



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

Μη συμβατικά καύσιμα
Σχιστολιθικό Αέριο – Δυνατότητες
και Προοπτικές αξιοποίησης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Στυλιανού Ν. Αντρέα

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Σοφία Σταματάκη, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

Μη συμβατικά καύσιμα
Σχιστολιθικό Αέριο – Δυνατότητες
και Προοπτικές αξιοποίησης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Στυλιανού Ν. Αντρέα

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Σοφία Σταματάκη, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή στις/...../2014

.....
Σοφία Σταματάκη
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Αποστολόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ανδρέας Μπενάρδος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παραγόμενο από σχιστολιθικούς σχηματισμούς φυσικό αέριο, το οποίο στις πλείστες των περιπτώσεων αναφέρεται ως «σχιστολιθικό αέριο», έχει κινήσει το ενδιαφέρον και άλλων χωρών πλην των ΗΠΑ. Μέχρι πρόσφατα τα σχιστολιθικά πετρώματα αντιμετωπίζονταν μόνο ως δυνητικά μητρικά πετρώματα ή/και ως πετρώματα καλύμματα (seal/cap rock) για τους συμβατικούς ταμιευτήρες υδρογονανθράκων, παρά το γεγονός ότι υπήρξε ήδη παραγωγή αερίου από αυτά, έστω και σε πολύ μικρές ποσότητες στις ΗΠΑ, από τη δεκαετία του 1820.

Η εξάντληση των συμβατικών αποθεμάτων υδρογονανθράκων, καθώς και η αξιοποίηση των σχιστολιθικών σχηματισμών που φέρουν αέριο στις Ηνωμένες Πολιτείες, έχουν οδηγήσει στη διαπίστωση ότι τα σχιστολιθικά πετρώματα, όπως επίσης και άλλα λεπτόκοκκα πετρώματα, μπορούν δράσουν και ως δυνητικοί, μη συμβατικοί ταμιευτήρες υδρογονανθράκων.

Ωστόσο η παραγωγή φυσικού αερίου από σχιστολιθικούς σχηματισμούς θεωρείτο μη οικονομικά εφικτή, εξαιτίας των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν τα συγκεκριμένα πετρώματα. Στη συνέχεια όμως το σκηνικό άλλαξε άρδην, με την εφαρμογή και την περαιτέρω τελειοποίηση των μεθόδων των οριζοντίων γεωτρήσεων και της υδραυλικής ρωγμάτωσης, καθώς ήταν αυτές που ανέδειξαν την οικονομική αξία και το δυναμικό παραγωγής του σχιστολιθικού αερίου.

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Μη συμβατικά καύσιμα (Σχιστολιθικό αέριο) – Δυνατότητες και Προοπτικές αξιοποίησης» εκπονήθηκε με τη συνδρομή του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και δομείται ως ακολούθως:

Στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται ένας διαχωρισμός μεταξύ των εννοιών των συμβατικών και μη συμβατικών πηγών υδρογονανθράκων και αποτυπώνεται η σημερινή τους κατάσταση.

Στο **Κεφάλαιο 2** αναλύονται τα χαρακτηριστικά του σχιστολιθικού αερίου, όπως επίσης και του σχηματισμού που το φιλοξενεί και γίνεται αναφορά στις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη γένεση του.

Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται η εικόνα του σχιστολιθικού αερίου διεθνώς και γίνεται μια προσπάθεια αποτύπωσης των αποθεμάτων του ανά την υφήλιο.

Στο **Κεφάλαιο 4** αναπτύσσονται οι τεχνικές εντοπισμού – αξιολόγησης, όσο και παραγωγής, του σχιστολιθικού αερίου.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζονται τα ισχύοντα κανονιστικά και περιβαλλοντικά πλαίσια, αλλά και οι κίνδυνοι, καθώς και οι επιπτώσεις τους, που σχετίζονται με την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου.

Στο **Κεφάλαιο 6** γίνεται μια προσπάθεια αποτύπωσης της παρούσας κατάστασης στην αγορά του φυσικού αερίου και πως αυτή διαμορφώνεται με την συμβολή του σχιστολιθικού αερίου και τέλος,

Στο **τελευταίο Κεφάλαιο** διατυπώνονται οι κύριες παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα της εργασίας.

Κλείνοντας, θα ήθελα να αποδώσω θερμές ευχαριστίες στην Καθηγήτρια του Τομέα Μεταλλευτικής της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών κα. Σοφία Σταματάκη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου το συγκεκριμένο θέμα, όπως επίσης και στην κα. Ευαγγελία Κόφφα, μέλος του Εργαστηρίου, για το αμέριστο ενδιαφέρον και τη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, θα ήταν παράλειψη μου να μην ευχαριστήσω τους κύριους Γεώργιο Αποστολόπουλο και Ανδρέα Μπενάρδο, Επίκουρους Καθηγητές της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών και μέλη της τριμελούς επιτροπής, για τις εύστοχες παρατηρήσεις και υποδείξεις τους. Κλείνοντας, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ και την ευγνωμοσύνη μου απέναντι στην οικογένεια μου, για την ψυχολογική υποστήριξη αλλά και για τη συνολική συμπαράσταση που μου έχει προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια.

ABSTRACT

Natural gas produced from shale formations, which is commonly referred to as “shale gas”, has aroused the interest of many countries, other than the United States of America. Until recently shale rocks were regarded only as a potential source rock and/or seal/cap rock for conventional hydrocarbon reservoirs, despite the fact that gas has been produced in low quantities since the early 1820s from the Devonian Shale in the United States.

The depletion of conventional hydrocarbon reserves and the exploitation of gas bearing shale formations in the United States, have led to the realization that the shale rocks, as well as other fine grained rocks, can also act as potential unconventional hydrocarbon reservoirs.

However, the production of natural gas from shale formations was considered not economically feasible due to the special characteristics of those rocks. But then the scene changed dramatically with the implementation and further refinement of the methods of horizontal drilling and hydraulic fracturing, as were those that highlighted the economic value and potential production of shale gas.

The dissertation with the subject “Unconventional Fossil Fuels (Shale Gas) – Potential and Exploitation Prospect” was elaborated with the assistance of the Laboratory of Applied Geophysics of the School of Mining and Metallurgical Engineering of the National Technical University of Athens and it is structured as follows:

In **Chapter 1** a distinction between the concepts of conventional and unconventional hydrocarbon resources is given, while their current situation in terms of production, offer and reserves is presented.

Chapter 2 is about shale gas, and its host geological formation characteristics, as well as the processes taking place during its genesis.

Chapter 3 presents the current status of shale gas internationally.

In **Chapter 4** is referred to the techniques of identification – evaluation and production of shale gas.

The existing regulatory and environmental framework, as well as the risks and their impacts, related to the shale gas exploitation are featured in **Chapter 5**.

In **Chapter 6** the current situation in natural gas market is presented and how it is formed by the contribution of shale gas and finally,

The final observations and conclusions are shown in **the last Chapter**.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
ABSTRACT	iii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ	1
1.1. <i>Εισαγωγή</i>	1
1.2. <i>Συμβατικά καύσιμα</i>	1
1.2.1. <i>Πετρέλαιο</i>	1
1.2.2. <i>Φυσικό αέριο</i>	11
1.3. <i>Μη συμβατικά καύσιμα</i>	17
1.3.1. <i>Εισαγωγή</i>	17
1.3.2. <i>Ορισμοί</i>	17
1.3.3. <i>Τύποι μη συμβατικών ορυκτών καυσίμων</i>	18
1.3.4. <i>Εκτίμηση αποθεμάτων - Χωρική αποτύπωση</i>	25
<i>Βιβλιογραφία</i>	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	40
2.1. <i>Εισαγωγή</i>	40
2.2. <i>Γένεση σχιστολιθικού φυσικού αερίου</i>	42
2.2.1. <i>Τύποι κηρογόνου</i>	42
2.2.2. <i>Ωρίμανση της οργανικής ύλης</i>	44
2.3. <i>Ο σχιστόλιθος ως πέτρωμα - μητρικό πέτρωμα και ταμιευτήρας</i>	46
2.3.1. <i>Ο σχιστόλιθος ως πέτρωμα</i>	46
2.3.2. <i>Ο σχιστόλιθος ως μητρικό πέτρωμα και ταμιευτήρας</i>	49
2.3.3. <i>Χαρακτηριστικά των σχιστολιθικών ταμιευτήρων</i>	54
<i>Βιβλιογραφία</i>	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΔΙΕΘΝΩΣ	65
3.1. <i>Εισαγωγή</i>	65
3.2. <i>Ορισμοί</i>	67
3.3. <i>Σύγκριση ευρημάτων διαφόρων μελετών</i>	67
3.4. <i>Βόρεια Αμερική</i>	72
3.4.1. <i>ΗΠΑ</i>	72

3.4.2.	Καναδάς	85
3.4.3.	Μεξικό	88
3.5.	Νότια Αμερική.....	91
3.5.1.	Αργεντινή	91
3.6.	Ασία.....	93
3.6.1.	Κίνα	93
3.6.2.	Ινδία και Πακιστάν	95
3.7.	Ευρώπη.....	97
3.7.1.	Κεντρική Ευρώπη.....	99
3.7.2.	Σκανδιναβία (Σχηματισμός Alum).....	104
3.7.3.	Δυτική Ευρώπη.....	106
3.7.4.	Ανατολική Ευρώπη.....	110
3.7.5.	Ελλάδα	112
3.8.	Ασία.....	114
3.8.1.	Τουρκία	114
3.9.	Αφρική.....	116
3.10.	Αυστραλία.....	119
	Βιβλιογραφία.....	121

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ & ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ.....125

4.1.	Εισαγωγή.....	125
4.2.	Τεχνικές εντοπισμού - αξιολόγησης σχιστολιθικού φυσικού αερίου	125
4.2.1.	Χρήση διαγραφιών - (logs)	128
4.2.2.	Σεισμικά δεδομένα	130
4.3.	Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου.....	134
4.3.1.	Μεταλλευτική Μίσθωση (Mineral Leasing).....	135
4.3.2.	Άδειες (Permits)	135
4.3.3.	Κατασκευή δρόμων και εργοταξιακού χώρου για τη γεώτρηση (well pad).....	135
4.3.4.	Όρυξη της γεώτρησης.....	136
4.3.5.	Σωλήνωση και τσιμέντωση της γεώτρησης.....	139
4.3.6.	Περιμετρική διάτρηση της σωλήνωσης (perforation).....	141
4.3.8.	Παραγωγή, εγκατάλειψη και αποκατάσταση.....	148
4.4.	Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου.....	151

4.5. Αξιολόγηση (εκτίμηση αποθεμάτων).....	169
Βιβλιογραφία.....	171

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ

ΠΛΑΙΣΙΟ 174

5.1. Εισαγωγή.....	174
5.2. Κανονιστικά πλαίσια.....	174
5.2.1. Ηνωμένες Πολιτείες.....	176
5.2.2. Βόρεια Αμερική (Καναδάς – Μεξικό).....	179
5.2.3. Κίνα.....	181
5.2.4. Ευρώπη.....	183
5.3. Κίνδυνοι και επιπτώσεις που σχετίζονται με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου 207	
5.3.1. Εμπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλες αέριες εμπομπές	210
5.3.2. Αποθέματα νερού.....	212
5.3.3. Ρύπανση των υδάτων (επιφανειακών και υπόγειων).....	214
5.3.4. Προκαλούμενη σεισμικότητα (Induced seismicity).....	217
5.3.5. Επιπτώσεις στη γη και στο τοπίο.....	218
5.3.6. Επιπτώσεις στην βιοποικιλότητα.....	219
5.3.7. Οπτική ρύπανση.....	220
5.3.8. Ηχορύπανση.....	221
5.4. <i>IEA: Οι χρυσοί κανόνες για μια χρυσή εποχή του φυσικού αερίου</i>	222
Βιβλιογραφία.....	227

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΜΟΡΦΟΥΜΕΝΗΣ ΑΓΟΡΑΣ232

6.1. Εισαγωγή.....	232
6.2. Το φυσικό αέριο ως μεταβατικό καύσιμο στο ενεργειακό ισοζύγιο.....	233
6.3. Μελλοντικές εκτιμήσεις.....	234
6.3.1. Ευρώπη και Ρωσία.....	235
6.3.2. Βόρειος Αμερική.....	236
6.3.3. Ασία.....	237
6.3.4. Αυστραλία.....	237
6.4. Η συμβολή του σχιστολιθικού αερίου στην οικονομική ανάπτυξη των ΗΠΑ	238

6.5. <i>Επιπτώσεις στην παγκόσμια αγορά φυσικού αερίου λόγω του σχιστολιθικού αερίου</i>	241
6.5.1. Πτώση της τιμής του φυσικού αερίου (λόγω του σχιστολιθικού αερίου)	243
6.5.2. Κόστος παραγωγής σχιστολιθικού αερίου.....	245
6.6. <i>Οι γεωπολιτικές συνέπειες για την Ευρώπη.....</i>	247
6.7. <i>Οι θέσεις για το σχιστολιθικό αέριο στην Ευρώπη στην παρούσα φάση.....</i>	252
<i>Βιβλιογραφία.....</i>	259
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	265
<i>Βιβλιογραφία.....</i>	274
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	275

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

1.1. Εισαγωγή

Τα ορυκτά καύσιμα έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της σύγχρονης κοινωνίας. Πριν την έναρξη της βιομηχανικής εποχής (πριν 200 με 300 χρόνια), οι ενεργειακές ανάγκες του ανθρώπου καλύπτονταν στο μεγαλύτερο τους μέρος από ανανεώσιμες πηγές, όπως το ξύλο για τη θέρμανση, τους νερόμυλους για το άλεσμα των σιτηρών και του ανέμου για την κίνηση των πλοίων. Με την έλευση των ορυκτών καυσίμων όπως του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και του γαιάνθρακα, ο άνθρωπος ανακάλυψε νέες πηγές ενέργειας οι οποίες έχουν κεντρικό ρόλο στη δημιουργία των βιομηχανοποιημένων οικονομιών. Τα σύγχρονα μέσα μεταφοράς εξαρτώνται, σχεδόν εξολοκλήρου, από το πετρέλαιο. Εν ολίγοις, η σύγχρονη κοινωνία έχει στην ουσία διαμορφωθεί γύρω από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων και εξακολουθεί να είναι ακόμα σε μεγάλο βαθμό εξαρτώμενη από τα καύσιμα αυτά για τις ενεργειακές της ανάγκες.

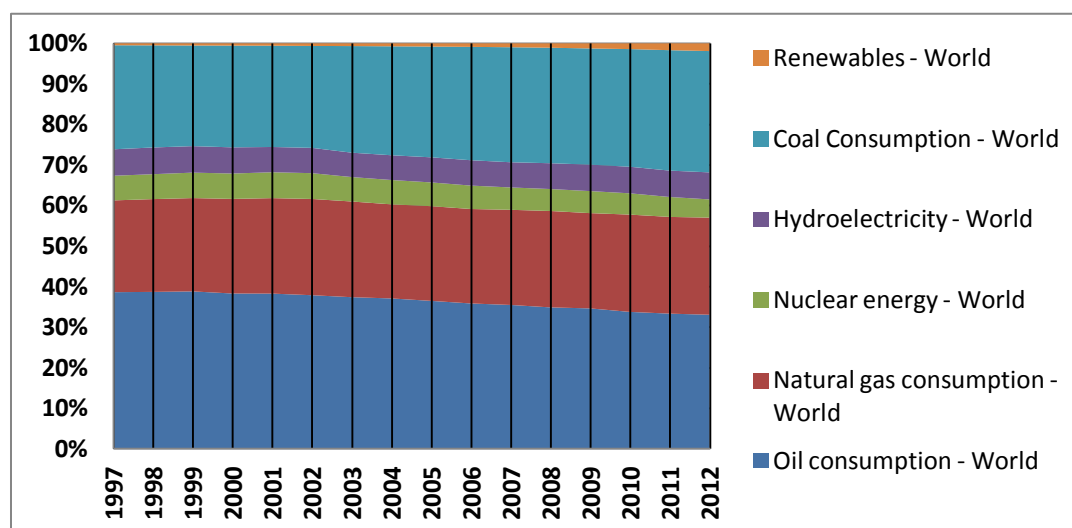
1.2. Συμβατικά καύσιμα

1.2.1. Πετρέλαιο

Το πετρέλαιο, παρά τη στροφή που παρατηρείται σε καθαρότερες μορφές ενέργειας, εξακολουθεί να κατέχει ένα ποσοστό της τάξης του 33,1% επί της παγκόσμιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας με την παραγωγή αλλά και την κατανάλωσή του να διατηρούν την αυξητική τους τάση. Συγκεκριμένα, η παραγωγή για το έτος 2011 ανήλθε στα 83576 Mbbl/day, ενώ η κατανάλωση στα 88034 Mbbl/day, παρουσιάζοντας μέσα σε μια δεκαετία (2001 - 2011) αύξηση της τάξεως του 11,78% και 13,98% αντίστοιχα (BP Statistical Review of World Energy, 2012).

Το ποσοστό συμμετοχής του πετρελαίου στην παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ξεκίνησε να μειώνεται από τη δεκαετία του 1970 και πιο συγκεκριμένα το 1973 έχοντας ποσοστό 48,43%. Από τότε μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1980 η πτώση που παρουσιάστηκε ήταν ιδιαίτερα έντονη (-23,18%), αντικατοπτρίζοντας εν μέρει και τις υψηλές τιμές πώλησης του αργού πετρελαίου που παρατηρήθηκαν εκείνη την περίοδο. Ακολούθησε μια περίοδος μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1990 όπου η τιμή του πετρελαίου διατηρήθηκε σε χαμηλά επίπεδα, προτού αυξηθεί πάλι την τελευταία δεκαετία.

Επί 12 συνεχόμενα έτη (2000 - 2012) το μερίδιο του πετρελαίου στην παγκόσμια αγορά μειώνεται, όπως και στην εγχώρια αγορά των ΗΠΑ καθώς πλησιάζει τα χαμηλότερα καταγεγραμμένα ποσοστά (Εικόνα 1.1.). Η ζήτηση έχει αυξηθεί, κατά κύριο λόγο στις χώρες εκτός του Ο.Ο.Σ.Α. (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) φτάνοντας σε ποσοστό το 47% της παγκόσμιας κατανάλωσης (25% το 1970), σε αντίθεση με τη μειωμένη κατά 3,6 Mbb/d ή 7 % από το 2005, ζήτηση που έχει παρουσιαστεί σε χώρες εντός OECD. Ο τομέας που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη κατανάλωση πετρελαίου είναι αυτός των μεταφορών, με ποσοστό πέραν του 50% παγκοσμίως και γύρω στο 60% για τις χώρες του OECD, ακολουθούμενος από τους τομείς της ηλεκτροπαραγωγής και της βιομηχανίας όπου το μερίδιο του πετρελαίου έχει μειωθεί αρκετά κατά τα τελευταία χρόνια. Όπως και με τα άλλα καύσιμα, η ζήτηση και η κατανάλωση έχουν επηρεαστεί κυρίως από το βαθμό και την κατανομή της παγκόσμιας οικονομικής ανάπτυξης αλλά και από τις τεχνολογικές αλλαγές (π.χ. πυρηνική ενέργεια, advances in deepwater exploration), τον ανταγωνισμό με άλλα καύσιμα και τις εφαρμοζόμενες κυβερνητικές πολιτικές, όπως οι φόροι κατανάλωσης, ο βαθμός απόδοσης του καυσίμου κ.α.



Εικόνα 1.1.: Ποσοστό συμμετοχής κάθε καυσίμου στην παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (BP Statistical Review of World Energy, 2012)

1.2.1.1. Αποθέματα

Ο όγκος των βέβαιων αποθεμάτων πετρελαίου συναντάται στις χώρες της Μέσης Ανατολής, καταλαμβάνοντας μερίδιο 48,1% επί του συνόλου. Χώρες όπως η

Βενεζουέλα και ο Καναδάς ακολουθούν, με μερίδιο 17,9% και 10,6% αντίστοιχα, ενώ οι χώρες της πρώην ΕΣΣΔ κατέχουν ποσοστό της τάξεως του 7,7% (Πίνακας 1.1. & Εικόνα 1.2.)

Πίνακας 1.1.: Αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου (BP Statistical Review of World Energy, 2012)

	At end 2011			
	Thousand million tonnes	Thousand million barrels	Share of total	R/P ratio
US	3.7	30.9	1.9%	10.8
Canada	28.2	175.2	10.6%	*
Mexico	1.6	11.4	0.7%	10.6
Total North America	33.5	217.5	13.2%	41.7
Argentina	0.3	2.5	0.2%	11.4
Brazil	2.2	15.1	0.9%	18.8
Colombia	0.3	2.0	0.1%	5.9
Ecuador	0.9	6.2	0.4%	33.2
Peru	0.2	1.2	0.1%	22.2
Trinidad & Tobago	0.1	0.8	0.1%	16.7
Venezuela	46.3	296.5	17.9%	*
Other S. & Cent. America	0.2	1.1	0.1%	22.1
Total S. & Cent. America	50.5	325.4	19.7%	*
Azerbaijan	1.0	7.0	0.4%	20.6
Denmark	0.1	0.8	*	10.0
Italy	0.2	1.4	0.1%	34.3
Kazakhstan	3.9	30.0	1.8%	44.7
Norway	0.8	6.9	0.4%	9.2
Romania	0.1	0.6	*	18.7
Russian Federation	12.1	88.2	5.3%	23.5
Turkmenistan	0.1	0.6	*	7.6
United Kingdom	0.4	2.8	0.2%	7.0
Uzbekistan	0.1	0.6	*	18.9
Other Europe & Eurasia	0.3	2.2	0.1%	15.2
Total Europe & Eurasia	19.0	141.1	8.5%	22.3
Iran	20.8	151.2	9.1%	95.8
Iraq	19.3	143.1	8.7%	*
Kuwait	14.0	101.5	6.1%	97.0
Oman	0.7	5.5	0.3%	16.9
Qatar	3.2	24.7	1.5%	39.3
Saudi Arabia	36.5	265.4	16.1%	65.2
Syria	0.3	2.5	0.2%	20.6
United Arab Emirates	13.0	97.8	5.9%	80.7
Yemen	0.3	2.7	0.2%	32.0
Other Middle East	0.1	0.7	*	37.1
Total Middle East	108.2	795.0	48.1%	78.7
Algeria	1.5	12.2	0.7%	19.3
Angola	1.8	13.5	0.8%	21.2
Chad	0.2	1.5	0.1%	36.1
Republic of Congo (Brazzaville)	0.3	1.9	0.1%	18.0
Egypt	0.6	4.3	0.3%	16.0
Equatorial Guinea	0.2	1.7	0.1%	18.5
Gabon	0.5	3.7	0.2%	41.2
Libya	6.1	47.1	2.9%	*
Nigeria	5.0	37.2	2.3%	41.5
Sudan & South Sudan	0.9	6.7	0.4%	40.5
Tunisia	0.1	0.4	*	15.0
Other Africa	0.3	2.2	0.1%	27.0
Total Africa	17.6	132.4	8.0%	41.2

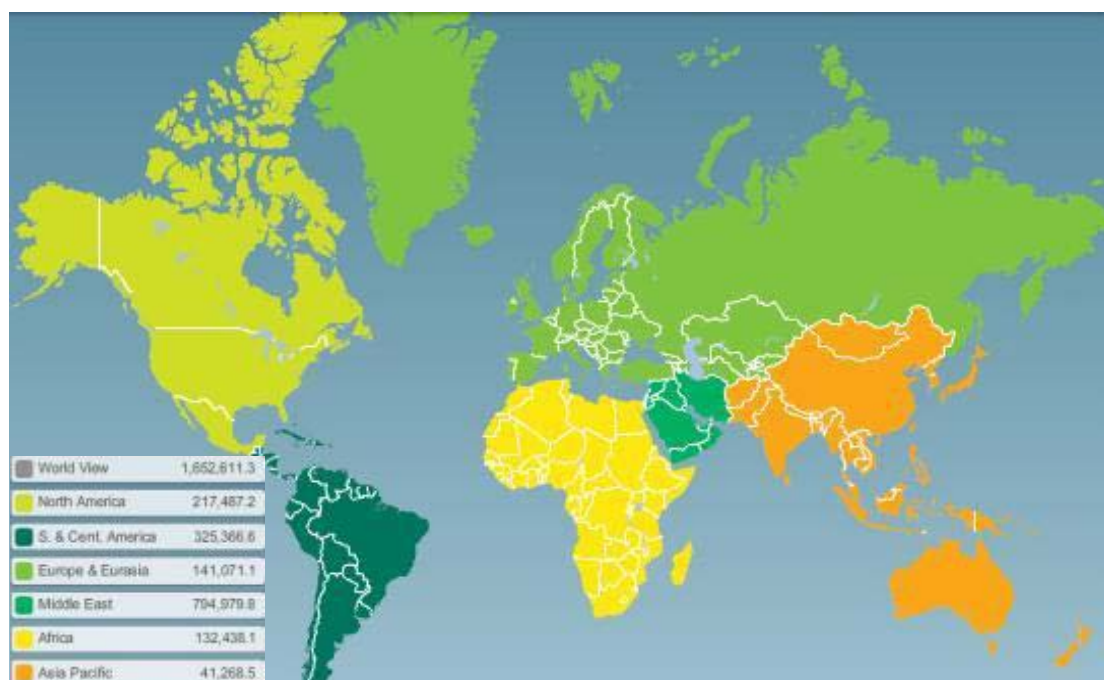
Australia	0.4	3.9	0.2%	21.9
Brunei	0.1	1.1	0.1%	18.2
China	2.0	14.7	0.9%	9.9
India	0.8	5.7	0.3%	18.2
Indonesia	0.6	4.0	0.2%	11.8
Malaysia	0.8	5.9	0.4%	28.0
Thailand	0.1	0.4	*	3.5
Vietnam	0.6	4.4	0.3%	36.7
Other Asia Pacific	0.1	1.1	0.1%	10.4
Total Asia Pacific	5.5	41.3	2.5%	14.0
Total World	234.3	1652.6	100.0%	54.2
of which: OECD	35.7	234.7	14.2%	34.7
Non-OECD	198.6	1417.9	85.8%	59.7
OPEC	168.4	1196.3	72.4%	91.5
Non-OPEC†	48.7	329.4	19.9%	26.3
European Union#	0.9	6.7	0.4%	10.8
Former Soviet Union	17.2	126.9	7.7%	25.8
Canadian oil sands: Total	27.5	169.2		
of which: Under active development	4.2	25.9		
Venezuela: Orinoco Belt	35.3	220.0		

*More than 100 years.

†Less than 0.05%.

‡Excludes Former Soviet Union.

#Excludes Estonia, Latvia and Lithuania in 1991.



Εικόνα 1.2.: Κατανομή των βέβαιων αποθεμάτων πετρελαίου παγκοσμίως, σε εκατομμύρια βαρέλια (BP Statistical Review of World Energy, 2012)

Σύμφωνα με την Society of Petroleum Engineers (SPE) με τον όρο βέβαια αποθέματα (proved reserves) χαρακτηρίζονται εκείνες οι ποσότητες πετρελαίου οι οποίες, μετά από ανάλυση γεωλογικών και τεχνικών δεδομένων, μπορούν να εκτιμηθούν με εύλογη βεβαιότητα ότι είναι οικονομικά ανακτήσιμα, από μια συγκεκριμένη ημερομηνία και μετά, από ήδη γνωστούς ταμειυτήρες και υπό τις τρέχουσες οικονομικές συνθήκες, μεθόδους λειτουργίας και κανονισμούς της κυβέρνησης. Τα βέβαια αποθέματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ανεπτυγμένα ή υποανάπτυκτα (developed or undeveloped). Εάν χρησιμοποιηθούν ντετερμινιστικές μέθοδοι, ο όρος εύλογη βεβαιότητα προορίζεται στο να εκφράσει υψηλό βαθμό εμπιστοσύνης ότι οι ποσότητες θα ανακτηθούν. Εάν χρησιμοποιηθούν πιθανοτικές μέθοδοι, θα πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον μία πιθανότητα 90% ότι οι ποσότητες που έχουν πραγματικά ανακτηθεί θα ισούνται ή θα υπερβαίνουν την εκτίμηση.

Στην Εικόνα 1.3., απεικονίζεται η κατανομή των βέβαιων αποθεμάτων πετρελαίου, ανά ήπειρο, κατά τα έτη 1991, 2001 και 2011. Όπως μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί από το γράφημα, υπάρχει μία συνεχής αύξηση των αποθεμάτων παγκοσμίως. Συγκεκριμένα, το ποσοστό που αναλογεί στις χώρες της Μέσης Ανατολής αλλά και της Ασίας, μειώνεται ολοένα και περισσότερο, ενώ παράλληλα αυξάνει το ποσοστό των χωρών της Ευρώπης, της Αφρικής αλλά και της Κεντρικής και Νότιας Αμερικής. Στην περίπτωση της Βόρειας Αμερικής, παρατηρείται μία μείωση της τάξεως του 5% κατά την τελευταία δεκαετία.



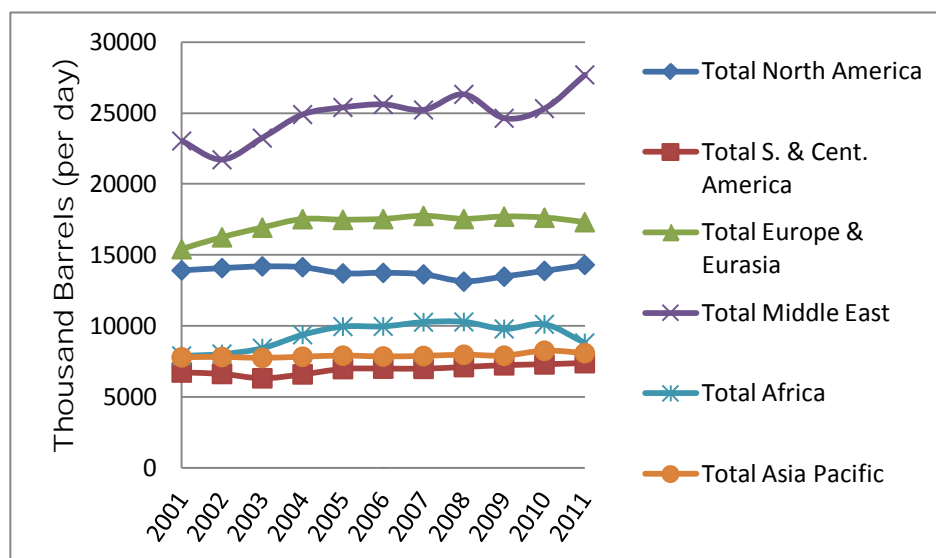
Εικόνα 1.3.: Βέβαια αποθέματα πετρελαίου κατά τα έτη 1991, 2001 και 2011 (BP Statistical Review of World Energy, 2012)

1.2.1.2. Παραγωγή

Η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου συνεχίζει και για το 2011 την αυξητική της πορεία, σημειώνοντας αύξηση κατά 1,3% ή 1,1 MMbbl/d σε σχέση με τη προηγούμενη χρονιά, με τις χώρες εντός ΟΠΕΚ να συμμετέχουν κατ' αποκλειστικότητα σ' αυτή τη μεταβολή, ανεξάρτητα από τη πτώση της παραγωγής στη Λιβύη κατά 1,2 MMbbl/d. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι ΗΠΑ παραμένουν, για τρίτη συνεχόμενη χρονιά, ως η χώρα εκτός ΟΠΕΚ με τη μεγαλύτερη αύξηση στην παραγωγή της (+285 Mbbbl/d).

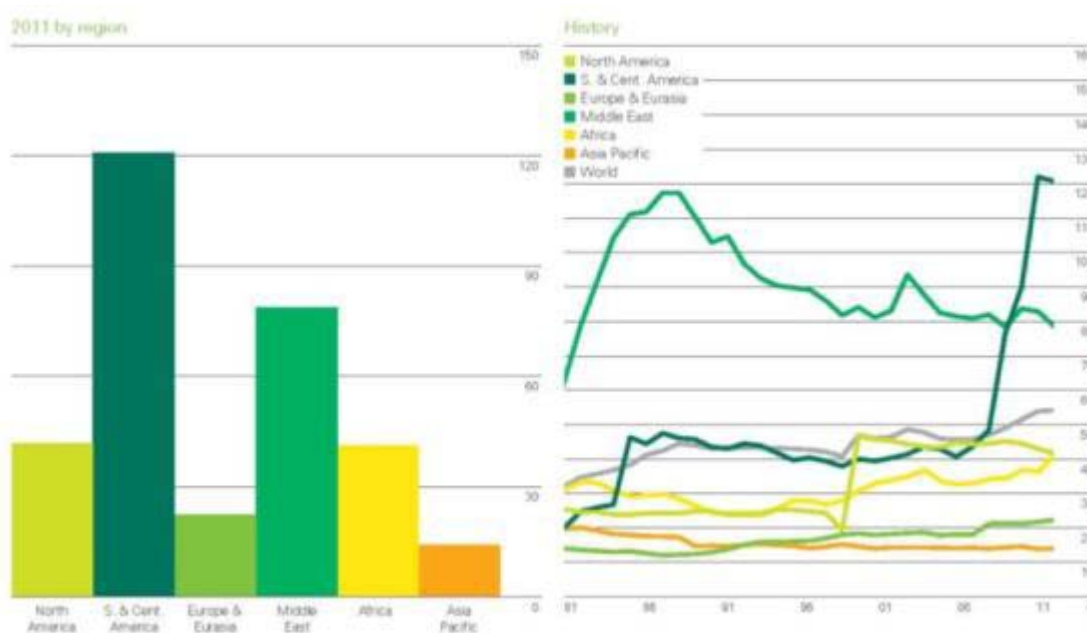
Στο Εικόνα 1.4. παρουσιάζεται η παραγωγή πετρελαίου ανά περιοχή, κατά τη δεκαετία 2001 – 2011. Την πρωτιά καταλαμβάνουν οι χώρες της Μέσης Ανατολής, ακολουθούμενες από αυτές της Ευρώπης & Ευρασίας και της Βορείου Αμερικής με ημερήσια παραγωγή 27,69 , 27,314 και 14,301 εκατομμύρια βαρέλια αντίστοιχα.

Ειδικότερα, η παραγωγή για τις χώρες της Μέσης Ανατολής παρουσίασε αύξηση κατά 20,2%, όπως επίσης και στις χώρες της Ευρώπης & Ευρασίας κατά 10,98% αλλά και της Νοτίου Αμερικής κατά 2,7%.



Εικόνα 1.4.: Παραγωγή πετρελαίου ανά περιοχή κατά την περίοδο 2001 -2011 (BP Statistical Review of World Energy, 2012)

Με τα παγκόσμια αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου να αγγίζουν τα 1652,6 δισεκατομμύρια βαρέλια στο τέλος του 2011, η παγκόσμια παραγωγή μπορεί να καλυφθεί για τα επόμενα 54,2 χρόνια. Η συνεχής αύξηση των επίσημων αποθεμάτων της Βενεζουέλας, ήταν η αιτία που οι τιμές του λόγου R/P (reserves to production) για την περιοχή της Κεντρικής και Νότιας Αμερικής, ξεπέρασαν το 100. Η μεγάλη αύξηση της παραγωγής στην Μέση Ανατολή επέφερε μείωση στο λόγο R/P της περιοχής, παρά την αύξηση των αποθεμάτων (Εικόνα 1.5.).



Εικόνα 1.5.: Λόγος αποθεμάτων πετρελαίου προς παραγωγή για το έτος 2011 (BP Statistical Review of World Energy, 2012)

1.2.1.3. Ζήτηση

Ο πληθυσμός και η οικονομική ανάπτυξη είναι οι κύριες μεταβλητές πίσω από την ζήτηση για ενέργεια. Για τα επόμενα 20 χρόνια αναμένεται να υπάρξει ραγδαία ανάπτυξη για τις πιο μικρές οικονομίες. Η αύξηση του πληθυσμού επιβραδύνεται, ενώ την ίδια στιγμή η αύξηση του εισοδήματος ακολουθεί μια αυξητική τάση. Κατά την τελευταία εικοσαετία ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξήθηκε κατά 1,6 δισεκατομμύρια άτομα και προβλέπεται να αυξηθεί κατά 1,4 δισεκατομμύρια επιπλέον μέσα στα επόμενα 20 χρόνια. Παράλληλα, το πραγματικό εισόδημα παγκοσμίως αυξήθηκε κατά 87% τα τελευταία 20 χρόνια, ενώ υπάρχει η πιθανότητα

να αυξηθεί κατά 100% μέσα στα επόμενα 20 (Oxford Economics Ltd) (United Nations, 2009).

Κατά τα τελευταία χρόνια υπήρξαν υψηλές διακυμάνσεις στην τιμή πώλησης του πετρελαίου, φτάνοντας τα \$145/bbl τον Ιούλιο του 2008 και τα \$30/bbl τον Δεκέμβριο του ίδιου έτους καθώς η παγκόσμια οικονομική ύφεση προκάλεσε μείωση στη ζήτηση και αντίστοιχα στις τιμές. Η βελτίωση της οικονομικής κατάστασης, ειδικότερα στις αναπτυσσόμενες οικονομίες, ενίσχυσε τη ζήτηση για πετρέλαιο με τις τιμές να φτάνουν τα \$62/bbl το 2009 και τα \$79/bbl το 2010. Η ζήτηση για πετρέλαιο το 2010 παρουσίασε άνοδο κατά 3,1% από το 2009, φτάνοντας τα 86,7 MMbbl/day (IEA, 2011), ενώ η κατανάλωση για το έτος 2011 ανήλθε στα 88,34 MMbbl/day (Εικόνα 1.6.)



Εικόνα 1.6.: Η κατανάλωση σε περιοχές ανά την υφήλιο σε χιλιάδες βαρέλια (BP Statistical Review of World Energy, 2012)

Στο World Energy Outlook 2011 του International Energy Agency (IEA) γίνεται μία αξιολόγηση των κινδύνων και των ευκαιριών που αντιμετωπίζει το παγκόσμιο ενεργειακό σύστημα, βασιζόμενη σε μία ενδελεχή ποσοτική ανάλυση των ενεργειακών και κλιματικών τάσεων. Η ανάλυση περιλαμβάνει τρία παγκόσμια σενάρια. Το κεντρικό σενάριο είναι το New Policies Scenario (Σενάριο Νέων Πολιτικών), το οποίο υποθέτει ότι οι κυβερνήσεις θα τηρήσουν τις δεσμεύσεις τους

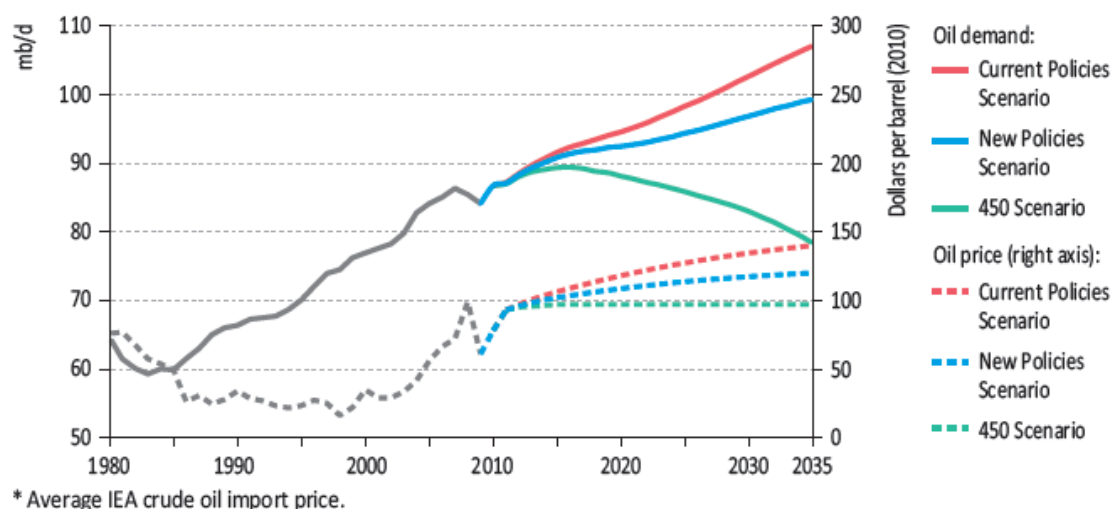
όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών ρύπων και την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, το Current Policies Scenario (Σενάριο Τρέχων Πολιτικών), το οποίο υποθέτει ότι δεν θα προστεθούν κάποιες νέες ενεργειακές και κλιματικές πολιτικές από αυτές που βρίσκονταν ήδη σε εφαρμογή στα μέσα του 2011 και τέλος το 450 Scenario όπου ορίζεται ένα ενεργειακό μονοπάτι το οποίο συνάδει με τον στόχο του περιορισμού της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας στους 2 °C, περιορίζοντας τη συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε περίπου 450 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) CO₂.

Με βάσει τα δύο εκ των τριών σεναρίων που έχουν καθοριστεί από τον οργανισμό, η ζήτηση αναμένεται να φτάσει τα 107 MMbbl/day (Current Policies Scenario) και τα 99 MMbbl/day (New Policies Scenario) το έτος 2035. Η χαμηλότερη ζήτηση πετρελαίου στο τελευταίο σενάριο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη πολιτική η οποία προωθεί την πιο αποδοτική χρήση του πετρελαίου, τη στροφή των καταναλωτών προς άλλα καύσιμα και στις υψηλότερες τιμές τελικού χρήστη, ως αποτέλεσμα της μείωσης των επιδοτήσεων σε ορισμένες αναδυόμενες μεγάλες καταναλώτριες χώρες. Αντίθετα στο 450 Scenario, όπου λαμβάνεται υπόψη μια ενδεχόμενη πολιτική περιορισμού των εκπομπών CO₂, η ζήτηση κορυφώνεται πριν το 2020 στα 90 MMbbl/day και ακολουθεί φθίνουσα πορεία μέχρι να φτάσει τα 78 MMbbl/day το 2035 (Εικόνα 1.7.).

Όλη η καθαρή αύξηση στην παγκόσμια ζήτηση πετρελαίου στο Σενάριο Νέων Πολιτικών προέρχεται από τον τομέα των μεταφορών στις αναδυόμενες οικονομίες. Η αγορά αυτοκινήτου στις χώρες εκτός Ο.Ο.Σ.Α. επεκτείνεται σημαντικά, με την παραγωγή και τις πωλήσεις οχημάτων στις χώρες αυτές να προβλέπεται να ξεπεράσουν αυτές των χωρών εντός Ο.Ο.Σ.Α. πριν από το 2015 και από το 2020, αντίστοιχα, ανεβάζοντας έτσι την κατανάλωση πετρελαίου παρά την εντυπωσιακή πρόοδο που παρουσιάζει η οικονομία καυσίμου στα οχήματα τα τελευταία χρόνια. Οι εναλλακτικές τεχνολογίες που βρίσκουν εφαρμογή στα οχήματα συνδράμουν στην πιο αποδοτική κατανάλωση πετρελαίου, ή καθόλου στην περίπτωση των ηλεκτρικών οχημάτων, ωστόσο θα χρειαστεί χρόνος μέχρι να καταστούν εμπορικά βιώσιμες και να διεισδύσουν στις αγορές (Πίνακας 1.2.).

Η πορεία που αναμένεται να ακολουθήσει η τιμή του πετρελαίου είναι και αυτή ανοδική στα δύο πρώτα σεναρία, φτάνοντας τα \$118/bbl το 2020 και τα \$140/bbl το

2035 στο Current Policies Scenario, ενώ στο New Policies Scenario τα \$109/bbl το 2020 και τα \$120/bbl το 2035. Στο 450 Scenario η τιμή του πετρελαίου, ως αποτέλεσμα της παρατεταμένης μείωσης της ζήτησης, είναι σημαντικά μικρότερη σε σχέση με τα άλλα σενάρια, φτάνοντας τα \$100/bbl (IEA, 2011).



Εικόνα 1.7.: Η παγκόσμια ζήτηση και τιμή του πετρελαίου ανά σενάριο (IEA, 2011)

Πίνακας 1.2.: Η ζήτηση πετρελαίου ανά περιοχή και σενάριο (mb/day) (IEA, 2011)

	1980	2010	New Policies Scenario		Current Policies Scenario		450 Scenario	
			2020	2035	2020	2035	2020	2035
OECD	40.9	42.5	40.0	35.8	40.8	38.5	38.2	26.5
Non-OECD	19.8	37.6	45.0	54.5	46.3	59.3	42.7	44.2
International bunkers*	3.5	6.6	7.5	9.1	7.5	9.4	7.2	7.7
World oil demand	64.2	86.7	92.4	99.4	94.6	107.1	88.1	78.3
<i>Share of non-OECD</i>	33%	47%	53%	60%	53%	61%	53%	63%
Biofuels demand**	0.0	1.3	2.3	4.4	2.1	3.4	2.7	7.8
World liquids demand	64.2	88.0	94.7	103.7	96.7	110.6	90.8	86.1

1.2.2. Φυσικό αέριο

Η συνεχής αύξηση της τιμής του πετρελαίου, σε συνδυασμό με τη σημαντική μείωση των αποθεμάτων και τη νέα περιβαλλοντική στάση που εκφράζεται από διάφορες εθνικές κυβερνήσεις σχετικά με τα υφιστάμενα υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, οδήγησαν στην εκμετάλλευση ενός καθαρότερου και πιο οικονομικά ελκυστικού καυσίμου, ήτοι του φυσικού αερίου.

Σε αντίθεση με το πετρέλαιο ή το γαιάνθρακα, το φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως πηγή πρωτογενούς, φιλικής προς το περιβάλλον, ενέργειας, καθώς κατά την καύση του εκπέμπονται λιγότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα αλλά και άλλων αερίων του θερμοκηπίου. Έτσι, το φυσικό αέριο έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα στρατηγικό προϊόν το οποίο αυξάνει τη σημερινή παγκόσμια προσφορά ενέργειας, αντιμετωπίζοντας εν μέρει ορισμένες από τις πιθανές συνέπειες της χρήσης του πετρελαίου και των παραγώγων του.

Αυτή τη στιγμή, το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ως καύσιμο αλλά και ως πρώτη ύλη στην βιομηχανία των πετροχημικών όπως το υδρογόνο, η αμμωνία, το αιθυλένιο και το θείο. Παρέχει επίσης ενέργεια σε μία σειρά συσκευών αερίου όπως είναι οι κλίβανοι αερίου, οι θερμοσίφωνες, οι ψησταριές αερίου, οι εστίες μαγειρέματος κ.α., αλλά και για τη θέρμανση και το φωτισμό των σπιτιών.

Εξαιτίας των θετικών περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών του και σε συνδυασμό με το χαμηλό του κόστος, το φυσικό αέριο, στη συμπιεσμένη του μορφή (Compressed Natural Gas – CNG), έχει αναδειχθεί σε μία καλή εναλλακτική λύση για την τροφοδοσία των οχημάτων, ενώ κάποιοι ισχυρίζονται ότι η μετάβαση από τα βενζινοκίνητα ή πετρελαιοκίνητα οχήματα σε οχήματα κινούμενα με φυσικό αέριο (Natural Gas Vehicles – NGV) θα πρέπει να θεωρείται αναπόφευκτη (Ingersoll, 1996). Παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία αυτή δεν είναι νέα, παραμένει μέχρι σήμερα μια συνεχής διαδικασία, κυρίως λόγω των περιορισμών που παρουσιάζει η διανομή του CNG.

1.2.2.1. Αποθέματα

Και στα βέβαια αποθέματα φυσικού αερίου η Μέση Ανατολή καταλαμβάνει την πρωτιά με μερίδιο 38,4% με κυρίαρχες χώρες το Ιράν και το Κατάρ, ακολουθούμενη

από τις χώρες της Πρώην Σοβιετικής Ένωσης με μερίδιο 35,8%, με τη Ρωσία και το Τουρκμενιστάν ως κυρίαρχες χώρες. Αξίζει να σημειωθεί, ότι τα αποθέματα φυσικού αερίου παρουσιάζουν πιο ομοιόμορφη κατανομή παγκοσμίως σε σύγκριση με αυτά του πετρελαίου (Πίνακας 1.3. & Εικόνα 1.8.).

Πίνακας 1.3.: Βέβαια αποθέματα φυσικού αερίου (BP Statistical Review of World Energy, 2012)

	At end 2011			
	Trillion cubic feet	Trillion cubic metres	Share of total	R/P ratio
US	299.8	8.5	4.1%	13.0
Canada	70.0	2.0	1.0%	12.4
Mexico	12.5	0.4	0.2%	6.7
Total North America	382.3	10.8	5.2%	12.5
Argentina	12.0	0.3	0.2%	8.8
Bolivia	9.9	0.3	0.1%	18.3
Brazil	16.0	0.5	0.2%	27.1
Colombia	5.8	0.2	0.1%	14.9
Peru	12.5	0.4	0.2%	31.1
Trinidad & Tobago	14.2	0.4	0.2%	9.9
Venezuela	195.2	5.5	2.7%	*
Other S. & Cent. America	2.2	0.1	*	23.7
Total S. & Cent. America	267.7	7.6	3.6%	45.2
Azerbaijan	44.9	1.3	0.6%	85.8
Denmark	1.6	†	*	6.5
Germany	2.2	0.1	*	6.2
Italy	3.1	0.1	*	11.4
Kazakhstan	66.4	1.9	0.9%	97.6
Netherlands	38.9	1.1	0.5%	17.2
Norway	73.1	2.1	1.0%	20.4
Poland	4.3	0.1	0.1%	28.3
Romania	3.8	0.1	0.1%	9.9
Russian Federation	1575.0	44.6	21.4%	73.5
Turkmenistan	858.8	24.3	11.7%	*
Ukraine	33.0	0.9	0.4%	51.3
United Kingdom	7.1	0.2	0.1%	4.5
Uzbekistan	56.6	1.6	0.8%	28.1
Other Europe & Eurasia	10.0	0.3	0.1%	29.4
Total Europe & Eurasia	2778.8	78.7	37.8%	75.9
Bahrain	12.3	0.3	0.2%	26.8
Iran	1168.6	33.1	15.9%	*
Iraq	126.7	3.6	1.7%	*
Kuwait	63.0	1.8	0.9%	*
Oman	33.5	0.9	0.5%	35.8
Qatar	884.5	25.0	12.0%	*
Saudi Arabia	287.8	8.2	3.9%	82.1
Syria	10.1	0.3	0.1%	34.3
United Arab Emirates	215.1	6.1	2.9%	*
Yemen	16.9	0.5	0.2%	50.7
Other Middle East	7.8	0.2	0.1%	49.3
Total Middle East	2826.3	80.0	38.4%	*

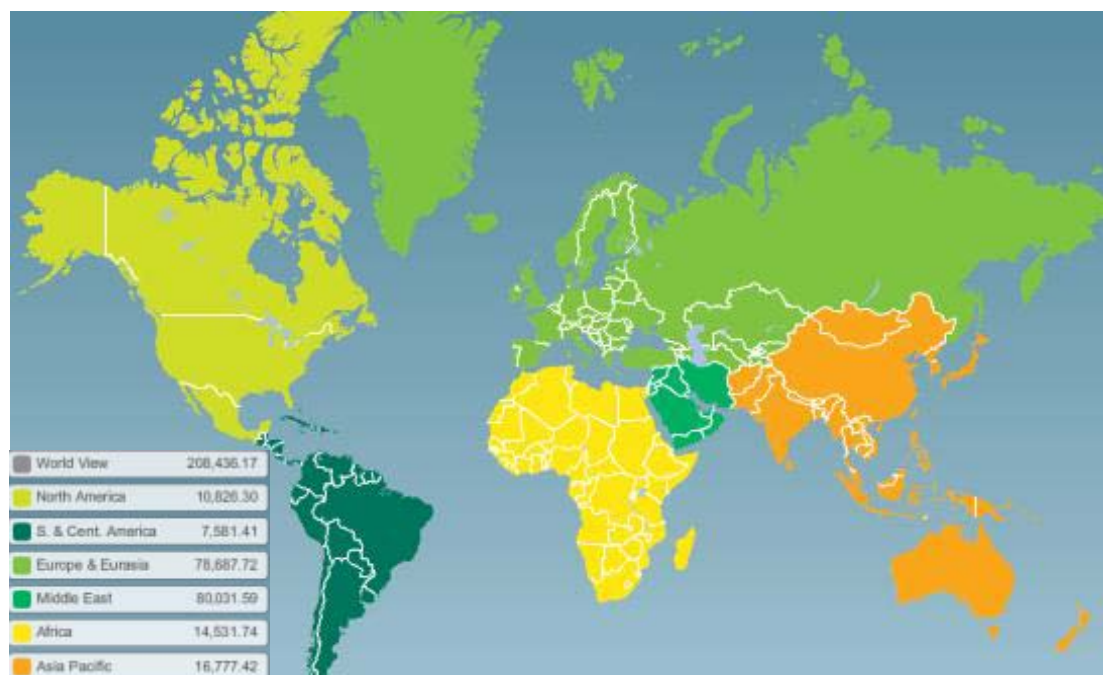
Algeria	159.1	4.5	2.2%	57.7
Egypt	77.3	2.2	1.1%	35.7
Libya	52.8	1.5	0.7%	*
Nigeria	180.5	5.1	2.5%	*
Other Africa	43.5	1.2	0.6%	63.4
Total Africa	513.2	14.5	7.0%	71.7
Australia	132.8	3.8	1.8%	83.6
Bangladesh	12.5	0.4	0.2%	17.8
Brunei	10.2	0.3	0.1%	22.5
China	107.7	3.1	1.5%	29.8
India	43.8	1.2	0.6%	26.9
Indonesia	104.7	3.0	1.4%	39.2
Malaysia	86.0	2.4	1.2%	39.4
Myanmar	7.8	0.2	0.1%	17.8
Pakistan	27.5	0.8	0.4%	19.9
Papua New Guinea	15.6	0.4	0.2%	*
Thailand	9.9	0.3	0.1%	7.6
Vietnam	21.8	0.6	0.3%	72.3
Other Asia Pacific	12.1	0.3	0.2%	18.9
Total Asia Pacific	592.5	16.8	8.0%	35.0
Total World	7360.9	208.4	100.0%	63.6
of which: OECD	660.2	18.7	9.0%	16.0
Non-OECD	6700.7	189.7	91.0%	90.0
European Union	64.4	1.8	0.9%	11.8
Former Soviet Union	2638.5	74.7	35.8%	96.3

*More than 100 years.

†Less than 0.05.

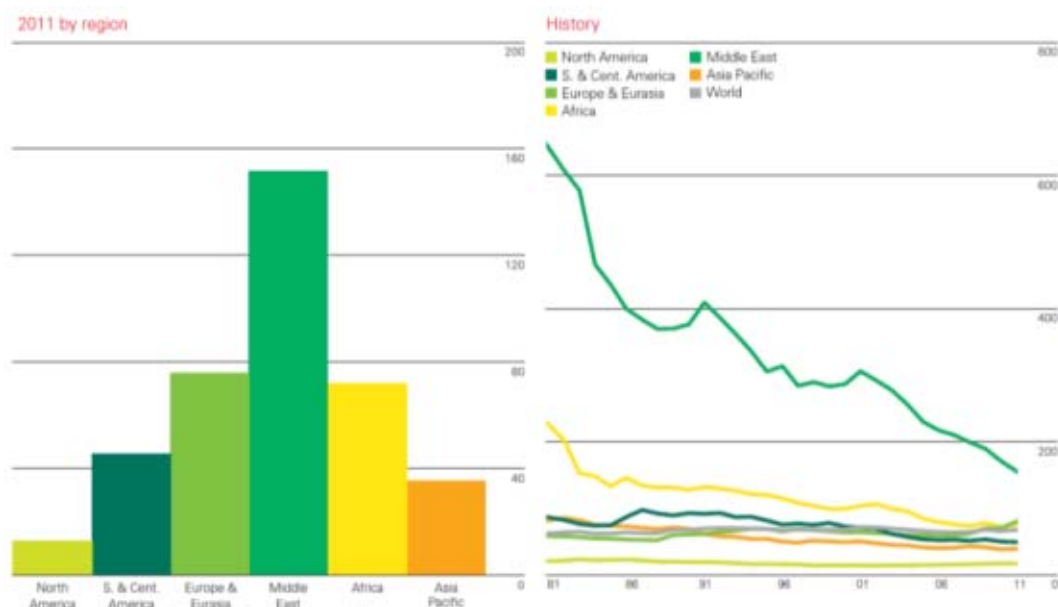
*Less than 0.05%.

n/a not available



Εικόνα 1.8.: Κατανομή των βέβαιων αποθεμάτων φυσικού αερίου παγκοσμίως σε δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (BP Statistical Review of World Energy, 2012)

Τα παγκόσμια βέβαια αποθέματα φυσικού αερίου στο τέλος του 2011 ανήλθαν στα 208 τρισεκατομμύρια κυβικά μέτρα, με την παραγωγή να καλύπτεται για τα επόμενα 63,6 χρόνια. Η μεγάλη αύξηση των αποθεμάτων του Τουρκμενιστάν είχε ως αποτέλεσμα ο λόγος R/P για την Ευρώπη και την Ευρασία να ανέρθει στα 76 περίπου χρόνια. Τέλος, τα αποθέματα που διατηρεί σήμερα η Μέση Ανατολή κρίνονται ως ικανοποιητικά για τα επόμενα 150 χρόνια (Offshore Magazine) (Εικόνα 1.9.).



Εικόνα 1.9.: Λόγος βέβαιων αποθεμάτων φυσικού αερίου προς παραγωγή (BP Statistical Review of World Energy, 2012)

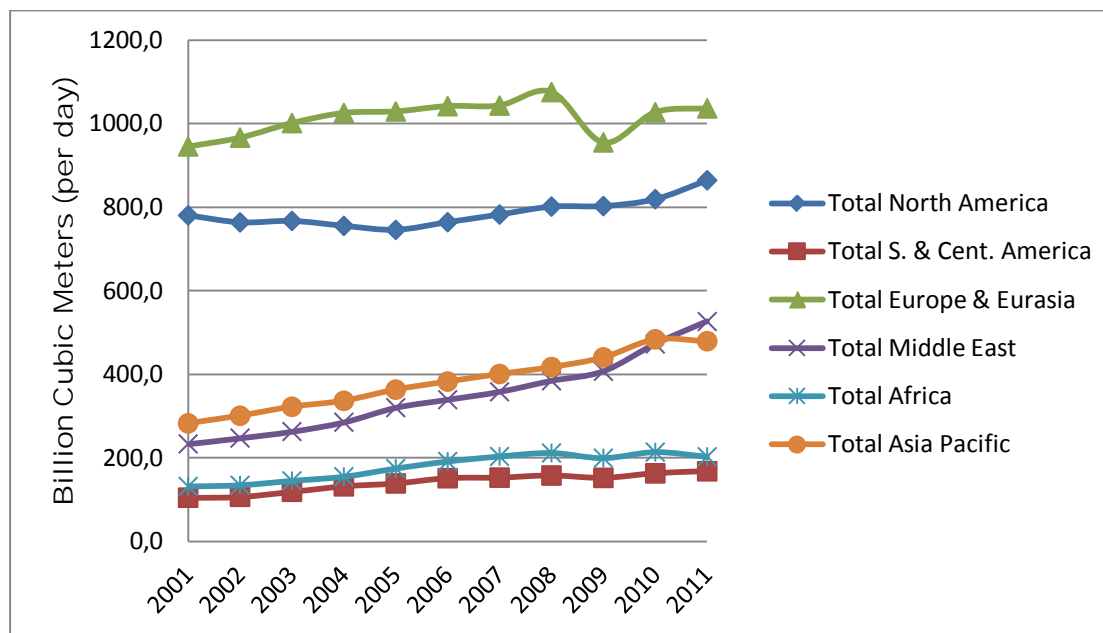
Όπως και στην περίπτωση των βέβαιων αποθεμάτων πετρελαίου, έτσι και εδώ παρατηρείται μια συνεχής αύξηση των αποθεμάτων παγκοσμίως (+58,84% από το 1991), με τη μεγαλύτερη αύξηση στο μερίδιο να παρατηρείται στις χώρες της Ευρώπης και της Ευρασίας (+4,1% από το 2001) και τη μεγαλύτερη μείωση στις χώρες της Μέσης Ανατολής (-3,7% από το 2001) (Εικόνα 1.10.).



Εικόνα 1.10.: Αποδεδειγμένα αποθέματα φυσικού αερίου κατά τα έτη 1991, 2001 και 2011 (BP Statistical Review of World Energy, 2012)

Η παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου αυξήθηκε κατά 3,1% το 2011. Στις ΗΠΑ παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη αύξηση σε εθνικό επίπεδο, ενώ στη Μέση Ανατολή καταγράφηκε η μεγαλύτερη αύξηση σε περιφερειακή παραγωγή. Ο ρυθμός αύξησης

που παρουσίασε η Ρωσία και το Τουρκμενιστάν ήταν ουσιαστικά αποτέλεσμα της μεγάλης ύφεσης στην οποία επήλθε η παραγωγή στην Ευρώπη. Αν και η παραγωγή ακολούθησε γενικά ανοδική πορεία προκειμένου να ανταπεξέλθει στην αυξημένη ζήτηση, στην Ευρωπαϊκή Ένωση, από το 2000, παρουσιάστηκε πτώση της τάξεως του 11,4%, η μεγαλύτερη που έχει καταγραφεί ποτέ (Εικόνα 1.11.).



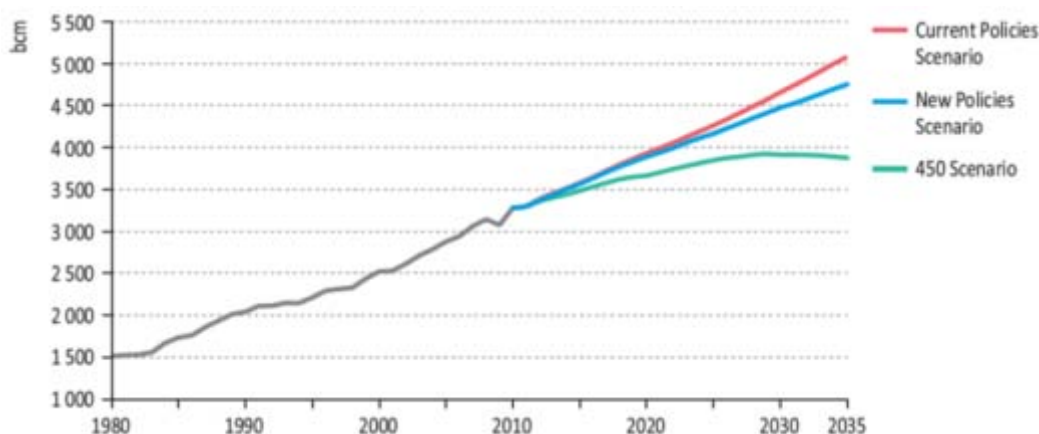
Εικόνα 1.11.: Παραγωγή φυσικού αερίου ανά περιοχή κατά την περίοδο 2001 - 2011 (BP Statistical Review of World Energy, 2012)

1.2.2.2. Ζήτηση

Το φυσικό αέριο είναι το μόνο ορυκτό καύσιμο του οποίου η ζήτηση αυξάνει σε όλα τα μελλοντικά σενάρια του World Energy Outlook 2011. Επίσης, μετά το ατύχημα στο πυρηνικό εργοστάσιο στη Φουκουσίμα της Ιαπωνίας τον Μάρτιο του 2011, το φυσικό αέριο θεωρείται το πλέον κατάλληλο καύσιμο σε πιθανή στροφή μακριά από την πυρηνική ενέργεια, κάνοντας έτσι τις προβλέψεις ακόμη πιο ευοίωνες για την αγορά του φυσικού αερίου.

Βάσει του New Policies Scenario (IEA, 2011), η ζήτηση για φυσικό αέριο αναμένεται να φτάσει το 2035 τα 4,75 tcm, μια αύξηση κοντά στο 55% από τη ζήτηση του 2009, με τον ετήσιο ρυθμό αύξησης να υπολογίζεται κατά μέσο όρο στο 1,7%. Το μερίδιο του φυσικού αερίου αναμένεται να φτάσει το 23% το 2035, από το 21% που κατείχε το 2009, «ισοφαρίζοντας» το ποσοστό του γαιάνθρακα. Στο Current Policies Scenario παρατηρείται πιο ραγδαία αύξηση της ζήτησης, κατά μέσο όρο 2% ανά έτος,

φτάνοντας τα 5,1 tcm το 2035, τη στιγμή που το 450 Scenario παρουσιάζει την πιο αργή αύξηση, στα 0,9% ανά έτος μέχρι το 2030, ακολουθώντας έπειτα φθίνουσα πορεία καθώς ο βαθμός διεύθυνσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στην αγορά, αυξάνεται συνεχώς (Εικόνα 1.12. & Πίνακας 1.4.).



Εικόνα 1.12.: Παγκόσμια ζήτηση φυσικού αερίου ανά σενάριο (IEA, 2011)

Πίνακας 1.4.: Ζήτηση φυσικού αερίου ανά περιοχή και σενάριο (Bcm) (IEA, 2011)

	1980	2009	New Policies Scenario		Current Policies Scenario		450 Scenario	
			2020	2035	2020	2035	2020	2035
OECD	959	1518	1705	1841	1714	1927	1597	1476
Non-OECD	557	1558	2183	2909	2215	3160	2068	2400
World	1516	3076	3888	4750	3929	5087	3665	3876
Share of non-OECD	37%	51%	56%	61%	56%	62%	56%	62%

Κατά τα τελευταία χρόνια το φυσικό αέριο και η χρήση του ως φορέα πρωτογενούς ενέργειας απολαμβάνει ιδιαίτερης προσοχής. Αυτό οφείλεται κυρίως 1) στην αυξανόμενη πεποίθηση ότι το φυσικό αέριο θα είναι άφθονο και φθινό στο μέλλον λαμβάνοντας υπόψη και την αυξημένη εκμετάλλευση κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου και στο ότι 2) το φυσικό αέριο θα διευκολύνει τη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών ρύπων άνθρακα (decarbonised economy) μέσω της χρήσης του στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στην οικιακή θέρμανση αλλά και ως καυσίμου στις μεταφορές (McGlade, Speirs, & Sorrell).

Οι ΗΠΑ, κατά την τελευταία δεκαετία, προχώρησαν στην αύξηση της παραγωγής από τα κοιτάσματα μη συμβατικού αερίου εξαιτίας των πολύ υψηλών τιμών που επικρατούσαν, σχετιζόμενες με μια σταδιακή μείωση στην παραγωγή φυσικού αερίου από συμβατικές πηγές (Copeland, Grafton, Hitchins, & Syed, July 2012).

1.3. Μη συμβατικά καύσιμα

1.3.1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου από μη συμβατικές πηγές, στην Ενεργειακή αγορά της Βορείου Αμερικής, έχει παρουσιάσει μεγάλο ρυθμό ανάπτυξης και οι τρέχουσες προβλέψεις δείχνουν ότι η παραγωγή ορισμένων μη συμβατικών ορυκτών καυσίμων θα συνεχίσει να αυξάνει στο εγγύς μέλλον (EIA 2013).

Αφορμή για την ανάκαμψη της πετρελαϊκής βιομηχανίας των ΗΠΑ υπήρξε η πρόοδος της τεχνολογίας και πιο συγκεκριμένα, η εξέλιξη και η εφαρμογή των μεθόδων των οριζοντίων γεωτρήσεων και της υδραυλικής ρωγμάτωσης σε κοιτάσματα μη συμβατικών ορυκτών καυσίμων. Η εφαρμογή των δύο αυτών τεχνολογιών επέτρεψε στο φυσικό αέριο να παραχθεί οικονομικά από τους σχιστολιθικούς και άλλους μη συμβατικούς σχηματισμούς, κατατάσσοντας τις ΗΠΑ στην κορυφή των χωρών με την μεγαλύτερη παραγωγή φυσικού αερίου για το 2009 και έπειτα (BP Statistical Review of World Energy). Η χρήση των τεχνολογιών αυτών συνέβαλε επίσης στην αύξηση της παραγωγής πετρελαίου κατά τα τελευταία χρόνια στις ΗΠΑ. Συγκεκριμένα το 2009 η ετήσια παραγωγή πετρελαίου παρουσίασε αύξηση σε σχέση με το 2008, όντας η πρώτη ετήσια αύξηση από το 1991 και συνέχισε να αυξάνεται κάθε χρόνο από τότε (BP Statistical Review of World Energy).

1.3.2. Ορισμοί

Με τον όρο μη συμβατικές πηγές ενέργειας εννοούνται οι πηγές εκείνες των οποίων η αξιοποίηση τους γίνεται με την χρήση προηγμένων τεχνολογιών, παρά με την κανονική χρήση συμβατικών καυσίμων ως πηγών ενέργειας, όπως είναι το φυσικό αέριο ή το πετρέλαιο.

Στην βιομηχανία του πετρελαίου ο όρος μη συμβατικές πηγές, είναι ο γενικός όρος ο οποίος αναφέρεται στο πετρέλαιο και το φυσικό αέριο το οποίο παράγεται με μέσα τα

οποία δεν πληρούν τα κριτήρια για τη συμβατική παραγωγή. Αυτό που έχει χαρακτηριστεί ως μη συμβατικό σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, είναι μια πολύπλοκη συνάρτηση των χαρακτηριστικών της πηγής, των διαθέσιμων τεχνολογιών έρευνας και παραγωγής, του οικονομικού περιβάλλοντος και της κλίμακας, της συχνότητας και της διάρκειας παραγωγής από την πηγή. Οι αντιλήψεις περί των παραγόντων αυτών αναπόφευκτα αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου και συχνά διαφέρουν μεταξύ των χρηστών του όρου. Την παρούσα στιγμή, ο όρος χρησιμοποιείται ως αναφορά στις πηγές πετρελαίου και φυσικού αερίου των οποίων το πορώδες, η διαπερατότητα, ο μηχανισμός παγίδευσης του ρευστού ή το όποιο άλλο τους χαρακτηριστικό διαφέρει από αυτά των συμβατικών ψαμμιτικών και ανθρακικών ταμιευτήρων. Για παράδειγμα, το μεθάνιο από στρώματα γαιάνθρακα, οι υδρίτες αερίου, το σχιστολιθικό αέριο και οι άμμοι εγκλείστου αερίου θεωρούνται μη συμβατικές πηγές (Schlumberger).

Από τη σκοπιά της γεωλογίας, τα συμβατικά καύσιμα είναι συγκεντρώσεις είτε πετρελαίου, είτε φυσικού αερίου, δεσμευμένες (retained) σε διακριτές παγίδες ή σε σύμπλεγμα (clustered) παγίδων, οι οποίες είναι τεχνικά και οικονομικά εξορύσιμες από κατακόρυφες γεωτρήσεις. Αντίθετα, τα μη συμβατικά καύσιμα είναι συγκεντρώσεις είτε πετρελαίου, είτε αερίου οι οποίες, υπό κανονικές συνθήκες, δεν μπορούν να εξορυχτούν οικονομικά, εκτός και αν εφαρμοστούν εξειδικευμένες τεχνολογίες, όπως π.χ. οι οριζόντιες γεωτρήσεις και η υδραυλική ρωγμάτωση, υπό ευνοϊκές οικονομικές συνθήκες (Zou, 2012). Ενώ οι συμβατικές πηγές υδρογονανθράκων μπορούν να αναπτυχθούν και να παραχθούν χωρίς την εφαρμογή ειδικών μεθόδων ολοκλήρωσης, στην περίπτωση των μη συμβατικών πηγών απαιτείται η ρωγμάτωση του πετρώματος – ταμιευτήρα, ώστε να επιτραπεί η διαφυγή των υδρογονανθράκων από το συνεκτικό πέτρωμα και ακολούθως να οδηγηθεί διαμέσου της γεώτρησης στην επιφάνεια. Οι ειδικές αυτές μέθοδοι ολοκλήρωσης καταστύσαν την αξιοποίηση των μη συμβατικών κοιτασμάτων αντικοινωνική για αρκετά χρόνια.

1.3.3. Τύποι μη συμβατικών ορυκτών καυσίμων

1.3.3.1. Μη συμβατικοί υγροί υδρογονάνθρακες

1.3.3.1.1. Μη συμβατικά πετρέλαια που περιέχονται σε ταμιευτήρες

Tight Oils

Είναι υγροί υδρογονάνθρακες που περιέχονται σε ταμιευτήρες, οι οποίοι με τη σειρά τους χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλό πορώδες και εξίσου χαμηλή διαπερατότητα. Ο όρος «tight oil» χρησιμοποιείται για τις περιπτώσεις εκείνες όπου ο ταμιευτήρας θα πρέπει να «διεγερθεί» ώστε να επιτευχθεί η εμπορική παραγωγή των υδρογονανθράκων που περιέχει. Η παραγωγή των «tight oils» απαιτεί συχνά τη χρήση οριζοντίων γεωτρήσεων και εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης.

Heavy & Extra-heavy oils

Τα πετρέλαια αυτά χαρακτηρίζονται ως βαριά εξαιτίας της υψηλής τους πυκνότητας και του πολύ υψηλού τους ιξώδους. Τα χαρακτηριστικά αυτά καθιστούν αδύνατη την εξόρυξη τους με συμβατικές μεθόδους ακόμη και από υψηλής ποιότητας ταμιευτήρες.

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, τα κοιτάσματα αυτά υπήρξαν κάποτε ως συμβατικά κοιτάσματα στα οποία η φύση του πετρελαίου έχει αλλάξει εξαιτίας της έντονης βακτηριακής δραστηριότητας που έλαβε χώρα. Στις αρχές του 20ου αιώνα, το παχύρευστο αυτό πετρέλαιο εξορυσσόταν με λατόμευση (by quarrying). Σήμερα, η εκμετάλλευση του γίνεται με τη χρήση κατακόρυφων και οριζοντίων γεωτρήσεων, ωστόσο η παραγωγικότητα παραμένει χαμηλή. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται δίδυμες οριζόντιες γεωτρήσεις, όπου εκχέεται ατμός διαμέσου μίας εξ αυτών. Ακολουθώντας, η αύξηση στη θερμοκρασία μειώνει το ιξώδες του πετρελαίου, το οποίο στη συνέχεια εξορύσσεται μέσω της δεύτερης γεώτρησης. Τα μεγαλύτερα αποθέματα heavy και extra heavy πετρελαίου απαντώνται στη Βενεζουέλα και στον Καναδά.

Tar sands (Πισσούχοι άμμοι)

Όπως υποδηλώνει και το όνομα, οι πισσούχοι άμμοι αποτελούνται από άμμο (ο αρχικός ταμιευτήρας) και πίσσα, η οποία είναι ένα μίγμα υδρογονανθράκων εξαιρετικά μεγάλου ιξώδους, ή ακόμη και στερεών, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Και αυτά είναι συμβατικά κοιτάσματα τα οποία οδηγήθηκαν στην επιφάνεια από τεκτονικές κινήσεις, όπου στη συνέχεια ακολούθησε η αποσάθρωσή τους. Η αλλοίωση που επέφερε η βακτηριακή δράση στην περίπτωση αυτή, είναι ακόμη πιο

έντονη από εκείνη που παρατηρείται στα heavy και extra – heavy πετρέλαια, καθιστώντας τα tar sands εξαιρετικά παχύρρευστα. Η εκμετάλλευση των tar sands γίνεται μέσω λατόμευσης (εξόρυξη με μηχανικά μέσα και ακολούθως μεταφορά τους σε μονάδα επεξεργασίας), όπου προτού μεταφερθούν στο διυλιστήριο δέχονται επιτόπου επεξεργασία. Τα μεγαλύτερα αποθέματα βρίσκονται στην επαρχία της Αλμπέρτας στον Καναδά.

1.3.3.1.2. Μη συμβατικά πετρέλαια που περιέχονται σε μητρικά πετρώματα

Oil shales

Με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στο μητρικό πέτρωμα το οποίο αν και πολύ υψηλής ποιότητας, δεν έχει διαμορφωθεί – σχηματισθεί σε ικανοποιητικό βάθος ώστε η οργανική ύλη που περιέχει να μετατραπεί πλήρως σε υδρογονάνθρακες. Προκειμένου να ανακτηθούν οι υδρογονάνθρακες αυτοί, είναι απαραίτητη η τεχνητή αναδημιουργία – αναπαραγωγή των συνθηκών εκείνων που η φύση δεν ήταν σε θέση να δημιουργήσει, με τη θέρμανση του πετρώματος.

Οι σχιστόλιθοι πετρελαίου αφού εξορυχτούν με λατόμευση, θερμαίνονται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (περίπου 450 °C) και στη συνέχεια ανακτάται το προκύπτον πετρέλαιο. Η ενεργειακή απόδοση του συγκεκριμένου τύπου μη συμβατικού πετρελαίου δεν είναι μεγάλη, καθώς ένα μεγάλο μέρος την ενέργειας που παράγεται, καταναλώνεται στη θέρμανση του πετρώματος.

Shale oil

Στην περίπτωση αυτή, το μητρικό πέτρωμα βρίσκεται σε απόσταση κάτω από την επιφάνεια, τόση ώστε η περιεχόμενη οργανική ύλη να έχει μετατραπεί σε υγρούς υδρογονάνθρακες. Ωστόσο, οι υγροί αυτοί υδρογονάνθρακες παραμένουν παγιδευμένοι εντός του μητρικού πετρώματος, ως αποτέλεσμα του πολύ χαμηλού του πορώδους και διαπερατότητας. Η εκμετάλλευση των παγιδευμένων υδρογονανθράκων απαιτεί τη χρήση οριζοντίων γεωτρήσεων και υδραυλικής ρωγμάτωσης για την τεχνητή αύξηση της διαπερατότητας του πετρώματος και κατέσται δυνατή μόνο μετά την πρόοδο που παρουσίασε η τεχνολογία για την εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου. Επί του παρόντος, παραγωγή αυτού του τύπου μη

συμβατικού πετρελαίου παρατηρείται μόνο στη Λεκάνη Williston στα σύνορα ΗΠΑ/Καναδά από τις αρχές της δεκαετίας του 2000 (Gas & Oil).

1.3.3.2. Μη συμβατικοί αέριοι υδρογονάνθρακες

Στην περίπτωση του μη συμβατικού αερίου, το μεθάνιο βρίσκεται εγκλωβισμένο σε αδιαπέρατα πετρώματα πολύ χαμηλού πορώδους, καθιστώντας αδύνατη την εκμετάλλευση του με παραδοσιακές μεθόδους.

1.3.3.2.1. Μη συμβατικά αέρια που περιέχονται σε ταμιευτήρες

Tight gas (Εγκλειστο φυσικό αέριο)

Ο όρος έγκλειστο φυσικό αέριο αναφέρεται στο αέριο το οποίο προέρχεται από ψαμμιτικούς ή ανθρακικούς ταμιευτήρες των οποίων η διαπερατότητα ως προς το αέριο είναι ίση ή μικρότερη του 1 mD (Holditch, June 2006). Η γένεση του αερίου συμβαίνει εκτός του ταμιευτήρα, με τη μετανάστευση του αργότερα προς σ' αυτόν να εμποδίζεται εξαιτίας της χαμηλής διαπερατότητας του ψαμμίτη. Στο World Energy Outlook του 2012, ως έγκλειστο φυσικό αέριο ορίζονται οι χαμηλής διαπερατότητας ταμιευτήρες αερίου των οποίων η παραγωγή δεν θεωρείται οικονομική εάν δεν έχει προηγηθεί η διέγερση τους (π.χ. με υδραυλική ρωγμάτωση) (IEA, 2012).

Αυτό το είδος αερίου βρίσκεται παγιδευμένο σε αδιαπέρατα πετρώματα και μη πορώδη ψαμμιτικούς ή ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, συνήθως σε βάθη μεγαλύτερα των 3500 m κάτω από την επιφάνεια. Σε ένα συμβατικό κοίτασμα φυσικού αερίου, με το που διατρηθεί ο σχηματισμός που το φιλοξενεί, το αέριο μπορεί συνήθως να εξορυχθεί αρκετά εύκολα. Για την εξόρυξη του αερίου όμως από κάποιο συνεκτικό σχηματισμό, θα πρέπει να καταβληθεί ακόμη μεγαλύτερη προσπάθεια. Κάποιες από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία, αν και δαπανηρές, είναι η υδραυλική ρωγμάτωση και χρήση οξέων. Έτσι, όπως και σε όλους τους τύπους μη συμβατικού αερίου, η ύπαρξη μεγαλύτερου οικονομικού κίνητρου με στόχο την προσέλκυση των επενδύσεων για την εξόρυξη αυτών αντί των πιο εύκολα εξορύξιμων αποθεμάτων συμβατικών αερίων υδρογονανθράκων, κρίνεται ως ιδιαίτερα σημαντική (Rigzone).

1.3.3.2.2. Μη συμβατικά αέρια που περιέχονται σε μητρικά πετρώματα

Μεθάνιο από στρώματα γαιάνθρακα - Coalbed Methane (CBM)

Ο γαιάνθρακας, ένα ακόμη ορυκτό καύσιμο, σχηματίζεται στο υπέδαφος κάτω από παρόμοιες γεωλογικές συνθήκες με το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Τα αποθέματα γαιάνθρακα απαντώνται συνήθως ως υπόγεια στρώματα και εξορύσσονται με την εκσκαφή εντός του στρώματος ακολουθούμενη στη συνέχεια από την απομάκρυνση του γαιάνθρακα.

Αρκετά στρώματα γαιάνθρακα περιέχουν επίσης φυσικό αέριο, είτε μέσα στο ίδιο το στρώμα, είτε στα περιβάλλοντα πετρώματα. Το μεθάνιο από στρώματα γαιάνθρακα παραμένει εγκλωβισμένο υπόγεια και γενικά απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα όταν ξεκινήσουν να λαμβάνουν χώρα δραστηριότητες για την εξόρυξη του γαιάνθρακα. Το μεθάνιο αυτό δεν μεταναστεύει από μητρικά πετρώματα, όπως είναι ο σχιστόλιθος, αλλά παράγεται κατά το μετασχηματισμό της οργανικής ύλης σε άνθρακα. Έτσι τα στρώματα γαιάνθρακα δρουν παράλληλα και ως μητρικά πετρώματα αλλά και ως ταμιευτήρες για το φυσικό αέριο. Η μέθοδος της υδραυλικής ρωγμάτωσης στα κοιτάσματα coal-bed methane απαγορεύεται ρητώς, καθώς ο άνθρακας απαντάται κοντά σε επιφανειακούς υδάτινους πόρους. Για την αξιοποίηση του ορύσσονται γεωτρήσεις εντός του στρώματος γαιάνθρακα και ακολούθως αντλείται το νερό που βρίσκεται στο σχηματισμό. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μείωση στην πίεση του σχηματισμού με αποτέλεσμα το μεθάνιο το οποίο βρίσκεται προσροφημένο στα coal macerals, να εκροφηθεί και να οδηγηθεί στην γεώτρηση και από εκεί στην επιφάνεια (United States Environmental Protection Agency).

Παραδοσιακά το coalbed methane θεωρείτο «ενοχλητικό» στη βιομηχανία εξόρυξης γαιάνθρακα. Μόλις κατασκευαστεί το μεταλλείο και αρχίσει να εξορύσσεται ο γαιάνθρακας, το μεθάνιο που περιέχεται στο στρώμα ξεκινά συνήθως από μόνο του να διαρρέει προς το μεταλλείο. Αυτό αποτελεί απειλή για την ασφάλεια, καθώς η πολύ υψηλή συγκέντρωση μεθανίου δημιουργεί επικίνδυνες συνθήκες για τους εργαζόμενους.

Στο παρελθόν το μεθάνιο που συγκεντρώνονταν σε κάποιο μεταλλείο γαιάνθρακα οδηγείτο μέσω του συστήματος εξαερισμού στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, σήμερα το μεθάνιο από στρώματα γαιάνθρακα έχει καταστεί ένα δημοφιλές είδος μη

συμβατικού αερίου. Το μεθάνιο αυτό μπορεί να εξαχθεί και να εκχυθεί εντός αγωγών φυσικού αερίου για μεταπώληση, να χρησιμοποιηθεί ως βιομηχανική πρώτη ύλη ή να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή θερμότητας και ενέργειας.

Υδρίτες Μεθανίου - Methane hydrates

Οι υδρίτες μεθανίου είναι η πιο πρόσφατη μορφή μη συμβατικού αερίου που έχει ανακαλυφθεί και ερευνηθεί. Είναι κρυσταλλικό στερεό αποτελούμενο από μόρια αερίου, συνήθως μεθανίου, με το καθένα από αυτά να περιβάλλεται από ένα πλέγμα μορίου νερού. Ο υδρίτης μεθανίου βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση σε ωκεάνια ιζήματα με βάθος νερού μεγαλύτερου των 300m, ενώ φημίζεται για τις συγκολλητικές του ιδιότητες καθώς δημιουργεί επιφανειακά στρώματα πάχους αρκετών εκατοντάδων μέτρων, συνενώνοντας τα χαλαρά ιζήματα που βρίσκονται τριγύρω (United States Geological Survey).

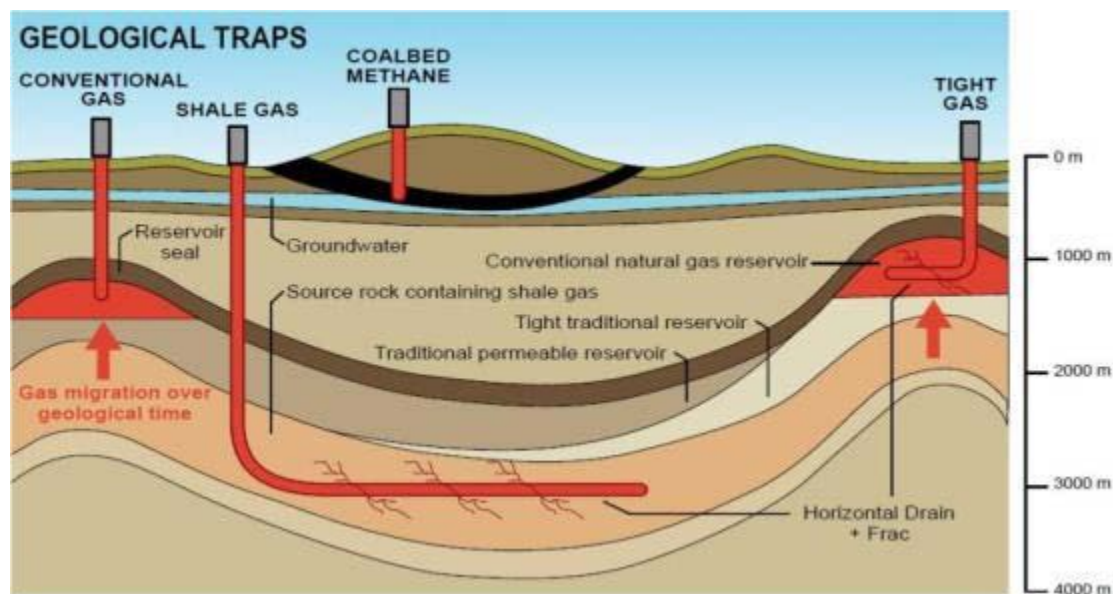
Στη φύση, όλες οι συνθήκες για την ύπαρξη υδριτών εντός της ζώνης σταθερότητας τους, ικανοποιούνται στο ανώτερο τμήμα της ιζηματογενούς στήλης στην Αρκτική (πολύ χαμηλή θερμοκρασία και χαμηλή πίεση) και στο ανώτερο τμήμα βαθιών θαλάσσιων ιζημάτων (υψηλή πίεση και χαμηλή θερμοκρασία). Προς το παρόν εμπορική εκμετάλλευση υδριτών μεθανίου δεν παρατηρείται πουθενά ανά την υφήλιο, ενώ δοκιμαστικές γεωτρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί μόνο στον Καναδά και την Ιαπωνία (Pfeifer, 2014).

Shale gas

Οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί οι οποίοι φέρουν αέριο είναι λεπτόκοκκα, πλούσια σε οργανική ύλη ιζηματογενή πετρώματα και αποτελούν παράλληλα τον ταμειυτήρα αλλά και το μητρικό πέτρωμα για το αέριο. Το σχιστολιθικό αέριο αποθηκεύεται ως ελεύθερο αέριο στους πόρους του πετρώματος και στα συστήματα φυσικών ρωγμών, ενώ ως προσροφημένο αποθηκεύεται στην οργανική ύλη (κηρογόνο) και στις επιφάνειες αργιλικών, κυρίως, ορυκτών (Das, 2012). Η χαμηλή διαπερατότητα του πετρώματος αποτρέπει στο αέριο να μεταναστεύσει σε πιο πορώδη αποθήκευτρα πετρώματα. ενώ πριν από μερικά χρόνια. Οι τεχνικές των οριζοντίων γεωτρήσεων και της υδραυλικής ρωγμάτωσης ήταν αυτές που κατέστησαν αξιοποιήσιμα τα

κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου, καθώς χωρίς την εφαρμογή τους το φυσικό αέριο δεν θα έρεε σε τέτοιο βαθμό ώστε να δικαιολογούνται τα έξοδα εκμετάλλευσης του.

Στην Εικόνα 1.13. εκτός των διαφορών μεταξύ των ταμιευτήρων συμβατικού και μη συμβατικού αερίου (στην περίπτωση αυτή περιλαμβάνονται το σχιστολιθικό αέριο, το έγκλειστο αέριο και το μεθάνιο από κοιτάσματα γαιάνθρακα), απεικονίζονται και οι διαφορές στις τεχνικές εξόρυξης τους.



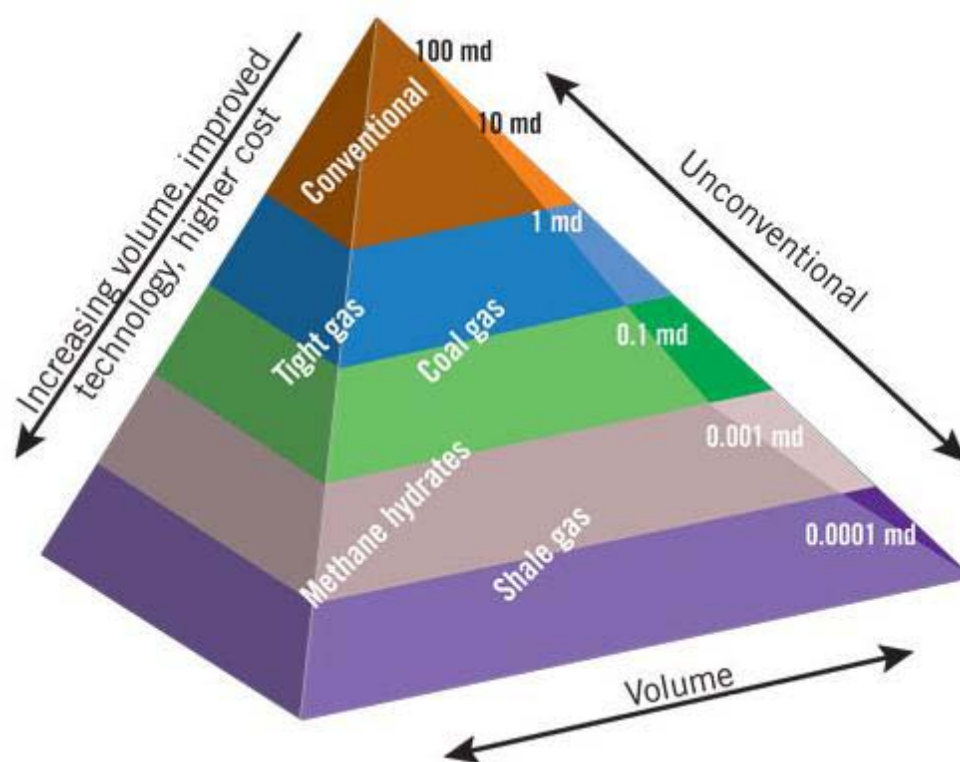
Εικόνα 1.13.: Σχηματική αναπαράσταση όπου απεικονίζονται οι διάφοροι τύποι μη συμβατικών ταμιευτήρων (Department of Mines and Petroleum, Government of Western Australia)

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η διάκριση μεταξύ συμβατικών και μη συμβατικών ορυκτών καυσίμων, σύμφωνα και με την προαναφερθείσα αναφορά στα ειδικά χαρακτηριστικά των αποθήκευτων πετρωμάτων (πορώδες, διαπερατότητα) που έχουν υποδεχθεί και δεσμεύσει αυτά τα ρευστά, βασίζεται στη διαβάθμιση συγκεκριμένων κρίσιμων ιδιοτήτων όπως π.χ της διαπερατότητας. Η διαβάθμιση αυτή αποτυπώνεται σχηματικά με την μορφή μιας πυραμίδας (πυραμίδα απεικόνισης δυνητικών πόρων-resource pyramid) όπου η εξέλιξη των τιμών της διαπερατότητας βαίνει προς τις πλέον θετικές (μεγαλύτερες) τιμές προς την κορυφή της πυραμίδας.

Η ιδέα της **πυραμίδας απεικόνισης δυνητικών πόρων** υιοθετήθηκε για πρώτη φορά από τους Masters & Gray και έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη όσον αφορά την αποτύπωση της κατανομής των φυσικών πόρων ανά τον κόσμο (Masters & Gray, 1980). Στην Εικόνα 1.14 απεικονίζεται μια τέτοια πυραμίδα προσαρμοσμένη στην περίπτωση του φυσικού αερίου. Η βασική ιδέα είναι η απεικόνιση των μέχρι τώρα

γνωστών τύπων συγκεντρώσεων φυσικού αερίου και η κατάταξη τους ανάλογα με τις τιμές της κρίσιμης ιδιότητας του ταμιευτήρα, την διαπερατότητα.

Στο άνω μέρος (κορυφή) της πυραμίδας βρίσκονται τα καλής ποιότητας αποθήκευτρα πετρώματα (reservoirs) με τιμές διαπερατότητας μεγαλύτερες των 10 mD, ενώ βαίνοντας προς την βάση της πυραμίδας οι τιμές της διαπερατότητας μειώνονται, οι ταμιευτήρες γίνονται ολοένα και χαμηλότερης ποιότητας, ενώ οι εκτιμώμενοι δυνητικοί πόροι αυξάνονται υποδηλώνοντας ταυτόχρονα την απαίτηση για εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών για την ανάκτηση των πόρων αυτών και τη μείωση του κόστους εξόρυξης.



Εικόνα 1.14.: Η πυραμίδα απεικόνιση δυνητικών πόρων όπου αποτυπώνεται σχηματικά η διαθεσιμότητα των πόρων φυσικού αερίου, σε συνάρτηση με αναμενόμενες τιμές διαπερατότητας (Oil & Gas Journal)

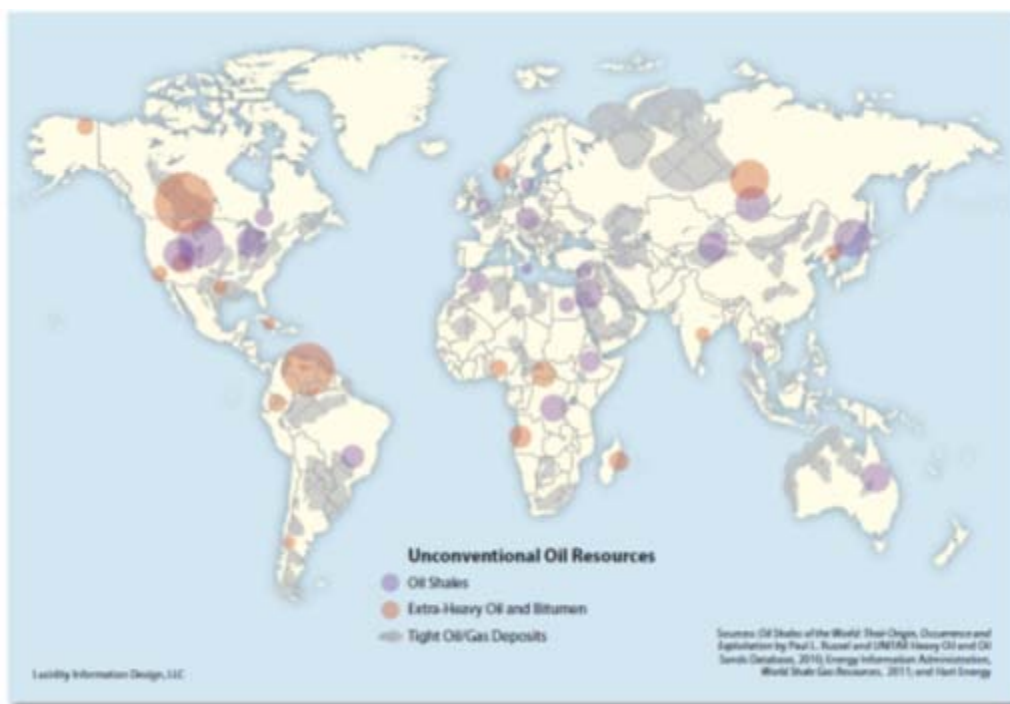
1.3.4. Εκτίμηση αποθεμάτων - Χωρική αποτύπωση

1.3.4.1. Μη συμβατικό πετρέλαιο

Αποθέματα μη συμβατικού πετρελαίου απαντώνται σχεδόν σε όλο τον κόσμο. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από την Εικόνα 1.15, στην οποία απεικονίζονται οι γεωγραφικές περιοχές με τα εκτιμώμενα, βάσει της υπάρχουσας γνώσης, αποθέματα μη συμβατικού πετρελαίου, τα συνολικά παγκόσμια αποθέματα πετρελαίου δεν θα

είναι πλέον συγκεντρωμένα σε περιοχές όπως η Μέση Ανατολή, η Αφρική και η Ρωσία. Τα «νέα» αποθέματα πετρελαίου αναμένεται πρώτα να αξιοποιηθούν στο Δυτικό Ημισφαίριο και σε παγκόσμιο επίπεδο, μακροπρόθεσμα.

Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (International Energy Agency – IEA) προβλέπει ότι η Βόρειος Αμερική κατέχει τα μεγαλύτερα αποθέματα μη συμβατικού πετρελαίου - extra-heavy oil, bitumen oil (tar sands) και kerogen oil (oil shales) – με τις εκτιμήσεις να κάνουν λόγο για ποσότητα 50% μεγαλύτερη από τα συνολικά αποθέματα συμβατικού πετρελαίου της Μέσης Ανατολής. Μεγάλα αποθέματα πιστεύεται ότι υπάρχουν στην Ανατολική Ευρώπη και την Ευρασία, όπως επίσης και στην Λατινική Αμερική (International Institute for Applied Systems Analysis, 2012)

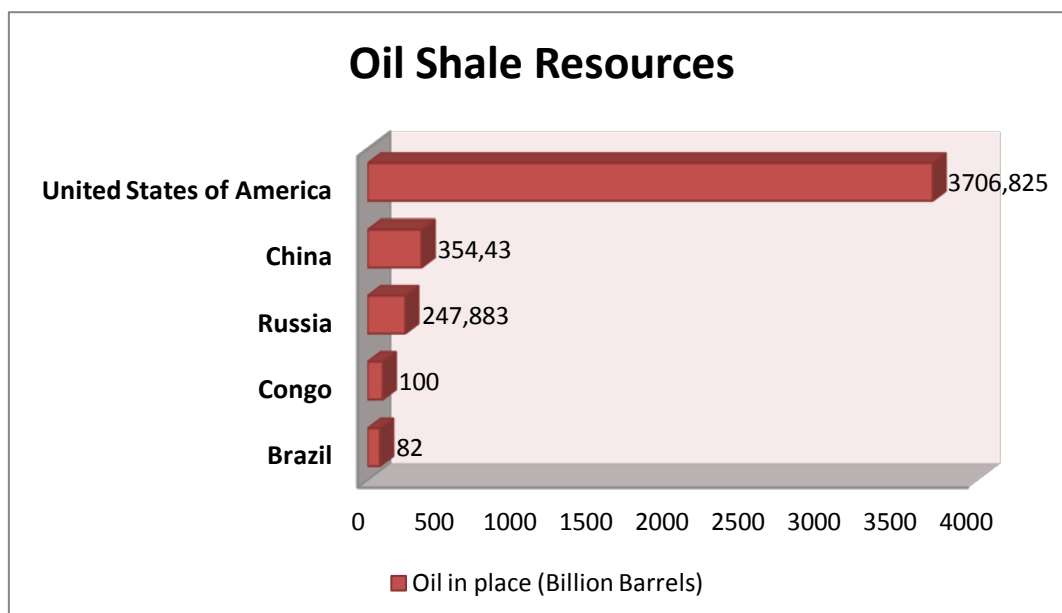


Εικόνα 1.15.: Αποθέματα μη συμβατικού πετρελαίου (Lucidity Information Design)

Oil shale

Το oil shale έχει τη δυνατότητα να καταστεί ως μια από τις μεγαλύτερες πηγές μη συμβατικών υδρογονανθράκων στον κόσμο. Τα γνωστά κοιτάσματα oil shale κατανέμονται σε 38 χώρες (World Energy Council, 2010). Οι ΗΠΑ, με 3,7 τρισεκατομμύρια βαρέλια αρχικών επιτόπου αποθεμάτων, κατέχουν τα μεγαλύτερα αποθέματα oil shale παγκοσμίως (Εικόνα 1.16), εκ των οποίων ποσοστό πέραν του

80% απαντάται στον σχηματισμό Green River στις Δυτικές ΗΠΑ (Walker, 2012) . Περίπου 353 δισεκατομμύρια βαρέλια θεωρούνται «υψηλής ποιότητας» (>25 γαλόνια πετρελαίου ανά τόνο σχιστόλιθου), τα οποία επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες των ΗΠΑ για πετρέλαιο για τα επόμενα 50 χρόνια (USGS, 2012).

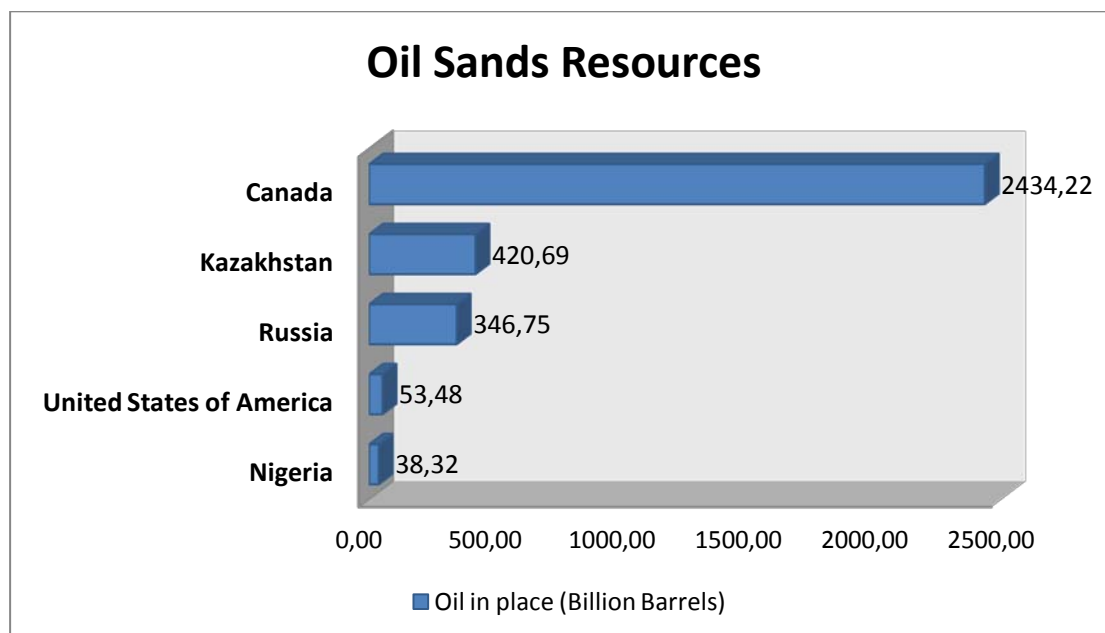


Εικόνα 1.16.: Αρχικά επιτόπου αποθέματα oil shale (World Energy Council, 2010)

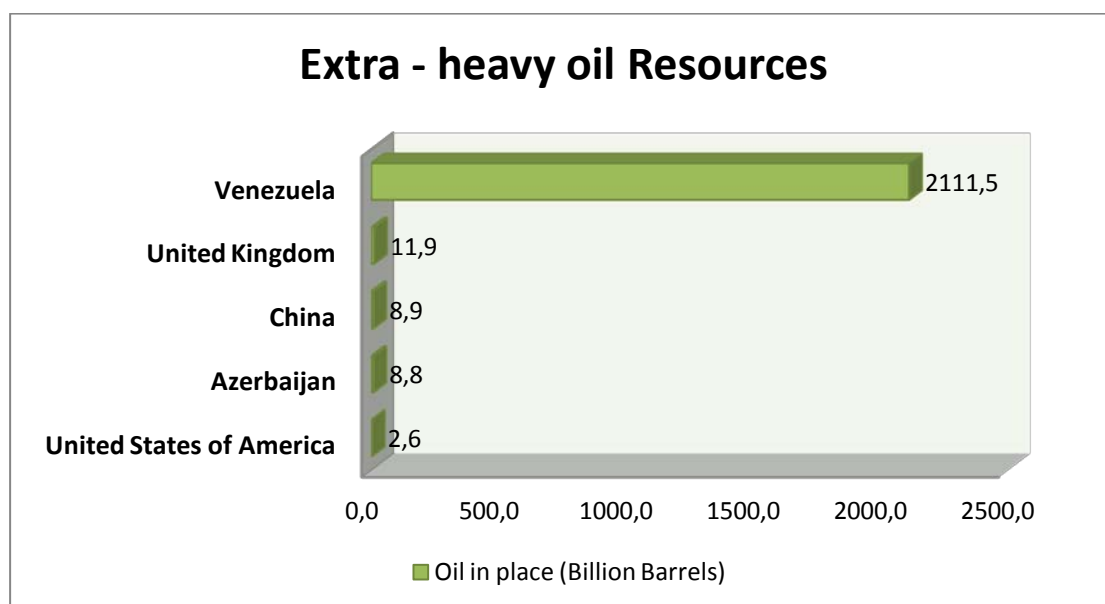
Oil sands (Tar sands) και Extra - heavy oil

Όσον αφορά τα κοιτάσματα oil sands, αυτά υπάρχουν σε 23 χώρες (World Energy Council, 2010). Ο Καναδάς, με αρχικά επιτόπου αποθέματα 2,4 τρισεκατομμύρια βαρέλια, κατέχει το 73% των εκτιμώμενων αποθεμάτων oil sands. Οι ΗΠΑ κατέχουν ποσοστό μικρότερο του 2% στα παγκόσμια αποθέματα oil sands (Εικόνα 1.17). Ωστόσο ποσοστό της τάξεως του 28% των εισαγωγών αργού πετρελαίου στις ΗΠΑ κατά το 2012 προήλθε από τον Καναδά. Τέλος για την ίδια χρονιά, πέραν από το 50% της συνολικής παραγωγής στον Καναδά προέρχεται από oil sands (National Energy Board) (U.S. EIA).

Για το extra - heavy oil υπάρχουν συνολικά 166 καταγεγραμμένα κοιτάσματα, με τα μεγαλύτερα από αυτά να βρίσκονται στην Orinoco Oil Belt της ανατολικής Βενεζουέλας (Εικόνα 1.18). Τα κοιτάσματα απαντώνται σε 21 χώρες, με τα 13 εξ αυτών να είναι υπεράκτια (World Energy Council, 2010).



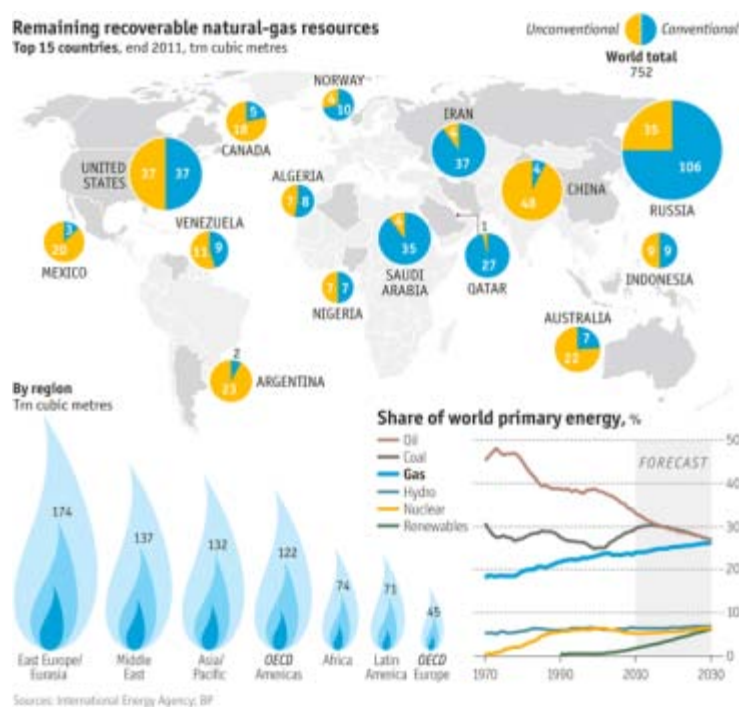
Εικόνα 1.17.: Αρχικά επιτόπου αποθέματα oil sands (World Energy Council, 2010)



Εικόνα 1.18.: Αρχικά επιτόπου αποθέματα extra - heavy oil (World Energy Council, 2010)

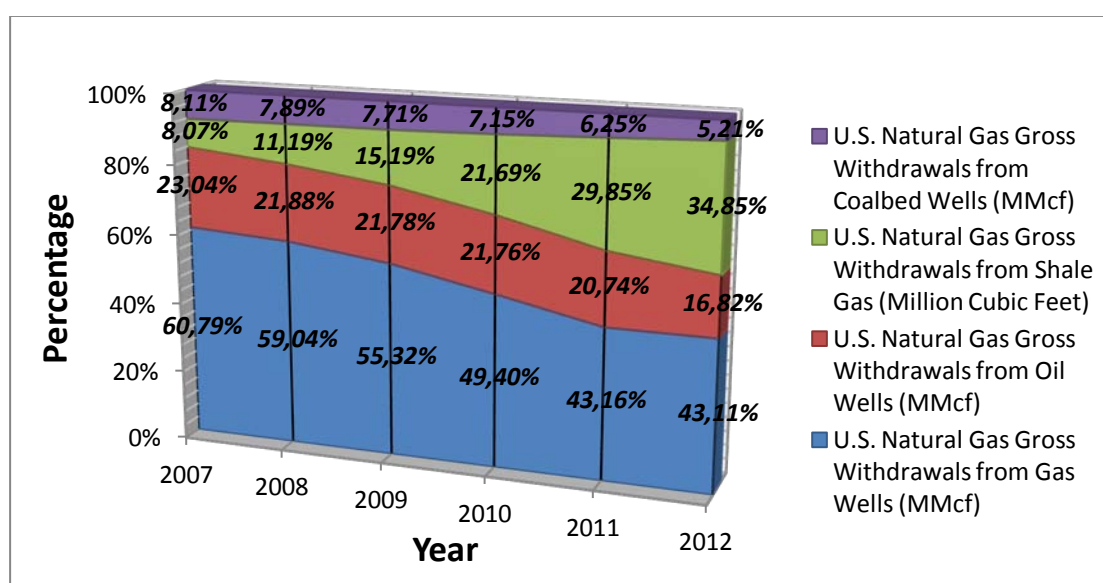
1.3.4.2. Μη συμβατικό αέριο

Τα παγκόσμια αποδεδειγμένα αποθέματα φυσικού αερίου αυξάνονται σταθερά τα τελευταία 30 χρόνια (U.S. EIA). Σύμφωνα με έκθεση του MIT, η οποία δημοσιεύθηκε το 2011, και η παγκόσμια παραγωγή έχει επίσης αυξηθεί σημαντικά, παρουσιάζοντας αύξηση πέραν του 40% μεταξύ του 1990 και του 2009 (MIT, 2011). Μόλις πριν από λίγα χρόνια τα αποθέματα φυσικού αερίου φαινόταν να επαρκούν μόνο για 50 ή 60 χρόνια. Ωστόσο με τη συμβολή των αποθεμάτων από τα μη συμβατικά, όπως επίσης και από τα νεοεφευρεθέντα κοιτάσματα συμβατικού αερίου, η περίοδος αυτή έχει αυξηθεί φτάνοντας στα 200 χρόνια ή και περισσότερα (ExxonMobil). Από τα εκτιμώμενα εναπομείναντα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα φυσικού αερίου, τα 11639 Tcf από τα συνολικά 26506 Tcf, προέρχονται από μη συμβατικές πηγές, ποσότητα που αναλογεί στο 43,9 % του συνόλου (Εικόνα 1.19). Το σχιστολιθικό αέριο κατέχει ποσοστό της τάξεως του 67% των παγκοσμίων τεχνικά ανακτήσιμων αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου, ενώ η IEA (International Energy Agency) εκτιμά, στο πιο ελπιδοφόρο της σενάριο, ότι το μερίδιο του φυσικού αερίου στο παγκόσμιο ισοζύγιο ενέργειας θα ανέλθει στο 25% από το 21% σήμερα εάν η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου συνεχίσει με αμείωτους ρυθμούς (IEA, 2012) (IEA, 2011) (U.S. EIA, 2013).



Εικόνα 1.19: Εναπομείναντα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα φυσικού αερίου (IEA, BP)

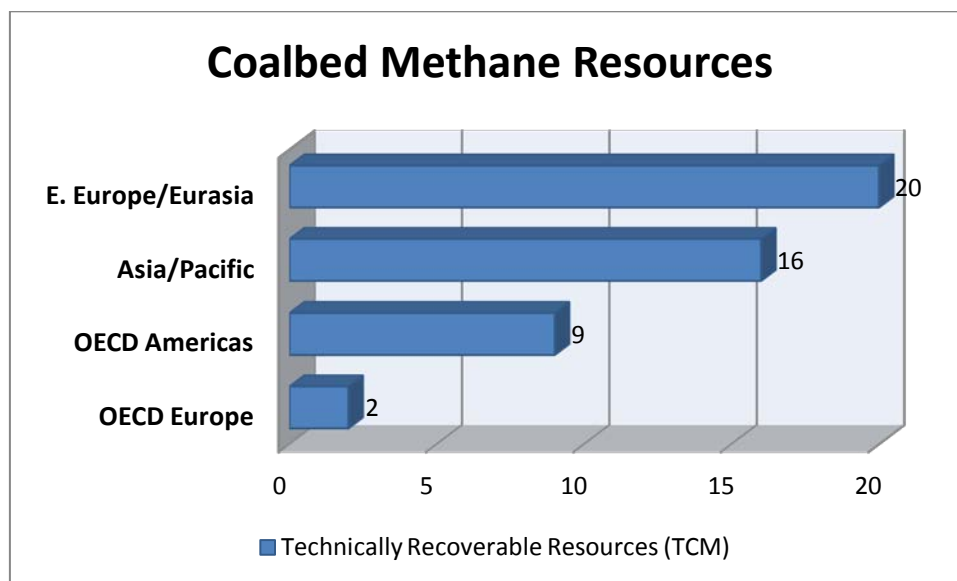
Σε σχέση με τα μη συμβατικά κοιτάσματα φυσικού αερίου, τα συμβατικά ήταν αυτά που ανέκαθεν παρουσίαζαν μεγαλύτερη ευκολία στην εκμετάλλευσή τους. Ωστόσο, καθώς η τεχνολογία και η γεωλογική γνώση προοδεύουν, τα κοιτάσματα μη συμβατικού αερίου αρχίζουν να αποκτούν, με την πάροδο του χρόνου, ολοένα και μεγαλύτερο ποσοστό στη συνολική παραγωγή του φυσικού αερίου. Στην Εικόνα 1.20 παρουσιάζεται το ποσοστό που καταλαμβάνει η κάθε πηγή στη συνολική παραγωγή φυσικού αερίου κατά την πενταετία 2007 – 2012 στην αγορά των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, όπου μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί η τεράστια άνοδος που παρουσίασε η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου (U.S. EIA).



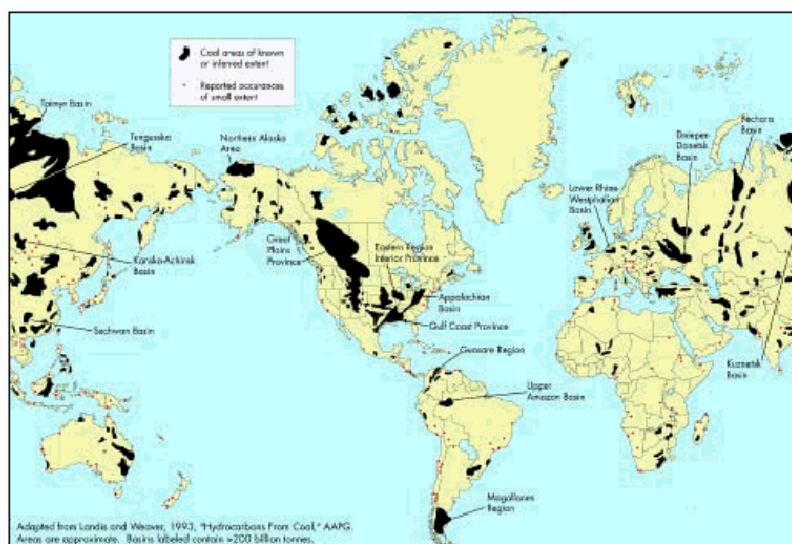
Εικόνα 1.20.: Ποσοστό συμμετοχής της κάθε πηγής στη συνολική παραγωγή φυσικού αερίου (U.S. EIA)

Coal bed methane

Η παραγωγή μεθανίου από στρώματα γαιάνθρακα συνδέεται με την κανονική εξόρυξη γαιάνθρακα, καθώς όλες σχεδόν οι παραγωγές χώρες γαιάνθρακα έχουν επικεντρώσει την προσοχή τους στον συγκεκριμένο τύπο μη συμβατικού αερίου. Από τις 74 χώρες που παράγουν γαιάνθρακα, οι 35 έχουν μελετήσει το θέμα του μεθανίου από στρώματα γαιάνθρακα, ενώ 37 χώρες έχουν διεξάγει δοκιμές έρευνας και παραγωγής. Οι χώρες με τα μεγαλύτερα γνωστά αποθέματα μεθανίου από στρώματα γαιάνθρακα είναι η Βόρειος Αμερική, η Ρωσία, η Κίνα και η Αυστραλία (Εικόνα 1.21 & 1.22) (Zou, 2013) (IEA, 2012) (World Energy Council, 2013).



Εικόνα 1.21.: Τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα Coalbed Methane (IEA, 2012)

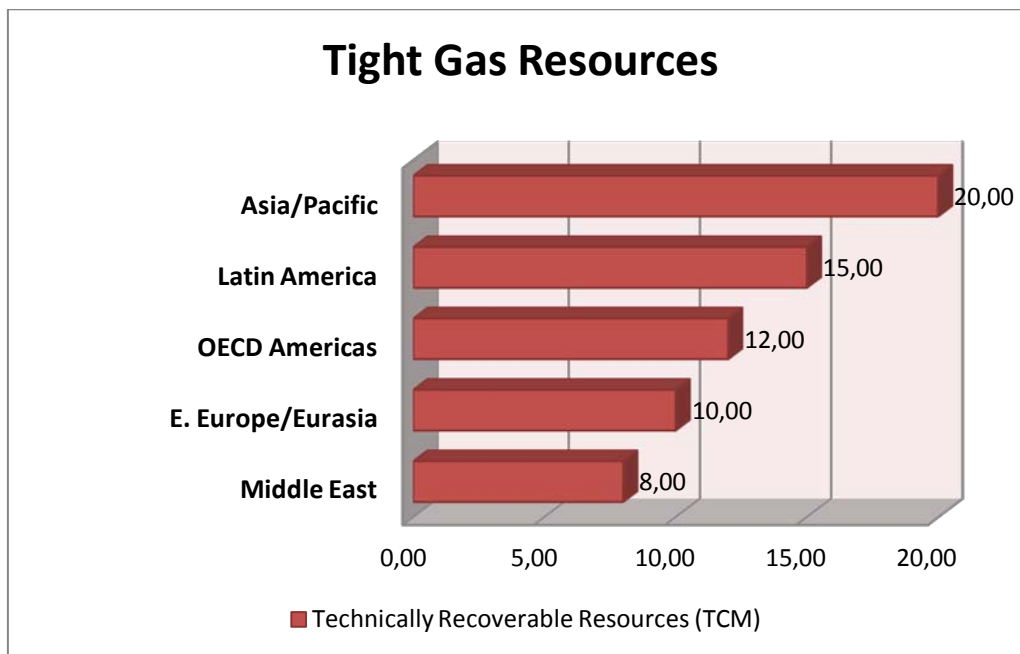


Εικόνα 1.22.: Κατανομή των αποθεμάτων Coalbed Methane (CBM Asia)

Tight gas

Η ανάπτυξη των κοιτασμάτων έγκλειστου αερίου προηγήθηκε αυτής των άλλων μη συμβατικών πηγών αερίου, με την παραγωγή του να καταλαμβάνει το 75% της συνολικής παραγωγής μη συμβατικού αερίου. Μέχρι στιγμής πέραν των 900 πεδίων έγκλειστου αερίου (tight gas fields) έχουν ανακαλυφθεί στη Βόρεια Αμερική, με τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα να φτάνουν τα 11 Tcm. Ένας αριθμός πέραν των 100000 γεωτρήσεων έχει μέχρι στιγμής ορυχθεί, από τις οποίες κατά το έτος 2009 παρήχθησαν 186 Bcm φυσικού αερίου (EIA, 2011), (Ζου, 2013). Τα παγκόσμια τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα έγκλειστου αερίου ανέρχονται στα 76 Tcm, με τα

μεγαλύτερα να βρίσκονται στις περιοχές Ασίας/Ειρηνικού Ωκεανού και Λατινικής Αμερικής (Εικόνα 1.23) (IEA, 2012).



Εικόνα 1.23.: Τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα Tight gas (IEA, 2012)

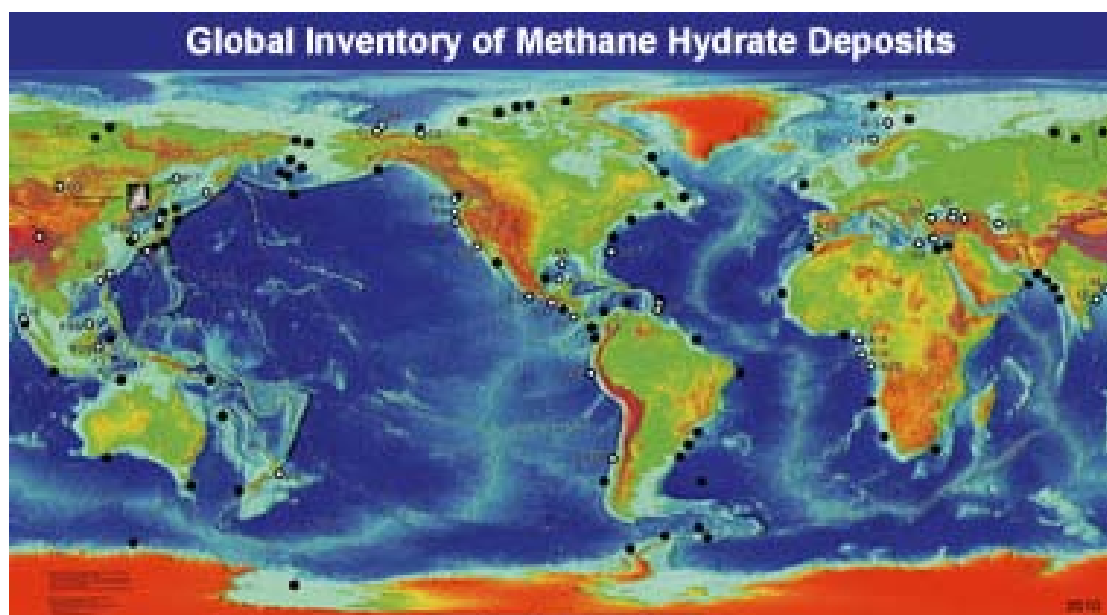
Methane hydrates

Τα αποθέματα αερίου που περιέχονται στους υδρίτες, εκτιμάται να είναι μεγαλύτερα από αυτά των άλλων πηγών φυσικού αερίου μαζί, ωστόσο δεν δύνανται να παραχθούν με τη σημερινή διαθέσιμη τεχνολογία. Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι εκτιμήσεις για τη συνολική ποσότητα αρχικών επιτόπου αποθεμάτων αερίου σε μορφή υδρίτη ποικίλουν σημαντικά, με κάποιες από αυτές να κάνουν λόγο για αποθέματα μεταξύ 1000 με 120000 Tcm (Englezos, 2010).

Τα γήινα περιβάλλοντα τα οποία παρουσιάζουν τις κατάλληλες θερμοκρασιακές συνθήκες, όπως επίσης και τις κατάλληλες συνθήκες πίεσης για τον σχηματισμό και την παροχή σταθερότητας στον υδρίτη μεθανίου είναι τα εξής: 1) τα ιζήματα και τα ιζηματογενή πετρώματα κάτω από το μόνιμα παγωμένο έδαφος της Αρκτικής, 2) ιζηματογενείς αποθέσεις κατά μήκος των ηπειρωτικών περιθωρίων, 3) ιζήματα σε μεγάλα βάθη εσωτερικών λιμνών και θαλασσών (inland lakes and seas) και 4) κάτω από τον πάγο της Ανταρκτικής. Με μόνη εξαίρεση τα αποθέματα της Ανταρκτικής, οι συσσωρεύσεις υδριτών μεθανίου δεν βρίσκονται σε μεγάλα βάθη κάτω από την

επιφάνεια της Γης (Εικόνα 1.24). Στις πλείστες των περιπτώσεων ο υδρίτης βρίσκεται εντός μερικών εκατοντάδων μέτρων από την επιφάνεια του ιζήματος (geology.com).

Παρά το γεγονός ότι οι συσσωρεύσεις υδριτών μεθανίου βρίσκονται σε δύσκολα περιβάλλοντα και παρουσιάζουν αρκετές τεχνικές προκλήσεις, εντούτοις είναι ευρέως καταναμημένες αποτελώντας παράλληλα τη μεγαλύτερη πηγή υδρογονανθράκων στη Γη. Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, στον Καναδά, στην Ιαπωνία και στην Ινδία παρατηρείται έντονη ερευνητική δραστηριότητα με στόχο την εύρεση των βιώσιμων εκείνων τεχνολογιών που θα επιτρέψουν την παραγωγή των υδριτών αερίου (geology.com).



Εικόνα 1.24: Κατανομή παγκοσμίων αποθεμάτων υδριτών μεθανίου (geology.com)

1.3.4.3. *Shale gas & shale oil*

Τα εκτιμώμενα αποθέματα σχιστολιθικού πετρελαίου και αερίου στις ΗΠΑ και σε 137 σχιστολιθικούς σχηματισμούς σε 41 άλλες χώρες, αντιπροσωπεύουν το 10% και το 32% των παγκόσμιων τεχνικά ανακτήσιμων αποθεμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου, αντίστοιχα.

Πίνακας 1.5. Τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού πετρελαίου και αερίου, στο πλαίσιο των παγκοσμίων αποθεμάτων (U.S. EIA, 2013)

Table 1. Technically recoverable shale oil and shale gas resources in the context of total world resources

	Crude oil (billion barrels)	Wet natural gas (trillion cubic feet)
Outside the United States		
Shale oil and shale gas ¹	287	6,634
Non-shale ²	2,847	13,817
Total	3,134	20,451
Increase in total resources due to inclusion of shale oil and shale gas	10%	48%
Shale as a percent of total	9%	32%
United States³		
Shale / tight oil and shale gas	58	665
Non-shale	164	1,766
Total	223	2,431
Increase in total resources due to inclusion of shale oil and shale gas	35%	38%
Shale as a percent of total	26%	27%
Total World		
Shale / tight oil and shale gas	345	7,299
Non-shale	3,012	15,583
Total	3,357	22,882
Increase in total resources due to inclusion of shale oil and shale gas	11%	47%
Shale as a percent of total	10%	32%

Ποσοστό πέραν του 50% των εντοπισμένων αποθεμάτων σχιστολιθικού πετρελαίου εκτός των ΗΠΑ, βρίσκεται συγκεντρωμένο σε τέσσερις χώρες, στη Ρωσία, στην Κίνα, στην Αργεντινή και τη Λιβυή (Πίνακας 1.6). Την ίδια στιγμή, πέραν του ήμισυ των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου εκτός ΗΠΑ, απαντάται στην Κίνα, στην Αλγερία, στον Καναδά και στο Μεξικό. Οι ΗΠΑ κατατάσσονται στη δεύτερη θέση πίσω από την Ρωσία και στην τέταρτη πίσω από την Αλγερία, ως προς το μέγεθος των αποθεμάτων σχιστολιθικού πετρελαίου και αερίου, αντίστοιχα (Πίνακας 1.7).

Πίνακας 1.6.: Οι 10 χώρες με τα υψηλότερα εκτιμώμενα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού πετρελαίου (U.S. EIA, 2013)

Rank	Country	Shale oil (billion barrels)	
1	Russia	75	
2	U.S. ¹	58	(48)
3	China	32	
4	Argentina	27	
5	Libya	26	
6	Australia	18	
7	Venezuela	13	
8	Mexico	13	
9	Pakistan	9	
10	Canada	9	
World Total		345	(335)

¹ EIA estimates used for ranking order. ARI estimates in parentheses.

Πίνακας 1.7.: Οι 10 χώρες με τα υψηλότερα εκτιμώμενα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου (U.S. EIA, 2013)

Rank	Country	Shale gas (trillion cubic feet)	
1	China	1,115	
2	Argentina	802	
3	Algeria	707	
4	U.S. ¹	665	(1,161)
5	Canada	573	
6	Mexico	545	
7	Australia	437	
8	South Africa	390	
9	Russia	285	
10	Brazil	245	
World Total		7,299	(7,795)

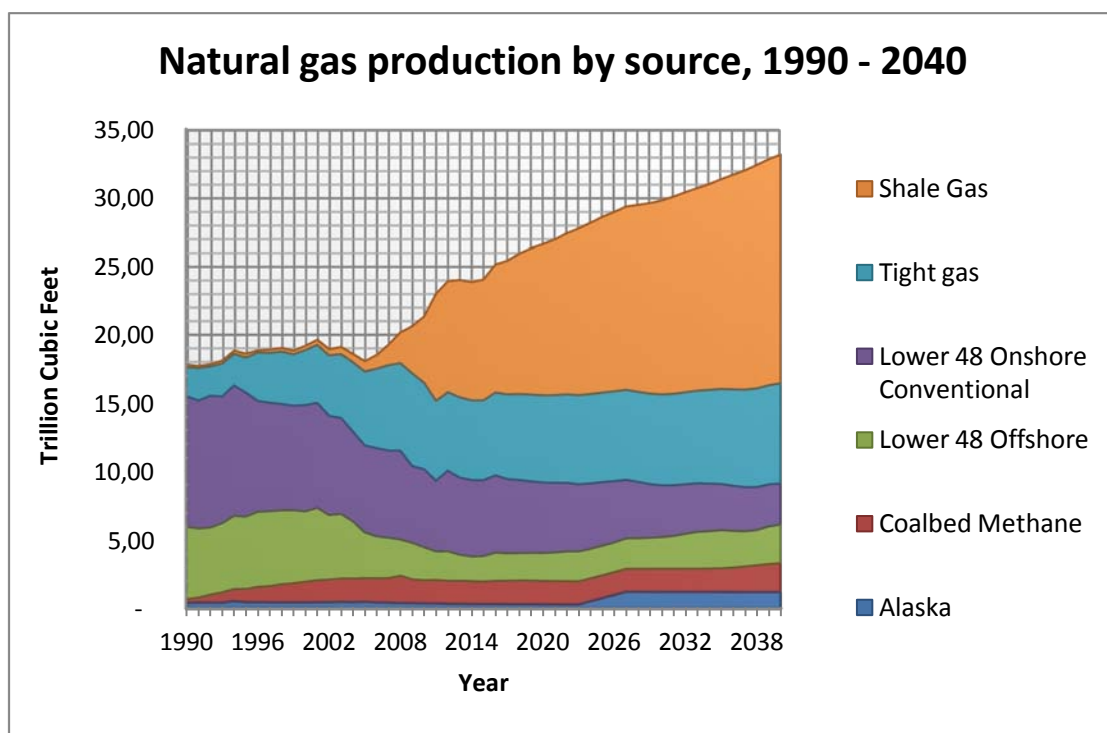
¹ EIA estimates used for ranking order. ARI estimates in parentheses.

Η μεγάλης κλίμακας παραγωγή σχιστολιθικού αερίου έκανε την εμφάνιση της γύρω στο 2000, αρχής γενομένης από τον σχιστολιθικό σχηματισμό Barnett στο βορειο-κεντρικό Τέξας. Η εμπορική επιτυχία στο συγκεκριμένο σχηματισμό διευρυνόταν συνεχώς, προσελκύοντας παράλληλα το ενδιαφέρον αρκετών εταιρειών, με αποτέλεσμα το 2005 η παραγωγή φυσικού αερίου, μόνο από το σχηματισμό Barnett, να ανέλθει στα 500 BCF (U.S. EIA, 2011).

Καθώς οι παραγωγοί φυσικού αερίου απέκτησαν αυτοπεποίθηση στην ικανότητα τους να παράγουν επικερδώς φυσικό αέριο από τον σχηματισμό Barnett, άρχισαν να επιδιώκουν την ανάπτυξη άλλων σχιστολιθικών σχηματισμών, ξεκινώντας με τον Fayetteville στο βόρειο Arkansas και συνεχίζοντας με τους Haynesville, Marcellus, Woodford και Eagle Ford.

Σύμφωνα με την EIA, η εξάπλωση των δραστηριοτήτων σε νέα πιθανά έργα (plays) σχιστολίθου έχει αυξήσει την παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου από τα 0.3 TCF το 2000, στα 9.6 TCF το 2012, ποσοστό που αντιστοιχεί στο 40 % της συνολικής παραγωγής φυσικού αερίου στις ΗΠΑ (EIA, 2013). Επίσης, η EIA στην υπόθεση αναφοράς (reference case) του AEO 2013, αναμένει ότι η συνολική παραγωγή φυσικού αερίου θα αυξηθεί κατά 44 %, ως αποτέλεσμα της αυξημένης ανάπτυξης που αναμένεται να έχουν οι πηγές μη συμβατικού αερίου. Τη μεγαλύτερη αύξηση αναμένεται να παρουσιάσει η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, καθώς το μερίδιό της στη συνολική παραγωγή φυσικού αερίου σκαρφαλώνει από το 34% το 2011 στο 50% για το 2040. Τέλος, η παραγωγή του

έγκλειστου αέριου, όπως επίσης και του μεθανίου από στρώματα γαιάνθρακα, αυξάνει παρά το γεγονός ότι το μερίδιό τους στη συνολική παραγωγή μειώνεται ελάχιστα (Εικόνα 1.25).



Εικόνα 1.25. Παραγωγή φυσικού αερίου το διάστημα 1990 – 2040 (U.S. EIA, 2013)

Βιβλιογραφία

- (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.bp.com/sectiongenericarticle800.do?categoryId=9037318&contentId=7068756>
- BP. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.bp.com/sectiongenericarticle800.do?categoryId=9037318&contentId=7068756>
- BP Statistical Review of World Energy. (2012, June). Ανάκτηση από www.bp.com/statisticalreview
- Canadian Association of Petroleum Producers. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.capp.ca/CANADAINDUSTRY/NATURALGAS/CONVENTIONAL-UNCONVENTIONAL/Pages/default.aspx>
- Copeland, A., Grafton, Q., Hitchins, N., & Syed, A. (July 2012). *Gas Market Report*. Australian Government Bureau of Resources and Energy Economics.
- Das, J. (2012). Extracting Natural Gas Through Desorption in Shale Reservoirs.
- Department of Mines and Petroleum, Government of Western Australia. (n.d.). Ανάκτηση από http://www.nt.gov.au/d/Minerals_Energy/Content/Image/UnconventionalOilandGas/GasAccumulationInBasins.jpg
- Economics, A. G. (July 2012). *Gas Market Report*.
- Encyclopedia Britannica. (n.d.). Ανάκτηση από www.britannica.com
- Finley, M. (2012). *The Oil Market to 2030 - Implications for Investment and Policy*.
- Holditch, S. A. (June 2006). Tight Gas Sands. *JPT* .
- Ingersoll, J. G. (1996). *Natural Gas Vehicles*.
- Masters, J., & Gray, J. (1980). *Resource Pyramid*.
- McGlade, C., Speirs, J., & Sorrell, S. *Unconventional Gas -A review of estimates*.
- Offshore Magazine. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.offshore-mag.com/articles/print/volume-73/issue-02/departments/comment/qatari-energy-minister-outlines-challenges-ahead.html>

Oil & Gas Journal. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.ogj.com/articles/print/vol-110/issue-3/drilling-production/special-report-drilling/maximizing-postfrac.html>

Optimization of Completions in Unconventional Reservoirs. (July 2011). *JPT*.

Oxford Economics Ltd. *Data Source for world GDP forecast*. 2010.

Union of Concerned Scientists. (n.d.). Ανάκτηση από http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/coal-and-other-fossil-fuels/how-natural-gas-works.html

United Nations. (2009). *UN World Population Prospects: 2008 Revision*.

United States Environmental Protection Agency. (n.d.). Ανάκτηση από <http://water.epa.gov/scitech/wastetech/guide/oilandgas/unconv.cfm>

United States Geological Survey. (n.d.). Ανάκτηση από http://physics.oregonstate.edu/~hetheriw/projects/energy/topics/doc/fuels/fossil/methane_hydrate/methane_hydrate_japan_geo_survey/usgs_hydrate.html

Wurzer, M. (2012). *Taking Unconventional Gas to the International Arena*.

Zou, C. (2013). *Unconventional Petroleum Geology*.

EIA. (2013). *Assumptions to the Annual Energy Outlook 2013*.

EIA. (2011). *Annual Energy Outlook*.

Englezos, P. (2010). Energy Potential of natural gas hydrates.

ExxonMobil. (n.d.). Retrieved from <http://corporate.exxonmobil.com/en/energy/energy-outlook/energy-supply/natural-gas>

Gas & Oil. (n.d.). Retrieved from http://www.gasandoil.com/news/n_america/b0b001a327148ed51ae14a1731318279

geology.com. (n.d.). Retrieved from <http://geology.com/articles/methane-hydrates/>

IEA. (2011). *Are we entering a golden age of gas?*

IEA. (2012). *Golden Rules for a Golden Age of Gas*.

International Institute for Applied Systems Analysis. (2012). *Global Energy Assessment*.

MIT. (2011). *The Future of Natural Gas*.

- National Energy Board*. (n.d.). Retrieved from <http://www.neb-one.gc.ca/clf-nsi/rnrgynfmtn/sttstc/crdlndptrlmprdct/stmtdprdctn-eng.html>
- Pfeifer, S. (2014, January 17). Retrieved from Financial Times: <http://www.ft.com/intl/cms/s/2/8925cbb4-7157-11e3-8f92-00144feabdc0.html>.
- Rigzone*. (n.d.). Retrieved from http://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=346&c_id=4
- U.S. EIA. (n.d.). Retrieved from http://www.eia.gov/dnav/pet/pet_move_impcus_a2_nus_ep00_im0_mbbbl_m.htm
- U.S. EIA. (n.d.). Retrieved from <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=3&pid=3&aid=6&cid=regions&syid=1980&eyid=2013&unit=TCF>
- U.S. EIA. (2011). *Review of Emerging Resources: U.S. Shale Gas and Shale Oil plays*.
- U.S. EIA. (2013). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States*.
- USGS. (2012). *In-Place Oil Shale Resources Examined by Grade in the Major Basins of the Green River Formation, Colorado, Utah, and Wyoming*.
- Walker, B. (2012, May 15). Retrieved from The New American: <http://www.thenewamerican.com/tech/energy/item/11387-the-green-river-formation-worlds-largest-oil-shale-deposits>
- World Energy Council. (2010). *Survey of Energy Resources*.
- World Energy Council. (2013). *World Energy Resources*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

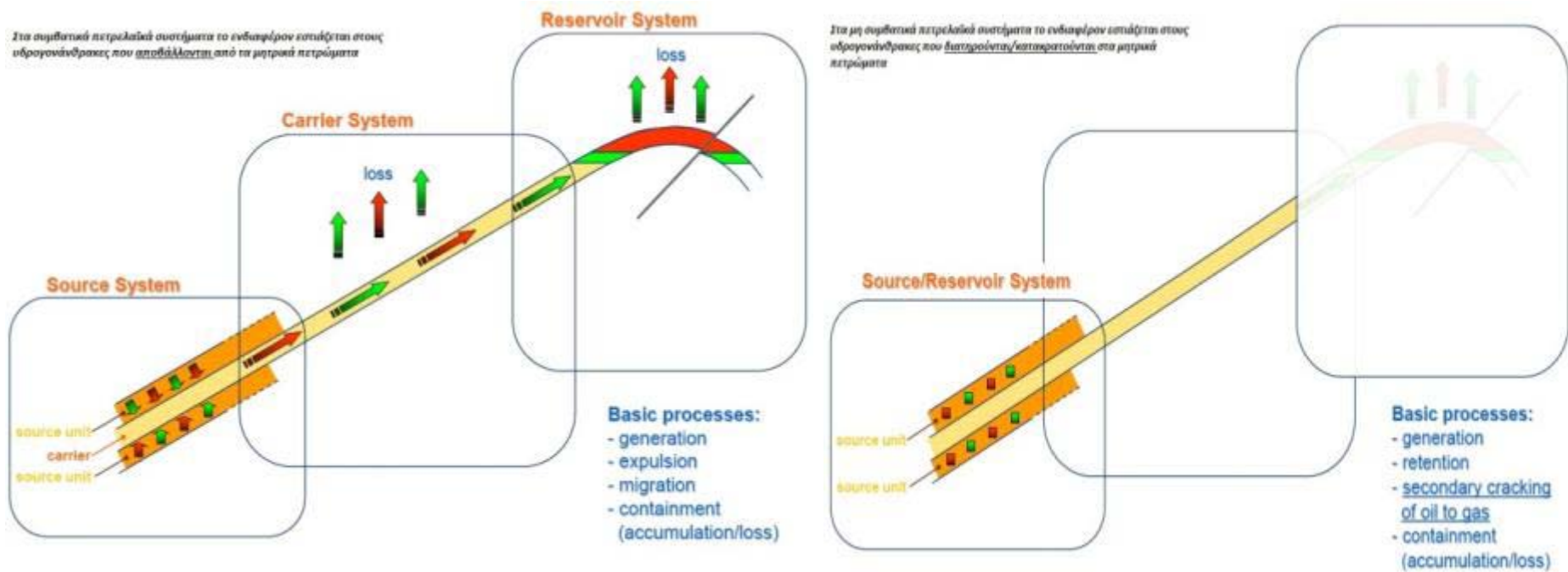
2.1. Εισαγωγή

Το σχιστολιθικό αέριο είναι, στις περισσότερες περιπτώσεις, ξηρό αέριο, το οποίο συνίσταται κατά βάση από μεθάνιο και βρίσκεται παγιδευμένο εντός σχιστολιθικών σχηματισμών πλούσιων σε οργανική ύλη, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από εξαιρετικά χαμηλές τιμές πορώδους και διαπερατότητας (Jenkins et al., 2008).

Στα συμβατικά πετρελαϊκά συστήματα το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στις διακριτές διεργασίες όπως η γένεση υδρογονανθράκων, ή έκθλιψη από το μητρικό πέτρωμα, η μετανάστευση, η ανάσχεση της κίνησης των υδρογονανθράκων, η παγίδευση, η δημιουργία συγκέντρωσης και βέβαια οι απώλειες που συμβαίνουν στην εξέλιξη των διεργασιών αυτών. Στα συμβατικά πετρελαϊκά συστήματα υπάρχει μητρικό πέτρωμα και αποθήκευτρο πέτρωμα.

Στα μη συμβατικά συστήματα το ενδιαφέρον εστιάζεται στις διεργασίες που περιλαμβάνουν τη γένεση, την παγίδευση, τη δευτερογενή διάσπαση του πετρελαίου σε αέριο, και τη δημιουργία συσσώρευσης, διεργασίες οι οποίες λαμβάνουν χώρα στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό, ώστε το μητρικό πέτρωμα να αποτελεί εν τέλει και το αποθήκευτρο πέτρωμα.

Η διαφοροποίηση αυτή ως προς τις διεργασίες που επιτελούνται στα συμβατικά και στα μη συμβατικά πετρελαϊκά συστήματα αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στις Εικόνες 2.1 και 2.2.



Εικόνες 2.1 & 2.2.: Βασικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε συμβατικά και μη συμβατικά πετρελαϊκά συστήματα (Wygrala EAGE SLT Europe presentation, 2012-2013)

2.2. Γένεση σχιστολιθικού φυσικού αερίου

Για να καταστεί εφικτή η γένεση υδρογονανθράκων απαιτείται η ύπαρξη ενός μητρικού πετρώματος με επαρκή ποσότητα οργανικής ύλης, η οποία να έχει υποστεί την κατάλληλη θερμική (ή και βιολογική) διεργασία.

Η οργανική ύλη, αποτελούμενη κυρίως από υπολείμματα φυτικών υλών και ζωικών μικροοργανισμών καθιζάνει στους πυθμένες ωκεανών ή λιμνών, όπου με τη σειρά της γίνεται τροφή για βακτήρια αλλά και για άλλα είδη ζώντων οργανισμών. Ωστόσο, σε περιβάλλοντα φτωχά σε οξυγόνο και παράλληλα πλούσια σε H_2S (ανοξικά), τα αναερόβια βακτήρια, είναι τα μόνα βακτήρια που μπορούν να βιοαποικοδομήσουν την οργανική ύλη. Καθώς όλο και περισσότερο υλικό συσσωρεύεται, ενώ παράλληλα η υποκείμενη βιογενής λάσπη συμπιέζεται, τα ιζήματα ενταφιάζονται όλο και βαθύτερα όπου επικρατούν συνθήκες μεγάλης πίεσης και θερμοκρασίας. Η οργανική ύλη, θερμαίνεται σταδιακά και μετατρέπεται σε κηρογόνο, ένα αδιάλυτο υλικό από όπου θα μπορέσουν οι υδρογονάνθρακες, είτε πετρέλαιο είτε φυσικό αέριο, αργότερα να παραχθούν (Schlumberger, 2011). Σε βαθιά θαλάσσια περιβάλλοντα, αυτές οι διεργασίες πραγματοποιούνται πολύ αργά και συνήθως απαιτούν πολύ μεγάλες χρονικές περιόδους. Ενδεικτικά, η συσσώρευση μερικών εκατοστών μπορεί να απαιτήσει εκατοντάδες χρόνια.

2.2.1. Τύποι κηρογόνου

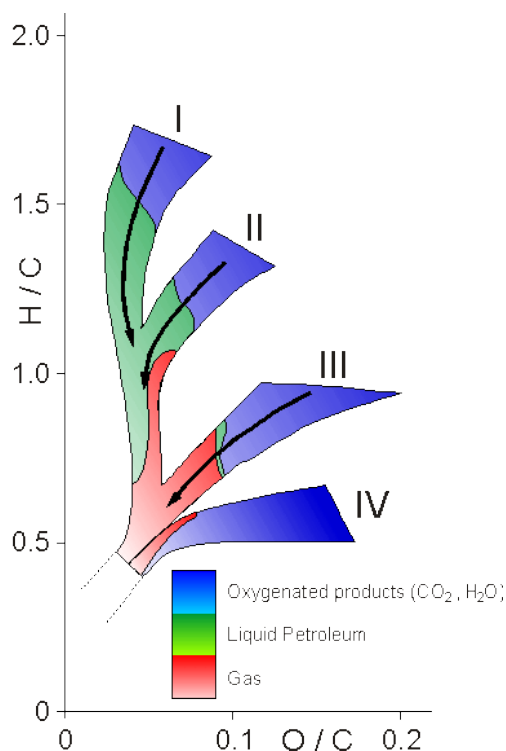
Το κηρογόνο ταξινομείται σε τέσσερις κύριους τύπους:

- i) Κηρογόνο Τύπου I, το οποίο σχηματίζεται κυρίως σε λιμναία περιβάλλοντα αλλά και σε θαλάσσια σε μικρότερο βαθμό. Προέρχεται από φύκια, πλαγκτόν ή από υλικό το οποίο έχει προηγουμένως υποστεί έντονες αλλοιώσεις από βακτήρια και μικροοργανισμούς που βρίσκονται στα ιζήματα. Το κηρογόνο Τύπου I παράγει πετρέλαιο, αλλά ανάλογα με το στάδιο της θερμικής του εξέλιξης έχει τη δυνατότητα να παράγει και φυσικό αέριο. Χαρακτηρίζεται από υψηλή αναλογία υδρογόνου προς άνθρακα (> 1.3) και χαμηλή αναλογία οξυγόνου προς άνθρακα ($< 0,1$) (Tissot & Welte, 1984). Όντας όχι και τόσο διαδεδομένο, εκτιμάται ότι συμβάλλει στη γένεση του 3% των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου.

- ii) Το κηρογόνο Τύπου II δημιουργείται συνήθως σε αναγωγικά περιβάλλοντα σε όχι και πολύ μεγάλα βάθη θάλασσας. Προέρχεται κατά κύριο λόγο από υπολείμματα πλαγκτόν, τα οποία έχουν προηγουμένως αποδομηθεί από βακτήρια. Χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλή αναλογία υδρογόνου προς άνθρακα και χαμηλή αναλογία οξυγόνου προς άνθρακα και χαρακτηρίζεται από δυνατότητα γένεσης πετρελαίου και υγρού αερίου.
- iii) Το κηρογόνο Τύπου III προέρχεται από ινώδη και ξυλώδη φυτική ύλη, η οποία είχε εναποτεθεί σε χερσαίο περιβάλλον και έχει υποστεί χαμηλού βαθμού αποδόμηση (Jarvie D. , 1991). Έχει μεγάλη δυνατότητα για γένεση αέριων υδρογονανθράκων αλλά περιορισμένη ως προς τη γένεση πετρελαίου και χαρακτηρίζεται από χαμηλή αναλογία υδρογόνου προς άνθρακα (<1.0) και από υψηλή αναλογία οξυγόνου προς άνθρακα (> 0.2).
- iv) Το κηρογόνο Τύπου IV προέρχεται από υπολείμματα οργανικού υλικού τα οποία έχουν αποδομηθεί μετά την αποσάθρωση. Απαντώνται κυρίως σε παλαιά ιζήματα. Αυτός ο τύπος κηρογόνου έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα και πολύ χαμηλή αναλογία σε υδρογόνο και δεν παρουσιάζει καμία δυνατότητα παραγωγής πετρελαίου ή φυσικού αερίου (Ζελελίδης, 1995).

Η Εικόνα 2.3 παρουσιάζει ένα από τα γνωστά διαγράμματα Van Krevelen, τα οποία αποτυπώνουν τους τύπους του κηρογόνου που προαναφέρθηκαν σε διάφορες αναλογίες υδρογόνου προς άνθρακα και οξυγόνου προς άνθρακα όπως επίσης και τα μονοπάτια ωρίμανσης της οργανικής ύλης (Brooks et al. 1987, Van Gijssel 1982). Καθώς αυξάνει το βάθος ενταφιασμού και η θερμοκρασία, η σύνθεση του κηρογόνου μετακινείται σε χαμηλότερες τιμές των αναλογιών H/C και O/C (ανθρακικός εμπλουτισμός, απώλεια H₂O και CH₄).

Ως υγρό αέριο (wet gas) ονομάζεται το φυσικό αέριο που περιέχει ένα σημαντικό ποσοστό υδρογονανθράκων, βαρύτερων από το μεθάνιο (π.χ., αιθάνιο, προπάνιο, και βουτάνιο). Το μίγμα, εντός του ταμιευτήρα, μπορεί να βρίσκεται σε αέρια ή σε υγρή και αέρια φάση.



Εικόνα 2.3.: Διάγραμμα Van Krevelen όπου αποτυπώνονται οι συνθήκες παραγωγής των διαφόρων τύπων κηρογόνων και των σχετικών υδρογονανθράκων (Van Gijssel, 1982).

Οι βαρύτεροι υδρογονάνθρακες είναι συμπυκνώσιμοι σε συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας επιφάνειας και συχνά διαχωρίζονται ως συμπυκνώματα (υγρή φάση) (Natural Gas Liquids). Εναλλακτικά, το προπάνιο και άλλες ελαφρύτερες ενώσεις μπορούν να διατίθενται στην αγορά ως υγραέριο (Liquefied Petroleum Gas), ενώ οι βαρύτεροι υδρογονάνθρακες ως βενζίνη.

Ως ξηρό αέριο ονομάζεται το φυσικό αέριο το οποίο αποτελείται ως επί το πλείστον από μεθάνιο, με πολύ μικρή περιεκτικότητα βαρύτερων υδρογονανθράκων (αιθάνιο, προπάνιο) (Encyclopedia Britannica).

2.2.2. Ωρίμανση της οργανικής ύλης

Η διαδικασία της θερμικής ωρίμανσης της οργανικής ύλης μπορεί να διαιρεθεί σε τρία στάδια όπως παρουσιάζονται σχηματικά και στην Εικόνα 2.4, κατά τη γένεση των υδρογονανθράκων :

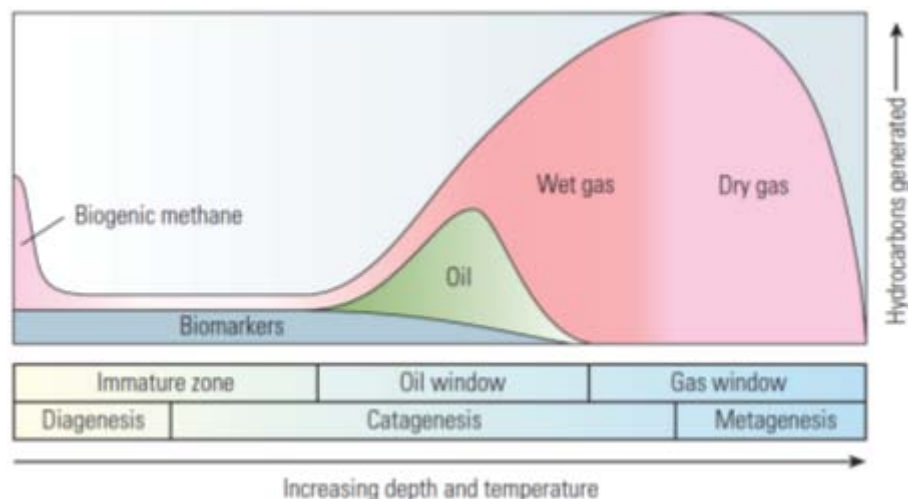
1. Αρχικά, το ίζημα υποβάλλεται σε διαγένεση. Στην ευρύτερη έννοιά του όρου αυτού, περιλαμβάνονται όλες οι φυσικές αλλαγές που συμβαίνουν στα ιζήματα από τη στιγμή της εναπόθεσης μέχρι ακριβώς πριν από την έναρξη των σημαντικών διεργασιών θερμικής αλλοίωσης.

Για τα μητρικά πετρώματα, ωστόσο, αυτό το στάδιο χαρακτηρίζεται από την αλλοίωση (alteration) της οργανικής ύλης, συνήθως σε θερμοκρασίες κάτω από περίπου 50°C [122°F]. Κατά τη διάρκεια της διαγένεσης, χημικές διαδικασίες όπως η οξειδωση, διασπούν το υλικό. Εάν προηγουμένως είχε εναποτεθεί κάτω από ανοξικές συνθήκες, αυτό το υλικό πιθανόν να μετατρέπεται από μεθανογόνα βακτηρίδια σε ξηρό αέριο. Με την αύξηση της θερμοκρασίας και τις αλλαγές στο pH, η οργανική ύλη σταδιακά μετατρέπεται σε κηρογόνο και σε μικρότερες ποσότητες, σε άσφαλτο (πίσσα-bitumen).

2. Το μητρικό πέτρωμα με την αύξηση της θερμοκρασίας ωριμάζει, και υπόκειται στη διαδικασία της καταγένεσης. Κατά το στάδιο αυτό, παράγεται το πετρέλαιο, καθώς η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 50°C και 150°C [122° F και 302°F], προκαλώντας τη διάσπαση χημικών δεσμών, εντός του κηρογόνου.

Μέσα σε αυτό το «παραθύρο» του πετρελαίου, τα κηρογόνα τύπου I και II, παράγουν και πετρέλαιο αλλά και φυσικό αέριο, σε αντίθεση με το κηρογόνο ύπου III, το οποίο παράγει κυρίως αέριους υδρογονάνθρακες. Με περαιτέρω αύξηση του βάθους ενταφιασμού, και συνάμα της θερμοκρασίας και της πίεσης, το μητρικό πέτρωμα οδηγείται στο ανώτερο μέρος του «παραθύρου» του φυσικού αερίου. Εκεί λαμβάνει χώρα δευτερεύουσα διάσπαση του πετρελαίου, παράγοντας υγρό αέριο το οποίο περιέχει μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο και βαρύτερους υδρογονάνθρακες.

3. Η μεταγένεση σηματοδοτεί το τελικό στάδιο, στο οποίο επιπλέον θερμότητα και χημικές αλλαγές μετατρέπουν μεγάλο μέρος του κηρογόνου σε μεθάνιο και ένα υπόλειμμα άνθρακα - γραφίτη (στην περίπτωση που η οργανική ύλη διαθέτει πολύ μικρή περιεκτικότητα σε υδρογόνο). Καθώς το οργανικό υλικό εξελίσσεται πιο πέρα εντός του «παραθύρου» του αερίου, ξεκινά ο σχηματισμός του ξηρού αερίου, μαζί με άλλα αέρια όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το άζωτο (N₂), και το υδρόθειο (H₂S). Οι αλλαγές αυτές λαμβάνουν χώρα σε θερμοκρασίες μεταξύ 150°C έως 200°C [302 ° F έως 392 ° F] (Department of Natural Resources - State of Louisiana), (Schlumberger, 2011).



Εικόνα 2.4.: Τα στάδια ωρίμανσης της οργανικής ύλης κατά τη διαδικασία γένεσης των υδρογονανθράκων (Schlumberger, 2011)

Τα σχιστολιθικά πετρώματα, τα οποία είναι πλούσια σε οργανικό υλικό και έχουν υποβληθεί σε θερμοκρασίες και πιέσεις εντός του «παραθύρου» του ξηρού αερίου, είναι αυτά που αποτελούν τους κύριους στόχους κατά την έρευνα για σχιστολιθικό αέριο.

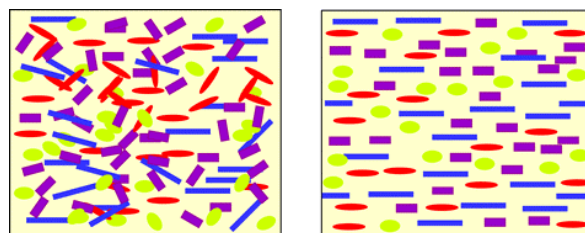
2.3. Ο σχιστόλιθος ως πέτρωμα - μητρικό πέτρωμα και ταμειυτήρας

2.3.1. Ο σχιστόλιθος ως πέτρωμα

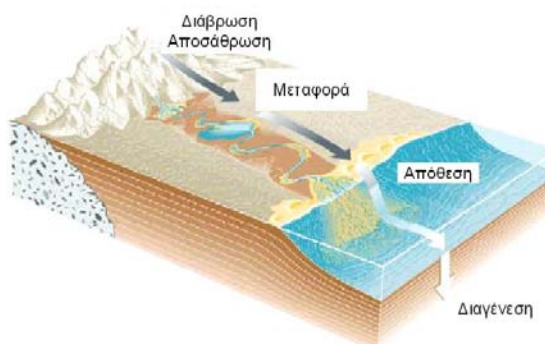
Οι σχιστόλιθοι βάσει της γεωλογικής κατηγοριοποίησης ανήκουν στην κατηγορία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων (Εικόνα 2.5). Ωστόσο, επειδή οι σχιστόλιθοι που εμφανίζουν το ενδιαφέρον σχετικά με την παραγωγή υδρογονανθράκων αφορούν την κατηγορία των αργιλικών σχιστολίθων (συχνός όρος επίσης ο βιτουμενιούχος αργιλικός σχιστόλιθος), οι οποίοι θεωρούνται ότι έχουν υποστεί κάποιου χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση, κυρίως λόγω του βάρους των υπερκείμενων στρωμάτων (Εικόνα 2.6). Για αυτό το λόγο στη βιβλιογραφία σχετικά με τους σχιστόλιθους παραγωγής υδρογονανθράκων αναφέρεται ότι αποτελούν κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία έχουν υποστεί διαγένεση (Εικόνα 2.7) μετατρέποντας τα σε συμπαγή πετρώματα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά.



Εικόνα 2.5.: Σχιστόλιθος ως μεταμορφωμένο πέτρωμα

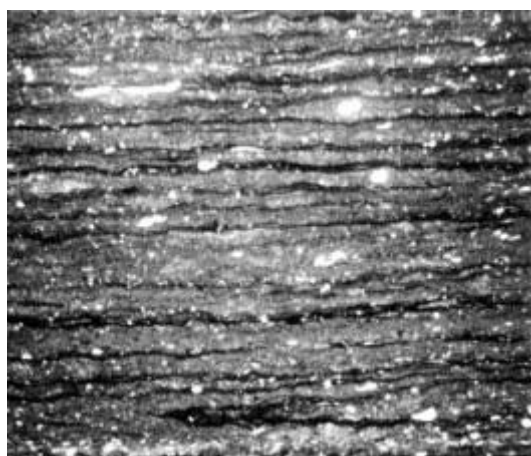


Εικόνα 2.6.: Διάταξη ορυκτολογικών μονάδων πριν και μετά τη μεταμόρφωση



Εικόνα 2.7: Διαδικασίες σχηματισμού ιζηματογενών πετρωμάτων όπου διαφαίνεται η διαγένεση http://www.metal.ntua.gr/uploads/3115/3f_PETROMATA.pdf

Ο σχιστόλιθος (ή αργιλικός σχιστόλιθος) είναι, επομένως, λεπτόκοκκο ιζηματογενές πέτρωμα το οποίο σχηματίζεται μετά από συμπίεση ιλύος (silt-μέγεθος σωματιδίων από 0.0039 έως 0.0625 mm) και αργιλικών τεμαχιδίων. Κύρια χαρακτηριστικά του είναι η λεπτοστρωμάτωση (lamination) (Εικόνα 2.8) και η μεγάλη σχιστότητα που παρουσιάζει κατά μήκος των στρώσεων (geology.com).



Εικόνα 2.8.: Λεπτές στρωματώσεις σε σχιστολιθικό πέτρωμα (USGS)

Είναι το πιο διαδεδομένο ιζηματογενές πέτρωμα στη γη, καθώς το 60% των ιζηματογενών πετρωμάτων του γήινου φλοιού είναι σχιστολιθικά. Η ορυκτολογική του σύσταση είναι πολύπλοκη. Τα κλαστικά ορυκτά περιλαμβάνουν χαλαζία, άστριους και ασβεστίτη τα οποία αθροίζουν περισσότερο του 50% της σύστασης του. Τα αργιλικά ορυκτά περιλαμβάνουν κυρίως καολινίτη, και ιλλίτη. Διαφορετικές αναλογίες κλαστικών και αργιλικών ορυκτών οδηγούν σε μεγάλη ποικιλία τύπων σχιστολίθων. Ενδεικτικά αναφέρεται σύσταση σε κλαστικά ορυκτά, όπως είναι ο χαλαζίας (29 έως 38%), οι άστριοι και ο ασβεστίτης (25 έως 30%) και σε αργιλικά ορυκτά (30 έως 39%) όπως ο καολινίτης..

Τυπικά, οι τύποι των σχιστολίθων περιλαμβάνουν το μαύρο σχιστόλιθο (black shale), τον ανθρακούχο σχιστόλιθο (carbonaceous shale), τον πυριτιούχο σχιστόλιθο (siliceous shale), το σιδηρούχο σχιστόλιθο (ferruginous shale) και τον ασβεστούχο σχιστόλιθο (calcareous shale). Επίσης όταν συμπεριληφθούν αμμώδη συστατικά στο σχιστόλιθο, δημιουργείται ο αμμώδης σχιστόλιθος (sandy shale). Ο σχιστόλιθος που είναι πλούσιος σε οργανική ύλη και αποτελεί στην προκειμένη περίπτωση το σχιστόλιθο που μπορεί να παράγει αέριο, περιλαμβάνει τον μαύρο σχιστόλιθο και τον ανθρακούχο σχιστόλιθο. Το μαύρο χρώμα άλλωστε στα ιζηματογενή πετρώματα σχεδόν πάντα υποδεικνύει την παρουσία οργανικής ύλης. Ένα ποσοστό μόλις 1-2% σε οργανικά υλικά μπορούν να προσδώσουν ένα σκούρο γκριζό ή μαύρο χρώμα στο πέτρωμα. Ο μαύρος σχιστόλιθος (Εικόνα 2.9) περιλαμβάνει μεγάλες ποσότητες οργανικού υλικού, λεπτόκκοκου και διάσπαρτου πυρίτη και σιδερίτη, όπου ο ολικός οργανικός άνθρακας (Total Organic Carbon, TOC) ανέρχεται σε ποσοστά 3-15% ή και περισσότερο, με έντονες φυλλοειδείς στρωματώσεις. Το κυρίαρχο ορυκτό του μαύρου σχιστόλιθου είναι ο αυθιγενής (authigenic) χαλαζίας ιζηματογενούς γένεσης. Μάλιστα ο συγκεκριμένος σχιστόλιθος με τον αυθιγενή χαλαζία απαντάται σε περισσότερο των 2/3 του συνολικού μαύρου σχιστόλιθου. Το ποσοστό των αργιλικών ορυκτών στο μαύρο σχιστόλιθο είναι μικρό και μάλιστα το ποσοστό μαύρων σχιστολίθων που μπορεί να κυριαρχείται από αργιλικά ορυκτά είναι εξαιρετικά μικρό (Zou, 2013).

Ο ανθρακούχος σχιστόλιθος περιλαμβάνει μεγάλες ποσότητες λεπτόκκοκου και διάσπαρτου ανθρακούχου οργανικού υλικού (συνήθως ο ολικός οργανικός άνθρακας

είναι 10-20%), το οποίο χαρακτηρίζεται από την κηλίδωση μαύρου χρώματος και τις μεγάλες ποσότητες απολιθωμάτων φυτών (Εικόνα 2.10).



Εικόνα 2.9.: Σκουρόχρωμος σχιστόλιθος. Το μαύρο του χρώμα υποδεικνύει την ύπαρξη οργανικής ύλης (geology.com)

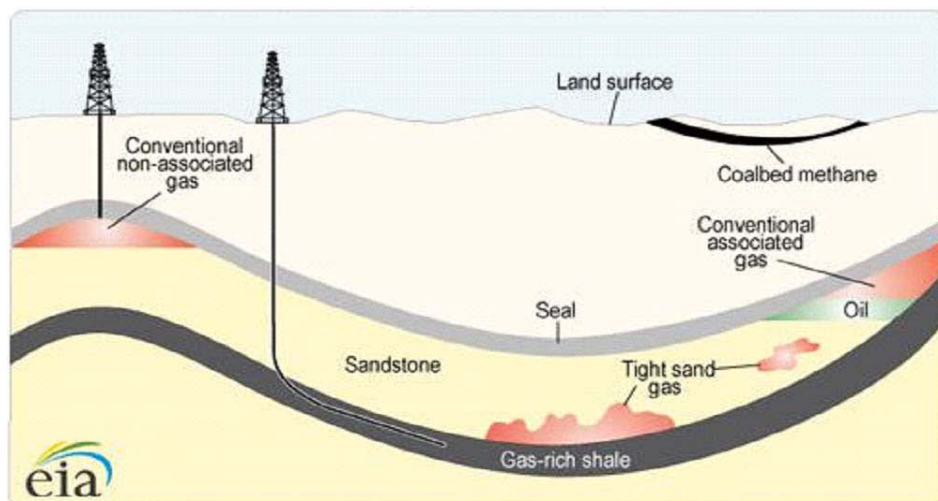


Εικόνα 2.10.: Ανθρακούχος σχιστόλιθος (http://marsrovers.nasa.gov/classroom/schoolhouse/rocklibrary/source/carbonaceous_shale.html)

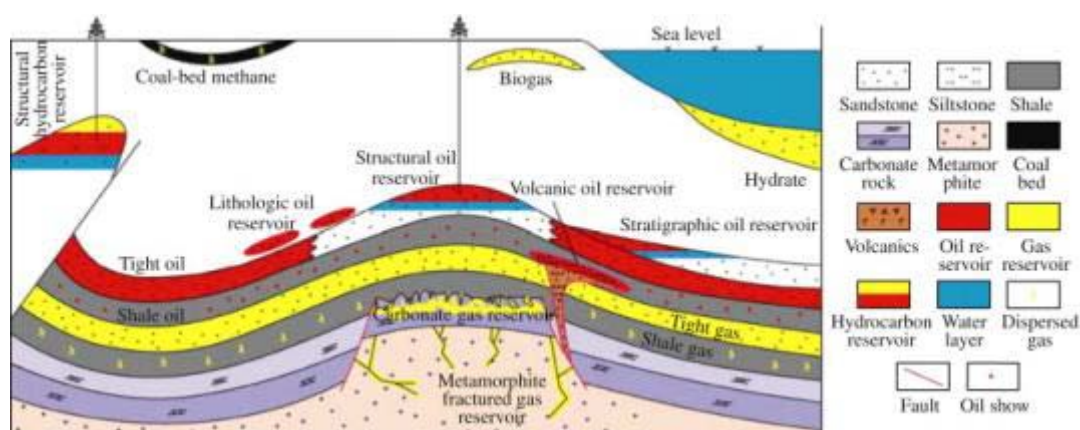
Οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί Barnett, Marcellus, Haynesville, Fayetteville στις ΗΠΑ, όλοι σκούρου γκρι ή μαύρου χρώματος αποτελούν σχιστόλιθους που παράγουν φυσικό αέριο. Ο σχηματισμός Bakken της Βόρειας Ντακότα, όπως επίσης και ο Eagle Ford του Τέξας είναι παραδείγματα σχιστόλιθων, οι οποίοι παράγουν πετρέλαιο.

2.3.2. Ο σχιστόλιθος ως μητρικό πέτρωμα και ταμιευτήρας

Τα πεδία σχιστολιθικού αερίου ταξινομούνται ως συνεχή πεδία φυσικού αερίου, δηλαδή συγκεντρώσεις που καταλαμβάνουν μεγάλες γεωγραφικές εκτάσεις, προσφέροντας μακρόβιους ταμιευτήρες των οποίων το κόστος αναζήτησης και ανάπτυξης είναι ελκυστικό. Οι συνεχείς συγκεντρώσεις διαφέρουν από τις συμβατικές συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων σε δύο σημαντικές παραμέτρους. Η πρώτη είναι ότι δεν απαντώνται πάνω από τη βάση του υπόγειου νερού και η δεύτερη ότι συνήθως δεν στρωματοποιούνται αναλόγως της πυκνότητας του ταμιευτήρα. Η Εικόνα 2.11 παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο στρώματα σχιστολίθου που φέρουν αέριο μπορούν να αποτελέσουν την πηγή συμβατικών ταμιευτήρων πετρελαίου και φυσικού αερίου, ενώ η Εικόνα 2.12 παρουσιάζει ένα μοντέλο γεωλογικής αναπαράστασης διαφόρων συσσωρεύσεων μη συμβατικών υδρογονανθράκων.



Εικόνα 2.11.: Σχηματική γεωλογική απεικόνιση σχιστολιθικού φυσικού αερίου(EIA)



Εικόνα 2.12.: Γεωλογική αναπαράσταση κατανομής των διαφόρων συσσωρεύσεων μη συμβατικών υδρογονανθράκων (Ζου, 2013)

Βασικά στοιχεία του σχιστολίθου ως μητρικό πέτρωμα και ταμιευτήρας φυσικού αερίου θα μπορούσαν να αναφερθούν τα ακόλουθα:

- **Ενιαίο σύστημα μητρικού και αποθήκευτρον πετρώματος - Πρώιμη δημιουργία ταμιευτήρα και συνεχής συσσώρευση αερίου**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η γένεση συμβατικού φυσικού αερίου δεν διαφοροποιείται σημαντικά από τη γένεση σχιστολιθικού αερίου. Η βασικές διεργασίες είναι όμοιες. Ως διαφορές μπορούν να επισημανθούν οι εξής : 1) ξηρό αερίο μεθάνιο από τη θερμική διάσπαση υγρών υδρογονανθράκων εντοπίζεται κυρίως στο σχιστολιθικό αέριο και 2) το αέριο στους συμβατικούς ταμιευτήρες έχει μεταναστεύσει από το

μητρικό πέτρωμα σε παγίδες που δημιουργούνται σε ψαμμιτικούς και ανθρακικούς γεωλογικούς σχηματισμούς και αποτελούν πλέον το αποθήκευτρο πέτρωμα.

Το αέριο μπορεί να παράγεται ως προσροφημένο αέριο, ως ελεύθερο αέριο και ως διαλελυμένο αέριο. Λόγω των ασθενών χαρακτηριστικών εσωτερικής αποθήκευσης και μετανάστευσης (ο σχιστόλιθος έχει εξαιρετικά μικρή διαπερατότητα), η αποθήκευση του αερίου γίνεται μέσα στο πορώδες της θεμελιώδους μάζας και ως προσροφημένη φάση στο κηρογόνο της. Συνήθως το μεγαλύτερο ποσοστό (> 50%) συναντάται ως προσροφημένη φάση στο κηρογόνο.

Ο τρόπος αποθήκευσης δεν είναι μόνο ένας, μπορεί το αέριο να αποθηκεύεται κατά κύριο λόγο στις διαρρήξεις του πετρώματος όταν υπάρχει πλήρης απουσία πορώδους και διαπερατότητας, ή το αέριο να αποθηκεύεται κατά κύριο λόγο στις διαρρήξεις και στη συγκολλητική ύλη του πετρώματος (matrix).

Ο σχιστόλιθος μπορεί να φορτίζεται (charge) συνεχώς με αέριο καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας εξέλιξης της οργανικής ύλης. Αφού φτάσει στο σημείο κορεσμού, το αέριο θα αποβληθεί (expel) ή θα μεταναστεύσει (Zou, 2013). Έτσι το σχιστολιθικό αέριο χαρακτηρίζεται ως ένα επι τόπου δημιουργούμενο απόθεμα δεδομένου ότι η γένεσή του, η δημιουργία αποθήκευτρο πετρώματος και ο σχηματισμός συγκέντρωσης έχουν συμβεί σε πρώιμη περίοδο με μετανάστευση των παραγόμενων ρευστών σε πολύ μικρές αποστάσεις ή χωρίς καθόλου μετανάστευση.

- **Μη αναγκαία η ύπαρξη σαφώς οριοθετημένης δομής παγίδευσης και πετρώματος κάλλυμα (seal) για τη δημιουργία συσσώρευσης αερίου**

Στα συμβατικά κοιτάσματα φυσικού αερίου, αναγκαία προϋπόθεση είναι ο εντοπισμός οριοθετημένης γεωλογικής παγίδας (δομής). Στην περίπτωση του σχιστολιθικού αερίου όλες οι προϋποθέσεις συνυπάρχουν μέσα στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό (σχιστόλιθο) σε ένα ενοποιημένο σύστημα ταμιευτήρα – μητρικού πετρώματος. Η έκταση η οποία φέρει αέριο είναι στην ουσία η ίδια με το ενεργό μητρικό πέτρωμα που παράγει αέριο, χωρίς διακριτά όρια παγίδευσης (obvious trap boundaries) αλλά ούτε και με μια μοναδική (unique) επαφή αερίου/νερού, έχοντας ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ταμιευτήρα ο οποίος χαρακτηρίζεται από πολύ μικρή ποσότητα περιεχόμενου νερού, σε συνεχή πολυστρωματική έκταση που φέρει αέριο

και η οποία διαφυλάσσεται (διατηρείται) λόγω κυρίως της μεγάλης ποσότητας του αερίου το οποίο βρίσκεται ως προσροφημένη φάση στο κηρογόνο (Zou, 2013).

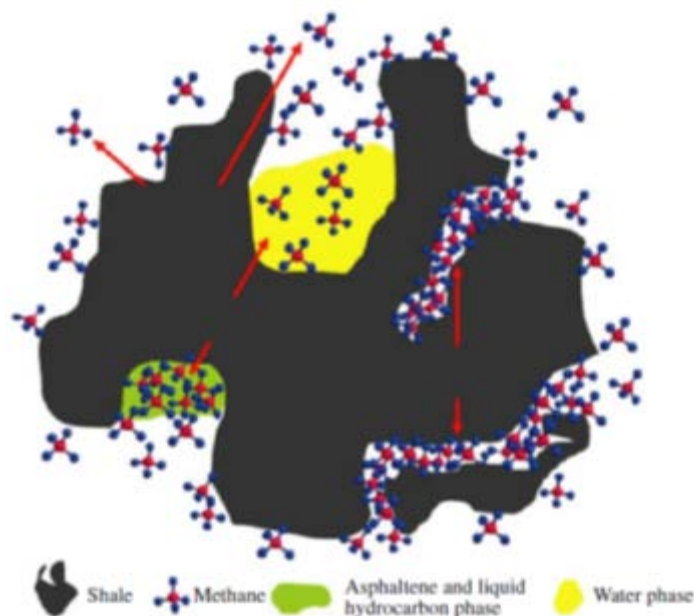
- **Συνεκτικά πετρώματα ταμιευτήρες με επικράτηση συστημάτων νανο-πόρων**

Σύμφωνα με μελέτες (Loucks, Reed, Ruppel, & Jarvie, 2009) δύο μεγέθη πόρων αναπτύσσονται σε σχιστολιθικούς ταμιευτήρες: οι μικροπόροι (με διάμετρο πάνω από 0,75μm) και οι νανο-πόροι (με διάμετρο κάτω των 0,75μm). Οι νανο-πόροι αποτελούν τους κυρίαρχους πόρους στο σχιστόλιθο. Βάσει μελετών σχετικά με το πορώδες, ο σχιστόλιθος χαρακτηρίζεται από χαμηλό πορώδες, εξαιρετικά χαμηλή διαπερατότητα και υψηλή συνεκτικότητα, όπου το πορώδες κυμαίνεται από 4-6,5%. Η διαπερατότητα είναι μικρότερη των $1 \times 10^{-9} \mu\text{m}^2$. Μόνο σε περιοχές με ρωγματώσεις δύναται το πορώδες να ανέλθει στο 10% και η διαπερατότητα να αυξηθεί στο $2 \times 10^{-9} \mu\text{m}^2$. Μελέτες για το σχηματισμό του Barnett έδειξαν ότι οι πόροι σε συμβατικό ψαμμίτη είναι 400 φορές μεγαλύτεροι των πόρων σε σχιστόλιθο. Οι πόροι του σχιστόλιθου ισούνται περίπου με τη διάμετρο 40 μορίων μεθανίου (η διάμετρος του κάθε μορίου είναι 0,38nm). Το πορώδες στο σχιστόλιθο κυμαίνεται μεταξύ 4-10% και η διαπερατότητα μεταξύ $50-1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

- **Παρουσία αερίου ως ελεύθερο αέριο και προσροφημένη φάση**

Η παρουσία του αερίου σε ένα σχιστολιθικό σχηματισμό χαρακτηρίζεται από διασπορά μεταξύ ελεύθερου αερίου, προσροφημένου αερίου και διαλελυμένου αερίου (Εικόνα 2.13) εκ των οποίων τα δύο πρώτα κυριαρχούν. Το ελεύθερο αέριο είναι ανάλογο του συμβατικού φυσικού αερίου ενώ το προσροφημένο ανάλογο του μεθανίου σε διαστρωματωμένους γαιάνθρακες. Γενικά, το μεθάνιο προσροφάται υπό τη μορφή υδρίτη σε θερμοκρασίες μικρότερες των 75°C και πληρεί τα κενά των πόρων και των μορίων του νερού σε θερμοκρασίες άνω των 75°C. Η ποσότητα του προσροφημένου και του ελεύθερου αερίου μέσα σε ένα σχιστολιθικό πέτρωμα επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως η ορυκτολογική σύσταση, ο ολικός οργανικός άνθρακας, πίεση του σχηματισμού και ο βαθμός ανάπτυξης του συστήματος ρωγματώσεων.



Η διάμετρος των πόρων, η οργανική ύλη, ο βαθμός ωρίμανσης της οργανικής ύλης, η ορυκτολογική σύσταση, επιδρούν στην φέρουσα προσροφητική ικανότητα του σχηματισμού.



Εικόνα 2.13: Σχηματική απεικόνιση της κατανομής των μορίων του μεθανίου σε ένα σχιστολιθικό σχηματισμό (Zou, 2013)

- Συνεχής και σε μεγάλη έκταση κατανομή του σχιστολιθικού αερίου με δυναμικό μεγάλων αποθεμάτων

Ο πλούσιος σε οργανική ύλη σχιστόλιθος αποτελεί το κυρίαρχο μητρικό πέτρωμα των πετρελαιοφόρων λεκανών. Βάσει στατιστικών στοιχείων μόνο ένα ποσοστό της τάξεως του 10-20% του παραγόμενου, στο μητρικό πέτρωμα, πετρελαίου ή αερίου καταφέρνει να μεταναστεύσει προς τους συμβατικούς ταμιευτήρες, με το υπόλοιπο 80% να εγκλωβίζεται στους μη συμβατικούς (Εικόνα 2.14). Εξαιτίας της ευρείας κατανομής του πλούσιου σε οργανική ύλη σχιστόλιθου η κλίμακα των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου αναμένεται να είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Για παράδειγμα, στη λεκάνη Forth Worth συνολικής έκτασης 38,100 km², η έκταση η οποία φέρει αέριο του σχιστολίθου Barnett στο Mississippi είναι 12,950 - 15,500 km², με τα επί τόπου αποθέματα να εκτιμώνται στα 9.26 *10¹² m³ και τα τεχνικά ανακτήσιμα να φτάνουν τα 1.25* 10¹² m³. Στην λεκάνη Appalachia, έκτασης 280,000 km², ο σχηματισμός Marcellus καταλαμβάνει έκταση 246,050 km² με τα επί τόπου και τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα να ανέρχονται στα 42.38 *10¹² m³ και στα 7.4*10¹² m³ αντίστοιχα, τα οποία αποθέματα είναι και τα μεγαλύτερα αποθέματα σχιστολιθικού φυσικού αερίου στις ΗΠΑ (Zou, 2013).

Resource type	Accumulation pattern	Accumulation type	Resource percentage
Structure reservoir		Conventional trap	20%±
Lithologic-stratigraphic reservoir			
Continuous reservoir	Tight oil	Unconventional reservoir	80%±
	Shale oil		
	Tight gas		
	Coalbed methane+ Shale gas		
	Carbonate fracture and cavity oil/gas		
	Shale gas		

Εικόνα 2.14.: Τύποι πηγών πετρελαίου/ φυσικού αερίου και μοτίβα συσσώρευσης αυτών (Zou; Caineng; Dong; Dazhong; Wang; Shejiao, 2010a)

2.3.3. Χαρακτηριστικά των σχιστολιθικών ταμιευτήρων

Όπως έχει αναφερθεί, ο σχιστόλιθος αποτελεί τόσο μητρικό πέτρωμα όσο και ταμιευτήρα υπό κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες.

Ωστόσο όπως αποδεικνύεται από την έρευνα και την ανάπτυξη σχετικών πεδίων, απαιτούνται αυστηρές γεωλογικές και γεωχημικές συνθήκες για τη δημιουργία σχιστολιθικού αερίου. Η δημιουργία σχιστολιθικού αερίου και πιο συγκεκριμένα εμπορικά αξιοποιήσιμοι σχιστολιθικού αερίου χαρακτηρίζεται από τις εξής «πέντε παραμέτρους»: υψηλή αφθονία σε οργανικό υλικό ($TOC > 2.0\%$), υψηλό βαθμό θερμικής εξέλιξης (*thermal evolution degree*) ($R_o > 2.0-2.5\%$), υψηλό περιεχόμενο σε χαλαζία, υψηλή ευθρυπτότητα (ευκολία στην δημιουργία τεχνητών ρωγμών με υδραυλική ρωγμάτωση, ευθρυπτότητα $> 80\%$) και υψηλό περιεχόμενο σε προσροφημένο αέριο.

Αφθονία σε οργανική ύλη:

Η ύπαρξη της οργανικής ύλης και η αξιολόγηση αυτής έχει ήδη αναπτυχθεί νωρίτερα στο πλαίσιο της ανάπτυξης της θεωρίας δημιουργίας υδρογονανθράκων. Η αφθονία αυτής μέσω του ολικού οργανικού άνθρακα (Total Organic Carbon, TOC) είναι επίσης σημαντική καθώς αποτελεί σημαντικό δείκτη για την εκτίμηση της ποσότητας

της οργανικής ύλης και τη βάση για την μετέπειτα παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου. Υπάρχει μία θετική συσχέτιση μεταξύ της ποσότητας του προσροφημένου αερίου και του ολικού οργανικού άνθρακα στο σχιστόλιθο. Ο σχιστόλιθος με μεγάλη ποσότητα οργανικού άνθρακα φέρει συνήθως υψηλή ικανότητα δημιουργίας αερίου και σχηματισμού αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου. Ο δείκτης ολικού οργανικού άνθρακα χρησιμοποιείται άλλωστε και για τον καθορισμό αυτών των ιδιοτήτων του σχιστόλιθου. Οι έρευνες επικεντρώνονται σε πετρώματα με τιμή TOC από 2% έως 10%, καθώς πετρώματα με τιμή TOC πέραν του 10% δεν θεωρούνται ώριμα αρκετά ώστε να προχωρήσει η αξιοποίησή τους (Εικόνα 2.15) (Schlumberger, 2011). Τιμές από 2,0% - 3,0% θεωρούνται ως οι ελάχιστες για να υπάρξει προοπτική γένεσης σχιστολιθικού φυσικού αερίου (Zou, 2013).

Σε ένα δείγμα σχιστόλιθου, περιέχεται και οργανικός αλλά και ανόργανος άνθρακας. Για τη ποσοτικοποίηση του περιεχόμενου οργανικού άνθρακα, χρησιμοποιείται μια τεχνική καύσης. Ένα μέρος από το δείγμα του πετρώματος αρχικά αντιδρά με φωσφορικό οξύ ώστε να αφαιρεθεί ο μη οργανικός άνθρακας. Ακολούθως, το δείγμα αποξηραίνεται και θερμαίνεται στους 1350°C σε ένα πλούσιο σε οξυγόνο περιβάλλον. Τότε ο οργανικός άνθρακας οξειδώνεται προς το σχηματισμό CO₂, το οποίο με τη σειρά του περνάει διαμέσου ενός κελιού υπέρυθρης ανίχνευσης, κατάλληλα ρυθμισμένο ώστε να ανταποκρίνεται στο CO₂. Ο μετρούμενος όγκος του παραγόμενου αερίου μετατρέπεται σε τιμές TOC και καταγράφεται ως ένα ποσοστό βάρους του πετρώματος. Οι τιμές της παραμέτρου TOC σε σχιστόλιθους που φέρουν αέριο, για την ήπειρο της Αμερικής, κυμαίνονται από 0,45% - 25%, ενώ η ποσότητα του αερίου που φέρουν κυμαίνεται από 0,4 – 9,91 m³/t. (Schlumberger, 2011)

Total Organic Carbon, Weight %	Resource Potential
< 0.5	Very poor
0.5 to 1	Poor
1 to 2	Fair
2 to 4	Good
4 to 10	Very good
> 10	Unknown

Εικόνα 2.15.: Σχέση μεταξύ του περιεχόμενου οργανικού άνθρακα (TOC) και του δυναμικού που παρουσιάζει ο σχηματισμός για παραγωγή υδρογονανθράκων (Schlumberger, 2011)

Ωριμότητα της οργανικής ύλης:

Η ωριμότητα είναι ο κυριότερος δείκτης που χρησιμοποιείται ώστε να προσδιοριστεί εάν η οργανική ύλη έχει την τάση να παράγει πετρέλαιο ή αέριο όπως επίσης και ο βαθμός μετασχηματισμού της σε υδρογονάνθρακες.

Η προέλευση των παραχθέντων υδρογονανθράκων (βιογενών ή θερμογενών) προσδιορίζεται από την ανακλαστικότητα του βιτρινίτη (R_o). Σύμφωνα με το γλωσσάρι της Schlumberger (Schlumberger Oilfield Glossary), η R_o μετρά την ωριμότητα του οργανικού υλικού σε σχέση με το εάν αυτό παρήγαγε υδρογονάνθρακες ή θα μπορούσε να είναι ένα δραστικό μητρικό πέτρωμα. Η τιμή της ανακλαστικότητας του βιτρινίτη μπορεί κατ' αυτό τον τρόπο να βοηθήσει αν το μητρικό πέτρωμα ενταφιάστηκε ή όχι σε αρκετό βάθος για να παράγει υδρογονάνθρακες. Οι τυπικές τιμές της κυμαίνονται από 0% R_o έως 3% R_o , εκείνες δε που προσδιορίζουν τη **θερμική ανωριμότητα**, το **παράθυρο γένεσης πετρελαίου** και το **παράθυρο γένεσης αερίου** είναι αντίστοιχα οι ακόλουθες:

- % R_o από 0.1 ως 0.5 θερμικά ανώριμο
- % R_o από 0.6 ως 1.1 παράθυρο πετρελαίου
- % R_o από 1.2 ως 2.0 παράθυρο αερίου

Η μέτρηση της ανακλαστικότητας του βιτρινίτη (R_o), αναπτύχθηκε αρχικά για την ταξινόμηση των γαιανθράκων ανάλογα με τη θερμική τους ωριμότητα και προσδιορίζεται βάσει μετρήσεων της ανακλαστικότητας τουλάχιστον 30 κόκκων βιτρινίτη από ένα δείγμα πετρώματος, με τη χρήση μικροσκοπίου. Οι τιμές συνήθως κυμαίνονται από 0% έως 3%, με αυτές που υπερβαίνουν το 1,5% να υποδεικνύουν μητρικά πετρώματα παραγωγής ξηρού αερίου – κατηγορία στην οποία ανήκει το σχιστολιθικό αέριο. Η ωριμότητα των σχιστολιθικών σχηματισμών της Βορείου Αμερικής κυμαίνεται από 0,4% - 4,0%, αποδεικνύοντας έτσι ότι το σχιστολιθικό αέριο έχει τη δυνατότητα να παραχθεί καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας μετατροπής της οργανικής ύλης σε υδρογονάνθρακες. Εν ολίγοις, η γένεση του σχιστολιθικού φυσικού αερίου μπορεί να οφείλεται σε βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης, σε θερμική αποικοδόμηση του κηρογόνου αλλά και από θερμική διάσπαση του αργού πετρελαίου (crude oil), με τις δύο τελευταίες να είναι επικρατέστερες. Σύμφωνα με τη μελέτη που έγινε από τους Jarvie et al. (2007), συμπεραίνουμε ότι οι

ευνοϊκότερες προοπτικές για γένεση σχιστολιθικού φυσικού αερίου παρουσιάζονται κατά το διάστημα του «παραθύρου» του αερίου που πραγματοποιείται θερμική εξέλιξη, όπου η ωριμότητα (Ro) κυμαίνεται μεταξύ 1,1% - 2%.

Ενεργό πάχος σχιστολίθου (Effective shale thickness):

Για να επιτευχθεί ο σχηματισμός αξιοποιήσιμου σχιστολιθικού αερίου, το ενεργό (effective) πάχος του σχιστόλιθου θα πρέπει να φτάσει ένα συγκεκριμένο όριο προκειμένου να εξασφαλιστεί ικανοποιητική ποσότητα οργανικής ύλης αλλά και αποθηκευτικού χώρου. Ως ενεργός (effective) σχιστόλιθος ορίζεται ο σχιστόλιθος ο οποίος βρίσκεται στο «παράθυρο» παραγωγής αερίου από άποψη θερμικής ωριμότητας, έχοντας TOC πέραν του 2%, περιεκτικότητα σε ψαθυρά (π.χ. χαλαζίας) μεγαλύτερη από 40%, σε αργιλικά ορυκτά μικρότερη από 30%, πορώδες μεγαλύτερο από 2% και διαπερατότητα μικρότερη των $0,0001 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$. Το πάχος ενός ενεργού σχιστόλιθου, προκειμένου να ξεκινήσει η εμπορική του ανάπτυξη, θα πρέπει να ξεπερνάει τα 30m όταν ο ενεργός σχιστόλιθος έχει αναπτυχθεί σε συνεχή βάση, ενώ το αθροιστικό πάχος του στρώματος θα πρέπει να υπερβαίνει τα 50m στην περίπτωση που ο ενεργός σχιστόλιθος δεν έχει αναπτυχθεί συνεχόμενα ή όταν η παράμετρος TOC είναι μικρότερη του 2%. Έτσι με την αύξηση στο πάχος του ενεργού σχιστόλιθου, αυξάνεται παράλληλα και η συνολική ποσότητα οργανικής ύλης με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη παραγωγή και συγκέντρωση αερίου. Το μικρότερο πάχος που έχει παρατηρηθεί είναι τα 6m στο σχιστολιθικό σχηματισμό Fayetteville, ενώ το μεγαλύτερο φτάνει μέχρι τα 304m στο σχηματισμό Marcellus.

Ορυκτολογική σύσταση:

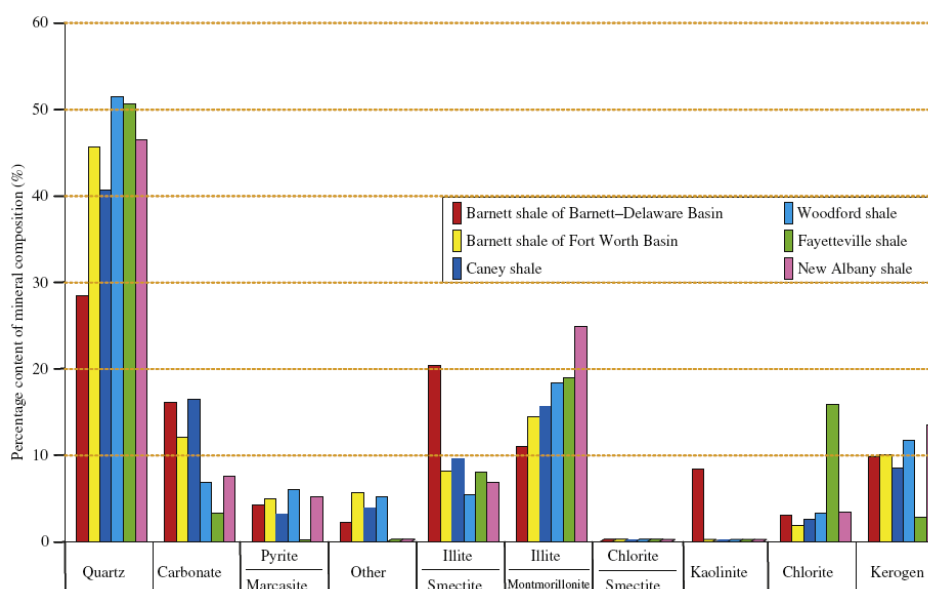
Η περιεκτικότητα του σχηματισμού σε ψαθυρά ορυκτά είναι σημαντικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την ανάπτυξη του πορώδους του πετρώματος και των μικρορωγμών, την ικανότητα του πετρώματος να φέρει αέριο κ.α.

Όσο περισσότερη (μεγαλύτερη) η περιεκτικότητα του σχιστόλιθου σε ψαθυρά ορυκτά, όπως είναι ο χαλαζίας, οι άστριοι (feldspar) και ο ασβεστίτης (calcite), τόσο μεγαλύτερη και η ψαθυρότητα του σχιστολίθου ως πέτρωμα. Η ψαθυρότητα, σε ένα σχιστολιθικό σχηματισμό είναι επιθυμητή, καθώς τον κάνει πιο επιδεκτικό στη

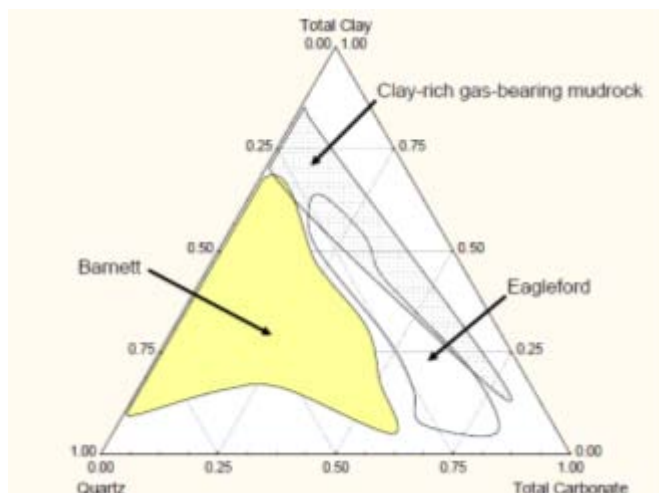
δημιουργία ρωγμών, υπό την επίδραση εξωτερικών τάσεων. Αντίθετα, σχηματισμοί με μεγάλη περιεκτικότητα σε άργιλο, παρουσιάζουν υψηλή ολκιμότητα με αποτέλεσμα την απορρόφηση μέρους της ενέργειας που τους προσδίδεται. Στους προς εκμετάλλευση ταμιευτήρες σχιστολιθικού αερίου η περιεκτικότητα σε ψαθυρά ορυκτά ανέρχεται σε ποσοστό πέραν του 40%, ενώ η περιεκτικότητα σε άργιλο είναι μικρότερη του 30%.

Στις Η.Π.Α. η περιεκτικότητα σε χαλαζία στους υπό εκμετάλλευση σχηματισμούς κυμαίνεται μεταξύ 28%-52%, η περιεκτικότητα σε ανθρακικά μεταξύ 4-16%, ενώ η συνολική περιεκτικότητα σε ψαθυρά ορυκτά μεταξύ 46%-60% (Εικόνα 2.16). Επίσης από στατιστικά στοιχεία αλλά και από ορυκτολογική ανάλυση που έγινε στο σχηματισμό Barnett από τους (Jarvie, Hill, Ruble, & Pollastro, 2007) δεν κατέστη δυνατή η εύρεση ενός μοναδικού μοντέλου για την ορυκτολογική σύσταση του σχιστολίθου (King, 1994).

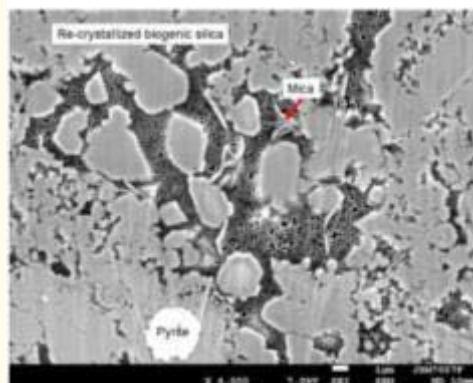
Η Schlumberger έχει και αυτή με τη σειρά της επισημάνει μεγάλες διαφορές όσον αφορά την ορυκτολογική σύσταση μεταξύ σχιστολιθικών σχηματισμών που φέρουν φυσικό αέριο στη Βόρεια Αμερική και του σχιστολιθικού σχηματισμού Barnett, καθώς ο τελευταίος χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε πυριτικά ορυκτά (Εικόνα 2.17 & 2.18), σε αντίθεση με το σχηματισμό Eagleford όπου η περιεκτικότητα σε ανθρακικά ορυκτά υπερβαίνει το 50%.



Εικόνα 2.16.: Ορυκτολογική σύσταση σχιστολιθικών σχηματισμών στις ΗΠΑ



Εικόνα 2.17.: Ορυκτολογική σύνθεση των σχιστολιθικών σχηματισμών Barnett και Eagleford (Passey, Bohacs, Esch, Klimentidis, & Sinha, 2010)

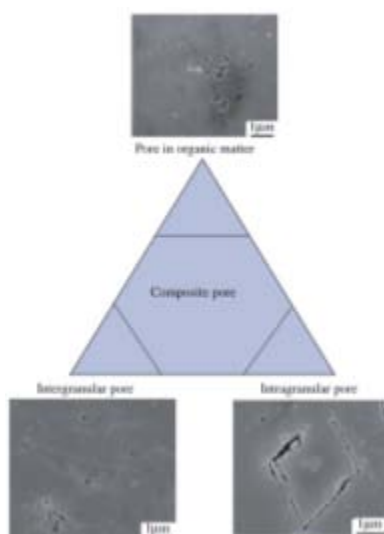


Εικόνα 2.18.: Δείγμα από το σχιστολιθικό σχηματισμό Barnett, πλούσιο σε ανακρυσταλλωμένη βιογενή πυριτίτι (Passey, Bohacs, Esch, Klimentidis, & Sinha, 2010)

Πορώδες, διαπερατότητα και μικρορωγμές:

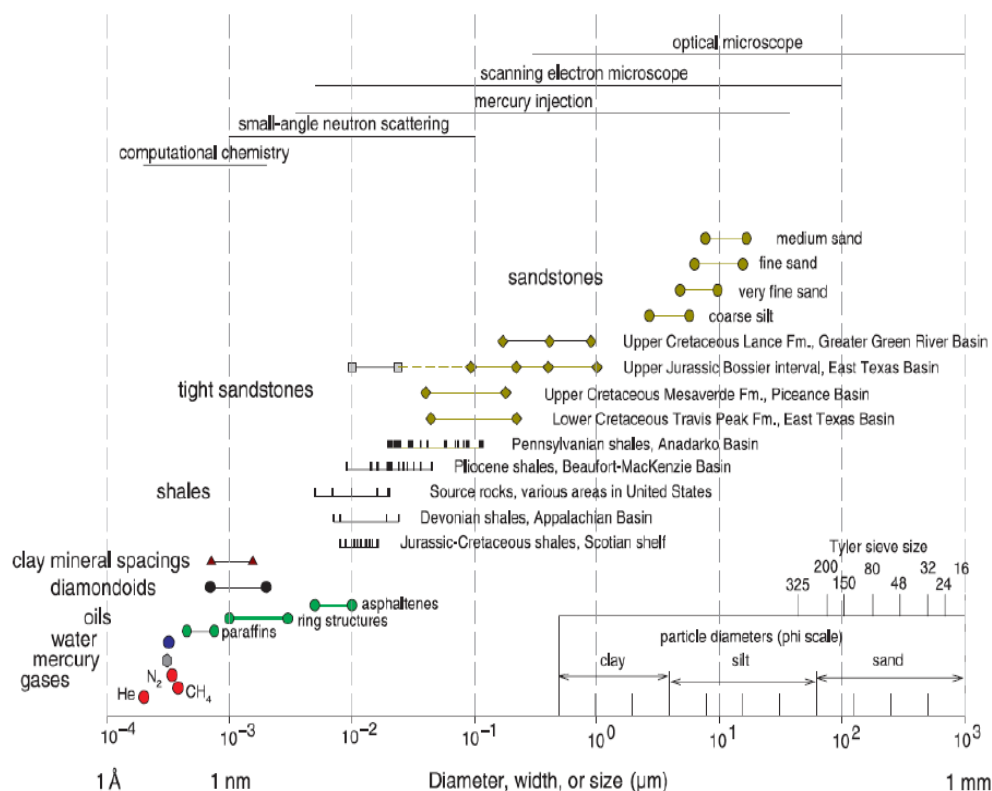
Το μέγεθος των πόρων στο σχιστόλιθο κυμαίνεται από 1-3 nm σε 400-750 nm και χαρακτηρίζονται από μεγάλη ειδική επιφάνεια και πολύπλοκη υφή (King, 1994). Το πορώδες είναι η κύρια παράμετρος για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας (content) σε ελεύθερο αέριο, καθώς βάσει στοιχείων (Zou; Caineng; Dong; Dazhong; Wang; Shejiao, 2010a) (Zou; Caineng; Dong; Dazhong; Wang; Shejiao, 2010b), ένα ποσοστό της τάξεως του 50% του σχιστολιθικού φυσικού αερίου βρίσκεται αποθηκευμένο στους πόρους της μήτρας του σχιστόλιθου. Ο σχιστόλιθος ως ταμιευτήρας έχει πολύ χαμηλές τιμές πορώδους αλλά και διαπερατότητας και χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη διαφόρων τύπων μικροπόρων, περιλαμβανομένου των ενδοκοκκώδων (intergranular) μικροπόρων, και οι διακοκκώδεις (intragranular), μικροπόροι μεταξύ των συσσωματωμάτων αργίλου, πόροι στην οργανική ύλη κ.α. (Εικόνα 2.19). Οι πόροι είναι μικρότεροι των 2μm, αποδίδοντας μία μεγάλη ειδική επιφάνεια και πολύπλοκη υφή. Αυτό συντελεί στη δυνατότητα προσρόφησης μεγάλων ποσοτήτων αερίου. Γενικώς, το πορώδες του σχιστόλιθου κυμαίνεται από 0,5%-0,6%, ενώ ως επί το πλείστον είναι μεταξύ 2% - 4% (Zou, 2013). Στην Εικόνα 2.20 απεικονίζονται τα μεγέθη των πόρων σχιστολίθου σε σχέση και με άλλους ψαμμίτες. Επίσης, η ανάπτυξη ρωγμών παρέχει ικανοποιητικό αποθηκευτικό χώρο για το σχιστολιθικό αέριο, ενώ μπορεί να καταστούν δίοδοι-μονοπάτια

μετανάστευσης (migration pathways), αυξάνοντας (βελτιώνοντας) έτσι την παραγωγή (Curtis, 2002).



Εικόνα 2.19.: Τα είδη των πόρων που απαντώνται σε ένα ταμιευτήρα σχιστολιθικού φυσικού αερίου (Loucks, Reed, Ruppel, & Jarvie, 2009)

Οι τιμές της μητρικής διαπερατότητας (matrix permeability) του ταμιευτήρα, χωρίς να έχει προηγηθεί η ρωγμάτωση του, δεν ξεπερνούν τα $1 \times 10^{-9} \mu\text{m}^2$. Μόνο σε περιοχές όπου παρουσιάζουν έντονη τεκτονική η διαπερατότητα μπορεί να ανέλθει στα $2 \times 10^{-9} \mu\text{m}^2$ και το πορώδες στο 10% (Zou, 2013). Συγκεκριμένα για το σχιστολιθικό σχηματισμό Marcellus το πορώδες της συγκολλητικής ύλης κυμαίνεται από 0,5% - 5%, ενώ η ολική διαπερατότητα μετρείται στην κλίμακα των micro- και nano- Darcy (Lee, Herman, Elsworth, Kim, & Lee, 2011).



Εικόνα 2.20.: Μεγέθη πόρων σε τέσσερις ψαμμίτες (sandstone), σε τέσσερις συνεκτικούς ψαμμίτες (tight sandstone) και πέντε σχιστολίθους. Στο πάνω μέρος φαίνονται οι μέθοδοι μέτρησης ενώ στο κάτω μέρος φαίνονται οι κλίμακες μέτρησης των στερεών σωματιδίων (Wygrala presentation)

Η Εικόνα 2.21 παρουσιάζει συγκεντρωτικά στοιχεία για τα χαρακτηριστικά όπως παρουσιάστηκαν παραπάνω σε σχηματισμούς σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ και στην Κίνα.

Shale	Epoch	Depth (m)	Effective thickness (m)	TOC (%)	R _o (%)	Quartz Content (%)	Porosity (%)	Gas content (m ³ ·t ⁻¹)	Resources abundance (10 ⁴ m ³ ·km ⁻²)
Barnett	Miss.	1981~2926	30.00~183.00	2.00~7.00	1.10~2.00	35~50	4.00~5.00	8.50~9.91	7.15
Fayetteville	Miss.	305~2287	6.10~76.20	2.00~9.80	1.20~4.00		2.00~8.00	1.70~6.23	6.30
Haynesville	J ₃	3048~4115	616.00~91.44	0.50~4.00	2.20~3.20		8.00~9.00	2.83~9.34	8.71
Woodford	D ₃	1829~3353	36.58~67.10	1.00~14.00	1.10~3.00	60~80	3.00~9.00	5.66~8.50	2.29
Antrim	D ₃	183~732	21.00~37.00	1.00~20.00	0.40~0.60	20~41	9.00	1.13~2.83	0.69
Lewis	K ₂	914~1829	61.00~91.00	0.45~25.0	1.60~1.90		3.00~55.00	0.40~1.30	1.74
Marcellus	D ₂	475~2591	15.20~304.00	3.00~12.00	1.50~3.00	50~70	10.00	1.70~2.83	1.73
Montney	T	400~4400	30.00	1.20~1.60	1.75~3.75	50~70	5.00~9.50	0.44	
Qiongzhusi	-C _{1q}	2600~4600	20.00~80.00	2.30~4.20	1.50~5.70	28~56	1.46~2.61	1.17~6.02	0.90~2.30
Longmaxi	S _{1l}	1600~4200	20.00~100.00	1.60~3.60	1.88~4.36	24~44	1.00~5.00	1.73~5.1	1.00~2.50

Εικόνα 2.21.: Γεωλογικές συνθήκες και χαρακτηριστικά σχιστολίθων στις ΗΠΑ και στην Κίνα

Συντελεστής απόληψης:

Ο συντελεστής απόληψης στους ταμιευτήρες σχιστολιθικού φυσικού αερίου κυμαίνεται μεταξύ 12% -35%, σε αντίθεση με τους συμβατικούς όπου η τιμή φτάνει τα 70 - 80% (IEA ETSAP, 2010). Συγκεκριμένα για τον ταμιευτήρα σχιστολιθικού αερίου Antrim, ο οποίος βρίσκεται σε μικρό από την επιφάνεια βάθος (600ft – 2200ft και πάχος 160ft) και χαρακτηρίζεται από χαμηλή πίεση σχηματισμού, μεγάλη αφθονία σε οργανική ύλη και μεγάλη περιεκτικότητα σε προσροφημένο αέριο, ο συντελεστής απόληψης ανέρχεται στο 26%. Αντίθετα ο σχηματισμός Barnett ο οποίος βρίσκεται σε πολύ μεγάλο βάθος (βάθος 3500ft και πάχος 150ft στα νότια και δυτικά και πέραν των 8000ft βάθος και 1000ft πάχος στα βόρεια) και χαρακτηρίζεται από υψηλή πίεση σχηματισμού και χαμηλή περιεκτικότητα σε προσροφημένο αέριο, ο συντελεστής απόληψης όταν πρωτοξεκίνησε η εκμετάλλευση του έφτανε το 7-8%. Σήμερα ο συντελεστής απόληψης στο σχηματισμό Barnett ανέρχεται στα 13,5% και αναμένεται στο μέλλον να φτάσει το 25% εξαιτίας της προόδου που θα παρουσιάσει η τεχνολογία στον τομέα των οριζοντίων γεωτρήσεων και της υδραυλικής ρωγμάτωσης (Economides, 2007) (Zou, 2013).

Βιβλιογραφία

Curtis, J. B. (2002). *Fractured shale-gas systems*.

Department of Natural Resources - State of Louisiana. (n.d.). Retrieved from <http://dnr.louisiana.gov/assets/TAD/education/BGGB/3/transformation.html>

Economides, M. (2007). Modern Fracturing Enhancing Natural Gas Production.

Encyclopedia Britannica. (n.d.). Retrieved from www.britannica.com

geology.com. (n.d.). Retrieved from www.geology.com

IEA ETSAP. (2010). *Conventional Oil and Gas Technologies*.

Jarvie, D. M., Hill, R. J., Ruble, T. E., & Pollastro, R. M. (2007). *Unconventional shale-gas systems: The Mississippian Barnett Shale of north-central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment*.

Jarvie, D. (1991). *Total Organic Carbon (TOC) Analysis in Treatise of Petroleum Geology: Handbook of Petroleum Geology: Source and Migration Processes and Evaluation Techniques*.

Jenkins et al. (2008). Coalbed- and Shale-Gas Reservoirs. *Journal of Petroleum Technology*.

King, G. (1994). *Material balance method for coalbed and Devonian shale gas reservoir with limited water invasion*.

Lee, D. S., Herman, J. D., Elsworth, D., Kim, H. T., & Lee, H. S. (2011). *A Critical Evaluation of Unconventional Gas Recovery from the Marcellus Shale, Northeastern United States*.

Loucks, R., Reed, R. M., Ruppel, S., & Jarvie, D. (2009). *Morphology, genesis, and distribution of nanometer-scale pores in siliceous mudstones of the Mississippian Barnett Shale*.

Passey, Bohacs, Esch, Klimentidis, & Sinha. (2010). *From Oil-Prone Source Rock to Gas-Producing Shale Reservoir – Geologic and Petrophysical Characterization of Unconventional Shale-Gas Reservoirs*.

Schlumberger. (2011). *Shale Gas Revolution*.

Tissot, B., & Welte, D. (1984). *Petroleum Formation and Occurrence*.

Zou, C. (2013). *Unconventional Petroleum Geology*.

Zou; Caineng; Dong; Dazhong; Wang; Shejiao. (2010a). *Geological characteristics, formation mechanism and resource potential of shale gas in China.*

Zou; Caineng; Dong; Dazhong; Wang; Shejiao. (2010b). *Geological characteristics, formation mechanism and resource potential of shale gas in China.*

Ζελελίδης, Α. (1995). *Γεωλογία Πετρελαίων.*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΔΙΕΘΝΩΣ

3.1. Εισαγωγή

Ο εντοπισμός και η παραγωγή φυσικού αερίου από σχιστολιθικούς σχηματισμούς έχει εξελιχθεί από Βορειοαμερικανικό φαινόμενο, σε μια διεθνή επιχειρηματική αναζήτηση για πολλές πετρελαϊκές εταιρείες.

Καθώς το μεγαλύτερο ενδιαφέρον και οι μεγαλύτερες οικονομικές επενδύσεις έχουν κατευθυνθεί σε λεκάνες στη Βόρεια Αμερική, οι εταιρείες επιδιώκουν να επαναλάβουν την επιτυχία αυτή και σε άλλα μέρη του κόσμου. Σε χώρες που έχουν μικρή παραγωγή συμβατικών υδρογονανθράκων, όπως στις ευρωπαϊκές, οι έρευνες για σχιστολιθικό αέριο αποκτούν μεγάλη σημασία. Ωστόσο, το ενδιαφέρον δεν περιορίζεται στη Βόρεια Αμερική και στην Ευρώπη, αλλά και άλλες περιοχές σε ολόκληρο τον κόσμο προσελκύουν επενδυτικά κεφάλαια και ως τώρα έχουν εντοπιστεί μεγάλα αποθέματα σε διάφορες περιοχές της Γης.

Τα τελευταία χρόνια έχει δημοσιευθεί ένας μεγάλος αριθμός εκτιμήσεων όσων αφορά τα αποθέματα μη συμβατικού αερίου, σε παγκόσμιο επίπεδο, από διάφορους μελετητές, διεθνή ινστιτούτα και εταιρίες συμβούλων. Η εκπονηθείσα από τον Rogner μελέτη το 1997, με τίτλο «An Assessment of World Hydrocarbon Resources», αποτέλεσε τη βάση σχεδόν για όλες τις εκτιμήσεις των αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου, εκτός βορείου Αμερικής, μέχρι και το 2009. Στη μελέτη αυτή εκτιμήθηκαν τα αρχικά επιτόπου αποθέματα (OGIP – Original Gas In Place) και για τους τρεις τύπους μη συμβατικού αερίου (σχιστολιθικό και έγκλειστο φυσικό αέριο και μεθάνιο από στρώματα γαιάνθρακα) σε 11 ηπειρωτικές περιοχές. Τα εκτιμώμενα, βάσει της μελέτης του Rogner, αποθέματα και για τα τρία είδη μη συμβατικού αερίου φτάνουν τα 920 tcm, με το 50% αυτών να είναι σχιστολιθικό αέριο. Ωστόσο, η πιο πάνω μελέτη δεν παρείχε τις κατανομές των αρχικών επιτόπου αποθεμάτων σε επιμέρους χώρες, αλλά ούτε προέβαινε σε εκτίμηση των τεχνικά απολήψιμων αποθεμάτων. Από τότε πολλοί οργανισμοί έχουν παρουσιάσει στις μελέτες τους εκτιμήσεις των τεχνικά απολήψιμων αποθεμάτων εφαρμόζοντας κάποιο συντελεστή απόληψης στις εκτιμήσεις του Rogner. Κάποιες τιμές συντελεστών απόληψης που έχουν δοθεί είναι 15% από τους Mohr και Evans (Mohr & Evans, 2010), ένα εύρος μεταξύ 10% - 35% από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (MIT) (Ejaz,

2010), και 40% από την ARI (Advanced Resources International Inc.) (Kuuskraa, 2009) και τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA). Στην τελευταία αναφορά της U.S. Energy Information Administration EIA ο συντελεστής απόληξης που χρησιμοποιήθηκε κυμαινόταν μεταξύ 20% – 30%, ενώ σε εξαιρετικές περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε συντελεστής που έφτανε το 15% και 35% (EIA/ARI, 2013). Αντιθέτως, στα αποθέματα συμβατικού φυσικού αερίου ο συντελεστής απόληξης κυμαίνεται μεταξύ 70 – 80%.

Αργότερα, ακολούθησαν οι μελέτες των Holditch,, του Ινστιτούτου Γεωλογικών Ερευνών των ΗΠΑ (USGS), του Εθνικού Συμβουλίου Πετρελαίου το 2003 (NPC, 2003) και το 2007 (NPC, 2007), της ARI, της Wood Mackenzie το 2006 (Wood Mackenzie , 2006) και της IHS το 2008 (IHS, 2009). Ωστόσο υπάρχουν πολλά τα οποία δεν έχουν γίνει ακόμη γνωστά, κυρίως εκτός Βορείου Αμερικής, όπως τα παραγωγικά όρια των αναδυόμενων ενδεχόμενων (plays) φυσικού αερίου και οι επιπτώσεις που επιφέρει η πρόοδος στην τεχνολογία όρυξης και ολοκλήρωσης των γεωτρήσεων, στην εκμετάλλευση τους. Συνεπώς, οι περισσότερες από αυτές τις μελέτες θα πρέπει να αντιμετωπιστούν με ένα χαμηλό επίπεδο εμπιστοσύνης.

Επίσης, οι εκτιμήσεις των απολήξιμων αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου έχουν τροποποιηθεί και αναμένεται να αλλάξουν πολλές φορές με την πάροδο του χρόνου. Όπως αναφέρει και η εταιρία συμβούλων ενέργειας ARI (Advanced Resources International), «η συνεχιζόμενη εμφάνιση νέων ενδεχόμενων (plays) μη συμβατικού φυσικού αερίου, η δυνατότητα μιας εντατικότερης εκμετάλλευσης των ήδη ανακαλυφθέντων και η πρόοδος στην τεχνολογία εξόρυξης τους θα επηρεάσει το τελικό μέγεθος των απολήξιμων αποθεμάτων» (Kuuskraa, 2007).

Επιπλέον, λόγω των διαφορών που παρατηρούνται στη φύση των μη συμβατικών αποθεμάτων φυσικού αερίου σε σχέση με τα συμβατικά, έχουν αναπτυχτεί νέες τεχνολογίες αξιολόγησης τους. Τα παραδοσιακά κριτήρια αξιολόγησης τους έχουν εγκαταλειφθεί, δίνοντας τη θέση τους σε νέες μεθοδολογίες και παραδοχές, οι οποίες είναι αρκετά διαφορετικές, έχοντας ως συνέπεια ένα ευρύ φάσμα εκτιμήσεων των αποθεμάτων μη συμβατικού φυσικού αερίου.

3.2. Ορισμοί

Οι διάφορες υπηρεσίες οι οποίες εμπλέκονται στην αξιολόγηση των κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου χρησιμοποιούν διαφορετικούς ορισμούς και μεθοδολογίες. Οι εκτιμήσεις για τα αποθέματα παρέχονται για διαφορετικά επίπεδα χωρικής συγκέντρωσης όπως π.χ. ανά χώρα, περιοχή, κοίτασμα, γεώτρηση και μπορεί να αναφέρονται είτε στις ποσότητες αερίου που εκτιμώνται να είναι παρούσες, είτε σε ποσότητες που θεωρούνται να είναι τεχνικά ή οικονομικά ανακτήσιμες. Στην τελευταία περίπτωση, οι εκτιμήσεις αυτές εκφράζονται είτε με πιθανότητες απόληψης, είτε με διαφορετικά επίπεδα εμπιστοσύνης (π.χ. πιθανά, δυνατά αποθέματα). Ωστόσο, οι σαφείς ορισμοί όπως επίσης και η ορθή ερμηνεία των μεγεθών αυτών θεωρούνται σημαντικές παράμετροι, καθώς προκύπτουν προβλήματα κατά την σύγκριση διαφορετικών εκτιμήσεων από ποικίλες πηγές.

Γενικά, στη μελέτη όγκων (ποσοτήτων) μη συμβατικού αερίου το μεγαλύτερο μέγεθος που δίνεται είναι τα αρχικά επιτόπου αποθέματα (OGIP – Original Gas In Place). Ο ορισμός αυτός αναφέρεται στο συνολικό όγκο του αερίου που εκτιμάται να υπάρχει σε μία δεδομένη περιοχή. Ως τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα (TRR – Technically Recoverable Reserves) ορίζεται το ποσοστό του αερίου το οποίο μπορεί να παραχθεί τεχνικά με τη σημερινή τεχνολογία, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη το κόστος εξόρυξης, οι τιμές αερίου και άλλα επενδυτικά κριτήρια. Το μέρος των τεχνικά ανακτήσιμων αποθεμάτων που μπορεί βάσει των τρεχουσών οικονομικών συνθηκών να παραχθεί οικονομικά (π.χ. τιμή του αερίου) αναφέρεται ως οικονομικά απολήψιμα αποθέματα (ERR- Economically Recoverable Reserves).

3.3. Σύγκριση ευρημάτων διαφόρων μελετών

Όπως ήδη έχει προαναφερθεί, πριν από την μελέτη των EIA/ARI World Shale Gas Resources: An Initial Assessment του 2011, μόνο μια άλλη μελέτη είναι διαθέσιμη στο κοινό, η οποία ασχολείται με το συνολικό μέγεθος των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου. Η μελέτη αυτή δημοσιεύθηκε το 1997 και ήταν έργο του H-H. Rogner.

Στην μελέτη των ΕΙΑ/ΑΡΙ, η οποία περιελάμβανε λεπτομερείς εκτιμήσεις για κάθε λεκάνη, φαίνεται ότι τα αρχικά επιτόπου αποθέματα είναι μεγαλύτερα από αυτά που είχαν εκτιμηθεί από τον Rogner, παρά το γεγονός ότι ορισμένες από τις μεγαλύτερες περιοχές σχιστολιθικού φυσικού αερίου, όπως η Ρωσία και η Μέση Ανατολή, δεν είχαν συμπεριληφθεί (ωστόσο περιλαμβάνονται στη μελέτη του Rogner) (Πίνακας 3.2).

Συνολικά, τα επιτόπου αρχικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου, βάσει των εκτιμήσεων των ΕΙΑ/ΑΡΙ ανέρχονταν στα 25300 Tcf, συμπεριλαμβανομένης της εκτίμησης για 3284 Tcf για τις Ηνωμένες Πολιτείες. Στη μελέτη του ο Rogner εκτίμησε ότι τα αποθέματα φτάνουν 16112 Tcf. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.1, οι περιοχές όπου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες και πιο αξιοσημείωτες διαφορές στις εκτιμήσεις των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου είναι η Ευρώπη, η Αφρική και η Βόρειος Αμερική (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1.: Σύγκριση της μελέτης του Rogner και των ΕΙΑ/ΑΡΙ 2011 για τις εκτιμήσεις των επιτόπου αρχικών αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου (ΕΙΑ/ΑΡΙ, 2011)

Continent	H-H Rogner (Tcf)	EIA/ARI (Tcf)
1. North America*	3,842	7,140
2. South America	2,117	4,569
3. Europe	549	2,587
4. Africa**	1,548	3,962
5. Asia	3,528	5,661
6. Australia	2,313	1,381
7. Other***	2,215	n/a
Total	16,112	25,300

* Περιλαμβάνει την εκτίμηση για τα αρχικά επιτόπου αποθέματα των Η.Π.Α. (3284 Tcf). Η εκτίμηση βασίστηκε στα 820 Tcf τεχνικά ανακτώσιμων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου (ΑΡΙ) και σε ένα συντελεστή ανάκτησης αυτών των αποθεμάτων της τάξεως του 25%.

** Η εκτίμηση του Rogner περιλαμβάνει το ήμισυ της Μέσης Ανατολής και της Βορείου Αφρικής (1274 Tcf) και της Υποσαχάριας Αφρικής (274 Tcf).

*** Περιλαμβάνει τις χώρες της Πρώην Σοβιετικής Ένωσης (627 Tcf) και το ήμισυ της Μέσης Ανατολής/ Βορείου Αφρικής (1274 Tcf).

Από τη δημοσίευση της πρώτης αξιολόγησης των δυνητικών αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου από τις EIA/ARI το 2011, πολλές νέες πληροφορίες έγιναν διαθέσιμες, παρέχοντας έτσι σε μία καλύτερη αξιολόγηση των αποθεμάτων. Νέες λεκάνες όπως επίσης και χώρες έχουν προστεθεί στον κατάλογο. Τα προερχόμενα από τις πιο πρόσφατες γεωτρήσεις δεδομένα, βοήθησαν στον περιορισμό του μεγέθους και της ποιότητας των αποθεμάτων – κάποιες φορές αυξάνοντας και άλλες μειώνοντας τις σχετικές εκτιμήσεις. Με τις νέες πληροφορίες, κάποιες περιοχές δυνητικών σχιστολιθικών λεκανών (prospective shale basins), η οποίες προηγουμένως τοποθετούνταν στο «παράθυρο γένεσης αερίου», τώρα κατατάσσονται σ' αυτό του υγραερίου/συμπυκνώματος.

Στον Πίνακα 3.2. παρουσιάζεται η σύγκριση των ανακτήσιμων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου (πάντα με την σχετική ανασφάλεια που ενέχει ο όρος «ανακτήσιμα») σε διεθνές επίπεδο, όπως αυτά είχαν εκτιμηθεί πρόσφατη μελέτη των EIA/ARI, η οποία δημοσιεύθηκε τον Μάιο του 2013 με τίτλο «Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States», και στην αντίστοιχη παλαιότερη του 2011 (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2.: Σύγκριση μεταξύ της μελέτης των EIA/ARI του 2013 με αυτήν του 2011, για τις εκτιμήσεις των παγκόσμιων, τεχνικά ανακτήσιμων αποθέματων σχιστολιθικού αερίου (EIA/ARI, 2013)

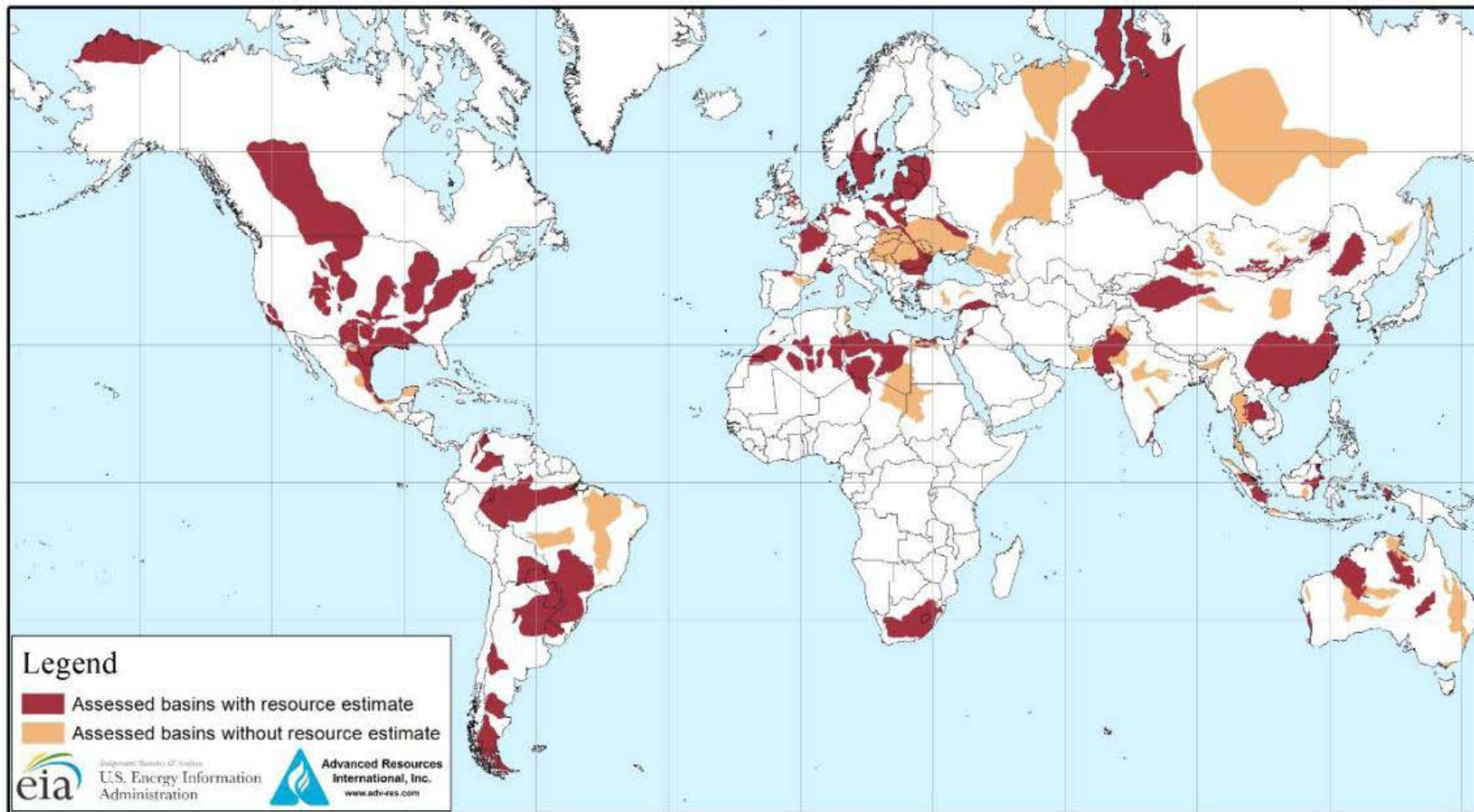
	2011	2013
Continent	Risked Recoverable (Tcf)	Risked Recoverable (Tcf)
North America (Ex. U.S.)	1,069	1,118
Australia	396	437
South America	1,225	1,431
Europe	624	883
Africa	1,042	1,361
Asia	1,404	1,403
Total	5,760	6,634

Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι δέκα χώρες με τα υψηλότερα εκτιμώμενα δυναμικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου (Πίνακας 3.3) καθώς και οι λεκάνες των οποίων οι σχηματισμοί έχουν αξιολογηθεί κατά την διάρκεια της μελέτης των ΕΙΑ/ΑΡΙ (Εικόνα 3.1). Η αναφορά που ακολουθεί επικεντρώνεται στα κύρια σχιστολιθικά πεδία σε διεθνές επίπεδο και παρουσιάζονται σχετικά στοιχεία ανά ήπειρο/χώρα ενδιαφέροντος.

Πίνακας 3.3.: Οι δέκα χώρες με τα υψηλότερα εκτιμώμενα δυναμικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου (ΕΙΑ/ΑΡΙ, 2013)

Rank	Country	Shale gas	
		(trillion cubic feet)	
1	China	1,115	
2	Argentina	802	
3	Algeria	707	
4	U.S. ¹	665	(1,161)
5	Canada	573	
6	Mexico	545	
7	Australia	437	
8	South Africa	390	
9	Russia	285	
10	Brazil	245	
World Total		7,299	(7,795)

¹ EIA estimates used for ranking order. ARI estimates in parentheses.



Εικόνα 3.1.: Χάρτης των λεκανών με αξιολογημένους σχηματισμούς σχιστολιθικού φυσικού αερίου και πετρελαίου (EIA/ARI, 2013)

3.4. Βόρεια Αμερική

3.4.1. ΗΠΑ

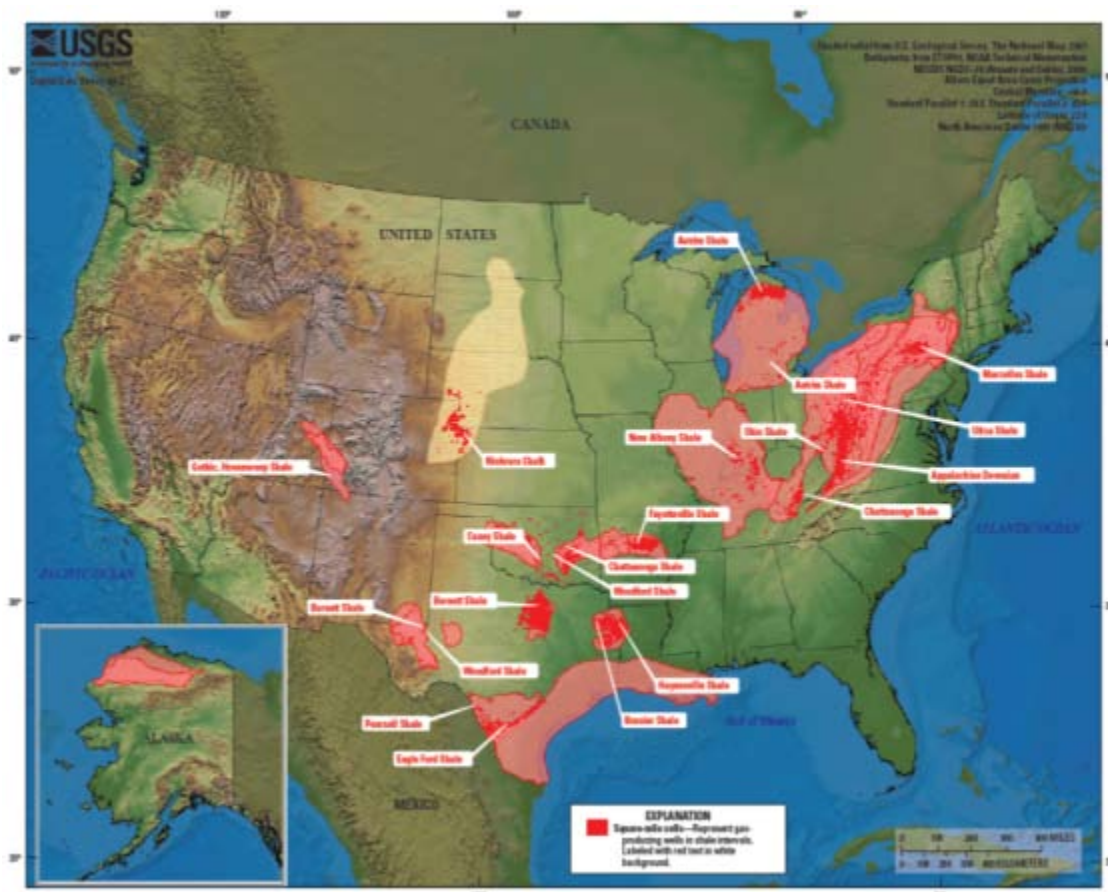
Μέχρι πρόσφατα, η παραγωγή μη συμβατικού αερίου ήταν φαινόμενο κυρίως ή αποκλειστικά των ΗΠΑ. Αν και η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου λαμβάνει χώρα εδώ και αρκετές δεκαετίες, δεν ήταν παρά μόνο στα μέσα της προηγούμενης δεκαετίας όταν άρχισε η ραγδαία αύξηση της παραγωγής του, με ρυθμούς αύξησης πέραν του 45% ανά έτος κατά την πενταετία 2005 με 2010 (HSBC). Κατά το έτος 2010 ένα ποσοστό της τάξεως του 60% της συνολικής παραγωγής φυσικού αερίου στις ΗΠΑ προερχόταν από μη συμβατικές πηγές (shale gas, tight- gas, coal bed methane), με το σχιστολιθικό αέριο να παραμένει ως η κύρια πηγή της αύξησης που αναμένεται να παρουσιάσει η συνολική προμήθεια φυσικού αερίου μέσα στις επόμενες δεκαετίες (IEA, 2012).

Στις Ηνωμένες Πολιτείες υπάρχουν μεγάλα αποθέματα και των τριών τύπων μη συμβατικού αερίου. Βάσει στατιστικών του 2011, τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα αερίου ανέρχονται στα 74 Tcm (2613,28 Tcf), εκ των οποίων τα μισά προέρχονται από μη συμβατικές πηγές (Εικόνα 3.2.). Η παραπάνω ποσότητα, με βάση τις σημερινές ανάγκες, επαρκεί για να καλύψει τη ζήτηση για τα επόμενα 110 χρόνια (Financial Times).

Τα κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου βρίσκονται σε διαφορετικές λεκάνες, και εκτείνονται σε μεγάλα τμήματα των Ηνωμένων Πολιτειών, ενώ κάποιες εξ αυτών είναι κοινές με τον Καναδά και το Μεξικό (Εικόνα 3.3). Επίσης, δυο εκ των μεγαλύτερων σχιστολιθικών σχηματισμών που έχουν εντοπιστεί μέχρι στιγμής, οι σχηματισμοί Marcellus και Haynesville, θεωρούνται ότι αποτελούν τα μεγαλύτερα κοιτάσματα φυσικού αερίου, παντός είδους, στον κόσμο.

	Recoverable resources (tcm)		Production (bcm)		
	End-2011	Share of total	2005	2010	Share of total (2010)
Unconventional gas	37	50%	224	358	59%
Shale gas	24	32%	21	141	23%
Tight gas	10	13%	154	161	26%
Coalbed methane	3	4%	49	56	9%
Conventional gas	37	50%	288	251	41%
Total	74	100%	511	609	100%

Εικόνα 3.2.: Ανακτήσιμα αποθέματα και παραγωγή συμβατικού και μη συμβατικού αερίου στις ΗΠΑ (IEA, 2012)



Εικόνα 3.3.: Κύριες εμφανίσεις σχιστολιθικού αερίου στην Βόρεια Αμερική (USGS)

3.4.1.1. Εμφανίσεις σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ

Στις ΗΠΑ, το μεγαλύτερο μέρος των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου απαντάται στις 48 χαμηλότερες νοτιότερες πολιτείες. Ως κυρίοι δυνητικοί σχηματισμοί σχιστολιθικού αερίου θεωρούνται οι σχηματισμοί Barnett, Fayetteville, Haynesville, Marcellus, Woodford, και Eagle Ford (Εικόνα 3.4). Η παραγωγή αερίου από τους πιο πάνω σχιστολιθικούς σχηματισμούς έφτασε τα 20 bcf/day για το 2011 με τα 5,9 bcf/day να προέρχονται από τον σχηματισμό Haynesville, τα 5,6 bcf/day από τον Barnett και τα 3 bcf/day από τον Fayetteville, όντας τα τρία πιο αναπτυγμένα πεδία-περιοχές εκείνη την περίοδο (Oil & Gas Journal, 2012).

Gas shale basin	Barnett	Fayetteville	Haynesville	Marcellus	Woodford	Eagle Ford
Estimated basin area, square miles	5,000	9,000	9,000	95,000	11,000	20,000 ⁶
Depth, feet	6,500–8,500	1,000–7,000	10,500–13,500	4,000–8,500	6,000–11,000	4,000–12,000 ⁷
Net thickness, feet	100–600	20–200	200–300	50–200	120–220	500
Well spacing, acres	60–160	80–160	40–560	40–160	640	NA
Original gas in place, Tcf	327	52	717	1,500	23	11 ⁸
Technically recoverable resources, Tcf	44	41.6	251	262	11.4	NA
Breakeven cost, US\$ per mmbtu ⁹	3.7	4.0	3.6	3.3	6.2	4.3

Εικόνα 3.4.: Κύριες παράμετροι των εμφανίσεων σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ (ΕΙΑ, 2010)

Σχηματισμός Barnett

Ο σχηματισμός Barnett βρίσκεται στο βορειοκεντρικό (north-central) Texas εντός της λεκάνης Fort Worth. Ανακαλύφθηκε κατά τη δεκαετία του 1950, αλλά η εκμετάλλευσή του δεν εθεωρείτο εμπορικά βιώσιμη μέχρι τη δεκαετία του 1980. Η ανάπτυξη στην τεχνολογία των γεωτρήσεων αλλά και στις τεχνικές της υδραυλικής ρωγμάτωσης, αρκετές

εκ των οποίων είχαν τελειοποιηθεί στο συγκεκριμένο σχηματισμό, ενέτειναν την όρυξη γεωτρήσεων στη περιοχή.

Πρόσφατα, σχεδόν τα 2/3 της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Αμερική προέρχονταν από το σχηματισμό Barnett. Ο σχηματισμός καλύπτει

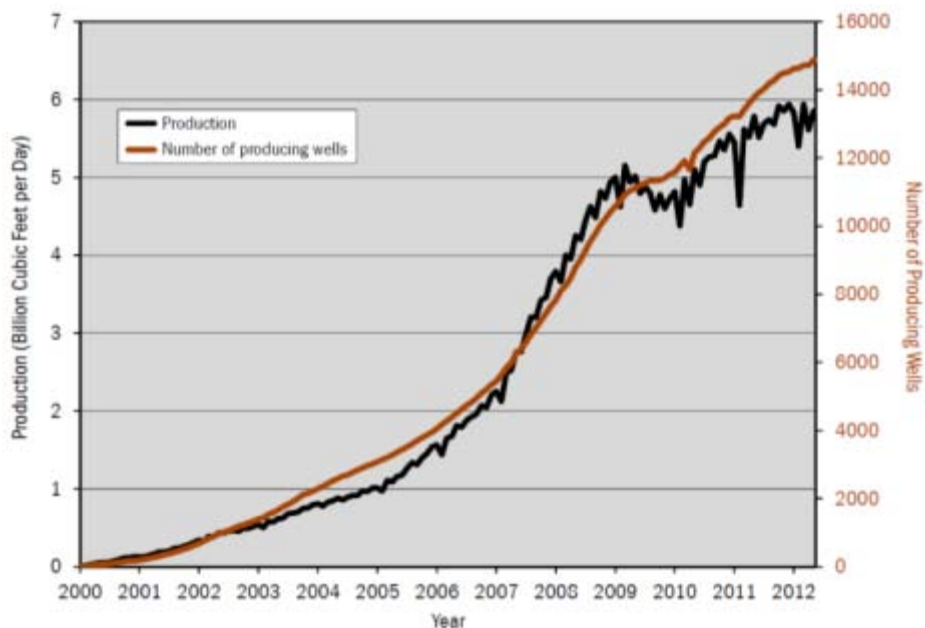
έκταση 5000 mi², ενώ το πάχος του κυμαίνεται από 100 ft έως και πάνω από 600 ft (Εικόνα 3.5). Τα αρχικά επιτόπου αποθέματα φτάνουν τα 327 Tcf, με τα 44 Tcf να εκτιμώνται ως τεχνικά ανακτήσιμα.



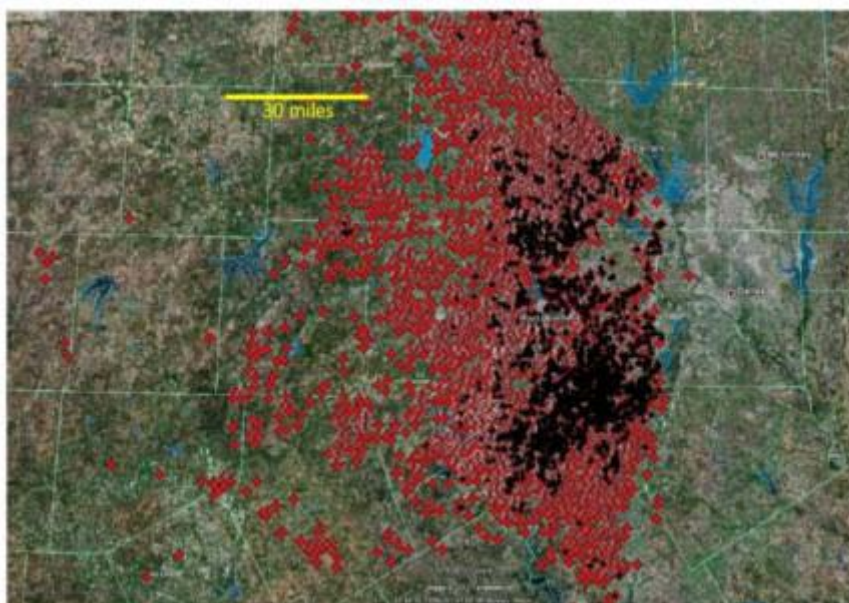
Εικόνα 3.5.: Χάρτης του σχηματισμού Barnett (U.S. Department of Energy, 2009)

100 ft έως και πάνω από 600 ft (Εικόνα 3.5). Τα αρχικά επιτόπου αποθέματα φτάνουν τα 327 Tcf, με τα 44 Tcf να εκτιμώνται ως τεχνικά ανακτήσιμα.

Στο συγκεκριμένο σχηματισμό υπάρχουν 14.871 γεωτρήσεις με παραγωγή 5,85 bcf/day, κατατάσσοντας τον στη δεύτερη θέση (Μάρτιος 2012) μετά από τον σχηματισμό Haynesville ως προς το μέγεθος της ημερήσιας παραγωγής. Η παραγωγή φαίνεται να έχει σταθεροποιηθεί μετά τον Δεκέμβριο του 2011, παρά τον αυξανόμενο αριθμό των γεωτρήσεων (Εικόνα 3.6 & Εικόνα 3.7).



Εικόνα 3.6.: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου και αριθμός γεωτρήσεων στο σχηματισμό Barnett την περίοδο 2000 - Μάιο 2012 (DI Desktop /HPDI)



Εικόνα 3.7.: Κατανομή των γεωτρήσεων στο σχηματισμό Barnett. Με μαύρο χρώμα απεικονίζεται το 20% των γεωτρήσεων με την μεγαλύτερη αρχική παραγωγικότητα (DI Desktop /HPDI)

Σχηματισμός Fayetteville

Ο σχηματισμός Fayetteville βρίσκεται στην πλευρά του Arkansas της λεκάνης Arkoma και εκτείνεται σε όλο το βόρειο Arkansas, από το δυτικό άκρο της πολιτείας μέχρι το βορειοκεντρικό Arkansas. Η αξιοποίηση του σχηματισμού ξεκίνησε στις αρχές τις προηγούμενης δεκαετίας και εκτιμάται ότι από τα 52 Tcf που είναι τα επιτόπου αρχικά αποθέματα τα 41,6 Tcf είναι τεχνικά ανακτήσιμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Η έκταση που καταλαμβάνει ο σχηματισμός Fayetteville με 9000 mi² είναι σχεδόν η διπλάσια από αυτήν του σχηματισμού Barnett, ενώ το πάχος του κυμαίνεται από 20 ft μέχρι 200 ft (Εικόνα 3.8).



Εικόνα 3.8.: Χάρτης του σχηματισμού Fayetteville (U.S. Department of Energy, 2009)

Σχηματισμός Haynesville

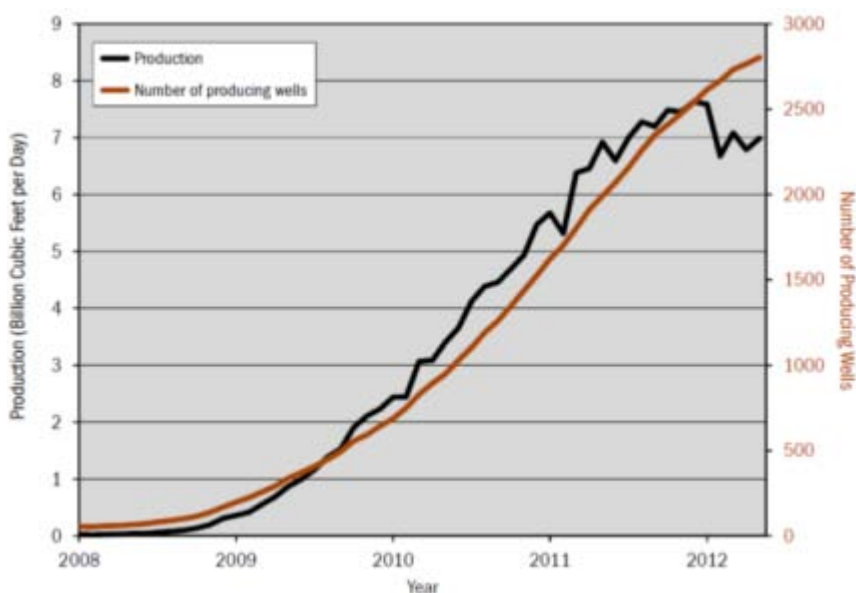
Ο σχιστόλιθος Haynesville συναντάται στη North Louisiana Salt Basin στη Βόρεια Louisiana και στο ανατολικό Texas, με το βάθος του να κυμαίνεται από 10.500 ft έως 13.500 ft. Ο σχιστόλιθος Bossier (ή αλλιώς άνω Haynesville) βρίσκεται στο ανατολικό Texas και Louisiana, πάνω από το σχιστόλιθο Haynesville. Κάποιοι γεωλόγοι ωστόσο, εξακολουθούν να θεωρούν ότι οι σχιστόλιθοι Haynesville και Bossier είναι ίδιοι σχηματισμοί.



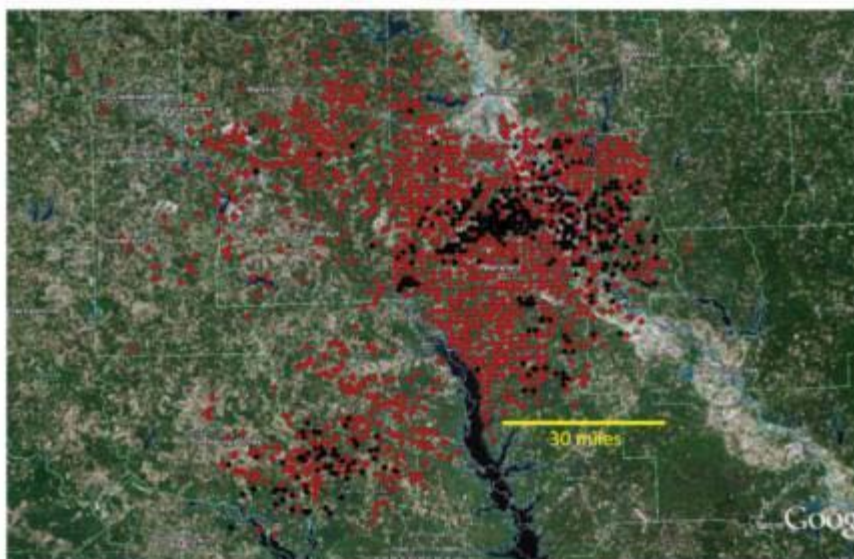
Εικόνα 3.9.: Χάρτης του σχηματισμού Haynesville (U.S. Department of Energy, 2009)

Η συνολική έκταση του σχηματισμού φτάνει τα 9000 mi² με το μέσο πάχος του να κυμαίνεται από 200 ft μέχρι 300ft (Εικόνα 3.9). Τα εκτιμώμενα αρχικά επιτόπου αποθέματα καθώς και τα τεχνικά ανακτήσιμα φτάνουν τα 717 Tcf και 251 Tcf αντίστοιχα.

Ο σχηματισμός Haynesville κατέλαβε την πρωτιά ως ο σχηματισμός με τη μεγαλύτερη ημερήσια παραγωγή ξεπερνώντας τον σχηματισμό Barnett, για πρώτη φορά, στα μέσα του Φεβρουαρίου του 2011 (ΕΙΑ), διατηρώντας την μέχρι το Μάρτιο του 2013. Επίσης είναι ο σχηματισμός με τη μεγαλύτερη παραγωγικότητα ανά γεώτρηση (Εικόνα 3.10 & Εικόνα 3.11).



Εικόνα 3.10.: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου και αριθμός γεωτρήσεων στο σχηματισμό Haynesville την περίοδο 2008 - Μάιο 2012 (DI Desktop/HPDI)



Εικόνα 3.11.: Κατανομή των γεωτρήσεων στο σχηματισμό Haynesville. Με μαύρο χρώμα απεικονίζεται το 20% των γεωτρήσεων με την μεγαλύτερη αρχική παραγωγικότητα (DI Desktop/HPDI)

Marcellus

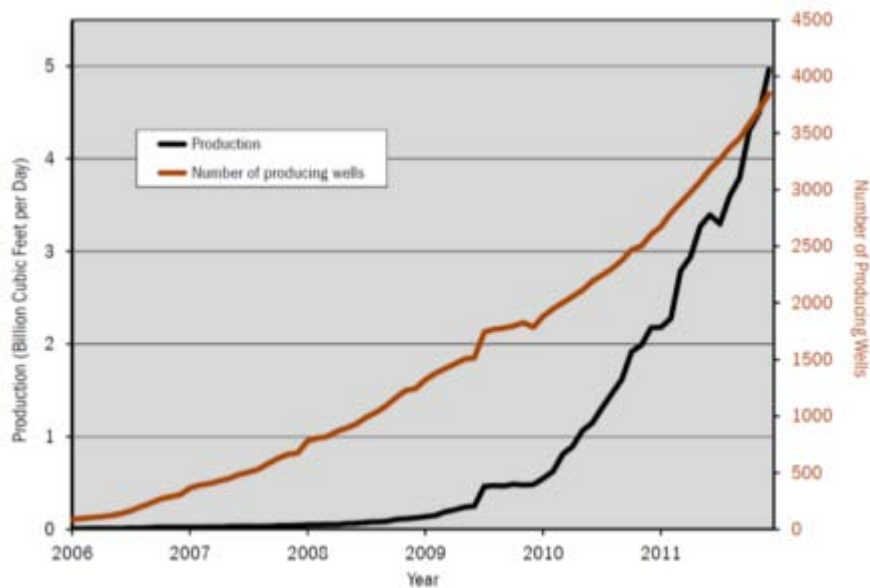
Ο σχηματισμός Marcellus είναι το μεγαλύτερο σε έκταση πεδίο στις ΗΠΑ, καθώς εκτείνεται σε έξι πολιτείες στα βορειοανατολικά της χώρας. Καλύπτει έκταση 95000 mi² με το μέσο πάχος του να κυμαίνεται από 50 – 200 ft. Το βάθος του φτάνει από τα 4000ft έως 8500ft (Εικόνα 3.12). Παρά τη σχετικά χαμηλή σχετική περιεκτικότητα του σε αέριο (relative gas content) (60 scf/ton – 100 scf/ton), λόγω της μεγάλης του έκτασης καταφέρει να έχει το μεγαλύτερο όγκο αρχικών επιτόπου



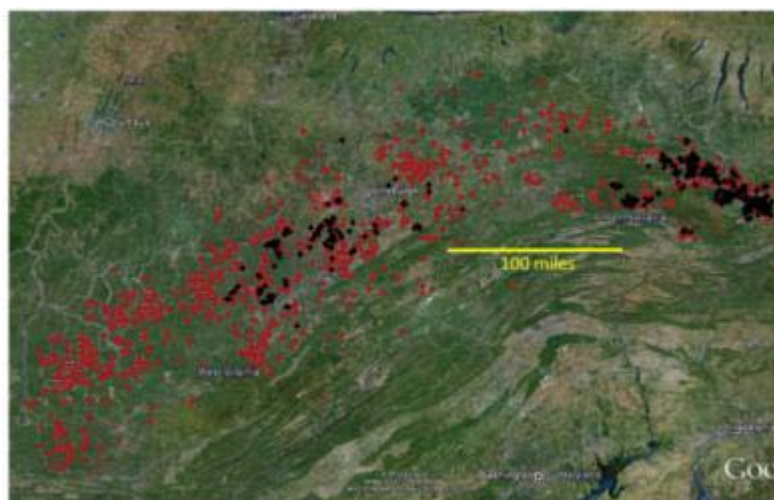
Εικόνα 3.12.: Χάρτης του σχηματισμού Marcellus (U.S. Department of Energy, 2009)

αποθεμάτων φτάνοντας τα 1500 Tcf. Τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα εκτιμώνται στα 262 Tcf, αλλά λόγω του ότι το πεδίο βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, τα δεδομένα αναθεωρούνται συχνά.

Η παραγωγή τον Δεκέμβριο του 2011 έφτασε τα 4,96 Bcf/day από 3848 γεωτρήσεις, ενώ τον Μάρτιο του 2013, με παραγωγή πέραν των 7 Bcf/day ανήλθε στην κορυφή, αφήνοντας στη δεύτερη θέση τον σχηματισμό Haynesville (Oil & Gas Journal). Εκτιμάται ότι ο σχηματισμός Marcellus θα ξεπεράσει το φράγμα των 10 Bcf/day εντός της επόμενης πενταετίας (Εικόνα 3.13 & Εικόνα 3.14).



Εικόνα 3.13.: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου και αριθμός γεωτρήσεων στο σχηματισμό Marcellus την περίοδο 2008 - Δεκέμβριος 2011 (DI Desktop/HPDI)



Εικόνα 3.14.: Κατανομή των γεωτρήσεων στο σχηματισμό Marcellus. Με μαύρο χρώμα απεικονίζεται το 20% των γεωτρήσεων με την μεγαλύτερη αρχική παραγωγικότητα (DI Desktop/HPDI)

Woodford

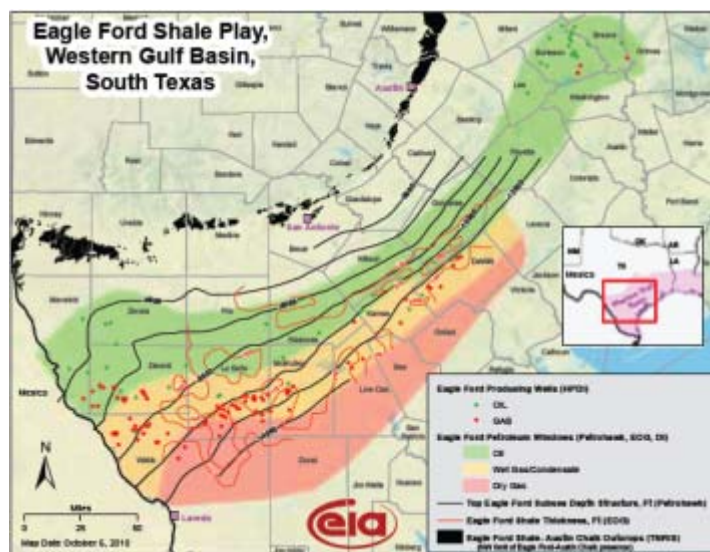
Ο σχηματισμός Woodford βρίσκεται στη νοτιο-κεντρική Oklahoma και συναντάται σε βάθη από 6000 ft – 11000ft. Η έκταση του φτάνει τα 11000 mi² ενώ το μέσο του πάχος ποικίλει από 120ft έως 220ft. Τα αρχικά επιτόπου αποθέματα στο σχηματισμό προσεγγίζουν τα 23 Tcf και τα τεχνικά ανακτήσιμα τα 11,4 Tcf (Εικόνα 3.15).



Εικόνα 3.15.: Χάρτης του σχηματισμού Woodford (U.S. Department of Energy, 2009)

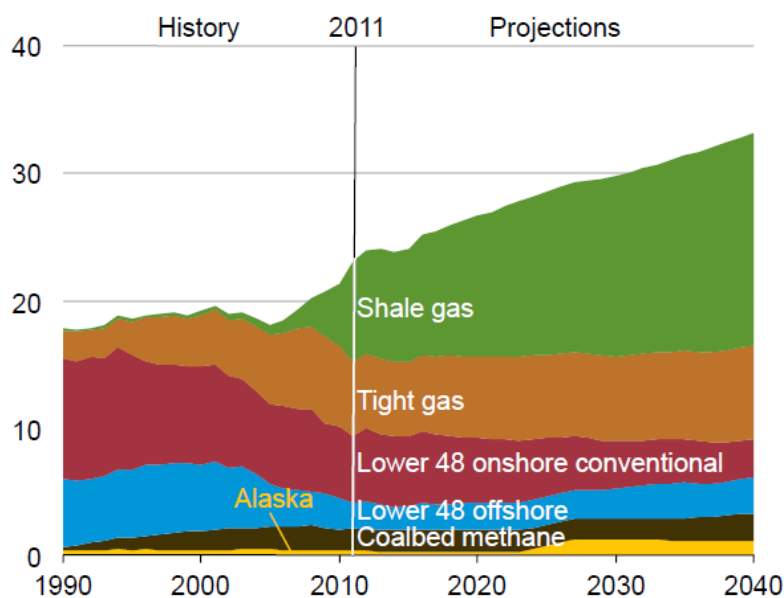
Eagle Ford

Ο σχηματισμός Eagle Ford συναντάται κάτω από το Austin Chalk στο Νότιο Τέξας και εκτείνεται από το Houston μέχρι το Laredo (Εικόνα 3.16). Το βάθος του ξεκινά από τα 4000 ft και φτάνει μέχρι τα 12000 ft, με μέσο πάχος γύρω στα 500 ft. Προς το παρόν, στον συγκεκριμένο σχηματισμό υπάρχει παραγωγή πετρελαίου και συμπυκνωμάτων φυσικού αερίου (gas condensate).

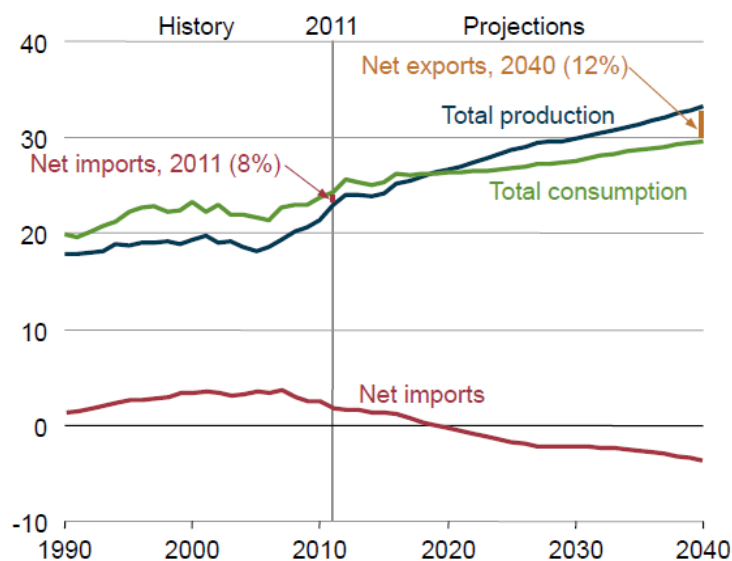


Εικόνα 3.16.: Χάρτης του σχηματισμού Eagleford (EIA)

Το μερίδιο που καταλαμβάνει το σχιστολιθικό αέριο στη συνολική παραγωγή φυσικού αερίου στις ΗΠΑ, αυξήθηκε από το 2% που ήταν περίπου το 2000, στο 34% το 2011 και βάσει των εκτιμήσεων της EIA αναμένεται να φτάσει στο 50% το έτος 2040 (Εικόνα 3.17). Επίσης, σύμφωνα με την Περίπτωση Αναφοράς - Reference Case (Εικόνα 3.18) στην ανάλυση του EIA, οι ΗΠΑ προβλέπεται στο μέλλον (έτος 2019), να καταστούν εξαγωγέας φυσικού αερίου (EIA, 2013).

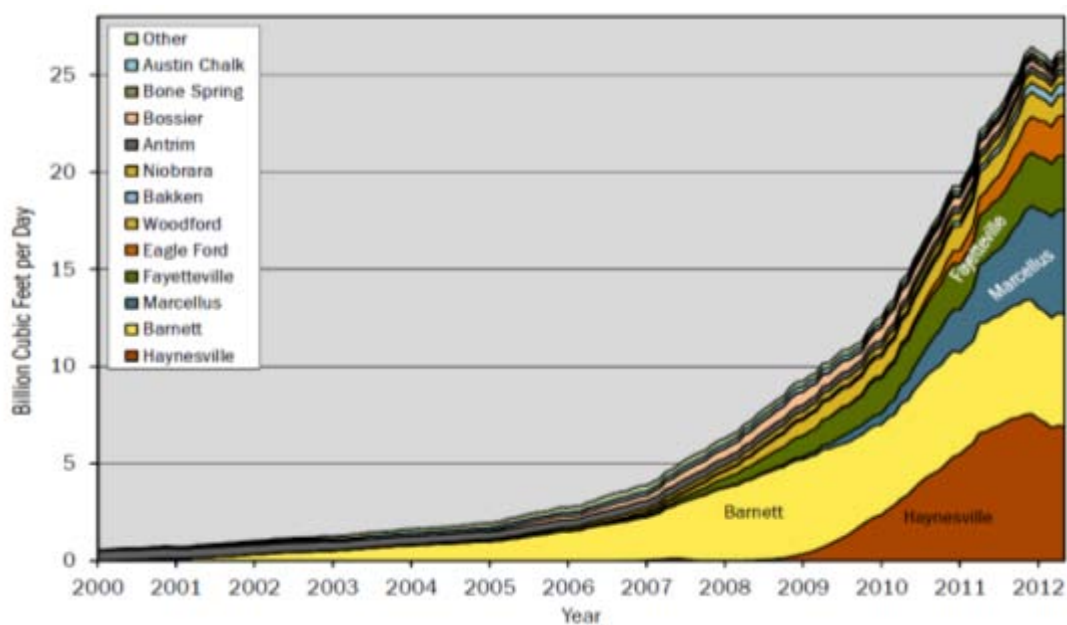


Εικόνα 3.17.: Παραγωγή φυσικού αερίου (tcf) ανά πηγή τα έτη 1990 - 2040 (EIA, 2013)



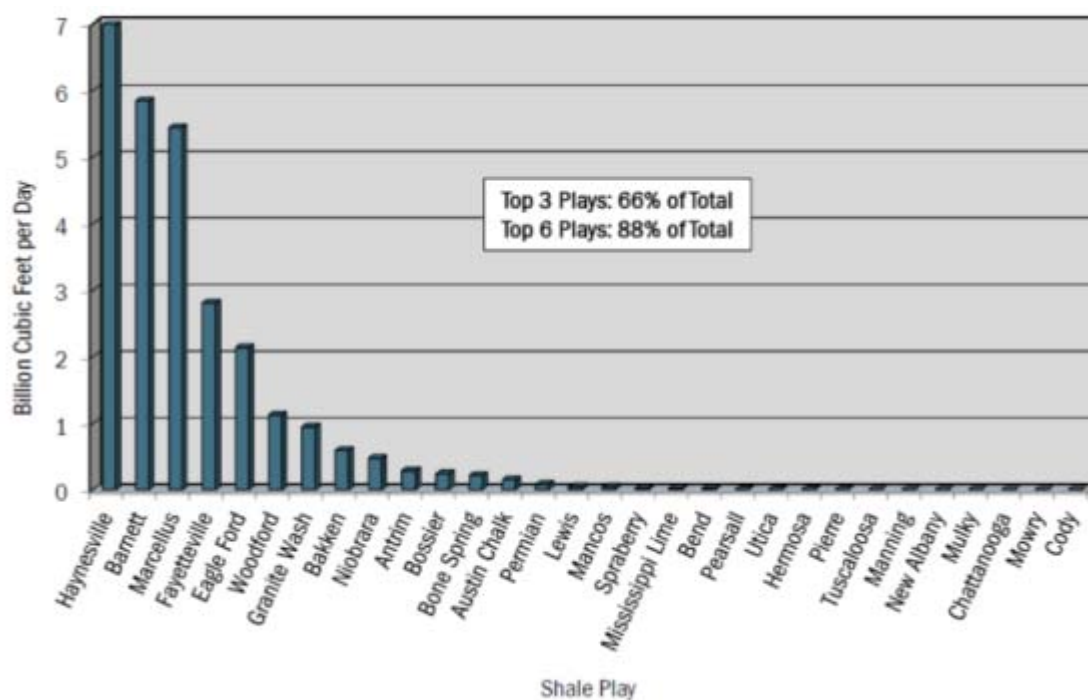
Εικόνα 3.18.: Συνολική παραγωγή, κατανάλωση και εισαγωγές φυσικού αερίου (Tcf) στις ΗΠΑ τα έτη 1990 – 2040 (ΕΙΑ, 2013)

Ωστόσο, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3.19, η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου φαίνεται να σταθεροποιείται από τα τέλη του 2011.



Εικόνα 3.19: Ημερήσια παραγωγή σχιστολιθικού αερίου ανά σχηματισμό στις ΗΠΑ (DI Desktop/HPDI)

Στην Εικόνα 3.20 απεικονίζεται η ημερήσια παραγωγή σε 30 πεδία σχιστολιθικού αερίου των ΗΠΑ. Βάσει του διαγράμματος, το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής συγκεντρώνεται στα τρία εξ αυτών με τη μεγαλύτερη παραγωγή, με το 88% της συνολικής παραγωγής να προέρχεται από τα πρώτα έξι. Τα δεκαεπτά πεδία με τη χαμηλότερη παραγωγή συμβάλλουν μόλις στο 1% της συνολικής παραγωγής.



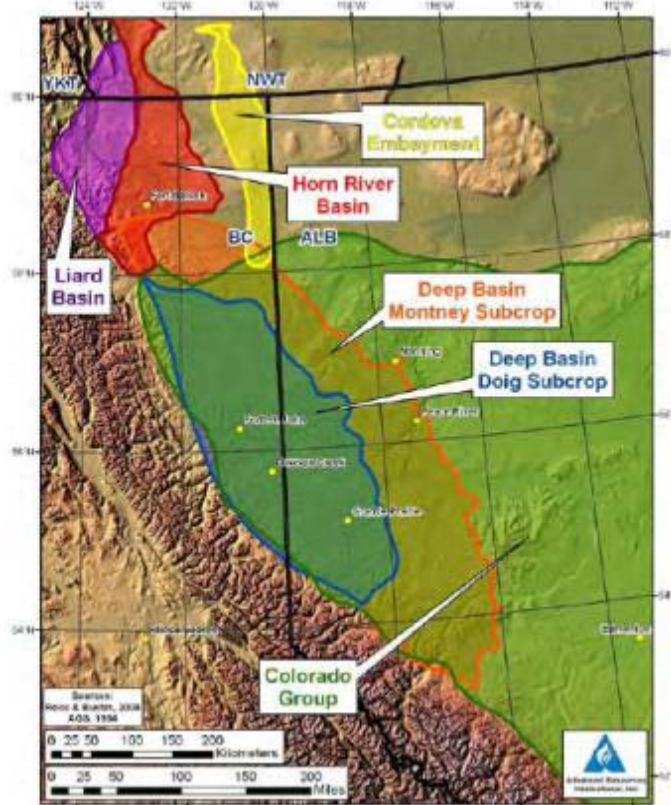
Εικόνα 3.20.: Ημερήσια παραγωγή σχιστολιθικού αερίου ανά σχηματισμό στις ΗΠΑ (DI Desktop/HPDI)

3.4.2. Καναδάς

Ο Καναδάς διαθέτει μεγάλα κοιτάσματα και των τριών τύπων μη συμβατικού αερίου και είναι μία εκ των χωρών, πέραν των ΗΠΑ, όπου η εμπορική τους αξιοποίηση βρίσκεται σε εξέλιξη. Η παραγωγή εγκλειστού φυσικού αερίου (tight gas) ανήλθε στα 50 Bcm το 2010 (1,765 Tcf), ενώ του μεθανίου από στρώματα γαιάνθρακα (coal bed methane) στα 8 Bcm (0,282 Tcf). Το σχιστολιθικό αέριο φαίνεται να είναι αυτό που παρουσιάζει το μεγαλύτερο δυναμικό παραγωγής σε μακροπρόθεσμη βάση, καθώς σύμφωνα με το Εθνικό Συμβούλιο Ενέργειας (National Energy Board) η παραγωγή αναμένεται από τα 0,47 Bcf/day το έτος 2011 να φτάσει τα 4,03 Bcf/day το 2035 (fraserinstitute.org, 2012). Τα υπολειπόμενα αποθέματα μη συμβατικών καυσίμων εκτιμώνται ότι είναι 18 Tcm (635 Tcf - τέλη 2011), εκ των οποίων τα 11 Tcm (388 Tcf) είναι αποθέματα σχιστολιθικού αερίου (IEA, 2012).

Οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί που φέρουν αέριο βρίσκονται συγκεντρωμένοι στις περιοχές Alberta και British Columbia στο δυτικό Καναδά και στο Quebec, Nova Scotia και New Brunswick στον ανατολικό Καναδά.

Στο δυτικό Καναδά απαντάται ένας αριθμός μεγάλων ιζηματογενών λεκανών. Στη βόρεια British Columbia απαντώνται οι λεκάνες Horn River, Cordova Embayment, Liard, στην Alberta εκτός της ομόνομης λεκάνης απαντώνται η Ανατολική και Δυτική λεκάνη αλλά και η Deep Basin στη δυτικο-κεντρική Alberta και οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί Muskwa και του Colorado Group στη βορειοδυτική και νότια Alberta αντίστοιχα (Εικόνα 3.21).



Εικόνα 3.21.: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στο Δυτικό Καναδά (EIA/ARI, 2011)

Τα επιτόπου αρχικά αποθέματα στη British Columbia και στις νοτιοδυτικές περιοχές εκτιμώνται στα 1238 Tcf ενώ τα τεχνικά ανακτήσιμα εκτιμώνται στα 336 Tcf (Εικόνα 3.22). Την ίδια στιγμή για τις πέντε λεκάνες στην περιοχή της Alberta τα εκτιμούμενα αρχικά επιτόπου αποθέματα προσεγγίζουν τα 987 Tcf και τα τεχνικά ανακτήσιμα τα 200 Tcf (Εικόνα 3.23) (EIA/ARI 2013).

Basic Data	Basin/Gross Area		Horn River (7,100 mi ²)		Cordova (4,290 mi ²)	Liard (4,300 mi ²)	Deep Basin (24,800 mi ²)
	Shale Formation		Muskwa/Otter Park	Evie/Klwa	Muskwa/Otter Park	Lower Besa River	Doig Phosphate
	Geologic Age		Devonian	Devonian	Devonian	Devonian	Triassic
	Depositional Environment		Marine	Marine	Marine	Marine	Marine
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		3,320	3,320	2,000	3,300	3,000
	Thickness (ft)	Organically Rich	420	160	230	500	165
		Net	380	144	207	400	150
	Depth (ft)	Interval	6,300 - 10,200	6,800 - 10,700	5,500 - 6,200	6,600 - 13,000	6,800 - 10,900
Average		8,000	8,500	6,000	10,000	9,250	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Mod. Overpress.	Mod. Overpress	Mod. Overpress.	Highly Overpress	Mod. Overpress
	Average TOC (wt. %)		3.5%	4.5%	2.0%	3.5%	5.0%
	Thermal Maturity (% Ro)		3.50%	3.80%	2.50%	3.80%	1.10%
	Clay Content		Low	Low	Low	Low	Low
Resource	Gas Phase		Dry Gas	Dry Gas	Dry Gas	Dry Gas	Dry Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		150.9	61.9	67.5	319.0	67.1
	Risky GIP (Tcf)		375.7	154.2	81.0	526.3	100.7
	Risky Recoverable (Tcf)		93.9	38.5	20.3	157.9	25.2

Εικόνα 3.22.: Ιδιότητες ταμειυτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στη British Columbia και στις Βορειοδυτικές περιοχές (EIA/ARI 2013)

Basic Data	Basin/Gross Area		Alberta Basin (28,700 mi ²)				East and West Shale Basin (58,500 mi ²)			Deep Basin (26,200 mi ²)			NW Alberta Area (33,000 mi ²)		Southern Alberta Basin (124,000 mi ²)	
	Shale Formation		Banff/Evishaw				Dumfries				North Nordegg			Muskwa		Colorado Group
	Geologic Age		L. Mississippian				U. Devonian				L. Jurassic			U. Devonian		Cretaceous
	Depositional Environment		Marine				Marine				Marine			Marine		Marine
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		10,500	13,000	7,350	2,900	6,900	4,000	1,500	12,500	6,600	48,750				
	Thickness (ft)	Organically Rich	65	45	60	70	82	72	69	70	112	523				
		Net	15	41	54	63	37	31	29	25	78	105				
	Depth (ft)	Interval	3,900 - 6,200	7,500 - 10,500	10,500 - 13,800	13,800 - 16,400	5,200 - 8,200	8,200 - 11,500	11,500 - 14,800	3,300 - 8,200	3,900 - 8,200	5,000 - 10,000				
Average		4,800	9,000	11,880	15,000	6,724	10,168	12,464	6,100	4,602	6,900					
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Normal	Highly Overpress	Highly Overpress	Highly Overpress	Mod. Overpress	Mod. Overpress	Mod. Overpress	Mod. Overpress	Mod. Overpress	Underpress				
	Average TOC (wt. %)		3.2%	3.4%	3.4%	3.4%	11.0%	11.0%	11.0%	3.2%	3.2%	2.4%				
	Thermal Maturity (% Ro)		0.90%	0.90%	1.15%	1.50%	0.90%	1.15%	1.35%	0.90%	1.10%	0.60%				
	Clay Content		Medium	Low	Low	Low	Low/Med.	Low/Med.	Low/Med.	Low	Low	Low/Med.				
Resource	Gas Phase		Assoc. Gas	Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas				
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		1.2	12.0	47.4	63.8	4.7	19.6	22.1	4.6	34.2	20.9				
	Risky GIP (Tcf)		5.1	109.1	244.1	129.5	16.2	39.2	16.6	29.0	112.7	285.6				
	Risky Recoverable (Tcf)		0.3	13.1	61.0	38.8	1.3	7.8	4.1	2.9	28.2	42.8				

Εικόνα 3.23.: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών σχηματισμών και εκτιμούμενα αποθέματα στην περιοχή της Alberta (EIA/ARI 2013)

Στον ανατολικό Καναδά υπάρχουν τέσσερα shale plays τα οποία παρουσιάζουν μεγάλο δυναμικό ύπαρξης σχιστολιθικού φυσικού αερίου – οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί Utica και Lorraine στην Appalachian Fold Belt του Quebec, ο σχηματισμός Horton Bluff στη λεκάνη Windsor και ο σχηματισμός Frederick brook

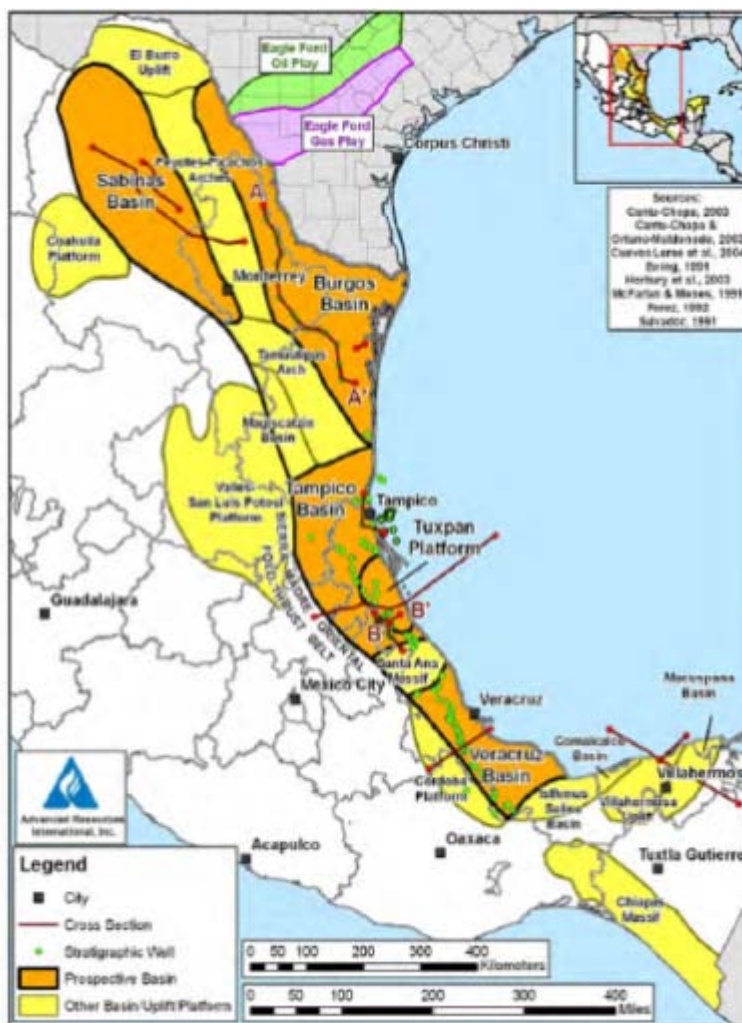
στη λεκάνη Maritimes στο Νέο Brunswick. Οι παραπάνω λεκάνες και σχηματισμοί βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο διερεύνησης με κάποιες προκαταρκτικές εκτιμήσεις που έχουν γίνει για τους σχηματισμούς Utica και Horton Bluff να δείχνουν κοιτάσματα της τάξεως των 172 Tcf επιτόπου αρχικών αποθεμάτων με τα τεχνικά ανακτήσιμα να φτάνουν τα 34 Tcf (Εικόνα 3.24) (EIA/ARI 2013).

Basic Data	Basin/Gross Area		Appalachian Fold Belt (3,500 mi ²)	Windsor (650 mi ²)
	Shale Formation		Utica	Horton Bluff
	Geologic Age		Ordovician	Mississippian
	Depositional Environment		Marine	Marine
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		2,900	520
	Thickness (ft)	Organically Rich	1,000	500
		Net	400	300
	Depth (ft)	Interval	4,000 - 11,000	3,000 - 5,000
Average		8,000	4,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Mod. Overpress.	Normal
	Average TOC (wt. %)		2.0%	5.0%
	Thermal Maturity (% Ro)		2.00%	2.00%
	Clay Content		Low	Unknown
Resource	Gas Phase		Dry Gas	Dry Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		133.9	81.7
	Risky GIP (Tcf)		155.3	17.0
	Risky Recoverable (Tcf)		31.1	3.4

Εικόνα 3.24.: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών σχηματισμών και εκτιμώμενα αποθέματα στον Ανατολικό Καναδά (EIA/ARI 2013)

3.4.3. Μεξικό

Τα τεράστια αποθέματα σχιστολιθικού αερίου που απαντώνται στο Μεξικό, το καθιστούν ως μια από τις πλέον υποσχόμενες χώρες όσον αφορά την μετέπειτα εκμετάλλευσή τους. Σύμφωνα με μελέτη που έχει εκπονηθεί από την εταιρία Advanced Recourses International (ARI), εκτιμάται ότι οι πέντε χερσαίες λεκάνες που έχουν αξιολογηθεί, φέρουν περίπου 2233 Tcf αρχικά επιτόπου αποθέματα, εκ των οποίων τα 545 Tcf κρίνονται ως τεχνικά ανακτήσιμα (Εικόνα 3.25



Εικόνα 3.25.: Χερσαίες λεκάνες σχιστολιθικού φυσικού αερίου στο Μεξικό (EIA/ARI, 2011)

& Εικόνα 3.26). Τα παραπάνω αποθέματα κατατάσσουν το Μεξικό στην τέταρτη θέση παγκοσμίως μετά την Κίνα, τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Αργεντινή (EIA/ARI, 2013).

Η κυβέρνηση του Μεξικού φαίνεται πρόθυμη να προχωρήσει στην εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου, καθώς στην Εθνική Ενεργειακή Στρατηγική για τα έτη 2012 – 2026, του Υπουργείου Ενέργειας της χώρας περιλαμβάνονται δύο σενάρια για την αξιοποίηση του. Στο βασικό σενάριο προβλέπεται η παραγωγή 70 Bcf (200 Mcf/day), ξεκινώντας από το κοίτασμα Eagle Ford το 2016, φτάνοντας τα 494 Bcf (1343 Mcf/day) το έτος 2026. Στο «σενάριο στρατηγικής – strategy scenario» λαμβάνεται

υπόψη και η πιθανή αξιοποίηση του κοιτάσματος La Casita, με την παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου να ανέρχεται σε 1.200 Tcf (3279 Mcf/day) το 2026.

Η κρατική εταιρεία πετρελαίου Petroleos Mexicanos (Pemex) ξεκίνησε ένα τριετές πρόγραμμα, κόστους 200 εκατομμυρίων δολαρίων, προς αναζήτηση σχιστολιθικού αερίου ειδικότερα στις βόρειες περιοχές, οι οποίες είναι επεκτάσεις του σχηματισμού Eagle Ford. Η πρώτη γεώτρηση, ονομαζόμενη και ως Emergente 1, ολοκληρώθηκε στη λεκάνη Burgos το Φεβρουάριο του 2011 με παραγωγή 3 Mcf/day. Η Pemex έχει ως σκοπό τη διάνοιξη περίπου 175 γεωτρήσεων κατά την περίοδο 2011 – 2015, ώστε να εκτιμηθούν τα αποθέματα και να οριοθετηθούν οι περιοχές στις οποίες θα δοθεί προτεραιότητα κατά την εκμετάλλευση, ενώ παράλληλα θα προχωρήσει στην συλλογή τρισδιάστατων σεισμικών δεδομένων, σε μια περιοχή έκτασης 10000 km², τα οποία θα χρησιμοποιηθούν μετέπειτα σε λεπτομερείς γεωλογικές μελέτες μοντελοποίησης (Rigzone, 2012).

Έτσι, εάν αποδειχθεί ότι η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου είναι εμπορικά βιώσιμη, τότε βάσει των εκτιμήσεων της εταιρείας θα χρειαστούν, σε βάθος πενήνταετίας, περίπου 60.000 γεωτρήσεις για την εξόρυξη 297 Tcf, απαιτώντας έτσι και μεγάλης κλίμακας επενδύσεις.

Τέλος, θα πρέπει να ξεπεραστεί και ένας αριθμός τεχνικών δυσκολιών όπως είναι η πρόσβαση σε νερό, αναγκαίο για την υδραυλική ρωγμάτωση, καθώς η πολιτεία Coahuila, όπου βρίσκεται μεγάλο μέρος του σχηματισμού Eagle Ford, θεωρείται ως μία από τις ξηρότερες περιοχές του Μεξικού. Επίσης, λόγω της έλλειψη υποδομών και δικτύου διανομής – μεταφοράς του αερίου, το κόστος ανά γεώτρηση αναμένεται να είναι σημαντικά μεγαλύτερο από ότι στις ΗΠΑ, αν και τελευταία γίνεται λόγος για τεράστιες επενδύσεις στον συγκεκριμένο τομέα, με μεγαλύτερη αυτήν του αγωγού «Los Ramones», του οποίου το κόστος κυμαίνεται από 3 έως 3,5 δισεκατομμύρια δολάρια (Reuters, 2013).

Basic Data	Basin/Gross Area		Burgos (24,200 mi ²)				Sabinas (35,700 mi ²)	
	Shale Formation		Eagle Ford Shale			Tithonian Shales	Eagle Ford Shale	Tithonian La Casita
	Geologic Age		M. - U. Cretaceous			U. Jurassic	M. - U. Cretaceous	U. Jurassic
	Depositional Environment		Marine			Marine	Marine	Marine
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		600	10,000	6,700	6,700	9,500	9,500
	Thickness (ft)	Organically Rich	200	200	300	500	500	600
		Net	160	160	210	200	400	240
	Depth (ft)	Interval	3,300 - 4,000	4,000 - 16,400	6,500 - 16,400	7,500 - 16,400	5,000 - 12,500	9,800 - 13,100
Average		3,500	7,500	10,500	11,500	9,000	11,500	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Highly Overpress.	Highly Overpress.	Highly Overpress.	Highly Overpress.	Underpress.	Underpress.
	Average TOC (wt. %)		5.0%	5.0%	5.0%	3.0%	4.0%	2.0%
	Thermal Maturity (% Ro)		0.85%	1.15%	1.60%	1.70%	1.50%	2.50%
	Clay Content		Low	Low	Low	Low	Low	Low
Resource	Gas Phase		Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Dry Gas	Dry Gas	Dry Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		21.7	74.4	190.9	100.3	131.9	69.1
	Risky GIP (Tcf)		7.8	445.4	767.5	201.6	501.0	118.1
	Risky Recoverable (Tcf)		0.9	111.6	230.2	50.4	100.2	23.6

Basic Data	Basin/Gross Area		Tampico (26,900 mi ²)			Tuxpan (2,810 mi ²)		Veracruz (9,030 mi ²)	
	Shale Formation		Pimienta			Tamaulipas	Pimienta	Maltrata	
	Geologic Age		Jurassic			L. - M. Cretaceous	Jurassic	U. Cretaceous	
	Depositional Environment		Marine			Marine	Marine	Marine	
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		9,000	3,050	1,550	1,000	1,000	560	400
	Thickness (ft)	Organically Rich	500	500	500	300	500	300	300
		Net	200	200	200	210	200	150	150
	Depth (ft)	Interval	3,300 - 8,500	4,000 - 8,500	7,000 - 9,000	6,000 - 9,500	6,600 - 10,000	9,800 - 12,000	10,000 - 12,500
Average		5,500	6,200	8,000	7,900	8,500	11,000	11,500	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
	Average TOC (wt. %)		3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%
	Thermal Maturity (% Ro)		0.85%	1.15%	1.40%	0.85%	0.90%	0.85%	1.40%
	Clay Content		Low	Low	Low	Low	Low	Low/Medium	Low/Medium
Resource	Gas Phase		Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Assoc. Gas	Assoc. Gas	Assoc. Gas	Dry Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		18.6	44.7	83.0	25.5	27.2	22.4	70.0
	Risky GIP (Tcf)		58.5	47.7	45.0	8.9	9.5	6.6	14.7
	Risky Recoverable (Tcf)		4.7	9.5	9.0	0.7	0.8	0.5	2.9

Εικόνα 3.26.: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών σχηματισμών και εκτιμώμενα αποθέματα στο Μεξικό, (EIA/ARI 2013)

3.5. Νότια Αμερική

3.5.1. Αργεντινή

Η U.S. EIA, μαζί με την εταιρεία συμβούλων ενέργειας ARI, κατατάσσουν την Αργεντινή στην τρίτη θέση των χωρών παγκοσμίως με τα μεγαλύτερα αποθέματα σχιστολιθικού

αερίου. Τα αρχικά επιτόπου αποθέματα εκτιμώνται σε 2732 Tcf με τα 1165 Tcf να κατανέμονται στη λεκάνη Neuquen, περίπου 430 Tcf στη λεκάνη San Jorge, 483 Tcf στην Austral – Magallanes και 654 Tcf στη λεκάνη Parana – Chac. Τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα φτάνουν τα 774 Tcf και στις παραπάνω λεκάνες αναλογούν 408 Tcf, 95 Tcf, 108 Tcf και 164 Tcf αντίστοιχα

(Εικόνα 3.27 & Εικόνα 3.28). *Εικόνα 3.27.: Λεκάνες σχιστολιθικού φυσικού αερίου στο νοτιότερο άκρο της Νοτίου Αμερικής (EIA/ARI, 2011)*



Οι πρώτες γεωτρήσεις καθώς και οι πρώτες δοκιμές παραγωγής βρίσκονται υπό εξέλιξη στη λεκάνη Neuquen, προκειμένου να αξιολογηθεί ο σχηματισμός Vaca Muerta, κυρίως σε βάθη μεταξύ 6000 με 11000 ft. Η κρατική εταιρεία ενέργειας της Αργεντινής, YPF (Yacimientos Petrolíferos Fiscales), κατέχει τα δικαιώματα για 3 εκατομμύρια εκτάρια της λεκάνης ενώ παράλληλα βρίσκεται σε διαπραγματεύσεις με αρκετές εταιρείες συμπεριλαμβανομένης της Chevron, Total, Statoil και Dow

Chemica, ώστε να προχωρήσουν από κοινού στην ανάπτυξη των πεδίων σχιστολιθικού αερίου. Η YPF και η Chevron φέρεται να βρίσκονται στο τελικό στάδιο για σύναψη συμφωνίας, η οποία αφορά κυρίως την εκμετάλλευση σχιστολιθικού πετρελαίου, αξίας \$1,5 δισεκατομμυρίων (MercoPress, 2013). Σε αντίθεση με την λεκάνη Neuquen, στις υπόλοιπες λεκάνες δεν παρουσιάζεται ανάλογη δραστηριότητα (EIA/ARI, 2013).

Basic Data	Basin/Gross Area		Neuquen Basin(66,900 mi ²)		San Jorge Basin(46,800 mi ²)	
	Shale Formation		Los Molles Fm	Vaca Muerta Fm	Aguada Bandera Fm	Pozo D-129 Fm
	Geologic Age		Middle Jurassic	Jurassic-Early Cretac	Late Jurassic-Early Cretaceous	Early Cretaceous
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		9,730	8,540	8,380	4,990
	Thickness (ft)	Interval	0 - 3,300	100 - 750	0 - 15,000	800 - 4,500
		Organically Rich	800	500	1,600	1,200
		Net	300	325	400	420
	Depth (ft)	Interval	6,500 - 15,000	5,500 - 10,000	6,500 - 16,000	6,600 - 15,800
Average		12,500	8,000	12,000	10,500	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Overpressured	Overpressured	Normal	Normal
	Average TOC (wt. %)		1.1%	4.0%	2.2%	1.5%
	Thermal Maturity (%Ro)		1.50%	1.25%	2.00%	1.50%
	Clay Content		Low/Medium	Low/Medium	Low/Medium	Low/Medium
Resource	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		123	168	149	151
	Risky GIP (Tcf)		478	687	250	180
	Risky Recoverable (Tcf)		167	240	50	45

Basic Data	Basin/Gross Area		Austral-Magallanes Basin (65,000 mi ²)		Parana-Chaco Basin (500,000 mi ²)
	Shale Formation		L. Inoceramius	Magnas Verdes	San Alfredo
	Geologic Age		E. Cretaceous	E. Cretaceous	Devonian
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		19,500	19,500	50,000
	Thickness (ft)	Interval	400 - 2,000	100 - 300	100 - 12,000
		Organically Rich	600	300	2,000
		Net	300	240	1,000
	Depth (ft)	Interval	6,000 - 10,000	6,000 - 10,000	5,000 - 11,000
Average		8,500	8,500	7,500	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Slightly Overpressured	Slightly Overpressured	Normal
	Average TOC (wt. %)		1.5%	2.0%	2.5%
	Thermal Maturity (%Ro)		1.30%	1.30%	0.90%
	Clay Content		Medium	Medium	Low
Resource	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		86	72	347
	Risky GIP (Tcf)		420	351	2,083
	Risky Recoverable (Tcf)		84	88	521

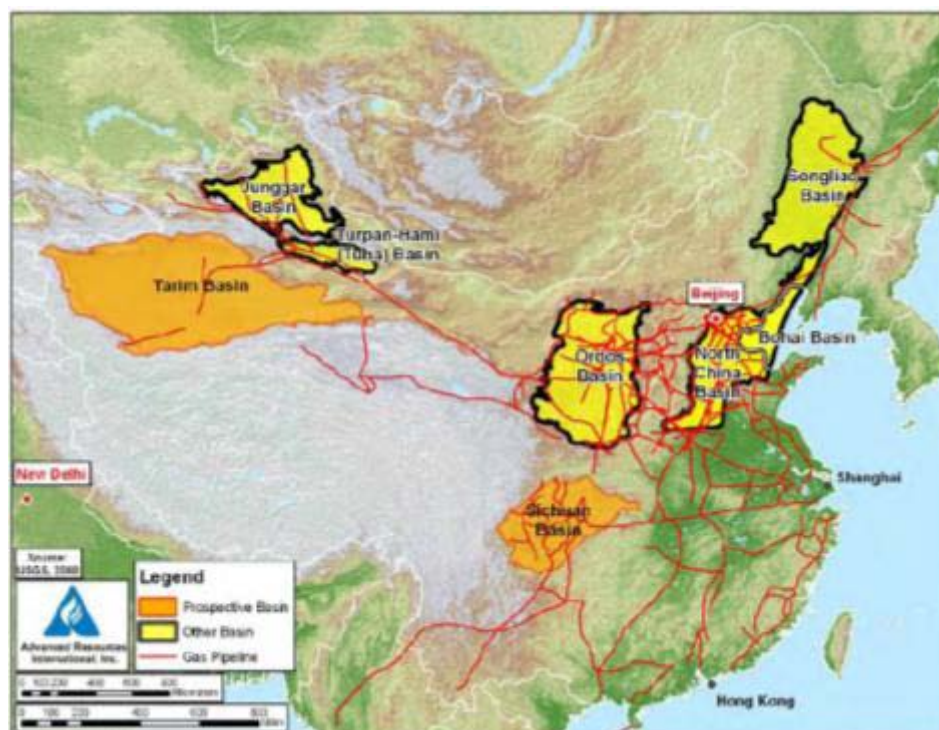
Εικόνα 3.28: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών σχηματισμών και εκτιμώμενα αποθέματα στο νοτιότερο άκρο της Νοτίου Αμερικής (EIA/ARI, 2011)

3.6. Ασία

3.6.1. Κίνα

Αν και το μέγεθος των εκτιμώμενων αποθεμάτων αερίου, προερχόμενου από μη συμβατικές πηγές καυσίμων στην Κίνα δεν έχει γίνει επισήμως γνωστό καθώς οι έρευνες αξιολόγησης τους βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο, κάποιες πρώτες εκτιμήσεις κάνουν λόγο για 1765 Tcf εκ των οποίων τα 1275 Tcf προέρχονται από σχιστολιθικούς σχηματισμούς. Τα παραπάνω εκτιμώμενα αποθέματα είναι έως και δεκατρείς φορές περισσότερα από τα εναπομείναντα ανακτήσιμα αποθέματα φυσικού αερίου από συμβατικές πηγές (IEA, 2012).

Τα εν λόγω αποθέματα σχιστολιθικού αερίου απαντώνται σε διάφορες λεκάνες ανά τη χώρα, με σημαντικότερες τις λεκάνες Sichuan και Tarim που παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Βάσει των εκτιμήσεων του οργανισμού ARI Inc. (Advanced Resources International) οι πιο πάνω λεκάνες συγκεντρώνουν 5100 Tcf αρχικών επιτόπου αποθεμάτων, με τα τεχνικά ανακτήσιμα να φτάνουν τα 1275 Tcf (Εικόνα 3.29 & Εικόνα 3.30) (EIA/ARI, 2011).



Εικόνα 3.29.: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου και Σύστημα Αγωγών στην Κίνα (EIA/ARI, 2011)

Basic Data	Basin/Gross Area		Sichuan Basin:(81,500 mi ²)		Tarim Basin:(234,200 mi ²)	
	Shale Formation		Longmaxi	Qiongzhusi	O1/O2/O3 Shales	Cambrian Shales
	Geologic Age		Silurian	Cambrian	Ordovician	Cambrian
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		56,875	81,500	55,042	63,560
	Thickness (ft)	Interval	300 - 1,600	200 - 1,400	0 - 5,200	0 - 1,500
		Organically Rich	560	390	520	808
	Depth (ft)	Net	280	195	260	404
		Interval	7,900 - 13,500	8,500 - 15,000	6,500 - 19,700	7,500 - 21,000
Average	10,700	11,500	13,000	14,000		
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Normal	Normal	Normal	Normal
	Average TOC (wt. %)		3.0%	3.0%	2.0%	2.0%
	Thermal Maturity (%Ro)		2.30%	2.50%	2.00%	2.50%
	Clay Content		Low/Medium	Low/Medium	Low/Medium	Low/Medium
Resource	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		80	57	102	141
	Risky GIP (Tcf)		1,373	1,394	897	1,437
	Risky Recoverable (Tcf)		343	349	224	359

Εικόνα 3.30.: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών σχηματισμών και εκτιμώμενα αποθέματα στην Κίνα (EIA/ARI, 2011)

Τα τελευταία χρόνια οι έρευνες για σχιστολιθικό αέριο στην Κίνα έχουν εντατικοποιηθεί βάσει ενός κυβερνητικού προγράμματος, ενώ ένας αριθμός περίπου 60 ερευνητικών γεωτρήσεων έχει διανοιχθεί εντός των τελευταίων δύο ετών (The Japan Times, 2013).

Λαμβάνοντας υπόψη τις δυσμενείς γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στη χώρα, η εκμετάλλευση των κινέζικων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου ίσως αποδειχθεί πιο δύσκολη και πιο δαπανηρή από αυτήν της Βορείου Αμερικής. Επίσης, κάποιες πρώτες ενδείξεις κάνουν λόγο για σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα, σε οργανική ύλη γεγονός που υποδηλώνει την ανάγκη να διανοιχθεί μεγαλύτερος αριθμός γεωτρήσεων, ακόμη μεγαλύτερου μήκους, προκειμένου να επιτευχθεί από την Κίνα παραγωγή ανάλογη με αυτή της Βορείου Αμερικής.

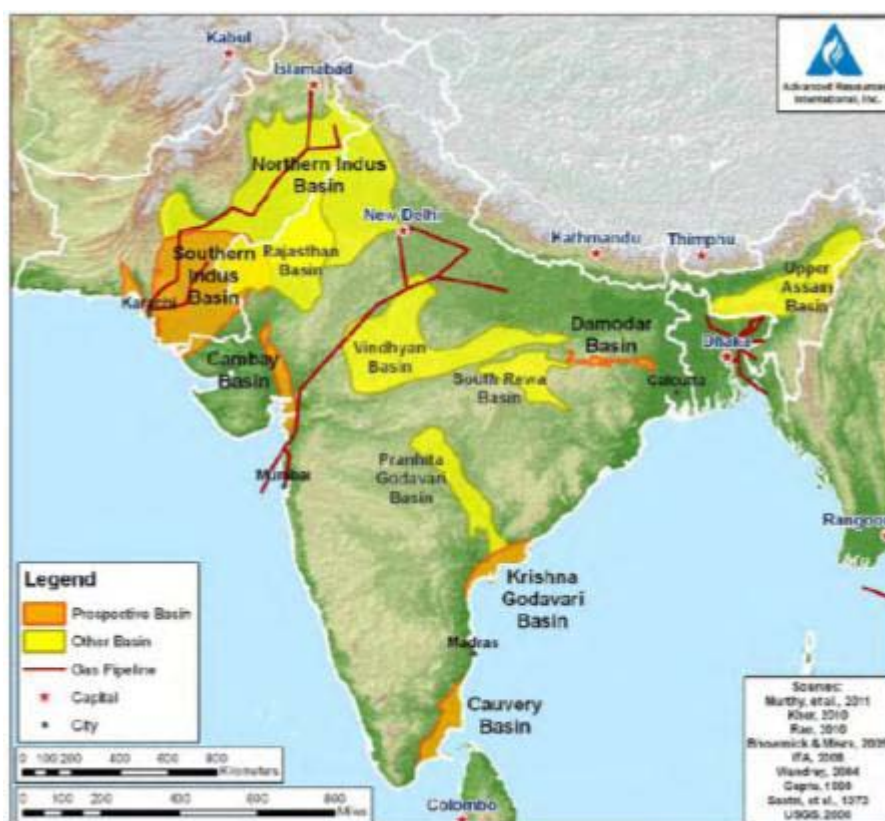
Η κυβέρνηση της Κίνας, μέσω των σχεδίων της για ώθηση της έρευνας και παραγωγής μη συμβατικού αερίου, φιλοδοξεί να έχει παράξει 229,5 Bcf (6,5 Bcm) σχιστολιθικού αερίου μέχρι το 2015, στοχεύοντας μια παραγωγή της τάξης των 2,119 με 3,531 Tcf (60 – 100 Bcm) μέχρι το τέλος της δεκαετίας (Platts, 2012).

Τέλος, μέσα στα επόμενα τέσσερα χρόνια, αναμένεται να ολοκληρωθεί η αξιολόγηση των αποθεμάτων σε εθνικό επίπεδο καθώς και η ανάπτυξη δεκαεννέα βάσεων (σταθμών) έρευνας και ανάπτυξης στη λεκάνη Sichuan. Οι προσπάθειες που καταβάλει η Κίνα για την αξιοποίηση του σχιστολιθικού της αερίου υποστηρίζονται

και από τις διεθνείς συνεργασίες που έχουν συνάψει κινεζικές εταιρίες με εταιρίες από τη Βόρεια Αμερική (U.S.- China Shale Gas Resource Initiative), με τις τελευταίες να παρέχουν την απαραίτητη τεχνογνωσία προκειμένου η Κίνα να προσδιορίσει τα αποθέματα της και να προχωρήσει στην εκμετάλλευσή τους (EnergyPress, 2010).

3.6.2. Ινδία και Πακιστάν

Στην Ινδία υπάρχουν αρκετοί πλούσιοι σε οργανική ύλη σχιστολιθικοί σχηματισμοί αλλά το ενδιαφέρον επικεντρώνεται μόνο σε τέσσερις λεκάνες, τη λεκάνη Cambay στα δυτικά, τη Krishna-Godvari κατά μήκος της ανατολικής ακτογραμμής, τη Cauvery στα νότια και την κοιλάδα Damodar στα βορειοανατολικά. Στο Πακιστάν, η λεκάνη που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι αυτή της Southern Indus στα νοτιοανατολικά της χώρας (Εικόνα 3.31).



Εικόνα 3.31.: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου και Σύστημα Αγωγών στην Ινδία/Πακιστάν (EIA/ARI, 2011)

Η ARI εκτιμά ότι τα αρχικά επιτόπου αποθέματα φτάνουν τα 1170 Tcf εκ των οποίων τα 584 Tcf απαντώνται στην Ινδία και τα 586 Tcf στο Πακιστάν, ενώ τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα φτάνουν τα 201 Tcf και τα 105 Tcf, αντίστοιχα (Εικόνα 3.32 & Εικόνα 3.33).

Basic Data	Basin/Gross Area		Cambay (7,800 mi ²)			Krishna-Godavari (7,800 mi ²)			Cauvery (9,100 mi ²)	Damodar Valley (2,270 mi ²)
	Shale Formation		Cambay Shale			Permian-Triassic			Sattapadi-Andimadam	Barren Measure
	Geologic Age		U. Cretaceous-Tertiary			Permian-Triassic			Cretaceous	Permian-Triassic
	Depositional Environment		Marine			Marine			Marine	Marine
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		1,000	300	580	1,100	3,900	3,000	1,010	1,080
	Thickness (ft)	Organically Rich	1,500	1,500	1,500	330	500	1,300	1,000	1,000
		Net	500	500	500	100	150	390	500	250
Depth (ft)	Interval	6,000 - 10,000	10,000 - 13,000	13,000 - 16,400	4,000 - 6,000	6,000 - 10,000	10,000 - 16,400	7,000 - 13,000	3,300 - 6,600	
	Average	8,000	11,500	14,500	5,000	8,000	13,000	10,000	5,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Normal	Normal	Normal	Normal	Slightly Overpress.
	Average TOC (wt. %)		2.6%	2.6%	2.6%	6.0%	6.0%	6.0%	2.3%	3.5%
	Thermal Maturity (% Ro)		0.85%	1.15%	1.80%	0.85%	1.15%	1.50%	1.15%	1.20%
	Clay Content		Low/Medium	Low/Medium	Low/Medium	High	High	High	High	High
Resource	Gas Phase		Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Wet Gas	Wet Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		55.9	170.5	228.0	6.9	57.8	204.7	119.6	62.9
	Risky GIP (Tcf)		36.5	30.7	79.4	3.4	101.4	276.4	30.2	27.2
	Risky Recoverable (Tcf)		3.6	6.1	19.8	0.2	15.2	41.5	4.5	5.4

Εικόνα 3.32.: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών σχηματισμών και εκτιμώμενα αποθέματα στην Ινδία (EIA/ARI, 2013)

Basic Data	Basin/Gross Area		Lower Indus (169,000 mi ²)			
	Shale Formation		Sembar			Ranikot
	Geologic Age		L. Cretaceous			Paleocene
	Depositional Environment		Marine			Marine
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		26,700	25,560	31,320	26,780
	Thickness (ft)	Organically Rich	1,000	1,000	1,000	1,000
		Net	250	250	250	200
Depth (ft)	Interval	4,000 - 6,000	6,000 - 10,000	10,000 - 16,400	6,000 - 13,000	
	Average	5,000	8,000	13,000	9,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Normal	Normal	Normal	Normal
	Average TOC (wt. %)		2.0%	2.0%	2.0%	2.0%
	Thermal Maturity (% Ro)		0.85%	1.15%	1.50%	0.85%
	Clay Content		Low	Low	Low	Low
Resource	Gas Phase		Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Assoc. Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		14.3	57.0	82.7	17.0
	Risky GIP (Tcf)		45.9	174.7	310.8	54.8
	Risky Recoverable (Tcf)		3.7	34.9	62.2	4.4

Εικόνα 3.33.: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών σχηματισμών και εκτιμώμενα αποθέματα στο Πακιστάν (EIA/ARI, 2013)

Η κρατική εταιρεία υδρογοναθράκων της Ινδίας, η ONGC (Oil and Natural Gas Corporation), στην πρώτη γεώτρηση σχιστολιθικού αερίου που ορύχθηκε στη χώρα, την RNSG-1, αναφέρει ότι υπήρξαν θετικές ενδείξεις ύπαρξης αερίου στη βάση του σχηματισμού Barren Measure. Σε δύο κατακόρυφες γεωτρήσεις στη λεκάνη Cambay υπήρξε μέτρια παραγωγή σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου.

Στο Πακιστάν, οι σχηματισμοί στη λεκάνη Lower Indus θεωρούνται ως τα μητρικά πετρώματα των ταμιευτήρων από τους οποίους έχει παραχθεί σημαντικός όγκος συμβατικού πετρελαίου και φυσικού αερίου. Ωστόσο, μέχρι σήμερα δεν έχουν αναφερθεί δημοσίως έρευνες οι οποίες να διεξάγονται στο Πακιστάν.

3.7. Ευρώπη

Τα αποθέματα μη συμβατικού αερίου στην Ευρώπη έχουν κινηθεί το ενδιαφέρον αρκετών εταιρειών κατά τα τελευταία χρόνια, αλλά λόγω του ευρύτατου φάσματος οικονομικών, περιβαλλοντικών και κανονιστικών εμποδίων, η προοπτική μιας μεγάλης κλίμακας παραγωγής παραμένει αμφίβολη. Επιπλέον, οι ευρωπαίοι επενδυτές έχουν το βλέμμα στραμμένο προς τις ΗΠΑ, οι οποίες πολύ πιθανόν στο μέλλον να καταστούν εξαγωγέας φυσικού αερίου. Ο υψηλός ανταγωνισμός, το μεγάλο κόστος παραγωγής αλλά και το χαμηλό περιθώριο κέρδους ίσως επιδράσουν ανασταλτικά στις όποιες μελλοντικές προσπάθειες για αξιοποίηση των ευρωπαϊκών αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου.

Τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη απαντώνται σε τρεις κύριες περιοχές (εκτάσεις) οι οποίες περιλαμβάνουν πολλαπλές λεκάνες, υπο-λεκάνες και διάφορους σχηματισμούς - στόχους. Η πρώτη έκταση εξαπλώνεται από την ανατολική Δανία και τη νότια Σουηδία καταλήγοντας στη βόρεια και ανατολική Πολωνία και περιλαμβάνει τους σχιστολιθικούς σχηματισμούς Alum στη Σουηδία και στη Δανία και Silurian στη Πολωνία. Η δεύτερη έκταση ξεκινά από τη βορειοδυτική Αγγλία, περνά διαμέσου της Ολλανδίας και βορειοδυτικής Γερμανίας και καταλήγει στη νοτιοδυτική Πολωνία ενώ η τρίτη εκτείνεται από νότια Αγγλία διαμέσου της λεκάνης του Παρισιού στη Γαλλία και φτάνει έως την Ολλανδία, τη βόρεια Γερμανία και την Ελβετία (Εικόνα 3.34 & Εικόνα 3.35).

Όσον αφορά το μέγεθος των αποθεμάτων των ευρωπαϊκών χωρών, την πρώτη θέση καταλαμβάνει η Πολωνία και η Γαλλία ακολουθούμενες από την Νορβηγία, την Ουκρανία, τη Σουηδία, τη Δανία και το Ηνωμένο Βασίλειο (EIA/ARI , 2011).

Οι εκτιμήσεις του όγκου των ανακτήσιμων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό, εξαιτίας κυρίως του μικρού αριθμού ερευνητικών γεωτρήσεων (test drilling) που έχει πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα. Σε μια ανασκόπηση 50 βιβλιογραφικών πηγών από το Joint Research Center (JRC) της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 2012, διαπίστωσε ότι οι υψηλότερες, οι καλύτερες και οι χαμηλότερες εκτιμήσεις των τεχνικά ανακτήσιμων αποθεμάτων στην ΕΕ ήταν 17,6 Tcm, 15,9 Tcm και 2,3 Tcm αντίστοιχα, συγκρινόμενες με τα 47 Tcm, 20 Tcm και 13 Tcm των ΗΠΑ (JRC, 2012).

Με περισσότερες ερευνητικές γεωτρήσεις, οι πιο πάνω εκτιμήσεις πιθανότατα να αυξηθούν, όπως ακριβώς συμβαίνει και στη βιομηχανία του συμβατικού αερίου και πετρελαίου. Όσον αφορά την ποσότητα που θα καταλήξει να παραχθεί είναι άλλο θέμα, καθώς όπως επισημαίνει και η Florence Gény « Σε σύγκριση με τη Βόρειο Αμερική, οι Ευρωπαϊκές λεκάνες μη συμβατικού αερίου τείνουν να είναι μικρότερες, πιο πολύπλοκες τεκτονικά και πιο κατακερματισμένες. Επιπλέον, οι Ευρωπαϊκοί σχιστολιθικοί σχηματισμοί τείνουν να συναντώνται σε μεγαλύτερα βάθη, να έχουν μεγαλύτερη θερμοκρασία και πίεση αλλά και να παρουσιάζουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε άργιλο (Gény, 2010).»



Εικόνα 3.34: Οι λεκάνες με τα σημαντικότερα εκτιμώμενα αποθέματα μη συμβατικού αερίου στην Ευρώπη (IEA, 2012)



Εικόνα 3.35.: 1 - Baltic shale, Πολωνία, 2 – Alum shale, Σουηδία, 3 – Molasse basin, Γερμανία, Ελβετία, Γαλλία, 4 – Cantabrian basin, Ισπανία, 5 – Cevennes basin, Γαλλία, 6 – Provence basin, Γαλλία, 7 – Pannonian basin, Ουγγαρία, 8 – Vienna basin, Αυστρία, 9 – Posidonia shale, Γερμανία και 10 – Westphalian basin, Γερμανία, Ολλανδία (Drilling Contractor, 2012)

3.7.1. Κεντρική Ευρώπη

3.7.1.1. Πολωνία

Η Πολωνία παρουσιάζει τις ευνοϊκότερες, μεσοπρόθεσμες προοπτικές από όλες τις χώρες της Ευρώπης για παραγωγή αερίου από μη συμβατικές πηγές, καθώς οι ερευνητικές γεωτρήσεις για σχιστολιθικό αέριο βρίσκονται σε πιο προχωρημένο στάδιο, ενώ παράλληλα παράγοντες όπως π.χ. ο ισχυρός και ανταγωνιστικός τομέας υπηρεσιών, οι χρήσεις γης, η ρευστότητα στην αγορά και το ευνοϊκό κανονιστικό πλαίσιο, επηρεάζουν σε πολύ λιγότερο βαθμό την αξιοποίηση των κοιτασμάτων από ότι στις άλλες χώρες (Shrestha, 2013).

Οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον βρίσκονται εναποτιθέμενοι σε τέσσερις λεκάνες: α) στη Baltic στα βόρεια, β) στη Lublin στα νότια γ) στην Podlasie στα ανατολικά και δ) στην Fore Sudetic (Εικόνα 3.36).



Εικόνα 3.36.: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία (EIA/ARI, 2013)

Η εταιρεία ARI εκτιμά ότι τα αρχικά επιτόπου αποθέματα της Πολωνίας ανέρχονται στα 738 Tcf με τα 532 Tcf να κατανέμονται στη λεκάνη Baltic, τα 45,8 Tcf στην Lublin, τα 53,6 Tcf στην Podlasie και τα 106,7 Tcf στη Fore Sudetic. Τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα από τις τρεις πιο πάνω λεκάνες εκτιμώνται στα 146 Tcf (Εικόνα 3.37) (EIA/ARI 2013). Επίσης, το Πολωνικό Γεωλογικό Ινστιτούτο με την υποστήριξη του Ινστιτούτου Γεωλογικών Ερευνών των ΗΠΑ (United States Geological Survey), έχουν εκτιμήσει ότι οι τεχνικά ανακτήσιμες ποσότητες κυμαίνονται μεταξύ 346 Bcm με 768 Bcm (12,218 Tcf με 27,121 Tcf) (Natural Gas Europe, 2012).

Basic Data	Basin/Gross Area	Baltic/Warsaw Trough (16,200 mi ²)			Lublin (4,980 mi ²)	Podlasie (6,600 mi ²)			Fore Sudetic (19,700 mi ²)	
	Shale Formation	Llandoverly			Llandoverly	Llandoverly			Carboniferous	
	Geologic Age	L. Sil - Ord. - U. Cambrian			L.Sil-Ord-U.Cambrian	L. Sil - Ord. - U. Cambrian			Carboniferous	
	Depositional Environment	Marine			Marine	Marine			Lacustrine	
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)	830	2,070	5,680	2,390	1,000	1,100	860	9,070	
	Thickness (ft)	Organically Rich	820	820	820	415	540	540	540	330
		Net	451	451	451	228	297	297	297	182
	Depth (ft)	Interval	6,500 - 9,800	7 - 13,000	9 - 16,000	7,000 - 16,000	6 - 9,000	6,500 - 11,500	10 - 16,000	8 - 16,000
Average		8,200	10,000	12,500	11,000	7,500	9,500	12,500	12,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Slightly Overpress.	Slightly Overpress.	Slightly Overpress.	Slightly Overpress.	Slightly Overpress.	
	Average TOC (wt. %)	3.9%	3.9%	3.9%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	
	Thermal Maturity (% Ro)	0.85%	1.15%	1.80%	1.35%	0.85%	1.15%	1.80%	1.60%	
	Clay Content	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	
Resource	Gas Phase	Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Dry Gas	Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Dry Gas	
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)	36.6	131.0	181.1	91.2	27.4	82.3	122.4	67.2	
	Risked GIP (Tcf)	12.1	108.5	411.5	45.8	6.6	21.7	25.3	106.7	
	Risked Recoverable (Tcf)	1.2	21.7	82.3	9.2	0.7	4.3	5.1	21.3	

Εικόνα 3.37.: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών σχηματισμών και εκτιμώμενα αποθέματα στην Πολωνία (EIA/ARI 2013)

Η Πολωνική κυβέρνηση υποστηρίζει ένθερμα την εξόρυξη σχιστολιθικού αλλά και έγκλειστου αερίου, επιδιώκοντας τα μέγιστα δυνατά οικονομικά και από άποψης ενεργειακής ασφάλειας οφέλη, που πιθανόν να προκύψουν, καθώς η εκμετάλλευση τους αναμένεται να υποβοηθήσει τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα συμβατικού αερίου αλλά και να μειώσει τις εισαγωγές φυσικού αερίου από τη Ρωσία.

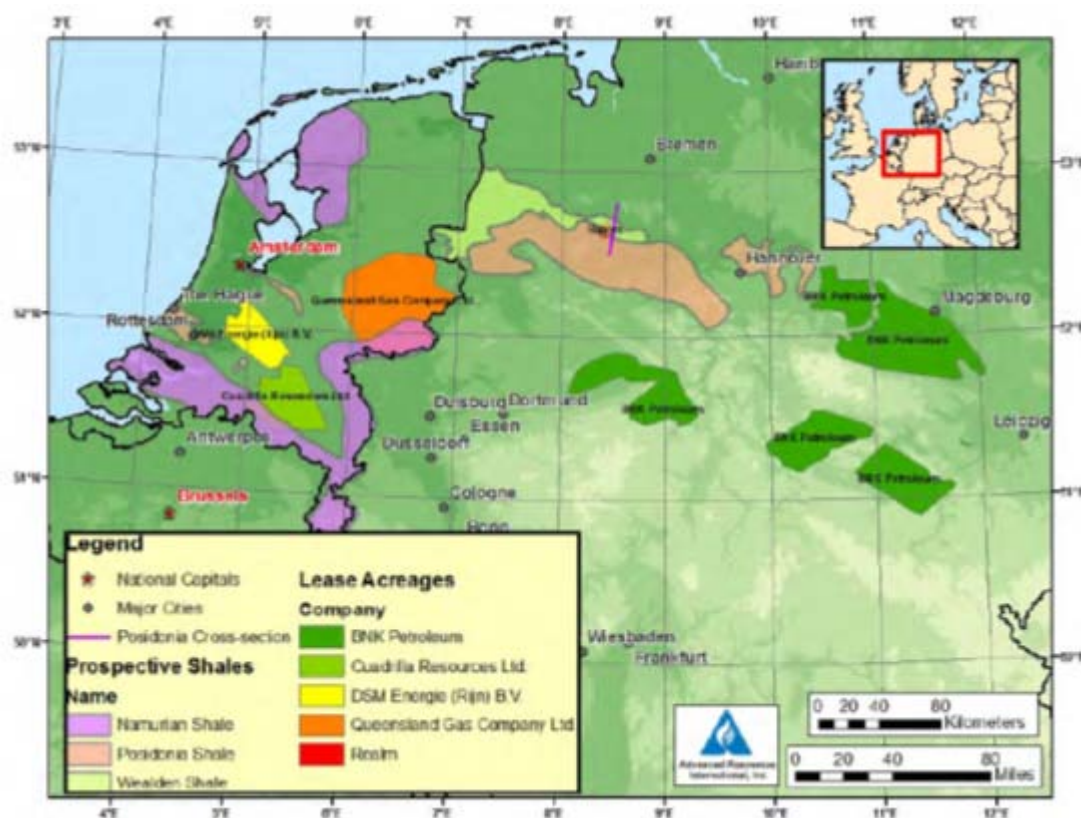
Η ζήτηση φυσικού αερίου στα επόμενα χρόνια αναμένεται και αυτή με τη σειρά της να αυξηθεί, ειδικά στον τομέα παραγωγής ενέργειας, λόγω της σταδιακής αντικατάστασης των χαμηλής απόδοσης σταθμών γαιάνθρακα παραγωγής ενέργειας. Αν και το κόστος παραγωγής του σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία πιθανολογείται ότι θα είναι μεγαλύτερο από αυτό των ΗΠΑ, καθώς τα αποθέματα της εκτιμάται ότι βρίσκονται σε μεγαλύτερο βάθος (50% μεγαλύτερο αυτών των ΗΠΑ) μεγαλώνοντας υπερβολικά το κόστος της εξόρυξης, εντούτοις, εξαιτίας των υψηλών τιμών του εισαγόμενου φυσικού αερίου, η αξιοποίηση του προβλέπεται να είναι κερδοφόρα (Friends of the Earth Europe, 2013).

3.7.1.2. Γερμανία

Τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου της Γερμανίας απαντώνται στη λεκάνη της Βόρειας Θάλασσας- Γερμανίας, η οποία εκτείνεται από το Βέλγιο μέχρι τα ανατολικά σύνορα της Γερμανίας κατά μήκος της Βορείου Θάλασσας. Τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα, σύμφωνα με τη σχετική μελέτη των ΕΙΑ/ΑΡΙ το 2011, εκτιμώνται στα 8,12 Tcf (230 Bcm) (ΕΙΑ/ΑΡΙ, 2011), ενώ βάσει μιας πιο πρόσφατης μελέτης του BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe - Federal Institute for Geosciences and Natural Resources), η οποία ολοκληρώθηκε το έτος 2012, τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα εκτιμώνται ότι κυμαίνονται μεταξύ 25 – 81 Tcf (BGR, 2012).

Μετά το σεισμό και το πυρηνικό ατύχημα που ακολούθησε στην πόλη της Φουκουσίμα το Μάρτιο του 2011, η ομοσπονδιακή κυβέρνηση της Γερμανίας προχώρησε στην αναθεώρηση της ενεργειακής της πολιτικής και έθεσε ως στόχο το κλείσιμο όλων των πυρηνικών εργοστασίων της χώρας μέχρι το 2022. Η παραπάνω απόφαση αναμένεται να επηρεάσει σημαντικά το ενεργειακό πλαίσιο και το ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, καθώς το 22% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο προέρχεται από τη λειτουργία των πυρηνικών σταθμών θα πρέπει να αντικατασταθεί από άλλες μορφές ενέργειας (ανανεώσιμες).

Οι έρευνες για σχιστολιθικό αέριο στη Γερμανία επικεντρώνονται στις περιοχές της Βόρειας Ρηνανίας – Βεστφαλίας, της Κάτω Σαξονίας, της Σαξονίας – Άνχαλτ, της Θουριγγίας και της Baden – Wuerttemberg. Στη Βόρεια Ρηνανία – Βεστφαλία η ExxonMobil Production Deutschland GmbH έλαβε άδεια για έρευνα για σχιστολιθικό αέριο, η οποία αργότερα ανακλήθηκε, λόγω της επιβολής μορατόριουμ στη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης, ενώ παράλληλα εκκρεμούν εννέα αιτήσεις για χορήγηση άδειας ερευνών. Στην ίδια εταιρία έχουν χορηγηθεί και εννέα ερευνητικές άδειες στην πολιτεία της Κάτω Σαξονίας. Οι πολιτείες Baden – Wuerttemberg και Θουριγγία χορήγησαν ερευνητική άδεια στις εταιρείες Three Legs Resources και BNK Petroleum αντίστοιχα. Στην τελευταία χορηγήθηκε ακόμη μία άδεια για έρευνα, αυτή τη φορά από την πολιτεία της Σαξονίας – Άνχαλτ (Εικόνα 3.38).



Εικόνα 3.38.: Οι δραστηριότητες των εταιρειών στη Βόρεια Θάλασσα – Γερμανική λεκάνη (EIA/ARI, 2011)

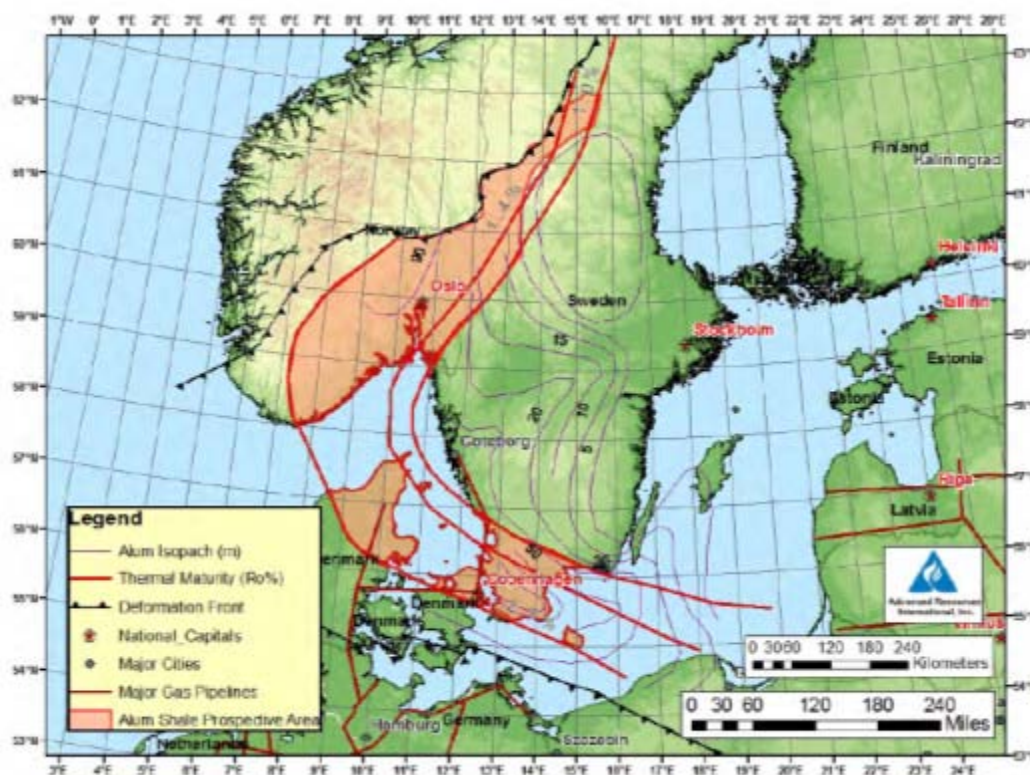
Στις 14 Δεκεμβρίου 2012 και μετά από συνεδρίαση του Ομοσπονδιακού Κοινοβουλίου, απερρίφθησαν τα αιτήματα της αντιπολίτευσης για επιβολή μορατόριουμ κατά της εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου. Στις 26 Φεβρουαρίου 2013 η κυβέρνηση της καγκελαρίου Μέρκελ συμφώνησε στη βάση θέσπιση ειδικού κανονιστικού σχεδίου να επιτρέψει την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου με τη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης (Philippe & Partners, 2011), (Bloomberg, 2013).

Τέλος, το Γερμανικό Υπουργείο Περιβάλλοντος προχώρησε στη δημοσίευση μελέτης, η οποία πραγματεύεται τις επιπτώσεις της υδραυλικής ρωγμάτωσης στο νερό αλλά και στο περιβάλλον. Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η υδραυλική ρωγμάτωση δεν θα πρέπει να απαγορευτεί, αλλά συστήνει ότι οι όποιες εργασίες σχετικά με το σχιστολιθικό αέριο να μην λαμβάνουν χώρα κοντά σε ζώνες προστασίας υδάτων οι εκτιμήσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων θα πρέπει να είναι υποχρεωτικές στις περιοχές όπου ορύσσονται οι απαραίτητες γεωτρήσεις και τα όποια συστατικά εμπεριέχονται στα ρευστά που χρησιμοποιούνται στην υδραυλική

ρωγάτωση θα πρέπει να γνωστοποιούνται (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, 2012).

3.7.2. Σκανδιναβία (Σχηματισμός Alum)

Το ενδιαφέρον των σκανδιναβικών χωρών, για το σχιστολιθικό αέριο, επικεντρώνεται στο σχηματισμό Alum. Ο εν λόγω σχηματισμός εκτείνεται από τη Νορβηγία έως την Εσθονία και νότια, από τη Γερμανία έως την Πολωνία. Αν και ο σχηματισμός είναι σχετικά μικρού πάχους και η μεγαλύτερη του έκταση βρίσκεται εκτός του «παραθύρου» γένεσης αερίου, η Advanced Resources International (ARI) εντόπισε μια περιοχή εκτάσεως 38.221 mi² όπου τα στοιχεία ωρίμανσης υποδεικνύουν πιθανή γένεση σχιστολιθικού αερίου. Μολονότι τα διαθέσιμα δεδομένα που αφορούν τα χαρακτηριστικά του σχηματισμού ως ταμιευτήρα είναι ελλιπή, εν τούτοις τα αρχικά επιτόπου αποθέματα εντός της συγκεκριμένης περιοχής εκτιμώνται στα 589 Tcf, εκ των οποίων τα 147 Tcf υπολογίζονται να είναι τεχνικά ανακτήσιμα (Εικόνα 3.39).



Εικόνα 3.39.: Η γεωγραφική έκταση του σχηματισμού Alum (EIA/ARI, 2011)

3.7.2.1. Σουηδία

Στη Σουηδία εκτιμάται ότι αντιστοιχούν 164 Tcf αρχικών επί τόπου αποθεμάτων (41 Tcf τεχνικά ανακτήσιμα) και στο μέλλον ίσως να καλύψουν τις εγχώριες ανάγκες (0,1 Bcf/day για το 2009). Οι προσπάθειες της Shell για εντοπισμό σχιστολιθικού αερίου, ορύσσοντας τρεις ερευνητικές γεωτρήσεις στην περιοχή Skåne στη νότια Σουηδία, απέβησαν άκαρπες και έτσι η εταιρία αναγκάστηκε να σταματήσει την όποια δραστηριότητα στη περιοχή.

3.7.2.2. Δανία

Η Δανία έχει αποκομίσει μεγάλη εμπειρία ως πετρελαιοπαραγωγός χώρα, λόγω των κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου στη Βόρεια Θάλασσα. Κατά το έτος 2009 η μισή ημερήσια εγχώρια παραγωγή φυσικού αερίου (0,4 Bcf/day από 0,8 Bcf/day) κάλυψε την εγχώρια κατανάλωση, καθιστώντας την έτσι αυτάρκη σ' αυτό τον τομέα. Ωστόσο, τα αποθέματα φυσικού αερίου παρουσιάζουν μια συνεχή πτώση (από 4,3 Tcf το 2005 στα μόλις 1,6 Tcf το 2011), ενώ οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν επαρκούν για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της χώρας.

Τα αρχικά επί τόπου αποθέματα σχιστολιθικού αερίου εκτιμώνται στα 92 Tcf εκ των οποίων τα 23 Tcf είναι τεχνικά ανακτήσιμα (EIA/ARI , 2011). Το 2010 εδόθησαν στη γαλλική Total άδειες για έρευνα στις περιοχές Norddjylland και Nordsjaelland (Εικόνα 3.40). Η έρευνα αναμένεται να καλύψει συνολική έκταση 5.261 km², με την πρώτη ερευνητική γεώτρηση να ξεκινάει το καλοκαίρι του 2013 (Total).



Εικόνα 3.40.: Οι περιοχές έρευνας από την Total (Total)

3.7.2.3. Νορβηγία

Η Νορβηγία διαθέτει τεράστια αποθέματα (72 Tcf) συμβατικού φυσικού αερίου, προερχόμενα κυρίως από τα πεδία που κατέχει στη Βόρεια Θάλασσα. Το 2011 παρήχθησαν 3,581 Tcf φυσικού αερίου, εκ των οποίων μόλις τα 145,85 Bcf καταναλώθηκαν στην εγχώρια αγορά. Τα ανακτήσιμα αποθέματα από το σχιστολιθικό σχηματισμό Alum φτάνουν τα 83 Tcf, διπλασιάζοντας έτσι τα ήδη βέβαια αποθέματα φυσικού αερίου (EIA/ARI, 2011).

3.7.3. Δυτική Ευρώπη

3.7.3.1. Γαλλία

Τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου στη Γαλλία εκτιμώνται στα 720 Tcf, εκ των οποίων τα 180 Tcf θεωρούνται τεχνικά ανακτήσιμα, καταλαμβάνοντας τη δεύτερη θέση, μετά την Πολωνία, στην κατάταξη των ευρωπαϊκών χωρών με τα μεγαλύτερα πιθανά αποθέματα.

Τα αποθέματα της Γαλλίας απαντώνται σε δύο ιζηματογενείς λεκάνες, στη λεκάνη του Παρισιού και στη Νοτιοανατολική λεκάνη. Η λεκάνη του Παρισιού (αρχικά

επιτόπου αποθέματα 303 Tcf και 76 Tcf τεχνικά ανακτήσιμα) περιλαμβάνει τους σχηματισμούς Toarcian και Permian-carboniferous, ενώ η Νοτιοανατολική (αρχικά επί τόπου αποθέματα 417 Tcf και 104 Tcf τεχνικά ανακτήσιμα) τους σχηματισμούς Terres Noires και Liassic (Schlumberger). Η τελευταία είναι και εκείνη που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, κυρίως λόγω του μικρού βάθους (Terres Noires – 4920ft μέσο βάθος) και της χαμηλής περιεκτικότητας σε άργιλο (IEA, 2012).

Η γαλλική κυβέρνηση είχε εκδώσει τρεις άδειες για έρευνες σχιστολιθικού αερίου στην Νοτιοανατολική λεκάνη, αλλά το Μάιο του 2011 αναγκάστηκε να τις ανακαλέσει καθώς ήρθε αντιμέτωπη με ένα μεγάλο πλήθος πολιτών οι οποίοι είχαν στραφεί εναντίον της όποιας εκμετάλλευσης και ειδικότερα κατά της αμφιλεγόμενης μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης και των κινδύνων που πιθανόν να εγκυμονεί για το περιβάλλον (Reuters, 2011).

Στις 14 Σεπτεμβρίου 2012 ο πρόεδρος της Γαλλίας *Francois Hollande*, επαναβεβαίωσε την απαγόρευση σχετικά με την υδραυλική ρωγμάτωση και υποστήριξε ότι η σχετική απόφαση δεν πρόκειται να αρθεί πριν από το τέλος της θητείας του. Επίσης την ίδια περίοδο έκανε λόγο και για μείωση του μεριδίου που κατέχει η πυρηνική ενέργεια στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, από το 75% στο 50%, αφήνοντας όμως ερωτηματικά ως προς τις ποιες μορφές ενέργειας θα αναπληρώσουν το κενό (Financial Times, 2012).

3.7.3.2. Ηνωμένο Βασίλειο

Στο Ηνωμένο Βασίλειο απαντώνται δύο κύρια πετρελαϊκά συστήματα, το Βόρειο πετρελαϊκό σύστημα το οποίο εκτείνεται από το μέτωπο Variscan (Variscan Front) στην κεντρική Αγγλία συνεχίζοντας βόρεια διαμέσου της Σκωτίας και το Νότιο πετρελαϊκό σύστημα το οποίο βρίσκεται μεταξύ του μετώπου Variscan και του Αγγλικού Καναλιού – Θάλασσα της Μάγχης (English Channel) στην Αγγλία και την Ουαλία.

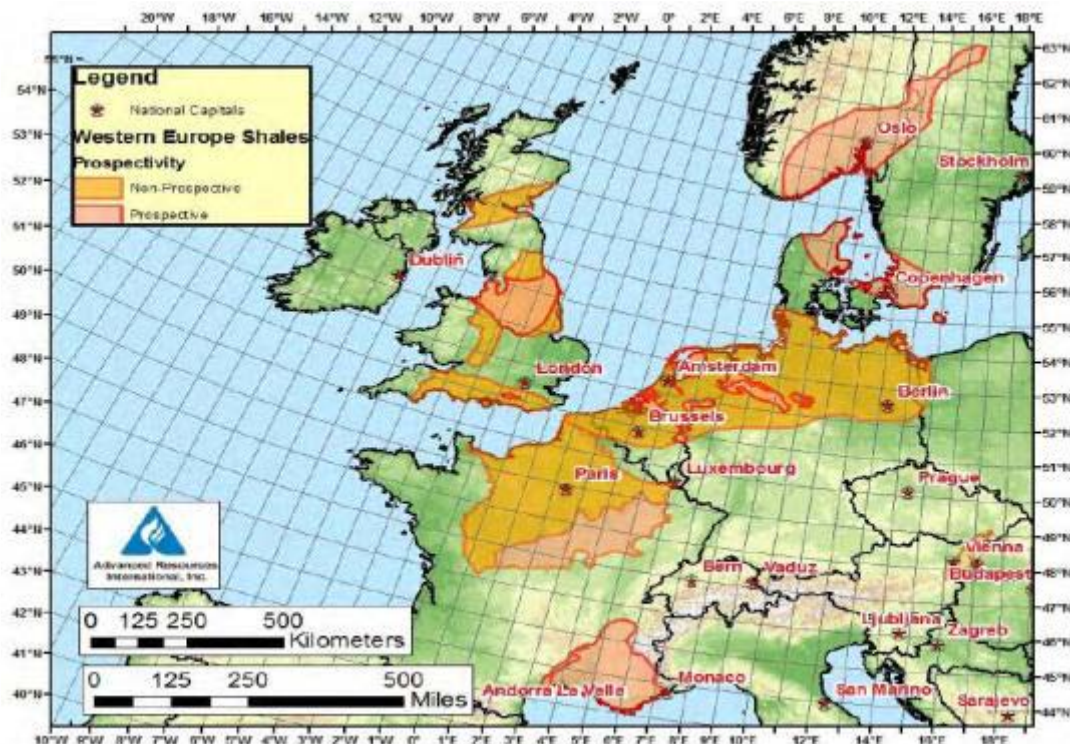
Όσον αφορά τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου στη χώρα, έχουν γίνει διάφορες εκτιμήσεις αλλά εξαιτίας του κανονιστικού πλαισίου και της παρούσας οικονομικής κατάστασης υπολογίζεται ότι θα απαιτηθεί χρόνος έως ότου να παρουσιαστεί μια σοβαρή μελέτη. Συγκεκριμένα, σε έκθεση που εκπονήθηκε το 2010, το Υπουργείο

Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Department of Energy and Climate Change - DECC) και το Ινστιτούτο Γεωλογικών Ερευνών της Βρετανίας (British Geological Survey – BGS) εκτίμησαν ότι στο σχηματισμό Bowland συγκεντρώνονται έως και 4,7 Tcf τεχνικά ανακτήσιμων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου. Η πετρελαϊκή εταιρία Cuadrilla εκτιμά ότι τα αρχικά επί τόπου αποθέματα στην περιοχή όπου της έχει παραχωρηθεί άδεια για έρευνα στον ίδιο σχηματισμό, ανέρχονται στα 200 Tcf, ενώ μόλις ένα ποσοστό της τάξεως του 10% υπολογίζει να είναι τεχνικά ανακτήσιμα (Cuadrilla Resources). Οι EIA/ARI εκτιμούν ότι στους σχηματισμούς Bowland και Liassic υπάρχουν 97 Tcf σχιστολιθικού αερίου, με τα 20 Tcf από αυτά να θεωρούνται τεχνικά ανακτήσιμα (EIA/ARI, 2011). Εντός του έτους (2013) αναμένεται από το BGS μια νέα, ολοκληρωμένη μελέτη αναφορικά με τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου της χώρας.

Στις 13 Δεκεμβρίου του 2012 η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου επέτρεψε την επανέναρξη των ερευνών για σχιστολιθικό αέριο, καθώς οι τελευταίες είχαν ανασταλεί εξαιτίας δύο μικρών σεισμών οι οποίοι είχαν προκληθεί με το πέρας της εφαρμογής της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Η παραπάνω απόφαση βασίστηκε στα τελευταία επιστημονικά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένου μιας αναφοράς από τη Royal Society (The Royal Society; The Royal Academy of Engineering, 2012) και μιας ανεξάρτητης αναφοράς από ειδικούς (Green, Styles, & Bartie, 2012) όπου παρουσιάζονται μέτρα για να μετριάσουν τους κινδύνους από τις σεισμικές δονήσεις.

Σχετικά με τους φόβους που παρουσιάζονται περί μόλυνσης του νερού, μια κοινοβουλευτική έρευνα κατέληξε στο συμπέρασμα το 2011 ότι δεν υπάρχουν στοιχεία ότι η υδραυλική ρωγμάτωση ενέχει άμεσο κίνδυνο για τα υπόγεια ύδατα και ότι η επιβολή μορατόριουμ στο Ηνωμένο Βασίλειο «δεν δικαιολογείται ή δεν είναι αναγκαία» (Natural Gas Europe, 2011).

Στις Εικόνες 3.41 & 3.42 παρουσιάζονται οι λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στη δυτική Ευρώπη, όπως επίσης και τα χαρακτηριστικά και τα εκτιμώμενα αποθέματα τους (EIA/ARI, 2011).



Εικόνα 3.41.: Λεκάνες σχιστολιθικού φυσικού αερίου στη Δυτική Ευρώπη (EIA/ARI , 2011)

Basic Data	Basin/Gross Area	France Paris Basin (81,454 mi ²)	France South-East Basin (17,800 mi ²)		North Sea-German Basin (78,126 mi ²)			Scandinavia Region (38,221 mi ²)	U.K. Northern Petroleum System (22,431 mi ²)	U.K. Southern Petroleum System (7,844 mi ²)	
	Shale Formation	Permian-Carboniferous	"Terres Noires"	Liasic Shales	Posidonia Shale	Namurian Shale	Wealden Shale	Alum Shale	Bowland Shale	Liasic Shales	
	Geologic Age	Permian Carboniferous	Upper Jurassic	Lower Jurassic	Jurassic	Carboniferous	Cretaceous	Ordovician	Carboniferous	Jurassic	
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)	17,942	16,900	17,800	2,650	3,969	1,810	38,221	9,822	160	
	Thickness (ft)	Interval	164 - 7,216	0 - 1,200	100 - 2,000	25 - 350	249 - 6,937	25 - 325	0 - 459	0 - 4,000	1,000 - 1,840
		Organically Rich Net	382	333	525	148	407	112	328	492	415
	Depth (ft)	Interval	115	100	158	100	122	75	164	148	125
Average		8,528 - 13,120	3,280 - 6,560	8,200 - 16,400	3,280 - 16,400	8,200 - 16,400	3,280 - 9,840	-	3,280 - 6,300	11,500 - 15,500	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure	Normal	Normal	Normal	Normal	Overpressured	Normal	Normal	Normal	Normal	
	Average TOC (wt. %)	4.0%	3.5%	2.5%	5.7%	3.5%	4.5%	10.0%	5.8%	2.4%	
	Thermal Maturity (%Ro)	1.85%	1.25%	1.45%	1.50%	2.50%	1.25%	1.85%	1.40%	1.15%	
	Clay Content	Medium	Low	Medium	Low/Medium	Medium	Medium	Low	Medium/High	Medium	
Resource	GIP Concentration (Bcf/mi ³)	47	27	57	33	54	26	77	48	45	
	Risked GIP (Tcf)	303	112	305	26	64	9	589	95	2	
	Risked Recoverable (Tcf)	76	28	76	7	16	2	147	19	1	

Εικόνα 3.42.: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών σχηματισμών και εκτιμώμενα αποθέματα στη Δυτική Ευρώπη (EIA/ARI , 2011)

3.7.4. Ανατολική Ευρώπη

3.7.4.1. Ουκρανία

Σύμφωνα με τη μελέτη της US Energy Information Administration (EIA) τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα της χώρας εκτιμάται ότι προσεγγίζουν τα 42 Tcf από τα 197 Tcf επιτόπου αρχικά, ενώ ο ίδιος οργανισμός σε συνεργασία με την ARI αναφέρουν ότι τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα ανέρχονται σε 39 Tcf (EIA/ARI , 2011). Περισσότερο αισιόδοξη παρουσιάζεται η Κρατική Γεωλογική Υπηρεσία καθώς εκτιμά ότι τα αποθέματα στις περιοχές Yuzivska και Olesska ανέρχονται σε 2 Tcm (70,62 Tcf) και 0,8 – 1,5 Tcm (28,25 – 52,97 Tcf) αντίστοιχα. Η εμπορική αξιοποίηση των παραπάνω πεδίων αναμένεται να ξεκινήσει το 2017, με τη Shell να αναλαμβάνει την ανάπτυξη της περιοχής Yuzivska στο ανατολικό Donetsk και Kharkiv και την Chevron της περιοχής Oleska στη πόλη Lviv (Reuters, 2012).

3.7.4.2. Ρουμανία, Ουγγαρία & Βουλγαρία

Ο όγκος των τεχνικά ανακτήσιμων αποθεμάτων, για τις τρεις πιο πάνω χώρες, εκτιμάται ότι ανέρχεται στα 19 Tcf (EIA/ARI , 2011).

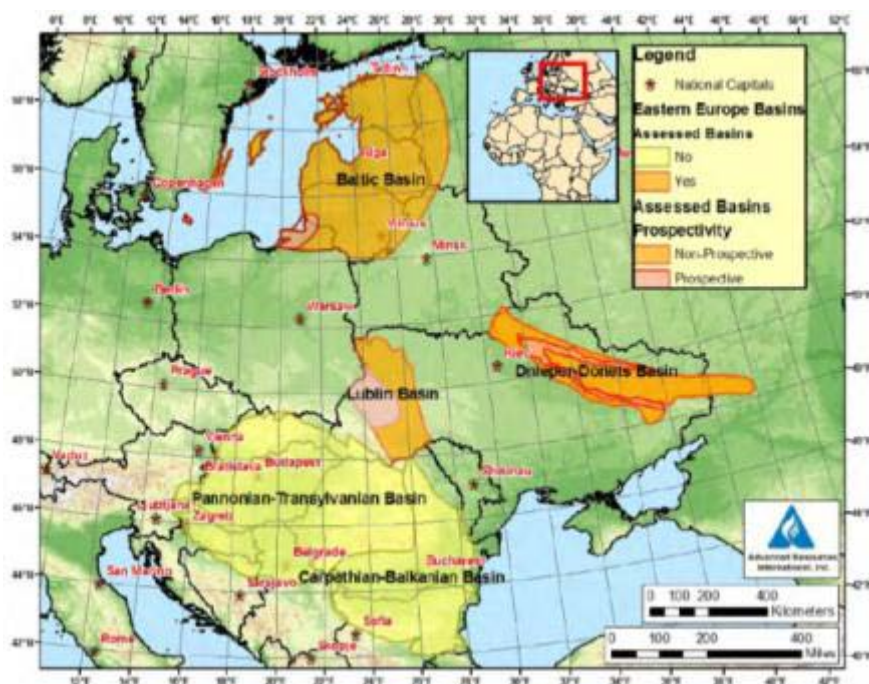
Στη Ρουμανία, η κυβέρνηση της χώρας το Μάιο του 2012 ανέστειλε προσωρινά τις άδειες για έρευνα για σχιστολιθικό αέριο, αναμένοντας από την Ευρωπαϊκή Ένωση την έκδοση σχετικής μελέτης αναφορικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εκμετάλλευσής του. Το μορατόριουμ που είχε επιβληθεί, έληξε αισίως το Δεκέμβριο του 2012 με τον Πρωθυπουργό της χώρας Victor Ponta να ανακοινώνει, τον Μάρτιο του 2013, ότι το μορατόριουμ δεν πρόκειται να παραταθεί. Με την άρση του μορατόριουμ η αμερικάνικη Chevron, της οποίας της είχαν προηγουμένως παραχωρηθεί άδειες για έρευνα σε περιοχές συνολικής έκτασης 870000 εκταρίων, αναμένεται να επανεκκινήσει τις δραστηριότητες της στην χώρα εντός του 2^{ου} εξαμήνου του 2013 (Platts, 2013).

Μέχρι στιγμής δεν υπάρχουν επίσημα δεδομένα από κρατικές μελέτες όσον αφορά τον όγκο των αποθεμάτων της Βουλγαρίας, αν και η αμερικάνικη εταιρία Direct Petroleum αναφέρει την ανακάλυψη 6 Bcm (0,211 Tcf) σχιστολιθικού αερίου στο Deventci και 300 Bcm κοντά στο Etropole (10,6 Tcf) (Natural Gas Europe, 2010). Η κυβέρνηση της χώρας προχώρησε στην επιβολή μορατόριουμ τον Ιανουάριο του 2012 σε κάθε εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης μετά τις έντονες

διαμαρτυρίες περιβαλλοντικών ομάδων. Τελευταία γίνεται λόγος για άρση του μορατόριουμ, καθώς η νέα υπουργός περιβάλλοντος της χώρας, Iskra Mihaylova, δείχνει να αντιμετωπίζει με διαφορετικό τρόπο το όλο ζήτημα (EnergyPress, 2013).

Μια από τις πιο υποσχόμενες περιοχές έρευνας θεωρείται ότι είναι η Μακό Trough, η οποία βρίσκεται στο νότιο τμήμα της Ουγγαρίας. Άδειες για εκμετάλλευση στη συγκεκριμένη περιοχή κατέχουν οι MOL Group και Falcon Oil & Gas Ltd. Η Falcon μαζί με την NIS (NAFTNA INDUSTRIJA SRBIJE) έχουν συμφωνήσει σε ένα πρόγραμμα τριών γεωτρήσεων το 2013, στοχεύοντας σε αέριο στην περιοχή Μακό Trough. Η MOL επικεντρώνει τις έρευνες της στη λεκάνη Derecske.

Επίσης, υπάρχει και ένας αριθμός άλλων εταιρειών οι οποίες εμπλέκονται στις έρευνες σχιστολιθικού αερίου σε διάφορα μέρη στην Ουγγαρία, όπως οι RAG Hungary Kft. και Cuadrilla Resources Ltd. Η βρετανική εταιρία, η Ascent Resources, ανακοίνωσε την ανακάλυψη 412 - 504 Bcf μη συμβατικού αερίου κοντά στα σύνορα της Ουγγαρίας με τη Σλοβενία (Ascent Resources, 2012).



Εικόνα 3.43.: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Ανατολική Ευρώπη (EIA/ARI, 2011)

Basic Data	Basin/Gross Area	Baltic Basin (101,611 mi ²)	Dnieper-Donets (38,554 mi ²)	Lublin Basin (26,500 mi ²)	
	Shale Formation	Lower Silurian	Rudov Bed	Lower Silurian	
	Geologic Age	Silurian	Carboniferous	Silurian	
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)	3,071	7,134	7,850	
	Thickness (ft)	Interval	393 - 524	26 - 230	1,312 - 3,260
		Organically Rich	459	128	415
		Net	284	102	208
	Depth (ft)	Interval	5,904 - 7,544	9,840 - 16,400	3,280 - 16,400
Average		6,724	13,120	9,840	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure	Overpressured	Overpressured	Overpressured	
	Average TOC (wt. %)	4.0%	4.0%	2.5%	
	Thermal Maturity (%Ro)	1.20%	1.30%	1.35%	
	Clay Content	Medium	Medium	Medium	
Resource	GIP Concentration (Bcf/mi ²)	101	42	79	
	Risked GIP (Tcf)	93	48	149	
	Risked Recoverable (Tcf)	23	12	30	

Εικόνα 3.44.: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών σχηματισμών και εκτιμώμενα αποθέματα στην Ανατολική Ευρώπη (EIA/ARI, 2011)

3.7.5. Ελλάδα

Στη μελέτη της η ΕΙΑ υποστηρίζει ότι έχουν εντοπιστεί σημαντικές ποσότητες σχιστολιθικού αερίου κοντά στα ελληνοτουρκικά σύνορα στον Έβρο, στην Ανατολική Θράκη (EIA/ARI, 2013). Αλλά και στο ελληνικό τμήμα της Θράκης, και βάσει της προκαταρκτικής γεωλογικής μελέτης που έφερε εις πέρας το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ύπαρξης σχιστολιθικού αερίου καθώς υποστηρίζεται η ύπαρξη γεωλογικής συγγένειας μεταξύ των σχηματισμών των δύο χωρών (Εικόνα 3.45).



Εικόνα 3.45.: Η λεκάνη της Θράκης στα σύνορα Ελλάδας – Τουρκίας (EIA/ARI, 2013)

Στην μελέτη του ΙΓΜΕ αναφέρεται ο εντοπισμός γεωλογικών δομών στην περιοχή της Θράκης, στις οποίες πιθανόν να βρίσκεται εγκλωβισμένο σχιστολιθικό αέριο, σε αντίθεση με την Ήπειρο όπου στις δομές που αναφέρονται, πιθανόν, πέραν του σχιστολιθικού αερίου να υπάρχει και σχιστολιθικό πετρέλαιο. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ευρήματα της έρευνας είναι προκαταρκτικά, και δεν λαμβάνεται υπόψη στη φάση αυτή η οικονομικότητα της εκμετάλλευσης των πιθανών αποθεμάτων. Επίσης οι Καρακίτσιος και Αγιάδη (Karakitsios & Agiadi, 2013) υποστηρίζουν ότι συγκεντρώσεις σχιστολιθικού αερίου στη Δυτική Ελλάδα πιθανόν να υπάρχουν στις περιοχές εκείνες όπου οι σχιστόλιθοι εμφανίζονται κάτω από το επίπεδο των υπογείων υδάτων, είναι σχετικά μεγάλης έκτασης και η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη είναι μεγαλύτερη από 1%. Επιπλέον, θα πρέπει να έχουν βρεθεί σε βάθη από 5000 m – 6000 m ώστε, να συνάδει η γεωλογική ιστορία τους με τις συνθήκες γένεσης του αερίου. Στη Δυτική Ελλάδα απαντώνται αργιλικά μητρικά πετρώματα, τα οποία βρίσκονται εντός του παραθύρου του φυσικού αερίου. Από τα πετρώματα αυτά υπάρχει δυνατότητα παραγωγής σχιστολιθικού αερίου, δημιουργώντας κατά συνέπεια εκμεταλλεύσιμους σχηματισμούς σχιστολιθικού αερίου

3.8. Ασία

3.8.1. Τουρκία

Με την εγχώρια κατανάλωση φυσικού αερίου στην Τουρκία να αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς και καθώς η χώρα εξελίσσεται σε κόμβο διαμετακόμισης φυσικού αερίου, προσπαθεί να επαναδιαπραγματευθεί τους όρους τιμολόγησης με τους υπάρχοντες προμηθευτές, αναζητώντας παράλληλα νέες πηγές φυσικού αερίου.

Παρά το γεγονός ότι η Τουρκία δεν συμπεριλαμβανόταν στις επίσημες εκτιμήσεις των EIA/ARI στην μελέτη τους για το 2011, εντούτοις, σύμφωνα με τις προβλέψεις τους οι τουρκικές λεκάνες πιθανόν να περιέχουν 425 Bcm (15 Tcf) ανακτήσιμων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου (EIA/ARI, 2011).

Ωστόσο, στην αντίστοιχη μελέτη τους που δημοσιεύτηκε το 2013, γίνεται μια πιο διεξοδική αξιολόγηση των πιθανών αποθεμάτων της Τουρκίας, εστιάζοντας σε δύο λεκάνες, στη λεκάνη της Νοτιοανατολικής Ανατολίας στη νότιο Τουρκία και στη λεκάνη της Θράκης στη δυτική Τουρκία. Στις δύο αυτές λεκάνες διεξάγονται έρευνες για σχιστολιθικό αέριο και πετρέλαιο από την Τουρκική κρατική πετρελαϊκή εταιρία (TPAO) και από άλλες διεθνείς εταιρίες. Η Τουρκία πιθανόν να διαθέτει αποθέματα σχιστολιθικού αερίου και στις λεκάνες Silvas και Salt lake, παρ' όλα αυτά, ως περιοχές ελάχιστα διερευνημένες, τα διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με την ύπαρξη δυνητικών σχηματισμών είναι περιορισμένα.



Εικόνα 3.46: Κύριες σχιστολιθικές λεκάνες στην Τουρκία (EIA/ARI, 2013)

Οι μελέτες των EIA/ARI εκτιμούν ότι στους σχιστολιθικούς σχηματισμούς Dadas στη λεκάνη της Νοτιοανατολικής Ανατολίας και Hamitabat στη λεκάνη της Θράκης, περιέχονται 163 Tcf αρχικών επιτόπου αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου, με τα 24 Tcf να είναι τεχνικά ανακτήσιμα (EIA/ARI, 2013).

Basic Data	Basin/Gross Area		SE Anatolian (32,100 mi ²)		Thrace (6,500 mi ²)		
	Shale Formation		Dadas		Hamitabat		
	Geologic Age		Silurian-Devonian		M. - L. Eocene		
	Depositional Environment		Marine		Marine		
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		3,540	500	150	210	680
	Thickness (ft)	Organically Rich	394	377	500	500	500
		Net	216	207	250	250	250
	Depth (ft)	Interval	6,000 - 11,500	5,500 - 13,000	10,000 - 13,000	13,000 - 16,400	14,000 - 16,400
Average		9,000	9,500	11,500	14,500	15,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.
	Average TOC (wt. %)		3.6%	3.6%	2.0%	2.0%	2.0%
	Thermal Maturity (% Ro)		0.85%	1.15%	0.85%	1.15%	2.00%
	Clay Content		Med./High	Med./High	Medium	Medium	Medium
Resource	Gas Phase		Assoc. Gas	Wet Gas	Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		48.2	91.4	34.7	81.8	104.1
	Risky GIP (Tcf)		102.4	27.4	1.9	6.2	25.5
	Risky Recoverable (Tcf)		10.2	6.9	0.1	1.2	5.1

Εικόνα 3.47.: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών σχηματισμών και εκτιμώμενα αποθέματα στην Τουρκία (EIA/ARI, 2013)

Η έρευνα ξεκίνησε για πρώτη φορά στη λεκάνη της Θράκης από την Καναδική εταιρεία TransAtlantic Petroleum. Το 2011 η συγκεκριμένη εταιρεία ξεκίνησε ένα

πιλοτικό πρόγραμμα εφαρμογής της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης και μέχρι τον Αύγουστο του 2012 είχαν πραγματοποιηθεί 32 ρωγματώσεις επαναεισόδου και 10 νέες ολοκληρώσεις γεωτρήσεων, συμπεριλαμβανομένων ολοκληρώσεων με υδραυλική ρωγμάτωση πολλαπλών σταδίων. Η εταιρεία κατάφερε να εξορύξει αέριο από τον σχηματισμό Mezardere, ωστόσο σε ανακοίνωση της ανέφερε ότι τα βαθύτερα στρώματα είχαν μικρότερη διαπερατότητα και ήταν κατακλυσμένα με νερό (Tallents, 2012).

Η κρατική εταιρεία ΤΡΑΟ κατέχει την πλειοψηφία των παραχωρήσεων για σχιστολιθικό αέριο στην Νοτιοανατολική λεκάνη της Ανατολίας, ενώ βρίσκεται σε στάδιο προσέλκυσης στρατηγικών εταιρών με τεχνογνωσία και εμπειρία. Τον Σεπτέμβριο του 2012, οι εταιρίες ΤΡΑΟ και Shell ανακοίνωσαν τη συμφωνία για την έναρξη όρυξης της Saribugday – 1, μιας ερευνητικής γεώτρησης για παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στη λεκάνη της Ανατολίας.

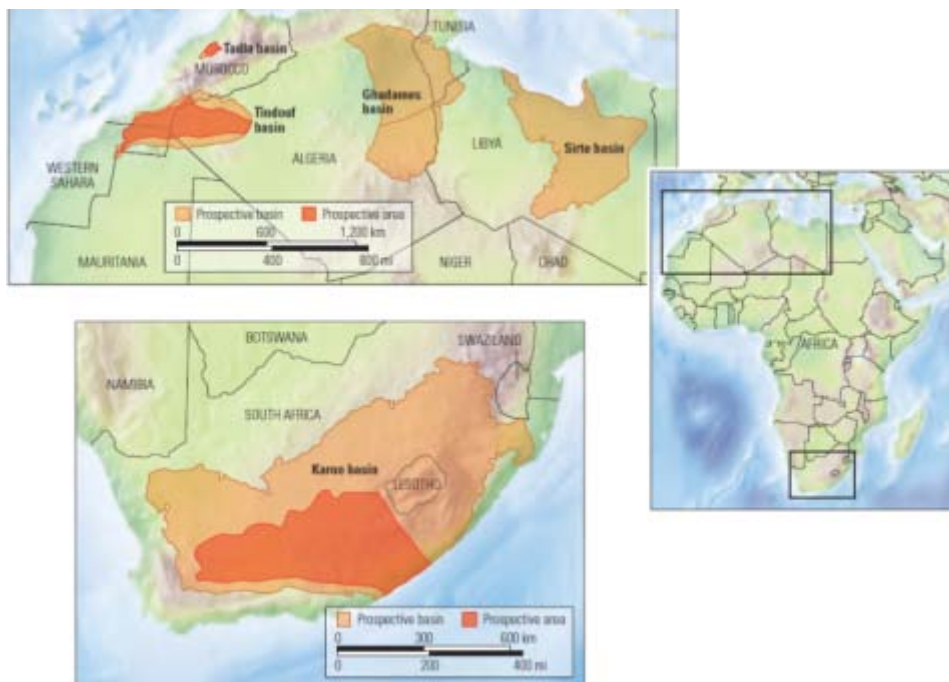
Σε άλλο σημείο της λεκάνης της Ανατολίας, στις 16 Αυγούστου του 2012, η εταιρία Çalık Enerji σε συνεργασία με την Anatolia Energy, ξεκίνησαν την όρυξη της γεώτρησης Guvenir-1 με σκοπό την οριοθέτηση του σχιστολιθικού σχηματισμού Dadas εντός της παραχώρησής τους (Antep Licence). Ωστόσο, τον Σεπτέμβριο του ίδιου έτους ανακοίνωσαν ότι οι προσπάθειες τους απέβησαν άκαρπες καθώς δεν εντοπίστηκε ο σχηματισμός (EIA/ARI, 2013) (Tallents, 2012).

3.9. Αφρική

Η Αφρική έχει αρκετές σχιστολιθικές λεκάνες οι οποίες θεωρούνται πιθανοί ενδιαφέροντες στόχοι για σχιστολιθικό αέριο. Εξαιτίας της παρουσίας μεγάλων κοιτασμάτων ανεκμετάλλευτου συμβατικού φυσικού αερίου, ελάχιστος είναι ο αριθμός των αναφορών που σχετίζονται με τις έρευνες για σχιστολιθικό αέριο (USGS, 2012). Στη Νότια Αφρική μεγάλες πετρελαϊκές εταιρίες έχουν εδώ και καιρό ξεκινήσει τις προαπαιτούμενες έρευνες ώστε να ακολουθήσει μια μελλοντική εκμετάλλευση.

Συγκεκριμένα στη Falcon Oil & Gas Ltd, έχουν παραχωρηθεί 11600 mi² για έρευνες στο νότιο άκρο της λεκάνης Karoo (Εικόνα 3.48), ενώ στη Shell μια περιοχή 71400 mi² η οποία περιβάλλει αυτήν της Falcon. Στην κοινοπραξία των

Sasol/Chesapeake/Statoil και στην Anglo Coal παραχωρήθηκαν 34000 mi² και 19300 mi² για έρευνες, αντίστοιχα.



Εικόνα 3.48.: Σχιστολιθικές λεκάνες της Αφρικανικής ηπείρου (Schlumberger)

Η λεκάνη Karoo στην κεντρική και νότια Αφρική καλύπτει σχεδόν τα δύο τρίτα της χώρας, ενώ το νότιο τμήμα της είναι και αυτό που παρουσιάζει και τις περισσότερες πιθανότητες ύπαρξης κοιτασμάτων σχιστολιθικού αερίου. Η λεκάνη περιλαμβάνει τρεις σχιστολιθικούς σχηματισμούς, τους Prince Albert Fm, Whitehill Fm και Collingham Fm, των οποίων ο συνολικός όγκος των αποθεμάτων τους εκτιμάται ότι είναι 1834 Tcf, με τα 485 Tcf να είναι τεχνικά ανακτήσιμα (Εικόνα 3.49).

Basic Data	Basin/Gross Area		Karoo Basin:(236,400 mi ²)		
	Shale Formation		Prince Albert Fm	Whitehill Fm	Collingham Fm
	Geologic Age		Lower Permian	Lower Permian	Lower Permian
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		70,800	70,800	70,800
	Thickness (ft)	Interval	200 - 800	100 - 300	100 - 300
		Organically Rich	400	200	200
		Net	120	100	80
	Depth (ft)	Interval	6,000 - 10,500	5,500 - 10,000	5,200 - 9,700
Average		8,500	8,000	7,800	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Overpressured	Overpressured	Overpressured
	Average TOC (wt. %)		2.5%	6.0%	4.0%
	Thermal Maturity (%Ro)		3.00%	3.00%	3.00%
	Clay Content		Low	Low	Low
Resource	GIP Concentration (Bcf/mi ³)		43	59	36
	Risky GIP (Tcf)		453	995	386
	Risky Recoverable (Tcf)		91	298	96

Εικόνα 3.49.: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών σχηματισμών και εκτιμώμενα αποθέματα στη λεκάνη Karoo (EIA/ARI, 2011)

Η λεκάνη Tindouf (Εικόνα 3.50), η οποία εκτείνεται από το Μαρόκο μέχρι τη Δυτική Σαχάρα, τη Μαυριτανία, και τη δυτική Αλγερία, καθώς και η λεκάνη Tadla στο κεντρικό Μαρόκο εκτιμώνται ότι έχουν αποθέματα της τάξης των 266 Tcf, με περίπου 53 Tcf να είναι τεχνικά ανακτήσιμα (EIA/ARI, 2011).

Basic Data	Basin/Gross Area		Tindouf Basin (89,267 mi ²)	Tadla Basin (2,794 mi ²)
	Shale Formation		Lower Silurian	Lower Silurian
	Geologic Age		Silurian	Silurian
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		55,340	1,670
	Thickness (ft)	Interval	0 - 2,500	0 - 820
		Organically Rich	N/A	328
		Net	50	197
	Depth (ft)	Interval	3,280 - 15,000	3,280 - 9,840
Average		9,000	6,560	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Underpressured	Underpressured
	Average TOC (wt. %)		5.0%	2.0%
	Thermal Maturity (%Ro)		3.50%	2.25%
	Clay Content		Medium	Medium
Resource	GIP Concentration (Bcf/mi ³)		18	49
	Risky GIP (Tcf)		251	16
	Risky Recoverable (Tcf)		50	3

Εικόνα 3.50: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών σχηματισμών και εκτιμώμενα αποθέματα στο Μαρόκο (EIA/ARI, 2011)

3.10. Αυστραλία

Η Αυστραλία είναι μια από τις λίγες χώρες με σημαντική παραγωγή μη συμβατικού αερίου, έχοντας παράλληλα τεράστια εμπειρία στην ανάπτυξη ταμιευτήρων έγκλειστου φυσικού αερίου (tight gas) και μεθανίου από στρώματα γαιάνθρακα (coal bed methane). Ειδικότερα, η εμπειρία που έχει αποκτηθεί από τους ταμιευτήρες coal bed methane θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη και στους ταμιευτήρες σχιστολιθικού αερίου, καθώς οι τεχνικές και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη τους είναι παρόμοιοι. Οι κύριες λεκάνες που παρουσιάζουν δυναμικό σχιστολιθικού αερίου είναι η λεκάνη Canning, η Mayborough, η Perth και η Cooper. Η τελευταία είναι και η κύρια - χερσαία (onshore)- λεκάνη παραγωγής συμβατικού αερίου (Εικόνα 3.51).



Εικόνα 3.51.: Λεκάνες μη συμβατικών καυσίμων στην Αυστραλία (IEA, 2012)

Τα επιτόπου αποθέματα σχιστολιθικού αερίου στις πιο πάνω λεκάνες εκτιμώνται στα 1381 Tcf, εκ των οποίων τα 396 Tcf θεωρούνται τεχνικά ανακτήσιμα (Εικόνα 3.52) (EIA/ARI, 2011).

Basic Data	Basin/Gross Area	Cooper Basin (46,900 mi ²)	Maryborough Basin (4,290 mi ²)	Perth Basin (12,560 mi ²)		Canning Basin (181,000 mi ²)	
	Shale Formation	Roseneath-Epsilon-Murteree	Goodwood/Cherwell Mudstone	Carynginia Shale	Kockatea Fm	Goldwyer Fm	
	Geologic Age	Permian	Cretaceous	Upper Permian	Lower Triassic	M. Ordovician	
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)	5,810	1,555	2,180	2,180	48,100	
	Interval	0 - 1,800	300 - 3,000	300 - 1,500	300 - 3,000	300 - 2,414	
	Thickness (ft)	Organically Rich	500	1,250	950	2,300	1,300
		Net	300	250	250	230	250
	Depth (ft)	Interval	6,000 - 13,000	5,000 - 16,500	4,000 - 16,500	3,300 - 16,500	3,300 - 16,500
Average		8,500	9,500	10,700	10,000	12,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure	Moderately Overpressured	Slightly Overpressured	Normal	Normal	Normal	
	Average TOC (wt. %)	2.5%	2.0%	4.0%	5.6%	3.0%	
	Thermal Maturity (%Ro)	2.00%	1.50%	1.40%	1.30%	1.40%	
	Clay Content	Low	Low	Low	Low	Low	
Resource	GIP Concentration (Bcf/mi ²)	105	110	107	110	106	
	Risked GIP (Tcf)	342	77	98	100	764	
	Risked Recoverable (Tcf)	85	23	29	30	229	

Εικόνα 3.52.: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών σχηματισμών και εκτιμούμενα αποθέματα στην Αυστραλία (EIA/ARI, 2011)

Στην τελική έκθεση του Engineering Energy: Unconventional Gas Production από τον ACOLA (Australian Council of Learned Academies) πιθανολογείται ότι τα ανακλήσιμα αποθέματα της χώρας υπερβαίνουν τα 1000 Tcf, καθώς στις εκτιμήσεις των EIA/ARI δεν έχουν ληφθεί υπ' όψη όλες οι λεκάνες που παρουσιάζουν πιθανότητες ύπαρξης σχιστολιθικού αερίου. Επίσης, υποστηρίζεται ότι παρά τα τεράστια αποθέματα που πιστεύεται ότι υπάρχουν, στις πλείστες των περιπτώσεων η εκμετάλλευση τους αναμένεται να είναι δαπανηρή κυρίως λόγω της έλλειψης των απαραίτητων υποδομών, ενώ η τιμή πώλησης του θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ \$6 και \$9 ανά GJ προκειμένου να καταστεί η παραγωγή και η μεταφορά του αερίου οικονομικά βιώσιμη.

Η πρώτη επιτυχής γεώτρηση παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Αυστραλία έλαβε χώρα τον Οκτώβριο του 2012 από την εταιρία Santos, στη λεκάνη Cooper, πετυχαίνοντας σταθερό ρυθμό παραγωγής της τάξης των 2,7 mcf/day (Exploration & Production Magazine, 2012). Η ίδια εταιρία μαζί με την Beach Energy και την Senex Energy αναφέρουν ότι τα αποτελέσματα από τις κατακόρυφες γεωτρήσεις που έχουν ορύξει μέχρι στιγμής στη συγκεκριμένη λεκάνη είναι ενθαρρυντικά (EIA/ARI, 2013). Τέλος, ποσό περίπου \$500 εκατομμυρίων αναμένεται να επενδυθεί από τις εταιρείες αυτές για ερευνητικούς σκοπούς εντός της επόμενης διετίας (Lannin, 2013).

Βιβλιογραφία

- Ascent Resources*. (2012, September 27). Ανάκτηση από <http://www.ascentresources.co.uk/news/half-yearly-report>
- BGR*. (2012, 6 25). Ανάκτηση από <http://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Oeffentlichkeitsarbeit/Pressemitteilung/en/BGR/bgr-120625.html?nn=1542132>
- Bloomberg*. (2013 , February 26). Ανάκτηση από <http://www.bloomberg.com/news/2013-02-26/germany-agrees-on-regulation-to-permit-fracking-for-shale-gas.html>
- Cuadrilla Resources*. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.cuadrillaresources.com/what-we-do/about-natural-gas/>
- Drilling Contractor*. (2012 , July 16). Ανάκτηση από <http://www.drillingcontractor.org/euro-shales-opposition-mounts-16768>
- EIA. (2013). *Annual Energy Outlook*.
- EIA. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=570>
- EIA/ARI . (2011). *World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States*.
- EIA/ARI. (2013). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States*.
- Energia.gr*. (n.d.). Ανάκτηση από http://www.energia.gr/article.asp?art_id=70515
- EnergyPress*. (2010, 11 8). Ανάκτηση από <http://www.energypress.gr/news/article/Shale-gas:--Epanastash--sto-hwro-ths-energeias-h--foyska--->
- EnergyPress*. (2013, June 6). Ανάκτηση από <http://www.energypress.gr/news/Allazei-stash-h-Boylgaria-gia-to-shistolithiko-aerio>
- Exploration & Production Magazine*. (2012, October 19). Ανάκτηση από http://www.epmag.com/Production-Field-Development/Santos-Starts-Australias-Commercial-Shale-Gas-Production_108644
- Federal Ministry for the Enviroment, Nature Conservation and Nuclear Safety*. (2012 , August). Ανάκτηση από http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/gutachten_fracking_2012.pdf

Financial Times. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/e91ca04e-a11c-11e2-bae1-00144feabdc0.html>

Financial Times. (2012, September 14). Ανάκτηση από <http://www.ft.com/cms/s/0/4c1f55ec-fe5c-11e1-8228-00144feabdc0.html>

fraserinstitute.org. (2012). *What the shale gas revolution means for Canada*.

Green, Styles, & Baptie. (2012). *Shale Gas Fracturing: Review & Recommendations for Induced Seismic Mitigation*.

HSBC. (n.d.). Ανάκτηση από <https://investments.hsbc.co.uk/article/123/changingenergy>

IEA. (2012). *Golden Rules for a Golden Age of Gas*.

Karakitsios, V., & Agiadi, K. (2013). *Western Greece unconventional hydrocarbon potential from oil shale and shale gas reservoirs*.

Lannin, S. (2013, June 5). *ABC News*. Ανάκτηση από <http://www.abc.net.au/news/2013-06-05/australia-sitting-on-potential-shale-gas-goldmine-says-study/4733574>

MercoPress. (2013, June 12). Ανάκτηση από <http://en.mercopress.com/2013/06/12/argentina-shale-oil-reserves-rank-fourth-behind-russia-china-and-us-says-latest-energy-report>

Natural Gas Europe. (2010, November 22). Ανάκτηση από <http://www.naturalgaseurope.com/direct-petroleum-high-on-bulgarian-shale>

Natural Gas Europe. (2011, May 23). Ανάκτηση από <http://www.naturalgaseurope.com/british-parliamentarians-mps-shale-gas>

Natural Gas Europe. (2012, March 21). Ανάκτηση από <http://www.naturalgaseurope.com/poland-shale-gas-estimated>

Oil & Gas Journal. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.ogj.com/articles/2013/03/ihs--marcellus-shale-producing-more-than-7-bcfd.htm>

Philippe & Partners. (2011). *Final Report on Unconventional Gas in Europe* .

Platts. (2012, March 16). Ανάκτηση από <http://www.platts.com/RSSFeedDetailedNews/RSSFeed/NaturalGas/8069251>

Platts. (2013, April 2). Ανάκτηση από <http://www.platts.com/RSSFeedDetailedNews/RSSFeed/NaturalGas/8274531>

- Reuters. (2011, May 11). Ανάκτηση από <http://www.reuters.com/article/2011/05/11/us-france-gas-shale-idUSTRE74A6RG20110511>
- Reuters. (2012, May 11). Ανάκτηση από <http://www.reuters.com/article/2012/05/11/shell-chevron-ukraine-idUSL5E8GBAE020120511>
- Reuters. (2013, May 13). Ανάκτηση από <http://www.reuters.com/article/2013/05/14/mexico-gas-idUSL2N0DV06820130514>
- Rigzone. (2012). Ανάκτηση από http://www.rigzone.com/news/oil_gas/a/120634/Pemex_to_Spend_200_Million_Looking_for_Shale_Gas
- Schlumberger. Shale Gas: A Global Resource.
- The Japan Times. (2013, May 4). Ανάκτηση από <http://www.japantimes.co.jp/news/2013/05/04/business/china-struggles-to-unlock-its-huge-shale-gas-potential/#.UZYNUpNC1g>
- The Royal Society; The Royal Academy of Engineering. (2012). *Shale gas extraction in the UK: a review of hydraulic fracturing*.
- Total. (n.d.). Ανάκτηση από Total.com: <http://www.total.com/en/special-reports/shale-gas/international-deployment/europe-france-danemark-201961.html>
- U.S. Department of Energy. (2009). *Modern Shale Gas Development in the United States: A primer*.
- USGS. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.usgs.gov/>
- USGS. (2012). *An Estimate of Undiscovered Conventional Oil and Gas Resources of the World*.
- Φλουδόπουλος, Χ. (2013). Θυσαυρός shale gas στη Θράκη. *Κεφάλαιο* .
- Ejaz, Q. (2010). *Supplementary paper SP2.2: Background material on natural gas resource assessments, with major resource country reviews*. MIT.
- Friends of the Earth Europe. (2013). A slow costly road to nowhere: shale gas development in Europe.
- Gény, F. (2010). *Can unconventional gas be a game-changer in European gas markets?*
- Holditch. (2003). Balancing Natural Gas Policy.

Holditch. (18 July 2007). Topic paper #29 on Unconventional Gas. *NPC Global Oil and Gas Study* .

IHS. (2009). *Gas from Shale: potential outside North America?*

JRC. (2012). *Unconventional Gas: Potential Energy Market Impact in the European Union*.

Kuuskræa. (2007). *The Unconventional Gas Resource Base*. Advanced Resources International.

Kuuskræa, V. (2009). *Worldwide gas shales and unconventional gas: a status report*. Advanced Resources International Inc.

Mohr, S., & Evans, G. (2010). Shale gas changes N. American gas production projections. *Oil and Gas Journal* .

NPC. (2003). *Balancing Natural Gas Policy*.

NPC. (2007). *Topic paper #29 on Unconventional Gas*.

Oil & Gas Journal. (2012, 3 12). Ανάκτηση από <http://www.ogj.com/articles/print/vol-110/issue-12/exploration-development/evaluating-production-potential-of-mature-us-oil.html>

Shrestha, P. (2013, 1 17). *Energy Live News*. Ανάκτηση από <http://www.energylivenews.com/2013/01/17/shale-gas-to-impact-global-energy-markets-to-2030/>

Tallents, A. (2012). *An update on Shale Gas in Europe*.

Wood Mackenzie . (2006). *Multi-Client Study Unconventional Hydrocarbons*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ & ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

4.1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια τα αποθέματα σχιστολιθικού φυσικού αερίου έχουν αναδειχθεί ως μια βιώσιμη πηγή ενέργειας. Αυτό κατέστη δυνατό μετά την επιτυχημένη ανάπτυξη του σχιστολιθικού σχηματισμού Barnett στη λεκάνη Forth Worth με την εφαρμογή των τεχνικών των οριζοντίων γεωτρήσεων και της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Σύντομα ακολούθησαν και άλλοι σχιστολιθικοί σχηματισμοί με τελευταίους να αναπτύσσονται οι Haynesville στη βορειοδυτική Λουιζιάνα και το ανατολικό Τέξας και Eagle Ford βόρειο Τέξας.

Πριν την επιτυχή εφαρμογή των δυο αυτών τεχνολογιών στο σχηματισμό Barnett, τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου σε πολλές λεκάνες παραβλέπονταν, καθώς η παραγωγή τους δεν θεωρείτο ως οικονομικά εφικτή. Τα χαρακτηριστικά των κοιτασμάτων αυτών, όπως επίσης και η αδυναμία των διαθέσιμων τεχνικών να τα προσεγγίσουν, είχαν ως αποτέλεσμα να μην εκμεταλλεύονται. Η τεχνολογική πρόοδος έχει επιτύχει να καθιστά την εκμετάλλευση των μη συμβατικών καυσίμων δυνατή, επιτυγχάνοντας την παραγωγή ορυκτών καυσίμων των οποίων η εκμετάλλευση στο παρελθόν θεωρούνταν ή πολυσύνθετη ή εξαιρετικά μεγάλου κόστους (ALL Consulting, 2008).

Στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου αναπτύσσονται τόσο οι τεχνικές εντοπισμού – αξιολόγησης όσο και παραγωγής του σχιστολιθικού φυσικού αερίου.

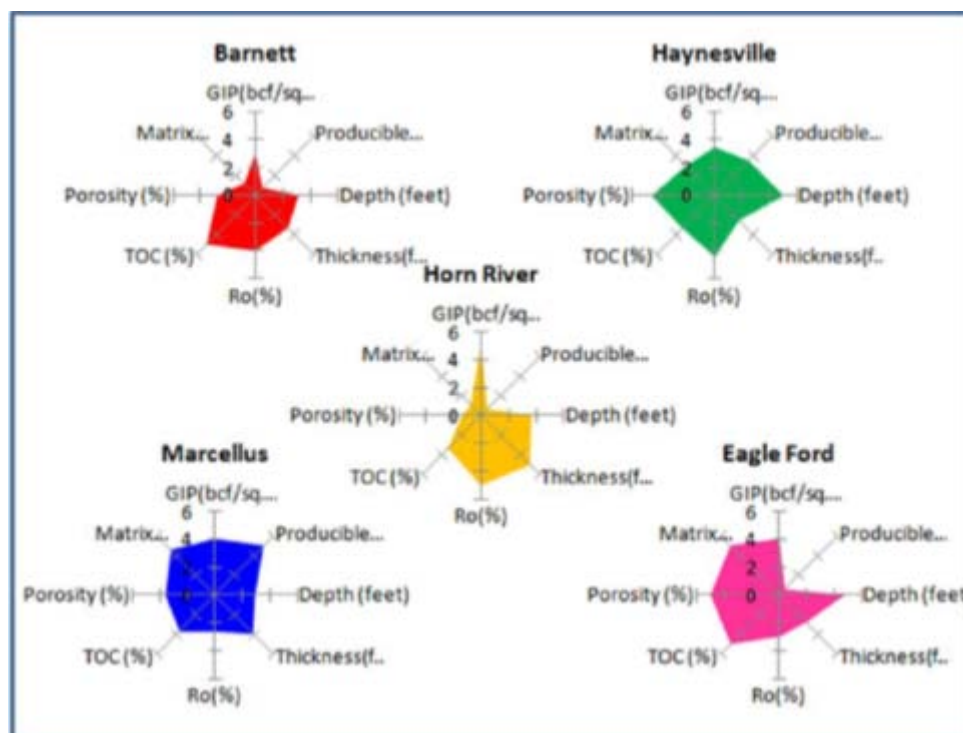
4.2. Τεχνικές εντοπισμού - αξιολόγησης σχιστολιθικού φυσικού αερίου

Προτού οι εταιρείες προχωρήσουν σε οποιαδήποτε εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης, διενεργούν τις απαραίτητες έρευνες ώστε να προσδιοριστούν τα γεωλογικά και μηχανικά χαρακτηριστικά της περιοχής που παρουσιάζει το ενδιαφέρον. Από τα πιο πάνω δεδομένα θα καταστεί δυνατή η κατανόηση της συγκέντρωσης και της κατανομής του αερίου στο σχηματισμό, αλλά και των ιδιοτήτων εκείνων που θα οδηγήσουν τους μηχανικούς στην επιλογή των σημείων όπου θα ορυχθούν αργότερα οι γεωτρήσεις (Shale Gas Fracking).

Εξαιτίας της μεγάλης έκτασης που καταλαμβάνει ένας ταμιευτήρας σχιστολιθικού φυσικού αερίου (εκατοντάδες ή και χιλιάδες τετραγωνικά μίλια), ο εντοπισμός των κατάλληλων σημείων εκείνων (“sweet spots”) όπου το αέριο μπορεί να αξιοποιηθεί εμπορικά, κρίνεται ως ιδιαίτερα δύσκολος. Προκειμένου ένας ταμιευτήρας σχιστολιθικού φυσικού αερίου να καταστεί ένα επιτυχημένο έργο (play) θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. η περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα (TOC)
2. η ωρίμανση – ωριμότητα της οργανικής ύλης (R_o%)
3. το πάχος του σχηματισμού
4. τα αρχικά επιτόπου αποθέματα αερίου
5. η διαπερατότητα
6. η ορυκτολογία
7. η ψαθυρότητα και
8. η πίεση των πόρων

Εκτός από τα πιο πάνω, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το βάθος όπου απαντάται ο σχιστολιθικός σχηματισμός, καθώς σχετίζεται άμεσα με το ποσοστό ανάκτησης του αερίου (The Facts About Natural Gas Exploration of the Marcellus Shale). Η συμμετοχή αυτών των χαρακτηριστικών στο χαρακτηρισμό ενός έργου (play) ως επιτυχημένο απεικονίζεται χαρακτηριστικά στην Εικόνα 4.1. Στην εικόνα αυτή συγκεντρώνονται τα χαρακτηριστικά αυτά για πέντε διαφορετικούς τύπους ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου σε μορφή ροδογραμμάτων, απεικονίζοντας τις διαφορές που μπορεί να έχουν από κοίτασμα σε κοίτασμα. Γενικά, ένας βέλτιστος συνδυασμός των παραγόντων αυτών οδηγεί σε μία καλή παραγωγή αερίου. Κατά συνέπεια η μελέτη τους πριν την έναρξη οποιουδήποτε πλάνου εκμετάλλευσης είναι καθοριστικής σημασίας.



Εικόνα 4.1.: Σύγκριση χαρακτηριστικών σε ταμιευτήρες σχιστολιθικού φυσικού αερίου (Roth, 2010)

Η χαρτογράφηση των σχιστολιθικών ακολουθιών (mapping shale sequence) είναι το πρώτο βήμα στην έρευνα για την ένδειξη πιθανών έργων (plays) σχιστολιθικού φυσικού αερίου. Αυτό επιτυγχάνεται με την αναγνώριση (identification) και την αποτύπωση σε χάρτη των σχιστολιθικών ακολουθιών. Τα πιθανά έργα (plays) αυτά απαντώνται σε στρωματογραφικές παγίδες, καταλαμβάνοντας τα χαμηλότερα σημεία της δομής (structural lows) εντός της λεκάνης. Εάν στην περιοχή όπου γίνονται οι έρευνες ήδη υπάρχει παραγωγή πετρελαίου ή φυσικού αερίου, τότε πολύ πιθανόν να είναι διαθέσιμα στοιχεία που να αφορούν τη διαμόρφωση της λεκάνης όπως επίσης και χαρακτηριστικά του μητρικού πετρώματος. Τα πιο πάνω ίσως χρησιμοποιηθούν περαιτέρω για την εύρεση (discovery) κα ανάπτυξη των ταμιευτήρων.

Ο σχιστολιθικός σχηματισμός – ταμιευτήρας αερίου διακρίνεται από τους υπόλοιπους σχηματισμούς από την αποτύπωση σε χάρτη των δεδομένων TOC, του κορεσμού σε νερό και του πορώδους. Η TOC ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση της ποιότητας του μητρικού πετρώματος αλλά και να αξιολογήσει τους ταμιευτήρες σχιστολιθικού αερίου. Μελέτες έχουν δείξει συσχέτιση της ποσότητας της οργανικής ύλης εντός του σχηματισμού και φυσικών ιδιοτήτων (ταχύτητα, πυκνότητα, ηλεκτρική αντίσταση, εκπομπή ραδιενέργειας κ.α.). Ανάλογα με τους πιο πάνω

συσχετισμούς οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί – ταμιευτήρες διακρίνονται από τους απλούς σχιστολιθικούς σχηματισμούς με τη χρήση γεωφυσικών μεθόδων όπως διαγραφιών (logs) και σεισμικών δεδομένων (seismic data).

4.2.1. Χρήση διαγραφιών - (logs)

Ο χαρακτηρισμός ταμιευτήρων σχιστολιθικού φυσικού αερίου με τη χρήση δεδομένων από διαγραφίες (log data), βασίζεται στην ιδέα ότι οι περιοχές – ζώνες με υψηλό δείκτη TOC ίσως αποτελούν ένδειξη πιθανού ταμιευτήρα σχιστολιθικού αερίου. Αρκετές από τις τεχνικές διαγραφιών (well log) που αναπτύχθηκαν κατά τη μελέτη πετρωμάτων ευνοικών για τη γέννεση πετρελαίου (oil-prone) βρήκαν αμέσως εφαρμογή σε σχηματισμούς σχιστολιθικού φυσικού αερίου. Οι κύριες διαφορές αφορούν το είδος του ρευστού (αέριο αντί πετρέλαιο), την κατανομή του πορώδους (ύπαρξη πόρων εντός της οργανικής ύλης επιπρόσθετα του ενδοκοκκώδους πορώδους της θεμελιώδους μάζας) και τη σύνθεση του πετρώματος (η παρουσία ή απουσία ψαθυρών ορυκτών στο μητρικό πέτρωμα – rock matrix) (Passey, Bohacs, Esch, Klimentidis, & Sinha).

Τα χαρακτηριστικά που λαμβάνονται από τους διάφορους τύπους διαγραφιών χρησιμοποιούνται ώστε να δώσουν μία καλύτερη εικόνα του ταμιευτήρα φυσικού αερίου και ταυτόχρονα αναδεικνύεται ποια είναι τα χαρακτηριστικά αυτά που καθορίζουν τις ζώνες που διαμορφώνουν τον ταμιευτήρα. Βάσει των τεχνικών διαγραφιών και των καθορισμένων προτύπων για την αξιολόγηση αυτών είναι δυνατό να εξαχθούν αποτελέσματα για βασικές παραμέτρους (πάχος ενεργού σχιστολίθου, πάχος του τμήματος που φέρει το φυσικό αέριο, ποσότητα και βαθμός ωρίμανσης του οργανικού υλικού, πορώδες μητρικού πετρώματος και διαπερατότητα, ρήγματα, ποσότητα φέροντος αερίου και πιθανότητα ανακτώμενου αερίου από το σχιστόλιθο (Zou, 2013).

4.2.1.1. Διαγραφίες φυσικής ακτινοβολίας γάμμα (Gamma ray log)

Οι διαγραφίες ακτινών γάμμα είναι σημαντικό εργαλείο το οποίο συνδράμει στη διάκριση των σχιστολιθικών σχηματισμών (πέτρωμα – κάλυμμα (seal- cap rock) και μητρικών πετρωμάτων) από τις λιθολογίες των συμβατικών ταμιευτήρων, όπως είναι τα ψαμμιτικά και ανθρακικά πετρώματα. Πολλές φορές ωστόσο, επειδή στα έργα σχιστολιθικού αερίου το πέτρωμα-πηγή, το πέτρωμα κάλυμμα και ο ταμιευτήρας

εμπεριέχονται ολοκληρωτικά στις λεπτομερείς λιθολογικές τομές των πετρωμάτων η χρήση των συγκεκριμένων διαγραφιών μπορεί να μην είναι τόσο επιτυχής όπως είναι στους συμβατικούς ταμιευτήρες. Όσον αφορά τα πιθανά έργα (plays) σχιστολιθικού φυσικού αερίου, εάν η οργανική ύλη από την οποία έχει αργότερα σχηματιστεί το αέριο εναποτέθηκε σε θαλάσσια περιβάλλοντα, τότε το προσροφημένο σ' αυτήν ουράνιο αποτελεί καλή ένδειξη ύπαρξης οργανικού περιεχομένου. Αντίθετα, στα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί σε λιμναία περιβάλλοντα, παρατηρείται ανεπάρκεια-έλλειψη ουρανίου, με αποτέλεσμα η διαγραφία ακτινών γάμμα να μετατρέπεται σε μια καλή ένδειξη της περιεχόμενης, στο πέτρωμα, αργίλου αλλά όχι καλή ένδειξη για υψηλό TOC ή των τομών ενδιαφέροντος του ταμιευτήρα (Harilal & Tandon, 2012) (Passey, Bohacs, Esch, Klimentidis, & Sinha).

4.2.1.2. Διαγραφίες Ηλεκτρικής αντίστασης (Resistivity log)

Η ηλεκτρική αντίσταση ενός πετρώματος είναι άμεσα συνδεδεμένη με τα στοιχεία εκείνα που είναι ηλεκτρικά αγωγίμα. Στους συμβατικούς ταμιευτήρες, το νερό του σχηματισμού (formation water) είναι ο κύριος αγωγός, τουλάχιστον όταν είναι υφάλμυρα επιτρέποντας την ιοντική αγωγιμότητα. Οι υδρογονάνθρακες (είτε πετρέλαιο είτε αέριο) είναι μη αγωγίμοι και όταν είναι παρόντες σε επαρκή ποσότητα, εκτοπίζουν τον όγκο του νερού στο σχηματισμό με αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών της ηλεκτρικής αντίστασης σε σχέση με το ίδιο πέτρωμα το οποίο θα ήταν πληρωμένο με το αγωγίμο νερό του σχηματισμού. Έτσι και στους σχιστολιθικούς σχηματισμούς που φέρουν αέριο, η ηλεκτρική αντίσταση που παρατηρείται, εξαιτίας του πολύ χαμηλού κορεσμού τους σε νερό αλλά και της παρουσίας των μη αγωγίμων υδρογονανθράκων, είναι ιδιαίτερα υψηλή (Chopra, Sharma, Keay, & Marfurt, 2012) (Passey, Bohacs, Esch, Klimentidis, & Sinha) (Schlumberger, 2006). Υπάρχουν ωστόσο διάφορα στοιχεία που φέρουν οι σχηματισμοί σχιστολιθικού αερίου όπως η ποσότητα αργίλου που μπορεί να διαφοροποιείται σημαντικά ανά σχηματισμό, ή άλλα ορυκτά όπως ο πυρίτης που συντελούν σε σημαντικές αλλαγές της ηλεκτρικής αντίστασης του πετρώματος. Επίσης διαφοροποιήσεις της παρουσιάζονται και σε ταμιευτήρες που παρουσιάζουν υψηλή θερμική ωρίμανση ($R_o \gg 3$) σε σχέση με ταμιευτήρες χαμηλότερης θερμικής ωρίμανσης.

4.2.1.3. Διαγραφίες Πυκνότητας (*Density logs*)

Εξαιτίας της πολύ μικρής πυκνότητας της οργανικής ύλης, η παρουσία της στον σχηματισμό μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στην φαινόμενη πυκνότητα του δείγματος και κατά συνέπεια στην φαινόμενη πυκνότητα που μετρείται από τα καταγραφικά όργανα (*logging tools*). Εάν δεν υπάρχουν μεγάλες τοπικές διακυμάνσεις σε άλλες παραμέτρους που να επηρεάζουν την πυκνότητα, τότε από τις διαγραφίες πυκνότητας μπορεί να αναπαράξουν σημαντικές προσεγγίσεις του TOC.

4.2.1.4. Ακουστικές διαγραφίες (*Sonic logs*)

Όπως και στις διαγραφίες πυκνότητας, από τις διαγραφίες του διαμήκους κύματος P, μπορεί να εκτιμηθεί η TOC, εξαιτίας των χαμηλών τιμών ταχύτητας (μεγάλος χρόνος διάδοσης) που παρουσιάζει το κύμα εντός της οργανικής ύλης. Και εδώ δεν θα πρέπει να υπάρχουν μεγάλες τοπικές διακυμάνσεις (όπως αλλαγές στο πορώδες ή στην ορυκτολογία) οι οποίες ενδέχεται να επηρεάζουν την ακουστική ανταπόκριση. Σε γενικές γραμμές η χρήση των ακουστικών διαγραφιών για τον προσδιορισμό της TOC βελτιώνεται, όταν γίνεται σε συνδυασμό με άλλες διαγραφίες (Passey, Bohacs, Esch, Klimentidis, & Sinha).

4.2.1.5. Διαγραφίες νετρονίων (*Neutron log*)

Έχει παρατηρηθεί ότι οι διαγραφίες νετρονίων από μόνες τους δεν μπορούν να χρησιμεύσουν ως αξιόπιστη ένδειξη ύπαρξης οργανικής ύλης, καθώς εκτός του υδρογόνου που περιέχεται στην οργανική ύλη, επηρεάζονται και από το υδρογόνο στο υδροξύλιο (OH) των αργλικών ορυκτών καθώς και από το υδρογόνο στο νερό σχηματισμού (*formation water*) αλλά και όποιου παρόντα υγρού ή αέριου υδρογονάνθρακα. Έτσι παρατηρούνται αυξημένες τιμές στις διαγραφίες νετρονίων σε πλούσιους σε άργιλο οργανικούς σχιστόλιθους, με την μέτρηση να αυξάνει όσο αυξάνει και το ποσοστό της περιεχόμενης αργίλου (Passey, Bohacs, Esch, Klimentidis, & Sinha).

4.2.2. Σεισμικά δεδομένα

Με τη χρήση των σεισμικών δεδομένων επιτυγχάνεται χαρτογράφηση της δομής και του πάχους του ταμιευτήρα όπως επίσης και ο εντοπισμός πιθανών ρηγμάτων,

καρστικών ζωνών, στοιχεία τα οποία είναι επίσης χρήσιμα στα επόμενα στάδια της εκμετάλλευσης (π.χ. τροχιά οριζόντιας γεώτρησης).

Οι αλλαγές του δείκτη TOC εντός του σχιστολιθικού σχηματισμού επηρεάζουν παράλληλα τις ταχύτητες των διαμηκών και εγκαρσίων σεισμικών κυμάτων (V_p και V_s), την πυκνότητα και την ανισοτροπία επιτρέποντας έτσι τον εντοπισμό τους με σεισμική απόκριση.

Τα σεισμικά δεδομένα μπορεί να είναι 2D και 3D. Τα 3-D σεισμικά, εκτός από την απεικόνιση της δομής του υπεδάφους, χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση και πρόβλεψη κύριων γεωμηχανικών και λιθολογικών παραμέτρων. Η κατανόηση του μεγέθους και της κατευθυντικότητας των επιτόπου τάσεων αλλά και της ύπαρξης καθώς και της φύσης των φυσικών ρωγματώσεων, κρίνεται ως υψίστης σημασίας για τη βελτιστοποίηση της μετέπειτα διαδικασίας όρυξης και ολοκλήρωσης της γεώτρησης αλλά και της διαδικασίας διέγερσης του ταμιευτήρα (υδραυλική ρωγμάτωση) κατά την παραγωγή.

Η κατάταξη-ταξινόμηση (classification) των σεισμικών κυματομορφών είναι μια γρήγορη, εύκολη και υποσχόμενη μέθοδος με εφαρμογή στο χαρακτηρισμό ταμιευτήρων σχιστολιθικού φυσικού αερίου. Ουσιαστικά κατατάσσει τις σεισμικές κυματομορφές στο διάστημα ενδιαφέροντος με βάση το σχήμα τους.

Συνήθως τα ίχνη ομαδοποιούνται σε κατηγορίες με την κάθε μία εξ αυτών να έχει το δικό της χρώμα. Ο προκύπτων χάρτης παρουσιάζει μία ποικιλία σεισμικών τομών (seismic facies variation) και επιτρέπει την οριοθέτηση των ζωνών εκείνων που παρουσιάζουν ενδιαφέρον, από τις άλλες. Η διαδικασία ταξινόμησης των κυματομορφών μπορεί να είναι χωρίς περιορισμούς ή υπό περιορισμούς ανάλογα με το πώς αυτές υποδιαιρούνται (Chopra, Sharma, Keay, & Marfurt, 2012).

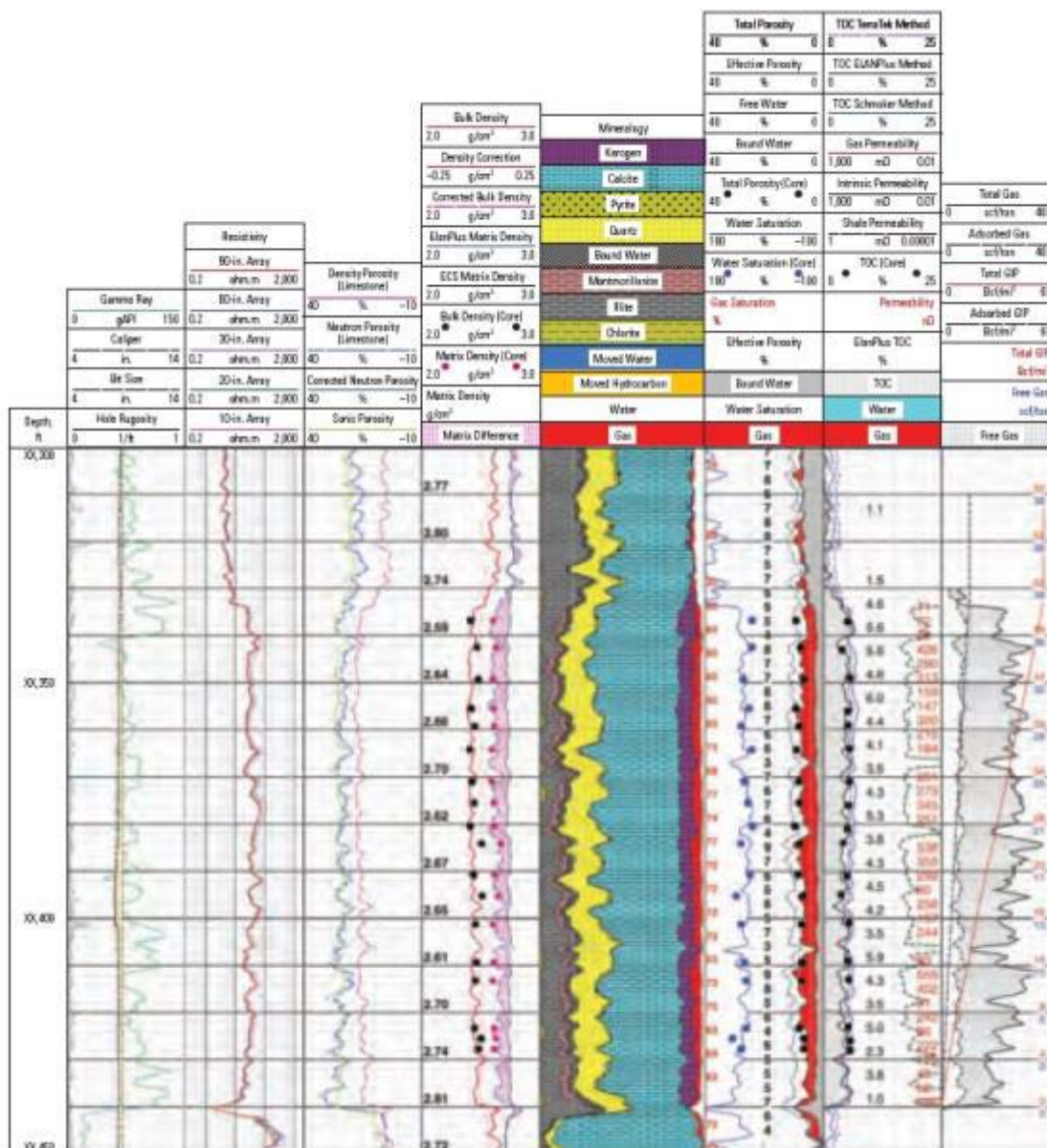
Οι μετρήσεις από τα διάφορα καταγραφικά εργαλεία μπορούν να παρουσιαστούν σε μια ενοποιημένη εμφάνιση όπως το Shale montage log που παρέχεται από την εταιρεία Schlumberger (Εικόνα 4.2). Οι ιδιότητες του σχηματισμού παρουσιάζονται με τη βοήθεια μια κοινής πλατφόρμας και έτσι οι γεωλόγοι μπορούν άμεσα να συγκρίνουν την ποιότητα των πετρωμάτων. Το ελεύθερο και το προσροφημένο αέριο υπολογίζεται και παρουσιάζεται σε μονάδες scf/ton (standard cubic feet per ton). Κάποιοι φορείς εκμετάλλευσης προτιμούν το προσροφημένο, ελεύθερο και το ολικό

αέριο να παρουσιάζεται σε Bcf/mi² (billion cubic feet per square mile). Η παρουσίαση της συγκέντρωσης των πόρων φυσικού αερίου σε Bcf/section είναι ιδιαίτερα χρήσιμη κατά την ποσοτικοποίηση του συνολικού δυναμικού που παρουσιάζει ένας ενδεχόμενος ταμειυτήρας σχιστολιθικού αερίου (Schlumberger, 2011).

Στην Εικόνα 4.2 παρουσιάζεται το Shale montage log. Ο κορεσμός σε νερό και το πορώδες υπολογίζονται από συμβατικά καταγραφικά εργαλεία μέτρησης αντίστασης (Στήλη 2) και πορώδους (Στήλη 3). Το εργαλείο ECS (Elemental Capture Spectroscopy) παρέχει δεδομένα για την ορυκτολογία (Στήλη 5) και την πυκνότητα της κύριας μάζας του πετρώματος - matrix density (Στήλη 4) για τον βελτιωμένο υπολογισμό του πορώδους καθώς επίσης διαφοροποιεί το TOC από το πορώδες (ροζ σκίαση). Η πυκνότητα των κόκκων μπορεί επίσης να υπολογισθεί και να χρησιμοποιηθεί στην διόρθωση της πυκνότητας του πορώδους (Στήλη 4).

Τα δεδομένα από δείγματα πυρήνων παρέχουν τις ισόθερμες καμπύλες Langmuir σχετικά με τη χωρητικότητα αποθήκευσης του αερίου και επιβεβαιώνουν τα υπολογισμένα δεδομένα ώστε να διασφαλιστεί ότι τα βασισμένα σε μοντέλο αποτελέσματα, όπως της πυκνότητας της κύριας και της φαινομενικής μάζας (matrix & bulk density), του κορεσμού σε νερό, του ολικού πορώδους (Στήλες 4,6 και 7) και του TOC, είναι έγκυρα.

Οι κορεσμοί των ρευστών, διορθωμένοι για τη λιθολογία, παρουσιάζονται στη Στήλη 6. Οι γεωλόγοι χρησιμοποιούν το ολικό GIP (Gas Initially in Place), το προσροφημένο και το ελεύθερο αέριο (Στήλη 8), για το προσδιορισμό του δυναμικού που παρουσιάζει ο ταμειυτήρας. Πρόσθετα χαρακτηριστικά του Shale montage log είναι τα αριθμητικά αποτελέσματα των Σηλών 4,6,7 και 8 τα οποία επιτρέπουν στο γεωλόγο να διαβάσει τιμές απευθείας από την διαγραφή. Για παράδειγμα στα XX, 350ft, η ενεργός διαπερατότητα - effective permeability (κόκκινοι αριθμοί, Στήλη 7) και ο αθροιστικός όγκος του ελεύθερου αερίου - cumulative free gas volume (μπλε αριθμοί, Στήλη 8) είναι 313 nD και 32 scf/ton αντίστοιχα. Σε αυτό το διάστημα, σε αντίθεση με τους περισσότερους οργανικούς σχιστόλιθους, η ακτίνα γάμμα (Στήλη 1) δεν διαβάσει πέραν των 150 gAPI (Schlumberger, 2011).



Εικόνα 4.2.: Shale montage log (Schlumberger, 2011)

4.3. Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου

Σε αντίθεση με τις συμβατικές πηγές φυσικού αερίου, ο σχιστόλιθος εξαιτίας της πολύ χαμηλής του διαπερατότητας περιορίζει την όποια ροή ρευστού διαμέσου του και έτσι το φυσικό αέριο βρίσκεται εγκλωβισμένο μέσα σε πόρους ή σε φυσικά συστήματα ρωγμών. Προκειμένου να υπερνικηθούν τα παραπάνω εμπόδια και να διευκολυνθεί η ροή του αερίου προς τη γεώτρηση και ακολούθως στην επιφάνεια, γίνεται χρήση των **τεχνικών των οριζοντίων γεωτρήσεων και της υδραυλικής ρωγμάτωσης**.

Η πρώτη παραγωγική γεώτρηση φυσικού αερίου στις ΗΠΑ ορύχθηκε το 1821 σε σχιστολιθικό σχηματισμό κοντά στην πόλη Fredonia στη Νέα Υόρκη με το παραγόμενο αέριο να χρησιμοποιείται από τους κατοίκους της πόλης για φωτισμό. Οι πρώτες ποσότητες - προμήθειες (supplies) φυσικού αερίου προέρχονταν από ρηχές γεωτρήσεις, οι οποίες δεν ήταν περίπλοκες στην όρυξη τους, αλλά και από διαρροές (seeps) φυσικού αερίου, με τις ποσότητες που είχαν παραχθεί να χρησιμοποιούνται στο φωτισμό των δρόμων αλλά και των νοικοκυριών (United States Department of Energy, 2009) (Curtis, 2002).

Ακολούθησαν και άλλες γεωτρήσεις για σχιστολιθικό αέριο με την πρώτη μεγάλης κλίμακας αξιοποίηση (field – scale development) να πραγματοποιείται τη δεκαετία 1920 στην περιοχή (field) Big Sandy του σχιστολιθικού σχηματισμού Ohio στο Kentucky, ενώ μέσα στην επόμενη δεκαετία ο σχηματισμός Antrim στο Michigan είχε αξιοποιηθεί σε μικρό βαθμό. Η δεκαετία του 1980 φαίνεται να ήταν αυτή που σηματοδότησε την έναρξη μιας νέας εποχής για τους ταμιευτήρες σχιστολιθικού φυσικού αερίου. Στο σχηματισμό Antrim παρουσιάστηκε μια ραγδαία αύξηση της εκμετάλλευσης, φτάνοντας στις μέρες μας να απαριθμούνται πέραν των 9000 παραγωγικών γεωτρήσεων στην περιοχή (Miller Energy Company), ενώ ξεκίνησε και η εκμετάλλευση του σχηματισμού Barnett η οποία έμελλε να αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο οι εταιρείες αντιμετώπιζαν τα κοιτάσματα σχιστολιθικού φυσικού αερίου μέχρι εκείνη την εποχή. Η πρώτη μεγάλης κλίμακας χρήση της τεχνικής της υδραυλικής ρωγμάτωσης έλαβε χώρα στο συγκεκριμένο σχηματισμό το έτος 1986, ενώ η πρώτη οριζόντια γεώτρηση ορύχθηκε το 1992 (ALL Consulting, 2010). Στα χρόνια που ακολούθησαν οι εταιρείες βελτιστοποίησαν τις μεθόδους της υδραυλικής ρωγμάτωσης αλλά και των οριζοντίων γεωτρήσεων και κατάφεραν να επιτύχουν

ουσιαστική παραγωγή φυσικού αερίου από τον σχιστολιθικό σχηματισμό Barnett στα τέλη της δεκαετίας του 1990 (Rigzone). Η τεχνογνωσία που αποκομίστηκε από το σχηματισμό Barnett, βρήκε εφαρμογή και σε άλλους σχιστολιθικούς σχηματισμούς παγκοσμίως.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διάφορα στάδια ανάπτυξης και παραγωγής κοιτασμάτων σχιστολιθικού αερίου, όπου καταγράφονται πέραν των τεχνικών σταδίων εκμετάλλευσης και τα διάφορα στάδια που αφορούν σε άδειες, μισθώσεις κλπ. για τα οποία γίνεται μία πολύ σύντομη αναφορά.

4.3.1. Μεταλλευτική Μίσθωση (Mineral Leasing)

Σε αυτό το πρώτο στάδιο οι εταιρείες διαπραγματεύονται ένα ιδιωτικό συμφωνητικό ή μισθωτήριο το οποίο επιτρέπει την αξιοποίηση των ορυκτών και αποζημιώνει ανάλογα τους ιδιοκτήτες τους. Οι όροι της μίσθωσης ποικίλουν και περιλαμβάνουν διατάξεις ή μέτρα άμβλυνσης σχετικά με την προστασία διαφόρων πόρων π.χ. υπόγεια νερά (Spellman, 2013) (Hefley, 2011).

4.3.2. Άδειες (Permits)

Η εταιρεία θα πρέπει να λάβει τη σχετική άδεια η οποία θα της επιτρέπει την όρυξη της νέας γεώτρησης. Οι προκαταρκτικές έρευνες, ο σχεδιασμός των γεωτρήσεων καθώς και άλλες τεχνικές πληροφορίες, όπως επίσης και η εκπόνηση ειδικής περιβαλλοντικής μελέτης είναι συνήθως τα προαπαιτούμενα για τη χορήγηση της άδειας (Spellman, 2013) (Hefley, 2011).

4.3.3. Κατασκευή δρόμων και εργοταξιακού χώρου για τη γεώτρηση (well pad)

Μετά τη χορήγηση της άδειας κατασκευάζονται οι δρόμοι εκείνοι που θα δώσουν τη δυνατότητα πρόσβασης στο χώρο. Ακολούθως κατασκευάζεται ο εργοταξιακός χώρος (pad), μια περιοχή στην επιφάνεια, η οποία θα παρέχει μια σταθερή βάση για το γεωτρήσιμο (drilling rig), για τις λεκάνες κατακράτησης και τις δεξαμενές αποθήκευσης νερού, χώρους φορτοεκφόρτωσης για τα φορτηγά μεταφοράς νερού, όπως επίσης και για τα φορτηγά άντλησης και ελέγχου αλλά και χώρο για τις απαραίτητες σωληνώσεις. Μετά την όρυξη της γεώτρησης στο πεδίο εγκαθίστανται η

κεφαλή της γεώτρησης (wellhead) και όλος ο απαραίτητος εξοπλισμός και παραμένουν εκεί μέχρι το πέρας της παραγωγικής ζωής της γεώτρησης. Για την προετοιμασία του πεδίου απαιτείται ο καθαρισμός και η επιπεδοποίηση περιοχών μεγάλης έκτασης (κάποιων acres) ενώ το μέγεθος του εξαρτάται από το βάθος αλλά και από τον αριθμό των γεωτρήσεων που πρόκειται να ορυχθούν στην περιοχή (Spellman, 2013) (Hefley, 2011) (Εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.3.: Εργοταξιακός χώρος στην Αυστραλία με τον απαραίτητο εξοπλισμό, για την επικείμενη εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης, εγκατεστημένο (Santos, 2013)

4.3.4. Όρυξη της γεώτρησης

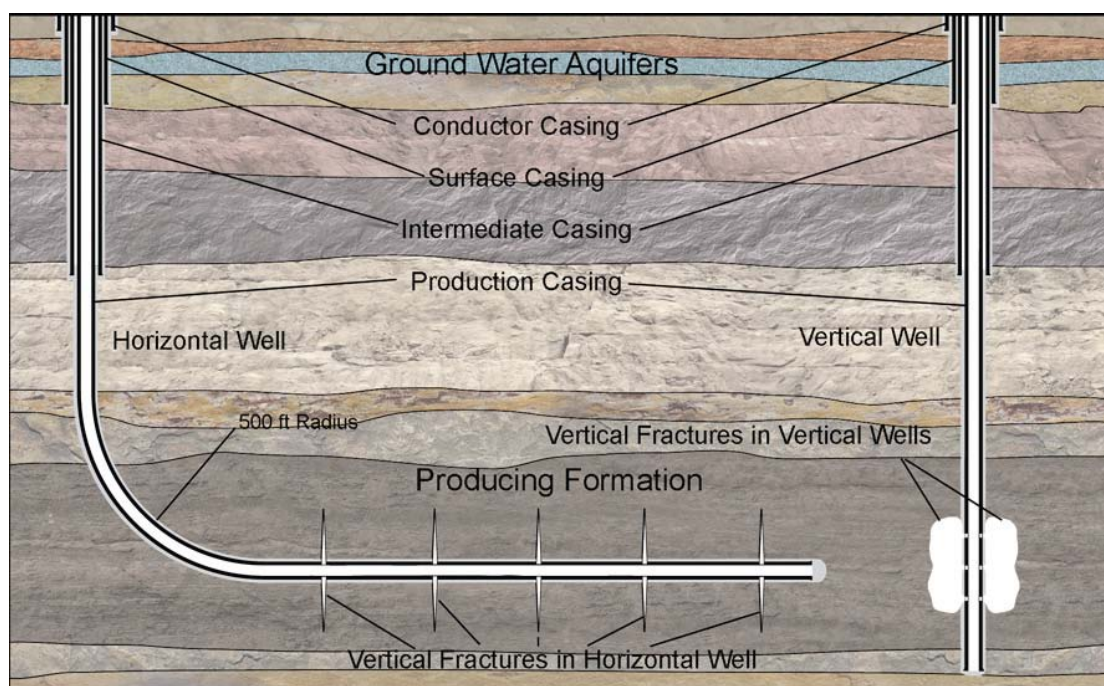
Καθώς η πλειοψηφία των ταμιευτήρων σχιστολιθικού φυσικού αερίου απαντάται σε βάθη 6000 ft ή περισσότερο και με το πάχος τους να είναι σχετικά μικρό, θα έπρεπε να υιοθετηθούν οι πιο σύγχρονες μέθοδοι στην τεχνολογία των γεωτρήσεων προκειμένου η εξόρυξη του φυσικού αερίου να γίνει όσο το δυνατό πιο αποτελεσματική. Εξαιτίας της μεγάλης έκτασης που καταλαμβάνουν οι ταμιευτήρες σχιστολιθικού φυσικού αερίου ως προς την οριζόντια τους συνιστώσα, κρίθηκε αναγκαία η χρήση της **τεχνικής των οριζοντίων γεωτρήσεων**.

Έτσι, ορύσσοντας τη γεώτρηση παράλληλα στο επίπεδο της πιο εκτενούς διάστασης, με τις οριζόντιες γεωτρήσεις επιτυγχάνεται σημαντικά μεγαλύτερη επαφή του

πετρώματος με το παραγωγικό μέρος της γεώτρησης (well bore), από ότι εάν η γεώτρηση ορυσσόταν κάθετα προς το συγκεκριμένο επίπεδο (Εικόνα 4.4).

Το αρχικό κατακόρυφο μέρος της γεώτρησης ορύσσεται μέχρις ότου το κοπτικό άκρο φτάσει σε απόσταση περίπου 500 ft (Halliburton) από το σχιστολιθικό σχηματισμό. Στο σημείο αυτό γίνεται η εναλλαγή σε κατευθυνόμενο κοπτικό άκρο προκειμένου να δημιουργηθεί σταδιακά μια καμπύλη γωνία 90 μοιρών (gradual 90-degree curve) και έτσι η γεώτρηση να συνεχίσει οριζόντια πορεία εντός του σχηματισμού. Ανάλογα με τον σχεδιασμό της γεώτρησης και την γαιοκτησία της εταιρείας που εκτελεί τη γεώτρηση, το μήκος του οριζοντίου τμήματος εντός του σχηματισμού φτάνει τα 1.000ft έως 10.000ft (Halliburton).

Επίσης από ένα πεδίο, υπάρχει η δυνατότητα όρυξης πολλαπλών οριζοντίων γεωτρήσεων επιτυγχάνοντας έτσι πρόσβαση σε διαφορετικά τμήματα του σχιστολιθικού σχηματισμού αλλά και μείωση του οπτικού αποτυπώματος (footprint) στην επιφάνεια.



Εικόνα 4.4.: Κατακόρυφη και οριζόντια γεώτρηση (API, 2009)

Pad drilling

Με τον όρο pad drilling αναφερόμαστε στην περίπτωση όπου ένας αριθμός γεωτρήσεων ορύσσεται από το ίδιο pad. Συνήθως 6 έως 8 οριζόντιες γεωτρήσεις μπορούν να προέρχονται από το ίδιο pad. Στη βιομηχανία του σχιστολιθικού αερίου, η ανάπτυξη όσο το δυνατό μεγαλύτερης επιφάνειας στο υπέδαφος, με την χρήση ενός και μόνο pad, γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής.

Συνήθως το well pad “αποστραγγίζει – drains” μία περιοχή ορθογωνίου σχήματος, η οποία στις πλείστες των περιπτώσεων έχει πλάτος περίπου μισό μιλίου και μήκος δύο μιλίων, με το pad να τοποθετείται στο κέντρο του ορθογωνίου. Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής στην επιφάνεια (surface area) (εντός του ορθογωνίου) δεν απαιτείται για το well pad και έτσι παραμένει εντελώς ανέπαφο (Energy & Capital, 2012). Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει στην εταιρεία να αναπτύξει δύο διαφορετικούς σχηματισμούς σε δύο ξεχωριστές μονάδες απόστασης – spacing units ταυτόχρονα, αυξάνοντας έτσι την απόδοση της παραγωγής, όπως επίσης επιτρέπει στην εταιρεία να ανακτήσει περισσότερα από τα διαθέσιμα αποθέματα του ταμιευτήρα. Η όρυξη περισσότερων γεωτρήσεων ανά pad θεωρείται ότι συμβάλει στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (περιβαλλοντικό αποτύπωμα) που προκαλεί η όλη διαδικασία (Cashman, 2012).

Ενοποιημένες γεωτρήσεις (Stacked wells)

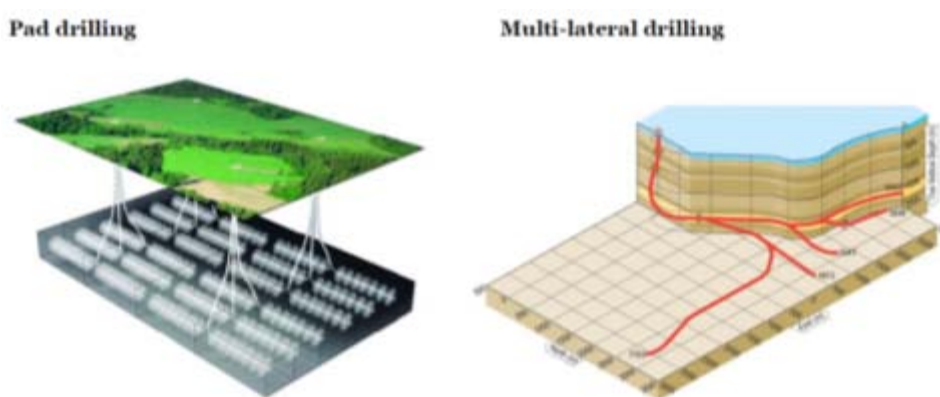
Η ενοποιημένη όρυξη οριζοντίων γεωτρήσεων μπορεί να είναι δυνατή όταν το πάχος του σχιστολιθικού σχηματισμού είναι ικανοποιητικό ή όταν πολλαπλά στρώματα σχιστόλιθου βρίσκονται το ένα πάνω από το άλλο. Μία κατακόρυφη γεώτρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή φυσικού αερίου από οριζόντιες γεωτρήσεις σε διαφορετικά βάθη. Όπως και στο pad drilling, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην επιφάνεια μετριάζονται, ως αποτέλεσμα της μειωμένης χρήσης γης. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να είναι ιδιαίτερα επωφελής για σχιστολιθικούς σχηματισμούς μεγάλου πάχους (3 Legs Resources, 2011).

Πολλαπλή Πλευρική διάτρηση (Multilateral drilling)

Η πλευρική διάτρηση είναι ανάλογη με το stacked drilling καθώς περιλαμβάνει την όρυξη δύο ή περισσότερων οριζοντίων γεωτρήσεων από την ίδια κατακόρυφη

γεώτρηση. Με το multilateral drilling οι οριζόντιες γεωτρήσεις αποκτούν πρόσβαση σε διάφορες περιοχές του σχιστολιθικού σχηματισμού του ίδιου βάθους, αλλά σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Η όρυξη πολλαπλών πλευρικών γεωτρήσεων καθιστά δυνατή τη σημαντική αύξηση του ρυθμού παραγωγής για μειωμένο οριακό κόστος (3 Legs Resources, 2011).

Στα διαγράμματα παρουσιάζονται απεικονίσεις του εργοταξιακού χώρου και της πολλαπλής πλευρικής διάτρησης (Εικόνα 4.5.).



Εικόνα 4.5.: Απεικονίσεις εργοταξιακού χώρου και πολλαπλής πλευρικής διάτρησης (3 Legs Resources, 2011)

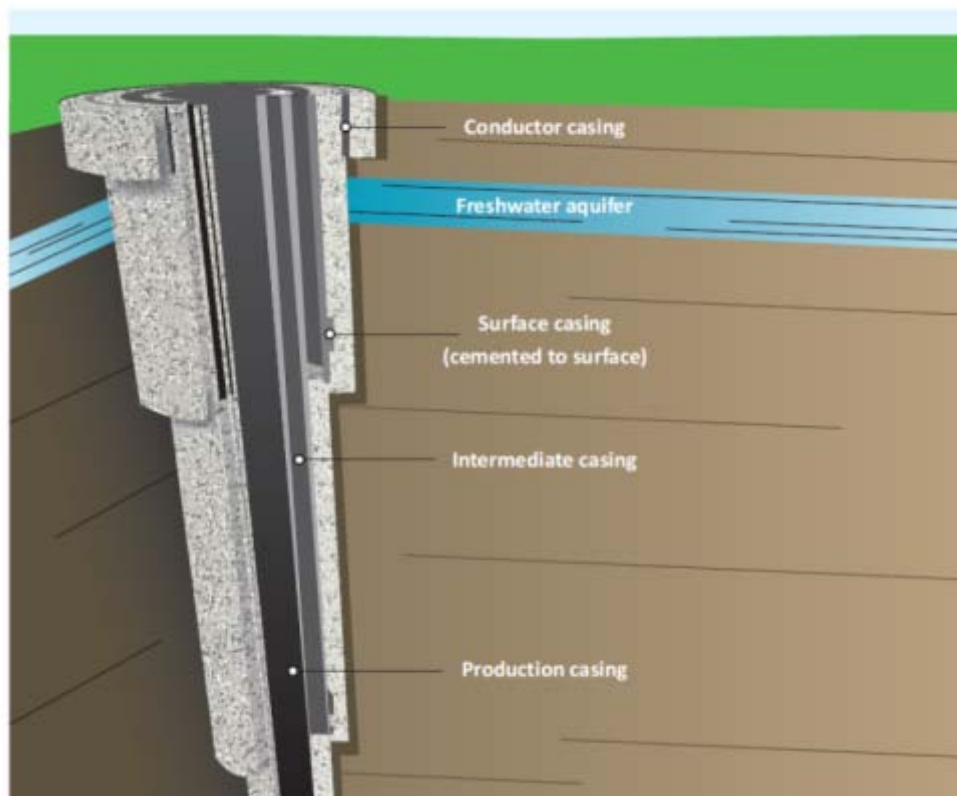
4.3.5. Σωλήνωση και τσιμέντωση της γεώτρησης

Ο σχεδιασμός και η επιλογή της σωλήνωσης θεωρείται ως υψίστης σημασίας διαδικασία, καθώς καλείται να ανταπεξέλθει τις διάφορες θλιπτικές, εφελκυστικές και καμπτικές τάσεις που ασκούνται κατά την όρυξη της γεώτρησης, αλλά και τις πιέσεις σύνθλιψης (collapse) και διάρρηξης που πιθανόν να υποβληθεί καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της γεώτρησης (API, 2009).

Κατά τη διαδικασία όρυξης της γεώτρησης σε κάποια στάδια οι εργασίες σταματούν ώστε να τοποθετηθεί χαλύβδινη σωλήνωση εντός της γεώτρησης (wellbore). Ακολουθεί η εισπίεση τσιμέντου, το οποίο με τη σειρά του καταλαμβάνει το κενό μεταξύ της σωλήνωσης και των περιβαλλόντων σχηματισμών.

Κάθε γεώτρηση (well bore) αποτελείται από τέσσερις κύριους τύπους σωλήνωσης (Εικόνα 4.6):

- Σωλήνωση επαφής (Conductor casing)
- Επιφανειακή σωλήνωση (Surface casing)
- Ενδιάμεση σωλήνωση (Intermediate casing)
- Παραγωγική σωλήνωση (Production casing)



Εικόνα 4.6.: Σωλήνωση και τσιμεντόνωση σε γεώτρηση σχιστολιθικού φυσικού αερίου (ConocoPhillips)

Η σωλήνωση επαφής είναι αυτή που εγκαθίσταται πρώτη, συνήθως πριν την άφιξη του γεωτρήπανου με το μήκος της και τη διάμετρο της να κυμαίνονται από 20 έως 50 ft και 16 έως 20 ίντσες αντίστοιχα. Συμβάλει στην αποφυγή πιθανών καταπτώσεων χαλαρών σχηματισμών εντός της γεώτρησης (wellbore), στην απομόνωση ρηχών υδροφόρων οριζόντων αλλά και στην κυκλοφορία των ρευστών διάτρησης. Αφού η σωλήνωση τοποθετηθεί, ακολουθεί η τσιμεντόνωση της, προτού ξεκινήσει η διαδικασία όρυξης της γεώτρησης.

Έπειτα ακολουθεί η εγκατάσταση της επιφανειακής σωλήνωσης. Το μήκος της κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες ft έως και 2000 ft και είναι μικρότερης διαμέτρου από τη σωλήνωση επαφής. Κύριος σκοπός της είναι η προστασία των

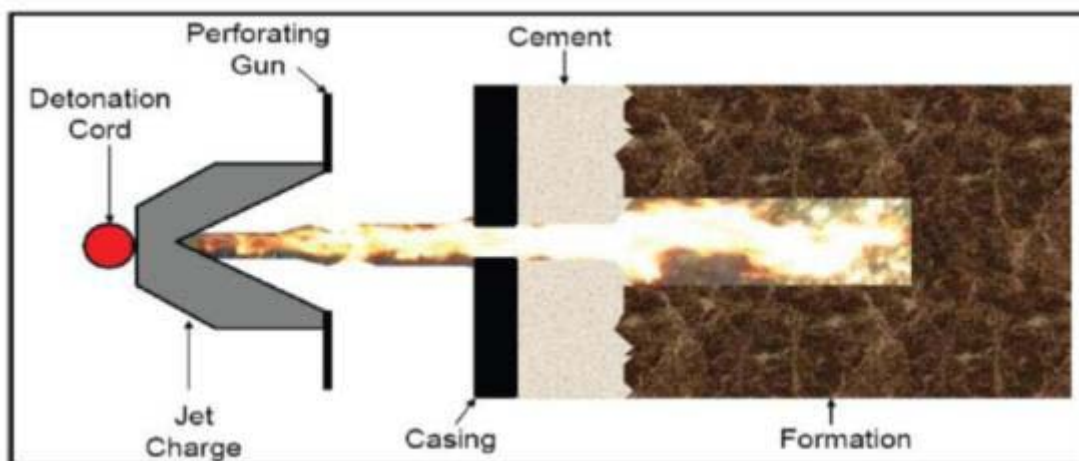
υπόγειων υδροφορέων από τυχόν διαρροή υδρογονανθράκων ή αλμυρού νερού προερχόμενοι από τα βαθύτερα στρώματα.

Μετά την τσιμέντωση της επιφανειακής σωλήνωσης ξεκινάει η όρυξη και ακολούθως η εγκατάσταση της ενδιάμεσης σωλήνωσης. Με την αποπεράτωση των παραπάνω η γεώτρηση θα έχει ήδη φτάσει μέχρι το σημείο όπου θα ξεκινήσει η κατευθυνόμενη γεώτρηση (kick-off point). Η ενδιάμεση γεώτρηση προσβλέπει στην απομόνωση των υπεδαφικών σχηματισμών που πιθανόν να προκαλέσουν αστάθεια στη γεώτρηση αλλά και να παρέχει προστασία από τους σχηματισμούς υπό μη φυσιολογικές πιέσεις (API, 2009).

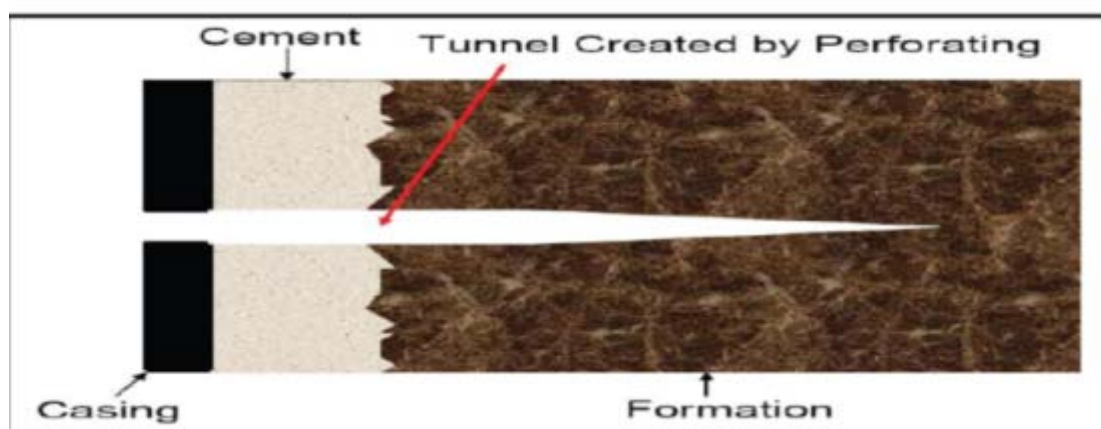
Τέλος ακολουθεί η όρυξη του πηγαδιού (hole) όπου θα τοποθετηθεί αργότερα η παραγωγική σωλήνωση. Η σωλήνωση αυτή διατρέχει όλο το μήκος της γεώτρησης και στοχεύει στην απομόνωση ανάμεσα στη ζώνη παραγωγής και όλους τους άλλους υπεδαφικούς σχηματισμούς, αποτρέποντας πιθανές επιπτώσεις άλλων γεωλογικών οριζόντων κατά την εισπίεση των ρευστών της υδραυλικής ρωγμάτωσης στον παραγωγικό σχηματισμό. Η διάμετρος της παραγωγικής σωλήνωσης φτάνει συνήθως τις 5 με 6 ίντσες. Συνήθως, σε αντίθεση με τα άλλα ήδη σωληνώσεων, η παραγωγική σωλήνωση δεν τσιμεντώνεται μέχρι την επιφάνεια. Το API προτείνει η τσιμέντωση (tail cement) να φτάνει τουλάχιστον 500ft πάνω από τον υψηλότερο σχηματισμό όπου πρόκειται να λάβει χώρα η υδραυλική ρωγμάτωση.

4.3.6. Περιμετρική διάτρηση της σωλήνωσης (perforation)

Προκειμένου να εξορυχτεί (extract) το φυσικό αέριο το οποίο βρίσκεται εγκλωβισμένο εντός των σχιστολιθικών σχηματισμών, θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα «μονοπάτι επικοινωνίας», ώστε το αέριο να οδηγηθεί από το πέτρωμα (ταμιευτήρα) εντός της παραγωγικής σωλήνωσης. Η πιο κοινή μέθοδος «διάτρησης» χρησιμοποιεί ειδικά σχηματισμένα εκρηκτικά για τη δημιουργία οπών στη σωλήνωση, στο τσιμέντο το οποίο περιβάλλει τη σωλήνωση και στο σχιστολιθικό σχηματισμό. Το διάτρητο τμήμα που δημιουργείται, μετά την πυροδότηση των εκρηκτικών, επιτρέπει στο ρευστό που εισπίζεται κατά τη διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης να εισέλθει εντός του σχηματισμού και να προκαλέσει τη ρωγμάτωσή του (Εικόνα 4.7 & 4.8).



Εικόνα 4.7.: Περιμετρική διάτρηση της παραγωγικής σωλήνωσης (API, 2009)



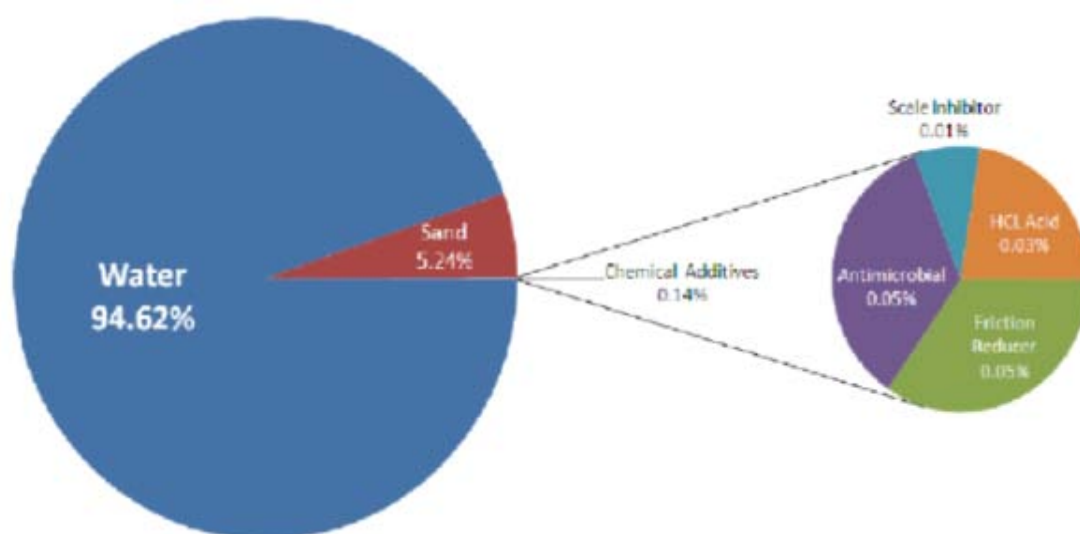
Εικόνα 4.8.: Η παραγωγική σωλήνωση μετά την περιμετρική διάτρηση (API, 2009)

4.3.7. Υδραυλική ρωγμάτωση

Ακόμη και μετά τη διάτρηση της σωλήνωσης η ποσότητα φυσικού αερίου που θα εισρεύσει στη γεώτρηση είναι ελάχιστη. Προκειμένου να επιτραπεί στο αέριο να διαφύγει εκτός των πόρων και των φυσικών ρωγμών όπου βρίσκεται εγκλωβισμένο θα πρέπει να δημιουργηθούν δίκτυα ρωγμών (fracture networks). Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης.

Κατά τη διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης τεράστιες ποσότητες (εκατομμύρια γαλόνια) ρευστού εισπνέζονται με πολύ μεγάλη πίεση διαμέσου της παραγωγικής σωλήνωσης και της περιμετρικής διάτρησης στον σχηματισμό. Το ρευστό αποτελείται ως επί το πλείστον (98- 99,5% κατ' όγκο) από νερό και πρόσθετα συγκράτησης ανοικτών ρωγμών (proppants) (Εικόνα 4.9). Το πρόσθετο αυτό είναι

ένα στερεό υλικό (συνήθως άμμος) το οποίο χρησιμοποιείται στο να κρατήσει τις ρωγμές ανοικτές όταν μειωθεί η πίεση στη γεώτρηση (Εικόνα 4.10). Το υπόλοιπο 0,5 – 2% κατ' όγκο αποτελείται από ένα μείγμα χημικών ουσιών το οποίο ενισχύει τις ιδιότητες του ρευστού. Διάφορες κατηγορίες πρόσθετων, παραδείγματα αυτών αλλά και η χρήση παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1. Ενδεικτικά για την εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης απαιτούνται 10.000 – 25.000 m³ νερού ανά γεώτρηση (ΑΕΑ, 2012)



Εικόνα 4.9.: Κατ' όγκο σύσταση του ρευστού ρωγμάτωσης (Range Resources, 2010)

Η προσθήκη συστατικών που συντελούν στη μείωση της τριβής (friction reducers) επιτρέπει στο ρευστό και στα πρόσθετα (proppants) να εισπνέζονται με μεγαλύτερο ρυθμό στο σχηματισμό και με μικρότερη πίεση από ότι εάν χρησιμοποιείτο μόνο νερό. Πλην των συστατικών αυτών, χρησιμοποιούνται βιοκτόνα (biocides) ώστε να αποτραπεί η ανάπτυξη και να μειωθεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών (biofouling) στις ρωγμές, δεσμευτές οξυγόνου (oxygen scavengers) και άλλοι σταθεροποιητές για να εμποδίσουν τη διάβρωση των στελεχών της σωλήνωσης αλλά και οξέα τα οποία χρησιμοποιούνται στην απομάκρυνση των θρυμμάτων του σχηματισμού με σκοπό τη βελτίωση της ροής του αερίου στην γεώτρηση (Schlumberger, 2003)

Πίνακας 4.1.: Κατηγορίες πρόσθετων, ο σκοπός τους και μερικά παραδείγματα (Shale Gas Information Platform)

Κατηγορία πρόσθετου	Σκοπός	Παραδείγματα
Βιοκτόνα (Biocides)	Αποφυγή ανάπτυξης βακτηρίων και άλλων μικροοργανισμών	Τερπένια, ισοθειαζολινόνες (π.χ. 1,2-βενζισοθειαζολ-3-(2H)-όνη ή 2-μεθυλο-4-ισοθειαζολιν-3-όνη)
Ρυθμιστής (Buffer)	Έλεγχος pH	Ανόργανα οξέα και βάσεις (π.χ. υδροφθορικό οξύ, όξινο θειώδες αμμώνιο)
Breaker	Μείωση του ιξώδους, ενίσχυση της ανάκτησης υγρών	Θειικά, υπεροξειδία (π.χ. υπερθειικό αμμώνιο, το υπεροξειδίο του ασβεστίου)
Αναστολέας διάβρωσης (Corrosion Inhibitor)	Προστασία των σωληνώσεων και του εξοπλισμού	Οξέα, αλκοόλες, θειώδη, (π.χ. 2-βουτοξυαιθανόλη, όξινη θειώδες αμίνη)
Crosslinker	Υποστήριξη σχηματισμού γέλης, αύξηση του ιξώδους για τη σωστή μεταφορά της άμμου εντός του φρέατος	Βορικά, μέταλλα μεταπτώσεως σε συνδυασμό με παράγοντες συμπλοκοποίησης (π.χ. zirconiumoxide, -θειικό)
Μειωτικά τριβής (Friction Reducer)	Δημιουργία στρωτής αντί τυρβώδους ροής	Πολυακρυλαμίδιο, αποστάγματα πετρελαίου, π.χ. αρωματικοί υδρογονάνθρακες (βενζόλιο, τολουόλιο)
Gelling Agent	Υποστήριξη σχηματισμού γέλης, αύξηση ιξώδους για τη σωστή μεταφορά της άμμου και των προσθετών εντός του φρέατος	Κόμμι γκουάρ, υδροξυαιθυλοκυτταρίνη, πολυμερή (π.χ. acrylamidcopolymers, vinylsulfonates)
Αναστολέας κλίμακας (Scale Inhibitor)	Αποφυγή δημιουργίας μεταλλικών ιζημάτων που ενδέχεται να συσσωρευτούν στο εσωτερικό τοίχωμα της σωλήνωσης ή στην κεφαλή της γεώτρησης	Οξέα, φωσφονικά, (π.χ. δωδεκυλοβενζόλιο, σουλφονικό οξύ, φωσφονικό ασβέστιο)
Επιφανειοδραστική ουσία (Surfactant)	Γαλακτωματοποίηση και ανοχή στην αλατότητα	Αμίνες, αιθέρες γλυκόλης, αιθοξυλεστέρες εννεύλοφαινόλης

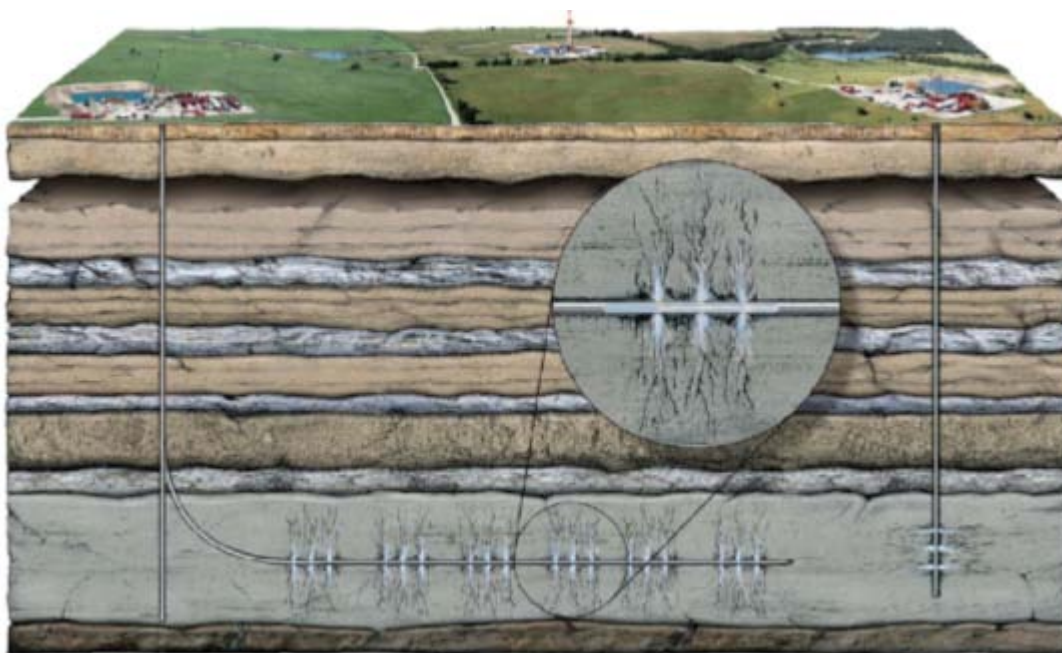


Εικόνα 4.10.: Πυριτική άμμος η οποία χρησιμοποιείται ως proppant κατά την διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης (Minnesota Public Radio)

Η υψηλή πίεση που ασκεί το ρευστό στον σχηματισμό τον αναγκάζει να ρωγματωθεί διαδίδοντας παράλληλα τις ρωγμές στο άλλοτε αδιαπέρατο πέτρωμα. Οι ρωγμές αυτές μεγαλώνουν καθώς η πίεση αυξάνει επιτρέποντας έτσι πρόσβαση σε μεγαλύτερη επιφάνεια του σχηματισμού (API, 2009), ενώ η πίεση αρχικής ρωγμάτωσης (fracture initiation pressure) εξαρτάται από το βάθος και τις μηχανικές ιδιότητες του σχηματισμού (United States Environmental Protection Agency, 2011).

Η υδραυλική ρωγμάτωση στις οριζόντιες γεωτρήσεις για σχιστολιθικό αέριο πραγματοποιείται κατά στάδια. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι ότι εξαιτίας του πολύ μεγάλου μήκους της γεώτρησης που βρίσκεται σε επαφή με τον σχηματισμό, συνήθως είναι αδύνατη η διατήρηση πίεσης η οποία να επαρκεί για τη «διέγερση – stimulation» ολόκληρης της οριζόντιας απόστασης σε ένα και μόνο στάδιο. Έτσι η διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης σε γεωτρήσεις σχιστολιθικού φυσικού αερίου πραγματοποιείται απομονώνοντας μικρότερα τμήματα της οριζόντιας απόστασης, των οποίων η ρωγμάτωση τους ονομάζεται στάδιο (stage) (Εικόνα 4.11).

Η ρωγμάτωση γίνεται διαδοχικά αρχίζοντας από το τμήμα το οποίο βρίσκεται στη μεγαλύτερη απόσταση από το κατακόρυφο τμήμα της γεώτρησης και φτάνοντας μέχρι το κοντινότερο όπου και σημαίνεται η λήξη της διαδικασίας διέγερσης του σχηματισμού. Αφ' ότου ο σχηματισμός ρωγματωθεί, η πίεση μειώνεται και το ρευστό, αποκαλούμενο και ως νερό επιστροφής (flowback water), επιστρέφει στην επιφάνεια, ενώ τα πρόσθετα (proppants) παραμένουν στον σχηματισμό κρατώντας τις ρωγμές ανοικτές επιτρέποντας στο αέριο να διαφύγει από τους πόρους όπου ήταν εγκλωβισμένο και να οδηγηθεί στη γεώτρηση.



Εικόνα 4.11.: Δημιουργία ρωγματώσεων κατά τα στάδια της υδραυλικής ρωγμάτωσης (Brownell, 2008)

Σε αρκετές περιπτώσεις το νερό επιστροφής (flowback water) έχει τη δυνατότητα να επαναχρησιμοποιηθεί σε μεταγενέστερες εφαρμογές υδραυλικής ρωγμάτωσης, αλλά αυτό εξαρτάται από την ποιότητα του αλλά και από τα οικονομικά που παρουσιάζουν τυχόν εναλλακτικές λύσεις διαχείρισης του. Το νερό επιστροφής (flowback water) το οποίο δεν επαναχρησιμοποιείται, οδηγείται προς διάθεση (disposal), με την προηγούμενη νομοθεσία να επιτρέπει την άμεση απόρριψη του σε επιφανειακά νερά ή σε ανεπαρκώς εξοπλισμένα εργοστάσια επεξεργασίας λυμάτων (United States Environmental Protection Agency). Σήμερα, ο μεγαλύτερος όγκος νερού επιστροφής (flowback water) εγχέεται σε εντός Class II γεωτρήσεων (γεωτρήσεις στις οποίες εκχέονται ρευστά τα οποία σχετίζονται με την παραγωγή πετρελαίου και φυσικού

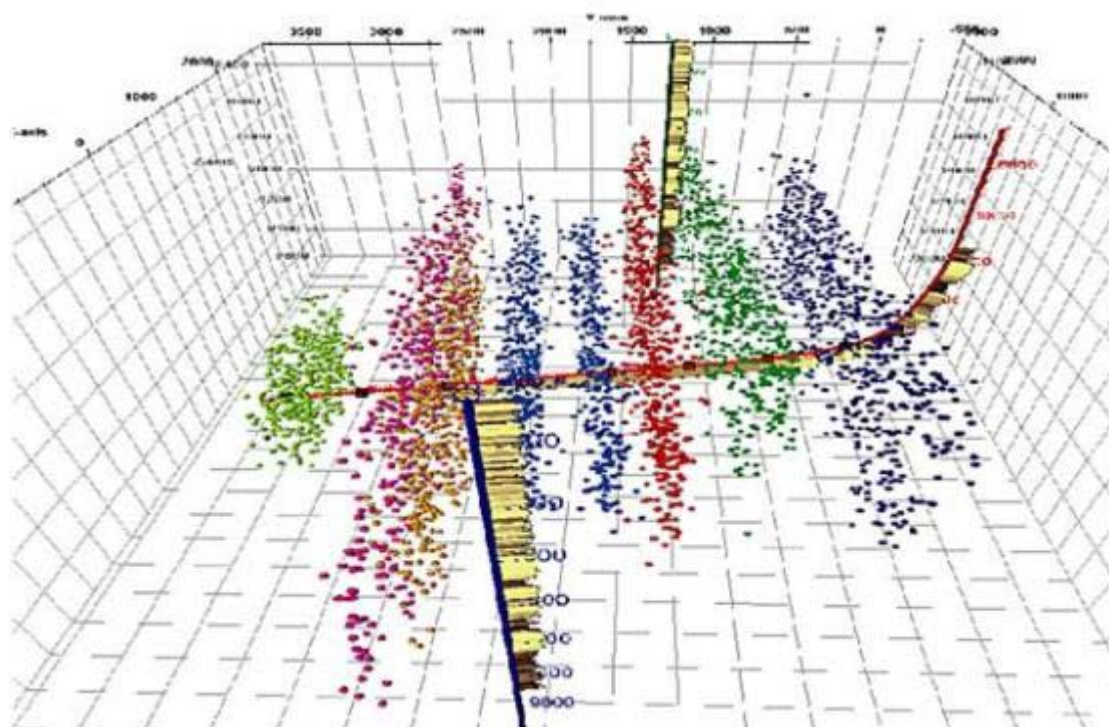
αερίου) όπως ορίζει ο κανονισμός της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA - Environmental Protection Agency). Οι πιο πάνω γεωτρήσεις έγχυσης οδηγούν το νερό επιστροφής σε υπόγειους σχηματισμούς απομονώνοντας το έτσι από πηγές ποσίμου νερού.

Κατά τη διάρκεια της παραγωγικής ζωής της γεώτρησης, ο υπό εκμετάλλευση σχιστολιθικός σχηματισμός, πιθανόν να χρειαστεί να ρωγματωθεί αρκετές φορές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ρωγμές που είχαν δημιουργηθεί, όταν έλαβε χώρα η πρώτη υδραυλική ρωγμάτωση στο σχηματισμό και διατηρούνταν ανοικτές εξαιτίας των πρόσθετων, αρχίζουν σταδιακά με την πάροδο του χρόνου και με την ελάττωση της πίεσης να κλείνουν, επιφέροντας έτσι μεγάλη μείωση στην παραγωγή. Μετά από μια σειρά επαναλήψεων της διαδικασίας της υδραυλικής ρωγμάτωσης, η παραγωγή μπορεί να επανέλθει στα αρχικά της επίπεδα, ενώ γίνεται λόγος ότι ήδη από τη δεύτερη εφαρμογή της μεθόδου φτάνει ή ακόμη και ξεπερνάει τα αρχικά της επίπεδα (Zou, 2013).

Μια πρόσφατη τεχνολογική εξέλιξη, γνωστή ως *μικροσεισμική χαρτογράφηση* (microseismic mapping), επιτρέπει στους διαχειριστές (operators) να παρακολουθούν τα μικροσεισμικά γεγονότα που συνδέονται με την αύξηση του μεγέθους των ρωγματώσεων (κατά την εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης) σε τρεις διαστάσεις και σε πραγματικό χρόνο. Η μικροσεισμική χαρτογράφηση απαιτεί την τοποθέτηση μιας συστοιχίας γεωφώνων εντός μιας γεώτρησης παρακολούθησης (observation well). Ακολουθώντας, κάνοντας χρήση της ενέργειας που εκλύεται κατά τη διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης, επιτυγχάνεται η χαρτογράφηση των προκύπτων μικροσεισμικών γεγονότων. Με την επεξεργασία των σεισμικών γεγονότων, τα οποία είχαν παρατηρηθεί σε μια παρακείμενη γεώτρηση παρακολούθησης, είναι δυνατός ο υπολογισμός της θέσης των μικροσεισμικών γεγονότων, χρησιμοποιώντας τυποποιημένες σεισμικές τεχνολογίες (standard seismic technologies). Η μικροσεισμική παρακολούθηση παρέχει έναν τρόπο για την αξιολόγηση κρίσιμων παραμέτρων της υδραυλικής ρωγμάτωσης, όπως η κατακόρυφη και πλευρική έκταση, το αζιμούθιο και η πολυπλοκότητα του ρωγματώσεων.

Η μικροσεισμική χαρτογράφηση αντιπροσωπεύει ένα εργαλείο το οποίο διαχειριστές (operators) μπορούν να χρησιμοποιούν, προκειμένου η πλευρική και κατακόρυφη έκταση των ρωγμάτωσης να διατηρηθεί εντός του ταμιευτήρα, αποτρέποντας την

επέκταση τους στους περιβάλλοντες σχηματισμούς. Τα αποτελέσματα από αυτή τη μέθοδο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επαλήθευση και λεπτομερή – ακριβή ρύθμιση των υπολογιστικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της απόδοσης της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης σε μια περιοχή (Εικόνα 4.12). Η χρήση της πιο πάνω τεχνολογίας σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει στους διαχειριστές να αποφασίσουν για το πότε θα τερματίσουν κάποιο στάδιο υδραυλικής ρωγμάτωσης και να προχωρήσουν στο επόμενο. Για παράδειγμα, εάν ο μικροσεισμικός χάρτης δείχνει ότι η ρωγμή πλησιάζει το άκρο του σχηματισμού – στόχου, το στάδιο αυτό της διαδικασίας της υδραυλικής ρωγμάτωσης μπορεί να τερματιστεί και να ξεκινήσει η ρωγμάτωση του αμέσως επόμενου (API, 2009).



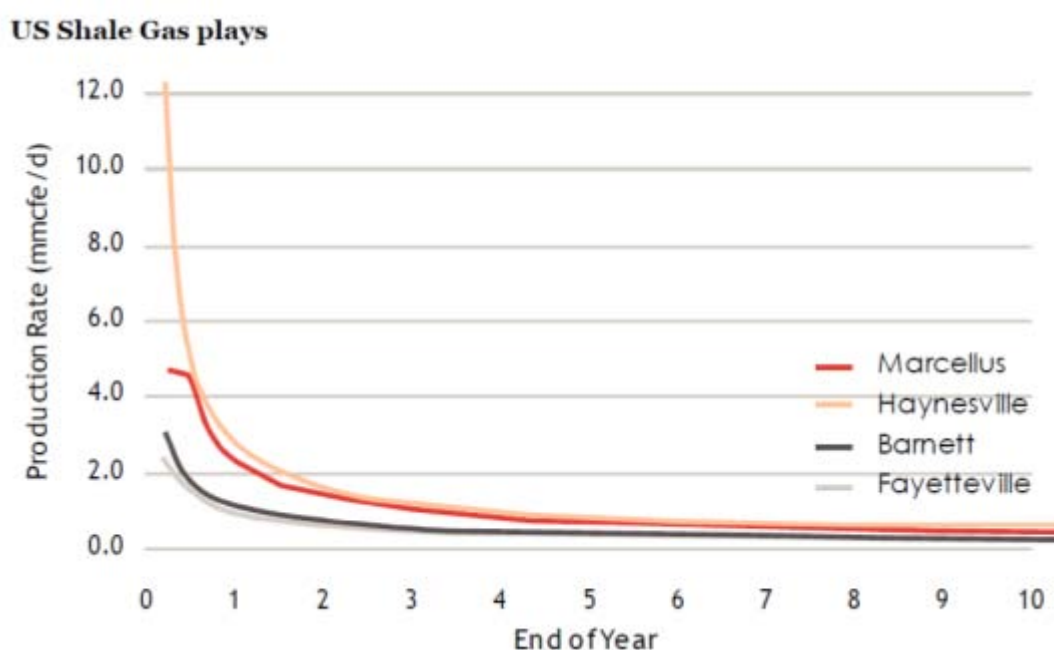
Εικόνα 4.12.: Μικροσεισμικός χάρτης μιας γεώτρησης όπου έλαβαν χώρα αρκετά στάδια υδραυλικής ρωγμάτωσης. Το κάθε χρώμα αντιπροσωπεύει και ένα διαφορετικό στάδιο (Schlumberger, 2007).

4.3.8. Παραγωγή, εγκατάλειψη και αποκατάσταση

Κατά την παραγωγή, το ανακτώμενο από τη γεώτρηση αέριο οδηγείται σε μικρής διαμέτρου αγωγούς συλλογής, οι οποίοι με τη σειρά τους συνδέονται σε μεγαλύτερους αγωγούς που συλλέγουν αέριο από ένα δίκτυο παραγωγικών

γεωτρήσεων. Μόλις οι γεωτρήσεις συνδεθούν με τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, μπορεί να ξεκινήσει η κύρια φάση της παραγωγής. Κατά τη διάρκεια της παραγωγής, από τις γεωτρήσεις θα παράγονται υδρογονάνθρακες καθώς και ρεύματα αποβλήτων (waste streams) τα οποία θα πρέπει να αντιμετωπιστούν. Επίσης, ο χώρος της γεώτρησης πλέον είναι λιγότερο ορατός, αφού στην κορυφή της γεώτρησης έχει πλέον εγκατασταθεί το σύστημα που φέρει το όνομα «χριστουγεννιάτικο δέντρο – Christmas tree», ύψους περίπου ενός μέτρου. Η παραγωγή πλέον διοχετεύεται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, οι οποίες εξυπηρετούν ένα αριθμό γεωτρήσεων, επιτρέποντας έτσι την αποκατάσταση του χώρου της γεώτρησης.

Αν και μεγάλης κλίμακας παραγωγή σχιστολιθικού φυσικού αερίου παρατηρείται μόνο κατά τα τελευταία χρόνια και η παραγωγική ζωή των γεωτρήσεων τους δεν έχει πλήρως εξακριβωθεί, εντούτοις έχει παρατηρηθεί ότι παρουσιάζουν ταχύτερη μείωση παραγωγής, από τις αντίστοιχες γεωτρήσεις συμβατικού φυσικού αερίου. Για τον σχηματισμό Fayetteville στο Arkansas έχει εκτιμηθεί ότι τα μισά εκ των εκτιμώμενων ανακτήσιμων (estimated ultimate recovery) αποθεμάτων, παράγονται κατά τα 5 πρώτα χρόνια λειτουργίας της γεώτρησης (Mason, 2011). Στην Εικόνα 4.13 απεικονίζεται η χαρακτηριστική υπερβολή του προφίλ παραγωγής, η οποία παραγωγή μειώνεται απότομα κατά τον πρώτο χρόνο κατά 60-80%. Τα δεδομένα αφορούν τέτοια έργα στις ΗΠΑ.



Εικόνα 4.13.: Προφίλ παραγωγής κοιτασμάτων σχιστολιθικού αερίου (3 Legs Resources, 2011)

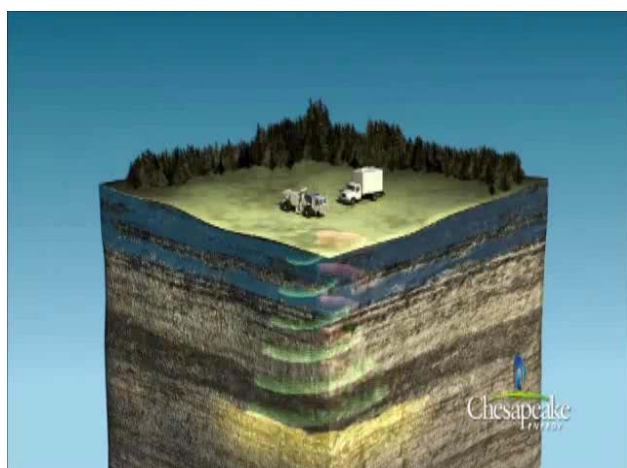
Όταν μία γεώτρηση σταματήσει να παράγει σε οικονομικό βαθμό, τότε αφαιρείται η κεφαλή της γεώτρησης και η γεώτρηση γεμίζεται με τσιμέντο ώστε να αποτραπούν τυχόν διαρροές-διαφυγές φυσικού αερίου στην ατμόσφαιρα. Ακολουθεί η αποκατάσταση της επιφάνειας, είτε στην αρχική της κατάσταση προτού ξεκινήσει η εκμετάλλευση είτε σε κάποια άλλη η οποία είχε προηγουμένως συμφωνηθεί με τον ιδιοκτήτη της έκτασης (United States Department of Energy, 2009).

4.4. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου

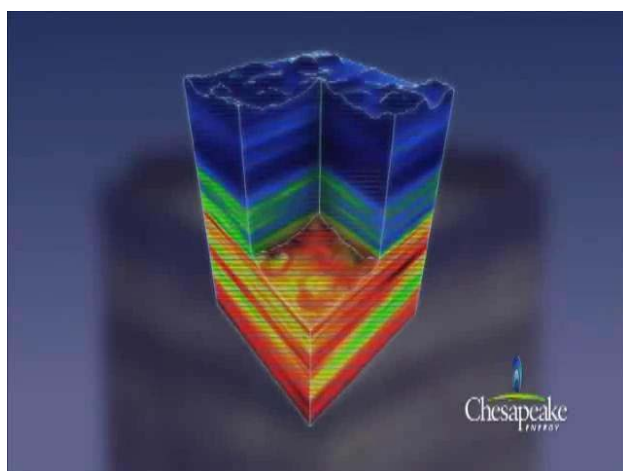
Η εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου είναι μια διαδικασία, αποτελούμενη από αρκετά στάδια, τα οποία χρήζουν το καθένα ξεχωριστά, της δέουσας επιμέλειας και προσοχής. Η παρούσα ενότητα στοχεύει στην παροχή μιας απλουστευμένης συνοπτικής παρουσίασης της όλης διαδικασίας. Τα screenshots πάρθηκαν από βίντεο ανεβασμένο στην ιστοσελίδα YouTube, ενώ το κείμενο γράφτηκε κατά τον ηχητικό σχολιασμό του εν λόγω βίντεο (Chesapeake Energy, 2012).

Εντοπισμός αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου

Για τον εντοπισμό των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου χρησιμοποιείται η τελευταία λέξη της τεχνολογίας, όπως η 3D σεισμική απεικόνιση.



Η 3D σεισμική απεικόνιση χρησιμοποιεί μία πηγή ενέργειας, όπως τα φορητά δονητές – vibroseis, ώστε να παράξουν κύματα τα οποία διέρχονται από το έδαφος και ανακλώνται από διαφορετικά στρώματα του φλοιού της Γης.



Στη συνέχεια από αυτές τις πληροφορίες και μετά από την επεξεργασία τους, παίρνουμε ένα 3D όγκο σεισμικών (3D seismic volume) ο οποίος δίνει τη δυνατότητα στους γεωεπιστήμονες να μελετήσουν τους ταμιευτήρες φυσικού αερίου που διαφορετικά θα έμεναν ανεξερεύνητοι.

Η χρήση αυτής της τεχνολογίας επιτρέπει στις εταιρείες να εντοπίζουν και να ορύσσουν με ακρίβεια τη γεώτρηση παραγωγής φυσικού αερίου, με όσο το δυνατό μικρότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Εγκατάσταση προληπτικών μέτρων



Κατά την επιλογή των εκτάσεων, όπου στη συνέχεια θα ακολουθήσει παραγωγή φυσικού αερίου, πολλοί παράγοντες λαμβάνονται υπόψη, όπως π.χ. οι δρόμοι πρόσβασης, η υπάρχουσα υποδομή για τη μεταφορά φυσικού αερίου, η κατανάλωση ρεύματος, οι υγρότοποι και οι κατοικημένες περιοχές.

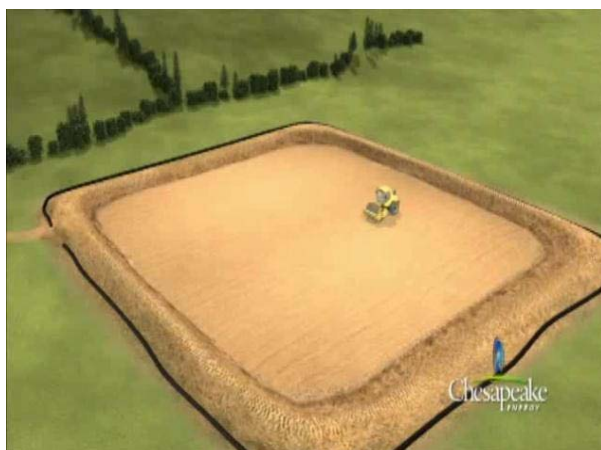


Η τοπογραφία της περιοχής και η απόσταση από υδατικά σώματα παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο για τον καθορισμό της θέσης της εξέδρας όρυξης, του εξοπλισμού παραγωγής και των μέτρων προστασίας του περιβάλλοντος.

Τα μέτρα προστασίας, όπως ο έλεγχος των ιζημάτων και της διάβρωσης σχεδιάζονται προσεκτικά ώστε να καλύψουν τις ανάγκες κάθε περιοχής, σύμφωνα με τις ισχύουσες κανονιστικές απαιτήσεις. Όταν έχει επιλεγεί η περιοχή όπου θα ακολουθήσει η όρυξη της γεώτρησης και η παραγωγή, λαμβάνουν χώρα οι απαιτούμενες προετοιμασίες για την υποστήριξη της όλης διαδικασίας.



Κατ' αρχάς, πρέπει να επιπεδοποιηθεί η επιφάνεια. Το έδαφος συγκεντρώνεται στην υψηλότερη πλευρά του χώρου και χρησιμοποιείται ως berm, παρόμοιο με ένα ανάχωμα ή φράγμα, για να αποτρέψει τη ροή του νερού πάνω από την τοποθεσία. Στο τέλος, όταν η γεώτρηση δεν θα παράγει πλέον φυσικό αέριο, το έδαφος αυτό θα χρησιμοποιηθεί για την αποκατάσταση της περιοχής.



Ακολουθεί η εγκατάσταση των buffers, όπως είναι οι silt socks, τα reflection berms και οι ιζηματοπαγίδες, ώστε να μειωθούν οι πιθανότητες καθίζησης και διάβρωσης. Μόλις ολοκληρωθεί η εγκατάσταση, όλη η τοποθεσία επιπεδοποιείται. Τα εν λόγω μέτρα εξασφαλίζουν ότι τυχόν διαρροές θα παραμένουν εντός της τοποθεσίας.



Στη συνέχεια, μέσω του hydromulching - υδροσπορά, η οποία είναι μια διαδικασία φύτευσης που χρησιμοποιεί ένα μείγμα από σπόρους και λίπασμα (mulch), προωθείται η ανάπτυξη βλάστησης με στόχο τη σταθεροποίηση της τοποθεσίας ελέγχοντας την διάβρωση.



Με τα ποιο πάνω καλύπτονται τα μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος, ενώ η καλύτερη διαχείριση τίθεται σε εφαρμογή πριν το γεωτρύπανο φτάσει στην τοποθεσία. Με το που ολοκληρωθεί το στήσιμο της εξέδρας όρυξης της γεώτρησης, τίθενται σε εφαρμογή επιπλέον μέτρα.

Στήσιμο της εξέδρας όρυξης της γεώτρησης

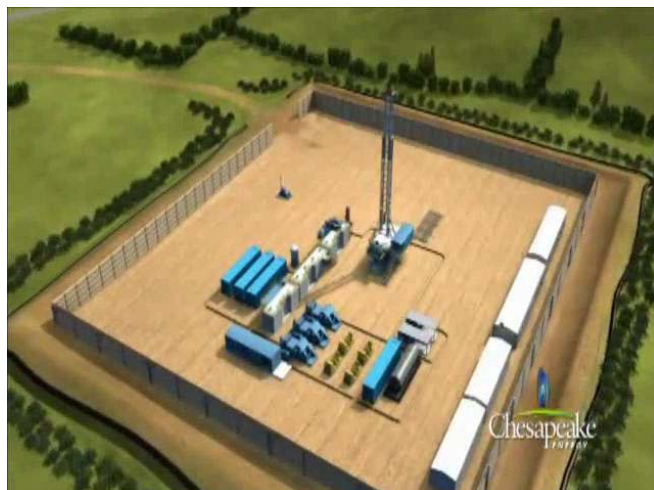
Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τη μετακίνηση της εξέδρας, τη συναρμολόγηση της, την εγκατάσταση όλου του απαραίτητου εξοπλισμού και τη λήψη επιπλέον περιβαλλοντικών μέτρων.



Όλος ο εξοπλισμός που απαιτείται για την συναρμολόγηση της εξέδρας φθάνει στην τοποθεσία με ειδικά διαμορφωμένα φορτηγά. Τα σύγχρονα γεωτρύπανα είναι κατασκευασμένα για γρήγορη συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση.



Κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης, η οποία διαρκεί έως και πέντε ημέρες, η διαδικασία επιβλέπεται ώστε η εταιρεία να βεβαιωθεί ότι όλα τα πρότυπα ασφαλείας τηρούνται σύμφωνα με τους κανονισμούς του κράτους. Το αρχικό τμήμα της εξέδρας συναρμολογείται μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι εικοσιτετράωρες διαδικασίες αρχίζουν μόλις ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός και τα φώτα είναι στη θέση τους, επιτρέποντας στο προσωπικό της εξέδρας να εργάζεται με ασφάλεια μέσα στη νύχτα.



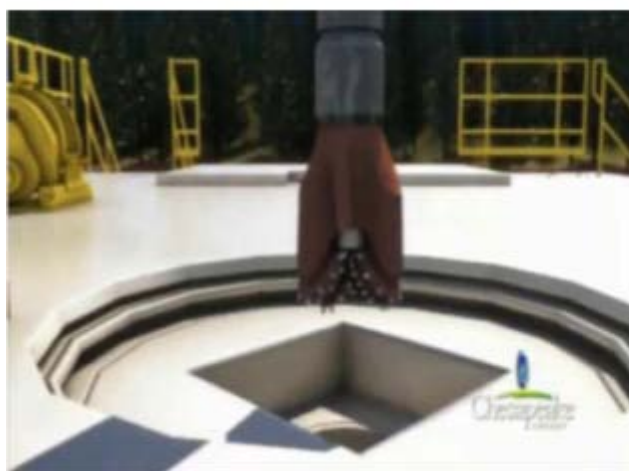
Αφού ο εξοπλισμός της εξέδρας ανεγερθεί, ένα μηχάνημα εκσκαφής εγκαθιστά ένα σύστημα αυλακίων (trench system) γύρω από το γεωτρύπανο. Τα αυλάκια λειτουργούν ως προληπτικό εμπόδιο σε περίπτωση τυχαίας διαρροής. Παράλληλα λαμβάνεται υπόψη και η γύρω περιοχή. Σε κατοικημένες περιοχές χρησιμοποιούνται ηχομονωτικά τοιχώματα για να απορροφούν και να αντανακλούν το θόρυβο. Δεδομένου ότι το γεωτρύπανο λειτουργεί μέρα και νύχτα, καταβάλλεται κάθε δυνατή προσπάθεια για την ελαχιστοποίηση του ήχου και της ηχητικής όχλησης.

Πρώτο στάδιο όρυξης της γεώτρησης

Αφ' ότου η περιοχή έχει προετοιμαστεί προσεκτικά ώστε να ανταποκρίνεται στις περιβαλλοντικές προδιαγραφές, όπως επίσης και στις προδιαγραφές υγείας και ασφάλειας, τότε μπορεί να ξεκινήσει η όρυξη της γεώτρησης. Η όρυξη της γεώτρησης, όντας μια πολύ περίπλοκη διαδικασία, απαιτεί μια καλά σχεδιασμένη – προγραμματισμένη υποδομή. Ένας αριθμός διαδικασιών, καθώς και εξαιρετικά εκπαιδευμένων ειδικών, χρησιμοποιείται ώστε να φέρει το αέριο στην επιφάνεια, τηρώντας παράλληλα όλους τους επιμέρους κανονισμούς του κράτους.



Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας όρυξης της γεώτρησης, το γεωτρύπανο βρίσκεται υπό συνεχή λειτουργία 24 ώρες την ημέρα, 7 μέρες τη βδομάδα, για περίπου 21 – 28 ημέρες. Ως επιπλέον προφύλαξη σε ορισμένες περιοχές, ένα προστατευτικό στρώμα λάσπης καλύπτει τα 2/3 της περιοχής έξω από το πεδίο.



Με τη χρήση κοπτικών άκρων βαριάς βιομηχανικής δύναμης (heavy duty industrial strength drill bits), μια γεώτρηση ορύσσεται σε διάφορα στάδια, ξεκινώντας στην αρχή με κοπτικά άκρα μεγάλης διαμέτρου. Καθώς προχωράει η όρυξη τα κοπτικά άκρα εναλλάσσονται διαδοχικά με μικρότερης διαμέτρου.



Μετά από την όρυξη του κάθε τμήματος της γεώτρησης, τσιμεντώνεται στη θέση της η εκάστοτε διαμέτρου προστατευτική σωλήνωση. Με αυτό τον τρόπο προστατεύονται τα υπόγεια ύδατα και διαφυλάσσεται η ακεραιότητα της γεώτρησης.



Αρχικά, πριν από την εγκατάσταση του γεωτρύπανου, ορύσσεται μια οπή μεγάλης διαμέτρου για τα πρώτα 50 έως 80 πόδια. Η σωλήνωση ελαφής τοιμεντώνεται στη συνέχεια στη θέση της, σταθεροποιώντας το έδαφος γύρω από το γεωτρύπανο και την κεφαλή της γεώτρησης καθώς επίσης στοχεύει στην απομόνωση της γεώτρησης από τις περισσότερες ιδιωτικές γεωτρήσεις νερού.



Στην περιοχή Marcellus η ζώνη του γλυκού νερού εκτείνεται σε περίπου 800 μέτρα κάτω από το έδαφος.



Η ζώνη γλυκού νερού αποτελείται από πορώδη ψαμμίτη και στρώματα πετρωμάτων, τα οποία περιέχουν νερό εντός του πορώδους χώρου του πετρώματος. Μέχρις ότου η οπή προχωρήσει κατά ένα μέσο όρο 100-200 ποδιών κάτω από τη βάση της ζώνης του φρέσκου νερού, η γεώτρηση ορύσσεται με αέρα. Έτσι παρέχεται πρόσθετη προστασία στη ζώνη φρέσκου νερού.



Μια σειρά συμπιεστών (compressors) και ενισχυτών (boosters) παράγει τον απαιτούμενο αέρα για την ανύψωση των θρυμμάτων του πετρώματος και του φρέσκου νερού, τα οποία στη συνέχεια οδηγούνται σε χαλύβδινους κάδους. Έπειτα τα θρύμματα αποτίθενται βάσει των κρατικών κατευθυντήριων γραμμών και αδειών. Ο εξοπλισμός της γεώτρησης ανασύρεται στην επιφάνεια και αποθηκεύεται για το δεύτερο στάδιο της γεώτρησης.

Επιφανειακή σωλήνωση



Για την προστασία της ακεραιότητας της γεώτρησης και των γύρω βαθιών ζωνών φρέσκου νερού, ένας άλλος τύπος χαλύβδινης σωλήνωσης, ο οποίος ονομάζεται σωλήνωση επιφάνειας, εγκαθίσταται και εδραιώνεται στο εσωτερικό της πρόσφατα ορυγμένης οπής και της σωλήνωσης επαφής



Το τσιμέντο εισπύζεται διαμέσου της επιφανειακής σωλήνωσης και καταλαμβάνει το κενό μεταξύ του περιβάλλοντος πετρώματος και της σωλήνωσης. Έτσι απομονώνεται πλήρως η γεώτρηση από τις βαθύτερες ιδιωτικές ή δημοτικές γεωτρήσεις νερού.

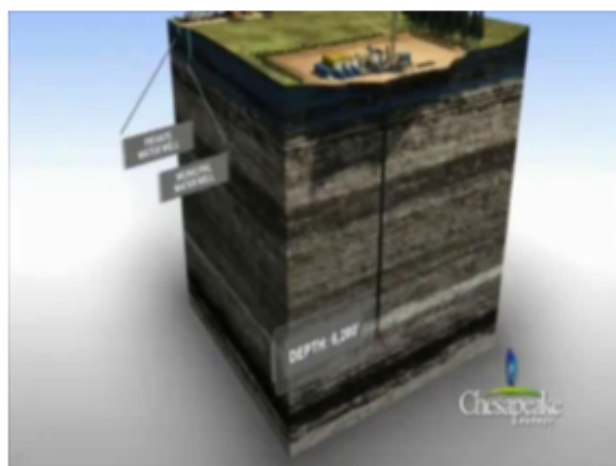


Ο αποτροπέας εκρήξεων (blowout preventer) εγκαθίσταται μετά αφού η σωλήνωση επιφανείας έχει τσιμεντωθεί. Ο αποτροπέας εκρήξεων είναι μια σειρά από υψηλής πίεσης βαλβίδες ασφαλείας και απομόνωσης (seals), τοποθετημένη στην κορυφή της σωλήνωσης με στόχο τον έλεγχο της πίεσης και την πρόληψη τυχών διαφυγών ρευστών στην επιφάνεια.



Δεύτερο στάδιο όρυξης της γεώτρησης

Στο κάτω μέρος της γεώτρησης, το κοπτικό άκρο διαπερνά τον εξοπλισμό ελέγχου της ροής (flow equipment) και το τσιμέντο και συνεχίζει την πορεία του προς την περιοχή ενδιαφέροντος, η οποία βρίσκεται σε βάθος 8000ft κάτω από την επιφάνεια.



Η μέθοδος που υιοθετείται για την όρυξη της γεώτρησης κάτω από την επιφανειακή σωλήνωση, χρησιμοποιεί λάσπη η οποία είναι ένα μη επικίνδυνο μείγμα με βάση τον μετεονίτη ή συνθετικά παχυντικά (synthetic thickeners). Εκτός από την μεταφορά των θρυμμάτων στην επιφάνεια, η λάσπη διάτρησης παρέχει σταθερότητα στη γεώτρηση, βοηθά στη ψύξη του κοπτικού και στον έλεγχο της πίεσης εντός της γεώτρησης. Η όρυξη της γεώτρησης συνεχίζει έως ότου το κοπτικό φτάσει τις μερικές εκατοντάδες μέτρα πάνω από τον σχηματισμό.



Ολόκληρη η διατηρητική στήλη ανασύρεται στην επιφάνεια ώστε να εγκατασταθεί ένα ειδικό διατηρητικό εργαλείο. Το εργαλείο αυτό επιτρέπει τη σταδιακή μεταβολή του προσανατολισμού της γεώτρησης μέχρις ότου να φτάσει σε ένα οριζόντιο επίπεδο.

Τελευταίο στάδιο όρυξης της γεώτρησης: Οριζόντια γεώτρηση

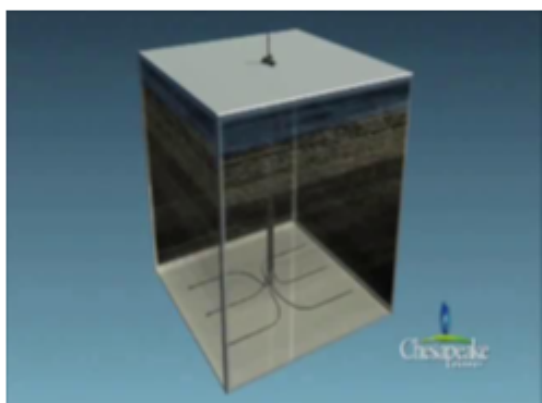


Το εναπομείναν μέρος της γεώτρησης ορύσσεται παράλληλα με το οριζόντιο επίπεδο, εβρισκόμενο σε επαφή με τον σχιστολιθικό σχηματισμό που φέρει το αέριο. Η όρυξη συνεχίζει οριζόντια μέσα στο σχιστολιθικό σχηματισμό σε μήκη μεγαλύτερα των 4000 ft από το σημείο που τον διέτρησε για πρώτη φορά.

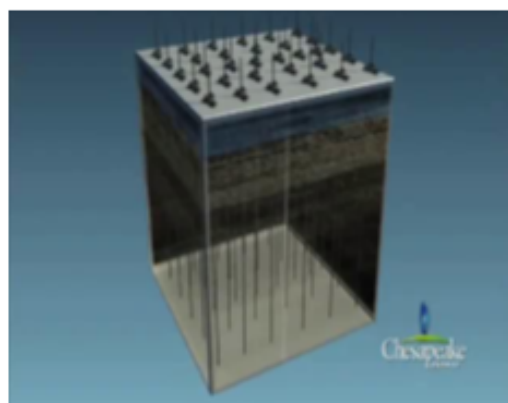


Η οριζόντια όρυξη της γεώτρησης προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την κατακόρυφη. Από τη στιγμή που οι οριζόντιες γεωτρήσεις έρχονται σε επαφή με μεγαλύτερη επιφάνεια του σχηματισμού, απαιτείται μικρότερος αριθμός γεωτρήσεων ώστε να αναπτυχθεί βέλπιστα το συγκεκριμένο κοίτασμα αερίου

Για παράδειγμα, για την ανάπτυξη μίας έκτασης γης εμβαδού 1.280 στρεμμάτων χρησιμοποιώντας τις συμβατικές τεχνικές των κατακόρυφων γεωτρήσεων, πιθανόν να απαιτούνταν τριάντα δύο κατακόρυφες γεωτρήσεις, με την καθεμία να χρειάζεται το δικό της pad. Ωστόσο, ένα pad πολλαπλών οριζοντίων γεωτρήσεων μπορεί αποτελεσματικά να ανακτήσει τα ίδια αποθέματα φυσικού αερίου από ίδιου εμβαδού έκταση γης, μειώνοντας τη συνολική διαταραχή της επιφάνειας κατά 90%.



Οριζόντια όρυξη γεωτρήσεων

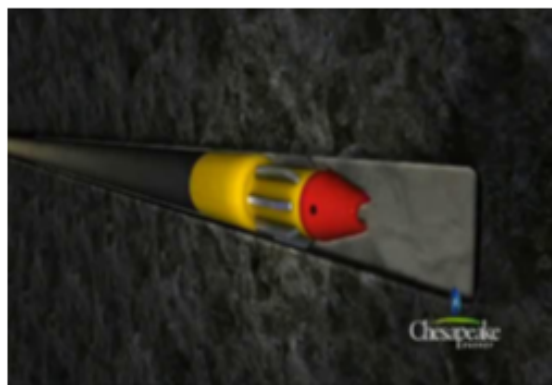


Κατακόρυφη όρυξη γεωτρήσεων

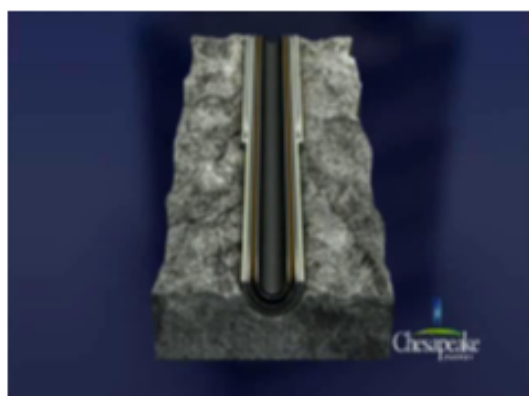
Παραγωγική σωλήνωση



Μετά την ανέλκυση του εξοπλισμού στην επιφάνεια, εγκαθίσταται σωλήνωση μικρότερης διαμέτρου καθ' όλο το μήκος της γεώτρησης. Η παραγωγική σωλήνωση τσιμεντώνεται και στερεώνεται στη θέση της με την εισπίεση τσιμέντου μέσα από το άκρο της σωλήνωσης. Ανάλογα με τις περιφερειακές γεωλογικές συνθήκες, το τσιμέντο εισπιέζεται γύρω από το εξωτερικό περίβλημα της σωλήνωσης σε ύψος που φτάνει περίπου τα 2500 ft ή μέχρι την επιφάνεια.



Το τσιμέντο δημιουργεί ένα αδιαπέραστο στρώμα εξασφαλίζοντας ότι τα ρευστά του σχηματισμού μπορούν μόνο να παραχθούν μέσω της παραγωγικής σωλήνωσης. Μετά την εγκατάσταση των σωληνώσεων η γεώτρηση δοκιμάζεται υπό πίεση (pressure tested), ώστε να διασφαλιστεί η ακεραιότητα της.



Εγκάρσια τομή της γεώτρησης κάτω από την επιφάνεια, όπου αποκαλύπτονται τα διάφορα προστατευτικά στρώματα - επίπεδα (protective layers). Τσιμέντο, σωλήνωση επαφής, τσιμέντο, επιφανειακή σωλήνωση, διατηρητική λάσπη, παραγωγική σωλήνωση και στη συνέχεια το production tubing μέσω του οποίου θα ρέει το παραγόμενο αέριο και νερό. Σύνολο υπάρχουν επτά στρώματα προστασίας.

Υδραυλική ρωγμάτωση



Προκαμένου να μεγιστοποιηθεί το δυναμικό παραγωγής της γεώτρησης, ο σχιστολιθικός σχηματισμός πρόκειται να ρωγματοωθεί υδραυλικά. Στο πλαίσιο της προετοιμασίας για την επικείμενη εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης, η σωλήνωση θα διατηρηθεί στο οριζόντιο τμήμα της γεώτρησης με τη χρήση perforating guns τα οποία περιέχουν εκρηκτικά. Τα διάτρητα τμήματα βρίσκονται σε απόσταση 50 έως 80 πόδια μεταξύ τους, δημιουργώντας έτσι μια «σύνδεση» μεταξύ της παραγωγικής σωλήνωσης και του σχιστολιθικού σχηματισμού.



Με το πέρας της αρχικής διάτρησης τα perforating guns ανελκύονται στην επιφάνεια, ενώ στο rig τώρα υπάρχει προσωπικό που ειδικεύεται στην υδραυλική ρωγμάτωση. Ο εξοπλισμός πλέον αποτελείται από ένα αριθμό αντλιών υψηλής πίεσης καθώς και από μηχανήματα ανάμειξης. Ο εξοπλισμός αυτός θα εισπιέζει ένα μείγμα νερού και προσθετών (proppants), συνήθως άμμου, διαμέσου της νεοδημιουργηθείσας γεώτρησης και της παραγωγικής σωλήνωσης, στον σχιστολιθικό σχηματισμό.



Αρχικά, το νερό περνά από τη λεκάνη κατακράτησης όπου βρίσκεται αποθηκευμένο, στις δεξαμενές που απεικονίζονται με μπλε χρώμα σε αυτή τη θέση. Στη συνέχεια οδηγείται σε μια μονάδα ενυδάτωσης (hydration unit), η οποία είναι αρμόδια για την πήξη του ρευστού – αύξηση του ιξώδους (gel the fluid) πριν αυτό μεταφερθεί στον αναμεικτήρα (blender).



Στον αναμεικτήρα προστίθενται τα προσθετά (proppants) και μια μικρή ποσότητα χημικών ουσιών, τα οποία βοηθούν στη διαδικασία της ρωγμάτωσης. Ο αναμεικτήρας ακολούθως μεταφέρει το ρευστό και το μείγμα από τα προσθετά στα φορτηγά – αντλίες.



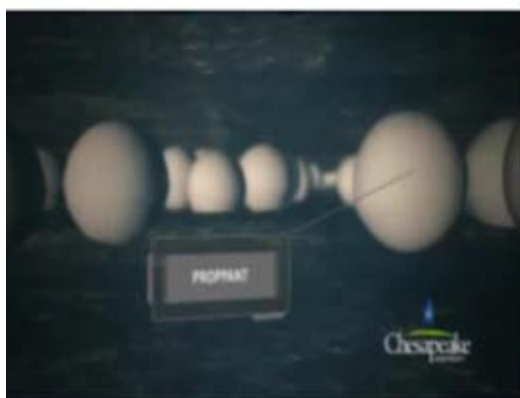
Οι αντλίες που χρησιμοποιούνται για τις εργασίες ρωγμάτωσης αυξάνουν την πίεση του ρευστού και στην συνέχεια το εισπνέζουν στη γεώτρηση. Ολόκληρη η διαδικασία ρωγμάτωσης ελέγχεται από το όχημα που φέρει τον εξοπλισμό παρακολούθησης (treatment monitoring van).



Όταν το ρευστό ρωγμάτωσης φτάσει στο σημείο όπου συντελείται η ενίσχυση της ρωγμάτωσης (perforation), η πίεση αυξάνει μέχρις ότου οι ρωγματώσεις στον σχιστολιθικό σχηματισμό να επιτρέψουν στο ρευστό να εισέλθει εντός του σχηματισμού.



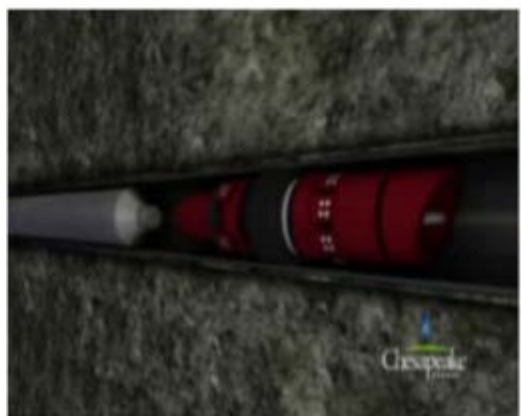
Επιπλέον ρωγματώσεις δημιουργούνται κατά μήκος των φυσικών ζωνών αδυναμίας του σχιστόλιθου. Οι ρωγματώσεις αυτές βρίσκονται εντός του σχιστολιθικού σχηματισμού, σε μεγάλο βάθος από την επιφάνεια.



Μετά, αφού εισπιαστεί μια αρχική ποσότητα ρευστού με στόχο τη δημιουργία μίας ρωγματωμένης περιοχής, προσθέτονται στο ρευστό τα προσθετά, τα οποία κατανέμονται σε όλο το νεοδημιουργηθέν δίκτυο ρωγματώσεων. Κατά την ολοκλήρωση της διαδικασίας ρωγμάτωσης του σχηματισμού, τα προσθετά επιτρέπουν στις ρωγματώσεις να παραμένουν ανοικτές, έτσι ώστε το αέριο να μπορεί να ρέει προς την παραγωγική σωλήνωση και ακολούθως να οδηγείται στην επιφάνεια. Έτσι ολοκληρώνεται το πρώτο από τα πολλά στάδια της διαδικασίας ρωγμάτωσης.



Η διαδικασία επαναλαμβάνεται, καθελκύνοντας στη γεώτρηση ένα πώμα απομόνωσης και τα perforating guns, ώστε να ολοκληρωθεί το επόμενο στάδιο της ρωγμάτωσης.



Στο κάτω μέρος του perforating gun, ένα σύνθετο πώμα τοποθετείται ώστε να απομονωθεί η πρόσφατα ρωγματωμένη ζώνη. Έτσι εξασφαλίζεται ότι η επερχόμενη εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης, θα λάβει χώρα μόνο στην τρέχουσα ζώνη.

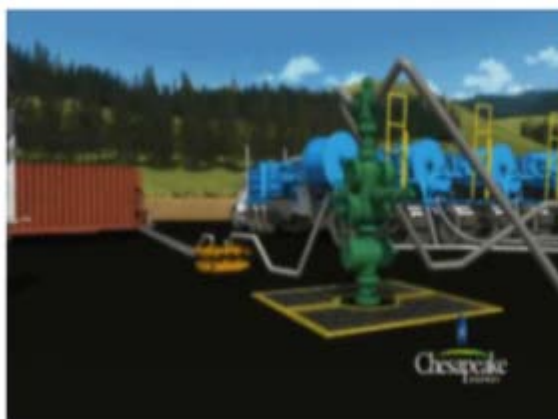


Το perforating gun πυροδοτείται πάλι σε διαστήματα 50 με 80 ft. Η διαδικασία ρωγμάτωσης του σχηματισμού επαναλαμβάνεται, μέχρι να ολοκληρωθούν όλα τα στάδια.



Συνήθως οι γεωτρήσεις παραγωγής σχιστολιθικού αερίου έχουν περίπου οκτώ με δέκα στάδια ρωγμάτωσης.

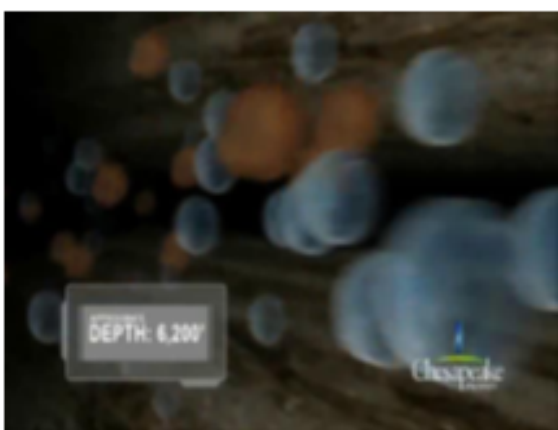
Τερματισμός της διαδικασίας ρωγμάτωσης



Με το πέρας της διαδικασίας ρωγμάτωσης, τα πώματα απομόνωσης (isolation plugs) απομακρύνονται από την γεώτρηση και η παραγωγή μπορεί να ξεκινήσει. Τα παραγόμενα υγρά (produced fluids) εκτρέπονται σε δεξαμενές αποθήκευσης. Τα υγρά στη συνέχεια ανακυκλώνονται ή αποτίθενται σύμφωνα με τους πολιτειακούς και ομοσπονδιακούς κανονισμούς.



Μετά την ολοκλήρωση της γεώτρησης, ξεκινάει η παραγωγή του φυσικού αερίου καθώς και η αποκατάσταση του χώρου. Τα βαριά μηχανήματα έχουν μετακινηθεί σε άλλη περιοχή, αφήνοντας πίσω μόνο το “Christmas Tree”, τον διαχωριστή (separator) και τις δεξαμενές παραγωγής.



Κάτω από την επιφάνεια, σε βάθη πέραν του ενός μιλίου, το μείγμα αερίου και υγρού ρέει διαμέσου του ρωγματωμένου σχιστόλιθου. Το μείγμα, το οποίο περιέχει ως επί το πλείστον αέριο, ρέει προς το production tubing και ακολούθως στην επιφάνεια διαμέσου της γεώτρησης. Στη συνέχεια εκτρέπεται από την κεφαλή της γεώτρησης στον διαχωριστή, ο οποίος διαχωρίζει το υγρό (και οποιαδήποτε άλλα πετρελαϊκά ρευστά – petroleum liquids – όπως το συμπύκνωμα και το πετρέλαιο – που ενδέχεται να προκύψουν) – από το αέριο.

4.5. Αξιολόγηση (εκτίμηση αποθεμάτων)

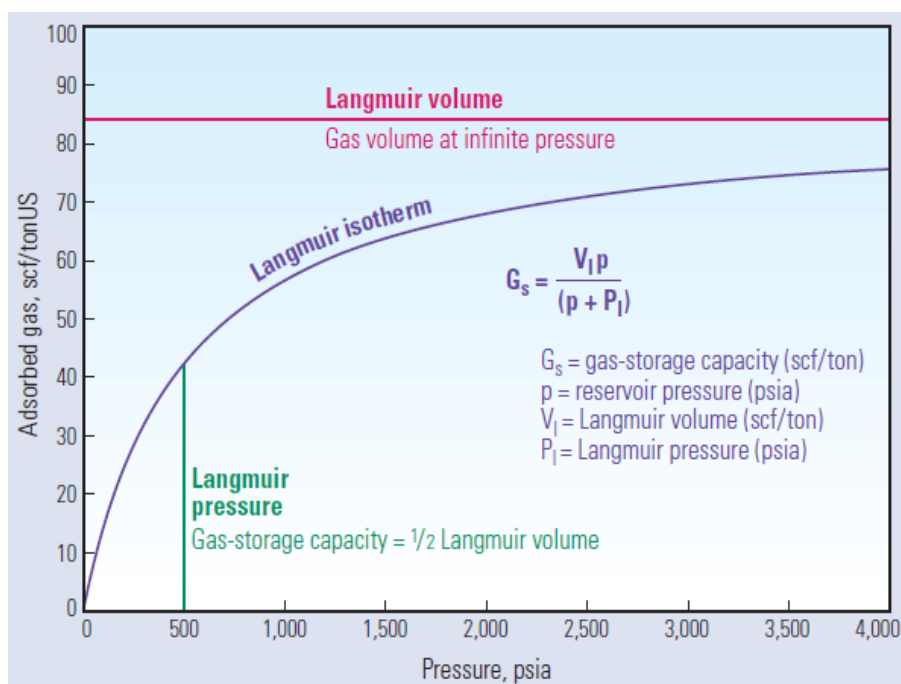
Τα επιτόπου αρχικά αποθέματα είναι το άθροισμα του όγκου του προσκολλημένου, στην οργανική ύλη (κηρογόνο), αερίου αλλά και του αερίου που βρίσκεται ελεύθερο στο πρωτογενές και δευτερογενές πορώδες. Με την έναρξη της παραγωγής του ελεύθερου αερίου, και με τη παράλληλη πτώση στην πίεση που επικρατούσε αρχικά στον ταμιευτήρα, το προσροφημένο αέριο αρχίζει να απελευθερώνεται (εκροφάται) από την επιφάνεια του κηρογόνου.

Ο προσδιορισμός των επιτόπου αποθεμάτων σε μη συμβατικούς ταμιευτήρες βασίζεται στις παραμέτρους του περιεχομένου αερίου και στην ικανότητα αποθήκευσης. Οι παραπάνω παράμετροι λαμβάνονται από εργαστηριακές δοκιμές σε δείγματα πυρήνα, όπως είναι η δοκιμή εκρόφησης σε κάνιστρο (desorption canister test) και από ισοθερμοκρασιακά πειράματα προσρόφησης (adsorption isotherm experiments).

Τα αρχικά επιτόπου αποθέματα εκτιμώνται με την τοποθέτηση επιλεγμένων, πρόσφατα εξορυγμένων πυρήνων από τον ταμιευτήρα, σε αεροστεγώς σφραγισμένα δοχεία (canister). Ακολούθως γίνεται η καταγραφή του όγκου του και παράλληλα η ανάλυση της σύστασης του εκροφούμενου όγκου αερίου, συναρτήσει του χρόνου σε ατμοσφαιρικές συνθήκες. Από τα παραπάνω δεδομένα μπορεί να κατασκευαστεί το γράφημα του παραγόμενου, με την πάροδο του χρόνου, αερίου και να εκτιμηθούν τα επιτόπου αποθέματα σε συνθήκες ταμιευτήρα (Schlumberger, 2011) (Schlumberger, 2006).

Για τον προσδιορισμό του προσροφημένου αερίου όγκου, γίνεται χρήση σχέσεων πίεσης από τις οποίες εκτιμάται η ροφητική ικανότητα του πετρώματος. Αρχικά τα δείγματα κονιορτοποιούνται ώστε να αυξηθεί η ειδική τους επιφάνεια και ακολούθως θερμαίνονται με σκοπό την απομάκρυνση τυχόν προσροφημένου αερίου. Στο στάδιο που ακολουθεί, τα δείγματα εκτίθενται στο μεθάνιο υπό σταδιακά αυξανόμενη πίεση, με τη θερμοκρασία να παραμένει σταθερή. Ο όγκος του προσροφημένου, από το δείγμα του πετρώματος, αερίου μετρείται σε μονάδες scf/ton και περιγράφεται από την ισοθερμοκρασιακή καμπύλη Langmuir (Schlumberger, 2011) (Schlumberger, 2006).

Η καμπύλη Langmuir (Εικόνα 4.14) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του προσροφημένου αερίου με προερχόμενα από διαγραφίες δεδομένα του TOC. Αρχικά υπολογίζεται ο όγκος του ελεύθερου αερίου από διαγραφίες ενεργού πορώδους και κορεσμού σε αέριο αφού αφαιρεθεί ο υπολογισμένος όγκος των πόρων ο οποίος καταλαμβάνεται από προσροφημένο αέριο (Schlumberger, 2011), (Schlumberger, 2006).



Εικόνα 4.14.: Η ισόθερμη καμπύλη Langmuir δείχνει την ποσότητα του προσροφημένου αερίου που ένα κορεσμένο δείγμα θα περιέχει σε μία δεδομένη πίεση. Η μείωση της πίεσης θα αναγκάσει το μεθάνιο να εκροφηθεί, όπως προβλέπεται από την μπλε γραμμή. Η εκρόφηση του αερίου αυξάνει μη γραμμικά, καθώς η πίεση μειώνεται (Schlumberger, 2006).

Βιβλιογραφία

(2012, October 18). Retrieved from Energy & Capital:

<http://www.energyandcapital.com/articles/this-could-make-the-us-energy-independent/2694>

3 Legs Resources. (2011). *An introduction to shale gas*.

AEA. (2012). *Support to the identification of potential risks for the environment and human health arising from hydrocarbons operations involving hydraulic fracturing in Europe*.

ALL Consulting. (2010). *An Enviromental Discussion of Hydraulic Fracturing in the Marcellus Shale*.

ALL Consulting. (2008). *An overview of modern shale gas development in th United States*.

API. (2009). *Hydraulic Fracturing Operations — Well Construction and Integrity Guidelines*.

Brownell, M. (2008). *Gas well drilling and development Marcellus Shale*.

Carcione, J. M. (2001). AVO effects of a hydrocarbon source-rock layer. *Geophysics* .

Cashman, K. (2012). More drilling in lower Three Forks. *Petroleum News Bakken* .

Chesapeake Energy. (2012, May 24). *YouTube*. Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=S6_Zosq0T-g

Chopra, S., Sharma, R. K., Keay, J., & Marfurt, K. J. (2012). *Shale gas reservoir characterization workflows*.

Curtis, J. B. (2002). *Fractured Shale-Gas Systems*.

Halliburton. (n.d.). Retrieved from

http://www.halliburton.com/public/projects/pubsdata/Hydraulic_Fracturing/disclosures/interactive.html

Harilal, & Tandon, A. (2012). *Unconventional Shale-gas plays and their characterization through 3-D seismic attributes and logs.*

Hefley, W. (2011). *The Economic Impact of the Value Chain of a Marcellus Shale Well.*

Mason, J. (2011). Well Production Profiles for the Fayetteville Shale Gas Play. *Oil and Gas Journal* .

Miller Energy Company. (n.d.). Retrieved from <http://www.miller-energy.com/our-activity/michigan/>

Passey, Q. R., Bohacs, K. M., Esch, W. L., Klimentidis, R., & Sinha, S. *From Oil-Prone Source Rock to Gas-Producing Shale Reservoir – Geologic and Petrophysical Characterization of Unconventional Shale-Gas Reservoirs.* SPE.

Rickman, R., Mullen, M., Petre, E., Grieser, B., & Kundert, D. (2008). *A practical use of shale petrophysics for stimulation design optimization: All shale plays are not clones of the Barnett Shale: Annual Technical Conference and Exhibition.* Society of Petroleum Engineers.

Rigzone. (n.d.). Retrieved from http://www.rigzone.com/news/oil_gas/a/124801/Musings_Will_Barnett_Shale_Study_End_Debate_Over_Gas_Outlook

Schlumberger. (2006). *Producing gas from its source.*

Schlumberger. (2011). *Shale Gas Revolution.*

Schlumberger. (2003). Stimulate the flow.

Shale Gas Fracking. (n.d.). Retrieved from <http://www.shalegasfracking.co.uk/shale-gas-exploration/>

Spellman, F. R. (2013). *Environmental Impacts of Hydraulic Fracturing.*

The Facts About Natural Gas Exploration of the Marcellus Shale. (n.d.). *Independent Oil and Gas Association of New York* .

Treadgold, G., Campbell, B., McLain, B., Sinclair, S., & Nicklin, D. (2011). *Eagle Ford shale prospecting with 3D seismic data within a tectonic and depositional system framework*.

United States Department of Energy. (2009). *Modern Shale Gas Development in the United States: A Primer*.

United States Environmental Protection Agency. (n.d.). Retrieved from http://water.epa.gov/type/groundwater/uic/class2/hydraulicfracturing/wells_hydrowhat.cfm

United States Environmental Protection Agency. (2011). *Plan to Plan to Study the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources*.

Zhang, K., Zhang, B., Kwiatkowski, J. T., & Marfur, K. J. (2010). *Seismic azimuthal impedance anisotropy in the Barnett Shale: 80th Annual International Meeting*.

Zou, C. (2013). *Unconventional Petroleum Geology*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

5.1. Εισαγωγή

Η παραγωγή αερίου από σχιστολιθικούς σχηματισμούς, μέσω των μεθόδων των οριζοντίων γεωτρήσεων και της υδραυλικής ρωγμάτωσης, έχει παρουσιάσει εντυπωσιακή άνοδο τα τελευταία χρόνια (στην αγορά των ΗΠΑ), αποτελώντας μία από τις σημαντικότερες εξελίξεις στον τομέα της ενέργειας. Η άνοδος αυτή, παράλληλα με τις εκτιμήσεις για μεγάλα ανεκμετάλλευτα αποθέματα και τις προβλέψεις για μελλοντικές αυξήσεις στην παραγωγή, κάνουν το μέλλον του σχιστολιθικού αερίου να διαφαίνεται λαμπρό. Παρά το γεγονός ότι το σχιστολιθικό αέριο αντιπροσωπεύει ένα επαναστατικό στοιχείο στην παγκόσμια αγορά ενέργειας, αρκετοί είναι και αυτοί που εκφράζουν την ανησυχία τους σχετικά με τις διαδικασίες που ακολουθούνται για την εξόρυξη και παραγωγή του, ιδίως σχετικά με τη χρήση των προσθετών στο ρευστό της υδραυλικής ρωγμάτωσης και το συνακόλουθο κίνδυνο μόλυνσης των επιφανειακών και υπογείων υδάτων.

Το κεφάλαιο αυτό στοχεύει στην παρουσίαση των ισχυόντων κανονιστικών και περιβαλλοντικών πλαισίων καθώς και των κινδύνων, όπως και των επιπτώσεων τους που σχετίζονται με την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου.

5.2. Κανονιστικά πλαίσια

Οι δραστηριότητες αξιοποίησης μη συμβατικών αερίων υδρογονανθράκων, όπως του σχιστολιθικού αερίου, χαρακτηρίζονται γενικά από το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα (π.χ. όσον αφορά την ποιότητα και την ποσότητα του νερού, τα λύματα, την ποιότητα του αέρα, τον κατακερματισμό των φυσικών οικοτόπων), σε σύγκριση με τις δραστηριότητες για συμβατικό αέριο, κυρίως λόγω της έντασης και του εύρους των εργασιών όπου συνήθως απαιτείται η χρήση υδραυλικής ρωγμάτωσης μεγάλου όγκου (high volume hydraulic fracturing) σε συνδυασμό με όρυξη οριζοντίων γεωτρήσεων.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες, όντας η γενέτειρα της επανάστασης στην εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου, έχουν ήδη προχωρήσει σε επικαιροποίηση του ρυθμιστικού πλαισίου τόσο σε ομοσπονδιακό όσο και κρατικό επίπεδο, ενώ στον Καναδά, ο

οποίος είναι μία από τις λίγες χώρες εκτός ΗΠΑ όπου η εμπορική παραγωγή μη συμβατικού αερίου βρίσκεται σε εξέλιξη, το ρυθμιστικό πλαίσιο βασίζεται σε μια σειρά ομοσπονδιακών, επαρχιακών και τοπικών νόμων και κανονισμών.

Η εξόρυξη μη συμβατικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση βρίσκεται σε πολύ πρώιμο στάδιο ανάπτυξης σε σύγκριση με τις Ηνωμένες Πολιτείες, ωστόσο αρκετά Κράτη Μέλη της ΕΕ έχουν ήδη προχωρήσει ή σχεδιάζουν να προχωρήσουν στο άμεσο μέλλον, σε δραστηριότητες έρευνας και αναζήτησης στοχεύοντας στον εντοπισμό κοιτασμάτων. Όσο αφορά το ρυθμιστικό πλαίσιο, αυτό βρίσκεται υπό εξέταση τόσο σε εθνικό όσο και σε κοινοτικό επίπεδο, ενώ η άποψη που επικρατεί για την αξιοποίηση του μη συμβατικού αερίου κυμαίνεται από την ενθουσιώδη υποστήριξη από την Πολωνία μέχρι την επιβολή απαγόρευσης της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης σε Γαλλία και Βουλγαρία.

Τέλος, το σχιστολιθικό αέριο στην Κίνα παρουσιάζει μεγάλες προοπτικές αξιοποίησης καθώς πέραν των τεραστίων τεχνικά ανακτήσιμων αποθεμάτων που διαθέτει, τα οποία σύμφωνα με την ΕΙΑ ανέρχονται στα 31,6 tcm, έχει δαπανηθεί ποσό πέραν του \$1.14 δισεκατομμυρίου που αφορούσε τις έρευνες αποκλειστικά για αυτό (Chou, 2013). Εξαιτίας της υψηλά συγκεντρωτικής νομοθεσίας και του πλαισίου χάραξης πολιτικής καθώς και της υψηλής προτεραιότητας που δίνεται στη βιομηχανική οικονομική ανάπτυξη, τα έργα μη συμβατικού αερίου πιθανόν να αντιμετωπίσουν λιγότερα εμπόδια λόγω περιβαλλοντικών ανησυχιών, σε σχέση με την Ευρώπη και τις ΗΠΑ. Ωστόσο η διαθεσιμότητα του νερού μπορεί να αποτελέσει ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια ανάπτυξης μη συμβατικού αερίου στην Κίνα ειδικότερα σε κάποιες συγκεκριμένες περιοχές.

5.2.1. Ηνωμένες Πολιτείες

Καθώς οι πρωτοπόροι της μεγάλης κλίμακας αξιοποίησης μη συμβατικού φυσικού αερίου, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής, οι ρυθμιστικές αρχές, οι παραγωγοί και το ευρύ κοινό στις Ηνωμένες Πολιτείες ήταν οι πρώτοι που είχαν να αντιμετωπίσουν το ζήτημα του πώς να αξιολογήσουν και ελαχιστοποιήσουν τους σχετικούς περιβαλλοντικούς κινδύνους. Η ανάδειξη της παραγωγής μη συμβατικού φυσικού αερίου σε μεγάλη κλίμακα, έχει προκαλέσει ευρεία συζήτηση, ιδίως όταν η παραγωγή είχε μετακινηθεί εκτός των μέχρι πρότινος παραδοσιακών περιοχών παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου. Επίσης επέφερε αλλαγές στο κανονιστικό πλαίσιο και στις πρακτικές που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη βιομηχανία, ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιείται ακόμη εργασία πάνω στην υφιστάμενη νομοθεσία και στις πρακτικές για παράδειγμα στο καθορισμό πιο αυστηρών κανόνων για τους αέριους ρύπους, τη διασφάλιση της σύστασης των υγρών που χρησιμοποιούνται στην υδραυλική ρωγμάτωση, στη βελτίωση της δημόσιας πληροφόρησης και στη συνεργασία μεταξύ των διαφόρων νομοθετών (IEA 2012).

Το νομικό και κανονιστικό πλαίσιο για την ανάπτυξη των μη συμβατικών υδρογονανθράκων στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι ένα σύνολο από νόμους, καταστατικά και από κανονισμούς σε ομοσπονδιακό, κρατικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο. Οι περισσότεροι από αυτούς τους κανονισμούς ισχύουν για το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο γενικά και ήταν σε ισχύ πολύ πριν την έκρηξη της παραγωγής από μη συμβατικές πηγές. Καλύπτουν σχεδόν όλες τις φάσεις της ανάπτυξης μιας μη συμβατικής πηγής, από την έρευνα μέχρι την αποκατάσταση της περιοχής, και περιλαμβάνουν διατάξεις για την προστασία του περιβάλλοντος και τη διαχείριση του αέρα, της γης, των αποβλήτων και του νερού. Οι πολιτείες φέρουν την πρωταρχική ευθύνη για τους κανονισμούς και την επιβολή τους (regulation & enforcement) σε εκτάσεις εκτός ομοσπονδιακής ιδιοκτησίας. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει ορισμένες ειδικές περιφερειακές συνθήκες, όπως η γεωλογία, οι διαφορετικές οικονομικές ή περιβαλλοντικές προτεραιότητες να ληφθούν υπόψη, με τις επακόλουθες τροποποιήσεις στις κανονιστικές πρακτικές μεταξύ των πολιτειών. Ωστόσο, στα ομοσπονδιακά εδάφη (κυρίως στις δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες), η ομοσπονδιακή κυβέρνηση έχει υπό την κατοχή της τη γη και τους ορυκτούς πόρους και ελέγχει άμεσα τη διαδικασία εξόρυξης.

Οι ομοσπονδιακοί νόμοι οι οποίοι είναι εφαρμόσιμοι στην εκμετάλλευση αποθεμάτων μη συμβατικού φυσικού αερίου, δίνουν έμφαση κατά κύριο λόγο στην προστασία του περιβάλλοντος. Περιλαμβάνουν τους νόμους περί ποιότητας του Αέρα (Clean Air Act), περί ποιότητας του νερού (Clean Water Act) και περί ποιότητας πόσιμου νερού (Safe Drinking Water Act).

Ο Ενεργειακός Νόμος του 2005 (Energy Act) απέκλειε ρητά τη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης από τον Νόμο περί ποιότητας πόσιμου Νερού (Safe Drinking Water Act), μια διάταξη που έγινε αργότερα γνωστή ως το «Παραθυράκι των Cheney – Halliburton (Cheney – Halliburton Loophole)». Την ονομασία του την πήρε από τον επί προεδρίας George Bush αντιπρόεδρο των ΗΠΑ, Dick Cheney, ο οποίος, όπως πιστεύεται, συνέβαλε τα μέγιστα ώστε να απαλλαγεί η μέθοδος της υδραυλικής ρωγμάτωσης από τη συγκεκριμένη νομοθεσία. Για την ιστορία, ο Dick Cheney διετέλεσε πρόεδρος και διευθύνοντας σύμβουλος της Halliburton την πενταετία 1995- 2000 (Earthworks).

Ήταν γνωστό ακόμη και τότε, ότι στη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης λάμβανε χώρα εισπίεση χημικών ουσιών εντός του σχηματισμού. Αλλά όταν οι εταιρείες αρνήθηκαν να αποκαλύψουν τα είδη των χημικών που χρησιμοποιούσαν, επικαλούμενες λόγους «εμπορικού απορρήτου», έδωσαν τροφή για επικριτικά σχόλια, ενώ είχε γίνει ακόμη και λόγος περί θεωριών συνωμοσίας.

Το «παραθυράκι» σήμαινε επίσης εκτός του ότι πραγματοποιήθηκαν αρκετές διαδικασίες εξόρυξης σχιστολιθικού φυσικού αερίου χωρίς να έχει γίνει σωστή εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς δεν υπήρχαν δεδομένα από προηγούμενες μετρήσεις, αλλά ούτε και αυτές θα μπορούσαν να αξιολογηθούν μετά το πέρας τους.

Οι ομοσπονδιακοί κανονισμοί που σχετίζονται με την προστασία της τοπικής κοινωνίας και της επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας, απαιτούν από τις επιχειρήσεις να κάνουν διαθέσιμες τις πληροφορίες σχετικά με ορισμένα επικίνδυνα χημικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία όρυξης της γεώτρησης, συμπεριλαμβανομένων των «υγρών ρωγμάτωσης», στους υπαλλήλους και στους υπεύθυνους για τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης.

Η συνεχής πίεση που ασκείται στις εταιρείες ώστε να προχωρήσουν σε αποκάλυψη των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούν, οδήγησε αρκετές από αυτές να τις δηλώνουν ανοικτά. Τον Απρίλιο του 2011 η Επιτροπή Ενέργειας και Εμπορίου της Βουλή των Αντιπροσώπων των ΗΠΑ (House of Representatives Committee on Energy and Commerce), γνωστοποίησε όλες τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν σε διαδικασίες υδραυλικής ρωγμάτωσης κατά την περίοδο 2005 – 2009, εξαιρώντας μόνο αυτές που εμπίπτουν στη κατηγορία του «εμπορικού απορρήτου» (House of Representatives Committee on Energy and Commerce, April 2011).

Οι κανονισμοί σε επίπεδο πολιτείας, που σχετίζονται με τις μη συμβατικές πηγές συνήθως καθορίζονται από τους νόμους περί πετρελαίου και φυσικού αερίου της κάθε πολιτείας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι νόμοι αυτοί ενημερώνονται, προκειμένου να ανταποκριθούν στις ανησυχίες του κοινού σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αξιοποίησης του μη συμβατικού φυσικού αερίου. Κάποιες τυπικές αλλαγές περιλαμβάνουν κανόνες για την κοινοποίηση πληροφοριών σχετικά με τα υγρά ρωγμάτωσης, πρόσθετα μέτρα για την εξασφάλιση κατάλληλης ακεραιότητας στη σωλήνωση και τη τσιμέντωση και κανόνες σχετικά με την επεξεργασία και τη διάθεση των λυμάτων. Ωστόσο, ρυθμιστικά κενά παραμένουν σε πολλές πολιτείες, κυρίως λόγω της περιορισμένης εμπειρίας που έχουν ορισμένες σχετικά με την αξιοποίηση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Οι πολιτείες της Νέας Υόρκης, Νιου Τζέρσεϊ και Μέριλαντ έχουν θεσπίσει προσωρινές απαγορεύσεις σχετικά με την υδραυλική ρωγμάτωση, εν αναμονή της περαιτέρω αναθεώρησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την ανάγκη για αλλαγές στους κανονισμούς.

Οι προσπάθειες για την ενίσχυση του κανονιστικού πλαισίου των Ηνωμένων Πολιτειών αποτελούν δημόσια προτεραιότητα, προκειμένου να διασφαλιστεί η υπεύθυνη αξιοποίηση των μη συμβατικών πηγών και να ανταποκριθεί στην αυξανόμενη δημόσια ανησυχία και πίεση. Μεταξύ των πολλών δημόσιων οργανισμών που εστιάζουν στις περιβαλλοντικές πτυχές της ανάπτυξης του μη συμβατικού φυσικού αερίου, δύο εργάζονται ειδικά για τη βελτίωση της ποιότητας της κανονιστικής πολιτικής: το Ground Water Protection Council και το State Review of Oil and Natural Gas Environmental Regulations (STRONGER).

Αμφότερες συμβουλεύουν τις πολιτείες περί ρυθμιστικών θεμάτων που σχετίζονται με το μη συμβατικό φυσικό αέριο.

Η ίδια η βιομηχανία έχει λάβει μέτρα για την προώθηση των βέλτιστων πρακτικών, τόσο μέσα από τους φορείς του κλάδου, όπως το American Petroleum Institute, όσο και μέσα από πρωτοβουλίες όπως είναι η δημιουργία της ιστοσελίδας FracFocus, μια εθελοντική online registry στο οποίο οι εταιρείες υποβάλλουν δεδομένα σχετικά με τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται σε εργασίες υδραυλικές ρωγμάτωσης. Η ιστοσελίδα βρίσκεται υπό τη διαχείριση των Ground Water Protection Council και Interstate Oil and Gas Compact Commission.

Η Υπηρεσία Περιβάλλοντος των ΗΠΑ έχει εκδώσει ομοσπονδιακούς κανονισμούς στο πλαίσιο του Clean Air Act που στοχεύουν στην μείωση των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων από όλες τις δραστηριότητες της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου, επιφέροντας παράλληλα μείωση και στις εκπομπές μεθανίου. Οι κανονισμοί ισχύουν για γεωτρήσεις οι οποίες έχουν ρωγματωθεί υδραυλικά και αναμένεται να επιβάλουν τη χρήση «πράσινων ολοκληρώσεων (green completions)», όπως ήδη συμβαίνει στις πολιτείες του Colorado και του Wyoming.

Στα τέλη του 2011, η Shale Gas Subcommittee of the Secretary of Energy Advisory Board εξέδωσε ένα σύνολο είκοσι προτάσεων όσον αφορά τις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες δράσεις από τις ομοσπονδιακές και κρατικές υπηρεσίες για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη βελτίωση της ασφάλειας στην παραγωγή σχιστολιθικού φυσικού αερίου. Μια σημαντική μελέτη από το Εθνικό Συμβούλιο Πετρελαίου (National Petroleum Council) σχετικά με το μέλλον των αποθεμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες, είχε επίσης τονίσει την ανάγκη για «συνετή ανάπτυξη» και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα οφέλη από τα εγχώρια αποθέματα μπορούν να επέλθουν με τη διασφάλιση ότι έχουν αξιοποιηθεί και διανεμηθεί με ένα ασφαλή, υπεύθυνο και περιβαλλοντικά αποδεκτό τρόπο, σε όλες τις περιπτώσεις (NPC, 2011).

5.2.2. Βόρεια Αμερική (Καναδάς – Μεξικό)

Στη βόρεια Αμερική τόσο ο Καναδάς όσο και το Μεξικό διαθέτουν σημαντικά αποθέματα μη συμβατικού φυσικού αερίου ενώ ο Καναδάς αποτελεί την μοναδική χώρα πέραν των ΗΠΑ όπου έχει εμπορική παραγωγή σε εξέλιξη.

Η παραγωγή μη συμβατικού αερίου στον Καναδά, υπόκειται σε μια σειρά από ομοσπονδιακούς, επαρχιακούς και τοπικούς νόμους και κανονισμούς που διέπουν τις δραστηριότητες έρευνας και παραγωγής (upstream), συμπεριλαμβανομένων και εκείνων που αφορούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι περισσότεροι κανονισμοί που σχετίζονται με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, είναι επαρχιακοί καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό των αποθεμάτων ανήκουν στις επαρχίες – province. Το Εθνικό Συμβούλιο Ενέργειας (National Energy Board) είναι η ομοσπονδιακή ρυθμιστική αρχή για τα διεθνή και μεταξύ των επαρχιών θέματα ενέργειας, ενώ η Υπηρεσία Περιβάλλοντος του Καναδά (Environment Canada) είναι η ομοσπονδιακή υπηρεσία η οποία είναι αρμόδια για την προστασία του περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης και επιβολής των ομοσπονδιακών νόμων.

Η εικόνα που παρουσιάζει ο Καναδάς σχετικά με το κανονιστικό του πλαίσιο διαφέρει ανά επαρχία. Αλλά ως απάντηση στην πίεση από το κοινό και στο αυξημένο εμπορικό ενδιαφέρον για τα αποθέματα μη συμβατικού αερίου του Καναδά, οι ρυθμιστικές αρχές δίνουν ολοένα και περισσότερη προσοχή στους ενδεχόμενους κινδύνους ρύπανσης από την υδραυλική ρωγμάτωση και από τη διάθεση των αποβλήτων με το πέρας της διαδικασίας όρυξης της γεώτρησης. Ενώ κάθε επαρχία έχει τους δικούς της ιδιαίτερους κανονισμούς, όλες οι περιοχές (jurisdictions) ανεξαιρέτως έχουν τους κατάλληλους νόμους για την προστασία των υδροφόρων οριζώντων όπως επίσης και για να εξασφαλίσουν μία υπεύθυνη αξιοποίηση των αποθεμάτων.

Στο δυτικό Καναδά, απαιτείται από τους παραγωγούς φυσικού αερίου βάσει κανονισμού να επανεγγέουν το «παραγόμενο» νερό (produced water) σε βαθιές αλατούχες ζώνες που βρίσκονται πολύ κάτω από τη στάθμη των υπόγειων υδάτων, χρησιμοποιώντας γεωτρήσεις διάθεσης νερού. Σε άλλες περιοχές, όπου δεν είναι διαθέσιμες αυτού του είδους γεωτρήσεις, οι επαρχιακοί κανονισμοί είναι αυτοί που αναλαμβάνουν να καθορίσουν τις απαιτήσεις για την επεξεργασία και τη διάθεση του «παραγόμενου» νερού. Για τη χρήση του νερού απαιτούνται εγκρίσεις από τον αρμόδιο ρυθμιστικό οργανισμό ή κυβερνητική υπηρεσία. Οι ρυθμιστικές αρχές και οι κυβερνήσεις διαθέτουν μία πλειάδα μηχανισμών ελέγχου για τη διαχείριση του νερού και τον μετριασμό των δυνητικών επιπτώσεων, συμπεριλαμβανομένης της ικανότητας για περιορισμό στο βαθμό με τον οποίο το νερό χρησιμοποιείται από

οποιαδήποτε πηγή αλλά και στον καθορισμό των ορίων της συνολικής χρήσης του νερού (aggregate water use). Υπάρχουν επίσης κανονισμοί που αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος κατά τη διάρκεια των διεργασιών όρυξης της γεώτρησης και παραγωγής.

Η Καναδική Ένωση Παραγωγών Πετρελαίου (Canadian Association of Petroleum Producers) εξέδωσε πρόσφατα νέες κατευθυντήριες γραμμές για τα μέλη της (CAPP, 2012). Η Energy Resources Conservation Board, η ρυθμιστική αρχή για την επαρχία της Αλμπέρτα (μια επαρχία με μακράν ιστορία στο τομέα παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου) έχει αναλάβει την αναθεώρηση του κανονιστικού πλαισίου το οποίο εφαρμόζεται στη παραγωγή του μη συμβατικού αερίου (ERCB, 2011). Τέλος, πέντε από τις επαρχίες του Καναδά και μία περιοχή είναι συνεργαζόμενα μέλη (associate members) του United States Interstate Oil and Gas Compact Commission.

5.2.3. Κίνα

Τα τεράστια δυνητικά αποθέματα μη συμβατικού αερίου της Κίνας καθώς και η ισχυρή πολιτική δέσμευση, δείχνουν ότι σε μακροπρόθεσμη βάση αναμένεται να παίξουν ολοένα και σημαντικότερο ρόλο στην αύξηση του μεριδίου του φυσικού αερίου. Ωστόσο, ο ρυθμός ανάπτυξης μέχρι το 2020 παραμένει αβέβαιος. Εξαιτίας της υψηλά συγκεντρωτικής νομοθεσίας και του πλαισίου χάραξης πολιτικής καθώς και της υψηλής προτεραιότητας που δίνεται στη βιομηχανική οικονομική ανάπτυξη, τα έργα μη συμβατικού αερίου πιθανόν να αντιμετωπίσουν λιγότερα εμπόδια λόγω περιβαλλοντικών ανησυχιών, σε σχέση με την Ευρώπη και τις ΗΠΑ.

Οι στρατηγικές πολιτικές αποφάσεις στην Κίνα που έχουν σχέση με τη διαχείριση των πόρων και την περιβαλλοντική προστασία λαμβάνονται σε εθνικό επίπεδο, με τις αρμοδιότητες εφαρμογής και επιβολής συχνά να ανατίθενται στις τοπικές αρχές. Πολλές πτυχές του νομικού και κανονιστικού πλαισίου της Κίνας αναφορικά με την αξιοποίηση των αποθεμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι ευρέως ορισμένα, δίνοντας το περιθώριο στις τοπικές ρυθμιστικές αρχές να εξετάσουν τις συνθήκες συγκεκριμένων έργων στις τελικές τους αποφάσεις (που μπορεί να οδηγήσει σε απρόβλεπτες εξελίξεις). Οι προκλήσεις προέρχονται από το διαμοιρασμό και την επικάλυψη των αρμοδιοτήτων μεταξύ των διαφόρων ρυθμιστικών φορέων, την

αβεβαιότητα για τον αποτελεσματικό συντονισμό μεταξύ τους και ενδεχομένως την ασυνεπή εφαρμογή των κανονισμών.

Η εγχώρια έρευνα και αξιοποίηση πετρελαίου ήταν ανέκαθεν ο κύριος τομέας των κρατικών επιχειρήσεων στην Κίνα. Σύμφωνα με τον περί Ορυκτών Πόρων νόμο (*Law on Mineral Resources*), μόνο κρατικά ελεγχόμενοι φορείς έχουν τη δυνατότητα να αποκτήσουν δικαιώματα για τα ορυκτά (*mineral rights*), με τις ξένες εταιρείες να περιορίζονται σε μικρής εκτάσεως συνεργασίες με τους ελεγχόμενους από το κράτος φορείς και σε ορισμένες περιπτώσεις με συμβάσεις κατανομής της παραγωγής. Αν και η στρατηγική σημασία του μη συμβατικού αερίου σημαίνει ότι η εθνικές πετρελαϊκές εταιρείες της Κίνας πιθανόν να είναι οι κύρια κινητήριος δύναμη της αύξησης της παραγωγής, εντούτοις αναμένονται κάποιες αλλαγές εξαιτίας των φιλόδοξων σχεδίων της Κίνας για την εξερεύνηση και αξιοποίηση του σχιστολιθικού φυσικού αερίου και της ανάγκης για την προηγμένη τεχνολογία και τις επενδύσεις τις οποίες μπορούν να φέρουν οι ξένες εταιρείες. Ο νομικός χαρακτηρισμός του σχιστολιθικού φυσικού αερίου ως ένας ξεχωριστός «ορυκτός πόρος» στα τέλη του 2011 σημαίνει οι ισχύοντες κανονισμοί που δίνουν στη CNPC και τη SINOPEC τα αποκλειστικά δικαιώματα για έρευνες χερσαίων αποθεμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου, δεν ισχύουν για το σχιστολιθικό αέριο. Αυτό πιθανόν να εκδηλώσει μια τάση για αυξημένη πρόσβαση σε άλλους. Στις ξένες εταιρείες έχει ήδη επιτραπεί η λήψη του πλειοψηφικού πακέτου στα έργα μεθανίου από στρώματα γαιάνθρακα.

Όλοι οι χρηματοδότες του έργου πρέπει να προβούν σε εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η οποία θα πρέπει να κατατεθεί μαζί με εθνικές και τοπικές ρυθμιστικές αρχές και να εγκριθεί πριν από την κατάθεση ενός πλάνου ανάπτυξης πεδίου (*field-development plan*). Οι άδειες για όρυξη των γεωτρήσεων εκδίδονται βάσει του σχεδίου ανάπτυξης και όχι ανά γεώτρηση. Και οποιεσδήποτε σημαντικές αλλαγές στο σχέδιο, όπως για παράδειγμα στον κάρναβο των γεωτρήσεων, απαιτούν υποβολή μιας νέας μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Η διαθεσιμότητα του νερού μπορεί να αποτελέσει ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια ανάπτυξης μη συμβατικού αερίου στην Κίνα και ειδικά στο βόρειο και δυτικό τμήμα της όπου είναι δυσεύρετο ή/και είναι αναγκαίο αποκλειστικά για άλλες βασικές ανάγκες. Οι πολιτικές, οι κανονισμοί και τα σχέδια που αφορούν το νερό καθορίζονται σε εθνικό επίπεδο, αν και οι ευθύνες για τη διαχείριση και την επιβολή

ανατίθενται στις τοπικές και περιφερειακές αρχές. Αρκετοί φορείς εμπλέκονται σε εθνικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο, το οποίο μπορεί να δημιουργήσει κινδύνους από την περιορισμένη συνεργασία για τα αποθέματα νερού σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Τα εθνικά πρότυπα είναι αυτά που καθορίζουν τις μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις των ρύπων κατά την απόθεση τους σε πηγές νερού, με τον Νόμο περί Υδάτων (Circular Water Law) να προωθεί την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση των αποβλήτων και του παραγόμενου νερού.

Το σχιστολιθικό αέριο πιθανόν να εξασφαλίσει το ίδιο ή υψηλότερο επίπεδο επιδότησης από το μεθάνιο από στρώματα γαιάνθρακα. Σύμφωνα με το 12ο Πενταετές Σχέδιο (12th Five-Year Plan), το οποίο σηματοδοτεί τις πρωτοβουλίες της κυβέρνησης για την ανάπτυξη και την αξιοποίηση του σχιστολιθικού αερίου καθώς και των άλλων τύπων μη συμβατικού αερίου, το καθεστώς τιμολόγησης για το σχιστολιθικό αέριο θα βασίζεται στην αγορά, καταδεικνύοντας ότι η κυβέρνηση είναι πρόθυμη να επιτρέψει υψηλότερες τιμές πώλησης στον τελικό χρήστη (σε σχέση με τις τρέχουσες, ελεγχόμενες τιμές φυσικού αερίου) με σκοπό την ενθάρρυνση της αξιοποίησης των αποθεμάτων. Το δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου της χώρας θα χρειαστεί να επεκταθεί ώστε να φτάσει στις περιοχές παραγωγής μη συμβατικού αερίου, αποφεύγοντας έτσι να καταστεί εμπόδιο καθώς θα αυξάνεται η παραγωγή. Τέλος, το γεγονός ότι οι κύριοι αγωγοί φυσικού αερίου επί του παρόντος διαχειρίζονται από εθνικές πετρελαϊκές εταιρείες, χρίζει επιτακτικής αλλαγής καθώς έτσι εμποδίζεται η πρόσβαση στην αγορά του φυσικού αερίου, σε άλλους παραγωγούς.

5.2.4. Ευρώπη

Το νομοθετικό πλαίσιο στην Ευρώπη όσον αφορά τη μη συμβατική παραγωγή φυσικού αερίου είναι υπό εξέταση τόσο σε επίπεδο κρατών όσο και σε επίπεδο Ε.Ε. και το οποίο ποικίλλει από την ενθουσιώδη υποστήριξη που διαφαίνεται να έχει στην Πολωνία μέχρι τις απαγορεύσεις που έχουν επιβληθεί στη χρήση της υδραυλικής ρωγμάτωσης στη Γαλλία και τη Βουλγαρία.

Οι περισσότεροι κανονισμοί που εφαρμόζονται στην έρευνα και παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση καθορίζονται σε εθνικό επίπεδο καθώς τα κράτη μέλη ορίζουν το δικό τους ξεχωριστό ενεργειακό ισοζύγιο

όπως επίσης λαμβάνουν τις δικές τους αποφάσεις σχετικά με την εγχώρια αξιοποίηση των ενεργειακών τους πόρων. Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, υπάρχει ένα κοινό πακέτο κανόνων (βάσει της οδηγίας 94/22/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 30ής Μαΐου 1994 για τους όρους χορήγησης και χρήσης των αδειών αναζήτησης, εξερεύνησης και παραγωγής υδρογονανθράκων) με στόχο να εξασφαλίσει τη διαφανή και χωρίς διακρίσεις πρόσβαση στις ευκαιρίες για την έρευνα, ανάπτυξη και παραγωγή υδρογονανθράκων. Ωστόσο η περιοχή στην οποία επικεντρώνεται η ευρωπαϊκή νομοθεσία είναι η προστασία του περιβάλλοντος.

Οι ανησυχίες του κοινού σχετικά με τους περιβαλλοντικούς κινδύνους που συνδέονται με την υδραυλική ρωγμάτωση, οδήγησαν στην απαίτηση για θέσπιση νέου κανονισμού σχετικά με τις πτυχές της πρακτικής αυτής. Σε μια έκθεση του 2011 (Final Report on Unconventional Gas in Europe), την οποία έφερε εις πέρας η Γενική Διεύθυνση Ενέργειας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Directorate General for Energy of the European Commission), διαπιστώθηκε ότι η ευρωπαϊκή περιβαλλοντική νομοθεσία εφαρμόζεται σε όλα τα στάδια της αξιοποίησης του μη συμβατικού αερίου. Επίσης, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε εθνικό επίπεδο (στις χώρες που μελετήθηκαν), δεν υπάρχουν σημαντικά κενά στο νομοθετικό πλαίσιο, όταν πρόκειται περί ρυθμίσεως των δραστηριοτήτων αξιοποίησης σχιστολιθικού φυσικού αερίου (Philippe & Partners, 2011). Ωστόσο, προειδοποίησε ότι η κατάσταση πιθανόν να αλλάξει εάν οι δραστηριότητες αυξηθούν σημαντικά και εισηγήθηκε κάποιες βελτιώσεις στην εθνική νομοθεσία, συμπεριλαμβανομένης της συμμετοχής της τοπικής κοινωνίας κατά τα πρώιμα στάδια της διαδικασίας εκτίμησης των επιπτώσεων.

Η δυνητική αξιοποίηση του σχιστολιθικού φυσικού αερίου αποτελεί επίκαιρο θέμα στην Ευρώπη, καθώς προσελκύει το ενδιαφέρον αρκετών παραγόντων της αγοράς εντείνοντας παράλληλα τις ανησυχίες του κοινού. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει δημοσιεύσει τρεις μελέτες σχετικά με τα μη συμβατικά ορυκτά καύσιμα και ειδικότερα με το σχιστολιθικό αέριο

Οι μελέτες εξετάζουν τις πιθανές επιπτώσεις των εν λόγω καυσίμων στις ενεργειακές αγορές, τις ενδεχόμενες επιπτώσεις στο κλίμα από την παραγωγή σχιστολιθικού φυσικού αερίου, καθώς και τους πιθανούς κινδύνους που παρουσιάζει η αξιοποίηση

των κοιτασμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου δια της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Συμπερασματικά αναδεικνύουν τα εξής:

- Η μελέτη που αφορά τις επιπτώσεις στην ενεργειακή αγορά (Unconventional Gas: Potential Energy Market Impacts in the European Union) δείχνει ότι η ανάπτυξη του μη συμβατικού αερίου στις ΗΠΑ έχει οδηγήσει σε μεγαλύτερες προμήθειες Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου στο να καταστούν διαθέσιμες σε παγκόσμιο επίπεδο, επηρεάζοντας έμμεσα τις τιμές του φυσικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Βασιζόμενη στην εμπειρία των ΗΠΑ και αξιολογώντας τα δυνητικά αποθέματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, υποστηρίζει ότι στο σενάριο το οποίο εξετάζεται το βέλτιστο αποτέλεσμα (best-case scenario), η μελλοντική παραγωγή σχιστολιθικού φυσικού αερίου στην Ευρώπη θα μπορούσε να βοηθήσει την ΕΕ να διατηρήσει το ποσοστό της ενεργειακής της εξάρτησης από εισαγωγές περίπου στο 60%. Ωστόσο, μερικές φορές δείχνει μεγάλη αβεβαιότητα όσον αφορά τις ανακτήσιμες ποσότητες, τις τεχνολογικές εξελίξεις, τη δημόσια αποδοχή και την πρόσβαση στη γη και στις αγορές (European Commission's JRC, 2012).
- Η μελέτη αναφορικά με τις επιπτώσεις στο κλίμα (Climate impact of potential shale gas production in the EU) δείχνει ότι το παραγόμενο στην Ευρωπαϊκή Ένωση σχιστολιθικό αέριο, προκαλεί περισσότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από το συμβατικό αέριο το οποίο και αυτό παράγεται στην ΕΕ. Ωστόσο εάν υπάρξει σωστή διαχείριση του, τότε οι εκπομπές που προκαλεί είναι λιγότερες από το φυσικό αέριο προερχόμενο από χώρες εκτός ΕΕ, είτε μέσω αγωγών είτε ως LNG, εξ' αιτίας των επιπτώσεων στις εκπομπές από τις μεγάλες αποστάσεις μεταφοράς του φυσικού αερίου (European Commission; AEA, 2012).
- Η μελέτη που πραγματεύεται τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Support to the identification of potential risks for the environment and human health arising from hydrocarbons operations involving hydraulic fracturing in Europe) δείχνει ότι η εξόρυξη σχιστολιθικού φυσικού αερίου επιβάλλει εν γένει ένα μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα από ότι η ανάπτυξη του συμβατικού φυσικού αερίου. Οι κίνδυνοι μόλυνσης των επιφανειακών και υπογείων

υδάτων, της εξάντλησης των υδάτινων πόρων, των εκπομπών θορύβου και αερίων, της χρήσης γης, της διατάραξης της βιοποικιλότητας και των επιπτώσεων που σχετίζονται με την κυκλοφορία των οχημάτων, θεωρούνται υψηλοί στην περίπτωση σωρευτικών έργων (European Commission; ΑΕΑ, 2012).

Ένας σημαντικός αριθμός ερωτημάτων που αφορούν τη νομοθεσία και τους κανονισμούς έχει εντοπιστεί, γεγονός που συνεπάγεται την ανάγκη για ένα κατάλληλο πλαίσιο ώστε να καταστεί δυνατή η βιώσιμη εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη.

Η Επιτροπή παραμένει ουδέτερη όσον αφορά τις αποφάσεις των κρατών μελών σχετικά με το ενεργειακό τους ισοζύγιο. Θα επιβλέπει τη συμμόρφωση με τις νομικές απαιτήσεις της ΕΕ, διασφαλίζοντας ότι εφαρμόζεται το κατάλληλο πλαίσιο που θα επιτρέψει την βιώσιμη εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου. Οι στόχοι της πολιτικής της ΕΕ έναντι μιας απαλλαγμένης από τον άνθρακα και ενεργειακά αποδοτικής οικονομίας παραμένουν ως βασική προτεραιότητα, μαζί με τις δεσμεύσεις της ΕΕ για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και την περαιτέρω ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο έχει επίσης αναλάβει τη συζήτηση σχετικά με τις διάφορες πτυχές της αξιοποίησης του σχιστολιθικού φυσικού αερίου. Μια αξιολόγηση (Impacts of Shale Gas and Shale Oil Extraction on the Environment and on Human Health) η οποία παρουσιάστηκε στην Επιτροπή Περιβάλλοντος, Δημόσιας Υγείας και Ασφάλειας των Τροφίμων (European Parliament, 2011) διαπίστωσε ότι το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο, όσον αφορά την υδραυλική ρωγμάτωση, παρουσιάζει μια σειρά από ελλείψεις, με πιο σημαντική, το υψηλό όριο που τίθεται προτού μια εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων απαιτηθεί. Επίσης αναφέρθηκε και στην κάλυψη της Οδηγίας Πλαισίου για τα Ύδατα ότι θα πρέπει να αναθεωρηθεί, εστιάζοντας στις πιθανές επιπτώσεις της υδραυλικής ρωγμάτωσης στα επιφανειακά ύδατα και ζήτησε την εξέταση της απαγόρευσης όσον αφορά τη χρήση τοξικών χημικών ουσιών.

Ένα σχέδιο έκθεσης (Draft Report on the Environmental Impacts of Shale gas and Shale oil Extraction activities) στην ίδια επιτροπή, το οποίο εκπονήθηκε από έναν

Πολωνό βουλευτή, υποστηρίζει περισσότερο την αξιοποίηση του μη συμβατικού φυσικού αερίου (European Parliament, 2011), αναγνωρίζοντας παράλληλα την ανάγκη να αντιμετωπιστούν οι όποιες ανησυχίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξόρυξης.

Το σχέδιο έκθεσης της Επιτροπής ITRE (Industry, Research and Energy) σχετικά με τη «βιομηχανικές, ενεργειακές και άλλες πτυχές του σχιστολιθικού φυσικού αερίου και πετρελαίου», με εισηγήτρια την Ελληνίδα ευρωβουλευτή Νίκη Τζαβέλα, αναγνωρίζει το σημαντικό ρόλο που διαδραματίζει η παγκόσμια παραγωγή σχιστολιθικού φυσικού αερίου όσο αφορά την εξασφάλιση της ενεργειακής ασφάλειας και διαφοροποίησης σε μακροπρόθεσμη βάση. Σ' αυτό περιλαμβάνεται η συμβολή του σχιστολιθικού φυσικού αερίου και πετρελαίου στην επίτευξη των στόχων που έχει θέση η Ευρωπαϊκή Ένωση για απεξάρτηση από τον άνθρακα (European Parliament, 2012).

Η έκθεση του ITRE μπορεί να θεωρηθεί ως μια θετική θεσμική αντίδραση σε σχέση με το μη συμβατικό αέριο καθώς αναδεικνύει το δυναμικό της παραγωγής σχιστολιθικού φυσικού αερίου στην Ευρώπη για τη βελτίωση των οικονομιών των ευρωπαϊκών χωρών αλλά και της επίτευξης των στόχων του Ενεργειακού Χάρτη 2050 (Energy Roadmap 2050). Αν και αναγνωρίζει ότι το ρυθμιστικό πλαίσιο στην ΕΕ είναι επαρκές όσον αφορά την πρόωμη έρευνα, το σχέδιο έκθεσης υπογραμμίζει την ανάγκη για υψηλά πρότυπα ασφαλείας κατά τη φάση εξόρυξης, προτείνοντας συνεχή παρακολούθηση. Επιπλέον, η έκθεση καλεί τη βιομηχανία να συμμετάσχει σε ένα ανοικτό και διαφανή διάλογο με την κοινωνία των πολιτών και να διαβουλευεται με τις τοπικές κοινωνίες σε κάθε βήμα της διαδικασίας εξόρυξης του σχιστολιθικού φυσικού αερίου. Μια πρόταση που υποβλήθηκε στην έκθεση της κα. Τζαβέλα για βελτίωση της διαφάνειας, είναι η δημοσιοποίηση - γνωστοποίηση των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εξέδωσε στις 22/1/2014 Σύσταση με σκοπό τη διασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος και του κλίματος από την τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης μεγάλου όγκου (High Volume Hydraulic Fracturing – HVHF) που χρησιμοποιείται ιδίως σε έργα εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου.

Η Σύσταση καθορίζει μη δεσμευτικές ελάχιστες αρχές (minimum principles) για τα Κράτη Μέλη που επιθυμούν να διεξάγουν έρευνα και παραγωγή υδρογονανθράκων με τη χρήση της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης και αναμένεται να βοηθήσει τα Μέλη αυτά που επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν τη συγκεκριμένη τεχνική, στην αντιμετώπιση των κινδύνων για την υγεία και το περιβάλλον και να προσφέρει περισσότερη διαφάνεια στους πολίτες. Επίσης, θέτει τη βάση για την εξασφάλιση ίσων όρων ανταγωνισμού για τον κλάδο παραγωγής και ενός σαφέστερου πλαισίου για τους επενδυτές.

Η Σύσταση συνοδεύεται από ανακοίνωση στην οποία εξετάζονται οι δυνατότητες και οι προκλήσεις που απορρέουν από τη χρήση της υδραυλικής ρωγμάτωσης μεγάλου όγκου για την εξόρυξη υδρογονανθράκων. Και τα δύο έγγραφα αποτελούν μέρος μιας ευρύτερης πρωτοβουλίας της Επιτροπής σχετικά με την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου πλαισίου κλιματικής και ενεργειακής πολιτικής έως το 2030.

Με βάση την υφιστάμενη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αλλά και συμπληρώνοντας την όπου ήταν αναγκαίο, η Σύσταση καλεί τα Κράτη Μέλη να μελετήσουν ιδίως θέματα όπως:

- ο **έγκαιρος προγραμματισμός** των εξελίξεων και η αξιολόγηση των πιθανών σωρευτικών επιπτώσεων πριν από τη χορήγηση αδειών
- η **προσεκτική αξιολόγηση** των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και κινδύνων
- η εξασφάλιση ότι η **ακεραιότητα** του φρέατος ανταποκρίνεται στα πρότυπα της βέλτιστης πρακτικής
- ο **έλεγχος της ποιότητας του νερού, του αέρα και του εδάφους σε τοπικό επίπεδο** πριν από την έναρξη των έργων, με σκοπό την παρακολούθηση τυχόν μεταβολών και την αντιμετώπιση κινδύνων
- ο **έλεγχος των εκπομπών αερίων**, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, με δέσμευση των αερίων
- η **ενημέρωση του κοινού** σχετικά με τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται σε κάθε φρέαρ και
- Η διασφάλιση ότι οι φορείς εκμετάλλευσης εφαρμόζουν τις **βέλτιστες πρακτικές** σε όλη τη διάρκεια του έργου.

Η Επιτροπή θα συνεχίσει να διευκολύνει την ανταλλαγή πληροφοριών με τα Κράτη Μέλη, τη βιομηχανία και τις οργανώσεις της κοινωνίας των πολιτών σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιδόσεις των έργων σχιστολιθικού αερίου.

Τα Κράτη Μέλη της ΕΕ καλούνται, εντός διαστήματος 6 μηνών, να εφαρμόσουν τις αρχές και από τον Δεκέμβριο του 2014 και έπειτα να ενημερώνουν την Επιτροπή, σε ετήσια βάση, σχετικά με τα μέτρα που εφαρμόζουν. Η Επιτροπή θα παρακολουθεί την εφαρμογή της Σύστασης βάσει ενός πίνακα επιδόσεων, ο οποίος θα είναι διαθέσιμος στο κοινό, όπου θα συγκρίνεται η κατάσταση στα διάφορα κράτη μέλη, ενώ αναμένεται να επανεξετάσει την αποτελεσματικότητα αυτής της προσέγγισης σε 18 μήνες (European Commission , 2014).

5.2.4.1. Νομοθεσίες σε εθνικό επίπεδο

Στη συνέχεια ακολουθεί ανάλυση του νομοθετικού πλαισίου τεσσάρων ευρωπαϊκών χωρών. Οι χώρες αυτές είναι η Πολωνία, η Γαλλία, η Γερμανία και η Σουηδία.

Με βάση τις διαδικασίες αδειοδότησης οι χώρες αυτές μπορούν να διαχωριστούν σε δύο ομάδες. Η πολωνική και γαλλική μεταλλευτική νομοθεσία προβλέπει διαδικασία υποβολής προσφορών (tender procedures), ενώ στη Σουηδία και τη Γερμανία δεν ακολουθείται η πιο πάνω διαδικασία (Philippe & Partners, 2011).

Στην Πολωνία υπάρχει η διαγωνιστική διαδικασία υποβολής προσφορών (tender procedure), η ανοικτή εκδήλωση ενδιαφέροντος και η απευθείας ανάθεση . Στη Γερμανία και τη Σουηδία ισχύει η διαδικασία της απευθείας ανάθεσης (no tender procedure), χωρίς επίσημους γύρους αδειοδότησης.

Στην Πολωνία, ο νόμος καθορίζει τη διαδικασία υποβολής προσφορών σύμφωνα με το Άρθρο 3 της οδηγίας περί Υδρογονανθράκων (Hydrocarbons Directive). Οι υποψήφιοι μπορούν να ξεκινήσουν τη διαδικασία της ανοικτής εκδήλωσης ενδιαφέροντος σύμφωνα με το Άρθρο 3 της οδηγίας περί Υδρογονανθράκων. Μια παραχώρηση έρευνας “koncesja” μπορεί να χορηγηθεί μέσω διαδικασίας μη υποβολής προσφορών, εφόσον μια εταιρεία διεκδικεί την άδεια (Maminski & Wspolnici, 2010).

Στη Γαλλία, η διαδικασία που διέπεται από τη μεταλλευτική νομοθεσία είναι η εφαρμογή της ανοικτής διαδικασίας εκδήλωσης ενδιαφέροντος που αναφέρεται στο Άρθρο 3 της οδηγίας περί Υδρογονανθράκων. Το πρώτο στάδιο είναι όταν ο αιτών κινεί τη διαδικασία του διαγωνισμού με την υποβολή μιας πρώτης αίτησης στον αρμόδιο υπουργό. Αφού ο Νομάρχης επαληθεύσει ότι ο φάκελος της αίτησης είναι πλήρης, ο αρμόδιος υπουργός δημοσιεύει την προκήρυξη, όπου καλεί και άλλες αιτήσεις, στην Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης και στην Επίσημη Εφημερίδα της Γαλλικής Δημοκρατίας. Επίσης οι ανταγωνιστικές αιτήσεις υποβάλλονται και στον αρμόδιο υπουργό. Η προκήρυξη του διαγωνισμού με σκοπό τη χορήγηση μιας παραχώρησης υπόκειται σε δημοσκόπηση (Philippe & Partners, 2011).

Στη Γερμανία και τη Σουηδία ο Ομοσπονδιακός Μεταλλευτικός Νόμος και ο Νόμος περί Ορυκτών (Federal Mining Act and the Minerals' Act), δεν ρυθμίζουν τις διαδικασίες υποβολής προσφορών. Και στις δύο χώρες, οι αιτήσεις για άδειες έρευνας και εκμετάλλευσης (exploration authorizations and exploitation concessions) γίνονται απευθείας στις αρμόδιες αρχές μέσω της αίτησης που έχει υποβληθεί από τον εμπλεκόμενο φορέα.. Στα κείμενα των εν λόγω αιτήσεων πρέπει να προσδιορίζονται η περιοχή που προτείνεται για έρευνα ή προβλέπεται για παραγωγή, το πρόγραμμα εργασιών και τα αποδεικτικά στοιχεία ότι διαθέτουν τους απαραίτητους οικονομικούς πόρους.

Ο νέος πολωνικός Μεταλλευτικός και Γεωλογικός νόμος (Geological and Mining Law) τέθηκε σε ισχύ την 1^η Ιανουαρίου του 2012 και ορίζει ότι τα αποθέματα υδρογονανθράκων, όπως το φυσικό αέριο, καλύπτονται από τη μεταλλευτική ιδιοκτησία του Δημοσίου Ταμείου. Το Δημόσιο Ταμείο έχει τη δυνατότητα να παραχωρεί το δικαίωμα του επί των αποθεμάτων μέσω συμβάσεων διανομής της παραγωγής οι οποίες δεν μπορεί να διαρκούν για χρονικό διάστημα πέραν των 50 ετών (Duraaj, 2012). Είναι επίσης πιθανό κάποιος επιχειρηματίας ο οποίος έχει λάβει άδεια για εξόρυξη υδρογονανθράκων, να αιτηθεί και την απόκτηση της σχετικής ακίνητης περιουσίας (Άρθρο 19).

Ο νέος νόμος διατηρεί την υποχρέωση για την απόκτηση παραχώρησης για την αναζήτηση και έρευνα όπως επίσης και για την εξόρυξη, ρυθμίζοντας διαφορετικές

συνθήκες σύναψης συμβάσεων παραχώρησης για την αναζήτηση, έρευνα και εξόρυξη υδρογονανθράκων.

Προκειμένου να συναφθεί μια σύμβαση παραχώρησης είναι αναγκαία η διαδικασία διαγωνισμού (υποβολής προσφορών), εκτός και αν ο νόμος ορίζει διαφορετικά. Ο νόμος ορίζει τα κριτήρια βάσει των οποίων η αρμόδια αρχή επιλέγει την καλύτερη προσφορά (όπως οι τεχνικές και οικονομικές δυνατότητες του επιχειρηματία, η προτεινόμενη τεχνολογία για τη διεξαγωγή των εργασιών, η προτεινόμενη αμοιβή - αποζημίωση για τη σύσταση της επικαρπίας εξορυκτικών εκμεταλλεύσεων) (Duraj, 2012).

Ακόμη, μια νέα υποχρέωση προβλέπεται από τον νέο νόμο, υπό τον οποίο ο Υπουργός Περιβάλλοντος θα πρέπει να λάβει απόφαση σχετικά με την περιβαλλοντική κατάσταση, όπως επίσης εγκρίσεις και αποφάσεις που απαιτούνται για τη χορήγηση παραχώρησης πριν από την προκήρυξη του διαγωνισμού. Ο νόμος ορίζει τις υποχρεώσεις των αιτούντων να υποβάλουν τη κατάλληλη τεκμηρίωση κατά τη διαδικασία του διαγωνισμού και επιπλέον αναφέρει ότι ο αιτών θα υποχρεούται να εντοπίσει τους τομείς που καλύπτονται από ειδικές μορφές προστασίας, συμπεριλαμβανομένης της προστασίας της φύσης και των αρχαίων μνημείων, αλλά και να υποβάλει μεθόδους για την πρόληψη και την αποκατάσταση τυχόν αρνητικών επιπτώσεων από τις προβλεπόμενες διαδικασίες στο φυσικό περιβάλλον.

Στην Πολωνία και τη Γαλλία, η μεταλλευτική νομοθεσία ορίζει σταθερή μέγιστη διάρκεια της διαδικασίας υποβολής προσφορών ή των διαδικασιών έγκρισης. Στην Πολωνία, η διαδικασία υποβολής προσφορών δεν μπορεί να διαρκέσει περισσότερο από εννέα μήνες (από την ημερομηνία δημοσίευσης της προκήρυξης του διαγωνισμού). Ωστόσο, από την ημερομηνία ανακοίνωσης του διαγωνισμού, θα πρέπει να περάσουν τουλάχιστον έξι μήνες. Η ακριβής διάρκεια εξαρτάται από το τι αναφέρεται στις προδιαγραφές του διαγωνισμού. Η διαδικασία μη υποβολής προσφοράς διαρκεί συνήθως μεταξύ ενός και τριών μηνών (με βάση τους γενικούς κανόνες που ορίζονται στον Κώδικα Διοικητικής Διαδικασίας). Στην Πολωνία, η άποψη που απαιτείται από τους ενδιαφερόμενους δήμους (έρευνα), όπως επίσης και από τον Υπουργό Οικονομίας αλλά και την Κρατική Αρχή Μεταλλείων - State Mining Authority λαμβάνει χώρα πριν από τη χορήγηση της άδειας, έχοντας,

σύμφωνα με το νόμο, περίπου δεκατέσσερις ημέρες για να εκφράσουν τη συναίνεσή τους σχετικά με την αίτηση (Duraj, 2012) (Philippe & Partners, 2011).

Στη Γαλλία, ο αρμόδιος Υπουργός έχει δύο χρόνια για να αποφασίσει σχετικά με την αίτηση για άδεια έρευνας. Η απόφαση για την αίτηση παραχώρησης πρέπει να ληφθεί μέσα σε τρία χρόνια (Philippe & Partners, 2011).

Στη Σουηδία, η διαδικασία για τη χορήγηση άδειας έρευνας / αναζήτησης μπορεί να διαρκέσει από τρεις έως έξι μήνες. Μέχρι στιγμής, τη Σουηδική Επιθεώρηση Μεταλλείων - Swedish Mining Inspectorate την είχε απασχολήσει στο παρελθόν μία αίτηση για παραγωγή σχιστολιθικού αερίου. Η διαδικασία αυτή διήρκεσε δύομισι χρόνια. Η διαφορά χρόνου μεταξύ της διαδικασίας που οδηγεί στη χορήγηση της άδειας έρευνας, με αυτής που οδηγεί στη χορήγηση της άδειας παραγωγής είναι σημαντική. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η διαφορά αυτή δεν οφείλεται στην ιδιαίτερη φύση που παρουσιάζουν οι δραστηριότητες που αφορούν το σχιστολιθικό αέριο (Philippe & Partners, 2011).

Στη Γερμανία, η μεταλλευτική νομοθεσία δεν προβλέπει κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα κατά το οποίο η αρχή πρέπει να αποφασίσει για την αίτηση.

Οι εγκρίσεις και οι άδειες έρευνας έχουν διαφορετική διάρκεια σε κάθε χώρα:

- 1) Γερμανία: 5 έτη (ανανεώσιμη για μια μέγιστη περίοδο 3 ετών), δεν αναφέρεται κάτι ειδικό για το πρόγραμμα/σχεδιασμό (μόνο το κύριο πρόγραμμα λειτουργίας περιορίζεται στα δύο έτη)
- 2) Γαλλία: 5 έτη (2 φορές ανανεώσιμη για μια μέγιστη διάρκεια 10 ετών και μείωση κατά το ήμισυ της αδειοδοτημένης γεωγραφικής περιοχής ανά ανανέωση, η διάρκεια των DOTM και AOTM περιορίζεται στην διάρκεια της αδειοδότησης)
- 3) Πολωνία: 3 – 50 έτη (εκτός και εάν ζητηθεί για μικρότερο χρονικό διάστημα)
- 4) Σουηδία: 3 έτη (2 φορές ανανεώσιμη με μέγιστη διάρκεια τα 15 έτη)

Στις άδειες εκμετάλλευσης η διάρκεια διαφέρει από χώρα σε χώρα:

- 1) Γερμανία: 50 χρόνια
- 2) Γαλλία: 50 χρόνια

- 3) Πολωνία: 3-50 χρόνια
- 4) Σουηδία: 25 χρόνια (μία φορά ανανεώσιμη για 10 έτη)

Στη Σουηδία, τη Γαλλία και τη Γερμανία, υπάρχει μια σημαντική διαφορά μεταξύ της διάρκειας ισχύος της άδειας έρευνας και της παραχώρησης εκμετάλλευσης. Οι άδειες έρευνας στη Γαλλία και τη Γερμανία ισχύουν για πέντε έτη (με δυνατότητα ανανέωσης έως και δύο φορές, στη Γερμανία για μέγιστη περίοδο τριών ετών) και οι παραχωρήσεις εκμετάλλευσης έχουν μέγιστη διάρκεια ισχύος πενήντα έτη. Σύμφωνα με το Γαλλικό Μεταλλευτικό Κώδικα - French Mining Code, η γεωγραφική έκταση της περιοχής μειώνεται κατά 50% κατά την πρώτη ανανέωση και κατά ένα επιπλέον 25% στη δεύτερη ανανέωση (Philippe & Partners, 2011).

Ο κανονισμός αυτός, ο οποίος ισχύει για όλες τις δραστηριότητες έρευνας για φυσικό αέριο, συμπεριλαμβανομένου του σχιστολιθικού αερίου, μπορεί να είναι προβληματικός για τις δραστηριότητες του σχιστολιθικού αερίου, καθώς τα αποθέματα του εξαπλώνονται σε μεγαλύτερες εκτάσεις σε σύγκριση με αυτά του συμβατικού αερίου.

Στη Σουηδία, η διάρκεια ισχύος της άδειας για έρευνα είναι τρία έτη και η παραχώρηση εκμετάλλευσης ισχύει για 25 χρόνια. Η Πολωνία φαίνεται να είναι το μόνο κράτος μέλος όπου τόσο η άδεια παραγωγής, όσο και η παραχώρηση εκμετάλλευσης, ισχύει για περίοδο όχι μικρότερη των τριών ετών και όχι περισσότερο από πενήντα χρόνια (εκτός εάν ο αιτών απαιτήσει μια μικρότερη χρονικά περίοδο).

Σε όλα τα Κράτη Μέλη τυχόν αδράνεια εκτέλεσης των συμφωνηθέντων εργασιών (non - activity) έχει αρνητικές επιπτώσεις όσον αφορά την ισχύ (validity) της άδειας παραχώρησης. Για παράδειγμα, στη Σουηδία, οδηγεί σε άρνηση παράτασης της αδειοδότησης. Στην Πολωνία, η αδειοδότηση παρέχει συγκεκριμένη προθεσμία για την έναρξη της αναζήτησης ή της έρευνας. Εάν ο φορέας εκμετάλλευσης αδυνατεί να αναλάβει ή να συνεχίσει τη δραστηριότητα, η άδεια μπορεί να ανακληθεί. Στη Γαλλία, το άρθρο L 122-1 του Νέου Μεταλλευτικού Κώδικα ορίζει ότι κάθε κάτοχος άδειας έρευνας έχει το δικαίωμα να διενεργεί όλες τις αναγκαίες δραστηριότητες αναζήτησης (ανεξάρτητα από τη συγκατάθεση ή όχι του ιδιοκτήτη του εδάφους). Το άρθρο 552 του Αστικού Κώδικα, προβλέπει ότι η ιδιοκτησία του εδάφους

περιλαμβάνει όσα βρίσκονται πάνω και κάτω από το έδαφος, ενώ δεν εφαρμόζεται στα κοιτάσματα ορυκτών που πιθανόν να περιέχονται εκεί. Αυτά διακρίνονται από την ιδιοκτησία του εδάφους και ανήκουν στο Κράτος.

Στη Σουηδία, σύμφωνα με την παράγραφο 1 του Νόμου περί Ορυκτών (Minerals' Act), η έρευνα και η εκμετάλλευση των αέριων υδρογονανθράκων μπορεί να πραγματοποιηθεί, ανεξάρτητα από το ιδιοκτησιακό καθεστώς στην καλυπτόμενη γη.

Στη Γερμανία, σύμφωνα με το άρθρο 3, § 3 του Federal Mining Act – Ομοσπονδιακού Νόμου περί Μεταλλείων, οι ορυκτοί πόροι θεωρούνται Bergfrei (ανεξάρτητοι από την ιδιοκτησία γης).

Στην Πολωνία, ο νόμος αναφέρει ότι όλοι οι ορυκτοί πόροι ανήκουν στο δημόσιο, εκτός από τα ορυκτά τα οποία αποτελούν μέρος των ιδιοτήτων της επιφάνειας - land surface properties (δεν ισχύει για το σχιστολιθικό αέριο) (Duraaj, 2012). Η χορήγηση αδειοδοτήσεων ρυθμίζεται από τη γενική νομοθεσία στον τομέα της αναζήτησης, έρευνας και παραγωγής υδρογονανθράκων.

Λόγω των σημαντικών περιβαλλοντικών του επιπτώσεων, η περιβαλλοντική νομοθεσία έχει να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στις δραστηριότητες που αφορούν το φυσικό αέριο προερχόμενο από σχιστολιθικούς σχηματισμούς. Στη Σουηδία και τη Γαλλία, οι διάφορες αυτές πτυχές ρυθμίζονται από τον Περιβαλλοντικό Κώδικα, ενώ στη Γερμανία και την Πολωνία εφαρμόζεται ένας αριθμός νόμων. Η πλειοψηφία της περιβαλλοντικής νομοθεσίας είναι το αποτέλεσμα της μεταφοράς σε εθνικό επίπεδο (transposition) των οδηγιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Philippe & Partners, 2011). Σε τέτοιου είδους δραστηριότητες εμπλέκονται οι ακόλουθες επίσημες αρχές :

Στη Γερμανία υπάρχει το Κρατικό Υπουργείο Οικονομικών - State Economic Ministry σε περιφερειακό επίπεδο και οι Κρατικές Μεταλλευτικές Αρχές σε νομαρχιακό επίπεδο (εκτός της Έσσης και της Θουριγγίας) και το Κρατικό Υπουργείο Περιβάλλοντος - State Environmental Ministry. Μερικά ομόσπονδα κράτη (Länder), ανά δύο ή και περισσότερα, συνεργάζονται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας από κοινού μόνο μία αρμόδια Αρχή που διέπει τις εξορυκτικές δραστηριότητες.

Στη Γαλλία υπάρχει το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Βιώσιμης Ανάπτυξης - Ministry of Environment, Energy and Sustainable Development, με την

υποστήριξη της Γενικής Διεύθυνσης Ενέργειας και Κλίματος - General Directorate for Energy and Climate (χορήγηση αδειών) και των επιμελητών από τα αρμόδια τμήματα.

Στη Σουηδία, όσον αφορά τη χορήγηση αδειών, υπάρχει η Σουηδική Επιθεώρηση Μεταλλείων - Swedish Mining Inspectorate (σε ορισμένες περιπτώσεις η Κυβέρνηση) και το Διοικητικό Συμβούλιο της Χώρας (Country Administrative Board) καθώς και οι αρμόδιοι δήμοι (περιβαλλοντική κοινοποίηση - environmental notification) και το δικαστήριο Γης και Περιβάλλοντος - Land and Environmental Court (χορήγηση περιβαλλοντικών αδειών).

Στην Πολωνία συνεργάζονται με το Υπουργείο Περιβάλλοντος, το τμήμα Γεωλογίας και Γεωλογικών Παραχωρήσεων - Department for Geology and Geological Concessions (χορήγηση αδειών) και η Κρατική Αρχή Μεταλλείων - State Mining Authority (έγκριση των εγκαταστάσεων λειτουργίας).

Ένα ιδιαίτερο πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι το πρόβλημα με τα δικαιώματα του Δημοσίου (royalties), τα οποία μπορεί να είναι μισθώματα ή μερίδιο επί της παραγωγής. Στη Γαλλία τα δικαιώματα πρέπει να καταβάλλονται μόνο κατά τη φάση της παραγωγής. Στη Γερμανία, τη Πολωνία και τη Σουηδία θα πρέπει να καταβληθούν τέλη αίτησης και δικαιώματα για τις δραστηριότητες έρευνας και παραγωγής. Κατά τη φάση της έρευνας το τέλος αίτησης υπολογίζεται ανάλογα με τον αριθμό των τετραγωνικών χιλιομέτρων της καλυπτόμενης περιοχής. Τα δικαιώματα για τη φάση παραγωγής υπολογίζονται γενικά σύμφωνα με τον όγκο παραγωγής και την αγοραία αξία της εν λόγω παραγωγής (σε ετήσια, εξαμηνιαία ή τριμηνιαία βάση). Στην Πολωνία θα πρέπει να καταβληθούν επιπλέον φόροι κατά τη σύναψη της επικαρπίας εξορυκτικών εργασιών - mining usufruct agreement (οι οποίοι θα καθορίζονται από την ίδια τη συμφωνία). Ακόμη στην Πολωνία, όπως και στη Γερμανία, όλα τα δικαιώματα καταλήγουν στο κράτος, σε αντίθεση με τη Σουηδία και τη Γαλλία όπου οι ιδιοκτήτες της γης δικαιούνται μέρος των δικαιωμάτων (Philippe & Partners, 2011).

Στην Πολωνία, η Αρχή η οποία χορηγεί της άδειες για έρευνα και εκμετάλλευση, η DGGC, είναι επίσης υπεύθυνη για την είσπραξη των δικαιωμάτων και των τελών εκμετάλλευσης για κάθε δραστηριότητα που ρυθμίζεται στο πλαίσιο του NGML

(New Geological and Mining Law). Είναι επίσης υπεύθυνη για τον έλεγχο της συμφωνίας της πληρωμής και διαχειρίζεται τις όποιες αλλαγές στα τέλη εκμετάλλευσης (μετά από αλλαγές στην παραγωγή).

Στη Γερμανία τα δικαιώματα εισπράττονται από το εκάστοτε ομόσπονδο κράτος (Länder).

Στην Πολωνία τα δικαιώματα καταβάλλονται στον εκάστοτε Δήμο, όπου λαμβάνει χώρα η δραστηριότητα και στο Εθνικό Ταμείο Προστασίας του Περιβάλλοντος και Διαχείρισης Υδάτων (National Environment Protection and Water Management Fund). Τα χρήματα για τη σύσταση της συμφωνίας επικαρπίας εξορυκτικών εκμεταλλεύσεων καταλήγουν στο Δημόσιο Ταμείο (Maminski & Wspolnici, 2010).

Στη Γαλλία τα δικαιώματα πηγαίνουν στο Δημόσιο. Ένα σημαντικό μέρος οδηγείται στο Caisse autonome nationale de sécurité sociale dans les mines και στους ιδιοκτήτες γης σύμφωνα με μερίδιο που τους αναλογεί από την περιοχή.

Στη Σουηδία το 1,5% των δικαιωμάτων καταβάλλονται στους ιδιοκτήτες γης, σύμφωνα πάλι με το μερίδιο που τους αναλογεί στην περιοχή και το 0,5% στο Δημόσιο. Η Σουηδική Επιθεώρηση Μεταλλείων (Swedish Mining Inspectorate) αποφασίζει για το τι θα πληρώσει η κάθε εταιρεία (Philippe & Partners, 2011).

Ηνωμένο Βασίλειο

Σε ορισμένα κράτη, όπως οι ΗΠΑ, οι υδρογονάνθρακες που βρίσκονται κάτω από την γη του εκάστοτε γαιοκτήμονα, ανήκουν δικαιωματικά σε αυτόν, ο οποίος με τη σειρά του κατέχει τα δικαιώματα για την εκμετάλλευσή τους. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, η κυριότητα των υδρογονανθράκων ανήκει στο κράτος (Koppelman, Walker, & Woods, 2012).

Ο φορέας εκμετάλλευσης υποχρεούται να λάβει μια σειρά από περιβαλλοντικές άδειες πριν από την έναρξη των εργασιών στο πλαίσιο των Κανονισμών περί Περιβαλλοντικής Αδειοδότησης - Environmental Permitting Regulations (Αγγλία και Ουαλία) του 2010. Οι όροι βασίζονται σε μια μεθοδολογία Επιχειρησιακής Αξιολόγησης του Κινδύνου (Operational Risk Assessment methodology - OPRA) η οποία αναπτύχθηκε από περιβαλλοντικές ρυθμιστικές αρχές του Ηνωμένου

Βασιλείου. Η μεθοδολογία OPRA λαμβάνει υπόψη το είδος της εγκατάστασης, τον τύπο και την ποσότητα των αποβλήτων, το είδος και τα επίπεδα των εκπομπών που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, τους υποδοχείς κινδύνου (risk receptors) στην περιοχή και το σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης που πρόκειται να εφαρμοστεί. Ακόμη και αν μια περιοχή λάβει άδεια, οι περιβαλλοντικές ρυθμιστικές αρχές συνεχίζουν να χρησιμοποιούν τη μεθοδολογία και το σύστημα αξιολόγησης OPRA για την παρακολούθηση της απόδοσης και της συμφωνίας με τους όρους της άδειας της εν λόγω περιοχής (Koppelman, Walker, & Woods, 2012).

Στη Μεγάλη Βρετανία η αξιοποίηση του σχιστολιθικού αερίου βρίσκεται τώρα στην ερευνητική φάση. Ρυθμίζεται από το κανονικό νομικό καθεστώς για όλες τις δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η άδεια Εξερεύνησης και Ανάπτυξης Πετρελαϊκών κοιτασμάτων - Petroleum Exploration and Development License (PEDL) επιτρέπει σε μια εταιρεία να συμμετάσχει σε μια σειρά από δραστηριότητες εξερεύνησης πετρελαίου και φυσικού αερίου (συμπεριλαμβανομένης της εξερεύνησης και της ανάπτυξης του μη συμβατικού αερίου στην ξηρά, και να υπόκειται στις απαραίτητες άδειες (γεωτρητικών εργασιών και πολεοδομικών εγκρίσεων) (White, Fell, Smith, & Keep, 2014).

Οι άδειες παραγωγής διατίθενται (Petroleum Exploration and Development Licenses-PEDL) σύμφωνα με τους κανονισμούς που ορίζει ο Πετρελαϊκός Νόμος (Petroleum Act 1998). Η άδεια είναι η νομική βάση για το δικαίωμα στην αναζήτηση, στην όρυξη της γεώτρησης και στην ανάκτηση των υδρογονανθράκων, ωστόσο δεν παρέχει καμία απαλλαγή από άλλες νομικές απαιτήσεις (όπως η ανάγκη να αποκτήσουν δικαιώματα πρόσβασης από τους γαιοκτήμονες, η πολεοδομική άδεια από τις αρμόδιες τοπικές αρχές, οι κανονισμοί υγείας και ασφάλειας) (White, Fell, Smith, & Keep, 2014).

Η κυβέρνηση τον Ιούλιο του 2013 εξέδωσε το Planning practice guidance for onshore oil and gas όπου έκανε αναφορά στα ακόλουθα «πρωταρχικά θέματα» τα οποία θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την έκδοση αδειών εφαρμογής της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης (White, Fell, Smith, & Keep, 2014) (Department of Communities and Local Government, 2013):

- ο θόρυβος που σχετίζεται με τις εφαρμοζόμενες μεθόδους
- η σκόνη
- η ποιότητα του αέρα
- ο φωτισμός
- η οπτική ρύπανση στο τοπικό περιβάλλον και το ευρύτερο τοπίο που προκαλείται από την τοποθέτηση του οποιουδήποτε κτιρίου ή κατασκευής εντός της περιοχής της θέσης εφαρμογής
- ο χαρακτήρας του τοπίου
- τα χαρακτηριστικά της αρχαιολογικής και πολιτιστικής κληρονομιάς
- η κυκλοφορία
- ο κίνδυνος μόλυνσης της γης
- οι εδαφικοί πόροι
- ο αντίκτυπος στα καλύτερα και πιο ευέλικτα γεωργικά εδάφη
- ο κίνδυνος πλημμύρας
- η σταθερότητα της γης / καθίζηση
- οι σε διεθνές, εθνικό ή τοπικό επίπεδο καθορισμένες περιοχές άγριας φύσης, τα προστατευόμενα ενδιαιτήματα και είδη και τα οικολογικά δίκτυα
- οι εθνικά προστατευόμενες γεωλογικές και γεωμορφολογικές περιοχές και χαρακτηριστικά
- η αποκατάσταση του χώρου και η μετέπειτα φροντίδα του

5.2.4.1.1. Πρόσφατες εξελίξεις

Το Γαλλικό Συνταγματικό Συμβούλιο έλαβε μια δικαστική προσφυγή στις 12 Ιουλίου 2013 από το Συμβούλιο της Επικρατείας (απόφαση αριθ. 367893 της 12ης Ιουλίου 2013), σύμφωνα με το άρθρο 61-1 του Συντάγματος λόγω μια καταγγελίας. Η καταγγελία αφορούσε σε θέμα το οποίο έθεσε η αμερικανική εταιρεία Schuerbach Energy LLC, σχετικά με την τήρηση των δικαιωμάτων και των ελευθεριών που κατοχυρώνονται από το Σύνταγμα των άρθρων 1 και 3 του νόμου αριθ. 2011-835 της 13ης Ιουλίου 2011 για την απαγόρευση της έρευνας και της εξόρυξης υγρών ή αερίων υδρογονανθράκων διά της μεθόδου της υδραυλική ρωγμάτωσης και την κατάργηση των αποκλειστικών αδειών για έργα που χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη μέθοδο (The Guardian, 2013) (Ernst v. EnCana Corporation, 2013).

Η αμερικάνικη εταιρεία επικαλείτο ότι ο νομοθέτης αντιμετώπισε με διαφορετικό τρόπο τις διαφορετικές μεθόδους έρευνας και εκμετάλλευσης των ορυκτών πόρων. Λαμβάνοντας υπόψη το επίπεδο της τεχνολογίας, οι μέθοδοι όρυξης των γεωτρήσεων ακολουθούμενες από την εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης, με σκοπό την έρευνα και την εκμετάλλευση υδρογονανθράκων διαφέρουν από εκείνες που εφαρμόστηκαν κατά τη διέγερση – αύξηση της ροής του νερού σε υπόγειους υδροφόρους. Με τον περιορισμό του πεδίου εφαρμογής της απαγόρευσης μόνο στην όρυξη της γεώτρησης, ακολουθούμενη από την εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης, με σκοπό την έρευνα και εκμετάλλευση πετρελαίου και φυσικού αερίου, ο νόμος αποτελεί παραβίαση της ελευθερίας της επιχείρησης που προκύπτει από την απαγόρευση της χρήσης των πιο πάνω μεθόδων.

Η απαγόρευση των συγκεκριμένων μεθόδων στη Γαλλία είναι γενική και απόλυτη, για όλες τις δραστηριότητες έρευνας και εκμετάλλευσης πετρελαίου και φυσικού αερίου. Οι νομοθέτες επιδίωκαν ένα θεμιτό στόχο γενικού συμφέροντος στην προστασία του περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με τον προσφεύγων, η απαγόρευση της χρήσης υδραυλικής ρωγμάτωσης για την έρευνα και την εκμετάλλευση πετρελαίου και φυσικού αερίου από το Άρθρο 1 του νόμου της 13ης Ιουλίου 2011, αγνοεί την αρχή της προφύλαξης που κατοχυρώνεται στο Άρθρο 5 του Καταστατικού για το περιβάλλον - Charter of the environment, εφ' όσον η απαγόρευση καταργεί τις αποκλειστικές άδειες για εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου δυνάμει του Άρθρου 3 του νόμου της 13ης Ιουλίου 2011 και του Άρθρου 6 του Καταστατικού για το περιβάλλον, το οποίο απαιτεί το συμβιβασμό - reconciliation της δημόσιας πολιτικής – τάξης με την προστασία και βελτίωση του περιβάλλοντος, την οικονομική ανάπτυξη και την κοινωνική πρόοδο (Martor, 2014).

Από την άλλη, το Συνταγματικό Συμβούλιο δήλωσε ότι σύμφωνα με τους όρους του Άρθρου 5 του Καταστατικού για το περιβάλλον: «Όταν η εμφάνιση των ζημιών θα μπορούσε να επηρεάσει, κατά τρόπο σοβαρό και μη αναστρέψιμο, το περιβάλλον, έστω και αν η αναγνώριση τους θα μπορούσε να είναι αβέβαιη στην τρέχουσα κατάσταση επιστημονικής γνώσης, οι δημόσιες αρχές θα πρέπει να παρακολουθούν, με την εφαρμογή της αρχής της προφύλαξης στους σχετικούς τομείς καθώς και των διαδικασιών αξιολόγησης των κινδύνων και την υιοθέτηση ανάλογων, προσωρινών

μέτρων προκειμένου να αποφευχθεί η πραγματοποίηση της ζημιάς» (The Charter of the Environment , 2005).

Το Άρθρο 6 του Καταστατικού για το περιβάλλον ορίζει ότι η δημόσια πολιτική – τάξη θα πρέπει να προωθεί την αειφόρο ανάπτυξη (The Charter of the Environment , 2005). Τον Οκτώβριο του 2013, τα μέλη του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου ψήφισαν υπέρ μιας υποχρεωτικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) - Environmental Impact Assessment (EIA) για όλες τις δραστηριότητες εκμετάλλευσης σχιστολιθικού φυσικού αερίου και άλλων πηγών μη συμβατικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η ψηφοφορία αποτελεί μέρος της αναθεώρησης των κανόνων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Young, Spalding, Hutt, & Galin, 2013).

Οι εταιρείες αξιοποίησης σχιστολιθικού αερίου που δραστηριοποιούνται στην Ευρώπη θα πρέπει να σέβονται στο μέλλον την ισχυρή δέσμη νομοθετικών μέτρων που η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε τον Ιανουάριο του 2014 (European Commission, 2014). Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο πρότεινε ότι οι δραστηριότητες έρευνας και εξόρυξης των μη συμβατικών υδρογονανθράκων με τη χρήση της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης, θα πρέπει να υπόκεινται σε μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, υιοθετώντας μια τροπολογία της ισχύουσας νομοθεσίας της ΕΕ. Οι ευρωβουλευτές προτείνουν επίσης μέτρα για την πρόληψη των συγκρούσεων συμφερόντων και τη διασφάλιση της ενημέρωσης του κοινού, ζητώντας παράλληλα και τη γνώμη του.

Αυτή τη στιγμή, η Οδηγία Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων εφαρμόζεται τόσο στα δημόσια όσο και στα ιδιωτικά έργα. Καθορίζει ορισμένα κριτήρια, συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών που πρέπει να υποβληθούν στις εθνικές αρχές για ένα έργο το οποίο θα πρέπει να αξιολογηθεί ώστε να λάβει έγκριση. Η ισχύουσα νομοθεσία καλύπτει τα έργα φυσικού αερίου όπου επιτυγχάνεται εξόρυξη τουλάχιστον 500.000 κυβικών μέτρων ανά ημέρα (European Parliament, 2013). Πολλά από τα έργα σχιστολιθικού αερίου παράγουν λιγότερες ποσότητες αερίου και έτσι δεν υπόκεινται στην υποχρέωση για αξιολόγηση των επιπτώσεων τους. Η απαίτηση αυτή είναι πλέον υποχρεωτική, ανεξάρτητα από την ποσότητα αερίου που εξορύσσεται, για όλες τις δραστηριότητες έρευνας και εκμετάλλευσης των μη συμβατικών υδρογονανθράκων (σχιστολιθικού αερίου και του πετρελαίου, του

αερίου από στρώματα γαιάνθρακα κλπ), συμπεριλαμβανομένων των έργων του σχιστολιθικού αερίου, για τη φάση στην οποία χρησιμοποιείται η μέθοδος της υδραυλικής ρωγμάτωσης.

5.2.4.2. Περιβαλλοντική Νομοθεσία της ΕΕ εφαρμόσιμη στα έργα σχιστολιθικού αερίου

Περιβαλλοντική νομοθεσία της ΕΕ εφαρμόσιμη στα έργα ανάπτυξης μη συμβατικών υδρογονανθράκων όπου γίνεται χρήση προηγμένων τεχνολογιών όπως η οριζόντια όρυξη γεωτρήσεων και η υδραυλική ρωγμάτωση όπως αυτή αποτιμάται από την Επιτροπή Περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Potočnik, 2012)

Βασίζομενη στις διαθέσιμες τεχνικές πληροφορίες, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θεωρεί ότι τα έργα ανάπτυξης μη συμβατικών υδρογονανθράκων, που αφορούν τη συνδυασμένη χρήση προηγμένων τεχνολογικά διαδικασιών όπως η οριζόντια όρυξη γεωτρήσεων και η υδραυλική ρωγμάτωση, κυρίως στην έρευνα και εκμετάλλευση σχιστολιθικού φυσικού αερίου, καλύπτονται από την κοινοτική νομοθεσία για το περιβάλλον, από το σχεδιασμό μέχρι το πέρας το εργασιών.

Ανάμεσα στα βασικά μέρη της περιβαλλοντικής νομοθεσίας της ΕΕ, τα οποία καλύπτουν τα έργα σχιστολιθικού αερίου, είναι και τα ακόλουθα:

- Οδηγία για την εκτίμηση των επιπτώσεων ορισμένων σχεδίων δημοσίων και ιδιωτικών έργων στο περιβάλλον (Environmental Impact Assessment) (85/337/EK)
- Οδηγία για τη διαχείριση των αποβλήτων της εξορυκτικής βιομηχανίας (Mine Waste Directive) (2006/21/EK)
- Οδηγία για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων (Water Framework Directive) (2000/60/EK)
- Κανονισμός σχετικά με την καταχώρηση, αξιολόγηση και αδειοδότηση των χημικών προϊόντων (REACH) (1907/2006/EK)
- Οδηγία για τη διάθεση βιοκτόνων στην αγορά (Biocidal Products Directive) (98/8/EK)

- Οδηγία σχετικά με τον έλεγχο των κινδύνων πρόκλησης μεγάλων ατυχημάτων σχετιζόμενων με επικίνδυνες ουσίες (Seveso II) (96/82/EK)
- Οδηγία για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας (Habitats) (92/43/EK)
- Οδηγία για την περιβαλλοντική ευθύνη όσον αφορά την πρόληψη και την αποκατάσταση των περιβαλλοντικής ζημίας (Environmental Liability Directive) (2004/35/EK)

Παρατίθεται σύντομη επεξήγηση για το πώς οι παραπάνω νομοθετικές πράξεις εφαρμόζονται στην εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου.

I. Προκαταρκτική Φάση Ανάπτυξης (Pre- development phase)

Η έρευνα για σχιστολιθικό αέριο όπως επίσης και τα έργα εκμετάλλευσης του, εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της οδηγίας ΕΠΕ – Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (EIA Directive). Αυτό σημαίνει ότι, προτού μια έρευνα ή ένα έργο αξιοποίησης ξεκινήσει, ο διαχειριστής πρέπει να αξιολογήσει τις ενδεχόμενες σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (π.χ. στη φύση, στους υδάτινους πόρους, στο τοπίο) του έργου. Συνεπάγεται επίσης, ότι ο διαχειριστής δεν μπορεί να ξεκινήσει ένα έργο χωρίς να λάβει τη σχετική άδεια. Στο πλαίσιο της διαδικασίας χορήγησης άδειας, οι δημόσιες και περιβαλλοντικές αρχές πρέπει να έχουν το δικαίωμα να εκφράζουν τις απόψεις τους σχετικά με την αίτηση άδειας και να έχουν πρόσβαση στην απόφαση για τη χορήγηση της ή μη. Οι απόψεις αυτές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από την αρμόδια αρχή. Σε περίπτωση που η άδεια χορηγείται σε ένα διαχειριστή για μια έρευνα σχιστολιθικού αερίου ή ένα έργο εκμετάλλευσης, τα μέλη του «ενδιαφερόμενου κοινού», όπως οι μη κυβερνητικές οργανώσεις NGOs - Non-governmental organizations, θα έχουν το δικαίωμα να αμφισβητήσουν, σε εθνικό επίπεδο, τη νομιμότητα της απόφασης.

Παράλληλα με την οδηγία ΕΠΕ, μια εκ των προτέρων εκτίμηση των επιπτώσεων, συμπεριλαμβανομένων των αθροιστικών επιπτώσεων, ενός ενδεχόμενου έργου για σχιστολιθικό αέριο απαιτείται στο πλαίσιο της οδηγίας για τους οικοτόπους (Habitats Directive), εάν το έργο θα μπορούσε να επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό περιοχές Natura 2000 (Άρθρο 6). Έξω από περιοχές Natura 2000, η οδηγία για τους οικοτόπους προβλέπει ένα ειδικό καθεστώς αδειοδότησης για τα έργα που ενδέχεται

να επηρεάσουν τις περιοχές αναπαραγωγής ή των τόπων ανάπαυσης των προστατευόμενων ειδών (άρθρα 12 και 16).

Προτού ένα έργο σχιστολιθικού αερίου μπορέσει να ξεκινήσει, ο διαχειριστής πρέπει επίσης να πληροί τις υποχρεώσεις βάσει της οδηγίας για τα απόβλητα εξόρυξης Mining Waste Directive. Ειδικότερα, δεδομένου το προερχόμενο από την υδραυλική ρωγμάτωση ρευστό πρέπει να θεωρείται ως «εξορυκτικό απόβλητο» και δεδομένου ότι οποιαδήποτε περιοχή επιλέγεται για τη συγκέντρωση ή την εναπόθεση εξορυκτικών αποβλήτων θα πρέπει να θεωρηθεί ως «εγκατάσταση αποβλήτων», ο διαχειριστής πρέπει να διαθέτει άδεια δυνάμει της εν λόγω οδηγίας η οποία θα πρέπει να βασίζεται στις «Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές».

Η Επιτροπή αναμένεται να αναπτύξει ένα έγγραφο αναφοράς (BREF – Best Available Techniques Reference Document) το οποίο θα καλύπτει τη διαχείριση των αποβλήτων από τις δραστηριότητες σχιστόλιθου αερίου. Όπως και στην οδηγία ΕΠΕ – Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων η οδηγία για τα απόβλητα εξόρυξης απαιτεί από το φορέα ο οποίος ζητά την άδεια, να δίνει πληροφορίες σχετικά με το έργο και τις επιπτώσεις του και να παρέχει παράλληλα στο κοινό το δικαίωμα να διαβουλευτεί και να εκφράζει τη γνώμη του. Ο φορέας εκμετάλλευσης πρέπει επίσης να καταρτίσει ένα σχέδιο διαχείρισης αποβλήτων και πολιτική πρόληψης σοβαρών ατυχημάτων, εάν η εγκατάσταση ταξινομείται ως «κατηγορίας Α» σύμφωνα με την οδηγία. Επιπλέον, ο διαχειριστής πρέπει να δώσει, πριν από την έναρξη της λειτουργίας, χρηματική εγγύηση για να αποδείξει ότι είναι σε θέση να εφαρμόσει όλες τις υποχρεώσεις του στο πλαίσιο της άδειας (συμπεριλαμβανομένων και των καθηκόντων μετά το πέρας των εργασιών).

II. Υδραυλική ρωγμάτωση και διαχείριση των υδάτων επιστροφής (flowback water)

Η Επιτροπή θεωρεί ότι το άρθρο 11(3)(j) της οδηγίας πλαίσιο για τα ύδατα δεν επιτρέπει την έγχυση νερού επιστροφής (flowback water) (το οποίο περιέχει επικίνδυνες χημικές ουσίες) για διάθεση σε γεωλογικούς σχηματισμούς. Ως εκ τούτου, το Άρθρο 11(3)(j) δεν ισχύει για τις δραστηριότητες εξόρυξης σχιστολιθικού φυσικού αερίου. Αυτό είναι σύμφωνο με το στόχο της οδηγίας πλαισίου για τα ύδατα - Water Framework Directive (διασφάλιση της καλής κατάστασης των υδάτινων

πόρων) και υποστηρίζεται από την ιστορία των διαπραγματεύσεων της παρούσας οδηγίας, καθώς η εν λόγω ρήτρα εξαίρεσης επινοήθηκε για τις διαδικασίες εκμετάλλευσης συμβατικών υδρογονανθράκων. Κατά συνέπεια, η οδηγία για τα απόβλητα εξόρυξης (Mining Waste Directive) επιβάλλει την επεξεργασία των υδάτων επιστροφής (flowback water).

Επιπλέον, ο διαχειριστής ενός έργου εξόρυξης σχιστολιθικού φυσικού αερίου, θα πρέπει επίσης να λάβει άδεια, δυνάμει της οδηγίας πλαισίου για τα ύδατα (Water Framework Directive), στην περίπτωση που το έργο θα απαιτεί την άντληση μεγάλων ποσοτήτων νερού από επιφανειακά ή υπόγεια σύστημα υδάτων. Η απόθεση των αποβλήτων νερού σε συστήματα υπόγειων υδάτων απαγορεύεται ρητά.

Εάν η εγκατάσταση εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου εμπίπτει στην οδηγία SEVESO II (ανάλογα με τα όρια που σχετίζονται με την αποθήκευση φυσικού αερίου ή επικίνδυνων ουσιών που περιλαμβάνονται στην οδηγία, ή πραγματοποιείται ανάμιξη χημικών ουσιών επιτόπου), ο φορέας πρέπει να πληροί διάφορες υποχρεώσεις πριν από την έναρξη του έργου του, όπως η ενημέρωση της αρμόδιας αρχής σχετικά με τη φύση και την ποσότητα των επικίνδυνων ουσιών που θα αποθηκεύονται εντός των εγκαταστάσεων του. Στην περίπτωση που ο φορέας δεν πληροί τα καθήκοντά του, το κράτος - μέλος της ΕΕ, θα πρέπει να απαγορεύσει την έναρξη της συγκεκριμένης δραστηριότητας.

Σύμφωνα με τον κανονισμό REACH, οι κατασκευαστές και οι εισαγωγείς των ουσιών που χρησιμοποιούνται κατά την εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου, ήταν υποχρεωμένοι να καταχωρήσουν την ουσία μέχρι το Δεκέμβριο του 2010, εφόσον η παραγωγή ή οι εισαγωγές της ξεπερνούσαν τους 1000 τόνους / χρόνο ή για μικρότερο βάρος αν επρόκειτο για συγκεκριμένες επικίνδυνες ουσίες. Κατά την εγγραφή, θα πρέπει να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες για την ασφαλή τους χρήση του για τον σκοπό αυτό. Εάν ένας διαχειριστής κάποιου έργου σχιστολιθικού αερίου, χρησιμοποιεί επικίνδυνες καταγεγραμμένες ουσίες, θα πρέπει να του έχει παραχωρηθεί, από τους προμηθευτές του, ένα εκτεταμένο φύλλο δεδομένων (data-sheet) ασφαλείας που περιλαμβάνει σενάρια έκθεσης (exposure scenarios). Σε περίπτωση που ο φορέας εκμετάλλευσης εξακριβώσει, ότι τα σενάρια έκθεσης που υποβλήθησαν δεν καλύπτουν τη συγκεκριμένη χρήση, υποχρεούται να ενημερώσει τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Χημικών Προϊόντων (ECHA) και να παρέχει τις σχετικές

πληροφορίες σύμφωνα με το άρθρο 38. Εναλλακτικά, μπορεί να ζητήσει από τον προμηθευτή του να αναπτύξει ένα σενάριο έκθεσης που να καλύπτει τη χρήση του ή να βρει μια εναλλακτική ουσία ή διαδικασία η οποία να πληροί τις απαιτήσεις του κανονισμού REACH. Μέχρι να πληρούνται οι ανωτέρω προϋποθέσεις, οι εν λόγω ουσίες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν νομίμως σε εργασίες εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου.

Επιπλέον, όλα τα βιοκτόνα προϊόντα που χρησιμοποιούνται κατά τις εργασίες θα πρέπει να συμμορφώνονται με την οδηγία για τα βιοκτόνα (Biocidal Products Directive).

III. Άδεια, αξιολόγηση και απαιτήσεις παρακολούθησης (permit, review and monitoring requirements)

Όταν χορηγείται άδεια σε ένα διαχειριστή ενός έργου εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου, έχει το δικαίωμα να ξεκινήσει τη δραστηριότητά του. Στη συνέχεια θα πρέπει να πληροί όλες τις προϋποθέσεις που ορίζονται από την άδεια του, υπό τον όρο ότι οι προϋποθέσεις αυτές εξασφαλίζουν τη συμμόρφωση με την περιβαλλοντική νομοθεσία της ΕΕ. Οι διάφορες αρχές της ΕΕ μπορεί να αιτηθούν επανεκτίμηση και αν κριθεί αναγκαίο επαναξιολόγηση της άδειας και των διαφόρων συνθηκών. Για παράδειγμα, η οδηγία πλαίσιο για τα ύδατα (Water Framework Directive) προβλέπει ότι η άδεια (authorisation) για την άντληση υδάτων θα πρέπει να επανεξετάζεται (αναθεωρείται) περιοδικά, ενώ η οδηγία για τα απόβλητα εξόρυξης (Mining Waste Directive) ορίζει ότι οι αρμόδιες αρχές πρέπει να επανεξετάζουν περιοδικά και όταν χρειάζεται, να εκσυγχρονίζουν (αναπροσαρμόζουν) τους όρους της άδειας. Η αναθεώρηση πραγματοποιείται συνήθως με βάση τις πληροφορίες που παρέχονται από τον κάτοχο της άδειας σχετικά με την υλοποίηση του έργου του και την εκπλήρωση των όρων που καθορίζονται από την άδεια του και από τα αρμόδια όργανα παρακολούθησης.

Οι αρμόδιες αρχές φέρουν επίσης υποχρεώσεις παρακολούθησης. Για παράδειγμα, βάση της οδηγίας πλαίσιο για τα ύδατα (Water Framework Directive), σύμφωνα με την οποία, μεταξύ άλλων, η χημική ποιότητα των συστημάτων υπόγειων υδάτων θα πρέπει να ελέγχεται τακτικά και να αναλαμβάνεται δράση, συμπεριλαμβανομένης της αναθεώρησης των όρων της άδειας, σε περίπτωση σημαντικής χημικής ρύπανσης.

Σύμφωνα με την οδηγία για τα απόβλητα εξόρυξης εκμετάλλευσης (Mining Waste Directive), ο διαχειριστής της εγκατάστασης διαχείρισης αποβλήτων όχι μόνο πρέπει να ενημερώνει την αρμόδια αρχή όταν εντοπίζονται τυχόν σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον, αλλά η ίδια η αρμόδια αρχή πρέπει να επιθεωρεί την εγκατάσταση πριν από οποιαδήποτε διαδικασία εναπόθεσης και σε τακτά χρονικά διαστήματα. Όσον αφορά την οδηγία Seveso II, τα κράτη μέλη πρέπει να οργανώνουν σύστημα επιθεωρήσεων / ελέγχων της εγκατάστασης, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι ο operator έχει λάβει όλα τα κατάλληλα μέτρα για την πρόληψη μεγάλων ατυχημάτων. Εάν η επιθεώρηση αποκαλύψει ότι τα μέτρα αυτά παρουσιάζουν σοβαρές ελλείψεις, το κράτος-μέλος θα πρέπει στη συνέχεια να απαγορεύσει τη χρήση της συγκεκριμένης εγκατάστασης.

IV. Περιβαλλοντική ευθύνη

Εάν ένα έργο εκμετάλλευσης σχιστολιθικού φυσικού αερίου οδηγεί σε σημαντικές περιβαλλοντικές ζημίες που οφείλονται, για παράδειγμα, στην υπεράντληση του νερού σε ένα μικρό σώμα επιφανειακών υδάτων (επιηρεάζοντας την κατάσταση του υδατικού συστήματος), σε εκούσιες ή ακούσιες διαρροές ρευστών της υδραυλική ρωγμάτωση (fracturing fluid), σε χημικές ουσίες ή απόβλητα (waste water) στο περιβάλλον, ο διαχειριστής θα πρέπει να θεωρηθεί υπεύθυνος σύμφωνα με την Οδηγία για την Περιβαλλοντική Ευθύνη και θα κληθεί να αναλάβει το κόστος της αποκατάστασης. Και ειδικότερα, στην περίπτωση κατά την οποία ο διαχειριστής δεν θα έχει συμμορφωθεί με τις προϋποθέσεις και τα όρια που καθορίζονται από την άδεια του.

Η περιβαλλοντική ευθύνη του διαχειριστή ενός έργου εκμετάλλευσης σχιστολιθικού φυσικού αερίου μπορεί επίσης επικαλεστεί σε περίπτωση πρόκλησης σημαντικών ζημιών σε μια περιοχή Natura 2000. Μπορεί επίσης να γίνει αναφορά στις κατά και μετά το κλείσιμο υποχρεώσεις που επιβάλλονται οι διαχειριστές των εγκαταστάσεων διαχείρισης των εξορυκτικών αποβλήτων. Πράγματι, όπως ορίζεται στην οδηγία για τα απόβλητα εξόρυξης (Mining Waste Directive), ο φορέας εκμετάλλευσης παραμένει υπεύθυνος για τα μέτρα συντήρησης, παρακολούθησης όπως επίσης και για τα διορθωτικά στη φάση μετά το κλείσιμο, για όσο χρονικό διάστημα απαιτηθεί από την αρμόδια αρχή. Επίσης, στην περίπτωση που κάποιο σοβαρό ατύχημα συμβεί

σε μια εγκατάσταση σχιστολιθικού φυσικού αερίου η οποία θεωρείται ως μια εγκατάσταση SEVESO, η οδηγία Seveso II προβλέπει από τον διαχειριστή την παροχή, στην αρμόδια αρχή, όλων των σχετικών πληροφοριών για το συμβάν, συμπεριλαμβανομένων των μέτρων που προβλέπονται για τη μείωση των μεσοπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων αρνητικών (δυσμενών) επιπτώσεων του ατυχήματος.

5.3. Κίνδυνοι και επιπτώσεις που σχετίζονται με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

Η ανάπτυξη και η εκμετάλλευση σχηματισμών σχιστολιθικού αερίου εμπεριέχει κινδύνους και πιθανές επιπτώσεις για το κλίμα, το περιβάλλον αλλά και την ανθρώπινη υγεία. Όπως προαναφέρθηκε στο κανονιστικό πλαίσιο για την Ευρώπη, από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή πραγματοποιήθηκαν διάφορες μελέτες αυτής της μορφής στα πλαίσια συλλογής πληροφοριών αλλά και ως βάση για τη λήψη αποφάσεων. Δεδομένης της ύπαρξης στοιχείων από την εκμετάλλευση συμβατικών υδρογονανθράκων, οι μελέτες επικεντρώνονται κυρίως στις άμεσες επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει η τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης και οι σχετικές δραστηριότητες όπως μεταφορά και διαχείριση αποβλήτων.

Γενικά θεωρείται ότι οι κύριες αιτίες που προκαλούν κινδύνους και τις σχετικές επιπτώσεις τους απορρέουν από (AEA, 2012):

- Τη χρήση σημαντικά μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού και χημικών ουσιών σε σχέση με την εκμετάλλευση στα συμβατικά συστήματα υδρογονανθράκων.
- Τη μικρότερη ανάκτηση που παρουσιάζεται σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα στις γεωτρήσεις που παράγουν φυσικό αέριο, η οποία θεωρείται ότι συνδράμει σε μεγαλύτερες επιπτώσεις σε σχέση πάντα με τα συμβατικά, ανά μονάδα φυσικού αερίου που παράγεται.
- Τη διασφάλιση της ακεραιότητας των γεωτρήσεων και του λοιπού εξοπλισμού κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, της λειτουργίας αλλά και μετά την

εγκατάλειψη των επιφανειακών γεωτρητικών εγκαταστάσεων ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος μόλυνσης επιφανειακών ή/και υπόγειων υδάτων.

- Τη διασφάλιση έναντι διαρροών χημικών ουσιών και αποβλήτων με πιθανές περιβαλλοντικές συνέπειες κατά τη διάρκεια και της ανάπτυξης και της λειτουργικής φάσης των επιφανειακών γεωτρητικών εγκαταστάσεων.
- Τη διασφάλιση της σωστής αναγνώρισης και επιλογής των γεωλογικών σχηματισμών βάσει εκτίμησης κινδύνου συγκεκριμένων γεωλογικών δομών και πιθανών αβεβαιοτήτων που συνδέονται με την μακροπρόθεσμη παρουσία ρευστών της υδραυλικής ρωγμάτωσης στο υπέδαφος.
- Την πιθανή τοξικότητα των χημικών πρόσθετων και την ανάπτυξη περισσότερων «πράσινων» εναλλακτικών.
- Την αναπόφευκτη απαίτηση για μεταφορά εξοπλισμού, υλικών και αποβλήτων από και προς το χώρο που συνεπάγεται επιπτώσεις λόγω κυκλοφορίας οι οποίες μπορούν να μετριαστούν αλλά όχι να αποφευχθούν ολοκληρωτικά.
- Την πιθανότητα ανάπτυξης των επιφανειακών εγκαταστάσεων σε πολύ μεγαλύτερη έκταση από ότι απαιτείται συνήθως σε συμβατικά συστήματα.
- Την αναπόφευκτη απαίτηση χρήσης μονάδων και εξοπλισμού κατά τη διάρκεια κατασκευής της γεώτρησης αλλά και της υδραυλικής ρωγμάτωσης, που συνεπάγεται αέριες εκπομπές αλλά και θόρυβο.

Οι κίνδυνοι, οι οποίοι φαίνονται να αναγνωρίζονται και να δημιουργούν πιθανά σημαντικές επιπτώσεις για το περιβάλλον και τον άνθρωπο, συνοψίζονται στον Πίνακα 5.1. όπου κατηγοριοποιούνται ποιοτικά ως προς το βαθμό επικινδυνότητας σε κάθε φάση ενός τέτοιου έργου (well pad), αξιολογούνται συνολικά για το σύνολο των φάσεων και επιπλέον καλύπτουν τις αθροιστικές επιπτώσεις πολλαπλών εγκαταστάσεων.

Πίνακας 5.1.: Σύνοψη της προκαταρκτικής αξιολόγησης κινδύνων

Environmental aspect	Project phase						
	Site identification and preparation	Well design drilling, casing, cementing	Fracturing	Well completion	Production	Well abandonment and post-abandonment	Overall rating across all phases
Individual site							
Groundwater contamination	Not applicable	Low	Moderate-High	High	Moderate-High	Not classifiable	High
Surface water contamination	Low	Moderate	Moderate-High	High	Low	Not applicable	High
Water resources	Not applicable	Not applicable	Moderate	Not applicable	Moderate	Not applicable	Moderate
Release to air	Low	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Low	Moderate
Land take	Moderate	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Moderate	Not classifiable	Moderate
Risk to biodiversity	Not classifiable	Low	Low	Low	Moderate	Not classifiable	Moderate
Noise impacts	Low	Moderate	Moderate	Not classifiable	Low	Not applicable	Moderate – High
Visual impact	Low	Low	Low	Not applicable	Low	Low-moderate	Low - Moderate
Seismicity	Not applicable	Not applicable	Low	Low	Not applicable	Not applicable	Low
Traffic	Low	Low	Moderate	Low	Low	Not applicable	Moderate
Cumulative							
Groundwater contamination	Not applicable	Low	Moderate-High	High	High	Not classifiable	High
Surface water contamination	Moderate	Moderate	Moderate-High	High	Moderate	Not applicable	High
Water resources	Not applicable	Not applicable	High	Not applicable	High	Not applicable	High
Release to air	Low	High	High	High	High	Moderate	High
Land take	Very high	Not applicable	Not applicable	Not applicable	High	Not classifiable	High
Risk to biodiversity	Not classifiable	Low	Moderate	Moderate	High	Not classifiable	High
Noise impacts	Low	High	Moderate	Not classifiable	Low	Not applicable	High
Visual impact	Moderate	Moderate	Moderate	Not applicable	Low	Low-moderate	Moderate
Seismicity	Not applicable	Not applicable	Low	Low	Not applicable	Not applicable	Low
Traffic	High	High	High	Moderate	Low	Not applicable	High

Not applicable: Impact not relevant to this stage of development

Not classifiable: Insufficient information available for the significance of this impact to be assessed

Στη συνέχεια αναπτύσσονται οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις αναφορικά με τα έργα ανάπτυξης και εκμετάλλευσης σχιστολιθικού αερίου.

5.3.1. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλες αέρια εκπομπές

Όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG), η καύση του φυσικού αερίου δημιουργεί λιγότερα αέρια του θερμοκηπίου ανά μονάδα ενέργειας από την καύση του πετρελαίου ή του άνθρακα. Ωστόσο, αυτό δεν ισχύει όταν εξετάζεται ο πλήρης κύκλος ζωής του φυσικού αερίου.

Το 2011 μια μελέτη από το Tyndall Centre στο Πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ (Shale gas: a provisional assessment of climate change and environmental impacts) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι εκπομπές CO₂ από την εξόρυξη του σχιστολιθικού φυσικού αερίου είναι μόνο κατά 0,29 έως 2,9% περισσότερες από ότι στην παραγωγή φυσικού αερίου με συμβατικές μεθόδους. Ωστόσο, απέκλειε τις όποιες διαρροές μεθανίου (Wood, Gilbert, Sharmina, & Anderson, January 2011).

Μέχρι πρόσφατα, η μόνη άλλη μελέτη η οποία αναφερόταν στις εκπομπές μεθανίου σχετικά με το σχιστολιθικό αέριο ήρθε από το Πανεπιστήμιο Cornell (Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations) και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το σχιστολιθικό αέριο παράγει περισσότερες εκπομπές αερίων από ότι ο γαιάνθρακας (Howarth, Santoro, & Ingraffea, 2011). Ωστόσο, η μελέτη αυτή είχε επικριθεί για διάφορους λόγους. Πρώτον, πήρε για κύκλο ζωής τα 20 έτη, αντί τα 100 που συνήθως λαμβάνονται σε τέτοιες μελέτες. Δεδομένου ότι η διάρκεια ζωής του μεθανίου ως αέριο του θερμοκηπίου είναι περίπου 20 χρόνια, η μικρότερη διάρκεια του κύκλου ζωής υπερεκτιμά τις επιπτώσεις που επιφέρει το σχιστολιθικό αέριο στην κλιματική αλλαγή. Δεύτερον, η μελέτη υποθέτει πολύ υψηλά επίπεδα διαρροών (Cathles, Brown, Taam, & Hunter, 2012). Τέλος, αμέλησε το γεγονός ότι και στην παραγωγή άνθρακα παρατηρούνται διαρροές μεθανίου.

Σε διαφορετικά συμπεράσματα κατέληξαν κάποιες άλλες πιο πρόσφατες μελέτες δημοσιευμένες σε έγκριτα περιοδικά, όπως των Hultman et al. (2011), Jiang et al. (2011) και Skone (2011). Ο Skone (Life Cycle Greenhouse Gas Analysis of Natural Gas Extraction and Delivery in the United States) βρήκε μια σχετικά μικρή διαφορά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μεταξύ συμβατικού και μη συμβατικού φυσικού αερίου (Skone, 2011). Οι Jiang et al. (Life Cycle Greenhouse Gas Emissions

of Marcellus Shale Gas) συμπέραναν ότι το φυσικό αέριο από το σχιστολιθικό σχηματισμό Marcellus είχε γενικά μικρότερου κύκλου ζωής εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τον γαιάνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στην απουσία οποιασδήποτε αποτελεσματικής διαδικασίας δέσμευσης και αποθήκευσης του διοξειδίου του άνθρακα (Jiang, Griffin, Hendrickson, Jaramillo, & Venkatesh, 2011). Η διαφορά ήταν 20 - 50%, ανάλογα με την απόδοση των εργοστασίων και τη διακύμανση των εκπομπών φυσικού αερίου.

Κατά παρόμοιο τρόπο, οι Hultman et al. (The greenhouse impact of unconventional gas for electricity generation) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι GHG επιπτώσεις του σχιστολιθικού αερίου ήταν μόνο οριακά (11%) υψηλότερες από εκείνες του συμβατικού φυσικού αερίου, ενώ παρέμειναν σημαντικά χαμηλότερες από εκείνες του γαιάνθρακα (Hultman, Rebois, Scholten, & Ramig, 2011). Ο IEA (Are We Entering a Golden Age of Gas?) κατέληξε και αυτή με τη σειρά της στο συμπέρασμα ότι το σχιστολιθικό αέριο το οποίο παρήχθηκε σύμφωνα με τα κατάλληλα πρότυπα οδήγησε σε «ελαφρώς υψηλότερες» well-to-burner tip εκπομπές από το συμβατικό φυσικό αέριο (IEA, 2011). Μια πιο πρόσφατη δημοσίευση του IEA (Golden Rules for a Golden Age of Gas, Special Report on Unconventional Gas) επισημαίνει ότι ο αντίκτυπος των επιπτώσεων από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εξαρτάται καθοριστικά από το προσδοκώμενο επίπεδο διαρροής κατά τις διαδικασίες εξόρυξης (IEA, 2012). Ωστόσο, η συζήτηση συνεχίζεται και σαφώς απαιτείται πολύ περισσότερη έρευνα έως ότου καταλήξουμε σε οριστικά συμπεράσματα (Thorn, 2012) (Howarth R. W., 2012).

Το μεγαλύτερο αυτό αποτύπωμα πιστεύεται ότι προκαλείται από το μεγαλύτερο όγκο ανεξέλεγκτων εκπομπών (fugitive emissions) που παράγονται κατά τη διάρκεια των διαδικασιών ρωγμάτωσης και ολοκλήρωσης (completion) και από τις εκπομπές που σχετίζονται με τη μεταφορά των υλικών. Για την εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης σε μία και μόνο γεώτρηση απαιτούνται συνήθως εκατοντάδες διαδρομές φορτηγών από νερό και άμμο (proppants). Γενικά η παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου καθώς και η επεξεργασία τους αντιστοιχεί περίπου στο 40% του συνόλου των εκπομπών μεθανίου στις ΗΠΑ, καθιστώντας τη βιομηχανία ως τη μεγαλύτερη ενιαία πηγή μεθανίου της χώρας (U.S. Environmental Protection Agency, July 2011).

Αναφορικά με τις υπόλοιπες αέριες εκπομπές, η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου έχει επηρεάσει αρνητικά την τοπική ποιότητα του αέρα σε ορισμένες περιοχές, ως αποτέλεσμα της απελευθέρωσης των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs – Volatile Organic Compounds), η οποία προκύπτει κατά τις φάσεις ολοκλήρωσης ή flowback της γεώτρησης, όπως επίσης και κατά τη διάρκεια της συμπίεσης και μεταφοράς του φυσικού αερίου. Οι εκπομπές αυτές συμβάλλουν στο σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος (ground-level ozon) και έχουν συνδεθεί με τον καρκίνο και άλλες επιπτώσεις στην υγεία, όπως η αύξηση των περιστατικών άσθματος, εισαγωγές στο νοσοκομείο, ακόμη και με πρόωρο θάνατο. Ως αποτέλεσμα κάποιες από τις πολιτείες των ΗΠΑ, όπως το Τέξας (Texas Commission on Environmental Quality), έχουν θεσπίσει προγράμματα παρακολούθησης των εκπομπών VOC στις περιοχές εξόρυξης, ενώ την ίδια στιγμή πολιτείες όπως το Colorado απαιτούν από τις εταιρείες ενέργειας τη χρήση «συστημάτων ανάκτησης ατμών – vapor recovery systems» ή δεξαμενών για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών. Επιπλέον, με τους νέους κανονισμούς της EPA, οι εκπομπές VOC από τη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου, αναμένεται να μειωθούν κατά 25% (U.S. Environmental Protection Agency).

5.3.2. Αποθέματα νερού

Η κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων νερού και ο κίνδυνος μόλυνσης του αποτελούν καίρια ζητήματα όσον αφορά την αξιοποίηση του μη συμβατικού αερίου και έχουν κατά καιρούς δημιουργήσει μεγάλη ανησυχία στο κοινό. Στην περίπτωση ανάπτυξης σχιστολιθικού ή έγκλειστου αερίου, αν και απαιτείται κάποια ποσότητα νερού κατά την όρυξη της γεώτρησης, εντούτοις δεν συγκρίνεται με τη ποσότητα που χρειάζεται κατά την διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης, καθώς κάθε φρέαρ πιθανόν να χρειαστεί έως και 20000 κυβικά μέτρα. Το νερό το οποίο προορίζεται για την υδραυλική ρωγμάτωση του σχηματισμού, μπορεί να προέρχεται από πηγές επιφανειακών υδάτων (όπως ποτάμια, λίμνες ή θάλασσες) ή από τοπικές γεωτρήσεις. Οι επιπτώσεις λοιπόν στα αποθέματα νερού είναι σημαντικές και ειδικά σε περιοχές όπου διαπιστώνεται έντονα το φαινόμενο της λειψυδρίας λόγω της αλλαγής του κλίματος. Επιπτώσεις μπορεί να έχει και στη μείωση της διαθέσιμης ποσότητας νερού που χρησιμοποιείται για παροχή πόσιμου νερού. Ταυτόχρονα η μείωση της ποσότητας του αλλά και της ποιότητας μπορεί να συνεπάγεται σημαντικές επιπτώσεις σε υδάτινα οικοσυστήματα, αλλά και να επιφέρει αλλαγές στη θερμοκρασία του

νερού και σε φαινόμενα διάβρωσης. Το θέμα αυτό είναι δυνατό να προκαλέσει έντονα φαινόμενα ανταγωνισμού στους τελικούς χρήστες του νερού οι οποίοι μπορεί να κυμαίνονται από τους κατοίκους μέχρι τη βιομηχανία, τη γεωργία, κλπ.

Η περιορισμένη διαθεσιμότητα του νερού για την υδραυλική ρωγμάτωση, θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντικό εμπόδιο για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού και εγκλείστου φυσικού αερίου σε ορισμένες περιοχές. Για παράδειγμα στην Κίνα, η λεκάνη Tarim η οποία αν και περιέχει μερικά από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου της χώρας, εντούτοις πάσχει από σοβαρά προβλήματα λειψυδρίας. Αυτό ισχύει και σε άλλες περιοχές τις Κίνας που ενώ διαθέτουν τα κοιτάσματα μη συμβατικού φυσικού αερίου, δεν έχει προχωρήσει η ανάπτυξη τους εξαιτίας της έλλειψης νερού. Για το λόγο αυτό η ανάπτυξη της βιομηχανίας σχιστολιθικού αερίου στην Κίνα έχει μέχρι στιγμής επικεντρωθεί στην λεκάνη Sichuan, εξαιτίας της αφθονίας που παρουσιάζει το νερό στη συγκεκριμένη περιοχή (IEA, 2012).

Στον Πίνακα 5.2 γίνεται σύγκριση μεταξύ της ποσότητας νερού που απαιτείται για την ανάπτυξη σχιστολιθικού και εγκλείστου αερίου, υπολογισμένη ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας, με την αντίστοιχη ποσότητα νερού που απαιτείται στην περίπτωση παραγωγής φυσικού αερίου και πετρελαίου από συμβατικές πηγές.

Πίνακας 5.2. Εύρος κατανάλωσης νερού ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας από φυσικό αέριο ή πετρέλαιο - κυβικά μέτρα ανά terajoule (IEA, 2012)

	Water consumption	
	Production	Refining
Natural gas		
Conventional gas	0.001 - 0.01	
Conventional gas with fracture stimulation	0.005 - 0.05	
Tight gas	0.1 - 1	
Shale gas	2 - 100	
Oil		
Conventional oil*	0.01 - 50	5 - 15
Conventional oil with fracture stimulation*	0.05 - 50	5 - 15
Light tight oil	5 - 100	5 - 15

5.3.3. Ρύπανση των υδάτων (επιφανειακών και υπόγειων)

Από περιβαλλοντικής σκοπιάς, η πιο σημαντική επίπτωση της αξιοποίησης (development) του σχιστολιθικού αερίου προέρχεται από τη χρήση και τη διάθεση του νερού που απαιτείται για τη ρωγμάτωση του σχηματισμού. Η ρωγμάτωση του σχηματισμού απαιτεί δεκάδες εκατομμύρια λίτρα νερού, ενώ οι τοπικοί χώροι εναπόθεσης (local withdrawal sites) πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίξουν τεράστιους όγκους και συχνά συνεχή απομάκρυνση του νερού. Οι επιπτώσεις της υδραυλικής ρωγμάτωσης στην ποιότητα του νερού είναι επίσης σημαντικές τόσο σε επίπεδο επιφανειακών αλλά και υπογείων υδάτων.

Η έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής αναφέρει ότι αν η γεώτρηση του φυσικού αερίου είναι κατάλληλα κατασκευασμένη, αν υπάρχει μεγάλη απόσταση μεταξύ πηγών πόσιμου νερού και ζώνης παραγωγής αερίου και αν οι γεωλογικές συνθήκες είναι κατάλληλες, τότε ο κίνδυνος μόλυνσης επιφανειακών και υπογείων υδάτων χαρακτηρίζεται πολύ χαμηλός τόσο για μία μεμονωμένη εγκατάσταση όσο και για πολλαπλές εγκαταστάσεις.

Πέραν των κινδύνων που συνεπάγονται οι παραδοσιακές δραστηριότητες εξόρυξης και συνεκτιμώντας όλες τις συνθήκες και την προϋπάρχουσα εμπειρία από κατασκευές γεωτρήσεων, υδραυλική ρωγμάτωση και παραγωγή η ίδια μελέτη επισημαίνει ότι υπάρχει μεγάλος κίνδυνος μόλυνσης επιφανειακών και υπογείων υδάτων σε διάφορα στάδια του έργου, ενώ η ύπαρξη πολλαπλών εγκαταστάσεων μεγαλώνει ακόμη περισσότερο τον κίνδυνο αυτό. Το καίριο πρόβλημα σχετικά με την υδραυλική ρωγμάτωση όπως αναδεικνύεται από μελέτες σχετικά με αυτήν είναι ότι *«Ο κακής ποιότητας σχεδιασμός ή κατασκευή μίας γεώτρησης μπορεί να οδηγήσει σε μόλυνση υπόγειων υδάτων η οποία προκύπτει από τη διαπέραση υδροφόρου ορίζοντα από τη γεώτρηση, τη ροή ρευστών ή από σχηματισμούς ή από τη μετανάστευση φυσικού αερίου σε αποθέματα νερού»*

Όταν το ρευστό εισπνέζεται εντός της γεώτρησης, ένα ποσοστό της τάξεως του 0,5% του αποτελείται από χημικές ουσίες οι οποίες διευκολύνουν τη διαδικασία ρωγμάτωσης. Παρά το γεγονός ότι το ποσοστό αυτό είναι χαμηλό, η συνολική ποσότητα των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται είναι ανησυχητικά μεγάλη. Για παράδειγμα, σε μια εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης η οποία

χρησιμοποιεί 15 εκατομμύρια λίτρα νερού, περιέχονται 75.000 λίτρα χημικών ουσιών (Friends of the Earth, 2013). Επιπλέον, δεν είναι τα όλα υγρά της υδραυλικής ρωγμάτωσης που επιστρέφουν στην επιφάνεια. Υπολογίζεται ότι το 20 με 90 τοις εκατό των ρευστών παραμένουν εντός του σχιστολιθικού σχηματισμού. Ένα μέρος του υγρού ρωγμάτωσης επιστρέφεται στην επιφάνεια, συχνά με αλατούχο νερό που υπήρχε φυσικά στο σχιστολιθικό σχηματισμό (Vaidyanathan, 2012) (Jenkins, 2013) (Earthworks). Αυτό το παραγόμενο νερό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί, να απορριφθεί διαμέσου γεωτρήσεων επανεισαγωγής (via reinjection wells) (σε ορισμένες περιοχές) ή να αποσταλεί σε κάποια εγκατάσταση διάθεσης αποβλήτων εκτός του χώρου.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το 2011 σε έρευνα τους οι New York Times, αποκάλυψαν ότι νερό το οποίο είχε προηγουμένως χρησιμοποιηθεί για την υδραυλική ρωγμάτωση κάποιου σχηματισμού (fracturing wastewater) και περιείχε ανησυχητικά υψηλά επίπεδα φυσικών ραδιενεργών ουσιών (N.O.R.M. - Naturally Occurring Radioactive Material), κατέληγε στους ποταμούς τις πολιτείας της Πενσυλβάνιας (New York Times, 2011).

Καθώς το φυσικό αέριο από το σχηματισμό οδηγείται στην επιφάνεια μέσω της γεώτρησης, πιθανόν εσφαλμένη τσιμέντωση της ή μη σωστά εγκατεστημένη σωλήνωση, δίνουν τη δυνατότητα στο φυσικό αέριο ή στα υγρά της υδραυλικής ρωγμάτωσης να μεταναστεύσουν στα τοπικά υπόγεια και επιφανειακά ύδατα, σε γειτονικούς λιθολογικούς σχηματισμούς, ακόμη και στα σπίτια. Στο ντοκιμαντέρ Gasland (2011) παρουσιάζονται πλάνα νερού μολυσμένου από μεθάνιο το οποίο αναφλέγεται, ενώ υποστηρίζεται ότι η διαρροή προκλήθηκε από εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης στην πολιτεία της Πενσυλβάνια (Fox, 2010) (Εικόνα 5.1)



Εικόνα 5.1.: Νερό το οποίο αναφλέγεται (Fox, 2010)

Για το φυσικό αέριο υπάρχει η δυνατότητα διαπίστωσης της προέλευσης του, δηλαδή εάν προέρχεται από βαθιά ή ρηχά υπεδαφικά στρώματα. Ωστόσο, η απευθείας σύνδεση των χημικών ουσιών που χρησιμοποιήθηκαν για τη ρωγμάτωση του σχηματισμού με τη μόλυνση των υπόγειων υδάτων είναι πολύ δύσκολη έως ανέφικτη, καθώς η σύνθεση του ρευστού ρωγμάτωσης, συμπεριλαμβανομένων και των χημικών τύπων των ουσιών, παραμένουν αποκλειστικές πληροφορίες των εταιρειών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην μπορεί (να μην είναι εφικτή) η υλοποίηση προγραμμάτων παρακολούθησης των υπόγειων υδάτων, ώστε να καταστεί δυνατή η ανίχνευση των πιο πάνω ουσιών.

Πειράματα, τα οποία έχουν γίνει για να διαπιστωθεί η επίδραση της εκμετάλλευσης σχιστολιθικού φυσικού αερίου στα αποθέματα νερού, έχουν αρχίσει να δημοσιεύονται. Σε έρευνα των Osborn et al, η οποία εξετάζει τις γεωτρήσεις στην πολιτεία της Πενσυλβάνιας και της Νέας Υόρκης, βρέθηκαν ενδείξεις με αυξημένες συγκεντρώσεις μεθανίου στο νερό των γεωτρήσεων σε περιοχές όπου προηγουμένως έλαβε χώρα όρυξη γεωτρήσεων για παραγωγή σχιστολιθικού αερίου συγκρινόμενες με γεωλογικά παρόμοιες περιοχές όπου γεώτρηση δεν είχε συμβεί. Επίσης δεν βρήκαν ενδείξεις για μόλυνση του πόσιμου νερού από ρευστά υδραυλικής ρωγμάτωσης ή από βαθύ αλατούχο διάλυμα άλμης (deep-saline brines) (Osborn et al, 2011).

Αντίθετα, σε μια δεύτερη μελέτη, μια ομάδα του Penn State University, δεν βρήκε καμία στατιστικά σημαντική μεταβολή στην περιεκτικότητα σε μεθάνιο σε γεωτρήσεις νερού μεταξύ περιοχών όπου είχε και δεν είχε λάβει χώρα υδραυλική ρωγμάτωση. Στη μελέτη πάρθηκαν δείγματα από 233 γεωτρήσεις στο σχιστολιθικό σχηματισμό Marcellus στην Πενσυλβάνια. Μέρος των δειγμάτων προερχόταν από περιοχές όπου στο παρελθόν υπήρξε παραγωγή σχιστολιθικού φυσικού αερίου και από κάποιες ελεγχόμενες περιοχές όπου δεν είχαν προηγουμένως ορυχθεί παραγωγικές γεωτρήσεις. Η έρευνα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι συγκεντρώσεις του μεθανίου, καθώς και κάποιων κοινών δεικτών ποιότητας του νερού (χλωριούχα ιόντα, βάριο και «ολικά διαλελυμένα στερεά»), δεν αυξήθηκαν μετά την εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Τα επίπεδα βρωμιδίου από την άλλη πλευρά παρουσίασαν αύξηση, αλλά απείχε πολύ από το να χαρακτηριστεί η συγκέντρωσή τους επικίνδυνη. Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η παρουσία του μεθανίου στο νερό φαίνεται να είναι ένας κίνδυνος που προκύπτει περισσότερο από την ύπαρξη γεωτρήσεων νερού κοντά σε σχιστολιθικούς σχηματισμούς οι οποίοι φέρουν φυσικό αέριο, παρά κοντά σε γεωτρήσεις παραγωγής σχιστολιθικού φυσικού αερίου (Boyer et al, 2011).

Το πόρισμα των ερευνών του Energy and Climate Change Select Committee (ECCC) του Ηνωμένου Βασιλείου αναφορικά με τους κινδύνους μόλυνσης του νερού ανέδειξε την ακεραιότητα της γεώτρησης, αντί της υδραυλικής ρωγμάτωσης, ως κύρια αιτία ανησυχίας. Επίσης το ECCC υπογράμμισε την σημασία της ακεραιότητας της γεώτρησης και το ρόλο του Health and Safety Executive στην αξιολόγηση του σχεδιασμού και στην επιθεώρηση των γεωτρήσεων σχιστολιθικού φυσικού αερίου.

5.3.4. Προκαλούμενη σεισμικότητα (Induced seismicity)

Η εκμετάλλευση του σχιστολιθικού φυσικού αερίου έχει συνδεθεί με δύο τύπους σεισμικότητας:

- Ο πρώτος τύπος περιλαμβάνει τη μικροσεισμική δραστηριότητα, η οποία προκαλείται κατά τη διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Η δημιουργία ρωγμών στο σχιστολιθικό σχηματισμό έχει ως αποτέλεσμα την πρόκληση σεισμών μικρής εντάσεως, οι οποίοι δεν γίνονται αισθητοί από τους ανθρώπους. Με τη χρήση γεωφώνων είτε στην επιφάνεια είτε εντός γεωτρήσεων παρακολούθησης, οι ειδικοί καταγράφουν τα συγκεκριμένα σεισμικά γεγονότα και τα δεδομένα τα οποία

συλλέγονται, χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και την καθοδήγηση της διαδικασίας. Σεισμοί μεγαλύτερου μεγέθους πιθανόν να προκύψουν στην περίπτωση που η γεώτρηση ή οι ρωγμές τυχαίνει να διασταυρώνονται επανενεργοποιώντας κάποιο υπάρχον ρήγμα. Αυτό φαίνεται να ίσχυσε και στην περίπτωση της εταιρείας Cuadrilla Resources τον Μάιο του 2011, όπου κατά την εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωση στην περιοχή του Blackpool στο Ηνωμένο Βασίλειο, μετρήθηκαν δύο σεισμοί, μεγέθους 1,5 και 2,3 στην κλίμακα Richter. Οι σεισμοί αυτοί ήταν και η αιτία που η εταιρεία σταμάτησε τη δραστηριότητα της στη συγκεκριμένη περιοχή (IEA, 2012) (Sourcewatch).

➤ Ο δεύτερος τύπος προκαλούμενης σεισμικής δραστηριότητας λαμβάνει χώρα όταν τα ρευστά τα οποία εγχέονται εντός των γεωτρήσεων επανέγχυσης, συναντήσουν κάποιο υπάρχον υπόγειο ρήγμα. Μία μελέτη σχετικά με τη σεισμική δραστηριότητα στο Τέξας χαρακτήρισε της γεωτρήσεις επανέγχυσης ως πιθανή αιτία για μια σειρά από σεισμούς που συνέβησαν στην περιοχή (Frohlich, Potter, Hayward, & Stump, 2010). Στην πολιτεία του Οχάιο έχουν αναφερθεί δύο περιπτώσεις πρόκλησης σεισμικής δόνησης κατά την υπόγεια έγχυση του απόβλητου ύδατος (wastewater). Αν και στα δύο αυτά γεγονότα οι δονήσεις έγιναν αισθητές από τους κατοίκους, εντούτοις δεν είχαν αναφερθεί οποιεσδήποτε καταστροφές (International Gas Union, 2012).

Η μελέτη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στο συγκεκριμένο θέμα χαρακτηρίζει τη σεισμική δραστηριότητα ως κίνδυνο αμελητέο μέχρι το βαθμό 3 της κλίμακας Richter, ο οποίος δεν γίνεται αντιληπτός από το γενικό πληθυσμό. Ωστόσο δεν μελετά και δεν αναφέρει τις επιπτώσεις που μπορεί να φέρει η σεισμική δραστηριότητα που μπορεί να επιφέρει η υδραυλική ρωγμάτωση σε υπόγειες υποδομές (AEA, 2012).

5.3.5. Επιπτώσεις στη γη και στο τοπίο

Η αξιοποίηση των αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου απαιτεί μεγάλες εκτάσεις γης (well pads) για την αποθήκευση του τεχνικού εξοπλισμού, των φορτηγών με τους συμπιεστές, των χημικών ουσιών, των πρόσθετων όπως επίσης νερού και δεξαμενών για τα απόβλητα στη περίπτωση που το νερό δεν προέρχεται από τοπικές γεωτρήσεις ύδατος και τα απόβλητα δεν συγκεντρώνονται σε τεχνητές λίμνες. Η έκταση που απαιτείται για μία μεγάλης κλίμακας υδραυλική ρωγμάτωση φτάνει τα 3.6 εκτάρια,

σε αντίθεση με τα 1.9 που απαιτούνται για την όρυξη γεώτρησης παραγωγής συμβατικού φυσικού αερίου. Τα στοιχεία δείχνουν επίσης ότι είναι σχεδόν αδύνατον να αποκατασταθεί πλήρως η συγκεκριμένη έκταση σε ευαίσθητες περιοχές, ιδίως σε περιοχές υψηλής αγροτικής, φυσικής ή πολιτιστικής αξίας, μετά το πέρας της διαδικασίας ολοκλήρωσης της γεώτρησης ή μετά την εγκατάλειψη (Irish Environment, 2012).

Οι εταιρείες έχουν τη δυνατότητα να ορύξουν δεκάδες οριζόντιες γεωτρήσεις από μία μόνο κατακόρυφη, με αποτέλεσμα μικρότερο αριθμό επιφανειακών εγκαταστάσεων γεωτρήσεων (well pads) και άλλων συναφών υποδομών, όπως είναι οι δρόμοι και οι αγωγοί. Ωστόσο, σε ορισμένες, πλούσιες σε σχιστολιθικό αέριο περιοχές, η ανάπτυξη προχωρά με ανησυχητικό ρυθμό. Κατά συνέπεια, η διαταραγμένη περιοχή μπορεί να είναι μεγάλη και οι σωρευτικές επιπτώσεις της ανάπτυξης πιθανόν να δημιουργήσουν κατακερματισμένους οικότοπους. Για παράδειγμα, στη βορειοανατολική British Columbia στον Καναδά, θηλαστικά που ζουν σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, όπως τα καριμπού και οι σταχτιές αρκούδες, είναι πιθανό να επηρεαστούν (Souza, 2012).

Επίσης εκφράζονται ανησυχίες για πιθανές διαρροές. Στις ΗΠΑ, έχουν σημειωθεί περιστατικά διαρροής χημικών ουσιών που θα χρησιμοποιούνταν αργότερα στη διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης κατά τη μεταφορά τους, διαρροή ποσοτήτων παραγόμενου νερού (produced water) ενώ βρίσκονταν καθ' οδόν προς χώρους διάθεσης λυμάτων, καθώς και επί τόπου διαρροές που προκαλούνται από λανθασμένες συνδέσεις των αγωγών ή από εκσκαφές (λάκκους pits) που δεν είχαν προηγουμένως επενδυθεί επαρκώς.

5.3.6. Επιπτώσεις στην βιοποικιλότητα

Η εξόρυξη σχιστολιθικού φυσικού αερίου μπορεί να επηρεάσει την βιοποικιλότητα μιας περιοχής με διάφορους τρόπους. Μπορεί να οδηγήσει στην υποβάθμιση ή στην πλήρη απομάκρυνση ενός φυσικού οικότοπου εξαιτίας της υπερβολικής άντλησης ύδατος, ή στην κατάτμηση του ως αποτέλεσμα των ανεγειρόμενων περιφράξεων, της κατασκευής δρόμων ή ακόμη και από την κατασκευή των ιδίων των επιφανειακών γεωτρητικών εγκαταστάσεων. Νέα, χωροκατακτητικά είδη όπως φυτά, ζώα ή μικροοργανισμοί πιθανόν να παρουσιαστούν κατά την διάρκεια της όρυξης και

λειτουργίας της γεώτρησης, επηρεάζοντας τόσο τα χερσαία όσο και τα υδάτινα οικοσυστήματα. Πρόκειται για μία περιοχή εύλογης ανησυχίας ωστόσο προς το παρόν, δεν υπάρχουν σαφή στοιχεία που να επιτρέπουν την αξιολόγηση της σημασίας της. Η όρυξη της γεώτρησης μπορεί ενδεχομένως να επηρεάσει την βιοποικιλότητα εξαιτίας του θορύβου, της κίνησης των οχημάτων και των εργασιών στο χώρο. Η επεξεργασία και η διάθεση των ρευστών διάτρησης θα πρέπει επίσης να αντιμετωπίζεται σωστά, προκειμένου να αποφευχθεί η καταστροφή των φυσικών οικοτόπων. Ωστόσο οι κίνδυνοι αυτοί παρουσιάζονται μειωμένοι, από ότι κατά τη διάρκεια των άλλων σταδίων όρυξης της γεώτρησης εντός του σχιστολιθικού σχηματισμού (ΑΕΑ, 2012).

Επιπτώσεις στα φυσικά οικοσυστήματα κατά τη φάση παραγωγής του φυσικού αερίου, μπορεί να προκύψουν λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας, της κίνησης των οχημάτων, της κατάληψης γης (land - take), της υποβάθμισης και του κατακερματισμού των οικοτόπων και με την εισαγωγή των χωροκατακτητικών ειδών. Η κατασκευή των αγωγών θα μπορούσε να επηρεάσει τα ευαίσθητα οικοσυστήματα, ενώ η εκ νέου εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης στο σχηματισμό θα μπορούσε να προκαλέσει συνεχόμενες επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα (continuing impacts on biodiversity). Η πιθανότητα η γη να μην είναι κατάλληλη ώστε να επανέλθει στην αρχική της κατάσταση, μετά την εγκατάλειψη της γεώτρησης, είναι ακόμη ένας παράγοντας που ενδεχομένως να επηρεάζει τα τοπικά οικοσυστήματα. Οι κίνδυνοι για τη βιοποικιλότητα, κατά τη φάση παραγωγής, θεωρήθηκαν δυνητικά υψηλοί ειδικότερα στις πολλαπλές εγκαταστάσεις (ΑΕΑ, 2012).

5.3.7. Οπτική ρύπανση

Ο κίνδυνος για σημαντικές οπτικές επιπτώσεις κατά την αναγνώριση και προετοιμασία της περιοχής των επιφανειακών γεωτρητικών εγκαταστάσεων θεωρείται χαμηλός, δεδομένου ότι τα νέα χαρακτηριστικά του τοπίου που εισάγονται κατά το στάδιο κατασκευής του είναι προσωρινά και κοινά σε πολλά άλλα κατασκευαστικά έργα. Η χρήση μεγάλων γεωτρυπάνων θα μπορούσε δυνητικά να είναι αντιαισθητική κατά τις τέσσερις βδομάδες που διαρκεί η κατασκευή, ιδίως σε ευαίσθητες υψηλής αξίας αγροτικές ή οικιστικές περιοχές. Οι ντόπιοι πιθανόν να μην είναι εξοικειωμένοι με το μέγεθος και την κλίμακα αυτών των γεωτρυπάνων και ο κίνδυνος σημαντικών επιπτώσεων θεωρήθηκε να είναι μέτριος στις περιπτώσεις όπου

αναπτύσσονται πολλαπλές επιφανειακές εγκαταστάσεις γεωτρήσεων (well pads) σε μία συγκεκριμένη περιοχή.

Ο κίνδυνος για οπτικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης είναι μικρότερος, με τις βασικές αλλαγές στο τοπίο να αποτελούνται από λιγότερο παρεμβατικά οπτικά χαρακτηριστικά. Για τις πολλαπλές εγκαταστάσεις ο κίνδυνος θεωρείται μέτριος από την προετοιμασία του χώρου μέχρι τη φάση της ρωγμάτωσης του σχηματισμού. Κατά τη φάση μετά την εγκατάλειψη της γεώτρησης, ίσως να μην είναι δυνατή η αφαίρεση όλου του εξοπλισμού της κεφαλής της γεώτρησης (wellhead) από το χώρο. Ωστόσο, θεωρείται ότι ενέχει μικρότερο κίνδυνο για σημαντική οπτική όχληση, λόγω της μικρής κλίμακας του εξοπλισμού που παραμένει στην περιοχή (European Commission; AEA, 2012).

5.3.8. Ηχορύπανση

Ο θόρυβος από τις εκσκαφές, τη μετακίνηση γης, τη διακίνηση των οχημάτων κατά τη διάρκεια προετοιμασίας του χώρου έχει δυνητικό αντίκτυπο τόσο στους κατοίκους όσο και στην τοπική άγρια ζωή, ιδιαίτερα στις πιο ευαίσθητες περιοχές. Η φάση προετοιμασίας της περιοχής τυπικά διαρκεί έως και τέσσερις εβδομάδες, ωστόσο στη φύση της δεν διαφέρει από άλλες παρόμοιες μεγάλης κλίμακας κατασκευαστικές δραστηριότητες.

Τα επίπεδα θορύβου διαφέρουν κατά τα διάφορα στάδια του κύκλου προετοιμασίας και παραγωγής. Η όρυξη της γεώτρησης όπως επίσης και η διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης, θεωρούνται ως οι πιο σημαντικές πηγές θορύβου. Η καύση (flaring) του αερίου μπορεί επίσης να είναι θορυβώδης. Για κάθε γεώτρηση, το χρονικό διάστημα της φάσης όρυξης της μπορεί να είναι σχετικά μικρό (περίπου τέσσερις εβδομάδες σε διάρκεια), ωστόσο η αδιάκοπη λειτουργία του γεωτρήσανου 24 ώρες την ημέρα αποτελεί σημαντική πηγή ηχορύπανσης. Έτσι, θεωρώντας ότι ορύσσονται 10 γεωτρήσεις ανά επιφανειακή εγκατάσταση γεωτρήσεων (well pad), θα απαιτηθούν 800 με 2500 μέρες θορυβώδους δραστηριότητας κατά τη φάση προπαραγωγής, συμπεριλαμβανομένων των οποιωνδήποτε εργασιών στη γη-εδαφος (ground works), έργων οδοποιίας και της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Η επίδραση του θορύβου στους κατοίκους της περιοχής και στην άγρια ζωή θα είναι σημαντικά υψηλότερη όταν ορύσσονται πολλαπλές γεωτρήσεις από μία και μόνο

επιφανειακή εγκατάσταση γεωτρήσεων (well pad), μια διαδικασία η οποία συνήθως διαρκεί για χρονικό διάστημα πέντε περίπου μηνών (Irish Environment, 2012). Η λήψη αποτελεσματικών μέτρων για την μείωση του θορύβου ενδέχεται να αμβλύνουν τον αντίκτυπο στις πλείστες των περιπτώσεων, αν και ο κίνδυνος θεωρείται μέτριος όπου η γειτνίαση με κατοικημένες περιοχές ή με ενδιαιτήματα άγριας παγίδας θα πρέπει να συνεκτιμηθεί (ΑΕΑ, 2012).

5.4. IEA: Οι χρυσοί κανόνες για μια χρυσή εποχή του φυσικού αερίου

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας δίνει τη δυνατότητα στο μη συμβατικό φυσικό αέριο να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο μελλοντικό παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο. Πολλές χώρες, εκμεταλλευόμενες την εμπειρία και την τεχνογνωσία που αποκομίστηκε κατά την ανάπτυξη των κοιτασμάτων μη συμβατικού φυσικού αερίου της Βορείου Αμερικής, προσπαθούν και αυτές με τη σειρά τους να αναπτύξουν τις εγχώριες πηγές συμβάλλοντας έτσι στην ώθηση της «Χρυσής Εποχής του Φυσικού Αερίου». Ωστόσο, πολλά είναι τα περιβαλλοντικά εμπόδια που σχετίζονται με την εξόρυξη του.

Στην ειδική έκδοση του IEA (International Energy Agency) «Golden Rules for a Golden Age of Gas» παρουσιάζεται ένα πακέτο «Χρυσών Κανόνων» οι οποίοι μπορεί να συμβάλουν στο μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Βάσει των σεναρίων του IEA, στην περίπτωση που οι Χρυσοί Κανόνες βρουν εφαρμογή και επικρατήσουν οι κατάλληλες συνθήκες, η παγκόσμια παραγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου (κυρίως του σχιστολιθικού) τριπλασιάζεται μεταξύ 2010 και 2035 φτάνοντας τα 1.6 Tcm, η ΗΠΑ αναδεικνύονται σε καίριο παίκτη στις διεθνείς αγορές, η Κίνα αναδύεται σε σημαντικό παραγωγό, οι νέες τιμές εφοδιασμού βοηθούν στη διατήρηση των χαμηλών τιμών ενώ γίνονται επενδύσεις και δημιουργούνται θέσεις απασχόλησης στις χώρες με υψηλά αποθέματα. Σ' αυτή την περίπτωση η παγκόσμια ζήτηση φυσικού αερίου αυξάνεται πάνω από 50% μεταξύ 2010 και 2035.

Στην περίπτωση που οι «Χρυσοί Κανόνες» δεν εφαρμοστούν, η αντίδραση της κοινής γνώμης θα οδηγήσει σε πολύ μικρή αύξηση της παραγωγής του μη συμβατικού φυσικού αερίου μέχρι το 2035 έχοντας ως αποτέλεσμα την επιδείνωση της

ανταγωνιστικής θέσης του φυσικού αερίου στο παγκόσμιο ισοζύγιο αλλά και τη σχετική αύξηση της τιμής του. Ωστόσο, και στις δύο περιπτώσεις οι σχετιζόμενες με την ενέργεια εκπομπές CO₂, είναι περισσότερες από αυτές που απαιτούνται ώστε να επιτευχθεί ο στόχος για το περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας στους 2 °C. (IEA, 2012)

Οι «Χρυσοί Κανόνες» δρουν ως κατευθυντήρια γραμμή, όχι μόνο για την βιομηχανία αλλά και για τις ρυθμιστικές αρχές σκοπεύοντας την σωστή επιθεώρηση και την προώθηση των βέλτιστων πρακτικών αξιοποίησης του μη συμβατικού αερίου. Παρακάτω και χωρίς να γίνεται περαιτέρω εμβάθυνση όσον αφορά την ανάλυση της αναφοράς, παρουσιάζονται οι «Χρυσοί Κανόνες» του IEA :

Λήψη μετρήσεων, γνωστοποίηση, εμπλοκή τοπικών κοινωνιών

- Ενδυνάμωση της εμπλοκής των τοπικών κοινοτήτων, κατοίκων και λοιπών ενδιαφερόμενων σε κάθε φάση ανάπτυξης και πριν την έρευνα (exploration) - παροχή ικανοποιητικών δυνατοτήτων για σχόλια πάνω σε σχέδια, δραστηριότητες και απόδοση - ακρόαση ανησυχιών με έγκαιρη και κατάλληλη ανταπόκριση.
- Καθιέρωση ορίων βάσης για σημαντικούς περιβαλλοντικούς δείκτες, όπως η ποιότητα των υπογείων υδάτων, πριν την έναρξη δραστηριοτήτων, με συνεχή παρακολούθηση κατά τη διάρκεια των εργασιών
- Μέτρηση και γνωστοποίηση λειτουργικών δεδομένων (operational data) σχετικά με τη χρήση νερού, με τις ποσότητες και τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων, του μεθανίου και των άλλων αέριων εκπομπών, παράλληλα με την πλήρη, υποχρεωτική γνωστοποίηση των πρόσθετων στο ρευστό ρωγμάτωσης όπως επίσης και των όγκων αυτών.
- Ελαχιστοποίηση των διακοπών κατά τις δραστηριότητες, έχοντας μια ευρεία εικόνα κοινωνικής και περιβαλλοντικής ευθύνης και διασφαλίζοντας ότι τα οικονομικά οφέλη γίνονται αισθητά από τις τοπικές κοινωνίες.

Επιλογή χώρου γεωτρητικών έργων

- Επιλογή της περιοχής όπου θα ορυχθεί η γεώτρηση (well site) ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις στην τοπική κοινότητα, στη πολιτιστική κληρονομιά, στην υφιστάμενη χρήση γης, στο ατομικό βιοτικό επίπεδο και στην οικολογία.
- Σωστή γεωλογική έρευνα της περιοχής προκειμένου να παρθούν έξυπνες αποφάσεις σχετικά με το που θα ορυχθεί η γεώτρηση και που θα εφαρμοστεί η υδραυλική ρωγμάτωση. Εκτίμηση του κινδύνου πρόκλησης σεισμών ή δημιουργίας διόδων διέλευσης των ρευστών ρωγμάτωσης μεταξύ των γεωλογικών στρωμάτων, από βαθιά ρήγματα ή από άλλα γεωλογικά χαρακτηριστικά.
- Παρακολούθηση για να εξασφαλιστεί ότι δημιουργηθείσες, από τη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης, ρωγμές δεν εκτείνονται πέραν των σχηματισμών που παράγουν φυσικό αέριο.

Απομόνωση γεωτρήσεων και αποτροπή διαρροών

- Εφαρμογή αυστηρών κανόνων όσον αφορά το σχεδιασμό της γεώτρησης, την κατασκευή, την τσιμέντωση και τον έλεγχο ακεραιότητας της, ως μέρος ενός γενικού προτύπου απόδοσης κατά το οποίο οι σχηματισμοί που φέρουν αέριο θα πρέπει να είναι εντελώς απομονωμένοι από τα γεωλογικά στρώματα τα οποία διαπερνά η γεώτρηση, ιδίως τους υδροφορείς του γλυκού νερού.
- Εξέταση των κατάλληλων ορίων για το ελάχιστο βάθος εφαρμογής της υδραυλικής ρωγμάτωσης, ώστε να ενισχυθεί η εμπιστοσύνη του κοινού ότι η δραστηριότητα αυτή λαμβάνει χώρα μόνο σε μεγάλη απόσταση από τον υδροφόρο ορίζοντα.
- Λήψη μέτρων για την πρόληψη και τον περιορισμό των επιφανειακών διαρροών αλλά και των διαρροών από τη γεώτρηση και να εξασφαλιστεί η σωστή διάθεση τυχόν στερεών ή υγρών αποβλήτων.

Υπεύθυνη διαχείριση νερού

- Μείωση της κατανάλωσης γλυκού νερού με τη βελτίωση της λειτουργικής απόδοσης - επαναχρησιμοποίηση ή ανακύκλωση του όπου είναι εφικτό ώστε να μειωθεί η επιβάρυνση των τοπικών υδάτινων πόρων.
- Αποθήκευση και διάθεση του παραγόμενου νερού και των αποβλήτων με ασφάλεια.
- Μείωση της χρήσης των χημικών πρόσθετων και προώθηση της ανάπτυξης και της χρήσης εναλλακτικών λύσεων πιο φιλικών προς το περιβάλλον.

Εξάλειψη διαφυγών (venting) και ελαχιστοποίηση της καύσης (flaring) φυσικού αερίου και άλλων εκπομπών

- Τοποθέτηση στόχου για μηδενικές διαφυγές και ελάχιστη καύση του φυσικού αερίου κατά τη διάρκεια ολοκλήρωσης της γεώτρησης και επιδίωξη για μείωση των ανεξέλεγκτων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου καθ' όλη τη παραγωγική ζωή της γεώτρησης.
- Ελαχιστοποίηση της αέριας ρύπανσης από οχήματα, κινητήρες γεωτρυπάνων, κινητήρες αντλιών και συμπιεστές.

Be ready to think big

- Αναζήτηση ευκαιριών για την υλοποίηση των οικονομιών κλίμακας και της συντονισμένης ανάπτυξης της τοπικής υποδομής που μπορούν να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Να λάβει υπόψη τις αθροιστικές και περιφερειακές επιπτώσεις των πολλαπλών γεωτρήσεων, των δραστηριοτήτων παραγωγής και διανομής στο περιβάλλον, ιδίως όσον αφορά τη χρήση και διάθεση του νερού, τη χρήση γης, την κυκλοφορία και το θόρυβο.

Εξασφάλιση σταθερά υψηλού επιπέδου περιβαλλοντικών επιδόσεων

- Διασφάλιση ότι τα αναμενόμενα επίπεδα παραγωγής μη συμβατικού φυσικού αερίου συνοδεύονται από τους ανάλογους πόρους και την πολιτική υποστήριξη για ισχυρό ρυθμιστικό καθεστώς στον κατάλληλο βαθμό, ικανοποιητικό) και αξιόπιστη ενημέρωση του κοινού.
- Εύρεση κατάλληλης ισορροπίας στη χάραξη πολιτικής μεταξύ της καθοδηγητικής κανονιστικής ρύθμισης και της ρύθμισης με βάση την απόδοση, προκειμένου να εξασφαλιστούν υψηλά πρότυπα λειτουργίας ενώ παράλληλα να προωθηθεί την καινοτομία και την τεχνολογική βελτίωση.
- Διασφάλιση ότι τα σχέδια έκτακτης ανάγκης είναι αυστηρά και συνάδουν με το μέγεθος του κινδύνου.
- Συνέχιση της συνεχούς βελτίωσης των κανονισμών και των πρακτικών λειτουργίας.
- Αναγνώριση της περίπτωσης για ανεξάρτητη αξιολόγηση και έλεγχο των περιβαλλοντικών επιδόσεων.

Βιβλιογραφία

(2012). Ανάκτηση από Irish Environment:

<http://www.irishenvironment.com/reports/the-european-commissions-three-studies-on-fracking-on-risks-climate-impacts-and-market-possibilities/>

(2013, October 11). Ανάκτηση από The Guardian:

http://www.theguardian.com/environment/2013/oct/11/france-fracking-ban-shale-gas?CMP=tw_t_fd

(2014). Ανάκτηση από European Commission:

http://ec.europa.eu/environment/integration/energy/unconventional_en.htm

AEA. (2012). *Support to the identification of potential risks for the environment and human health arising from hydrocarbons operations involving hydraulic fracturing in Europe.*

Boyer et al, E. (2011). *The Impact of Marcellus Gas Drilling on Rural Drinking Water Supplies.*

CAPP. (2012). *Hydraulic Fracturing Operating Practices.*

Cathles, L. M., Brown, L., Taam, M., & Hunter, A. (2012). A commentary on “The greenhouse-gas footprint of natural gas in shale formations” by R.W. Howarth, R. Santoro, and Anthony Ingraffea.

Chou, E. (2013). *Shale Gas in China.*

Department of Communities and Local Government. (2013). *Planning practice guidance for onshore oil and gas.*

Duraj, M. (2012). *Legal Aspects of the hydraulic fracturing method.*

Earthworks. (n.d.). Ανάκτηση από

http://www.earthworksaction.org/issues/detail/inadequate_regulation_of_hydraulic_fracturing

Earthworks. (n.d.). Ανάκτηση από

http://www.earthworksaction.org/issues/detail/hydraulic_fracturing_101

Economist. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.economist.com/node/21558459>

ERCB. (2011). Unconventional Gas Regulatory Framework - Jurisdictional Review.

Ernst v. EnCana Corporation. (2013, October 12). Ανάκτηση από

<http://www.ernstversusencana.ca/frances-fracking-ban-absolute-after-court-upholds-law-frac-ban-in-france-is-constitutional-judgement-schuepbach-energy-llc>

European Commission's JRC. (2012). *Unconventional Gas: Potential Energy Market Impacts in the European Union*.

European Commission . (2014). *Communication from the Commission to the Council European and the European Parliament on the exploration and production of hydrocarbons (such as shale gas) using high volume hydraulic fracturing in the EU*.

European Commission; AEA. (2012). *Climate impact of potential shale gas production in the EU*.

European Commission; AEA. (2012). *Support to the identification of potential risks for the environment and human health arising from hydrocarbons operations involving hydraulic fracturing in Europe*.

European Parliament. (2013, October 9). Ανάκτηση από European Parliament.

European Parliament. (2012). Draft Report on Industrial, Energy and other aspects of Shale as and oil. Στο N. Tzavela.

European Parliament. (2011). Draft Report on the Environmental Impacts of Shale gas and Shale oil Extraction activities. Στο B. Sonik.

European Parliament. (2011). Impacts of Shale Gas and Shale Oil Extraction on the Environment and on Human Health.

Fox, J. (Σκηνοθέτης). (2010). *GasLand* [Ταινία].

Friends of the Earth. (2013). *Unconventional, unnecessary and unwanted*.

Frohlich, Potter, Hayward, & Stump. (2010). *Southern Methodist University*.

Ανάκτηση από <http://smu.edu/newsinfo/pdf-files/earthquake-study-10march2010.pdf>

House of Representatives Committee on Energy and Commerce. (April 2011).

Chemicals Used in Hydraulic Fracturing.

Howarth, R. W. (2012). Venting and Leaking from Shale Gas Development: Response to Cathes et al.

Howarth, R. W., Santoro, R., & Ingraffea, A. (2011). Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations.

Hultman, N., Rebois, D., Scholten, M., & Ramig, C. (2011). The greenhouse impact of unconventional gas for electricity generation .

IEA. (2012, May 29). Ανάκτηση από

<http://www.iea.org/newsroomandevents/pressreleases/2012/may/name,27266,en.html>

IEA. (2011). Are We Entering a Golden Age of Gas?

IEA. (2012). Golden Rules for a Golden Age of Gas, Special Report on Unconventional Gas.

International Gas Union. (2012). *Shale Gas The Facts about the Environmental Concerns*.

Jenkins, J. (2013, April 6). *The Energy Collective*. Ανάκτηση από

<http://theenergycollective.com/jessejenkins/205481/friday-energy-facts-how-much-water-does-fracking-shale-gas-consume>

Jiang, M., Griffin, W. M., Hendrickson, C., Jaramillo, P. V., & Venkatesh, A. (2011). Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Marcellus Shale Gas.

Koppelman, B., Walker, A., & Woods, E. (2012). *Shale gas extraction in the UK: a review of hydraulic fracturing*.

Maminski & Wspolnici. (2010). *Fuel and energy market in Poland, Report prepared by Millward Brown SMG/KRC Institute*.

Martor, B. (2014, January 20). Ανάκτηση από Shale Gas Information Platform: <http://www.shale-gas-information-platform.org/categories/legislation/expert-articles/martor-article.html#c633>

MIT. (2011). *The Future of Natural Gas*.

New York Times. (2011). Ανάκτηση από <http://www.nytimes.com/2011/02/27/us/27gas.html?pagewanted=all>

NPC. (2011). Prudent Development - Realizing the Potential of North America's Abundant Natural Gas and Oil Resources. National Petroleum Council.

Osborn et al, S. (2011). *Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing*'.

Philippe & Partners. (2011). Final Report on Unconventional Gas in Europe.

Potočník, J. (2012). *Final Report on Unconventional Gas in Europe*. European Commission.

Skone, T. (2011). Life Cycle Greenhouse Gas Analysis of Natural Gas Extraction and Delivery in the United States.

Sourcewatch. (n.d.). Ανάκτηση από http://www.sourcewatch.org/index.php/Fracking_and_tremors

Souza, M. D. (2012). Ανάκτηση από <http://o.canada.com/2012/07/06/elevated-risk-of-caribou-disappearing-from-oilsands-region-memo-tells-peter-kent/>

Texas Commission on Environmental Quality. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.tceq.texas.gov/publications/pd/020/10-04/a-commitment-to-air-quality-in-the-barnett-shale>

The Charter of the Environment . (2005).

Thorn, T. H. (2012). Environmental Issues Surrounding Shale Gas Production, The U.S. Experience, A primer.

U.S. Environmental Protection Agency. PROPOSED AMENDMENTS TO AIR REGULATIONS FOR THE OIL AND NATURAL GAS INDUSTRY.

U.S. Environmental Protection Agency. (July 2011). Proposed Amendments to Air Regulations for the Oil and Natural Gas Industry Fact Sheet.

Vaidyanathan, G. (2012, November 16). *Environment & Energy Publishing*. Ανάκτηση από <http://www.eenews.net/stories/1059972643>

White, E., Fell, M., Smith, L., & Keep, M. (2014). *Shale gas and fracking*.

Wood, R., Gilbert, P., Sharmina, M., & Anderson, K. (January 2011). Shale gas: a provisional assessment of climate change and environmental impacts .

Young, Spalding, Hutt, & Galin. (2013, October 22). Ανάκτηση από Energy Legal Blog: <http://www.energylegalblog.com/archives/2013/10/22/4867>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΜΟΡΦΟΥΜΕΝΗΣ ΑΓΟΡΑΣ

6.1. Εισαγωγή

Η αγορά του φυσικού αερίου έχει δει σημαντικές αλλαγές τα τελευταία χρόνια. Η παραπαίουσα ζήτηση, προκαλούμενη από τη συνεχιζόμενη χρηματοπιστωτική και οικονομική κρίση, η οποία συνέπεσε χρονικά με την αύξηση της προσφοράς του μη συμβατικού αερίου, κυρίως λόγω της απότομης ανόδου που παρουσίασε η παραγωγή του στις ΗΠΑ, οδήγησε σε σημαντικές αλλαγές στο τοπίο του φυσικού αερίου. Οι οποίες αλλαγές πιθανόν να επιφέρουν σημαντικές επιπτώσεις στις ενεργειακές συμβάσεις, στη δομή της αγοράς ενέργειας και στην ενεργειακή ασφάλεια που προσφέρει το φυσικό αέριο (GPPI;CEU;Brookings, 2011).

Στα τέλη του 2008, φορτία Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG) τα οποία είχαν ως αρχικό προορισμό την κορεσμένη πλέον αγορά των ΗΠΑ, ανακατευθύνθηκαν προς την Ευρώπη όπου επικρατούσε μειωμένη ζήτηση για το συγκεκριμένο καύσιμο. Αυτό είχε ως συνέπεια η αγορά του φυσικού αερίου να γίνει πιο ελαστική, αντικαθιστώντας μια αγορά η οποία είχε δώσει το δικαίωμα στους εξαγωγείς φυσικού αερίου, όπως η Ρωσία, να ασκούν σημαντική επιρροή, ειδικότερα κατά το πρώτο μισό της περασμένης δεκαετίας. Τώρα, οι μακροχρόνιες “take-or-pay” συμβάσεις αναθεωρούνται, δίνοντας την θέση τους σε βραχυπρόθεσμες συμφωνίες και σε τιμές που συνδέονται με την “αγορά όψης – spot market” (Russia Today, 2013) (GPPI;CEU;Brookings, 2011). Ακόμη, αρκετοί εξαγωγείς φυσικού αερίου προς την Ευρώπη άρχισαν εν μέρει να χρησιμοποιούν πολύ χαμηλότερες τιμές spot ως σημεία αναφοράς, αντί της συσχέτισης με την τιμή του πετρελαίου (Melling, 2010), ενώ την ίδια στιγμή το μερίδιο που κατέχει στην Ευρωπαϊκή αγορά φυσικού αερίου η Ρωσία, ο πάλε πότε κραταιός προμηθευτής, μειώνεται συνεχώς (Protasov, 2010) (Eurostat, 2012).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι αγορές φυσικού αερίου είναι πιθανό να ενοποιηθούν ακόμη περισσότερο. Μέχρι σήμερα, το φυσικό αέριο παρέμεινε ως επί το πλείστον ένα αγαθό το οποίο εμπορευόταν περιφερειακά, αποτέλεσμα της δυσκολίας και του κόστους μεταφοράς του, με το εμπόριο του να περιορίζεται στις περιοχές της Ατλαντικής λεκάνης (συμπεριλαμβανομένου της Ευρώπης) και Ασίας – Ειρηνικού

Ωκεανού. Ωστόσο, οι πρόσφατες εξελίξεις δείχνουν ότι οι τιμές spot (π.χ. στο Henry Hub στις ΗΠΑ) έχουν την τάση να επηρεάζουν τις εξελίξεις στις αγορές σε άλλες περιοχές του κόσμου (π.χ. στο National Balancing Point - NBR στο Ηνωμένο Βασίλειο), το οποίο θεωρείται ως αποτέλεσμα της ραγδαίας ανάπτυξης που παρουσιάζει το παγκόσμιο εμπόριο υγροποιημένου φυσικού αερίου (GPPI;CEU;Brookings, 2011) (Booz&co, 2013).

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια αποτύπωσης της παρούσας κατάστασης στην αγορά του φυσικού αερίου και πως αυτή διαμορφώνεται με την συμβολή του σχιστολιθικού αερίου.

6.2. Το φυσικό αέριο ως μεταβατικό καύσιμο στο ενεργειακό ισοζύγιο

Το φυσικό αέριο αναμένεται να διαδραματίσει ολοένα και σημαντικότερο ρόλο στο μελλοντικό παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο, με την International Energy Agency (IEA), να διερωτάται εάν μπαίνουμε σε μία χρυσή εποχή του φυσικού αερίου (IEA, 2011). Στην πραγματικότητα, σε όλα τα σενάρια του World Energy Outlook για το 2011, η ζήτηση για φυσικό αέριο αναμένεται να αυξηθεί μέχρι το 2035, σε αντίθεση με τη ζήτηση των άλλων ορυκτών καυσίμων. Για την περίοδο 2009 - 2035 η ετήσια αύξηση της ζήτησης αναμένεται να κυμανθεί μεταξύ 0.9 – 2%, ανάλογα με την υπόθεση – σενάριο (όσο μεγαλύτερες οι στόχοι- φιλοδοξίες για καθαρότερο κλίμα, τόσο μικρότερο το μερίδιο του φυσικού αερίου). Εν ολίγοις, το φυσικό αέριο αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο μετά το 2030.

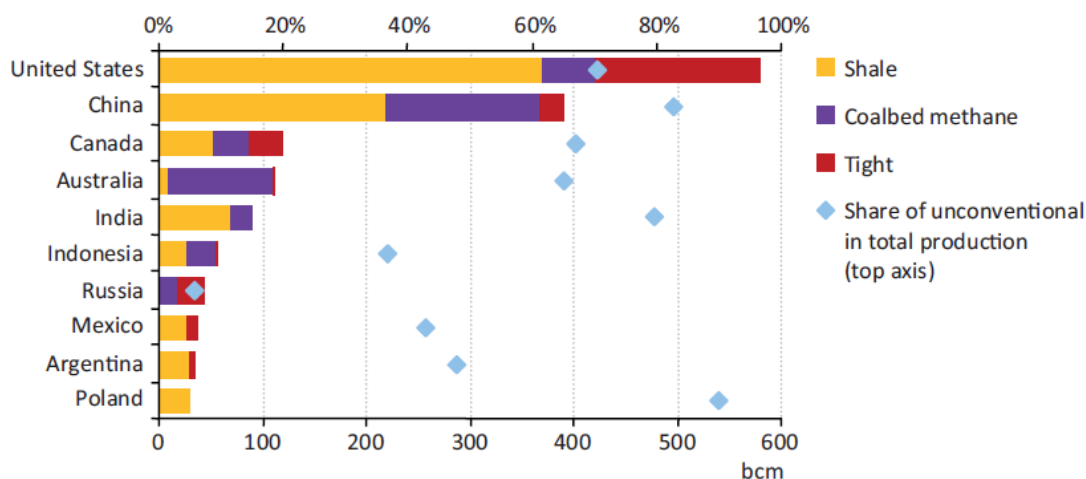
Όσον αφορά την αγορά της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο IEA εκτιμά ότι το μερίδιο του φυσικού αερίου στη συνολική ζήτηση ενέργειας θα κυμανθεί μεταξύ 23 – 31 %, σε σύγκριση με το 25% του 2009 (IEA, 2011). Σύμφωνα με τον Energy Roadmap 2050 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, ο ρόλος που θα διαδραματίσει το φυσικό αέριο θα είναι εξίσου σημαντικός σε όλα τα σενάρια, καθώς αναμένεται να αντιπροσωπεύει το 22 - 25 % της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας μέχρι το 2030 και το 19 – 26 % έως το 2050 (European Commission, 2011). Ο Energy Roadmap 2050 (Ενεργειακός Χάρτης Πορείας μέχρι το 2050) εκδόθηκε στις 15 Δεκεμβρίου του 2011 από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και με τον οποίο φιλοδοξεί να επιτύχει τον στόχο της Ε.Ε. να

μειώσει έως το 2050 τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε ποσοστό 80-95%, διατηρώντας ταυτόχρονα την ασφάλεια του εφοδιασμού και την ανταγωνιστικότητα.

Στα σενάρια απεξάρτησης από τον άνθρακα η κατανάλωση φυσικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση, σε απόλυτες τιμές, αναμένεται να παρουσιάσει μείωση εξαιτίας της προόδου που αναμένεται να έχει η ενεργειακή απόδοση. Ωστόσο το φυσικό αέριο προβλέπεται να παίζει καίριο ρόλο στα επόμενα χρόνια κυρίως λόγω του «πράσινου» του χαρακτήρα, σε σχέση με τα υπόλοιπα ορυκτά καύσιμα, αποτελώντας παράλληλα το ιδανικό συμπλήρωμα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (energia.gr). Εκτός του τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, σημαντικός είναι και ο ρόλος που διαδραματίζει στον τομέα των πετροχημικών, ενώ την ίδια στιγμή παρουσιάζονται μεγάλες πιθανότητες αύξησης του ποσοστού συμμετοχής του στον τομέα των μεταφορών (World Energy Council, 2012).

6.3. Μελλοντικές εκτιμήσεις

Σε αντίθεση με τις συμβατικές πηγές φυσικού αερίου και πετρελαίου, οι οποίες βρίσκονται ως επί το πλείστον συγκεντρωμένες στη Μέση Ανατολή, στην Αφρική και την Ευρασία, το σχιστολιθικό αέριο καθώς και άλλες πηγές μη συμβατικού αερίου ακολουθούν εντελώς διαφορετικό μοτίβο (Verrastro et al., 2010). Στην Εικόνα 6.1 παρουσιάζονται οι 10 μεγαλύτεροι παραγωγοί μη συμβατικού αερίου για το 2035, βάσει του αισιόδοξου σεναρίου “Golden Rules” του IEA (International Energy Agency). Το σενάριο αυτό στηρίζεται σε μια σειρά από ευνοϊκές παραδοχές σχετικά με «τους όρους που έχουν τεθεί σε εφαρμογή για να καταστεί δυνατή μια συνεχόμενη παγκόσμια επέκταση της προμήθειας φυσικού αερίου από μη συμβατικές πηγές. Αυτό επιτρέπει στην παραγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου να επεκταθεί όχι μόνο στη Βόρεια Αμερική αλλά και σε άλλες χώρες, με σημαντικά αποθέματα, σε όλο τον κόσμο». Από την εικόνα αυτή, όπου παρουσιάζεται η κατάσταση που προβλέπεται να υπάρξει μελλοντικά σε επίπεδο βασικών περιοχών/ηπείρων, συμπεραίνουμε ότι η παραγωγή φυσικού αερίου από μη συμβατικές πηγές αποτελεί πλέον παγκόσμιο φαινόμενο, ενώ φαίνεται παράλληλα να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη συνολική παραγωγή φυσικού αερίου των συγκεκριμένων περιοχών.



Εικόνα 6.1.: Οι 10 μεγαλύτερες παραγωγές χώρες μη συμβατικού αερίου, στο σενάριο "Golden Rules", για το 2035 (IEA, 2012)

Στη συνέχεια αποτυπώνεται η εκτίμηση της μελλοντικής κατάστασης σε επίπεδο αυτών των περιοχών.

6.3.1. Ευρώπη και Ρωσία

Η παραγωγή φυσικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση αναμένεται να φθάσει τα 165 bcm το 2035, καθώς η ζήτηση φυσικού αερίου (εντός ΕΕ) προβλέπεται να ανέλθει στα 644 bcm, με την εξάρτηση από τις εισαγωγές να αυξάνεται στο 74% (από 63% το 2010 και 73% το 2020). Επίσης ένα ποσοστό της τάξεως του 47% (ή 77 bcm) της συνολικής παραγωγής φυσικού αερίου στην ΕΕ θα προέρχεται από μη συμβατικές πηγές (IEA, 2012).

Το μη συμβατικό αέριο, σε σύγκριση με τα σημερινά επίπεδα, δεν φαίνεται να μειώνει την εξάρτηση της ΕΕ από τις εισαγωγές. Ωστόσο προβλέπεται να παίζει αντισταθμιστικό ρόλο στη μείωση που αναμένεται να παρατηρηθεί στην παραγωγή φυσικού αερίου από συμβατικές πηγές μετά το 2020. Συγκρίνοντας τις τιμές με το σενάριο χαμηλής παραγωγής μη συμβατικών (low unconventional scenario) του ΙΕΑ (όπου ουσιαστικά δεν παρατηρείται παραγωγή μη συμβατικού αερίου) για το 2035, η διαφορά αυτή φτάνει σε ένα ποσοστό της τάξεως του 11%.

Ενώ πιστεύεται ότι υπάρχουν σε αρκετά μέρη της ΕΕ αποθέματα μη συμβατικού αερίου, ο ΙΕΑ στο Golden Rules σενάριο της, αναμένει μόνο την Πολωνία να καταφέρνει να κατατάσσεται μεταξύ των δέκα μεγαλύτερων παραγωγών μη συμβατικού αερίου στον κόσμο. Καθώς όμως οι εκτιμήσεις του ΙΕΑ που αφορούν τα

αποθέματα βασίζονται στις μελέτες των Rogner (Rogner, 1997) και της Advanced Resources International (ARI), δημοσιευμένη από την Energy Information Administration (EIA) (EIA / ARI, 2011), μια πιο πρόσφατη μελέτη του Πολωνικού Γεωλογικού Ινστιτούτου (PGI - Polish Geological Institute, 2012), αναφέρει ότι τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα είναι κατά δέκα φορές μικρότερα. Ωστόσο θα χρειαστεί μεγαλύτερος αριθμός ερευνητικών γεωτρήσεων έως ότου καταλήξουν σε πιο ασφαλείς εκτιμήσεις. Συνέπεια των πιο πάνω είναι η παραγωγή μη συμβατικών καυσίμων στην ΕΕ, να καταστεί λιγότερο υποσχόμενη από τις εκτιμήσεις του σεναρίου Golden Rules.

Επίσης, κρίνεται αναγκαία η αναφορά σε δύο χώρες εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης, την Ουκρανία και τη Ρωσία. Στο σενάριο Golden Rules, η Ουκρανία θα μπορούσε να παράγει 3 bcm μη συμβατικού αερίου το 2020 και περίπου 20 bcm το 2035, ποσοστό 3% της προβλεπόμενης ζήτησης στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ωστόσο δεν θα τα καταφέρει να μετατραπεί σε εξαγωγέα φυσικού αερίου, αντ' αυτού θα επιφέρει μείωση στην εξάρτηση από τις εισαγωγές από τη Ρωσία. Όσον αφορά τη Ρωσία, δεδομένου των τεραστίων αποθεμάτων συμβατικού φυσικού αερίου, ενδεχόμενα κοιτάσματα μη συμβατικού πιθανόν να θεωρηθούν κατώτερης σημασίας (Natural Gas Europe).

6.3.2. Βόρειος Αμερική

Ακόμη και στο πιο αισιόδοξο, για το φυσικό αέριο προερχόμενο από μη συμβατικές πηγές, σενάριο, η Βόρειος Αμερική δεν αναμένεται να εξάγει σημαντικές ποσότητες σε άλλες περιοχές (όπως η Ευρώπη). Τα επίπεδα των εξαγωγών προβλέπονται να είναι μικρά, συγκρίνοντας τα με το συνολικό μέγεθος της αγοράς φυσικού αερίου των ΗΠΑ, ενώ δεν πρόκειται να παίξουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της τιμής στην εγχώρια αγορά (ωστόσο στις ξένες αγορές αναμένεται να είναι σημαντικός παράγοντας).

Στο Golden Rules scenario του IEA, η παραγωγή μη συμβατικού αερίου στις ΗΠΑ θα ανέλθει στο 71% της συνολικής παραγωγής του 2035. Επίσης, αναμένεται να καταστεί εξαγωγέας φυσικού αερίου, εξάγοντας 34 bcm, ποσότητα που αντιστοιχεί στο 5% της ζήτησης φυσικού αερίου στην Ευρώπη (692 bcm) για το έτος 2035. Η ζήτηση για φυσικό αέριο στον Καναδά στο συγκεκριμένο σενάριο αναμένεται να

αυξηθεί ραγδαία, με αποτέλεσμα οι εξαγωγές να μειωθούν κατακόρυφα, από περίπου 65 bcm το 2010 στα 25 bcm το 2035. Το Μεξικό, αν και θα έχει δική του παραγωγή μη συμβατικού αερίου, θα χρειαστεί να εισάγει γύρω στα 19 bcm φυσικού αερίου, ποσότητα που αντιστοιχεί σε ποσοστό 18% της εγχώριας ζήτησης.

6.3.3. Ασία

Η βιωσιμότητα των εγχώριων αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου πιθανόν να επηρεάσει τους πολιτικούς ηγέτες στην απόφασή τους για το αν θα επιτρέψουν στο φυσικό αέριο να καταλάβει μεγαλύτερο ποσοστό στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Εάν το μη συμβατικό φυσικό αέριο γνωρίσει άνθιση στην Κίνα, θα μπορούσε να καλύψει το 80% περίπου της προβλεπόμενης ζήτησης από δική της παραγωγή, αυξάνοντας ταυτόχρονα το μερίδιο του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο, από 4% που είναι σήμερα στο 13% το 2035 (IEA, 2012).

Παρόλο που και η Ινδία εκτιμάται να έχει σημαντικά αποθέματα σχιστολιθικού φυσικού αερίου, εντούτοις μόνο ένα ποσοστό της τάξεως του 20% θεωρείται προσβάσιμο. Σύμφωνα με τον IEA, εξαιτίας των μεγάλων προβλεπόμενων αναγκών εισαγωγής φυσικού αερίου, θεωρείται σχεδόν απίθανη μια πλήρης απαγόρευση του σχιστολιθικού φυσικού αερίου. Ωστόσο, με βάση τις τρέχουσες εκτιμήσεις, τα αποθέματα μη συμβατικού φυσικού αερίου είναι αρκετά για να επιφέρουν μόνο μια μικρή μείωση στις εισαγωγές.

Αντίθετα, στην Ινδονησία, το σχιστολιθικό αέριο και το μεθάνιο από στρώματα άνθρακα θα μπορούσε να συμβάλει στην ενίσχυση της θέσης της Ινδονησίας ως χώρα εξαγωγής. Το πιο σημαντικό, η παραγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου θα μπορούσε να συμπληρώσει την μεγάλη παραγωγή συμβατικού αερίου της Ινδονησίας και πιθανότατα να αντιπροσωπεύει το 37% της συνολικής παραγωγής φυσικού αερίου το 2035.

6.3.4. Αυστραλία

Στην Αυστραλία η παραγωγή μη συμβατικού αερίου θα μπορούσε να φθάσει περίπου τα 60 bcm το 2020 και κοντά στα 110 bcm το 2035. Οι εξαγωγές αναμένεται να φτάσουν τα 120 bcm, από 20 bcm που ήταν το 2010, ποσότητα που αντιστοιχεί στο 19% της προβλεπόμενης ζήτησης φυσικού αερίου για την ΕΕ το 2035. Εάν η Ευρώπη

αποφασίσει να εισάγει μέρος του φυσικού αερίου, αυτό θα εξαρτηθεί από μια σειρά παραγόντων, όπως τα έξοδα μεταφοράς του LNG, αλλά και από τις εξελίξεις στα θέματα ζήτησης και προσφοράς στην Ασία.

6.4. Η συμβολή του σχιστολιθικού αερίου στην οικονομική ανάπτυξη των ΗΠΑ

Το σχιστολιθικό αέριο, όντας μια φτηνή εγχώρια πηγή ενέργειας, αποτέλεσε για τις ΗΠΑ, σημαντική κινητήρια δύναμη οικονομικής ανάπτυξης. Μαζί με τη βιομηχανία σχιστολιθικού πετρελαίου, οι οποίες είναι και οι δύο βιομηχανίες υψηλής έντασης κεφαλαίου (Capital Intensive) και ανταπόδοσης (high-paying), απέφεραν στις ΗΠΑ επενδύσεις κεφαλαίων που ανήλθαν στα \$87 δισεκατομμύρια για το 2012. Το ποσό αυτό αναμένεται να φτάσει τα \$172,5 δισεκατομμύρια ανά έτος μέχρι το τέλος της τρέχουσας δεκαετίας και τα \$5,1 τρισεκατομμύρια το έτος 2035 (API , 2013).

Τη βιομηχανία σχιστολιθικού αερίου τη χαρακτηρίζει ένας από τους μεγαλύτερους «πολλαπλασιαστές απασχόλησης», καθώς η κάθε διαδικασία όρυξης μίας γεώτρησης εκτιμάται ότι δημιουργεί τρεις έως τέσσερις άλλες θέσεις εργασίας (όπως π.χ. για την προμήθεια των μηχανημάτων, τις γεωλογικές έρευνες, καθώς και για τις χρηματοπιστωτικές υπηρεσίες) (IHS). Δεν θα πρέπει να αποτελεί έκπληξη το γεγονός, ότι η πολιτεία της Βόρειας Ντακότας, εντός των ορίων της οποίας βρίσκεται μέρος του σχιστολιθικού σχηματισμού Bakken, παρουσιάζει το χαμηλότερο ποσοστό ανεργίας στη χώρα (Department of Numbers).

Σύμφωνα με την IHS, η εξόρυξη σχιστολιθικού πετρελαίου και αερίου απασχολούσε 1,7 εκατομμύρια εργαζόμενους στις ΗΠΑ το 2012. Ο αριθμός αυτός αναμένεται να φτάσει τα 3 εκατομμύρια το 2020, αντιπροσωπεύοντας το 2% της συνολικής απασχόλησης στις ΗΠΑ, αποτελώντας έτσι ένα σημαντικό όφελος σε μια οικονομία όπου έχουν χαθεί εκατομμύρια θέσεις εργασίας από το 2008 (IHS).

Η αξιοποίηση, των προερχόμενων από σχιστολιθικούς σχηματισμούς, υδρογονανθράκων δίνει τη δυνατότητα στους γαιοκτήμονες να βελτιώσουν τα οικονομικά τους. Σε εθνικό επίπεδο, η Ένωση Κατόχων Τίτλων (National Association of Royalty Owners) εκτιμά ότι τα δικαιώματα από φυσικό αέριο, για το έτος 2010, ανήλθαν στα \$21 δισεκατομμύρια. Το μεγαλύτερο ποσό σε δικαιώματα αερίου εκταμιεύθηκε στην πολιτεία του Τέξας και ανήλθε στα \$6,7 δισεκατομμύρια,

ακολουθούμενο το Wyoming με \$2 δισεκατομμύρια και την Αλάσκα στα \$1,9 δισεκατομμύρια. Ακριβείς εκτιμήσεις των πληρωμών από τα δικαιώματα δεν κατέστησαν εφικτές, καθώς οι συμβάσεις και οι τιμές χονδρικής πώλησης του φυσικού αερίου ποικίλουν, αλλά και στο ότι κάποιες συγκεκριμένες φορολογικές πληροφορίες εμπίπτουν στη πολιτική του ιδιωτικού απορρήτου. Ωστόσο, η ένωση κατόχων τίτλων, από εκτιμήσεις των συνολικών εσόδων από όλα τα δικαιώματα και από δεδομένα από χιλιάδες συμβάσεις τα οποία εδόθησαν στη δημοσιότητα από κάποιες πολιτείες, κατέληξε ότι ο μέσος όρος των δικαιωμάτων ανέρχεται στο 18,75% της παραγωγής φυσικού αερίου (Yahoo News).

Ακόμη πιο σημαντικές, όμως, είναι οι επιπτώσεις στους καταναλωτές. Η «έκρηξη» της παραγωγής σχιστολιθικού φυσικού αερίου προκάλεσε κατακόρυφη πτώση στις τιμές πώλησης του φυσικού αερίου, με το 2012 να πωλείται με τιμές μικρότερες του ενός τρίτου της αξίας που είχε το 2008 (EIA). Αντίθετα, οι τιμές του φυσικού αερίου στην Ευρώπη (Ηνωμένο Βασίλειο \$9,90/MMBtu) και την Ασία (Νοτιοανατολική Ασία \$17,40) είναι τρεις έως πέντε φορές υψηλότερες, δίνοντας έτσι μια αίσθηση για το πώς θα ήταν οι τιμές στις ΗΠΑ εάν καθορίζονταν από τις εισαγωγές φυσικού αερίου, αντί από την εγχώρια παραγωγή σχιστολιθικού αερίου (IEA , 2012).

Οι εξοικονομήσεις αυτές αντανακλώνονται σε ολόκληρη την οικονομία της χώρας, δεδομένου ότι πάνω από το ήμισυ της ενεργειακής κατανάλωσης των ΗΠΑ χρησιμοποιείται για θέρμανση και ηλεκτρισμό σε κατοικίες και εμπορικά κτίρια (MIT, 2011). Για κάθε αμερικάνικο νοικοκυριό η εξοικονόμηση φτάνει κατά μέσο όρο τα \$926 ανά έτος, σχεδόν το 2% του μέσου εισοδήματός τους, ενώ προβλέπεται να φτάσει τα \$2000 δολάρια το 2035 (IHS, 2011), (United States Census Bureau).

Δεδομένου ότι οι επιχειρήσεις ξοδεύουν μεγάλα ποσά για την ενέργεια, οι εξοικονομήσεις αυτές τους παρέχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τα κόστη αυξάνοντας παράλληλα τα κέρδη τους όπως επίσης και να προσλάβουν μεγαλύτερο αριθμό εργαζομένων. Οι μειώσεις στις τιμές του φυσικού αερίου, για παράδειγμα, αναμένεται να επιφέρουν μείωση στις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας κατά 10%, προκαλώντας, στη βιομηχανική παραγωγή, μια αύξηση της τάξεως του 2,9% το 2017, και 4,7% το 2035 (IHS, 2011). Οι πιο σημαντικές επιπτώσεις προβλέπεται να παρατηρηθούν στις ενεργοβόρες βιομηχανίες, όπως αυτή του γυαλιού, του χάλυβα, του τσιμέντου, του αλουμινίου και ειδικότερα στη βιομηχανία των πετροχημικών. Ως

αποτέλεσμα της μείωσης των τιμών του φυσικού αερίου στις ΗΠΑ, η Methanex θα μετεγκαταστήσει ένα εργοστάσιο της από την Χιλή στην πολιτεία της Λουιζιάνα, ενώ εταιρείες όπως η Dow Chemical, η Chevron Philips και η Exxon Mobil έχουν επίσης εξαγγείλει νέες επενδύσεις στις ΗΠΑ (ICIS). Αναλυτές του κλάδου εκτιμούν από τα μειωμένα κόστη των πετροχημικών και της ενέργειας θα δημιουργηθούν ακόμη ένα εκατομμύριο θέσεις εργασίας στη βιομηχανία των ΗΠΑ έως το 2025 (PWC, 2012).

Καθώς το ένα τρίτο της κατανάλωσης ενέργειας των ΗΠΑ είναι για τη μεταφορά, το φθινό φυσικό αέριο μπορεί να έχει ακόμη μεγαλύτερο αντίκτυπο μακροπρόθεσμα αντικαθιστώντας το πετρέλαιο στα αυτοκίνητα, τα φορτηγά και τα λεωφορεία (MIT, 2011). Η κίνηση των οχημάτων με χρήση φυσικού αερίου είναι πλέον εφικτή και λαμβάνοντας υπόψη ότι το φυσικό αέριο τώρα κοστίζει λιγότερο από το ένα πέμπτο του κόστους του πετρελαίου για μία ενεργειακά ισοδύναμη βάση (energy - equivalent basis), δημιουργείται ένα ισχυρό οικονομικό κίνητρο για την υποκατάσταση του πετρελαίου από το φυσικό αέριο (Murphy, 2012).

Σήμερα, τα πρατήρια υγρών καυσίμων και άλλες υποδομές είναι κατά συντριπτική πλειοψηφία, επικεντρωμένα στο πετρέλαιο. Αυτό δεν αποτελεί θέμα, όμως, για τα λεωφορεία, τα απορριμματοφόρα και άλλα δημοτικά οχήματα, που έχουν τις δικές τους εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού. Ως αποτέλεσμα, ένας αυξανόμενος αριθμός επιχειρήσεων και δήμων αγοράζουν λεωφορεία και φορτηγά τα οποία κινούνται με φυσικό αέριο (Yahoo Finance). Τα ηλεκτρικά αλλά και τα υβριδικά οχήματα μπορούν επίσης να τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με φυσικό αέριο ενώ παράλληλα υπάρχουν χημικές διαδικασίες για τη μετατροπή του φυσικού αερίου σε υγρό καύσιμο (MIT, 2011). Έτσι εάν η τεράστια διαφορά των τιμών μεταξύ του φυσικού αερίου και πετρελαίου παραμείνει, θα πρέπει να θεωρηθεί θέμα χρόνου πλέον η υιοθέτηση της τεχνολογίας του φυσικού αερίου στα συνηθισμένα αμάξια και φορτηγά.

Όλα αυτά τα οικονομικά οφέλη θα αντανακλώνται, με διάφορους τρόπους, στο ισοζύγιο πληρωμών της χώρας. Το έλλειμμα του ισοζυγίου των τρεχουσών συναλλαγών των Ηνωμένων Πολιτειών για το 2012 εκτιμάται ότι είναι \$695 δισεκατομμύρια, στα οποία περιλαμβάνονται \$319 δισεκατομμύρια από τις εισαγωγές πετρελαίου (Larson, 2012). Εάν δεν λάμβανε χώρα η αύξηση στην παραγωγή σχιστολιθικού πετρελαίου και φυσικού αερίου από το 2008, το έλλειμμα θα ήταν

κατά 25% μεγαλύτερο (επιπλέον \$70 δισεκατομμύρια από το πετρέλαιο και \$100 δισεκατομμύρια από το φυσικό αέριο για συνολικά \$865 δισεκατομμύρια) (IHS, 2011). Εάν η εγχώρια παραγωγή πετρελαίου αυξηθεί όπως αναμένεται, το έλλειμμα θα μειωθεί περαιτέρω, κατά \$185 δισεκατομμύρια (ή 27%) μέσα στα επόμενα χρόνια. Στην περίπτωση που η χώρα ακολουθήσει εξαγωγική πολιτική σε ότι αφορά το φυσικό αέριο, το έλλειμμα προβλέπεται να μειωθεί ακόμη περισσότερο.

Συνοψίζοντας, το σχιστολιθικό πετρέλαιο και φυσικό αέριο συνεισέφεραν πέραν των \$237 δισεκατομμυρίων στο ΑΕΠ των ΗΠΑ για το 2012, ενώ το νούμερο αυτό αναμένεται να φτάσει τα \$416 δισεκατομμύρια το 2020 και τα \$475 δισεκατομμύρια για το 2035 (ή το 2% του ΑΕΠ της χώρας). Ομοίως, το σχιστολιθικό πετρέλαιο και φυσικό αέριο απέφεραν πέραν των \$61 δισεκατομμυρίων σε ομοσπονδιακά και πολιτειακά δημόσια έσοδα για το 2012. Το ποσό αυτό προβλέπεται να ανέλθει στα \$91 δισεκατομμύρια το 2015 και στα \$111 δισεκατομμύρια το 2020. Το 2035, το οποίο είναι και το τελευταίο έτος της περιόδου των προβλέψεων (forecast period), τα δημόσια έσοδα θα ξεπεράσουν τα \$124 δισεκατομμύρια (IHS).

6.5. Επιπτώσεις στην παγκόσμια αγορά φυσικού αερίου λόγω του σχιστολιθικού αερίου

Η δραματικά αυξημένη εγχώρια παραγωγή των ΗΠΑ έχει μετατρέψει τον μεγαλύτερο καταναλωτή φυσικού αερίου στον κόσμο σε δυνητικό εξαγωγέα. Απομένει να αποτιμηθούν οι επιπτώσεις που θα έχουν οι πιθανές μελλοντικές εξαγωγές σχιστολιθικού φυσικού αερίου των ΗΠΑ, στις διεθνείς αγορές φυσικού αερίου.

Παρόλο που με τις παρούσες χαμηλές τιμές στις Ηνωμένες Πολιτείες το φυσικό αυτό αέριο θα μπορούσε να είναι ανταγωνιστικό στις παγκόσμιες αγορές, δεν έχει ακόμη αποδειχθεί στην πράξη. Τα φυσικά χαρακτηριστικά του φυσικού αερίου, τα οποία δημιουργούν μια μεγάλη εξάρτηση στις μεταφορές διαμέσου αγωγών, σε αντίθεση με τις παγκόσμιες αγορές πετρελαίου, έχουν οδηγήσει στη δημιουργία τοπικών αγορών για το φυσικό αέριο (MIT, 2011). Αυτό αποτελεί συνέπεια του σχετικά υψηλού κόστους μεταφοράς και αποθήκευσης, σε σύγκριση με το πετρέλαιο, το οποίο χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου (Rogers, 2012). Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) φαίνεται να αλλάζει σιγά-σιγά την παραδοσιακή αυτή εικόνα.

Ωστόσο, εάν το σχιστολιθικό αέριο αναπτυσσόταν σε πολλά διαφορετικά μέρη του κόσμου, αυτό πράγματι θα μπορούσε να οδηγήσει σε λιγότερο διαπεριφερειακό εμπόριο φυσικού αερίου από ότι το συμβατικό φυσικό αέριο, λόγω της μεγαλύτερης γεωγραφικής διασποράς των πόρων σχιστολιθικού αερίου. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την ανάλυση σεναρίου στην αναφορά (Unconventional Gas: Potential Energy Market Impacts in the European Union,) του JRC (Joint Research Center), η οποία ωστόσο δείχνει ότι η παγκόσμια αγορά φυσικού αερίου θα αυξηθεί σε κάθε περίπτωση αλλά πολύ περισσότερο στην περίπτωση ενός σεναρίου, το οποίο περιλαμβάνει μια σχετικά μέτρια παραγωγή σχιστολιθικού φυσικού αερίου (JRC, 2012).

Τη στιγμή αυτή, μόνο στη Βόρειο Αμερική παρατηρείται εμπορική εκμετάλλευση σχιστολιθικού φυσικού αερίου. Σύμφωνα με την EIA (Energy Information Administration), μεγάλα αποθέματα απαντώνται σε όλο τον κόσμο, κυρίως στην Κίνα, την Αργεντινή, τη Νότια Αφρική και σε μέρη της Ευρώπης. Το γεγονός ότι τα αποθέματα σχιστολιθικού φυσικού αερίου είναι περισσότερο γεωγραφικά διάσπαρτα από αυτά του συμβατικού φυσικού αερίου, μπορεί να συμβάλει στη διεύρυνση της αγοράς. Αν και οι εκτιμήσεις αυτές δείχνουν ότι η Κίνα θα μπορούσε να είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός σχιστολιθικού αερίου στον κόσμο - με δυναμικό 1275 Tcf (σε σύγκριση με 862 Tcf στις Ηνωμένες Πολιτείες στην ίδια εκτίμηση) – μένει μόνο να διαπιστωθεί εάν οι γεωλογικές συνθήκες επιτρέπουν αυτή την αξιοποίηση. Θεωρητικά είναι αδύνατο να αναφερθεί το μέγεθος των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου, το οποίο μπορεί στην πραγματικότητα να παραχθεί εμπορικά. Επιπλέον, πολλά ερωτήματα παραμένουν σχετικά με τα επαρκή αποθέματα νερού, την απαραίτητη επέκταση των υποδομών, τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς και ούτω καθεξής.

Μέχρι στιγμής, οι επιδράσεις της αμερικανικής παραγωγής σχιστολιθικού αερίου, είναι κατ' αποκλειστικότητα έμμεσες. Έτσι, το υδροποιημένο φυσικό αέριο το οποίο προοριζόταν για τις Ηνωμένες Πολιτείες, οδηγήθηκε σε άλλες αγορές, κυρίως ευρωπαϊκές και ασιατικές, καθώς οι ΗΠΑ θα μπορούσαν να ικανοποιήσουν το μεγαλύτερο μέρος της εγχώριας ζήτησης φυσικού αερίου με εθνικούς πόρους. Στην Ευρώπη, αυτό έχει οδηγήσει σε μερική αναδιαπραγμάτευση των μακροπρόθεσμων συμβάσεων με, για παράδειγμα, τη Ρωσική Gazprom, για τη διαφορά μεταξύ των

τιμών της τρέχουσας αγοράς φυσικού αερίου και των μακροπρόθεσμων συμβάσεων. Η διαφορά αυτή είχε μεγαλώσει τόσο πολύ με αποτέλεσμα μεγάλοι καταναλωτές να απαιτούν την αναθεώρηση των υφισταμένων συμβάσεων (DNV KEMA, 2013). Ως εκ τούτου, η αλληλεξάρτηση μεταξύ της Ρωσίας και της ΕΕ όσον αφορά το φυσικό αέριο, αναμένεται να αλλάξει. Είναι φανερό ότι οι Ρώσοι δεν φαίνονται καθόλου ενθουσιασμένοι με τη μεγάλης κλίμακας εκμετάλλευση σχιστολιθικού αερίου, δεδομένης της δεσπόζουσας θέσης τους στην αγορά και της απειλής του σχιστολιθικού φυσικού αερίου υπό τη μορφή του αυξημένου ανταγωνισμού (Ponars Eurasia, 2013).

Στην Ευρώπη, ο ανταγωνισμός των τιμών θα καθορίσει κατά πόσο το φυσικό αέριο προερχόμενο από τις ΗΠΑ, μπορεί να ανταγωνιστεί το φυσικό αέριο (pipeline gas) από χώρες όπως η Ρωσία, η Νορβηγία και υδροποιημένου φυσικού αερίου από χώρες όπως το Κατάρ. Ορισμένες μελέτες δείχνουν ότι, το παραγόμενο στις ΗΠΑ σχιστολιθικό αέριο στην πραγματικότητα θα αποδειχθεί πολύ ακριβό για αυτό τον ανταγωνισμό (Bunchan, 2013).

Ωστόσο, το τέλος της ρωσικής κυριαρχίας στις Ευρωπαϊκές προμήθειες φυσικού αερίου, όπως προβλέπεται από ορισμένους, δεν είναι ούτε πιθανή αλλά ούτε και επιθυμητή. Είναι απίθανη, μέχρι να λάβει χώρα μεγάλης κλίμακας εξόρυξη σχιστολιθικού φυσικού αερίου στην Ευρώπη και επιπλέον, εάν το σχιστολιθικό αέριο που παράγεται σε άλλα μέρη του κόσμου, καταναλώνεται ως επί το πλείστον εκεί ή όχι (Gloystein, 2013) (Ratner, Belkin, Nichol, & Woehrel, 2013). Θα πρέπει να θεωρηθεί σχεδόν σίγουρο ότι η πλειοψηφία του ευρωπαϊκού φυσικού αερίου θα εισάγεται και ότι οι τιμές θα υπαγορεύουν ότι ένα σημαντικό μέρος αυτού του αερίου θα προέρχεται από τη Ρωσία. Καθώς πέραν από το ήμισυ των κρατικών εσόδων της Ρωσίας προέρχεται από τις εξαγωγές πετρελαίου και φυσικού αερίου, τυχόν απότομες αλλαγές στο μοτίβο αυτό να οδηγήσουν σε σημαντικές εγχώριες επιπτώσεις (Reasearch Triangle Energy Consortium).

6.5.1. Πτώση της τιμής του φυσικού αερίου (λόγω του σχιστολιθικού αερίου)

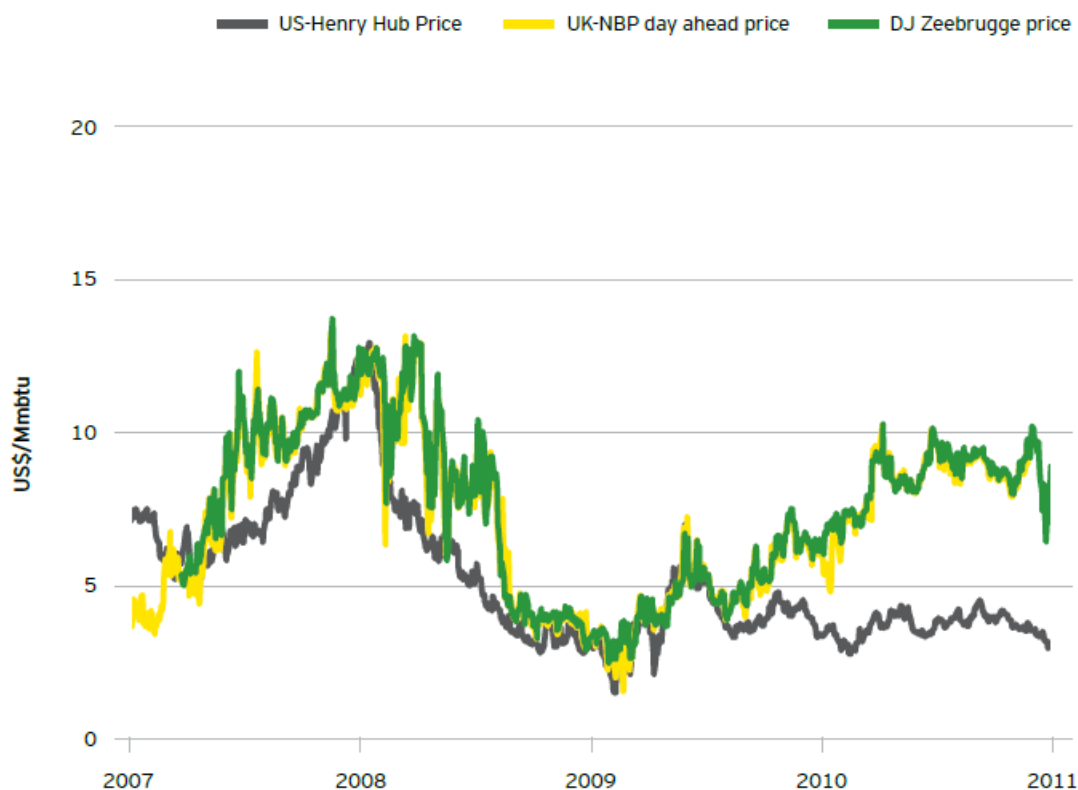
Τα οικονομικά στοιχεία του σχιστολιθικού αερίου (Shale gas economics) έχουν επηρεαστεί αρνητικά από την πτώση των τιμών του φυσικού αερίου. Τα τελευταία χρόνια η τιμή του φυσικού αερίου έχει μειωθεί περισσότερο από 75%, από περίπου

δέκα δολάρια ανά χίλια κυβικά πόδια (MCF) το 2008 σε μια τιμή της τάξεως των τριών με τεσσάρων δολαρίων ανά MCF το 2011 (Energy Information Administration 2012). Δύο από τους σημαντικότερους λόγους για αυτή την κατάρρευση των τιμών ήταν η οικονομική κρίση που προκάλεσε μια γρήγορη, σοβαρή πτώση των τιμών καθώς και η σημερινή υπερπροσφορά φυσικού αερίου, η οποία με τη σειρά της μείωσε περαιτέρω και διατήρησε τις τιμές κάτω από τα τέσσερα δολάρια ανά MCF. Η οικονομική κρίση του 2008 προκάλεσε μείωση των τιμών σε όλα σχεδόν τα προϊόντα και ενώ σε μερικά η τιμή τους έχει ανακτηθεί, η τιμή του φυσικού αερίου δεν έχει μέχρι στιγμής παρουσιάσει καμία αξιοσημείωτη ανοδική δυναμική (Krauss, 2008) (Energy Information Administration 2012). Επιπλέον, οι τρέχουσες συνθήκες της αγοράς του φυσικού αερίου έχουν οδηγήσει σε προβλέψεις από την Energy Information Administration, οι οποίες δεν αναμένουν τις μέσες ετήσιες τιμές φυσικού αερίου (τιμή εξόρυξης στην κεφαλή της γεώτρησης, wellhead) να αυξηθούν πολύ πέραν των \$5 μέχρι τουλάχιστον το 2025 (Energy Information Administration 2010).

Όταν οι τιμές του φυσικού αερίου έφταναν περίπου τα δέκα δολάρια ανά MCF υπήρχε μια μεγαλύτερη ανοχή σχετικά με το υψηλότερο κόστος παραγωγής του σχιστολιθικού αερίου όπως και με την ευχέρεια που δινόταν στις εταιρείες να προσφέρουν υψηλά δικαιώματα (Royalties) και μερίσματα (bonus) καθώς ήταν σε θέση να παρουσιάσουν αρκετά δολάρια κέρδος σε κάθε MCF του φυσικού αερίου που θα πωλούσαν. Οι χαμηλές τιμές του φυσικού αερίου, πιθανόν να κάνουν ακόμη και τα πιο κερδοφόρα έργα να φαίνονται ως οριακά κερδοφόρα και παράλληλα τις εταιρείες να αρχίσουν την επανεκτίμηση των δραστηριοτήτων παραγωγής τους σε αρκετούς σχηματισμούς (Fahey, 2012).

Το κόστος παραγωγής του σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη πιθανόν να είναι υψηλότερο από ότι στις ΗΠΑ, τουλάχιστον μέχρι να κατανοηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό η γεωλογία της περιοχής και να παρουσιάσει βήματα προόδου η τεχνολογία ώστε να βοηθήσει περαιτέρω στη μείωση του κόστους. Ο IEA (International Energy Agency) εκτιμά ότι το κόστος παραγωγής του σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ κυμαίνεται μεταξύ \$3/MBtu και \$7/MBtu, ενώ κάποιες εκτιμήσεις από διάφορους οργανισμούς κάνουν λόγο ότι το μέσο κόστος παραγωγής στην Ευρώπη θα μπορούσε να κυμανθεί μεταξύ \$8/MBtu και \$12/MBtu (IEA, 2012)_(European Commission's JRC, 2012). Ωστόσο, παρά το υψηλότερο κόστος παραγωγής, οι σχετικά υψηλότερες

τιμές πώλησης του φυσικού αερίου που μπορούν να επιτευχθούν στην Ευρώπη, καθιστούν τα έργα αξιοποίησης σχιστολιθικού αερίου οικονομικά εφικτά. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί και από την Εικόνα 6.2 οι τιμές του φυσικού αερίου στην Ευρώπη, από το 2008, παρέμειναν υψηλότερες από ότι στις ΗΠΑ.



Εικόνα 6.2.: Οι τιμές του φυσικού αερίου σε ΗΠΑ και Ευρώπη (Thomson Datastream)

6.5.2. Κόστος παραγωγής σχιστολιθικού αερίου

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω βάσει του IEA το κόστος παραγωγής του σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ κυμαίνεται μεταξύ \$3/MBtu και \$7/MBtu, ενώ κάποιες εκτιμήσεις κάνουν λόγο ότι το μέσο κόστος παραγωγής στην Ευρώπη θα μπορούσε να κυμανθεί μεταξύ \$8/MBtu και \$12/MBtu. Η ανάγκη για τη χρήση της τεχνολογίας των οριζόντιων γεωτρήσεων όπως επίσης και της υδραυλικής ρωγμάτωσης, προκειμένου να καταστούν παραγωγικοί οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί οι οποίοι φέρουν αέριο, αυξάνουν κατακόρυφα το κόστος παραγωγής, σε σύγκριση με αυτό του συμβατικού φυσικού αερίου. Εξαιτίας των γεωλογικών παραγόντων των συμβατικών κοιτασμάτων φυσικού αερίου, όπως οι υψηλές τιμές διαπερατότητας και

ο καλά ορισμένος ταμιευτήρας, το φυσικό αέριο έχει τη δυνατότητα να παραχθεί σε εμπορικές ποσότητες από τους συμβατικούς ταμιευτήρες με την όρυξη κατακόρυφων γεωτρήσεων εντός αυτών, χωρίς να είναι αναγκαία η χρήση της όποιας τεχνικής διέγερσης (Naturalgas.org).

Ωστόσο η εκτέλεση ενός αριθμού σταδίων υδραυλικής ρωγμάτωσης, όπως συγκεκριμένα στο σχιστολιθικό σχηματισμό Marcellus, ώστε να γίνει παραγωγική μία γεώτρηση σχιστολιθικού φυσικού αερίου, πιθανόν να κοστίζει πέραν των 2 με 3 εκατομμυρίων δολαρίων ανά γεώτρηση (Hefley & al., 2011). Το μεγαλύτερο κόστος παραγωγής του σχιστολιθικού φυσικού αερίου ήταν πιο ανεκτό όταν οι τιμές του φυσικού αερίου σημείωναν αύξηση ξεπερνώντας ακόμη και τα δέκα δολάρια ανά Mcf. Επιπλέον, το συνδεδεμένο με τα κοιτάσματα σχιστολιθικού φυσικού αερίου υψηλότερο κόστος παραγωγής, μπορεί να δικαιολογηθεί από την πιθανότητα ο σχηματισμός να παράγει μεγαλύτερες ποσότητες φυσικού αερίου σε σύγκριση με άλλα εγχώρια κοιτάσματα συμβατικού αερίου (Considine, 2010).

Η άνοδος των τιμών του φυσικού αερίου έδωσε κίνητρα στο να ακολουθήσει μετέπειτα η έκρηξη στην παραγωγή σχιστολιθικού φυσικού αερίου από μέχρι πρότινος ανεκμετάλλευτους σχηματισμούς όπως π.χ. ο Marcellus. Παράλληλα παρατηρήθηκε σημαντική άνοδος και στο κόστος παραγωγής. Συγκεκριμένα, το κόστος εξοπλισμού όπως επίσης και το λειτουργικό κόστος αυξάνονταν με πιο ραγδαίο ρυθμό από ότι η τιμή του φυσικού αερίου (U.S. Energy Information Administration, 2010).

Σχεδόν όλα τα επιμέρους κόστη στην αξιοποίηση ενός κοιτάσματος σχιστολιθικού φυσικού αερίου, όπως είναι τα γεωτρήματα, το προσωπικό, τα στελέχη της σωλήνωσης, οι προμήθειες και ο εξοπλισμός για την όρυξη της γεώτρησης και την υλοποίηση της υδραυλικής ρωγμάτωσης, παρουσίασαν αύξηση στις τιμές τους. Από το 2002 μέχρι το 2008 το μέσο κόστος λειτουργίας καθώς και του εξοπλισμού, αυξήθηκαν κατά 60% και 65 % αντίστοιχα (U.S. Energy Information Administration, 2010). Τα αυξανόμενα κόστη παραγωγής και δεδομένης της χαμηλής τιμής πώλησης του φυσικού αερίου, έχουν λειτουργήσει ανασταλτικά στην περαιτέρω ανάπτυξη της βιομηχανίας του σχιστολιθικού φυσικού αερίου. Με την πτώση της τιμής του φυσικού αερίου οι εταιρείες δεν έχουν την δυνατότητα να ανταποκριθούν στα

αυξημένα κόστη, αλλά ούτε και οι επενδύσεις τους θα μπορέσουν στην τελική να τους αποφέρουν κέρδη.

Πιθανολογείται ότι το κόστος παραγωγής έχει φτάσει στην κορύφωση του, καθώς η τάση του αυξανόμενου κόστους έχει αρχίσει να αντιστρέφεται πρόσφατα. Οι δαπάνες παρουσίαζαν αυξήσεις από τις αρχές της δεκαετίας του 2000 μέχρι το 2009, όταν τα κόστη λειτουργίας και εξοπλισμού είχαν αρχίσει να μειώνονται κατά αρκετές ποσοστιαίες μονάδες (U.S. Energy Information Administration, 2010). Αυτό ήταν αποτέλεσμα αρκετών παραγόντων, όπως τα μεγαλύτερα και διαθέσιμα αποθέματα γεωτρητικού εξοπλισμού, η μείωση στην καμπύλη εκμάθησης (όσο πιο χαμηλά βρίσκεται η καμπύλη εκμάθησης, τόσο πιο μικρό είναι το κόστος παραγωγής), όπως επίσης και οι χαμηλές τιμές πώλησης οι οποίες επιβραδύνουν την έκρηξη η οποία παρατηρήθηκε στην παραγωγή τα τελευταία χρόνια, καθώς οι εταιρείες επανεκτιμούν τις δραστηριότητες εξόρυξης τους (Schaefer, 2009) (U.S. Energy Information Administration, 2010) (Stevens, 2010). Όσον αφορά τον γεωτρητικό εξοπλισμό, εξακολουθεί να υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση και οποιαδήποτε ανάκαμψη στις τιμές του φυσικού αερίου θα μπορούσε να προκαλέσει και πάλι ταχεία αύξηση στα κόστη παραγωγής στο μέλλον.

6.6. Οι γεωπολιτικές συνέπειες για την Ευρώπη

Από το 2006, η εξάρτηση της ΕΕ από τις εισαγωγές φυσικού αερίου έχει ευρέως θεωρηθεί ως η «Αχίλλειος πτέρνα» της ενεργειακής ασφάλειας της Ευρώπης. Τον Νοέμβριο του 2000 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προειδοποίησε, στην πρώτη «Πράσινη Βίβλο» της, ότι εντός των επόμενων 20-30 ετών ένα ποσοστό της τάξεως του 70% (σήμερα 50%) της ζήτησης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση θα πρέπει να προέρχεται από εισαγωγές. Η παραγωγή ενέργειας της ΕΕ προβλέπεται να μειωθεί από το 46% που είναι σήμερα σε 36% μέχρι το 2020. Οι εισαγωγές αυτές έχουν κοστίζει περίπου €350 δισεκατομμύρια - €700 για κάθε πολίτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (European Commission, 2011). Επιπλέον, το προφίλ των εισαγωγών φυσικού αερίου των 27 κρατών μελών της ΕΕ δεν είναι διαφοροποιημένο καθώς το 84% του εισαγόμενου φυσικού αερίου προέρχεται από τρεις κυρίως χώρες, 42% από τη Ρωσία, 24% τη Νορβηγία και 18% από την Αλγερία. Το υπόλοιπο ποσοστό (16%) προέρχεται από άλλες χώρες, κυρίως υπό τη μορφή υγροποιημένου φυσικού αερίου (Commission of the European Communities, 2008). Τα πράγματα είναι ακόμη

χειρότερα για χώρες όπως η Λετονία, η Εσθονία, η Φινλανδία και η Σλοβακία καθώς εξαρτώνται εξ ολοκλήρου από έναν προμηθευτή, τη ρωσική Gazprom, ενώ την ίδια στιγμή η Βουλγαρία, η Λιθουανία και η Δημοκρατία της Τσεχίας είναι περίπου κατά το 80% εξαρτώμενες από τον ίδιο προμηθευτή.

Επιπλέον, η Ευρώπη, ως ο κύριος δυνητικός καταναλωτής ενεργειακών πόρων προερχόμενων από την Κασπία, έχει διολισθήσει σε μια διπλή εξάρτηση: α) από τις παραδοσιακές Ρωσικές προμήθειες και (β) από τις Ρωσικά ελεγχόμενες προμήθειες από την Κεντρική Ασία και την περιοχή της Κασπίας (CACR - Central Asia and the Caspian Region). Ήδη, σχεδόν το ένα τρίτο των συνολικών εισαγωγών φυσικού αερίου της ΕΕ έρχονται στην πράξη από την περιοχή αυτή μέσω των ρωσικών αγωγών φυσικού αερίου και ως αποτέλεσμα των συμφωνιών ανταλλαγής φυσικού αερίου της Ρωσίας με τις χώρες της Κεντρικής Ασίας και της Κασπίας (CSIS, 2013). Στην περίπτωση αυτή, τα κράτη μέλη της ΕΕ θα χρειαστεί να εμποδίσουν τη Ρωσία από το να ασκεί την υψηλού βαθμού μονοπωλιακή της δύναμη στη διαμόρφωση της τελικής τιμής πώλησης του φυσικού αερίου.

Οι στόχοι 20 – 20 – 20 της ΕΕ για το 2020 (20% μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα επίπεδα του 1990, αύξηση του μεριδίου της κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ η οποία παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο 20% και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στην Ευρώπη κατά 20%), κατοχυρώνουν τη στρατηγική για θέματα ασφαλείας του ενεργειακού εφοδιασμού της ΕΕ (European Commission). Εάν η πολιτική αυτή αποδειχθεί επιτυχής, τόσο η ενεργειακή ζήτηση όσο και το ενεργειακό ισοζύγιο αναμένονται να είναι πολύ διαφορετικά μετά το 2020.

Δεδομένης της παγκόσμιας και ευρωπαϊκής προοπτικής για την παραγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου, είναι σαφές ότι η διαθεσιμότητα αυτού του τύπου αερίου θα επεκτείνει την παγκόσμια πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα του φυσικού αερίου τουλάχιστον μέχρι το 2020. Το πλεονέκτημα του μη συμβατικού φυσικού αερίου είναι ότι πρόκειται για ένα εγχώριο ενεργειακό πόρο, το οποίο δεν λαμβάνει δημόσιες επιδοτήσεις, σε αντίθεση με άλλες πηγές ενέργειας ή καύσιμα όπως είναι η πυρηνική και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά και ο άνθρακας στην Ευρώπη.

Ακόμη, σε ορισμένες περιπτώσεις έχει οδηγήσει σε επαναδιαπραγμάτευση των ευρωπαϊκών τιμών του φυσικού αερίου ενώ έχει ήδη προκαλέσει σε ένα κατά μέσο όρο 15% των προμηθειών της Gazprom, να αποσυνδεθούν από την πετρέλαιο-τιμαριθμική αναπροσαρμογή (Kuhn & Umbach, 2011). Έχει επίσης αποδυναμώσει τη σχεδόν μονοπωλιακή θέση της Gazprom στην Ευρώπη. Έτσι, το μη συμβατικό φυσικό αέριο, ακόμη και χωρίς να παράγεται στην Ευρώπη, θέτει ένα συγκεκριμένο ανώτατο όριο τιμής στις υψηλές τιμές του ρωσικού αερίου, ιδιαίτερα αν οι τιμές αυτές είναι υψηλότερες από το νεκρό σημείο (break-even point) του ευρωπαϊκού μη συμβατικού φυσικού αερίου.

Οι στρατηγικές επιλογές για να απαντήσει η Ρωσία και η Gazprom στην απειλή του μη συμβατικού αερίου είναι περιορισμένες. Παρόλο που η Ρωσία έχει τα μεγαλύτερα αποθέματα συμβατικού φυσικού αερίου στον κόσμο, αντιμετωπίζει αυξανόμενο ανταγωνισμό από τις χώρες της Κεντρικής Ασίας και της περιοχής της Κασπίας (CACR), στις αγορές επόμενου σταδίου (downstream market). Το 2008, περισσότερο από το 80% των εξαγωγών φυσικού αερίου των χωρών της CACR εξακολουθούσαν να προορίζονται για τη Ρωσία, αλλά από το 2010 οι εξαγωγές έχουν ήδη μειωθεί στο 55% (Kuhn & Umbach, 2011). Επιπλέον, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (ΗΑΕ) το 2010 διαπραγματεύτηκαν μεγάλες επενδύσεις στο Τουρκμενιστάν, προκειμένου να αποκτήσουν πρόσβαση και ακολούθως να προχωρήσουν σε εκμετάλλευση των τεραστίων αποθεμάτων της χώρας (UAEinteract). Η μεταφορά του στην Ευρώπη είναι προγραμματισμένη να γίνεται διαμέσου του αγωγού Nabucco, το αντίπαλο δέος του ρωσικού αγωγού South Stream (The Voice of Russia, 2013). Η Κίνα έχει και αυτή εισέλθει στο παιχνίδι, δηλώνοντας την πρόθεση της να επενδύσει στα υπεράκτια αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου της Ουκρανίας, σε βάρος της ήδη μειωμένης γεωπολιτικής επιρροής που ασκεί η Ρωσία στη χώρα. Παρά το γεγονός ότι η επαναπροσέγγιση Ρωσίας – Ουκρανίας το 2010 και η διμερής συνεργασία στον ενεργειακό τομέα ενίσχυσαν τη θέση της Μόσχας, τη φιλορωσική κυβέρνηση της Ουκρανίας εξακολουθεί να μην την ενδιαφέρει η πώληση του συστήματος αγωγών της στη Ρωσία ή έστω του πλειοψηφικού του πακέτου. Στην ουσία οι πολιτικές που ακολουθεί η Ρωσία, έχουν ακούσια παίξει καταλυτικό ρόλο στην ανάπτυξη του μη συμβατικού φυσικού αερίου στην Ευρώπη. Στο πλαίσιο αυτό και υπό τον φόβο της απώλειας επιπλέον μεριδίου στην αγορά φυσικού αερίου, δεν πρέπει να θεωρηθεί

περιεργό το ότι η ρώσικη κυβέρνηση και συνάμα η Gazprom, προσπαθούν να υποβαθμίσουν τη σημασία του σχιστολιθικού φυσικού αερίου στην Ευρώπη, απεικονίζοντας αρνητικά τις επιπτώσεις του στο περιβάλλον και στις προσπάθειες της ΕΕ για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής (Indeo, 2013).

Η Gazprom θα πρέπει να διαφοροποιηθεί, καθώς ο έλεγχος της στην ευρωπαϊκή αγορά παρουσιάζει σημάδια αδυναμίας. Αναμένεται ότι η Gazprom θα λειτουργήσει σε τρεις διαφορετικές αγορές: 1) στην παραδοσιακή αγορά της Ευρώπης, 2) στην εγχώρια αγορά της Ρωσίας και 3) στην νέα αγορά της Ασίας (Kushnir & Kapustina, 2010). Ωστόσο οι ενδείξεις για μια νέα στρατηγική που αφορά την προμήθεια φυσικού αερίου στην Κίνα - ως μια νέα μεγάλη αναπτυσσόμενη αγορά – δεν θα κατάφερνε να λύσει το πρόβλημα που πιθανόν, η Gazprom, να αντιμετωπίσει.

Παρά το γεγονός ότι η Κίνα ήδη κινείται προς την κατεύθυνση μιας περισσότερο αξιόπιστης, από άποψης φυσικού αερίου, οικονομίας, η PetroChina εκτιμά ότι η ίδια η Κίνα μπορεί να έχει αποθέματα της τάξεως των 45000 Bcm μη συμβατικού φυσικού αερίου. Βάσει αυτών των εκτιμήσεων, τα αποθέματα της Κίνας ξεπερνούν αποδεδειγμένα αποθέματα συμβατικού φυσικού αερίου της Ρωσίας (43000 Bcm) (Kuhn & Umbach, 2011). Αυτό που περιπλέκει ακόμη περισσότερο την στρατηγική που σκέφτεται να ακολουθήσει η Ρωσία, είναι το υψηλό κόστος της κατασκευής νέων υποδομών στην Κίνα και η ανάπτυξη νέων ακριβών έργων παραγωγής (upstream projects) στην Ανατολική Σιβηρία. Εξαιτίας των πιο πάνω δεν θα επιτραπεί στη Gazprom να μειώσει την έκθεση της στην Ευρώπη. Εξετάζοντας τις διεθνείς επενδύσεις στην ενέργεια των κινέζικων εταιριών εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι επενδύσεις αυτές έχουν ως κίνητρο περισσότερο την ενεργειακή ασφάλεια και διαφοροποίηση παρά την κερδοσκοπία. Η πρωτοβουλία για τα αποθέματα σχιστολιθικού φυσικού αερίου μεταξύ ΗΠΑ – Κίνας (US-China Shale Gas Resource Initiative), η οποία παρέχει τη δυνατότητα στις αμερικάνικες εταιρείες να εισέλθουν στην κινέζικη αγορά ενέργειας, είναι ακόμη ένα εμπόδιο για την Ρωσία να κινηθεί προς την Ανατολή. Ακόμη μία συνέπεια της US - China Shale Gas Resource Initiative είναι ότι μειώνει την εξάρτηση της Κίνας από τη Μέση Ανατολή και παράλληλα την αποθαρρύνει από το να σπάσει τις κυρώσεις με το Ιράν, προκειμένου να ικανοποιήσει τις τεράστιες ανάγκες της για ενέργεια (The Economist).

Εν τω μεταξύ, δεν είναι μόνο η ΕΕ που μπορεί να επωφεληθεί από την επανάσταση του σχιστολιθικού φυσικού αερίου, αλλά και η Ουκρανία. Το ουκρανικό Υπουργείο Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων και η Joint Stock Company της Ουκρανίας είχαν δηλώσει, τον Νοέμβριο του 2010, ότι έχουν το μεγαλύτερο, ή ένα από τα μεγαλύτερα, κοιτάσματα σχιστολιθικού φυσικού αερίου στο κόσμο (PR Newswire, 2010).

Τον Φεβρουάριο του 2011, κατά τη συνεδρίαση της Επιτροπής Στρατηγικής Εταιρικής Σχέσης, της Ομάδας Εργασίας για την Ενεργειακή Ασφάλεια των ΗΠΑ – Ουκρανίας (US - Ukraine Energy Security Working Group), οι δύο πλευρές υπέγραψαν ένα «Μνημόνιο Κατανόησης» που αφορά τη δημιουργία ενός πλαισίου για την τεχνική συνεργασία που θα αξιολογήσει τα δυνητικά αποθέματα μη συμβατικού αερίου στην Ουκρανία (Memorandum of Understanding, 2011). Η συμφωνία αυτή περιλαμβάνει τη συμμετοχή του Αμερικανικού Γεωλογικού Ινστιτούτου (USGS), το οποίο έχει αναλάβει μια παγκόσμια αξιολόγηση των αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου.

Γενικά οι διαδικασίες ανάπτυξης του μη συμβατικού φυσικού αερίου είναι ακόμη σε πρώιμα στάδια ενώ ταυτόχρονα το τεχνολογικό, οικονομικό και κανονιστικό τοπίο συνεχίζει να εξελίσσεται. Με την ανάπτυξη όλων αυτών των παραμέτρων είναι σαφές ότι θα επέλθουν σημαντικές αλλαγές τόσο στο δυναμικό παραγωγής τους, στην περιβαλλοντική τους επίδραση αλλά και το οικονομικό προφίλ πολλών από αυτών των ενδιαφερόντων στόχων. Δεδομένης όλης αυτής της αβεβαιότητας και τη γοργή εξέλιξη που εμφανίζει ο κλάδος, η εκτίμηση και ειδικά μακροπρόθεσμων γεωπολιτικών επιπτώσεων αυτής της «επανάστασης» αποτελεί πρόκληση. Αυτό που είναι ωστόσο αδιαπραγμάτευτο είναι το γεγονός ότι η επανάσταση αυτή του μη συμβατικού φυσικού αερίου (και με τα πρόσφατα δεδομένα που παρουσίασε η EIA (2013) σχετικά με τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου που τα εκτινάσσει σε 7,299 tcf σε σχέση με τις εκτιμήσεις λίγων χρόνων πριν) ήδη επηρεάζει τις γεωστρατηγικές δυναμικές για την ενέργεια με σημαντικούς τρόπους (EIA/ARI, 2013).

Οι τρόποι αυτοί σε αυτή τη φάση μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις εξής ευρείες κατηγορίες: αντίληψη της δυνατότητας άσκησης επιρροής, αναθεώρηση των ενεργειακών πολιτικών, εμπορικός ανταγωνισμός και αισιοδοξία σε σχέση με τους διαθέσιμους πόρους. Η πρώτη κατηγορία ενσωματώνει τις αλλαγές στο ρόλο που

έπαιξε μέχρι πρότινος οι ΗΠΑ σε σχέση με αυτόν που έχει τώρα ως προς τις εισαγωγές φυσικού αερίου και υδροποιημένου αερίου. Επίσης τις αλλαγές και επαναδιαπραγματεύσεις που αναγκάζεται να κάνει η Gazprom, σε σχέση με τη διαθεσιμότητα και το κόστος του φυσικού αερίου όπως περιγράφησαν. Η δεύτερη κατηγορία είναι προφανής ότι αναφέρεται στις αναθεωρήσεις που κάνουν οι χώρες σε σχέση με το ενεργειακό μίγμα και το ρόλο που κατέχει πλέον το φυσικό αέριο αλλά και την προσέγγιση που αποκτούν πάνω στην ανάπτυξη διαθέσιμων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου. Η Ευρώπη και η Κίνα αποτελούν παραδείγματα αυτής. Στην τρίτη κατηγορία αφορά σε επανεκτίμηση που κάνουν διάφορες χώρες μέσα σε αυτό το πλαίσιο σε σχέση με την εμπορική βιωσιμότητα έργων φυσικού αερίου που διαθέτουν (Ladislaw, Pumphrey, Walton, & Melton, 2013).

Και τέλος η αισιοδοξία σχετικά με τους διαθέσιμους πόρους σχετίζεται με τη διόγκωση της τεχνολογικής αισιοδοξίας που έχει προκαλέσει αυτή η επανάσταση στην εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου που έχει μεταφέρει την ψυχολογία στον κλάδο από το ερώτημα τι θα γίνει αν τελειώσει το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο σε νέες καινοτόμες ενεργειακές πηγές και πώς αυτές θα μπορούν να είναι εκμεταλλεύσιμες όσο η τεχνολογία εξελίσσεται (Ladislaw, Pumphrey, Walton, & Melton, 2013).

6.7. Οι θέσεις για το σχιστολιθικό αέριο στην Ευρώπη στην παρούσα φάση

Προτού το σχιστολιθικό αέριο καταφέρει να αποδείξει στην πράξη τα όποια οφέλη προκύπτουν από την αξιοποίησή του, θα πρέπει προηγουμένως να κερδίσει την ευρεία αποδοχή από το κοινό, κάτι το οποίο δεν θα είναι διόλου εύκολο. Το κοινό έχει σχηματίσει μια κακή εικόνα για το σχιστολιθικό αέριο, κυρίως λόγω των κινδύνων μόλυνσης του αέρα και των υδάτων που σχετίζονται με την εξόρυξη του δια της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Οι κίνδυνοι αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί ως πρόφαση ουκ ολίγες από τους επικριτές του σχιστολιθικού αερίου, με σκοπό να εμποδίσουν τις εταιρείες από το να προχωρήσουν στην αξιοποίησή του.

Οι διαχειριστές μπορεί να είναι σε θέση να αξιοποιήσουν την εμπειρία των ΗΠΑ και να πείσουν τους Ευρωπαίους πολίτες ότι οι κίνδυνοι ρύπανσης μπορούν να αποφευχθούν εφαρμόζοντας τις βέλτιστες πρακτικές. Αλλά ακόμη και αν μπορέσουν,

υπάρχουν άλλες “ανεπιθύμητες παράπλευρες επιδράσεις – side effects” οι οποίες είναι σε μεγάλο βαθμό αναπόφευκτες, καθώς η εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου είναι μια πιο εντατική βιομηχανική δραστηριότητα από ότι η εξόρυξη συμβατικού αερίου. Σύμφωνα με τον ΙΕΑ « από τη στιγμή που ξεκινήσει η όρυξη της γεώτρησης, είναι γενικά μια διαδικασία η οποία διαρκεί 24 ώρες την ημέρα, δημιουργώντας θόρυβο και καυσαέρια από τις γεννήτριες ντίζελ, απαιτώντας φωτισμό κατά τις νυκτερινές ώρες και συνεχή δρομολόγια φορτηγών» ενώ τελειώνει αναφέροντας ότι «η όρυξη της γεώτρησης μπορεί να διαρκέσει από λίγες ημέρες έως και μερικούς μήνες» (ΙΕΑ, 2012).

Η κοινωνική ανησυχία, όσον αφορά την όρυξη γεωτρήσεων αξιοποίησης σχιστολιθικού αερίου, έχει ενθαρρύνει τις κυβερνήσεις στο να καταβάλλουν περισσότερες προσπάθειες στον τομέα της επιστημονικής έρευνας. Ιδίως οι Ευρωπαϊκές χώρες έχουν στραμμένη την προσοχή τους στην κοινή γνώμη, ενώ κάποιες από αυτές ενθαρρύνουν παράλληλα την αποδοχή των νέων πηγών ενέργειας ως πιθανές λύσεις όσον αφορά την ενεργειακή ασφάλεια και την μεγαλύτερη ανεξάρτηση από τις εισαγωγές φυσικού αερίου.

Δεδομένου αυτού, κάποιες ευρωπαϊκές χώρες έχουν ήδη αναπτύξει ισχυρές θέσεις υπέρ της εκμετάλλευσης του σχιστολιθικού αερίου, ενώ την ίδια στιγμή κάποιες άλλες διαβεβαιώνουν ότι δεν πρόκειται να προχωρήσουν στην αξιοποίηση των όποιων αποθεμάτων διαθέτουν. Για παράδειγμα, ενώ οι έρευνες για σχιστολιθικό αέριο έχουν απαγορευτεί επ’ αόριστον στην Βουλγαρία εξαιτίας της στάσης που κρατά η κοινή γνώμη ενάντια στην μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης, οι πολίτες στη Πολωνία υποστηρίζουν ένθερμα την αξιοποίηση τους, κυρίως λόγω των οικονομικών πλεονεκτημάτων και της ενεργειακής ανεξαρτησίας που θα φέρει (KPMG, 2012).

Η δημόσια αποδοχή, όσον αφορά την αξιοποίηση του σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη αυξάνεται, αλλά όχι με ρυθμό που να υπονοεί ότι θα βρίσκεται εντός των βραχυπρόθεσμων ενεργειακών ή οικονομικών λύσεων της.

Μέσα στο περασμένο έτος υπήρξαν σημαντικές αλλαγές στο τοπίο αναφορικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου στην ευρωπαϊκή ήπειρο. Μία μελέτη του 2012 από ερευνητές του ESCP Europe εντόπισε κοινωνικούς κινδύνους παρόμοιους με

τους κινδύνους από τις μεγαλύτερες συνέπειες για τους επενδυτές και τις εταιρείες που επιδιώκουν την αξιοποίηση σχιστολιθικού αερίου ή πετρελαίου στην Ευρώπη. Αυτό μέχρι στιγμής δεν έχει αλλάξει, αλλά ο βαθμός αβεβαιότητας που περιβάλλει τους κοινωνικούς κινδύνους στην Ευρώπη μειώνεται. Αυτό πιθανό να συμβαίνει λόγω της καλύτερης κατανόησης από το κοινό των ζητημάτων που εγείρονται, όπως οι ανησυχίες σχετικά με τις εκπομπές άνθρακα αλλά και με τις οικονομικές συνθήκες που επικρατούν στην Ευρώπη ειδικότερα όταν έρχεται σε αντίθεση με τα θετικά αποτελέσματα που έφερε το σχιστολιθικό αέριο στην οικονομία των ΗΠΑ, οι αυξήσεις στο κόστος της ενέργειας και ο φόβος της απώλειας της οικονομικής ανταγωνιστικότητας (ESCP Europe , 2012).

Τον Μάρτιο, ερευνητές από το Πανεπιστήμιο του Nottingham ανακοίνωσαν τα αποτελέσματα μίας μελέτης η οποία διήρκησε ένα έτος , τονίζοντας το συνεχώς αυξανόμενο κοινό που δείχνει να κατανοεί τα οφέλη του σχιστολιθικού αερίου και τη σταδιακή αυτών που αποδέχονται το σχιστολιθικό αέριο, ως μέρος του ενεργειακού μίγματος του Ηνωμένου Βασιλείου (O'Hara, 2013). Τον ίδιο μήνα, το London School of Economics δημοσίευσε ένα έγγραφο γραμμένο από κορυφαίους Βρετανούς ερευνητές στον τομέα της κλιματικής αλλαγής, οι οποίοι υποστηρίζουν ότι το σχιστολιθικό αέριο θα μπορούσε να συνεισφέρει στην ανάπτυξη ενός τομέα της ενέργειας με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, από την αντικατάσταση του γαιάνθρακα μέσα στα επόμενα έτη (Bassi et al., 2013).

Στη Γαλλία, όπου η απαγόρευση, από την κυβέρνηση, της τεχνικής της υδραυλικής ρωγμάτωσης για την έρευνα και παραγωγή σχιστολιθικού αερίου παραμένει ακόμη σε ισχύ, υπάρχει αυξανόμενη δημόσια κατανόηση και επίγνωση σχετικά με το σχιστολιθικό αέριο. Η εξέλιξη αυτή είναι εμφανής στα αποτελέσματα δύο πρόσφατων δημοσκοπήσεων από το Γαλλικό Ινστιτούτο Κοινής Γνώμης. Σε έρευνα που διεξήχθη τον Αύγουστο του 2012 για την εφημερίδα Le Monde, το 84% των ερωτηθέντων είχαν ακούσει για το σχιστολιθικό αέριο. Μόλις έξι μήνες αργότερα, ο αριθμός αυτός είχε αυξηθεί στο 92%. Ομοίως, τον Αύγουστο μόνο το 44% υποστήριξε ότι ξέρουν «τι είναι;». Ο αριθμός αυτός ανέβηκε στο 53% έξι μήνες αργότερα. Αντίθετα, μόνο το 51% του αμερικανικού κοινού γνωρίζει ότι το «fracking» είναι μια διαδικασία η οποία εξάγει φυσικό αέριο, σύμφωνα με δημοσκόπηση του Pew Research Center που κυκλοφόρησε στις 22 Απριλίου.

Διάφορες προσπάθειες έχουν βγει στην επιφάνεια κατά το προηγούμενο έτος, με στόχο την βοήθεια στην ενημέρωση της κοινής γνώμης. Κάποιες από αυτές, όπως η ιστοσελίδα Shale Gas Europe, που είναι υποστηριζόμενη από την βιομηχανία κέντρα έχοντας ως στόχο την προώθηση της κατανόησης του σχιστολιθικού φυσικού αερίου. Άλλες είναι ανεξάρτητες, όπως της TNO (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek - Dutch Organization for Applied Scientific Research) μιας ολλανδικής μη κερδοσκοπικής εταιρίας που εστιάζει στις εφαρμοσμένες επιστήμες, η οποία πρόσφατα εξέδωσε ένα Χάρτη Επιχειρημάτων (Argument Map), σχετικά με τις αντικρουόμενες απόψεις στη συζήτηση για το σχιστολιθικό αέριο. Ο εν λόγω Χάρτης είναι στην ουσία ένα διάγραμμα στο οποίο αναφέρονται λεπτομερώς τα επιχειρήματα, τόσο υπέρ όσο και κατά, της εισαγωγής της εξόρυξης του σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη και έχει ως σκοπό να αποσαφηνίσει τις θέσεις στην αντιπαράθεση που επικρατεί και να προωθήσει μια ορθολογική συζήτηση. Για παράδειγμα, στο τμήμα του διαγράμματος που αφορά την οικονομία ένα από τα επιχειρήματα υπέρ είναι ότι «η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου αυξάνει την περιφερειακή απασχόληση», ενώ ένα επιχείρημα κατά είναι «δεν είναι γνωστή η ακριβής ποσότητα φυσικού αερίου η οποία μπορεί να παραχθεί επικερδώς και για το αν αξίζουν να γίνουν οι δημόσιες επενδύσεις». Ακόμη ένα παράδειγμα είναι ένα επιχείρημα το οποίο προβάλλει ότι ο ισχύον κανονισμός για τις εργασίες που αφορούν την αξιοποίηση του σχιστολιθικού αερίου πιθανόν να επιβαρύνει ακόμη περισσότερο τον φορολογούμενο πολίτη. Στην πραγματικότητα, οι Εθνικές Διοικήσεις (National Administrations) στην Ευρώπη έχουν ήδη μηχανισμούς που ρυθμίζουν την έρευνα για πετρέλαιο και φυσικό αέριο και οι οποίες καλύπτουν και τις έρευνες για σχιστολιθικό αέριο, όπως φαίνεται από τη μελέτη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Philippe & Partners, 2011). Επιπλέον, ο κανονισμός που αφορά το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο έχει τεθεί σε εφαρμογή ως δημόσιο αγαθό και κάθε υφιστάμενη δαπάνη απορροφάται από τα χρήματα που συγκεντρώνει το κράτος από τη φορολόγηση της βιομηχανίας σχιστολιθικού αερίου. Για παράδειγμα, στην Πολωνία η συνολική φορολόγηση για τις εταιρίες που θα εκμεταλλεύονται τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου, αναμένεται να αντιστοιχεί στο 40% των ακαθάριστων κερδών (Warsaw Business Journal, 2013). Από τα πιο πάνω στοιχεία συμπεραίνουμε ότι το δημόσιο ταμείο της εν λόγω χώρας αναμένεται να επωφεληθεί

από την αξιοποίηση του σχιστολιθικού αερίου και όχι να επιβαρυνθεί (Shale Gas Europe, 2013).

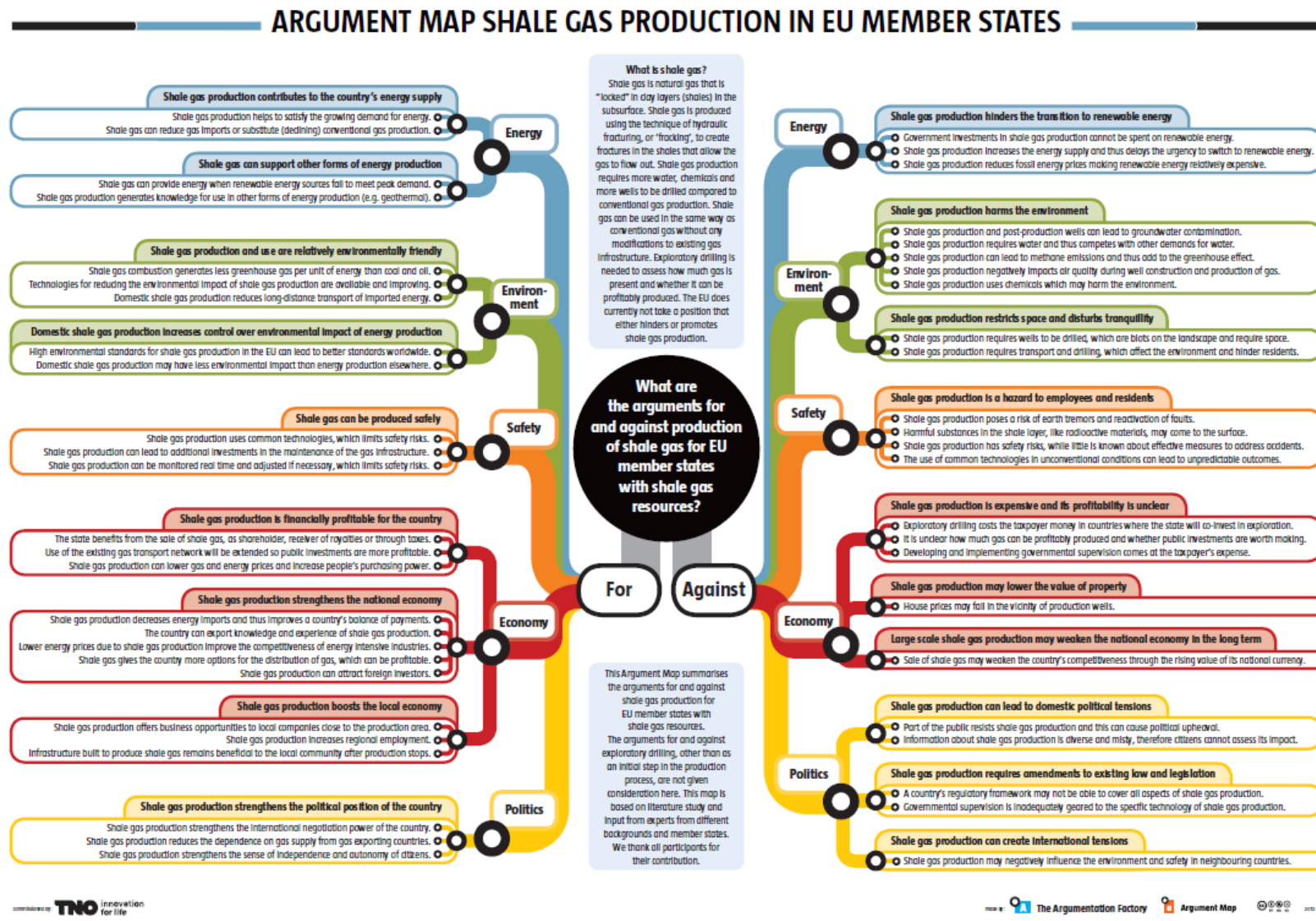
Οι συντάκτες εξηγούν ότι ο Χάρτης βασίζεται σε βιβλιογραφική ανασκόπηση σε συνδυασμό με τη συμβολή εμπειρογνομόνων από διαφορετικά υπόβαθρα και Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Μερικά από τα επιχειρήματα είναι αρκετά γνωστά και έχουν διερευνηθεί σε βάθος ή αναμένουν περαιτέρω ανάλυση, την ίδια στιγμή που κάποια άλλα δεν απαιτούν τόσο σχολαστική διερεύνηση.

Έτσι, ενώ πολλοί άνθρωποι εξακολουθούν να είναι από ένστικτο αντίθετοι με την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού στην Ευρώπη, η συζήτηση πλέον γίνεται με όλο και περισσότερους ενημερωμένους συμμετέχοντες, κάτι που οδηγεί σε τεκμηριωμένες λήψεις αποφάσεων (Εικόνα 6.3.).

Η ευρωπαϊκή βιομηχανία πετροχημικών υποστηρίζει έντονα την αξιοποίηση του σχιστολιθικού φυσικού αερίου, καθώς οι υψηλές τιμές που επικρατούν στην ενέργεια, μειώνουν την ανταγωνιστικότητα της Ευρώπης στον εν λόγω τομέα. Η Πολωνία, η Ουκρανία, η Ρουμανία και η Λιθουανία υποστηρίζουν ένθερμα τις έρευνες για σχιστολιθικό αέριο, καθώς η κεντρική και ανατολική Ευρώπη επιδιώκει να απεξαρτηθεί από τη ρωσική ενέργεια. Τον περασμένο Δεκέμβριο, η βρετανική κυβέρνηση ήρε το μορατόριουμ για τις έρευνες σχιστολιθικού φυσικού αερίου και πετρελαίου. Τον Φεβρουάριο, η Γερμανία εξέδωσε ένα σχέδιο νόμου που επιτρέπει τη χρήση της τεχνολογίας fracking υπό πολύ αυστηρές προϋποθέσεις. Η γερμανική βιομηχανία ανησυχεί ιδιαίτερα για το υψηλό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς από την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας επιδοτείται εν μέρει η παραγωγή της από τις ανανεώσιμες πηγές. Σύμφωνα με το Cologne Institute for Economic Research (IW), οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας (για τις βιομηχανίες) ανά κιλοβατώρα έχουν αυξηθεί σχεδόν 40 % τα τελευταία πέντε χρόνια, και οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας για τις γερμανικές βιομηχανίες είναι 15 % υψηλότερες από το μέσο όρο που διαπιστώθηκε σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση (Cologne Institute for Economic Research).

Τέλος, οι περιβαλλοντικές ανησυχίες επηρεάζουν επίσης την αποδοχή για την ευρωπαϊκή ανάπτυξη του σχιστολιθικού φυσικού αερίου. Πέρυσι, οι γερμανικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αυξήθηκαν κατά 1,6%, καθώς η αύξηση της

χρήσης γαιάνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αντέστρεψε την τάση μείωσης του άνθρακα. Αντίθετα, στις ΗΠΑ οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, η κύρια αιτία των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, βρίσκονται στο χαμηλότερο τους επίπεδο για τα τελευταία 19 χρόνια, λόγω της αύξησης της χρήσης του φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Και στις δύο πλευρές του Ατλαντικού παρατηρείται αύξηση στον αριθμό των οικολόγων οι οποίοι υποστηρίζουν την αξιοποίηση του σχιστολιθικού φυσικού αερίου, καθώς προσβλέπουν στη μείωση της χρήσης του γαιάνθρακα. Ωστόσο υπάρχουν βάσιμες ανησυχίες ότι το φυσικό αέριο, αντί να λειτουργήσει ως «γέφυρα» προς ένα μέλλον όπου το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα αυξάνει συνεχώς, θα μπορούσε τελικά να σταθεί εμπόδιο.



Εικόνα 6.3.: Χάρτης Επιχειρημάτων για το σχιστολιθικό αέριο (TNO)

Βιβλιογραφία

(n.d.). Ανάκτηση από The Economist: <http://www.economist.com/node/21558455>

(n.d.). Ανάκτηση από Research Triangle Energy Consortium: <http://rtec-rtcp.org/tag/shale-gas/>

API . (2013). *The State of American Energy*.

(2013). Ανάκτηση από Warsaw Business Journal: <http://www.wbj.pl/article-62300-poland-could-see-billions-from-hydrocarbon-tax.html>

(2013). Ανάκτηση από Shale Gas Europe: <http://www.shalegas-europe.eu/en/index.php/news-room/blog/entry/the-arguments-are-mapped-but-which-side-to-choose>

Bassi et al. (2013). *A UK 'dash' for smart gas*.

Booz&co. (2013). *Benefits of an Intergrated European Energy Market*.

Bunchan, D. (2013). *Can shale gas transform Europe's energy landscape?*

Cologne Institute for Economic Research. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.iwkoeln.de/en/presse/veranstaltungen/beitrag/pressekonferenz-bedroht-die-energiewende-die-industrie-in-deutschland-104992>

Commission of the European Communities. (2008). *Second Strategic Energy Review AN EU ENERGY SECURITY AND SOLIDARITY ACTION PLAN*.

Considine, T. (2010). *The Economic Impacts of the Marcellus Shale: Implications for New York, Pennsylvania, and West Virginia*.

CSIS. (2013, 11 20). Ανάκτηση από <https://csis.org/publication/russia-eu-gas-relationship-partnership-necessity>

Department of Numbers . (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.deptofnumbers.com/unemployment/north-dakota/>

DNV KEMA. (2013). *Study on LT-ST Markets in Gas*.

EIA. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.eia.gov/dnav/ng/hist/n9190us3m.htm>

EIA / ARI. (2011). *World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States.*

EIA/ARI. (2013). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States.*

energia.gr. (n.d.). Ανάκτηση από http://www.energia.gr/article.asp?art_id=47168

ESCP Europe . (2012). *Strategic Risks associated with developing a European Shale Gas Industry.*

European Commision. (n.d.). Ανάκτηση από <http://ec.europa.eu/clima/policies/package/>

European Commision. (2011). *Energy Roadmap 2050.*

European Commision's JRC. (2012). *Unconventional Gas: Potential Energy Market Impacts in the European Union.*

European Commission. (2011). EU environment policy supporting jobs and growth.

Eurostat. (2012). Ανάκτηση από Energy production and imports:
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Energy_production_and_imports

Fahey, J. (2012). *USA Today*. Ανάκτηση από <http://usatoday30.usatoday.com/money/industries/energy/story/2012-01-23/chesapeake-energy-natural-gas-drilling/52753478/1>

Gloystein, H. (2013, July 18). Ανάκτηση από Reuters UK:
<http://uk.reuters.com/article/2013/07/18/uk-energy-gas-europe-analysis-idUKBRE96H0SE20130718>

GPPI;CEU;Brookings. (2011). *Shale Gas: A Game Changer for European Energy Security? 9th Transatlantic Energy Governance Dialogue*. Budapest: Central European University.

Hefley, W., & al., e. (2011). The Economic Impact of the Value Chain of a Marcellus Shale Well.

ICIS. (n.d.). Ανάκτηση από

<http://www.icis.com/Articles/2013/03/22/9652672/afpm+2013+where+will+the+new+output+go.html>

IEA . (2012). World Energy Outlook .

IEA. (2012). Golden Rules for a Golden Age of Gas, Special Report on Unconventional Gas.

IEA. (2011). *World Energy Outlook 2011, Are we entering a golden age of gas?*

IHS. (n.d.). Ανάκτηση από <http://press.ihs.com/press-release/commodities-pricing-cost/unconventional-oil-and-gas-production-supports-more-17-million>

IHS. *NATIONAL ECONOMIC CONTRIBUTIONS.*

IHS. (2011). Στο *GLOBAL INSIGHT SHALE GAS REPORT.*

Indeo, F. (2013). *The Impact of the “Shale Gas Revolution” on Russian Energy Strategy.*

JRC. (2012). *Unconventional Gas: Potential Energy Market Impacts in the European Union.*

KPMG. (2012). *Central and Eastern European Shale Gas Outlook.*

Krauss, C. (2008). Ανάκτηση από

http://www.nytimes.com/2008/08/25/business/25gas.html?pagewanted=all&_r=0

Kuhn, M., & Umbach, F. (2011). *Strategic Perspectives of Unconventional Gas: A Game Changer with Implication for the EU's Energy Security.*

Kushnir, & Kapustina. (2010). *One Step at a time for Russian Energy to China.*

Ladislaw, S. O., Pumphrey, D., Walton, M. A., & Melton, M. (2013, July 26). *Center of Strategic & International Studies*. Ανάκτηση από <http://csis.org/publication/shifting-geopolitics-natural-gas>

Larson, J. W. (2012). *The American Oil & Gas Reporter*. Ανάκτηση από <http://www.aogr.com/index.php/web-features/exclusive-story/unconventional-plays-fueling-economic-growth>

Melling, A. J. (2010). *Natural Gas Pricing and its Future Europe as a Battleground*.

Memorandum of Understanding. (2011). Ανάκτηση από <http://photos.state.gov/libraries/ukraine/164171/pdf/gas-resources-eng.pdf>

MIT. (2011). *The Future of Natural Gas: An interdisciplinary MIT study*.

Murphy, D. P. (2012). *North American energy independence: reenergized*.

Natural Gas Europe. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.naturalgaseurope.com/jonas-teusch-ceps-shale-gas>

Naturalgas.org. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.naturalgas.org/>

O'Hara, S. (2013). *Public perception of shale gas extraction in the UK: The Impact of the Balcombe protests in July – August 2013*.

PGI - Polish Geological Institute. (2012). *Assessment of Shale Gas and Shale Oil Resources of the Lower Paleozoic Baltic-Podlasie-Lublin Basin in Poland*.

Philippe & Partners. (2011). *FINAL REPORT ON UNCONVENTIONAL GAS IN EUROPE*.

Ponars Eurasia. (2013, July). Ανάκτηση από <http://www.ponarseurasia.org/memo/shale-fever-and-future-putin%E2%80%99s-russia>

PR Newswire. (2010, November 29). Ανάκτηση από <http://www.prnewswire.com/news-releases/ukraine-claims-to-possess-worlds-biggest-shale-gas-deposits-110955574.html>

Protasov, V. (2010). *EU-Russia Gas Relations: a View From Both Sides*.

PWC. (2012). *Shale Gas Reshaping the US Chemicals Industry*.

Ratner, M., Belkin, P., Nichol, J., & Woehrel, S. (2013). *Europe's Energy Security: Options and Challenges to Natural Gas Supply Diversification*.

Rogers, H. (2012). *The Impact of a Globalising Market on Future European Gas Supply and Pricing: The Importance of Asian Demand and North American Supply*.

Rogner, H. (1997). *An Assessment of World Hydrocarbon Resources*.

Russia Today. (2013, July 11). Ανάκτηση από <http://rt.com/business/gazprom-rwe-germany-gas-893/>

Schaefer, K. (2009). *Resource Investor*. Ανάκτηση από <http://www.resourceinvestor.com/2009/06/06/natural-gas-costs-go-down-as-learning-curve-goes-u>

Stevens, P. (2010). *The 'Shale Gas Revolution': Hype and Reality*.

The Voice of Russia. (2013). Ανάκτηση από http://voiceofrussia.com/2013_11_25/Russian-South-Stream-to-become-a-major-rival-of-Nabucco-expert-5395/

U.S. Energy Information Administration. (2010). Ανάκτηση από http://www.eia.gov/pub/oil_gas/natural_gas/data_publications/cost_indices_equipment_production/current/coststudy.html

UAEinteract. (n.d.). Ανάκτηση από http://www.uaeinteract.com/docs/Several_opportunities_for_economic_cooperation_with_Turkmenistan,_says_UAEs_Economy_Minister_/47298.htm

United States Census Bureau. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.census.gov/hhes/www/income/data/statemedian/>

Verrastro et al. (2010). *The geopolitics of Energy*.

World Energy Council. (2012). Survey of Energy Resources: Shale Gas - What's New.

Yahoo Finance. (n.d.). Ανάκτηση από <http://finance.yahoo.com/news/natural-gas-drillers-target-us-truck-bus-market-182633169--finance.html>

Yahoo News. (n.d.). Ανάκτηση από <http://news.yahoo.com/billions-gas-drilling-royalties-transform-lives-150830350.html>

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συμμετοχή των ορυκτών καυσίμων και ειδικά υπό τη μορφή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο συνεχίζει να είναι σημαντική, παρά την ανάγκη που κυριαρχεί για στροφή σε καθαρότερες μορφές ενέργειας.

Το πετρέλαιο κατέχει ένα ποσοστό της τάξης του 33,1% επί της παγκόσμιας παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας ενώ τόσο η παραγωγή όσο και η κατανάλωση του παρουσιάζει μία αύξηση στη δεκαετία 2001-2011 της τάξης του 11,78% και 13,98% αντίστοιχα.

Τα παγκόσμια αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου εκτιμώνται στο τέλος του 2011 σε 1652,6 δισεκατομμύρια βαρέλια, το οποίο συνεπάγεται ότι μπορεί να καλύψει την παγκόσμια παραγωγή για τα επόμενα 54,2 χρόνια. Ο μεγαλύτερος όγκος βέβαιων αποθεμάτων του εντοπίζεται στη Μέση Ανατολή (48,1%), ωστόσο με την πάροδο του χρόνου (από το 1991 ως το 2011) η κατανομή των βέβαιων αποθεμάτων τείνει να περιλαμβάνει σε μεγαλύτερα ποσοστά χώρες της Ευρώπης, της Αφρικής και της Κεντρικής και Νότιας Αμερικής.

Η περίπτωση του φυσικού αερίου ωστόσο που θεωρείται πιο ελκυστική εναλλακτική μορφής ενέργειας δεδομένου του μικρότερου περιβαλλοντικού αποτυπώματος σε σχέση με το πετρέλαιο. Τα αποθέματα αυτού παρουσιάζουν μία συνεχή αύξηση παγκοσμίως (+58,84% από το 1991) ενώ η κατανομή τους είναι πιο ομοιόμορφη σε σχέση με την αντίστοιχη του πετρελαίου και ανέρχονται στο τέλος του 2011 σε 208 τρισεκατομμύρια κυβικά μέτρα, καλύπτοντας την παραγωγή για τα επόμενα 63,6 χρόνια.

Η ζήτηση και των δύο αυτών τύπων ορυκτών καυσίμων είναι σημαντική και θα συνεχίσει να είναι σημαντική. Στην περίπτωση του πετρελαίου η ζήτηση οφείλεται κυρίως λόγω στη αυξανόμενη ζήτηση των αναπτυσσόμενων χωρών. Το φυσικό αέριο ωστόσο είναι το μόνο ορυκτό καύσιμο στο οποίο η ζήτηση αναμένεται να αυξάνεται σε κάθε είδους σενάριο που αναπτύσσεται και εξετάζεται από τους διεθνείς οργανισμούς, λαμβάνοντας υπόψη είτε την κατάσταση ως έχει αυτή τη στιγμή, είτε με τη λήψη νέων μέτρων και εφαρμογή στρατηγικών είτε θέτοντας αμιγώς

περιβαλλοντικά όρια, όπως η συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα. Στο αποτέλεσμα αυτό συντείνουν τόσο τα υψηλά αποθέματά του όσο και το γεγονός ότι αποτελεί ένα καύσιμο που θα συμβάλλει προς μία οικονομία χαμηλών ρύπων άνθρακα.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι όροι του συμβατικού και μη συμβατικού καυσίμου για τη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου αποδίδονται ανάλογα σε κάποια χρονική στιγμή, ως μία πολύπλοκη συνάρτηση των χαρακτηριστικών της πηγής, των διαθέσιμων τεχνολογιών έρευνας και παραγωγής, του οικονομικού περιβάλλοντος και της κλίμακας, της συχνότητας και της διάρκειας παραγωγής από την πηγή. Στην παρούσα λοιπόν στιγμή ο όρος των μη συμβατικών καυσίμων αποδίδεται στις πηγές πετρελαίου και φυσικού αερίου των οποίων το πορώδες, η διαπερατότητα, ο μηχανισμός παγίδευσης του ρευστού ή το όποιο άλλο τους χαρακτηριστικό διαφέρει από αυτά των συμβατικών ψαμμιτικών και ανθρακικών ταμιευτήρων (π.χ. μεθάνιο από στρώματα γαιάνθρακα, υδρίτες αερίου, σχιστολιθικό αέριο, άμμοι εγκλείστου αερίου ή και αντίστοιχους μη συμβατικούς υγρούς υδρογονάνθρακες).

Αναφορικά με το μη συμβατικό πετρέλαιο θα πρέπει να αναφερθεί ότι αποθέματα αυτού φαίνεται να είναι συγκεντρωμένα σε περιοχές του δυτικού ημισφαιρίου όπως τη Βόρεια Αμερική και την Ανατολική Ευρώπη και Ευρασία. Οι ΗΠΑ και ο Καναδάς φαίνεται να κατέχουν τα μεγαλύτερα αρχικά επιτόπου αποθέματα σε σχιστολιθικό πετρέλαιο και πισσούχο άμμο αντίστοιχα σε ποσοστά 70-80% των παγκοσμίων αποθεμάτων.

Τα αποδεδειγμένα αποθέματα φυσικού αερίου μέχρι πριν λίγα χρόνια φαινόταν να επαρκούν για τα επόμενα 50-60 χρόνια. Η συμβολή των αποθεμάτων από τις πηγές μη συμβατικού αερίου αυξάνει το διάστημα αυτό στα 200 ή και περισσότερο χρόνια. Το 44% των εναπομεινάντων τεχνικά ανακτήσιμων αποθεμάτων προέρχεται από μη συμβατικές πηγές, ενώ το σχιστολιθικό αέριο εκτιμάται να κατέχει το 67% των παγκοσμίων τεχνικά ανακτήσιμων αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου.

Σε επίπεδο παγκόσμιων τεχνικά ανακτήσιμων αποθεμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου, τα εκτιμώμενα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου αντιπροσωπεύουν το 10 και 32% αυτών αντίστοιχα. Οι εκτιμήσεις των επιτόπου αρχικών αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου ανέρχονται το 2013 σε 25,300 Tcf, ενώ τα παγκόσμια τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου εκτιμώνται το

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

2013 σε 6,634 Tcf. Ποσοστό πέραν του 50% του σχιστολιθικού πετρελαίου και φυσικού αερίου εκτός ΗΠΑ εντοπίζεται σε τέσσερις χώρες, Ρωσία, Κίνα, Αργεντινή, και Λιβύη. Στην περίπτωση του σχιστολιθικού πετρελαίου, πρώτη έρχεται η Ρωσία (75 billion barrels), με τις ΗΠΑ (58 billion barrels), Κίνα (32 billion barrels) και Αργεντινή (27 billion barrels) να ακολουθούν, ενώ στο σχιστολιθικό αέριο πρώτη έρχεται η Κίνα (1,115 trillion cft) με την Αργεντινή (802 trillion cft), Αλγερία (707 trillion cft) και ΗΠΑ (665 trillion cft) να ακολουθούν. Τα νούμερα αυτά αφορούν τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού πετρελαίου και αερίου, αντίστοιχα.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί σε αυτό το σημείο ότι έχει προκύψει διαφοροποίηση στους ορισμούς και σε μεθοδολογίες σε σχέση με τα συμβατικά πετρελαϊκά πεδία και ειδικά στις εκτιμήσεις των αποθεμάτων. Οι βασικοί όροι που χρησιμοποιούνται στα μη συμβατικά είναι οι εξής:

- Στη μελέτη όγκων μη συμβατικού αερίου το μεγαλύτερο μέγεθος που δίνεται είναι τα αρχικά επιτόπου αποθέματα (Original Gas in Place – OGIP) και αναφέρεται στο συνολικό όγκο αερίου που εκτιμάται να υπάρχει σε μία δεδομένη περιοχή
- Τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα (TRR - Technically Recoverable Reserves) είναι το ποσοστό του αερίου που μπορεί να παραχθεί τεχνικά με τη σημερινή τεχνολογία χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το κόστος εξόρυξης, οι τιμές του αερίου και άλλα επενδυτικά κριτήρια.
- Το μέρος των τεχνικά ανακτήσιμων αποθεμάτων που μπορεί στις τρέχουσες οικονομικές συνθήκες να παραχθεί οικονομικά αναφέρεται ως οικονομικά απολήψιμα αποθέματα (ERR- Economically Recoverable Reserves)

Στα μη συμβατικά πετρελαϊκά συστήματα οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα είναι η γένεση, η παγίδευση, η δευτερογενής διάσπαση πετρελαίου σε αέριο και η συσσώρευση, διεργασίες που πραγματοποιούνται στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό όπου το μητρικό πέτρωμα αποτελεί και το αποθήκευτρο πέτρωμα σε αντίθεση με τα συμβατικά όπου υπάρχει και μητρικό και αποθήκευτρο πέτρωμα.

Συμπερασματικά λοιπόν βασικά στοιχεία του σχιστολιθικού φυσικού αερίου αλλά και των σχιστολιθικών σχηματισμών όπου βρίσκεται παγιδευμένο είναι τα εξής:

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Σχιστολιθικό αέριο: Αποτελεί ξηρό αέριο (στάδιο μεταγένεσης (αυξημένο βάθος και θερμοκρασίες) κατά τη γένεση υδρογονανθράκων) με περιεκτικότητα >90% σε μεθάνιο και λοιπούς βαρύτερους υδρογονάνθρακες.
- Σχιστόλιθος ως πέτρωμα – μητρικό πέτρωμα - ταμιευτήρας:
 - ο πλέον διαδεδομένο πέτρωμα, αποτελεί το 60% των ιζηματογενών πετρωμάτων
 - ο Τυπική σύσταση σε κλαστικά ορυκτά, χαλαζίας (29-38%), άστριοι, ασβεστίτης (25-30%), αργιλικά ορυκτά (30-39%). Παρουσιάζει μεγάλη λεπτοστρωμάτωση και σχιστότητα μεταξύ των στρώσεων
 - ο Οι πόροι του είναι μικρότεροι των 2μm (συντελώντας στην προσρόφηση μεγάλων ποσοτήτων αερίου), το πορώδες του επί το πλείστον κυμαίνεται μεταξύ 2-4%, και η μητρική διαπερατότητά του δεν ξεπερνά τα $1 \cdot 10^{-9} \mu\text{m}^2$.
 - ο Οι σχιστόλιθοι με πλούσια οργανική ύλη και απαντώνται στους σχηματισμούς σχιστολιθικού αερίου αποτελούν οι μαύροι σχιστόλιθοι και οι ανθρακούχοι σχιστόλιθοι
 - ο Οι συγκεντρώσεις φυσικού αερίου εκτείνονται σε μεγάλες γεωγραφικές εκτάσεις
 - ο Αποτελεί επί τόπου δημιουργούμενο απόθεμα αφού παράγεται ως προσροφημένο, ελεύθερο ή διαλελυμένο αέριο, αποθηκεύεται στη μάζα του ή στο κηρογόνο μέχρι το σημείο κορεσμού όπου το αέριο αποβάλλεται ή μεταναστεύει.
 - ο Αποτελεί ενοποιημένο σύστημα ταμιευτήρα – μητρικού πετρώματος χωρίς διακριτά όρια παγίδευσης

Είναι σαφές ωστόσο ότι η εκμετάλλευση αυτών των μη συμβατικών ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου κατέστη δυνατή λόγω της τεχνολογικής προόδου επιτυγχάνοντας την παραγωγή ορυκτών καυσίμων η εκμετάλλευση των οποίων στο παρελθόν θεωρούνταν ή πολυσύνθετη ή εξαιρετικά μεγάλου κόστους. Συγκεκριμένα η εξέλιξη της τεχνικής των οριζοντίων γεωτρήσεων δεδομένου ότι οι ταμιευτήρες σχιστολιθικού αερίου καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις αλλά και της τεχνικής της υδραυλικής ρωγμάτωσης κατάφεραν να φέρουν ροή σχιστολιθικού αερίου προς τη γεώτρηση και ακολούθως στην επιφάνεια.

Προκειμένου τελικά κατά την αξιολόγηση να θεωρηθεί ένας ταμειυτήρας σχιστολιθικού αερίου επιτυχημένο έργο (play) είναι αναγκαίο να καλύπτονται κάποιοι κρίσιμοι παράμετροι και παράγοντες για τους οποίους εκτιμάται ότι ένας βέλτιστος συνδυασμός τους μπορεί να οδηγήσει σε μία καλή παραγωγή αερίου. Είναι σαφές ωστόσο ότι απαιτείται εκτεταμένος έλεγχος (mapping shale sequence με χρήση διαγραφιών ή χρήση σεισμικών δεδομένων) της γύρω περιοχής, δεδομένου ότι καταλαμβάνει συνήθως μεγάλες εκτάσεις, προκειμένου να αναδειχθούν τα λεγόμενα sweet spots της εμπορικής εκμετάλλευσης. Οι παράμετροι αυτοί που πρέπει να εκτιμώνται είναι:

- Υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό (TOC, συνήθως > 2.0%)
- Υψηλό βαθμό θερμικής εξέλιξης της οργανικής ύλης ή ωριμότητα αυτής (thermal evolution degree) ($R_o > 2.0-2.5\%$)
- Ορυκτολογία - Υψηλό περιεχόμενο σε χαλαζία
- Διαπερατότητα
- Υψηλή ευθρυπτότητα (ευκολία στη δημιουργία τεχνητών ρωγμών με υδραυλική ρωγμάτωση) (>80%)
- Πίεση των πόρων
- Υψηλό περιεχόμενο σε προσροφημένο αέριο – Αρχικά επιτόπου αποθέματα
- Βάθος σχηματισμού

Σε σχέση την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου θα πρέπει να επισημανθούν και τα εξής σημεία:

- Ο συντελεστής απόληξης στους ταμειυτήρες σχιστολιθικού φυσικού αερίου κυμαίνεται μεταξύ 12% -35%, σε αντίθεση με τους συμβατικούς όπου η τιμή φτάνει τα 70 - 80%
- Βάσει δεδομένων από έργα μεγάλης κλίμακας που υλοποιούνται στις ΗΠΑ, το προφίλ παραγωγής φυσικού αερίου από σχιστολιθικούς σχηματισμούς ακολουθεί μία χαρακτηριστική υπερβολή κατά την οποία η παραγωγή μειώνεται απότομα κατά τον πρώτο χρόνο κατά 60-80%, αποδίδοντας το ήμισυ των εκτιμώμενων ανακτήσιμων αποθεμάτων μέσα στα πέντε πρώτα χρόνια λειτουργίας της γεώτρησης.

- Το κόστος παραγωγής είναι σχετικά μικρό, εάν συγκριθεί με τις πρόσφατες τιμές πώλησης του φυσικού αερίου στην Ευρώπη (\$8/MBtu) και στην Ασία (\$11/MBtu), κάνοντας το προερχόμενο από μη συμβατικές πηγές αέριο άκρως ανταγωνιστικό, ακόμη και με τις συνθήκες που επικρατούν αυτή τη στιγμή στην αγορά φυσικού αερίου

Παρά το γεγονός ότι το σχιστολιθικό αέριο αντιπροσωπεύει ένα επαναστατικό στοιχείο στην παγκόσμια αγορά ενέργειας, εκφράζονται αρκετές ανησυχίες οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν επακόλουθες της «επανάστασης» της οποίας φέρει. Αλλά και για το λόγο αυτό επίσης εμφανίζονται ακραίες στάσεις σε διάφορες χώρες όπου από τη μία πλευρά παρουσιάζεται ένθερμη υποστήριξη για την ανάπτυξη σχιστολιθικού αερίου και από την άλλη πλήρη άρνηση για οποιαδήποτε τέτοια ανάπτυξη.

Για το λόγο αυτό το υφιστάμενο κανονιστικό πλαίσιο που είναι ανεπτυγμένο βάση της δραστηριότητας εκμετάλλευσης μη συμβατικών υδρογονανθράκων, είναι και πρέπει να είναι συνεχώς σε εξέλιξη με υλοποίηση μελετών αλλά και από την εμπειρία που αποκτάται από τα έργα τα οποία ήδη υλοποιούνται, τόσο στις χώρες όπου υπάρχει μεγάλη κλίμακα παραγωγής όσο και στις χώρες όπου υπάρχει σκέψη να αναπτυχθούν τέτοια κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου. Αυτό γίνεται λόγω:

- Των νέων περιοχών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ή και κρατών όπου δεν προϋπήρχε τέτοιου είδους δραστηριότητα ούτε σε επίπεδο μη συμβατικών υδρογονανθράκων
- Των αλλαγών στις πρακτικές που χρησιμοποιεί η βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου προκειμένου να εκμεταλλευτεί το σχιστολιθικό αέριο
- Της ανάγκης μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα κατά την ανάπτυξη και εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου.

Πέραν των κινδύνων όπως αυτοί έχουν αναγνωριστεί από την εκμετάλλευση μη συμβατικών υδρογονανθράκων, η αξιοποίηση του σχιστολιθικού αερίου επιφέρει αρκετές περιβαλλοντικές αλλά και κοινωνικές επιπτώσεις με σημαντικότερες αυτών:

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Στα αποθέματα νερού, στην ορθολογική χρήση αυτού αλλά και στη ρύπανσή του. Οι περιοχές που δε βρίσκονται πλησίον σε υδάτινους πόρους (θάλασσες, ωκεανοί, ποτάμια) δύνανται να αντιμετωπίσουν σημαντικό πρόβλημα με τα αποθέματα νερού ακόμη και για τις βασικές χρήσεις. Επίσης η *απελευθέρωση αερίων του θερμοκηπίου και άλλων αερίων ρύπων* αλλά και η μετανάστευση μεθανίου, καθώς και χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται στην υδραυλική ρωγμάτωση, στους περιβάλλοντες σχηματισμούς και παρακείμενους υδροφόρους ορίζοντες. *Ενδεικτικά αναφέρεται ότι κατά την υδραυλική ρωγμάτωση απαιτούνται 10,000 – 25,000 m³ νερού ανά γεώτρηση. Σε αυτή την ποσότητα νερού περιέχονται περίπου 75 m³ χημικών ουσιών, εκ των οποίων ένα μεγάλο εύρος ποσοστού (20-90%) μπορεί να παραμένουν εντός του σχηματισμού και να μην επιστρέφουν με το νερό επιστροφής.*
- Θα πρέπει να αναδειχθεί ότι είναι σημαντική η *χρήση γης* που απαιτείται για την ανάπτυξη των pads που απαιτούνται αλλά και οι *επιπτώσεις στη γη και στο τοπίο* οι οποίες είναι σημαντικές λόγω των σημαντικών εκτάσεων που χρειάζεται η ανάπτυξη της εκμετάλλευσης, ο συνεπαγόμενος *θόρυβος* καθ'ολη τη διάρκεια του έργου αλλά και το θέμα της *σεισμικότητας* που συνδέεται με την υδραυλική ρωγμάτωση. Για το θέμα αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι οι μελέτες επικεντρώνονται στην σεισμικότητα που δύναται να αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια της ρωγμάτωσης και έχει εκτιμηθεί ως κίνδυνος αμελητέος μέχρι το βαθμό 3 της κλίμακας Richter, χωρίς ωστόσο να έχει εκτιμηθεί η σεισμική δραστηριότητα που μπορεί να επιφέρει σε υπόγειες υποδομές.
- Τέλος, αλλά εξαιρετικά σημαντικό θέμα αποτελεί η έντονη κοινωνική ανησυχία σχετικά τις διεργασίες ανάπτυξης και εκμετάλλευσης του σχιστολιθικού αερίου. Η δημόσια αποδοχή αποτελεί μείζον θέμα που θα πρέπει να συνυπολογίζεται σε κάθε βήμα προς την ανάπτυξη ενός τέτοιου έργου.

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια συμπεράσματα σχετικά με τις αλλαγές που δύναται να επιφέρει το σχιστολιθικό αέριο στην αγορά του φυσικού αερίου.

Η μελλοντική κατάσταση των περιοχών που εμφανίζουν μεγαλύτερα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου αναμένεται επιγραμματικά ως εξής:

- Ευρώπη, Ρωσία: Μέχρι το 2035 εκτιμάται ότι το 45% της παραγωγής φυσικού αερίου θα προέρχεται από μη συμβατικές πηγές. Ωστόσο δεν θα μειωθεί η εξάρτηση της ΕΕ από τις εισαγωγές, αλλά αντισταθμιστικό ρόλο θα παίζει στη μείωση της παραγωγής φυσικού αερίου από συμβατικές πηγές. Η Ρωσία λόγω των τεράστιων αποθεμάτων φυσικού αερίου από συμβατικές πηγές, δεν φαίνεται να έχει ενδιαφέρον για ενδεχόμενα τέτοια κοιτάσματα. Εκτιμήσεις φέρουν το μέσο κόστος παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη να κυμαίνεται μεταξύ \$8/MBtu - \$12/MBtu. Ενώ θεωρείται υψηλό κόστος, η διατήρηση των τιμών του φυσικού αερίου σε αρκετά υψηλά επίπεδα (σε σχέση με την πτώση που είχε στην Αμερική, στην Ευρώπη η τιμή του κυμαίνεται 3-5 φορές πιο πάνω σε σχέση με την Αμερική) καθιστά τα έργα αξιοποίησης σχιστολιθικού αερίου ελκυστικά.
- Ασία: Η Κίνα θα μπορούσε να καλύψει το 80% της ζήτησης από δικής της παραγωγή αυξάνοντας το 4% της συμμετοχής του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο της σήμερα, στο 13% το 2035.
- Βόρειος Αμερική: για τις ΗΠΑ εκτιμάται ότι μέχρι το 2035, το 71% της παραγωγής φυσικού αερίου θα αφορά μη συμβατικό αέριο. Ωστόσο δεν θεωρείται ότι ακόμη και στο πιο αισιόδοξο σενάριο θα αποτελέσει εξαγωγός παρά μόνο μικρών ποσοτήτων. Αναμένεται ωστόσο να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα στη διαμόρφωση της τιμής στις ξένες αγορές. Εκτιμήσεις φέρουν το κόστος παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ να κυμαίνεται μεταξύ \$3/MBtu - \$7/MBtu. Οι χαμηλές τιμές του φυσικού αερίου είναι πιθανόν να κάνουν ωστόσο και τα πιο κερδοφόρα έργα να φαίνονται οριακά κερδοφόρα και να αρχίσει η επανεκτίμηση των εταιρειών για τις δραστηριότητες παραγωγής σε κάποιους σχηματισμούς. Υπάρχει και μία εκτίμηση ότι το κόστος παραγωγής στις ΗΠΑ έχει φτάσει στην κορύφωσή του καθώς η τάση του αυξανόμενου κόστους (δαπάνες, κόστη λειτουργίας και εξοπλισμού, κλπ) έχει αρχίσει να αντιστρέφεται πρόσφατα. Και πάλι καθοριστικό ρόλο παίζει η τιμή του φυσικού αερίου, η οποία όσο παραμένει χαμηλά ειδικά στις ΗΠΑ, καθιστά απαγορευτικό τέτοιο κόστος παραγωγής. Για παράδειγμα αναφέρεται ότι η εκτέλεση ενός αριθμού σταδίων υδραυλικής ρωγμάτωσης ώστε να γίνει παραγωγική μία γεώτρηση μπορεί να κοστίσει 2-3 εκατομμύρια δολάρια ανά γεώτρηση.

Οι σχιστολιθικοί υδρογονάνθρακες συνεισέφεραν πέραν των \$237 δισεκατομμυρίων στο ΑΕΠ των ΗΠΑ για το 2012, ενώ αναμένεται να φτάσει τα \$416 δισεκατομμύρια το 2020 και τα 475\$ δισεκατομμύρια το 2035 (ή το 2% του ΑΕΠ της χώρας).

Οι διαδικασίες ανάπτυξης του μη συμβατικού φυσικού αερίου είναι ακόμη σε πρώιμα στάδια ενώ το τεχνολογικό, οικονομικό και κανονιστικό τοπίο συνεχίζει να εξελίσσεται. Με την ανάπτυξη όλων αυτών των παραμέτρων είναι σαφές ότι θα επέλθουν σημαντικές αλλαγές τόσο στο δυναμικό παραγωγής τους, στην περιβαλλοντική της επίδραση αλλά και το οικονομικό προφίλ πολλών από αυτών των ενδιαφερόντων στόχων. Δεδομένης όλης της αβεβαιότητας και τη γοργή εξέλιξη που εμφανίζει ο κλάδος, η εκτίμηση και ειδικά μακροπρόθεσμων γεωπολιτικών επιπτώσεων αυτής της επανάστασης αποτελεί πρόκληση. Αυτό που είναι ωστόσο αδιαπραγμάτευτο είναι το γεγονός ότι η επανάσταση αυτή, μαζί με τις πρόσφατες ανακοινώσεις για τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα, ήδη επηρεάζει τις γεωστρατηγικές δυναμικές για την ενέργεια με σημαντικούς τρόπους όπως με :

- Την αντίληψη της δυνατότητας άσκησης επιρροής. Ενσωματώνει τις αλλαγές στο ρόλο που έπαιζε μέχρι πρότινος οι ΗΠΑ σε σχέση με αυτόν που έχει τώρα ως προς τις εισαγωγές φυσικού αερίου και υγροποιημένου αερίου. Επίσης τις αλλαγές και επαναδιαπραγματεύσεις που αναγκάζεται να κάνει η Gazprom, σε σχέση με τη διαθεσιμότητα και το κόστος του φυσικού αερίου.
- Την αναθεώρηση των ενεργειακών πολιτικών που κάνουν οι χώρες σε σχέση με το ενεργειακό μίγμα και το ρόλο που κατέχει πλέον το φυσικό αέριο αλλά και την προσέγγιση που αποκτούν πάνω στην ανάπτυξη διαθέσιμων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου. Η Ευρώπη και η Κίνα αποτελούν παραδείγματα αυτής.
- Τον εμπορικό ανταγωνισμό και την αισιοδοξία σε σχέση με τους διαθέσιμους πόρους. Αφορά σε επανεκτίμηση που κάνουν διάφορες χώρες μέσα σε αυτό το πλαίσιο σε σχέση με την εμπορική βιωσιμότητα έργων φυσικού αερίου που διαθέτουν.

Βιβλιογραφία

Friends of the Earth Europe. (2013). *A slow costly road to nowhere: Shale gas development in Europe*.

Ladislaw, S. O., Pumphrey, D., Walton, M. A., & Melton, M. (2013, July 26). *Center of Strategic & International Studies*. Ανάκτηση από <http://csis.org/publication/shifting-geopolitics-natural-gas>

IEA. (2011). *World Energy Outlook*.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

Bbl - Barrel

Bcf - Billion cubic feet

Bcm – Billion cubic meters

Btu - British thermal unit

CH₄ - Methane

CNG - Compressed Natural Gas

CO₂ - Carbon dioxide

EIA - Energy Information Administration

EPA - Environmental Protection Agency

EUR - Estimated ultimate recovery

DOE - Department of Energy

GHG - Greenhouse gas

IEA - International Energy Agency

kJ - Kilojoule

LNG - Liquefied natural gas

Mbbl - Thousand barrels

MMbtu - Million British thermal units

MMcf - Million cubic feet

NGL - Natural gas liquids

OGIP - Original Gas In Place

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development

Tcf - Trillion cubic feet

Tcm – Trillion cubic meters

TRR - Technically recoverable resource

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ