



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

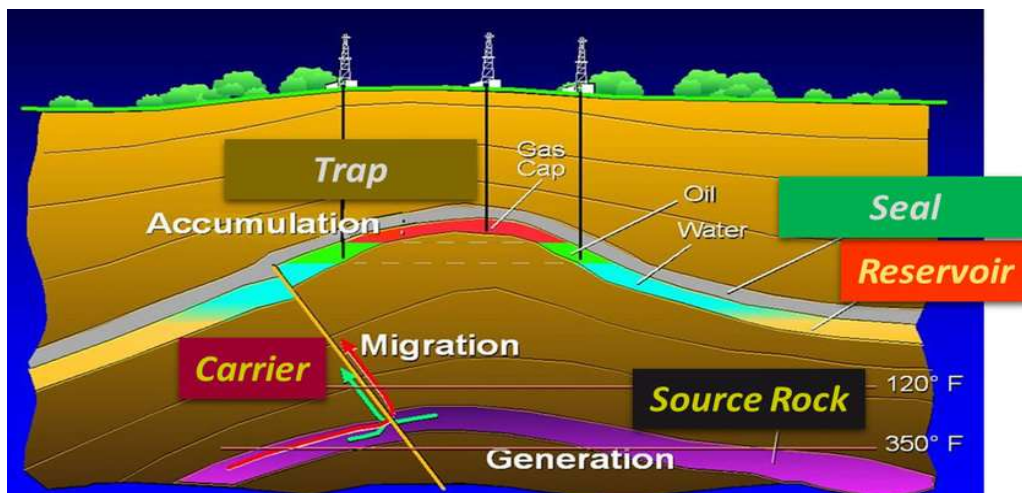
ΤΟΜΕΑΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΘΩΜΑΣ ΝΤΙΝΟΠΟΥΛΟΣ

ΠΕΤΡΕΛΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2024





ΘΩΜΑΣ ΝΤΙΝΟΠΟΥΛΟΣ

Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5752

ΠΕΤΡΕΛΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας

Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Άγγελος Μαραβέλης, Επίκουρος Καθηγητής

© Θωμάς Ντινόπουλος, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.



© Θωμάς Ντινόπουλος, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΠΕΤΡΕΛΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ – *Διπλωματική Εργασία*

© Thomas Ntinopoulos, School of Geology, Dept. of Mineralogy – Petrology – Economic Geology, 2024

All rights reserved.

PETROLEUM SYSTEMS OF WESTERN GREECE – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: https://www.researchgate.net/figure/Within-a-sedimentary-basin-the-5-elements-of-the-petroleum-system_fig2_347661516



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ABSTRACT.....	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Βασικές έννοιες Πετρελαϊκής Γεωλογίας	
1.1 Μητρικά Πετρώματα και Γένεση-Ωρίμανση Υδρογονανθράκων.....	9
1.2 Πετρώματα-Ταμιευτήρες Πετρελαίου.....	11
1.3 Πετρώματα-Καλύμματα και Παγίδες Υδρογονανθράκων.....	12
1.4 Μετανάστευση Υδρογονανθράκων.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Γενική Γεωλογία της Δυτικής Ελλάδας	
2.1 Ζώνη Παξών ή Προαπούλια.....	16
2.2 Ιόνιος Ζώνη.....	18
2.3 Γεωτεκτονική Εξέλιξη και Λεκάνες Ιζηματογένεσης της Δυτικής Ελλάδας.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Επισκόπηση των Πετρελαϊκών Συστημάτων της Δυτικής Ελλάδας	
3.1 Μητρικά Πετρώματα της Δυτικής Ελλάδας.....	24
3.2 Πετρώματα-Ταμιευτήρες της Δυτικής Ελλάδας.....	27
3.3 Πετρώματα-Καλύμματα και Παγίδες Υδρογονανθράκων της Δυτικής Ελλάδας.....	28
3.4 Ιστορικό Ερευνών και Μελλοντικές Προοπτικές για τη Δυτική Ελλάδα.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Ανάλογα Πετρελαϊκά Συστήματα της Αλβανίας	
4.1 Γενική Γεωλογία της Αλβανίας.....	32
4.2 Ανάλογα Πετρελαϊκά Συστήματα της Αλβανίας και Μελλοντικές Προοπτικές.....	35
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	37
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	38
ΑΓΓΛΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	39



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πετρελαϊκά Συστήματα της Δυτικής Ελλάδας

Θωμάς Ντινόπουλος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά τη βιβλιογραφική μελέτη των πετρελαϊκών συστημάτων της Δυτικής Ελλάδας. Η Προ-Απούλια, η Ιόνιος και η ζώνη Γαβρόβου αποτελούν τις εξωτερικές Ελληνίδες ζώνες που διαμορφώνουν τη Δυτική Ελλάδα, μαζί με το ορογενές της Πίνδου. Φέρουν δομές Μεσοζωικής ηλικίας που σχετίζονται με τη διάνοιξη του ωκεανού της Νέο-Τηθύος, με το συνολικό σύστημα να έχει υποστεί συμπίεση από τις δύο νεότερες παραμορφωτικές περιόδους του Κρητιδικού και του Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου κατά την Αλπική Ορογένεση. Στη Δυτική Ελλάδα εντοπίζεται πλήθος πιθανών μητρικών και ταμειυτήριων πετρωμάτων, που σε συνδυασμό με τις κατάλληλες τεκτονικές δομές της πύχο-εφφιπεντικής ζώνης, δίνουν ενεργά πετρελαϊκά συστήματα. Όσες μελέτες πραγματοποιήθηκαν έως τώρα δεν έχουν αποδώσει καρπούς, με μοναδική εξαίρεση τη περιοχή του Κατάκολου Πελοποννήσου, αλλά η εύρεση πολλαπλών κοιτασμάτων στην Αλβανία έχει δημιουργήσει ένα ελπιδοφόρο κλίμα, λόγω της παρόμοιας γεωλογίας και γεωτεκτονικής εξέλιξης με τις εξωτερικές Ελληνίδες ζώνες, για τα μελλοντικά ερευνητικά προγράμματα.

Λέξεις-Κλειδιά: Δυτική Ελλάδα, πετρελαϊκά συστήματα, μητρικά πετρώματα, πετρώματα-καλύμματα, λεκάνη προχώρας Πίνδου, παγίδες υδρογονανθράκων, Ιόνιος ζώνη, Προ-Απούλια ζώνη, εβαπορίτες, Αλβανία, εξωτερικές Ελληνίδες ζώνες.



ABSTRACT

Petroleum Systems of Western Greece

Thomas Ntinopoulos

This diploma thesis focuses on the bibliographic study of the petroleum systems of Western Greece. The Pre-Apulian, Ionian and Gavrovo zones constitute the External Hellenides that shape Western Greece together with the Pindos orogen. They consist of Mesozoic structures originating from the creation of the Neo-Tethys ocean, with the entire system being subjected to compression during the two newer Cretaceous and Eocene-Oligocene deformational periods of the Alpine Orogeny. In Western Greece, a number of potential source and reservoir rocks can be found, which combined with the appropriate fold and thrust belt tectonic structures, give rise to active petroleum systems. All of the studies carried out so far have not given great results, with the sole exception of the Katakolo field in Peloponnesus, but the multiple findings of hydrocarbon accumulations in Albania have created high hopes, due to the similar geology and geotectonic evolution with the external Hellenides zones, for future exploration programs.

Key-Words: Western Greece, petroleum systems, source rocks, seals, Pindos foreland basin, hydrocarbon traps, Ionian zone, Pre-Apulian zone, evaporites, Albania, external Hellenides zone.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα πετρελαϊκό σύστημα προκύπτει όταν συνυπάρχουν όλες οι απαραίτητες, γεωλογικές ή μη, προϋποθέσεις για τη γένεση, ωρίμανση, μετανάστευση και παγίδευση πετρελαίου ή/και φυσικού αερίου. Αυτές οι προϋποθέσεις περιλαμβάνουν την ύπαρξη κατάλληλου μητρικού πετρώματος, ταμιευτήριου πετρώματος, πετρώματος-καλύμματος και κατάλληλων τεκτονικών ή στρωματογραφικών παγίδων. Επιπλέον, θα πρέπει να υπάρχει αρκετός χρόνος διαθέσιμος για την ολοκλήρωση όλων των διεργασιών και κατάλληλες τιμές θερμοκρασίας και πίεσης, εντός της λεκάνης ιζηματογένεσης, κατά τη διάρκεια αυτών.

Κατά τα πρωταρχικά στάδια έρευνας για υδρογονάνθρακες, η μελέτη μίας λεκάνης ιζηματογένεσης που φέρει πιθανές παγίδες υδρογονανθράκων πραγματοποιείται, κυρίως, με τη χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Διαρκεί από μερικούς μήνες έως αρκετά χρόνια και προσφέρει απαντήσεις για τις πιθανότητες ύπαρξης ενεργού πετρελαϊκού συστήματος στην περιοχή μελέτης, αλλά και για τις πιο υποσχόμενες θέσεις όπου ενδέχεται να υπάρχει συγκέντρωση υδρογονανθράκων. Με αυτό το τρόπο, μειώνονται το ρίσκο και το κόστος κατά το επόμενο στάδιο των ερευνητικών γεωτρήσεων, καθώς γίνονται στοχευμένες γεωτρήσεις στα σημεία μέγιστου ενδιαφέροντος.

Η Δυτική Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα οι γεωλογικές ζώνες Παξών, Ιονίου και Γαβρόβου-Τριπόλεως αντιπροσωπεύουν πετρελαϊκά συστήματα. Τα ανάλογα τους, κυρίως στον χώρο της Αλβανίας όπου η γεωτεκτονική εξέλιξη είναι παρόμοια, έχουν προσφέρει θετικά αποτελέσματα με ανακαλύψεις κοιτασμάτων. Έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές φορές στη Δυτική Ελλάδα, αλλά μέχρι στιγμής δεν έχει υπάρξει κάποια ανακάλυψη κοιτασμάτων, με μοναδική εξαίρεση την περίπτωση του Κατάκολου Πελοποννήσου.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση και η αυξανόμενη ανάγκη της για αυτονομία και ασφάλεια στη παραγωγή και παροχή υδρογονανθράκων, λόγω των τωρινών κυρίαρχων χωρών-παραγωγών με τις πολυάριθμες γεωπολιτικές αστάθειες τους, οδηγεί στο όλο και αυξανόμενο ενδιαφέρον για έρευνες στη Δυτική Ελλάδα, στις χώρες της Αδριατικής Θάλασσας και στον ευρύτερο χώρο της Ιταλίας. Η εύρεση και έναρξη παραγωγής υδρογονανθράκων από χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα προσφέρει μία ομαλή και απροβλημάτιστη μετάβαση προς τη πράσινη ενέργεια για τις χώρες-μέλη.

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα εξής:

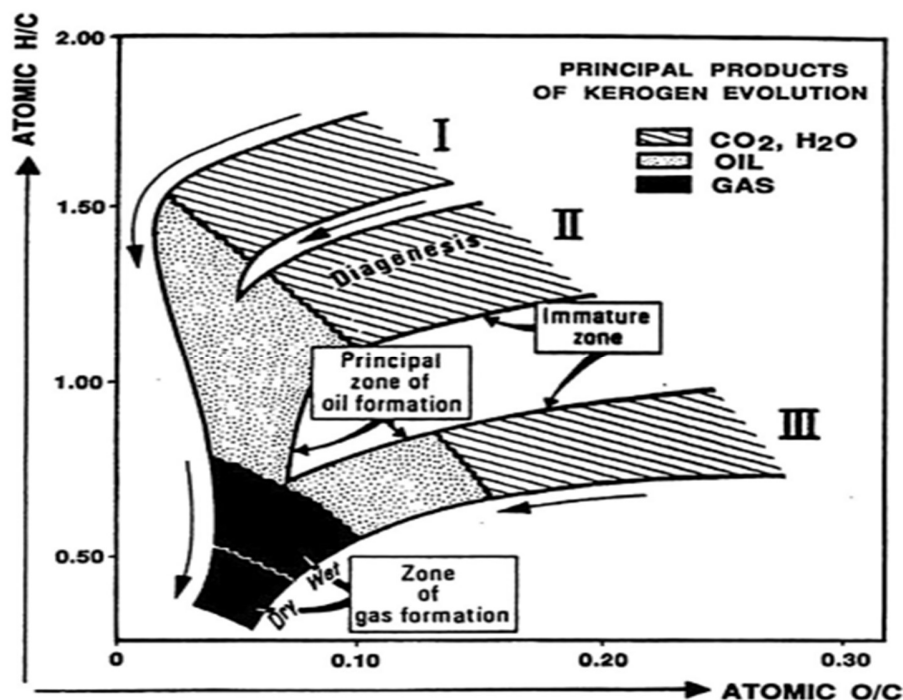
- Οι βασικές έννοιες της πετρελαϊκής γεωλογίας και κατ' επέκταση των πετρελαϊκών συστημάτων (βλ. Κεφάλαιο 1),
- Η γεωλογία, η γεωτεκτονική εξέλιξη και οι λεκάνες ιζηματογένεσης της Δυτικής Ελλάδας (βλ. Κεφάλαιο 2),
- Τα πετρελαϊκά συστήματα της Δυτικής Ελλάδας και οι προοπτικές για μελλοντικές έρευνες (βλ. Κεφάλαιο 3) και
- Τα ανάλογα πετρελαϊκά συστήματα της Αλβανίας (βλ. Κεφάλαιο 4).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Βασικές έννοιες Πετρελαϊκής Γεωλογίας

1.1 Μητρικά Πετρώματα και Γένεση-Ωρίμανση Υδρογονανθράκων

Τα μητρικά πετρώματα (Source rocks) είναι ιζηματογενούς προέλευσης, κυρίως σχιστοπηλοί, γνωστοί και ως shales. Έχουν πολύ χαμηλό ποσοστό πορώδους και πολύ χαμηλή διαπερατότητα. Περιέχουν υψηλό ποσοστό οργανικής ύλης, η οποία έχει ταφεί με αρκετά γρήγορους ρυθμούς, θερμαίνεται σε κατάλληλη θερμοκρασία και σε συνθήκες χαμηλού οξυγόνου αποκτώντας σταδιακά υψηλότερο βαθμό θερμικής ωριμότητας. Η οργανική ύλη αποτελείται από δύο συστατικά, το κηρογόνο, που είναι ένα αδιάλυτο από τους περισσότερους οργανικούς διαλύτες, σύνολο χημικών ενώσεων και το βιτουμένιο που είναι διαλυτό.

Το κηρογόνο διαχωρίζεται σε τύπους (I-IV) ανάλογα κυρίως με την περιεκτικότητα του, και τις αναλογίες μεταξύ τους, σε υδρογόνο, άνθρακα και οξυγόνο, από την οργανική προέλευση του και από άλλους χημικούς και βιολογικούς παράγοντες (βλ. Εικόνα 1). Ο τύπος I ονομάζεται και "σαπροπηλικό κηρογόνο" και έχει τη τάση να δίνει κυρίως υγρούς υδρογονάνθρακες μετά από θέρμανση (πχ. πετρέλαιο). Ο τύπος II ονομάζεται και "πλαγκτονικό κηρογόνο" με τάση να δίνει και υγρούς και αέριους υδρογονάνθρακες. Ο τύπος III ονομάζεται "χουμικό" κηρογόνο με τη τάση να δίνει κυρίως αέριους υδρογονάνθρακες και τέλος ο τύπος IV αποτελεί ένα αδρανές κηρογόνο χωρίς τη δυνατότητα γένεσης οικονομικά εκμεταλλεύσιμων προϊόντων.



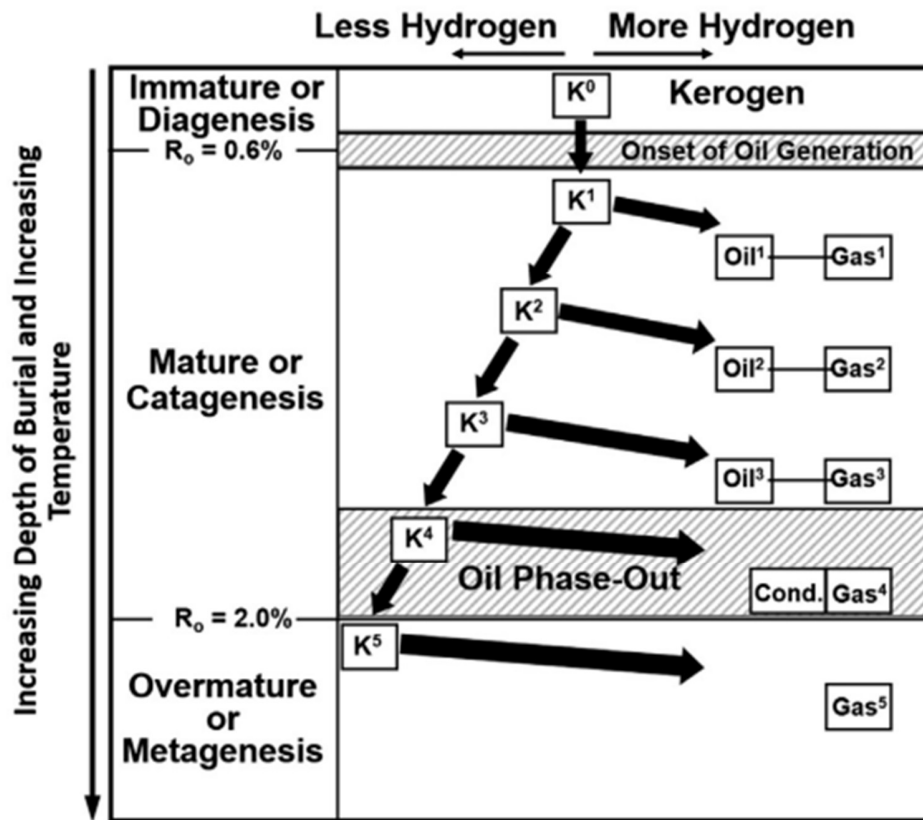
Εικόνα 1: Το διάγραμμα Van Krevelen που συσχετίζει τη γένεση υγρών-αέριων υδρογονανθράκων με τις αναλογίες υδρογόνου-άνθρακα και οξυγόνου-άνθρακα (Dembicki 2017).

Υψηλές συγκεντρώσεις οργανικής ύλης προκύπτουν σε λεκάνες ιζηματογένεσης όπου κυριαρχούν κυρίως στάσιμα νερά και υψηλή παραγωγικότητα οργανικής ύλης. Τέτοια περιβάλλοντα μπορεί να είναι ρηχές θάλασσες, δέλτα, βάλτοι, λίμνες κ.α. Μεγάλο μέρος αυτής καταστρέφεται λόγω των βακτηριδιακών διεργασιών ή λόγω δράσης άλλων έμβιων όντων στη περιοχή. Για τη διατήρηση της οργανικής ύλης θα πρέπει να επικρατούν ανοξικές συνθήκες, μικρή ανανέωση και στασιμότητα των νερών και υπερπαραγωγή οργανικής ύλης (Gluyas and Swarbrick, 2004).

Η θερμοκρασία, η πίεση και η παρουσία βακτηρίων και καταλυτών παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στον σχηματισμό των υδρογονανθράκων. Εάν η θερμοκρασία δεν φτάσει στα αναγκαία επίπεδα στους πλούσιους, σε κηρογόνο, σχηματισμούς τότε αποτίθενται βιτουμενιούχοι σχιστοπηλοί (oil shales). Το πετρέλαιο σχηματίζεται σε θερμοκρασίες από 60 έως 160 βαθμούς Κελσίου και το φυσικό αέριο σχηματίζεται σε θερμοκρασίες από 150 έως 200 βαθμούς Κελσίου, με τα διαστήματα αυτά να αποτελούν το "παράθυρο πετρελαίου" και το "παράθυρο αερίου" αντιστοίχως (Γεωργακόπουλος, 2020).

Οι διαδικασίες της διαγένεσης αρχίζουν σε θερμοκρασίες κάτω από 50 βαθμούς Κελσίου και αποτελούν το πρώτο στάδιο της αλλοίωσης των ιζημάτων και της ωρίμανσης του κηρογόνου. Κατά το δεύτερο στάδιο της καταγένεσης, προκύπτει φυσικοχημική αλλοίωση των ιζημάτων και των υγρών που βρίσκονται εντός των πόρων τους με τη θερμοκρασία και τη πίεση να είναι, υψηλότερες από αυτές της διαγένεσης, στους 50 με 150 βαθμούς Κελσίου και με αποτέλεσμα οι χημικοί δεσμοί του κηρογόνου να καταστρέφονται δημιουργώντας υγρούς υδρογονάνθρακες (Γεωργακόπουλος, 2020). Στους 150 βαθμούς περίπου, μία δευτερογενής διάσπαση των δεσμών του πετρελαίου οδηγεί σε σχηματισμό μορίων αερίου. Η μεταγένεση αποτελεί το τελικό στάδιο γένεσης και ωρίμανσης υδρογονανθράκων και συμβαίνει σε θερμοκρασίες από 150 έως 200 βαθμούς Κελσίου (Γεωργακόπουλος, 2020). Στο τέλος της και καθώς τα μόρια του πετρελαίου συνεχίζουν να διασπώνται σε μικρότερα μόρια αερίου, σχηματίζονται μεθάνιο, ξηρό αέριο και κάποια άλλα αέρια.

Γενικά, ένα πολύ χαμηλό ποσοστό της αρχικής οργανικής ύλης που υπέστη ταφή, θέρμανση, βακτηριδιακή αποδόμηση και μετατροπή σε υγρούς ή/και αέριους υδρογονάνθρακες θα βρεθεί τελικά μέσα στα ταμιευτήρια πετρώματα μετά τη πρωτογενή μετανάστευση (Γεωργακόπουλος, 2020).



Εικόνα 2: Σχήμα που συσχετίζει την αυξανόμενη θερμοκρασία και το αυξανόμενο βάθος με τις διαδικασίες της διαγένεσης, καταγένεσης και μεταγένεσης και τα παράθυρα γένεσης πετρελαίου και αερίου (Dembicki, 2017, τροποποιημένο από Horsfield and Rullkotter, 1994)

1.2 Πετρώματα-Ταμιευτήρες Πετρελαίου

Τα πετρώματα-ταμιευτήρες (Reservoir rocks) είναι επίσης ιζηματογενούς προέλευσης, όπως και τα μητρικά, με συνηθέστερους τύπους τα ψαμμιτικά ή τα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι ή δολομίτες). Σε σπανιότερες περιπτώσεις ίσως προκύψουν άλλοι ιζηματογενείς σχηματισμοί που φέρουν πολλαπλές διαρρήξεις. Απαραίτητη προϋπόθεση για να χαρακτηριστεί ένας σχηματισμός ως πιθανό ταμιευτήριο πέτρωμα είναι να έχει υψηλό πορώδες, έτσι ώστε να μπορεί να 'κρατήσει' τους υγρούς και αέριους υδρογονάνθρακες, μαζί με το νερό, μεταξύ των πόρων του.

Τα περισσότερα ταμιευτήρια πετρώματα έχουν πορώδες από >0% έως περίπου 40%, με τα ποσοστά κοντά στο μηδέν να αφορούν κυρίως διεργημένα πετρώματα, ενώ μπορούν να φτάσουν έως και το 70%, περίπου, σε ορισμένους ασβεστόλιθους (Gluyas and Swarbrick, 2004). Ο υπολογισμός του πορώδους ενός ταμιευτήριου πετρώματος (Selley, 1998) πραγματοποιείται με

διάφορους τρόπους. Είτε απευθείας μετά από γεώτρηση, είτε με σεισμικές μεθόδους κλπ. Παραδείγματα αποτελούν η μέθοδος Washburn-Bunting και η μέθοδος Boyle.

Η διαπερατότητα αποτελεί επίσης ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των πετρωμάτων-ταμιευτήρων. Ορίζεται ως ο βαθμός ικανότητας ενός υγρού να διαπεράσει ένα σώμα. Οι μονάδες μέτρησης της είναι το darcy (D) ή κυρίως, για τη πετρελαϊκή γεωλογία, το millidarcy (mD). Ένα διαπερατό πέτρωμα προσφέρει τη δυνατότητα στους υδρογονάνθρακες να μεταναστεύουν είτε από το ένα μέρος του ίδιου πετρώματος στο άλλο (δευτερογενής μετανάστευση), είτε προς την επιφάνεια της Γης (τριτογενής μετανάστευση). Οι οικονομικά εκμεταλλεύσιμοι ταμιευτήρες πετρελαίου πρέπει να είναι διαπερατοί, αλλιώς η ανάκτηση του κοιτάσματος θα είναι δυσκολότερη έως αδύνατη. Η διαπερατότητα των ταμιευτήρων κυμαίνεται από 0.1mD έως 10D (Gluyas and Swarbrick, 2004). Τα περισσότερα ταμιευτήρια πετρώματα περιέχουν υδρογονάνθρακες και νερό, ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα η ροή τους να συμπεριφέρεται διαφορετικά σε σχέση με το αν υπήρχε μόνο μία φάση. Έτσι προκύπτει η έννοια της σχετικής διαπερατότητας, η οποία ποικίλλει ως συνάρτηση της αφθονίας των υγρών φάσεων. (Gluyas and Swarbrick 2004).

Τα υψηλότερης ποιότητας ταμιευτήρια πετρώματα στον κόσμο είναι σχετικά μικρής ηλικίας. Δεν υπάρχει κάποιος ουσιαστικός λόγος (Gluyas and Swarbrick, 2004) που τα παλαιότερα πετρώματα μπορεί να σχηματίσουν καλύτερους ή χειρότερους ταμιευτήρες, παρά μόνο το γεγονός ότι οι παλαιότεροι σχηματισμοί είναι πιθανότερο να έχουν βρεθεί σε συνθήκες έντονης τεκτονικής καταπόνησης ή σε συνθήκες ολοκληρωτικής πλήρωσης των πόρων τους από συγκολλητικό υλικό. Και οι δύο περιπτώσεις μπορούν να οδηγήσουν σε καταστροφή του ταμιευτήρα.

1.3 Πετρώματα-Καλύμματα και Παγίδες Υδρογονανθράκων

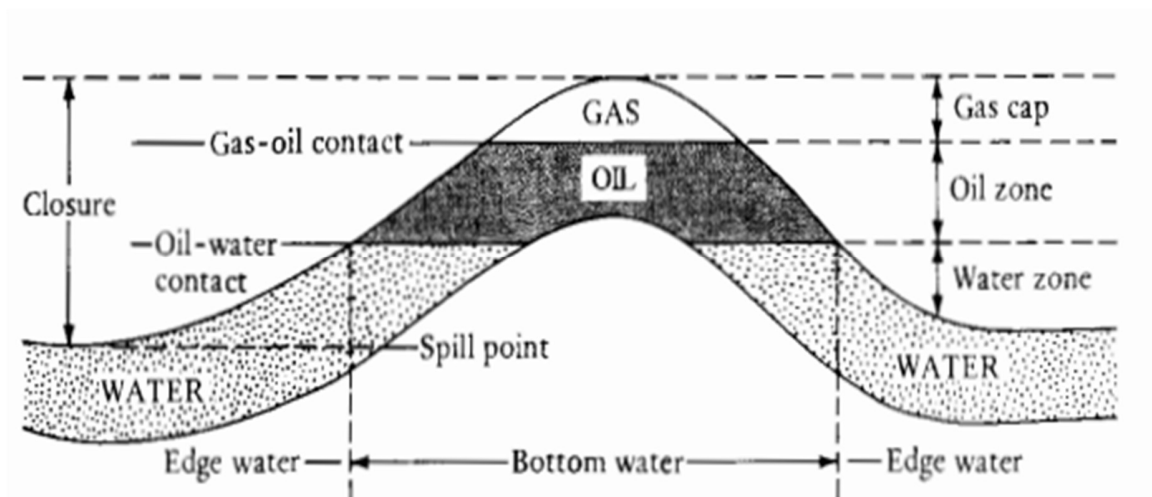
Τα πετρώματα-καλύμματα (Seal rocks) είναι ιζηματογενή, χαμηλής διαπερατότητας, με κύριους τύπους κάποια είδη ασβεστόλιθων, πηλόλιθους, εβαπορίτες (ανυδρίτης, αλίτης κ.α), πυριτόλιθους κλπ. Συνδυάζονται με ρήγματα, ζώνες ρηγμάτων ή αντικλινικές δομές δημιουργώντας τις παγίδες υδρογονανθράκων. Είναι απαραίτητες δομές για ένα πετρελαϊκό σύστημα, αφού εμποδίζουν την τριτογενή μετανάστευση των υδρογονανθράκων, δηλαδή τους αποτρέπουν από το να διαφύγουν προς την επιφάνεια της Γης, όπου χημικές διεργασίες θα τους καταστρέψουν.

Σε κάθε περίπτωση, τα πετρώματα-καλύμματα δεν μπορούν να αποτρέψουν εξ' ολοκλήρου και μόνιμα την διαφυγή υδρογονανθράκων. Η διαρροή χαμηλού ποσοστού πετρελαίου ή/και φυσικού αερίου, από τα πετρώματα-καλύμματα, στην επιφάνεια της Γης αποτελεί φυσικό φαινόμενο και μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο κατά την διάρκεια της έρευνας. Η τάση των υδρογονανθράκων για άνοδο προς την επιφάνεια οφείλεται κυρίως στη χαμηλότερη πυκνότητα τους από το νερό και την ικανότητα τους να "ολισθαίνουν" μεταξύ των κόκκων του πετρώματος (Gluyas and Swarbrick, 2004).

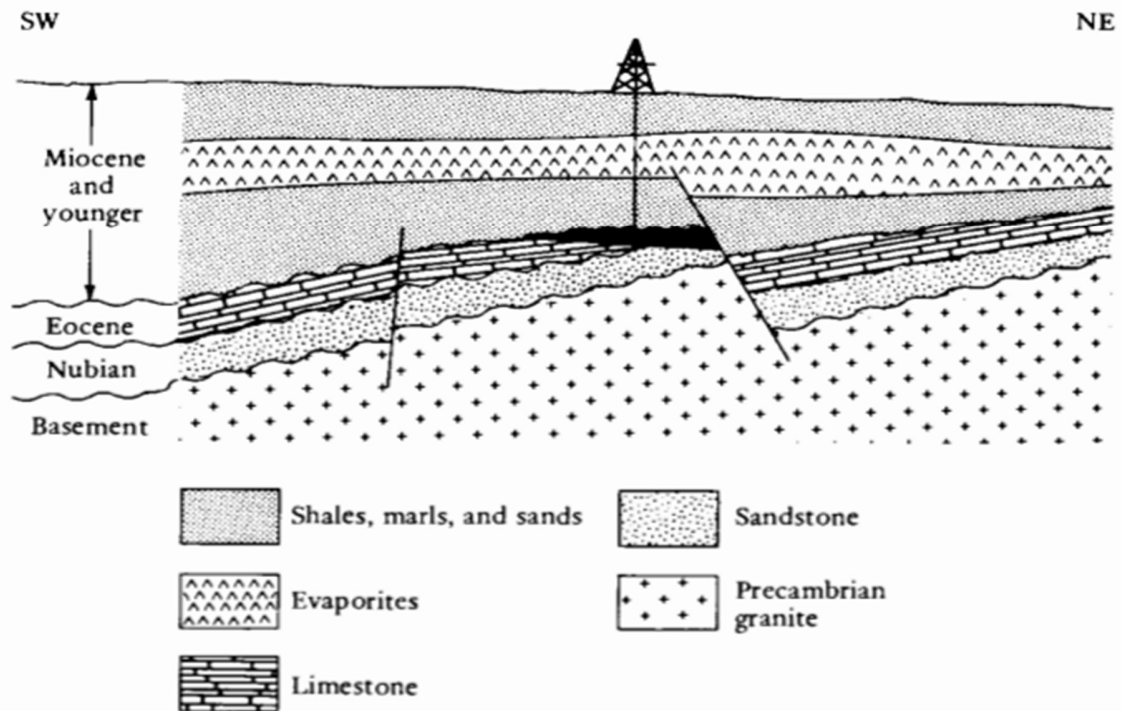
Οι παγίδες υδρογονανθράκων (Traps) ορίζονται ως ο γεωμετρικός συνδυασμός των πετρωμάτων-καλυμμάτων με τα ταμιευτήρια πετρώματα. Είναι αναγκαία συνθήκη να υπάρχει κατάλληλη παγίδα, γιατί αλλιώς τα ρευστά θα διαφύγουν μόλις βρουν την άκρη του καλύμματος. Θα πρέπει να δημιουργηθούν την ίδια στιγμή ή ωρίτερα από την έναρξη της πρωτογενούς μετανάστευσης, προκειμένου να μπορέσει να προκύψει παγίδευση των ρευστών. Μία απλή περίπτωση παγίδας είναι ένας αντικλινικός δόμος, μεταξύ άλλων.

Αν υπάρχει ένα κατάλληλο πέτρωμα-κάλυμμα, το οποίο δεν επιτρέπει την διαφυγή πετρελαίου και φυσικού αερίου, τότε οι παγίδες μπορούν να αποκτήσουν το μέγιστο δυνατό φορτίο υδρογονανθράκων. Σε μερικές περιπτώσεις, η συσσώρευση υδρογονανθράκων μπορεί να ξεπεράσει το όριο της παγίδας, πιθανώς λόγω συνεχόμενης παροχής από το μητρικό πέτρωμα και ταυτόχρονης σχεδόν μηδενικής απώλειας από το κάλυμμα. Αντίθετα, υπάρχει η περίπτωση η παγίδα να είναι "μισογεμάτη". Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί λόγω σημαντικών διαρροών στην επιφάνεια και χαμηλής παροχής από το μητρικό πέτρωμα (Gluyas and Swarbrick, 2004). Και οι δύο παραπάνω περιπτώσεις προκύπτουν από συνδυασμό διεργασιών, μιας και οι διαρροές πετρελαίου, η παροχή από το μητρικό πέτρωμα και η μετανάστευση δημιουργούν ένα δυναμικό σύστημα.

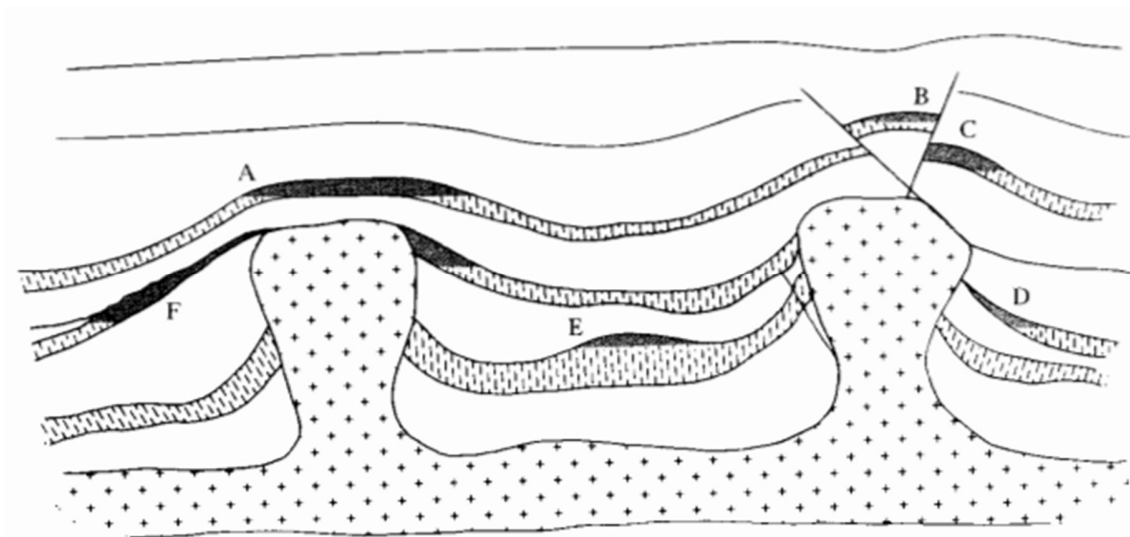
Ανάλογα με το τεκτονικό καθεστώς στο οποίο βρίσκεται η, υπό μελέτη, λεκάνη ιζηματογένεσης διαχωρίζονται οι διαφορετικοί τύποι τεκτονικών παγίδων υδρογονανθράκων. Σε περίπτωση συγκλίνοντων περιθωρίων (ηπειρωτικού φλοιού), αναμένονται παγίδες που σχετίζονται με συμπίεση στις λεκάνες προχώρας. Συγκεκριμένα, παγίδες που σχετίζονται με πτύχο-εφιππευτικές ζώνες. Σε περίπτωση διάνοιξης ωκεάνιου φλοιού, οι λεκάνες των παθητικών περιθωρίων ελέγχονται από κανονικά ρήγματα κλπ. Τύποι στρωματογραφικών παγίδων περιλαμβάνουν παγίδες από ασυμφωνίες, παγίδες από βαρυτικές διεργασίες σχετίζονται κυρίως με δελταϊκά περιβάλλοντα και δημιουργούνται ανεξάρτητα της τεκτονικής του υποβάθρου, διαγενετικές, διαπυρικές παγίδες κλπ. (βλ. Εικόνες 3,4,5)



Εικόνα 3: Τομή μίας απλής αντικλινικής παγίδας υδρογονανθράκων (Selley, 1998).



Εικόνα 4: Τομή μίας τεκτονικής παγίδας που σχετίζεται με κανονικό ρήγμα από τον Κόλπο του Σουέζ (Selley, 1998).



Εικόνα 5: Τομή που απεικονίζει όλες τις παγίδες υδρογονανθράκων που σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με άνοδο στήλης άλατος (Selley, 1998).

1.4 Μετανάστευση Υδρογονανθράκων

Μετανάστευση υδρογονανθράκων (Migration) ορίζεται ως η διαδικασία όπου το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο μετακινούνται από το μητρικό πέτρωμα προς τα ανώτερα στρώματα και κατ' επέκταση προς την επιφάνεια της Γης. Σε περίπτωση που υπάρχει κατάλληλο πέτρωμα-κάλυμμα και παγίδα, οι υδρογονάνθρακες θα εγκλωβιστούν στο ταμιευτήριο πέτρωμα, δημιουργώντας ένα κοίτασμα. Η μετανάστευση διακρίνεται σε τρία είδη:

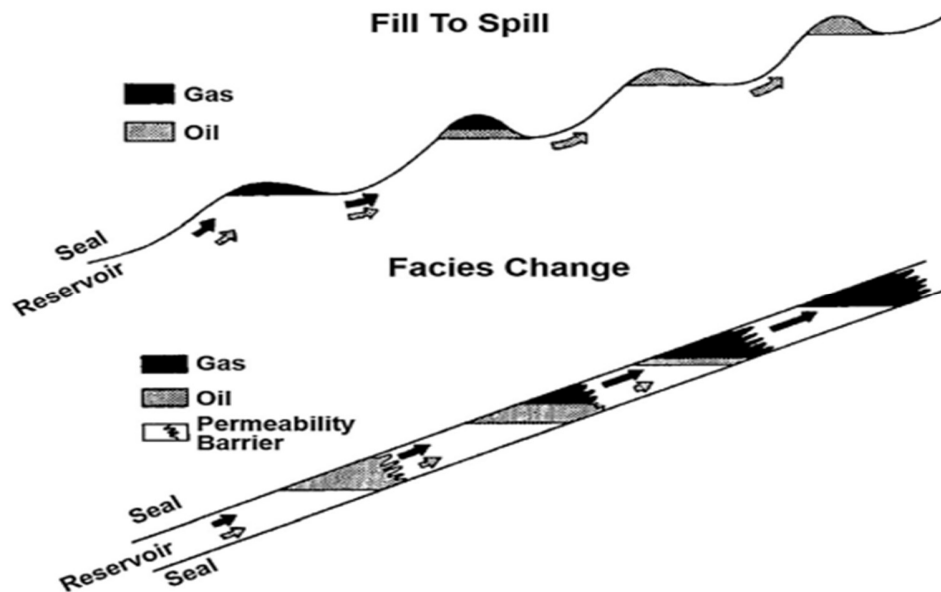
- Τη πρωτογενή (από το μητρικό πέτρωμα προς τον ταμιευτήρα),
- Τη δευτερογενή (μέσα στον ταμιευτήρα) και
- Τη τριτογενή μετανάστευση (από τον ταμιευτήρα προς την επιφάνεια της Γης).

Κατά τη πρωτογενή μετανάστευση, οι υδρογονάνθρακες αποβάλλονται από το μητρικό πέτρωμα λόγω του μεγαλύτερου όγκου τους σε σχέση με το αρχικό κηρογόνο. Μετακινούνται προς ανώτερα στρώματα, τα οποία είναι κορεσμένα σε νερό.

Κατά τη δευτερογενή μετανάστευση, πετρέλαιο και φυσικό αέριο θα συγκεντρωθούν σε μία παγίδα. Αν αυτή η παγίδα υπερχειλίσει ή διαταραχτεί λόγω διάφορων παραγόντων, τα ρευστά θα μετακινηθούν σε μία ανώτερη, στρωματογραφικά, παγίδα (βλ. Εικόνα 6). Αυτή η διαδικασία θα σταματήσει εάν τα ρευστά φτάσουν κοντά στην επιφάνεια της Γης.

Κατά τη τριτογενή μετανάστευση, οι υδρογονάνθρακες διαφεύγουν του πετρώματος-καλύμματος και της παγίδας και κατευθύνονται προς την επιφάνεια της Γης, όπου προκύπτει η επιφανειακή διαρροή τους και καταστροφή από δράση βακτηρίων και άλλων χημικών διεργασιών. Όπως προαναφέρθηκε, είναι ένα φυσιολογικό φαινόμενο και χρήσιμο για την έρευνα, όταν αυτά συμβαίνουν σε χαμηλά ποσοστά. Οι λόγοι που οδηγούν τα ρευστά να διαφύγουν στην επιφάνεια είναι αντίστοιχοι με τους λόγους για τη δευτερογενή μετανάστευση. Η ικανότητα ολίσθησης οδηγεί το πετρέλαιο προς τα πάνω και επηρεάζεται, θετικά ή αρνητικά, από την πίεση και άλλες υδροδυναμικές καταστάσεις. Ο μοναδικός ουσιαστικός διαχωρισμός μεταξύ δευτερογενούς και τριτογενούς μετανάστευσης είναι η παροχή των ρευστών, καθώς στη δευτερογενή μετανάστευση οι διεργασίες είναι πολύ πιο αργές (Gluyas and Swarbrick, 2004).

Σε μερικές περιπτώσεις, ένα ποσοστό των υδρογονανθράκων δεν έχει τη δυνατότητα να κινηθεί προς τα πάνω, επειδή διαλύονται στο νερό που περιέχεται στους σχηματισμούς, μεσώ των οποίων διέρχονται ή παραμένουν παγιδευμένοι στους κόκκους του πετρώματος. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως "απώλειες της μετανάστευσης". Αυτές οι απώλειες μπορεί να είναι μεγάλες, ειδικά αν τα ρευστά έχουν να διανύσουν σημαντική απόσταση.



Εικόνα 6: Σχήματα που απεικονίζουν τη δευτερογενή μετανάστευση υδρογονανθράκων σε ανώτερες τεκτονικές ή στρωματογραφικές παγίδες (Dembicki, 2017).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Γενική Γεωλογία της Δυτικής Ελλάδας

2.1 Ζώνη Παξών ή Προαπούλια

Η ζώνη Παξών ή Προαπούλια, επειδή φαίνεται να βρίσκεται σε συνέχεια με την Απούλια πλατφόρμα της Ανατολικής Ιταλίας, αποτελεί τη δυτικότερη ζώνη της Ελλάδας και των Εξωτερικών Ελληνίδων ζωνών. Ζάκυνθος, Κεφαλλονιά, Λευκάδα και Παξοί αποτελούν τις μοναδικές περιοχές με επιφανειακές εμφανίσεις και αυτές περιορίζονται από το Μέσο Κρητιδικό και νεότερα. Συνεχίζεται και στον Αλβανικό χώρο με ακόμα περισσότερο περιορισμένη επιφανειακή έκθεση και με το όνομα ζώνη Sazani.

Στρωματογραφικά η ζώνη αποτελείται από (βλ. Εικόνα 7): Τριαδικούς εβαπορίτες στη βάση, νηριτική ανθρακική σειρά από το Άνω Τριαδικό έως το Άνω Ολιγόκαινο και στη συνέχεια μάργες μαζί με ψαμμιτικούς ή λατυποπαγείς ασβεστόλιθους και φακούς εβαποριτών, τα οποία αντικαθιστούν την αναμενόμενη ιζηματογένεση υποθαλάσσιων ριπιδίων που απουσιάζει στη ζώνη. Χαρακτηριστικά της ζώνης αποτελούν η απουσία των μελών της σειράς των υποθαλάσσιων ριπιδίων και η συνεχόμενη νηριτική ανθρακική ιζηματογένεση, τα οποία είναι γνωρίσματα και της Απούλιας πλατφόρμας.

Κατά τη περίοδο Άνω Μειόκαινο-Κάτω Πλειόκαινο φαίνεται πως υπάρχει ασυμφωνία λόγω της διακοπής της θαλάσσιας ιζηματογένεσης με τη δημιουργία του Αιγαιακού τόξου. Φυσικά, η ιζηματογένεση συνεχίζεται έως και σήμερα στα μέρη της ζώνης που βρίσκονται κάτω από το

νερό. Η ζώνη δεν φέρει έντονες λεπιώσεις και πτυχώσεις όπως οι υπόλοιπες Εξωτερικές Ελληνίδες ζώνες και θεωρείται μεταβατική (Maravelis et al. 2012) μεταξύ της Απούλιας και της εξωτερικής Ιονίου.

Geologic Time			thickness	Lithology	source rocks	Formations
Qtrnr.	Pleist.	Upper				marine marls
		Lower				
Neogene	Plioc.	Piacenzian				marine marls and sands
		Zanclean				
		Messinian				marls
	Mioc.	Sarmatian				marls and marly limestones
		Langhian				
		Rupelian				
Paleogene	Olig.	Chatthian	0-40m			
		Rupelian				pelagic limestones with breccias often marly, extensive hiatuses
	Eoc.	Priambonian	0-50m			
		Bartonian				
		Lutetian				pelagic limestones and breccias limestones
		Ypresian				
	Paleoc.	Thanetian	30m			
		Selandian				
		Danian				
		Maastrichtian				
Cretaceous	Upper	Campanian				
		Santonian				
		Coniacian				
		Turonian				
		Cenomanian				undifferentiated limestones with cherts, which become brecciated towards the upper part of the sequence
		Albian				substantial hiatuses continue into the entire Paleocene
	Lower	Aptian	700 - 1550m			
		Barremian				
		Hauterivian				
		Valanginian				
		Berriasian				
		Titonian				conglomerates with calcareous and magmatic elements
Jurassic	Malm.	Kimmeridgian	500 - 730m			limestones, marly limestones, marls, occasional hiatuses
		Oxfordian				
		Callovian				
	Dogg.	Bathonian	150m			thin-bedded limestones with cherts, marly limestones and marls, anhydrites
		Bajocian				
		Aalenian				
	Liassic	Toarcian	1650m			
		Pliensbachian				limestones, dolomitic limestones, anhydrites, shale intercalations
		Sinemurian				
		Hettangian				
Triassic	U.	Rhaetian				
		Norian				
		Carnian				
	M.	Ladinian				
		Anisian				
	L.	Scythian	>1700m			evaporites, dolomites, shale intercalations

Εικόνα 7: Στρωματογραφική στήλη της Ζώνης Παξών, διακρίνονται πιθανά μητρικά πετρώματα και η ασυμφωνία Α.Μειοκαίνου-Κ.Πλειοκαίνου (Karakitsios and Rigakis, 2007).

2.2 Ιόνιος Ζώνη

Η Ιόνιος ζώνη εκτείνεται σε όλο το μήκος της Δυτικής Ελλάδας με διεύθυνση Β-Ν. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της Ηπείρου, τη Δυτική Πελοπόννησο και εμφανίζεται σε νησιά της Ιονίου Θάλασσας, στη Κρήτη και στη Ρόδο. Συνεχίζεται βόρεια και στον Αλβανικό χώρο με το ίδιο όνομα. Εφιππεύει τη Προαπούλια ζώνη στα δυτικά και εφιππεύεται από τη ζώνη Πίνδου στα ανατολικά, όπου η τελευταία έχει υπερκαλύψει τη ζώνη Γαβρόβου. Παλαιογεωγραφικά διακρίνεται σε τρεις υποζώνες: την εσωτερική (ανατολικά), τη κεντρική και την εξωτερική (δυτικά).

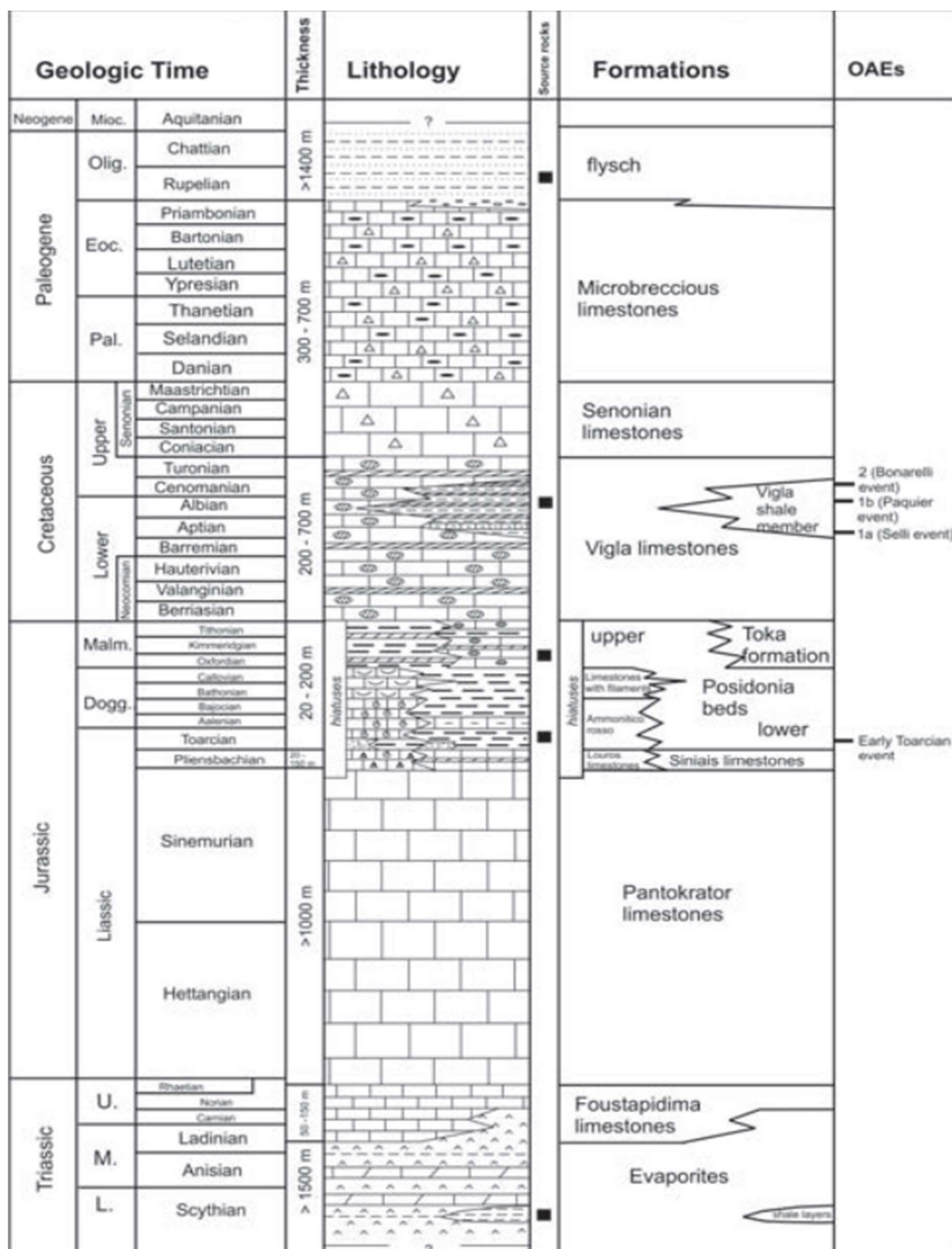
Χαρακτηρίζεται ως μία ηπειρωτική λεκάνη, με κυρίως πελαγική και νηριτική ανθρακική ιζηματογένεση, πάνω στην Απούλια μικροπλάκα και φέρει έντονες δομές πτυχώσεων και λεπιώσεων (Κάτω Μειόκαινο) λόγω της συμπίεστικής τεκτονικής του Τριτογενούς (Μουντράκης, 2020). Οι πτυχώσεις συνοδεύονται από διαρρήξεις στις πτέρυγες με αποτέλεσμα τη δημιουργία συνεχών επωθήσεων ή/και εφιππεύσεων/λεπιώσεων.

Χαρακτηριστικό της ζώνης αποτελεί η σειρά από σύγκλινα και αντίκλινα με αξονική διεύθυνση κυρίως ΒΒΔ-ΝΝΑ, τα οποία επωθούνται ή εφιππεύονται το ένα πάνω στο άλλο προς τα δυτικά. Οι πτυχές αυτές είναι συνήθως ασύμμετρες με απόκλιση προς τα ΔΝΔ, αλλά σε σπάνιες περιπτώσεις η απόκλιση μπορεί να είναι προς τα ΑΒΑ, λόγω της 'επώθησης προς τα πίσω' ή back-thrust, κατά τη συμπίεση προς τα Δυτικά. (Μουντράκης, 2020)

Ιδιαίτερης σημασίας, για τη τεκτονική της ζώνης, αποτελούν, επίσης, τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης με διεύθυνση Α-Δ ή ΑΒΑ-ΔΝΔ που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια της τελικής πτύχωσης κάθετα στους άξονες των πτυχών και τα ανάστροφα ρήγματα (λεπιώσεις) με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ μαζί με τα νεότερα κανονικά ρήγματα που διαμόρφωσαν τις λεκάνες της Ηπείρου και της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας. (Μουντράκης, 2020)

Συνοπτικά η λιθοστρωματογραφική εξέλιξη της Ιονίου ζώνης είναι η εξής (βλ. Εικόνα 8): Τριαδικοί Εβαπορίτες και πηλόλιθοι με προέλευση από συνθήκες ρηχής θαλάσσιας λεκάνης με έντονη εξάτμιση, κροκαλοπαγές επίκλυσης ανώτερα, έναρξη νηριτικής ανθρακικής ιζηματογένεσης με απόθεση δολομιτών (Ανώτερο Τριαδικό), των Ασβεστόλιθων "Παντοκράτορα" (Ανώτερο Τριαδικό-Κατώτερο Λιάσιο) και απόθεση Ασβεστόλιθων Σινιών (Ανώτερο Λιάσιο) μαζί με μεταβατικά ιζήματα ρηχής προς βαθιάς θάλασσας. Αμέσως μετά, παρουσία πυριτικών σχιστόλιθων από τα κεντρικά τμήματα των λεκανών και Ammonitico Rosso από τις παρυφές των λεκανών (Ανώτερο Λιάσιο). Στη συνέχεια, έναρξη πελαγικής ιζηματογένεσης με απόθεση των ασβεστόλιθων και των σχιστόλιθων "Βίγλας" (Ανώτερο Ιουρασικό-Κατώτερο Σενώνιο) και άλλων πελαγικών ασβεστόλιθων έως το Ανώτερο Ηώκαινο. Τέλος, η ιζηματογένεση υποθαλάσσιων ριπιδίων κατά το Ηώκαινο-Κάτω Μειόκαινο.

Σε αντίθεση με τη ζώνη Παξών, στην Ιόνιο ζώνη δεν απουσιάζει η ιζηματογενής φάση των υποθαλάσσιων ριπιδίων. Χαρακτηρίζεται από αδιάκοπη ιζηματογένεση από το Τριαδικό έως το Ανώτερο Μειόκαινο. Κατά το Μέσο-Ανώ Ιουρασικό έλαβε χώρα μία σύντομη χέρσευση της περιοχής, ενώ στη κεντρική Ιόνιο ζώνη, κατά το Μέσο Μειόκαινο, αποτέθηκαν θαλάσσια μολασσικά ιζήματα λόγω επίκλυσης της θάλασσας.



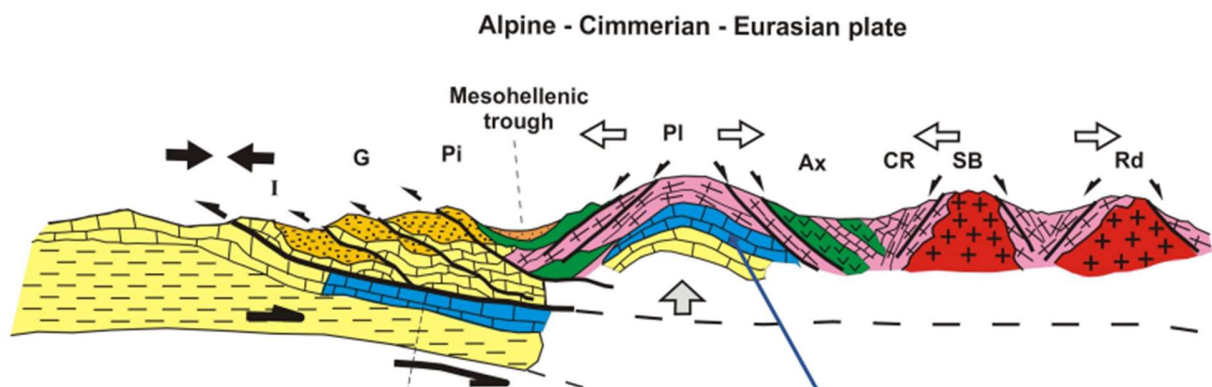
Εικόνα 8: Στρωματογραφική στήλη της Ιονίου Ζώνης, διακρίνονται πιθανά μητρικά πετρώματα. (Karakitsios and Rigakis, 2007).

2.3 Γεωτεκτονική Εξέλιξη και Λεκάνες Ιζηματογένεσης της Δυτικής Ελλάδας

Οι συνεχόμενες εκτατικές συνθήκες, λόγω της διάνοιξης του ωκεανού της Νέο-Τηθύος, οφείλονται για τη δημιουργία της λεκάνης της Ιονίου και τον διαχωρισμό της σε μικρότερα τεκτονικά βυθίσματα ή half-grabens και τεκτονικά κέρατα ή horsts κατά το Ιουρασικό-Κρητιδικό (Karakitsios, 1995). Αυτές οι τεκτονικές δομές αποτελούν τις λεπιώσεις της Ιονίου σήμερα. Πέρα από τις συνθήκες έκτασης και κατ' επέκταση τα κανονικά ρήγματα, οι ιζηματογενείς δομές διαμορφώθηκαν και από την κίνηση των κατώτερων Τριαδικών εβαποριτών (Karakitsios, 1995).

Η έναρξη της υποβύθισης του ωκεάνιου φλοιού της Νέο-Τηθύος, κατά το Κρητιδικό, σηματοδοτεί την έναρξη της πρώτης παραμορφωτικής περιόδου. Ο ωκεάνιος φλοιός ξεκίνησε να υποβυθίζεται κάτω από το Κιμμερικό-Ευρασιατικό ηπειρωτικό τέμαχος και τμήματα οφιολίθων τοποθετήθηκαν τεκτονικά πάνω στην ευρύτερη περιοχή που σήμερα αντιπροσωπεύεται από την Πελαγονική ζώνη. Οι σημερινές δομές αποτυπώνουν την τεκτονική εξέλιξη από την εποχή του Μεσοζωικού και τα παθητικά περιθώρια της Νέο-Τηθύος, έως την ηπειρωτική σύγκρουση της Απούλιας με το ενιαίο Κιμμερικό-Ευρασιατικό τέμαχος.

Κατά το Ηώκαινο-Ολιγόκαινο και λόγω του κλεισίματος του ωκεανού της Νέο-Τηθύος (δεύτερη παραμορφωτική περίοδος), προκλήθηκε η ηπειρωτική σύγκρουση της Απούλιας με το Κιμμερικό-Ευρασιατικό τέμαχος και η δημιουργία της πτυχο-εφιππευτικής ζώνης που διαμορφώνει τη Δυτική Ελλάδα και προεκτείνεται βόρεια προς τις χώρες της Ανατολικής Αδριατικής. Ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία αποτελούσαν παθητικό περιθώριο της Νέο-Τηθύος, από το Τριαδικό έως το Ηώκαινο (Karakitsios, 1995), τοποθετήθηκαν στη λεκάνη της Ιονίου. Αυτοί οι σχηματισμοί (Zelilidis et al. 2015) εφιππεύουν τη λεκάνη προχώρας της Απούλιας προς τα δυτικά όπου και βρίσκεται η απαραμόρφωτη Απούλια πλατφόρμα. Κατά το Άνω Ολιγόκαινο, η ηπειρωτική σύγκρουση, κατά μήκος του περιθωρίου της Πελαγονικής, διακόπηκε με αποτέλεσμα την μετανάστευση των διεργασιών προς τα δυτικά. (Zelilidis et al. 2015)



Εικόνα 9: Τομή με το γεωτεκτονικό καθεστώς στον Ελληνικό χώρο κατά την περίοδο Ολιγοκαίνου-Μειοκαίνου. Διακρίνονται οι συμπίεστικές δομές των Εξωτερικών Ελληνίδων. (Μουντράκης, 2020).

Η λεκάνη προχώρας της Πίνδου συναντάται στα δυτικά του ορογενούς μεταξύ της εφίππευσης της Πίνδου και της Εξωτερικής Ιονίου. Η δημιουργία της χρονολογείται την ίδια περίοδο με τον σχηματισμό της πτυχο-εφίππευτικής ζώνης κατά το Άνω Ηώκαινο. Πέρα από τα δύο όρια της, η λεκάνη διαχωρίζεται και εσωτερικά από τις εφίππευσεις της Εσωτερικής και Κεντρικής Ιονίου και από την εφίππευση της ζώνης Γαβρόβου-Τριπόλεως.

Ένα μεγάλο ποσοστό της τροφοδοσίας ιζημάτων προς τα δυτικά και εντός της λεκάνης προχώρας της Πίνδου προέκυψε από τη διάβρωση των εκτεθειμένων πετρωμάτων της Πίνδου με τη περιοχή να περιέχει αρκετούς σχηματισμούς με προέλευση από υποθαλάσσια ριπίδια. (Konstantopoulos and Zelilidis, 2012)

Τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης με διεύθυνση ΔΝΔ-ΑΒΑ σε συνδυασμό με τα ΒΒΔ-ΝΝΑ ανάστροφα ρήγματα επηρέασαν τη λεκάνη προχώρας της Πίνδου, από το Άνω Ηώκαινο, "κόβοντας" τις δομές με τέτοιο τρόπο ώστε να ευνοήσουν τις διαδικασίες ιζηματογένεσης.

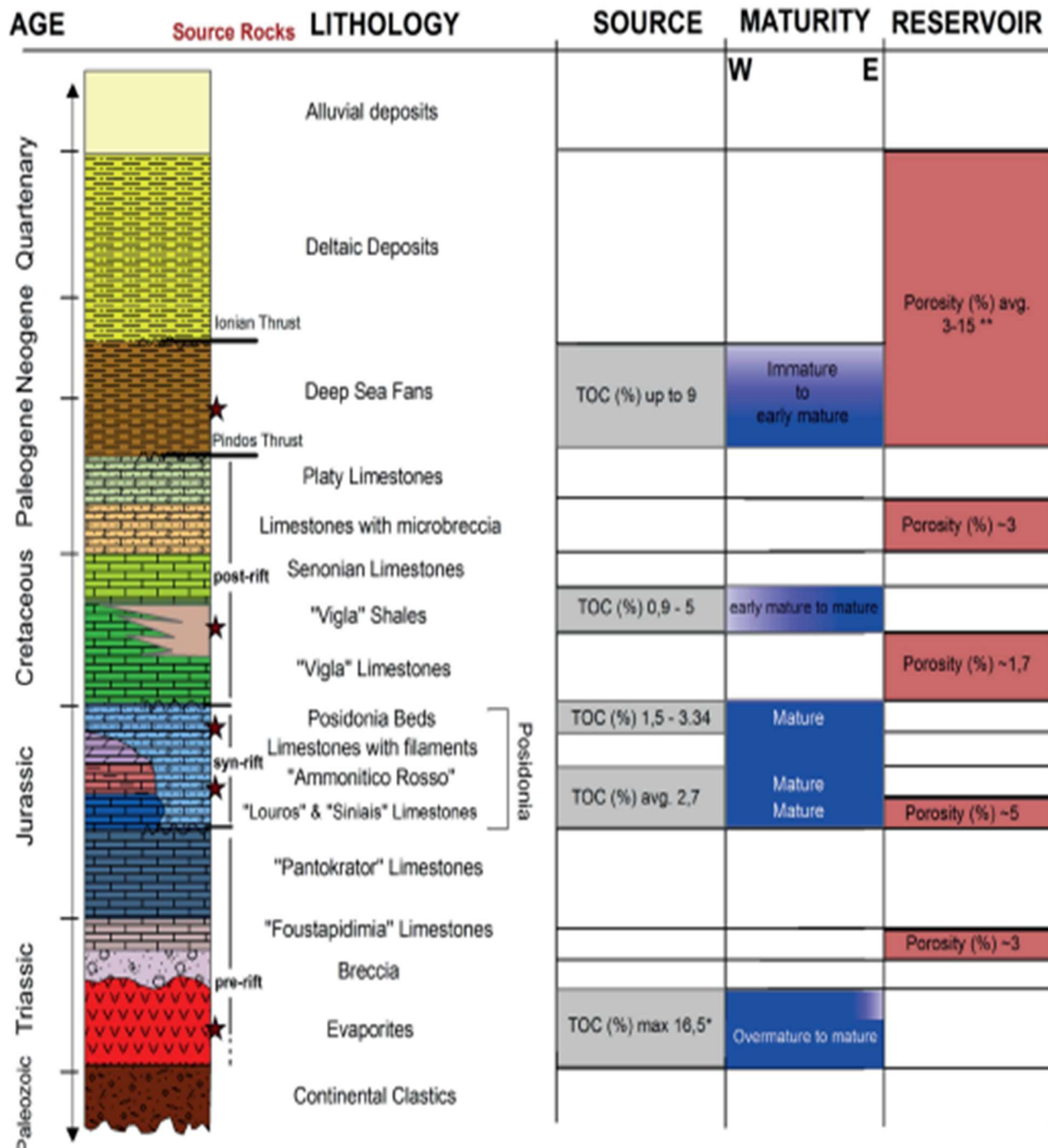
Το όριο μεταξύ της Ιονίου και της Προ-απούλιας ζώνης βρίσκεται κατά κύριο λόγο κάτω από τη Ιόνιο θάλασσα, αλλά συναντάται στη Ζάκυνθο. Οι απόψεις διαφέρουν για την ακριβή τοποθεσία επιφανειακής εμφάνισης του ρήγματος, αλλά κυριαρχεί (Maravelis et al. 2014) το ότι βρίσκεται στο κέντρο της Ζακύνθου και ενεργοποιήθηκε κατά το Άνω Μειόκαινο με τις διεργασίες να ολοκληρώνονται στο Πλειστόκαινο. Η δράση αυτής της εφίππευσης (Zelilidis et al. 2015) ελέγχει το πάχος των ιζημάτων στις λεκάνες προχώρας στα δυτικά και ανατολικά της.

Η εφίππευση της εξωτερικής Ιονίου συνοδεύεται από τους Τριαδικούς εβαπορίτες στις άκρες της, οι οποίοι ανέβηκαν και εκτέθηκαν με τις λεπιώσεις στην επιφάνεια ή με τεκτονικά παράθυρα, πάνω από τις αποθέσεις υποθαλάσσιων ριπιδίων Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου (Karakitsios and Rigakis, 2007). Αυτά δείχνουν περαιτέρω ότι οι συμπιεστικές φάσεις οφείλονται για τη τεκτονική εξέλιξη της Δυτικής Ελλάδας και ότι οι εβαπορίτες αποτελούν το κατώτερο μέλος των λεπιώσεων και του ρήγματος αποκόλλησης των Εξωτερικών Ελληνίδων.

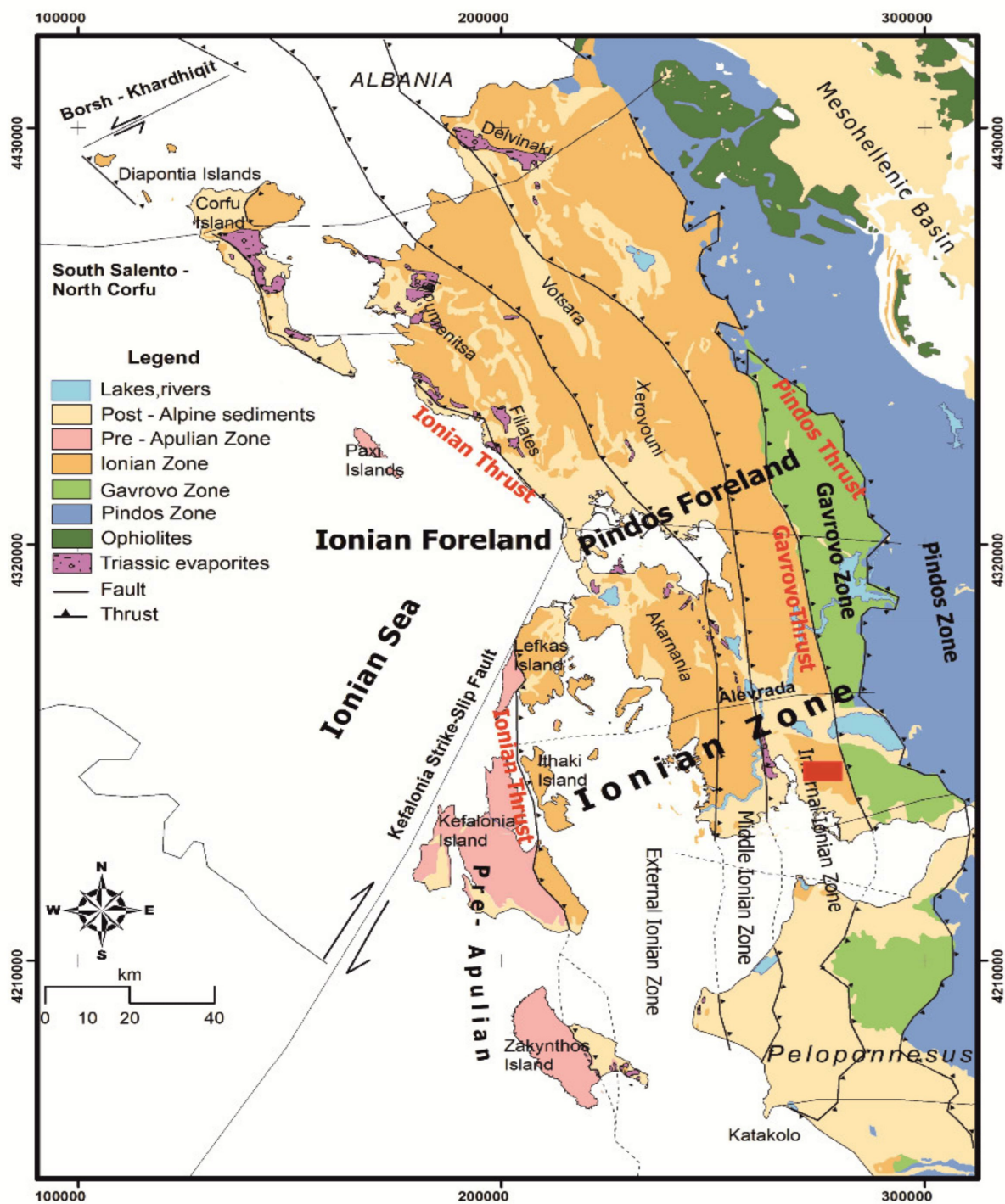
Η στρωματογραφική εξέλιξη της Ιονίου, για τις φάσεις πριν την ορογενετική διαδικασία, μπορεί να διαχωριστεί σε pre-, syn- και post-rift φάσεις ιζηματογένεσης, δηλαδή πριν, κατά και μετά τις διαδικασίες διάνοιξης ωκεανού. Αυτές είναι οι εξής (βλ. Εικόνα 10):

- Η φάση πριν τη διάνοιξη (pre-rift) περιλαμβάνει τους ασβεστόλιθους "Παντοκράτορα" και τους κατώτερους ασβεστόλιθους "Φουσταπήδημα" μαζί με την εβαποριτική σειρά. (Karakitsios, 1995)
- Η φάση κατά τη διάνοιξη (syn-rift) σηματοδοτεί την έναρξη των εκτατικών διεργασιών, τη βύθιση της λεκάνης και τη δημιουργία τεκτονικών βυθισμάτων (half-grabens) με τη δράση κανονικών ρηγμάτων (Karakitsios, 1995). Οι σχηματισμοί σε αυτή τη φάση είναι οι ασβεστόλιθοι "Σινιών", το Ammonitico Rosso και έως το ανώτερο στρώμα των σχιστολίθων με Posidonia.
- Η φάση μετά τη διάνοιξη (post-rift) ξεκινάει με την ασυμφωνία στη βάση των πελαγικών ασβεστόλιθων "Βίγλας". Περιλαμβάνονται οι πηλόλιθοι-πυριτόλιθοι στο σχηματισμό Βίγλας, οι πελαγικοί ασβεστόλιθοι του Σενωνίου (Ανώτερο Κρητιδικό) με εναλλαγές με λατυποπαγείς ασβεστόλιθους και οι ανώτεροι πελαγικοί ασβεστόλιθοι με εναλλαγές με μικρο-λατυποπαγή έως το Κατώτερο Ηώκαινο. Κατά το Παλαιόκαινο-

Ηόκαινο, η διάβρωση των Κρητιδικών ανθρακικών πετρωμάτων, από τη ζώνη Γαβρόβου και την Απούλια πλατφόρμα, αποτέλεσαν τη πηγή τροφοδοσίας της Ιονίου λεκάνης με τα μικρο-λατυποπαγή υλικά που συναντώνται σήμερα (Karakitsios, 1995).



Εικόνα 10: Στρωματογραφική στήλη της Ιονίου ζώνης με τις pre-, syn- και post-rift φάσεις, πιθανά μητρικά πετρώματα, πορώδες των πιθανών ταμιευτήρων κλπ. (Zelilidis et al. 2015).



Εικόνα 11: Χάρτης με τις Εξωτερικές Ελληνίδες ζώνες και τη γενική τοποθεσία των λεκανών προχώρας της Πίνδου και της Ιονίου. (Zoumprouli et al. 2022).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Επισκόπηση των Πετρελαϊκών Συστημάτων της Δυτικής Ελλάδας

3.1 Μητρικά Πετρώματα της Δυτικής Ελλάδας

Στη Δυτική Ελλάδα έχουν εντοπιστεί πολλές διαρροές υδρογονανθρακών (βλ. Εικόνα 11), κυρίως πετρελαίου και κυρίως στην Ιόνιο ζώνη, που σε συνδυασμό με τις ανακαλύψεις κοιτασμάτων στην προέκταση της Ιονίου ζώνης στον Αλβανικό χώρο, στη περιοχή του Κατάκολου Πελοποννήσου και στις ανατολικές ακτές της Ιταλίας (Απούλια πλατφόρμα), έχουν δημιουργήσει τις βάσεις για εκτεταμένες έρευνες και στον υπόλοιπο χώρο των εξωτερικών Ελληνίδων ζωνών. Παρακάτω ακολουθεί η συνοπτική παρουσίαση των κυριότερων μητρικών πετρωμάτων στη Δυτική Ελλάδα και των αποτελεσμάτων από μοντέλα θερμικής ωρίμανσης. (Thermal Maturation Modelling).

Τα πιο υποσχόμενα μητρικά πετρώματα της Προαπούλιας ζώνης, με εξαίρεση τους πηλόλιθους των Τριαδικών εβαποριτών που αναφέρονται αργότερα λόγω των κοινών χαρακτηριστικών και προέλευσης με την Ιόνιο ζώνη, είναι τα εξής (βλ. Εικόνα 7) :

- Οι σχηματισμοί, Ιουρασικής ηλικίας που περιλαμβάνουν τους τέσσερις ορίζοντες του Κάτω Ιουρασικού και τους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους του Ανώτερου Ιουρασικού και
- Οι δύο ορίζοντες Μειοκαίνου και Πλειοκαίνου που περιλαμβάνουν μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και ψαμμίτες.

Οι τέσσερις ορίζοντες του Κάτω Ιουρασικού χαρακτηρίζονται από ένα μέσο ποσοστό ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) της τάξης 0,6%, πετρελαϊκό δυναμικό (PP) με μέση τιμή 1mg/g, οργανική ύλη (κηρογόνο) τύπου II με III και συνθήκες για το "παράθυρο πετρελαίου" σε βάθος από 1850 έως 3250m από δεδομένα ερευνητικής γεώτρησης (Karakitsios and Rigakis, 2007).

Οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι του Ανώτερου Ιουρασικού αποτελούν το καλύτερο μητρικό πέτρωμα της ζώνης Παξών. Από ερευνητική γεώτρηση προέκυψε ότι αυτό το πέτρωμα είναι ώριμο στα βάθη των 1850-3250m, αλλά ανώριμο όπου βρίσκεται σε ανώτερες θέσεις (Karakitsios and Rigakis, 2007). Χαρακτηρίζονται από ποσοστό ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) στο 0.6 έως 11.2%, πετρελαϊκό δυναμικό (PP) με μέση τιμή 11mg/g και οργανική ύλη (κηρογόνο), επιρρεπή σε γένεση πετρελαίου, τύπου I έως II (Karakitsios, 2013).

Οι σχηματισμοί του Μειοκαίνου και Πλειοκαίνου είναι χαμηλότερης ποιότητας ως μητρικά πετρώματα και κατ' επέκταση μικρότερης σημασίας. Χαρακτηρίζονται από κηρογόνο τύπου III, επιρρεπή σε γένεση αερίου, το οποίο όμως είναι ανώριμο (Karakitsios and Rigakis, 2007).

Τα πιο υποσχόμενα μητρικά πετρώματα της Ιονίου ζώνης είναι τα εξής (βλ. Εικόνες 8,10) :

- Οι πηλόλιθοι εντός των Τριαδικών εβαποριτών. (Αντίστοιχα και για τη ζώνη Παξών),
- Οι ανώτεροι και κατώτεροι σχιστόλιθοι με Posidonia Ιουρασικής ηλικίας,
- Οι πηλόλιθοι εντός των ασβεστόλιθων "Βίγλας" Κρητιδικής Ηλικίας και

- Οι αποθέσεις των υποθάλασσιων ριπιδίων κατά το Ηώκαινο-Κάτω Μειόκαινο.

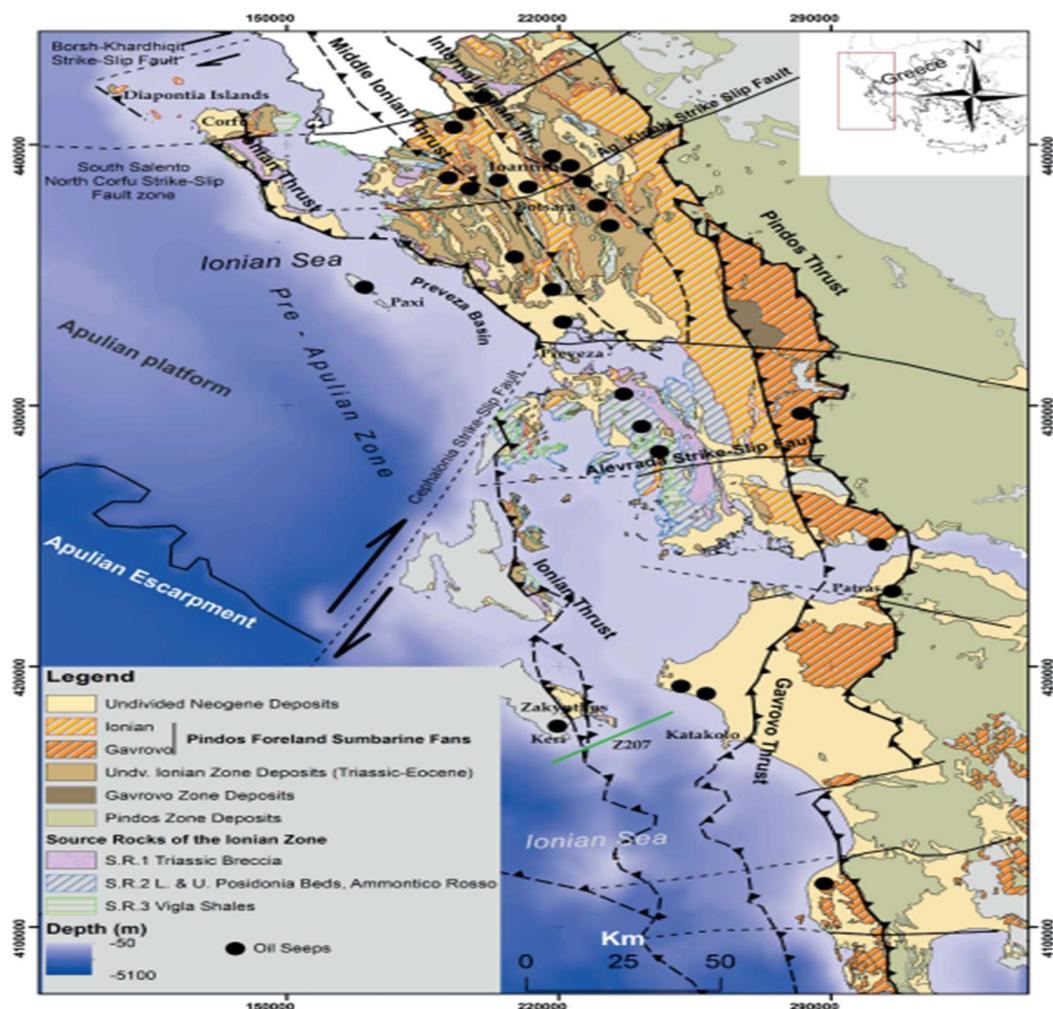
Οι Τριαδικοί πηλόλιθοι που είναι συνδεδεμένοι με την εβαποριτική σειρά αποτελούν σημαντικά πιθανά μητρικά πετρώματα. Τμήματά τους, που έχουν εκτεθεί στην επιφάνεια λόγω των τεκτονικών διεργασιών ή/και λόγω ανόδου των διάπυρων άλατος, έχουν βρεθεί να περιέχουν οργανικό υλικό (Rigakis and Karakitsios, 1998). Αυτά τα τμήματα και γενικότερα οι πηλόλιθοι και οι εβαπορίτες, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, σχετίζονται με μία ρηχή θαλάσσια λεκάνη σε συνθήκες υψηλής εξάτμισης. Η έναρξη της εβαποριτικής ιζηματογένεσης, σε αυτή τη λεκάνη, οδήγησε στη παρουσία ευνοϊκών συνθηκών για τη διατήρηση του οργανικού υλικού. Το περιεχόμενο οργανικού άνθρακα δείχνει ότι τα τμήματα πηλόλιθων έχουν ικανοποιητικό ποσοστό ολικού οργανικού άνθρακα (TOC: Total Organic Carbon) έως και 16.12%, καλό πετρελαϊκό δυναμικό (PP: Petroleum Potential) με τιμές 8.9–98.8-mg HC/g και η οργανική ύλη (κηρογόνο) είναι τύπου I, ως προς το πόσο επιρρεπείς είναι οι σχηματισμοί για τη γένεση υδρογονανθράκων (Karakitsios, 2013). Στην εξωτερική και Κεντρική Ιόνιο ζώνη βρίσκονται στο “παράθυρο αερίου”, ενώ στην εσωτερική Ιόνιο βρίσκονται στο “παράθυρο πετρελαίου”. Στη περίπτωση της ζώνης Παζών, η εβαποριτική σειρά εντοπίζεται πάντα να βρίσκεται στο “παράθυρο αερίου” ή να είναι υπερώριμη (Rigakis and Karakitsios, 1998, Karakitsios and Rigakis, 2007).

Η ωρίμανση των Τριαδικών πηλόλιθων έλαβε χώρα πριν τη δημιουργία της πτυχο-επιπλευτικής ζώνης των εξωτερικών Ελληνίδων, με αποτέλεσμα την πιθανή πρωτογενή μετανάστευση των υδρογονανθράκων σε ανώτερους σχηματισμούς που σχετίζονται με τις διαδικασίες διάνοιξης. Κατά την χρονική περίοδο που έλαβε χώρα η λεπιώδης τεκτονική, μπορεί να προέκυψε δευτερογενής μετανάστευση και παγίδευση των υδρογονανθράκων.

Οι Ιουρασικοί ανώτεροι και κατώτεροι σχιστόλιθοι με Posidonia αποτελούν τα σημαντικότερα πιθανά μητρικά πετρώματα της Ιονίου ζώνης και συνδέονται άμεσα με τις syn-rift διαδικασίες της περιοχής (βλ. Εικόνα 9). Το ποσοστό του ολικού οργανικού άνθρακα (TOC), για τους κατώτερους σχιστόλιθους, είναι από 1.05% έως 19.12% ενώ για τους ανώτερους είναι από 1.05% έως 3.34%, το πετρελαϊκό δυναμικό (PP) είναι από 4 έως 125.85 mg HC/g, η οργανική ύλη είναι τύπου I-II και οι σχηματισμοί θεωρούνται ώριμοι και βρίσκονται στο “παράθυρο πετρελαίου” (Rigakis and Karakitsios, 1998, Karakitsios and Rigakis, 2007). Οι δύο σχηματισμοί ίσως να μην μπορούν να διακριθούν πάντα μεταξύ τους λόγω των πολλών κοινών λιθολογικών και στρωματογραφικών χαρακτηριστικών τους. Έτσι, σε αυτή τη περίπτωση, αντιμετωπίζονται ως ένα ενιαίος σχηματισμός και προκύπτει ένα μέσο αποτέλεσμα για την ποιότητα τους ως μητρικά πετρώματα.

Οι πηλόλιθοι εντός των ασβεστόλιθων “Βίγλας” έχουν ποσοστό ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) έως και 5%, πετρελαϊκό δυναμικό (PP) που κυμαίνεται από 4.85 έως 25 mg HC/g, οργανική ύλη (κηρογόνο) τύπου I έως II που σχετίζεται με δραστηριότητα θαλάσσιων οργανισμών και ωριμότητα που διαφέρει μεταξύ των τριών διαχωρισμών της Ιονίου ζώνης από χαμηλή ωριμότητα (κεντρική και εξωτερική Ιόνιος) έως και μέση ωριμότητα (εσωτερική Ιόνιος) (Rigakis and Karakitsios, 1998, Karakitsios and Rigakis, 2007). Οι διαδικασίες γένεσης και διατήρησης του οργανικού υλικού σχετίζονται με τη post-rift φάση και με τις συνθήκες πελαγικής ιζηματογένεσης που επικράτησαν στη περιοχή (βλ. Εικόνα 10)

Τα υποθαλάσσια ριπίδια του Ηωκαίνου-Κάτω Μειοκαίνου φέρουν κυρίως ανώριμη οργανική ύλη και χωρίς υψηλές προσδοκίες για τη γένεση υδρογονανθράκων, αλλά ίσως να υπάρχουν ικανές συνθήκες τοπικά, όπου η ωριμότητα και η συσσώρευση ιζημάτων επιτρέπουν την έναρξη των διεργασιών για το "παράθυρο πετρελαίου" (Maravelis et al. 2014).



Εικόνα 12: Γεωλογικός χάρτης των ζωνών Παξών, Ιονίου και Γαβρόβου-Τριπόλεως της Δυτικής Ελλάδας με τις διαρροές πετρελαίου και τα μητρικά πετρώματα της Ιονίου. (Zelilidis et al. 2015, τροποποιημένο από Zelilidis et al., 2003, Karakitsios and Rigakis, 2007, Mavromatidis, 2009).

Μοντέλα ωρίμανσης χρησιμοποιήθηκαν ώστε να προκύψουν ενδεικτικά δεδομένα για τις δυνατότητες της περιοχής. Συγκεκριμένα, φαίνεται πως, κατά το Ολιγόκαινο, όλα τα μητρικά πετρώματα μπορούσαν να επιτρέψουν τη γένεση υδρογονανθράκων, με βαθιά ρήγματα να βοηθούν στη πρωτογενή μετανάστευση προς τα πετρώματα-ταμιευτήρες του Μεσοζωικού ή του Παλαιογενούς (Mavromatidis, 2009). Αυτά τα ρήγματα μπορεί όμως να οδήγησαν και σε απευθείας μεταφορά των υγρών στην επιφάνεια της Γης ή να επηρέασαν συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων προκαλώντας τριτογενή μετανάστευση. Με αυτόν το τρόπο ίσως να μπορούν

να εξηγηθούν οι πολυάριθμες διαρροές πετρελαίου στην Ιόνιο ζώνη (βλ. Εικόνα 12).

Παράδειγμα αποτελεί η περιοχή του Κατάκολου, όπου το πετρέλαιο πιθανολογείται ότι δημιουργήθηκε πολύ βαθύτερα από τα 2.500m που συναντάται σήμερα (Mavromatidis, 2009).

Τα μητρικά πετρώματα εντός των Τριαδικών εβαποριτών και αυτά που βρίσκονται κάτω από αυτούς λόγω των επιπτεύσεων στην Ιόνιο ζώνη (βλ. Εικόνα 12), πιθανώς να συγκρατούσαν το μεγαλύτερο ποσοστό των υδρογονανθράκων στη περιοχή. Σε περίπτωση που κλαστικά υλικά δεν έχουν αποτεθεί σε τμήματα της περιοχής ή έχουν διαβρωθεί πριν την έναρξη της συμπίεστικής τεκτονικής, αναμένεται να απουσιάζουν στρωματογραφικά κάτω από τους εβαπορίτες. Έτσι, σε αυτά τα σημεία η περιοχή θα εμφανίζει μόνο ανθρακικά πετρώματα κάτω από τους εβαπορίτες και θα προσφέρει τις υψηλότερες πιθανότητες για έρευνα (Mavromatidis, 2009). Τέτοιες περιοχές μπορούν να εντοπιστούν όταν παρατηρείται επιφανειακή κυριαρχία ανθρακικών πετρωμάτων και απουσία κλαστικών υλικών.

3.2 Πετρώματα-Ταμιευτήρες της Δυτικής Ελλάδας

Στη ζώνη Παξών, το πιο υποσχόμενα ταμιευτήρια πετρώματα (Karakitsios, 2013) είναι τα εξής (βλ. Εικόνα 7) :

- Τα ανθρακικά του Άνω Κρητιδικού, με επιφανειακή εμφάνιση στη Ζάκυνθο, που χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλό πορώδες και
- Διάφοροι σχηματισμοί τουρβιδιτών, κυρίως από το Κάτω Ολιγόκαινο και ανώτερα, με επιφανειακές εμφανίσεις στα νησιά των Παξών.

Τα πιθανά πετρώματα-ταμιευτήρες (Zelilidis et al. 2015) της Ιονίου ζώνης είναι τα εξής (βλ. Εικόνες 8, 10) :

- Τα Τριαδικής ηλικίας κροκαλοπαγή επίκλυσης, πάνω από τους εβαπορίτες, με πορώδες έως και 13%,
- Οι ασβεστόλιθοι "Παντοκράτορα" με μέσο πορώδες 10% και πάχος μεγαλύτερο των 1.500m,
- Οι ασβεστόλιθοι "Βίγλας" με πορώδες 1.7% και πάχος έως και 250m,
- Οι ασβεστόλιθοι του Σενωνίου,
- Οι Παλαιοκαινικοί-Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι με χαρακτηριστικό παράδειγμα το Κατάκολο με πορώδες έως 8% και
- Οι ψαμμιτικές φάσεις κατά την νεότερη ιζηματογένεση υποθαλάσσιων ριπιδίων στη λεκάνη προχώρας της Πίνδου.

Γενικά, το πορώδες στους σχηματισμούς της Δυτικής Ελλάδας είναι σημαντικά υψηλότερο στις τεκτονικές ζώνες, σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές, λόγω της μηχανικής καταπόνησης στα πετρώματα και κατ' επέκταση των μεγάλων ασυνεχειών σε αυτά (Karakitsios, 2013). Έτσι αυξάνεται αρκετά το δευτερογενές πορώδες και η διαπερατότητα τους.

Τα μοντέλα ωρίμανσης έδειξαν ότι τα κλαστικά και ανθρακικά πετρώματα που βρίσκονται τεκτονικά κατώτερα από τους εβαπορίτες μπορούν να δώσουν υδρογονάνθρακες, καλής

ποιότητας, κυρίως λόγω της προστασίας που τους παρέχεται από τη βακτηριακή αποδόμηση (Maniatis, 2009). Θετικά στοιχεία αποτελούν το καλό πορώδες σε αυτούς τους σχηματισμούς, ενώ στα αρνητικά εισάγεται το σχετικά μικρό πάχος τους.

3.3 Πετρώματα-Καλύμματα και Παγίδες Υδρογονανθράκων της Δυτικής Ελλάδας

Τα πιο αξιοσημείωτα πετρώματα-καλύμματα στη ζώνη Παξών είναι οι Τριαδικοί εβαπορίτες, οι φακοί εβαποριτών του Μεσσηνίου (Άνω Μειόκαινο) και οι μάργες με τις εναλλαγές με ψαμμίτες που υποκαθιστούν την ιζηματογένεση υποθαλάσσιων ριπιδίων στη ζώνη. Οι εβαπορίτες του Μεσσηνίου αποτελούν τα σημαντικότερα καλύμματα από τα παραπάνω, μιας και δημιουργούν μεγάλες παγίδες με τα χαρακτηριστικά αντίκλινα της ζώνης.

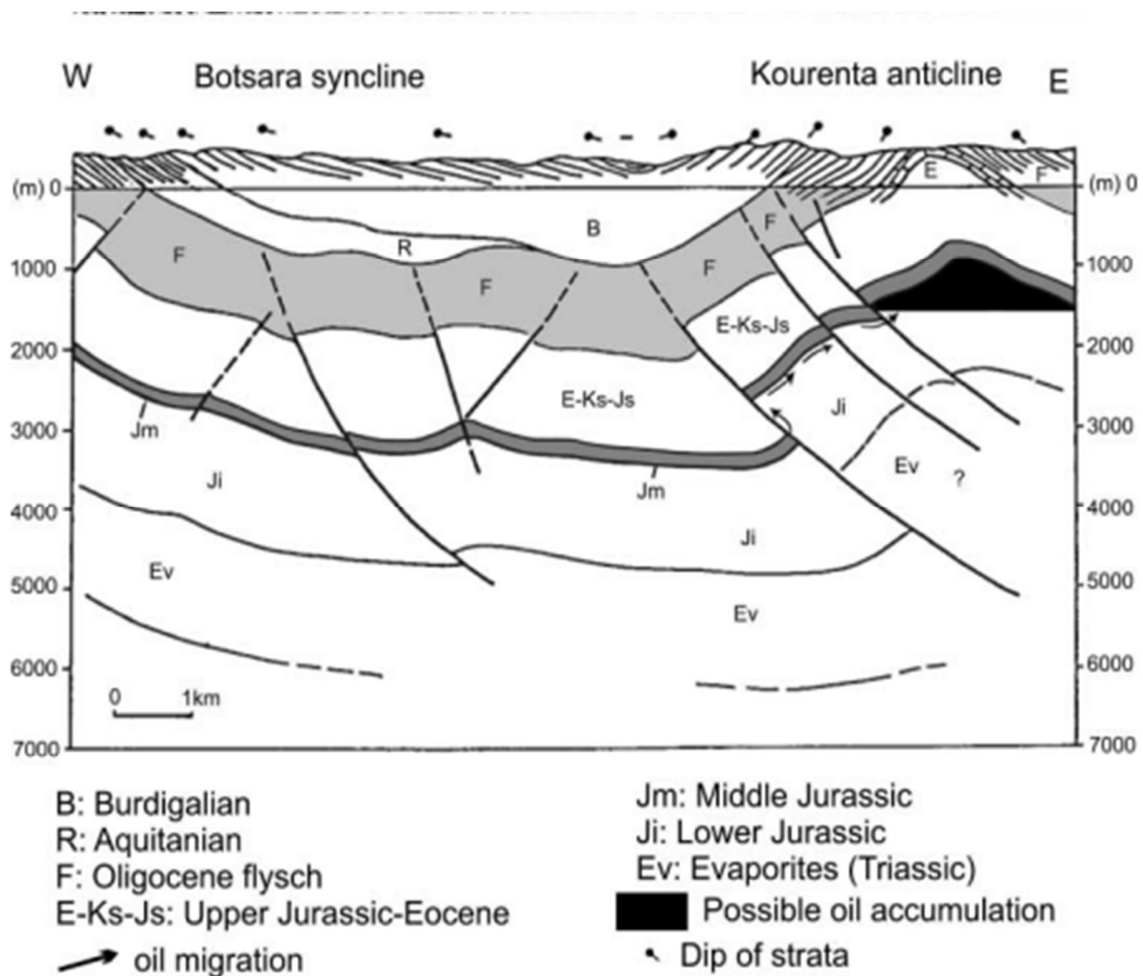
Τα περισσότερα επιφανειακά αντίκλινα στην Ιόνιο ζώνη έχουν υποστεί διάβρωση (βλ. Εικόνα 13), μετά το τέλος των ορογενετικών διεργασιών και την χέρσευση της λεκάνης, με αποτέλεσμα να χαθούν όποιες πιθανές συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων υπήρχαν. Αντίθετα, τα σύγκλινα δεν διαβρώθηκαν και έτσι σε αυτές τις θέσεις παραμένει η παρουσία των υποθαλάσσιων ριπιδίων της Ιονίου. Έτσι, περιοχές με μεγάλα σύγκλινα στην Ιόνιο ζώνη, τα οποία συνδυάζονται με μικρότερα αντίκλινα στο εσωτερικό τους, μπορούν να δημιουργήσουν παγίδες υδρογονανθράκων (Karakitsios, 2013).

Γενικά, όσο μεγαλύτερες οι συγκλινικές δομές, σε συνδυασμό με τις εφίππευσεις, τα κανονικά ρήγματα κλπ., τόσο καλύτερες οι προϋποθέσεις για τη δημιουργία ικανοποιητικών παγίδων υδρογονανθράκων. Τα μεγάλα σύγκλινα της Ιονίου, σε συνδυασμό με τη λεπιώδη τεκτονική και τα αναμενόμενα μικρότερα αντίκλινα στο εσωτερικό τους, δημιουργούν αρκετές δομές με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον.

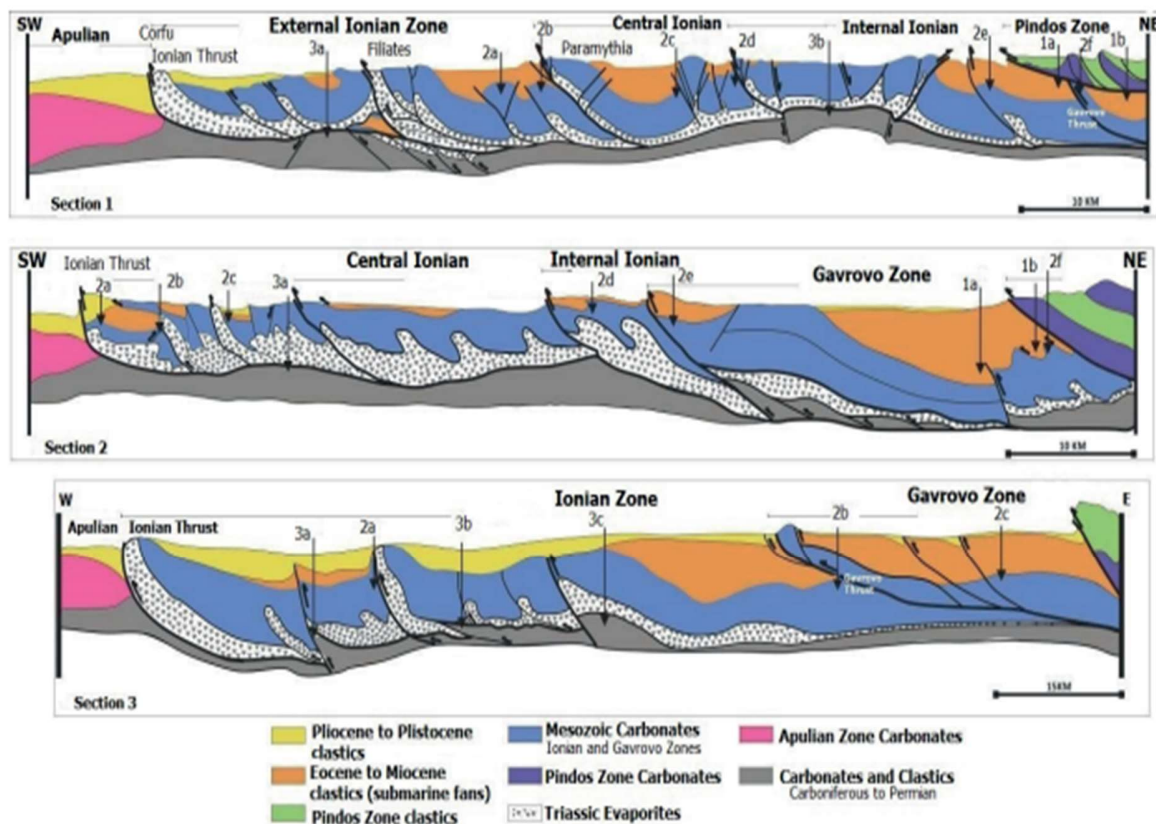
Οι αποθέσεις του Νεογενούς, δηλαδή τα παρόντα μέλη των υποθαλάσσιων ριπιδίων και οι μάργες της Ιονίου, αποτελούν επίσης σημαντικά καλύμματα (βλ. Εικόνα 14) πάνω από τα πιθανά ταμιευτήρια ανθρακικά πετρώματα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Συγκεκριμένα, τα Μειοκαινικά και Πλειοκαινικά πετρώματα συναντώνται στη περίπτωση του Κατάκολου Πελοποννήσου (Karakitsios, 2013). Σημαντικές παγίδες δημιουργούνται και στις εφίππευσεις της Ιονίου σε συνδυασμό με τους Τριαδικούς εβαπορίτες. (βλ. Εικόνα 14).

Σε μερικές συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπου οι σχηματισμοί έχουν συγκεκριμένο πάχος και τεκτονικές δομές, τα μητρικά πετρώματα μπορούν να λειτουργήσουν ως καλύμματα (Karakitsios, 2013). Παράδειγμα αποτελούν οι σχιστόλιθοι με Posidonia της Ιονίου ζώνης που αποτελούν σημαντικά μητρικά πετρώματα, αλλά λόγω του πάχους τους, της τεκτονικής συμπίεσης και της σωστής χρονικής στιγμής των διεργασιών, μπορούν να δημιουργήσουν παγίδες για τους υδρογονάνθρακες που γεννήθηκαν στους πηλόλιθους εντός των Τριαδικών εβαποριτών ή ακόμα και για τους υδρογονάνθρακες με προέλευση τους ίδιους τους σχιστόλιθους.

Σημαντικές παγίδες υπάρχουν και στις περιοχές που ελέγχονται από τα ΑΝΑ-ΔΝΔ ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης στην Ιόνιο ζώνη, μαζί με τα κλαστικά υλικά από την ορογενετική φάση. Παραδείγματα τέτοιων δομών αποτελούν η λεκάνη της Πρέβεζας και η Κεφαλονιά (Zelilidis et al. 2015, Zelilidis et al. 2003). Επίσης, κλαστικά ιζήματα πλούσια σε άργιλο εντοπίζονται στην κεντρική Ιόνιο ζώνη και ίσως αποτελούν καλύμματα για την κατώτερη λιθολογία (Zelilidis et al. 2015).



Εικόνα 13: Γεωλογική τομή με παράδειγμα σύγκλινου, που δεν έχει διαβρωθεί σε σχέση με το γειτονικό αντίκλινο, και φέρει μικρότερα αντίκλινα στο εσωτερικό του, τα οποία μπορούν να δημιουργήσουν σημεία ενδιαφέροντος (Karakitsios, 2013).



Εικόνα 14: Γεωλογικές τομές κατά μήκος της Ιονίου ζώνης. Διακρίνονται οι παγίδες που δημιουργούνται μεταξύ των εβαποριτών, των αποθέσεων υποθαλάσσιων ριπιδίων και της λεπιώδους τεκτονικής. Με βέλη επισημαίνονται οι θέσεις ενδιαφέροντος για συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων (Zelilidis et al. 2015).

3.4 Ιστορικό ερευνών και μελλοντικές προοπτικές για τη Δυτική Ελλάδα

Οι έρευνες πετρελαίου και φυσικού αερίου στη Δυτική Ελλάδα ξεκίνησαν από τον 20ο αιώνα σε περιοχές κυρίως της Ιονίου ζώνης, αλλά και στη Ζάκυνθο με την επιφανειακή εμφάνιση της Προαπούλιας. Πραγματοποιήθηκαν κυρίως σε σημεία όπου είχαν παρατηρηθεί διαρροές υδρογονανθράκων προηγουμένως. Περισσότερες από 70 ερευνητικές γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν συνολικά, αλλά μόνο μία από αυτές (Κατάκολο 1982, Ιόνιος ζώνη) απέδωσε ενθαρρυντικά δείγματα οικονομικής βιωσιμότητας (Mavromatidis et al. 2004). Πέρα από τα γεωτρητικά προγράμματα, πραγματοποιήθηκαν επίσης σεισμικές διασκοπήσεις συνολικού μήκους 73.000km (2D) και 2.500km² (3D) (Zelilidis et al. 2015).

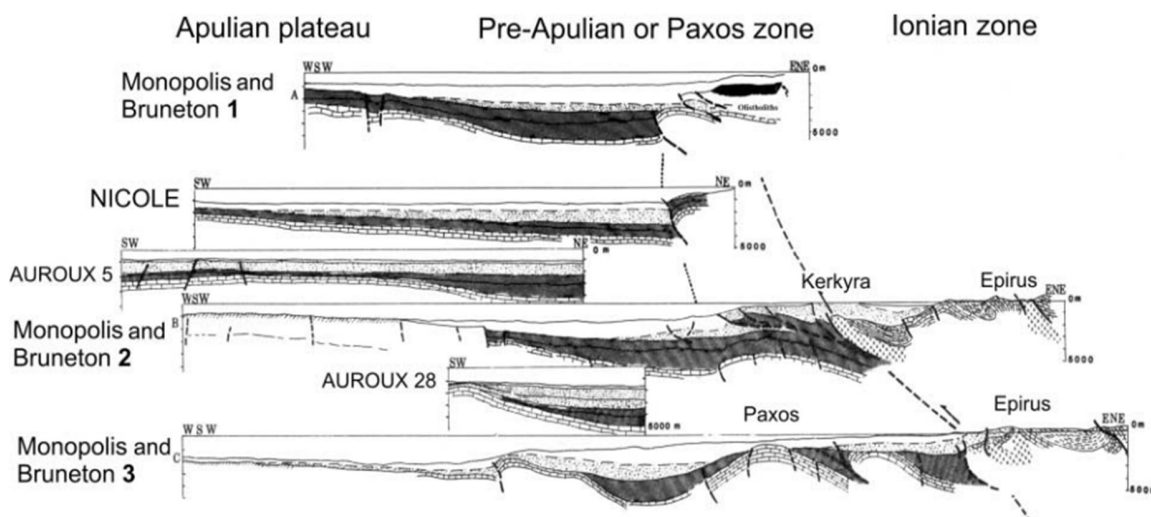
Η Ήπειρος, η Αιτωλοακαρνανία και η Δυτική-Κεντρική Πελοπόννησος αποτελούν τις γενικές χερσαίες περιοχές στις οποίες θα πρέπει να πραγματοποιηθούν σεισμικές έρευνες και

ερευνητικές γεωτρήσεις (βλ. Εικόνα 14) στη Δυτική Ελλάδα. Ο σκοπός των ερευνών θα είναι ο εντοπισμός αντικλινικών ή άλλων ειδών παγίδων, που θα μπορούσαν να φέρουν συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων στη λεκάνη προχώρας της Πίνδου, σε συνδυασμό με τη λεπιώδη τεκτονική της περιοχής και με τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης.

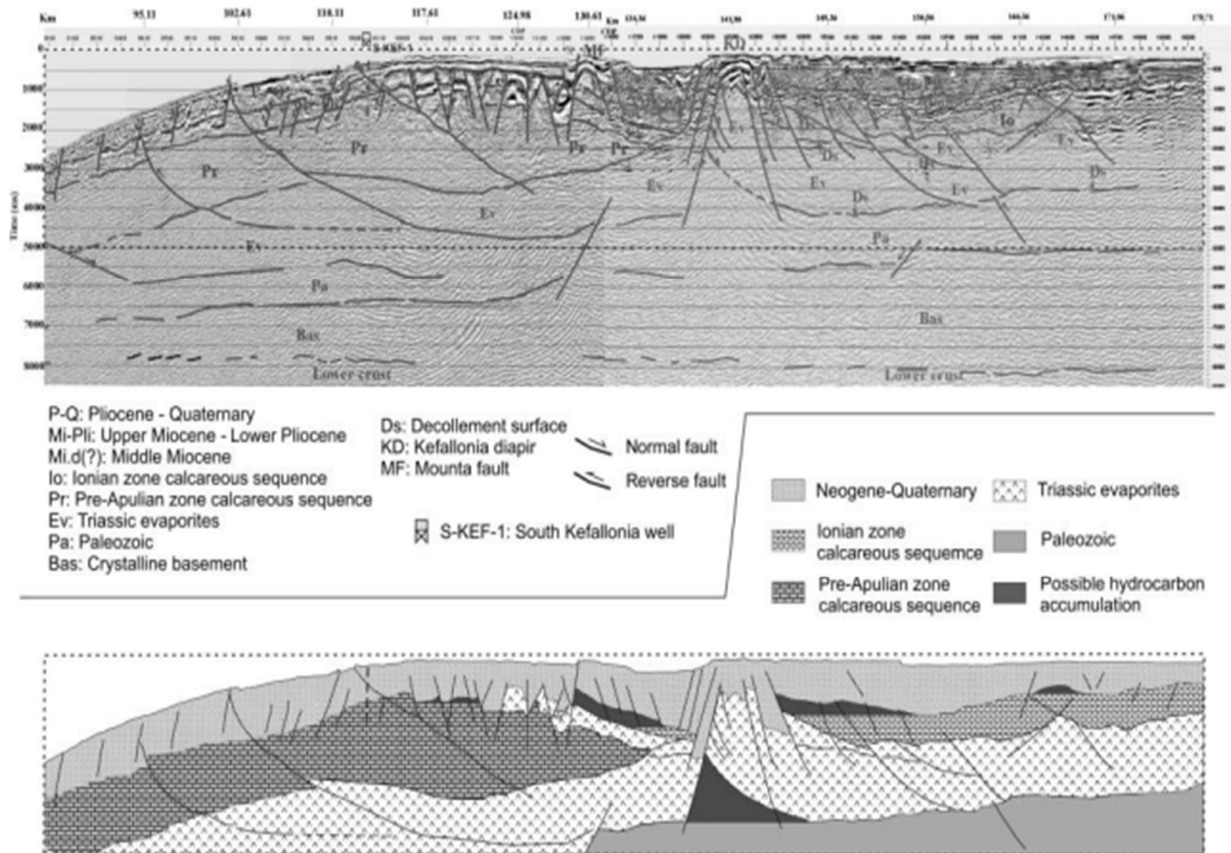
Πιο συγκεκριμένα, παραδείγματα αποτελούν το ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης της Αγίας Κυριακής που μπορεί να δώσει αντικλινικές δομές και το σύγκλινο της Ηπείρου μαζί με το σύγκλινο της Ακαρνανίας που ικανοποιούν τις αναγκαίες συνθήκες για παγίδευση υδρογονανθράκων, σε μία περιοχή συνολικών διαστάσεων περίπου 2.000km², λόγω του εντοπισμού των ασβεστόλιθων "Βίγλας" και των σχιστόλιθων με Posidonia με υψηλό συντελεστή ωριμότητας (Zelilidis et al. 2015 and Karakitsios, 2013). Οι ασβεστόλιθοι της περιοχής συνεχίζουν πλευρικά προς τη ζώνη Γαβρόβου, μόνο που εκεί εντοπίζονται με υψηλότερο πορώδες και διαπερατότητα, με αποτέλεσμα την πιθανή δευτερογενή μετανάστευση των υδρογονανθράκων στα ανθρακικά πετρώματα της ζώνης Γαβρόβου. (Karakitsios, 2013)

Οι πιο υποσχόμενες υποθαλάσσιες περιοχές (Karakitsios, 2013) της Δυτικής Ελλάδας, για μελλοντικές έρευνες, είναι πολυπληθής και συνοπτικά πρόκειται για: δομές παγίδευσης που εντοπίζονται στη Προαπούλια ζώνη δυτικά της Κέρκυρας (βλ. Εικόνα 15, Monopolis and Bruneton 2), δομές παγίδευσης της Ιονίου και της Προαπούλιας (βλ. Εικόνα 16) και τα μεγάλα αντίκλινα στο Ελληνικό τμήμα της Απούλιας πλατφόρμας (βλ. Εικόνα 15, AUROUX 5).

Η ασβεστολιθική σειρά του Μεσοζωικού και έως του Ηωκαίνου στην Ιόνιο και Προαπούλια ζώνη αποτελούν τα αναμενόμενα ταμιευτήρια πετρώματα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Τα πετρώματα-καλύμματα αναμένεται να είναι οι αποθέσεις κλαστικής ιζηματογένεσης και οι εβαπορίτες του Μεσσηνίου και του Τριαδικού, ανάλογα την τοποθεσία.



Εικόνα 15: Γεωλογικές τομές από δεδομένα σεισμικών ερευνών στις οποίες φαίνονται οι πιθανές δομές παγίδευσης (Karakitsios, 2013, τροποποιημένο από πλήθος άλλων μελετητών).



Εικόνα 16: Γεωλογική τομή της Ιονίου από τα παραπάνω σεισμικά δεδομένα όπου φαίνονται οι παγίδες και οι πιθανές θέσεις συγκέντρωσης υδρογονανθράκων (Karakitsios, 2013, αρχικά από Kokinou, Ph.D. thesis, 2002).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Ανάλογα Πετρελαϊκά Συστήματα της Αλβανίας και της Ανατολικής Ιταλίας

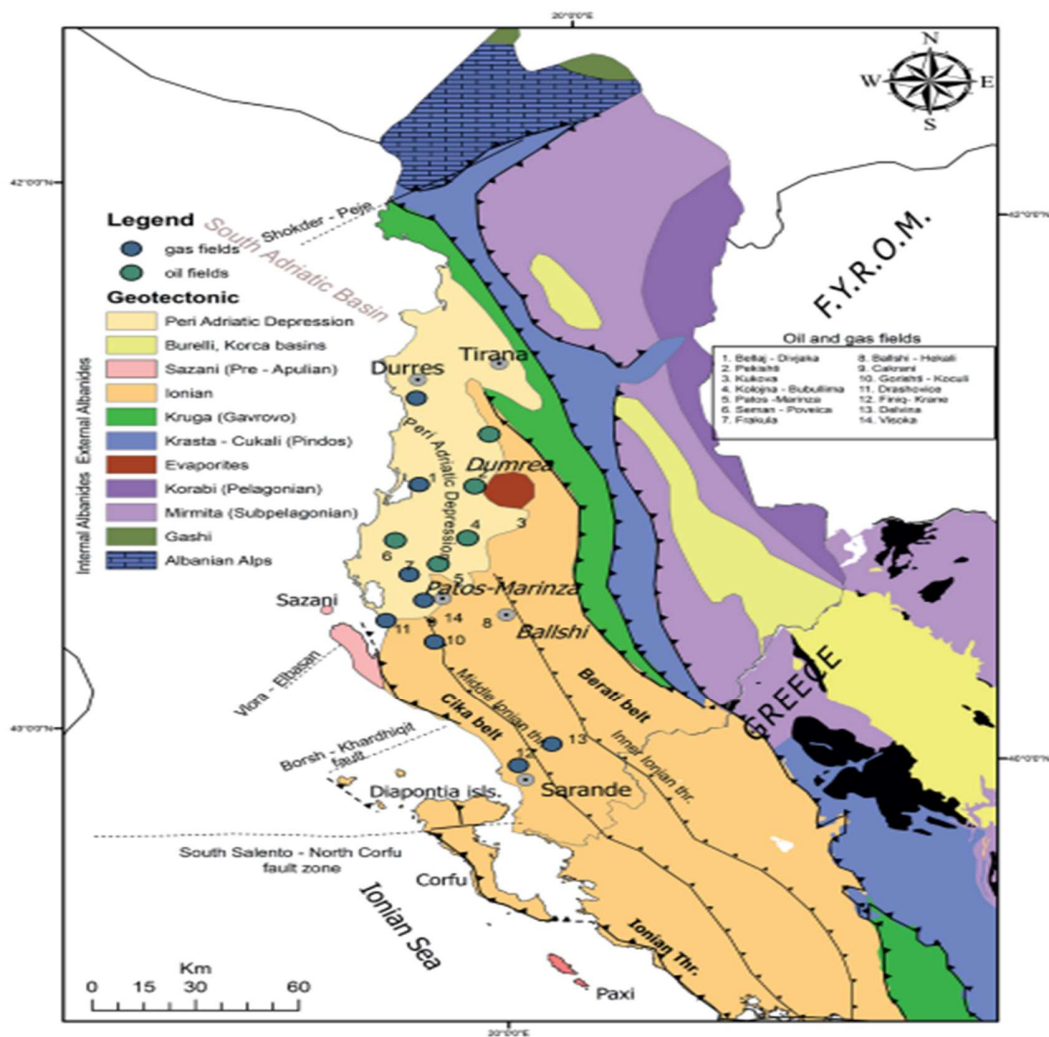
4.1 Γενική Γεωλογία της Αλβανίας

Ο Αλβανικός χώρος αποτελεί συνέχεια των Εξωτερικών Ελληνίδων ζωνών, της Ύπο-Πελαγονικής και Πελαγονικής ζώνης των Εσωτερικών Ελληνίδων και της Μεσοελληνικής Αύλακας προς τα Βόρεια (βλ. Εικόνα 17). Ως αποτέλεσμα, η γεωλογία και η γεωτεκτονική εξέλιξη της περιοχής είναι παρόμοιες με την Δυτική και Κεντρική Ελλάδα και το πετρελαϊκό ενδιαφέρον συγκεντρώνεται στις αντίστοιχες τεκτονικές δομές στις λεκάνες ιζηματογένεσης στη Δυτική Αλβανία.

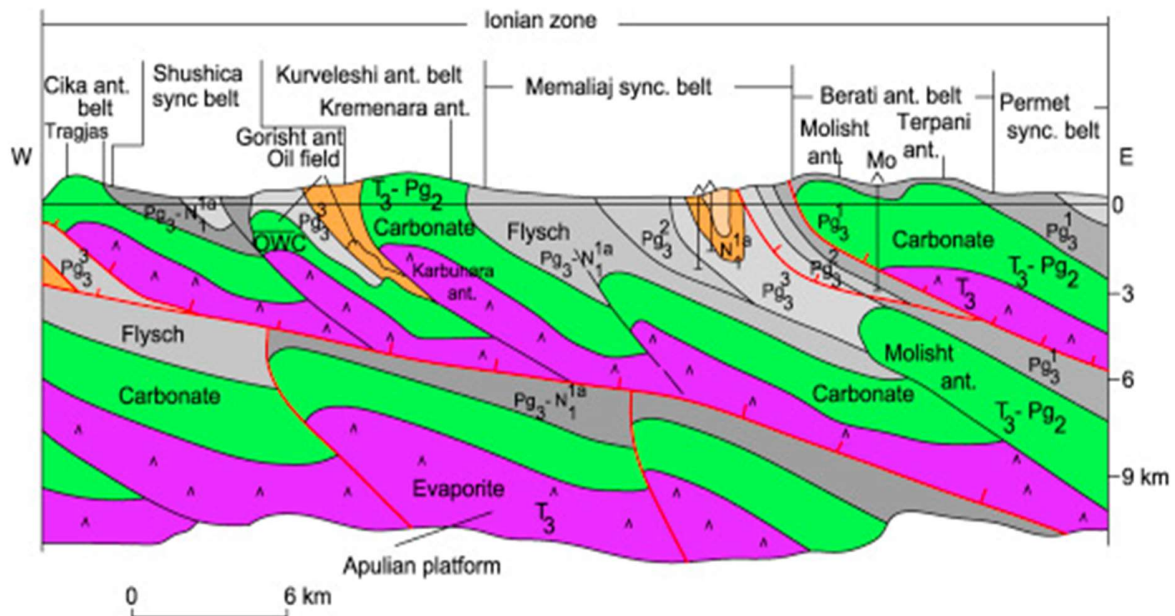
Η ζώνη Παξών (ζώνη Sazani στην Αλβανία) εντοπίζεται σε ελάχιστες χερσαίες θέσεις, αντίστοιχα με τον Ελληνικό χώρο, και είναι κυρίως υποθαλάσσια. Η Ιόνιος ζώνη, η ζώνη

Γαβρόβου (ζώνη Kruja στην Αλβανία) και η ζώνη Πίνδου (ζώνη Krusta-Cukali στην Αλβανία) φέρουν επίσης τις χαρακτηριστικές δομές συμπίεσης (λεπιώσεις, πτυχώσεις) από τη συμπίεση που δέχθηκαν οι ιζηματογενείς σειρές του ανατολικού περιθωρίου της Απούλιας μικροπλάκας και τη τεκτονική μετακίνηση τους κατά την Αλπική ορογενετική διαδικασία (βλ. Εικόνα 18). Οι Τριαδικοί εβαπορίτες εντοπίζονται επίσης στην βάση των εφιππεύσεων ή επωθήσεων και παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της περιοχής και τη δημιουργία αποτελεσματικών παγίδων υδρογονανθράκων.

Οι κυριότερες λεκάνες ιζηματογένεσης είναι η λεκάνη προχώρας της Πίνδου και της Ιονίου-Αδριατικής. Παραδείγματα τοπικών διαχωρισμών αυτών είναι η λεκάνη του Δυρραχίου (χερσαία), η λεκάνη της Νότιας Αδριατικής (κυρίως υποθαλάσσια) κ.α. Εντοπίζονται να καλύπτουν μέρος των ζωνών Ιονίου και Γαβρόβου και φέρουν τυπικές παχιές αποθέσεις Ολιγοκαινικών έως και Πλειοκαινικών υποθαλάσσιων ριπιδίων, με σημαντικές εναλλαγές ψαμμιτών και αργίλων (Velaž, 2015). Η επικάλυψη τους γίνεται με Τεταρτογενείς αποθέσεις ιζημάτων.



Εικόνα 17: Γεωλογικός χάρτης της Αλβανίας με σημειωμένες τις τοποθεσίες των διάφορων πετρελαϊκών κοιτασμάτων (Zelilidis et al. 2015, τροποποιημένο από Zelilidis et al. 2003, Velaj, 2012).

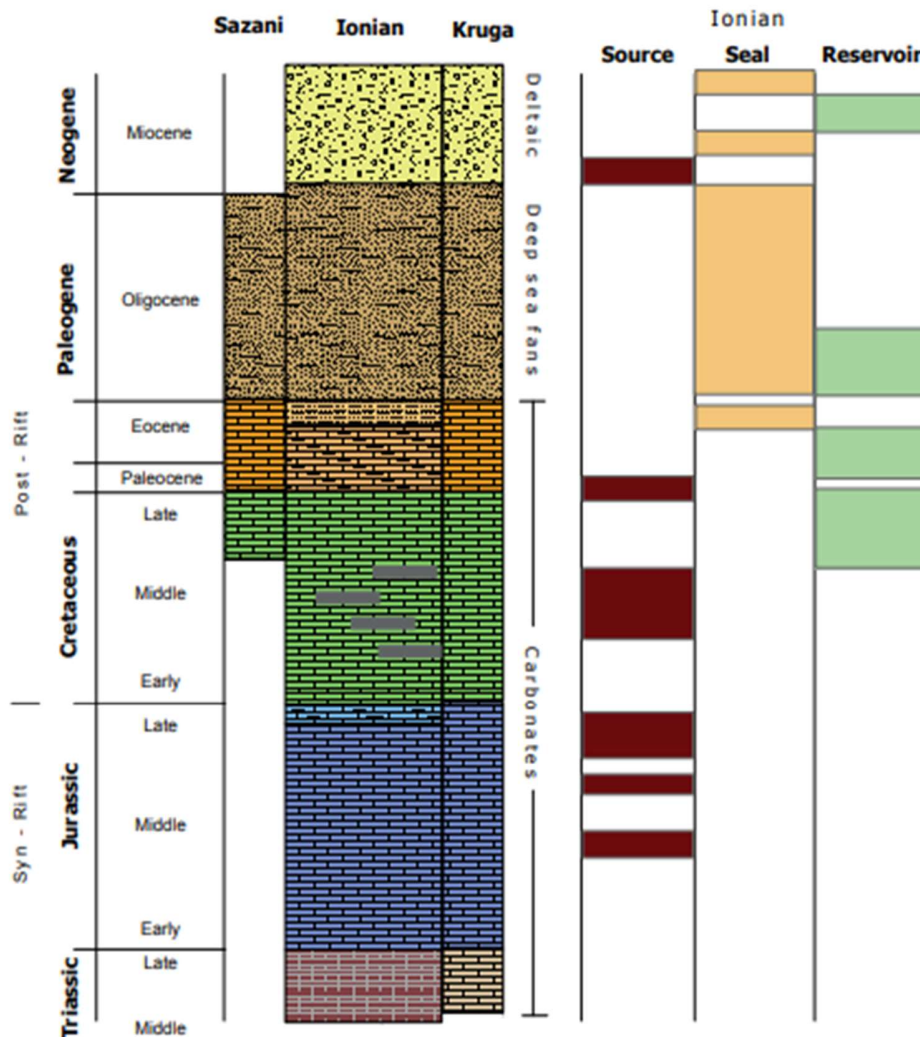


Εικόνα 18: Γεωλογική τομή της Ιονίου ζώνης από την Αλβανία. Διακρίνονται οι χαρακτηριστικές συμπίεστικές δομές της Ιονίου και η σχέση της με την Απούλια πλατφόρμα (Telo Velaj, 2015).

Συγκεκριμένα (βλ. Εικόνα 19), για την Ιόνιο ζώνη, οι ιζηματογενείς σειρές που σχετίζονται με τις φάσεις πριν και κατά τη διάνοιξη ωκεανού (pre- και syn-rift) αποτέθηκαν κατά το Άνω Τριαδικό-Άνω Ιουρασικό και εντοπίζονται να έχουν πάχος έως και 10km (Zelilidis et al. 2015). Κατώτερα βρίσκεται η εβαποριτική φάση μαζί με εναλλαγές με πηλόλιθους-σχιστόλιθους πλούσιους σε οργανικό υλικό. Ανθρακικά πετρώματα με προέλευση ρηχής θαλάσσιας λεκάνης εντοπίζονται στις ζώνες Sazani και Kruja με ηλικία Ανώτερο Τριαδικό-Κατώτερο Ιουρασικό και αποτελούνται από πελαγικούς ασβεστόλιθους και Ammonitico Rosso (ερυθροί ασβεστόλιθοι με Αμμωνίτες και μάργες) (Zelilidis et al. 2015). Ανώτερα, έως και το Μειόκαινο, εντοπίζονται κατά σειρά πελαγικοί ασβεστόλιθοι, διάφορα ανθρακικά υλικά, μία μεταβατική ζώνη με μάργες και φάση ιζηματογένεσης υποθαλάσσιων ριπιδίων ως αποτέλεσμα της Αλπικής ορογένεσης, όπως και στον Ελληνικό χώρο.

Η λεκάνη του Δυρραχίου της Δυτικής Αλβανίας φέρει παχιές αποθέσεις μαργών, αργίλων, ψαμμιτών και ασβεστόλιθων, ηλικίας Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου, που βρίσκονται σε ασυμφωνία με το δυτικό μέρος της ζώνης Kruja, αλλά απουσιάζουν στη περιοχή της Ιονίου ζώνης, εκτός από κάποιες συγκεκριμένες θέσεις ανάμεσα σε εφιππεύσεις (Velaj, 2012). Το πάχος της λεκάνης

αυξάνεται προς τα δυτικά, όπου και συγχωνεύεται με την λεκάνη της Νότιας Αδριατικής, η οποία επικαλύπτει την Απούλια πλατφόρμα (Zelilidis et al. 2015).



Εικόνα 19: Στρωματογραφική στήλη από τη Δυτική Αλβανία με σημειωμένα τα μητρικά πετρώματα, τους ταμιευτήρες και τα καλύμματα (Zelilidis et al. 2015, τροποποιημένο από Zelilidis et al. 2003).

4.2 Ανάλογα Πετρελαϊκά Συστήματα της Αλβανίας και Μελλοντικές Προοπτικές

Στον αλβανικό χώρο έχουν ανακαλυφθεί πολυάριθμα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου με τη συντριπτική πλειοψηφία αυτών να βρίσκεται στη λεκάνη του Δυρραχίου (βλ.

Εικόνα 17, λεκάνη Δυρραχίου (= Peri-Adriatic Depression). Τα περισσότερα κοιτάσματα πετρελαίου βρίσκονται σε πετρώματα-ταμιευτήρες της Ιονίου ζώνης, με εξαιρέσεις τα κοιτάσματα Kucova και Patos-Marinza, όπου προέρχονται από ταμιευτήρια πετρώματα εντός της λεκάνης του Δυρράχιου (Zelilidis et al. 2015).

Τα σημαντικότερα κοιτάσματα, μεταξύ άλλων, είναι το κοιτάσμα Patos-Marinza (το μεγαλύτερο χερσαίο κοιτάσμα στην Ευρώπη, βλ. Εικόνα 20) με 11,850 βαρέλια/ημέρα και το κοιτάσμα Durres με αποθέματα περίπου 1950 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου και 958×109 κυβικά πόδια φυσικού αερίου (Zelilidis, Maravelis 2015). Συγκεκριμένα, για το κοιτάσμα Patos-Marinza, τα πετρώματα-ταμιευτήρες είναι ψαμμίτες με πορώδες της τάξης του 10 έως 30% και με διαπερατότητα έως 2D (Zelilidis et al. 2015).

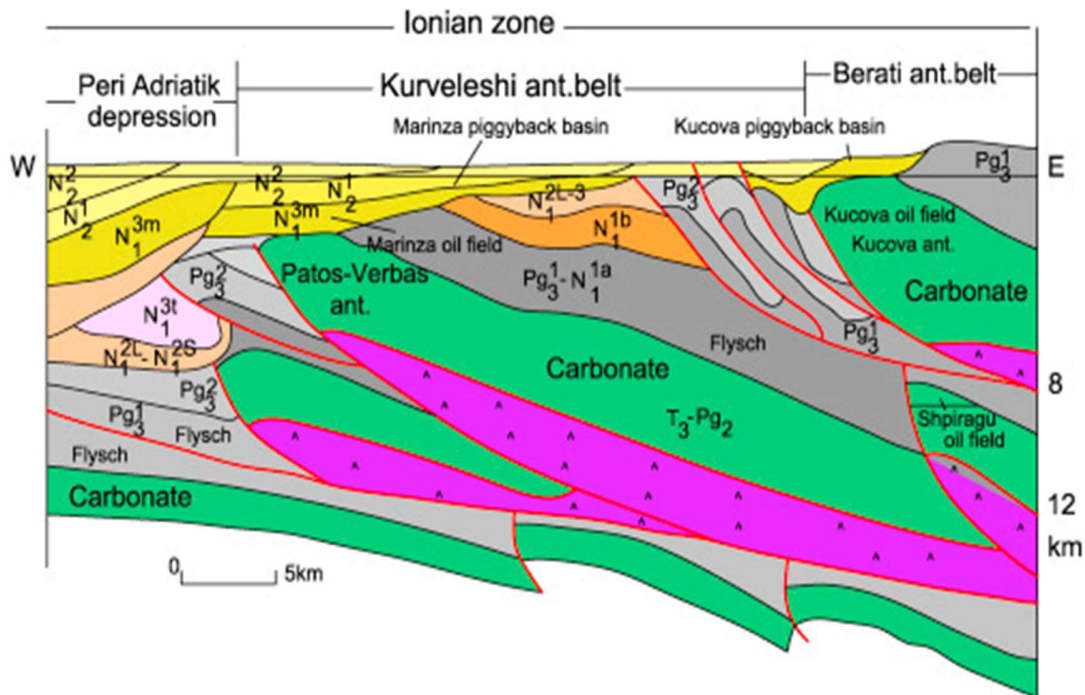
Τα μητρικά πετρώματα της Ιονίου ζώνης (βλ. Εικόνα 19), στον Αλβανικό χώρο, είναι τα ανθρακικά πετρώματα ηλικίας Άνω Τριαδικό-Κάτω Ιουρασικό και οι πηλόλιθοι από το Μέσο Ιουρασικό έως και το Κάτω Κρητιδικό. Τα ανθρακικά βρέθηκαν να έχουν TOC έως 29% και οργανική ύλη τύπου I, ενώ τα μητρικά του Κάτω Κρητιδικού έχουν TOC έως 20% και οργανική ύλη τύπου I-III η οποία είναι λιγότερο ώριμη σε σχέση με τη περίπτωση των ανθρακικών (Zelilidis et al. 2015). Το πάχος των σχηματισμών είναι αρκετό ώστε να προσφέρει τη δυνατότητα γένεσης και ωρίμανσης του κηρογόνου.

Τα ταμιευτήρια πετρώματα, σε όλες τις περιπτώσεις, είναι ένας συνδυασμός κλαστικών υλικών και των Κρητιδικών-Ηώκαινικών ασβεστόλιθων με πορώδες που ίσως να είναι αυξημένο λόγω ασυνεχειών στους σχηματισμούς (βλ. Εικόνα 19).

Τα πετρώματα-καλύμματα της Ιονίου ζώνης, στον Αλβανικό χώρο, είναι κυρίως τα προϊόντα της ιζηματογένεσης υποθαλάσσιων ριπιδίων στο Ολιγόκαινο και οι Τριαδικοί εβαπορίτες στη βάση των επιπεύσεων. Στη λεκάνη του Δυρραχίου, τα καλύμματα για το φυσικό αέριο (Zelilidis et al. 2015), είναι κυρίως οι πηλόλιθοι του Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου.

Γενικά, όλες οι περιοχές στις οποίες υπήρξε ανακάλυψη υδρογονανθράκων στην Αλβανία, έχουν τεκτονικές παγίδες που σχετίζονται με τις λεπιώσεις των εξωτερικών Αλβανίδων και Ελληνίδων ζωνών. Οι τεκτονικές διεργασίες κατά το Παλαιογενές-Νεογενές δημιούργησαν παγίδες, στο νοτιο-ανατολικό περιθώριο της λεκάνης του Δυρραχίου, με την εκτεταμένη θραύση και το εκτεταμένο σπάσιμο των ανθρακικών πετρωμάτων, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για τη παγίδευση των κοιτασμάτων φυσικού αερίου που συναντώνται σήμερα στη περιοχή (Zelilidis et al. 2015).

Ως προς τις μελλοντικές προοπτικές, για την εύρεση περαιτέρω αποθεμάτων υδρογονανθράκων στην Αλβανία, το περισσότερο ενδιαφέρουν συγκεντρώνουν περιοχές που φέρουν συμπιεστικές δομές από τη δράση εβαποριτών ή τεκτονικών διεργασιών. Επιπλέον, υπάρχει η πιθανότητα εύρεσης επιπλέον αποθεμάτων πετρελαίου στις γνώστες δομές των κλαστικών υλικών και των κατώτερων ανθρακικών σχηματισμών. Για περιπτώσεις φυσικού αερίου, τις περισσότερες πιθανότητες φέρουν οι αποθέσεις πηλόλιθων του Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου.



Εικόνα 20: Γεωλογική τομή από τη περιοχή του κοιτάσματος Patos-Marinza (Telo Velaj, 2015).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Δυτική Ελλάδα φέρει αρκετά καλές πιθανότητες για εύρεση κοιτασμάτων υδρογονανθράκων σε μελλοντικές έρευνες. Ο κυριότερος λόγος που οδηγεί σε αυτό το συμπέρασμα είναι το πλούσιο ιστορικό ανακαλύψεων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων στην Αλβανία, με τη συντριπτική πλειοψηφία αυτών να έχουν βρεθεί σε περιοχές με παρόμοια γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη με την Ιόνιο και τη Προ-Απούλια ζώνη. Επιπλέον, η παρουσία πολλαπλών διαρροών πετρελαίου ή αερίου στη Δυτική Ελλάδα σε συνδυασμό με την ευνοϊκή τεκτονική και την ύπαρξη πιθανών κατάλληλων μητρικών, ταμιευτήριων πετρωμάτων και καλυμμάτων δημιουργούν ενεργά πετρελαϊκά συστήματα που πληρούν όλες τις προϋποθέσεις για τη γένεση, την ωρίμανση, τη μετανάστευση και τη παγίδευση υδρογονανθράκων.

Η γεωλογία των εξωτερικών Ελληνίδων ζωνών και κυρίως της Ιονίου ζώνης, είναι τέτοια που ευνοεί τη παρουσία πολλαπλών τεκτονικών δομών παγίδευσης. Η λεπιώδης τεκτονική με τις επωθήσεις, τις εφιππεύσεις και τις πτυχώσεις, τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης σε Πρέβεζα και Κεφαλονιά και ο ρόλος των εβαποριτών στις βάσεις των εφιππεύσεων συνιστούν τις παγίδες που συναντώνται στη περιοχή μελέτης. Αντίστοιχα και για τη ζώνη Παξών, στην οποία οι παγίδες είναι κυρίως αντικλινικές-συγκλινικές δομές.

Τα πιο υποσχόμενα μητρικά πετρώματα της Δυτικής Ελλάδας είναι οι Τριαδικοί πηλόλιθοι, οι σχιστόλιθοι με Posidonia, οι πηλόλιθοι του σχηματισμού "Βίγλας" και οι νεότερες αποθέσεις υποθαλάσσιων ριπιδίων για την Ιόνιο ζώνη, ενώ για την Προ-Απούλια ζώνη είναι διάφοροι

σχηματισμοί Ιουρασικής ηλικίας και μάργες, μαργαϊκοί ασβεστολίθοι και ψαμμίτες Μειοκαίνου και Πλειοκαίνου.

Τα πιο σημαντικά πετρώματα-ταμιευτήρες στη Δυτική Ελλάδα είναι κυρίως τα ανθρακικά πετρώματα του Μεσοζωικού και του Παλαιογενούς για τις δύο ζώνες με παράδειγματα να αποτελούν οι ασβεστόλιθοι "Βίγλας" και οι ασβεστόλιθοι "Παντοκράτορα" μεταξύ άλλων και επιπλέον το Τριαδικό κροκαλοπαγές επίκλυσης και οι ψαμμιτικές φάσεις στη ιζηματογενή φάση των υποθαλάσσιων ριπιδίων για την Ιόνιο ζώνη και οι Ολιγοκαινικοί ή νεότεροι τουρβιδίτες της Προ-Απούλιας ζώνης.

Οι Τριαδικοί εβαπορίτες, οι φακοί εβαποριτών του Μεσσηνίου και οι μάργες με ενάλλαγες με ψαμμίτες αποτελούν τα σημαντικότερα πετρώματα-καλύμματα στη ζώνη Παξών. Επίσης οι Τριαδικοί εβαπορίτες έχουν σημαντικό ρόλο ως καλύμματα και στην Ιόνιο ζώνη, όπου βρίσκονται κυρίως στις βάσεις των επιπτεύσεων, μαζί με αποθέσεις Νεογενούς, όπως οι φάσεις υποθαλάσσιων ριπιδίων, οι μάργες της ζώνης και κλαστικά υλικά πλούσια σε άργιλο για τις παλαιότερες λιθολογίες. Τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης σε Πρέβεζα και Κεφαλονιά μπορούν επίσης να δώσουν δομές παγίδευσης σε συνδυασμό με κλαστικά ιζήματα από την ορογενετική διεργασία.

Όσον αφορά την Αλβανία, έχουν βρεθεί πολυάριθμα κοιτάσματα, κυρίως στη λεκάνη του Δυρράχιου που αποτελεί μέρος της ευρύτερης λεκάνης προχώρας της Πίνδου. Τα σημαντικότερα είναι το κοιτάσμα Patos-Marinza και το κοιτάσμα Durrës με σημαντικές ποσότητες επιβεβαιωμένων αποθεμάτων υδρογονανθράκων. Τα κυριότερα μητρικά πετρώματα στον Αλβανικό χώρο είναι ανθρακικά του Άνω Τριαδικού-Κάτω Ιουρασικού και οι πηλόλιθοι του Μ. Ιουρασικού-Κ. Κρητιδικού. Τα πετρώματα ταμιευτήρες είναι κυρίως διάφορα κλαστικά ιζήματα και τα ανθρακικά Κρητιδικού-Ηωκαίνου. Οι Τριαδικοί εβαπορίτες, μέλη της ιζηματογένεσης υποθαλάσσιων ριπιδίων και πηλόλιθοι Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου συνιστούν τα κυριότερα καλύμματα.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, οι μελλοντικές έρευνες για υδρογονάνθρακες στη Δυτική Ελλάδα τις επόμενες δεκαετίες είναι πιθανό να αποδώσουν καλά αποτελέσματα. Είναι κρίσιμης σημασίας να εξαντληθούν όλες οι πιθανότητες για τη πιθανή παρουσία κοιτασμάτων στη περιοχή μελέτης, με τις σεισμικές διασκοπήσεις και με ερευνητικές γεωτρήσεις από εταιρείες κολοσσούς ή από το κράτος. Μελλοντικές ανακαλύψεις κοιτασμάτων στη Δυτική Ελλάδα μπορούν να παρέχουν σημαντική οικονομική βοήθεια προς τη Ελλάδα και μία ευκολότερη και ασφαλέστερη μετάβαση προς την εποχή της πράσινης ενέργειας για την Ευρωπαϊκή Ένωση.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γεωργακόπουλος, Α., 2020, Έρευνα και Εκμετάλλευση Υδρογονανθράκων.
- Μουντράκης, Δ., 2020, Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας.

ΑΓΓΛΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Dembicki Jr, H., 2017, Practical Petroleum Geochemistry for Exploration and Production.
- Gluyas, J., Swarbrick, R., 2004, Petroleum Geoscience.
- Horsfield, B., Rullkötter, J., 1994, Diagenesis, Catagenesis, and Metagenesis of Organic Matter.
- Karakitsios, V., 1995, The Influence of Preexisting Structure and Halokinesis on Organic Matter Preservation and Thrust System Evolution in the Ionian Basin, Northwestern Greece.
- Karakitsios, V., 2013, Western Greece and Ionian Sea Petroleum Systems.
- Karakitsios, V., Rigakis, N., 2007, Evolution and Petroleum Potential of Western Greece.
- Kokinou, E., 2002, Processing and Interpretation of Deep Seismic Reflection Data in the Ionian Sea: Ph.D. thesis.
- Konstantopoulos, P., Zelilidis, A., 2012, The Geodynamic Evolution of Pindos Foreland Basin in SW Greece: Tectonic and Sedimentary Evolution.
- Maravelis, A., Makrodimitras, G., Zelilidis, A., 2012, Hydrocarbon Prospectivity in Western Greece.
- Maravelis, A., Makrodimitras, G., Pasadakis, N., Zelilidis, A., 2014, Stratigraphic Evolution and Source Rock Potential of a Lower Oligocene to Lower–Middle Miocene Continental Slope System, Hellenic Fold and Thrust Belt, Ionian Sea, Northwest Greece.
- Mavromatidis, A., 2009, Review of Hydrocarbon Prospectivity in the Ionian Basin, Western Greece.
- Mavromatidis, A., Kelessidis, V.C., Monopolis, D.G., 2004, A Review of Recent Hydrocarbon Exploration in Greece and its Potential.
- Rigakis, N., Karakitsios, V., 1998, The Source Rock Horizons of the Ionian Basin (NW Greece).
- Selley, R., 1998, Elements of Petroleum Geology, Second Edition.
- Velaj, T., 2012, Tectonic Style and Hydrocarbon Evaluation of Duplex Kruja Zone in Albania.
- Velaj, T., 2015, New ideas on the Tectonic of the Kurveleshi Anticlinal Belt in Albania, and the Perspective for Exploration in its Subthrust.
- Zelilidis, A., Maravelis, A., 2015, Adriatic and Ionian Seas: Proven Petroleum Systems and Future Prospects.
- Zelilidis, A., Maravelis, A., Tserolas, P., Konstantopoulos, P.A., 2015, An Overview of the Petroleum Systems in the Ionian Zone, Onshore NW Greece and Albania.
- Zelilidis, A., Piper, D.J.W., Vakalas, I., Avramidis, P., Getsos, K., 2003, Oil and Gas Plays in Albania: Do Equivalent Plays exist in Greece?
- Zoumpouli, E., Maravelis, A., Iliopoulos, G., Botziolis, C., Zygouri, V., Zelilidis, A., 2022, Re-Evaluation of the Ionian Basin Evolution during the Late Cretaceous to Eocene (Aetoloakarnania Area, Western Greece).

