



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΗΜΗΤΡΑ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ

ΧΡΗΣΤΟΣ ΤΣΑΓΚΑΡΛΗΣ

Συμβατικοί και μη συμβατικοί Υδρογονάνθρακες

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017



ΔΗΜΗΤΡΑ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ

ΧΡΗΣΤΟΣ ΤΣΑΓΚΑΡΛΗΣ

ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας

Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Καθηγητής Ανδρέας Γεωργακόπουλος



© Δήμητρα Παπανικολάου, Χρήστος Τσαγκαρλής

Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ

ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξολοκλήρου 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 ΑΠΘ.



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους εκείνους που στάθηκαν δίπλα μας κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μας εργασίας.

Πιο συγκεκριμένα, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Ανδρέα Γεωργακόπουλο, Καθηγητή Κοιτασματολογίας στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, για τις συμβουλές του, την καθοδήγηση του και την ουσιαστική στήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας, οι οποίες πίστεψαν στις δυνάμεις μας και στάθηκαν αρωγοί στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής και μας στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
2. ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ	
2.1 Περίληψη	10
2.2 Μητρικά πετρώματα και γένεση Υδρογονανθράκων	11
2.3 Κηρογόνο: σύσταση και τύποι	13
2.4 Στάδια σχηματισμού υδρογονανθράκων	16
2.5 Μετανάστευση και Παγίδευση υδρογονανθράκων.....	18
2.6 Ταμιευτήρες.....	22
2.7 Βιογενές Μεθάνιο	25
3. ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ	
3.1 Περίληψη.....	27
3.2 Τύποι μη συμβατικών υδρογονανθράκων.....	28
3.3 Εκμετάλλευση των μη συμβατικών υδρογονανθράκων	36
3.4 Το μέλλον των μη συμβατικών υδρογονανθράκων.....	38
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	39
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

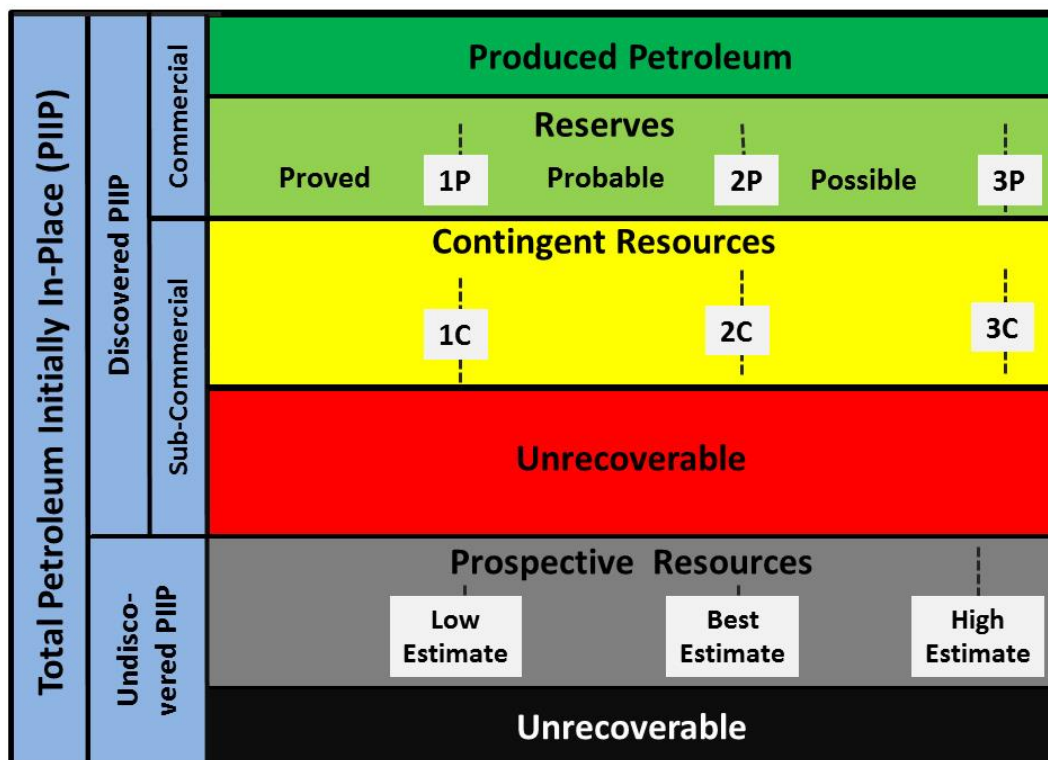
Υδρογονάνθρακες ονομάζονται οι οργανικές ενώσεις, που περιέχουν μόνο υδρογόνο (H) και άνθρακα (C). Η πλειονότητα των υδρογονανθράκων που χρησιμοποιείται από τους ανθρώπους στη Γη, βρίσκεται στα φυσικά αποθέματα αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου και είναι από τους σημαντικότερους ενεργειακούς πόρους.

Το μεθάνιο και το αιθάνιο είναι υδρογονάνθρακες που βρίσκονται σε αέρια κατάσταση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και δεν μπορούν εύκολα να υγροποιηθούν μόνο με μεταβολή της πίεσης. Το προπάνιο αντίθετα υγροποιείται εύκολα και συνήθως διατίθεται σε υγρή μορφή. Το βουτάνιο υγροποιείται πολύ εύκολα και παρέχει ένα ασφαλές, πτητικό καύσιμο για τους μικρούς αναπτήρες τσέπης.

Το πεντάνιο είναι ένα διαυγές υγρό σε θερμοκρασία δωματίου, που χρησιμοποιείται συνήθως στη χημεία αλλά και τη βιομηχανία ως ένα ισχυρό, σχεδόν άοσμο διαλυτικό. Το εξάνιο είναι επίσης ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος μη αρωματικός διαλύτης, ενώ αποτελεί και σημαντικό συστατικό της κοινής βενζίνης.

Η στερεά μορφή των υδρογονανθράκων είναι η άσφαλτος.

Ο όρος "αποθέματα υδρογονανθράκων" καλύπτει μια πολύπλοκη έννοια. Ως εκ τούτου είναι εντελώς αδύνατο να προσεγγιστεί πριν καν αρχίσουν οι έρευνες σε μια περιοχή, ενώ θα μπορούσε να ειπωθεί ότι μόνο αφού εξοφληθεί ένα κοίτασμα γίνονται με απόλυτη ακρίβεια γνωστά τα συνολικά του αποθέματα. Στο διάγραμμα που ακολουθεί γίνεται μια ερμηνεία του όρου αυτού (εικόνα 1).



Εικόνα 1: Ορισμός αποθέματος και κοιτάσματος
<https://aleklett.files.wordpress.com/2013/07/piip.jpg>

Πριν την έναρξη συστηματικών ερευνών για αναζήτηση υδρογονανθράκων σε μια περιοχή είναι δύσκολο να υπάρχει αναφορά σε “αποθέματα” (reserves). Όλες οι ποσότητες πετρελαίου και φυσικού αερίου που βρίσκονται παγιδευμένες μέσα σε γεωλογικούς σχηματισμούς στο εσωτερικό της γης ή στην επιφάνεια της, ανακαλυφθείσες (discovered) μέχρι σήμερα ή μη ανακαλυφθείσες (undiscovered), καθώς και όλες οι ποσότητες υδρογονανθράκων που ήδη παρήχθησαν, αποτελούν τα λεγόμενα *resources*. Ο όρος *resources* υποδιαιρείται σε *undiscovered resources* και *discovered resources*.

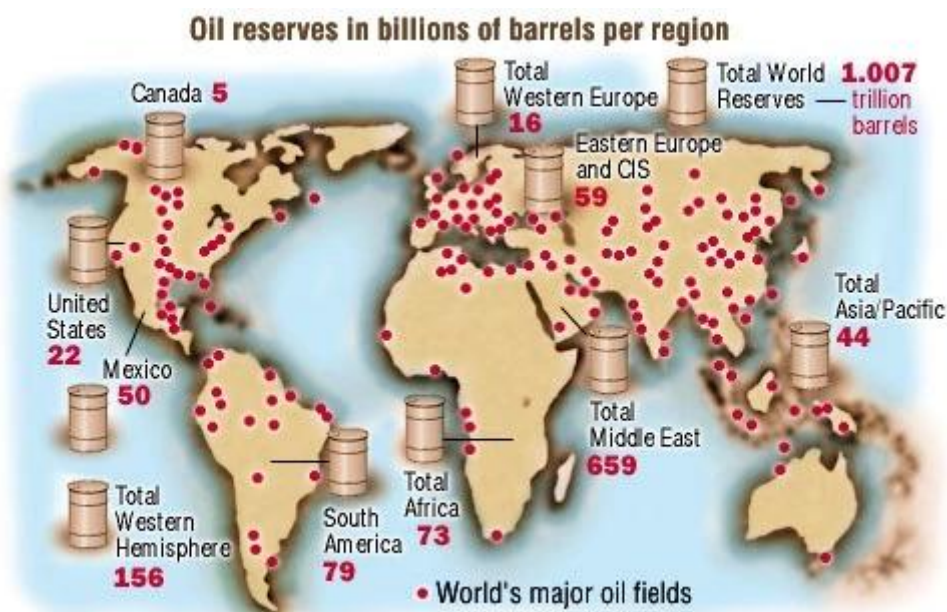
Η εκμετάλλευση υδρογονανθράκων καθορίζεται από δύο κυρίως παράγοντες: τον τεχνικό και τον οικονομικό. Μπορεί δηλαδή σε κάποια περιοχή οι έρευνες να απέδειξαν ότι υπάρχουν υδρογονάνθρακες, να αποδειχθεί μάλιστα ότι και από τεχνικής απόψεως υπάρχει η δυνατότητα ανάκτησής τους (*technically recoverable resources*), αλλά αυτό να μην είναι δυνατό λόγω υπερβολικού κόστους (*economically unrecoverable resources*). Όταν όμως κριθεί πως κάποια ανακάλυψη υδρογονανθράκων επιδέχεται εκμετάλλευσης με οικονομικά αποδεκτούς όρους, τότε είναι δυνατό να αρχίσει να χρησιμοποιείται ο όρος “αποθέματα” (reserves).

Στην κατηγορία “*economically recoverable resources*” τα βεβαιωμένα αποθέματα -*proven reserves*- 1P αντιπροσωπεύουν τις ποσότητες υδρογονανθράκων που έχουν ήδη παραχθεί, που παράγονται ή θα παραχθούν από τα γνωστά μέχρι σήμερα κοιτάσματα.

Τα βεβαιωμένα, παγκόσμια αποθέματα εκτιμώνται σε 1148 δις. βαρέλια (157 δις. τόνοι) που αντιπροσωπεύουν 41 χρόνια παραγωγής, με το σημερινό ρυθμό.

Εύκολα συμπεραίνεται ότι τόσο η ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων όσο και οι τεχνολογικές καινοτομίες του μέλλοντος αναμένεται να αυξήσουν κατά πολύ τα παγκόσμια αποθέματα. Επιπρόσθετα, υπάρχει και μια κατηγορία πετρελαίων η οποία συγκεντρώνει όλες τις μη συμβατικές κατηγορίες, όπως τα βαριά πετρέλαια, τις ασφαλτικές άμμους και τους βιτουμενιούχους αργιλοσχίστες, μεγάλες ποσότητες των οποίων συναντώνται στη Βόρειο Αμερική, τον Καναδά και τη Βενεζουέλα. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας ανάκτησης, 600 δις. βαρέλια θα προέλθουν από αυτή την κατηγορία, τα οποία ισοδυναμούν με είκοσι χρόνια κατανάλωσης με το σημερινό ρυθμό.

Το μισό των παγκόσμιων αποθεμάτων βρίσκεται στο υπέδαφος τεσσάρων χωρών-μελών του OPEC: Σαουδική Αραβία, Ιράν, Ιράκ, Βενεζουέλα. Οι χώρες του OPEC (Σαουδική Αραβία, Ιράν, Ιράκ, Κουβέιτ, Κατάρ, Η.Α.Ε., Βενεζουέλα, Αλγερία, Λιβύη, Νιγηρία, Ινδονησία, Αγκόλα) διαθέτουν πάνω από το 65-70% των παγκόσμιων αποθεμάτων. Εκτός OPEC, τα μεγαλύτερα αποθέματα διαθέτει ο Καναδάς, η Ρωσία και το Μεξικό (εικόνα 2).

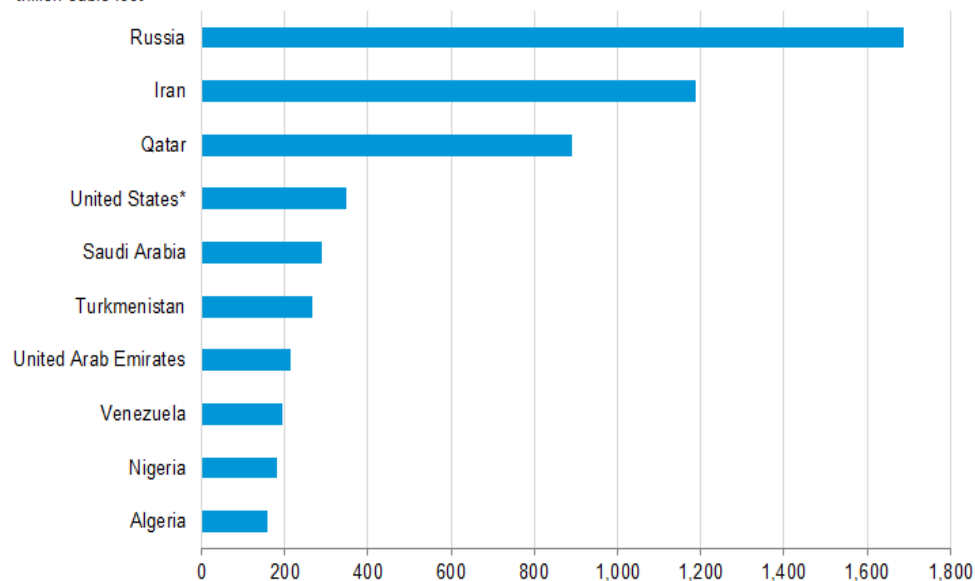


Εικόνα 2: Παγκόσμια επιβεβαιωμένα αποθέματα πετρελαίου στον κόσμο.
<http://www.washingtonpost.com/wp-srv/inatl/images/woe/worldoil.jpg>

Το γεγονός ότι οι τιμές του πετρελαίου παρουσιάζουν συχνά έντονες διακυμάνσεις, οδηγεί αναπόφευκτα σε συζητήσεις για το αν τα πετρελαϊκά αποθέματα θα μπορούν να καλύψουν τις διαρκώς αυξανόμενες παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες.

Στο διάστημα αυτό, το φυσικό αέριο επιβεβαιώνει τον κυρίαρχο ρόλο του ως παγκόσμια ενεργειακή πρώτη ύλη. Η χρήση του είναι κυρίως για ηλεκτροπαραγωγή και θέρμανση, ενώ εντυπωσιακό είναι ότι τα αποθέματα αερίου στην Ευρώπη φτάνουν στην εξάντληση τους λόγω της μακροχρόνιας χρήσης τους. Εκπληκτικά είναι τα αποθέματα στη Ρωσία, ενώ λιγότερα εντοπίζονται σε Ιράν και Κατάρ (εικόνα 3).

Largest proven natural gas reserves holders
trillion cubic feet



Note: The United States reserves are wet gas reserves as of December 2011

Source: United States: U.S. Energy Information Administration; Other Countries: Oil and Gas Journal 2013

Εικόνα 3: Τα μεγαλύτερα επιβεβαιωμένα αποθέματα φυσικού αερίου στον κόσμο.

http://www.marcon.com/library/country_briefs/Russia/p4.png

Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση σε πετρέλαιο και αέριο έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και στην εξειδίκευση περισσότερου επιστημονικού προσωπικού. Ωστόσο, κάποια στιγμή στο μέλλον, τα αποθέματα δεν θα είναι ικανά να καλύψουν τις ανάγκες ζήτησης στην αγορά.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ

2.1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η γένεση των υδρογονανθράκων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας, γεωλογίας. Εφόσον υπάρξουν αυτές οι συνθήκες, μέσα σε ένα πέτρωμα θα φιλοξενηθεί η γένεση και στη συνέχεια το πετρέλαιο θα ξεκινήσει το ταξίδι του. Είτε θα αποθηκευτεί σε ένα ταμειευτήρα και με την σωστή γεωλογία θα εγκλωβιστεί περιμένοντας την άντληση του είτε θα μεταναστεύσει σε άλλο σχηματισμό. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί όλη η διαδικασία από τη γένεση των συμβατικών υδρογονανθράκων, μέχρι τη μετανάστευση και την παγίδευση τους.

2.2 ΜΗΤΡΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΓΕΝΕΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

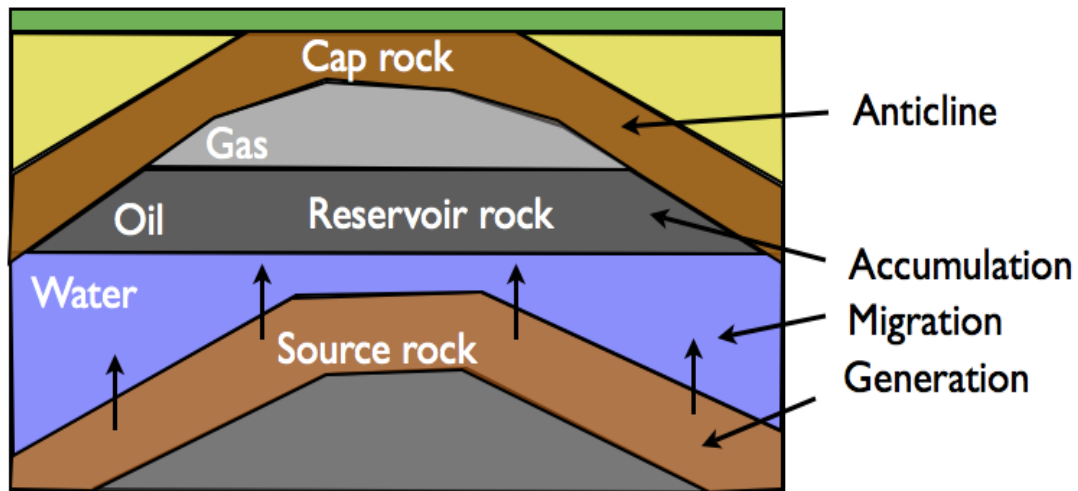
Η επιστήμη της γεωλογίας πετρελαίου ασχολείται με την αξιολόγηση επτά βασικών στοιχείων εντός των ιζηματογενών λεκανών.

1. Το Μητρικό Πέτρωμα (Source Rock)
2. Ο Ταμιευτήρας (Reservoir)
3. Το Πέτρωμα – Κάλυμμα (Seal ή Cap rock)
4. Η Δομή Παγίδευσης (Trap)
5. Ο Χρόνος (Timing)
6. Η Ωρίμανση (Maturation)
7. Η Μετανάστευση (Migration)

Σαν μητρικό πέτρωμα ορίζεται ένας σχηματισμός ιζηματογενούς προέλευσης που περιέχει επαρκείς ποσότητες οργανικής ύλης, έτσι ώστε όταν θαφτεί και θερμανθεί κάτω από υψηλές πιέσεις να παραχθεί πετρέλαιο ή/και αέριο (εικόνα 4).

Μεγάλες ποσότητες οργανικής ύλης μπορούν να βρεθούν σε περιοχές υψηλής παραγωγικότητας σε ιζήματα με πλούσια θρεπτικά συστατικά και στάσιμο νερό. Διάφορα είδη οργανικής ύλης αποφέρουν διαφορετικά είδη πετρελαίου. Οργανική ύλη πλούσια σε μαλακούς και κηρώδεις ιστούς, όπως αυτό που συναντάμε στα φύκη, συνήθως αποδίδει πετρέλαιο με αέριο κατά την ωρίμανση (θέρμανση), ενώ το αέριο μόνο τείνει να προέρχεται από την ωρίμανση των ξυλωδών ιστών.

Ωστόσο, βασική προϋπόθεση είναι να αποτεθούν στην λεκάνη ιζήματα μεγάλου πάχους. Επιπλέον, πολύ σημαντικό είναι η έλλειψη οξυγόνου στην υδάτινη στήλη πάνω από τα ιζήματα και στον πυθμένα της θάλασσας. Η διατήρηση της οργανικής ύλης κάτω από την επαφή νερού/ιζήματος είναι συνάρτηση της ταχύτητας καταβύθισης και της οξυγόνωσης των υδάτων του πυθμένα. Ο συνδυασμός υψηλής παραγωγικότητας οργανικής ύλης και ελλείμματος οξυγόνου στα σημεία απόθεσης των ιζημάτων μπορεί να οδηγήσει στη διαμόρφωση εξαιρετικών μητρικών πετρωμάτων. Στα περιβάλλοντα στα οποία συντρέχουν οι δύο παραπάνω προϋποθέσεις περιλαμβάνονται: οι λίμνες, τα δελταϊκά περιβάλλοντα κυρίως θερμών ζωνών, τα ηπειρωτικά περιθώρια και οι παράκτιες λίμνες.



Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση της ζωής των υδρογονανθράκων, από το μητρικό πέτρωμα και την γένεση μέχρι την μετανάστευση και την παγίδευση.

<http://large.stanford.edu/courses/2013/ph240/malyshev2/images/f1big.png>

Η ποσότητα πετρελαίου που παράγεται είναι συνάρτηση του πάχους των συσσωρευμένων ιζημάτων και του οργανικού υλικού, της ταφής τους και του χρόνου. Εάν βρεθούν τέτοιες περιοχές ενδιαφέροντος με αυξημένη πιθανότητα να αποτελούν μητρικά πετρώματα, θα πρέπει στη συνέχεια να βρεθεί ο βαθμός θερμικής ωρίμανσης της οργανικής ύλης του μητρικού πετρώματος καθώς και ο χρόνος ωρίμανσης. Η ωρίμανση αυτή της οργανικής ύλης εντός των μητρικών πετρωμάτων κατά τη διάρκεια της διαγένεσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία.

Η οργανική ύλη υποδιαιρείται σε δύο βασικά συστατικά:

- 1) Το *Κηρογόνο* το οποίο είναι ένα μείγμα οργανικών χημικών ενώσεων, που είναι αδιάλυτο και αποτελεί μέρος μόνο του συνόλου της οργανικής ύλης που μπορεί να βρίσκεται εντός των ιζηματογενών πετρωμάτων.
- 2) Το διαλυτό κλάσμα της οργανικής ύλης, γνωστό ως *βιτουμένιο*. Στο κλάσμα αυτό περιλαμβάνονται τα αυτόχθονα αρωματικά συστατικά καθώς και οι ενώσεις N-S-O, αλλά και κάποιοι υδρογονάνθρακες που δημιουργήθηκαν αλλού και μετανάστευσαν. Το ποσοστό της οργανικής ύλης που είναι υπό τη μορφή κηρογόνου είναι συνήθως υψηλό. Όταν οι διάφοροι τύποι κηρογόνου θερμαίνονται στη σωστή θερμοκρασία εντός του φλοιού της Γης, απελευθερώνουν αργό πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Το πετρέλαιο δημιουργείται σε θερμοκρασία μεταξύ 60 και 160°C. Το διάστημα αυτό των θερμοκρασιών ονομάζεται "παράθυρο πετρελαίου" (oil window). Το φυσικό αέριο δημιουργείται σε θερμοκρασία μεταξύ 150 και 200°C. Αυτό το διάστημα των θερμοκρασιών ονομάζεται "παράθυρο αερίου" (gas window). Εάν η θέρμανση των πλούσιων σε κηρογόνο σχηματισμών δεν φτάσει στα απαιτούμενα επίπεδα για σχηματισμό υδρογονανθράκων τότε σχηματίζονται αποθέσεις με την ονομασία βιτουμενιούχοι σχίστες.

2.3 Κηρογόνο: σύσταση και τύποι

Το κηρογόνο είναι το πιο άφθονο οργανικό συστατικό στη Γη (Brooks et al., 1987) και είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για ένα σύνολο πολύπλοκων οργανικών ενώσεων, η σύνθεση των οποίων εξαρτάται από την αρχική οργανική πηγή.

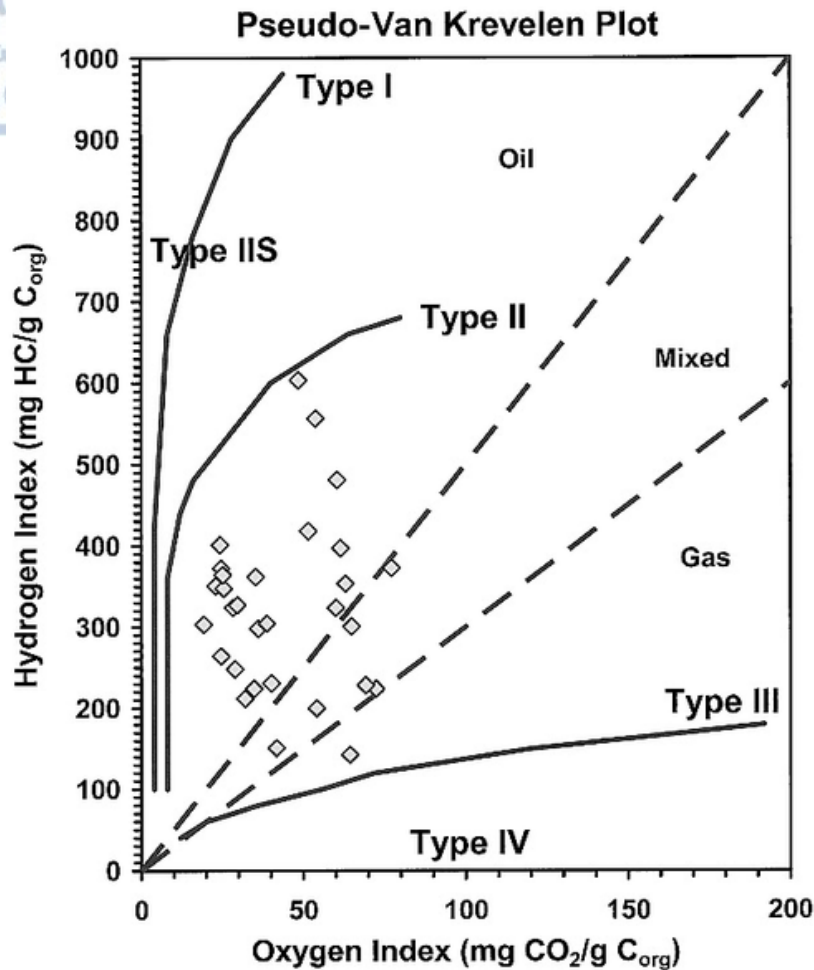
Το κηρογόνο αποτελείται από μια ποικιλία οργανικών υλικών, όπως τα φύκια, η γύρη, το ξύλο. Οι τύποι κηρογόνου που υπάρχουν σε ένα πέτρωμα ελέγχουν σε μεγάλο βαθμό τον τύπο υδρογονανθράκων που παράγεται σε αυτό το βράχο. Οι διαφορετικοί τύποι κηρογόνου περιέχουν διαφορετικές ποσότητες υδρογόνου σε σχέση με τον άνθρακα και το οξυγόνο. Η περιεκτικότητα σε υδρογόνο του κηρογόνου είναι ο παράγοντας ελέγχου για την απόδοση του πετρελαίου έναντι του αερίου από τις πρωτογενείς αντιδράσεις δημιουργίας υδρογονανθράκων.

Ο τύπος του κηρογόνου καθορίζει την ποιότητα του μητρικού πετρώματος. Τέσσερις είναι οι βασικοί τύποι κηρογόνου που βρίσκονται σε ιζηματογενή μητρικά πετρώματα. Ένας τύπος ή ένα μίγμα αυτών μπορεί να υπάρχει σε ένα πέτρωμα (εικόνες 5 και 6).

Kerogen type	Organic matter source	Organic matter depositional environment	Likely hydrocarbons (Oil and Gas) generated
Type I	Algal and Amorphous Botryococcus type-ball like algal remains and resin bodies equivalent to alginite A and liptinite group of macerals	Highly anoxic/oxygen deficient lacustrine shallow marine lagoonal environment	Liquid Hydrocarbons (mainly Oil)
Type II a	Marine Plankton and Fibrous/filamental algae called alginite B or Lamalginite group of macerals	Marine and lacustrine subtidal and supratidal anoxic/Oxygen deficient environments	Oil and gas prone organic matter
Type II b	Plant spores and pollens—all other liptinite group of macerals, most abundant source of oil in shale source rocks		
Type III	Woody and Humic Vitrinite group of macerals	Brackish water swamps mainly	Gas and Coal, may yield oil as well
Type IV	Cannot Generate liquid and gas hydrocarbons Inertinite group of macerals	Oxic swampy and oxic marine environments	Only Coal with little amount of gas

Εικόνα 5: Τύποι Κηρογόνου.

<http://allaboutshale.com/images/kerogen%20type.jpg?crc=246942954>



Εικόνα 6: Van Krevelen Διάγραμμα για τους τύπους του κηρογόνου.

Κηρογόνο Τύπου I

Ο λιπτινίτης έχει υψηλή αναλογία υδρογόνου προς άνθρακα, αλλά μικρή αναλογία οξυγόνου προς άνθρακα. Είναι επιρρεπής στο πετρέλαιο, με υψηλή απόδοση (έως 80%). Προέρχεται κυρίως από μια πηγή φυκιών, πλούσια σε λιπίδια τα οποία σχηματίστηκαν σε λιμναία και θαλάσσια περιβάλλοντα. Ο λιπτινίτης φθορίζει υπό υπεριώδες φως. Το κηρογόνο τύπου I είναι σπάνιο.

Κηρογόνο τύπου II

Ο εξινίτης έχει ενδιάμεση αναλογία υδρογόνου προς άνθρακα και οξυγόνου προς άνθρακα. Είναι επιρρεπές σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο, με αποδόσεις από 40-60%. Η προέλευση είναι κυρίως μεμβρανώδη υπολείμματα φυτών (σπόρια, γύρη και επιδερμίδα) και φυτοπλαγκτόν και βακτηρίδια μικροοργανισμών σε θαλάσσια ιζήματα. Ο εξινίτης φθορίζει σε υπεριώδες φως. Τα κηρογόνα τύπου II είναι τα πιο άφθονα.

Κηρογόνο τύπου III

Ο βιτρινίτης έχει χαμηλή αναλογία υδρογόνου και υψηλή οξυγόνου σε σχέση με τον άνθρακα και συνεπώς σχηματίζει χαμηλής ισχύος κηρογόνο, που παράγει κυρίως αέριο. Η κύρια πηγή είναι φυτικά υπολείμματα που απαντώνται στους άνθρακες και / ή στα ιζήματα του άνθρακα. Ο βιτρινίτης δεν φθορίζει στο υπεριώδες φως. Η όλο και αυξανόμενη ανακλαστικότητα του βιτρινίτη σε υψηλότερα επίπεδα ωριμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της ωριμότητας του μητρικού πετρώματος.

Κηρογόνο τύπου IV

Ο ινερτινίτης είναι το μη φθορίζον προϊόν οποιουδήποτε από τα παραπάνω κηρογόνα. Έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα και πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε υδρογόνο, και συχνά ονομάζεται "νεκρός-άνθρακας", έχοντας όχι αποτελεσματική δυνατότητα παραγωγής πετρελαίου και αερίου (Brooks et al., 1987).

Η ποσότητα κηρογόνου σε ένα πέτρωμα ορίζει τον πλούτο του ως μητρικό πέτρωμα, το οποίο με τη σειρά του σχετίζεται με το δυναμικό πετρελαίου με δύο τρόπους. Πρώτον, όσο πιο πλούσιο είναι ένα μητρικό πέτρωμα, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα των υδρογονανθράκων που μπορεί να παραχθεί. Δεύτερον, όσο μεγαλύτερη είναι η αναλογία του πετρώματος σε οργανικό υλικό, τόσο μεγαλύτερη είναι η αποτελεσματικότητα της μετανάστευσης των υδρογονανθράκων.

Η ποιότητα του κηρογόνου σε ένα πέτρωμα καθορίζει την απόδοση του υδρογονάνθρακα- δηλαδή. Μια σειρά τεχνικών χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση δειγμάτων των δυνητικών μητρικών, συμπεριλαμβανομένης της οπτικής επιθεώρησης του τύπου του κηρογόνου, στοιχειακή ανάλυση και πυρόλυση ROCK-EVAL, η οποία επιτρέπει τον χαρακτηρισμό του τύπου και του βαθμού ωρίμανσης της οργανικής ύλης μέσα στα ιζήματα και η οποία επίσης επιτρέπει την εκτίμηση του πετρελαϊκού δυναμικού των ιζημάτων.

2.4 Στάδια σχηματισμού υδρογονανθράκων

Το κηρογόνο αποτελείται από μεγάλα μόρια υδρογονανθράκων τα οποία είναι σταθερά σε χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά σπάνε σε μικρότερα μόρια υγρών και αερίων ενώσεων υδρογονανθράκων με προοδευτική έκθεση σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Επιπλέον, αέρια που δεν ανήκουν σε υδρογονάνθρακες όπως το CO_2 και το H_2O παράγονται και παραμένουν ως υπόλειμμα που δεν αντιδρά. Ο μετασχηματισμός σε μικρότερες και ελαφρύτερες ενώσεις ελέγχεται από την κινητική της αντίδρασης, δηλαδή τη δύναμη των δεσμών μεταξύ των ατόμων με άλλα λόγια την ενέργεια που απαιτείται για να σπάσουν αυτοί οι δεσμοί. Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι ο πιο σημαντικός έλεγχος είναι η θερμοκρασία (Tissot et al., 1987). Μικρότερου βαθμού είναι η φύση και την αφθονία του κηρογόνου στο μητρικό πέτρωμα καθώς και η πίεση.

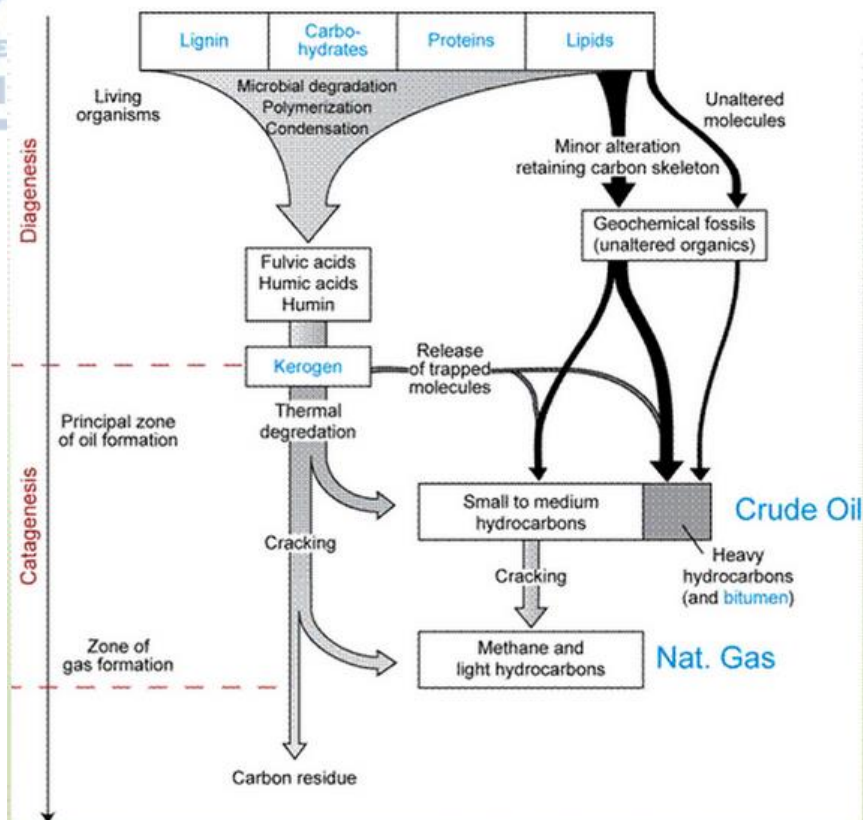
Έτσι, η γένεση των υδρογονανθράκων εξαρτάται από την παρουσία οργανικής ύλης σε ποσότητα ικανή να σχηματιστούν υδρογονάνθρακες από αυτήν, έλλειψη οξυγόνου, κατάλληλη θερμοκρασία και επαρκής χρόνος ώστε το μητρικό πέτρωμα να οδηγηθεί σε ωρίμανση.

Στις ιζηματογενείς λεκάνες η θερμοκρασία αυξάνεται με βάθος. Οι μέσες θερμοκρασιακές για τις ιζηματογενείς λεκάνες κυμαίνονται μεταξύ $200^\circ \text{C km}^{-1}$ και $400^\circ \text{C km}^{-1}$. Η πηγή της θερμότητας στα ιζήματα έρχεται κυρίως από τα υποκείμενα στρώματα (δηλ. προέρχεται από το κέντρο της Γης), σε συνδυασμό με την τοπική συνεισφορά της διάσπασης των ραδιονουκλεϊδίων (συνήθως σε αργίλους).

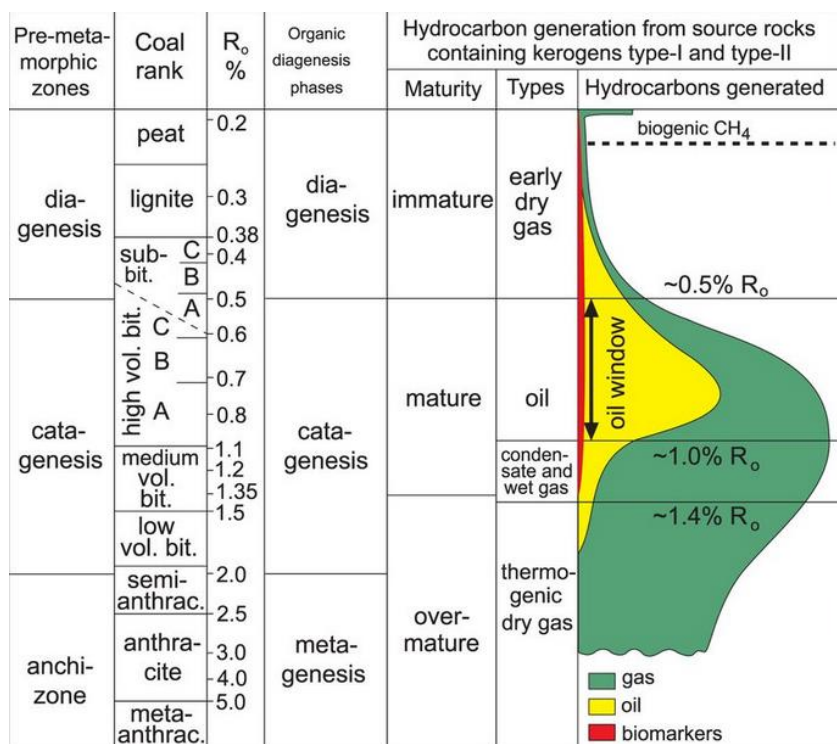
Η *διαγένεση* αποτελεί το αρχικό στάδιο της αλλοίωσης των ιζημάτων και της ωρίμανσης του κηρογόνου που αρχίζει σε θερμοκρασίες κάτω από 50°C . Κατά τη διάρκεια της πρόωρης διαγένεσης, η μικροβιακή δραστηριότητα είναι ένας βασικός παράγοντας που συμβάλλει στη διάσπαση της οργανικής ύλης και έχει γενικότερα ως αποτέλεσμα την παραγωγή βιογενούς.

Κατά το στάδιο της *καταγένεσης* παρατηρείται φυσική και χημική αλλοίωση των σε υψηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις. Η καταγένεση περιλαμβάνει θέρμανση σε θερμοκρασίες 50°C έως 150°C . Σε αυτές τις θερμοκρασίες οι χημικοί δεσμοί του κηρογόνου αποδομούνται σχηματίζοντας υγρούς υδρογονάνθρακες. Κοντά στους 150°C μια δευτερογενής διάσπαση των μορίων του πετρελαίου μπορεί να οδηγήσει σε δημιουργία μορίων αερίου.

Το τελευταίο στάδιο της ωρίμανσης της οργανικής ύλης και της μετατροπής της σε υδρογονάνθρακες είναι η *μεταγένεση*, που συμβαίνει σε θερμοκρασίες από 150°C έως πάνω από 200°C . Στο τέλος της μεταγένεσης δημιουργούνται μεθάνιο και ξηρό αέριο (εικόνες 7 και 8).



Εικόνα 7: Προέλευση και ωρίμανση των υδρογονανθράκων
http://www.ems.psu.edu/~pisupati/ACSO Outreach/Petroleum_2_files/image007.gif

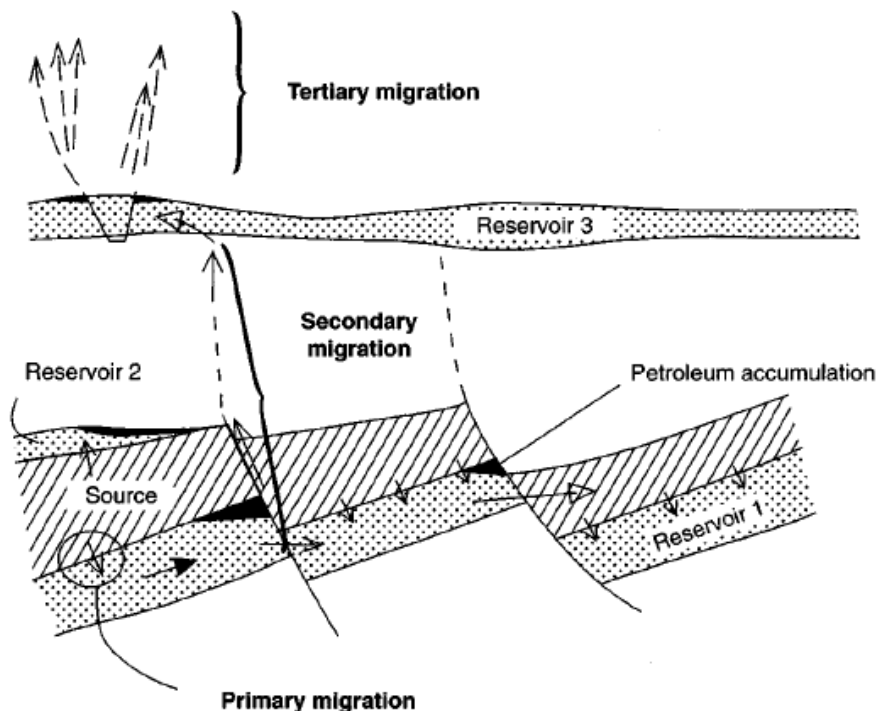


Εικόνα 8: Ωρίμανση των υδρογονανθράκων
<http://aapg bull.geoscienceworld.org/content/gsaapgbull/97/10/1621/F17.large.jpg>

2.5 Μετανάστευση και Παγίδευση υδρογονανθράκων

Αμέσως μετά την ωρίμανση των υδρογονανθράκων λαμβάνει χώρα η μετανάστευσή τους σε πετρώματα με τις κατάλληλες συνθήκες για την αποθήκευση και την παγίδευσή τους εκεί.

Η μετανάστευση του πετρελαίου από το μητρικό πέτρωμα προς έναν ταμιευτήρα είναι απαραίτητη για να υπάρξει ένα πετρελαϊκό σύστημα και μπορεί να είναι πρωτογενής (απομάκρυνση υδρογονάνθρακα από το μητρικό πέτρωμα) ή δευτερογενής (το ταξίδι του υδρογονάνθρακα από το μητρικό προς μία παγίδα). Η τριτογενής μετανάστευση συμβαίνει όταν το πετρέλαιο μετακινείται μέσω διαρροής προς την επιφάνεια της Γης (εικόνα 9).



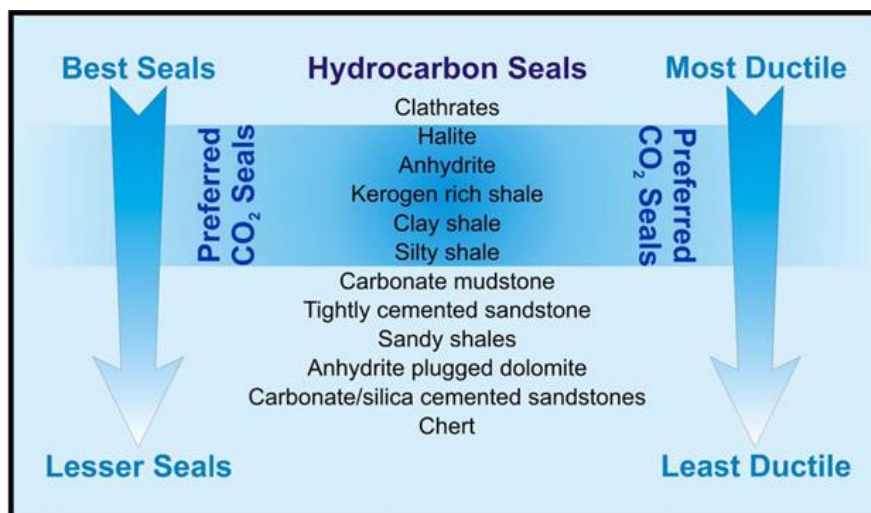
Εικόνα 9: Τα τρία στάδια της μετανάστευσης (Gluyas, Swarbrick, 2004)

Οι υδρογονάνθρακες μεταναστεύουν από μια θέση υψηλότερης δυναμικής ενέργειας σε μια θέση με χαμηλότερη. Η χωρική τοποθεσία αυτών των ενεργειακών διαφορών καθορίζει την αναμενόμενη πορεία μετανάστευσης. Υπάρχουν πολλές πηγές για αυτήν την ενέργεια που προκαλεί μετανάστευση πετρελαίου και φυσικού αερίου. Έτσι, η άνωση, η ωρίμανση και κατά συνέπεια η μείωση του διαθέσιμου όγκου στο μητρικό, η συμπίεση λόγω συνεχούς ιζηματογένεσης, η θερμική εξάπλωση και η αλλαγή της φάσης είναι μερικοί από τους παράγοντες που ωθούν τους υδρογονάνθρακες να μεταναστεύσουν σε άλλο πέτρωμα.

Ο ρυθμός μετανάστευσης εξαρτάται από τη διαπερατότητα των πετρωμάτων που διασχίζουν και το μέγεθος των μορίων: τα μόρια αερίου κινούνται πιο γρήγορα από τα μόρια του πετρελαίου. Ορισμένα μόρια υδρογονανθράκων εμποδίζονται να κινηθούν προς τα πάνω είτε επειδή διαλύονται στο νερό που περιέχεται στο πέτρωμα που συναντούν (αυτό επηρεάζει το αέριο πολύ συχνότερα από το πετρέλαιο) είτε επειδή προσκολλώνται στους κόκκους που συνθέτουν το πέτρωμα. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως απώλεια μετανάστευσης. Αυτές οι απώλειες μπορεί να είναι σημαντικές, ειδικά εάν το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο έχουν πολύ δρόμο να ταξιδέψουν. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ορισμένοι πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες δεν θα είναι ποτέ κατάλληλοι για άντληση.

Τα μόρια πετρελαίου και φυσικού αερίου που θα “επιβιώσουν” των διαδικασιών της μετανάστευσης και δεν θα διαλυθούν μπορεί στη συνέχεια να συσσωρευτούν μέσα σε τεράστιους ταμιευτήρες υδρογονανθράκων. Ωστόσο, για να συμβεί αυτό, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που θα συναντήσουν κατά τη διάρκεια της μετανάστευσης τους πρέπει να έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά. Οι ιζηματογενείς λεκάνες αποτελούνται από ιζηματογενή πετρώματα που γενικά επιτρέπουν τη μετανάστευση πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Η μετανάστευση των υδρογονανθράκων μέσα σε ένα ταμιευτήρα δεν είναι αρκετή για τον σχηματισμό κοιτάσματος πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Και αυτό διότι τα μόρια των υδρογονανθράκων μπορούν επίσης απλά να διέλθουν μέσα από τον ταμιευτήρα χωρίς να συσσωρευτούν στο εσωτερικό του. Για να σχηματιστεί κοιτάσμα υδρογονανθράκων, είναι απαραίτητη και η παρουσία ενός αδιαπέρατου πετρώματος, που ονομάζεται “πέτρωμα-κάλυμμα” το οποίο εμποδίζει τη διαφυγή των υδρογονανθράκων. Τα καλύτερα “καλύμματα” είναι τα πλέον αδιαπέρατα πετρώματα δηλαδή οι άργιλοι και τα στρώματα εβαποριτών. Βέβαια κάθε πέτρωμα που είναι αδιαπέρατο μπορεί να χαρακτηριστεί σαν κάλυμμα (εικόνα 10).



Εικόνα 10: Τα πιο κατάλληλα καλύμματα είναι εβαποριτικά και αργιλικά.

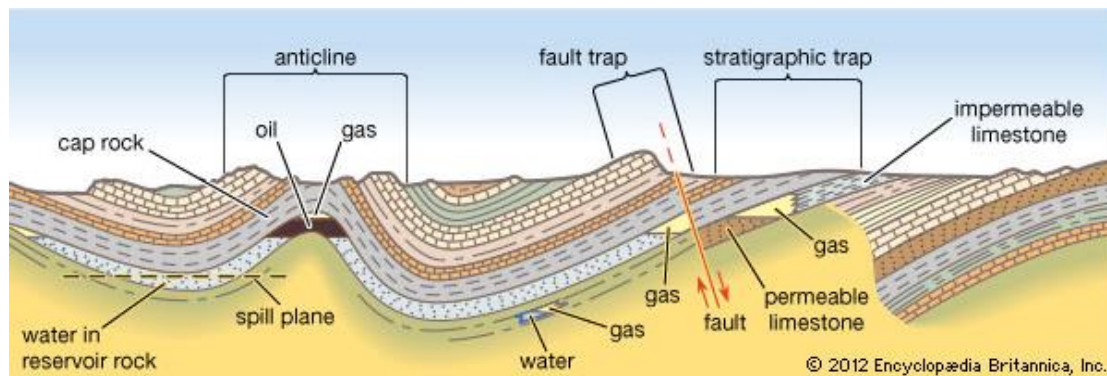
<https://hub.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/95761/advanced/fig-047.jpg>

Οι παγίδες των υδρογονανθράκων είναι ένας γεωμετρικός συνδυασμός ενός διαπερατού και ενός αδιαπέρατου πετρώματος τα οποία όταν συνδυάζονται με κατάλληλες φυσικές και χημικές ιδιότητες των υπεδάφιων ρευστών, επιτρέπουν στους υδρογονάνθρακες να συσσωρεύονται δημιουργώντας κοίτασμα.

Τα ρήγματα μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως μονοπάτια μετανάστευσης είτε ως δομές παγίδευσης, ανάλογα με τις υδραυλικές συνθήκες, τις ιδιότητες του πετρώματος και τις ιδιότητες της ρηξιγενούς περιοχής στο ρήγμα. Με το ίδιο σκεπτικό που ορίζουμε τα καλύμματα ορίζουμε και τα ρήγματα ως δομές παγίδευσης, δηλαδή η ικανότητα του ρήγματος να μπορεί να σταματήσει την ροή των υδρογονανθράκων, κατά συνέπεια τη μετανάστευση τους και να λειτουργήσουν ως δομές παγίδευσης.

Εξαιρετικές δομές παγίδευσης είναι οι αλατούχοι δόμοι, οι οποίοι λόγω της σύστασης και σε συνδυασμό με κατάλληλα καλύμματα να παγιδεύσουν τους υδρογονάνθρακες στα αναθολωμένα στρώματα.

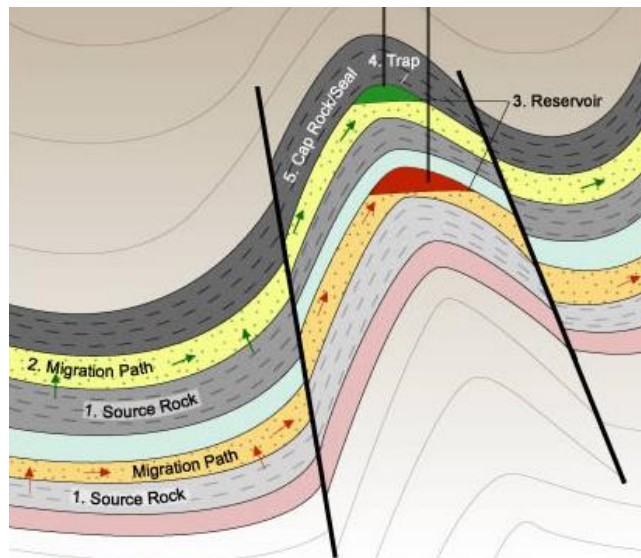
Κατά τη μετανάστευση οι υδρογονάνθρακες όντας πιο ελαφρύτεροι από το νερό, τείνουν, μέσω της άνωσης και άλλων δυνάμεων να ταξιδεύουν προς τα ανώτερα στρώματα. Εκτός των κατάλληλων καλυμμάτων λόγω σύστασης και ρηγμάτων ως μέσα μετανάστευσης ή/και παγίδευσης, απαιτείται σωστή μορφολογία για την αποθήκευση τους. Οι ιδανικότερες δομές σε ένα πετρελαϊκό σύστημα είναι τα αντίκλινα, οι οποίες λόγω της μορφολογίας τους είναι σε θέση να κρατήσουν υδρογονάνθρακες και λειτουργούν ως τέλειες δομές παγίδευσης (εικόνα 11).



Εικόνα 11: Οι δομές παγίδευσης μπορεί να είναι αντίκλινα, ρήγματα, στρωματογραφικές παγίδες.
<https://media1.britannica.com/eb-media/69/669-004-7B2A0E51.jpg>

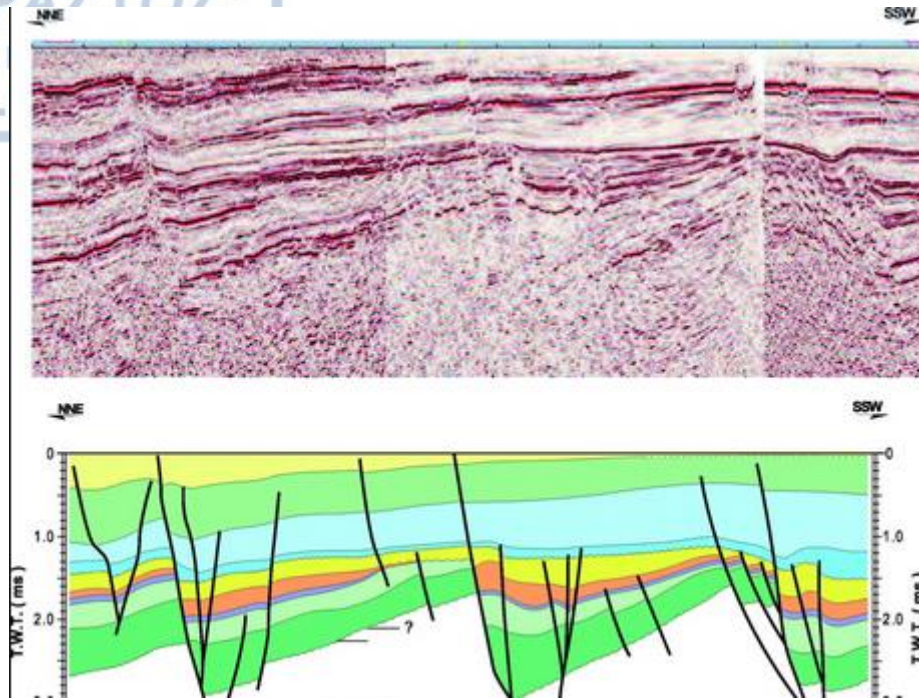
Έτσι, απαραίτητη προϋπόθεση για να υπάρξει ένα πετρελαϊκό σύστημα είναι η ύπαρξη συγκεκριμένων γεωλογικών δομών και διεργασιών (εικόνα 12):

- ✓ μητρικό πέτρωμα – source rock
- ✓ μετανάστευση - migration
- ✓ ταμιευτήρας – reservoir rock
- ✓ πέτρωμα-κάλυμμα – seal και παγίδα - trap
- ✓ χρόνος – timing



Εικόνα 12: Ο ορισμός του πετρελαϊκού συστήματος. https://www.ihrdc.com/els/po-demo/module01/figures/fig_010.jpg

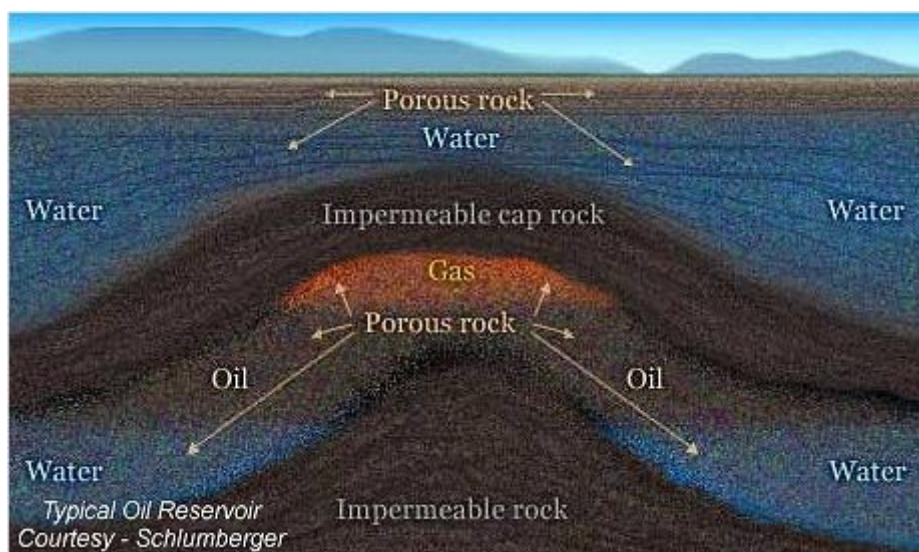
Με τη βοήθεια της Γεωφυσικής έρευνας οι γεωλόγοι μπορούν σε κάθε περιοχή μελέτης να εντοπίσουν όλες αυτές τις δομές που καταρτίζουν το πετρελαϊκό σύστημα με στόχο την γνωστοποίηση της θέσης μιας μελλοντικής γεώτρησης (εικόνα 13).



Εικόνα 13: Απεικόνιση των δομών του πετρελαϊκού συστήματος με τη βοήθεια της σεισμικής έρευνας. <http://pg.geoscienceworld.org/content/petgeo/16/2/121/F9.large.jpg>

2.6 Ταμιευτήρες

Για να μιλάμε για ένα πετρελαϊκό σύστημα, απαιτείται η ύπαρξη ενός ταμιευτήρα, ενός πετρώματος που έχει τις κατάλληλες συνθήκες για να αποθηκεύσει τους υδρογονάνθρακες, δηλαδή να έχει πορώδες (εικόνα 14).



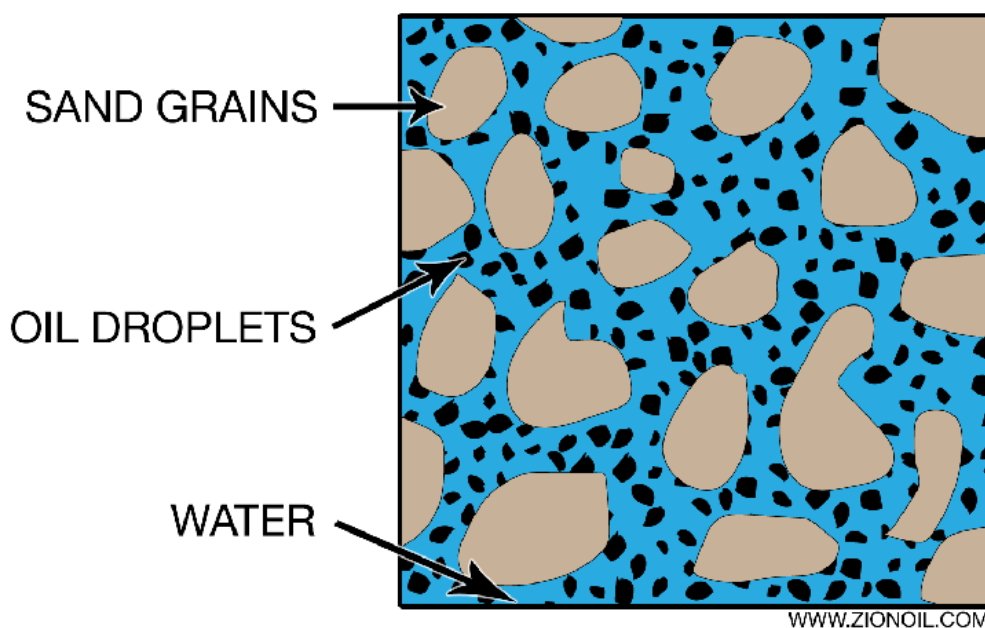
Εικόνα 14: ένα τυπικό πετρελαϊκό σύστημα με τον ταμιευτήρα και τα καλύμματα και την παγίδα να είναι εμφανείς.

Το πέτρωμα πρέπει να είναι επιπλέον διαπερατό. Δηλαδή, να αφήνει το πετρέλαιο να ρέει. Ο όγκος του παγιδευμένου πετρελαίου πρέπει να είναι επαρκής για να δικαιολογήσει την ανάπτυξη του ταμιευτήρα. Αυτά τα στοιχεία χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του πετρελαίου ή του αερίου σε μια θέση, τα οποία με τη σειρά τους πολλαπλασιάζονται με τον συντελεστή του όγκου του σχηματισμού και το συντελεστή αποληψιμότητας για την εκτίμηση των αποθεμάτων.

Για την εκτίμηση των αποθεμάτων λαμβάνονται υπόψη:

1. πορώδες,
2. διαπερατότητα,
3. κορεσμός σε υδρογονάνθρακες.

Το πορώδες είναι ο κενός χώρος ανάμεσα στους κόκκους σε ένα πέτρωμα. και συνήθως μετράται ως ποσοστό όγκου. Ένας ταμιευτήρας μπορεί να είναι γεμάτος με υδρογονάνθρακες (πετρέλαιο και αέριο), νερό, μια σειρά άλλων αερίων (CO_2 , H_2S , N_2) ή συνδυασμούς αυτών (εικόνα 15).



Εικόνα 15: Τυπική εικόνα ενός ταμιευτήρα με πορώδες και γεμάτος υδρογονάνθρακες, νερό και άλλα στοιχεία

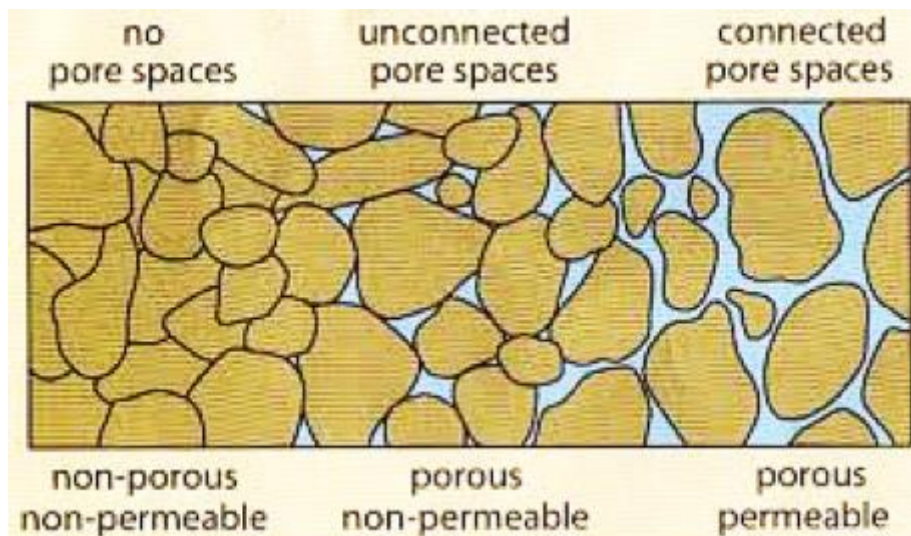
Συνήθως, οι ταμιευτήρες έχουν ένα πορώδες 20-30% και περίπου 70% σε ορισμένους τύπους ασβεστολιθικών ταμιευτήρων.

Τα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθος και δολομίτης) αντιπροσωπεύουν περίπου το 50% των ταμιευτήρων πετρελαίου και φυσικού αερίου σε όλο τον κόσμο. Από τα ανθρακικά, ένα ελαφρώς μεγαλύτερο ποσοστό αποθεμάτων

υδρογονανθράκων έχουν παραχθεί από δολομίτες επειδή τέτοια πετρώματα συνήθως, αλλά όχι πάντα, έχουν περισσότερο πορώδες και διαπερατότητα από τους ασβεστόλιθους (Halley και Schmoker, 1983).

Σε αντίθεση με τις περισσότερους ταμιευτήρες ψαμμίτη, οι οποίοι τυπικά έχουν μονό πορώδες ομοιόμορφης φύσης, οι ανθρακικοί ταμιευτήρες έχουν πολλαπλά συστήματα πορώδους που προσδίδουν χαρακτηριστικά ετερογένειας (Mazzullo and Chilingarian, 1992).

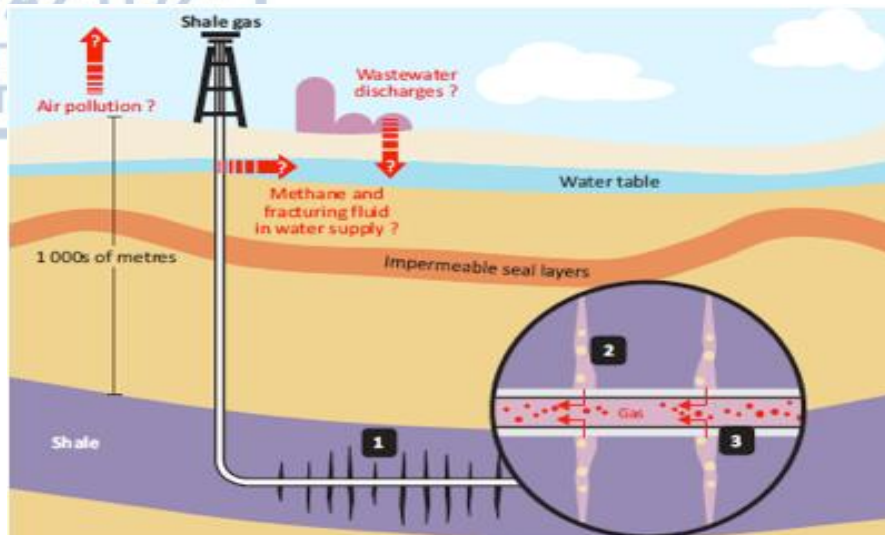
Η γνώση του μεγέθους και του σχήματος των πόρων και του τρόπου με τον οποίο είναι συνδεδεμένοι είναι σημαντική, διότι αυτό θα καθορίσουν τη διαπερατότητα. Έτσι, οι ψαμμίτες και τα ανθρακικά πετρώματα είναι οι καταλληλότεροι ταμιευτήρες (εικόνα 16).



Εικόνα 16: Το πορώδες δεν συμπίπτει πάντα με τη διαπερατότητα. Ο εκμεταλλεύσιμος ταμιευτήρας πρέπει να συνδυάζει και τα 2.

http://www.mssa.org.my/site/images/smy_dec_2015/reservoirs/2015-2.png

Εκτός από αυτούς, και άλλοι λιθολογικοί τύποι μπορούν να είναι ταμιευτήρες. Ένα θραυσμένο πέτρωμα μπορεί να μπει σε αυτή τη κατηγορία, και αυτό διότι με τη θραύση σχηματίζονται διάκενα τα οποία αυξάνουν πορώδες και διαπερατότητα. Με βάση αυτή την ιδιότητα, ένα κοίτασμα που αρχικά θεωρείται μη εκμεταλλεύσιμο λόγω έλλειψης διαπερατότητας, μπορεί να εκμεταλλευτεί εφαρμόζοντας σε αυτό υδραυλική θραύση (εικόνα 17).



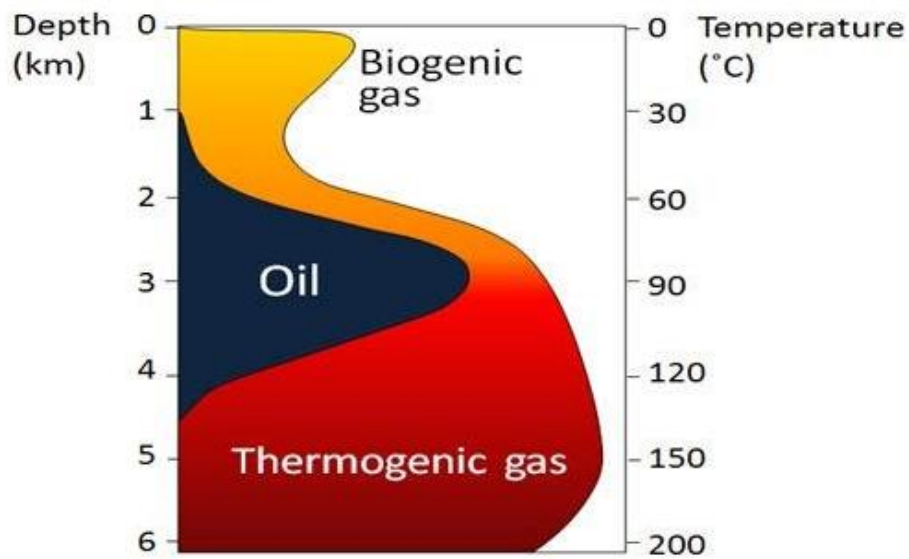
Εικόνα 17: Εφαρμογή της υδραυλικής θραύσης για αύξηση της διαπερατότητας κοιτάσματος.
<http://compression.org/wp-content/uploads/2012/09/fracking.png>

2.7 Βιογενές Μεθάνιο

Το βιογενές CH_4 έχει παρατηρηθεί σε πολλές ρηχές, χαμηλής θερμοκρασίας λεκάνες σχιστολιθικού αερίου και στρώματα άνθρακα. Η εξάντληση των συμβατικών πόρων και η αυξανόμενη ζήτηση φυσικού αερίου για κατανάλωση από τον άνθρωπο προκάλεσαν την ανάπτυξη των λεγόμενων αντισυμβατικών πηγών φυσικού αερίου, όπως το φυσικό αέριο σχιστόλιθου και το μεθάνιο από άνθρακα (εικόνα 18).

Το βιογενές CH_4 σε σχιστόλιθο και άνθρακα παράγεται με αναερόβια βιοαποικοδόμηση της οργανικής ύλης. Πολλές κοινότητες μικροοργανισμών εμπλέκονται στην αρχική διάσπαση σύνθετων γεωπολυμερών και στην παραγωγή ενδιάμεσων ενώσεων που χρησιμοποιούνται από μεθανογόνα.

Υπάρχουν πολλά βασικά κενά γνώσης σχετικά με τη βιογενή παραγωγή CH_4 σε μη συμβατικά συστήματα αερίου, όπως το ακριβές κλάσμα του βιοδιαθέσιμου οργανικού υλικού, τις εμπλεκόμενες μικροβιακές κοινότητες και τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να διεγερθούν για την ενίσχυση της μικροβιακής μεθανογένεσης. Παραμένουν επίσης ερωτήματα σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της μη συμβατικής παραγωγής αερίου, όπως η ποιότητα των υδάτων και η κινητικότητα των τοξικών μετάλλων και των ραδιονουκλεϊδίων. Οι απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα ενδέχεται να έχουν επιπτώσεις τόσο στις πρακτικές ανάκτησης όσο και στην αειφόρο ανάπτυξη των μη συμβατικών πόρων.



Εικόνα 18: Το βιογενές μεθάνιο εντοπίζεται σε μικρά βάθη.

<https://cdn.petropedia.com/images/uploads/551de5604ec44a3c8c423548d14b1509.jpg?height=372&width=600&mode=crop>

3.2 Τύποι μη συμβατικών υδρογονανθράκων

Τα τελευταία χρόνια, με την μείωση των αποθεμάτων των αποθεμάτων σε υδρογονάνθρακες, η έρευνα στράφηκε σε κοιτάσματα τα οποία μέχρι τότε δεν είχε εκμεταλλευτεί, λόγω της ανεπαρκούς τεχνολογίας στην εξόρυξη.

Στα μη συμβατικά αποθέματα περιλαμβάνονται:

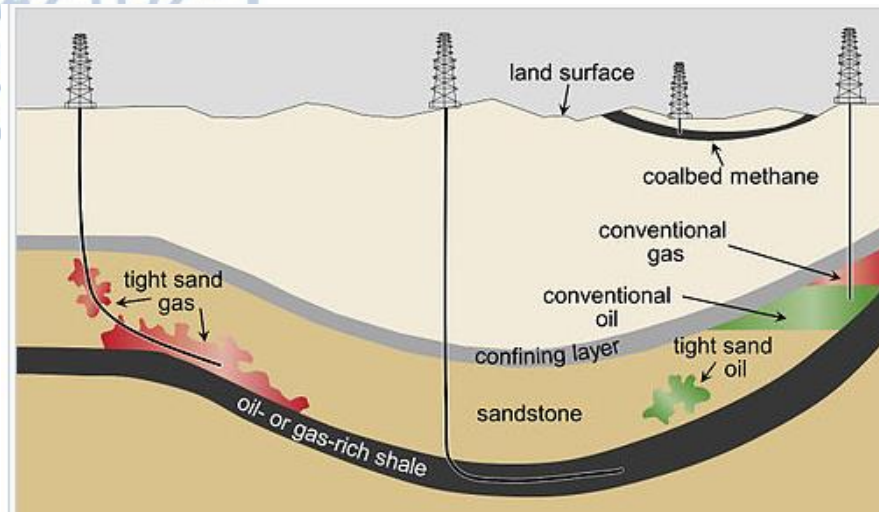
- ✓ Tight Oil/Gas
- ✓ Coalbed Methane – Μεθάνιο από κοιτάσματα άνθρακα
- ✓ Shale Gas – Αέριο αργιλο-σχιστών
- ✓ Shale Oil – Πετρέλαιο αργιλο-σχιστών
- ✓ Tar sands – Ασφαλτικές Άμμοι
- ✓ Methane Hydrates/Υδρίτες Μεθανίου

- **Tight Oil/Gas**

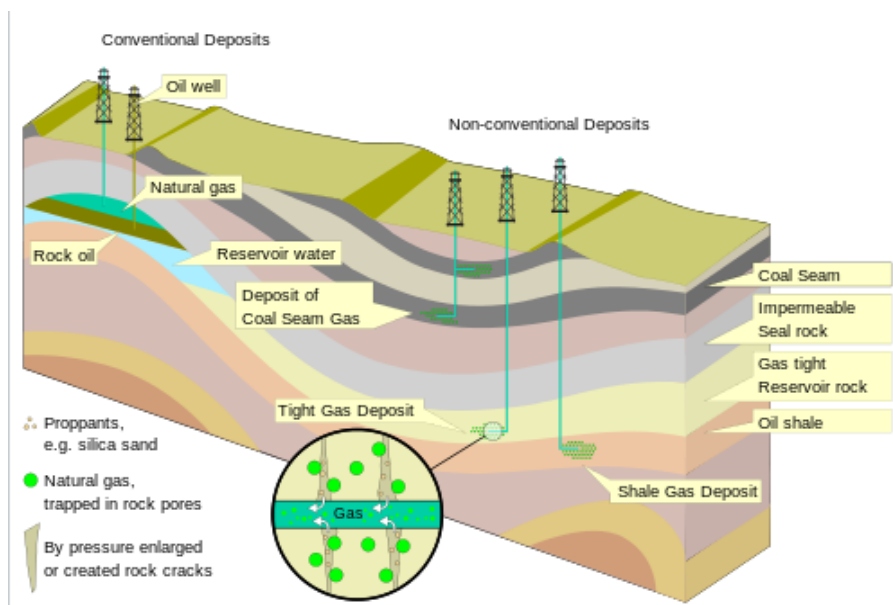
Το πετρέλαιο αυτό είναι αργό πετρέλαιο μεγάλου ιξώδους που περιέχεται σε πετρελαιοφόρους σχηματισμούς χαμηλής διαπερατότητας, συχνά σχιστόλιθο ή σφιχτό ψαμμίτη. Η οικονομική παραγωγή από αυτούς τους σχηματισμούς πετρελαίου απαιτεί την ίδια υδραυλική ρωγμάτωση και συχνά χρησιμοποιεί την ίδια οριζόντια τεχνολογία πηγαδιών που χρησιμοποιείται στην παραγωγή σχιστολιθικού αερίου.

Οι σχηματισμοί των πετρελαιοφόρων σχιστών είναι ετερογενείς και ποικίλλουν ευρέως σε σχετικά μικρές αποστάσεις. Έτσι, ακόμη και σε μια ενιαία οριζόντια οπή διάτρησης, η ποσότητα που ανακτάται μπορεί να ποικίλει. Η παραγωγή πετρελαίου από σφιχτούς σχηματισμούς απαιτεί τουλάχιστον 15-20 % φυσικό αέριο στους πόρους του ταμειυτήρα για να οδηγήσει το πετρέλαιο προς την γεώτρηση. Οι στεγανοί ταμειυτήρες που περιέχουν μόνο πετρέλαιο δεν μπορούν να εκμεταλλευθούν οικονομικά (εικόνα 19).

Το αέριο αυτής της κατηγορίας είναι το φυσικό αέριο που παράγεται από ταμειυτήρες με τέτοια χαμηλή διαπερατότητα, που απαιτεί μαζική υδραυλική ρωγμάτωση για την παραγωγή. Οι ταμειυτήρες σε αυτή την κατηγορία γενικά έχουν διαπερατότητα μικρότερη από 0,1 millidarcy και μικρότερη από 10% πορώδες (εικόνα 20).



Εικόνα 19: Σχηματική απεικόνιση συμβατικών υδρογονανθράκων και Tight Oil.
https://en.wikipedia.org/wiki/Tight_oil

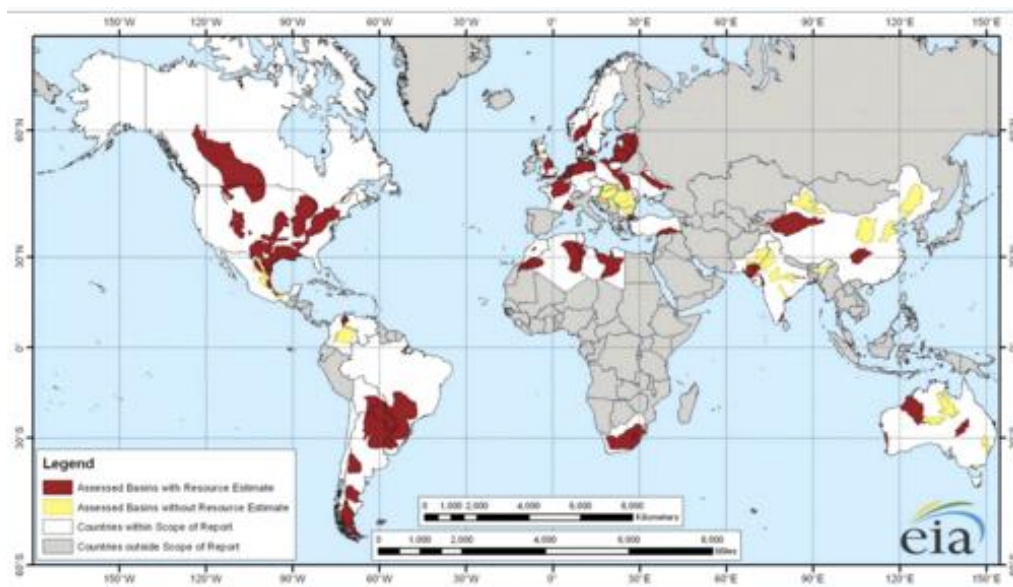


Εικόνα 20: Σχηματική απεικόνιση συμβατικών υδρογονανθράκων και Tight Gas.
https://en.wikipedia.org/wiki/Tight_gas

- Shale Gas – Αέριο αργιλο-σχιστών

Το αέριο αργιλο-σχιστών ,βρίσκεται μέσα σε ένα σκουρόχρωμο βιτουμενιούχο πέτρωμα, που έχει την ιδιότητα να εκλύει φυσικό αέριο. Αν και περιέχει κατά μέσο όρο μόνο 8% οργανική ύλη, περίπου δέκα φορές λιγότερο απ' ότι ο καλής ποιότητας άνθρακας, εμφανίζεται σε μεγάλες ποσότητες σε χώρες όπως οι Η.Π.Α. Συνολικά, οι γεωλόγοι έχουν ανακαλύψει αποθέματα αερίου αργιλο-σχιστών σε περισσότερες από 38 χώρες (εικόνα 21).

Σε αυτό το πολλά υποσχόμενο είδος αργιλο-σχίστη, το αέριο δεν εσωκλείεται σε ένα υπόγειο αποθηκευτικό χώρο, αλλά είναι διεσπαρμένο μέσα στους πόρους του πετρώματος, το οποίο το απορροφά σαν σφουγγάρι. Η πρόκληση είναι να διανοιχθούν οι πόροι του πετρώματος, έτσι ώστε το παγιδευμένο αέριο να απελευθερωθεί μέσα σε ένα οριζόντιο φρεάτιο συλλογής. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της υδραυλική διάρρηξης.



Εικόνα 21: Γεωγραφικές θέσεις με λεκάνες σχιστολιθικού αερίου, Ε.Ι.Α. 2011

- **Shale Oil – Πετρέλαιο αργίλο-σχιστών**

Ο πετρελαιοφόρος σχιστόλιθος είναι ένας οργανικά πλούσιος ιζηματογενής ταμιευτήρας που περιέχει από το οποίο μπορούν να παραχθούν υγροί υδρογονάνθρακες που ονομάζονται σχιστολιθικό πετρέλαιο. Το πετρέλαιο αυτό αποτελεί υποκατάστατο του συμβατικού αργού πετρελαίου. Ωστόσο, η εξόρυξη σχιστολιθικού πετρελαίου από πετρελαιοφόρο σχιστόλιθο είναι πιο δαπανηρή από την παραγωγή συμβατικού αργού πετρελαίου τόσο οικονομικά όσο και από περιβαλλοντικής απόψεως. Τα αποθέματα σχιστολιθικού πετρελαίου που υπάρχουν εκτιμούνται από 4,8 έως 5 τρισεκατομμύρια βαρέλια.

Το σχιστολιθικό πετρέλαιο διαφέρει από τα πετρώματα που είναι εμποτισμένα με άσφαλτο, τους χουμικούς άνθρακες και τον ανθρακούχο σχιστόλιθο. Ενώ οι πετρελαιοφόρες άμμοι προέρχονται από τη βιοαποικοδόμηση του πετρελαίου, η θερμότητα και η πίεση δεν έχουν μετατρέψει ακόμη το κηρογόνο σε πετρέλαιο, πράγμα που σημαίνει ότι η ωρίμανσή του δεν ξεπερνά τα πρώιμα στάδια της καταγένεσης.

Ζεσταίνοντας το πετρέλαιο σχιστών σε υψηλή θερμοκρασία προκαλείται η χημική διαδικασία της πυρόλυσης οι οποία παράγει ατμούς (εικόνα 22). Κατά την ψύξη του ατμού, το υγρό πετρέλαιο διαχωρίζεται από εύφλεκτο αέριο σχιστόλιθου. Ο πετρελαιοφόρος σχιστής μπορεί επίσης να καίγεται απευθείας σε φούρνους ως καύσιμο χαμηλής ποιότητας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τηλεθέρμανση ή να χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη στη χημική επεξεργασία των δομικών υλικών.

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι εξόρυξης επιφανείας περιλαμβάνουν την εξόρυξη ανοιχτών κοιτασμάτων. Αυτές οι διαδικασίες απομακρύνουν το μεγαλύτερο μέρος του υπερκείμενου υλικού για να εκθέσουν τις εναποθέσεις του σχιστολιθικού πετρελαίου και γίνονται πρακτικές όταν οι εναποθέσεις συμβαίνουν κοντά στην επιφάνεια. Η υπόγεια εξόρυξη των σχιστών, απομακρύνει λιγότερο από το υπερκείμενο υλικό και χρησιμοποιεί άλλη μέθοδο.



Εικόνα 22: Καύση του πετρελαίου σχιστών

https://en.wikipedia.org/wiki/Oil_shale#/media/File:Oilshale.jpg

- **Coalbed Methane – Μεθάνιο από κοιτάσματα άνθρακα**

Το μεθάνιο από κοιτάσματα άνθρακα είναι μια μορφή φυσικού αερίου που εξάγεται από άνθρακες. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει γίνει μια σημαντική πηγή ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες, τον Καναδά, την Αυστραλία και άλλες χώρες.

Ο όρος αναφέρεται σε μεθάνιο προσροφημένο στη στερεή μορφή του άνθρακα και ονομάζεται «γλυκό αέριο» λόγω της έλλειψης υδρόθειου. Η παρουσία αυτού του αερίου είναι γνωστή από την εμφάνισή του στις υπόγειες εξορύξεις άνθρακα, όπου παρουσιάζει σοβαρό κίνδυνο για την ασφάλεια. Το έτοιμο μεθάνιο διακρίνεται από ένα τυπικό ψαμμίτη ή άλλο συμβατικό ταμιευτήρα αερίου, καθώς το μεθάνιο αποθηκεύεται μέσα στον άνθρακα με μια διαδικασία που ονομάζεται προσρόφηση και είναι σε σχεδόν υγρή κατάσταση. Οι ανοιχτές ρωγμές στον άνθρακα μπορούν επίσης να περιέχουν ελεύθερο αέριο ή μπορούν να κορεσθούν με νερό.

Σε αντίθεση με το φυσικό αέριο από συμβατικούς ταμιευτήρες, το μεθάνιο από άνθρακες περιέχει πολύ λίγους βαρύτερους υδρογονάνθρακες όπως το προπάνιο ή το βουτάνιο και κανένα συμπύκνωμα φυσικού αερίου. Συχνά περιέχει έως και μερικές εκατοστιαίες μονάδες διοξειδίου του άνθρακα.

Για την εκμετάλλευση του αερίου, μια γεώτρηση με χαλύβδινη επένδυση έως και 1500 μέτρα κάτω από το έδαφος. Καθώς η πίεση εντός της επιφάνειας του άνθρακα μειώνεται εξαιτίας της φυσικής παραγωγής ή της άντλησης νερού, τόσο το φυσικό αέριο όσο και το παραγόμενο νερό έρχονται στην επιφάνεια μέσω σωληνώσεων. Στη συνέχεια, το αέριο αποστέλλεται σε σταθμό συμπίεστη και σε αγωγούς φυσικού αερίου. Το παραγόμενο νερό είτε επανεισάγεται σε απομονωμένους σχηματισμούς, απελευθερώνεται σε ρεύματα είτε χρησιμοποιείται για άρδευση

- **Tar sands – Ασφαλτικές Άμμοι**

Οι ασφαλτικές άμμοι είναι ένα είδος ασυνήθιστης εναπόθεσης πετρελαίου. Οι ασφαλτικές άμμοι είναι είτε χαλαρές άμμοι είτε μερικώς συνεκτικοί ψαμμίτες που περιέχουν ένα φυσικό μίγμα άμμου, ιλύος και νερού, κορεσμένο με μια πυκνή και εξαιρετικά παχύρρευστη μορφή πετρελαίου που αναφέρεται τεχνικά ως πίσσα (εικόνα 23).



Εικόνα 23: Ασφαλτικός ψαμμίτης.

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Tar_Sandstone_California.jpg

Οι φυσικές εναποθέσεις ασφάλτου αναφέρονται σε πολλές χώρες, αλλά κυρίως βρίσκονται σε εξαιρετικά μεγάλες ποσότητες στον Καναδά. Άλλα μεγάλα αποθέματα βρίσκονται στο Καζακστάν, τη Ρωσία και τη Βενεζουέλα. Οι εκτιμώμενες παγκόσμιες καταθέσεις πετρελαίου υπερβαίνουν τα 2 τρισεκατομμύρια βαρέλια. Τα αποδεδειγμένα αποθέματα ασφάλτου περιέχουν περίπου 100 δισεκατομμύρια βαρέλια και τα συνολικά αποθέματα φυσικού ασφάλτου υπολογίζονται σε 249,67 Gbbl παγκοσμίως, εκ των οποίων 176,8 Gbbl ή 70,8% βρίσκονται στην Αλμπέρτα του Καναδά (εικόνα 24).

Εκτός από ένα κλάσμα του εξαιρετικά βαρύ πετρελαίου ή πίσσας που μπορεί να εξαχθεί όπως οι συμβατικοί υδρογονάνθρακες, οι ασφαλτικές άμμοι πρέπει να παράγονται με επιφανειακή εξόρυξη. Ενώ μεγάλο μέρος των ασφαλικών άμμων του Καναδά παράγονται με επιφανειακή εξόρυξη, περίπου το 90% της канаδικής άμμου και όλες της Βενεζουέλας είναι πολύ κάτω από την επιφάνεια για να χρησιμοποιήσουν την εξόρυξη επιφανείας (εικόνα 25).



Εικόνα 24: Οι ασφατικές άμμοι στην Αλμπέρτα του Καναδά.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/Athabasca_Oil_Sands_map.png

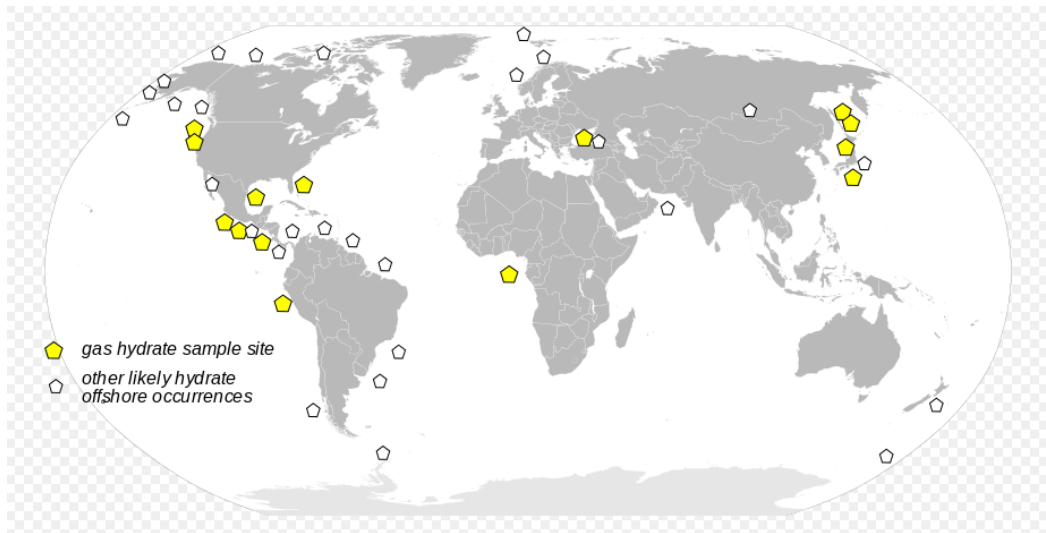


Εικόνα 25: Επιφανειακή εξόρυξη ασφατικών άμμων στην πολιτεία της Αλμπέρτα στον Καναδά.

<http://www.pembina.org/images/oil-sands/725/oilsands-overview.jpg>

- **Methane Hydrates/Υδρίτες Μεθανίου**

Οι υδρίτες μεθανίου είναι στερεές ενώσεις όπου μεγάλη ποσότητα μεθανίου παγιδεύεται εντός μιας κρυσταλλικής δομής ύδατος, σχηματίζοντας ένα στερεό παρόμοιο με τον πάγο. Αρχικά θεωρήθηκε ότι συμβαίνει μόνο στις εξωτερικές περιοχές του ηλιακού συστήματος, όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές και ο πάγος νερού είναι κοινός, έχουν βρεθεί σημαντικές αποθέσεις κάτω από ιζήματα στα ωκεάνια δάπεδα της Γης (εικόνα 26).



Εικόνα 26: Παγκόσμια κατανομή των επιβεβαιωμένων αποθέσεων υδριτών μεθανίου.
https://en.wikipedia.org/wiki/Methane_clathrate#/media/File:Gas_hydrates_1996.svg

Οι υδρίτες του μεθανίου είναι κοινά συστατικά της ρηχής θαλάσσιας γεωσφαίρας και εμφανίζονται σε βαθιές ιζηματογενείς δομές και σχηματίζουν εκτάσεις στο ωκεάνιο δάπεδο. Οι υδρίτες μεθανίου πιστεύεται ότι σχηματίζονται με τη μετανάστευση αερίου από βαθιά ρήγματα, ακολουθούμενη από κρυστάλλωση στην επαφή του αυξανόμενου ρεύματος αερίου με το κρύο θαλασσινό νερό (εικόνα 27).



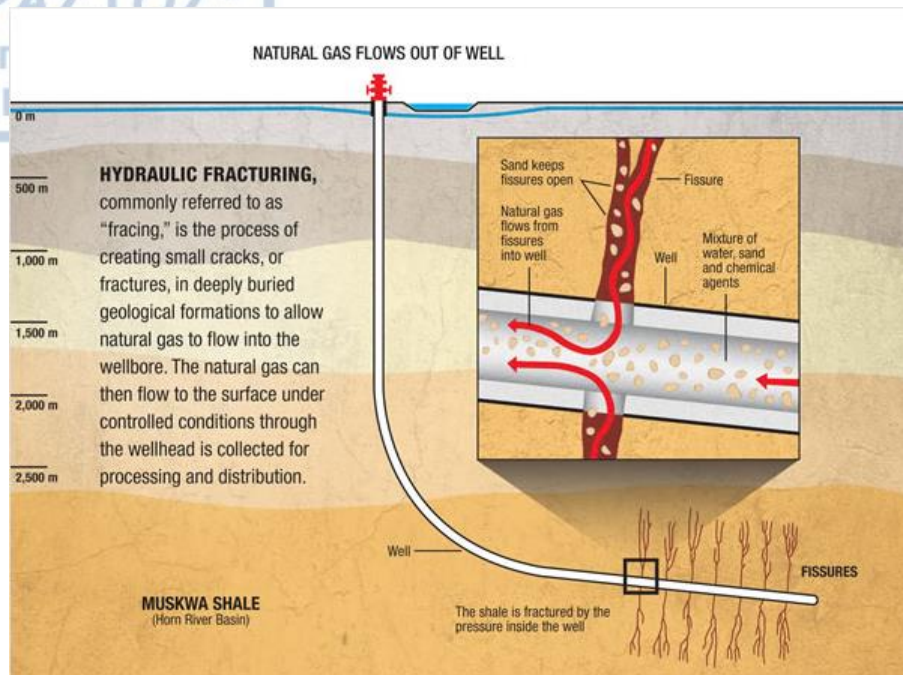
Εικόνα 27: Υδρίτης μεθανίου από το Όρεγκον.

https://en.wikipedia.org/wiki/Methane_clathrate#/media/File:Gashydrat_mit_Struktur.jpg

3.3 Εκμετάλλευση των μη συμβατικών υδρογονανθράκων

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, οι ταμιευτήρες των μη συμβατικών υδρογονανθράκων δεν έχουν διαπερατότητα, με αποτέλεσμα η εξόρυξη τους να μην μπορεί να γίνει με τις κλασσικές γεωτρήσεις πετρελαίου και αερίου. Για αυτό το σκοπό, αναπτύχθηκε μία νέα τεχνική που αυξάνει τη διαπερατότητα προκαλώντας παραγνώσεις στο πέτρωμα, η υδραυλική ρωγμάτωση.

Η υδραυλική θραύση είναι μια τεχνική στην οποία το πέτρωμα ρωγματώνεται με εισπίεση υγρού. Η διαδικασία περιλαμβάνει την έγχυση υψηλής πίεσης «υγρού fracking» (κυρίως νερού, που περιέχει άμμο ή άλλα προπλάσματα που αναστέλλονται με τη βοήθεια παραγόντων πάχυνσης) σε ένα γεωτρήσιμο για τη δημιουργία ρωγμών στους βαθιούς σχηματισμούς πετρωμάτων μέσω των οποίων φυσικό αέριο, πετρέλαιο και άλμη θα ρέει πιο ελεύθερα. Όταν απομακρύνεται η υδραυλική πίεση από το φρεάτιο, μικροί κόκκοι από υδραυλικά προπλάσματα θραύσης (είτε άμμος είτε οξειδίο αργιλίου) κρατούν τις ρωγμές ανοιχτές (εικόνα 28).



Εικόνα 28: Εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης σε ταμιευτήρες μη συμβατικών υδρογονανθράκων. http://fracfocus.ca/sites/default/files/Hydraulic-Fracing_Big-Picture.jpg

Για πιο προηγμένες εφαρμογές, μερικές φορές χρησιμοποιείται μικροσεισμική παρακολούθηση για την εκτίμηση του μεγέθους και του προσανατολισμού των επαγόμενων ρωγμών. Με τη χαρτογράφηση της θέσης οποιωνδήποτε μικρών σεισμικών συμβάντων που σχετίζονται με την ανάπτυξη ρωγμών, δίνεται η κατά προσέγγιση γεωμετρία του κατάγματος.

Υπάρχει ανησυχία για τις πιθανές δυσμενείς συνέπειες της υδραυλικής διάρρηξης στη δημόσια υγεία. Η ανασκόπηση του 2013 σχετικά με την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες ανέφερε ότι "με όλο και περισσότερους χώρους γεώτρησης, περισσότεροι άνθρωποι κινδυνεύουν από ατυχήματα και έκθεση σε επιβλαβείς ουσίες που χρησιμοποιούνται στην υδραυλική διάρρηξη. "

Οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την υδραυλική ρωγμάτωση περιλαμβάνουν τις ατμοσφαιρικές εκπομπές και την κλιματική αλλαγή, την υψηλή κατανάλωση νερού, τη μόλυνση του νερού, τη χρήση της γης, τον κίνδυνο σεισμών, την ηχορύπανση και τις επιπτώσεις στην υγεία για τον άνθρωπο. Οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα είναι κυρίως το μεθάνιο που διαφεύγει από τις γεωτρήσεις, καθώς και οι βιομηχανικές εκπομπές από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στη διαδικασία εισπίεσης.

3.4 Το μέλλον των μη συμβατικών υδρογονανθράκων

Οι μη συμβατικοί υδρογονάνθρακες αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια ενεργειακή ασφάλεια τις επόμενες δεκαετίες στο πλαίσιο του νέου ενεργειακού μείγματος.

Τα μη συμβατικά ορυκτά καύσιμα αμφισβήτησαν την έννοια του «peak oil» και οι πηγές είναι γεωγραφικά διαδεδομένες και παρέχουν μεγαλύτερη ενεργειακή ασφάλεια σε πολλές χώρες. Οι τεχνολογικές εξελίξεις, ιδίως οι τεχνικές γεώτρησης, επιτρέπουν την εξαγωγή τέτοιων υδρογονανθράκων με οικονομικές τιμές.

Προκειμένου να διασφαλιστεί η παγκόσμια ενεργειακή ασφάλεια, υποστηρίζεται ότι θα χρειαστούν όλες οι πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των ορυκτών καυσίμων, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των πυρηνικών. Απαιτείται ένα μεγαλύτερο παγκόσμιο όραμα για το καλύτερο ενεργειακό μείγμα για το 2050 με έναν οδικό χάρτη που θα δημιουργηθεί για την εξασφάλιση κατάλληλων πολιτικών για την επίτευξη αυτού. Ενώ η ανανεώσιμη ενέργεια θα αποτελέσει βασικό στοιχείο του ενεργειακού μίγματος, η εξασφάλιση του 100% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έως το 2050 πιστεύεται ότι είναι ανέφικτη. Γι αυτό το λόγο όλο και περισσότερες επενδύσεις γίνονται στον τομέα των μη συμβατικών υδρογονανθράκων καθώς είναι ένα νέο κεφάλαιο στον ενεργειακό τομέα και πολλά υποσχόμενο.

Η αύξηση της παραγωγής μη συμβατικών υδρογονανθράκων θα καθοριστεί σε μεγάλο βαθμό από το πόσο γρήγορα θα αυξηθεί η επένδυση και η βιομηχανική παραγωγή, διατηρώντας παράλληλα την αναγκαία υποδομή (με σημαντικά επίπεδα επενδύσεων) και την περιβαλλοντική νομοθεσία. Οι κίνδυνοι είναι σημαντικοί για τους επενδυτές και τη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου και οι επενδυτές και η βιομηχανία θα πρέπει να σταθμίζουν τις δύσκολες επιλογές και τους ξεχωριστούς στρατηγικούς κινδύνους από τους λειτουργικούς κινδύνους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

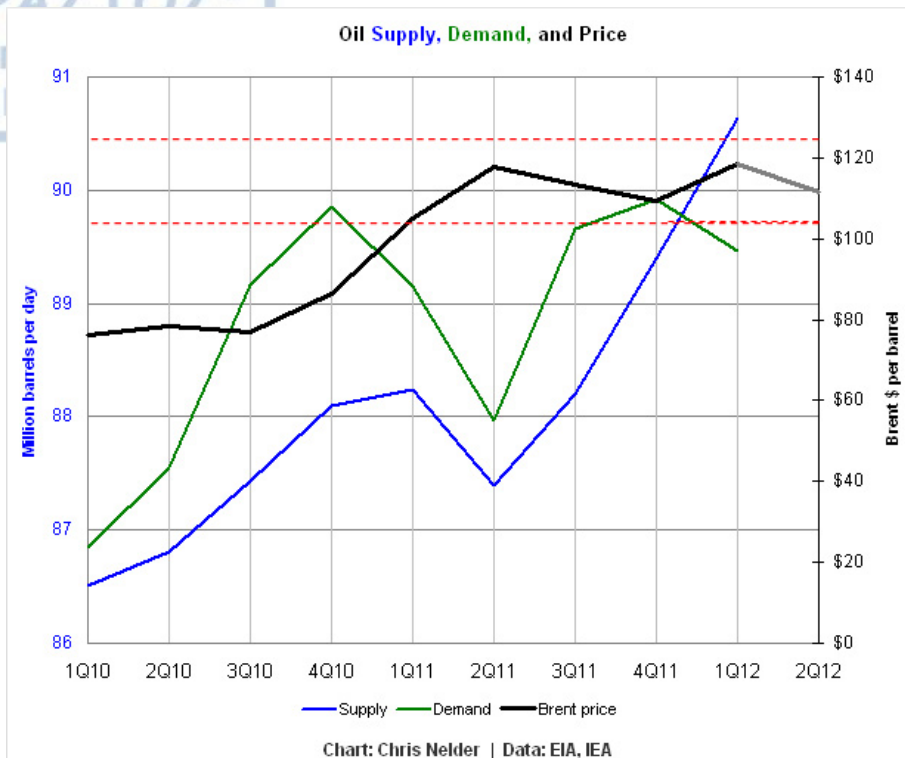
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο ενεργειακός τομέας δέχεται τις περισσότερες επενδύσεις παγκοσμίως μαζί με τις ενέργειες υπέρ του περιβάλλοντος. Αναμφισβήτητα, τις τελευταίες δεκαετίες ο τομέας των υδρογονανθράκων γνώρισε μεγάλη άνθηση. Οι συνεχόμενα αυξανόμενες απαιτήσεις για ενέργεια παγκοσμίως αύξησαν τη ζήτηση τους.

Σαν αποτέλεσμα, ο κατασκευαστικός και ο βιομηχανικός τομέας γνώρισαν μεγάλη άνθηση. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια πλησιάζουμε σε εξάντληση των αποθεμάτων των συμβατικών υδρογονανθράκων και καλούμαστε να επενδύσουμε σε άλλες μορφές ενέργειας.

Το πετρέλαιο έχει αλλάξει ιστορία. Τα τελευταία 100 χρόνια έχει χτυπηθεί με πετρελαϊκούς πολέμους και πετρελαιοκηλίδες. Και ακόμα και στον 21ο αιώνα η κυριαρχία του παραμένει σταθερή. Μπορεί να έχει επιταχύνει όλα τα άλλα, αλλά ο βασικός κανόνας στις αγορές ενέργειας είναι ότι η αλλαγή του συνδυασμού καυσίμων είναι μια διαδικασία χωρίς διακυμάνσεις. Κοντά στο peak του κατά το χρόνο του αραβικού εμπάργκο πετρελαίου το 1973, το πετρέλαιο αντιπροσώπευε το 46% της παγκόσμιας ενεργειακής προσφοράς. Το 2014 εξακολουθεί να έχει μερίδιο 31%, σε σύγκριση με 29% για τον άνθρακα και 21% για το φυσικό αέριο. Οι ταχύτατα αναπτυσσόμενοι ανταγωνιστές στα ορυκτά καύσιμα, όπως η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια, ανέρχονταν μαζί λίγο περισσότερο από το 1%.

Όσο το πετρέλαιο χάνει έδαφος, τόσο το κερδίζει το φυσικό και είναι πιθανό να είναι το τελευταίο ορυκτό καύσιμο που παραμένει, λόγω της σχετικής καθαρότητάς του κατά την καύση του (εικόνα 29).



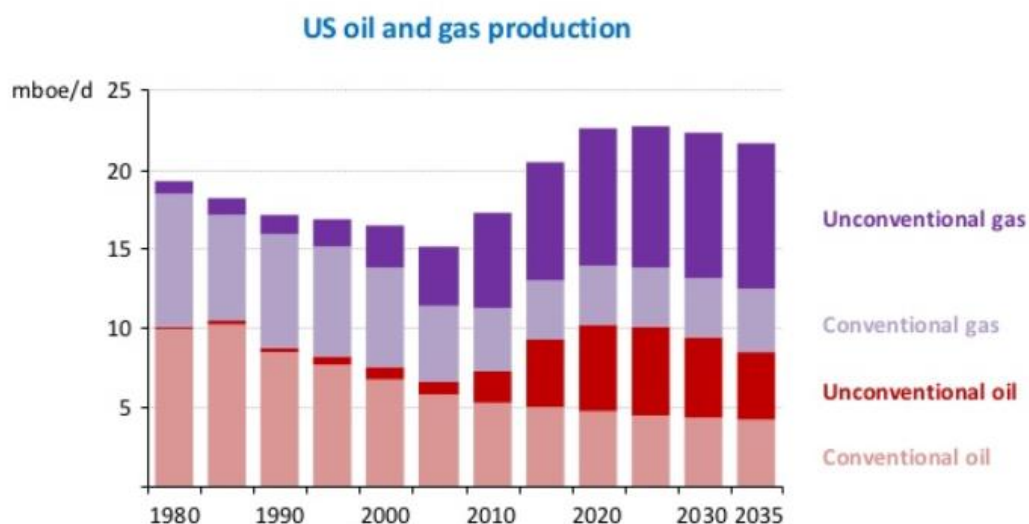
Εικόνα 29: η ζητηση στην αγορά επηρεάζει την τιμή πετρελαίου και κατ επέκταση όλη την αγορά.
<http://i.bnet.com/blogs/oil-price-supply-demand-2010-2012.jpg>

Ενώ πολλές κυβερνήσεις και εταιρείες ενέργειας αυξάνουν την ανάπτυξη και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο πλαίσιο της μετάβασης προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, η μετάβαση στην επάρκεια των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι πιθανό να παραμείνει μερικές δεκαετίες μακριά. Συνεπώς, η εξασφάλιση συνεχών προμηθειών πετρελαίου και φυσικού αερίου αναμένεται να παραμείνει κρίσιμη για την παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη για μερικές δεκαετίες. Ορισμένοι αναλυτές πιστεύουν ότι η παραγωγή παραδοσιακών πηγών πετρελαίου και φυσικού αερίου πλησιάζει στο μέγιστο, ενώ η ζήτηση συνεχίζει να αυξάνεται. Οι τρέχουσες πολιτικές αστάθειες στη Μέση Ανατολή και η αυξημένη εγχώρια κατανάλωση αυτών των οικονομιών μπορεί επίσης να επηρεάσουν τις παγκόσμιες προμήθειες.

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (Ι.Ε.Α.), η παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου από νέες πηγές ή με τη χρήση νέων μεθόδων αναμένεται να διαδραματίσει όλο και σημαντικότερο ρόλο στον παγκόσμιο ενεργειακό εφοδιασμό έως το 2035. Αυτές οι πηγές περιλαμβάνουν βαριούς και εξαιρετικά βαριούς υδρογονάνθρακες, σχιστολιθικούς υδρογονάνθρακες, και εναλλακτικές λύσεις.

Ο ρόλος των μη συμβατικών πηγών στην παγκόσμια ενεργειακή ασφάλεια τα επόμενα είκοσι έως τριάντα χρόνια αναμένεται να είναι τεράστιος, το ίδιο και ο ρόλος τους στην πορεία προς τη μετάβαση προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Το σχιστολιθικό αέριο έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει επανάσταση στο παγκόσμιο ενεργειακό τοπίο. Θα μπορούσε να αλλάξει τους κανόνες του παιχνιδιού. Σήμερα υπάρχει μια μικρή ομάδα χωρών που είναι προμηθευτές ενέργειας. Με το σχιστολιθικό αέριο, μια ολόκληρη νέα ομάδα προμηθευτών θα μπορούσε να συμμετάσχει στην αγορά και ο αντίκτυπος θα γινόταν αισθητά παγκόσμιος. Η διαθεσιμότητα του σχιστολιθικού αερίου στην αγορά θα αλλάξει τις τιμές και να μετατρέψει τους μη συμβατικούς υδρογονάνθρακες σε πρώτη ενεργειακή ύλη, καθώς οδεύουμε προς εξάντληση των συμβατικών αποθεμάτων (εικόνα 30).

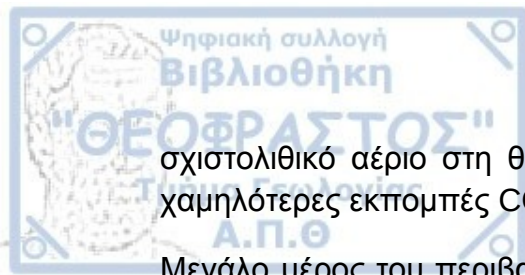


The surge in unconventional oil & gas production has implications well beyond the United States

Εικόνα 30: Οι συμβατικοί υδρογονάνθρακες συνεχώς κερδίζουν έδαφος έναντι των συμβατικών και αναμένεται να υπερिशύσουν στις επόμενες δεκαετίες.
https://aleklett.files.wordpress.com/2012/11/weo2012_usa.jpg

Η αύξηση της προσβασιμότητας του σχιστολιθικού αερίου οδήγησε στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών όπως η οριζόντια διάτρηση και η υδραυλική ρωγμάτωση.

Υπάρχουν πολλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αφενός, το αέριο είναι λιγότερο ρυπογόνο από το πετρέλαιο, και έτσι αντικαθιστώντας το



σχιστολιθικό αέριο στη θέση του πετρελαίου θα μπορούσε να οδηγήσει σε χαμηλότερες εκπομπές CO₂.

Μεγάλο μέρος του περιβαλλοντικού αντίκτυπου θα μπορούσε να αποφευχθεί αν επιλέγαμε αποκλειστικά φυσικό αέριο και σχιστολιθικό αέριο. Βέβαια πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι παγκόσμιες απαιτήσεις της αγοράς καθώς εκείνες καθορίζουν τις κινήσεις αυτές.

Ενώ χάνει έδαφος το συμβατικό πετρέλαιο, το φυσικό αέριο κερδίζει συνεχώς έδαφος, ενώ οι μη συμβατικοί υδρογονάνθρακες παρουσιάζονται σαν την μελλοντική μορφή ενέργειας για χάριν της οποίας η τεχνολογία και οι μέθοδοι εξόρυξης συνεχώς εμπλουτίζονται με καινοτόμες τεχνικές.

Canadian Association of Petroleum Resources., *What are oil sands?*, Alberta Energy

Choquette, P.W., and James, N.P., 1987, Diagenesis 12: *diagenesis in limestones-3. The deep burial environment*: Geoscience Canada, v. 14, p. 3-35.

Choquette, P.W., and Pray, L.C., 1970, *Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates*: AAPG Bulletin, v. 54, p. 207-250

Gluyas J. and Swarbrick R., 2004, *Petroleum Geoscience*, TN870.5 .G58 2003553.2'8—dc21, Blackwell Publishing

Jodry, R.L., 1992, *Pore geometry of carbonate rocks and capillary pressure curves (basic geologic concepts)*, in G.V. Chilingarian, S.J. Mazzullo, and H.H. Rieke, eds., *Carbonate Reservoir Characterization: A Geologic-Engineering Analysis, Part I*: Elsevier Publ. Co., Amsterdam, *Developments in Petroleum Science* 30, p. 331-377.

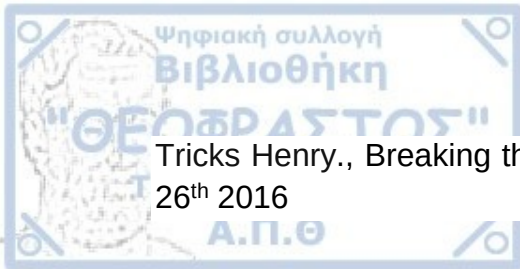
Mazzullo S.J., 2004, *Overview of Porosity Evolution in Carbonate Reservoirs*, *Kansas Geological Society Bulletin*, v. 79, nos. 1 and 2.

Mitchum, R.M. Jr., Vail, R.E., & Thompson, S. III (1977) *The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In Payton, C.E. (ed.) Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration*. American Association of Petroleum Geologists Memoir 26, 53—62.

Moore, C.H. & Haydari, E. (1993) *Burial diagenesis and hydrocarbon migration in platform limestones: a conceptual model based on the Upper Jurassic of the Gulf Coast of the USA*. In Horbury, A.D. & Robinson, A.G. (eds.) *Diagenesis and Basin Development*. Studies in Geology No. 36, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, 213-30.

Planete Energies., *How oil and gas migrate*, 07 July 2015, Total

Rider, M.H. (1986) *The Geological Interpretation of Well Logs*. Blackie/Halsted Press, Glasgow.



Tricks Henry., Breaking the habit; The future of oil, The Economist, November 26th 2016

United States Environmental Protection Agency., The Process of Hydraulic Fracturing

Wilton Park, *New energy: future for unconventional hydrocarbons*, 1July 2011

Wilton Park, *New energy frontiers: what role for hydrocarbons in global energy security?* [WP1111], 15-17 June 2011

<http://reports.weforum.org/outlook-14/wp-content/blogs.dir/30/mp/files/pages/files/shale-gas.pdf>

http://wiki.aapg.org/Factors_that_cause_migration

<http://wiki.aapg.org/Kerogen>