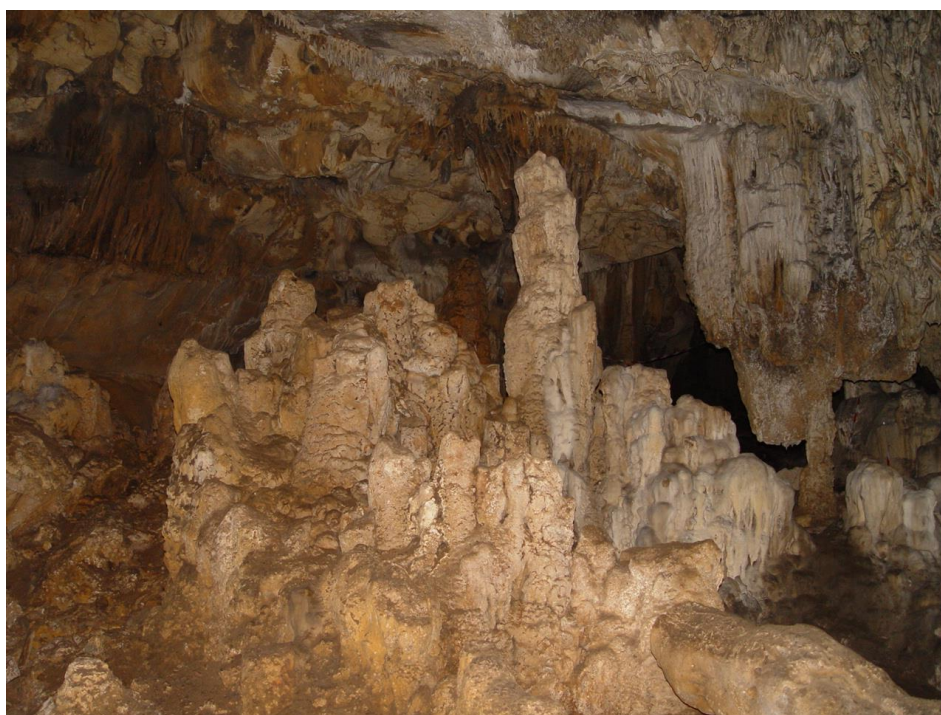
Το πέραςμα του σπηλαίου έχει μήκος περίπου 2.000 μέτρων και καλύπτει έκταση περίπου 10.000 μέτρων (Μέλφος κ.ά. 2005, Παυλίδης κ.ά. 2005). Ανατολικά του λόφου Κουφοπλάτης διακρίνονται δύο είσοδοι του σπηλαίου. Η κύρια ανάπτυξη του σπηλαίου ελέγχεται από δύο κύριες τεκτονικές γραμμές, D1 και D2. Η D1 (ΒΔ-ΝΑ) ευθύνεται για το σχηματισμό του βασικού άξονα των θαλάμων του σπηλαίου, ενώ η D2 (ΑΒΑ-ΔΝΔ) δημιουργεί τους δευτερεύοντες τοίχους του. Οι τεκτονικές αυτές γραμμές βρίσκονται σε συμφωνία με την επιφανειακή μικροτεκτονική ανάλυση (Μέλφος κ.ά. 2005, Παυλίδης κ.ά. 2005). Υπάρχει και μια τρίτη τεκτονική γραμμή, D3, η οποία είναι μεταγενέστερη των προηγούμενων δύο και ευθύνεται για τη δημιουργία της νοτιοανατολικής εισόδου του σπηλαίου. Όλα αυτά σε συνδυασμό με τον προσανατολισμό του σπηλαίου και τις τεκτονικές γραμμές της γύρω περιοχής αποδεικνύουν πως αυτές οι τρεις τεκτονικές ζώνες έχουν τον έλεγχο της γένεσης του σπηλαίου (Μέλφος κ.ά. 2005, Παυλίδης κ.ά. 2005). Αυτές οι διασπάσεις πιθανόν αποτελούν τον τρόπο επαναφόρτισης του υπογείου ύδατος. Οι τεκτονικές αυτές γραμμές εξαρτώνται πλέον από τα φαινόμενα διαβρώσεως «vadose» (Εικ. 3.3).

Η οροφή του σπηλαίου αποτελείται στο μεγαλύτερο τμήμα της από τα χαμηλά κεκλιμένα στρώματα. Το δάπεδο στο μεγαλύτερο τμήμα της έκτασης του καλύπτεται από ασβεστοκονίαμα και συσσωρευμένα ιζήματα. Στο νότιο μέρος του περιλαμβάνονται θάλαμοι μεγάλου μεγέθους με μορφολογία διάσπασης (Μέλφος κ.ά. 2005, Παυλίδης κ.ά. 2005). Η πανίδα του σπηλαίου παρουσιάζει ενδιαφέρον, αφού περιλαμβάνει 11 διαφορετικά είδη νυχτερίδας και 31 είδη ασπόνδυλων οργανισμών και το 1/3 αυτών αποτελούν ενδημικά είδη (Paragamian 2004, Μέλφος κ.ά. 2005, Παυλίδης κ.ά. 2005)). Σε κάποιους απ' τους θαλάμους οι σταλακτίτες που υπήρχαν, έχουν πλέον υποχωρήσει.



Εικ 3.3 Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του λατομείου (από Μέλφος κ.ά. 2005)

Αποθέσεις ασβεστίου μεγάλης έκτασης υπάρχουν σε όλο το σπήλαιο με τη μορφή σταλαγμίτων, σταλακτίτων, κουρτίνων, στεφανιών, κοραλλοειδών και ασπίδων (Εικ. 3.4).



Εικ. 3.4 Το εσωτερικό του σπηλαίου του Πολύφημου (φωτογραφία: Βασίλειος Μέλφος).

Ο συγκεκριμένος ασβεστόλιθος χαρακτηρίζεται από συνεκτικότητα, ικανοποιητικά μεγάλη σκληρότητα και το χρώμα του είναι πορτοκαλορόδινο έως λευκότεφρο. Ο ασβεστόλιθος καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό της σύστασης του (περίπου 98%) και κατά τ'άλλα περιέχει σποραδικά πολλά απολιθώματα με βασικό τους νουμμουλίτες, αλλά και βρυόζωα, όστρακα, κοράλλια, ελασματοβράγχια, φύκη και μικροτρηματοφόρα. Ακόμη, σε ελάχιστη ποσότητα υπάρχει σιδηροπυρίτης και δολομίτης. Η παρουσία των νουμμουλιτών μαρτυράει ότι στο Μ. Ηώκαινο η συγκεκριμένη έκταση αποτελούσε μια μικρού βάθους θαλάσσια περιοχή (Μέλφος κ.ά. 2005, Παυλίδης κ.ά. 2005).

3.4 Τα σύγχρονα λατομεία στους Προσκυνητές

Στα σύγχρονα λατομεία η πιο κοινή και διαδεδομένη μέθοδος εκμετάλλευσης είναι εκείνη της επιφανειακής εκμετάλλευσης με βαθμίδες ανοιχτού τύπου. Εφαρμόζεται κατά κύριο λόγο σε μάρμαρα και αδρανή υλικά, όπως και σε μεταλλεία, όταν δηλαδή η εκμετάλλευση είναι υπόγεια ή και σε άλλου είδους επιφανειακή εκμετάλλευση όπως με κλειστές βαθμίδες ή κατά λωρίδες. Τόσο η μορφή της εκσκαφής όσο και η μέθοδος που εφαρμόζεται είναι απαραίτητο να προσαρμόζονται στις εκάστοτε γεωλογικές και μορφολογικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος, με ασφαλή και άρτια εκμετάλλευση των εξορυκτικών εργασιών.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των εκσκαφών καθορίζονται από τους Κανονισμούς Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (ΚΜΛΕ). Η εξορυκτική διαδικασία για την εκμετάλλευση αδρανών υλικών και βιομηχανικών ορυκτών πραγματοποιείται με χρήση εκρηκτικών υλών, σε αντίθεση με την εκμετάλλευση κοιτασμάτων μαρμάρου, όπου λαμβάνει χώρα σχεδόν εξολοκλήρου μηχανική εξόρυξη, συνήθως με χρήση συρματοκοπής.

Οι εκρηκτικές ύλες και η τεχνολογία τους έχει καταφέρει να εξελιχθεί τόσο πολύ ώστε, σε συνάρτηση με τις προσπάθειες της μεταλλευτικής βιομηχανίας, των κατασκευαστών, αλλά και της πολιτείας, τα επίπεδα ασφαλείας στους χώρους εξόρυξης έχουν βελτιωθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό, τουλάχιστον όσον αφορά τη χρήση τους. Η υπόγεια εκμετάλλευση σπάνια πραγματοποιείται σε λατομεία, κυρίως σε λατομεία μαρμάρων και είτε για περιβαλλοντικούς, είτε για οικονομοτεχνικούς λόγους, επιβάλλεται. Αναφορικά με τα λατομεία μαρμάρων και βιομηχανικών ορυκτών, η εκμετάλλευση πραγματοποιείται κυρίως επιφανειακά, όπου το μάρμαρο αποσπάται από το μητρικό

πέτρωμα με τη χρήση συρματοκοπής ή άλλου ειδικού εξοπλισμού, αλλά όχι με χρήση εκρηκτικών. Καθίσταται εφικτή και η υπόγεια εκμετάλλευση.

Η εκμετάλλευση στην ύπαιθρο γίνεται με τη μέθοδο των ορθών βαθμίδων, με πλάτος και ύψος που είναι καθορισμένα προκειμένου να εξασφαλίζεται η ορθολογική εκμετάλλευση και η ασφάλεια. Αρχικό στάδιο αποτελεί η οριοθέτηση του τμήματος του κοιτάσματος προς εκμετάλλευση και η επιλογή της θέσης, όπου θα γίνει η προσπέλαση και η εκκίνηση της εξόρυξης του. Εν συνεχεία πραγματοποιείται η εξόρυξη, συνηθέστερα, με χρήση συρματοκοπής ώστε να αποκοπούν οι «πάγκοι» μεγάλων διαστάσεων από το μητρικό πέτρωμα. Μετά την εξόρυξη ακολουθεί ο τεμαχισμός των μαρμάρινων όγκων σε μικρότερου μεγέθους όγκους και εμπορεύσιμων διαστάσεων πλάκες. Η συγκεκριμένη διαδικασία πραγματοποιείται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας που καλούνται σχιστήρια μαρμάρων, τα οποία τοποθετούνται είτε σε παρακείμενους χώρους, είτε σπανιότερα μέσα σε λατομικούς χώρους.

Οι ορθογωνισμένοι μαρμάρيني όγκοι, που ονομάζονται ογκομάρμαρα, αποτελούν το βασικό προϊόν της εκμετάλλευσης των λατομείων μαρμάρου. Παρόλα αυτά παράγονται και άλλα προϊόντα όπως οι λατύπες, τα «ογκοξόφαρα» και ένα μεγάλο ποσοστό αδρανών υλικών, τα οποία είναι εν δυνάμει αξιοποιήσιμα ανάλογα με την αντίστοιχη νομοθεσία και φυσικά τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά. Με τη μέθοδο των ορθών βαθμίδων πραγματοποιείται και η εκμετάλλευση λατομείων βιομηχανικών ορυκτών, είτε με τη χρήση εκρηκτικών υλικών είτε πιο συχνά με χρήση μηχανικών μέσων, εάν αν τα κοιτάσματα είναι χαλαρά, χωρίς συνεκτικότητα.

Όσον αφορά τα σύγχρονα λατομεία Προσκυνητών στη Μαρώνεια (Εικ. 3.4.1-3), η τοποθεσία στην οποία πραγματοποιείται επέμβαση ονομάζεται «Επιστάτης» και βρίσκεται σε απόσταση 1,5 km βορειοδυτικά του οικισμού των Προσκυνητών, 3,4 km νοτιοανατολικά του οικισμού της Ξυλαγανής και 7 km βορειοδυτικά του οικισμού Μαρώνειας του Δήμου Μαρώνειας - Σαπών. Ακόμη βρίσκονται σε απόσταση περίπου 1,5 km από το επαρχιακό οδικό δίκτυο που ενώνει τους οικισμούς Ξυλαγανή – Προσκυνητές - Μαρώνειας, και εντός της ζώνης των 2 km υπάρχουν δασικοί και αγροτικοί δρόμοι. Η έρευνα πραγματοποιείται με ορύγματα - εκσκαφές και με γεωτρήσεις. Με την εκσκαφή δημιουργήθηκε μέτωπο εξόρυξης πλάτους 5 m και ύψους 4 m, αφού αρχικά απομακρύνθηκε η φυτική γη, μέσου πάχους 0,2 m, και το αποσαθρωμένο και αλλοιωμένο πέτρωμα. Το μέτωπο της εξόρυξης χωρίζεται σε δύο βαθμίδες με ύψος περίπου 2 m, από τις οποίες πραγματοποιήθηκε απόληψη περίπου 10 m² υγιούς όγκου ασβεστολίθου για να

υποβληθεί σε εργαστηριακές δοκιμές για την αντοχή, την κοπή και στίλβωση (Χατζηχαραλάμπους, 2014).



Εικ. 3.4.1 Σημερινές φωτογραφίες από το σύγχρονο λατομείο ασβεστολίθου στους Προσκυνητές (Φωτογραφία: Μέλφος Βασίλειος)



Εικ. 3.4.2 Σημερινές φωτογραφίες από το σύγχρονο λατομείο ασβεστολίθου στους Προσκυνητές
(Φωτογραφία: Μέλφος Βασίλειος)



Εικ. 3.4.3 Σημερινές φωτογραφίες από το σύγχρονο λατομείο ασβεστολίθου στους Προσκυνητές
(Φωτογραφία: Μέλφος Βασίλειος)

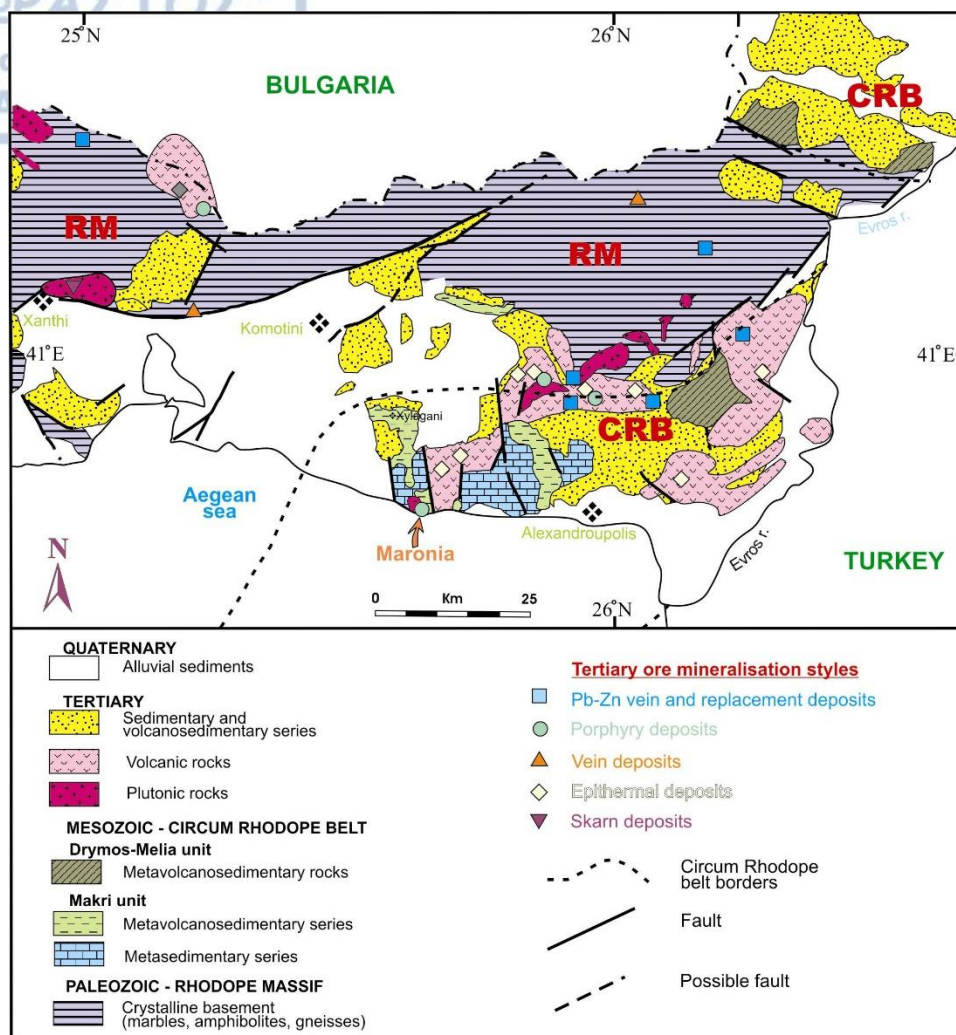
Κεφάλαιο 4: Γεωλογία της περιοχής

4.1 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής της Μαρώνιας

Η περιοχή της Μαρώνιας αποτελεί τμήμα του νοτιοανατολικού άκρου του νομού Ροδόπης, και βρίσκεται περίπου τριάντα (30) km νότια της πόλης της Κομοτηνής. Το γεωγραφικό διαμέρισμα της Θράκης ανήκει κυρίως στην γεωτεκτονική ζώνη της Μάζας της Ροδόπης, η οποία αποτελείται από μάρμαρα, σχιστόλιθους, γνευσίους, εκλογίτες και αμφιβολίτες Παλαιοζωικής έως Τριαδικής ηλικίας (Μουντράκης 2010). Στην περιοχή έλαβε χώρα η έντονη τεκτονική της Αλπικής ορογένεσης, που έφτασε ακόμη και σε φάση παραμόρφωσης πολύ υψηλής πίεσης, κάτι του οποίου μαρτυρία αποτελεί η παρουσία των εγκλεισμάτων μικροδιαμαντιών και ορυκτών που την χαρακτηρίζουν (Mposkos and Kostopoulos 2001).

Η ευρύτερη περιοχή της Μαρώνιας γεωτεκτονικά ανήκει στην Περιοδοπική ζώνη της Θράκης (Σχ. 4.1). Η Περιοδοπική ζώνη έχει πλάτος που ξεκινάει από δέκα (10) και φτάνει μέχρι και είκοσι (20) km και περικλείει τη Σερβομακεδονική μάζα στα δυτικά της, με ανάπτυξη ΒΔ-ΝΑ και τη Ροδόπη αντίστοιχα με ανάπτυξη ΝΔ-ΒΑ. Η ανάπτυξη της ξεκινάει από τη Βουλγαρία και συνεχίζει προς τα ΝΑ περνώντας τα σύνορα μέσα στην Ελλάδα μέχρι τη Σιθωνία της Χαλκιδικής. Στο σημείο εκείνο κάμπτεται προς τα ΒΑ και περνώντας από το πιο ακριανό σημείο της χερσονήσου του Άθω, εμφανίζεται. Εν συνεχεία διέρχεται από τη Σαμοθράκη και καταλήγει στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης.

Η Περιοδοπική ζώνη από το Ιουρασικό μέχρι το Κρητιδικό δέχεται τη δράση συμπιεστικής τεκτονικής, η οποία την λεπιώνει και την επωθεί πάνω στην Μάζα της Ροδόπης (Tranos et al. 1999). Κατά το Τριτογενές επικράτησαν γεγονότα εφελυστικής τεκτονικής, που είχαν ως αποτέλεσμα την κατάρρευση του ορογενούς μέσω της διαφυγής των καλυμμάτων και την αποκάλυψη των τεκτονικών παραθύρων, δηλαδή των κατώτερων μεταμορφωμένων σχηματισμών, δημιουργώντας έτσι την χαρακτηριστική εικόνα μεταμορφικού συμπλέγματος (metamorphic core-complex) της Μάζας της Ροδόπης (Kilias and Mountrakis 1998, Μουντράκης 2010).



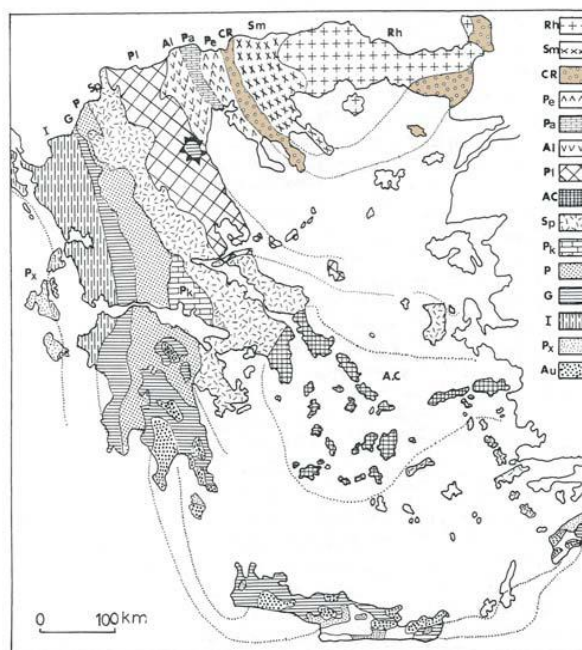
4.1 Γεωλογικός χάρτης της Δυτικής Θράκης και εμφανίσεις μεταλλοφοριών. RM=Μάζα Ροδόπης, CRB=Περιροδοπική ζώνη (από Melfos et al. 2002).

Εν συνεχεία ακολούθησε έντονη μαγματική δραστηριότητα ενδιάμεσης έως όξινης φάσης, στην οποία οφείλεται η δημιουργία πολλών μεταλλοφόρων εμφανίσεων και κοιτασμάτων και ακόμη περισσότερων εμφανίσεων οικονομικού ενδιαφέροντος ορυκτών παραγενέσεων (Arvanitidis and Constantinides 1989, Μέλφος 1995, Melfos et al. 2002, Melfos and Voudouris 2012, 2017).

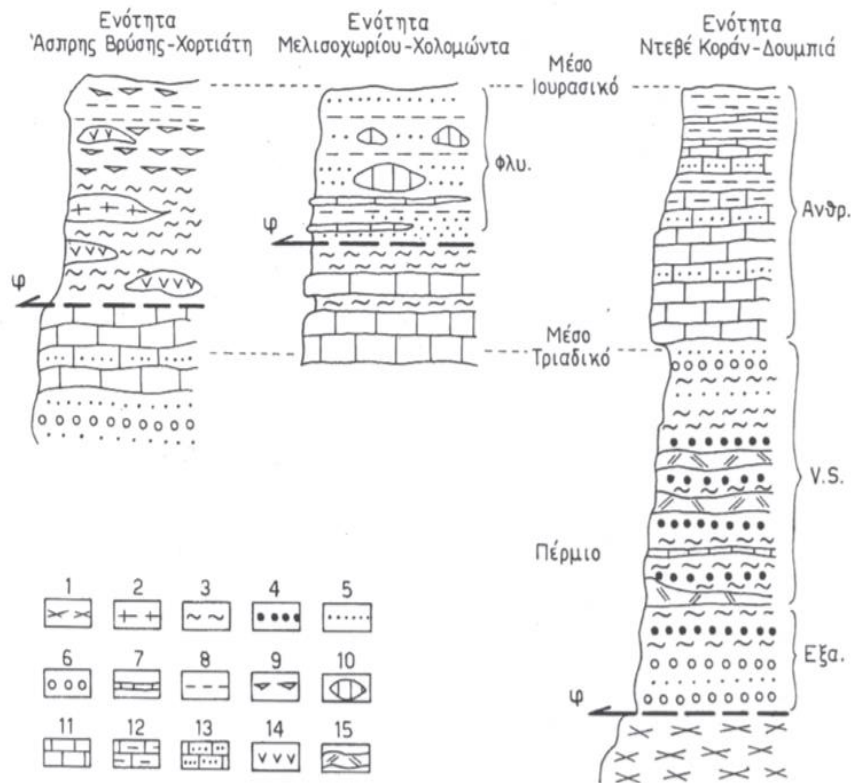
Το «κεκκαμένο» σχήμα της Περιροδοπικής ζώνης ενδεχομένως να οφείλεται στην έντονη συμπίεστική τεκτονική, που συνδέεται με το κλείσιμο του ωκεανού της Νεοτηθύος και την υποβύθιση της Απουλίας κάτω από την Ευρασία, κατά τη διάρκεια της Αλπικής ορογένεσης, υπόλειμμα της οποίας αποτελεί η σημερινή υποβύθιση της Αφρικανικής κάτω από την πλάκα του Αιγαίου (Μουντράκης 2010).

Η Περιροδοπική ζώνη αποτελείται κυρίως από νηριτικά ιζήματα, καθώς και από μία σειρά ηφαιστειοϊζηματογενών πετρωμάτων, με όξινη έως βασική ηφαιστειότητα,

χαρακτηριστικό γνώρισμα μίας ηπειρωτικής διάρρηξης, και περικλείει το κρυσταλλικό υπόβαθρο της Μάζας της Ροδόπης, που συνεχίζεται και μέσα στη Βουλγαρία (Εικ.4.2). Από άποψη λιθοστρωματογραφίας, η ζώνη αυτή χωρίζεται σε 3 ενότητες: την ενότητα Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά, η οποία από τα κατώτερα προς τα ανώτερα στρώματα περιλαμβάνει τον σχηματισμό Εξαμηλίου, που αποτελείται από μετακλαστικά ιζήματα ηλικίας Περμίου, έναν σχηματισμό που αποτελείται από μία ηφαιστειοϊζηματογενή σειρά ηλικίας Περμίου – Κάτω Τριαδικού και καταλήγει σε έναν νηριτικό ανθρακικό σχηματισμό ηλικίας Μέσο Τριαδικό έως Μέσο Ιουρασικό. Η ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα περιλαμβάνει δύο σχηματισμούς, τον κατώτερο ανθρακικό – φυλλιτικό ηλικίας Μέσο – Άνω Τριαδικού και τον ανώτερο με φλύσχη και τουρβιδίτες. Η ανώτερη ενότητα Άσπρης Βρύσης Χορτιάτη αποτελείται από έναν ηφαιστειοϊζηματογενή σχηματισμό στη βάση, ο οποίος σχετίζεται με εκείνον της ενότητας Ντεβέ Κοράν, από έναν ανθρακικό σχηματισμό στη συνέχεια που σχετίζεται με τους προηγούμενους και τέλος καταλήγει σε έναν σχηματισμό που αποτελείται από σχιστόλιθους, κερατόλιθους και τεμάχη πράσινων γνευσίων και οφειολίθων, σαν παρεμβολές, με ηλικία γνευσίων Κάτω – Μέσο Κρητιδική (Σχ.4.3) (Μουντράκης 2010). Στην Θράκη διακρίνονται δύο ζώνες: της Μάκρης και του Δρυμού-Μελίας (Μαγκανάς 1988, Μέλφος 1995).



Εικ. 4.2 Η Περιοδοπική ζώνη (CR) στον ελληνικό χώρο, η ΒΑ κάμψη της και η θέση της σε σχέση με τις γειτονικές ζώνες (Μουντράκης 2010).



Σχ. 4.3 Λιθοστρωματογραφικές στήλες των τριών ενοτήτων της Περιοδοπικής ζώνης. 1: κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής, 2: πράσινοι γενεύσιοι της Θεσσαλονίκης, 3: σχιστόλιθοι και φυλλίτες, 4: πυροκλαστικά υλικά, 5: μεταναμίτες, χαλαζίτες, 6: μετακροκαλοπαγή, 7: ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, 8: αργιλικό σχιστόλιθοι και μάργες, 9: κερατόλιθοι, 10: ολισθόλιθοι Τριαδικών μαρμάρων, 11: ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, 12: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 13: ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι, 14: οφειολιθικά πετρώματα, 15: ηφαιστειακά υλικά (σχιστοποιημένοι ρυόλιθοι, πορφυροειδή). φ: τεκτονική επαφή. Εξα.: σχηματισμός Εξαμιλίου, V.S.: ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά, Ανθρ.: ανθρακική νηριτική σειρά, Φλυ.: φλύσχης (Μουντράκης 1985).

4.2 Γεωλογική δομή της περιοχής των αρχαίων λατομείων Προσκυνητών

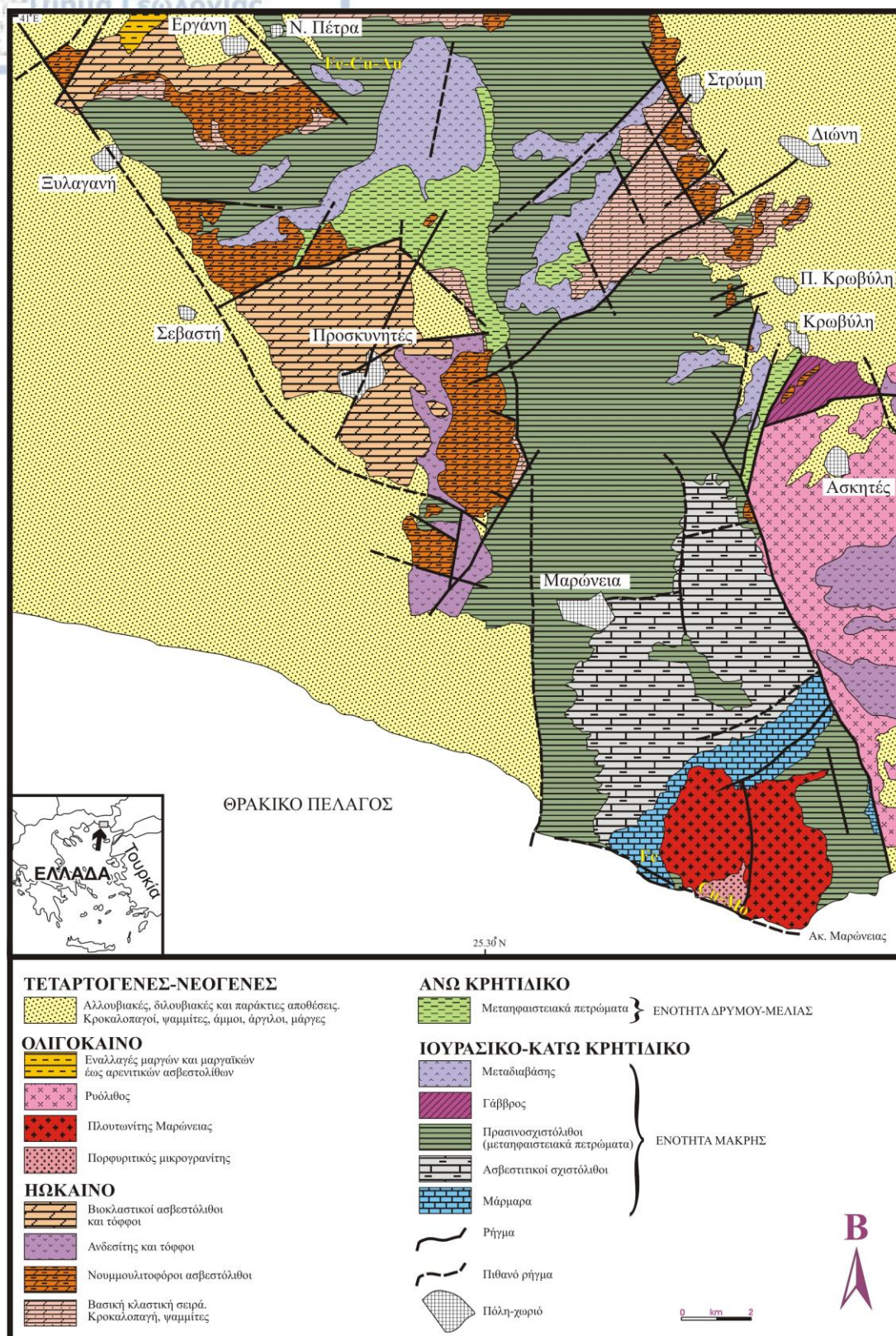
Στις ενότητες Μάκρης και Δρυμού-Μελίας της Περιοδοπικής συγκαταλέγονται τα πετρώματα που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του σπηλαίου. Ειδικότερα ΝΑ της Μαρώνειας, περιμετρικά του όρους Ίσμαρος (Εικ. 4.4), παρατηρούνται μεταϊζηματογενή πετρώματα που ανήκουν στην ενότητα Μάκρης (μάρμαρα και ασβεστιτικός σχιστόλιθος με φυλλιτικές παρεμβάσεις). Το μάρμαρο είναι λευκού έως λευκότεφρου χρώματος και είναι επίσης αρκετά αδρόκοκκο. Εμφανίζονται μεγάλοι μεγέθους ασβεστιτικοί κρύσταλλοι κατά τόπους, με μήκος 1 έως 2 cm, κάτι το οποίο οφείλεται στην ανακρυστάλλωση του ασβεστίτη, εξαιτίας διείδουσας πυριγενών σωμάτων. Ορυκτολογικά το μάρμαρο

αποτελείται κατά κύριο λόγο από ασβεστίτη, αλλά και πολύ μικρές ποσότητες μοσχοβίτη και δολομίτη (Μέλφος και Βαβελίδης 2000).

Βορειοανατολικά του σπηλαίου του Πολύφημου στην περιοχή των αρχαίων λατομείων Προσκυνητών, εξαπλώνονται οι πρασινοσχιστόλιθοι της Μάκρης (Εικ. 4.4), δηλαδή ηφαιστειακά πετρώματα που έχουν υποστεί μεταμόρφωση, τα οποία είναι Ιουρασικής έως Κ. Κρητιδικής ηλικίας. Τα μεταμορφωμένα αυτά ηφαιστειακά πετρώματα είναι πυριτιωμένες πυροξενικές, αφυρικές, ολιγοφυρικές και αλβιτικές λάβες, όπως και μεταηφαιστειακούς λατυποπαγείς μετατόφρους, ο οποίοι υπέστησαν χαμηλού βαθμού ωκεάνια μεταμόρφωση, συμπίεσμα που προκύπτει λόγω της παρουσίας των ορυκτών πουμπελλίτη και πρενίτη (Μαγκανάς 1988). Αυτά τα πετρώματα έχουν, άλλα λιγότερο και άλλα περισσότερο, υποστεί σχιστοποίηση και είναι ελαφρώς εξαλλοιωμένα. Το ότι είναι διαχωρισμένα σε τόφρους και λάβες είναι αδύνατο να παρατηρηθεί μακροσκοπικά, παρά μονάχα σε λίγες περιπτώσεις, όπου έχουν υπάρχουν μαξιλαροειδείς λάβες (pillow lavas).

Μικροσκοπικά, διαπιστώθηκε πως πλαγιόκλαστα, χαλαζίας, πυρόξενοι και υαλώδης μάζα αποτελούν τα κύρια πρωτογενή ορυκτά, σε υπολειμματική μορφή. Εκείνα που προέκυψαν από τη διαδικασία της μεταμόρφωσης είναι ο χλωρίτης, χαλαζίας, πρενίτης, πομπελλίτης σερικίτης, ζοϊσίτης, κλινοζοϊσίτης, επίδοτο, τιτανίτης, ασβεστόλιθος και ακτινόλιθος (Μαγκανάς 1988). Η παρουσία της υαλώδους μάζας μαρτυράει φαινόμενα και χλωριτίωσης και αφυάλωσης, και παράλληλα διαπιστώνεται η δημιουργία αμφιβόλου από πυρόξενο. Ακόμη παρατηρούνται «ορυκτοαμύγδαλα», των οποίων τα κενά πληρώνουν πρενίτης, πουμπελλίτης, χαλαζίας, και λιγότερα συχνά ασβεστίτης και χλωρίτης.

Μέσα στους πρασινοσχιστόλιθους εμφανίζονται ως διεισδύσεις μεταδιαβάσεις, οι οποίοι υπέστησαν τη διαδικασία της μεταμόρφωσης, φάσεως πρενίτη-πουμπελλίτη. Βόρεια και δυτικά της Μαρώνειας έχει εντοπισθεί γάββρος, ο οποίος χρονολογείται στο Α. Ιουρασικό (140 εκατ. χρόνια ως 160 εκατ. χρόνια) (Biggazi et al., 1989). Ακόμη παρατηρήθηκαν φλέβες χαλαζία και λιγότερο συχνές εμφανίσεις φλεβών ασβεστίτη, πάχους 0,5 - 5 cm, οι οποίες διαπερνούν τα πετρώματα που εκτείνονται στην περιοχή και οφείλουν την ύπαρξή τους σε μεταμορφικές διεργασίες. Επίσης παρατηρήθηκαν και επιδοτιτικές φλέβες μικρού σχετικά πάχους (2-5 cm) που αντιπροσωπεύουν τις διόδους των διαλυμάτων του υποθαλάσσιου ηφαιστειακού συστήματος προς τα ανώτερα στρώματα. Η ενότητα Δρυμού-Μελίας βρίσκεται ΒΑ του σπηλαίου και περιλαμβάνει αργιλικούς σχιστόλιθους, μεταγραουβάκες και μεταχαλαζίτες, σκουρόχρωμες μάργες και στρώματα βιτουμενιούχων ασβεστολιθικών πετρωμάτων (Μαγκανάς 1988).



Εικ. 4.4 Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής Ξυλαγανής-Προσκυνητών-Μαρώνειας (από Μέλφος κ.ά. 2005).

Κατά το Μέσο Ηώκαινο (δηλαδή πριν από 50 εκατομ. χρόνια) η περιοχή ήταν μία αβαθής θάλασσα, όπως προκύπτει από την παρουσία των Ηώκαινικών νουμμολιτοφόρων ασβεστολίθων σε αρκετές θέσεις (Εικ. 4.4). Ο ασβεστόλιθος αυτός στον οποίο εντοπίζονται τα αρχαία λατομεία Προσκυνητών και το σπήλαιο Μαρώνειας (Μέλφος κ.ά. 2005, Παυλίδης κ.ά. 2005), είναι πορτοκαλορόδινου χρώματος, με μεγάλη σκληρότητα που περιέχει μακροτρηματοφόρα, φύκια, βρυόζωα, κοράλλια και άλλα απολιθώματα. Η επαφή του με τους υποκείμενους σχηματισμούς της ενότητας Μάκρης είναι τεκτονική και άρα βρίσκεται σε ασυμφωνία με αυτούς. Ο νουμμουλιτοφόρος ασβεστόλιθος επικάθεται επάνω από μία βασική κλαστική σειρά που αποτελείται κυρίως από κροκαλοπαγή και ψαμμίτες, αδιαβάθμητους και χωρίς διακριτή στρώση, ενώ υπόκειται ενός στρώματος από τεφρόλευκο έως κίτρινο βιοκλαστικό ασβεστόλιθο με ενστρώσεις τόφφων Ηώκαινικής ηλικίας (Μέλφος κ.ά. 2005, Παυλίδης κ.ά. 2005).

Τη στρωματογραφική στήλη της περιοχής συμπληρώνουν πλουτωνικά και υποηφαιστειακά πυριγενή πετρώματα του Τριτογενούς που διεισδύουν στους παραπάνω Μεσοζωικούς και Ηώκαινικούς σχηματισμούς (Εικ. 4.4).

Κεφάλαιο 5: Μέθοδοι έρευνας του λίθου

Ο ασβεστόλιθος αποτελεί ένα ιζηματογενές πέτρωμα με κύρια ορυκτά τον ασβεστίτη ή/και το δολομίτη, τα οποία μπορεί να έχουν μέγεθος από λίγα μm έως και μερικά mm . Συχνά συναντάται και ο χαλαζίας, όπως και άλλα επουσιώδη ορυκτά, στην ορυκτολογική σύσταση ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Υπάρχουν δύο κατηγορίες ασβεστολίθων, αυτοί οι οποίοι είναι πλούσιοι σε ασβεστίτη και ονομάζονται ασβεστιτικοί, και εκείνοι στους οποίους κυριαρχεί ο δολομίτης, συνεπώς έχουν υψηλότερες περιεκτικότητες σε μαγνήσιο (Mg) και αντίστοιχα καλούνται δολομιτικοί.

Με την πάροδο του χρόνου και την πρόοδο της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί και εξελιχθεί γεωχημικές αναλυτικές μέθοδοι με σκοπό τη μελέτη και έρευνα μαρμάρινων ευρημάτων αρχαιολογικής προέλευσης, αλλά και την ταύτιση αυτών με ήδη γνωστές πηγές εξόρυξης ασβεστολίθου και μαρμάρου στην αρχαιότητα.

Τέτοιου είδους εργαστηριακές αναλύσεις συνήθως είναι οι εξής:

α) Μακροσκοπική εξέταση και αναγνώριση φυσικών χαρακτηριστικών (όπως χρώμα, υφή, μέγεθος κρυστάλλων).

β) Μικροσκοπική μελέτη με χρήση πολωτικού μικροσκοπίου για την αναγνώριση φυσικών χαρακτηριστικών που είναι αδύνατο να προσδιοριστούν με μακροσκοπική εξέταση.

γ) Ακτινογραφική εξέταση με σκοπό τον ποιοτικό και ημιποσοτικό προσδιορισμό των ορυκτών συστατικών του πετρώματος

δ) Χημικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό των κύριων στοιχείων, ιχνοστοιχείων και σπανίων γαιών (REE) σε ολικά δείγματα μαρμάρου με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης (AAS), του φθορισμού ακτίνων X (XRF), της ενεργοποίησης νετρονίων (neutron activation), της φασματοσκοπίας παραμαγνητικού συντονισμού (EPR) και της φασματομετρίας εκπομπής με πλάσμα (ICP/ES=Inductively Coupled Plasma-Emmission Spectrometry).

ε) Μικροαναλύσεις στα διάφορα ορυκτά του πετρώματος για να προσδιοριστεί η χημική τους σύσταση.

στ) Προσδιορισμός των ισοτόπων άνθρακα (C) και οξυγόνου (O) σε δείγματα μαρμάρου.

Για τον πιο ασφαλή και ακριβή προσδιορισμό της προέλευσης του μαρμάρου ή του ασβεστόλιθου, απαραίτητος κρίνεται ο συνδυασμός των διαφόρων μεθόδων ανάλυσης,

αλλά και η ορθή ερμηνεία των αποτελεσμάτων της έρευνας και διεξαγωγή σωστών συμπερασμάτων.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω μέθοδοι:

α) Μακροσκοπική και μικροσκοπική μελέτη

Κατά τη μακροσκοπική εξέταση των δειγμάτων αρχικά πραγματοποιήθηκε αναγνώριση των φυσικών χαρακτηριστικών του ασβεστόλιθου, όπως το χρώμα, η υφή και το μέγεθος των κόκκων. Στη συνέχεια πήραμε πληροφορίες από την εξέταση λεπτών τομών κάτω από το πολωτικό μικροσκόπιο, σχετικά με τον και την ορυκτολογική σύσταση του. Μέσω της μικροσκοπικής μελέτης προκύπτει η αναγνώριση φυσικών χαρακτηριστικών που δεν είναι δυνατό να προσδιοριστούν μακροσκοπικά. Κατά τη μελέτη του πετρώματος πρέπει να καθοριστούν και να περιγραφούν τα ιστολογικά του χαρακτηριστικά, τα διάφορα ορυκτολογικά συστατικά και η ποσοτική συμμετοχή των διαφόρων ορυκτών φάσεων. Επίσης εξετάζονται το μέγεθος των κρυστάλλων, ο ιστός, η στρώση, η σχιστότητα και πιθανώς η παρουσία απολιθωμάτων.

β) Ακτινογραφική εξέταση

Η ακτινογραφική εξέταση των δειγμάτων έγινε με χρήση περιθλασίμετρου ακτίνων Χ (XRD), με περιθλασίμετρο τύπου Philips του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. Η ακτινοβολία που χρησιμοποιήθηκε για τις ακτίνες Χ ήταν CuKα με φίλτρο Ni, η ταχύτητα ανίχνευσης (scanning speed) 1° και $0,25^\circ/2\theta/\text{min}$ και ο ρυθμός των μετρήσεων (count rate) 103/sec. Η μελέτη με τις ακτίνες Χ έγινε για το εύρος μεταξύ 2° και 62° .

γ) Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (Scanning Electron Microscope-SEM)

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, SEM (Scanning Electron Microscope), είναι ένα σύγχρονο όργανο, του οποίου η λειτουργία στηρίζεται σε εκπομπή δέσμης ηλεκτρονίων. Η τεχνική αυτή της ανάλυσης με ηλεκτρονικό μικροαναλυτή βασίζεται στη μέτρηση της έντασης των ακτίνων-Χ, που αναπτύσσονται από το «βομβαρδισμό» ηλεκτρονίων στο δείγμα. Δείγμα τις περισσότερες φορές αποτελεί μια πετρογραφική ή μεταλλογραφική στιλβωμένη τομή. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) του Διατμηματικού Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης τύπου

JEOL JSM-840A συνδεδεμένο με φασματόμετρο ενεργειακής διασποράς (Energy Dispersive Spectrometer, E.D.S.) INCA 250 (Εικ. 5.1).



Εικ. 5.1 Το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM) της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (πηγή: www.geo.auth.gr)

Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα

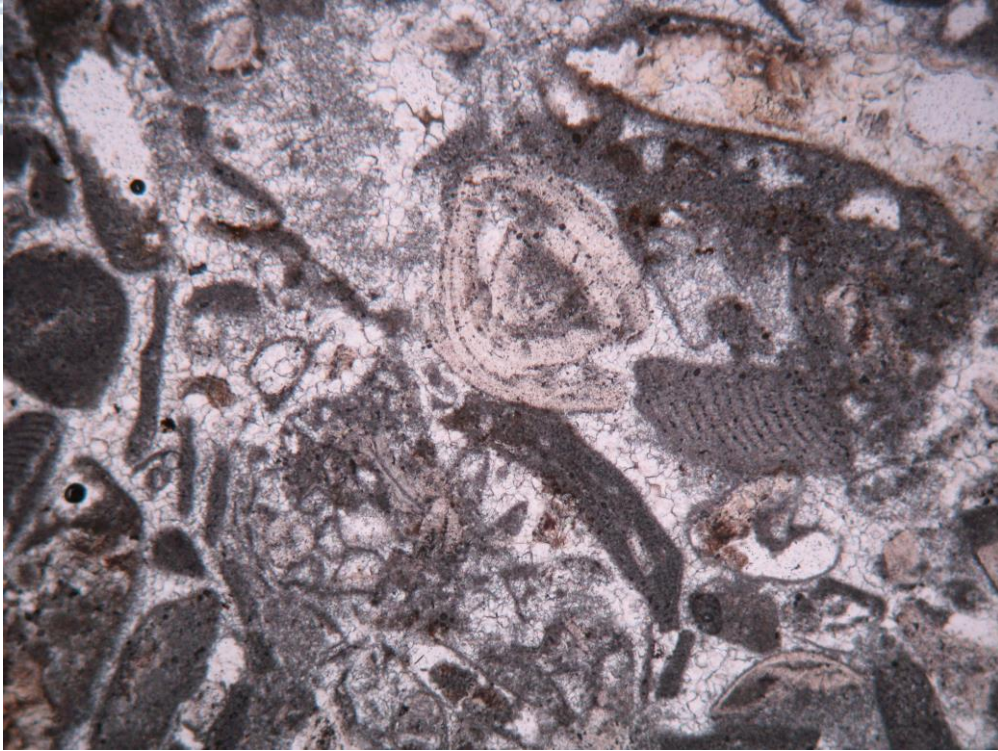
Ο Ηώκαινικός ασβεστόλιθος, ο οποίος εξορύχθηκε στα αρχαία λατομεία των Προσκυνητών της Μαρώνειας, έχει χρώμα πορτοκαλορόδινο έως υπορόδινο και είναι ένα πέτρωμα σχετικά μεγάλης σκληρότητας. Σε κάποιες περιπτώσεις αποτελείται από μαργαϊκό ασβεστόλιθο και είναι πιο μαλακός. Πολύ σημαντικό είναι το πορώδες, κυρίως στα τμήματα του μαργαϊκού ασβεστόλιθου. Ο ασβεστόλιθος των Προσκυνητών είναι ιδιαίτερος και ξεχωριστός για το χρώμα του, αλλά και για τα χαρακτηριστικά απολιθώματα που περιέχει και συγκεκριμένα νουμμουλίτες, κοράλλια, όστρακα, φύκια, εχίνους, ελασματοβράγχια, βρυόζωα και μικροτρηματοφόρα. Παραπλήσια αρχαία λατομεία υπάρχουν ακόμη στην αρχαία Μεσημβρία-Ζώνη (Βαβελίδης κ.ά. 2003) και ο ασβεστόλιθος έχει ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά όσον αφορά το χρώμα, τη σκληρότητα, τα απολιθώματα και τη σύσταση, συνεπώς οι δυο ασβεστόλιθοι είναι ίδιοι και στην ορυκτολογική και στηνχημική τους σύσταση (Πίνακας 6.1).

Επιπλέον οι Μέλφος κ.ά. (2001) εντόπισαν στη Νεολιθική ανασκαφή στη Μάκρη Έβρου, ανατολικά των Προσκυνητών, κάποια προϊστορικά κρουστικά εργαλεία (κυρίως σφύρες) που είχαν κατασκευαστεί από τον συγκεκριμένο απολιθωματοφόρο πορτοκαλορόδινο ασβεστόλιθο, κάτι που δείχνει τη μεγάλη σημασία και τη διαχρονική χρήση ορισμένων υλικών για την κατασκευή χρήσιμων και ωφέλιμων αντικειμένων, με το πέρασμα των αιώνων.

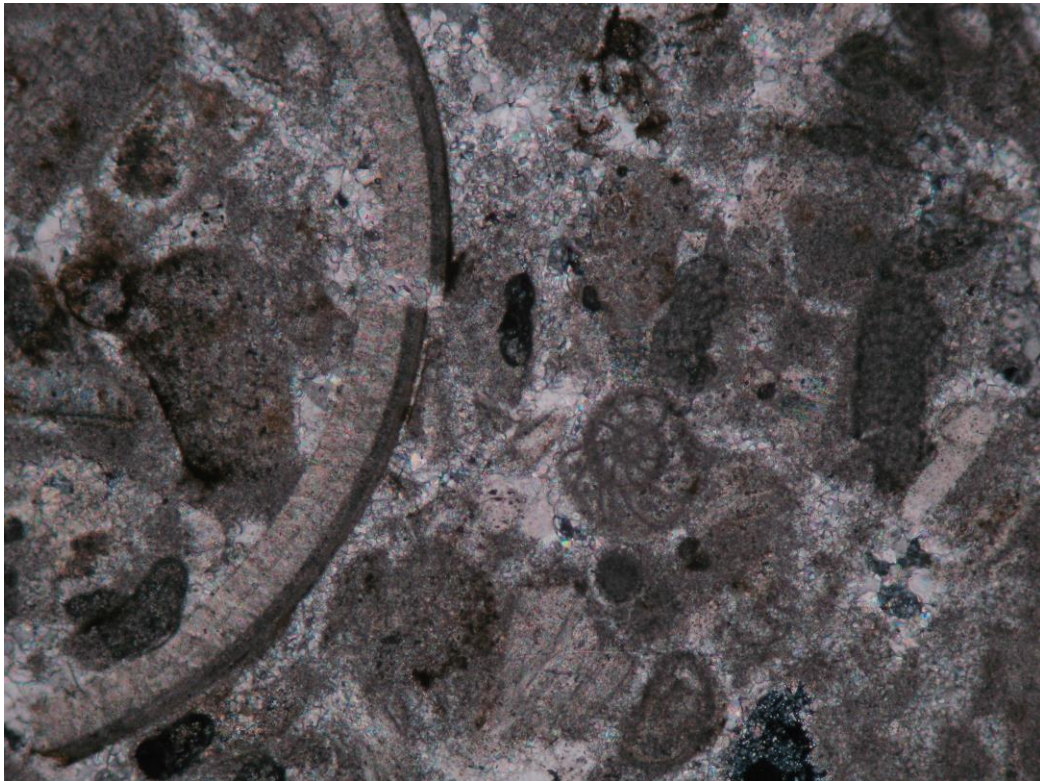
Μικροσκοπικά ο ασβεστόλιθος από τα λατομεία των Προσκυνητών μπορεί να χαρακτηριστεί ως ολοκρυσταλλικός, με κόκκους ασβεστίτη μικρού μεγέθους και διαμέτρου $<10 \mu\text{m}$, καθώς και πολύ σπανιότερα διάσπαρτους κρυστάλλους, μεγαλύτερου μεγέθους μέχρι $100 \mu\text{m}$., συνεπώς πρόκειται για έναν μικριτικό ασβεστόλιθο. Οι κόκκοι του ασβεστίτη είναι αλλοτριόμορφοι και παρατηρείται έντονη μεταβολή του αναγλύφου

Πίνακας 6.1. Χημικές αναλύσεις στον απολιθωματοφόρο ασβεστόλιθο από τα αρχαία λατομεία της αρχαίας Μεσημβρίας-Ζώνης. 1: Παράκτιο λατομείο, θέση βρύση Μουσά, 2-3: λατομείο στον παρακείμενο λόφο (από Βαβελίδης κ.ά. 2003).

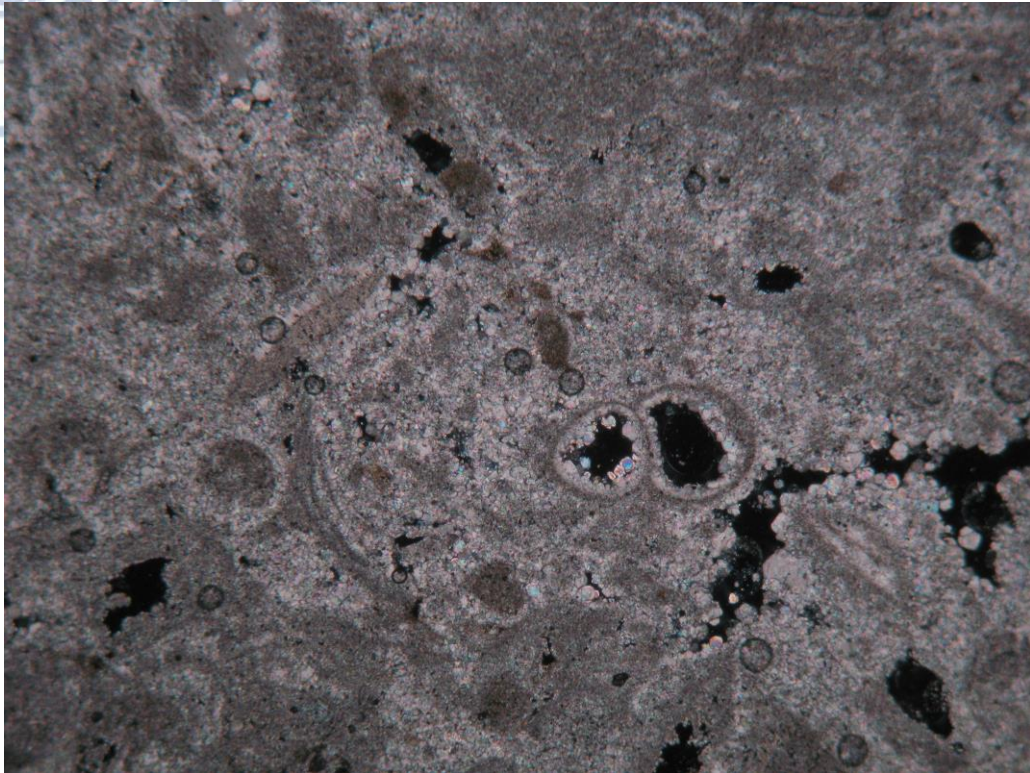
wt%	1	2	3
SiO ₂	1.44	0.82	0.82
TiO ₂	0.02	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	0.70	0.34	0.28
Fe ₂ O ₃	0.30	0.20	0.17
MnO	0.01	0.06	0.06
MgO	0.65	0.33	0.38
CaO	53.72	54.40	54.13
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.01	0.01	0.02
P ₂ O ₅	0.04	0.03	0.04
CO ₂	43.07	43.01	43.19
Total	99.96	99.21	99.10
ppm			
Ba	0	13	15
Ce	23	29	23
Co	0	5	6
Cr	17	16	9
Cu	4	4	2
Ga	0	0	0
La	13	19	12
Nb	7	4	6
Nd	9	14	14
Ni	0	0	0
Pb	0	0	0
Rb	0	0	0
Sr	213	139	141
Th	6	2	5
U	3	1	0
V	16	20	14
Y	5	4	5
Zn	10	15	12
Zr	7	4	6



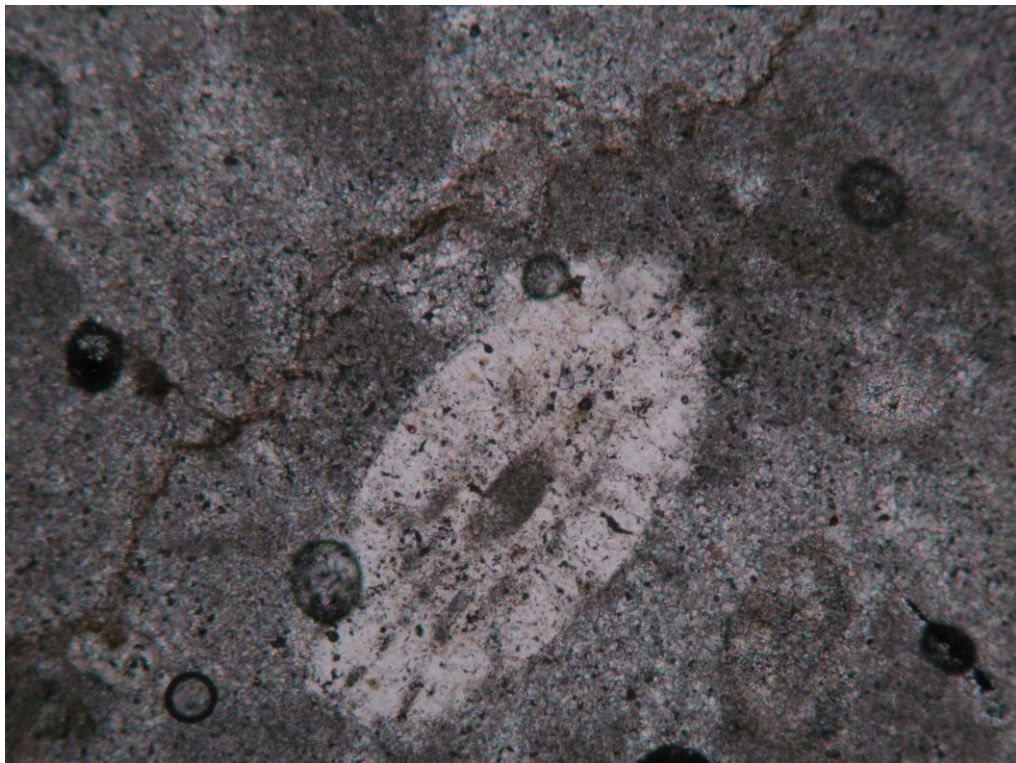
Εικ. 6.1α Εικόνα από την μελέτη του δείγματος PRSK1 στο πολωτικό μικροσκόπιο όπου διακρίνονται οι μικροσκοπικοί κόκκοι ασβεστίτη από τους οποίους αποτελείται ο ασβεστόλιθος καθώς και απολιθώματα από νουμμουλίτες και άλλα ελασματοβράγχια (//N, φακός 5x).



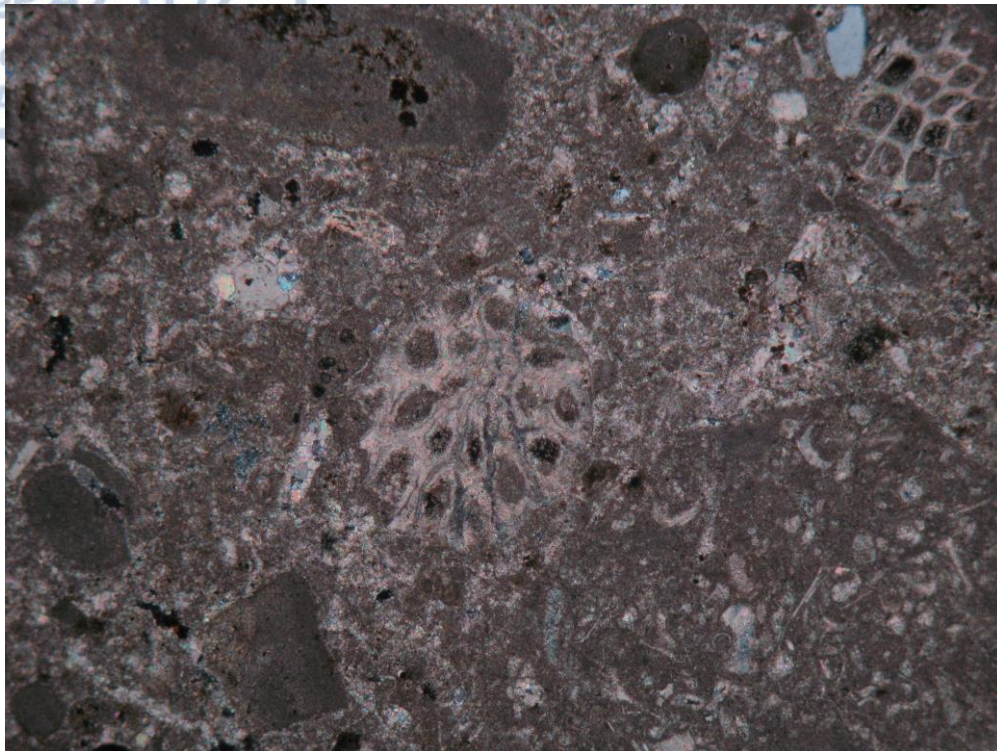
Εικ. 6.1β. Εικόνα από την μελέτη του δείγματος PRSK1 στο πολωτικό μικροσκόπιο όπου διακρίνονται οι μικροσκοπικοί κόκκοι ασβεστίτη από τους οποίους αποτελείται ο ασβεστόλιθος καθώς και απολιθώματα από νουμμουλίτες και άλλα ελασματοβράγχια (+N, φακός 10x).



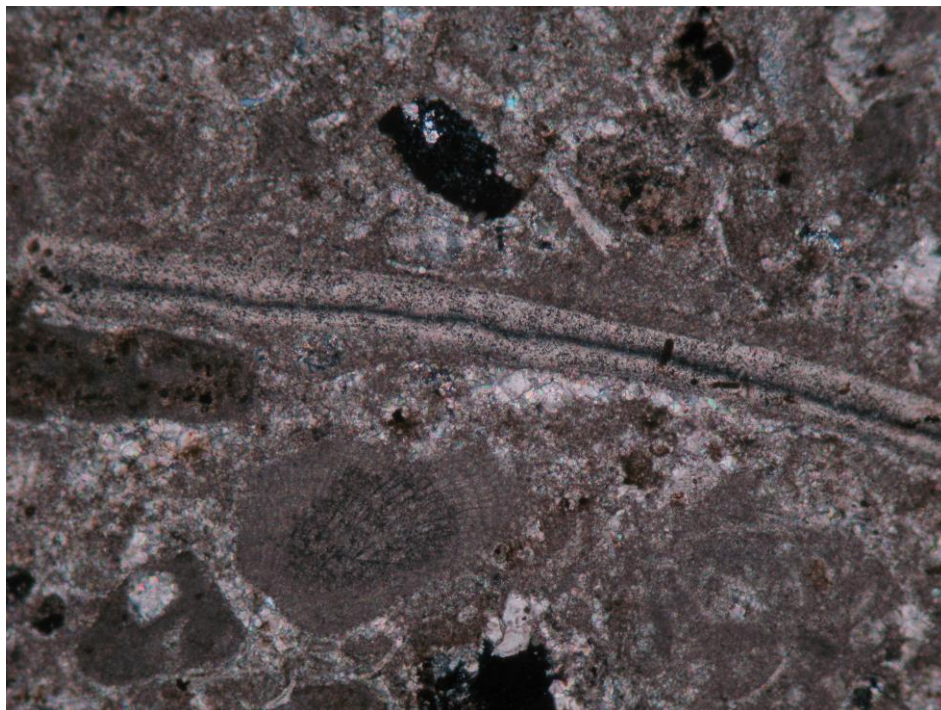
Εικ. 6.1γ. Εικόνα από την μελέτη του δείγματος PRSK2 στο πολωτικό μικροσκόπιο όπου διακρίνονται οι μικροσκοπικοί κόκκοι ασβεστίτη από τους οποίους αποτελείται ο ασβεστόλιθος καθώς και απολιθώματα από νουμμουλίτες και άλλα ελασματοβράγχια καθώς και το μεγάλο πορώδες του πετρώματος (μαύρες περιοχές) (+N, φακός 5x).



Εικ. 6.1δ. Εικόνα από την μελέτη του δείγματος PRSK2 στο πολωτικό μικροσκόπιο όπου διακρίνονται οι μικροσκοπικοί κόκκοι ασβεστίτη από τους οποίους αποτελείται ο ασβεστόλιθος καθώς και ένα απολίθωμα νουμμουλίτη (+N, φακός 10x).



Εικ. 56.1ε. Εικόνα από την μελέτη του δείγματος PRSK3 στο πολωτικό μικροσκόπιο όπου διακρίνονται οι μικροσκοπικοί κόκκοι ασβεστίτη από τους οποίους αποτελείται ο ασβεστόλιθος καθώς και απολιθώματα καθώς και ένας κόκκος χαλαζία στο επάνω δεξιό τμήμα της φωτογραφίας (τεφρό) (+N, φακός 5x).

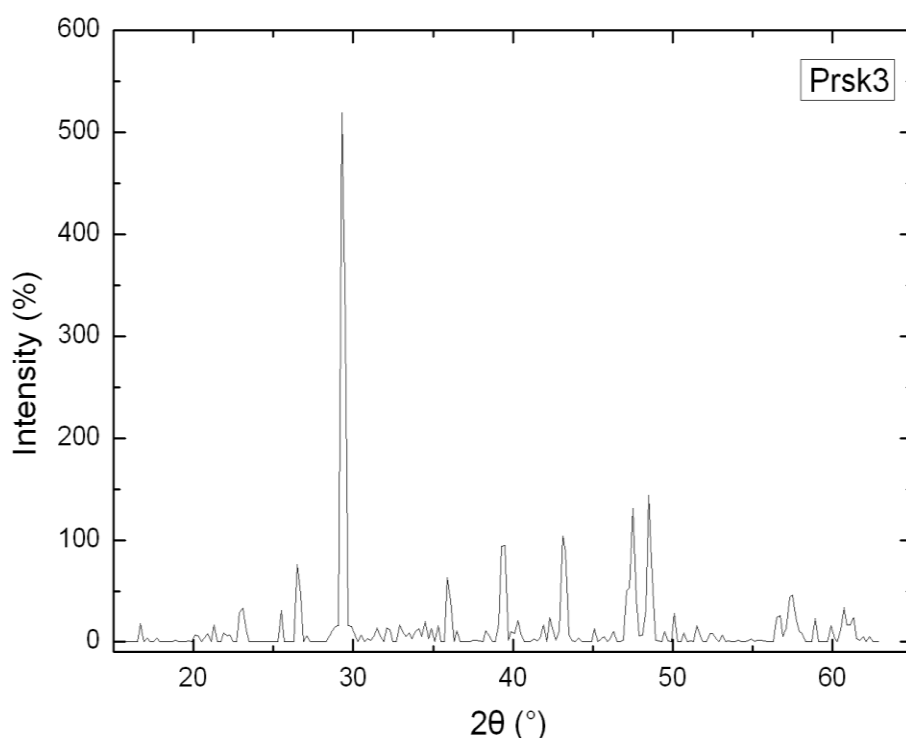


Εικ. 6.1στ. Εικόνα από την μελέτη του δείγματος PRSK3 στο πολωτικό μικροσκόπιο όπου διακρίνονται οι μικροσκοπικοί κόκκοι ασβεστίτη από τους οποίους αποτελείται ο ασβεστόλιθος καθώς και απολιθώματα από ελασματοβράγχια καθώς και το μεγάλο πορώδες του πετρώματος (μαύρες περιοχές) (+N, φακός 10x).

και του σχισμού τους κατά τη περιστροφή της τράπεζας του μικροσκοπίου και έντονη διπλοθλαστικότητα με υψηλά χρώματα πόλωσης. Μεγάλη είναι επίσης η έκταση που καταλαμβάνουν τα απολιθώματα με κυριότερα αυτά του νουμμουλίτη. Εξετάστηκαν τρία δείγματα του νουμμουλιτοφόρου ασβεστολίθου (PRSK 1, PRSK 2 PRSK 3) στο πολωτικό μικροσκόπιο με φακό 5x και 10x (Εικ. 6.1α-στ).

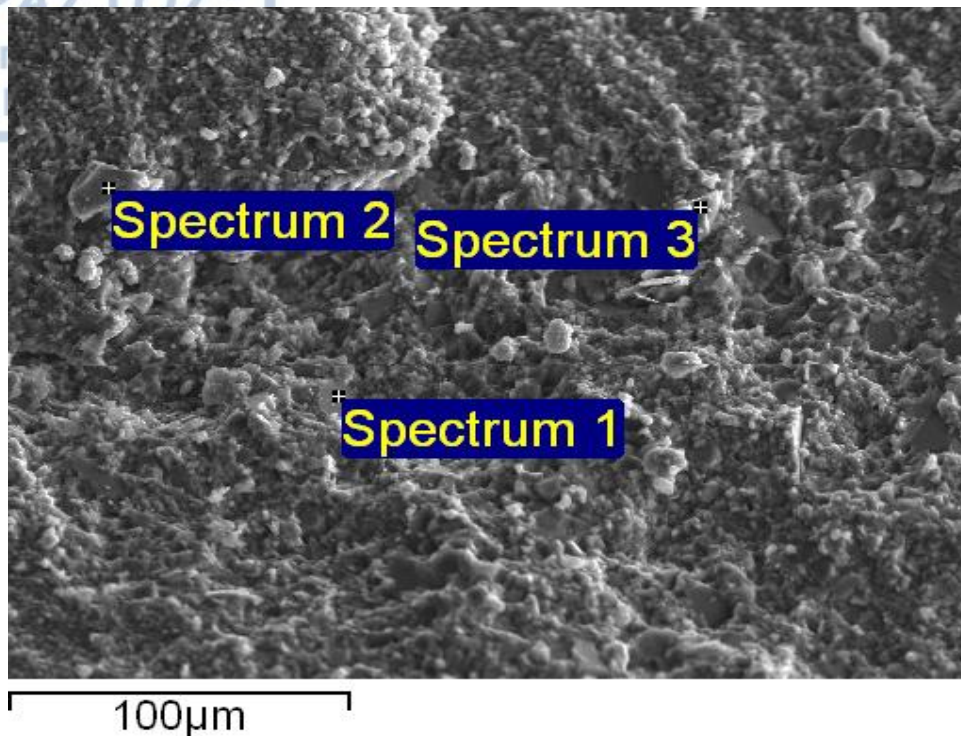
Από την εξέταση στο πολωτικό μικροσκόπιο παρατηρούμε ότι σε όλα τα δείγματα υπάρχει πληθώρα απολιθωμάτων. Τα απολιθώματα είναι κυρίως νουμμουλίτες, όστρακα, και ελασματοβράγχια (Εικ. 6.1 α-στ).

Η ορυκτολογική σύσταση του ασβεστόλιθου αποτελείται από ασβεστίτη και από ίχνη χαλαζία όπως προκύπτει από τη μελέτη στο μικροσκόπιο και από το διάγραμμα XRD (Σχ. 6.2), στο οποίο η πιο ψηλή κορυφή του διαγράμματος αντιπροσωπεύει τον ασβεστίτη και αμέσως μετά ακολουθεί ο χαλαζίας.



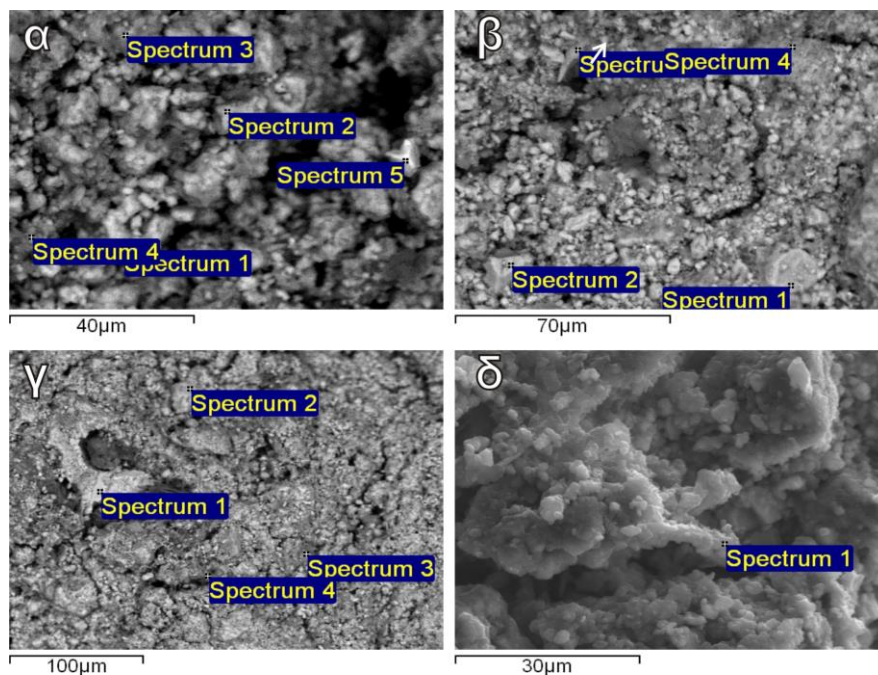
Εικ. 6.2.Διάγραμμα XRD που προέκυψε από την ακτινογραφική εξέταση του δείγματος Prsk3.

Με το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM) εξετάστηκε αρχικά δείγμα του υγιούς πετρώματος του ασβεστολίθου (Εικ. 6.3), από το οποίο προέκυψε ότι το πέτρωμα, όσον αφορά τη χημική του σύσταση αποτελείται 100% από CaO, και επιβεβαιώθηκε ότι δεν υπάρχει δολομίτης και άρα ούτε και MgO.



Εικ. 6.3. Εικόνα από την μελέτη στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης του αναλλοίωτου αβεστολίθου.

Στη συνέχεια εξετάσθηκαν τμήματα της επιφάνειας του αλλοιωμένου πετρώματος (B2, B4, B5, B6) από το δείγμα Prsk 3, στα οποία πραγματοποιήθηκαν σημειακές χημικές αναλύσεις που φαίνονται στην Εικόνα 6.4α-δ και στους Πίνακες 6.2-5..



Εικ. 6.4. Εικόνες από την μελέτη στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης σε τμήματα της επιφάνειας του αλλοιωμένου ασβεστολίθου (B2, B4, B5, B6) από το δείγμα Prsk 3.

Πίνακας 6.2. Σημειακές χημικές αναλύσεις στη θέση B2 του δείγματος Prsk 3 από το αναλλοίωτο (1) και το αλλοιωμένο επιφανειακό πέτρωμα (2-5) (SEM).

Formula	1	2	3	4	5
Al ₂ O ₃	0	0	14.67	0	12.49
MgO	0	0	0	0	12.21
SiO ₂	0	29.26	47.05	28.67	12.39
K ₂ O	0	0	1.7	0	0
CaO	100	72.74	31.83	71.33	8.85
FeO	0	0	4.75	0	16.94
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	37.12
FeS	0	0	0	0	0
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 6.3. Σημειακές χημικές αναλύσεις στη θέση B4 του δείγματος Prsk 3 από το αναλλοίωτο (1-2) και το αλλοιωμένο επιφανειακό πέτρωμα (3-4) (SEM).

Formula	1	2	3	4
Al ₂ O ₃	0	0	1.67	14.22
MgO	0	0	0	0
SiO ₂	0	0	96.09	52.24
K ₂ O	0	0	1.7	0
CaO	100	100	2.24	33.54
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0
Total	100	100	100	100

Πίνακας 6.4. Σημειακές χημικές αναλύσεις στη θέση B5 του δείγματος Prsk 3 από το αναλλοίωτο (1-2) και το αλλοιωμένο επιφανειακό πέτρωμα (3-4) (SEM).

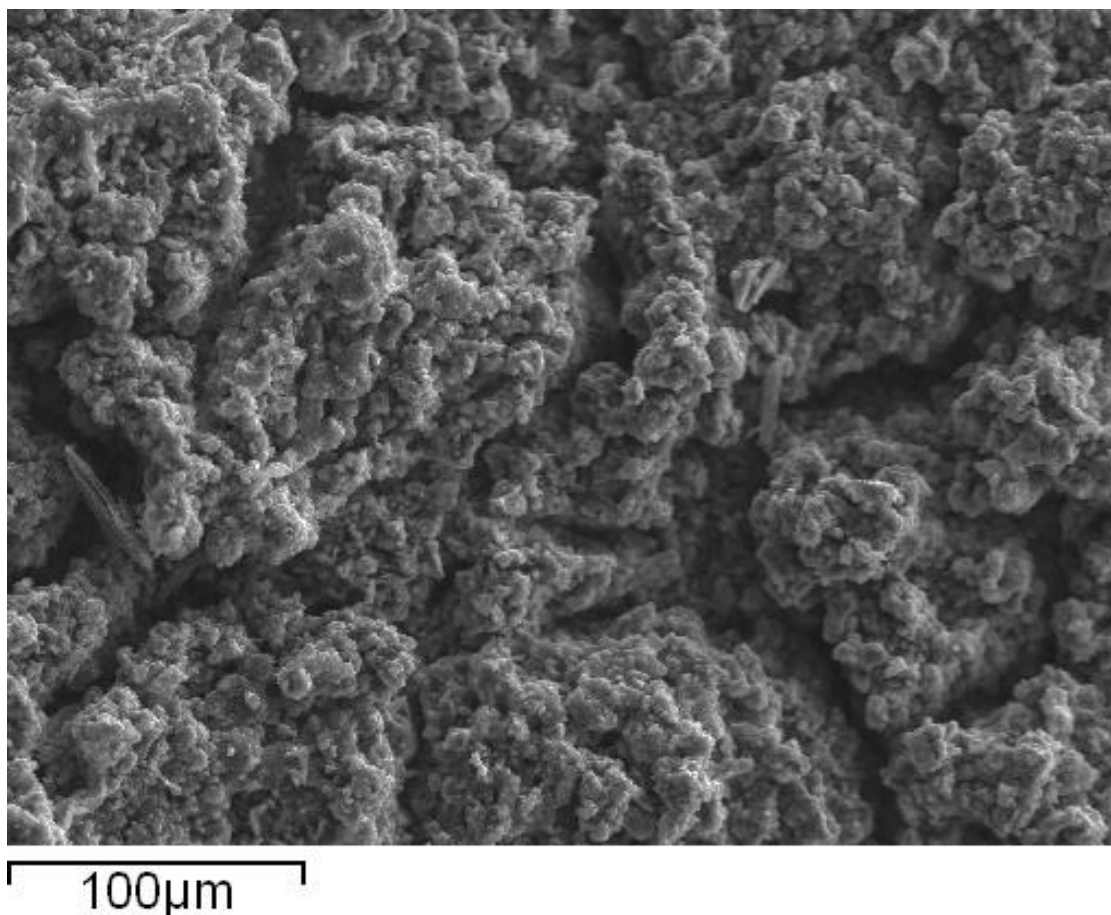
Formula	1	2	3	4
Al ₂ O ₃	0	0	0	12.28
MgO	0	0	0	0
SiO ₂	0	0	4.77	43.69
K ₂ O	0	0	1.7	0
CaO	100	100	95.23	35.84
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0
SO ₃	0	0	0	8.19
Total	100	100	100	100

Πίνακας 6.5. Σημειακές χημικές αναλύσεις στη θέση B6 του δείγματος Prsk 3 από το αλλοιωμένο επιφανειακό πέτρωμα (SEM).

Formula	1
Al ₂ O ₃	15.17
SiO ₂	43.75
CaO	34.70
SO ₃	6.38
Total	100

Όπως παρατηρείται στις μικροαναλύσεις για την θέση B2 στην επιφάνεια εντοπίζονται αργιλικά ορυκτά και σε μερικά από αυτά εντοπίζεται Cr και Fe, που σημαίνει ότι υπάρχουν μικροσωματίδια οξειδίων Fe σε κράματα με Cr, μέταλλα που περιέχονται στα μεταλλικά τμήματα των μηχανών και των ελαστικών των οχημάτων (Bourliva et al. 2016, 2017). Τα αρχαία λατομεία των Προσκυνητών βρίσκονται πολύ κοντά στον επαρχιακό δρόμο Ξυλαγιανής-Μαρώνειας και συνεπώς είναι πολύ πιθανό κάποια τέτοια κράματα να αποτέθηκαν στην εκτεθειμένη επιφάνεια του ασβεστολίθου από την κίνηση των αυτοκινήτων.

Από τις αναλύσεις στο SEM δειγμάτων του διαβρωμένου πετρώματος προέκυψε ότι ο ασβεστίτης παρουσιάζεται ανακρυσταλλωμένος σε μεγάλο βαθμό, κάτι που φαίνεται και στις αναλύσεις, λόγω της διάλυσης από τα επιφανειακά νερά που διαλύουν, μεταφέρουν και επαναποθέτουν το CaCO_3 κυρίως λόγω της δράσης του βρόχινου νερού (Εικ. 6.5).

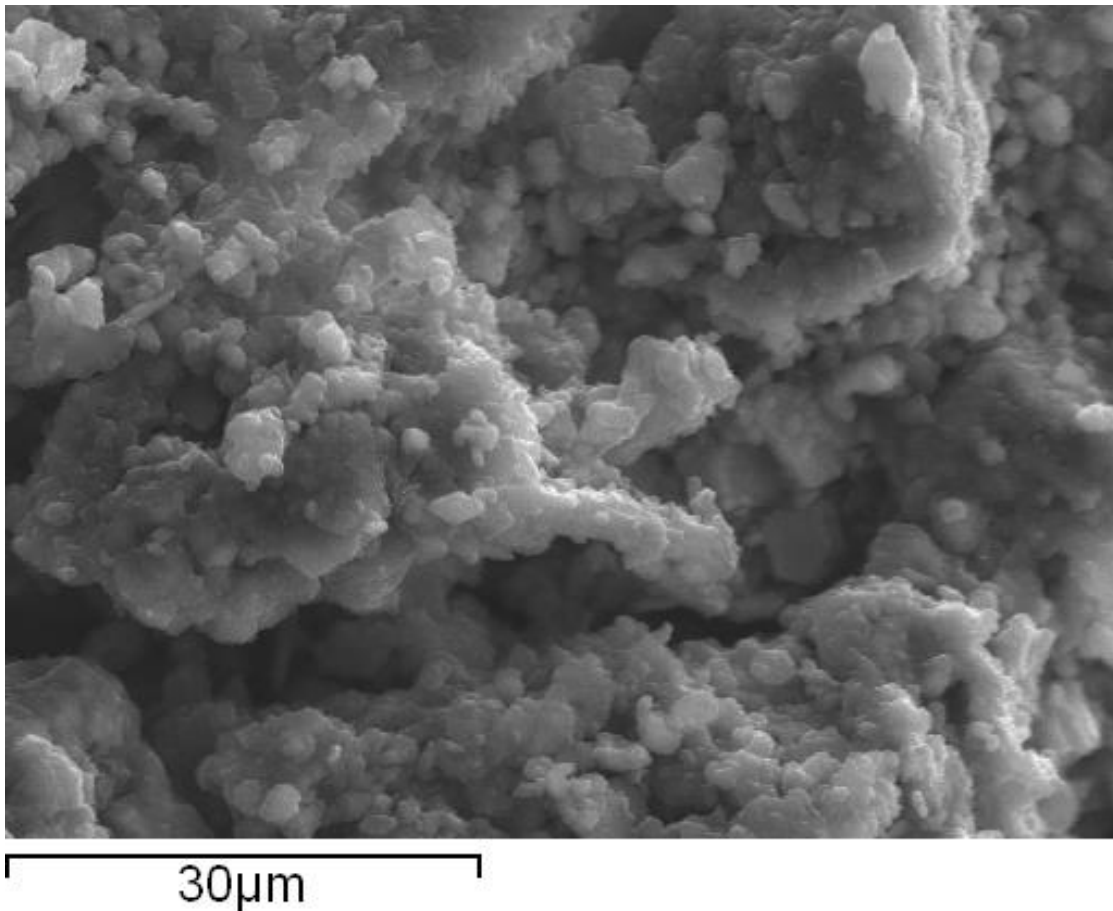


Εικ. 6.5.. Φωτογραφία στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης που απεικονίζει ανακρυσταλλωμένους κόκκους ασβεστίτη στην διαβρωμένη επιφάνεια του ασβεστολίθου.

Από τις μικροαναλύσεις συμπεραίνεται επίσης η ύπαρξη και άλλων στοιχείων εκτός του ασβεστίου, όπως υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο, αργίλιο, κάλιο, σίδηρο, κάτι το οποίο σημαίνει ότι υπάρχουν κι άλλα ορυκτά εκτός του ασβεστίτη σε πολύ μικρό μέγεθος. Αυτά τα μικροσωματίδια που εφάπτονται στον ασβεστίτη αλλά και η παρουσία σε μερικά από αυτά μαγνησίου κατά πάσα πιθανότητα δικαιολογείται λόγω επικαθίσεων των αιωρούμενων μικροσωματιδίων από το περιβάλλον, που με την πάροδο του χρόνου ενσωματώθηκαν στην επιφάνεια του ασβεστολίθου.

Σε δύο αναλύσεις (B5-4 και B6-1) (Πίν. 6.4 και 6.5) διαπιστώθηκαν ψηλές περιεκτικότητες σε θείο (S) μαζί με CaO , Al_2O_3 και SiO_2 . Η παρουσία του θείου μαζί με το ασβέστιο πιθανώς να δείχνει την παρουσία γύψου σε σύμφυση με αργιλοπυριτικά

ορυκτά (Εικ. 6.6). Η γυψοποίηση όπως αναφέρθηκε παραπάνω οφείλεται στην όξινη βροχή που διαβρώνει τον ασβεστόλιθο και τον μετατρέπει σε γύψο. Εντούτοις η γύψος είναι ένα ευδιάλυτο ορυκτό που με τον αέρα απομακρύνεται από την επιφάνεια του πετρώματος. Η διατήρησή του στο δείγμα που μελετήθηκε πιθανώς να οφείλεται στην σύμφυση με αργιλικά ορυκτά και έτσι παρέμεινε στην επιφάνεια του ασβεστολίθου.



Εικ. 6.6. Φωτογραφία στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης που απεικονίζει ανακρυσταλλωμένους κόκκους ασβεστίτη με αργιλοπυριτικά ορυκτά και γύψο στην διαβρωμένη επιφάνεια του ασβεστολίθου

Κεφάλαιο 7: Συζήτηση - Συμπεράσματα

Ο ασβεστόλιθος από τα αρχαία λατομεία Προσκυνητών της Μαρώνειας είναι πολύ χαρακτηριστικό πέτρωμα, λόγω του ιδιαίτερου πορτοκαλορόδινου χρώματός του, αλλά και εξαιτίας των πολυάριθμων απολιθωμάτων που περιέχει. Σε ορισμένα σημεία είναι μαργαϊκός και επίσης χαρακτηρίζεται ως μικριτικός λόγω των μικρού μεγέθους κόκκων του ($<1\ \mu\text{m}$).

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη της διάβρωσης του εν λόγω χαρακτηριστικού πετρώματος. Το υγιές και αναλλοίωτο πέτρωμα αποτελείται εξ ολοκλήρου από ασβεστίτη και ελάχιστο χαλαζία.

Τα δείγματα του αναλλοίωτου αλλά και του επιφανειακού και εκτεθειμένου στο περιβάλλον αλλοιωμένου ασβεστόλιθου μελετήθηκαν μικροσκοπικά και ακτινογραφικά καθώς και με το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης.

Συμπερασματικά ο ασβεστόλιθος διαβρώθηκε και αλλοιώθηκε λόγω της έκθεσής του στις ατμοσφαιρικές συνθήκες και των επικαθίσεων σε αυτόν αιωρούμενων κι άλλων σωματιδίων του περιβάλλοντος, στο οποίο ήταν εκτεθειμένος. Επίσης σε ορισμένες περιπτώσεις διαπιστώθηκε γυψοποίηση που οφείλεται στην όξινη βροχή.

Από τις μικροαναλύσεις του διαβρωμένου πετρώματος παρατηρείται η ύπαρξη εκτός του ασβεστίτη, αργιλοπηριτικών φάσεων με Fe και Cr, που κατά πάσα πιθανότητα οφείλονται σε απόθεση μεταλλικών θραυσμάτων στην επιφάνεια του πετρώματος, από τις μηχανές και τα ελαστικά των αυτοκινήτων, αφού τα αρχαία λατομεία των Προσκυνητών βρίσκονται σε μικρή απόσταση από τον επαρχιακό δρόμο Ξυλαγανής-Μαρώνειας.



Βιβλιογραφία

- Arnold, A., and Zehnder, K. (1991). Monitoring wall paintings affected by soluble salts. The conservation of wall paintings, 1, 103-35.
- Arvanitidis, N. D., and Constantinides, D. (1989). Base and precious metal sulfide mineralization of the Greek Rhodope Massif. *Geol. Rhodop*, 1, 298-305.
- Biggazzi, G., Del Moro, A., Innocenti, F., Kyriakopoulos, K., Manetti, P. Papadopoulos, P., Norelli, P. and Magganas, A. (1989). The magmatic intrusive complex of Petrota, West Thrace: Age and geodynamic significance. *Geol. Rhodopica*, 1, 290-297.
- Bourliva, A., Christophoridis, C., Papadopoulou, L., Giouri, K., Papadopoulos, A., Mitsika, E., and Fytianos, K. (2017). Characterization, heavy metal content and health risk assessment of urban road dusts from the historic center of the city of Thessaloniki, Greece. *Environmental geochemistry and health*, 39(3), 611-634.
- Dubreuil, L., & Savage, D. (2014). Ground stones: a synthesis of the use-wear approach. *Journal of Archaeological Science*, 48, 139-153.
- Gu, J. D., Ford, T. E., Mitton, D. B., & Mitchell, R. (2000). b. Microbial degradation and deterioration of polymeric materials. *The Uhlig Corrosion Handbook*. 2nd Edition. New York: Wiley, 439-60.
- Kilias, A.A., and Mountrakis, D.M. (1998). Tertiary extension of the Rhodope massif associated with granite emplacement (Northern Greece). *Acta Vulcanologica*, 10, 331-338.
- Kouris, C., 1980. Geological map of Greece, Mesi-Xylagani sheet, scale 1:50.000. Institute of Geology and Mineral Exploration (IGME), Athens, Greece.
- Melfos V., Vavelidis M., Christofides G., Seidel E. (2002). Origin and evolution of the Tertiary Maronia porphyry copper-molybdenum deposit, Thrace, Greece. *Mineralium Deposita*, 37, 648-668.
- Melfos V., Voudouris P.C. (2012). Geological, Mineralogical and Geochemical Aspects for Critical and Rare Metals in Greece. *Minerals*, 2, 300-317.
- Melfos V., Voudouris P. (2017). Cenozoic metallogeny of Greece and potential for precious, critical and rare metals exploration. *Ore Geology Reviews*, 89, 1030–1057.
- Melfos V., Vavelidis M., 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. International Conference: Protection and Restoration of the Environment VI, 1-5 July 2002, Skiathos island, Greece.
- Mitchell, R., & Gu, J. D. (2000). Changes in the biofilm microflora of limestone caused by atmospheric pollutants. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 46(4), 299-303.
- Mposkos, E. D., and Kostopoulos, D. K. (2001). Diamond, former coesite and supersilicic garnet in metasedimentary rocks from the Greek Rhodope: a new ultrahigh-pressure metamorphic province established. *Earth and Planetary Science Letters*, 192(4), 497-506.
- Tranos M., Kiliass A., and Mountrakis D. (1999). Geometry and kinematics of the Tertiary post-metamorphic Circum Rhodope Belt Thrust System (CRBTS), Northern Greece. *Bull. Geol. Soc. Gr.*, 33, 33, 5-16.
- Vavelidis M., Melfos V. (1998). Fluid inclusion evidence for the origin of the barite silver-gold-bearing Pb-Zn mineralization of the Triades area, Milos island, Greece. *Bull. Geol. Soc. of Greece*, 32(3), 137-144.
- Vaxevanopoulos M., Melfos V. (2010). Hypogenic features in Maronia cave, Thrace, Greece. Evidence from morphologies and fluid inclusions. *Bull Geol Soc Greece*, XLIII/2, 948-957.
- Βαβελίδης Μ., Μέλφος Β., Τσατσοπούλου Π., Κιουρτζόγλου Ε. (2003). Λατομική δραστηριότητα στην περιοχή Μεσημβρίας-Ζώνης Έβρου κατά την αρχαιότητα. Το Αρχαιολογικό Έργο στη Μακεδονία και Θράκη, 15, 33-45.
- Βαβελίδης Μ., Χοτζίδης Α., Μέλφος Β. (2007). Τα λατομεία και μνημεία του Βορείου Έβρου: Παράγοντες οικονομικής ανάπτυξης από την αρχαιότητα έως τη σύγχρονη εποχή. Στο Μ. ΒΑΒΕΛΙΔΗΣ – Β. ΜΕΛΦΟΣ – Α. ΧΟΤΖΙΔΗΣ (επιμ.), Δυνατότητες ανάπτυξης στο Βόρειο Έβρο: Πολιτισμός, ορυκτοί πόροι και περιβάλλον. Πρακτικά επιστημονικής ημερίδας της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Μύλος Πετρωτών, Πετρωτά Τριγώνου Έβρου 2007, 38-53
- Κρητικού, Α. (2012). Διερεύνηση των αιτιών διάβρωσης των λίθινων μνημείων του αρχαιολογικού χώρου της Ελευσίνας και προτάσεις για την αποκατάστασή τους. Μεταπτυχιακή εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 176 σ. .
- Λαμπρόπουλος Β. Ν. (1995). Διάβρωση και συντήρηση της πέτρας. Ιδιωτική έκδοση, 110 σελ.

- Μαγκανάς Α. (1988). Μελέτη της ορυκτολογίας, πετρολογίας, γεωχημείας και των φαινομένων μεταμορφώσεως βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων της Περιοδοπικής Ζώνης στην περιοχή της Θράκης. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, 332 σ.
- Μέλφος Β. (1995). Έρευνα των βασικών και ευγενών μετάλλων στην Περιοδοπική Ζώνη της Θράκης. Διδακτορική Διατριβή. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Α.Π.Θ., Παρ. Αριθμ. 30, σελ. 289.
- Μέλφος Β., Βαβελίδης Μ. (2000). Η κατεργασία του λίθου και η λατομική δραστηριότητα κατά την αρχαιότητα: ίχνη λατόμησης στη Μαρώνεια του Νομού Ροδόπης. Θεσσαλονικέων Πόλις, 2, 63-76.
- Μέλφος Β., Χατζηπέτρος Α., Χατζοπούλου Α., Βασιλειάδου Α., Λαζαρίδης Γ., Βαξεβανόπουλος Μ., Συρίδης Γ., Τσουκαλά Ε., Παυλίδης Σ. (2005). Γεωλογική, Πετρολογική και Παλαιοντολογική μελέτη του Σπηλαίου της Μαρώνειας στους Ησκαινικούς Νουμμουλιτοφόρους ασβεστολίθους στη Θράκη. Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ., XXXVII, 153-167.
- Μουντράκης Δ. (2010). Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 62-70, 278-329.
- Παπασταματίου Κ. (2007). Συντήρηση λίθου. Ορολογία φθορών - αντιστάχιση επέμβασης - μέθοδοι επαρκούς τεκμηρίωσης (<http://pesa.com.gr/files/papastamatiouk1.pdf>). Παυλίδης Σ., Τσουκαλά Ε., Χατζηπέτρος Α., Χατζοπούλου Α., Μέλφος Β., Βασιλειάδου Α., Λαζαρίδης Γ. and Βαξεβανόπουλος Μ. (2005). Το σπήλαιο της Μαρώνειας στους νουμμουλιτοφόρους ασβεστόλιθους (Θράκη). Γεωλογία και παλαιοντολογία. Πρακτικά Περιλήψεων της Επιστημονικής Συνεδρίας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας με θέμα «Γεωλογία της Θράκης-Σεισμοτεκτονική του ΒΑ Αιγαίου», 2-4 Σεπτεμβρίου 2005, Σαμοθράκη, 51-52.
- Σκουλικίδης Θ. (2015). Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 360 σ..
- Σκουλικίδης, Θ. Ν. (2000). Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης", Ηράκλειο.
- Τσικούρας Β. (2010). Επιπτώσεις του Περιβάλλοντος στους Δομικούς Λίθους των Σύγχρονων Κατασκευών και των Αρχαίων Μνημείων. Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Χατζηχαράλαμπος, Ε. (2014). Διατήρηση και ανάδειξη των φυσικών και πολιτισμικών πόρων του νομού Ροδόπης.

