

ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ- ΤΜΗΜΑ
ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ



Στρωματογραφικές και πετρελαϊκές παρατηρήσεις στους Ιουρασικούς-Κάτω Κρητιδικούς σχηματισμούς της Προαπούλιας ζώνης στην περιοχή Αθανίου (Λευκάδα)

Διπλωματική Εργασία
Επιβλέπων: Καθηγητής Β. Καρακίτσιος



Χείλαρη Σοφία -- _aΑυδής Βασίλειος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες προς τον καθηγητή του ΕΚΠΑ κ. Κ. Καρακίτσιο, επιβλέποντα της πτυχιακής εργασίας, για την ευκαιρία και την καθοδήγηση που μας προσέφερε. Ιδιαίτερα ευχαριστούμε την καθηγήτρια κα. Φ. Πομόνη-Παπαιωάννου, που μας βοήθησε με τις λεπτές τομές κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Επίσης ευχαριστούμε τον κ. Δ. Βελιτζέλο για την πολύτιμη βοήθειά του με την παρασκευή των δειγμάτων στο εργαστήριο. Τέλος, ευχαριστούμε τους δικούς μας ανθρώπους για την υπομονή και τη συμπαράσταση που μας έδειξαν στο διάστημα αυτό.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ- ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΕΡΕΥΝΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ	1-1
1.1	ΣΚΟΠΟΣ	1-1
1.2	Προέλευση Πετρελαίου	1-1
1.2.1	Μητρικό Πέτρωμα:	1-2
1.2.2	Ρήγματα-Διακλάσεις:	1-2
1.2.3	Ταμιευτήρας	1-3
1.2.4	Μονωτήρας.....	1-3
1.2.5	Παγίδες Πετρελαίου	1-3
2	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΠΡΟ-ΑΠΟΥΛΙΑΣ ΚΑΙ ΙΟΝΙΑΣ ΖΩΝΗΣ.....	2-1
2.1	Πετρελαϊκό Δυναμικό Ιονίου Πελάγους	2-1
2.2	Ενότητα Παξών.....	2-4
2.3	Ιόνια ενότητα	2-6
2.4	Δυνητικά Πετρελαιούχες Περιοχές	2-9
3	ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΥΚΑΔΑΣ	3-1
3.1	Γεωγραφία –Ανάγλυφο.....	3-1
3.2	Γεωλογική επισκόπηση και τεκτονο-στρωματογραφία	3-3
3.3	Σεισμικότητα	3-8
4	Εργασία Υπαίθρου.....	4-1
4.1	Περιγραφή περιοχής μελέτης.....	4-1
4.2	Παρατηρήσεις- Υπαίθρου	4-6
4.3	Λεπτές Τομές	4-10
4.4	Δολομιτίωση	4-16
5	Ανακεφαλαίωση-Συζήτηση Αποτελεσμάτων-Συμπεράσματα	5-1

6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	6-1
7	Παράρτημα 1:Φωτογραφίες υπαίθρου	7-1
8	Παράρτημα 2:Κατασκευή Λεπτών Τομών.....	8-1

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία ασχολείται με την διερεύνηση του Ιουρασικού αργιλοπυριτικού σχηματισμού ως μητρικού πετρώματος πετρελαίου, και την στρωματογραφική του πλαισίωση μέσω της εργαστηριακής μελέτης συλλεχθέντων δειγμάτων στην περιοχή η οποία βρίσκεται δυτικά του χωριού Αθά-νιου, στο νοτιοδυτικό τμήμα της ακτογραμμής της Λευκάδας, δυτικά της επώθησης της Ιόνιας πάνω στην Προαπούλια ζώνη. Η περιοχή μελέτης αποτελεί το μόνο χερσαίο χώρο στον οποίο εμφανίζονται πετρώματα του Ιουρασικού της Προαπούλιας ζώνης. Γεωχημική μελέτη δειγμάτων γεωτρήσεων που πραγματοποίησε η ΔΕΠ-ΕΚΥ στους Παξούς έδειξε ότι ο αργιλοπυριτικός σχηματισμός είναι πλούσιος σε οργανικό υλικό και αντιστοιχεί σε μητρικό πέτρωμα υδρογονανθράκων.

Οι δειγματοληψίες υπαίθρου περιέλαβαν τόσο στον αργιλοπυριτικό σχηματισμό όσο και τον υπερκείμενο και το υποκείμενό του. Στην συνέχεια έγινε μελέτη γεωλογικών τομών που περιείχαν τον υπό μελέτη σχηματισμό έτσι ώστε να αναγνωριστεί η στρωματογραφική του θέση και τα ιδιαίτερα στρωματογραφικά και ιζηματολογικά χαρακτηριστικά των εμπλεκόμενων σχηματισμών. Τα δείγματα πετρωμάτων αριθμήθηκαν και τοποθετήθηκαν στο αντίστοιχο ύψος στη στρωματογραφική στήλη.

Ακολούθησε γενικότερη μελέτη της στρωματογραφίας της νήσου από την βιβλιογραφία και τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, καθώς και η ένταξή τους στο ευρύτερο γεωλογικό πλαίσιο.

Από την παραπάνω μελέτη προέκυψε ότι τα δείγματα ήταν σε μεγάλο βαθμό δολομιτιωμένα και η πρωτογενής ιζηματογενής δομή ήταν δύσκολο να διευκρινιστεί τα δε μικροαπολιθώματα δεν προσδιορίζονταν λόγω της ανακρυστάλλωσης. Παρ' όλα αυτά εντοπίστηκε στους αργιλικό σχηματισμό ένα απολίθωμα αμμωνίτη του γένους *Perisphectites*, το οποίο

δείχνει πελαγικό περιβάλλον απόθεσης και χρονολογεί τον εν λόγω σχηματισμό στο Ανώτερο Ιουρασικό.

Περαιτέρω εργαστηριακές μελέτες, που δεν μπορούσαν να γίνουν στα πλαίσια μιας διπλωματικής εργασίας, περιλαμβάνουν τη χημική ανάλυση (πυρόλυση) των φαινομενικά πιο πλούσιων σε οργανικό υλικό οριζόντων του σχηματισμού με στόχο την ποσοτικοποίηση των πετρελαϊκών παραμέτρων.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ- ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΕΡΕΥΝΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η στρωματογραφία και ιζηματολογία του αργιλοπυριτικού σχηματισμού που εμφανίζεται στην περιοχή του Αθανίου, ο οποίος αποτελεί ένα από τα γνωστά μητρικά πετρελαίου της Προαπούλιας ζώνης. Δεδομένου ότι η διπλωματική εστιάζεται σε ένα σχηματισμό που παρουσιάζει πετρελαϊκό ενδιαφέρον, θεωρούμε σκόπιμο να αναφέρουμε στις παραγράφους που ακολουθούν, γενικά στοιχεία γεωλογίας πετρελαίου (Tissot and Welte 1984, Karakitsios 2013b).

1.2 Προέλευση Πετρελαίου

Το πετρέλαιο σχετίζεται άμεσα με την παρουσία οργανικού υλικού και την παρουσία ανοξικών συνθηκών. Οι ανοξικές-αναερόβιες συνθήκες εμποδίζουν την δράση των αερόβιων βακτηριδίων και λοιπών μικροοργανισμών που καταστρέφουν το εν δυνάμει παραγομένο πετρέλαιο.

Όσον αναφορά τα υδάτινα περιβάλλοντα ανοξικές συνθήκες υπάρχουν όπου υπάρχουν στάσιμα νερά και στο βυθό. Ο χρόνος μεταφοράς του οργανικού υλικού στη στήλη νερού στο είναι κρίσιμος παράγοντας όπως ακριβώς και η ιζηματογένεση. Χαμηλοί ρυθμοί ιζηματογένεσης, κάτω από συνθήκες καλής οξυγόνωσης, επιτρέπουν τη διατήρηση μόνο του ινερτινίτη, ενώ αναερόβια περιβάλλοντα απόθεσης επιτρέπουν την διατήρηση σχετικά μεγάλων ποσοτήτων πετρωμάτων από πλούσιων σε υδρογόνο, λιπτινίτη, και έτσι αυξάνεται έντονα το ενδεχόμενο γένεσης υδρογονανθράκων. Το κηρογόνο πάντα αντικατοπτρίζει τον όγκο του συνολικού οργανικού υλικού.

Οι κύριοι παράγοντες που οδηγούν στην γένεση του πετρελαίου, είναι οι ακόλουθοι:

- Ύπαρξη μητρικού πετρώματος (sourcerock).
- Ύπαρξη ρηγμάτων, διακλάσεων (migration).
- Ύπαρξη ταμιευτήρα (reservoir).
- Ύπαρξη μονωτήρα (seal).
- Ύπαρξη παγίδων (traps)

1.2.1 Μητρικό Πέτρωμα:

Ως μητρικά πετρώματα υδρογονανθράκων καθορίζονται τα λεπτόκοκκα ιζήματα, τα οποία δημιουργήθηκαν, δημιουργούνται ή θα δημιουργηθούν στο φυσικό τους περιβάλλον και θα απελευθερώσουν αρκετό υδρογονάνθρακα για να σχηματίσει μια αξιοσημείωτη συγκέντρωση από πετρέλαιο ή αέριο. Οι ανοξικές συνθήκες είναι κρίσιμες για τη διατήρηση του οργανικού υλικού στα ιζήματα.

Μια πολύ σημαντική κατηγορία μητρικών πετρωμάτων είναι οι σχιστόλιθοι (shales). Ως σχιστόλιθος νοείται κάθε ιζηματογενές πέτρωμα που είναι πλούσιο σε οργανικό υλικό. Μετά από πυρόλυση το πέτρωμα αυτό θα μας δείξει την περιεκτικότητά του σε πετρέλαιο. Στους πιο τυπικούς σχιστολίθους επικρατούν τα ορυκτά του αργίλου, ενώ σε σχιστολίθους οι οποίοι δεν είναι τυπικοί υπάρχουν και ανθρακικά ορυκτά, χαλαζίας, άστριοι αλλά και αργιλικά ορυκτά (Blatt Tracy and Owens, 1996).

1.2.2 Ρήγματα–Διακλάσεις:

Μέσω των τεκτονικών ασυνεχειών του πετρώματος ή του πρωτογενούς πορώδους το πετρέλαιο μεταναστεύει από το μητρικό πέτρωμα και συγκεντρώνεται στον ταμιευτήρα.

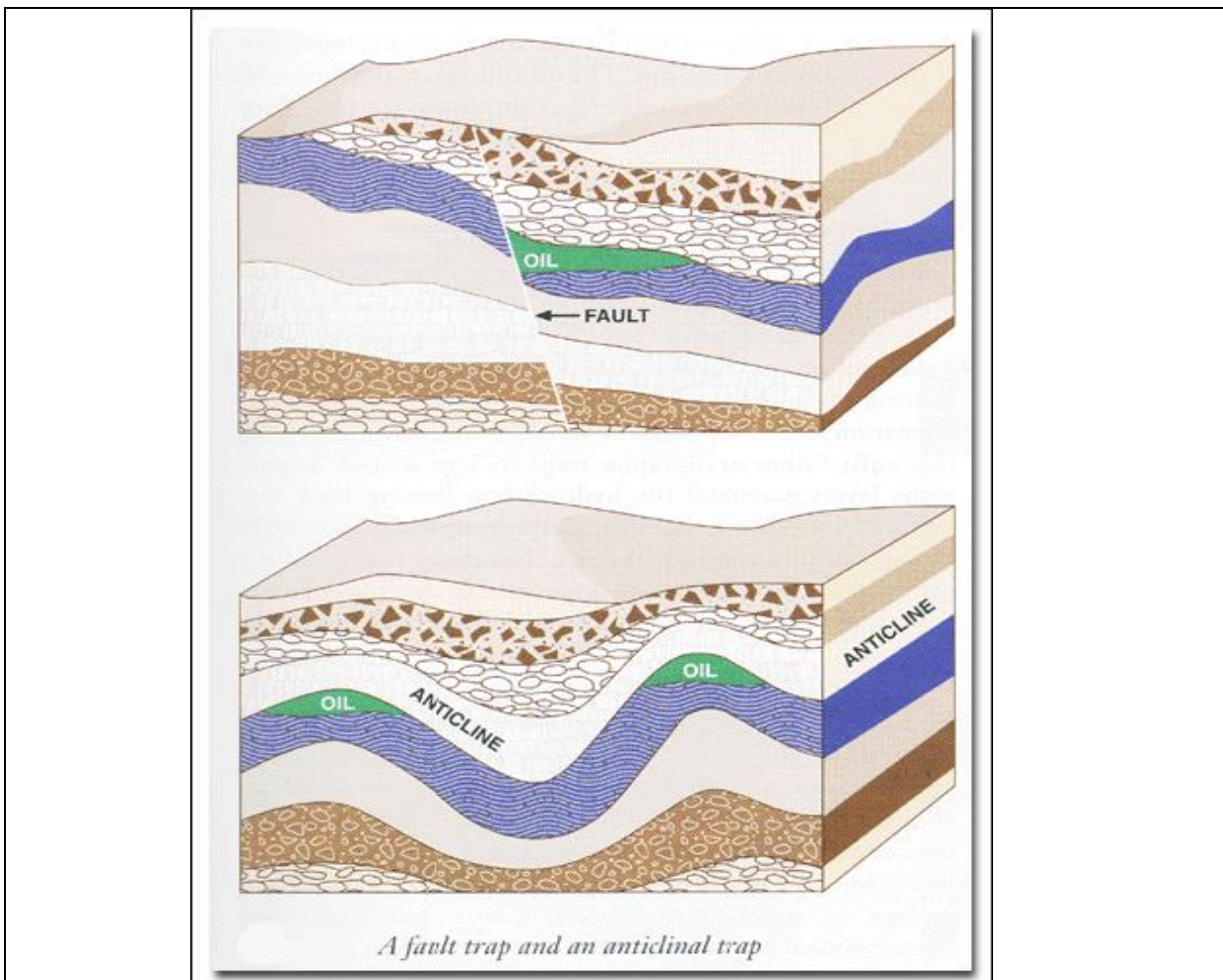
1.2.3 Ταμιευτήρας

Στον ταμιευτήρα συγκεντρώνεται το πετρέλαιο. Ο ταμιευτήρας είναι ένα πέτρωμα με υψηλό πορώδες και διαπερατότητα. Συνήθως είναι ή ανθρακικό ή αμμούχο.

1.2.4 Μονωτήρας

Ο μονωτήρας είναι ένα αδιαπέρατο πέτρωμα που «σφραγίζει» το πετρέλαιο του ταμιευτήρα, με αποτέλεσμα να προκαλεί την αδυναμία του να πάει σε κάποιο άλλο σχηματισμό.

1.2.5 Παγίδες Πετρελαίου



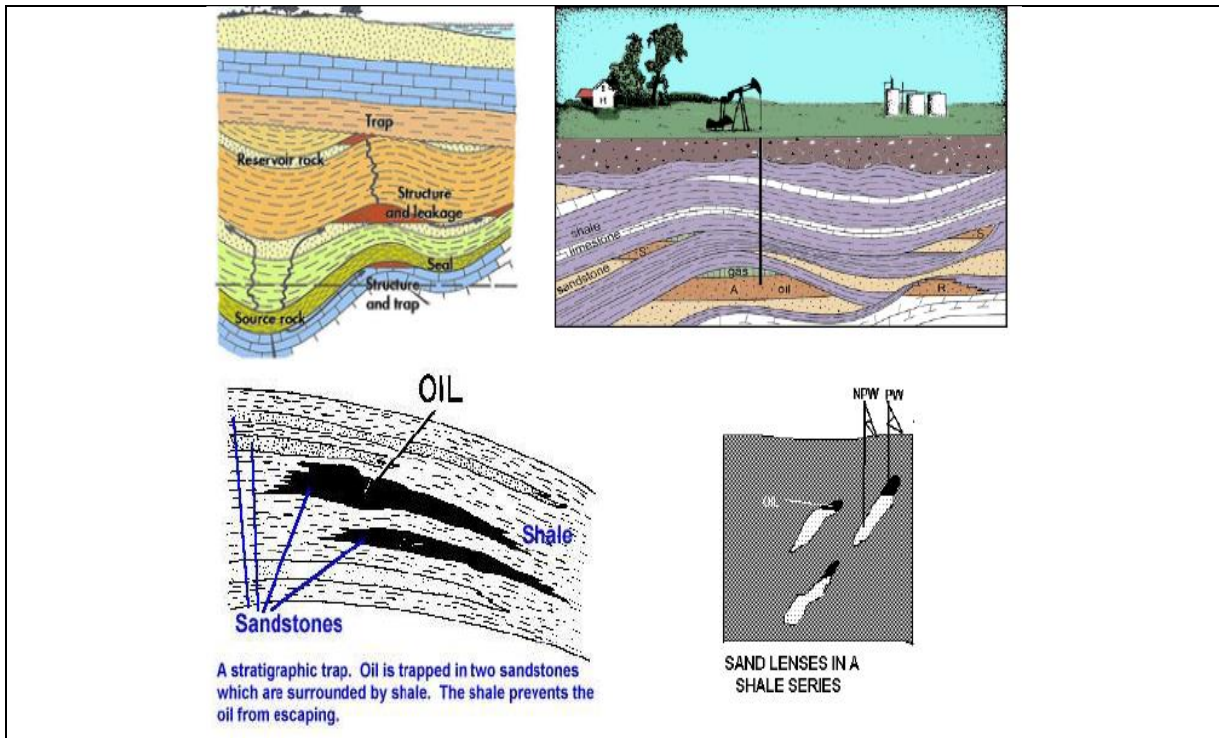
Δύο είδη δομικών παγίδων πετρελαίου η μία σε ρήγμα και η άλλη σε αντίκλινο.

Παγίδες πετρελαίου ονομάζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμποδίζουν τη μετανάστευση του πετρελαίου με αποτέλεσμα να παραμένει σ'ένα συγκεκριμένο σημείο. Για να καταστεί δυνατή η εξόρυξη του. Οι παγίδες πετρελαίου αναλογούν σε τοπικές συγκεντρώσεις πετρελαίου που υπάρχουν στην υπεδαφική δομή. Οι παγίδες πετρελαίου ταξινομούνται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες με βάση το τρόπο σχηματισμού τους:

Τεκτονικές παγίδες: σε ρήγματα, σε αντίκλινα και εντός των διαφόρων αλατούχων δομών.

Στην ζώνη Παξών οι παγίδες πετρελαίου που εμφανίζονται συνήθως ανήκουν στις τεκτονικές παγίδες και αφορούν μεγάλης κλίμακας αντίκλινα. Βέβαια, υπάρχουν και στρωματογραφικές παγίδες στην ζώνη Παξών που σχηματίζονται μεταξύ των εβαποριτών της ενότητας και του κρυσταλλικού υποβάθρου αυτών (Karakitsios and Rigakis, 2007).

Στρωματογραφικές παγίδες: Στρωματογραφικές καλούνται οι παγίδες που δημιουργούνται κατά την απόθεση γεωλογικών στρωμάτων πρωτογενώς ή κατά την διαγενετική διαδικασία δευτερογενώς. Στη δημιουργία στρωματογραφικών παγίδων συμβάλλουν οι κοιλότητες και οι ασυνέχειες που υπήρχαν πρωτογενώς στο στρώμα.



Διαφορετικές στρωματογραφικές παγίδες που εμφανίζονται σε διαφορετικές περιοχές με διαφορετική λιθολογία, κοινό στοιχείο που έχουν όλες τους είναι ότι ο ταμιευτήρας πετρελαίου σε όλες της παραπάνω εικόνες είναι ψαμμίτης και σαν μονωτήρας λειτουργεί ο σχιστόλιθος.

Υδροδυναμικές παγίδες: Υδροδυναμικές καλούνται οι παγίδες που δημιουργούνται κατά την κίνηση ρευστών που περιέχουν πετρέλαιο μέσα σε μια λεκάνη. Σε παγκόσμια κλίμακα οι υδροδυναμικές παγίδες είναι σπάνιες.

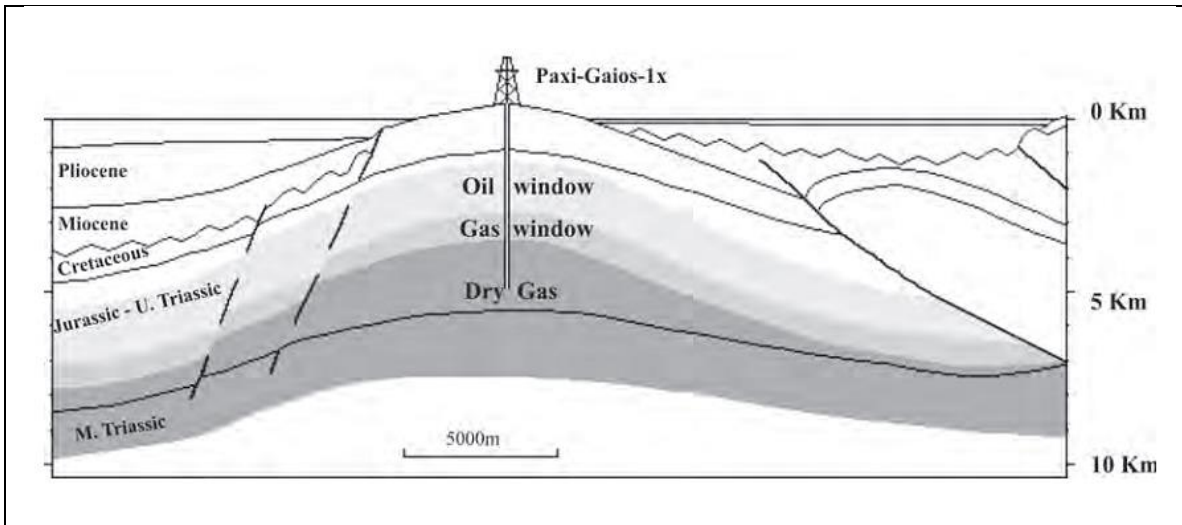
2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΠΡΟ-ΑΠΟΥΛΙΑΣ ΚΑΙ ΙΟΝΙΑΣ ΖΩΝΗΣ

2.1 Πετρελαϊκό Δυναμικό Ιονίου Πελάγους

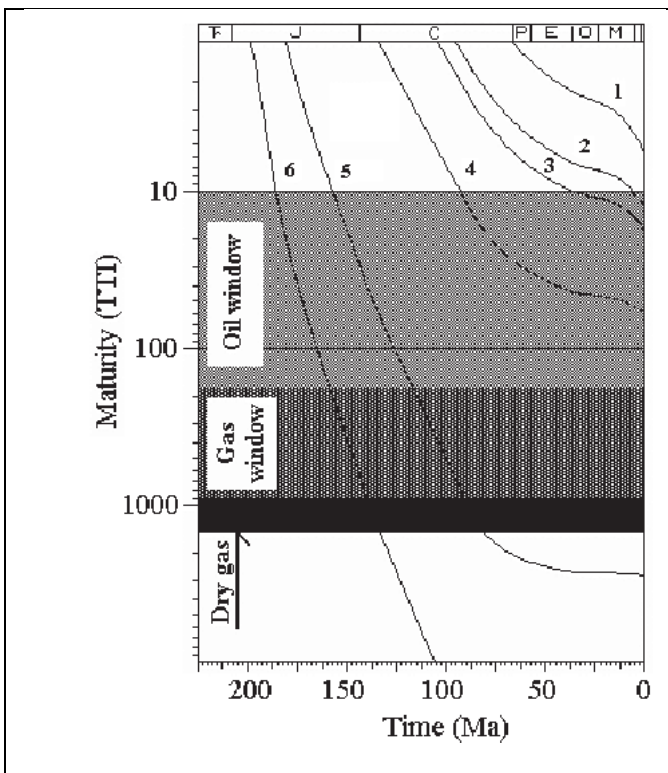
Τα πλούσια σε οργανικό υλικό μητρικά πετρώματα βρίσκονται συνήθως εντός των Τριαδικών εβαποριτών αλλά και εντός των Ιουρασικοκρητιδικών πελαγικών αργιλικών πετρωμάτων. Η Προαπούλια ζώνη αποτελείται από Τριαδικές έως Μειοκαινικές αποθέσεις, κυρίως ανθρακικά πετρώματα μεικτής νηριτικής και πελαγικής φάσης. Τα μητρικά αυτά πετρώματα περιλαμβάνουν πελαγικές και ημιπελαγικές αποθέσεις πλούσιες σε θαλάσσιο οργανικό υλικό. Ενίοτε βρίσκεται και χερσαίο οργανικό υλικό εντός των αργιλικών στρωμάτων.

Η δυτική Ελλάδα περιλαμβάνει σημαντικά συστήματα πετρελαίου τα οποία επεκτείνονται στο Ιόνιο πέλαγος (Karakitsios, 2013). Τα Ιόνια, Προαπούλια και Απούλια πετρελαϊκά συστήματα συνεισφέρουν στην πιθανή συγκέντρωση πετρελαίου στα μεγάλα μεγάλα αντίκλινα εντός του Ιονίου πελάγους. Στην ηπειρωτική δυτική Ελλάδα υπάρχουν σημαντικοί ταμιευτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου με δυνατότητα μη συμβατικής εκμετάλλευσης. Όσον αφορά τα νησιά του Ιονίου πελάγους, έχει βρεθεί πετρέλαιο στη Ζάκυνθο και στους Παξούς.

Η περιοχή μελέτης μας βρίσκεται στη Λευκάδα όπου συνυπάρχουν η ενότητα Παξών με την Ιόνια ενότητα. Παρακάτω θα αναφερθούμε στις ενότητες Παξών και Ιόνιας, όπου στη μία ανήκει ο χώρος μελέτης μας και η άλλη είναι η γειτονική της. (Karakitsios, 2013).



Σχεδιάγραμμα που δείχνει την παρουσία πετρελαίου στην προ-Απούλια ζώνη (Karakitsios and Rigakis, 2007)



Διάγραμμα ωρίμανσης του πετρελαίου συναρτήσει του χρόνου. Δείχνει πότε τα μητρικά πετρώματα πετρελαίου ωριμάζουν ώστε να δώσουν πετρέλαιο. Η κάθε καμπύλη στο διάγραμμα σηματοδοτεί και ένα μητρικό πέτρωμα που έχει σχηματιστεί σε δεδομένο γεωλογικό χρόνο. Αυτό αναλύεται στον πίνακα παρακάτω (Karakitsios and Rigakis, 2007).

α/α καμπύλης στην παραπάνω εικόνα	Ηλικία μητρικού πετρώματος που αντιστοιχεί στην εκάστοτε καμπύλη	Ηλικία αρχής σχηματισμού πετρελαίου
1	Κρητιδικό	-
2, 3	Αν. Ιουρασικό	Κ. Ολιγόκαινο
4	Μ. Ιουρασικό	Α. Κρητιδικό
5	Κ. Ιουρασικό	Α. Ιουρασικό
6	Τριαδικό	Μ. Ιουρασικό

Η ωρίμανση του πετρελαίου στην ζώνη Παξών φαίνεται από τα ανωτέρω δύο διαγράμματα και πίνακα. Τα Τριαδικά μητρικά πετρώματα ωρίμασαν στο Μ. Ιουρασικό. Τα Κ. Ιουρασικά μητρικά πετρώματα ωρίμασαν στο Α. Ιουρασικό, ενώ τα Α. Ιουρασικά μητρικά πετρώματα ωρίμασαν στο Αν. Ολιγόκαινο (Karakitsios & Rigakis, 2007, Karakitsios, 2013). Τέλος, τα μητρικά πετρώματα του Μειοκαίνου δεν έχουν ωριμάσει ακόμα και δεν είναι δυνατό να παράξουν πετρέλαιο. Η γένεση πετρελαίου από το Τριαδικό έως το Κ. Ιουρασικό στην Προαπουλία έλαβε χώρα πριν από την κυρίως ορογένεση (Karakitsios, 2013). Όσον αφορά τα Α. Ιουρασικά μητρικά πετρώματα η ωρίμανση άρχισε να πριν από την κυρίως Αλπική ορογένεση στα κατώτερα στρώματα της σειράς (34 εκατ. έτη) και πολύ μετά την κυρίως Αλπική ορογένεση στα ανώτερα στρώματα της σειράς (6 εκατ. έτη).

2.2 Ενότητα Παξών

Η ζώνη Παξών ή αλλιώς Απουλία ζώνη είναι η πιο εξωτερική ενότητα των Ελληνίδων καιέχει μικτούς νηριτικούς και πελαγικούς χαρακτήρες. Η Απούλια ζώνη θεωρείται η προχώρα των Ελληνίδων. Στο Μειόκαινο παρατηρείται τεκτονική ανύψωση της περιοχής. Κατά μήκος της κατωφέρειάς της παρατηρείται εξαφάνιση βενθονικών τρηματοφόρων χαρακτηριστικών για την αναγνώριση του παλαιοβάθους.

Η στρωματογραφική στήλη της ενότητας των Παξών απαντάται καθ'ολοκληρία στις γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στους Παξούς ενώ στις επιφανειακές εμφανίσεις απαντάται τμήμα αυτής. Οι παλαιότερες χερσαίες εμφανίσεις απαντούν στη Λευκάδα. Συγκεκριμένα η στρωματογραφική στήλη της ενότητας Παξών στην Λευκάδα είναι ως εξής από κάτω προς τα πάνω:

- Στην βάση συναντάμε δολομίτες έως δολομιτιωμένους ασβεστόλιθους φάσης Παντοκράτορα Άνω Τριαδικού –Λιασίου.
- Πιο πάνω στο Αν. Ιουρασικό συναντάμε μαύρους αργιλικού σχιστόλιθους πλούσιους σε οργανικό υλικό.
- Στο κάτω Κρητιδικό οι ασβεστόλιθοι είναι στιφροί έως κονδυλώδεις και έχουν αραιές ενδιαστρώσεις κερατολίθων.
- Στο Αν. Κρητιδικό συναντάμε ασβεστόλιθους στρωματώδεις και μικρολατυποπαγείς με εχινόδερμα και μαλάκια. Προς τα πάνω εξελίσσονται σε πιο παχυστρωματώδεις φάσεις.
- Στο Παλαιόκαινο-Ακουιτάνιο υπάρχουν ασβεστόλιθοι στρωματώδεις και μικρολατυποπαγείς με θραύσματα
- Στο Βουρδιγάλιο–Τορτόνιο υπάρχει ένας άτυπος φλύσχης με μπλέ μάργες.

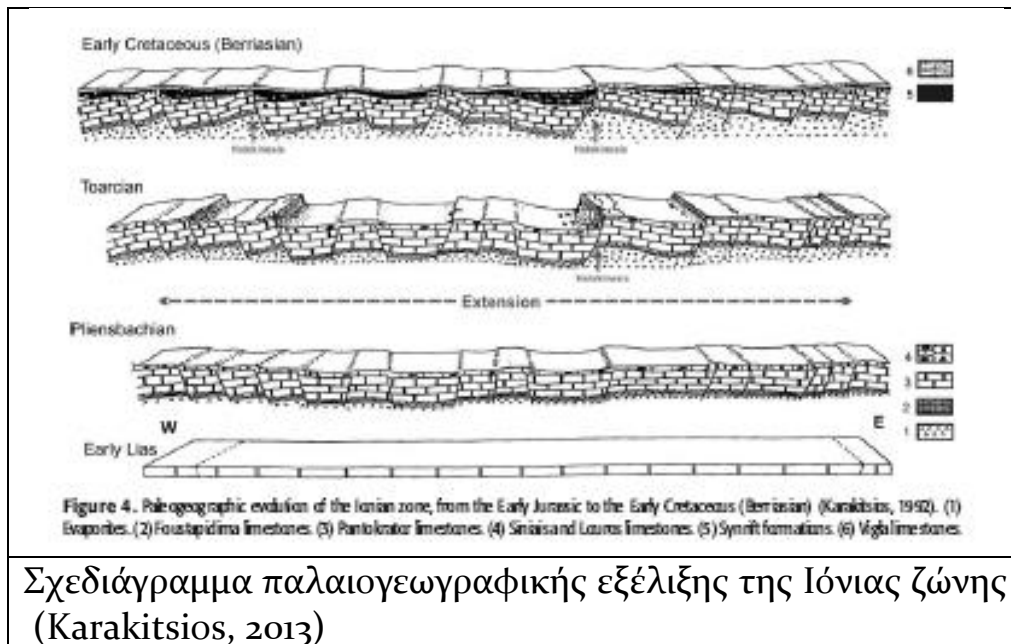


- Στρωματογραφική στήλη της ζώνης Παξών (Karakitsios, 2013, 2013b) :
1. Πελαγικές Μάργες
 2. Πελαγικές μάργες και ψαμμίτες (το μαύρο χρώμα σηματοδοτεί εμφανίσεις λιγνίτη)
 3. Εβαπορίτες
 4. Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι
 5. Πελαγικοί ασβεστόλιθοι και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι
 6. Μεικτοί πελαγικοί νηριτικοί ασβεστόλιθοι οι οποίοι έχουν ενδεχομένως λατύπες
 7. Πελαγικοί ασβεστόλιθοι
 8. Μεικτά νηριτικά πελαγικά ιζήματα με θραύσματα αρουδιτών
 9. Πελαγικοί ασβεστόλιθοι με σπάνιες πυριτικές ενδιαστρώσεις
 10. Συσσωμάτωμα με ασβεστολιθικά και μαγματικά συστατικά
 11. Πελαγικοί ασβεστόλιθοι συνήθως μαργαϊκοί
 12. Ασβεστόλιθοι, σχιστόλιθοι και βασικοί ανυδρίτες
 13. Ασβεστόλιθοι και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, ανυδρίτες και αργιλικές ενδιαστρώσεις
 14. Εβαπορίτες με ενδιαστρώσεις σχιστών

Στην στρωματογραφική στήλη της εικόνας φαίνονται σχηματικά όλα τα ανωτέρω στρώματα και μάλιστα με μεγαλύτερη λεπτομέρεια γιατί εκεί γίνεται αναλυτικότερη περιγραφή των επιμέρους λιθοστρωματογραφικών οριζόντων.

2.3 Ιόνια ενότητα

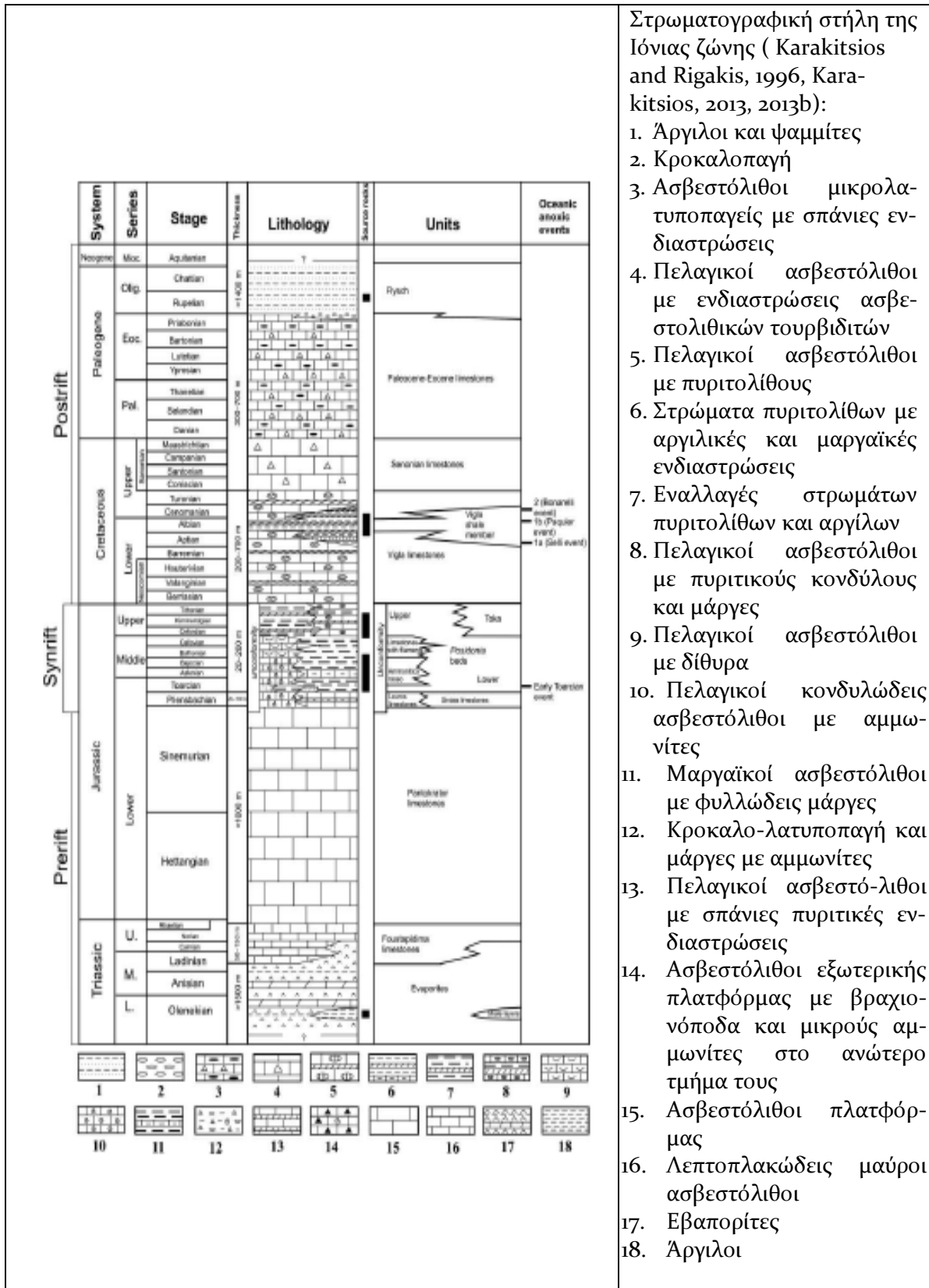
Η Ιόνια ενότητα ανήκει στο ίδιο τεκτονοστρωματογραφικό πεδίο με την ενότητα Παξών και εμφανίζεται στο ΝΑ άκρο της νήσου. Η Ιόνια ενότητα απαντάται και φέροντας το όνομα Αδρατικοϊόνιος ζώνη. Γεωγραφικά εκτείνεται με διεύθυνση Β-Ν στα Ιόνια νησιά, την Ήπειρο, την Αιτολοακαρνανία και στην Βορειοδυτική Πελοπόννησο.



Η Ιόνια ενότητα χαρακτηρίζεται ως ηπειρωτική λεκάνη με ιζηματογένεση με μικτούς χαρακτήρες, εμφανίζονται τόσο νηριτική όσο και πελαγική ιζηματογένεση. Το κρυσταλλικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο γίνεται η ιζηματογένεση είναι Γκοντβανικής προέλευσης και μέχρι Τριαδικής ηλικίας. Υπάρχουν και απόψεις που θεωρούν ότι το κρυσταλλικό υπόβαθρο αυτό εξαπλώνεται και στην νότια Πελοπόννησο, στην Κρήτη και στην Ρόδο. Η ζώνη αυτή περιλαμβάνει κυρίως από αλπικής φύσεως πετρώματα. Συγκεκριμένα η στρωματογραφική στήλη της Ιόνιας ενότητας είναι ως εξής από κάτω προς τα πάνω (Karakitsios et al. 2007). :

- Στη βάση συναντάμε εβαπορίτες μεγάλου πάχους (1500μ) που περιλαμβάνουν κυρίως αποθέσεις γύψου και ορυκτού άλατος. Η ηλικία τους κυμαίνεται μεταξύ Πέρμιου και Τριαδικού.

- Πιο πάνω συναντάμε ασβεστόλιθους Μέσου-Ανώτερου Τριαδικού. Αυτοί οι ασβεστόλιθοι είναι γνωστοί ως ασβεστόλιθοι Φουσταπήδημα.
- Ακολουθούν οι ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα: σειρά παχυπλακωδών ασβεστολίθων και δολομιτών που περιέχουν λίγα τρηματοφόρα και φύκη ηλικίας μέσου Λιασίου. Με την παρουσία των ασβεστολίθων Παντοκράτορα ολοκληρώνεται η προταφροσιγενής ακολουθία.
- Η συνταφροσιγενής ακολουθία της Ιόνιας ενότητας αρχίζει με την παρουσία των ασβεστολίθων Σινιών που πλευρικά μεταβαίνουν σε ασβεστολίθους Λούρου. Οι λιθολογίες αυτές χρονολογούνται στο Πλιενσβάχιο. Το πάχος τους είναι μικρό και κυμαίνεται από 10 έως 200μ.
- Πιο πάνω συναντάμε διάφορες φάσεις που έχουν υποστεί συνιζηματογενή τεκτονισμό και καταγράφονται σαν αποθέσεις σφηνοειδούς μορφής όπως *Ammonitico rosso*, σχιστόλιθοι με Ποσειδωνίες κτλ.
- Η μεταφροσιγενής ακολουθία ξεκινάει με τους ασβεστολίθους Βίγλας. Οι ασβεστόλιθοι Βίγλας είναι πελαγικής φάσης λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι με εναλλαγές πυριτιολίθων. Τα απολιθώματα κυμαίνονται από *Calpionelidae* σε *Globotruncanidae*. Οι ηλικίες των ασβεστολίθων αυτών κυμαίνονται εντός του Κρητιδικού από το Βερριάσιο μέχρι το Κατώτατο Σενώνιο.
- Το επόμενο ασβεστολιθικό μέλος περιλαμβάνει τους ασβεστόλιθους του Ανώτερου Σενωνίου. Η πρώτη φάση αντιστοιχεί σε ασβεστόλιθους με λεπτομερείς κλάστες και θραύσματα από *Globotruncanidae* και Ρουδιστές και η δεύτερη σε μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθους.
- Το ανώτερο ασβεστολιθικό μέλος περιλαμβάνει ασβεστόλιθους μικρού πάχους (200-400μ) και είναι Παλαιοκαινικής έως Ηωκαινικής ηλικίας. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί είναι λεπτοπλακώδεις, άλλωτε μικρολατυποπαγείς και εναλλάσσονται με στρώματα πυριτιολίθων.
- Η κολώνα της Ιόνιας κλείνει με τυπικό φλύσχη ο οποίος κυμαίνεται ηλικιακά από το όριο Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου και κλείνει στο Ακουιτάνιο. Το πάχος του φλύσχη στην εσωτερική Ιόνια ζώνη ξεπερνά τα 4000μ. Λιθολογικά αποτελείται από μάργες, ψαμμίτες και αργίλους.



Στρωματογραφική στήλη της Ιόνιας ζώνης (Karakitsios and Rigakis, 1996, Karakitsios, 2013, 2013b):

1. Άργιλοι και ψαμμίτες
2. Κροκαλοπαγή
3. Ασβεστόλιθοι μικρολατυποπαγείς με σπάνιες ενδιαστρώσεις
4. Πελαγικοί ασβεστόλιθοι με ενδιαστρώσεις ασβεστολιθικών τουρβιδιτών
5. Πελαγικοί ασβεστόλιθοι με πυριτολίθους
6. Στρώματα πυριτολίθων με αργλικές και μαργαϊκές ενδιαστρώσεις
7. Εναλλαγές στρωμάτων πυριτολίθων και αργίλων
8. Πελαγικοί ασβεστόλιθοι με πυριτικούς κονδύλους και μάργες
9. Πελαγικοί ασβεστόλιθοι με δίθυρα
10. Πελαγικοί κονδυλώδεις ασβεστόλιθοι με αμμωνίτες
11. Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι με φυλλώδεις μάργες
12. Κροκαλο-λατυποπαγή και μάργες με αμμωνίτες
13. Πελαγικοί ασβεστόλιθοι με σπάνιες πυριτικές ενδιαστρώσεις
14. Ασβεστόλιθοι εξωτερικής πλατφόρμας με βραχιονόποδα και μικρούς αμμωνίτες στο ανώτερο τμήμα τους
15. Ασβεστόλιθοι πλατφόρμας
16. Λεπτοπλακώδεις μαύροι ασβεστόλιθοι
17. Εβαπορίτες
18. Άργιλοι

Η στρωματογραφική στήλη της παραπάνω εικόνας παρουσιάζει σημαντικά όλα τα προαναφερθέντα στρώματα αλλά με μεγαλύτερη λεπτομέρεια επειδή γίνεται αναλυτικότερη περιγραφή των επιμέρους λιθοστρωματογραφικών οριζόντων, όπως ακριβώς και στη προηγούμενη ενότητα.

2.4 Δυνητικά Πετρελαιούχες Περιοχές

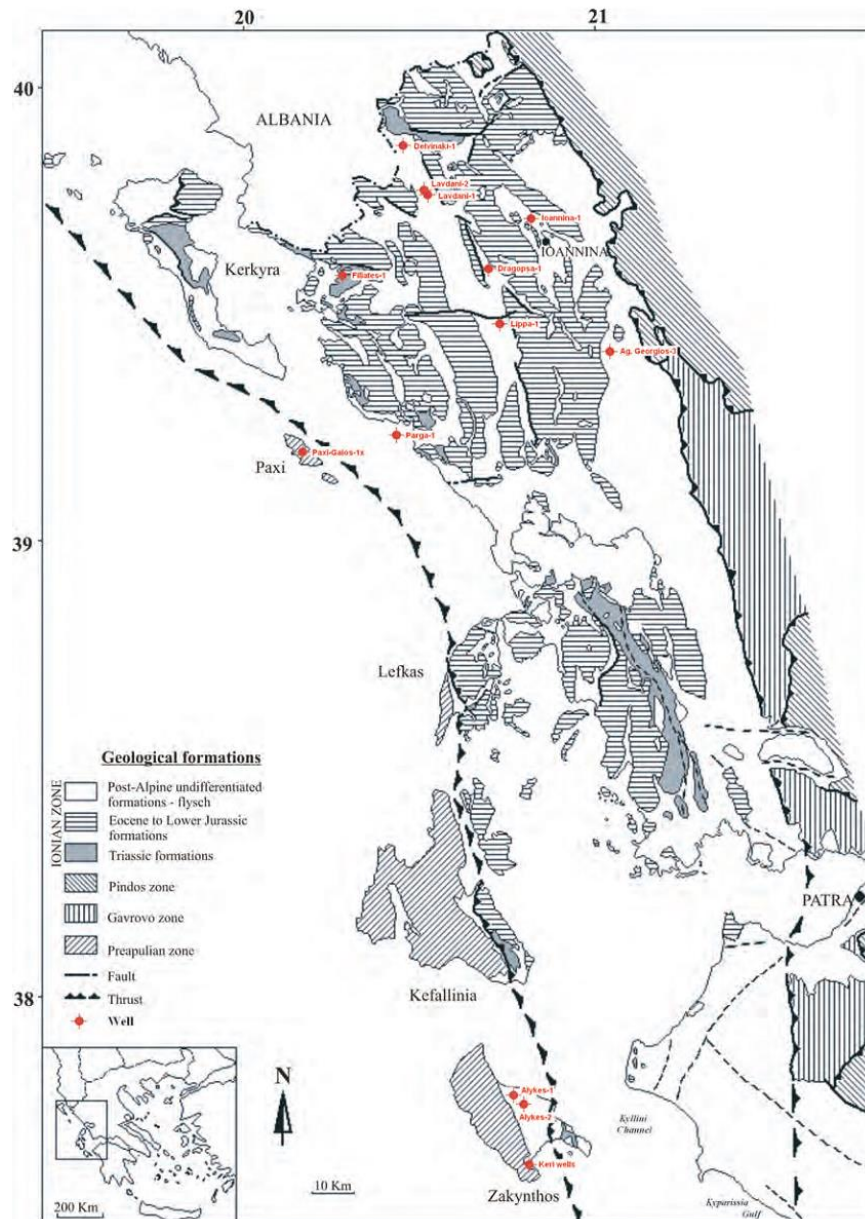
Τόσο στην Ιόνια όσο και στην Προαπούλια ζώνη υπάρχουν μητρικά πετρώματα πετρελαίου (shales) αλλά και άλλες ενδείξεις πετρελαίου. Όσον αναφορά την Προαπούλια ζώνη έχουν εντοπιστεί οι εξής οριζόντες με shales (Karakitsios 2013, 2013b):

- Ο αργιλικός οριζοντας των υπεδαφικών εβαποριτών ηλικίας Τριαδικού-Κ. Ιουρασικού είναι γνωστός μόνο από γεωτρήσεις. Το οργανικό υλικό αυτών των σχιστολίθων έχει εμφανιστεί μέσω των Τριαδικών λατυποπαγών. Λόγω του μεγάλου βάθους στο οποίο βρίσκονται οι Τριαδικοί σχίστες ωριμάζουν θερμικά. Όσον αναφορά τον θαλάσσιο χώρο, το ανατολικό τμήμα του Ιονίου πελάγους ανήκει στην ζώνη Παξών. Ο Τριαδικοί εβαπορίτες της περιλαμβάνουν εν δυνάμει πετρελαιούχα αργιλικά πετρώματα. Η μετανάστευση του πετρελαίου αυτού στην Απούλια πλατφόρμα μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες συγκεντρώσεις πετρελαίου στα αντίκλινά της.
- Οι αργιλικοί οριζοντες του Α. Ιουρασικού έχουν αρκετό οργανικό υλικό που εμφανίζει καλό δυναμικό πετρελαιογένεσης. Πετρολογικά συνίστανται από μαργαϊκούς ασβεστολίθους.
- Τα μητρικά πετρώματα του Μειοκαίνου και του Πλειοκαίνου έχουν μικρή σημασία στην πετρελαιογένεση αν και θα μπορούσαν εν δυνάμει να παράξουν φυσικό αέριο.

Στην Ιόνια ζώνη έχουν εντοπιστεί οι εξής ορίζοντες με shales :

- Ορίζοντες με shales στα Τριαδικά λατυποπαγή.
- Τα χαμηλότερα στρώματα με Posidonies της Ιόνιας ζώνης, τα οποία αποτελούν το πιο σημαντικό μητρικό πέτρωμα πετρελαίου της Δ. Ελλάδας.
- Τα ανώτερα στρώματα με Posidonies της Ιόνιας αποτελούνται από στρώματα ιάσπη και πυριτιούχο άργιλο, ο οποίος είναι συνήθως βιτουμενιούχος.
- Το shale που εμφανίζεται εντός των ασβεστολίθων της Βίγλας
- Στο Α. Ολιγόκαινο–Μ. Μειόκαινο υπάρχει μη ώριμο οργανικό υλικό.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η κατανομή των περιοχών της προ-Απουλίας και της Ιονίας ζώνης όπου υπάρχει παρουσία πετρελαίου (Karakitsios and Rigakis, 2007). Στην Προαπούλια ζώνη πετρέλαιο έχει εντοπιστεί τόσο στην επιφάνεια όσο και μέσα σε γεωτρήσεις σε διαφορετικά σημεία της λεκάνης στους Παξούς και στη Ζάκυνθο. Στην Ιόνια ζώνη έχει εντοπιστεί σε πολλά σημεία από την Πάργα έως τα Ιωάννινα. Η Δ. Ελλάδα σε γενικές γραμμές είναι μια περιοχή με καλό πετρελαϊκό δυναμικό.

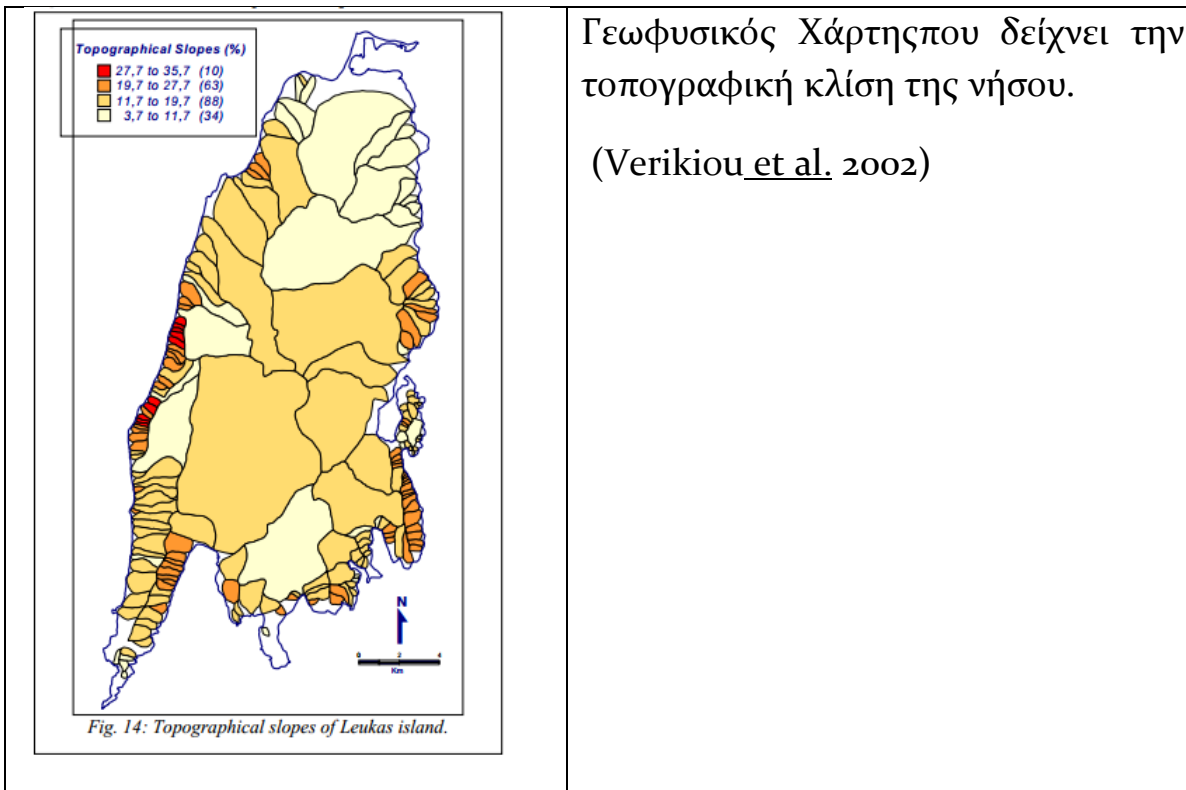


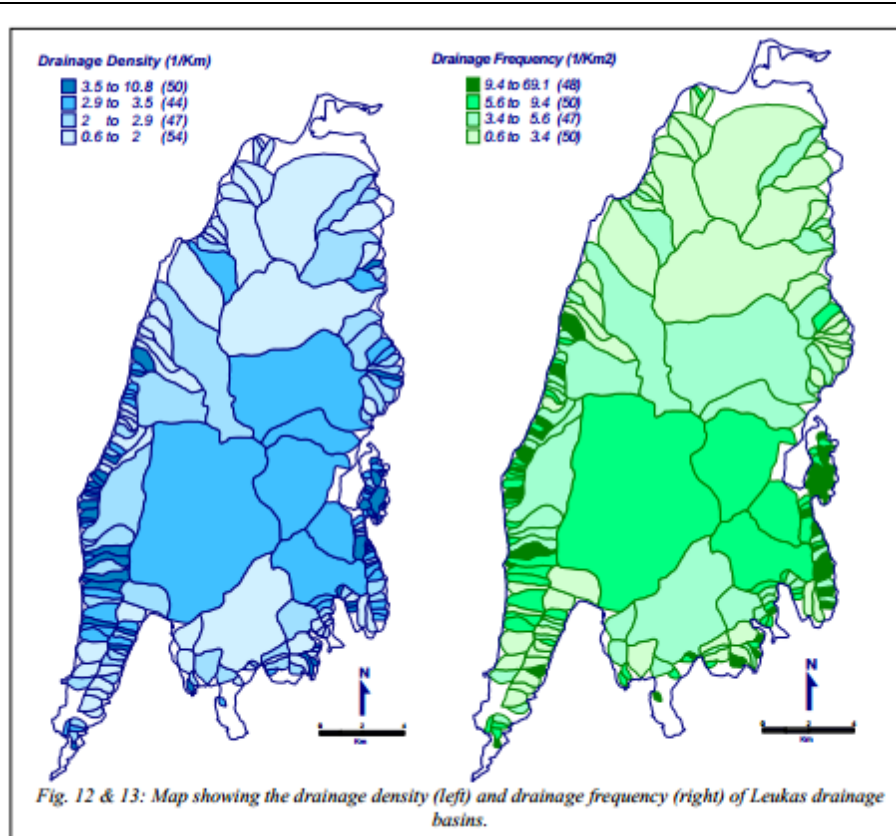
Γεωγραφική κατανομή των περιοχών της προ-Απουλίας και της Ιονίας ζώνης όπου σημειώνεται παρουσία πετρελαίου. Στην ενότητα Παξών εμφανίζονται τέσσερα σημεία με που εμφανίζεται πετρέλαιο από γεωτρήσεις ένα στους Παξούς και τρία στη Ζάκυνθο (Karakitsios and Rigakis, 2007)

3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΥΚΑΔΑΣ

3.1 Γεωγραφία –Ανάγλυφο

Το νησί της Λευκάδος χαρακτηρίζεται ευρύτατα από ορεινό ανάγλυφο. Η μεγαλύτερου ύψους κορυφή είναι η Ελάτη (1158μ) η οποία βρίσκεται στα όρη Σταυρωτά. Το ανάγλυφο του νησιού δεν είναι αποκλειστικά ορεινό αλλά χαρακτηρίζεται και από την παρουσία πεδιάδων όπως της Φλέβας, της Βασιλικής και του Εγκλιμένου. Οι πεδιάδες αυτές βρίσκονται ενδιάμεσα από τα όρη. Όσον αφορά το υδρογραφικό δίκτυο το νησί χαρακτηρίζεται από την απουσία ποταμών και την παρουσία χειμάρων. Οι ακτές εμφανίζουν δαντελωτή μορφή και όρμους. Οι δυτικές ακτές είναι βραχώδεις και απότομες ενώ οι ανατολικές παρουσιάζουν πιο ήπια μορφολογία (Verikiou *et al.* 2002).



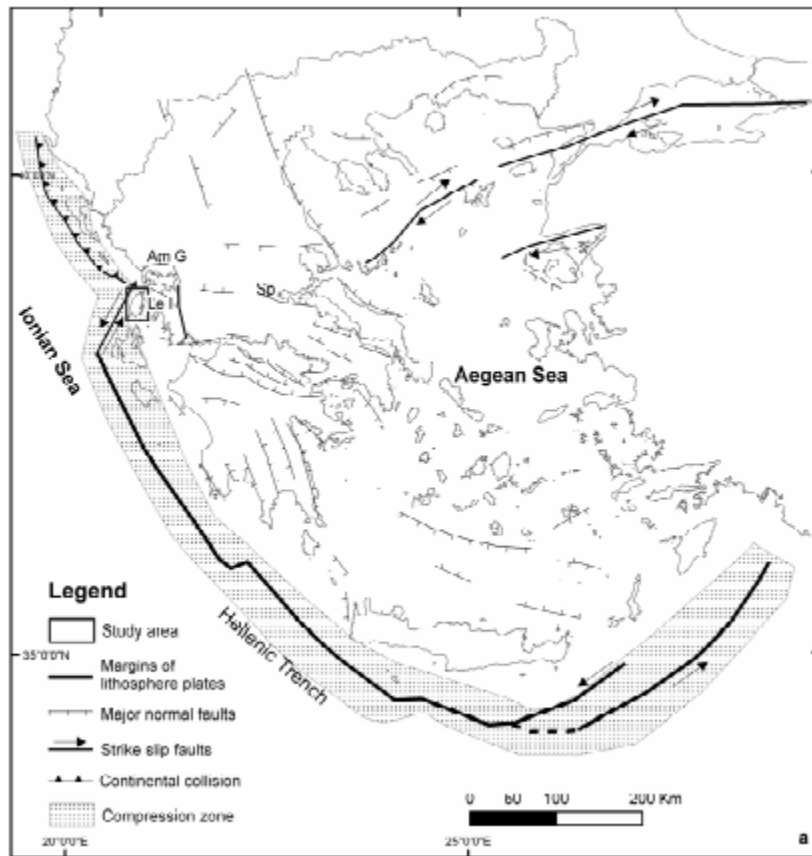


Γεωφυσικοί χάρτες που δείχνουν την απορροή της νήσου. Ο αριστερός αφορά την πυκνότητα και ο δεξιός την συχνότητα απορροής (Verikiou *et al.* 2002).

3.2 Γεωλογική επισκόπηση και τεκτονο-στρωματογραφία

Η Λευκάδα είναι ένα νησί του Ιονίου πελάγους και ανήκει στο δυτικό περιθώριο του Ελληνικού τόξου, στο πιο τεκτονικά ενεργό τμήμα της ανατολικής Μεσογείου. Το γεωτεκτονικό πλαίσιο μέσα στο οποίο εντάσσεται η Λευκάδα είναι το όριο υποβύθισης του φλοιού της Ανατολικής Μεσογείου κάτω από το φλοιό του Αιγαίου. Λόγω της θέσης της νήσου έχουν παρατηρηθεί σε αυτήν έντονα σεισμικά φαινόμενα (Bathrellos et al. 2009).

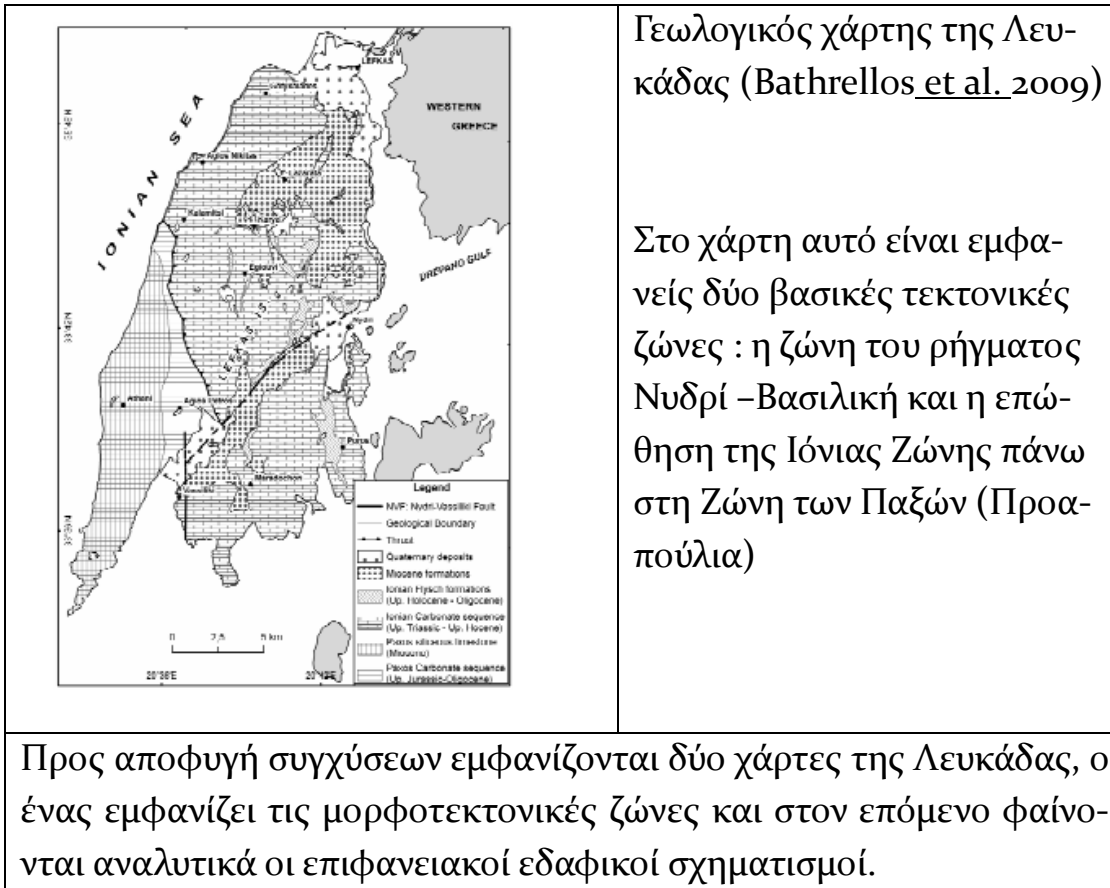
Τα πετρώματα έχουν υποστεί την παραμόρφωση της κυρίως αλπικής πτύχωσης αλλά και μεταλπικές παραμορφωτικές φάσεις λόγω των σεισμών. Συνήθως οι νεοτεκτονικές παραμορφώσεις εκφράζονται μέσω ρηγμάτων με επικρατούσα διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ.



Χάρτης που δείχνει το εύρυτερογεωτεκτονικό πλαίσιο στο οποίο εντάσσεται η νήσος (Bathrellos et al. 2009)

Αναλυτικότερα, τα πετρώματα της νήσου έχουν διακριθεί δύο κυρίαρχες ζώνες με βάση τις τεκτονικές δομές τους :

- Η ζώνη του ρήγματος Νυδρί Βασιλική
- Η ζώνη της επώθησης της Ιόνιας ζώνης πάνω στους Παξούς



Αυτές οι ζώνες χωρίζουν το νησί σε τρεις μορφοτεκτονικές ενότητες:

- Την ενότητα της Καρυάς
- Την ενότητα Μαραδοχωρίου
- Την ενότητα Αθανίου

Κατά την παλαιογεωγραφική εξέλιξη της νήσου μέχρι και το Πλειόκαινο, στην ευρύτερη περιοχή της Λευκάδος επικρατούσαν συμπίεστικά καθεστώτα με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και ΑΒΑ-ΔΝΔ. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ανύψωση του νοτιοδυτικού τμήματος του νησιού και την υποβύθιση του βορειοανατολικού. Η θραυσιγενής παραμόρφωση αυτή εκφράζεται μέσω ρηγμάτων διεύθυνσης Β110°-130°.

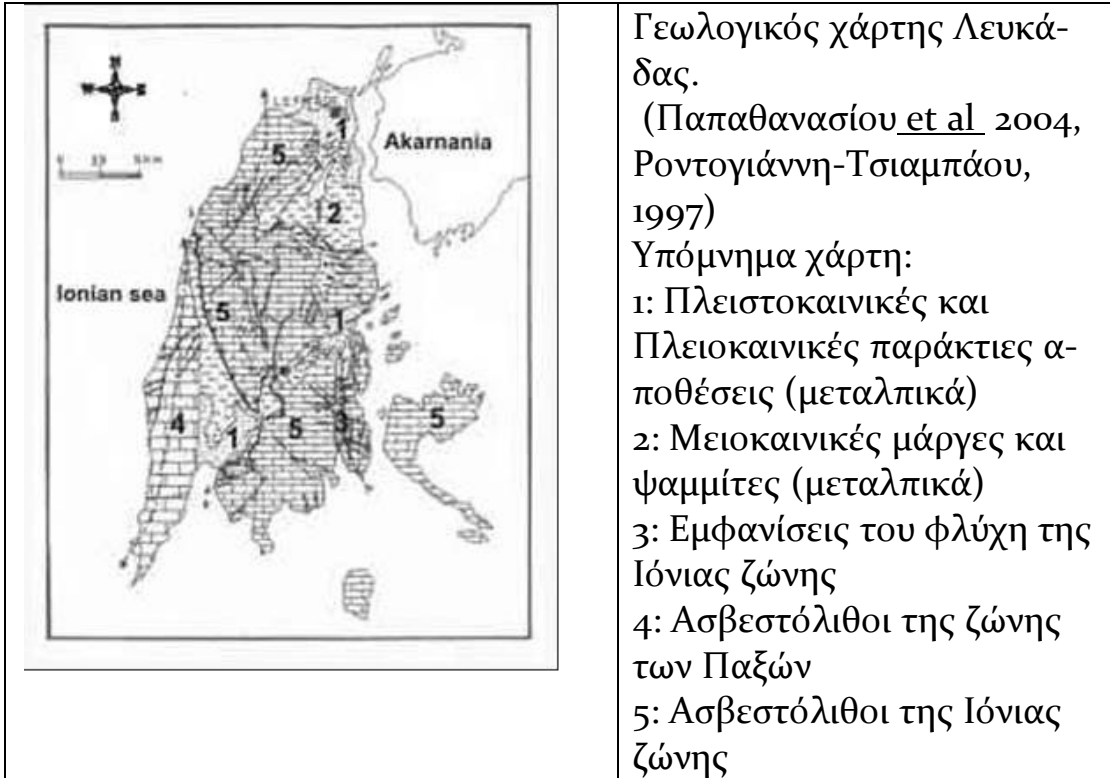
Κατά τη διάρκεια του Α. Πλειστοκαίνου, το συμπίεστικό καθεστώς «μεταφέρθηκε» προς το ανατολικό μέρος του νησιού με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός συστήματος ρηγμάτων με κλήση Β70°-90° (Bathrellos et al. 2009).

Στην νήσο Λευκάδα συναντάμε διαφορετικές κατηγορίες πετρωμάτων: αλπικά πετρώματα και μεταλπικά πετρώματα (σ'αυτά περιλαμβάνονται και οι μολασικοί σχηματισμοί).

Τα αλπικά πετρώματα της νήσου αποτελούν τον κυρίως πυρήνα του ο οποίος δομείται από δύο διαφορετικές ζώνες :την ζώνη των Παξών ή αλλιώς Προαπούλια και την Ιόνια ζώνη. Την εμφάνιση της Ιόνιας ενότητας στην νήσο καλύπτουν ασύμφωνα μεταλπικάμολασικά ιζήματα τα οποία βρέθηκαν εκεί λόγω επικλύσεως. Η φάση των ιζημάτων αυτών είναι θαλάσσια αλλά είναι κυρίως κλαστικά αλλά και βιογενή ιζήματα με ηλικία Μειοκαινική, συγκεκριμένα Βουρδιγάλιο – Λάγιο. Οι λιθολογίες που απαρτίζουν τα μεταλπικά πάνω από την Ιόνια ενότητα περιλαμβάνουν μάργες, βιοκλαστικούς υφαλογενείς ασβεστολίθους, λατυποπαγή, κροκαλοπαγή και ψαμμίτες.

Η ενότητα Παξών που βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της νήσου καλύπτεται από μεταλπικά ιζήματα άλλου τύπου. Στην χερσόνησο Λευκάτα ή αλλιώς χερσόνησο Αθανίου παρατηρούνται κλαστικοί φλυσχοειδείς σχηματισμοί ίδιας ηλικίας με τους υπόλοιπους μεταλπικούς σχηματισμούς του νησιού.

Στη παρούσα διπλωματική δίνουμε έμφαση στους επιφανειακούς σχηματισμούς που καλύπτουν την επιφάνεια της νήσου. Στο υποκεφάλαιο του σκοπού στην εισαγωγή, δείξαμε ένα χάρτη της νήσου με στόχο την τεκτονική απεικόνιση της περιοχής.



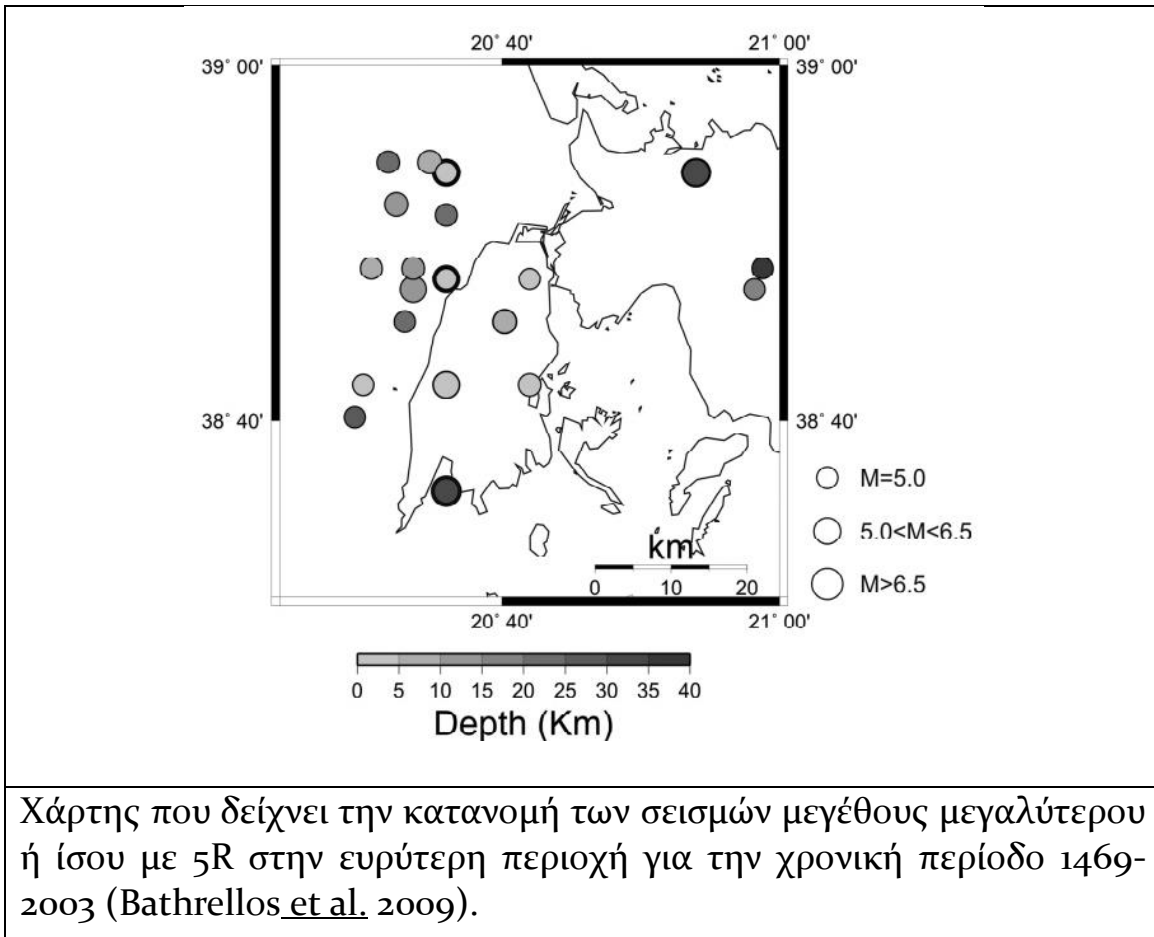
Η ζώνη των Παξών έχει ηλικία Τριαδικό-Τορτόνιο ενώ η Ιόνια ζώνη κυμαίνεται χρονικά μεταξύ του Τριαδικού και του Ακουιτανίου. Η ζώνη των Παξών καταλαμβάνει γεωγραφικά το δυτικό - νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού και αντιστοιχεί στο ένα τρίτο της συνολικής του έκτασης. Τα υπόλοιπα δύο τρίτα του νησιού αποτελούνται από την Ιόνια ζώνη. Η Ιόνια ζώνη είναι επωθημένη πάνω στην ζώνη των Παξών. Την επώθηση αυτή μπορούμε να την παρατηρήσουμε στο δυτικό μέρος του νησιού. (Bathrellos et al. 2009).

Οι δύο αυτές ζώνες ανήκουν στο ίδιο terrain, το Η1 αλλά διαφοροποιούνται από την ιζηματολογική και τεκτονική εξέλιξή τους, μέχρι το κατώτερο Πλειόκαινο όπου πλησίασαν κατά τη διάρκεια αυτής της συμπιεστικής φάσης που καθορίζει όλη την μορφολογία του βορειοδυτικού τόξου του Αιγαίου εκκείνης της εποχής.

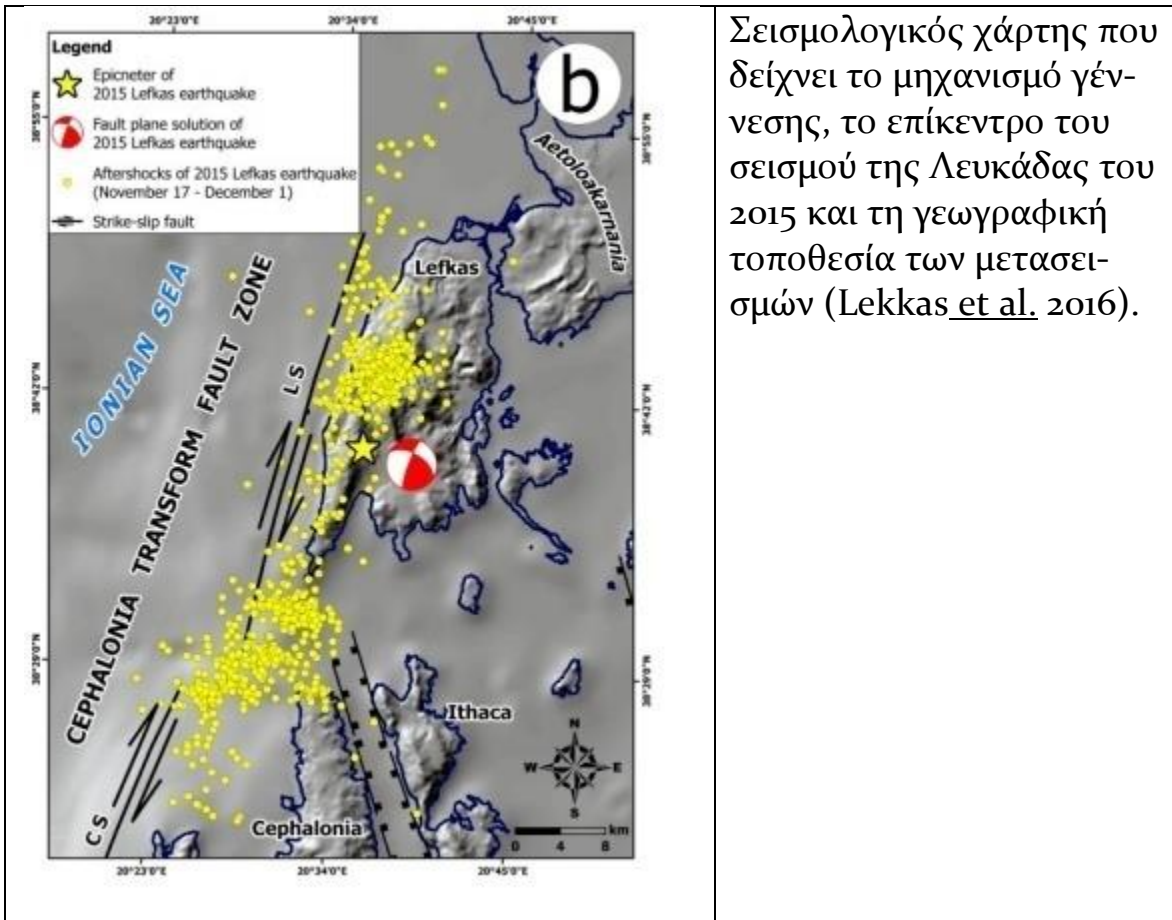
3.3 Σεισμικότητα

Η σεισμικότητα της νήσου Λευκάδας εκδηλώνεται μέσω ενός ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης με διεύθυνση βορειοανατολική-νοτιοδυτική. Το ρήγμα αυτό εκτείνεται από τη Ζάκυνθο μέχρι τη Λευκάδα. Η συνολική κίνηση κοντά στο ρήγμα αυτό είναι της τάξεως των 25 mm/yr. Αυτή η σεισμικότητα παρατηρείται επειδή η Απούλιαμικροπλάκα εκτελεί αριστερόστροφη κίνηση και το ανατολικό της όριο συγκρούεται με την Πίνδο.

Η Λευκάδα είναι ιδιαίτερα σεισμογενής περιοχή. Εμφανίζονται σεισμοί μέχρι και 7R σε συχνά χρονικά διαστήματα. Στο δυτικό άκρο του νησιού έχουν καταγραφεί πληθώρα σεισμών κυρίως κατά. Καταγράφηκαν πολυάριθμοι σεισμοί κυρίως υποθαλάσσια επίκεντρα (μεταξύ των ετών 1469 – 2003). Οι σεισμοί αυτοί έχουν από χαμηλό έως μέσο βάθος επικέντρου (<40km) με μέγεθος >5R (Bathrellos *et al.* 2009).



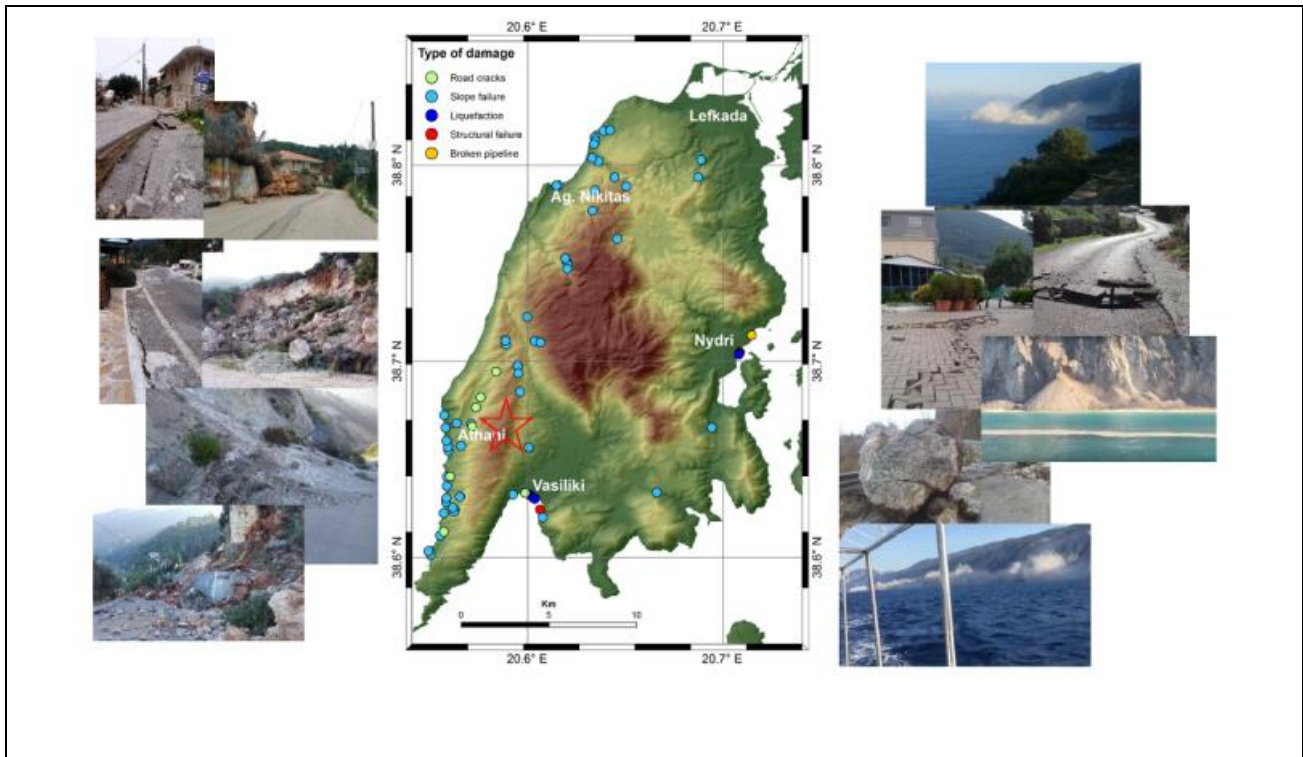
Η χρονική περίοδος εργασίας στην περιοχή της ΝΔ Λευκάδας (Δεκέμβριος 2015) ήταν μόλις λίγες ημέρες μετά από ένα ιδιαίτερα έντονο σεισμικό επεισόδιο. Συγκεκριμένα την Τρίτη 17 Νοεμβρίου 2015 εκδηλώθηκε σεισμός μεγέθους M_w 6.4, βάρους περί τα 7χλμ και με επίκεντρο σε απόσταση 20 χλμ νοτιοδυτικά της πόλης της Λευκάδας.



Σεισμολογικός χάρτης που δείχνει το μηχανισμό γένεσης, το επίκεντρο του σεισμού της Λευκάδας του 2015 και τη γεωγραφική τοποθεσία των μετασεισμών (Lekkas *et al.*, 2016).

Η σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή ήταν ουσιαστικά αναμενόμενη σε μεσοπρόθεσμη κλίμακα μετά τον σεισμό της Λευκάδας το 2003 και τους σεισμούς της Κεφαλονιάς το 2014.

Τα αποτελέσματα του σεισμού είναι έμφαση και περιγράφονται από τους Kazantzidou-Firtinidou *et al.* (2016) και Lekkas *et al.* (2016). Παρουσιάζονται επίσης στις φωτογραφίες από την περιοχή των εργασιών υπαίθρου και στο χάρτη.



Χάρτης κατανομής των υλικοτεχνικών ζημιών που έγιναν κατά τη διάρκεια του σεισμού της Λευκάδας που έγινε το Νοέμβριο του 2015. Το κόκκινο αστέρι σηματοδοτεί το επίκεντρο του σεισμού ενώ τα κυκλάκια τις διάφορες υλικοτεχνικές ζημιές αντίστοιχα. Τα πράσινα δείχνουν ρωγμές στο δρόμο, τα γαλάζια κατολίσθηση κατά το μήκος πρανών, τα μπλέδείχνουν υγροποίηση του εδάφους, τα κόκκινα δομική κατάρρευση και τα κίτρινα δείχνουν τις τοποθεσίες των σπασμένων σωλήνων. (Kazantzidou-Firtinidou et al. 2015)



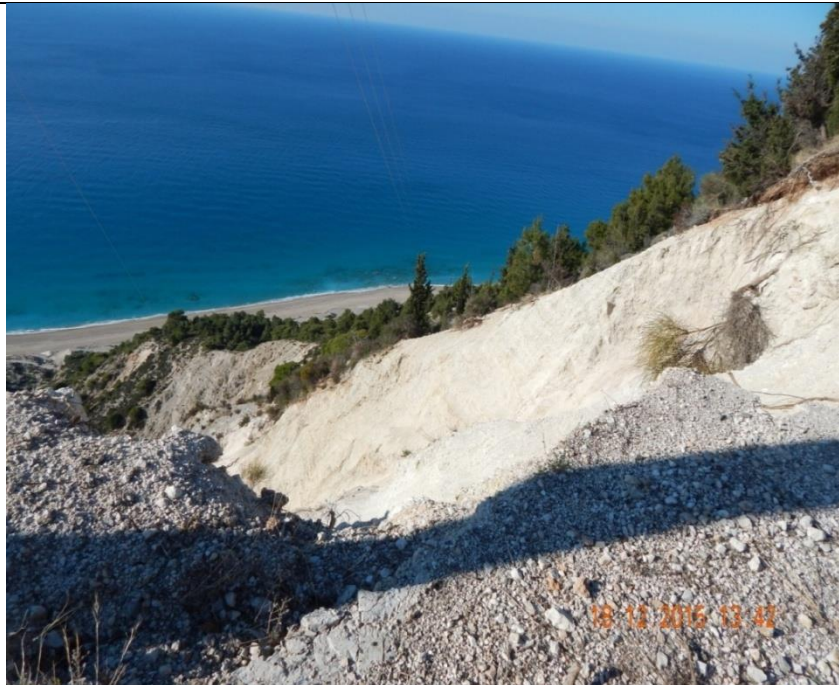
Αποτελέσματα του σεισμού της Τρίτης 17 Νοεμβρίου 2015: Εκτεταμένες ζημιές στο επαρχιακό οδικό δίκτυο στην περιοχή Δ του Αθάνιου.



Αποτελέσματα του σεισμού της Τρίτης 17 Νοεμβρίου 2015 (Συνέχεια): Σε ορισμένα σημεία ο δρόμος κατέστη σχεδόν απροσπέλαστος.



Αποτελέσματα του σεισμού της Τρίτης 17 Νοεμβρίου 2015 (Συνέχεια):
Περισσότερες ρωγμές στο δρόμο του Αθανίου



Αποτελέσματα του σεισμού της Τρίτης 17 Νοεμβρίου 2015 (Συνέχεια): Η
θέα του πρανούς από την άκρη του σπασμένου δρόμου.

4 Εργασία Υπαίθρου.

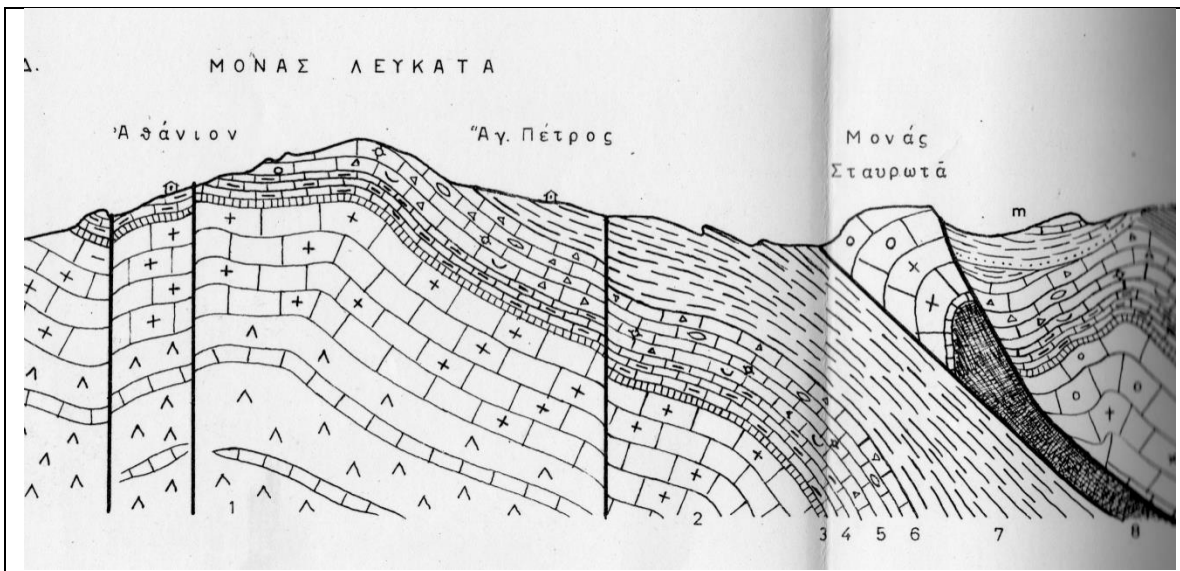
4.1 Περιγραφή περιοχής μελέτης

Το Αθάκι είναι ένα χωριό χτισμένο στην απότομη νοτιοδυτική ακτή της νήσου Λευκάδας. Βρίσκεται δίπλα στην παραλία του πόρτο Κατσίκι. Τα πετρώματα από τα οποία δομείται η νήσος ανήκουν αποκλειστικά στην ενότητα Παξών. Συγκεκριμένα, πρόκειται για τα πετρώματα που είναι κάτω στην στρωματογραφική στήλη. Οι λιθολογίες που παρατηρήσαμε κυρίως ήταν οι εξής :

- Τα πετρώματα της φάσης Παντοκράτορα ηλικίας Άνω Τριαδικού – Λιασίου λιθολογίας δολομιτών και δολομιτωμένων ασβεστολίθων (βλέπε τομή στρώμα 2).
- Οι Αν. Ιουρασικοί μαύροι σχίστες οι οποίοι είναι δυνητικά πλούσιοι σε πετρέλαιο (βλέπε στρώμα 3)
- Οι Κρητιδικοί λευκοί στιφροί ασβεστόλιθοι που περιλαμβάνουν ενδιαστρώσεις κερατολίθων. (βλέπε στρώμα 4)

Κατά τη διάρκεια αυτής της πτυχιακής περπατήσαμε κατά μήκος των επαφών του ενδιαμέσου σχηματισμού με τους άλλους δύο με διεύθυνση Α-Δ.

-



Τομή του Αθανίου που δείχνει τόσο την κατεύθυνση όσο και το ευρύτερο γεωλογικό πλαίσιο στο οποίο εντάσσονται τα στρώματα μελέτης (Βορνovas 1964). Η αρίθμηση των στρωμάτων στην εικόνα έχει ως εξής :

- 1 : Γύψοι και ασβεστόλιθοι Τριαδικού – Ιουρασικού ζώνης Παξών
- 2: Δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι Ιουρασικού
- 3: Σχιστόλιθοι με αμμωνιτοφόρες ασβεστολιθικές ενδιαστρώσεις Αθανίου
- 4: Ασβεστόλιθοι πελαγικοί του Κατ. Κρητιδικού
- 5: Μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι με θραύσματα Ρουδιστών Κενομάνιο – Αν. Σενώνιο
- 6: Ασβεστόλιθοι Παλαιόκαινο – Ακουϊτάνιο
- 7: Κλαστικά ιζήματα (Ακουϊτάνιο – Τορτόνιο)
- 8: Ανήκει στους Τριαδικούς γύψους της Ιόνιας ζώνης

Συγκρίνοντας την παραπάνω τομή με την στήλη των Παξών (Karakitsios and Rigakis, 2007) που παρουσιάσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, βλέπουμε ότι λείπουν ο φλύσχης και τα μεταβατικά στρώματα προς αυτόν. Η τομή μας ξεκινά λοιπόν από το Α. Μειόκαινο των Παξών.

Οι φωτογραφίες που ακολουθούν δείχνουν την ευρύτερη γεωλογική δομή και στρωματογραφική διαφοροποίηση που επικρατεί στην περιοχή Αθηνίου.



Φωτογραφία που δείχνει τη διαφορά που έχουν λιθολογικώς τα δύο στρώματα μεταξύ τους (οι υπερκείμενοι αργιλικοί σχιστόλιθοι και οι υποκείμενοι δολομίτες).



Φωτογραφία που δείχνει τη στρωματική διαφοροποίηση από μακρυνά.



Τομή στην περιοχή του Αθανίου που δείχνει τα στρώματα ενδιαφέροντος.

4.2 Παρατηρήσεις- Υπαίθρου

Κατά την πορεία μας κινούμενοι από Ανατολή προς Δύση κατά μήκος της τομής του Αθανίου εντοπίσαμε τα εξής στοιχεία που μας έκαναν εντύπωση:

Καταρχάς εντοπίσαμε κανονικό ρήγμα μεγάλης κλίσης 80 μοιρών πληρωμένο με κρυσταλλικό ασβεστίτη. Εντοπίσαμε επίσης και ένα τεκτονικό κέρασ ανάμεσα σε δύο κανονικά ρήγματα.

Στη συνέχεια προχωρώντας κατά μήκος του δρόμου παρατηρήσαμε ότι ήταν σπασμένος σε διάφορα σημεία λόγω του σεισμού, ο οποίος δημιούργησε και πληθώρα ολισθολίθων κυρίως ασβεστολιθικής σύστασης που έφραζαν τον δρόμο και κυμαίνονταν από 1, 5m-2 m.



Η τομή του Αθανίου έτσι όπως φαίνεται από μακριά.



Ζημιές στο οδικό επαρχιακό δίκτυο του Αθηνίου.

Κατά τη δειγματοληψία βρήκαμε και ένα σχιστόλιθο που με το σπάσιμο έβγαλε σπίθα.



Το πέτρωμα από το οποίο πήραμε το σχιστολιθικό δείγμα με την σπίθα.

Στο πιο δυτικό τμήμα υπήρχαν σχιστόλιθοι που εμφανίζουν crossbedding και τα κενά τους είναι πληρωμένα με ασβεστίτη.



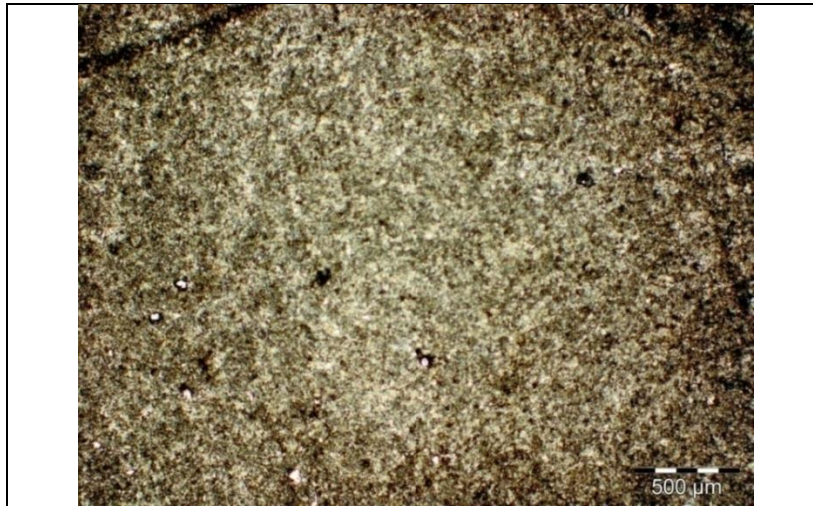
Σχιστόλιθοι που εμφανίζουν την χαρακτηριστική μορφή του cross bedding.

4.3 Λεπτές Τομές

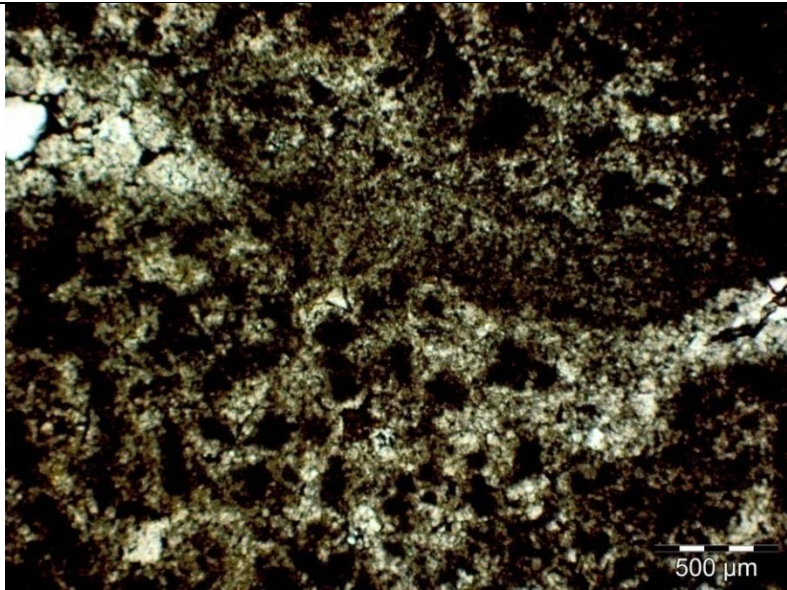
Οι παρακάτω λεπτές τομές δημιουργήθηκαν με διαδικασίες που περιγράφονται στο παράρτημα Β και προέρχονται από τα δείγματα των παρατηρήσεων υπαίθρου του προηγούμενου υποκεφαλαίου. Υπό κανονικές συνθήκες, αν δηλαδή δεν είχαν υποστεί δολομιτίωση, τα δείγματά-σως να περιείχαν μικροαπολιθώματα όπως τα δείγματα της τομής «Μανάση» (Driina *et al*, 2007). Ελλείψη της πληροφορίας αυτής, δεν μπορούμε να υπολογίσουμε το παλαιο βάθος απόθεσης του στρώματος.



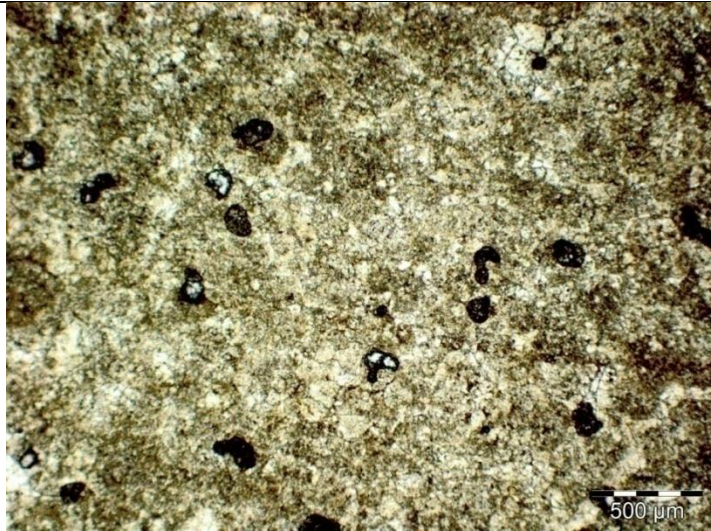
Ασβεστόλιθος μικροκοκκώδης από οπτικό μικροσκόπιο.



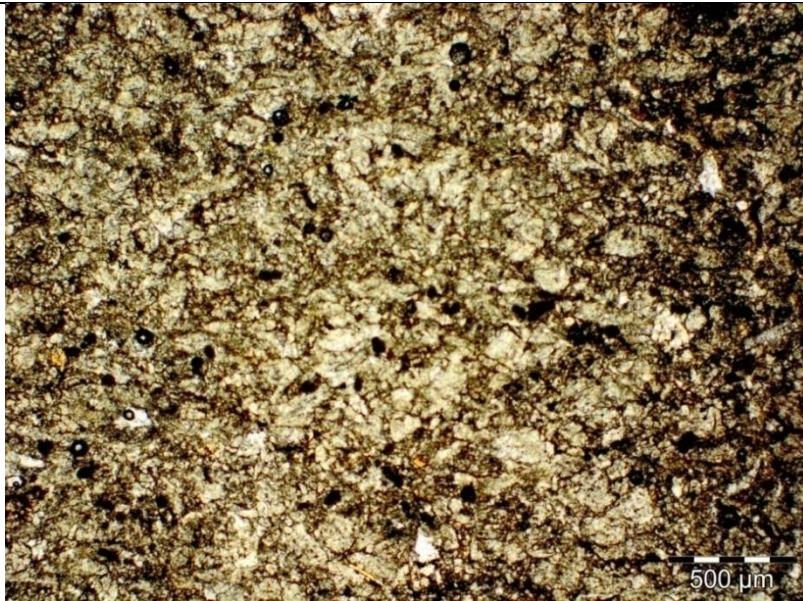
Ασβεστόλιθος πιο μικροκοκκώδης



Δολομίτης κρυσταλλικός. (planar-σέωση planar-a) (μεταβατικό)



Δολομιτης με κοιλότητες, (nonplanar -p, polytropic).

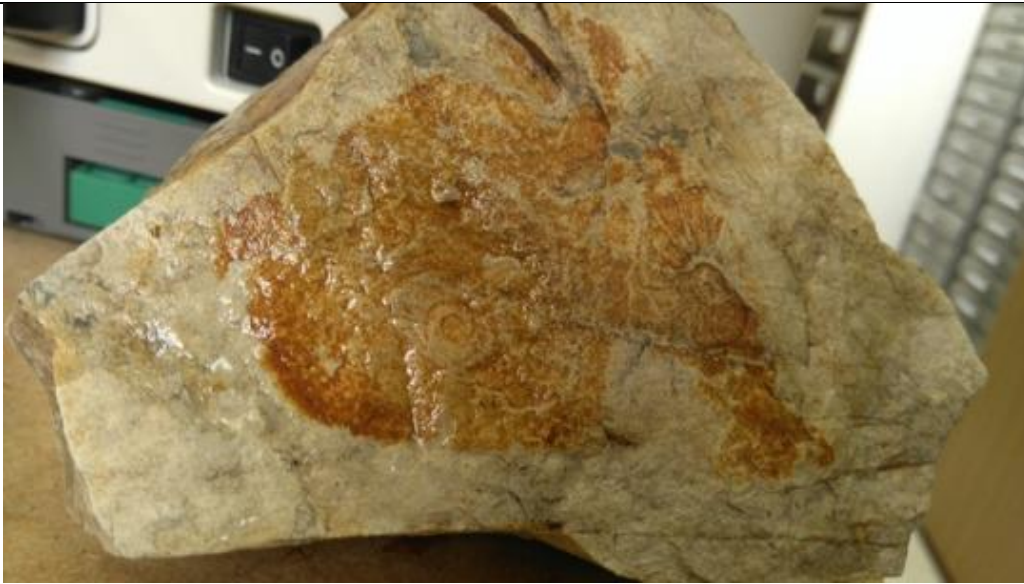


Δολομιτωμένος σχιστόλιθος με μεγαλύτερα κρύσταλλα. Planar-e (euhedral)



Αδροκοκκώδης δολομιτωμένος σχιστόλιθος. Planar-s (subhedral)

Η μικροσκοπική εξέταση των παραπάνω λεπτών τομών έδειξε ότι έχουν υποστεί δολομιτίωση και ως εκ τούτου δεν μπορούν να μας παρέχουν σαφείς ενδείξεις για την παρουσία ή την απουσία πετρελαίου. Οι ενδείξεις αυτές περιλαμβάνουν την παρουσία μικροαπολιθωμάτων και οργανικού υλικού. Όσον αφορά στην διαδικασία της δολομιτίωσης στο επόμενο υποκεφάλαιο παρουσιάζουμε μια μικρή σύνοψη για λόγους πληρότητας. Αυτή βασίζεται στις εργασίες των Whitaker and YitianXiao (2010) και Warren (2000) και Machel, (2004).



Δείγμα από τα αργιλικά στρώματα του Αθανίου με *Ammonites Perisphinctes* sp., το είδος αυτών δεν ήταν δυνατόν να προσδιοριστεί. Αμμωνίτες παρόμοιας φάσης έχουν βρεθεί στις Δεκατιές της Λευκάδας από τους Bernoulli και Renz (1970).



Λεπτομερέστερη φωτογραφία του δείγματος των σχιστολίθων με τους προαναφερθέντες αμμωνίτες

Οι τελευταίες δύο εικόνες δείχνουν δύο απολιθώματα αμμωνιτών που ανήκουν στο είδος *Perisphinctes*. Τα κεφαλόποδα αυτά είναι χαρακτηριστικά απολιθώματα της ύστερης Ιουρασικής περιόδου¹.

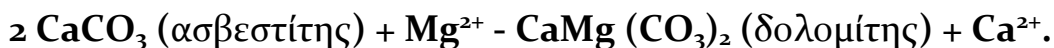
Οι αμμωνίτες ή αλλιώς αμμωνιτοειδή έχουν στρωματογραφική εξάπλωση κυρίως στο Μεσοζωικό και ταχεία εξέλιξη με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται σαν στρωματογραφικοί δείκτες μικρότερων συγκεκριμένων περιόδων. Η γεωγραφική εξάπλωση των αμμωνιτών είναι σχεδόν παγκόσμια οπότε αποτελούν χρήσιμο εργαλείο ερευνών τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε τοπικό επίπεδο. Οι αμμωνίτες χωρίζονται σε διαφορετικά είδη με βάση τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους όπως το σχήμα του οστράκου τους και οι γραμμές ραφής τους.

Εκτός από το Αθάνιεντοπίστηκαν αμμωνίτες της φάσης του *Ammonitico rosso* (θέσεις Καλαμίτσι, Κάβαλος, Αναβρυσάδα) (Ελισσάβετ Χατζηχαραλάμπους 2012).

4.4 Δολομιτίωση

Δολομιτίωση ονομάζεται μια γεωλογική διαδικασία κατά την οποία επιτυγχάνεται η μετατροπή του ασβεστολίθου σε δολομίτη. Η χημική αυτή μετατροπή λαμβάνει χώρα όταν ιόντα μαγνησίου αντικαταστήσουν τα ιόντα ασβεστίου μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα του ασβεστολίθου.

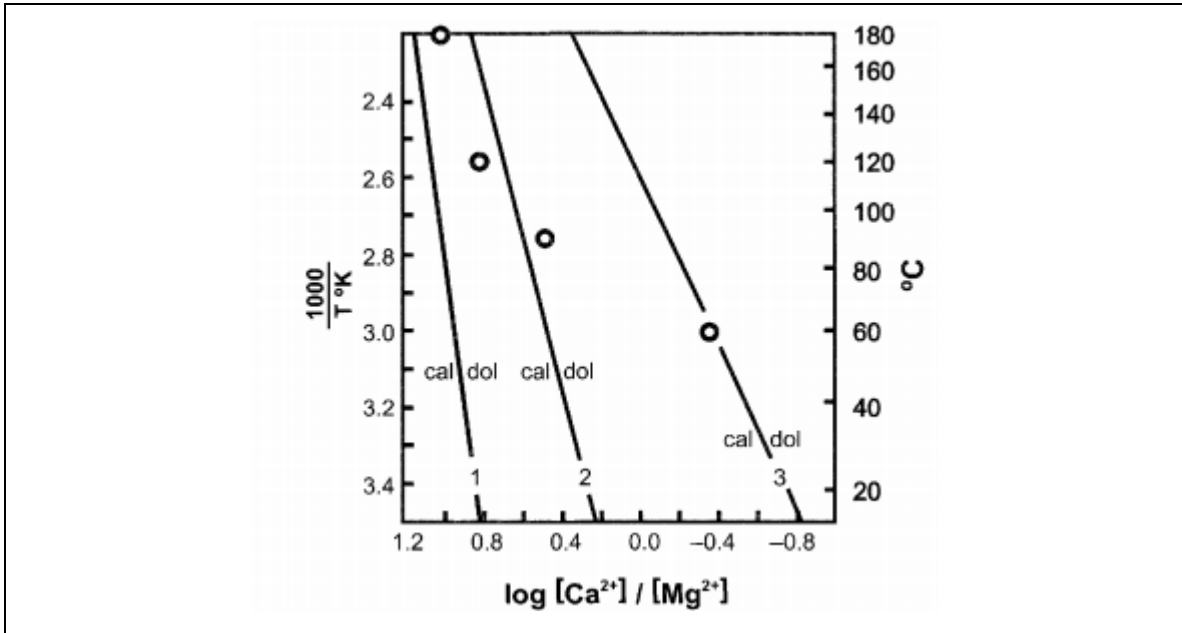
Η χημική εξίσωση αντικατάστασης που αναπαριστά την μετατροπή του ασβεστολίθου σε δολομίτη είναι η εξής :



Η δολομιτίωση αποτελεί διαδικασία που σχετίζεται κατακόρον με την παρουσία υδατικών διαλυμάτων. Η διαδικασία αυτή συσχετίζεται θετικά με το λόγο των ιόντων Mg/Ca εντός του διαλύματος και της θερμο-

¹Index Fossils, United States Geological Service, USA (<http://pubs.usgs.gov/gip/geotime/fossils.html>)

κρασίας αυτού (Whitaker and YitianXiao, 2010). Αυτό φαίνεται καθαρά στα παρακάτω διαγράμματα (Machel, 2004) που δείχνουν τα πεδία σταθερότητας των δολομιτών σε συνάρτηση με τις φυσικοχημικές συνθήκες.

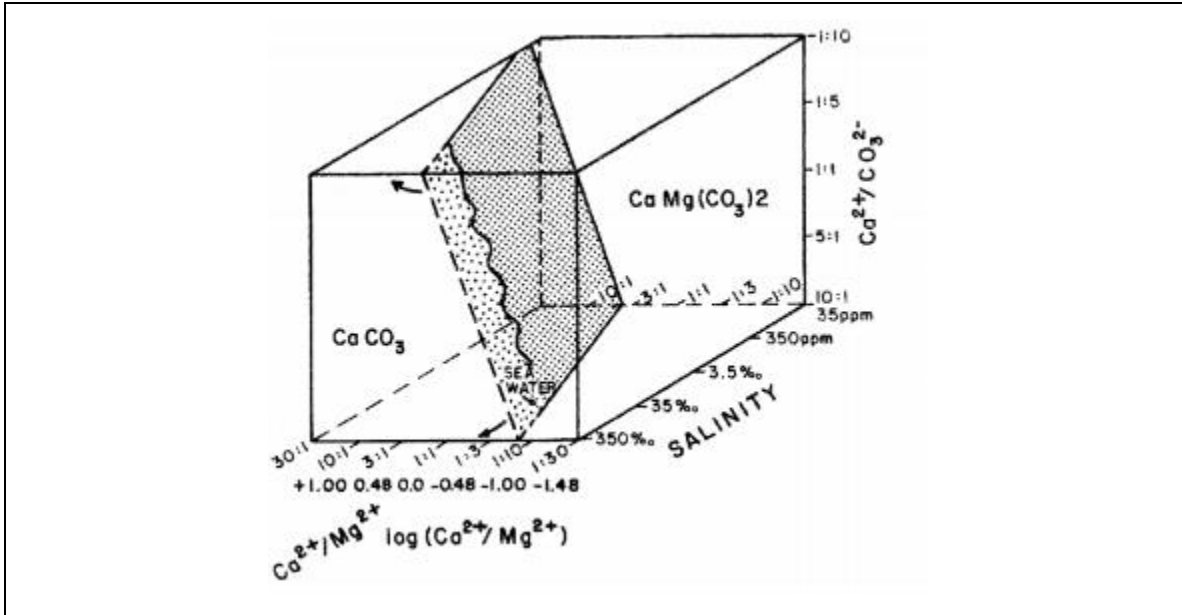


Διάγραμμα πεδίου σταθερότητας για το σύστημα ασβεστόλιθος - δολομίτης-νερό. Οι γραμμές έχουν υπολογιστεί από πειραματικά δεδομένα. Συγκεκριμένα για κάθε γραμμή σηματοδοτεί τα εξής όρια σταθερότητας:

- (1) Ασβεστίτης απόλυτα σταθερός
- (2) Ασβεστίτης με λίγο δολομίτη και ελάχιστο περίσευμα Ca
- (3) Ασβεστόλιθος και πρωτοδολομίτης

Τα κυκλάκια συμβολίζουν δεδομένα από φυσικούς υδροφόρους ορίζοντες που προβάλλονται στη κατώτερη δυνατή θερμοκρασία που μπορεί να σχηματιστεί δολομίτης για την εκάστωτε αναλογία ιόντων μαγνησίου και ασβεστίου

Η δολομιτίωση αποτελεί σύνθετο αντικείμενο ερευνών των τελευταίων 200 ετών. Οι ακριβείς μηχανισμοί δημιουργίας αυτού του φαινομένου όμως, δεν είναι ακόμη απολύτως κατανοητοί γιατί τα πετρολογικά και γεωχημικά δεδομένα που έχουμε χρήζουν πολλών ερμηνειών (Whitaker and Yitian Xiao, 2010).



Τριαξονικό διάγραμμα πεδίων σταθερότητας για το σύστημα ασβεστόλιθος, δολομίτης και νερό. Στον άξονα x βλέπουμε το λόγο των mole των παρακάτω στοιχείων Ca^{2+}/Mg^{2+} . Στον άξονα z βλέπουμε την αναπαράσταση του λόγου των mole Ca^{2+}/CO_3^{2-} . Στον άξονα y υπάρχει η αλατότητα, η οποία μετριέται σε ppm (μέρος άλατος ανά εκατομήριο μερών νερού).

Οι θερμοδυναμικές συνθήκες σχηματισμού δολομιτών είναι ευρέως κατανοητές από την δεκαετία του 70, ωστόσο ηαντίστοιχη κινητική των ρευστών που συμβάλλει στην δημιουργία δεν έχει γίνει ακόμη πλήρως κατανοητή.

Μια παρανοήση που υπάρχει είναι η σημασία του ρόλου των θειϊκών αλάτων ως ανασταλτικό σχηματισμού δολομιτών. Γενικά, οι θειϊκές ρίζες δρουν ως ανασταλτικά στο σχηματισμό δολομιτών σε υδατικά δια-

λύματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε αυτές. Σε υδατικά διαλύματα με υψηλή περιεκτικότητα, οι ρίζες συμβάλουν στη μετατροπή του ασβεστολίθου σε δολομίτη.

Θετική συσχέτιση υπάρχει επίσης μεταξύ της διαδικασίας της δολομιτιώσεως και της αναλογίας υδροθερμικού ρευστού/πέτρωματος. Η δολομιτίωση μεγάλου όγκου ασβεστολίθων απαιτεί παρουσία μεγάλης ποσότητας υδατικών διαλυμάτων. Συχνότερα αφορούν μετεωρικό νερό, σπανιότερα νερό θαλάσσιας προέλευσης.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος δολομιτίωσης είναι η μερική αντικατάσταση των ιόντων ασβεστίου με ιόντα μαγνησίου στους ασβεστολίθους θαλάσσιας φάσης μέσω του θαλασσινού νερού. Γενικά αυτή η διαδικασία δίνει πετρώματα διαφορετικού βαθμού δολομιτίωσης ανάλογα με τον ιστό του πρωτολίθου και της συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης που επικρατούν. Η δολομιτίωση των πετρωμάτων συσχετίζεται θετικά με την υψηλή θερμοκρασία υδατικού διαλύματος.

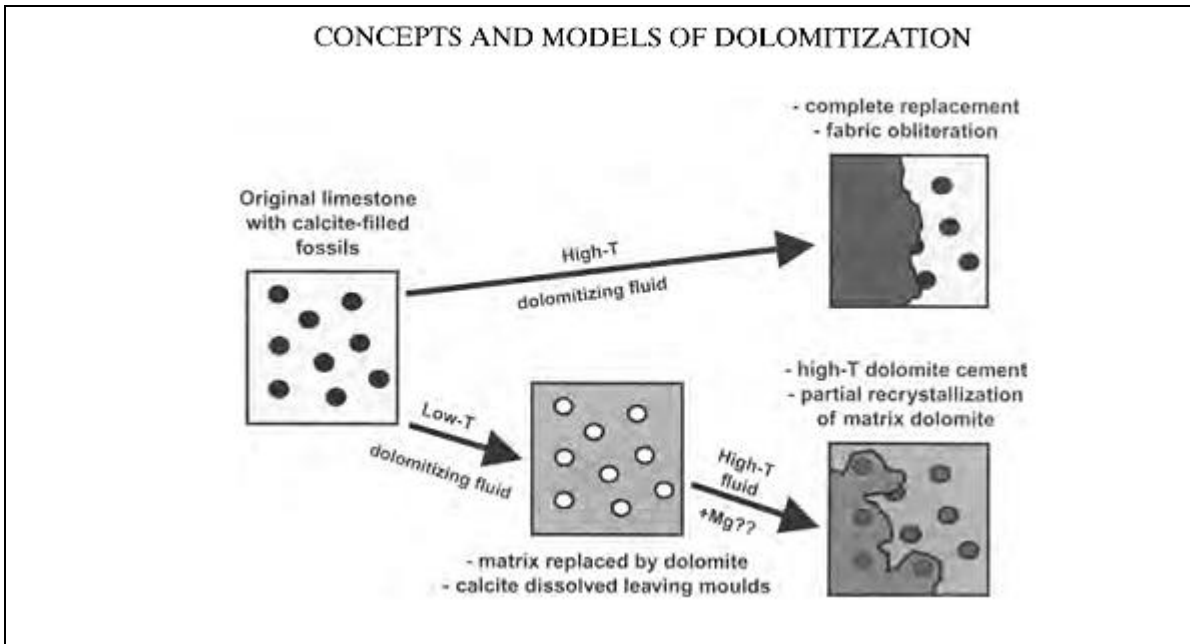
Οι δολομίτες είναι πετρώματα που εμφανίζουν συχνά φαινόμενα διάλυσης ανεξάρτητα από τη χημεία του υδατικού διαλύματος.

Το υψηλό πορώδες λόγω διάλυσης είναι χαρακτηριστικό που εμφανίζεται κυρίως στους δολομίτες που δημιουργούνται σε μεγάλα βάθη. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε ποικίλους λόγους όπως η αντικατάσταση γραμμομόριο (mole) ανά γραμμομόριο (mole), η διάλυση του ασβεστίτη που δεν καταφέρνει να δολομιτιωθεί, η διάλυση του δολομίτη εξ' αιτίας της αύξησης της οξύτητας στο νερό των πόρων, την μείξη των υγρών και την θερμοδυναμική μείωση των θειούχων ριζών.

Τα δολομιτιωμένα πετρώματα δεν εμφανίζουν πάντα υψηλό πορώδες, υπάρχουν πετρώματα τα οποία εμφανίζουν χαμηλό πορώδες. Η πιο συνηθής διαδικασία μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η μείωση του πορώδους των δολομιτικών πετρωμάτων είναι η τσιμεντοποίηση. Κατά την διαδικασία αυτή το θειϊκό ασβέστιο δρα ως "κόλλα" και συγκολλεί τον ήδη υπάρχοντα δολομίτη. Η τσιμεντοποίηση ποικίλει από περιοχή σε περιοχή λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν.

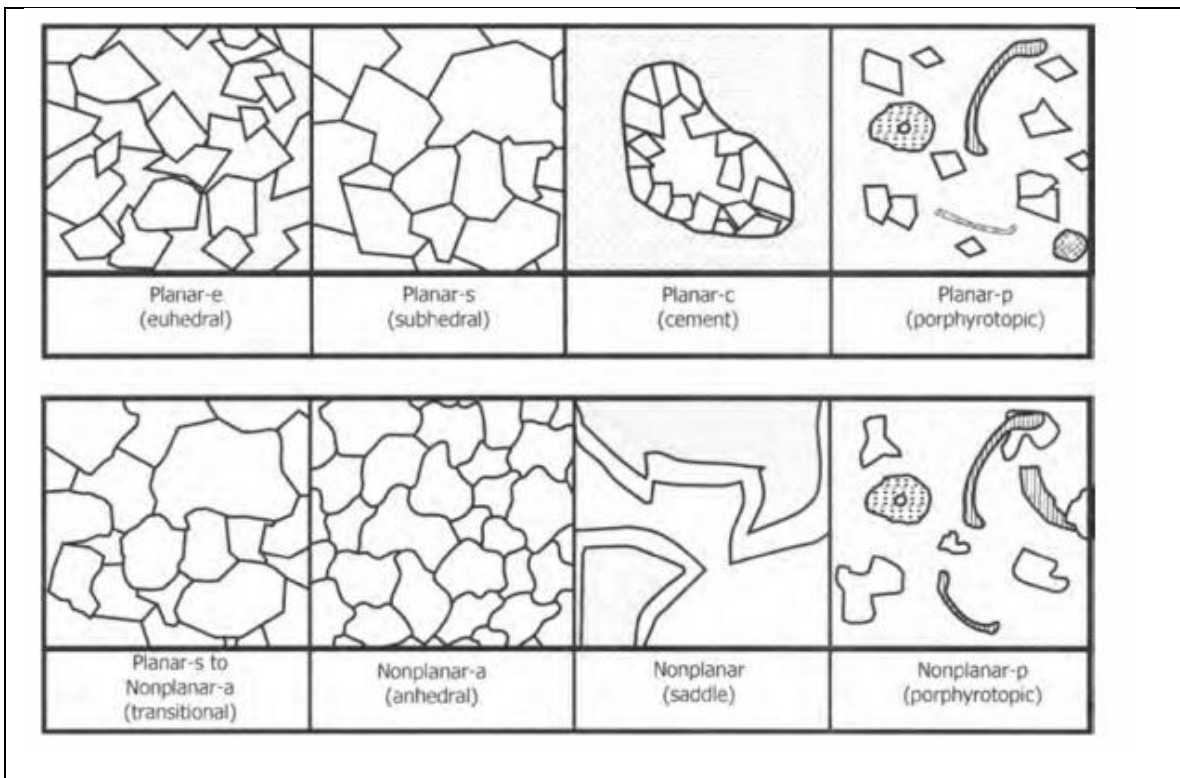
Γενικά το πορώδες και η διαπερατότητα των δολομιτών εμφανίζουν διαφορετικές τιμές ανάλογα με τις συνθήκες σχηματισμού τους.

Το ποσοστό ανακρυστάλλωσης των ασβεστολίθων είναι χαρακτηριστικό του βάθους στο οποίο έχει πραγματοποιηθεί διαγένεση των δολομιτών. Οι δολομίτες που σχηματίζονται κοντά στην επιφάνεια εμφανίζουν έντονη ανακρυστάλλωση κατά την ταφή τους. Οι δολομίτες που σχηματίζονται σε μεγάλα βάθη δείχνουν λίγα έως κανένα σημάδι ανακρυστάλλωσης



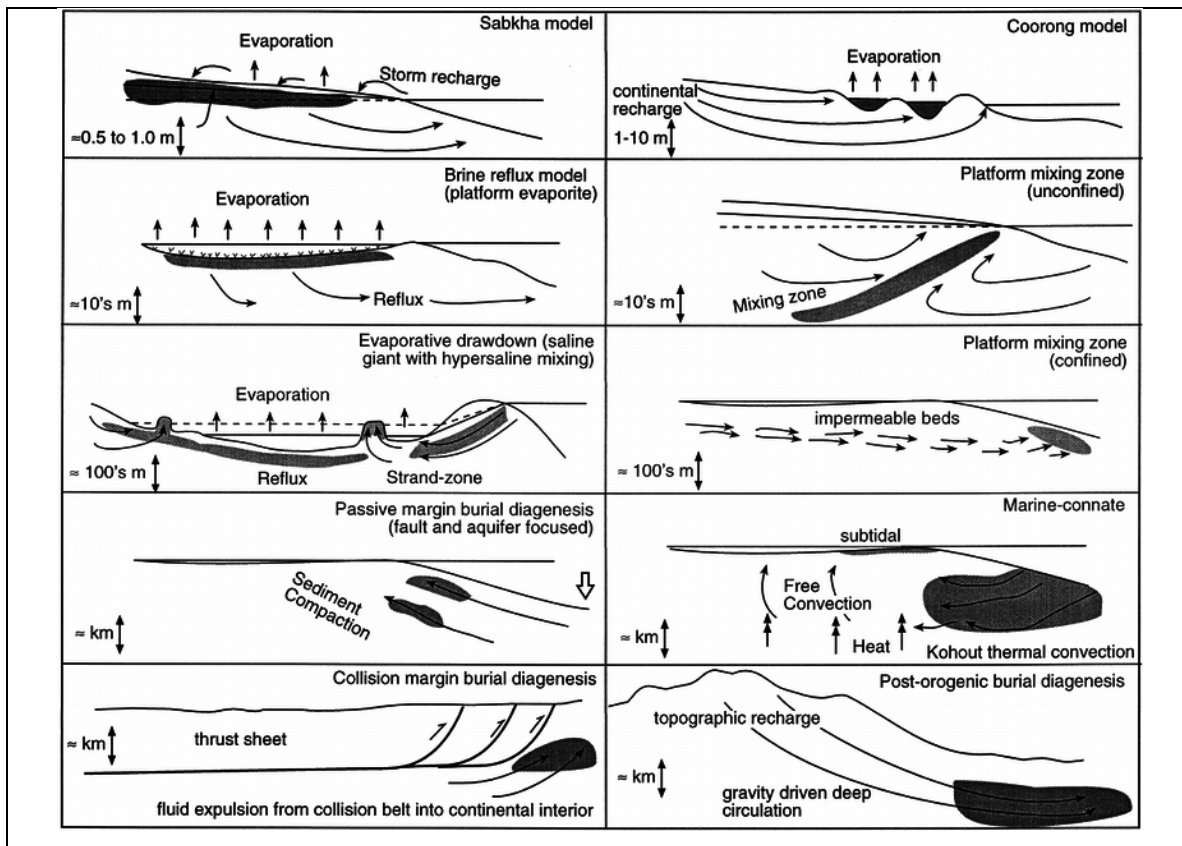
Δολομιτίωση ασβεστολίθων μέσω χημικής αντικατάστασης από διαλύματα υψηλών (άνω κλάδος) και χαμηλών θερμοκρασιών (κάτω κλάδος) αντίστοιχα (Machel 2004)

Για να προσδιορίσουμε τη προέλευση των δολομιτών χρησιμοποιούνται πληθώρα μεθόδων. Οι πιο σύνηθεις είναι η ανάλυση και ερμηνεία των σταθερών ισotόπων O, C και Sr. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω χημικών αναλύσεων. Ισότοπα σαν αυτά προσδιορίζουν την κατεύθυνση ροής του υγρού και το ποσοστό ανακρυστάλλωσης κατά τη διάρκεια της δολομιτίωσης (Warren 2000).



Ιστολογική ταξινόμηση δολομιτών και δολομιτιωμένων πετρωμάτων με βάση τα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους (Machel, 2004). Η παραπάνω ιστολογική ταξινόμηση χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό των λεπτών τομών του προηγούμενου υποκεφαλαίου.

Τα μοντέλα δολομιτίωσης που αφορούν ρηχές συνθήκες διαγένεσης εξαρτώνται από την χημεία των υδάτων, ενώ σε αυτά που αφορούν καταστάσεις μεγαλύτερου βάθους παίζει σημαντικό ρόλο



Μοντέλα δολομιτώσης που δείχνουν την διαδικασία σε μεγάλη κλίμακα (Warren 2000). Από επάνω αριστερά προς τα κάτω έχουμε τα εξής μοντέλα δολομιτώσης:

- Μοντέλο Sabkha
- Εβαποριτογένεση σε πλατφόρμα
- Εβαποριτογένεση από ανάμιξη αλμυρού με υπεράλμυρο νερό
- Εβαποριτογένεση από ενταφιασμό πετρώματος σε παθητικό περιθώριο
- Εβαποριτογένεση από ενταφιασμό πετρώματος σε ενεργό περιθώριο

Από επάνω δεξιά προς τα κάτω έχουμε τα εξής μοντέλα δολομιτώσης:

- Μοντέλο Coorong
- Εβαποριτογένεση από ανάμιξη υδάτων σε πλατφόρμα
- Εβαποριτογένεση σε θαλάσσιο περιβάλλον από ανάμειξη θαλάσσιου ύδατος με υδροθερμικά ρεύστα
- Μεταορογενετική εβαποριτογένεση μέσω διαγένεσης του πετρώματος

5 Ανακεφαλαίωση-Συζήτηση Αποτελεσμάτων- Συμπεράσματα

Κατά την παρούσα εργασία έγινε διερεύνηση των Ιουρασικών αργιλοπυριτικών σχηματισμών στην περιοχή του Αθανίου ως προς την ιδιότητα τους ως μητρικά πέτρωμα πετρελαίου, και η προσπάθεια εκτίμησης των πετρελαϊκών παραμέτρων μέσω δειγματοληψίας επί τόπου και εργαστηριακών μελετών.

Έγιναν δειγματοληψίες στην ύπαιθρο τόσο στον αργιλοπυριτικό σχηματισμό όσο και στο υπερκείμενο και το υποκείμενό του. Στην συνέχεια έγινε μελέτη γεωλογικών τομών (τόσο δικών μας όπου τα δείγματα από τα πετρώματα αριθμήθηκαν και τοποθετήθηκαν στο αντίστοιχο ύψος στην στρωματογραφική στήλη αλλά και της βιβλιογραφίας) που περιείχαν τα στρώματα μελέτης έτσι ώστε να γίνει κατανοητή η γεωμετρία τους. Γεωγραφικά, η περιοχή μελέτης και δειγματοληψίας μας τοποθετείται γεωγραφικά δυτικά του χωριού Αθάνι. Το εν λόγω χωριό βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της ακτογραμμής της Λευκάδας κοντά στην επώθηση της Ιόνιας πάνω στην Προαπούλια ζώνη.

Η αρχική μας πρόθεση ήταν οι εργαστηριακές μελέτες να περιλάβουν την παρασκευή λεπτών τομών και την χημική ανάλυση των φαινομενικά πλούσιων σε οργανικό υλικό με στόχο την ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων ως προς το πιθανό περιεχόμενο πετρελαίου.

Ο μικροσκοπικός έλεγχος των τομών έδειξε ωστόσο ότι τα δείγματα ήταν δολομιτιωμένα οπότε η πρωτογενής ιζηματογενής δομή δεν υφίσταται πλέον και τυχόν μικροαπολιθώματα δεν εντοπίζονται. Εξ' αιτίας της δολομιτίωσης δεν προχωρήσαμε στην χημική ανάλυση. Παρ' όλα αυτά εντοπίσαμε ένα απολίθωμα αμμωνίτη του γένους *Perisphectites*, το οποίο καταδεικνύει θαλάσσια φάση.

Από τα παραπάνω δεν συμπεραίνεται η παρουσία πετρελαίου αλλά και δεν αποκλείεται. Επεξηγηματικά αναφερόμαστε στα παρακάτω:

Η πιθανή παρουσία πετρελαίου στο Αθάνιθα πρέπει να αναζητηθεί σε μεγαλύτερα βάθη από ότι έγινε η συγκεκριμένη δειγματοληψία. Από την γενικότερη μορφή της περιοχής και τα αποτελέσματα ερευνών σε γειτονικές σχετικά περιοχές της Προαπούλιας ζώνης (Ζάκυνθος, Παξοί) συνιστάται διαφορετική ερευνητική προσέγγιση όπως, παραδείγματος χάριν, γεωτρήσεις, σεισμικά δεδομένα ή συνδυασμός των ανωτέρω.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BATHRELLOS, GEORGE D., VARVARA E. ANTONIOU, and HARIKLIA D. SKILODIMOU. (2009): "*Morphotectonic characteristics of Lefkas Island during the Quaternary (Ionian Sea, Greece)*." Bulgarian Academy of Science, Sofia, *Geol Balcan* **38**. 1-3: 23-33.

BERNOULLI, D., and O. RENZ, 1970, *Jurassic carbonate facies and new ammonite faunas from western Greece: Eclogae Geologicae Helvetiae*, **63**, no. 2, p. 573-607

BLATT, H., R. J. TRACY, and B. OWENS (1996). "*Petrology-Igneous, Sedimentary, and Metamorphic*": WH Freeman & Co, New York.

BORNOVAS, J. 1964. "*Geological study of Leukas Island*." Technical Report, Institute for Geology and Subsurface Research, Geological and Geophysical Research. Athens. **10** (1), 142 pp. (in Greek). (επίσης βλ. *Η γεωλογία της νήσου Λευκάδος* διδακτορική διατριβή υποβληθείσα στο ΑΠΘ 1964, Ιωάννου Μ. Μπορνόβα)

DRINIA H, ANTONARAKOU A, KONTAKIOTIS G, TSAPARAS N, SEGOU M, KARAKITSIOS V. (2007): "*Paleobathymetric evolution of the early late miocene deposits of the pre-apulian zone, Levkas island, Ionian Sea*." Bulletin of the Geological society of Greece **40** 39-52.

ΕΛΙΣΣΑΒΕΤ ΧΑΤΖΗΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥΣ 2012 μεταπτυχιακή εργασία με θέμα «*Βιοστρωματογραφική Και Ιζηματολογική Μελέτη του Ammonitico Rosso της Ιονίου Ζώνης Στην Ήπειρο Και Λευκάδα*». Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος ΕΚΠΑ.

KARAKITSIOS, V., and N. RIGAKIS (1996). "*New oil source rocks cut in Greek Ionian basin*." Oil and Gas Journal **94**. 7.

KARAKITSIOS, V (2007). "*Structural Geology of the Western Greece Fold and Thrust Belt*. "Energy Conference and Exhibition, Athens, Greece

KARAKITSIOS, V., and N. RIGAKIS (2007). "*Evolution and petroleum potential of Western Greece*." Journal of Petroleum Geology **30**. 3: 197-218.

KARAKITSIOS, V. (2013): "*Western Greece and Ionian Sea petroleum systems*." AAPG bulletin **97**. 9: 1567-1595.

KAPAKITΣΙΟΣ B. (2013b). *Petroleum geology: Sedimentary basins and petroleum traps*. Eds University of Athens, 249 p.

KAZANTZIDOU-FIRTINIDOU D, KASSARAS I, TONNA S, GANAS A, VINTZILEOU E, CHESI C 2016. *The November 2015 Mw6.4 earthquake effects in Lefkas Island*. 1st International Conference on Natural Hazards & Infrastructure 28-30 June, Chania, Greece

LEKKAS, E., S. MAVROULIS and V. ALEXOUDI (2016). "Field Observations of the 2015 (November 17, Mw 6.4) Lefkas (Ionian Sea, Western Greece) Earthquake Impact on Natural Environment and Building Stock of Lefkas Island." Bulletin of the Geological Society of Greece **50**

Machel, Hans G. "*Concepts and models of dolomitization: a critical reappraisal*." Geological Society, London, Special Publications **235**. 1 (2004): 7-63

Παπαθανασίου, Γ., et al. "Φαινόμενα ρευστοποίησης που προκλήθηκαν από το σεισμό της Λευκάδας (14/08//03 ms= 6.4)." Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας **36**. 4 (2004): 1796-1805.

Rondoyanni-Tsiambaou, Th., 1997. *Les seismes et l'environnement géologique de l'île de Lefkade, Grèce: Passe et Futur*. Engineering Geology and the Environment, Marinou, et al. (eds) pp. 1469-1474, Balkema

Tissot, B. P. and D. H. Welte. : "*Petroleum formation and occurrence*", Springer-Verlag, Berlin, Germany. " (1984).

Verikiou, E., A. Vassilopoulos, and N. Evelpidou. "*Geomorphological characteristics in Leukas island using GIS.* " Proceedings of the 6th Pan-Hellenic geographical congress of the Hellenic Geographical Society, October. 2002.

Warren, John. "*Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations.*" Earth-Science Reviews 52. 1 (2000): 1-81.

Whitaker, Fiona F., and Yitian Xiao. "*Reactive transport modeling of early burial dolomitization of carbonate platforms by geothermal convection.*" AAPG bulletin 94. 6 (2010): 889-917.

7 Παράρτημα1:Φωτογραφίεςυπαίθρου



Κατολισθήσεις του πρανούς κατά μήκος του πρανούς του δρόμου



Τομή στο Αθάνι όπου είναι ορατή η επαφή Αν. Ιουρασικών μαύρων σχιστών με τους ανώτερους Κρητιδικούς ασβεστολίθους.



Οι αργιλικόι Ιουρασικοί σχιστόλιθοι και τα υπερκείμενα και υποκείμενα στρώματα: Στην φωτογραφία αυτή φαίνεται καθαρά η λιθολογική διαφορά μεταξύ αυτών



Γεωλογικό σφυρί χρησιμοποιείται ως κλίμακα για να δείχνει το μέγεθος των στρωμάτων



Κατολίσθηση από το μέρος του πρανούς, αποτέλεσμα του σεισμού Τρίτης 17 Νοεμβρίου 2015.



Ρωγμές στο επαρχιακό οδικό δίκτυο αποτέλεσμα του σεισμού Τρίτης 17 Νοεμβρίου 2015.



Δίνοντας την αίσθηση της κλίμακας στις ρωγμές του οδικού δικτύου με τη χρήση γεωλογικού σφυριού.



Μια πιο απομακρυσμένη οπτική των υλικοτεχνικών ζημιών.



Τα στρώματα μελέτης μας από κοντινή απόσταση



Κατακεκλυμένες πτυχές στα αργιλικά στρώματα καταδεικνύουν την υψηλή πλαστικότητα αυτών.

8 Παράρτημα 2:Κατασκευή Λεπτών Τομών²

Για να καταστεί δυνατή η μελέτη των δειγμάτων, κατασκευάζουμε λεπτές τομές των πετρωμάτων στο παρασκευαστήριο της παλαιοντολογίας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπερβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Η κατασκευή λεπτών τομών είναι τόσο τέχνη όσο και επιστήμη. Το παρασκευαστήριο είναι επαρκώς εξοπλισμένο για αυτή την δουλειά. Βέβαια ο εξοπλισμός δεν είναι η μόνη προϋπόθεση για την κατασκευή λεπτών τομών. Κάθε πέτρωμα έχει ξεχωριστές διαφορετικές ιδιότητες από τα υπόλοιπα με αποτέλεσμα να χρειάζεται και διαφορετικές τεχνικές επεξεργασίας.

Συνήθως τα δείγματα πετρωμάτων γενικά και πιο συγκεκριμένα οι πυρήνες ή τα δείγματα χειρός χρειάζονται επεξεργασία πρώτου γίνου κατάλληλα για ορυκτολογική ανάλυση. Το δείγμα πρέπει να είναι αρκετά λεπτόέτσι ώστε να είναι δυνατή η διέλευση του φωτός μέσω της μάζας του κατά τη διάρκεια της μελέτης του με το οπτικό μικροσκόπιο και γυαλισμένη επιφάνεια για να είναι επιτυχής η μελέτη με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η περιγραφή της κατασκευής των λεπτών τομών για να εξεταστούν στο μικροσκόπιο.

²Mineralogical Specimen Preparation Stuerss

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

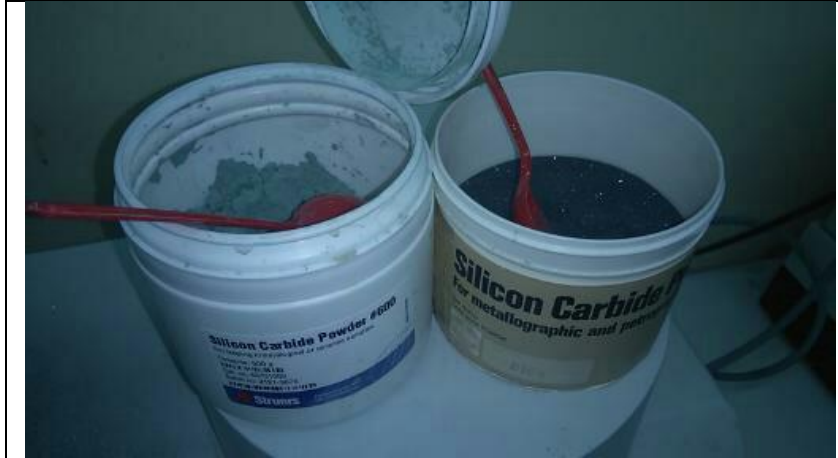
1. Καθάρισμα και λείανση του γυάλινου πλακιδίου
2. Κόψιμο δείγματος για την παραγωγή λεπτής τομής
3. Αρχική λείανση της τομής
4. Συγκόλληση της τομής του δείγματος και του γυάλινου πλακιδίου με εποξική κόλλα.
5. Αφαίρεση της παρασχίδας από το παρασκεύασμα
6. Τρίψιμο της λεπτής τομής
7. Τοποθέτηση του άλλου γυαλιού από πάνω
8. Τελική επισκόπηση



Η αρχική κατάσταση των δειγμάτων

ΒΗΜΑ 1: ΚΑΘΑΡΙΣΜΑ ΚΑΙ ΛΕΙΑΝΣΗ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΝΟΥ ΠΛΑΚΙΔΙΟΥ

Πριν από την έναρξη της προετοιμασίας των λεπτών τομών, θα πρέπει πρώτα να προετοιμάσει το γυάλινο πλακίδιο. Για να καθαριστεί το γυάλινο πλακίδιο διαφανές από τη μια μεριά πρέπει να τρίφτει στο χέρι με τη χρήση 400 ανθρακοκορουνδίου σε μορφή σκόνης.



Ανθρακοκορούνδιο σε σκόνη

ΒΗΜΑ 2:ΚΟΨΙΜΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΕΠΤΗΣ ΤΟΜΗΣ

Με τη χρήση του τροχού Discoplan-TS γίνεται η κοπή. Μια επιλογή από δύο τύπους δίσκων κοπής διαμαντιών εξασφαλίζει τέλεια κοπή όλων των υλικών, με ελάχιστη παραμόρφωση



Κομμένα δείγματα



Δείγματα ξεπλένονται με νερό



Τα καθαρά δείγματα σε αλουμινόχαρτο



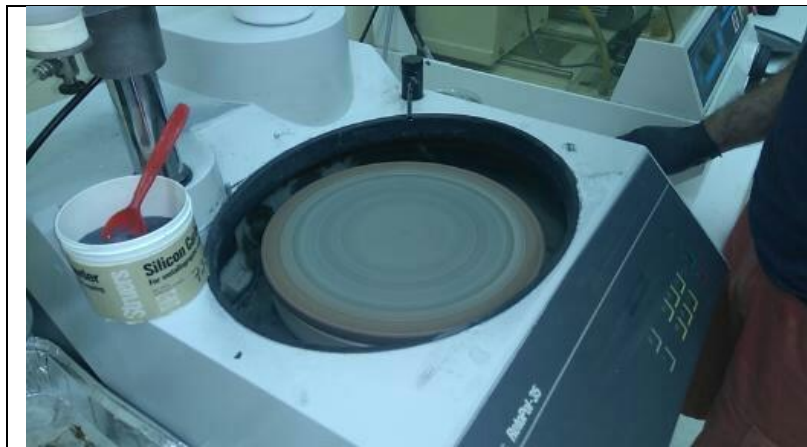
Τα καθαρά δείγματα καθαρίζονται ακόμα βαθύτερα με υπερήχους.

ΒΗΜΑ 3: ΑΡΧΙΚΗ ΚΟΝΙΟΡΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Μετά την αρχική κοπή του δείγματος πρέπει να κονιορτοποιηθεί με την ειδική μηχανή RotoPol-35 και μετά να λειανθεί με τη μηχανή Pdm-Force-20.



Το μηχάνημα Pdm-force 20



Το Pdmforce 20 σε λειτουργία

ΒΗΜΑ 4: ΠΡΟΣΘΕΤΟΥΜΕ ΤΟ ΚΟΜΜΑΤΙ ΓΥΑΛΙ

Μετά το στέγνωμα του παρασκευάσματος στην πλάκα κάνουμε συγκόλληση με τη χρήση εποξικής κόλλας με το γυαλάκι.



ΒΗΜΑ 5: ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΣΧΙΔΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΜΑ

Χρησιμοποιώντας το αριστόρο χέρι το Discoplan-TS κόβουμε τη παρασχίδα.



Διαδικασία αφαίρεσης παρασχίδας.

ΒΗΜΑ 6: ΤΡΙΨΙΜΟ ΤΗΣ ΛΕΠΤΗΣ ΤΟΜΗΣ

Οι γυάλινες πλάκες τοποθετούνται στους συμπιεστές και στη συνέχεια μεταφέρονται σε ένα τροχό με διαμάντια για το αριστερό χέρι στο αντίστοιχο δεξί χέρι του Discoplan-TS που αναφέραμε πριν. Οι διαφάνειες μπορούν να λειανθούν με ακρίβεια ± 2 μm σε χρόνο μερικά λεπτά. Ο κεραμικός συμπιεστής επιτρέπει την λειτουργία. Αυτή η λειτουργία είναι απαραίτητη για να εξασφαλιστεί απόλυτη ακρίβεια. Ο συμπιεστής είναι σχεδιασμένο για μέχρι και τρία τυπικά δείγματα ανά συγκεκριμένο χρόνο, ή ένα δείγμα μέχρι και 75×75 mm



Συγκόλληση δειγμάτων με Discoplan-TS



Τελική συγκόλληση δεύτερου πλακιδίου.



Τελική εικόνα των παρασκευασμάτων