

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΞΟΡΥΞΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ  
ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΥΣ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ,  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ,  
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ :

**ΒΛΑΣΤΑΡΑΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ**

**ΓΕΩΡΓΑΤΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

**ΔΡ. ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ**

**ΠΑΤΡΑ 2014**



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδος, στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ. Στόχος της, είναι η ανάλυση της τεχνολογίας εξόρυξης φυσικού αερίου από σχιστολιθικά πετρώματα.

Αρχικά θα αναλυθεί η προέλευση και ο τρόπος δημιουργίας σχιστολιθικών πετρωμάτων και τα είδη τους καθώς και ο σχηματισμός φυσικού αερίου και η σύστασή του. Στο δεύτερο μέρος αναλύεται η τεχνολογία και η μέθοδος εξόρυξης του από σχιστολιθικά πετρώματα. Στο τελευταίο μέρος θα αναφερθούμε στη νομοθεσία που τη διέπει, στις περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις που προκύπτουν και θα αναφέρουμε τα συμπεράσματά μας.

Θέλουμε να ευχαριστήσουμε θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μας Dr. Μαρία Θεοδωροπούλου για τη βοήθεια που μας προσέφερε ώστε να ολοκληρωθεί αυτή η εργασία. Την ευχαριστούμε πολύ, για όλα όσα μας δίδαξε, για το επιστημονικό υλικό που μας πρόσφερε, τις συμβουλές της, την συμπαράσταση και τις ώρες που μας αφιέρωσε.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας και τους δικούς μας ανθρώπους για τη συμπαράσταση, κατανόηση και βοήθεια που μας επέδειξαν στην φοιτητική μας πορεία και αφιερώνουμε σε αυτούς την πτυχιακή μας εργασία.

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ο ένας τον άλλον για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε και την επιμονή που δείξαμε ώστε να εκπληρωθεί αυτό το έργο.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με την πάροδο διαφόρων γεωλογικών περιόδων σχηματίστηκε σε μεγάλα βάθη και σε υπόγειες κοιλότητες το φυσικό αέριο. Πρόκειται για ένα οικολογικό καύσιμο και μία τεράστια πηγή ενέργειας. Ύστερα από τεχνική επεξεργασία μπορεί να αποκτήσει δυο μορφές, αυτή του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) και αυτή του συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG).

Μία πολύ σημαντική πηγή φυσικού αερίου είναι τα σχιστολιθικά πετρώματα. Οι σχιστόλιθοι συναντώνται στο υπέδαφος και ονομάζονται έτσι λόγω της ιδιότητας που παρουσιάζει το πέτρωμα να σχίζεται σε πλάκες. Στις κοιλότητες αυτών των πετρωμάτων εγκλωβίζεται φυσικό αέριο.

Το αέριο αυτό εξορύσσεται από τα σχιστολιθικά πετρώματα με τη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Κατά τη διάρκεια της μεθόδου αυτής γίνεται διάνοιξη φρέατος στο έδαφος με τη χρήση γεωτρύπανου και στη συνέχεια ενισχύονται τα τοιχώματα του φρέατος με τσιμέντο. Εισάγεται το ρευστό ρωγμάτωσης υπό υψηλή πίεση στα πετρώματα και ακολουθεί μία οριζόντια γεώτρηση στο εσωτερικό του κοιτάσματος. Στο τελικό στάδιο αντλείται το ρευστό ρωγμάτωσης συνοδευόμενο από τους αέριους υδρογονάνθρακες.

Αναπόφευκτη περιβαλλοντική επίπτωση της εξόρυξης φυσικού αερίου από σχιστόλιθο είναι η κατανάλωση γης για τη δημιουργία των εγκαταστάσεων. Σημαντικές ενδεχόμενες επιπτώσεις είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση και η ρύπανση των υπόγειων υδάτων. Επίσης η πείρα από τα έργα δείχνει ότι συμβαίνουν πολλά ατυχήματα, τα οποία είναι επιβλαβή για το περιβάλλον και τον άνθρωπο.

Το μεγαλύτερο μέρος των ατυχημάτων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων θα μπορούσε να αποφευχθεί με την πιστή τήρηση του κανονιστικού πλαισίου της νομοθεσίας της Ε.Ε. Με τη πάροδο των ετών έχουν οριστεί ειδικές οδηγίες και πράξεις, για τη πρόληψη της ρύπανσης του αέρα, των υπόγειων υδάτων καθώς και των ατυχημάτων.

Το Σύστημα Μεταφοράς Φυσικού Αερίου (Σ.Μ.Φ.Α) στην Ελλάδα μεταφέρει Ρωσικό φυσικό αέριο από τα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα μέχρι την Αττική με τη χρήση ενός κεντρικού αγωγού υψηλής πίεσης συνολικού μήκους 512 km. Επίσης μεταφέρει Αλγερινό φυσικό αέριο από το σταθμό του υγροποιημένου φυσικού αερίου στη Ρεβυθούσα στο δίκτυο διανομής φυσικού αερίου. Τέλος υπάρχουν τρία κέντρα λειτουργίας και συντήρησης του κεντρικού αγωγού στην Αττική, στη Θεσσαλονίκη και στη Θεσσαλία.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ</b>	1
1.1 Χαρακτηριστικά του φυσικού αερίου (σύσταση)	1
1.2 Μορφές φυσικού αερίου	4
1.2.1 Υγροποιημένο φυσικό αέριο (Liquefied Natural Gas, LNG)	4
1.2.2 Συμπιεσμένο φυσικό αέριο (Compressed Natural Gas, CNG)	6
1.2.3 Κίνδυνοι χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου	6
1.3 Χρήσεις του φυσικού αερίου	8
1.4 Σχηματισμός (εντοπισμός) φυσικού αερίου	9
<b>2. ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ (shale)</b>	11
2.1 Μεταμόρφωση Πετρωμάτων	13
2.2 Είδη σχιστολίθων	17
2.2.1 Σύνθεση Σχιστόλιθου	20
2.2.2 Χρώματα Σχιστόλιθου	21
2.3 Περιοχές κοιτασμάτων σχιστόλιθου	22
<b>3. ΕΞΟΡΥΞΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟ</b>	22
3.1 Μέθοδος της υδραυλικής ρωγμάτωσης	23
3.2 Τεχνικές απαιτήσεις γεώτρησης	25
3.2.1 Γεωτρύπανο	25
3.2.2 Τεχνική της γεώτρησης	27
3.2.3 Κατηγορίες γεωτρήσεων	28
3.2.4 Μέθοδοι ανόρυξης γεωτρήσεων	29
3.2.5 Γεώτρηση με θετική κυκλοφορία	30
3.2.6 Γεώτρηση με ανάστροφη κυκλοφορία	30
3.3 Τεχνικές απαιτήσεις υδραυλικής ρωγμάτωσης	31
3.3.1 Ρευστό ρωγμάτωσης	31
3.3.2 Χημικά πρόσθετα ρευστού ρωγμάτωσης	32
3.3.3 Μέθοδος ρωγμάτωσης χωρίς νερό	33
<b>4. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ</b>	35
4.1 Περιγραφή έργου τερματικού σταθμού υγροποιημένου φυσικού αερίου	36
4.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις έργου τερματικού σταθμού υγροποιημένου φυσικού αερίου	38

4.2.1 Φυσικό περιβάλλον	38
4.2.2 Ατμόσφαιρα	38
4.2.3 Έδαφος	38
4.2.4 Υδατικοί πόροι	39
4.2.5 Φυσικό τοπίο/ Χλωρίδα – Πανίδα	39
4.2.6 Χρήσεις γης	39
4.2.7 Οικιστικό περιβάλλον	40
4.3 Εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου και ενδεχόμενες επιπτώσεις στο περιβάλλον	40
4.3.1 Επιπτώσεις στο τοπίο	41
4.3.2 Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και ρύπανση του εδάφους	44
4.3.3 Επιφανειακά και υπόγεια ύδατα	45
4.3.4 Μεταβολές στη σεισμικότητα των περιοχών γεώτρησης	47
4.3.5 Ρύπανση από χημικές και ραδιενεργές ουσίες των περιοχών γεώτρησης	47
4.3.6 Ενδεχόμενα μακροπρόθεσμα οικολογικά οφέλη	50
4.4 Κύρια συμπεράσματα	50
<b>5. ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ ΤΗΣ Ε.Ε</b>	51
5.1 Ειδικές οδηγίες για την εξορυκτική βιομηχανία	51
5.2 Μη ειδικές οδηγίες (περιβάλλον και ανθρώπινη υγεία)	52
5.3 Κενά και ανοικτά ζητήματα	59
5.4 Κύρια συμπεράσματα	61
<b>6 ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ</b>	61
6.1 Διανομή φυσικού αερίου	61
6.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος φυσικού αερίου	63
<b>7. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ</b>	64
7.1 Σχιστολιθικό αέριο και προοπτικές ανάπτυξης	64
7.2 Αντίκτυπο εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου στην Αμερική	65
7.3 Συμπεράσματα	66
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	67

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φυσικό αέριο είναι ένα αέριο χωρίς κανένα χαρακτηριστικό, είναι άχρωμο και άοσμο στην καθαρή του μορφή. Είναι χαμηλού ενδιαφέροντος εκτός από το γεγονός ότι είναι αναφλέξιμο και όταν καεί εκλύει μια σημαντική ποσότητα ενέργειας. Αντίθετα με τα υπόλοιπα καύσιμα το φυσικό αέριο κατά την καύση του παράγει υποπροϊόντα στην ατμόσφαιρα τα οποία δεν είναι ρυπογόνα. Η συνεχής απαίτηση για ενέργεια, για θέρμανση των σπιτιών, για οικιακή χρήση, για παραγωγή ρεύματος μετέτρεψε το φυσικό αέριο σε πολύ σημαντικό κομμάτι του καθημερινού τρόπου ζωής μας, επειδή εξαιτίας των ιδιοτήτων του θεωρείται οικολογικό καύσιμο.

Δημιουργήθηκε κατά την διάρκεια διαφόρων γεωλογικών περιόδων του πλανήτη και συγκεντρώθηκε μεταναστεύοντας από τους χώρους δημιουργίας σε υπόγειους ταμειευτήρες, σε πορώδη πετρώματα ή ρωγματώσεις και σε ποικίλους γεωλογικούς σχηματισμούς. Δημιουργήθηκε, είτε από θαλάσσιους οργανισμούς (όπως το πετρέλαιο) είτε από φυτική πρώτη ύλη. Συνήθως βρίσκεται σε μεγάλα βάθη, σε υπόγειες κοιλότητες κι σχεδόν πάντα συνδυάζεται με την εύρεση πετρελαίου πάνω από το οποίο υπάρχει το φυσικό αέριο.

Ανακτάται μέσω φρεάτων που ορύσσονται στους παρακάτω υπόγειους ταμειευτήρες. Η ετήσια παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου ανέρχεται στα  $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ . Τα εκτιμώμενα αποθέματα φυσικού αερίου είναι της τάξης των  $180 \times 10^{12} \text{ m}^3$ . Η εισαγωγή του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ελλάδας αναμένεται να επηρεάσει σημαντικούς κλάδους της οικονομικής και κοινωνικής ζωής της χώρας, μιας και εξασφαλίζεται η διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών στην χώρα, και μάλιστα με ένα καύσιμο υψηλής ποιότητας που μπορεί να διεισδύσει σε όλους σχεδόν τους κλάδους (Βιομηχανία, Ηλεκτροπαραγωγή, συμπαραγωγή, υπηρεσίες και οικιακός τομέας, μεταφορές κ.α.)

Με την εισαγωγή του φυσικού αερίου αναμένονται:

- Η αύξηση της ανταγωνιστικότητας της Ελληνικής βιομηχανίας
- Η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Η βελτίωση της ποιότητας ζωής
- Η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.

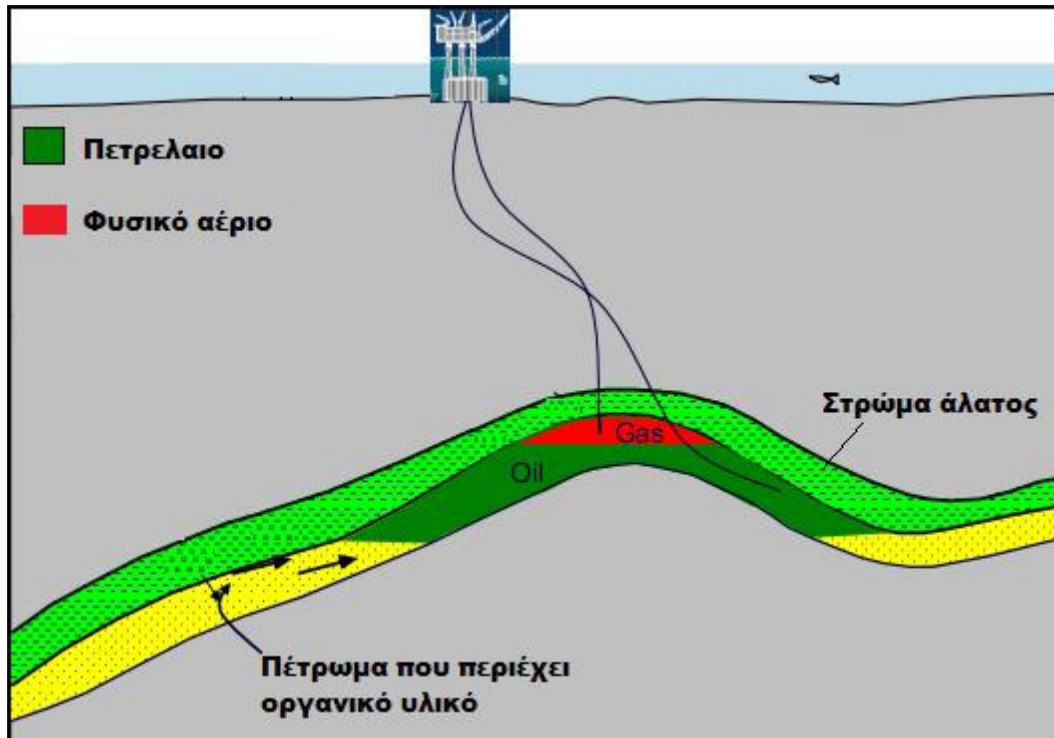




## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

Στο σχήμα που ακολουθεί γίνεται εμφανής η θέση, όπου εντοπίζεται το φυσικό αέριο στην γεωλογική μορφολογία του εδάφους.

Σχήμα 1.1: Προέλευση του φυσικού αερίου



### 1.1 Χαρακτηριστικά Φυσικού αερίου (Σύσταση)

Το φυσικό αέριο είναι ένα μίγμα αερίων υδρογονανθράκων με κυμαινόμενες ποσότητες άλλων αερίων, που θεωρούνται ως ακαθαρσίες. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και σε μικρότερες αναλογίες από άλλα αέρια όπως αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο. Επιπρόσθετα περιλαμβάνει μικρές ποσότητες βαρύτερων υδρογονανθράκων και μη καύσιμα αέρια όπως άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα και υδρόθειο. Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται τα συστατικά του φυσικού αερίου.

**Πίνακας 1.1:** Τυπική σύνθεση του φυσικού αερίου

<b>Συστατικά</b>	<b>% κατά όγκο σύσταση</b>
Μεθάνιο (CH <sub>4</sub> )	70-90
Αιθάνιο (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	5-15
Προπάνιο (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) και Βουτάνιο (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	< 5
CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, κτλ.	μικρότερες ποσότητες

**Πίνακας 1.2:** Τυπικά όρια περιεκτικότητας συστατικών φυσικού αερίου

<b>Συστατικό</b>	<b>Μοριακό κλάσμα</b>
<b>Υδρογονάνθρακες</b>	
Μεθάνιο	0.75 - 0.99
Αιθάνιο	0.01 - 0.15
Προπάνιο	0.01 - 0.10
κ-Βουτάνιο	0.00 - 0.02
Ισοβουτάνιο	0.00 - 0.01
κ-Πεντάνιο	0.00 - 0.01
Ισοπεντάνιο	0.00 - 0.01
Εξάνιο	0.00 - 0.01
Επτάνιο και βαρύτεροι υδρογονάνθρακες	0.00 - 0.001
<b>Μη Υδρογονάνθρακες</b>	
Άζωτο	0.00 - 0.15
Διοξείδιο του Άνθρακα	0.00 - 0.30
Υδρόθειο	0.00 - 0.30
Ήλιο	0.00 - 0.05

### Κύριες ακαθαρσίες

Σε πολλές περιοχές το φυσικό αέριο που εξορύσσεται είναι όξινο, το οποίο σημαίνει ότι περιέχει σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα ή/και υδρόθειου ή/και διοξειδίου του αζώτου. Αν και το διοξείδιο του άνθρακα είναι ανεπιθύμητο σε μεγάλες ποσότητες επειδή κάνει πιο δαπανηρή τη μεταφορά του φυσικού αερίου, μειώνει τη θερμογόνο δύναμη του και μπορεί να έχει διαβρωτική δράση υπό συγκεκριμένες συνθήκες, η περιεκτικότητά του μπορεί να γίνει ανεκτή ακόμη και σε επίπεδα της τάξης του 1-2 επί τοις εκατό. Σε αντίθεση, η συγκέντρωση υδρόθειου σε εμπορεύσιμο αέριο πρέπει να είναι κάτω από 3 ppm λόγω της υψηλής τοξικότητάς του. Επιπλέον είναι πολύ διαβρωτικό σε συνδυασμό με νερό, και όταν καίγεται παράγει διοξείδιο του θείου που είναι επίσης τοξικό και διαβρωτικό. Επομένως το όξινο αέριο αποθειώνεται για να μειωθεί η περιεκτικότητά του σε υδρόθειο σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

### Βαρύτεροι υδρογονάνθρακες και νερό

Το φυσικό αέριο μπορεί να περιέχει βαρείς υδρογονάνθρακες σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες αυτών που αναφέρονται στον Πίνακα 1.2 και στη περίπτωση αυτή αποκαλείται πλούσιο ή υγρό αέριο (rich or wet gas). Επιπρόσθετα μπορεί να είναι κορεσμένο σε υδρατμούς. Αυτά τα συστατικά μπορούν να συμπυκνωθούν σε χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλές πιέσεις και να δυσχεράνουν ή σταματήσουν τη μεταφορά του φυσικού αερίου. Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, το νερό και το αέριο μπορούν να σχηματίσουν παγόμορφα στερεά που ονομάζονται υδρίτες (hydrates). Για να αποφευχθούν τέτοια προβλήματα, το ποσοστό των συμπυκνώσιμων συστατικών μειώνεται σταδιακά με διεργασίες ψύξης, απορρόφησης και προσρόφησης πριν το φυσικό αέριο, που αποκαλείται τότε φτωχό ή ξηρό αέριο (lean or dry gas), μεταφερθεί μέσω αγωγών ή υγροποιηθεί.

### Ιδιότητες του φυσικού αερίου

Το φυσικό αέριο είναι άχρωμο και άοσμο. Η χαρακτηριστική του οσμή δίνεται τεχνικά ώστε να γίνονται αντιληπτές τυχόν διαρροές. Ανήκει στη δεύτερη οικογένεια των αερίων καυσίμων. Είναι ελαφρύτερο από τον αέρα με ειδικό βάρος ίσο με  $0.55 \text{ gr/cm}^3$ . Η καύση του σε σχέση με αυτή άλλων καυσίμων όπως αναφέραμε έχει λιγότερο επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον αφού παράγει μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας (Πίνακας 1.3). Αποτελεί την καθαρότερη πηγή πρωτογενούς ενέργειας μετά τις ανανεώσιμες πηγές. Τα μεγέθη των εκπεμπόμενων ρύπων είναι μικρότερα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, ενώ η βελτίωση του βαθμού απόδοσης μειώνει τη συνολική κατανάλωση καυσίμου περιορίζοντας την ατμοσφαιρική ρύπανση.

**Πίνακας 1.3:** Εκπεμπόμενοι ρύποι σε σχέση με άλλα καύσιμα κατά την καύση σε μονάδα ατμοπαραγωγής σε mg/MJ

Τύπος Καυσίμου	Αιωρούμενα σωματίδια	Οξείδια του Αζώτου (NO <sub>x</sub> )	Διοξείδιο του Θείου (SO <sub>2</sub> )	Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)	Υδρογονάνθρακες
Κάρβουνο	1092	387	2.450	13	2
Μαζούτ	96	170	1.400	14	3
Diesel	6	100	220	16	3

Φυσικό Αέριο	4	100	0,3	17	1
--------------	---	-----	-----	----	---

## 1.2 Μορφές φυσικού αερίου

Πέρα από την φυσική μορφή που έχει το φυσικό αέριο κατά την εξαγωγή από τους υπόγειους ταμιευτήρες, όπου συναντάται με την μορφή του αερίου, το φυσικό αέριο αποκτά δύο μορφές ύστερα από τεχνική επεξεργασία. Πρόκειται για τις μορφές του **υγροποιημένου φυσικού αερίου** και του **συμπιεσμένου φυσικού αερίου** που θα αναλύσουμε παρακάτω.

### 1.2.1 Υγροποιημένο φυσικό αέριο (Liquefied Natural Gas, LNG)

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (ΥΦΑ), είναι φυσικό αέριο που έχει μετατραπεί σε υγρή μορφή για να διευκολυνθεί η αποθήκευση και η μεταφορά του. Είναι άοσμο, άχρωμο, μη τοξικό και μη διαβρωτικό. Η διαδικασία υγροποίησης περιλαμβάνει τον αρχικό καθαρισμό του από ξένες προσμίξεις (π.χ. νερό, χώμα, ήλιο, βαρύτεροι υδρογονάνθρακες) και στη συνέχεια συμπυκνώνεται σε υγρή μορφή σε πίεση κοντά στην ατμοσφαιρική (η μέγιστη πίεση μεταφοράς είναι περίπου 25kPa (3.6 psi) με ψύξη.

Η μεταφορά του γίνεται είτε μέσω ειδικά διαμορφωμένων πλοίων με την αντίστοιχη ψυκτική ικανότητα είτε μέσω αντίστοιχων βυτιοφόρων. Η αποθήκευση του γίνεται σε ειδικά κατασκευασμένες δεξαμενές. Ο όγκος του είναι ίσος με το 1/614 του όγκου του φυσικού αερίου σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, κάνοντας αποδοτική τη μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις, όπου δεν υπάρχουν αγωγοί. Το ειδικό βάρος του ΥΦΑ είναι σχετικά χαμηλό (0.43-0.48 gr/cm<sup>3</sup>).

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο προσφέρει μια πυκνότητα ενέργειας συγκρίσιμη με εκείνη του πετρελαίου και της βενζίνης, ενώ ταυτόχρονα, δημιουργεί λιγότερη ρύπανση, όμως το σχετικά υψηλό κόστος της παραγωγικής διαδικασίας και η ανάγκη αποθήκευσης του σε μια ακριβή κρυογεννητική δεξαμενή, έχει περιορίσει την διάδοσή του για εμπορική χρήση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οχήματα φυσικού αερίου ως καύσιμο, αν και τα περισσότερα από αυτά είναι σχεδιασμένα ώστε να χρησιμοποιούν συμπιεσμένο φυσικό αέριο.

Οι συνθήκες που απαιτούνται για την συμπύκνωση του φυσικού αερίου σε υγρή μορφή, εξαρτώνται από την ακριβή του σύνθεση, από την αγορά για την οποία προορίζεται και από τη διαδικασία που χρησιμοποιείται. Τυπικές τιμές θερμοκρασίας κυμαίνονται από -120 έως -170 °C (το καθαρό μεθάνιο υγροποιείται στους -161.6 °C) και πιέσεις μεταξύ 101 και 6000 kPa (περίπου 1-60atm). Το υψηλής πίεσης φυσικό αέριο που συμπυκνώνεται, στη συνέχεια μετατρέπεται σε χαμηλής πίεσης για αποθήκευση και αποστολή.

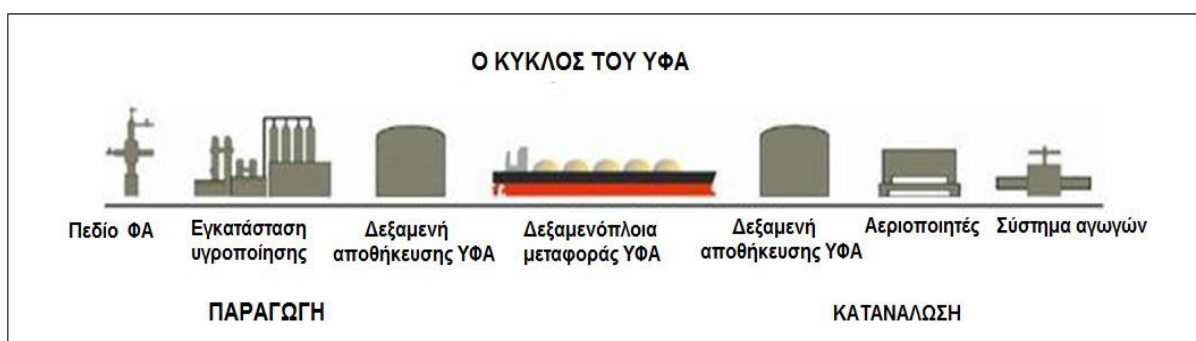
Η πυκνότητα του υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι περίπου 0.41 - 0.5 kg/L, ανάλογα με τη θερμοκρασία, την πίεση και τη σύσταση. Η ικανότητα θερμογόνος δύναμη που έχει δεν είναι συγκεκριμένη, εφόσον εξαρτάται από τη σύσταση του φυσικού αερίου, από την προέλευσή του και από την επεξεργασία του. Η ανώτερη θερμογόνος δύναμή του είναι κατ' εκτίμηση, 24 MJ/L στους -164 °C ενώ για το ίδιο υγροποιημένο φυσικό αέριο, η κατώτερη θερμογόνος δύναμη είναι 21 MJ/L.

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο δεν περιέχει κανένα στοιχείο το οποίο να στερεοποιείται στην θερμοκρασία υγροποίησης. Η τελική, καθαρή του μορφή μπορεί να περιέχει πάνω από 90% μεθάνιο (μερικές φορές και σχεδόν 100%), ενώ περιέχει επιπλέον αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο ή και βαρύτερα αλκάνια.

## Εγκαταστάσεις - Κύκλος υγροποιημένου φυσικού αερίου:

Οι εγκαταστάσεις ή ο κύκλος του υγροποιημένου φυσικού αερίου αποτελείται από τέσσερα αλληλεξαρτώμενα στάδια: α) την εξόρυξη και παραγωγή, β) την υγροποίηση στις εγκαταστάσεις υγροποίησης, γ) τη μεταφορά από το σημείο της υγροποίησης προς τον τελικό προορισμό και δ) την παραλαβή, αποθήκευση και αεριοποίηση στον τελικό προορισμό (Σχήμα 1.2)

**Σχήμα 1.2:** Ο κύκλος του υγροποιημένου φυσικού αερίου



Σε ολόκληρο τον κύκλο του υγροποιημένου φυσικού αερίου από την παραγωγή, την υγροποίηση και τη μεταφορά, την αποθήκευση και την εκ νέου αεριοποίηση εφαρμόζονται τέσσερις απαιτήσεις ασφαλείας: το πρωτεύων "προστατευτικό περίβλημα", το δευτερεύων "προστατευτικό περίβλημα", τα συστήματα διασφάλισης και η απόσταση ασφαλείας (ζώνη ασφαλείας).

α) Πρωτεύων "προστατευτικό περίβλημα": Η πρώτη και πιο σημαντική προϋπόθεση ασφαλείας είναι η αποθήκευση του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλων υλικών για τις δεξαμενές και τον υπόλοιπο εξοπλισμό, καθώς και κατάλληλο σχεδιασμό τεχνικών σε όλο τον κύκλο του υγροποιημένου φυσικού αερίου.

β) Δευτερεύων "προστατευτικό περίβλημα": Το δεύτερο αυτό επίπεδο προστασίας διασφαλίζει ότι κι αν συμβούν διαρροές υγροποιημένου φυσικού αερίου στις δεξαμενές αυτό μπορεί να συγκρατηθεί και να απομονωθεί. Για τις χερσαίες εγκαταστάσεις, αναφέρεται σε αναχώματα από προχώματα γύρω από τις δεξαμενές αποθήκευσης για να συλλέξουν το υγροποιημένο φυσικό αέριο σε περίπτωση διαρροής. Σε ορισμένες εγκαταστάσεις ενισχυμένο σκυρόδεμα περιβάλλει το εσωτερικό της δεξαμενής που συνήθως κρατά το υγροποιημένο φυσικό αέριο. Το δευτερεύων προστατευτικό περίβλημα έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να υπερβαίνει τον όγκο της δεξαμενής αποθήκευσης. Διπλά και πλήρη προστατευτικά περιβλήματα για τις χερσαίες δεξαμενές αποθήκευσης μπορεί να εξαλείψουν την ανάγκη για αναχώματα και προχώματα.

γ) Συστήματα διασφάλισης: Στο τρίτο επίπεδο προστασίας, ο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της απελευθέρωσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου και η μείωση των συνεπειών της απελευθέρωσης του. Για αυτό το επίπεδο ασφαλείας οι επιχειρήσεις υγροποιημένου φυσικού

αερίου χρησιμοποιούν συστήματα ανίχνευσης υγρού, αερίου και φωτιάς για να εντοπίσουν γρήγορα οποιαδήποτε παράβαση στην συγκράτηση και χρησιμοποιούνται τηλεχειριζόμενα αυτόματα συστήματα διακοπής της παροχής για την ελαχιστοποίηση των διαρροών σε περίπτωση βλάβης.

δ) Απόσταση ασφαλείας/αποκλεισμού: Οι κανονισμοί απαιτούν ότι οι εγκαταστάσεις υδροποιημένου φυσικού αερίου θα πρέπει να τοποθετούνται σε ασφαλή απόσταση από τις γειτονικές αστικές, βιομηχανικές και άλλες δημόσιες περιοχές. Επίσης υπάρχουν ζώνες ασφαλείας για δεξαμενόπλοια υδροποιημένου φυσικού αερίου ενώ βρίσκονται εν πλω και ενώ είναι αγκυροβολημένα.

Όσον αφορά την προέλευση του υδροποιημένου φυσικού αερίου, η πλειοψηφία της παγκόσμιας προέλευσης υδροποιημένου φυσικού αερίου προέρχεται από χώρες με μεγάλα αποθέματα φυσικού αερίου όπως η Αλγερία, η Αυστραλία, το Μπρουνέι, η Ινδονησία, η Λιβύη, η Μαλαισία, η Νιγηρία, το Ομάν, το Κατάρ, και το Τρινιντάντ & Τομπάγκο. Σε όλο τον κόσμο υπάρχουν 60 τερματικοί σταθμοί υποδοχής υδροποιημένου φυσικού αερίου (βρίσκονται στην Ιαπωνία, τη Νότια Κορέα, τις ΗΠΑ και ορισμένες Ευρωπαϊκές χώρες). Ορισμένες ποσότητες από το φυσικό αέριο που παράγεται υδροποιείται για τη θαλάσσια μεταφορά σε περιοχές όπου η χρήση φυσικού αερίου υπερβαίνει την τοπική προσφορά. Τέτοιες αγορές συμπεριλαμβάνουν την Ιαπωνία, την Ταϊβάν, την Κορέα, την Δυτική Ευρώπη και τις ΗΠΑ. Το εμπόριο υδροποιημένου φυσικού αερίου προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία από τους αγωγούς γιατί επιτρέπει την μεταφορά φυσικού αερίου όπου υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη ενώ όσο η απόσταση, στην οποία το φυσικό αέριο πρέπει να μεταφερθεί αυξάνεται, τόσο η χρήση του υδροποιημένου φυσικού αερίου έχει οικονομικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη χρήση αγωγών. Η υδροποίηση φυσικού αερίου και η θαλάσσια μεταφορά του γίνεται φθηνότερη από τη μεταφορά φυσικού αερίου σε υπεράκτιους αγωγούς για αποστάσεις άνω των 700 μιλίων ή για επίγειους αγωγούς στην ξηρά για αποστάσεις μεγαλύτερες από 2200 μίλια.

### **1.2.2 Συμπιεσμένο φυσικό αέριο (Compressed Natural Gas, CNG)**

Το συμπιεσμένο φυσικό αέριο είναι φυσικό αέριο το οποίο έχει συμπιεστεί και αποθηκευτεί σε συγκολλητές φιάλες, σε πιέσεις μέχρι και 3600 psi (25 MPa). Τυπικά η σύνθεσή του είναι η ίδια με εκείνη του φυσικού αερίου που μεταφέρεται με αγωγούς, με μια ποσότητα νερού να έχει αφαιρεθεί. Τόσο το υδροποιημένο φυσικό αέριο όσο και το συμπιεσμένο φυσικό αέριο μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα σε κατάλληλα διαμορφωμένες μηχανές εσωτερικής καύσης. Το υδροποιημένο φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθεί συμπιεσμένο φυσικό αέριο και η διαδικασία απαιτεί πολύ λιγότερο αρχικό εξοπλισμό και περίπου το 15% του αντίστοιχου με την κανονική διαδικασία παραγωγής κόστους λειτουργίας και συντήρησης.

### **1.2.3 Κίνδυνοι χρήσης υδροποιημένου φυσικού αερίου .**

Η χρήση του υδροποιημένου φυσικού αερίου εγκυμονεί κάποιους κινδύνους. Ο συχνότερα αναμενόμενος κίνδυνος είναι η ανάφλεξη από φλόγες ή σπινθήρες. Η θερμοκρασία αυτανάφλεξης είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία ένα εύφλεκτο αέριο ή ατμός αναφλέγεται αυτόματα, χωρίς μια πηγή ανάφλεξης (π.χ. σπινθήρα), μετά από μερικά λεπτά έκθεσης στη θερμότητα. Για τους ατμούς μεθανίου που προέρχονται από την εξάτμιση υδροποιημένου φυσικού αερίου με αναλογία μεθανίου - αέρα περίπου στο 10% (περίπου στο μέσο του 5 - 15 % του εύρους αναφλεξιμότητας) και σε ατμοσφαιρική πίεση, η θερμοκρασία

ανάφλεξης είναι πάνω από 540 °C. Γενικά οι κίνδυνοι περιλαμβάνουν αναφλεξιμότητα, κατάψυξη-κρυογενικά εγκαύματα και ασφυξία. Το φυσικό αέριο είναι εύφλεκτο και η ανεξέλεγκτη απελευθέρωσή υγροποιημένου φυσικού αερίου δημιουργεί κινδύνους "πυρκαγιάς λίμνης" και σε περιορισμένους χώρους κινδύνους έκρηξης.

- Πυρκαγιά λίμνης

Μια "πυρκαγιά λίμνης" είναι μια φωτιά στροβιλώδους διάδοσης που καίει πάνω από μια οριζόντια "λίμνη" εξατμιζόμενου καυσίμου, όπου το καύσιμο έχει μηδενική ή χαμηλή αρχική ταχύτητα ροής. Η "πυρκαγιά λίμνης" μπορεί να είναι στατική (π.χ. όταν η "λίμνη" καυσίμου είναι περιορισμένη) ή μια "ταχέως εξαπλωμένη" πυρκαγιά αν το σύννεφο αναφλεχθεί σε σημαντική απόσταση από την διαρροή.

**Σχήμα 1.3:** Πυρκαγιά λίμνης



- Έκρηξη ατμών υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Σε περίπτωση διαρροής η ταχύτητα αεριοποίησης αυξάνεται δημιουργώντας ένα νέφος ψυχρών ατμών φυσικού αερίου. Ο όγκος του αυξάνει 600 φορές και αναμειγνυόμενο με τον αέρα, ψύχει τον αέρα και σχηματίζει ένα κρύο λευκό σύννεφο ατμών που είναι μεγαλύτερο σε πυκνότητα από τον αέρα και δεν διαλύεται. Το σύννεφο αυτό μπορεί να ταξιδέψει με τον άνεμο σε σημαντικές αποστάσεις, μέχρι να συναντήσει μια πηγή ανάφλεξης ή να διαλυθεί όταν αυξηθεί αρκετά η θερμοκρασία των ατμών. Το φυσικό αέριο όταν είναι σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ελαφρύτερο από τον αέρα και ανεβαίνει στην ατμόσφαιρα όπου και διαλύεται γρήγορα σε περίπτωση διαρροής. Ωστόσο το υγροποιημένο φυσικό αέριο, λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας του ψύχει τον αέρα καθώς αεριοποιείται και αναμειγνύεται με αυτόν. Το κρύο νέφος ατμών υγροποιημένου φυσικού αερίου που δημιουργείται παραμένει πυκνότερο από τον αέρα, δεν διαλύεται και μετακινείται προς την κατεύθυνση του ανέμου. Εάν το κρύο νέφος του αεριοποιημένου υγροποιημένου φυσικού αερίου εισέλθει σε ένα κλειστό χώρο (π.χ. ένα δωμάτιο ή κτήριο) θα αναφλεχθεί και θα εκραγεί. Η θερμική ακτινοβολία που προέρχεται από την ανάφλεξη ενός σύννεφου ατμών υγροποιημένου φυσικού αερίου μπορεί να είναι πολύ υψηλή, μέσα στο αναφλεγόμενο σύννεφο, και κατά συνέπεια ιδιαίτερα επικίνδυνη για τους ανθρώπους.

- Άμεση κατάψυξη- κρυογενικά εγκαύματα

Άμεση επαφή με υγροποιημένο φυσικό αέριο θα προκαλέσει άμεση κατάψυξη εγκαταστάσεων και ατόμων διότι είναι ακραία κρύο (-161°C). Σοβαρή ζημιά και θάνατος μπορεί να προκληθεί από την ευρεία έκθεση σε αυτό.

- Ασφυξία  
Όταν το υγροποιημένο φυσικό αέριο απελευθερώνεται σε μεγάλη ποσότητα, εξατμίζεται και οι ατμοί εκτοπίζουν τον αναπνεύσιμο αέρα. Εάν το εξατμισμένο υγροποιημένο φυσικό αέριο δεν αναφλεγεί, τότε είναι ικανό να προκαλέσει ασφυξία

### 1.3 Χρήσεις του φυσικού αερίου

Το φυσικό αέριο συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και μπορεί να υποκαταστήσει την ηλεκτρική ενέργεια στην τελική κατανάλωση όποτε μπορεί να έχει τις παρακάτω χρήσεις:

- Οικιακή χρήση  
Όχι μόνο είναι φθηνότερο για τον καταναλωτή, αλλά έχει και ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών. Οι πιο σημαντικοί τρόποι εκμετάλλευσής του στο σπίτι είναι η θέρμανση και το μαγείρεμα με φυσικό αέριο.
- Τριτογενής εμπορικός τομέας  
Η χρήση του είναι παρόμοια με την οικιακή, περιλαμβάνονται όμως υποδομές όπως γραφεία, σχολεία, εκκλησίες, ξενοδοχεία, εστιατόρια, και κυβερνητικά κτίρια. Το φυσικό αέριο στον τομέα αυτό χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση χώρου, θέρμανση νερού και ψύξη. Επίσης χρησιμοποιείται στη λειτουργία εξοπλισμού εστίασης.
- Βιομηχανία  
Το φυσικό αέριο έχει μια πληθώρα εφαρμογών και στη βιομηχανία, παρέχοντας την πρώτη ύλη για προϊόντα όπως το πλαστικό, τα λιπάσματα, τα αντιψυκτικά και την υφαντουργία. Ο βιομηχανικός τομέας αποτελεί και τον κύριο καταναλωτή φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο είναι η δεύτερη πιο χρησιμοποιούμενη μορφή ενέργειας στη βιομηχανία, μετά την ηλεκτρική.
- Φυσικό αέριο και μεταφορές  
Το φυσικό αέριο εδώ και πολλά χρόνια θεωρείται ως ένα εναλλακτικό καύσιμο στον τομέα των μεταφορών. Τα περισσότερα οχήματα φυσικού αερίου κινούνται με χρήση συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG). Ο τρόπος αποθήκευσης του είναι παρόμοιος με αυτόν που ακολουθείται στα συμβατικής τεχνολογίας αυτοκίνητα για την αποθήκευση της βενζίνης. Το ντεπόζιτο ενός αυτοκινήτου φυσικού αερίου γεμίζει αντίστοιχα το ίδιο εύκολα και γρήγορα με ένα συμβατικό αυτοκίνητο. Τα οχήματα φυσικού αερίου είναι περισσότερο κατάλληλα για εφοδιασμό μεγάλων στόλων οχημάτων που διανύουν καθημερινά μεγάλες αποστάσεις. Οχήματα όπως ταξί, λεωφορεία, οχήματα κατασκευών, απορριμματοφόρα, αυτοκίνητα διανομών, είναι τα πλέον κατάλληλα για κίνηση με φυσικό αέριο.
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση φυσικού αερίου  
Το φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμεύσει στην παραγωγή ενέργειας με διαφορετικούς τρόπους. Η μέθοδος με τη μεγαλύτερη εφαρμογή είναι αυτή της μονάδας παραγωγής



ατμού, όπου το φυσικό αέριο καίγεται και από την παραγόμενη θερμότητα ζεσταίνεται νερό, ατμοποιείται και μέσω ενός ατμοστρόβιλου, παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Το ίδιο το φυσικό αέριο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε έναν αεριοστρόβιλο, κατευθείαν, παράγοντας με παρόμοιο τρόπο ηλεκτρική ενέργεια. Οι αεριοστρόβιλοι συνήθως μπαίνουν σε λειτουργία σε περιόδους αυξημένης ζήτησης, επειδή είναι πολύ εύκολο να μπουν σε λειτουργία ή να σταματήσουν όταν χρειαστεί.

#### 1.4 Σχηματισμός φυσικού αερίου

Συνήθως συναντάται σε υπόγειους ταμιευτήρες και συχνά συνδέεται με κοιτάσματα πετρελαίου. Οι εταιρίες παραγωγής ψάχνουν για ίχνη αυτών των ταμιευτήρων, με χρήση εξειδικευμένης τεχνολογίας, η οποία βοηθά στην ανεύρεση της τοποθεσίας όπου υπάρχει φυσικό αέριο και ανοίγονται πηγάδια στη γη στα σημεία αυτά. Αφού έχει έρθει στην επιφάνεια, το φυσικό αέριο διυλίζεται για να αφαιρεθούν ακαθαρσίες, όπως το νερό, άλλα αέρια, άμμος και άλλα στοιχεία. Ορισμένοι υδρογονάνθρακες αφαιρούνται και πωλούνται ξεχωριστά όπως το προπάνιο και το βουτάνιο. Επίσης, άλλες ακαθαρσίες απομακρύνονται, όπως τα σουλφίδια υδρογόνου (από την διύλιση των οποίων μπορεί να παραχθεί θείο το οποίο μετά πωλείται ξεχωριστά). Μετά την επεξεργασία του το καθαρό φυσικό αέριο μεταφέρεται διαμέσου ενός δικτύου από αγωγούς στο σημείο χρήσης του.

Το φυσικό αέριο είναι ένα ορυκτό καύσιμο. Όπως συμβαίνει με το πετρέλαιο και το κάρβουνο, είναι τα κατάλοιπα των φυτών και των ζώων, καθώς και των μικροοργανισμών που έζησαν πριν από εκατομμύρια χρόνια. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές θεωρίες για το πως δημιουργούνται τα ορυκτά καύσιμα. Η πιο διαδεδομένη λέει ότι δημιουργούνται όταν οργανική ύλη (όπως τα φυτικά και ζωικά κατάλοιπα) συμπιέζονται κάτω από τη γη σε πολύ υψηλές πιέσεις και για πολύ χρόνο. Το αποτέλεσμα των παραπάνω αναφέρεται ως θερμογενές μεθάνιο. Με τρόπο παρόμοιο με το σχηματισμό πετρελαίου, το θερμογενές μεθάνιο αποτελείται από οργανικά μόρια που είναι καλυμμένα με λάσπη και ιζήματα. Με την πάροδο χρόνου όλο και περισσότερη λάσπη, ιζήματα και άλλες αποθέσεις συσσωρεύονται πάνω από την οργανική ύλη. Οι εναποθέσεις αυτές ασκούν πολύ μεγαλύτερες πιέσεις στην οργανική ύλη με αποτέλεσμα τη συμπίεσή της. Η συμπίεση αυτή, σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες που απαντιούνται βαθιά στη γη, προκαλεί την αποδόμηση των δεσμών του άνθρακα μέσα στην οργανική ύλη. Όσο πηγαίνουμε όλο και βαθύτερα στο φλοιό της γης, η θερμοκρασία ολοένα και αυξάνεται. Στις χαμηλότερες θερμοκρασίες παράγεται περισσότερο πετρέλαιο σε σχέση με το φυσικό αέριο. Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες όμως, παράγεται περισσότερο πετρέλαιο σε σχέση με το φυσικό αέριο. Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες όμως, παράγεται περισσότερο φυσικό αέριο αντί για πετρέλαιο. Για το λόγο αυτό το φυσικό αέριο συνδέεται συνήθως με πετρέλαιο σε κοιτάσματα που βρίσκονται ένα ή δυο μίλια κάτω από την επιφάνεια της γης. Βαθύτερα κοιτάσματα περιέχουν συνήθως κυρίως φυσικό αέριο και σε πολλές περιπτώσεις καθαρό μεθάνιο.

Το φυσικό αέριο μπορεί, επίσης, να σχηματιστεί από τον μετασχηματισμό της οργανικής ύλης από μικροοργανισμούς. Το είδος του μεθανίου αυτού είναι γνωστό σαν βιογενές μεθάνιο. Οι μικροοργανισμοί αυτοί, διασπούν με χημικό τρόπο την οργανική ύλη και παράγουν μεθάνιο. Συναντώνται σε περιοχές κοντά στην επιφάνεια της γης, όπου υπάρχει κενό οξυγόνου. Ακόμα, ζουν στα έντερα πολλών ζώων, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου. Ο σχηματισμός μεθανίου με αυτόν τον τρόπο συνήθως συμβαίνει κοντά στην επιφάνεια της γης και το παραγόμενο μεθάνιο συνήθως χάνεται στην ατμόσφαιρα. Κάτω από ειδικές συνθήκες όμως το εκλυόμενο μεθάνιο μπορεί να παγιδευτεί κάτω από τη γη, από όπου μπορεί να αντληθεί σαν

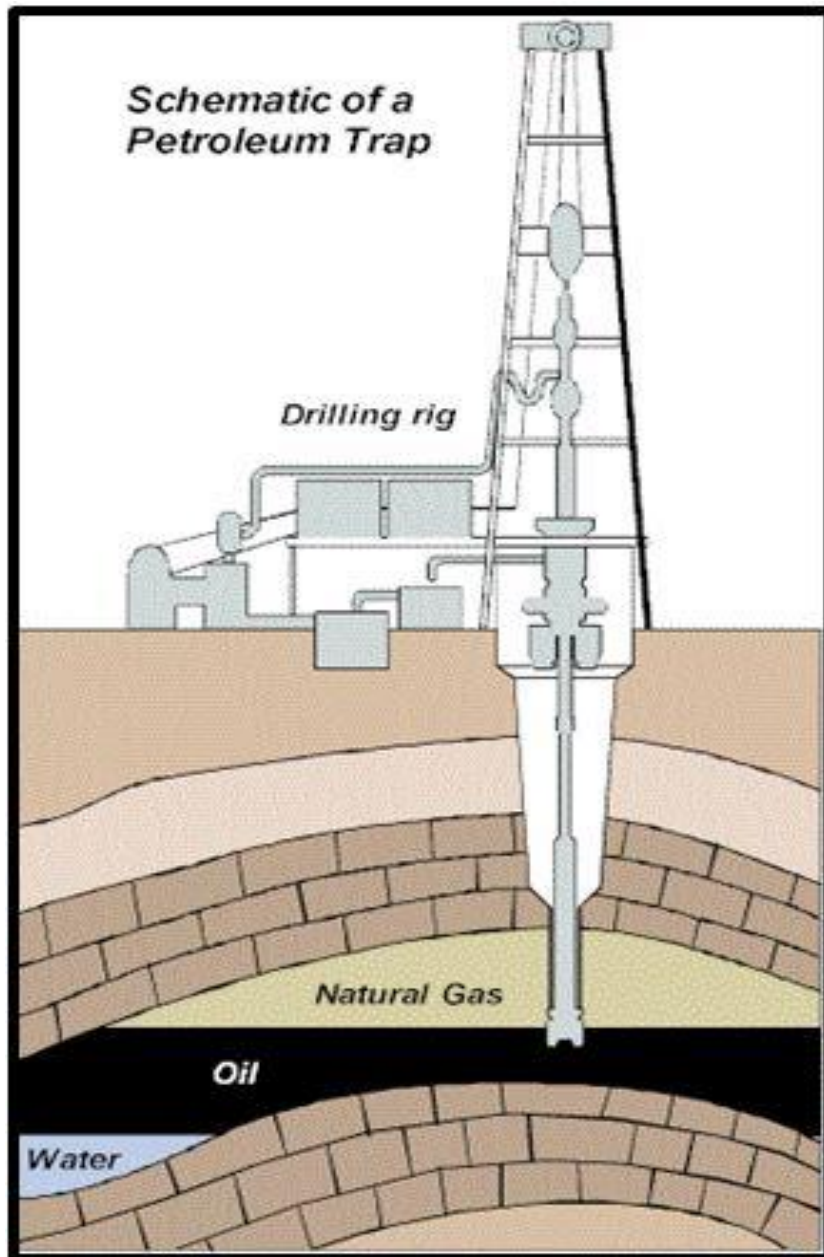
φυσικό αέριο. Ένα παράδειγμα βιογενούς μεθανίου είναι εκείνο που δημιουργείται σε χώρους απόθεσης απορριμάτων, όπου παράγεται ένα αρκετά υψηλό ποσοστό φυσικού αερίου από την αποσύνθεση των απορριμάτων που περιέχουν.

Ένας τρίτος τρόπος με τον οποίο δημιουργείται μεθάνιο (και φυσικό αέριο) είναι διαμέσου μιας αβιογενούς διαδικασίας. Σε εξαιρετικά μεγάλα βάθη κάτω από τον φλοιό της γης, υπάρχουν αέρια πλούσια σε υδρογόνο και μόρια άνθρακα. Καθώς τα αέρια αυτά βαθμιαία ανεβαίνουν προς την επιφάνεια της γης, μπορεί να αντιδράσουν με άλλα ορυκτά που επίσης βρίσκονται εκεί, απουσία οξυγόνου. Αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να οδηγήσει σε μια αντίδραση σχηματισμού στοιχείων και συστατικών που συναντιούνται στην ατμόσφαιρα (όπως άζωτο, οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα, αργό και νερό). Αν οι πιέσεις που ασκούνται πάνω στα αέρια αυτά είναι αρκετά υψηλές, καθώς αυτά κινούνται προς την επιφάνεια της γης, μπορεί να σχηματιστούν κοιτάσματα από μεθάνιο, όπως και στην περίπτωση του θερμογενούς μεθανίου.

Το φυσικό αέριο συνήθως εντοπίζεται κάτω από την επιφάνεια της γης. Καθώς το φυσικό αέριο έχει χαμηλή πυκνότητα, όταν σχηματίζεται θα κινηθεί προς την επιφάνεια της γης διαμέσου χαλαρών, αργιλικών πετρωμάτων και άλλων παρόμοιων υλικών. Το μεγαλύτερο ποσοστό υδρογόνου απλά θα ανέβει και θα διασκορπιστεί στον αέρα. Παρόλα αυτά, μια μεγάλη ποσότητα μεθανίου θα ανέβει και θα παγιδευτεί σε γεωλογικούς σχηματισμούς κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούνται από στρώματα πορώδους, ιζηματογενούς πετρώματος, με κάποιο πυκνότερο, αδιαπέραστο στρώμα πετρωμάτων στην κορυφή. Το τελευταίο, είναι και εκείνο που παγιδεύει το φυσικό αέριο κάτω από το έδαφος. Αν οι σχηματισμοί αυτοί είναι αρκετά μεγάλοι, μπορούν να παγιδεύσουν μια μεγάλη ποσότητα φυσικού αερίου, σχηματίζοντας με τον τρόπο αυτό ένα κοιτάσμα. Υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί τέτοιοι σχηματισμοί, αλλά ο πιο κοινά διαδεδομένος, δημιουργείται όταν το κορυφαίο στρώμα σχηματίζει ένα θόλο, ο οποίος παγιδεύει όλο το φυσικό αέριο που αιωρείται προς την επιφάνεια.

Η εικόνα 1.4 δείχνει πως το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο μπορεί να παγιδευτεί κάτω από ένα αδιαπέραστο ιζηματογενές πέτρωμα, σε ένα σχηματισμό που είναι γνωστός σαν αντικλινής. Για να μπορέσουμε να φέρουμε τα ορυκτά καύσιμα από εκεί στην επιφάνεια, πρέπει να ανοίξουμε μια τρύπα διαμέσου του αδιαπέραστου πετρώματος, έτσι ώστε να απελευθερωθούν. Αξίζει να σημειωθεί πως σε κοιτάσματα που περιέχουν και πετρέλαιο και φυσικό αέριο, το τελευταίο, καθώς έχει την μικρότερη πυκνότητα, θα βρίσκεται πιο κοντά στην επιφάνεια, με το πετρέλαιο από κάτω, στις περισσότερες των περιπτώσεων συνοδευόμενο από κάποια ποσότητα νερού.

Σχήμα 1.4: Εγκλωβισμένο φυσικό αέριο και πετρέλαιο και πηγή άντλησής του



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ

Ο σχιστόλιθος είναι ένα ορυκτό προϊόν το οποίο για να πάρει τη τελική τη μορφή, συνεργάστηκαν πολλοί παράγοντες. Στη διάρκεια εκατομμυρίων ετών, η θερμοκρασία, η υγρασία, η πίεση και η ολίσθηση γεωλογικών πλακών στο εσωτερικό της γης συνεργάστηκαν και δημιούργησαν τους σχιστόλιθους. Πριν από 400 εκατομμύρια χρόνια περίπου αποθηκευόταν στο βυθό της προϊστορικής θάλασσας ηφαιστιογενής μάζα σε μορφή λεπτών χαλικιών , η οποία με την ισχυρή πίεση που δεχόταν μετατράπηκε σε συμπαγή πέτρα .Έτσι

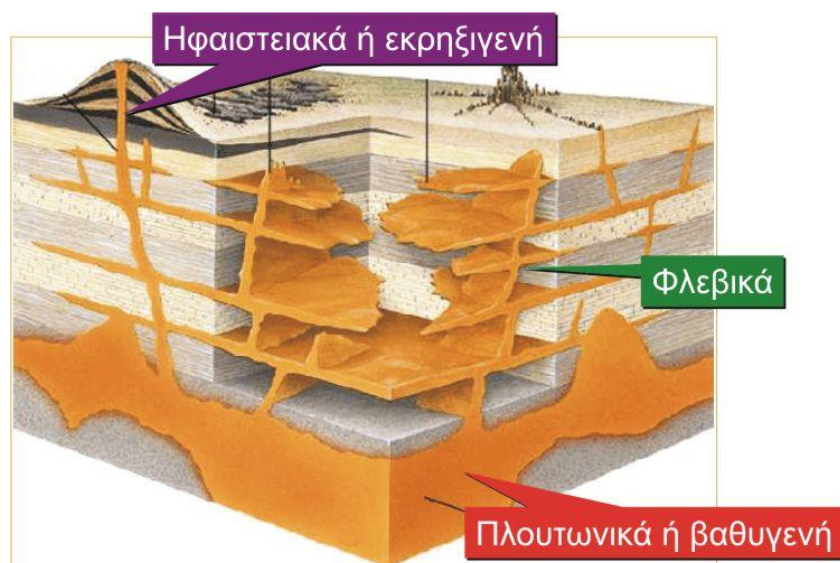
δημιουργήθηκε ο σχιστόλιθος ο οποίος χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο εδώ και 2000 χρόνια σε διάφορες εφαρμογές. Οι Ρωμαίοι πολύ νωρίς κατάλαβαν την ανθεκτικότητά του και τον χρησιμοποίησαν σαν δομικό υλικό. Όλους αυτούς τους αιώνες ο σχιστόλιθος διακόσμησε πολλά αρχιτεκτονικά έργα.

Οι σχιστόλιθοι είναι κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα, τα οποία έχουν υποστεί έντονα την επίδραση της μεταμόρφωσης (σχιστοφυής όψη), καθώς σχηματίστηκαν, κυρίως, στη μεσαία και στην κάτω ζώνη της καθολικής μεταμόρφωσης. Το όνομα σχιστόλιθος, άλλωστε, προέρχεται από την ιδιότητα που παρουσιάζει το πέτρωμα να σχίζεται σε πλάκες. Για να καταλάβουμε όμως πως σχηματίστηκαν οι σχιστόλιθοι είναι σημαντικό να καταλάβουμε τα αρχικά πετρώματα από τα οποία προήλθαν οι σχιστόλιθοι αλλά και τις διαδικασίες με τις οποίες προέκυψαν.

### Αρχικά πετρώματα

Τα αρχικά πετρώματα από τα οποία έχουν προέλθει λέγονται πρωτόλιθοι. Όταν οι πρωτόλιθοι είναι πυριγενή πετρώματα το πέτρωμα παίρνει το πρόθεμα όρθο-, ενώ όταν οι πρωτόλιθοι είναι ιζηματογενή πετρώματα το πέτρωμα παίρνει το πρόθεμα παρα-. Πυριγενή πετρώματα είναι εκείνα τα πετρώματα, τα οποία δημιουργούνται μετά από τη στερεοποίηση του μάγματος (φυσικό τήγμα το οποίο υπάρχει μέσα στη Γη σε διάφορα

### Σχήμα 2.1: Πυριγενή Πτερώματα



βάθη). Το μάγμα όταν εκχυθεί στην επιφάνεια λέγεται λάβα.

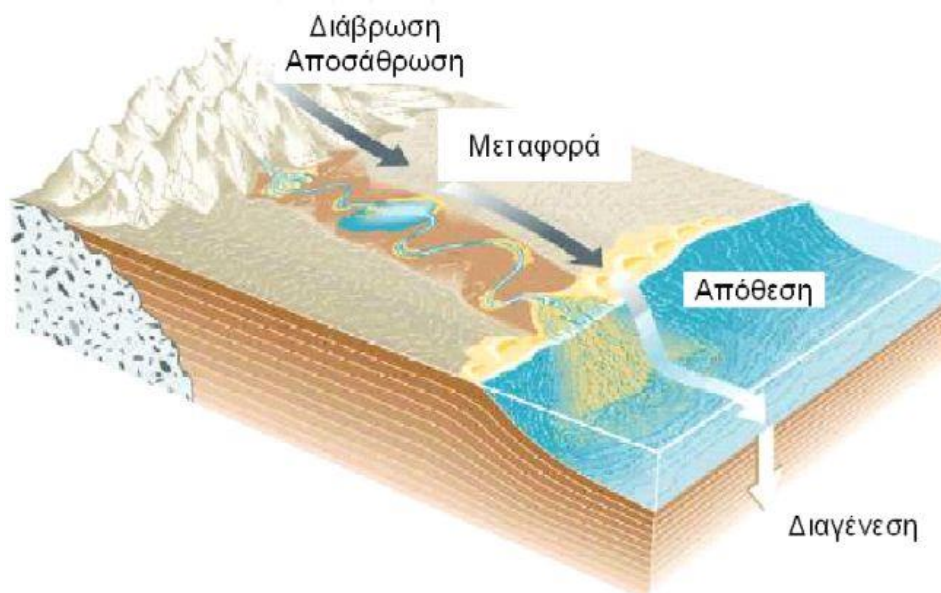
Ιζηματογενή πετρώματα είναι εκείνα τα πετρώματα, τα οποία σχηματίζονται από απόθεση ή καταβύθιση υλικών που βρίσκονται σε αιώρηση ή διάλυση μέσα σε ένα ρευστό μέσο (νερό ή αέρας) και τη μετέπειτα συγκόλληση των υλικών που αποτέθηκαν. Χαρακτηρίζονται από τη στρώση των υλικών τους σε διαδοχικά επίπεδα και τα απολιθώματα, τα οποία βρίσκονται μόνο μέσα σε ιζήματα.

Ο σχηματισμός ιζηματογενών πετρωμάτων γίνεται με :

- Διάβρωση και αποσάθρωση, που είναι οι φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες που υφίστανται τα προϋπάρχοντα πετρώματα με αποτέλεσμα την καταστροφή τους.

- Μεταφορά των υλικών που προέκυψαν από την αποσάθρωση, με τον άνεμο και το νερό των ποταμών και των θαλασσών.
- Απόθεση των υλικών που βρίσκονται σε αιώρηση ή διάλυση. Η απόθεση γίνεται σε διαδοχικά στρώματα.
- Διαγένεση, που είναι η διαδικασία με την οποία ένα χαλαρό ίζημα μετατρέπεται σε συμπαγές πέτρωμα, με τη βοήθεια της πίεσης των υπερκείμενων στρωμάτων και της φυσικής συνδετικής ύλης.

**Σχήμα 2.2:** Ιζηματογενή πετρώματα



## 2.1 Μεταμόρφωση πετρωμάτων

Οι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν το είδος και την ένταση της μεταμόρφωσης είναι κυρίως

- Η πίεση (P)
- Η θερμοκρασία (T) και
- Τα θερμά διαλύματα και αέρια

Ανάλογα με τη με την επίδραση που έχουν σε κάθε πέτρωμα χαρακτηρίζονται και οι μεταμορφώσεις σε :

- ❖ Ισοφασική μεταμόρφωση

Ισοφασική χαρακτηρίζεται η μεταμόρφωση, όταν έχουμε μεταβολή μόνο του ιστού του προϋπάρχοντος πετρώματος. Π.χ. ένα πέτρωμα όπως ο γρανίτης το οποίο μεταμορφώνεται σε γνεύσιο (ευρέως διαδεδομένο πέτρωμα που προέρχεται από υψηλού βαθμού περιφερειακή μεταμόρφωση πετρωμάτων) σχιστόλιθο όπου παραμένει να αποτελείται από τα ίδια ορυκτά αλλά από ολοκρυσταλλικό ιστό, ο ιστός του πλέον γίνεται σχιστοφυής όπως έχουμε πεί ότι είναι οι σχιστόλιθοι.

#### ❖ Αλλοφασική μεταμόρφωση

Αλλοφασική χαρακτηρίζεται η μεταμόρφωση, όταν έχουμε αλλαγή και της ορυκτολογικής σύστασης.

Πχ. η άργιλος που αποτελείται από αργιλικά ορυκτά μετατρέπεται σε γνεύσιο που αποτελείται από χαλαζία, αστρίους και μαρμαρυγίες.

#### ❖ Ισοχημική μεταμόρφωση

Ισοχημική χαρακτηρίζεται η μεταμόρφωση, εάν η χημική σύσταση του πετρώματος παραμένει ίδια.

#### ❖ Αλλοχημική μεταμόρφωση

Αλλοχημική χαρακτηρίζεται η μεταμόρφωση, εάν έχουμε αλλαγή της χημικής σύστασης του πετρώματος.

### Είδη μεταμόρφωσης

Τα κύρια είδη της μεταμόρφωσης είναι τρία, εξαρτώμενα από τη δράση των παραγόντων μεταμόρφωσης:

- Γενική μεταμόρφωση

Κατά τη γενική μεταμόρφωση το βασικό ρόλο παίζουν η πίεση (P) και η θερμοκρασία (T). Σ' αυτό το είδος της μεταμόρφωσης το εύρος των τιμών τόσο της θερμοκρασίας όσο και της πίεσης ποικίλουν, όπως και η συμμετοχή της ρευστής φάσης. Είναι η πιο συχνή μεταμόρφωση και τα προϊόντα της είναι μεγάλου όγκου.

- Δυναμική μεταμόρφωση

Κατά τη δυναμική μεταμόρφωση ο βασικός παράγοντας μεταμόρφωσης είναι η πίεση (P) με τη μορφή ισχυρών λιθοστατικών πιέσεων Σχήμα 2.3. Συχνό φαινόμενο σ' αυτή την κατηγορία είναι ο θρυμματισμός του πετρώματος. Συναντάται κυρίως κοντά σε ρήγματα, και ζώνες ολίσθησης.

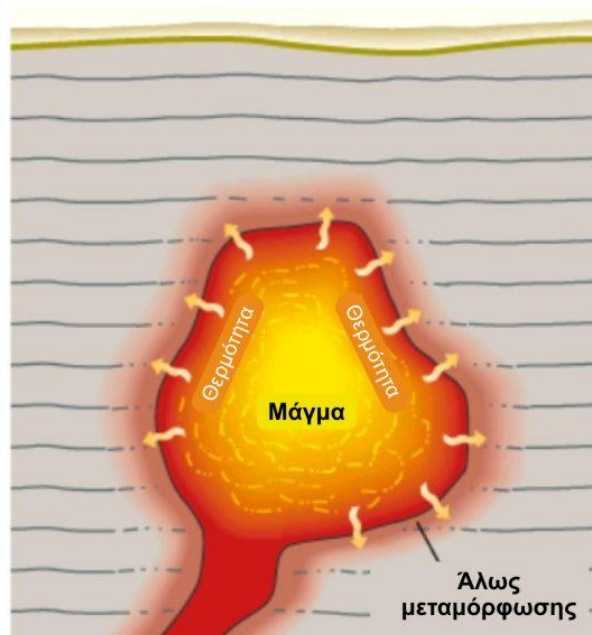
**Σχήμα 2.3:** Δυναμική μεταμόρφωση



- Θερμική μεταμόρφωση ή μεταμόρφωση επαφής

Κατά τη θερμική μεταμόρφωση ο βασικός παράγοντας μεταμόρφωσης είναι η θερμοκρασία (T) και τα ρευστά συστατικά. Προέρχεται από την επίδραση της θερμοκρασίας και των ρευστών συστατικών ενός πυριγενούς πετρώματος, κυρίως πλουτωνίτη, στα περιβάλλοντα πετρώματα σχ. 2. Το πάχος του πετρώματος που έχει υποστεί τη θερμομεταμόρφωση κυμαίνεται από λίγα εκατοστά έως και εκατοντάδες μέτρα. Η μεταμορφωθείσα ζώνη ονομάζεται άλως μεταμόρφωσης.

**Σχήμα 2.4:** Θερμική μεταμόρφωση.



## Βαθμός μεταμόρφωσης

Ο βαθμός μεταμόρφωσης είναι όρος ο οποίος χρησιμοποιείται για να δηλώσει την ένταση τη δράσης των παραγόντων της.

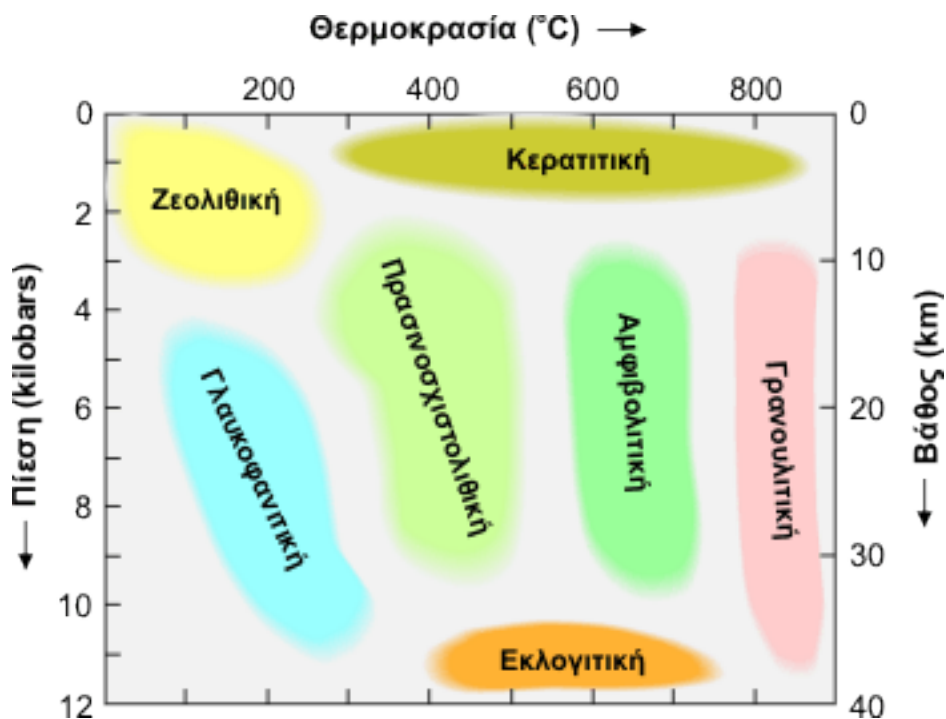
Τρεις γενικοί χαρακτηρισμοί χρησιμοποιούνται για το βαθμό μεταμόρφωσης.

- Χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση έχουμε όταν οι μεταμορφικοί παράγοντες έχουν χαμηλές τιμές.
- Υψηλού βαθμού όταν οι τιμές των παραγόντων είναι σε υψηλά επίπεδα και τέλος
- Μέσου βαθμού μεταμόρφωση όταν έχουμε ενδιάμεσες τιμές.

## Φάσεις μεταμόρφωσης

Με σκοπό να έχουμε ακριβέστερο προσδιορισμό του βαθμού μεταμόρφωσης και συστηματική ταξινόμηση της μεγάλης ποικιλίας των μεταμορφωμένων πετρωμάτων γίνεται κατάταξή τους στις λεγόμενες μεταμορφικές φάσεις ή φάσεις μεταμόρφωσης. Μία μεταμορφική φάση αποτελείται από όλα εκείνα τα μεταμορφωμένα πετρώματα με διάφορες χημικές και ορυκτολογικές συστάσεις που σχηματίστηκαν κάτω από ορισμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Οι φάσεις παίρνουν το όνομά τους από τα ονόματα ορυκτών ή πετρωμάτων χαρακτηριστικών κάθε φάσης.

**Σχήμα 2.5:** Μεταμορφωσικές Φάσεις





➤ Προϊούσα μεταμόρφωση

Η μεταμόρφωση ονομάζεται προϊούσα όταν στη νέα κατάσταση του πετρώματος αντιστοιχεί θερμοκρασία υψηλότερη από αυτή της προηγούμενης θέσης.

➤ Ανάδρομος μεταμόρφωση

Αντίθετα εάν η νέα θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την προηγούμενη, η μεταμόρφωση λέγεται ανάδρομος.

## 2.2 Είδη σχιστολίθων

Ο Σχιστόλιθος όπως αναφέραμε είναι πέτρωμα που έχει την ιδιότητα να σχίζεται εύκολα σε παράλληλα επίπεδα. Οι σχιστόλιθοι ανήκουν στην κατηγορία των ιζηματογενών και των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων. Προκύπτουν από ιζηματογενή πετρώματα, κυρίως αργιλικά, και από πυριγενή, κυρίως περιδοτίτες.

Διακρίνονται σε :

- Αργιλικούς σχιστόλιθους

Προέκυψαν με διαγένεση από τη λεπτόκοκκη άργιλο, αφού πρώτα σχηματίστηκε η ενδιάμεση μορφή (σχιστή άργιλος). Είναι πετρώματα με ομοιόμορφη σύσταση και παρουσιάζουν τέλεια σχιστότητα.

- Φυλλίτες

### Σχήμα 2.6: Φυλλίτης



- Μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους

**Σχήμα 2.7:** Μαρμαρυγιακος σχιστόλιθος



Οι πρώτοι είναι ημιμεταμορφωμένα πετρώματα, ενώ οι δεύτεροι μεταμορφωμένα που προέκυψαν από τα πρώτα. Αρχικά υλικά και για τα δύο ήταν οι άργιλοι και οι αργιλικόι σχιστόλιθοι. Περιέχουν χαλαζία, μαρμαρυγίες, αργιλοπυριτικές ενώσεις και λίγους ή καθόλου αστρίους. Οι φυλλίτες σχίζονται κατά φύλλα, ενώ οι μαρμαρυγιακοί είναι πιο συμπαγή πετρώματα.

- Αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους

**Σχήμα 2.8:** Αμφιβολιτικός σχιστόλιθος



Είναι πετρώματα που προέκυψαν από αμφίβολους (ομάδα πυριγενών πετρωμάτων) που αντιπροσωπεύεται από τον ακτινόλιθο (πυριγενές πέτρωμα).

- Χλωριτικούς σχιστόλιθους

**Σχήμα 2.9:** Χλωριτικός σχιστόλιθος



Είναι και αυτοί μεταμορφωμένα πετρώματα που είχαν ως αρχικό υλικό τους περιδοτίτες (πυριγενές πέτρωμα). Κύριο ορυκτολογικό τους συστατικό είναι ο χλωρίτης. Το διοξείδιο του πυριτίου κυμαίνεται σ` αυτούς από 30 μέχρι 60%.

- Ταλκικούς σχιστόλιθους

**Σχήμα 2.10:** Ταλκικός σχιστόλιθος



που προήλθαν, όπως και οι δύο προηγούμενοι, από μεταμόρφωση περιδοτιτών. Κύριο συστατικό τους είναι ο τάλκης. Το διοξείδιο του πυριτίου βρίσκεται στην ίδια αναλογία όπως και στους δύο προηγούμενους

Σήμερα θεωρείται ως πιθανότερο ότι οι σχιστόλιθοι σχηματίστηκαν κάτω από την επίδραση ενός συνδυασμού γεωλογικών διεργασιών. Ο σχηματισμός του γίνεται συνήθως στις μέσες θερμοκρασίες, αλλά και στις μεγάλες.

Εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας τους είναι δύσκολη η συστηματική τους κατάταξη. Η διάκρισή τους από τα άλλα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα είναι επίσης δύσκολη γιατί πάντα υπάρχουν κι ενδιάμεσοι τύποι. Στην Ελλάδα οι σχιστόλιθοι είναι διαδεδομένοι σε ευρεία κλίμακα. Χρησιμοποιούνται κυρίως στη δομική. Για να διευκρινίσουμε ορισμένα θέματα σχετικά με τους σχιστόλιθους, πρέπει να πούμε πως στην αγορά διακοσμητικών πετρωμάτων, ως σχιστόλιθοι χαρακτηρίζονται πολλά πετρώματα που έχουν ως κοινό τους χαρακτηριστικό το ότι σχίζονται σχετικά εύκολα σε πλάκες (σχιστόπλακες). Έτσι ως σχιστόλιθοι, με την εμπορική έννοια του όρου, χαρακτηρίζονται πετρώματα με καλή σχιστότητα, όπως οι σχίστες (slates), ορισμένοι γνεύσιοι και φυλλίτες, ορισμένοι ασβεστόλιθοι και ασβεστολιθικοί σχιστόλιθοι (calc – schists), χαλαζίτες, καθώς και λεπτόκοκκα. Στη γεωλογική ορολογία, ως σχιστόλιθος (schist) χαρακτηρίζεται κάθε σχιστοφυές ισχυρά μεταμορφωμένο πέτρωμα που συνίσταται από τα ορυκτά μοσχοβίτη, χλωρίτη, χαλαζία και άλλα τυπικά ορυκτά που είναι διατεταγμένα σε σχεδόν παράλληλη διάταξη λόγω της ισχυρής μεταμόρφωσης.

Επίσης στην ομάδα των σχιστολίθων κατατάσσονται και οι σχίστες (slates), τα λεπτόκοκκα δηλαδή αργιλώδη πετρώματα, πολύ χαμηλού έως χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης, που λόγω παράλληλης διάταξης των κρυστάλλων τους, παρουσιάζουν μια πολύ καλή σχιστότητα παράλληλα προς ένα συγκεκριμένο επίπεδο και σχίζονται σε πλάκες λεπτού πάχους και μεγάλης σχετικά επιφάνειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κάλυψη στεγών.

### 2.2.1 Σύνθεση σχιστόλιθου

Ο σχιστόλιθος είναι πέτρωμα αποτελούμενο κυρίως από μικροσκοπικούς κόκκους ορυκτών. Αυτοί οι μικροσκοπικοί κόκκοι είναι συνήθως αργιλικά ορυκτά, ιλλίτης, καολινίτη και σμεκτίτης. Συνήθως περιέχουν κι άλλα μεταλλικά σωματίδια, όπως χαλαζία, πυριτόλιθο και αστρίων. Άλλα συστατικά μπορεί να περιλαμβάνουν οργανικά σωματίδια, ανθρακικά ορυκτά, μέταλλα, οξείδιο του σιδήρου. Αυτά τα « άλλα συστατικά » συχνά προσδιορίζονται από το περιβάλλον της εναπόθεσης του σχιστολιθικού πετρώματος και συχνά καθορίζουν το χρώμα του.

**Πίνακας 2.1 :** Σύνθεση σχιστόλιθου

Ιλλίτης (illite )	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,H_2O]$
Καολινίτης ( Caolinite )	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
Σμεκτίτης ( Smectite)	$(Ca_{0.17}(Al,Fe,Mg)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2.nH_2O)$

## 2.2.2. Χρώματα σχιστόλιθου

Όπως τα περισσότερα πετρώματα, το χρώμα του σχιστολιθικού καθορίζεται συχνά από την παρουσία ειδικών υλικών σε μικρές ποσότητες. Μόνο ένα μικρό ποσοστό των οργανικών υλικών ή σιδήρου μπορεί να αλλάξει σημαντικά το χρώμα του.

### Μαύρο και γκρι χρώμα

Ένα μαύρο χρώμα στα ιζηματογενή πετρώματα δείχνει σχεδόν πάντα την παρουσία οργανικών υλικών. Μόνο ένα ή δύο τοις εκατό οργανικά υλικά μπορούν να προσδώσουν ένα σκούρο γκρι ή μαύρο χρώμα στο βράχο. Επιπλέον, αυτό το μαύρο χρώμα υποδηλώνει ότι σχεδόν πάντα ο σχιστόλιθος που σχηματίζεται από ιζήματα αποτίθεται σε ένα περιβάλλον με ανεπάρκεια οξυγόνου. ο λόγος της έλλειψης του είναι ότι οποιαδήποτε ποσότητα οξυγόνου τέθηκε το περιβάλλον αντέδρασε γρήγορα με τα οργανικά υπολείμματα. Αν μια μεγάλη ποσότητα του οξυγόνου ήταν παρούσα τα οργανικά υπολείμματα θα είχαν όλα αποσυντεθεί. Ένα περιβάλλον φτωχό σε οξυγόνο επίσης παρέχει τις κατάλληλες συνθήκες για τον σχηματισμό των θειούχων μεταλλευμάτων, όπως σιδηροπυρίτη, ένα άλλο σημαντικό ορυκτό που βρέθηκαν στους περισσότερους μαύρους σχιστόλιθους.

Η παρουσία οργανικού υλικού στους μαύρους σχιστόλιθους είναι πολύ σημαντική γιατί τους κάνει υποψήφιους για τη παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου. Τα κοιτάσματά σχιστόλιθου Barnett, Marcellus, Haynesville, Fayetteville και άλλα πετρώματα παραγωγής αερίου είναι όλα σκούρο γκρι ή μαύρο σχιστόλιθοι που παράγουν φυσικό αέριο. Οι σχιστόλιθοι Bakken της Βόρειας Ντακότα και η Eagle Ford του Τέξας είναι παραδείγματα των σχιστόλιθων που παράγουν πετρέλαιο.

(Οι ονομασίες των πετρωμάτων καθορίστηκαν από τους ανθρώπους που τα ανακάλυψαν).

### Κόκκινο, καφέ και κίτρινο χρώμα

Σχιστόλιθοι που εναποτίθενται σε πλούσια σε οξυγόνο περιβάλλοντα συχνά περιέχουν μικροσκοπικά σωματίδια οξειδίου του σιδήρου ή υδροξειδίου του σιδήρου ορυκτά όπως αιματίτης, γαιίτης ή λειμονίτης. Μόνο ένα μικρό ποσοστό αυτών των ορυκτών που διανέμονται μέσω του βράχου μπορεί να παράγει το κόκκινο, καφέ ή κίτρινο χρώμα που έδειξαν πολλοί τύποι σχιστόλιθου. Η παρουσία του αιματίτη μπορεί να παράγει ένα κόκκινο χρώμα σχιστόλιθου. Η παρουσία του λειμονίτη ή γκαιίτη μπορεί να παράγει ένα κίτρινο ή καφέ σχιστόλιθο.

### Πράσινο χρώμα

Οι πράσινοι σχιστόλιθοι βρίσκονται περιστασιακά. Αυτό το χρώμα δεν προκαλεί έκπληξη, διότι ορισμένα από τα αργιλικά ορυκτά που αποτελούν μεγάλο μέρος του όγκου των πετρωμάτων αυτών έχουν συνήθως ένα πρασινωπό χρώμα.

## 2.3 Περιοχές κοιτασμάτων σχιστόλιθου

Τα σχιστολιθικά κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι «άφθονα» στον πλανήτη, σύμφωνα με την τελευταία έκθεση της αμερικανικής υπηρεσίας ενέργειας, που εκτιμά ότι ο κόσμος έχει 10% περισσότερα αποθέματα σε σχέση με τις εκτιμήσεις που έκανε η ίδια δύο χρόνια πριν. Στην τελευταία της έκθεση η Energy Information Administration λαμβάνει υπόψη νέες γεωλογικές έρευνες και αποτελέσματα από αντλήσεις ώστε να έχει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τα κοιτάσματα σε παγκόσμιο επίπεδο. Συγκεκριμένα η έρευνα της υποστηρίζει την ύπαρξη 95 πηγών σε 41 χώρες.

Στο σχιστολιθικό αέριο τα περισσότερα τεχνικώς αντλήσιμα αποθέματα έχει η Κίνα με 1,1 τρισ. κυβικά πόδια. Ακολουθεί η Αργεντινή, η Αλγερία, οι ΗΠΑ και ο Καναδάς. Στο σχιστολιθικό πετρέλαιο η Ρωσία κατέχει τα περισσότερα «τεχνικώς αντλήσιμα» αποθέματα, με 75 δισ. βαρέλια. Οι ΗΠΑ έρχονται στην 2η θέση με 58 δισ. βαρέλια. Ακολουθούν η Κίνα, η Αργεντινή και η Λιβύη.

Στις ΗΠΑ τα σχιστολιθικά κοιτάσματα έλυσαν το πρόβλημα της μεγάλης ζήτησης φυσικού αερίου. Τα ειδικά αυτά πετρώματα με έκταση, μερικά στο μέγεθος της Ελλάδος, βρίσκονται σε πολλά σημεία του υπεδάφους των ΗΠΑ με τα πιο σημαντικά στην Πενσυλβανία, στα σύνορα Τέξας-Λουιζιάνα και στη Οκλαχόμα. Τα τελευταία χρόνια μεγάλες αμερικάνικες εταιρείες όπως η Exxon, η Conoco-Phillips η Chevron και η Marathon, έχουν αρχίσει την αγορά γης όπου στο υπέδαφος υπάρχουν τα αντίστοιχα γεωλογικά πετρώματα, κυρίως στη βόρεια Πολωνία, την ανατολική Γερμανία, Τσεχία, Ουγγαρία και Αυστρία.

Ταυτόχρονα, έχει αρχίσει η καταγραφή (με την εποπτεία του Ινστιτούτου Γεωλογικών Ερευνών GFZ της Γερμανίας) όλων των αντιστοιχών πετρωμάτων σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, προκειμένου να διαπιστωθεί το εύρος του εγχειρήματος και στην Ευρώπη. Στην Ελλάδα οι Γερμανοί του GFZ, έχουν ανακαλύψει κοιτάσματα σχιστόλιθου στην Βόρεια και κεντροδυτική Ελλάδα. Σύμφωνα με προκαταρκτική μελέτη του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) σε Πίνδο, Αλεξανδρούπολη, Ορεστιάδα και άλλες περιοχές της Βορείου Ελλάδας εντοπίζονται κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΞΟΡΥΞΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στη μέθοδο της εξόρυξης του φυσικού αερίου από σχιστολιθικά κοιτάσματα. Καθώς ο κόσμος εμμένει στη διασφάλιση της ενεργειακής τροφοδοσίας σε επάρκεια και ανταγωνιστικές τιμές, συνεχώς αναδύονται νέες ενεργειακές προτάσεις. Μετά την πετρελαϊκή άμμο και την πυρηνική ενέργεια προβάλλεται η εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου (shale gas). Ο σχιστόλιθος είναι ένα από τα πιο κοινά ιζηματογενή πετρώματα που βρίσκονται στη γη, αποτελεί μια δεξαμενή φυσικού αερίου και «ευκαιρία» για την ανάπτυξη μιας νέας, ενεργειακής αγοράς.

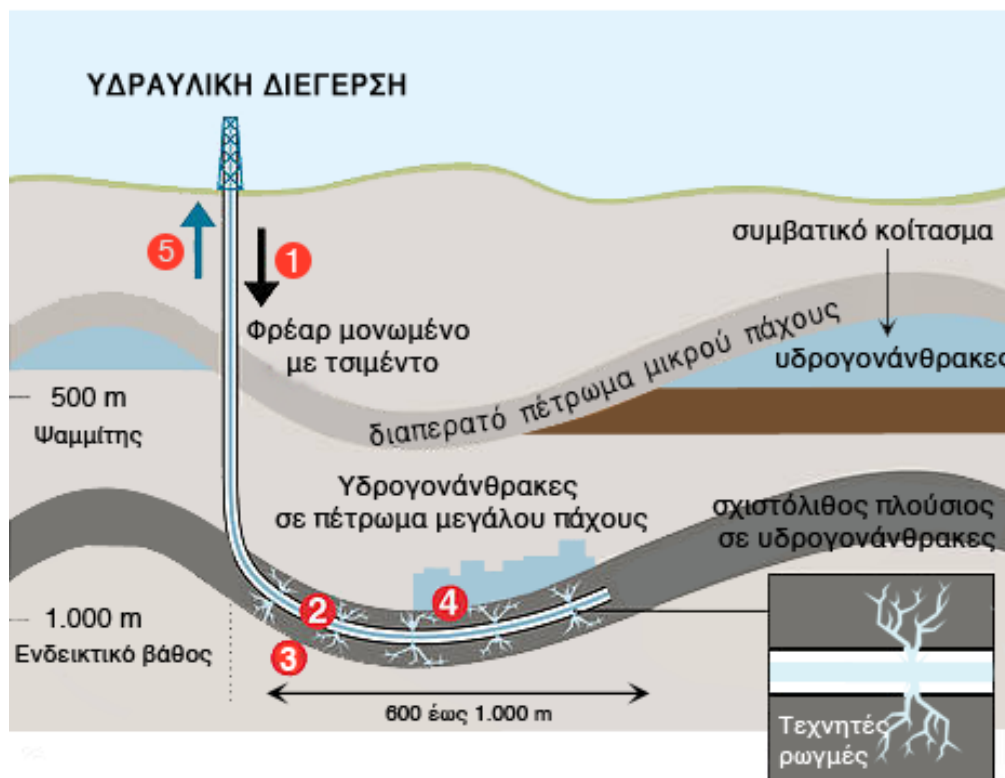
Τα σχιστολιθικά κοιτάσματα βρίσκονται στο υπέδαφος για να μπορέσει ο άνθρωπος να εκμεταλλευτεί το φυσικό αέριο που κρύβεται μέσα σε αυτά τα κοιτάσματα ανέπτυξε διάφορους μεθόδους εξόρυξης με πιο ευρεία εφαρμοζόμενη την “υδραυλική ρωγμάτωση”.

### 3.1 Μέθοδος της υδραυλικής ρωγμάτωσης

Η υδραυλική διέγερση ή ρωγμάτωση (συχνά αναφέρεται με ένα από τα δύο ονόματα), αφορά τη διοχέτευση ενός ρευστού υπό πίεση στο φρέαρ μιας γεώτρησης για τη δημιουργία ή τη διάνοιξη υπεδαφικών ρωγμών που διευκολύνουν τη ροή συνήθως πετρελαίου ή φυσικού αερίου προς τη θέση της γεώτρησης. Η τεχνική εφαρμόστηκε για πρώτη φορά, πειραματικά, το 1947. Δύο χρόνια αργότερα άρχισε να αξιοποιείται με επιτυχία για να αυξηθούν οι αντλούμενες ποσότητες πετρελαίου από παλιές και νέες πετρελαιοπηγές. Ωστόσο, καθιερώθηκε μόλις τη δεκαετία του 1970, όταν με τη βοήθειά της έγιναν εμπορικά εκμεταλλεύσιμες οι τεράστιες ποσότητες πετρελαίου και φυσικού αερίου που βρίσκονταν εμποτισμένες στα ψαμμιτικά πετρώματα των δυτικών ΗΠΑ. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σήμερα στις περισσότερες νέες πετρελαιοπηγές.

Στο Σχήμα 3.1 βλέπουμε ένα γράφημα της μεθόδου της υδραυλικής διεγέρσεως.

**Σχήμα 3.1:** Υδραυλική διέγερση σχιστολιθικού κοιτάγματος



Επειδή η γεώτρηση γίνεται στο υπέδαφος και έρχεται σε επαφή με τον υδροφόρο ορίζοντα, η διαδικασία περιλαμβάνει μέτρα για την προστασία των αποθεμάτων νερού. Για να διασφαλιστεί ότι ούτε το υγρό που τελικά θα αντλείται μέσω του ταμιευτήρα νερού, ούτε το φυσικό αέριο που θα συλλέγεται θα εισέρχεται στην παροχή νερού, εισάγονται χαλύβδινα περιβλήματα σε βάθος μεταξύ 305 και 1220 μετρών. Το διάστημα ανάμεσα σε αυτά τα

περιβλήματα και την ανοιγμένη τρύπα (οπή γεώτρησης), ονομάζεται δακτύλιος, και γεμίζεται με τσιμέντο. Μόλις τοποθετηθεί το τσιμέντο, τότε συνεχίζεται η γεώτρηση μέσα από το ασάλινο περίβλημα γύρω από το οποίο υπάρχει το τσιμέντο, στο επόμενο βάθος. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται, με τη χρήση μικρότερων χαλύβδινων περιβλημάτων κάθε φορά, μέχρις ότου να φθάσει η γεώτρηση στο κοίτασμα.

Αφού γίνει η διάνοιξη του φρέατος με κοπτικά και η ενίσχυση των τοιχωμάτων του με τσιμέντο ξεκινά η διαδικασία της υδραυλικής διέγερσης που αποτελείται από πέντε βήματα :

- 1) Αρχικά ένα μίγμα από νερό , άμμο και χημικές ουσίες διοχετεύεται υπο υψηλή πίεση στα πετρώματα .
- 2) Γίνεται οριζόντια γεώτρηση μεγάλου μήκους στο εσωτερικό του κοιτάσματος
- 3) Δημιουργείται φρέαρ διαμέτρου 30-40 cm .
- 4) Η υψηλή υδραυλική πίεση δημιουργεί ρωγμές, στις οποίες εισχωρεί η άμμος του γεωτρητικού ρευστού και τις κρατάει ανοιχτές .Οι ρωγμές αυτές διευκολύνουν τη ροή των υδρογονανθράκων και μπορεί να φτάσουν σε μήκος τα 100 m και ύψος τα 10 m.
- 5) Τελικά το γεωτρητικό ρευστό αντλείται πάλι στην επιφάνεια, ακολουθούμενο από τους εγκλωβισμένους υδρογονάνθρακες .

Όμως η σύγχρονη τεχνολογία της υδραυλικής διέγερσης δεν περιλαμβάνει μόνο τη διοχέτευση ρευστού υπό πίεση. Εξίσου μεγάλη σημασία για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου έχουν η σχετικά πρόσφατη τεχνική της γεώτρησης υπό γωνία, ή οριζόντιας γεώτρησης. αλλά και η σύνθεση του ρευστού που χρησιμοποιείται. Η τεχνική της οριζόντιας γεώτρησης άρχισε να αναπτύσσεται τη δεκαετία του 1980 για την άντληση του πετρελαίου από τις τεράστιες αποθέσεις κρητίδας (κιμωλίας) του νότιου Τέξας. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε σχιστόλιθους.

Μέχρι το 1996, το ρευστό που χρησιμοποιούσαν σε όλες τις παραπάνω γεωτρήσεις ήταν το νερό. Το 1997, όμως, οι τεχνικοί της εταιρίας Mitchell Energy είχαν την ιδέα να προσθέσουν σε αυτό αδρανή υλικά και χημικές ουσίες, που βελτίωναν θεαματικά την αποτελεσματικότητα της μεθόδου όσον αφορά τη δημιουργία ρωγμών και διακλάσεων. Η επιμονή του ελληνικής καταγωγής ιδρυτή της εταιρείας, George Mitchell, και η πρωτοβουλία της τεχνικής του ομάδας να συνδυάσει τις δύο γεωτρητικές τεχνικές, έκαναν την άντληση υδρογονανθράκων από συμπαγείς γεωλογικούς σχηματισμούς – όπως είναι οι σχιστόλιθοι, οικονομικά προσοδοφόρα.



## 3.2 Τεχνικές απαιτήσεις γεώτρησης

### 3.2.1 Γεωτρύπανο

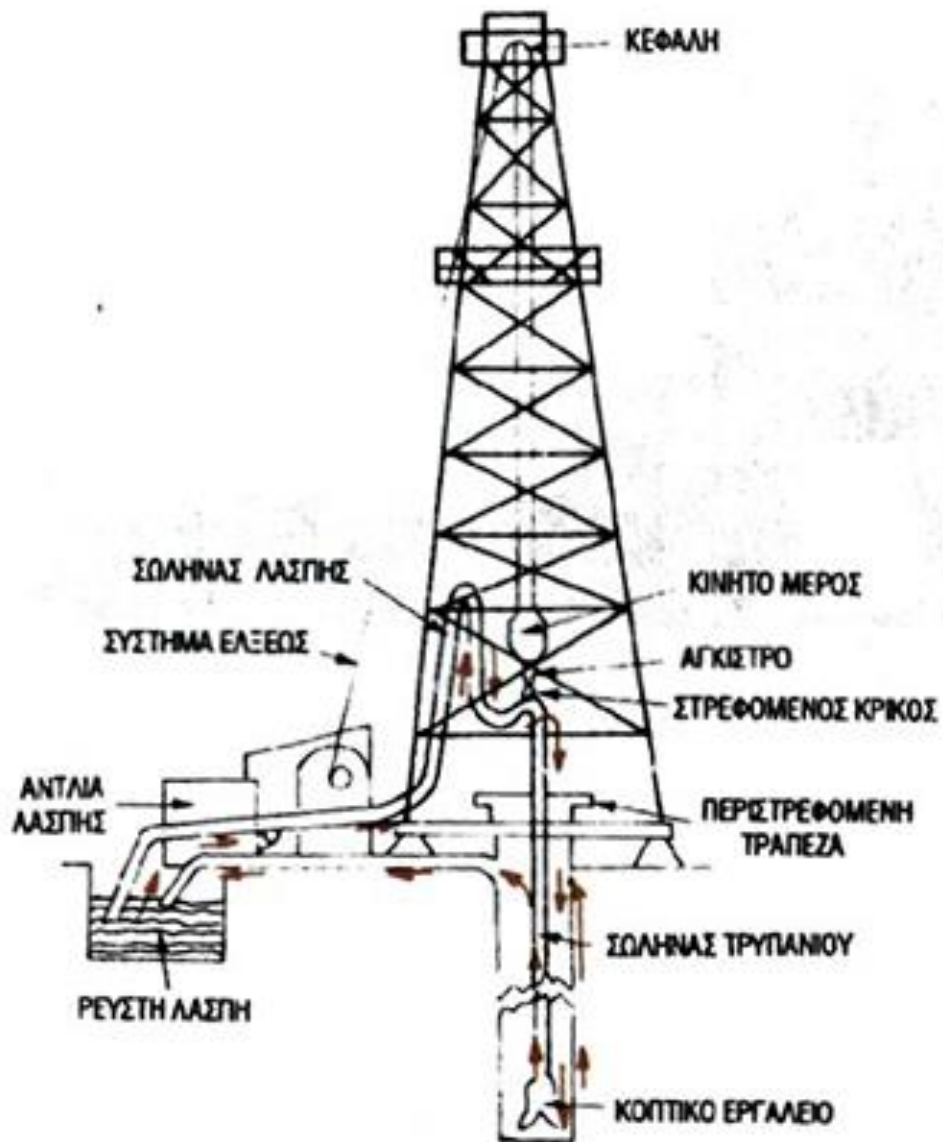
Όπως ήδη αναφέραμε η υδραυλική διέγερση απαιτεί πρώτα τη διάνοιξη κάποιου φρέατος το οποίο γίνεται με γεώτρηση. Το γεωτρύπανο είναι μια μηχανή που δημιουργεί τρύπες στο έδαφος. Γεωτρύπανα μπορεί να είναι μεγάλες στεγασμένες κατασκευές που περιλαμβάνουν τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για τη διάνοιξη πηγαδιών νερού, πετρελαιοπηγές, ή πηγάδια εξόρυξης φυσικού αερίου, ή μπορούν να είναι και αρκετά μικρά (χειρός). Χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να μπορούν να μετακινηθούν από ένα άτομο. Μαζεύουν κάτω από την επιφάνεια τεμάχια ορυκτών, εδάφους και υπόγειων υδάτων και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν για την εγκατάσταση κατασκευών κάτω από την επιφάνεια, όπως υπόγειες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, σήραγγες ή πηγάδια. Γεωτρύπανα επίσης μπορεί να είναι κινητός εξοπλισμός που τοποθετείται σε φορητά, κομμάτια ή ρυμουλκούμενα, ή μονιμότερη δομή με βάση το έδαφος ή τη θάλασσα (όπως είναι οι εξέδρες πετρελαίου, που κοινώς αποκαλούνται «υπεράκτιες εξέδρες άντλησης πετρελαίου»). Ως εκ τούτου, ο όρος "εξέδρα" αναφέρεται γενικά στο συγκρότημα του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για να διεισδύσει στην επιφάνεια του φλοιού της Γης.

Τα Γεωτρύπανα χωρίζονται σε :

- Μικρού και μεσαίου μεγέθους και κινητά όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για γεωτρήσεις στο υπέδαφος , πηγάδια και περιβαλλοντικές έρευνες.
- Μεγάλου μεγέθους όπου μπορεί να τρυπήσει μέχρι κάποιες χιλιάδες μέτρα το φλοιό της Γης. Οι μεγάλες "αντλίες λάσπης" όπως ονομάζονται κυκλοφορούν λάσπη γεωτρήσεων (πολτός), μέσω του τρυπανιού και μέχρι το περίβλημα του δακτυλίου, για ψύξη και απομάκρυνση των κομματιών που κόβονται. Οι ανελκυστήρες στην εξέδρα μπορεί να σηκώσουν εκατοντάδες τόνους σωλήνα. Άλλος εξοπλισμός οδηγεί το ρευστό μέσα από το φρέαρ στα πετρώματα για να γίνει η εξαγωγή του φυσικού αερίου.

Τα σημαντικότερα μηχανολογικά τμήματα σε μία εξέδρα γεώτρησης μαζί είναι το τρυπάνι γεώτρησης τα βλέπουμε στα σχέδια 3.2 και 3.3.

Σχήμα 3.2 : Εξέδρα γεώτρησης



**Σχήμα 3.3:** Τρυπάνι γεώτρησης



### 3.2.2 Τεχνική της γεώτρησης

#### ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Στην ιστορία αναφέρεται ότι οι πρώτες γεωτρήσεις έγιναν πριν από 4000 χρόνια περίπου από τους Κινέζους και τους αρχαίους Αιγυπτίους όταν κατασκεύαζαν τις πυραμίδες. Για να ανοίγουν τρύπες στα πετρώματα χρησιμοποιούσαν ράβδους οπλισμένες στο άκρο τους με πολύτιμους λίθους, τις οποίες περιστρέφανε χειρωνακτικά. Ο τρόπος αυτός διάτρησης των πετρωμάτων με πρωτόγονα εργαλεία συνεχίσθηκε μέχρι τα μέσα του 19ου αιώνα, οπότε ο Ελβετός μηχανικός Lechaut συνέλαβε την ιδέα να τοποθετήσει χονδρόκοκκα βιομηχανικά διαμάντια σε ένα χαλύβδινο στεφάνι για διάνοιξη διατρημάτων. Επί της αρχής αυτής κατασκεύασε το πρώτο γεωτρύπανο το 1863. Το 1885 ο Σουηδός μηχανικός P.A. Craelius κατασκεύασε το πρώτο ελαφρό και απλό σε χειρισμό γεωτρύπανο δειγματοληψίας πυρήνος.

Στη συνέχεια η ανάπτυξη και η εξέλιξη των γεωτρυπανων είναι γρήγορη και στενά συνδεδεμένη με την ανάπτυξη του πετρελαιοκινητήρα, των κραμάτων, των υδραυλικών συστημάτων, των βελτιωμένων μεθόδων εμφύτευσης και στερέωσης μικρών διαμαντιών στα κοπτικά άκρα, γεγονός που μείωσε το κόστος διάτρησης, και γενικά με την ανάπτυξη της τεχνολογίας.

Το σύγχρονο γεωτρύπανο είναι μηχανήμα ισχυρής κατασκευής, υψηλής απόδοσης, εύχρηστο με απλούς χειρισμούς και απαιτεί περιορισμένη χειρωνακτική εργασία. Διαθέτει

περισσότερες από μια ταχύτητες περιστροφής και έχει την ικανότητα διάτρησης σε οποιαδήποτε κλίση σε βάθη μεγαλύτερα των 2000 μέτρων.

### 3.2.3 Κατηγορίες γεωτρήσεων

Γεώτρηση ονομάζουμε μια στρογγυλή κατακόρυφη ή κεκλιμένη τρύπα, που ανοίγουμε στο στερεό φλοιό της γης με ειδικό μηχάνημα (γεωτρύπανο), και της οποίας η διάμετρος είναι πολύ μικρή σε σχέση με το μήκος της. Οι γεωτρήσεις ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο κατασκευάζονται χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες.

A) Ερευνητικές γεωτρήσεις

B) Παραγωγικές γεωτρήσεις ή γεωτρήσεις εκμετάλλευσης

- ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Είναι γεωτρήσεις με μικρή σχετικά διάμετρο, οι οποίες αποσκοπούν στην έρευνα του εδάφους και του υπεδάφους, κυρίως με τη λήψη δειγμάτων, τα οποία λαμβάνονται με τη μορφή πυρήνων (καρότο) ή τριμμάτων.

Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι εξής γεωτρήσεις:

α) Κοιτασματολογικές γεωτρήσεις που χρησιμοποιούνται για τη μεταλλευτική έρευνα και αποβλέπουν στην αναζήτηση και διερεύνηση κοιτασμάτων (μεταλλευμάτων, λιγνίτη, πετρελαίου, νερού, κ.λ.π.)

β) Γεωλογικές γεωτρήσεις που αποβλέπουν στην αποσαφήνιση των γεωλογικών συνθηκών και δομής του υπεδάφους.

γ) Εδαφοτεχνικές ή Γεωτεχνικές γεωτρήσεις που αποβλέπουν στη γνώση και διερεύνηση των μηχανικών κυρίως ιδιοτήτων του εδάφους και υπεδάφους (σύσταση, μορφολογία, περατότητα, στάθμη υπόγειου νερού, κ.λ.π.), προκειμένου να διαπιστωθεί η καταλληλότητά τους για κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων όπως, κτίρια, γέφυρες, δρόμοι, σήραγγες, φράγματα, κ.λ.π.). Ανάλογα με τις απαιτήσεις της έρευνας το λαμβανόμενο δείγμα μπορεί να είναι συνήθους μορφής ή αδιατάρακτο.

- ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ Ή ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Οι γεωτρήσεις αυτές αποσκοπούν στην εξυπηρέτηση της παραγωγής κατά την εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος ή κατασκευή Δομικού Έργου. Στις γεωτρήσεις αυτές δεν απαιτείται η λήψη δείγματος και η διάμετρός τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά μέχρι πάνω από ένα μέτρο.

Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι :

α) Γεωτρήσεις εκμετάλλευσης πετρελαίου και φυσικού αερίου.

β) Υδρογεωτρήσεις.

γ) Γεωτρήσεις εξόρυξης (Διατρήματα ανατινάξεων).

δ) Γεωτρήσεις αερισμού, τσιμεντενέσεων και τοποθέτησης καλωδίων ή αγωγών.

ε) Μεγάλης διαμέτρου γεωτρήσεις που χρησιμεύουν στην υπόγεια εκμετάλλευση μεταλλείων (πηγάδια, στοές, κ.λ.π.).

### 3.2.4 Μέθοδοι ανόρυξης γεωτρήσεων

Στην προσπάθεια της ανάπτυξης και της βελτίωσης τη τεχνικής της διάτρησης των πετρωμάτων χρησιμοποιήθηκαν πολλές μέθοδοι γεωτρήσεων, οι οποίες παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ τους ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται, η αποσύνδεση του πετρώματος, η λήψη του δείγματος και το μέσο που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των προϊόντων της διάτρησης (τρίμματα) από το βάθος της γεώτρησης στην επιφάνεια. Οι κυριώτερες μέθοδοι ανόρυξης γεωτρήσεων είναι οι εξής:

#### ο ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Κατά την κρουστική μέθοδο η θραύση του πετρώματος γίνεται με κρούση σ' αυτό κατάλληλου διατρητικού (κοπτικού) εργαλείου. Με την κρούση επιτυγχάνεται θρυμματισμός του πετρώματος και έτσι λαμβάνονται δείγματα με τη μορφή τριμμάτων.

Η κρούση του κοπτικού εργαλείου επί του πετρώματος γίνεται με δύο τρόπους.

A) Με πτώση από κάποιο ύψος της διατρητικής στήλης, οπότε υπό την πίεση του βάρους της το πέτρωμα θρυμματίζεται

B) Με τη ρυθμική, παλινδρομική (μέσω αεροσυμπιεστή) κίνηση της διατρητικής στήλης επί του πετρώματος (αερόσφυρα).

#### ο ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Κατά την περιστροφική μέθοδο, ο θρυμματισμός του πετρώματος γίνεται με πίεση και περιστροφή κατάλληλου διατρητικού (κοπτικού) εργαλείου. Η περιστροφή επιτυγχάνεται με κινητήρα, ο οποίος περιστρέφει την κεφαλή ή τράπεζα του γεωτρυπάνου και αυτά με τη σειρά τους περιστρέφουν τα στελέχη και το κοπτικό.

Ανάλογα με τη μορφή του κοπτικού, τρίκωνο ή κορώνα, το πέτρωμα θρυμματίζεται πλήρως ή αποκόπτεται μόνο ένας κυκλικός δακτύλιος οπότε εκτός από τα τρίμματα λαμβάνεται δείγμα κυλινδρικής μορφής (πυρήνας, ή καρότο). Κατά την περιστροφική μέθοδο γεώτρησης, για την εξαγωγή των τριμμάτων, την επένδυση των τοιχωμάτων, την ψύξη και τη λίπανση του κοπτικού άκρο χρησιμοποιείται λάσπη (πολφός).

Ανάλογα με τον τρόπο κυκλοφορίας της λάσπης μέσα στη γεώτρηση, διακρίνονται δύο επί μέρους βασικές μέθοδοι περιστροφικής γεώτρησης.

- Γεώτρηση με θετική κυκλοφορία
- Γεώτρηση με ανάστροφη κυκλοφορία

### 3.2.5 Γεώτρηση με θετική κυκλοφορία

Βασική προϋπόθεση για τη γρήγορη, ασφαλή και αποτελεσματική εξέλιξη μιας γεώτρησης είναι η συνεχής απομάκρυνση των τριμμάτων από το βάθος της γεώτρησης και η εξαγωγή τους στην επιφάνεια. Με τη θετική κυκλοφορία ο καθαρισμός της γεώτρησης σε βάθος και η εξαγωγή των τριμμάτων στην επιφάνεια επιτυγχάνεται ως εξής: Με τη βοήθεια αντλητικού συγκροτήματος (πηλαντλία) διοχετεύεται μέσα από τα στελέχη προς το κοπτικό και το τέρμα της γεώτρησης λάσπη υπό πίεση, η οποία βγαίνοντας από το κοπτικό καθαρίζει το βάθος της γεώτρησης (πυθμένα) από τα τρίμματα, τα οποία στη συνέχεια παρασύρει μαζί της στον κενό χώρο ανάμεσα στα τοιχώματα και τα στελέχη και τα βγάζει στην επιφάνεια, στο λάκκο της γεώτρησης, όπου καθιζάνουν. Σε μεγάλες και βαθιές γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται κατάλληλα κόσκινα για την απομάκρυνση των τριμμάτων.

Σημαντικοί παράγοντες επιτυχίας της μεθόδου είναι η καταλληλότητα και πυκνότητα της λάσπης, καθώς και η πίεση της πηλαντλίας.

### 3.2.6. Γεώτρηση με ανάστροφη κυκλοφορία

Με την ανάστροφη κυκλοφορία ο καθαρισμός του βάθους της γεώτρησης και η εξαγωγή των τριμμάτων στην επιφάνεια επιτυγχάνεται ως εξής: Νερό ή λάσπη από το λάκκο της γεώτρησης ή κάποια ειδική δεξαμενή, διοχετεύεται συνεχώς με φυσική ροή εντός της γεώτρησης, ώστε αυτή να είναι συνεχώς γεμάτη με νερό. Παράλληλα, με τη βοήθεια αεροσυμπιεστή πρεσσάρεται αέρας σε κάποιο βάθος μέσα στη διατρητική στήλη (στελέχη) με αποτέλεσμα να δημιουργείται αναρρόφηση λόγω υποπίεσης (άντληση) οπότε το μίγμα αέρα - νερού ή αέρα - λάσπης να παρασύρει κατά την έξοδο του προς την επιφάνεια και τα τρίμματα της γεώτρησης, τα οποία στη συνέχεια δια μέσου της κεφαλής και ειδικών κοσκίνων μεταφέρονται στον λάκκο της γεώτρησης.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου της ανάστροφης κυκλοφορίας :

- Μπορούν να ανορυχθούν γεωτρήσεις μεγαλύτερου βάθους και διαμέτρου από ότι με τη θετική κυκλοφορία
- Η πίεση της στήλης νερού που είναι στη γεώτρηση πιέζει τα τοιχώματα και έτσι μειώνεται στο ελάχιστο η χρήση περιφραγματικών σωλήνων
- Η εξαγωγή των τριμμάτων μπορεί να γίνει μόνο με νερό χωρίς τη χρήση μπεντονίτη, ο οποίος έχει το μειονέκτημα να δημιουργεί στρώμα στα τοιχώματα της γεώτρησης και να δυσκολεύει την ανάπτυξη της υδρογεώτρησης.

Επισημαίνεται ότι και στην περιστροφική μέθοδο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μέσο μεταφοράς και τριμμάτων και ψύξης του κοπτικού τον πεπιεσμένο αέρα, ο οποίος διοχετεύεται με τη βοήθεια αεροσυμπιεστή στη γεώτρηση δια μέσω των στελεχών και του κοπτικού. Ακόμη μπορεί να γίνει χρήση μίγματος αέρα - αφρού. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται για την ανόρυξη μικρής διαμέτρου γεωτρήσεων σε συμπαγή πετρώματα (διατρήματα).

Κυρίως χρησιμοποιούνται οι εξής επιμέρους μέθοδοι:

1. Περιστροφική γεώτρηση θετικής κυκλοφορίας για τις κοιτασματολογικές και υδρογεωλογικές γεωτρήσεις (πιεζόμετρα, υδρογεωτρήσεις).
2. Περιστροφική γεώτρηση ανάστροφης κυκλοφορίας κυρίως για βαθιές μεγάλης διαμέτρου υδρογεωτρήσεις.
3. Κρουστική μέθοδος με αερόσφουρα για υδρογεωτρήσεις και πιεζόμετρα μέσα σε συμπαγή ασβεστολιθικά πετρώματα.
4. Περιστροφική γεώτρηση με πεπιεσμένο αέρα και αφρό στην ανόρυξη διατηρημάτων.

### **3.3 Τεχνικές απαιτήσεις υδραυλικής ρωγμάτωσης**

#### **3.3.1 Ρευστό ρωγμάτωσης**

Το νερό είναι το κινητήριο υγρό που χρησιμοποιείται στην υδραυλική διαδικασία ρωγμάτωσης. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του φρέατος καθώς και το πέτρωμα που πρέπει να υποστεί ρωγμές, μερικά εκατομμύρια γαλιόνια νερού μπορεί να απαιτούνται για να ολοκληρωθεί μια υδραυλική ρωγμάτωση.

Όταν το νερό αντλείται μέσα στο φρεάτιο δεν βρίσκεται υπό πίεση ολόκληρο το μήκος του. Αντ' αυτού, εισάγονται τμήματα για να απομονωθεί το τμήμα όπου είναι επιθυμητές οι ρηγματώσεις. Μόνο αυτό το τμήμα του υφίσταται την πλήρη δύναμη της άντλησης. Καθώς η πίεση συσσωρεύεται σε αυτό το τμήμα του φρεατίου, το νερό ανοίγει ρωγμές, και η πίεση επεκτείνει τις ρωγμές μέσα στο βράχο. Όταν η πίεση σταματήσει οι ρωγμές κλείνουν γρήγορα και το νερό που χρησιμοποιείται για να ανοίξουν ωθείται πίσω στη γεώτρηση. Το νερό που επιστρέφει στην επιφάνεια είναι ένα μίγμα του νερού που εγχύεται και του νερού που έχει παγιδευτεί στο βράχο για εκατομμύρια χρόνια.

Το νερό που είναι εγκλωβισμένο στους πόρους του υπεδάφους είναι συνήθως μία άλμη με σημαντικές ποσότητες διαλυμένων στερεών. Το ρευστό που χρησιμοποιείται στην υδραυλική διέγερση περιλαμβάνει, κατά προσέγγιση, 90-94,5% νερό, 5-9,5% κάποιον αδρανές υλικό και γύρω στο 0,5% διάφορες χημικές ουσίες. Ως αδρανές υλικό χρησιμοποιείται συνήθως άμμος, ή ένας συνδυασμός από τεχνητές κεραμικές ύλες. Το αδρανές υλικό εισχωρεί στις ρωγμές και τις διακλάσεις που δημιουργεί το νερό και τις εμποδίζει να κλείσουν υπό το βάρος των υπερκείμενων πετρωμάτων.

Σχ 3.4 :Περιεκτικότητες ρευστού ρωγμάτωσης



Συχνά προστίθενται χημικές ουσίες στο νερό που χρησιμοποιείται κατά την υδραυλική ρωγμάτωση. Αυτά τα πρόσθετα εξυπηρετούν διάφορους σκοπούς. Μερικά βοηθούν να αυξηθεί η πυκνότητα του νερού σε μία μορφή που είναι πιο αποτελεσματική στο άνοιγμα των ρωγμών στο βράχο. Άλλες χημικές ουσίες που προστίθενται βοηθούν στη μείωση της τριβής, στη συγκράτηση των συντριμμιών που αιωρούνται στο υγρό, την πρόληψη της διάβρωσης του εξοπλισμού, στην εξόντωση των μικροοργανισμών, στον έλεγχο του pH και άλλες λειτουργίες.

Οι περισσότερες εταιρείες έχουν ανελαστικότητα στην αποκάλυψη της σύνθεσης των υδραυλικών υγρών που χρησιμοποιούνται στις ρωγματώσεις τους. Πιστεύουν ότι οι πληροφορίες αυτές πρέπει να παραμένουν εμπιστευτικές για να προστατεύσουν την ανταγωνιστική έρευνα τους. Ωστόσο, οι ρυθμιστικές αρχές και κυρίως αυτές που αφορούν τη προστασία του περιβάλλοντος έχουν αρχίσει να ζητούν τις πληροφορίες και ορισμένες εταιρείες έχουν αρχίσει να δημοσιεύουν τις πληροφορίες αυτές οικειοθελώς.

### 3.3.2 Χημικά πρόσθετα ρευστού ρωγμάτωσης

Οι χημικές ουσίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρόσθετα ρωγμάτωσης είναι πάρα πολλές: υδροχλωρικό οξύ, χλωριούχο νάτριο και κάλιο, διάφορα πολυμερή, αιθυλενογλυκόλη κ.ά. τα οποία τα βλέπουμε συγκεντρωτικά και στο σχήμα 4 . Μεταξύ πολλών άλλων όπως αναφέραμε, οι ουσίες αυτές μειώνουν τις τριβές, αποτρέπουν την απόθεση άλλων



υλικών στις διακλάσεις που δημιουργούνται, επιβραδύνουν τη διάσπαση κυρίως των οργανικών ενώσεων, διατηρούν σταθερό ή αυξάνουν το ιξώδες του ρευστού, εμποδίζουν τη διάβρωση των μετάλλων και σκοτώνουν τα βακτήρια που δραστηριοποιούνται με την άνοδο της θερμοκρασίας. Το ποιες ουσίες θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε γεώτρηση εξαρτάται κυρίως από το γεωλογικό σχηματισμό που θα διατηρηθεί.

Ένας τρόπος αντιμετώπισης των βλαπτικών συνεπειών της χρήσης προσθέτων για το περιβάλλον θα μπορούσε να είναι η χρήση λιγότερων και πιο ακίνδυνων χημικών ουσιών. Η πολυεθνική πετρελαϊκή εταιρία ExxonMobil, λόγω χάρη, ήδη ανακοίνωσε ότι έχει περιορίσει από 150 σε 30 τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιεί στις γεωτρήσεις της. Τελευταία εμφανίζεται μια νέα γενιά χημικών πρόσθετων στο γεωτρητικό ρευστό, που έχουν μορφή γέλης (τζελ) ή αφρού.

**Σχήμα 3.5:** Κατάλογος χημικών ρευστού ρωγμάτωσης



### 3.3.3 Μέθοδος ρωγμάτωσης χωρίς νερό

Μια αναδυόμενη τεχνολογία που αναπτύχθηκε στον Καναδά και μόλις ξεκινάει και στις ΗΠΑ απομακρύνει την ανάγκη για νερό. Αντ' αυτού, στηρίζεται σε μία παχιά γέλη από προπάνιο, ένα ευρέως διαθέσιμο αέριο που χρησιμοποιείται από μεγάλο αριθμό ανθρώπων σε καθημερινές εργασίες.

Ονομάζεται ρωγμάτωση υγροποιημένου αερίου προπτανίου (LPG), ή απλά "ρωγμάτωση φυσικού αερίου, «η άνυδρη αυτή μέθοδος αναπτύχθηκε από μια μικρή εταιρεία ενέργειας, την GasFrac, που εδρεύει στο Κάλγκαρι τής Αλμπέρτα.

Ενώ ακόμα περιμένει δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στις ΗΠΑ, η τεχνική έχει χρησιμοποιηθεί περίπου 1.000 φορές από το 2008, κυρίως σε φρεάτια φυσικού αερίου στις канаδικές επαρχίες της Αλμπέρτα, και σε μερικά φρεάτια δοκιμών σε πολιτείες οι οποίες περιλαμβάνουν το Τέξας, Πενσιλβάνια, Κολοράντο, Οκλαχόμα και το Νέο Μεξικό.

Όπως το νερό, έτσι και η γέλη προπτανίου αντλείται βαθιά σε σχηματισμούς σχιστόλιθου, δημιουργώντας τεράστια πίεση η οποία δημιουργεί ρωγμές στους βράχους με αποτέλεσμα να απελευθερώνονται οι παγιδευμένες φυσαλίδες φυσικού αερίου. Όπως το νερό, η γέλη μεταφέρει επίσης μικρά σωματίδια άμμου ή τεχνητό υλικό γνωστό ως υποστηρικτικό μέσο-που οδηγούνται στις ρωγμές για να τής κρατάει ανοικτές ώστε να βγαίνει το αέριο.

Σε αντίθεση με το νερό, η γέλη απλώς εξαφανίζεται υπόγεια. Επανεμφανίζεται στη μορφή ατμού και αυτό οφείλεται στην πίεση και τη θερμότητα, στη συνέχεια, επιστρέφει στην επιφάνεια, μαζί με το φυσικό αέριο προς συλλογή, πιθανή επαναχρησιμοποίηση και τελικά μεταπώληση. Επίσης, σε αντίθεση με το νερό, το προπάνιο δεν φέρνει πίσω στην επιφάνεια, χημικά γεώτρησης, άλατα και υπόγεια ραδιενεργά υλικά.

Η μέθοδος αυτή όμως βρίσκεται ακόμα σε αρκετά πρώιμο στάδιο , γιατί η υδραυλική ρωγμάτωση είναι μία μέθοδος στην οποία δαπανήθηκαν μεγάλα ποσά για να τελειοποιηθεί ώστε να έχουν το μέγιστο αποτέλεσμα , αντίθετα η μέθοδος LPG παρότι είναι ποιοτική , δεν έχει ακόμα αποδειχθεί ότι είναι αποδοτική .

Η διαδικασία που χρειάζεται για να κατασκευαστεί ένα μόνο φρεάτιο είναι γενικά βραχύβια, απαιτώντας μόνο 70 έως 100 ημέρες. Μετά το διάστημα αυτό μπορεί να παραμείνει ενεργό και να παράγει για 20 έως 40 χρόνια. Η διαδικασία για ένα ενιαίο οριζόντιο φρεάτιο περιλαμβάνει συνήθως τέσσερις με οκτώ εβδομάδες για να προετοιμάσει το χώρο για τη διάτρηση, τέσσερις ή πέντε εβδομάδες για την εξέδρα εργασίας, συμπεριλαμβανομένου του περιβλήματος και την επιβεβαίωση ότι λειτουργεί όλος ο σχετικός βοηθητικός εξοπλισμός εκτός του χώρου, πολύ πριν αρχίσουν οι εργασίες ρωγμάτωσης, και δύο έως πέντε ημέρες για όλη τη λειτουργία πολλαπλών σταδίων ρωγμάτωσης.

Μόλις ολοκληρωθεί, η μονάδα παραγωγής μειώνεται στο μέγεθος περίπου ενός γκαράζ δύο-αυτοκινήτων. Το υπόλοιπο της περιοχής έχει αποκατασταθεί στην αρχική του κατάσταση και τα περιβαλλοντικά οφέλη, όπως η μείωση στον αέρα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, διαρκούν για δεκαετίες. Τοπικές επιπτώσεις, όπως ο θόρυβος, η σκόνη, και τη διατάραξη της γης, περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό στην αρχική φάση της ανάπτυξης.

Η εξόρυξη επομένως σχιστολιθικού αερίου εφαρμόζεται σε κάθε κράτος σύμφωνα με κάποιους παράγοντες και απαιτήσεις που μπορεί να έχει το εκάστοτε κράτος . Σίγουρα υπάρχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις , οι οποίες θα αναπτυχθούν εκτενώς παρακάτω. Πρώτα όμως θα πρέπει κάθε κράτος να λάβει υπ' όψιν του (κατά τη σύνταξη της σχετικής νομοθεσίας) αν η ενέργεια που θα προσφέρει μία τέτοια εγκατάσταση είναι αρκετή ή όχι για να αντισταθμίσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα προκύψουν.

Η υδραυλική ρωγμάτωση είναι μια διαδικασία που κατά καιρούς έχει γίνει στόχος πολλών αρνητικών σχολίων αλλά με μεγάλη προσφορά στο κομμάτι του φυσικού αερίου , η οποία μάλλον είναι απαραίτητη σε τέτοιες εποχές που οι απαιτήσεις για ενέργεια συνεχώς αυξάνονται .

Παρόλα αυτά κάποια κράτη έχουν ήδη σταματήσει ή και απόρριψη αυτή την ιδέα μερικά από τα οποία είναι:

1. Η Γαλλία , το ανώτατο δικαστήριο επικύρωσε την απαγόρευση της κυβέρνησης για την υδραυλική ρωγμάτωση. Το Συνταγματικό Συμβούλιο καταδίκασε την αίτηση από τη Schuerbach Energy για επαναφορά των αδειών εξερεύνησης που ακυρώθηκαν μετά από το γαλλικό κοινοβούλιο.
2. Η Βουλγαρία η απαγόρευσε την υδραυλική ρωγμάτωση τον Ιανουάριο και απέσυρε την άδεια που είχε χορηγηθεί στην Chevron.
3. Η Ρουμανία πρότεινε ένα μορατόριουμ για υδραυλική ρωγμάτωση μετά από αίτηση είχε υπογραφεί από 50.000 άτομα. Το μορατόριουμ για την εξερεύνηση σχιστολιθικού φυσικού αερίου επιβλήθηκε νωρίτερα φέτος για έως και δύο χρόνια.
4. Η Γερμανία σταμάτησε τα σχέδια του περασμένου έτους να χρησιμοποιούν.
5. Η Τσεχική Δημοκρατία επέβαλε απαγόρευση το 2012 για δύο χρόνια.
6. Το Λουξεμβούργο ανέστειλε γεωτρήσεις για φυσικό αέριο από σχιστόλιθο και καθιέρωσε ένα μορατόριουμ το Νοέμβριο του 2012.
7. Η Βόρεια Ιρλανδία το απαγόρευσε στα τέλη του 2011.
8. Στην Ισπανία, υπάρχει μια απαγόρευση στην περιοχή της Cantabria.
9. Στην Ελβετία, απαγορεύτηκε στη Φράιμπουργκ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται εκτίμηση των επιπτώσεων (θετικών και αρνητικών), από την κατασκευή και λειτουργία ενός τερματικού σταθμού υδροποιημένου φυσικού αερίου και από την εξόρυξη φυσικού αερίου από σχιστόλιθο με υδραυλική ρωγμάτωση, στο ευρύτερο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον.

Ως **περιβάλλον** ορίζεται "το σύνολο των φυσικών και ανθρώπινων παραγόντων που αλληλοεπιδρούν και επηρεάζουν την οικολογική ισορροπία, την ποιότητα ζωής, την υγεία των κατοίκων, την ιστορική και πολιτιστική παράδοση και τις αισθητικές αξίες" (Ν. 1650/86). Το περιβάλλον χωρίζεται σε φυσικό και ανθρωπογενές.

Σύμφωνα με τον ορισμό της **εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων**: "Είναι η διαδικασία προσδιορισμού των επιπτώσεων στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία και την ποιότητα ζωής από έργα και δραστηριότητες".

Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων γίνεται με χρήση του πίνακα (μήτρα) Leopold. Ο πίνακας αυτός αποτελείται από στήλες που αντιπροσωπεύουν τις διάφορες επιπτώσεις του έργου και γραμμές που αντιπροσωπεύουν τις μεταβλητές που εξετάζονται. Εξετάζονται επιπτώσεις όπως θόρυβος, ρύπανση, οσμές κ.α. και πως αυτές επιδρούν στις μεταβλητές του φυσικού περιβάλλοντος (ατμόσφαιρα, έδαφος, υδάτινοι πόροι, χλωρίδα και πανίδα) και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος (χρήσεις γης, οικονομία, κοινωνία, κυκλοφοριακές ροές και πολιτικό περιβάλλον).

**Σχήμα 4.1:** Υπόδειγμα πίνακα (μήτρας) Leopold

ΥΠΟΜΝΗΜΑ		ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ									
		ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ	ΠΟΛΥΕΤΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ		ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ						
(-5 έως -4) : ιδιαίτερα αρνητική επίδραση		ΒΑΜΒΑΚΙ	ΑΓΡΙΑΓΚΙΝΑΡΑ	ΜΙΣΧΑΝΘΟΣ	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	ΣΟΡΓΟ	ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	ΗΛΙΑΝΘΟΣ	ΚΕΝΑΦ	ΣΙΤΑΡΙ
(-3 έως -1) : αρνητική επίδραση											
(0) : μηδενική επίδραση											
(+1 έως +3) : θετική επίδραση											
(+4 έως +5) : ιδιαίτερα θετική επίδραση											
<b>ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>											
<b>ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ</b>	έδαφος	-4	1	-3	-4	3	2	-3	1	4	-2
	υδρολογία	-5	4	-3	-3	-4	1	-3	5	3	4
	ατμόσφαιρα	-5	5	1	-5	1	1	-5	1	5	-5
	κλίμα	-5	5	1	-5	1	1	-5	1	5	-5
	χλωρίδα	0	-5	-5	0	-5	-5	0	-5	-5	0
	αισθητική τοπίου	3	3	2	1	1	-1	1	4	1	2
<b>ΒΙΟΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ</b>	πανίδα	-4	1	-3	-4	3	2	-3	1	4	-2
	βιοποικιλότητα	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0
<b>ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ</b>	χρήσεις γης	5	-5	-5	5	5	-5	-5	5	5	5
	διατροφή	-5	-5	-5	5	-5	5	5	5	5	5
	οικονομία	0	5	-4	-4	-3	4	-4	4	4	4
	απασχόληση	0	5	-4	-4	-3	4	-5	4	4	4
	θόρυβος	3	3	3	-2	-4	-2	-4	-2	-2	-2
	τεχνολογία	0	1	5	3	4	2	3	2	3	2
	ανταγωνιστικότητα	0	3	3	3	5	-2	4	-1	3	2

#### 4.1 Περιγραφή έργου τερματικού σταθμού υγροποιημένου φυσικού αερίου

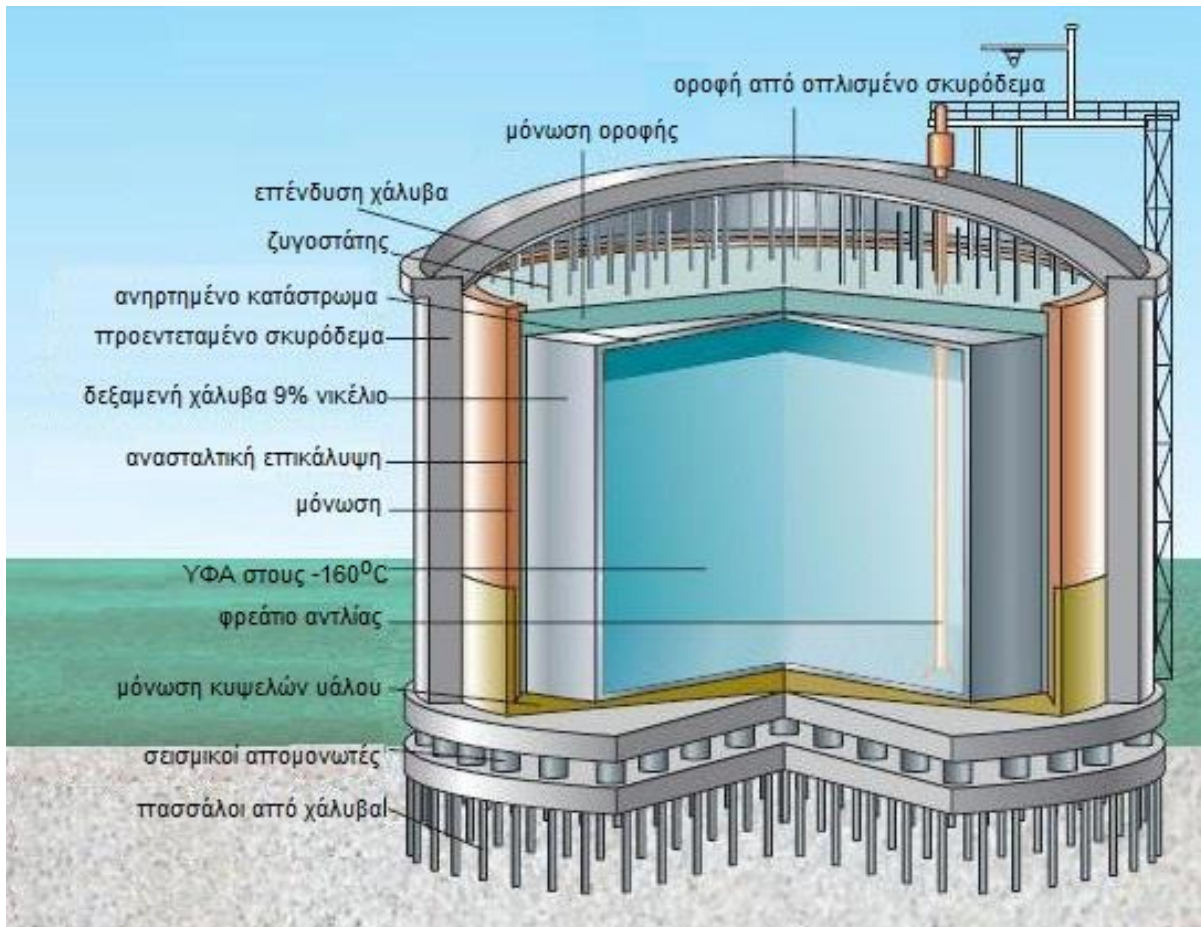
Για την δημιουργία και την λειτουργία ενός τερματικού σταθμού υγροποιημένου φυσικού αερίου απαιτούνται οι ακόλουθες εγκαταστάσεις:

- Εγκαταστάσεις υγροποίησης για τις οποίες απαιτούνται ειδικά κράματα που να αντέχουν τις υψηλές τάσεις που αναπτύσσονται από τις έντονες μεταβολές της θερμοκρασίας. Τέτοια κράματα είναι ο χάλυβας (χάλυβας με 9%, 18% και 36% νικέλιο), κράμα Al-Mg (αργίλιο - μαγνήσιο), κράμα Al-Mn (αργίλιο - μαγγάνιο), Al-Si (αργίλιο-πυρίτιο).

Υπέργειες ή υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου (συνήθως χρησιμοποιούνται υπέργειες λόγω χαμηλότερου κόστους) οι οποίες προσφέρουν ισχυρή θερμική μόνωση και ισχυρή προστασία από διαρροές λόγω σεισμών και ρωγμών. Έχουν κυλινδρικό σχήμα, η χωρητικότητά τους κυμαίνεται από 50m<sup>3</sup> έως 250m<sup>3</sup> με συνηθέστερες τιμές περίπου στα 150m<sup>3</sup>. Είναι κατασκευασμένες από υλικά όπως σκυρόδεμα, χάλυβα, γυαλί ενώ ένα μέρος τους τοποθετείται με πασσάλους από χάλυβα στο έδαφος (σχήμα 4.1). Εντός των δεξαμενών αποθήκευσης δημιουργούνται αέρια αζώτου και μεθανίου λόγω της φυσικής εξάτμισης του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Για τη βελτίωση της απόδοσης του σταθμού και την προστασία της ρύπανσης του περιβάλλοντος δημιουργείται το σύστημα επανάκτησης αερίων που αποτελείται από συμπιεστές ανάκτησης αερίου, τον επανασυμπυκνωτή αερίου και το κατάλληλο δίκτυο σωληνώσεων. Οι δεξαμενές περιέχουν αντλίες χαμηλής πίεσης που οδηγούν το υγροποιημένο φυσικό αέριο στον επανασυμπυκνωτή ή στις

αντλίες υψηλής πίεσης. Οι αντλίες υψηλής πίεσης ανεβάζουν την πίεση του υγροποιημένου φυσικού αερίου και το στέλνουν στους αεριοποιητές για αεριοποίηση.

**Σχήμα 4.2 :** Δεξαμενή αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου



- Εγκαταστάσεις αεριοποίησης τις οποίες αποτελούν οι αεριοποιητές ή εξατμιστήρες κατασκευασμένοι από ελαφρά κράματα όπως αλουμινίου και δίνουν στο υγροποιημένο φυσικό αέριο την απαιτούμενη θερμότητα ώστε να αεριοποιηθεί.
- Προβλήματα εκφόρτωσης και μεταφοράς του υγροποιημένου φυσικού αερίου από τα δεξαμενόπλοια προς σκοπούς εξαγωγής και βραχίονες (από χάλυβα) με σύστημα ανάκτησης αερίου για εκφόρτωση του υγροποιημένου φυσικού αερίου στα δεξαμενόπλοια. Οι συγκεκριμένοι βραχίονες επιτρέπουν στο φυσικό αέριο που εξατμίζεται να ανακτηθεί με αποτέλεσμα από τη μία τη βελτίωση της απόδοσης του σταθμού και από την άλλη την προστασία της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Το βάθος της θάλασσας στην περιοχή χωροθέτησης είναι 10m μέχρι απόσταση περίπου 1km από την ακτογραμμή ενώ τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου απαιτούν ένα ελάχιστο βάθος υδάτων 12m όταν είναι πλήρως φορτωμένα, επομένως απαιτείται εκσκαφή τουλάχιστον 2m εντός του θαλάσσιου τμήματος της περιοχής. Οι παρεμβάσεις αυτές στο θαλάσσιο τμήμα έχουν ιδιαίτερες τεχνικές δυσκολίες ενώ όπως αναμένεται επιβαρύνουν σημαντικά το θαλάσσιο περιβάλλον.
- Βοηθητικές εγκαταστάσεις (Κτηριακές εγκαταστάσεις, βοηθητικοί δρόμοι)
- Θαλάσσιος αγωγός για μεταφορά του φυσικού αερίου από το σημείο εξόρυξης στο σημείο κατασκευής.

## **4.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις έργου τερματικού σταθμού υγροποιημένου φυσικού αερίου**

### **4.2.1 Φυσικό περιβάλλον**

Κάθε είδους ανθρώπινη δραστηριότητα που απαιτείται τόσο για την κατασκευή όσο και για την δημιουργία ενός έργου διαταράσσει την αρχική ισορροπία των μεταβλητών αυτών του φυσικού περιβάλλοντος. Η μεταβολή αυτής της ισορροπίας είναι η πρώτη περιβαλλοντική επίπτωση.

### **4.2.2 Ατμόσφαιρα**

Κατά την κατασκευή του έργου αναμένονται αρνητικές μεταβολές στην ποιότητα της ατμόσφαιρας λόγω ρύπανσης και εκπομπών διαφόρων ρυπογόνων ουσιών (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) από την λειτουργία των εργοταξιακών οχημάτων και μηχανημάτων που απαιτούνται για την ανέγερση των απαραίτητων εγκαταστάσεων. Επίσης η ατμόσφαιρα ρυπαίνεται από την σκόνη που δημιουργείται από τις εκσκαφές και τις χωματουργικές εργασίες που απαιτούνται για την σύνδεση του έργου με τους αγωγούς μεταφοράς φυσικού αερίου και την τοποθέτηση των δεξαμενών στο έδαφος, ενώ υπάρχει υψηλό επίπεδο θορύβου στην ατμόσφαιρα από την λειτουργία των εργοταξιακών οχημάτων και μηχανημάτων.

Κατά την λειτουργία του τερματικού οι επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα θα είναι μακροπρόθεσμα θετικές, Σταδιακά το φυσικό αέριο θα χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές όπως παραγωγή ενέργειας, βιομηχανία, καύσιμο οχημάτων αντικαθιστώντας τα άλλα καύσιμα τα οποία συγκριτικά με το φυσικό αέριο είναι πολύ πιο ρυπογόνα, ενώ η χρήση του για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνει το βαθμό απόδοσης μειώνοντας τη κατανάλωση καυσίμου. Επομένως η εισαγωγή και η χρήση του φυσικού αερίου έχει μια τεράστια σημασία θετική επίπτωση στο φυσικό περιβάλλον που αφορά την μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (το φυσικό αέριο παράγει 30% μικρότερες ποσότητες ρυπογόνων ουσιών για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας).

### **4.2.3 Έδαφος**

Το έδαφος αποτελεί τον κύριο αποδέκτη οποιασδήποτε ανθρώπινης παρέμβασης στο περιβάλλον με αποτέλεσμα την υποβάθμισή του. Η ρύπανση του εδάφους από την απόθεση στερεών και υγρών αποβλήτων αναμένεται κατά τη φάση κατασκευής του έργου και αφορά απόβλητα εκσκαφών, οδοποιίας (πχ σκύρα), εργοταξιακά απόβλητα (υγρά όπως κόλλες, μπογιές, αστικά λύματα από τουαλέτες εργοταξίου, λάδια, γράσα, διαρροές καυσίμων και στερεά όπως μπάζα).

Κατά την φάση λειτουργίας δεν αναμένεται ρύπανση των εδαφών (επομένως ούτε των υπόγειων υδάτων) αφού σε περίπτωση διαρροής του υγροποιημένου φυσικού αερίου, αυτό δεν εισχωρεί στο έδαφος αλλά λόγω της υψηλής πτητικότητας του (ευκολία εξάτμισης) αναμιγνύεται με τον αέρα και σχηματίζει νέφος ατμών το οποίο ταξιδεύει με τον αέρα. Επίσης τα κράματα που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις υγροποίησης, στις δεξαμενές και στις εγκαταστάσεις αεριοποίησης είναι ανθεκτικά (σε οξείδωση και διάβρωση) και δεν αναμένεται να επηρεάσουν μακροπρόθεσμα τα εδάφη ούτε τα υπόγεια νερά.

Στην ευρύτερη όμως περιοχή αν υπάρχουν γεωργικές εκτάσεις κινδυνεύουν με υποβάθμιση και απώλεια των θρεπτικών συστατικών των εδαφών τους λόγω της ρύπανσης κατά τη φάση της κατασκευής.

#### **4.2.4 Υδατικοί πόροι**

Κατά την μελέτη της επιλογής της θέσης χωροθέτησης του έργου πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την προστασία των επιφανειακών υδάτων με τη δημιουργία μιας ζώνης προστασίας τουλάχιστον 500m του έργου από λίμνες και ποταμούς. Ακόμα πρέπει να ελέγχεται ώστε να μην υπάρχουν υπόγειες υδρογεωτρήσεις ή πηγές. Κατά την φάση κατασκευής αναμένονται αρνητικές επιπτώσεις στους υπόγειους υδροφορείς που βρίσκονται στην περιοχή του έργου διότι ρυπαίνονται τα συγκεκριμένα ύδατα λόγω της απόθεσης στο έδαφος υγρών αποβλήτων και ουσιών όπως κόλλες, μπιγιές, αστικά λύματα από τουαλέτες εργοταξίου, λάδια, γράσα, διαρροές αποβλήτων. Κατά την φάση λειτουργίας δεν αναμένεται ρύπανση των υπόγειων υδάτων αφού σε περίπτωση διαρροής το υδροποιημένο φυσικό αέριο εξατμίζεται.

#### **4.2.5 Φυσικό τοπίο/Χλωρίδα-Πανίδα**

Κατά την μελέτη της επιλογής της θέσης χωροθέτησης του έργου πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την προστασία των βλαστητικών ειδών με τη δημιουργία μια απόστασης προστασίας τουλάχιστον 5km της κατασκευής από περιοχές προστασίας χλωρίδας και πανίδας. Η απόσταση είναι αρκετά μεγάλη ώστε να εξασφαλίζει την αποφυγή οποιασδήποτε ρύπανσης τους με αέριους, στερεούς ή υγρούς ρύπους τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά τη λειτουργία του τερματικού. Επίσης εξασφαλίζεται η προστασία των περιοχών αυτών σε περίπτωση πυρκαγιάς λίμνης λόγω διαρροής υδροποιημένου φυσικού αερίου στο σημείο του τερματικού. Όσον αφορά την πανίδα της περιοχής η απόσταση ασφαλείας 5km από τους βιοτόπους και τα σημαντικά ζωικά είδη της περιοχής εξασφαλίζει ότι τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά την λειτουργία του έργου δεν θα υπάρξει οποιαδήποτε διαταραχή της ισορροπίας του οικοσυστήματός τους.

Σημαντικές αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις αναμένεται να υπάρξουν στα αλιεύματα που βρίσκονται στο θαλάσσιο τμήμα κατά μήκος του τερματικού, αφού στο σημείο αυτό η θάλασσα θα παρουσιάσει μεταβολές στην ποιότητα κατά τη φάση της κατασκευής από τα απόβλητα των εργασιών, την κατασκευή του θαλάσσιου αγωγού και τις απαιτούμενες εκσκαφές για εκβάθυνση του λιμανιού στα 12m. Επομένως αναμένονται μετακινήσεις των αλιευμάτων ή εξάλειψη ορισμένων από αυτά λόγω ανικανότητας επιβίωσης κάτω από τέτοιες συνθήκες διαταραχής του περιβάλλοντός τους. Κατά τη φάση λειτουργίας του έργου δεν αναμένονται επιπτώσεις για τα αλιεύματα αφού δεν αναμένονται αρνητικές μεταβολές στο θαλάσσιο περιβάλλον. Μεγάλος κίνδυνος για τα αλιεύματα κατά τη φάση λειτουργίας δημιουργείται μόνο στην ακραία περίπτωση της βύθισης ή της διαρροής των δεξαμενοπλοίων.

#### **4.2.6 Χρήσεις γης**

Πολύ μεγάλο ενδιαφέρον κατά την μελέτη της επιλογής χωροθέτησης του έργου παρουσιάζει η χρήση γης. Κατά την επιλογή της περιοχής εγκατάστασης του τερματικού θα πρέπει να γίνονται μελέτες ώστε να μην χρειαστεί να γίνουν διεργασίες όπως αποψίλωση, απαλλοτρίωση, μετακινήσεις πληθυσμού κατά την φάση κατασκευής του έργου οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά το ανθρωπογενές περιβάλλον. Παρόλα αυτά αλλαγές στις χρήσεις γης μπορεί να γίνουν μακροπρόθεσμα σε πιθανή σύνδεση του τερματικού με κάποιο ηλεκτροπαραγωγό σταθμό είτε μέσω αγωγού είτε μέσω σιδηροδρομικού δικτύου.

#### **4.2.7 Οικιστικό περιβάλλον**

Πιθανή αρνητική περιβαλλοντικά επίπτωση είναι η όχληση των ανθρώπων από θορύβους, δονήσεις και οσμές καθώς και ο κίνδυνος επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία λόγω ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τους εκπεμπόμενους ρύπους των εργοταξιακών οχημάτων και μηχανημάτων καθώς και από την σκόνη των εκσκαφών κατά την κατασκευή και τις αναγκαίες εργασίες. Για αυτό το λόγο οι κατοικημένες περιοχές θα πρέπει να βρίσκονται σε πολύ μεγάλη απόσταση από την περιοχή κατασκευής. Κατά την λειτουργία του τερματικού δεν υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης.

Κατά την κατασκευή και λειτουργία του τερματικού σταθμού οι ουσιαστικότερες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που φαίνονται να δημιουργούνται αφορούν:

- την ατμόσφαιρα. Αυξημένες εκπομπές αερίων ρύπων, σκόνης, οσμών και θορύβου κατά τη φάση κατασκευής του έργου,
- τη θάλασσα. Ρύπανση κατά τη φάση κατασκευής και αρνητικές επιπτώσεις (ρύπανση, θόρυβος, οσμές) στα αλιεύματα που ζουν εκεί.

#### **4.3 Εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου και ενδεχόμενες επιπτώσεις στο περιβάλλον**

Κοινό χαρακτηριστικό των πυκνών γεωλογικών σχηματισμών που περιέχουν υδρογονάνθρακες είναι η χαμηλή διαπερατότητά τους. Καθώς οι σχηματισμοί σχιστολιθικού αερίου είναι μακράν οι πλέον στεγανές δομές, η προσπάθεια που απαιτείται για την πρόσβαση στους πόρους αερίου είναι η μεγαλύτερη σε σχέση με άλλες μεθόδους εξόρυξης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον υψηλότερο κίνδυνο περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την εκμετάλλευση των εν λόγω σχηματισμών. Ωστόσο υπάρχει συνεχής μετάβαση από τις διαπερατές δομές που περιέχουν συμβατικό αέριο σε έγκλειστο αέριο και στα σχεδόν στεγανά κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου.

Όπως αναλύθηκε στο σχετικό κεφάλαιο κοινό χαρακτηριστικό είναι ότι η επαφή μεταξύ των φρεάτων της γεώτρησης και των πόρων πρέπει να βελτιωθεί με τεχνητό τρόπο. Αυτό πραγματοποιείται με τη λεγόμενη υδραυλική ρωγμάτωση ή υδρορωγμάτωση. Το σχήμα 4.3 απεικονίζει την εγκάρσια τομή ενός τυπικού φρέατος. Το γεωτρύπανο τρυπά κάθετα το στρώμα που περιέχει το αέριο. Ανάλογα με το πάχος του συγκεκριμένου στρώματος ανοίγονται μόνον κάθετα φρέατα ή αυτά μετατρέπονται σε οριζόντια φρέατα προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η επαφή με το στρώμα αερίου. Μέσα στο στρώμα χρησιμοποιούνται εκρηκτικές ύλες για τη δημιουργία μικρών ρωγμών, με διάτρηση του περιβλήματος. Οι ρωγμές αυτές διευρύνονται με τεχνητό τρόπο μέσω της πλήρωσής τους με νερό πολύ υψηλής πίεσης. Ο αριθμός των τεχνητών ρωγμών, το μήκος και η θέση του στο στρώμα (οριζόντια ή κάθετη) εξαρτώνται από τις λεπτομέρειες του σχηματισμού. Οι λεπτομέρειες αυτές έχουν αντίκτυπο στο μήκος των τεχνητών ρωγμών, στην απόσταση μεταξύ φρεάτων ( η γεώτρηση κάθετων φρεάτων είναι πυκνότερη από εκείνη των οριζοντίων) και στην κατανάλωση νερού.

Το υπερπριεσμένο ύδωρ ανοίγει τις ρωγμές αποκτώντας πρόσβαση σε όσο το δυνατόν περισσότερους πόρους. Όταν μειωθεί η πίεση, τα λύματα, αναμειγμένα με βαρέα ή ραδιενεργά μέταλλα από το πέτρωμα, επιστρέφουν στην επιφάνεια μαζί με αέριο. Το νερό αναμειγνύεται με πρόσθετα για τη διατήρηση των ανοικτών ρωγμών, συνήθως κόκκους άμμου. Αυτά λειτουργούν σαν σφήνες οι οποίες κρατούν τις ρωγμές ανοικτές επιτρέποντας περαιτέρω εξόρυξη αερίου. Στο μείγμα προστίθενται χημικές ουσίες για την επίτευξη ομοιόμορφης κατανομής του πρόσθετου συγκράτησης ανοικτών ρωγμών, και σχηματίζεται μια γέλη, που

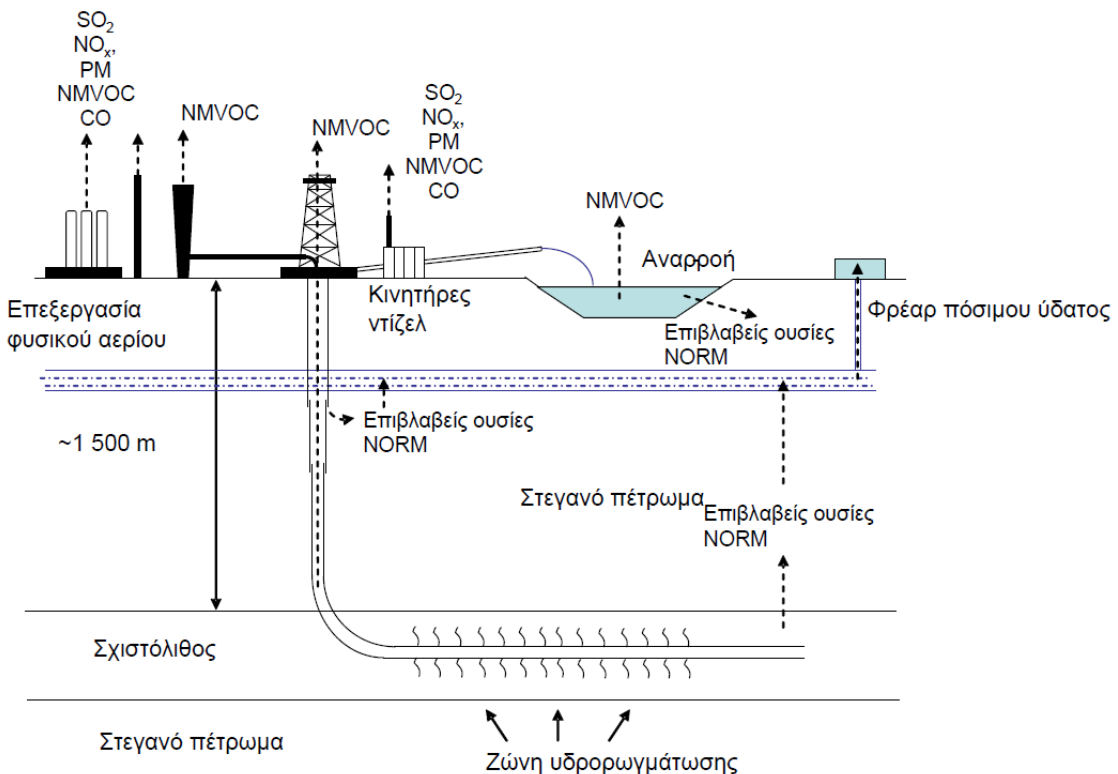


μειώνει την τριβή και τελικά διαρρηγνύεται στο τέλος της διαδικασίας ρωγμάτωσης, ώστε να γίνει η αναρροή του υγρού.

Το σχήμα 4.3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των ενδεχόμενων επιπτώσεων στο περιβάλλον κατά τη διεργασία αυτή. Οι επιπτώσεις είναι οι ακόλουθες:

- Καταστροφή φυσικού τοπίου, γιατί οι εξέδρες των γεωτρήσεων χρειάζονται χώρο για τεχνικό εξοπλισμό, αποθήκευση υγρού και οδική πρόσβαση για τον εφοδιασμό.
- Ατμοσφαιρική ρύπανση και ηχορύπανση, γιατί τα μηχανήματα λειτουργούν με κινητήρες καύσης, τα υγρά (καθώς και τα λύματα) μπορεί να επιτρέπουν την εξάτμιση επιβλαβών ουσιών στον αέρα, τα φορτηγά με τη συχνή δραστηριότητα μεταφορών μπορεί να εκπέμπουν πτητικές οργανικές ενώσεις και άλλους ατμοσφαιρικού τύπου και να προκαλούν θόρυβο.
- Το νερό μπορεί να μολυνθεί με χημικές ουσίες από τη διαδικασία ρωγμάτωσης, αλλά και με λύματα από το κοίτασμα τα οποία περιέχουν βαρέα μέταλλα (π.χ. αρσενικό ή υδράργυρο) ή ραδιενεργά σωματίδια. Ενδεχόμενοι διάλυοι μεταφοράς στα υπόγεια και στα επιφανειακά ύδατα μπορεί να είναι ατυχήματα κατά τη μεταφορά με φορτηγά, διαρροές αγωγών απόληψης, δεξαμενών λυμάτων, συμπιεστών κ.λπ., εκροές από ατυχήματα (π.χ. έκρηξη με πίδακα υγρού ρωγμάτωσης ή λυμάτων), ζημιές στην τσιμεντώση και στο περίβλημα ή απλώς ανεξέλεγκτες υπόγειες ροές μέσω τεχνητών ή φυσικών ρωγμών στους σχηματισμούς.
- Πρόκληση σεισμών από τη διαδικασία υδραυλικής ρωγμάτωσης ή έγχυσης λυμάτων.
- Κινητοποίηση υπόγειων ραδιενεργών σωματιδίων.
- Στο πλαίσιο ανάλυσης κόστους/οφέλους τέτοιων εργασιών πρέπει να αξιολογηθεί η τεράστια κατανάλωση φυσικών και τεχνικών πόρων σε σχέση με το απολήψιμο αέριο ή πετρέλαιο.
- Οι επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα είναι πιθανές, παρότι ως τώρα δεν έχει καταγραφεί μια τέτοια επίπτωση.

**Σχήμα 4.3:** Δυνητικές ροές εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων, επιβλαβών ουσιών και φυσικών ραδιενεργών ουσιών (NORM)



#### 4.3.1 Επιπτώσεις στο τοπίο

Η εκμετάλλευση σχιστολιθικών κοιτασμάτων αερίου απαιτεί εξέδρες γεωτρήσεων για την αποθήκευση τεχνικού εξοπλισμού, φορτηγά με συμπιεστές, χημικές ουσίες, πρόσθετα διατήρησης ανοικτών ρωγμών, νερό και δεξαμενές λυμάτων, εάν το νερό δεν προέρχεται από τοπικά φρέατα ύδατος και τα λύματα δεν συγκεντρώνονται σε τεχνητές λίμνες. Η συνηθισμένη έκταση μια βάσης πολλαπλών φρεάτων κατά τη γεώτρηση και τη ρωγμάτωση είναι περίπου 16.200 - 20.250 m<sup>2</sup>.

Η εκμετάλλευση κοιτασμάτων σχιστολιθικού αερίου απαιτεί πυκνή διάταξη των εν λόγω εξεδρών φρεάτων. Η συνηθισμένη απόσταση σε συμβατικά κοιτάσματα στις ΗΠΑ είναι ένα φρέαρ ανά 2,6 km<sup>2</sup>. Στο σχιστολιθικό σχηματισμό του Barnett (Texas, ΗΠΑ) η συνηθισμένη αρχική απόσταση μειώθηκε σε ένα φρέαρ ανά 1 km<sup>2</sup>. Αργότερα επιτράπηκαν τα λεγόμενα "ενδιάμεσα φρέατα", τα οποία διανοίχθηκαν σε απόσταση 6 φρέατα ανά 1 km<sup>2</sup>. Αυτό φαίνεται να αποτελεί συνήθη πρακτική στους περισσότερους σχιστολιθικούς σχηματισμούς, όταν αυτοί αναπτύσσονται εντατικά. Στο σχήμα 4.3 απεικονίζονται φρέατα για την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ.

**Σχήμα 4.4:** Γεώτρηση σχιστολιθικού αερίου σε ψαμμιτικό έδαφος



Οι εξέδρες φρεάτων συνδέονται με δρόμους για τη μεταφορά με φορτηγά, πράγμα που αυξάνει περαιτέρω την ανάλωση γης. Στις ΗΠΑ εκτάσεις γης χρησιμοποιούνται επίσης για δεξαμενές λυμάτων, στις οποίες συλλέγονται τα λύματα αναρροής, προτού διατεθούν ή απομακρυνθούν με φορτηγό ή αγωγό. Οι εκτάσεις αυτές δεν περιλαμβάνονται ακόμη στις εξέδρες που απεικονίζονται ανωτέρω. Η συμπερίληψή τους θα μπορούσε να διπλασιάσει την έκταση γης που απαιτούν οι εργασίες παραγωγής αερίου.

Με την εξόρυξη, το αέριο πρέπει να μεταφερθεί στα δίκτυα διανομής. Καθώς τα περισσότερα φρέατα έχουν μικρή παραγωγή η οποία μειώνεται έντονα, πολύ συχνά το αέριο αποθηκεύεται στην εξέδρα γεώτρησης και φορτώνεται περιοδικά σε φορτηγά. Εάν η πυκνότητα των φρεάτων είναι αρκετά υψηλή, κατασκευάζονται δίκτυα συγκέντρωσης με σταθμούς συμπίεστων. Ο τρόπος αποθήκευσης ή μεταφοράς που επιλέγεται και το κατά πόσον οι αγωγοί κατασκευάζονται υπέργεια ή υπόγεια εξαρτάται από τις συγκεκριμένες παραμέτρους των έργων και από τους ισχύοντες κανονισμούς.

#### **4.3.2 Εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων και ρύπανση του εδάφους**

Οι εκπομπές μπορεί να προέρχονται από τις ακόλουθες πηγές:

- εκπομπές από φορτηγά και γεωτρητικό εξοπλισμό (θόρυβος, σωματίδια, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC και CO)
- εκπομπές από την επεξεργασία και τη μεταφορά φυσικού αερίου (θόρυβος, σωματίδια, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC και CO)
- εκπομπές από την εξάτμιση χημικών ουσιών από δεξαμενές λυμάτων
- εκπομπές λόγω εκροών και εκρήξεων φρεάτων (διασπορά υγρών γεώτρησης ή ρωγμάτωσης σε συνδυασμό με σωματίδια του κοιτάσματος).

Η λειτουργία εξοπλισμού γεώτρησης καταναλώνει μεγάλες ποσότητες καυσίμων, τα οποία καίγονται και εκπέμπουν CO<sub>2</sub>. Επίσης, κατά την παραγωγή, την επεξεργασία και τη μεταφορά μπορεί να υπάρξουν μερικές διαφεύγουσες εκπομπές μεθανίου, το οποίο είναι αέριο θερμοκηπίου.

#### **Ατμοσφαιρικοί ρύποι από συνήθεις εργασίες**

Μελέτη που διεξήχθη τον Αύγουστο του 2009 στην πόλη Dish στο Texas επιβεβαίωσε την παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων καρκινογόνων και νευροτοξικών ενώσεων στον ατμοσφαιρικό αέρα. Η ίδια μελέτη έδειξε ότι πολλές καταγγελίες υποβλήθηκαν στον Δήμο σχετικά με τον συνεχή θόρυβο και τις δονήσεις που προέρχονται από τους σταθμούς συμπίεστων, καθώς και για άσχημες οσμές. Καθώς δεν υπάρχει άλλη βιομηχανική δραστηριότητα στη συγκεκριμένη περιοχή, πιστεύεται ότι οι δραστηριότητες εξόρυξης φυσικού αερίου μέσα στην πόλη και γύρω από αυτήν αποτελούν τη μοναδική πηγή των συνεπειών αυτών.

Γι' αυτό τον λόγο η Επιτροπή ποιότητας περιβάλλοντος του Texas, θέσπισε ένα πρόγραμμα παρακολούθησης, το οποίο επιβεβαίωσε εν μέρει τις εξαιρετικά υψηλές τιμές των ποσοτήτων των ατμών υδρογονανθράκων που διαφεύγουν από τον εξοπλισμό γεώτρησης και τις δεξαμενές αποθήκευσης καθώς και σημαντικά επίπεδα βενζολίου σε ορισμένες τοποθεσίες. Τα βασικά πορίσματα της παρακολούθησης ήταν τα ακόλουθα, α) ο εντοπισμός τριάντα πέντε χημικών ουσιών σε επίπεδα ανώτερα των ενδεδειγμένων τιμών και β) η ανίχνευση βενζολίου σε επίπεδα ανώτερα της βασισμένης στην υγεία τιμής.

#### **Ρύποι από εκρήξεις ή ατυχήματα σε φρέατα σε εγκαταστάσεις γεώτρησης**

Οι εμπειρίες στις ΗΠΑ δείχνουν ότι έχουν συμβεί κατ' επανάληψη σοβαρές εκρήξεις σε φρέατα. Οι περισσότερες από αυτές καταγράφονται στο ινστιτούτο Michaels στη Βόρεια Αμερική. Τυπικά Παραδείγματα είναι τα ακόλουθα:

- Στις 3 Ιουνίου 2010, έκρηξη σε φρέαρ αερίου στην κομητεία Clearfield, στην Πενσυλβανία, προκάλεσε την εκτόξευση στον αέρα τουλάχιστον 35.000 γαλονιών λυμάτων και φυσικού αερίου επί 16 ώρες.
- Τον Ιούνιο του 2010, έκρηξη σε φρέαρ στην κομητεία Marshall, στη West Virginia, είχε ως αποτέλεσμα να νοσηλευθούν επτά τραυματίες εργάτες.
- Την 1η Απριλίου 2010, προκλήθηκε πυρκαγιά σε δεξαμενή και υπαίθριο λάκκο που χρησιμοποιούνταν για την αποθήκευση υγρού υδραυλικής ρωγμάτωσης σε εξέδρα γεώτρησης της εταιρεία Atlas. Οι φλόγες είχαν ύψος τουλάχιστον 33m και πλάτος 15m.

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις επιβλήθηκαν πρόστιμα στις εμπλεκόμενες εταιρείες. Αποδείχθηκε ότι τα ατυχήματα αυτά σχετίζονταν κυρίως με ακατάλληλο χειρισμό, είτε από μη εκπαιδευμένο προσωπικό είτε λόγω εσφαλμένης εκτίμησης.

### **4.3.3 Επιφανειακά και υπόγεια ύδατα**

#### **Κατανάλωση ύδατος**

Κατά την συμβατική ερευνητική γεώτρηση για την ψύξη και τη λίπανση της κεφαλής διάτρησης αλλά και για την αφαίρεση της λάσπης διάτρησης καταναλώνονται μεγάλοι όγκοι νερού. Περίπου δεκαπλάσιος όγκος νερού καταναλώνεται στην υδραυλική ρωγμάτωση για τη διέγερση του φρέατος με την έγχυση υπερπιεσμένου ύδατος για τη δημιουργία ρωγμών. Μελέτη των απαιτήσεων νερού για την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού κοιτάσματος του Barnett, στο Texas, έδειξε ότι τα παλαιότερα μη τσιμεντωμένα οριζόντια φρέατα με ένα στάδιο ρωγμάτωσης χρειάζονται περίπου 15 εκατομμύρια λίτρα νερού. Τα νεότερα τσιμεντωμένα οριζόντια φρέατα πραγματοποιούν συνήθως τη ρωγμάτωση σε περισσότερα στάδια σε περισσότερες δέσμες διάτρησης ταυτόχρονα.

Η στατιστική ανάλυση περίπου 400 φρεάτων έδειξε συνήθη κατανάλωση νερού 25 - 30 m<sup>3</sup>/m για τις ρωγματώσεις με νερό και περίπου 42 m<sup>3</sup>/m για τις ρωγματώσεις με νερό με λειαντικά πρόσθετα οι οποίες χρησιμοποιούνται πιο πρόσφατα. Η συγκεκριμένη μελέτη του 2007 περιλαμβάνει επίσης σενάρια σχετικά με την κατανάλωση νερού στην έρευνα στον σχιστολιθικό σχηματισμό του Barnett το 2010 και το 2020. Για το 2010 οι απαιτήσεις νερού εκτιμήθηκαν σε 12 - 24 εκατομμύρια m<sup>3</sup> και εξελίσσονται έως το 2020 σε 6 - 24 εκατομμύρια m<sup>3</sup>, ανάλογα με τις μελλοντικές δραστηριότητες έρευνας. Επιπλέον, τα φρέατα που ανοίγονται για την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου μπορεί να πρέπει να υποβληθούν σε ρωγμάτωση αρκετές φορές κατά την διάρκεια της περιόδου λειτουργίας τους. Κάθε πρόσθετη εργασία ρωγμάτωσης μπορεί να απαιτεί περισσότερο νερό από την προηγούμενη. Σε μερικές περιπτώσεις, τα φρέατα υποβάλλονται σε νέα ρωγμάτωση έως 10 φορές.

#### **Ρύπανση υδάτων**

Ενδεχόμενη ρύπανση των υδάτων μπορεί να προκληθεί από:

- εκροές λάσπης διάτρησης, αναρροή και διάλυμα, από απορρίμματα ή δεξαμενές αποθήκευσης που προκαλούν ρύπανση και αλάτωση των υδάτων
- διαρροές ή ατυχήματα από υπέργειες δραστηριότητες, π.χ. διαρροή υγρού ή αγωγών ή δεξαμενών λυμάτων, μη επαγγελματικός χειρισμός ή παλαιός εξοπλισμός
- διαρροές από ακατάλληλη τσιμεντοποίηση των φρεάτων
- διαρροές μέσω γεωλογικών δομών, μέσω φυσικών ή τεχνητών ρωγμών ή οδών.

Οι περισσότερες καταγγελίες κατά της υδραυλικής ρωγμάτωσης σχετίζονται με την ενδεχόμενη ρύπανση των υπόγειων υδάτων. Κατά βάση ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διείσδυση υγρών ρωγμάτωσης ή μεθανίου από τις βαθύτερες δομές.

Το 2008 διεξήχθη λεπτομερής ανάλυση για την κομητεία Garfield, στο Colorado. Στο διάστημα από τον Ιανουάριο του 2003 έως τον Μάρτιο του 2008 καταγράφηκαν συνολικά 1.549 εκροές εκ των οποίων το 20% αφορούσαν ρύπανση των υδάτων. Ο αριθμός των εκροών αυξάνεται καθώς αναφέρθηκαν 5 εκροές στην κομητεία Garfield το 2003 και 55 το 2007. Επακόλουθη μελέτη της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων εντόπισε χρονική τάση αύξησης του μεθανίου σε δείγματα υπόγειων υδάτων τα τελευταία επτά έτη, η οποία συμπίπτει με τον

αυξημένο αριθμό φρεάτων αερίου που εγκαταστάθηκαν στο σχιστολιθικό κοίτασμα. Παράλληλα με την αυξανόμενη συγκέντρωση μεθανίου σημειώθηκε αύξηση των φρεάτων ύδατος με αυξημένα χλωριούχα άλατα, γεγονός που μπορεί να συσχετιστεί με τον αριθμό των φρεάτων αερίου.

Μια πιο πρόσφατη μελέτη του 2011 επιβεβαιώνει τις παραπάνω διαπιστώσεις σε υδροφόρους ορίζοντες που βρίσκονται πάνω από σχιστολιθικούς σχηματισμούς του Marcellus και του Utica στη βορειοανατολική Πενσυλβανία και στη βόρεια Νέα Υόρκη. Σε περιοχές ενεργής εξόρυξης αερίου, οι μέσες συγκεντρώσεις μεθανίου σε φρέατα πόσιμου ύδατος ήταν 19,2 mg/λίτρο και τα μέγιστα επίπεδα έφθαναν τα 64 mg/λίτρο, που συνεπάγεται κίνδυνο έκρηξης. Η συγκέντρωση περιβάλλοντος σε γειτονικές περιοχές παρόμοιας γεωλογικής δομής χωρίς εξόρυξη αερίου ήταν 1,1 mg/λίτρο.

Τα περισσότερα ατυχήματα και οι διεισδύσεις σε υπόγεια ύδατα φαίνεται να οφείλονται σε ακατάλληλο χειρισμό, ο οποίος θα μπορούσε να αποφευχθεί. Υπάρχουν κανονισμοί στις ΗΠΑ, αλλά η παρακολούθηση και η εποπτεία των εργασιών είναι μάλλον ελλιπείς, λόγω έλλειψης διαθέσιμων προϋπολογισμών των δημοσίων αρχών ή για άλλους λόγους. Επομένως, το βασικό πρόβλημα δεν είναι η ακατάλληλη νομοθεσία, αλλά η επιβολή της μέσω κατάλληλης εποπτείας. Πρέπει να διασφαλίζεται ότι η βέλτιστη πρακτική είναι διαθέσιμη και εφαρμόζεται επίσης ευρέως. Επιπλέον παραμένει κάποιος κίνδυνος μη εντοπισμένες οδοί (πχ. παλαιά και εγκαταλειμμένα, αλλά μη καταχωρημένα φρέατα με ελλιπή τσιμέντωση, απρόβλεπτοι κίνδυνοι λόγω σεισμών) να επιτρέψουν τη διείσδυση μεθανίου ή χημικών ουσιών σε επίπεδα υπόγειων υδάτων.

### Διάθεση λυμάτων

Τα υγρά ρωγμάτωσης εγχέονται στους γεωλογικούς σχηματισμούς με μεγάλη πίεση. Όταν η πίεση σταματήσει, επανέρχεται στην επιφάνεια ένα μείγμα υγρού ρωγμάτωσης, μεθανίου, ενώσεων και πρόσθετου νερού από το κοίτασμα. Το νερό αυτό πρέπει να συλλεχθεί και να διατεθεί κατάλληλα. Σύμφωνα με πηγές του κλάδου, 20% έως 50% του νερού που χρησιμοποιείται για την υδραυλική ρωγμάτωση φρεάτων αερίου επιστρέφει στην επιφάνεια ως αναρροή. Μέρος του νερού αυτού ανακυκλώνεται για να χρησιμοποιηθεί στη ρωγμάτωση άλλων φρεάτων.

Η κατάλληλη διάθεση των λυμάτων φαίνεται ότι αποτελεί σημαντικό πρόβλημα στη Βόρεια Αμερική. Το βασικό πρόβλημα είναι η τεράστια ποσότητα των λυμάτων και η ακατάλληλη διάταξη των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων. Παρότι η ανακύκλωση ενδέχεται να είναι εφικτή, θα αυξήσει το κόστος των έργων. Πολλά προβλήματα που σχετίζονται με την ακατάλληλη διάθεση αναφέρονται παρακάτω.

- Τον Αύγουστο του 2010, επιβλήθηκε πρόστιμο στην εταιρεία <<Talisman Energy>> στην Πενσυλβανία για εκροή το 2009, η οποία είχε ως αποτέλεσμα να διοχετευθούν περισσότερα από 16 m<sup>3</sup> υγρού αναρροής υδραυλικής ρωγμάτωσης σε υγρότοπο και σε ποταμό του οποίου τα νερά καταλήγουν σε αλιευτικό πεδίο ψυχρών υδάτων.
- Τον Ιανουάριο του 2010, επιβλήθηκε πρόστιμο στην εταιρεία <<Atlas Resources>> επειδή παραβίασε περιβαλλοντικούς νόμους σε 13 εγκαταστάσεις φρεάτων στη νοτιοδυτική Πενσυλβανία, στις ΗΠΑ. Δεν εφάρμοσε κατάλληλα μέτρα ελέγχου της διάβρωσης και της ιζηματοπόθεσης, με αποτέλεσμα απορρίψεις αναθολομένων υδάτων. Επιπλέον απέρριψε στο έδαφος καύσιμα νίζελ και υγρά υδραυλικής ρωγμάτωσης.
- Επιβλήθηκε πρόστιμο στην <<Range Resource>> για εκροή στις 6 Οκτωβρίου 2009, 250 βαρελιών (40 m<sup>3</sup>) αραιωμένου υγρού υδραυλικής ρωγμάτωσης. Η εκροή οφειλόταν σε σπασμένο σύνδεσμο σε γραμμή μετάδοσης. Το υγρό διέρρευσε σε παραπόταμο του ρέματος Brush στην Πενσυλβανία.

- Τον Αύγουστο του 2010, επιβλήθηκε πρόστιμο στην εταιρεία <<Atlas Resources>> επειδή επέτρεψε την εκχύλιση υγρού υδραυλικής ρωγμάτωσης από λάκκο λυμάτων προκαλώντας τη ρύπανση λεκάνης απορροής υψηλής ποιότητας στην κομητεία Washington.
- Σε εξέδρα γεώτρησης με τρία φρέατα αερίου στο Troy, στην Πενσυλβανία, η <<Fortune Energy>> απέρριψε παράνομα υγρά αναρροής σε τάφρο αποστράγγισης και σε περιοχή με βλάστηση, τα οποία κατέληξαν τελικά σε ποταμό.

Και πάλι, οι περισσότερες από αυτές τις περιπτώσεις μόλυνσης υδάτων οφείλονται σε ακατάλληλες πρακτικές. Απαιτείται πολύ αυστηρός χειρισμός των ζητημάτων αυτών. Και στην Ευρώπη, π.χ. στη Γερμανία, έχουν συμβεί ατυχήματα σε εργασίες υδραυλικής ρωγμάτωσης. Το 2007 σημειώθηκε διαρροή στους αγωγούς λυμάτων από το κοίτασμα έγκλειστου αερίου του <<Sohligen>>, που προκάλεσε ρύπανση των υπόγειων υδάτων με βενζόλιο και υδράργυρο.

#### **4.3.4 Μεταβολές στη σεισμικότητα των περιοχών γεώτρησης**

Είναι γνωστό ότι η υδραυλική ρωγμάτωση μπορεί να προκαλέσει μικρούς σεισμούς 1 έως 3 βαθμών της κλίμακας Richter. Για παράδειγμα, στην πολιτεία του Arkansas, στις ΗΠΑ, το ποσοστό μικρών σεισμών έχει δεκαπλασιασθεί τα τελευταία χρόνια. Διατυπώθηκαν ανησυχίες ότι οι σεισμοί αυτοί οφείλονται στην έντονη αύξηση των δραστηριοτήτων γεώτρησης στον σχιστολιθικό σχηματισμό του Fayetteville. Επίσης, στην περιοχή του Fort Worth καταγράφηκαν 18 μικρότεροι σεισμοί από τον Δεκέμβριο του 2008. Στην πόλη του Cleburne και μόνο καταγράφηκαν 7 σεισμοί από τον Ιούνιο έως τον Ιούλιο του 2009, σε μια περιοχή στην οποία κατά τα προηγούμενα 140 χρόνια δεν είχε καταγραφεί κανένας σεισμός.

Τον Απρίλιο του 2011, καταγράφηκε μικρός σεισμός στην πόλη Blackpool στο Ηνωμένο Βασίλειο (1,5 βαθμός της κλίμακας Richter), τον οποίο ακολούθησε τον Ιούνιο του 2011 μεγαλύτερος σεισμός (2,5 βαθμοί της κλίμακας Richter). Η εταιρεία <<Cuadrilla Resources>>, η οποία διενεργούσε εργασίες υδραυλικής ρωγμάτωσης στην περιοχή του σεισμού, σταμάτησε τις εργασίες της και ζήτησε να διερευνηθεί το ζήτημα.

#### **4.3.5 Ρύπανση από χημικές και ραδιενεργές ουσίες των περιοχών γεώτρησης**

Οι φυσικές ραδιενεργές ουσίες (γνωστές ως Ν.Ο.Ρ.Μ.) υπάρχουν σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό, μολονότι σε πολύ μικρό ποσοστό στο εύρος ppm έως ppb. Οι περισσότεροι σχηματισμοί μαύρου σχιστόλιθου στις ΗΠΑ έχουν περιεκτικότητα ουρανίου σε εύρος 0,0016 έως 0,002%. Μέσω της διεργασίας της υδραυλικής ρωγμάτωσης, οι φυσικές αυτές ραδιενεργές ουσίες, όπως το ουράνιο, το θόριο και το ράδιο που είναι δεσμευμένες στο πέτρωμα, μεταφέρονται στην επιφάνεια με το υγρό αναρροής. Μερικές φορές ραδιενεργά σωματίδια εγχέονται με τα υγρά για ειδικούς σκοπούς (π.χ. για ανίχνευση). Οι Ν.Ο.Ρ.Μ. μπορούν επίσης να μετακινηθούν μέσω των ρωγμών του πετρώματος στα υπόγεια και στα επιφανειακά ύδατα. Συνήθως οι Ν.Ο.Ρ.Μ. συσσωρεύονται σε αγωγούς, δεξαμενές και λάκκους.

Η ποσότητα ραδιενεργών ουσιών διαφέρει μεταξύ των σχιστολιθικών κοιτασμάτων. Κατά τις δραστηριότητες επεξεργασίας του αερίου, οι Ν.Ο.Ρ.Μ. μπορούν να εμφανισθούν ως αέριο ραδονίου στη ροή του φυσικού αερίου. Το ραδόνιο διασπάται σε  $^{210}\text{Pb}$  (ισότοπο μόλυβδου), έπειτα σε  $^{210}\text{Bi}$  (ισότοπο βισμούθιου),  $^{210}\text{Po}$  (ισότοπο πολωνίου) και τέλος σε σταθερό  $^{206}\text{Pb}$  (μόλυβδος). Στοιχεία της διάσπασης του ραδονίου σχηματίζουν μεμβράνη στην εσωτερική επιφάνεια αγωγών αναρρόφησης, μονάδων επεξεργασίας, αντλιών και βαλβίδων. Επειδή οι ραδιενεργές ύλες συγκεντρώνονται στον εξοπλισμό των πηγών αερίου, ο υψηλότερος κίνδυνος έκθεσης σε Ν.Ο.Ρ.Μ. αερίου αφορά τους εργάτες που απασχολούνται με την κοπή

και την τórνευση αγωγών κοιτασμάτων πετρελαίου, αφαιρούν στερεές ουσίες από δεξαμενές και λάκκους και επισκευάζουν εξοπλισμό επεξεργασίας αερίου.

Στην κομητεία Onondaga, στην Νέα Υόρκη, η ραδιενεργή ουσία ραδόνιο μετρήθηκε στον εσωτερικό αέρα στα υπόγεια 210 κατοικιών. Όλες οι κατοικίες που βρίσκονταν πάνω από τον σχηματισμό σχιστόλιθου του Marcellus είχαν επίπεδα  $^{222}\text{Rn}$  στον εσωτερικό αέρα άνω των  $148 \text{ Bq/m}^3$ , και η μέση συγκέντρωση στις εν λόγω κατοικίες ήταν  $326 \text{ Bq/m}^3$ , δηλαδή υπερδιπλάσια από το "επίπεδο δράσης" (το επίπεδο στο οποίο συνίσταται στους ενοίκους να μειώσουν τη συγκέντρωση ραδονίου) των  $148 \text{ Bq/m}^3$  που έχει ορίσει ο Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος στις ΗΠΑ. Το μέσο επίπεδο ραδονίου στον εσωτερικό αέρα στις ΗΠΑ είναι  $48 \text{ Bq/m}^3$ . Αύξηση κατά  $100 \text{ Bq/m}^3$ , στον αέρα συνεπάγεται αύξηση του καρκίνου του πνεύμονα κατά 10%.

Τα ίδια προβλήματα με τις N.O.R.M. μπορούν να εμφανισθούν στην Ευρώπη. Ωστόσο η ποσότητα N.O.R.M. διαφέρει ανάλογα με την τοποθεσία. Επομένως, η συνάφεια των ραδιενεργών σωματιδίων πρέπει να αξιολογείται χωριστά σε κάθε μεμονωμένο σχιστολιθικό σχηματισμό. Για τον λόγο αυτόν, η σύνθεση βασικού δείγματος του συγκεκριμένου σχιστόλιθου που ερευνάται πρέπει να γίνεται γνωστή πριν από την χορήγηση οποιασδήποτε άδειας παραγωγής.

#### Χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται

Το υγρό ρωγμάτωσης περιέχει συνήθως περίπου 98% νερό και άμμο και 2% χημικά πρόσθετα. Τα χημικά πρόσθετα περιλαμβάνουν τοξικές, αλλεργιογόνες, μεταλλαξιογόνες και καρκινογόνες ουσίες. Λόγω εμπορικού απορρήτου, η σύνθεση των προσθέτων δεν γίνεται πλήρως γνωστή στο κοινό. Το 2011 η πολιτεία της Νέας Υόρκης διέθεσε έναν κατάλογο 260 ουσιών από την ανάλυση του οποίου προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- 6 περιλαμβάνονται στον κατάλογο ουσιών προτεραιότητας τον οποίο έχει δημοσιεύσει η Ευρωπαϊκή επιτροπή για ουσίες που απαιτούν άμεση προσοχή λόγω των δυνητικών συνεπειών τους στον άνθρωπο ή στο περιβάλλον: ακρυλαμίδιο, βενζόλιο, αιθυλοβενζόλιο, ισοπροπυλοβενζόλιο (κουμένιο), ναφθαλίνιο, αιθυλενοδιαμινοτετραοξικό τετρανάτριο.
- Μια ουσία (ναφθαλίνιο δις(1-μεθυλαιθύλιο)) ερευνάται σήμερα ως ανθεκτική, βιοσυσσωρεύσιμη και τοξική.
- 17 ουσίες είναι ταξινομημένες ως τοξικές για τους υδρόβιους οργανισμούς (οξεία ή και χρόνια τοξικότητα)
- 38 είναι ταξινομημένες ως ουσίες οξείας τοξικότητας (ανθρώπινη υγεία), όπως η 2-βουτοξυαιθανόλη.
- 8 ουσίες είναι ταξινομημένες ως γνωστές καρκινογόνοι, όπως το βενζόλιο και το ακρυλαμίδιο, το οξειδίο του αιθυλενίου και διάφοροι διαλύτες βασισμένοι στο πετρέλαιο.
- 7 ουσίες είναι ταξινομημένες ως μεταλλαξιογόνες, όπως το βενζόλιο και το οξειδίο του αιθυλενίου.
- 5 ουσίες είναι ταξινομημένες ως έχουσες συνέπειες στην αναπαραγωγή.

Η 2-βουτοξυαιθανόλη χρησιμοποιείται συχνά ως χημικό πρόσθετο. Είναι τοξική σε σχετικά χαμηλά επίπεδα έκθεσης. Ο χρόνος ημιζωής της 2-βουτοξυαιθανόλης σε φυσικά επιφανειακά ύδατα κυμαίνεται από 7 έως 28 ημέρες. Λόγω του τόσο αργού ρυθμού αερόβιας βιοδιάσπασης οι άνθρωποι, η άγρια φύση και τα οικόσιτα ζώα μπορούν να έρθουν σε άμεση επαφή με την 2-βουτοξυαιθανόλη μέσω κατάποσης, εισπνοής, απορρόφησης δια του δέρματος και των

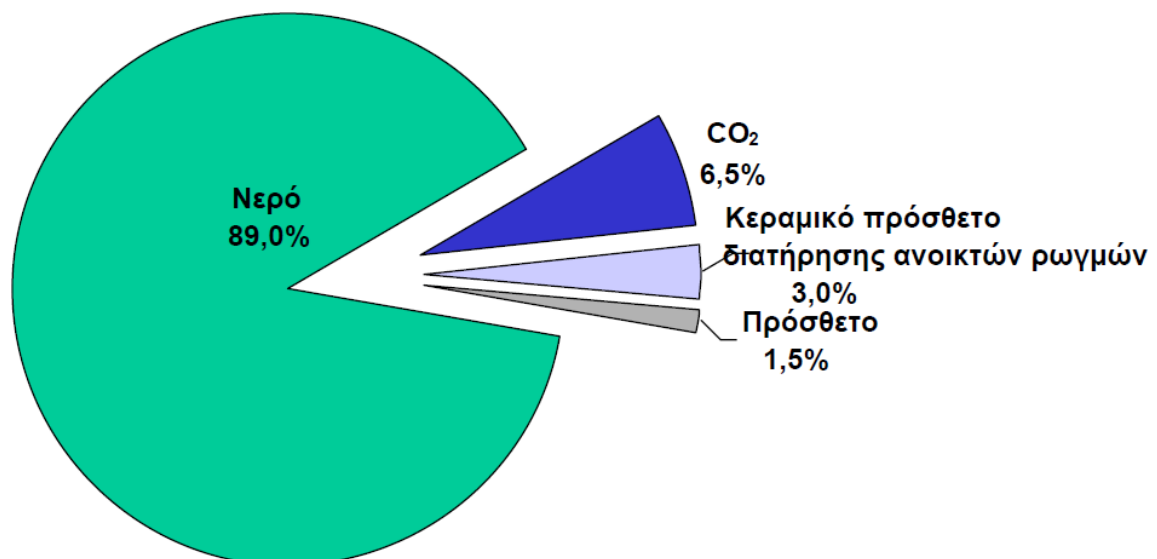


οφθαλμών σε υγρή μορφή ή σε μορφή ατμών, καθώς το παγιδευμένο νερό φθάνει στην επιφάνεια. Η αερόβια βιοδιάσπαση χρειάζεται οξυγόνο, πράγμα που σημαίνει ότι όσο βαθύτερα εγχέεται η 2-βουτοξυαιθανόλη στα υπόγεια στρώματα τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ανθεκτικότητά της.

Στο σχήμα 4.4 απεικονίζεται η σύνθεση του υγρού ρωγμάτωσης (6405 m<sup>3</sup>) που χρησιμοποιείται σε φρέαρ έγκλειστου αερίου <<Goldenstedt Z23>> στην Κάτω Σαξονία στη Γερμανία. Το υγρό κλάσμα περιέχει 0,25% τοξικές ουσίες, 1,02% ουσίες επιβλαβείς ή τοξικές για την ανθρώπινη υγεία και 0,19% ουσίες επιβλαβείς για το περιβάλλον. Στο συγκεκριμένο φρέαρ εφαρμόστηκαν συνολικά 65 m<sup>3</sup> ουσιών οι οποίες είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία.

**Σχήμα 4.5:** Σύνθεση του υγρού ρωγμάτωσης που χρησιμοποιείται στο <<Goldenstedt Z23>> στην Κάτω Σαξονία στη Γερμανία.

Επιπλέον, η υδραυλική ρωγμάτωση μπορεί να επηρεάσει την κινητικότητα των φυσικών



τοξικών ουσιών που υπάρχουν στο υπέδαφος, όπως ο υδράργυρος, ο μόλυβδος και το αρσενικό. Οι ουσίες αυτές μπορεί να βρουν μια οδό προς μια υπόγεια πηγή πόσιμου νερού, εάν οι ρωγμές εκτείνονται πέρα από τον σχηματισμό-στόχο ή εάν το περίβλημα ή η τσιμεντώση γύρω από την γεώτρηση δεν αντέξουν στις πιέσεις που ασκούνται κατά την υδραυλική ρωγμάτωση.

#### Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Οι ενδεχόμενες συνέπειες για την υγεία οφείλονται κυρίως στις επιπτώσεις των σχετικών εκπομπών στην ατμόσφαιρα ή στο νερό. Πρόκειται κυρίως για κεφαλαλγίες και μακροχρόνιες συνέπειες από τις πτητικές οργανικές ενώσεις. Η ρύπανση των υπόγειων υδάτων μπορεί να είναι επικίνδυνη όταν κάτοικοι έρχονται σε επαφή με μολυσμένο νερό. Για παράδειγμα, όταν μικρά παιδιά πλένονται συχνά με μολυσμένο νερό, αυτό μπορεί να έχει συνέπειες όσον αφορά τις αλλεργίες και την υγεία.

Πέρα από τις δυνητικές συνέπειες, οι πραγματικές συνέπειες για την υγεία και η άμεση σύνδεσή τους με δραστηριότητες υδραυλικής ρωγμάτωσης σπάνια καταγράφονται. συνήθως, πρώτες στον κατάλογο των αναφερόμενων συνεπειών είναι οι κεφαλαλγίες. Στη συνέχεια αναφέρονται δυο ακραία παραδείγματα στις ΗΠΑ, παρότι η σχέση τους με δραστηριότητες αερίου δεν μπορεί να αποδειχθεί.

Το 2007 μια γυναίκα (η Laura Amos) από το Silt, στην κομητεία Garfield, στο Colorado, ανέπτυξε ένα πολύ σπάνιο επινεφριδικό όγκο και χρειάστηκε να υποβληθεί σε εγχείρηση για την αφαίρεση τόσο του όγκου όσο και του επινεφριδίου αδένου. Μία από τις συνέπειες της 2-βουτοξυαιθανόλης είναι οι επινεφριδικοί όγκοι. Ζούσε σε απόσταση 275 m από μια ενεργή εξέδρα αερίου όπου πραγματοποιείται συχνά υδρορωγμάτωση. Στη διάρκεια μιας τέτοιας υδρορωγμάτωσης, έσπασαν οι σωληνώσεις υδροδότησης του σπιτιού της. Η παραπάνω μαρτυρία αποτελεί έγγραφη κατάθεση ενώπιον της Επιτροπής Εποπτείας και Κυβερνητικής Μεταρρύθμισης της Βουλής των Αντιπροσώπων, στις ΗΠΑ.

Στα μέσα του Αυγούστου του 2008, η Cathe Behr, νοσοκόμα των επειγόντων περιστατικών στο Durango του Colorado, κόντεψε να πεθάνει μετά από την περίθαλψη ενός εργάτη γεωτρήσεων ο οποίος είχε καταβρεχτεί από υγρό ρωγμάτωσης σε γεώτρηση φυσικού αερίου της BP. Η Behr έγδυσε τον εργάτη και έβαλε τα ρούχα του σε πλαστικές σακούλες. Λίγες μέρες αργότερα, η Behr βρισκόταν σε κρίσιμη κατάσταση με ανεπάρκεια πολλών οργάνων.

#### **4.3.6 Ενδεχόμενα μακροπρόθεσμα οικολογικά οφέλη**

Δεν υπάρχουν εμφανή δυνητικά μακροπρόθεσμα οφέλη από την εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου με εξαίρεση την ενδεχόμενη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Η μείωση αυτή μπορεί να επέλθει στην περίπτωση που περισσότερο ρυπογόνοι ορυκτοί πόροι, και ιδίως ο άνθρακας και το πετρέλαιο, αντικατασταθούν από σχιστολιθικό αέριο.

#### **4.4 Κύρια συμπεράσματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων**

- Οι αναπόφευκτες επιπτώσεις περιλαμβάνουν την κατανάλωση γης λόγω εξεδρών γεώτρησης, χώρων στάθμευσης και ελιγμών για φορτηγά, εξοπλισμού, εγκαταστάσεων επεξεργασίας και μεταφοράς αερίου καθώς και οδών πρόσβασης.
- Σημαντικές ενδεχόμενες επιπτώσεις είναι οι ατμοσφαιρικές εκπομπές ρύπων, η ρύπανση των υπογείων υδάτων λόγω ανεξέλεγκτων ροών αερίων και υγρών που οφείλονται σε εκρήξεις ή εκροές, διαρροής υγρού ρωγμάτωσης και ανεξέλεγκτης απόρριψης λυμάτων.
- Τα υγρά ρωγμάτωσης περιέχουν επικίνδυνες ουσίες και η αναρροή περιέχει επιπλέον βαρέα μέταλλα και ραδιενεργές ουσίες από το κοίτασμα.
- Η πείρα από τις ΗΠΑ δείχνει ότι συμβαίνουν πολλά ατυχήματα, τα οποία μπορεί να είναι επιβλαβή για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Οι καταγεγραμμένες παραβάσεις των νομικών απαιτήσεων ανέρχονται σε περίπου 1-2 % του συνόλου των αδειών γεώτρησης. Πολλά από τα ατυχήματα αυτά οφείλονται σε ακατάλληλο χειρισμό ή εξοπλισμό που εμφανίζει διαρροή.
- Επιπλέον, κοντά σε φρέατα αερίου αναφέρεται ρύπανση των υπογείων υδάτων, από μεθάνιο, με αποτέλεσμα εκρήξεις σε κατοικημένα κτήρια σε ακραίες περιπτώσεις και από χλωριούχο κάλιο, με αποτέλεσμα την αλάτωση του πόσιμου νερού.
- Οι επιπτώσεις αυξάνονται καθώς αναπτύσσονται σχιστολιθικοί σχηματισμοί με υψηλή πυκνότητα φρεάτων (έως έξι φρέατα ανά km<sup>2</sup>).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ ΤΗΣ ΕΕ

Στόχος του παρόντος κεφαλαίου είναι η επισκόπηση του ισχύοντος κανονιστικού πλαισίου της νομοθεσίας της ΕΕ όσον αφορά

- την εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου και
- το κατά πόσον διαθέτει επαρκείς διατάξεις για την προστασία κατά των συγκεκριμένων δυνητικών κινδύνων για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, που προκύπτουν από τις εν λόγω δραστηριότητες.
- 

### **5.1 Ειδικές οδηγίες για την εξορυκτική βιομηχανία**

Σκοπός μια εξορυκτικής νομοθεσίας είναι η παροχή νομικού πλαισίου για την προώθηση της ευημερίας ενός βιομηχανικού κλάδου και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού και την εξασφάλιση επαρκούς προστασίας για την υγεία, την ασφάλεια και το περιβάλλον. Σε επίπεδο ΕΕ, δεν υπάρχει συνολικό πλαίσιο για την εξορυκτική βιομηχανία. Σήμερα η εξορυκτική νομοθεσία υπάγεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στην αρμοδιότητα των κρατών μελών και στις περισσότερες χώρες η νομοθεσία είναι ξεπερασμένη και δεν αντικατοπτρίζει τις σημερινές απαιτήσεις. Η Γενική Διεύθυνση επιχειρήσεων και Βιομηχανίας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής διαθέτει μια διοικητική μονάδα << Μέταλλα, ορυκτά, πρώτες ύλες>>, και στον ιστότοπό της αναφέρονται ότι υπάρχουν μόνο τέσσερις οδηγίες οι οποίες αναπτύχθηκαν ειδικά για την εξορυκτική βιομηχανία. Στον παρακάτω πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι τρεις αυτές οδηγίες.

**Πίνακας 5.1:** Σύνολο οδηγιών της ΕΕ οι οποίες αναπτύχθηκαν ειδικά για τις εξορυκτικές βιομηχανίες

<b>Οδηγία</b>	<b>Οδηγίες για την εξορυκτική δραστηριότητα</b>
2006/21/ΕΚ	Οδηγία σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων της εξορυκτικής βιομηχανίας  <b>Οδηγία για τα απόβλητα της εξορυκτικής βιομηχανίας</b>
1992/104/ΕΟΚ	Οδηγία περί των ελαχίστων προδιαγραφών της για τη βελτίωση της προστασίας της ασφαλείας και της υγείας των εργαζομένων στις υπαίθριες ή υπόγειες εξορυκτικές βιομηχανίες
1992/91/ΕΟΚ	Οδηγία για τους όρους χορήγησης και χρήσης των αδειών αναζήτησης, εξερεύνησης και παραγωγής υδρογονανθράκων

1994/22/EK	Οδηγία για τους όρους χορήγησης και χρήσης των αδειών αναζήτησης, εξερεύνησης και παραγωγής υδρογονανθράκων
------------	---

Παραπροϊόν της υδραυλικής ρωγμάτωσης είναι μια μεγάλη ποσότητα νερού, μολυσμένου με καρκινογόνους ουσίες, βιοκτόνες ουσίες, ραδιενεργό ραδόνιο και άλλες επικίνδυνες χημικές ουσίες. Η οδηγία για τα απόβλητα της εξορυκτικής βιομηχανίας είναι θεμελιώδους σημασίας για τον ασφαλή χειρισμό του συσσωρευόμενου αυτού μείγματος. Για την υδραυλική ρωγμάτωση, όπως και για κάθε σημαντική δραστηριότητα γεώτρησης, απαιτούνται βαρέα μηχανήματα τα οποία χειρίζονται εργαζόμενοι. Οι νομικές πτυχές της ασφάλειας και της προστασίας της υγείας των εργαζομένων καθορίζονται στις οδηγίες 1992/104/ΕΟΚ και 1992/91/ΕΟΚ που αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα. Η τέταρτη οδηγία ρυθμίζει την κυριαρχία των κρατών μελών όσον αφορά τη χορήγηση αδειών για έρευνα υδρογονανθράκων.

## 5.2 Μη ειδικές οδηγίες (περιβάλλον και ανθρώπινη υγεία)

Υπάρχει πλήθος οδηγιών και κανονισμών που δεν αφορούν ειδικά τον τομέα της εξορυκτικής βιομηχανίας, αλλά τον επηρεάζουν έμμεσα. Στην συγκεκριμένη παράγραφο εξετάζουμε τους κανονισμούς που αφορούν το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία.

### Γενικοί εξορυκτικοί κίνδυνοι οι οποίοι καλύπτονται από οδηγίες της ΕΕ

Πέρα των τεσσάρων οδηγιών της ΕΕ που αναφέρθηκαν παραπάνω για τις απαιτήσεις της εξορυκτικής βιομηχανίας, υπάρχει και άλλη νομοθεσία, ιδίως στους τομείς του περιβάλλοντος, της υγείας και της ασφάλειας, η οποία καλύπτει επίσης ζητήματα της εξορυκτικής βιομηχανίας. Στον πίνακα 4.2 παρέχεται μια εικόνα από το πλήθος των διαφορετικών γενικών νομοθεσιών από διάφορους τομείς.

### Πίνακας 5.2: Συναφέστερη νομοθεσία η οποία αφορά τις εξορυκτικές βιομηχανίες

Natura2000	Οδηγία για τα απόβλητα της εξορυκτικής βιομηχανίας
Ποιότητα ατμοσφαιρικού αέρα	Οδηγία για τα υπόγεια ύδατα
Σημείωμα ABT (ΑΒΔΤ)	Οδηγίες για τους οικοτόπους και τα πτηνά
Seveso II	Στρατηγική για τον ατμοσφαιρικό αέρα
Οδηγία ΕΠΕ	Οδηγία - πλαίσιο για τα ύδατα
REACH	Περιβαλλοντική ευθύνη

Για την αξιολόγηση του ισχύοντος κανονιστικού πλαισίου της ΕΕ με επικέντρωση στην υδραυλική ρωγμάτωση, οι κατάλογοι που απαριθμούν έως 12 οδηγίες δεν είναι εξαντλητικοί, ενώ η συλλογή εκατοντάδων κανονιστικών εγγράφων είναι υπερβολικά εγκυκλοπαιδική. Το 2010 ο Schuetz κατάρτισε μερικούς από τους καταλόγους για να δοθεί μια εικόνα του κανονιστικού πλαισίου της ΕΕ που έχει σημασία για την εκμετάλλευση σχιστολιθικού αερίου, όπου απαριθμεί τις ακόλουθες επτά οδηγίες:

1. οδηγία-πλαίσιο για τα ύδατα

2. οδηγία για τα υπόγεια ύδατα
3. REACH
4. Natura2000
5. ΕΠΕ
6. οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα
7. οδηγία για τον θόρυβο

Συγκεκριμένοι κίνδυνοι σχιστολιθικού αερίου οι οποίοι καλύπτονται από τις οδηγίες της ΕΕ

Μερικοί ενδεχόμενοι κίνδυνοι από την εκμετάλλευση σχιστολιθικού αερίου είναι ίδιοι με εκείνους των συμβατικών πηγών ενέργειας. Επομένως η ισχύουσα νομοθεσία καλύπτει επαρκώς πολλούς κινδύνους. Παρ' όλα αυτά το μη συμβατικό αέριο συνδέεται με μη συμβατικούς κινδύνους. Αυτοί μπορεί να μην καλύπτονται επαρκώς και να προέρχονται από

- την τεράστια ποσότητα χημικών που χρησιμοποιούνται κατά τη διεργασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης,
- την επιλογή χημικών ουσιών, συμπεριλαμβανομένων τοξικών, καρκινογόνων και μεταλλαξιογόνων ουσιών και ουσιών επιβλαβών για το περιβάλλον, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα για τα υγρά ρωγμάτωσης,
- την ποσότητα ύδατος αναρροής μολυσμένου με ραδιενεργές ουσίες, όπως ραδόνιο και ουράνιο και άλλα πρόσθετα υπόγεια υλικά,
- τον μεγάλο αριθμό θέσεων γεώτρησης,
- τη μεγάλη ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται για το υγρό ρωγμάτωσης ,
- τις δυνητικά υψηλές εκπομπές μεθανίου από την ολοκλήρωση του φρέατος.

Οι οδηγίες εντάσσονται σε κάθε πίνακα με βάση τη συνάφειά τους. Δεν ισχύουν κατ' ανάγκη όλες οι οδηγίες σήμερα, λόγω πιθανών καθυστερήσεων τους στη ορθή μεταφορά τους στο εθνικό δίκαιο. Οι πρώτες μελέτες για τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν κατά την υδραυλική ρωγμάτωση στις ΗΠΑ παρέχουν μια καλή βάση για τον έλεγχο της καταλληλότητας της νομοθεσίας της ΕΕ όσον αφορά τις χημικές ουσίες. Η μεγαλύτερη ανησυχία σε σχέση με την υδραυλική ρωγμάτωση αφορά συνήθως τις ενδεχόμενες επιπτώσεις στην ποιότητα των υδάτων. Τα κρίσιμα σημεία είναι τα ακόλουθα:

- Συνήθης διαδικασία ρωγμάτωσης: χημικές ουσίες οι οποίες παραμένουν στο υπέδαφος και μπορούν να φθάσουν στους υδροφόρους ορίζοντες.
- Ατυχήματα κατά την υδραυλική ρωγμάτωση: ρωγμές στον εγκαταστημένο εξοπλισμό επιτρέπουν άμεση πρόσβαση στα υπόγεια και στα επιφανειακά ύδατα.
- Ανάλογα με τον αριθμό των φρεάτων, καταναλώνονται τεράστιες ποσότητες πόσιμου νερού.

Στον παρακάτω πίνακα 4.3 παρουσιάζονται οι πέντε πιο συναφείς οδηγίες για τα ύδατα οι οποίες αφορούν ή είναι πιθανό να αφορούν τις δραστηριότητες υδραυλικής ρωγμάτωσης.

**Πίνακας 5.3:** Συναφείς οδηγίες της ΕΕ για τα ύδατα

	<b>Οδηγία</b>	<b>Τίτλος</b>
1.	2000/60/ΕΚ	Οδηγία για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων (οδηγία - πλαίσιο για τα ύδατα)
2.	2006/118/ΕΚ	Οδηγία σχετικά με την προστασία των υπογείων υδάτων από τη ρύπανση και την υποβάθμιση
3.	1986/280/ΕΟΚ	Οδηγία του Συμβουλίου σχετικά με τις οριακές τιμές και τους ποιοτικούς στόχους για τις απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών που υπάγονται στον κατάλογο I του παραρτήματος της οδηγίας 76/464/ΕΟΚ
4.	2006/11/ΕΚ	Οδηγία για τη ρύπανση που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται στο υδάτινο περιβάλλον της Κοινότητας
5.	1998/83/ΕΚ	Οδηγία σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης

Ο κίνδυνος μολυσμένου ύδατος συνδέεται αναπόσπαστα με τον κίνδυνο μόλυνσης του περιβάλλοντος. Οι εν λόγω κίνδυνοι σχηματίζουν ένα υποσύνολο των συνολικών περιβαλλοντικών κινδύνων οι οποίοι μπορούν να υποδιαιρεθούν κατά προσέγγιση στους ακόλουθους τομείς:

- Εκπομπές στο έδαφος
  1. ρύπανση πόσιμου ύδατος και υπόγειων υδάτων
  2. ρύπανση του εδάφους
- Εκπομπές στην ατμόσφαιρα
  1. καυσαέρια
  2. θόρυβος
  3. χημικές ουσίες
- Ατυχήματα εκτός των χώρων λειτουργίας
  1. οδικές μεταφορές
  2. χώροι υγειονομικής ταφής αποβλήτων

Ο παραπάνω κατάλογος οδηγιών επικεντρώνεται στις επιδράσεις στο περιβάλλον υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Σε όλους αυτούς τους τομείς, υπάρχει βεβαίως κίνδυνος ατυχημάτων. Στον πίνακα 4.4 παρατίθενται οι εννέα πιο συναφείς οδηγίες οι οποίες ρυθμίζουν τις επιδράσεις υπό κανονικές συνθήκες και υπό συνθήκες ατυχήματος.

**Πίνακας 5.4:** Συναφείς πράξεις της ΕΕ για την προστασία του περιβάλλοντος

	Πράξη	Τίτλος
7.	2010/75/ΕΕ	Οδηγία περί βιομηχανικών εκπομπών (ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης) <b>Οδηγία IPPC</b>
8.	2008/1/ΕΚ	Οδηγία σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης
-	Απόφαση 2000/479/ΕΚ	Απόφαση περί υιοθέτησης ενός ευρωπαϊκού μητρώου ρυπογόνων εκπομπών (EPR) σύμφωνα με το άρθρο 15 της οδηγίας 96/61/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (IPPC) Παράρτημα Α1: Πίνακας ρύπων που αναφέρονται εφόσον υπάρχει υπέρβαση των οριακών τιμών
9.	1985/337/ΕΟΚ	Οδηγία για τη εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων <b>Οδηγία ΕΠΕ</b>
10.	2003/35/ΕΚ	Οδηγία σχετικά με την συμμετοχή του κοινού στην κατάρτιση ορισμένων σχεδίων και προγραμμάτων που αφορούν το περιβάλλον και με την τροποποίηση όσον αφορά τη συμμετοχή του κοινού και την πρόσβαση στη δικαιοσύνη, των οδηγιών 85/337/ΕΟΚ και 96/61/ΕΚ του Συμβουλίου
11.	2001/42/ΕΚ	Οδηγία σχετικά με την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ορισμένων σχεδίων και προγραμμάτων <b>Στρατηγική περιβαλλοντική εκτίμηση (ΣΠΕ)</b>
12.	2004/35/ΕΚ	Οδηγία σχετικά με τη περιβαλλοντική ευθύνη όσον αφορά την πρόληψη και την αποκατάσταση περιβαλλοντικής ζημίας
13.	1992/43/ΕΟΚ	Οδηγία για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας <b>Natura 2000</b>
14.	1979/409/ΕΟΚ	Οδηγία περί της διατήρησης των άγριων πτηνών
15.	1996/62/ΕΚ	Οδηγία για την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος

Η υδραυλική ρωγμάτωση συνοδεύεται πάντοτε από τη χρήση βαρέων μηχανημάτων και επικίνδυνων χημικών ουσιών. Οι πολίτες πρέπει να προστατεύονται, το ίδιο και οι εργαζόμενοι που χειρίζονται τα εν λόγω υλικά και μηχανήματα σε καθημερινή βάση. Υπάρχουν συνολικές οδηγίες της ΕΕ σχετικά με την ασφάλεια στην εργασία. Στον πίνακα 4.4 παρέχεται κατάλογος των εννέα συναφών οδηγιών οι οποίες προστατεύουν τους εργαζομένους, ιδίως στην εξορυκτική βιομηχανία που χρησιμοποιεί επικίνδυνες χημικές ουσίες.

**Πίνακας 5.5:** Συναφείς πράξεις της ΕΕ για την προστασία της υγείας των εργαζομένων

	Οδηγία	Τίτλος
16.	1989/391/ΕΟΚ	Οδηγία σχετικά με την εφαρμογή μέτρων για την προώθηση της βελτίωσης της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων κατά την εργασία
17.	1992/91/ΕΟΚ	Οδηγία περί των ελαχίστων προδιαγραφών για τη βελτίωση της προστασίας, της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων στις εξορυκτικές δια γεωτρήσεων βιομηχανίες
18.	1992/104/ΕΟΚ	Οδηγία περί των ελαχίστων προδιαγραφών για τη βελτίωση της προστασίας της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων στις υπαίθριες ή υπόγειες εξορυκτικές βιομηχανίες
19.	2004/37/ΕΚ	Οδηγία σχετικά με την προστασία των εργαζομένων από τους κινδύνους που συνδέονται με την έκθεση σε καρκινογόνους ή μεταλλαξιογόνους παράγοντες κατά την εργασία
20.	1991/322/ΕΟΚ	Οδηγία περί καθορισμού ενδεικτικών οριακών τιμών μέσω της εφαρμογής της οδηγίας 80/1107/ΕΟΚ του Συμβουλίου περί προστασίας των εργαζομένων από τους κινδύνους που παρουσιάζονται συνέπεια εκθέσεως τους, κατά τη διάρκεια της εργασίας, σε χημικά, φυσικά ή βιολογικά μέσα
21.	1993/67/ΕΟΚ	Οδηγία για τον καθορισμό των αρχών εκτίμησης των κινδύνων που διατρέχει ο άνθρωπος και το περιβάλλον από τις ουσίες που γνωστοποιούνται σύμφωνα με την οδηγία 67/548/ΕΟΚ του Συμβουλίου
22.	1996/94/ΕΚ	Οδηγία για τη θέσπιση δεύτερου καταλόγου ενδεικτικών οριακών τιμών κατ' εφαρμογή της οδηγίας 80/1107/ΕΟΚ του Συμβουλίου περί προστασίας των εργαζομένων από τους κινδύνους που συνεπάγεται η έκθεσή τους σε χημικά, φυσικά ή βιολογικά μέσα κατά τη διάρκεια της εργασίας
23.	1980/1107/ΕΟΚ	Οδηγία του Συμβουλίου της 27ης Νοεμβρίου 1980 περί προστασίας των εργαζομένων από τους κινδύνους που παρουσιάζονται συνέπεια εκθέσεως τους, κατά τη διάρκεια της εργασίας, σε χημικά, φυσικά ή βιολογικά μέσα
24.	2003/10/ΕΚ	Οδηγία περί των ελαχίστων προδιαγραφών υγείας και ασφαλείας για την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (θόρυβος)

Οι περισσότεροι σχηματισμοί πετρωμάτων περιέχουν ραδιενεργές ουσίες (N.O.R.M.). Στις περισσότερες περιπτώσεις, το φυσικό αέριο περιέχει ραδιενεργό ραδόνιο το οποίο είναι προϊόν αποσύνθεσης του ουρανίου. Υπάρχει μια οδηγία Ευρατόμ η οποία επικεντρώνεται ειδικά στους κανόνες ασφαλείας σε σχέση με τις N.O.R.M. :



**Πίνακας 5.6:** Συναφής οδηγία για την προστασία της ακτινοβολίας

25.	1996/29/Ευρατόμ	Οδηγία για τον καθορισμό των βασικών κανόνων ασφαλείας για την προστασία της υγείας των εργαζομένων και του πληθυσμού από τους κινδύνους που προκύπτουν από ιονίζουσες ακτινοβολίες Οδηγία για τις <b>N.O.R.M.</b> (φυσικές ραδιενεργές ουσίες)
-----	-----------------	---

Όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 4.4.1 υπάρχει μια οδηγία για τα απόβλητα ειδικά προσαρμοσμένη στις εξορυκτικές βιομηχανίες. Αρκετές άλλες οδηγίες και ιδίως αρκετές αποφάσεις που καθορίζουν τις οριακές τιμές είναι συναφείς στην προκειμένη. Τέσσερις οδηγίες και τέσσερις αποφάσεις απαριθμούνται στον πίνακα 4.5.

**Πίνακας 5.7:** Συναφείς πράξεις της ΕΕ για τα απόβλητα

	Πράξη	Τίτλος
26.	2006/21/EK	Οδηγία σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων της εξορυκτικής βιομηχανίας και την τροποποίηση της οδηγίας 2004/35/EK <b>Οδηγία για τα απόβλητα της εξορυκτικής βιομηχανίας</b>
-	Απόφαση της Επιτροπής 2009/359/EK	Απόφαση για τη συμπλήρωση του ορισμού των αδρανών αποβλήτων κατ' εφαρμογή του άρθρου 22, παράγραφος 1, στοιχείο στ, της οδηγίας 2006/21/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων της εξορυκτικής βιομηχανίας
27.	2006/12/EK	Οδηγία περί των στερεών αποβλήτων <b>Οδηγία - πλαίσιο για τα απόβλητα</b>
28.	1999/31/EK	Οδηγία περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων
-	Απόφαση της Επιτροπής 2009/532/EK	Απόφαση για την κατάρτιση καταλόγου επικίνδυνων αποβλήτων κατ' εφαρμογή διαφόρων οδηγιών (η οποία αντικατέστησε την απόφαση 94/3/EK)
-	Απόφαση της Επιτροπής 2009/360/EK	Απόφαση για τη συμπλήρωση των τεχνικών απαιτήσεων όσον αφορά τον χαρακτηρισμό των αποβλήτων, τις οποίες ορίζει η οδηγία 2006/21/EK σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων της εξορυκτικής βιομηχανίας
-	Απόφαση της Επιτροπής 2009/337/EK	Απόφαση σχετικά με τον καθορισμό των κριτηρίων ταξινόμησης των εγκαταστάσεων διαχείρισης αποβλήτων σύμφωνα με το παράρτημα ΙΙΙ της οδηγίας 2006/21/EK σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων από εξορυκτικές βιομηχανίες
29.	Απόφαση 2002/1600/EK	Απόφαση για τη θέσπιση του έκτου κοινοτικού προγράμματος δράσης για το περιβάλλον το οποίο αφορά την ανάπτυξη περαιτέρω μέτρων πρόληψης μεγάλων κινδύνων ατυχήματος, με ιδιαίτερη προσοχή στους προερχόμενους από αγωγούς, τις εξορυκτικές δραστηριότητες, τις θαλάσσιες μεταφορές επικίνδυνων ουσιών, καθώς και την ανάπτυξη μέτρων για τα εξορυκτικά απόβλητα

Τον Απρίλιο του 2011 δημοσιεύθηκε η πρώτη συνολική μελέτη σχετικά με τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στην υδραυλική ρωγμάτωση (Chemicals used in hydraulic fracturing) στις ΗΠΑ. Ένα από τα συμπεράσματα αφορά την ποσότητα και την ποιότητα των χρησιμοποιούμενων χημικών ουσιών καθώς, στο διάστημα από το 2005 έως το 2009, οι 14 εταιρείες υπηρεσιών στον τομέα του πετρελαίου και του αερίου χρησιμοποίησαν περισσότερα από 2.500 προϊόντα υδραυλικής ρωγμάτωσης τα οποία περιείχαν 750 χημικές ουσίες και άλλα συστατικά. Σε αυτές τις 750 χημικές ουσίες περιλαμβάνονταν διάφοροι επικίνδυνοι ατμοσφαιρικοί ρύποι και καρκινογόνες για τον άνθρωπο ουσίες, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλες ποσότητες. Στον πίνακα 4.5 απαριθμούνται οι οκτώ πιο συναφείς πράξεις της ΕΕ σχετικά με τη χρήση χημικών ουσιών, συμπεριλαμβανομένης νομοθεσίας για την πρόληψη των ατυχημάτων.

**Πίνακας 5.8:** Συναφείς πράξεις της ΕΕ για τις χημικές ουσίες και τα σχετικά με αυτές ατυχήματα

	Πράξη	Τίτλος
30.	2006/21/EK	Οδηγία σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων της εξορυκτικής βιομηχανίας και την τροποποίηση της οδηγίας 2004/35/EK <b>Οδηγία για τα απόβλητα της εξορυκτικής βιομηχανίας</b>
-	Απόφαση της Επιτροπής 2009/359/EK	Απόφαση για τη συμπλήρωση του ορισμού των αδρανών αποβλήτων κατ' εφαρμογή του άρθρου 22, παράγραφος 1, στοιχείο στ, της οδηγίας 2006/21/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων της εξορυκτικής βιομηχανίας
31.	2006/12/EK	Οδηγία περί των στερεών αποβλήτων <b>Οδηγία - πλαίσιο για τα απόβλητα</b>
32.	1999/31/EK	Οδηγία περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων
33.	Απόφαση της Επιτροπής 2009/532/EK	Απόφαση για την κατάρτιση καταλόγου επικίνδυνων αποβλήτων κατ' εφαρμογή διαφόρων οδηγιών (η οποία αντικατέστησε την απόφαση 94/3/EK) Οι σημαντικότερες επεκτάσεις του πεδίου εφαρμογής της εν λόγω οδηγίας πρόκειται να καλύπτουν τους κινδύνους οι οποίοι προκύπτουν από δραστηριότητες αποθήκευσης και επεξεργασίας στην εξορυκτική βιομηχανία, από πυροτεχνικές και εκρηκτικές ουσίες και από την αποθήκευση νιτρικού αμμωνίου και λιπασμάτων βασισμένων σε νιτρικό αμμώνιο
34.	Απόφαση της Επιτροπής 2009/360/EK	Απόφαση για τη συμπλήρωση των τεχνικών απαιτήσεων όσον αφορά τον χαρακτηρισμό των αποβλήτων, τις οποίες ορίζει η οδηγία 2006/21/EK σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων της εξορυκτικής βιομηχανίας
35.	Απόφαση της Επιτροπής 2009/337/EK	Απόφαση σχετικά με τον καθορισμό των κριτηρίων ταξινόμησης των εγκαταστάσεων διαχείρισης αποβλήτων σύμφωνα με το παράρτημα ΙΙΙ της οδηγίας 2006/21/EK σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων από εξορυκτικές βιομηχανίες
36.	Απόφαση 2002/1600/EK	Απόφαση για τη θέσπιση του έκτου κοινοτικού προγράμματος δράσης για το περιβάλλον το οποίο αφορά την ανάπτυξη περαιτέρω μέτρων πρόληψης μεγάλων κινδύνων ατυχήματος, με ιδιαίτερη προσοχή στους προερχόμενους από αγωγούς, τις

	εξορυκτικές δραστηριότητες, τις θαλάσσιες μεταφορές επικίνδυνων ουσιών, καθώς και την ανάπτυξη μέτρων για τα εξορυκτικά απόβλητα
--	--

### **5.3 Κενά και ανοικτά ζητήματα**

Το πλήθος των νομικών πτυχών που επηρεάζουν τα εξορυκτικά έργα δείχνει ήδη ότι η ισχύουσα νομοθεσία δεν ενδείκνυται κατ' ανάγκη για τις συγκεκριμένες απαιτήσεις των εξορυκτικών βιομηχανιών. Ιδίως η εξερεύνηση και η εκμετάλλευση σχιστολιθικού αερίου δημιουργεί νέες προκλήσεις.

- **Κενό 1 - Επενδυτική ασφάλεια για τις εξορυκτικές βιομηχανίες**

Οι εξορυκτικές βιομηχανίες αντιμετωπίζουν προβλήματα λόγω ανεπαρκούς νομοθεσίας, όπως ανέφερε ο Tomas Chmal, εταίρος της White&Case, στο συνέδριο με τίτλο <<Σχιστολιθικό αέριο, ανατολική Ευρώπη 2011>> που πραγματοποιήθηκε στη Βαρσοβία της Πολωνίας. Οι εθνικές νομοθεσίες βασίζονται συχνά σε παρωχημένες ανάγκες και δεν υπάρχει ευρωπαϊκή οδηγία - πλαίσιο για την εξορυκτική βιομηχανία. Έτσι πρέπει να αξιολογηθεί η αναγκαιότητα και το ενδεχόμενο πεδίο εφαρμογής μια οδηγίας - πλαισίου για την εξορυκτική βιομηχανία.

- **Κενό 2 - Προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας**

Η οδηγία 97/11/ΕΚ για την τροποποίηση της οδηγίας ΕΠΕ καθορίζει, στο παράρτημα I, κατώτατο όριο 500.000 m<sup>3</sup> ημερήσιας άντλησης φυσικού αερίου από φρέατα, πέραν του οποίου είναι υποχρεωτική η διενέργεια εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων [EIA cod]. Η εκμετάλλευση σχιστολιθικού αερίου απέχει μακράν του κατώτατου αυτού ορίου και επομένως δεν διενεργούνται ΕΠΕ. Καθώς η οδηγία ΕΠΕ τελεί υπό εξέταση για αναθεώρηση, τα έργα που περιλαμβάνουν υδραυλική ρωγμάτωση πρέπει να προστεθούν στο παράρτημα I ανεξαρτήτως κατώτατου ορίου παραγωγής ή η τιμή του κατώτατου ορίου πρέπει να μειωθεί.

- **Κενό 3 - Δήλωση επικίνδυνων υλικών**

Μια πρώτη αμερικανική μελέτη παρέχει σχεδόν συνολικό κατάλογο των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται στην υδραυλική ρωγμάτωση. Οι εμπειρίες από τις ΗΠΑ δείχνουν ότι οι εξορυκτικές εταιρείες δεν γνωρίζουν κατ' ανάγκη ποιες χημικές ουσίες χρησιμοποιούν πραγματικά. Η χημική βιομηχανία παρέχει διάφορα πρόσθετα, αλλά δεν δηλώνει σε όλες τις περιπτώσεις επαρκώς τα συστατικά στοιχεία, επικαλούμενη το εμπορικό απόρρητο. Η ισχύουσα νομοθεσία σχετικά με την υποχρέωση δήλωσης και τις σχετικές επιτρεπόμενες οριακές τιμές για τις χημικές ουσίες της ρωγμάτωσης πρέπει να αξιολογηθεί συναφώς. Το θέμα αυτό αφορά τις ακόλουθες τρεις πράξεις:

- **REACH:** Το 2012, η Επιτροπή διενέργησε την αξιολόγηση του κανονισμού REACH, πράγμα που της παρείχε την ευκαιρία να προσαρμόσει την ισχύουσα νομοθεσία.
- **Ποιότητα υδάτων:** Οι ίδιες πτυχές παρουσιάζουν ενδιαφέρον για την οδηγία 98/83/ΕΚ σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.
- Η οδηγία Seveso II τελεί επί του παρόντος υπό αναθεώρηση. Πρέπει να εξετασθεί το ενδεχόμενο αναθεώρησης της οδηγίας εν όψει των συγκεκριμένων νέων κινδύνων που σχετίζονται με την υδραυλική ρωγμάτωση και να απαιτηθεί η αναλυτική δήλωση των ουσιών που ενδέχεται να σχετίζονται με τα ατυχήματα.

- **Κενό 4 - Έγκριση χημικών ουσιών οι οποίες παραμένουν στο έδαφος**

Όταν ολοκληρωθεί η υδραυλική ρωγμάτωση, παραμένει στο έδαφος ένα μείγμα επικίνδυνων υλικών. Οι χημικές αυτές ουσίες κατανέμονται στον χρόνο και στον χώρο με τρόπο ανεξέλεγκτο και απρόβλεπτο. Η εισαγωγή χημικών ουσιών οι οποίες θα παραμείνουν εν μέρει στο έδαφος πρέπει να υπόκειται σε έγκριση για την οποία να λαμβάνονται υπόψη οι ενδεχόμενες μακροπρόθεσμες επιπτώσεις.

- **Κενό 5 - Δεν υπάρχει ακόμη ΑΒΔΤ (αναφορά για τη βέλτιστη διαθέσιμη τεχνική) για την υδραυλική ρωγμάτωση**

Το ευρωπαϊκό γραφείο της Επιτροπής IPPC δημοσιεύει έγγραφα αναφοράς για τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές (ΒΔΤ). Κάθε έγγραφο περιέχει πληροφορίες για έναν συγκεκριμένο βιομηχανικό/γεωργικό κλάδο στην ΕΕ, τις τεχνικές και τις διεργασίες που χρησιμοποιούνται στον εν λόγω κλάδο, τα τρέχοντα επίπεδα εκπομπών και κατανάλωσης, τις τεχνικές που πρέπει να εξετασθούν για τον καθορισμό της ΒΔΤ, τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές ΒΔΤ και τις αναδυόμενες τεχνικές. Οι νομοθετικές αρχές σε εθνικό και διεθνές επίπεδο μπορούν να παραπέμπουν σε αυτές και να τις ενσωματώνουν σε νόμους και διατάξεις. **Δεν υπάρχει ακόμη τέτοιο έγγραφο για την υδραυλική ρωγμάτωση.** Λόγω των κινδύνων που συνεπάγεται η υδραυλική ρωγμάτωση για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, πρέπει να εξετασθεί κατά πόσον θα καθορισθούν εναρμονισμένες απαιτήσεις για την πολύπλοκη αυτή διεργασία σε μια ΑΒΔΤ για την υδραυλική ρωγμάτωση.

- **Κενό 6 - Δυναμικότητα εγκαταστάσεων επεξεργασίας υδάτων**

Στις ΗΠΑ αναφέρθηκαν προβλήματα όσον αφορά τη δυναμικότητα επεξεργασίας υδάτων μονάδων επεξεργασίας λυμάτων που απέρριπταν ύδατα σε ποταμούς. Τον Οκτώβριο του 2008, το επίπεδο συνολικών στερεών εν διαλύσει στον ποταμό Monongahela ξεπέρασε τα πρότυπα της ποιότητας του ύδατος και ο όγκος των λυμάτων από γεώτρηση αερίου που μπορούσε να δέχεται μειώθηκε από 20% σε 1% της καθημερινής ροής. Προληπτικά, πρέπει να απαιτείται προηγούμενη εξέταση της δυναμικότητας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων.

- **Κενό 7 - Συμμετοχή του κοινού στη λήψη αποφάσεων σε περιφερειακό επίπεδο**

Βιομηχανικά έργα όπως η εκμετάλλευση σχιστολιθικού αερίου, με δυνητικά σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στους κατοίκους πρέπει να προϋποθέτουν δημόσια διαβούλευση στο πλαίσιο της διαδικασίας έγκρισης.

- **Κενό 8 - Υποχρεωτική ανάλυση κύκλου ζωής (ΑΚΖ)**

Οι αναλύσεις κύκλου ζωής προωθούνται ενεργά από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στον ιστότοπό της για τον κύκλο ζωής:

<<Κύριος στόχος της ανάλυσης βάσει του κύκλου ζωής είναι η αποφυγή της μετάθεσης του φορτίου. Αυτό σημαίνει ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων σε ένα στάδιο του κύκλου ζωής, ή σε μια γεωγραφική περιοχή ή σε μια ιδιαίτερη κατηγορία επιπτώσεων, με παράλληλη συμβολή στην αποφυγή των αυξήσεων αλλού.>>

Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για την υδραυλική ρωγμάτωση, στην οποία θα υπάρξουν έντονες επιπτώσεις σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές, εταξύ άλλων λόγω του αριθμού φρεάτων ανά km<sup>2</sup> και των απαιτούμενων υποδομών. Πρέπει να εξετασθεί το ενδεχόμενο να συμπεριληφθεί υποχρεωτική ανάλυση κόστους - οφέλους βάσει εκτενούς ΑΚΖ (συμπεριλαμβανομένων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και κατανάλωσης πόρων) για κάθε μεμονωμένο έργο, προκειμένου να καταδεικνύονται τα συνολικά οφέλη για την κοινωνία.

## 5.4Κύρια συμπεράσματα

Τα κύρια συμπεράσματα που προκύπτουν από το κανονιστικό πλαίσιο της νομοθεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναπτύσσονται παρακάτω.

### **ΚΥΡΙΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΤΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ ΤΗΣ ΕΕ**

- Δεν υπάρχει οδηγία (πλαίσιο) στην ΕΕ η οποία να ρυθμίζει τις εξορυκτικές δραστηριότητες.
- Δεν έχει αναπτυχθεί ακόμη δημόσια διαθέσιμη, συνολική κι λεπτομερής ανάλυση του ευρωπαϊκού κανονιστικού πλαισίου όσον αφορά την εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου
- Το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο της ΕΕ για την υδραυλική ρωγμάτωση περιέχει διάφορα κενά. Κυρίως, το κατώτατο όριο των εκτιμήσεων περιβαλλοντικών επιπτώσεων που πρέπει να διενεργούνται για δραστηριότητες υδραυλικής ρωγμάτωσης στην εξόρυξη φυσικού αερίου έχει ορισθεί πολύ υψηλότερα από κάθε δυνητική βιομηχανική δραστηριότητα του είδους αυτού και πρέπει επομένως να μειωθεί σημαντικά. Παράλληλα πρέπει να αξιολογηθεί εκ νέου το πεδίο εφαρμογής της οδηγίας - πλαισίου για τα ύδατα.
- Πρέπει να διερευνηθεί λεπτομερής και συνολική ανάλυση των απαιτήσεων δηλώσεων για τα επικίνδυνα υλικά που χρησιμοποιούνται στην υδραυλική ρωγμάτωση.
- Στο πλαίσιο ανάλυσης κύκλου ζωής (ΑΚΖ) μια διεξοδική ανάλυση κόστους - οφέλους μπορεί να είναι ένα εργαλείο για την αξιολόγηση των συνολικών οφελών για κάθε επιμέρους κράτος μέλος και για τους πολίτες του.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

### **6.1 Διανομή φυσικού αερίου**

Η ΔΕΠΑ ΑΕ (Δημόσια Επιχείρηση Αερίου), είναι η εταιρεία που εισήγαγε το φυσικό αέριο στην Ελλάδα. Κύρια αποστολή της ΔΕΠΑ ΑΕ σήμερα είναι:

- Η πώληση φυσικού αερίου σε μεγάλους, βιομηχανικούς κυρίως, καταναλωτές, με ετήσια κατανάλωση άνω των 100 GWh
- Η πώληση φυσικού αερίου σε Εταιρείες Παροχής Αερίου (ΕΠΑ)
- Η διανομή φυσικού αερίου σε περιοχές όπου δεν έχουν συσταθεί Εταιρείες Παροχής Αερίου
- Η πώληση φυσικού αερίου για την κίνηση οχημάτων

Στη ΔΕΠΑ ΑΕ συμμετέχει κατά 35% η εταιρεία Ελληνικά Πετρέλαια Α.Ε. και κατά 65% το Ελληνικό Δημόσιο.

Ο ΔΕΣΦΑ ΑΕ (Διαχειριστής Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου) ιδρύθηκε τον Απρίλιο του 2007, μετά την ολοκλήρωση του νομικού διαχωρισμού των δραστηριοτήτων μεταφοράς και εμπορίας της Δημόσιας Επιχείρησης Αερίου (ΔΕΠΑ) Α.Ε., σύμφωνα με το νόμο 3428/2005 για την απελευθέρωση της αγοράς φυσικού αερίου. Είναι κατά 100% θυγατρική της ΔΕΠΑ ΑΕ. Κύρια αποστολή του ΔΕΣΦΑ ΑΕ σήμερα είναι να:

- Λειτουργεί, συντηρεί, διαχειρίζεται και αναπτύσσει το Εθνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου και τις διασυνδέσεις του.

- Μελετά και εφαρμόζει, μετά την έγκριση των θεσμικών φορέων την τιμολογιακή πολιτική και τις διαδικασίες μεταφοράς φυσικού αερίου για τους χρήστες του Συστήματος, οι οποίοι αναλαμβάνουν τη διάθεσή του στους τελικούς καταναλωτές.

- Παρέχει πρόσβαση στο Εθνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου σε κάθε χρήστη, που θα θελήσει να αναπτύξει δραστηριότητα εμπορίας ή απευθείας προμήθεια φυσικού αερίου για ίδια χρήση.

Οι ΕΠΑ (Εταιρείες Παροχής Αερίου) έχουν ως αντικείμενο την επέκταση, λειτουργία και συντήρηση των «δικτύων πόλης», καθώς και τη διανομή αερίου στους οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές (με ετήσια κατανάλωση έως 100 GWh ΑΘΔ). Στις ΕΠΑ συμμετέχει κατά 51% η ΔΕΠΑ ΑΕ, μέσω της κατά 100% θυγατρικής της Εταιρείας Διανομής Αερίου (ΕΔΑ), και κατά 49% ιδιώτες επενδυτές, οι οποίοι ασκούν και τη διοίκηση των εταιρειών.

Οι Εταιρείες Παροχής Αερίου, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη διανομή αερίου στις περιοχές όπου δραστηριοποιούνται, είναι προς το παρόν τρεις και βρίσκονται στην Αττική, τη Θεσσαλονίκη και τη Θεσσαλία. Διαχειρίζονται τα δίκτυα μέσης και χαμηλής πίεσης, όπως, επίσης, και την επέκταση και συντήρηση του δικτύου για χρονικό διάστημα 30 ετών και κάθε μια είναι ο αποκλειστικός προμηθευτής φυσικού αερίου στην καθορισμένη περιοχή του.

Οι Εταιρείες Παροχής Αερίου (ΕΠΑ) καθορίζουν τα τιμολόγια φυσικού αερίου σύμφωνα με τις διατάξεις των Αδειών Διανομής που τους έχουν χορηγηθεί. Στο πλαίσιο αυτό, επιλέγουν την μεθοδολογία καθορισμού των τιμολογίων παροχής φυσικού αερίου ώστε αυτά να είναι διαφανή και ανακινώσιμα, ενώ παράλληλα, τα ετήσια έσοδα που προέρχονται από τα τιμολόγια παροχής φυσικού αερίου και από τη μεταφορά φυσικού αερίου μέσω του συστήματος διανομής για λογαριασμό της ΔΕΠΑ Α.Ε. να μην υπερβαίνουν ένα προκαθορισμένο στην Άδεια Διανομής όριο. Στο πλαίσιο αυτό, η ΡΑΕ έχει αρμοδιότητα εποπτείας και ελέγχου και όχι καθορισμού ή έγκρισης των τιμολογίων των εταιριών.

Εκτός από το κόστος αγοράς φυσικού αερίου από τη ΔΕΠΑ, το οποίο δεν είναι ίδιο για όλες τις ΕΠΑ, υπάρχει το σταθερό ετησίως περιθώριο διανομής (€ ανά KWh). Το άθροισμα των δύο δίνει την τελική τιμή για τους οικιακούς καταναλωτές, χωρίς τους φόρους (ΦΠΑ, ΕΦΚ, κλπ.). Η αλλαγή της τιμής κάθε μήνα οφείλεται στο διαφορετικό κόστος αγοράς από τη ΔΕΠΑ, που με τη σειρά του οφείλεται σε σειρά παραγόντων όπως τις διεθνείς τιμές πετρελαίου, την ισοτιμία ευρώ – δολαρίου, τον πληθωρισμό σε Ελλάδα και ΗΠΑ, κ.λ.π. Η τιμή του φυσικού αερίου έχει διαμορφωθεί στα 0,914/kg

Το φυσικό αέριο εισάγεται στη Ελλάδα από τη Ρωσία (Gazexport) μέσω αγωγών μεταφοράς με σημείο παραλαβής τα ελληνοβουλγαρικά σύνορα και σε ποσότητα 2,4 δις. m<sup>3</sup> ετησίως μέχρι το 2016.

Ακόμη εισάγεται από την Αλγερία, σε υγροποιημένη μορφή (LNG), με ειδικό δεξαμενόπλοιο στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης της Ρεβυθούσας. Η ελάχιστη ετήσια ποσότητα είναι 0,68 δις m<sup>3</sup>, με δυνατότητα μελλοντικής αύξησης.

## 6.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος φυσικού αερίου στην Ελλάδα

Το σύστημα του φυσικού αερίου έχει ως σκοπό την ασφαλή τροφοδοσία των μεγάλων καταναλωτικών κέντρων της χώρας και αποτελείται από:

- το δίκτυο μεταφοράς του φυσικού αερίου,
- τον τερματικό σταθμό αποθήκευσης του υγροποιημένου (LNG) αλγερινού φυσικού αερίου στην Ρεβυθούσα. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο επαναεριοποιείται και τροφοδοτεί το δίκτυο μεταφοράς
- το σύστημα διανομής του φυσικού αερίου στους καταναλωτές.

### ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Στο δίκτυο μεταφοράς του φυσικού αερίου περιλαμβάνονται:

- Κεντρικός αγωγός μεταφοράς αερίου υψηλής πίεσης (70 bar) από τα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα μέχρι την Αττική, συνολικού μήκους 512 km. Η διάμετρος του αγωγού είναι 36'' για τα πρώτα 100 χλμ. και 30'' για τα υπόλοιπα.
- Κλάδοι μεταφοράς υψηλής πίεσης προς την ανατολική Μακεδονία και Θράκη, τη Θεσσαλονίκη, το Βόλο και την Αττική, συνολικού μήκους 440 km.
- Μετρητικοί και ρυθμιστικοί σταθμοί για τη μέτρηση της παροχής αερίου και τη ρύθμιση της πίεσης
- Σύστημα τηλεχειρισμού, ελέγχου λειτουργίας και τηλεπικοινωνιών
- Κέντρα λειτουργίας και συντήρησης, στην Αττική, τη Θεσσαλονίκη και τη Θεσσαλία
- Συνοριακός Σταθμός Εισόδου (Border Station)

### ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΡΕΒΥΘΟΥΣΑΣ

Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου στην Ρεβυθούσα περιλαμβάνουν:

- Δύο δεξαμενές αποθήκευσης συνολικής χωρητικότητας 130.000 m<sup>3</sup> (65.000 m<sup>3</sup> έκαστη)
- Εγκαταστάσεις ελλιμενισμού δεξαμενόπλοιων
- Κρυογενικές εγκαταστάσεις
- Αεριοποιητές, για την επαναεριοποίηση του LNG και την τροφοδοσία του συστήματος μεταφοράς
- Δύο αγωγούς διασύνδεσης της Ρεβυθούσας με το σύστημα μεταφοράς.
- Ναυλωμένο δεξαμενόπλοιο χωρητικότητας 29,500 m<sup>3</sup> Υ.Φ.Α.

## ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Το σύστημα διανομής αποτελείται από:

- δίκτυα μέσης πίεσης (19 bar) στην Αττική, Θεσσαλονίκη, Θεσσαλία και στις βιομηχανικές περιοχές Οινόφυτων, Πλατέος Ημαθίας, Ξάνθης, Καβάλας και ΒΙΠΕ Κομοτηνής
- δίκτυα χαμηλής πίεσης (4 bar) σε Αττική, Θεσσαλονίκη και Θεσσαλία, προβλεπόμενου μήκους 6.500 km.
- υπάρχον δίκτυο διανομής στην Αθήνα. Η ΔΕΠΑ, στο πλαίσιο του κατασκευαστικού της έργου, ολοκλήρωσε στην ευρύτερη περιοχή της πρωτεύουσας 860 χιλιόμετρα δικτύου διανομής τα οποία προσετέθησαν στα υφιστάμενα 550 χιλιόμετρα δικτύου που ανήκαν στην Δημοτική Επιχείρηση Φωταερίου Αθηνών και ήδη τροφοδοτεί περίπου 8.000 εμπορικούς, οικιακούς και βιομηχανικούς καταναλωτές με φυσικό αέριο.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ**

### **7.1 Σχιστολιθικό αέριο και προοπτικές ανάπτυξης**

Η εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου είναι μία μέθοδος που ακόμα στη χώρα μας δε χρησιμοποιείται αν και απ'ότι φαίνεται όχι για πολύ σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία . Συγκεκριμένα ο κ. Σαμαράς χαρακτήρισε τη μέχρι στιγμής εικόνα που υπάρχει ως «αφετηρία καλών ειδήσεων για το μέλλον» και ανέφερε ότι υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι σε διάστημα 25 – 30 ετών το Δημόσιο μπορεί να αποκομίσει φορολογικά έσοδα ύψους 150 δισ. ευρώ. Αναλύοντας την στρατηγική της χώρας για το κομμάτι των υδρογονανθράκων ο πρωθυπουργός τόνισε ότι η Ελλάδα μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο τόσο στο κομμάτι της παραγωγής των υδρογονανθράκων τόσο και γεωπολιτικά στο κομμάτι της μεταφοράς και να γίνει ένας ενεργειακός κόμβος. Ο πρωθυπουργός τόνισε ότι ειδικά για την περιοχή του Ιονίου και της Δυτικής Ελλάδας τα δεδομένα είναι πιο προχωρημένα, ενώ η επεξεργασία των στοιχείων για την περιοχή Νοτίου της Κρήτης συνεχίζεται.

Φαίνεται επομένως πώς σε μία τέτοια περίοδο που αντιμετωπίζει η χώρα μας το σχιστολιθικό αέριο θα μπορούσε να ήταν κομμάτι της λύσης. Το καλύτερο παράδειγμα όμως , για να αντιληφθούμε τις επιπτώσεις που μπορεί να υπάρχουν είναι ένα κράτος που ήδη χρησιμοποιεί και έχει βελτιστοποιήσει τη μέθοδο, της εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου.



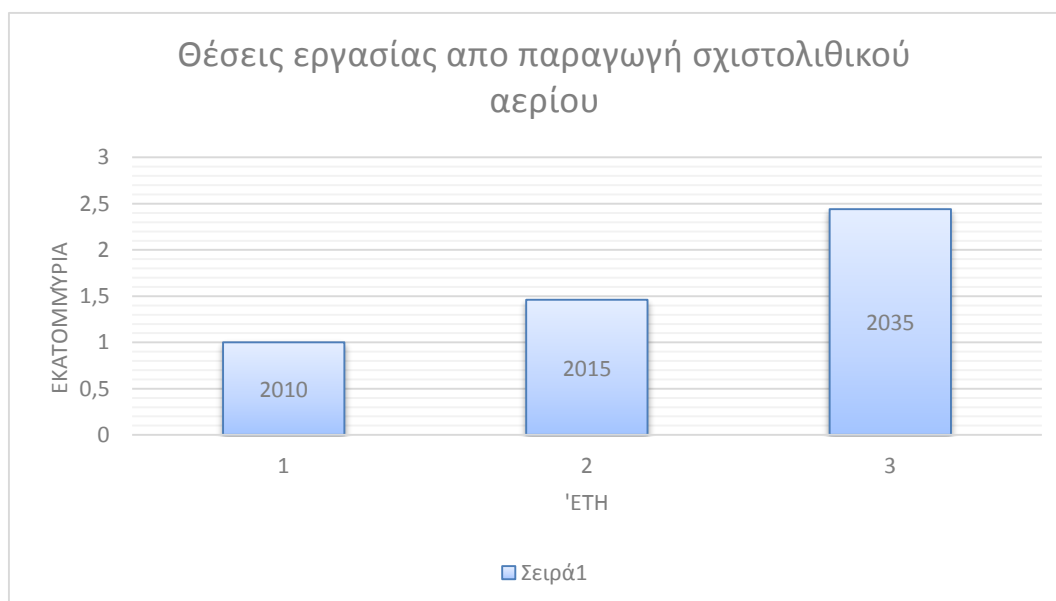
## 7.2 Αντίκτυπο εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου στην Αμερική

Στην Αμερική, η υδραυλική ρωγμάτωση καθιστά δυνατή την παραγωγή φυσικού αερίου σε περιοχές όπου οι συμβατικές τεχνολογίες είναι αναποτελεσματικές. Με τη χρήση της έχουν ξεκλειδωθεί νέες μαζικές προμήθειες πετρελαίου και καθαρή καύση φυσικού αερίου από πυκνά κοιτάσματα σχιστόλιθου - προμήθειες που αυξάνουν την ενεργειακή ασφάλεια της χώρας μας και να βελτιώσουμε την ικανότητά μας να παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια, θέρμανση των σπιτιών και των μηχανοκίνητων οχημάτων για τις επόμενες γενιές. Η υδραυλική ρωγμάτωση επίσης ενίσχυσε τις τοπικές οικονομίες, δίνοντας δικαιώματα στους ιδιοκτήτες ακινήτων, παρέχοντας φορολογικά έσοδα για την κυβέρνηση και τη δημιουργία υψηλά αμειβόμενων θέσεων εργασίας των Αμερικανών. Αυτή του μηχανικού και υπεύθυνου έργου, την κατασκευή, τη φιλοξενία, την κατασκευή εξοπλισμού και περιβαλλοντική αδειοδότηση, αυτά είναι μερικά μόνο από τα επαγγέλματα που βιώνουν τις θετικές παράπλευρες συνέπειες της ανάπτυξης του σχιστολιθικού φυσικού αερίου.

Έχοντας πλούσια, καθαρή καύση, εγχώρια, οι αξιόπιστες προμήθειες φυσικού αερίου υπόσχονται πιο προσιτή ενέργεια και πιο σταθερές τιμές. Καθαρή καύση σχιστολιθικού φυσικού αερίου είναι ζωτικής σημασίας για τις αμερικάνικες εργασίες κατασκευής, στους αγρότες για τη χρήση λιπασμάτων, προς τα νοικοκυριά για θέρμανση και το μαγείρεμα, στις επιχειρήσεις για την ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα για τις ανάγκες μεταφοράς, και την κοινωνία για να βοηθήσει τις ανησυχίες αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος, λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, του περιεχόμενου. Αυτό σημαίνει ενεργοβόρες μεταποιητικές επιχειρήσεις, οι οποίες είχαν τη μετακίνηση στο εξωτερικό για φθηνότερη ενέργεια, μπορούν να μείνουν στο σπίτι υπόσχεται περισσότερες θέσεις εργασίας, τα υψηλότερα εισοδήματα και καλύτερο ενεργειακό μέλλον για όλους τους Αμερικανούς.

Σύμφωνα με μετρήσεις ήδη η βιομηχανία της εξόρυξης αερίου μαζί με το πετρέλαιο στηρίζει 9.000.000 θέσεις εργασίας και σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς, που έχουν τεθεί σε ισχύ μέσα στα επόμενα 10 χρόνια θα έχουν στηρίξει άλλος 1.000.000 θέσεις. Στο σχήμα 1 φαίνεται καθαρά το αντίκτυπο που είχε στις θέσεις εργασίας η εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου στην Αμερική καθώς και οι εκτιμώμενες θέσεις που θα δημιουργηθούν στο μέλλον.

**Σχήμα 7.1: Θέσεις εργασίας**



### 7.3 Συμπεράσματα

Για την εξορυξη σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη έχουν θεσπιστεί πιο αυστηροί νόμοι από εκείνους της Αμερικής και γι' αυτό το λόγο είναι πιο αργή η ανάπτυξη αυτού του τρόπου εξόρυξης. Ωστόσο τα κράτη μέλη είναι αρμόδια για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με το ενεργειακό τους μείγμα λαμβάνοντας, ωστόσο, δεόντως υπόψη την ανάγκη διαφύλαξης και βελτίωσης της ποιότητας του περιβάλλοντος. Κατά συνέπεια, εναπόκειται στα κράτη μέλη να αποφασίσουν εάν θα προβούν στην εξερεύνηση ή την παραγωγή φυσικού αερίου από σχιστολιθικούς σχηματισμούς ή άλλες μη συμβατικές πηγές υδρογονανθράκων. Ωστόσο, τα κράτη μέλη που θα επιλέξουν να προβούν σε τέτοιες δραστηριότητες θα πρέπει να διασφαλίσουν ότι συντρέχουν οι σωστοί όροι για το σκοπό αυτό. Στο πλαίσιο των όρων αυτών και προκειμένου να αντιμετωπίσουν τις ανησυχίες των πολιτών, θα χρειαστεί να λάβουν μέτρα για την αποτροπή, τη διαχείριση και τη μείωση των κινδύνων που συνδέονται με τις δραστηριότητες αυτές.

Με βάση την υπάρχουσα νομοθεσία και τις ήδη διαθέσιμες και τις περαιτέρω βελτιούμενες πρακτικές και τεχνολογίες, τα κράτη μέλη που προβαίνουν ήδη ή σχεδιάζουν να προβούν στην εξερεύνηση και παραγωγή μη συμβατικών υδρογονανθράκων, όπως το σχιστολιθικό φυσικό αέριο, να υλοποιούν και να εφαρμόζουν την ισχύουσα νομοθεσία και, κάνοντάς το αυτό ή ενώ προσαρμόζουν την νομοθεσία τους στις ανάγκες και ιδιαιτερότητες των πηγών μη συμβατικών υδρογονανθράκων, να ακολουθούν τη συνοδευτική σύσταση προκειμένου να διασφαλίζουν ότι συντρέχουν οι όροι για την ασφαλή εκμετάλλευση των εν λόγω πόρων, λαμβάνοντας επίσης υπόψη τις πιθανές επιπτώσεις σε γειτονικές χώρες.

Τέλος, πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι ο μακροπρόθεσμος στόχος της ΕΕ είναι να διασφαλίσει ότι η οικονομία της θα χαρακτηρίζεται από υψηλή αποδοτικότητα πόρων και χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Βραχυπρόθεσμα έως μεσοπρόθεσμα, το φυσικό αέριο και η διαθεσιμότητα νέων πηγών εγχώριων ορυκτών καυσίμων, όπως το φυσικό αέριο από σχιστολιθικούς σχηματισμούς, μπορούν να συμβάλουν στον μετασχηματισμό του ενεργειακού τομέα, υπό την προϋπόθεση ότι θα λειτουργήσουν ως υποκατάστατα ορυκτών καυσίμων με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άνθρακα. Σε κάθε περίπτωση, ο μακροπρόθεσμος στόχος της δημιουργίας ενός ενεργειακού συστήματος χωρίς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα απαιτεί συνεχή βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, εξοικονόμηση ενέργειας και ευρύτερη υιοθέτηση των τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, ιδίως δε των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- <http://insideclimatenews.org/news/20111104/gasfrac-propane-natural-gas-drilling-hydraulic-fracturing-fracking-drinking-water-marcellus-shale-new-york>
- Πολιτική στο τομέα της οικονομίας και της επιστήμης (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο)
- <http://fracfocus.org/hydraulic-fracturing-how-it-works/hydraulic-fracturing-process>
- <http://news.nationalgeographic.com/news/energy/2014/03/140319-5-technologies-for-greener-fracking/>
- Τεχνολογία Πετρελαίου και Φυσικού Αέριου Κοιτάσματα Υδρογονανθράκων

### **Δ. Καρώνης, Λέκτορας ΕΜΠ**

- **Process of Fracking**
- <http://www.energyfromshale.org/hydraulic-fracturing>
- **Horizontal Drilling – Technology Review, Current Applications, and It's Future in Developing Kansas' Petroleum Resources**

### **W. Lynn Watney Kansas Geological Survey**

- <http://elliniki-aoz.blogspot.gr/2012/08/nikos-lygeros-methodologia-eksorykshs-koitasmaw.html>
- <http://www.kozani.net/tei/geotriseis/t1.pdf>
- <http://www.terrasciencemagazine.gr/ydrauliki-diegersi-fracking/>
- [http://www.metal.ntua.gr/uploads/2552/simioseis\\_min\\_explol.pdf](http://www.metal.ntua.gr/uploads/2552/simioseis_min_explol.pdf)
- **MINERAL COMPOSITION OF THE AVERAGE SHALE**

### **By D. H. YAAON Department of Geology, The Hebrew University, Jerusalem**

- **ΦΥΣΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ: ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΑΡΜΑΡΟ**
- <http://geology.com/rocks/shale.shtml>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Shale\\_gas](http://en.wikipedia.org/wiki/Shale_gas)
- **Η επανάσταση με τις πέτρες: Σχιστολιθικά πετρώματα και υδρογονάνθρακες**

### **του Σταύρου Πετρολέκα\***

- **Google.gr**
- **Wikipedia.com**
- [http://www.rae.gr/site/categories\\_new/consumers/faq/gas.csp](http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/faq/gas.csp)
- <http://www.rae.gr/old/SUB3/3B/3b22.htm>
- **ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**
- <http://www.rae.gr/old/SUB3/3B/3b2.htm>